



**BELEDİYE KATI ATIK GERİ DÖNÜŞÜMÜNÜN
EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİ: PANEL
VERİ ANALİZİ VE AĞ-VZA YAKLAŞIMI**

Faruk ŞAHİN

Doktora Tezi

İktisat Ana Bilim Dalı

2026

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANA BİLİM DALI
İKTİSAT POLİTİKASI BİLİM DALI

**BELEDİYE KATI ATIK GERİ DÖNÜŞÜMÜNÜN EKONOMİK VE
ÇEVRESEL ETKİLERİ: PANEL VERİ ANALİZİ VE AĞ-VZA YAKLAŞIMI**
(Economic and Environmental Effects of Municipal Solid Waste Recycling: Panel Data
Analysis and Network DEA Approach)

DOKTORA TEZİ

Faruk ŞAHİN

Danışman: Prof. Dr. Dilek ÖZDEMİR

Erzurum- 2026



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Prof.Dr. Dilek ÖZDEMİR danışmanlığında Faruk ŞAHİN tarafından hazırlanan “**Belediye Katı Atık Geri Dönüşümünün Ekonomik ve Çevresel Etkileri: Panel Veri Analizi ve Ağ-VZA Yaklaşımı**” başlıklı çalışma 10/03/2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İktisat - Anabilim Dalı İktisat Politikası Bilim Dalı'nda **Doktora** tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof.Dr. Vedat KAYA <i>ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ</i>	e-imza
Jüri Üyesi (Danışman):	Prof.Dr. Dilek ÖZDEMİR <i>ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ</i>	e-imza
Jüri Üyesi:	Prof.Dr. Serap BEDİR KARA <i>ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ</i>	e-imza
Jüri Üyesi:	Doç.Dr. Murat AYKIRI <i>KAFKAS ÜNİVERSİTESİ</i>	e-imza
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ERKAL <i>ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ</i>	e-imza
İkinci Tez Danışmanı	Prof.Dr. Zeynep CEYLAN <i>ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ</i>	

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

27/03/2026
Prof.Dr. Hanifi ŞAHİN
Enstitü Müdürü
e-imza

Bu çalışma;
- Kurumsal BAP projesi (Proje No : SDK-2022-11702)
kapsamında desteklenmiştir.



ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Doktora Tezi olarak sunduğum “Belediye Katı Atık Geri Dönüşümünün Ekonomik ve Çevresel Etkileri: Panel Veri Analizi ve Ağ-VZA Yaklaşımı” başlıklı çalışmanın tarafımdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını ve yararlandığım eserleri kaynakçada gösterdiğimi beyan ederim.

10 / 03 / 2026

Faruk ŞAHİN

Aslı ıslak imzalıdır

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

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

ÖNSÖZ

Bu doktora tezi, sürdürülebilir kalkınma hedefleri çerçevesinde belediye katı atık geri dönüşümünün ekonomik büyüme, çevresel kalite ve atık yönetimi etkinliği üzerindeki etkilerini makro ve mikro düzeyde bütüncül bir yaklaşımla analiz etmek amacıyla hazırlanmıştır. Artan kentleşme, tüketim baskısı ve çevresel kısıtlar altında katı atık yönetiminin yalnızca teknik bir hizmet alanı değil; ekonomik, çevresel ve yönetsel boyutları olan stratejik bir politika alanı haline gelmesi, bu çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmuştur. Tez sürecinde, geri dönüşümün makro ölçekte ekonomik ve çevresel etkileri ile yerel düzeyde belediyelerin atık yönetimi performansı birlikte ele alınarak çok ölçekli bir değerlendirme yapılması hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında, akademik birikimi, yol gösterici değerlendirmeleri ve her aşamada sunduğu yapıcı katkılarla sürece değer katan tez danışmanım sayın Prof. Dr. Dilek ÖZDEMİR ile eş danışmanım sayın Prof. Dr. Zeynep CEYLAN'a içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmanın kuramsal çerçevesinin şekillenmesinde, metodolojik yaklaşımının geliştirilmesinde ve ampirik analizlerin olgunlaştırılmasında sağladıkları katkılar, tezin bilimsel niteliğinin güçlenmesinde belirleyici olmuştur.

Tez izleme ve savunma sürecinde değerli zamanlarını ayırarak çalışmayı titizlikle değerlendiren kıymetli jüri üyesi hocalarım Prof. Dr. Vedat KAYA, Prof. Dr. Serap BEDİR KARA, Doç. Dr. Murat AYKIRI ve Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ERKAL'a; sundukları eleştiri ve önerilerle çalışmanın gelişimine katkı sağladıkları için teşekkür ederim. Akademik perspektifimi zenginleştiren bu değerlendirmeler, çalışmanın daha bütünlüklü bir yapıya kavuşmasına önemli katkı sunmuştur.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sürecinde sağladığı maddi ve kurumsal destekten dolayı Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim. Sunulan bu destek, saha ziyaretlerinin gerçekleştirilmesi ve bilimsel kongre katılımlarının sağlanması yoluyla çalışmanın ilerlemesine önemli katkılar sunmuş; bunun yanı sıra veri temini ve analiz sürecinin sağlıklı ve etkin bir biçimde yürütülmesini mümkün kılmıştır.

Doktora sürecinin yoğun temposu, zaman zaman ailemle paylaşmam gereken anlardan feragat etmeme neden oldu. Bu süreçte, anlayışı, sabrı ve desteğiyle her koşulda yanımda olan eşim Arzu ŞAHİN'e; varlığıyla bana güç veren, hayatıma bambaşka bir anlam katan kızım Defne ŞAHİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, akademik yolculuğum boyunca desteğini esirgemeyen aileme ve yakın çevreme teşekkür eder; bu çalışmanın sürdürülebilir atık yönetimi ve döngüsel ekonomi politikalarına mütevazı da olsa katkı sunmasını temenni ederim.

Faruk ŞAHİN

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BELEDİYE KATI ATIK GERİ DÖNÜŞÜMÜNÜN EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİ: PANEL VERİ ANALİZİ VE AĞ-VZA YAKLAŞIMI

Faruk ŞAHİN

Erzurum 2026, 224 Sayfa

Bu çalışmanın amacı, belediye katı atık geri dönüşümünün ekonomik büyüme ve çevresel kalite üzerindeki etkilerini makro ve mikro düzeyde bütüncül bir yaklaşımla ampirik olarak analiz etmektir.

Makro düzey analizde, 1995–2021 dönemini kapsayan 33 ülkeye ait panel veri seti kullanılmıştır. İlk modelde ekonomik büyümeyi temsil eden kişi başına gayrisafi yurt içi hasıla (GDPP) bağımlı değişken olarak ele alınmış ve yük kapasitesi faktörü (LCF), belediye katı atık geri dönüşüm oranı (RCY), yenilenebilir enerji tüketimi (REC) ve doğal kaynak kiralaları (NRR) açıklayıcı değişkenler olarak modele dahil edilmiştir. İkinci modelde ise çevresel kalite göstergesi olan yük kapasitesi faktörü (LCF) bağımlı değişken olarak tanımlanmış ve GDPP, RCY, REC ve NRR değişkenleri açıklayıcı değişkenler olarak kullanılmıştır. Her iki model, yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliğini dikkate alan ikinci nesil panel veri yöntemlerinden AMG ve CS-ARDL tahmincileriyle analiz edilmiştir. Bulgular, GDPP ile LCF arasında ters yönlü bir ilişki bulunduğunu; buna karşılık RCY'nin her iki modelde de kişi başına gelir ve çevresel kalite göstergeleriyle pozitif ve anlamlı ilişkiler sergilediğini göstermektedir. REC'in çevresel kalite ile ilişkisi tutarlı biçimde olumlu bulunurken, NRR'nin etkilerinin ülkeler arasında heterojenlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Mikro düzeyde ise Türkiye'deki 30 büyükşehir belediyesinin atık yönetim performansı, 2018, 2020 ve 2022 yılları için iki aşamalı Ağ Veri Zarflama Analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bulgular, atık yönetimi aşamasında görece yüksek etkinlik düzeylerine karşın, atık oluşumu aşamasında belirgin verimsizliklerin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma, sürdürülebilirlik performansının yalnızca geri kazanım oranlarının artırılmasıyla sağlanamayacağını; atık oluşumunun kaynağında azaltılması, kaynak verimliliği odaklı üretim-tüketim yapılarının teşvik edilmesi ve döngüsel ekonomi araçlarının bütüncül politika çerçevesi içinde uygulanmasının gerekli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağ veri zarflama analizi, belediye katı atık geri dönüşümü, çevresel kalite, ekonomik büyüme, panel veri analizi

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EFFECTS OF MUNICIPAL SOLID WASTE RECYCLING: PANEL DATA ANALYSIS AND NETWORK DEA APPROACH

Faruk ŞAHİN

Erzurum 2026, 224 Pages

The aim of this study is to empirically analyze the impacts of municipal solid waste recycling on economic growth and environmental quality at the macro and micro levels with a holistic approach.

In the macro-level analysis, a panel data set of 33 countries covering the period 1995–2021 was used. In the first model, Gross Domestic Product per capita (GDPP), representing economic growth, was treated as the dependent variable, while load capacity factor (LCF), municipal solid waste recycling rate (RCY), renewable energy consumption (REC), and natural resource rents (NRR) were included as explanatory variables. In the second model, the load capacity factor (LCF), an indicator of environmental quality, was defined as the dependent variable, while GDPP, RCY, REC, and NRR were used as explanatory variables. Both models were analyzed using the AMG and CS-ARDL estimators, which are second-generation panel data methods accounting for cross-sectional dependence and slope heterogeneity. The findings indicate an inverse relationship between GDPP and LCF; conversely, RCY exhibits positive and significant relationships with both per capita income and environmental quality indicators in both models. The relationship between REC and environmental quality was found to be consistently positive, whereas the effects of NRR were observed to exhibit heterogeneity across countries.

At the micro level, the waste management performance of 30 metropolitan municipalities in Turkey was evaluated using two-stage Network Data Envelopment Analysis (Network DEA) method for the years 2018, 2020, and 2022. The findings reveal that despite relatively high efficiency levels in the waste management stage, significant inefficiencies exist in the waste generation stage. The study demonstrates that sustainability performance cannot be achieved solely by increasing recovery rates; instead, it necessitates reducing waste generation at the source, promoting resource efficiency-oriented production and consumption patterns, and implementing circular economy instruments within a holistic policy framework.

Keywords: Network data envelopment analysis, municipal solid waste recycling, environmental quality, economic growth, panel data analysis

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM SAYFASI	ii
ÖNSÖZ	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1
1. SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA VE SÜRDÜRÜLEBİLİR EKONOMİ MODELLERİNE GEÇİŞ.....	5
1.1. Sürdürülebilir Kalkınma.....	7
1.1.1.Sürdürülebilir Kalkınmanın Ortaya Çıkışı ve Gelişimi.....	10
1.1.2.Sürdürülebilir Kalkınmanın Amaçları	12
1.1.3.Sürdürülebilir Kalkınmanın Boyutları.....	13
1.1.3.1. Çevresel Boyut	14
1.1.3.2. Ekonomik Boyut.....	15
1.1.3.3. Sosyal Boyut.....	16
1.1.3.4. Sürdürülebilir Kalkınmanın Güncel Boyutları	17
1.1.4.Sürdürülebilir Kalkınma Uygulama Örnekleri	18
1.2. Sürdürülebilir Ekonomi Modellerine Geçiş	22
1.2.1.Doğrusal Ekonomi.....	24
1.2.2.Geri Dönüşüm Ekonomisi	26
1.2.3.Yeşil Ekonomi	27
1.2.4.Döngüsel Ekonomi	29
1.3. Sürdürülebilir Ekonomiye Geçişin Araçları	31
1.3.1.Yeşil Dönüşüm.....	32
1.3.2.Dijital Dönüşüm	33

1.3.3. Yalın Dönüşüm	33
1.3.4. İkiz ve Üçüz Dönüşüm	34
1.3.5. Yeşil Taksonomi	34
İKİNCİ BÖLÜM.....	36
2. BELEDİYE KATI ATIK YÖNETİMİNİN EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	36
2.1. Katı Atık Yönetimi	36
2.1.1. Katı Atık Yönetiminin Gelişimi.....	37
2.1.2. Katı Atık Yönetim Hiyerarşisi	40
2.1.2.1. Geleneksel Atık Yönetim Hiyerarşisi	41
2.1.2.2. Modern Atık Yönetim Hiyerarşisi	43
2.1.2.3. Sıfır Atık Yönetim Hiyerarşisi.....	45
2.1.3. Dünyada ve Türkiye’de Katı Atık Yönetimi	49
2.1.3.1. Dünyada Katı Atık Yönetimi Genel Durumu	49
2.1.3.2. Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Genel Durumu.....	53
2.1.3.3. Türkiye Kalkınma Planlarında Atık Yönetimi Yaklaşımları ve Hedefleri.....	57
2.2. Katı Atık Yönetiminin Çevresel Etkileri	60
2.2.1. Katı Atık Yönetiminin Hava Kirliliği Üzerine Etkileri	61
2.2.2. Katı Atık Yönetiminin Su Kirliliği Üzerine Etkileri.....	63
2.2.3. Katı Atık Yönetiminin Toprak Kirliliği Üzerine Etkileri.....	64
2.2.4. Katı Atık Yönetiminin Sağlık Üzerine Etkileri	65
2.2.5. Katı Atık Yönetiminin İklim Değişikliği Üzerine Etkileri	67
2.2.6. Katı Atık Yönetiminin Biyoçeşitlilik Üzerine Etkileri	68
2.2.7. Katı Atık Yönetiminin Kaynak Verimliliği Üzerine Etkileri	70
2.3. Katı Atık Yönetiminin Ekonomik Etkileri	72
2.3.1. Katı Atık Yönetiminin İstihdam Üzerine Etkileri.....	73
2.3.2. Katı Atık Yönetiminin Kaynak Tasarrufu Üzerine Etkileri	75
2.3.3. Katı Atık Yönetiminin Enerji Üretimi Üzerine Etkileri	76
2.3.4. Katı Atık Yönetiminin Atık Ticareti Üzerine Etkileri	78
2.3.5. Katı Atık Yönetiminin Sağlık Harcamaları Üzerine Etkileri.....	79
2.3.6. Katı Atık Yönetiminin Turizm Üzerine Etkileri	81

2.3.7. Katı Atık Yönetiminin Döngüsel Ekonomi Üzerine Etkileri.....	83
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	86
3. BELEDİYE KATI ATIK GERİDÖNÜŞÜMÜNÜN EKONOMİK BÜYÜME VE ÇEVRESEL BOZULMA ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ.....	86
3.1. Araştırmanın Amacı	86
3.2. Araştırmanın Önemi	87
3.3. Literatür Taraması	89
3.3.1. Katı Atık Yönetimi ve Ekonomi İlişkisine Yönelik Literatür Araştırması	90
3.3.2. Katı Atık Yönetimi ve Çevre İlişkisine Yönelik Literatür Araştırması	98
3.3.3. Katı Atık Yönetimi Süreçlerinin Etkinliğine İlişkin Literatür İncelemesi.....	105
3.4. Veri Seti, Model, Yöntem ve Bulgular	112
3.4.1. Veri Seti ve Ekonometrik Model	112
3.4.1.1. Katı Atık Geri Dönüşümünün Ekonomik Büyüme ve Çevresel Etkilerine İlişkin Veri Seti ve Model	113
3.4.1.2. Katı Atık Yönetimi Süreçlerinin Etkinlik Analizine Ait Veri Seti ve Model	119
3.4.2. Yöntem	124
3.4.2.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Testi.....	125
3.4.2.2. Eğim Heterojenliği Testi.....	127
3.4.2.3. Birim Kök Analizi	129
3.4.2.4. Panel Eşbütünleşme Analizi	130
3.4.2.5. AMG Tahmincisi	131
3.4.2.6. CS-ARDL Analizi.....	132
3.4.2.7. Stackelberg Oyun Kuramı Temelli İki Aşamalı Ağ-VZA Modeli.....	134
3.4.3. Bulgular	139
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	165
POLİTİKA ÇIKARIMLARI VE ÖNERİLER	173
KAYNAKÇA	179
EKLER.....	217
ÖZGEÇMİŞ	224

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. <i>Dünyada ve Türkiye’de Sürdürülebilir Kalkınma Uygulama Örnekleri</i>	19
Tablo 2. <i>Ülkelerin Örnek Atık Yönetimi Uygulamaları</i>	52
Tablo 3. <i>Türkiye Kalkınma Planlarında Karşılaştırılmalı Olarak Atık Yönetimi</i>	59
Tablo 4. <i>Katı Atık Yönetimi ve Ekonomi İlişkisine Yönelik Literatür Özeti</i>	92
Tablo 5. <i>Katı Atık Yönetimi ve Çevre İlişkisine Yönelik Literatür Özeti</i>	99
Tablo 6. <i>Katı Atık Yönetiminin Etkinliğine Yönelik Literatür Özeti</i>	106
Tablo 7. <i>Panel Veri Analizinde Kullanılan Değişkenler, Tanımları ve Veri Kaynakları</i>	114
Tablo 8. <i>Etkinlik Analizinde Kullanılan Değişkenler, Tanımları ve Veri Kaynakları</i> ...	121
Tablo 9. <i>Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları</i>	140
Tablo 10. <i>Eğim Heterojenliği Testi Sonuçları</i>	141
Tablo 11. <i>Birim Kök Testi Sonuçları</i>	142
Tablo 12. <i>Westerlund ve Edgerton (2008) Panel Eşbütünleşme Testi Sonuçları</i>	143
Tablo 13. <i>Westerlund ve Edgerton (2008) Testine Göre Kırılma Yılları ve Ülke Sayıları</i>	144
Tablo 14. <i>AMG Tahmincisi Panel Sonuçları</i>	146
Tablo 15. <i>AMG Tahmincisi Ülke Sonuçları</i>	149
Tablo 16. <i>CS-ARDL Testi Sonuçları</i>	156
Tablo 17. <i>Stackelberg Temelli İki Aşamalı Ağ-VZA Sonuçları</i>	160

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. <i>Sürdürülebilir Kalkınmanın Boyutları</i>	14
Şekil 2. <i>Kaynak Kullanımına Göre Ekonomik Modeller</i>	24
Şekil 3. <i>Lansink'in Merdiveni (Ladder of Lansink)</i>	42
Şekil 4. <i>Geleneksel Atık Hiyerarşisi</i>	43
Şekil 5. <i>Modern Atık Yönetim Hiyerarşisi</i>	44
Şekil 6. <i>Sıfır Atık Yönetim Hiyerarşisi (ZWE, 2019)</i>	47
Şekil 7. <i>Stackelberg Oyun Kuramı Temelli İki Aşamalı Ağ Veri Zarflama Analizi Yapısı</i>	123

KISALTMALAR DİZİNİ

AMG	: Augmented Mean Group
AVZA	: Ağ-Veri Zarflama Analizi
CADF	: Cross-Sectionally Augmented Dickey-Fuller
CIPS	: Cross-Sectionally Augmented IPS
CS-ARDL	: Cross-Sectional Autoregressive Distributed Lag
EEA	: Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency)
EKC	: Çevresel Kuznets Eğrisi
GDPP	: Kişi Başı GSYİH (Gross Domestic Product Per Capita)
GFN	: Küresel Ayak İzi Ağı (Global Footprint Network)
GLS	: Genelleştirilmiş En Küçük Kareler
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
İDASEP	: İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı
İDUSEP	: İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planı
LCF	: Yük Kapasitesi Faktörü (Load Capacity Factor)
NRR	: Doğal Kaynak Kirası
OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
OLS	: En Küçük Kareler
RCY	: Belediye Atıklarının Geri Dönüşüm Oranı
REC	: Toplam Nihai Enerji Tüketiminde Yenilenebilir Enerjinin Payı
RDF	: Atıktan Türetilmiş Yakıt (Refuse Derived Fuel)
SDGs	: Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (Sustainable Development Goals)
SKA	: Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları
SSA	: Stokastik Sınır Analizi
UAYP	: Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme)
VZA	: Veri Zarflama Analizi
WB	: Dünya Bankası (World Bank)
WCED	: Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (World Commission on Environment and Development)
WEEE	: Atık Elektrikli ve Elektronik Ekipman (Waste Electrical and Electronic Equipment)
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
ZWE	: Zero Waste Europe

GİRİŞ

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren dünya genelinde ekonomik büyüme, sanayileşme ve kentleşmenin beraberinde getirdiği çevresel ve toplumsal krizlere karşı geliştirilen çözüm arayışlarının bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır. Başlangıçta ekonomik kalkınmayı önceleyen ve doğal kaynakların sınırsız biçimde tüketilebileceği varsayımına dayanan geleneksel kalkınma anlayışı, zamanla doğal kaynakların hızla tükenmesi, çevre kirliliği, biyolojik çeşitliliğin azalması ve küresel iklim değişikliği gibi kritik sorunları derinleştirmiştir. Bu sorunlar yalnızca çevresel sistemi değil, ekonomik faaliyetlerin sürekliliğini ve toplumların refah düzeyini de olumsuz etkilemiştir. Böylece ekonomik büyümenin çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal adaletle dengelenmesini amaçlayan sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı küresel politika gündeminin merkezine yerleşmiştir.

Sürdürülebilir kalkınmanın benimsenmesiyle birlikte, ekonomik sistemlerin yeniden yapılandırılması gereği ortaya çıkmıştır. Geleneksel doğrusal ekonomik sistemin “al, yap, kullan, at” mantığına dayalı yapısı, kaynakların etkin olmayan kullanımına ve atık miktarının kontrolsüz biçimde artmasına yol açarak ekolojik dengeleri bozmakta ve doğal kaynakların hızla tükenmesine neden olmaktadır. Bu durum, uzun vadede ekonomik sistemlerin sürdürülebilirliğini tehdit ettiği için doğrusal ekonomi yerine kaynakların verimli kullanıldığı, atıkların minimize edildiği, yeniden kullanıldığı ve geri dönüştürüldüğü döngüsel ekonomi modeline geçişi zorunlu kılmıştır.

Ancak günümüzde dünya genelinde henüz tam anlamıyla döngüsel ekonomi modeline ulaşmış bir ülke bulunmamaktadır. Birçok ülke sürdürülebilir ekonomi dönüşümü kapsamında geri dönüşüm oranlarını artırmaya, atık yönetimi altyapısını geliştirmeye ve kaynak verimliliğini iyileştirmeye yönelik politikalar uygulamakta olsa da mevcut ekonomik yapı büyük ölçüde geri dönüşüm temelli bir sistem niteliği taşımaktadır. Bu nedenle literatürde günümüz ekonomik yapısı çoğu zaman doğrusal ekonomi ile döngüsel ekonomi arasında yer alan bir “geri dönüşüm ekonomisi” aşaması olarak değerlendirilmektedir.

Döngüsel ekonomi, ürün ve malzemelerin yaşam döngüsü boyunca değerini koruyarak atık oluşumunu en aza indirmeyi hedeflemekte; atıkları ekonomik sistemin dışına atılan bir yük olmaktan çıkarıp üretim süreçlerinin girdisi haline getirerek hem doğal kaynakların korunmasını hem de atık kaynaklı çevresel bozulmanın azaltılmasını amaçlamaktadır. Bu yönüyle döngüsel ekonomi, geri dönüşüm uygulamalarının ötesine geçerek üretim ve tüketim süreçlerinin bütüncül biçimde yeniden tasarlanmasını öngören bir ekonomik model olarak değerlendirilmektedir.

Bu çerçevede kentleşmenin hızlanmasıyla birlikte artan belediye katı atıklarının etkin yönetimi, döngüsel ekonomi politikalarının başarısı açısından stratejik bir önem taşımaktadır. Belediye katı atıklarının geri dönüşümü, bir yandan hammadde ve enerji tasarrufu sağlayarak ekonomik verimliliğe katkıda bulunurken, diğer yandan atıkların çevreye verdiği zararı azaltarak ekolojik sürdürülebilirliği güçlendiren temel uygulama alanlarından birini oluşturmaktadır. Bu çift yönlü etki, geri dönüşümün salt bir atık bertaraf yöntemi değil, sürdürülebilir kalkınmanın anahtar politika araçlarından biri olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, belediye katı atıklarının geri dönüşüm süreçlerinin ekonomik büyüme ve çevresel bozulma üzerindeki etkilerini hem uluslararası düzeyde hem de Türkiye’de yerel ölçekte bütüncül bir bakış açısıyla analiz etmektir. Bu doğrultuda araştırma, geri dönüşüm faaliyetlerinin bir yandan ekonomik performansa katkı potansiyelini diğer yandan çevresel baskıların azaltılmasındaki rolünü ampirik olarak ortaya koymayı hedeflemektedir. Çalışma bu amaca ulaşmak için makro düzeyde panel veri analizini kullanmaktadır. Türkiye özelinde ise, Sıfır Atık Projesi çerçevesinde belediyelerin atık yönetim süreçlerinin etkinliğini analiz eden ve iki aşamalı Ağ-VZA modelini esas alan bir yaklaşım benimsenmektedir.

Makro düzeyde, verilerine eksiksiz biçimde ulaşılabilen toplam 33 ülkeyi kapsayan ve 1995–2021 dönemini içeren bir panel veri seti oluşturulmuştur. Bu panel veri seti üzerinde ikinci nesil ekonometrik yöntemlerden CS-ARDL ve AMG tahmincileri kullanılarak geri dönüşüm, yenilenebilir enerji kullanımı ve doğal kaynak tüketiminin ekonomik büyüme ve çevresel kalite göstergeleriyle olan ilişkisi incelenmektedir. Mikro düzeyde ise Türkiye’de belediye katı atık yönetimi süreçlerinin operasyonel performansını değerlendirmek amacıyla büyükşehir belediyeleri temelinde etkinlik

analizi yapılmaktadır. Analize, nüfus ve ekonomik büyüklük açısından öne çıkan ve Türkiye’de toplam belediye atık üretiminin yaklaşık %82,5’inden sorumlu olan 30 büyükşehir belediyesi dahil edilmiştir. Söz konusu belediyeler atık oluşumu ve yönetimi açısından ülke geneli için yüksek temsil gücüne sahiptir. Bu analizde 2018, 2020 ve 2022 yıllarına ait veri setleri kullanılmıştır. Bu sınırlamanın temel nedeni, belediye düzeyinde atık miktarı, geri kazanım, sıfır atık istatistikleri ve çevresel kalite göstergelerine ilişkin verilerin bu dönem itibarıyla tutarlı ve karşılaştırılabilir olmasıdır.

Çalışmanın makro ayağında, 33 ülkeye ait panel veri seti üzerinde ekonomik büyüme ve çevresel kalite ile belediye atık geri dönüşümü arasındaki ilişkiler, yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliğini dikkate alan ikinci nesil panel ekonometrik yöntemlerle analiz edilmektedir. CS-ARDL yaklaşımı, geri dönüşüm ve ilgili diğer değişkenlerin ekonomik büyüme ve çevresel kalite üzerindeki kısa ve uzun dönem etkilerini aynı model çerçevesinde incelemeye olanak tanırken, AMG tahmincisi, ülkelere özgü katsayılar üreterek panel genelinde gözlenen ilişkileri ülke bazında da değerlendirme imkanı sunmaktadır. Böylece uluslararası ölçekte geçerli ve kanıta dayalı politika önerileri geliştirilebilecek ampirik bir zemin oluşturulmaktadır. Mikro düzeyde ise Türkiye’deki büyükşehir belediyelerinin katı atık yönetimi performansı, Stackelberg oyun kuramı temelli iki aşamalı Ağ-VZA modeli ile ölçülmektedir. Bu çerçevede atık oluşum süreci “lider” aşama, atık yönetimi ve geri kazanım süreci ise “takipçi” aşama olarak modellenmektedir. Her iki aşamada çoklu girdi ve çıktı göstergeleri kullanılarak belediyelerin göreceli etkinlik düzeyleri hesaplanmaktadır. Böylece tek aşamalı klasik VZA yaklaşımında “kara kutu” olarak görülen atık yönetimi süreci, birbirini izleyen iki alt süreç şeklinde ayrıştırılmakta ve hangi aşamada ne tür verimsizliklerin ortaya çıktığı daha ayrıntılı biçimde analiz edilebilmektedir.

Bu metodolojik yapı, bir yandan geri dönüşümün makro düzeyde ekonomik büyüme ve çevresel kalite ile ilişkisini ortaya koyarken diğer yandan belediyelerin atık oluşumu ve yönetimi süreçlerindeki performansını mikro düzeyde değerlendirmeye imkan vererek politika tasarısına çok ölçekli bir bakış kazandırmaktadır.

Çalışma üç ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde araştırmanın teorik çerçevesi oluşturulmaktadır. Bu kapsamda sürdürülebilir kalkınma kavramının tarihsel gelişimi, amaçları ve çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları detaylı bir şekilde

incelenmektedir. Ardından, geleneksel doğrusal ekonomi modelinin sürdürülebilirlik açısından taşıdığı sınırlılıklar ortaya konulmakta ve buna bir alternatif olarak geliştirilen yeşil ekonomi ve döngüsel ekonomi gibi sürdürülebilir ekonomi modellerine geçişin önemi vurgulanmaktadır. Bu bölüm, atık yönetiminin neden sadece teknik bir mesele değil, aynı zamanda bütüncül bir kalkınma stratejisinin bileşeni olduğunu teorik bir zemine oturtmaktadır.

İkinci bölümde belediye katı atık yönetiminin ekonomik ve çevresel etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Bölümde, katı atık yönetiminin tarihsel gelişimi ve atık yönetim hiyerarşisinin (geleneksel, modern ve sıfır atık) evrimi ele alınmakta, dünyada ve Türkiye’de katı atık yönetimi uygulamalarının mevcut durumu karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca atık yönetiminin hava, su ve toprak kirliliği, iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik ve kaynak verimliliği üzerindeki etkileri ile istihdam, kaynak tasarrufu, enerji üretimi, atık ticareti, sağlık harcamaları, turizm ve döngüsel ekonomi gibi alanlardaki ekonomik yansımaları ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

Üçüncü bölümde ise çalışmanın ampirik analizine yer verilmektedir. Bu kapsamda önce araştırmanın amacı ve önemi vurgulanmakta, ardından katı atık yönetiminin ekonomiyle, çevreyle ve atık yönetim süreçlerinin etkinliğiyle ilişkisini ele alan çalışmalar genel bir literatür taraması çerçevesinde sunulmaktadır. Daha sonra makro ve mikro düzeyde kullanılan veri setleri, modeller ve yöntemler ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Son olarak bu tanısal testlerin ışığında uygulanan makro ve mikro analizlerden elde edilen ampirik bulgular sunulmakta ve yorumlanmaktadır. Böylece çalışma, elde edilen bulguların bütüncül biçimde ele alındığı sonuç, değerlendirme ve politika önerileri bölümleri ile tamamlanmaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA VE SÜRDÜRÜLEBİLİR EKONOMİ MODELLERİNE GEÇİŞ

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren hız kazanan ekonomik büyüme ve sanayileşme süreçleri, dünya genelinde önemli ölçüde refah artışı sağlamıştır. Bu refah artışı ile birlikte birçok ülkede yoksulluk ve açlık gibi temel toplumsal sorunlar hafiflemiştir. Ancak hızlı ekonomik büyüme ve üretim artışı, doğal kaynakların hızla tüketilmesi, atık miktarının kontrolsüz biçimde artması, çevresel bozulma ve küresel iklim değişikliği gibi önemli çevresel sorunları da beraberinde getirmiştir (Meadows vd., 1972, s. 25; Zafir, 2014, s. 243). Sanayi Devrimi sonrasında yaygınlaşan ve doğal kaynakların sınırsız olduğu varsayımına dayanan üretim ve tüketim süreçleri, çevre üzerinde ciddi baskılar oluşturmuştur. Bu gelişmeler, ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki ilişkinin sorgulanmasına yol açmış ve geleneksel büyüme anlayışının uzun vadeli sonuçları hakkında önemli tartışmalar başlatmıştır (Goodland, 1995, s. 13).

Ekonomik büyümenin çevresel sistem üzerindeki olumsuz etkilerinin giderek daha görünür hale gelmesi, sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkışını hızlandırmış ve kalkınma anlayışının yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır. Bu bağlamda, 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından yayımlanan Brundtland Raporu, sürdürülebilir kalkınma kavramının ilk kapsamlı ve küresel ölçekte kabul gören tanımını ortaya koymuştur (Bozlağan, 2005, s. 1019). Raporda sürdürülebilir kalkınma, “bugünün ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayabilen kalkınma” olarak tanımlanmıştır (WCED, 1987, s. 43; Rogers vd., 2012, s. 8). Bu yaklaşım, kalkınmanın yalnızca ekonomik büyümeye indirgenemeyeceğini; aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal refahın da gözetilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Keeble, 1988, s. 14; Omar ve El-Haggar, 2017, s. 302).

Sürdürülebilir kalkınmanın bu geniş kapsamlı ve bütüncül bakışı, ekonomik kalkınmanın çevresel koruma ve sosyal adaletle dengelenmesini zorunlu kılarak,

kalkınmanın ekonomik, sosyal ve çevresel olmak üzere üç temel boyutunu ortaya çıkarmıştır (Hardi ve Zdan, 1997, s. 10; Munasinghe, 2009, s. 3). Birleşmiş Milletler'in 2015 yılında küresel ölçekte belirlediği Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA), söz konusu bu üç boyutu entegre ederek sürdürülebilir kalkınmanın küresel politika ve stratejilerin merkezine yerleşmesini sağlamıştır (UNDP, 2015).

Ancak günümüzde hala etkisini gösteren geleneksel ekonomik faaliyetlerin temeli olan doğrusal ekonomi modeli, sürdürülebilir kalkınmanın temel prensipleriyle uyumsuz kalmaya devam etmektedir. Geleneksel "al-kullan-at" anlayışına dayanan doğrusal ekonomi modeli, doğal kaynakların aşırı kullanımını ve büyük miktarlarda atık üretimini teşvik ederek çevresel bozulmayı hızlandırmaktadır (Geissdoerfer vd., 2017). Bu bağlamda, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için kaynakların verimli kullanıldığı, atıkların minimize edildiği ve çevresel etkilerin azaltıldığı döngüsel ekonomi ve yeşil ekonomi gibi sürdürülebilir ekonomik modellere geçiş zorunlu hale gelmiştir. Döngüsel ekonomi, ürünlerin ve hammaddelerin yaşam döngüsü boyunca değerlerini koruyarak atık oluşumunu en aza indirmeyi hedeflerken (Kirchherr vd., 2017), yeşil ekonomi ise çevresel riskleri minimize ederek ekonomik büyümeyi sosyal eşitlikle bütünleştirmeyi amaçlamaktadır (UNEP, 2011). Bu sürdürülebilir ekonomik modeller, ekonomik faaliyetler ile ekolojik sürdürülebilirlik arasındaki uyumu tesis etmeye yönelik güçlü alternatifler olarak kabul görmektedir.

Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı, ekonomik faaliyetlerin yalnızca üretim ve gelir artışı üzerinden değerlendirilmesini yeterli görmeyerek çevresel ve sosyal boyutları da içeren daha geniş bir refah perspektifi sunmaktadır. Özellikle katı atık yönetimi ve geri dönüşüm faaliyetleri yalnızca çevresel koruma politikaları olarak değil; aynı zamanda kaynak verimliliği, ekonomik değer yaratma, istihdam oluşturma ve toplumsal refahı artırma gibi çok boyutlu etkiler doğuran bir politika alanı olarak değerlendirilmektedir (Das vd., 2019; Fatimah vd., 2020; Khan vd., 2022). Bu nedenle atık yönetimi süreçlerinin etkilerinin yalnızca ekonomik büyüme veya çevresel göstergeler üzerinden ayrı ayrı ele alınması yerine, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları birlikte kapsayan sürdürülebilir kalkınma perspektifi içerisinde değerlendirilmesi daha bütüncül bir analiz imkânı sunmaktadır (Negrete-Cardoso vd., 2022; Ram vd., 2026).

Bununla birlikte sürdürülebilir kalkınmanın çok boyutlu yapısı içinde ekonomik boyut çoğu zaman ekonomik büyüme göstergeleri üzerinden analiz edilmektedir (Eisenmenger vd., 2020). Ekonomik büyüme, üretim ve gelir düzeyindeki artışı ifade eden niceliksel bir gösterge olarak kalkınmanın ekonomik boyutunu temsil eden önemli bir ölçüt niteliği taşımaktadır (Ghosh ve Pearson, 2025; Hickel, 2019). Ancak literatürde ekonomik büyümenin kalkınma için gerekli fakat tek başına yeterli bir koşul olmadığı yaygın biçimde kabul edilmektedir. Başka bir ifadeyle, ekonomik büyüme gerçekleşmeden kalkınmanın uzun vadede sürdürülebilir bir şekilde gerçekleşmesi oldukça güç olmakla birlikte, yalnızca büyümenin varlığı da kalkınmanın otomatik olarak gerçekleştiği anlamına gelmemektedir (Hickel, 2019). Kalkınmanın gerçekleşebilmesi için büyümenin çevresel sürdürülebilirlik, sosyal refah ve kaynak verimliliği gibi unsurlarla birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Ghosh ve Pearson, 2025; Raman vd., 2025).

Bu nedenle çalışmada sürdürülebilir kalkınma kavramı analitik çerçevenin üst kavramı olarak ele alınmakta, ekonomik büyüme ise sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik boyutunu temsil eden ölçülebilir bir gösterge olarak değerlendirilmektedir. Bu çerçevede izleyen alt başlıklarda ekonomik sistemlerin sürdürülebilirlik açısından nasıl dönüştürülebileceğini açıklamak amacıyla sürdürülebilir ekonomi modelleri ele alınmakta, doğrusal ekonomi modelinin sınırlılıkları ortaya konularak yeşil ekonomi ve döngüsel ekonomi gibi alternatif yaklaşımlar incelenmektedir.

1.1.Sürdürülebilir Kalkınma

Sürdürülebilir kalkınma kavramının tam anlamıyla anlaşılabilmesi için, öncelikle "sürdürülebilirlik" ve "kalkınma" kavramlarının ayrı ayrı incelenmesi, kelimelerin kökenlerine inilmesi ve bu kavramların tarihsel süreç içerisindeki gelişimlerinin değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Kavramsal kökenlerine inildiğinde her iki terim de farklı tarihsel ve teorik zeminlere dayanmaktadır.

Sürdürülebilirlik kavramı, etimolojik olarak Latince “sustenere” kelimesinden türemiştir. Bu kelime "düşmeyi ve yıkımı önlemek amacıyla desteklemek" anlamına gelir ve genel olarak "yaşamsal garanti" şeklinde ifade edilmektedir. Sürdürülebilirlik kavramı literatürde genellikle "uzun süreli devam edebilme", "süreklilik sağlama" veya "mevcut

durumun korunarak gelecek nesillere aktarılması" gibi anlamlarda kullanılmaktadır (Aydın ve Tufan, 2018, s. 399; De Vries, 2023, s. 10)

Sürdürülebilirlik kavramının modern anlamda kullanımı ilk kez Almanya’da 18. yüzyılda ormancılık sektöründe gerçekleşmiştir. Alman ormancı Hans Carl von Carlowitz, 1713 yılında kaleme aldığı “*Sylvicultura Oeconomica*” adlı eserinde, “*Nachhaltigkeit*” (süreklilik/sürdürülebilirlik) ilkesini ortaya atarak sürdürülebilirliği ormanların uzun vadeli kullanımını ve doğal yenilenme kapasitesini aşmadan kaynakların tüketilmesini sağlamak olarak tanımlamıştır. Bu tanımlama, doğal kaynakların kullanımının yenilenme hızına göre ayarlanması gerektiğine vurgu yapmaktadır (Enders ve Reming, 2014, s. 1).

1970’li yıllardan itibaren sürdürülebilirlik kavramı, çevre ve ekolojik tartışmalarla birlikte küresel gündeme gelmiş ve daha geniş anlamda çevresel sorunları kapsayacak biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Roma Kulübü’nün 1972 yılında yayımladığı “*Büyümenin Sınırları*” raporu, sürdürülebilirlik kavramının yaygınlaşmasında dönüm noktası olmuştur. Bu rapor, doğal kaynakların aşırı kullanımı ve ekonomik büyümenin çevresel etkilerinin ciddi tehditler oluşturduğunu ortaya koymuştur (Meadows vd., 1972).

Kalkınma kavramı ise, genellikle ekonomik büyüme ile ilişkilendirilen ancak ekonomik, sosyal ve politik boyutları da içeren geniş bir kavramdır. Dar anlamda kelime anlamı olarak kalkınma kavramı; ekonomik refahın artırılması, yaşam standartlarının yükseltilmesi ve sosyal ilerlemenin sağlanması olarak tanımlanabilir. Bu bağlamda kalkınma kavramının kökenleri, özellikle Adam Smith’in 1776 yılında yayımlanan “*Ulusların Zenginliği*” adlı eserine kadar dayandırılabilir. Smith, kalkınmayı ekonomik büyüme, verimlilik artışı ve iş bölümü bağlamında ele almış, ekonomik kalkınmanın piyasa mekanizmasının serbest işleyişi ile gerçekleşebileceğini vurgulamıştır (Smith, 1776).

20. yüzyılda kalkınma kavramı, özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki ekonomik eşitsizliklerin ön plana çıkmasıyla birlikte küresel düzeyde tartışılmaya başlanmıştır. Bu dönemde kalkınma, yalnızca ekonomik büyüme ile sınırlı bir olgu olarak değerlendirilmemiş; aynı zamanda sosyal gelişim, dini, kültürel, psikolojik, eğitim ve sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesi,

gelir dağılımında adaletin sağlanması ve yaşam kalitesinin artırılması gibi çok boyutlu unsurları da kapsayacak şekilde genişletilmiştir (Sen, 1999, s. 3).

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, yukarıda ifade edilen sürdürülebilirlik ve kalkınma kavramlarının sentezi olarak ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilir kalkınma, ekonomik büyüme, çevresel koruma ve sosyal refahın dengeli biçimde gerçekleşmesini hedefleyen, multidisipliner bir kavramdır. Kavramın en yaygın kabul gören tanımı, Birleşmiş Milletler tarafından 1987 yılında hazırlanan Brundtland Raporu'nda (Ortak Geleceğimiz Raporu) ifade edildiği şekliyle, "mevcut nesillerin ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğinden ödün vermeden karşılamak" olarak belirtilmektedir. Bu tanım, kalkınmanın yalnızca ekonomik büyümeyle sınırlı olmadığını, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal eşitliği kapsamı gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır (Estes, 1993, s. 1; Gönel, 2016, s. 270)

Sürdürülebilir kalkınma, farklı akademik disiplinler tarafından çeşitli boyutlarıyla ele alınmakta olup, her bir yaklaşım bu kavramın farklı bir yönünü ön plana çıkarmaktadır. Örneğin Pearce vd. (2013), sürdürülebilir kalkınmayı ekonomik büyümenin çevresel sınırlar gözetilerek ve doğal kaynakların tükenmesine yol açmadan sürdürülmesi gereken bir süreç olarak tanımlamaktadır. Daly (1997, s. 53) ise bu kavramı, doğal kaynak kullanımının yenilenebilirliğiyle ilişkilendirerek, ekolojik sınırlar içerisinde bir ekonomik büyüme modeli şeklinde değerlendirmekte ve ekonomik faaliyetlerin ekosistemin taşıma kapasitesini aşmadan, kaynak kullanımını azaltarak ve yeniden kullanımı teşvik ederek gerçekleştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Buna ek olarak, Arrow vd. (1995), sürdürülebilir kalkınmanın mevcut kuşakların refahını artırırken gelecek nesillerin yaşam standartlarını tehlikeye atmayan bir kalkınma modelini ifade ettiğini belirtmektedirler. Stiglitz vd. (2009) ise sürdürülebilir kalkınmanın yalnızca ekonomik büyüme ile sınırlı olmaması gerektiğini, aynı zamanda toplumun genel refah düzeyini ve yaşam kalitesini uzun vadede korumayı da amaçlaması gerektiğini öne sürmektedirler.

Öte yandan Sachs (2015), sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik boyutunun yanı sıra, sosyal eşitlik ve yoksullukla mücadele açısından da önemine vurgu yapmakta, kalkınmanın kapsayıcı ve eşitlikçi olması gerektiğini savunmaktadır. Sachs'a göre,

ekonomik büyümenin sosyal dışlanma ve eşitsizlikleri artırmadan, aksine bu sorunları çözmeye yönelik olarak tasarlanması gerekmektedir.

Sürdürülebilir kalkınma literatüründe, kavramın üç temel boyutu olan çevresel, ekonomik ve sosyal boyutların dengeli ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasının önemi sıklıkla vurgulanmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların korunması, çevre kirliliğinin azaltılması ve biyoçeşitliliğin korunmasını içerirken ekonomik sürdürülebilirlik, ekonomik faaliyetlerin uzun dönemli devamlılığı ve kaynakların etkin kullanımına odaklanmaktadır. Sosyal sürdürülebilirlik ise toplumsal refahın artırılması, yoksulluğun azaltılması ve toplumun tüm kesimlerine eşit fırsatlar sunulmasını hedeflemektedir.

Kavramsal olarak sürdürülebilir kalkınmanın kapsamının geniş olması, uygulamada farklı modellere ve yaklaşımlara da zemin hazırlamıştır. Literatürde, sürdürülebilir kalkınmanın uygulamaya geçirilmesine yönelik çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Örneğin, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA), sürdürülebilir kalkınmanın pratikte uygulanabilmesi için 17 farklı hedef üzerinden somutlaştırılmıştır. Bu hedefler, yoksulluğun azaltılmasından temiz enerjiye, sürdürülebilir şehirlerden iklim değişikliğiyle mücadeleyle kadar geniş bir yelpazede ekonomik, sosyal ve çevresel hedefleri içermektedir.

Sonuç olarak sürdürülebilir kalkınma, ekonomik büyümenin çevresel ve sosyal sürdürülebilirlikle bütünleştiği, gelecek nesillere sağlıklı bir ekonomik ve çevresel miras bırakmayı amaçlayan kapsayıcı bir kalkınma anlayışını ifade etmektedir (Kaynak, 2014, s. 56). Günümüzde ekonomik politikaların ve kalkınma stratejilerinin temel belirleyicilerinden biri haline gelen bu kavramın tam olarak anlaşılabilmesi, onun ortaya çıkış sürecini ve tarihsel gelişimini incelemeyi gerektirmektedir. Bu nedenle bir sonraki bölümde, sürdürülebilir kalkınma düşüncesi kavramın ortaya çıkışı ve tarihsel gelişimi detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

1.1.1. Sürdürülebilir Kalkınmanın Ortaya Çıkışı ve Gelişimi

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, tarihsel süreçte ekonomik, çevresel ve sosyal alanlarda karşılaşılan problemlere yönelik bütüncül bir çözüm arayışı olarak ortaya çıkmıştır. 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren hızla artan nüfus, endüstriyel faaliyetler

ve kentleşmenin sonucu olarak, doğal kaynakların tükenmesi, çevre kirliliği, sosyal eşitsizlikler ve ekonomik belirsizlikler gibi sorunlar daha da belirgin hale gelmiştir. Bu sorunların derinleşmesi, geleneksel kalkınma anlayışının sorgulanmasına ve sürdürülebilirlik kavramının kalkınma ile ilişkilendirilmesine yol açmıştır.

Sürdürülebilir kalkınmanın kökenleri, esasen Almanya'da 18. yüzyıl başlarında ormancılık sektöründe ortaya çıkan "Nachhaltigkeit" kavramına dayanmaktadır. Hans Carl von Carlowitz tarafından 1713 yılında yazılan "Sylvicultura Oeconomica" eserinde, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımının gerekliliği vurgulanmış ve kaynak tüketiminin doğanın yenilenme kapasitesi dikkate alınarak yönetilmesi önerilmiştir (Enders ve Remig, 2014, s. 1). Böylece sürdürülebilirlik, ekonomik faaliyetlerin uzun dönemli ve dengeli biçimde gerçekleştirilmesi anlayışıyla doğmuştur.

Sürdürülebilir kalkınmanın uluslararası düzeyde ilk ciddi tartışılması, 1972 yılında Roma Kulübü tarafından hazırlanan "Büyümenin Sınırları" (Limits to Growth) raporu ile gerçekleşmiştir. Bu raporda kaynakların sınırlılığı, nüfus artışı ve endüstriyel faaliyetlerin çevre üzerindeki etkileri vurgulanarak, ekonomik büyümenin sınırsız olmadığı, ekosistemlerin taşıma kapasitesinin dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir (Meadows vd., 1972; Vieille Blanchard, 2010, s. 94).

Ancak sürdürülebilir kalkınmanın günümüzde yaygın kabul gören tanımı ve uluslararası literatüre girişi, 1987 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun (Brundtland Komisyonu) hazırladığı "Ortak Geleceğimiz" raporu ile olmuştur (Holden vd., 2025, s. 2813; Zavřelová ve MacGregor, 2024, s. 390). Raporda sürdürülebilir kalkınma, "bugünün ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğinden ödün vermeden karşılamak" olarak tanımlanmıştır (WCED, 1987). Bu raporun ardından sürdürülebilir kalkınma kavramı, Birleşmiş Milletler tarafından çeşitli zirveler ve konferanslar aracılığıyla küresel kalkınma gündeminin temel unsuru haline getirilmiştir.

Özellikle 1992 Rio Zirvesi (BM Çevre ve Kalkınma Konferansı) ve ardından kabul edilen Rio Bildirgesi ve Gündem 21, sürdürülebilir kalkınmanın küresel ölçekte uygulanmasını amaçlayan kapsamlı hedefler ortaya koymuştur. Bu süreçte ekonomik büyümenin çevresel yönetim ve sosyal gelişim ile dengelenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu Brundtland raporunda değinilen konuların devletler düzeyinde kabul edildiği

anlamına gelmektedir. 2002 Johannesburg Zirvesi ve 2015 yılında kabul edilen Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (Sustainable Development Goals - SDGs), sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarını bir bütün halinde ele alan kapsamlı bir eylem çerçevesi sunmuştur.

Sürdürülebilir kalkınma, böylece ekonomik büyüme, sosyal kalkınma ve çevre yönetimini dengeli ve bütünlük biçimde ele alarak, toplumların uzun vadede refah ve yaşam kalitelerini artırmayı hedeflemektedir (Zafır, 2014, s. 252). Bu bağlamda sürdürülebilir kalkınmanın uygulanması, kalkınma politikalarının ekonomik büyüme odaklı yaklaşımından daha kapsayıcı, dengeli ve çok boyutlu hale gelmesini gerektirmiştir.

1.1.2. Sürdürülebilir Kalkınmanın Amaçları

Sürdürülebilir kalkınmanın temel amaçları, ekonomik büyümeyi çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal gelişim ilkeleriyle dengeleyerek mevcut ve gelecek nesillerin refahını güvence altına almaktır (WCED, 1987, s. 43). Bu amaçlar, ekonomik faaliyetlerin doğal kaynakların korunması ile uyumlu hale getirilmesini, çevresel bozulmanın önlenmesini ve sosyal eşitlik ile adaletin sağlanmasını içermektedir (Harris, 2000, s. 25; Hediger, 2000, s. 481).

İlk olarak sürdürülebilir kalkınma, ekonomik büyümenin uzun vadede devamlılığını sağlayacak şekilde gerçekleştirilmesini hedeflemektedir. Bu bağlamda ekonomik faaliyetler, kaynak verimliliğini artıracak ve atık üretimini minimize edecek biçimde yapılandırılmaktadır. Böylelikle ekonomik büyümenin ekolojik sınırları aşmaması ve doğal kaynakların yenilenme kapasitesini aşmadan sürdürülebilir kullanımı sağlanmaktadır (Rockström vd., 2009, s. 472; Sen, 1999).

İkinci olarak sürdürülebilir kalkınma, çevresel koruma amacını taşır. Ekosistemlerin taşıma kapasitesi ve doğal kaynakların korunması, biyolojik çeşitliliğin muhafazası ve kirliliğin azaltılması sürdürülebilir kalkınmanın çevresel hedeflerini oluşturmaktadır. Bu bağlamda, ekonomik faaliyetlerin çevresel etkileri titizlikle yönetilmesi ve çevre üzerindeki baskıyı azaltıcı önlemler alınması gerekmektedir (Daly, 1997).

Üçüncü temel amaç, sosyal gelişim ve toplumsal refahın artırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, sosyal adaletin sağlanması, eşitsizliklerin azaltılması, eğitim ve sağlık hizmetlerine erişimin yaygınlaştırılması ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca sürdürülebilir kalkınma, toplumsal katılımı teşvik ederek karar alma süreçlerinde toplumun tüm kesimlerinin aktif rol almasını desteklemektedir (WCED, 1987).

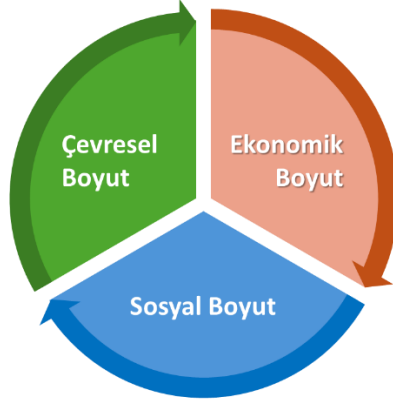
Son olarak sürdürülebilir kalkınmanın amaçları arasında ekonomik, çevresel ve sosyal boyutların birbirleriyle bütünsel biçimde ele alınması bulunmaktadır. Bu bütünsel yaklaşım, sürdürülebilir kalkınmanın multidisipliner doğasını yansıtmakta ve politika oluşturma süreçlerinde dengeli, kapsayıcı ve uzun vadeli çözümler üretmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, ekonomik ve sosyal gelişimin çevresel koruma ilkeleri ile uyumlu hale getirilmesi önem arz etmektedir.

1.1.3. Sürdürülebilir Kalkınmanın Boyutları

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, Brundtland Raporu'nda (WCED, 1987) sunulan tanımıyla birlikte uluslararası düzeyde geniş çapta kabul görmüştür. Bu kavramsal çerçeve, başlangıçta ekonomik büyüme, toplumsal kalkınma ve çevresel koruma olmak üzere üç temel üzerine kurulmuştur. Şekil 1'de gösterilen ve ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlar olarak adlandırılan bu kavramlar sürdürülebilir kalkınmanın geleneksel boyutları olarak literatürde yerini almıştır. 2002 yılında gerçekleştirilen Johannesburg Zirvesi Bildirgesi'nde de bu üç boyutun birbirini tamamlayan ve karşılıklı olarak güçlendiren nitelikte olduğu açıkça vurgulanmıştır. Ancak zamanla, bu üçlü yapının sürdürülebilirliğin çok katmanlı ve dinamik doğasını tam anlamıyla yansıtmakta yetersiz kalabileceğine dair çeşitli eleştiriler gündeme gelmiştir.

Şekil 1.

Sürdürülebilir Kalkınmanın Boyutları



Günümüzde ise 21. yüzyılın karmaşık küresel sorunları karşısında, uluslararası kuruluşlar ve akademik çevreler, kültürel, yönetsimsel, teknolojik, etik ve kurumsal boyutlar gibi farklı unsurların da sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirilmesi gerektiğini ileri sürmektedir (Correa-Mejía vd., 2024; Harris, 2000; Nurse, 2006; Sabatini, 2019; Soini ve Dessein, 2016; Vacchi vd., 2021; Wang vd., 2023). Bu doğrultuda, aşağıda sürdürülebilir kalkınmanın geleneksel üç boyutu ayrı ayrı ele alınmakta, ardından da son yıllarda literatürde tartışılmaya başlanan güncel boyutlar incelenmektedir.

1.1.3.1. Çevresel Boyut

Sürdürülebilir kalkınmanın çevresel boyutu, insan faaliyetlerinin ekosistemlerin taşıma kapasitesini aşmamasını, çevresel risklerin asgari düzeye indirilmesini ve doğal sermayenin gelecek nesiller için korunmasını hedeflemektedir (Morelli, 2011, s. 2). Bu boyutta toprak, hava ve su gibi gezegenin yaşam destek sistemlerinin sağlığını ve devamlılığını sağlamak, çevre üzerindeki her türlü baskının azaltılmasını desteklemek ve doğal sermayenin gelecek nesillere aktarılmasını güvence altına almak temel ilkeler olarak görülmektedir (Goodland, 1995).

Çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların kendini yenileme hızının bu kaynakların tüketilme hızından daha yüksek olması gerektiğini zorunlu kılmaktadır. Aynı şekilde, üretilen atık miktarının ve kirleticilerin, çevrenin bunları absorbe etme ve zararsız hale getirme kapasitesini aşmaması gerektiğini belirtmektedir (Daly, 1990).

Bu bağlamda, belediye katı atık yönetimi, çevresel boyutun en kritik uygulama alanlarından birini oluşturmaktadır. Geleneksel doğrusal ekonomi modelinin (üret-kullan-at) bir sonucu oluşan katı atıklar, düzenli depolama sahalarında birikerek toprak ve yeraltı suyu kirliliğine, metan gazı salınımı yoluyla da hava kirliliği ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. Atıkların yakılması sonucunda ortaya çıkan çeşitli zararlı gazlar ile hava kirliliğine sebep olmakta, bu yakım işlemi sonucunda oluşan tehlikeli kül ciddi çevresel riskler barındırmaktadır (Sayan ve Taşkın, 2024, s. 342). Katı atıkların geri dönüşümü ile bu döngü kırılarak atık bir kaynak olarak yeniden üretim sürecine dahil edilmektedir. Bu sayede, hammadde tüketimi ve ham madde çıkarımı için doğaya verilen tahribat azalmakta, enerji tüketimi düşmekte ve atıkların neden olduğu çevresel bozulma önemli ölçüde engellenmiş olmaktadır. Dolayısıyla geri dönüşüm, doğal sermayenin korunması ve kirliliğin önlenmesi gibi çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine doğrudan hizmet eden stratejik bir araç olarak kabul edilmektedir.

Çevresel sürdürülebilirliğe ulaşmak, yalnızca ekosistemlerin devamlılığını sağlamak için değil aynı zamanda insanlığın uzun vadeli hayat koşullarını muhafaza etmek bakımından da oldukça elzemdir. Doğal kaynakların geri döndürülemez biçimde tahrip edilmesi, ekolojik eşiklerin aşılmasıyla birlikte ekonomik ve toplumsal sistemlerin temellerini sarsmakta, mevcut kalkınma modellerini tehdit etmektedir. Bundan dolayı çevresel sürdürülebilirlik, kalkınma politikalarının vazgeçilmez bir unsuru olarak, gelecek nesillerin yaşam hakkını ve toplumsal refahı güvence altına almanın en önemli yolu olarak görülmesi gerekmektedir (Goodland, 1995, s. 21).

1.1.3.2. Ekonomik Boyut

Sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik boyutu, yalnızca gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) gibi niceliksel göstergelere odaklanan geleneksel büyüme anlayışının ötesine geçmektedir. Bu boyutta uzun vadeli, istikrarlı ve nitelikli bir refah artışı amaçlanmaktadır (Pearce vd., 2013). Ekonomik sürdürülebilirlikte ekonomik faaliyetlerin çevresel bozulmaya ve sosyal eşitsizliklere yol açmadan devam ettirilmesi esasına dayanmaktadır (Gedik, 2020, s. 210). Bu boyutta temel hedef ekonomik verimlilik ile ekolojik verimlilik arasında bir denge kurmak ve ekonomik büyümenin doğal kaynak tüketiminden ve çevresel etkilerden ayrıştırılmasını sağlamaktır.

Bu perspektiften bakıldığında, katı atıkların geri dönüşümü, ekonomik sürdürülebilirliğin somut bir örneği olan döngüsel ekonomi modelinin merkezinde yer almaktadır (Kara ve Babaoğlu, 2025, s. 52). Geri dönüşüm faaliyetleri atığı bir maliyet kalemi olmaktan çıkarıp ekonomik bir değere dönüştürmektedir. Ayrıştırılan atıklar ikincil ham madde piyasaları yaratarak sanayi için girdi maliyetlerini düşürmekte, kaynak tedarik güvenliğini artırmakta ve doğal kaynakların tükenimini azaltmaktadır. Geri dönüşüm sektörü ile atık toplama, ayırma, işleme ve yeniden üretim aşamalarında çalıştırılmak üzere yeni iş alanları (yeşil istihdam) yaratarak ekonomik kalkınmaya katkı sağlanmaktadır (UNEP, 2011). Ayrıca düzenli depolama sahalarının kurulum ve işletme maliyetlerinden tasarruf edilmesini ve bu sahaların kapladığı arazilerin daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Geri dönüşüm ile atıklardan kaynaklanan çevresel kirliliğin neden olduğu dışsal maliyetlerin azaltılması sağlanabilmektedir. Atıkların etkin ve doğru bir şekilde yönetilmesi, kaynak verimliliğinin artırılmasına, inovasyonun teşvik edilmesine ve uzun vadeli ekonomik istikrarın güçlendirilmesine katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla atık yönetimi ve geri dönüşüm faaliyetleri yalnızca çevresel sürdürülebilirlik konusunda değil aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirlik konularında sağladığı katkılardan dolayı kritik bir öneme sahiptir.

1.1.3.3. Sosyal Boyut

Sürdürülebilir kalkınmanın temel boyutlarından sonuncusu olan sosyal boyut, kalkınma sürecinin merkezine insanı ve toplumun refahını yerleştirmektedir. Bu boyut mevcut ve gelecek nesiller için yaşam kalitesinin artırılmasını, temel insan haklarına ve ihtiyaçlarına erişimin güvence altına alınmasını, sosyal adaletin, eşitliğin ve kültürel çeşitliliğin korunmasını hedeflemektedir (Hediger, 2000, s. 484). Sosyal sürdürülebilirlikte sağlık, eğitim, barınma, güvenlik ve katılım gibi alanlarda fırsat eşitliği sunan, kapsayıcı ve adil toplumsal yapının oluşturulması gerekli görülmektedir (Vallance vd., 2011, s. 344). Sosyal boyutun güçlendirilmesi, sürdürülebilir kalkınma politikalarının toplum nezdinde kabulü ve benimsenmesi açısından da kritik bir öneme sahiptir (Bilgili, 2017, s. 566; Winston, 2022, s. 192).

Belediye katı atık yönetiminin sosyal sürdürülebilirlikte oldukça önemli etkileri bulunmaktadır. Özellikle düzensiz ve yetersiz yönetilen atık depolama alanlarının toplumun belirli kesiminin yaşam alanlarına yakın yerlere konumlandırılmasından dolayı

çevresel adalet sorununu gündeme gelmektedir. Bu alanlar çevrelerindeki topluluklar için ciddi halk sağlığı riskleri, kötü koku ve görüntü kirliliği gibi sorunlar yaratmakta ve bölge halkının yaşam kalitesini düşürmektedir (Cannon, 2021, s. 2). Bunun önüne geçmek için etkin bir geri dönüşüm sistemi kurulması önem arz etmektedir. Atık yönetimi konusunda halkın eğitilmesi ve bilinçlendirme faaliyetleri ile toplumsal farkındalık ve çevre konusundaki duyarlılık artırılabilir. Ayrıca kayıt dışı ekonomide yer alan atık toplayıcılarının çalışma koşullarının iyileştirilmesi ve sosyal güvence sistemlerine dahil edilmesi gibi konular da sosyal sürdürülebilirliğin önemli parçalarından kabul edilmektedir (Çalışkan Ercan ve Kara, 2025, s. 139). Bu yönüyle atık yönetimi ve geri dönüşüm, daha sağlıklı yaşam çevreleri oluşturma, toplumsal katılımı teşvik etme ve çevresel risklerin adil bir şekilde dağılımını sağlama potansiyeli ile sosyal boyuta önemli hizmetler etmektedir.

1.1.3.4. Sürdürülebilir Kalkınmanın Güncel Boyutları

Sürdürülebilir kalkınmanın geleneksel üç boyutlu yapısı, 21. yüzyılın küresel dinamikler ve değişen toplumsal ihtiyaçlar doğrultusunda yeniden değerlendirilmektedir. Güncel literatür ve uluslararası kuruluşların raporları, sürdürülebilirliğin daha bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini ortaya koymuş ve yeni boyutlar önermiştir. Bu kapsamda sürdürülebilir kalkınmanın çok boyutlu yapısına kültürel, yönetişimsel, teknolojik, etik ve kurumsal boyutların da eklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Kültürel boyut sürdürülebilirliğin toplumsal değerler, inançlar, davranış kalıpları ve yaşam tarzları ile olan derin ilişkisine dikkat çekerken, yönetişimsel boyut ise sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için gerekli olan karar alma süreçlerinin etkinliğini, şeffaflığını, hesap verebilirliğini ve katılımcılığını ifade etmektedir. Teknolojik boyut yenilikçi ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasına odaklanmakta, etik boyut ise sürdürülebilirliğin ahlaki ve değer temelli yönlerini gündeme getirmektedir. Son olarak kurumsal boyut sürdürülebilir kalkınmanın etkinliği için güçlü, kapsayıcı ve esnek kurumların varlığına işaret etmektedir. Güçlü ve yetkin kurumlar, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik bir önkoşul olarak görülmektedir (Correa-Mejía vd., 2024; Harris, 2000; Nurse, 2006; Sabatini, 2019; Soini ve Dessein, 2016; Stenou, 2002; Vacchi vd., 2021; Wang vd., 2023).

Bu güncel boyutlar sürdürülebilir kalkınmanın sadece teknik bir mesele olmadığını aynı zamanda politik, sosyal, etik ve davranışsal bir dönüşüm gerektirdiğini göstermektedir. Geleneksel üç boyutun kesişiminde yer alan bu unsurlar bütüncül ve etkili politikalar geliştirmek için daha kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Söz konusu yaklaşımlar sürdürülebilir kalkınma amaçlarının daha etkin, kapsayıcı ve kalıcı bir şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlayabilecektir.

1.1.4. Sürdürülebilir Kalkınma Uygulama Örnekleri

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, yalnızca teorik bir çerçeve olmanın ötesine geçerek dünya genelinde ulusal, bölgesel ve yerel düzeylerde somut politika ve projeler aracılığıyla uygulanan bütüncül bir yaklaşıma dönüşmüştür. Artan çevresel baskılar, ekonomik kırılganlıklar ve sosyal adaletsizlikler, hem bu yaklaşımın kapsamını genişletmiş hem de sürdürülebilir kalkınma uygulamalarının çeşitlenmesine ve yaygınlaşmasına zemin hazırlamıştır. Günümüzde enerji, atık yönetimi, tarım, şehircilik ve endüstriyel üretim gibi alanlarda geliştirilen yenilikçi uygulamalar, sürdürülebilir kalkınmanın çok boyutlu niteliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Sürdürülebilir kalkınmanın üç temel boyutu üzerine konumlandırabileceğimiz bu uygulamalar, ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik ilkelerini bir araya getiren projelerden meydana gelmektedir. Ekonomik sürdürülebilirlikte, maliyetleri düşüren, kaynak verimliliğini artıran ve istihdam yaratan girişimler ön plana çıkarken çevresel sürdürülebilirlikte karbon emisyonlarının azaltan, ekosistem hizmetlerinin devamlılığını sağlayan ve biyolojik çeşitliliği koruyan politikalar uygulanmaktadır. Sosyal sürdürülebilirlikte ise eşitsizliklerin azaltılması, yaşam kalitesinin artırılması ve halkın karar alma süreçlerine katılımı hedeflenmektedir.

Birleşmiş Milletler tarafından 2015 yılında kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA), bu alandaki en kapsamlı ve küresel ölçekli girişim niteliğini taşımaktadır. On yedi hedeften oluşan bu stratejik çerçeve ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları bütüncül bir perspektifte ele alarak sürdürülebilir kalkınma vizyonuna ulaşılması için uluslararası düzeyde yol gösterici bir politika rehberi sunmaktadır.

Bu kapsamda yürütülen politika ve projeler ilgili SKA ile eşleştirilerek değerlendirilmiş ve özet biçimde Tablo 1’de sunulmuştur. Söz konusu tablo sürdürülebilir

kalkınma kapsamında yapılan çalışmalara örnekler sunarken bu konudaki girişimlerin dünya genelinde kabul gördüğünü göstermektedir.

Tablo 1.

Dünyada ve Türkiye’de Sürdürülebilir Kalkınma Uygulama Örnekleri

Hedef Adı	Kısa Tanım	Uluslararası Örnek	Türkiye Örneği
SKA 1: Yoksulluğa Son 	Aşırı yoksulluğun ortadan kaldırılması, sosyal koruma sistemlerinin güçlendirilmesi.	Brezilya – Bolsa Familia Programı Hindistan – Mahatma Gandhi Ulusal Kırsal İstihdam Garantisi Yasası	Sosyal Yardım Programları (SYP - Aşevleri, Barınma Yardımları) İstihdam ve Girişimcilik Destekleri (İŞKUR-KOSKEB)
SKA 2: Açlığa Son 	Gıda güvenliği, sürdürülebilir tarım ve beslenme standartlarının iyileştirilmesi.	Hollanda – Yüksek verimli sürdürülebilir sera teknolojileri Kenya – İklimle dirençli tarım projeleri	Ege Bölgesi Organik Tarım Projeleri SYP - Gıda Yardımları
SKA 3: Sağlık ve Kaliteli Yaşam 	Her yaşta sağlıklı yaşamın güvence altına alınması.	Küba – Temel sağlık hizmetlerinde evrensel erişim modeli İngiltere – Ulusal Sağlık Servisi (National Health Service – NHS)	Şehir Hastaneleri ve Aile Hekimliği Sistemi Dijital Sağlık Uygulamaları: e-Nabız ve MHRS (Merkezi Hekim Randevu Sistemi)
SKA 4: Nitelikli Eğitim 	Kapsayıcı ve eşitlikçi kaliteli eğitim, yaşam boyu öğrenme fırsatları.	Finlandiya – Kapsayıcı eğitim modeli Güney Kore – STEAM (Science-Technology-Engineering-Art-Maths) odaklı eğitim reformu	FATİH Projesi Hayat Boyu Öğrenme ve Halk Eğitimi Merkezleri
SKA 5: Toplumsal Cinsiyet Eşitliği 	Kadın ve kız çocuklarının güçlendirilmesi, eşit haklar.	Ruanda – Kadın parlamenter oranında dünya lideri İsveç – Eşit ücret ve ebeveyn izni politikaları	Kadın girişimciliği destek programları Şiddetle Mücadele ve Destek (Kadın Destek Uygulaması- KADES ve Şiddet Önleme ve İzleme Merkezi - ŞÖNİM)
SKA 6: Temiz Su ve Sanitasyon 	Herkes için güvenli su ve atık su yönetimi.	Singapur – Su geri kazanımı ve kirlilikle mücadele (NEWater) Etiyopya – Entegre Su, Sanitasyon ve Hijyen Ulusal Programı (One WaSH National Program (OWNP))	Konya kapalı havzası entegre su yönetimi Atık su arıtma tesislerinin (AAT) yaygınlaştırılması

Tablo 1 (Devamı)

Hedef Adı	Kısa Tanım	Uluslararası Örnek	Türkiye Örneği
SKA 7: Erişilebilir ve Temiz Enerji 	Yenilenebilir enerjiye erişim, enerji verimliliği.	Danimarka – Rüzgar enerjisi programı Fas – Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (CSP) Teknolojisi	Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı (YEKA) Projeleri Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP)
SKA 8: İnsana Yakınsır İş ve Ekonomik Büyüme 	Sürdürülebilir ekonomik büyüme, istihdam.	Almanya – Yeşil istihdam programları Danimarka – Esneklik ve Güvenlik Modeli (Flexicurity)	Aktif İş Gücü Programları (İŞKUR) Girişimcilik destekleri (Yeşil Sanayi Destek Programı -KOSGEB)
SKA 9: Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı 	Sürdürülebilir sanayileşme ve inovasyonun teşviki.	Almanya – Endüstri 4.0 Stratejisi Çin – Kuşak ve Yol Girişimi (Belt and Road Initiative)	Organize Sanayi Bölgeleri Yeşil Dönüşüm Projesi Milli Teknoloji Hamlesi ve Yerli Üretim
SKA 10: Eşitsizliklerin Azaltılması 	Gelir ve fırsat eşitsizliklerinin giderilmesi.	Kanada – Yerli halklara yönelik kapsayıcı ekonomi politikaları Avrupa Birliği – Uyum Fonları (Cohesion Funds)	Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı tarafından sağlanan Şartlı Eğitim ve Şartlı Sağlık Yardımı Zorunlu Engelli İstihdamı
SKA 11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar 	Dayanıklı, kapsayıcı ve sürdürülebilir yerleşimler.	Japonya – Toyota Şehri (akıllı ve çevreci kentleşme) Danimarka – Bisiklet Odaklı Ulaşım ve Karbonsuzlaşma	Yeşil Alanların Artırılması: Millet Bahçeleri Projesi Kentsel Dönüşüm ve Afete Dayanıklı Yapılaşma
SKA 12: Sorumlu Üretim ve Tüketim 	Kaynak verimliliği, atıkların azaltılması.	Avrupa Birliği – Döngüsel Ekonomi Eylem Planı Danimarka – Gıda israfını önlemek amacıyla ortaya çıkan “Too Good To Go” Uygulaması	Sıfır Atık Projesi Depozito İade Sistemi Türkiye Çevre Etiket Sistemi

Tablo 1 (Devamı)

Hedef Adı	Kısa Tanım	Uluslararası Örnek	Türkiye Örneği
SKA 13: İklim Eylemi 	İklim değişikliği ile mücadele ve uyum politikaları.	AB – Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) ve Yeşil Mutabakat Norveç - Karbon Yakalama ve Depolama Projesi (CCS - Carbon Capture and Storage Project)	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı Yenilenebilir Enerji Hamlesi
SKA 14: Sudaki Yaşam 	Deniz ve su ekosistemlerinin korunması.	Avustralya – Büyük Set Resifi koruma programı Palau – Geniş Ölçekli Deniz Koruma Alanı (MPA)	Marmara Denizi Eylem Planı Nesli Tehlikedeki Deniz Canlılarının Korunması
SKA 15: Karasal Yaşam 	Kara ekosistemlerinin, ormanların korunması.	Kosta Rika – Orman koruma teşvikleri Etiyopya – Yeşil Miras Çin – Büyük Yeşil Duvar Projesi (Great Green Wall)	Milli Ağaçlandırma Seferberliği Milli Parklar ve Korunan Alanlar Ağı
SKA 16: Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar 	Hukukun üstünlüğü, kapsayıcı kurumlar.	Norveç – Yolsuzlukla mücadele politikaları Finlandiya – Kapsayıcı adalet sistemi ve düşük yolsuzluk	Yargı Reformu Strateji Belgesi Cumhurbaşkanlığı İletişim Merkezi (CİMER)
SKA 17: Amaçlar için Ortaklıklar 	Küresel ortaklıklar ve iş birliği mekanizmaları.	Finansal Ortaklık – Yeşil İklim Fonu (Green Climate Fund - GCF): Küresel Sağlık Ortaklığı – Gavi, Aşı İttifakı	Kalkınma Ortaklığı (Türk İşbirliği ve Koordinasyon Ajansı Başkanlığı - TİKA)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 1’de sunulan örnekler sürdürülebilir kalkınma uygulamalarının hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde farklı sektörler ve politika araçları aracılığıyla hayata geçirilebildiğini göstermektedir. Her bir SKA kendi bağlamına uygun yerel, ulusal ve bölgesel ölçekli girişimlerle desteklenmiş olup, ekonomik büyüme ile çevresel koruma ve sosyal refah arasındaki dengeyi sağlamayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda sürdürülebilir kalkınmanın sadece küresel düzeyde kabul edilmiş bir ilke değil aynı

zamanda somut ve ölçülebilir sonuçlar üreten uygulamaya dönük bir dönüşüm süreci olduğu görülmektedir.

Sürdürülebilir kalkınma amaçlarına ulaşmak için mevcut üretim ve tüketim kalıplarının da köklü biçimde yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Özellikle geleneksel doğrusal ekonomi modelinin sonucu olan kaynak kullanımında verimsizlik, atık oluşumunun artmasına ve ekosistem üzerinde geri dönüşmesi güç olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bundan dolayı doğal kaynakların korunması, ekonomik sürdürülebilirlik ve toplumsal refahın arttırılması amacıyla sürdürülebilir ekonomi modellerine geçiş ihtiyacı doğmuştur.

Bu çerçevede, bir sonraki bölümde doğrusal ekonomi modelinden daha sürdürülebilir olan döngüsel ekonomi ve yeşil ekonomi modellerine geçiş süreçleri ve bu modellerin sürdürülebilir kalkınma vizyonuna katkı potansiyelleri kısaca değerlendirilecektir.

1.2. Sürdürülebilir Ekonomi Modellerine Geçiş

Küresel düzeyde ekonomik faaliyetlerin doğal çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin belirginleşmesiyle birlikte, sürdürülebilir ekonomi modellerine geçiş giderek daha fazla önem kazanmıştır. Geleneksel doğrusal ekonomik model, kaynak kullanımı, üretim süreçleri ve tüketim sonrası atık yönetimi açısından çeşitli sınırlılıklar içermektedir. Bu model, ekolojik ve sosyal maliyetleri artırarak sürdürülemez bir yapı ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, ekonomik faaliyetlerin ekolojik sınırlar içinde yeniden tanımlanması zorunlu hale gelmiştir. Sonuç olarak kaynakları daha etkin kullanan, çevresel ve sosyal açıdan daha duyarlı ekonomik sistemlerin geliştirilmesine olan ihtiyaç ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda sürdürülebilir ekonomi modelleri, ekonomik büyümenin çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği ile uyumlu biçimde yeniden yapılandırılmasını hedefleyen alternatif yaklaşımlar olarak değerlendirilmektedir (Kirchherr vd., 2017).

Sürdürülebilir ekonomiye geçiş sürecinde, mevcut ekonomik modellerin revize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, geleneksel ekonomideki doğrusal yaklaşımın neden olduğu doğal kaynak tüketimi ve kontrolsüz atık oluşumunu azaltmayı hedefleyen yeni ekonomi modelleri ön plana çıkmıştır. Bu dönüşüm sürecinde literatürde

doğrusal ekonomi ile tam anlamıyla döngüsel ekonomi arasında bir geçiş aşaması olarak değerlendirilen geri dönüşüm ekonomisi yaklaşımı dikkat çekmektedir. Geri dönüşüm ekonomisi, üretim ve tüketim süreçleri sonucunda ortaya çıkan atıkların yeniden işlenerek ekonomik sisteme kazandırılmasını amaçlamakta ve böylece ikincil hammadde kullanımını artırarak kaynak verimliliğine katkı sağlamaktadır (Ghisellini vd., 2016). Bu yaklaşım doğrusal sistemin tamamen ortadan kaldırılmasını sağlamasa da, atıkların ekonomik değer taşıyan bir girdi olarak değerlendirilmesini mümkün kılarak sürdürülebilir üretim ve tüketim süreçlerine geçişte önemli bir ara model olarak kabul edilmektedir.

Sürdürülebilir ekonomi modellerine geçiş sürecinde geri dönüşüm faaliyetlerinin yaygınlaştırılması, doğal kaynak tüketimini azaltmanın yanı sıra enerji tasarrufu sağlanması ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi açısından da önemli katkılar sunmaktadır. Bununla birlikte yalnızca geri dönüşüme dayalı yaklaşımlar, kaynak kullanımını azaltma ve atık oluşumunu önleme açısından sınırlı bir etkiye sahip olabilmektedir. Bu nedenle literatürde geri dönüşüm ekonomisinin, daha kapsamlı bir sistem dönüşümünü ifade eden döngüsel ekonomi modeline geçişin önemli bir aşaması olduğu vurgulanmaktadır (Geissdoerfer vd., 2017).

Benzer şekilde, yeşil ekonomi yaklaşımı da ekonomik kalkınmanın çevre dostu uygulamalarla desteklenmesini amaçlamaktadır. Yeşil ekonomi, çevresel sürdürülebilirliği ekonomik büyüme ile uyumlu hale getirmeyi hedefleyen bir yaklaşım olup düşük karbonlu üretim, kaynak verimliliği ve çevresel risklerin azaltılması gibi unsurları ön plana çıkarmaktadır (UNEP, 2011). Buna karşılık döngüsel ekonomi modeli, üretim süreçlerinin yeniden tasarlanmasını, ürünlerin kullanım ömrünün uzatılmasını, yeniden kullanım ve geri dönüşüm uygulamalarının sistematik biçimde geliştirilmesini öngören daha kapsamlı bir dönüşüm yaklaşımı sunmaktadır. Bu modelde üretim süreçleri yeniden tasarlanarak kaynak verimliliği ve geri kazanım ön plana çıkarılmaktadır.

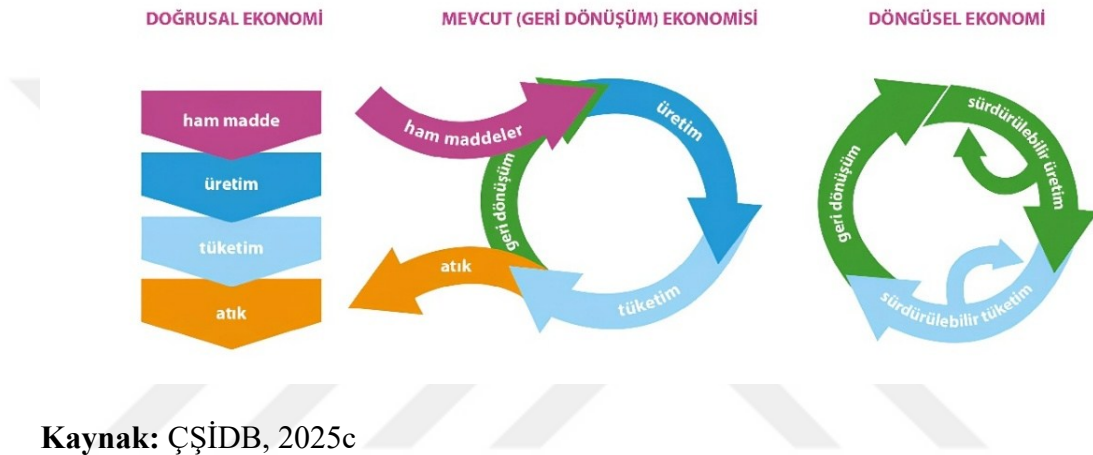
Sürdürülebilir ekonomi modellerine geçişi daha iyi kavrayabilmek için öncelikle geleneksel doğrusal ekonominin temel özellikleri ve sürdürülebilirlik açısından taşıdığı sınırlılıklar incelenmektedir. Ardından, doğrusal ekonomi ile döngüsel ekonomi arasında önemli bir geçiş aşaması olarak değerlendirilen geri dönüşüm ekonomisi ele alınmakta; sonrasında ise günümüzde sürdürülebilir kalkınmanın teorik çerçevesinde sıkça

vurgulanan döngüsel ekonomi ve yeşil ekonomi modelleri değerlendirilmektedir. Böylece sürdürülebilir ekonomi modelleri arasındaki kavramsal farklılıklar ve birbirleriyle olan dönüşüm ilişkisi daha kapsamlı biçimde ortaya konulmaktadır.

Bu dönüşüm süreci, doğrusal ekonomi, geri dönüşüm ekonomisi ve döngüsel ekonomi modelleri arasındaki ilişki çerçevesinde Şekil 2’de şematik olarak gösterilmektedir.

Şekil 2.

Kaynak Kullanımına Göre Ekonomik Modeller



Kaynak: ÇŞİDB, 2025c

Şekil 2’de doğrusal ekonominin tek yönlü üretim–tüketim–atık süreci, geri dönüşüm ekonomisinde atıkların kısmen yeniden üretim süreçlerine dahil edilmesi ve döngüsel ekonomide ise kaynakların sistem içinde sürekli dolaşımda tutulduğu sürdürülebilir üretim ve tüketim yapısı karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

1.2.1. Doğrusal Ekonomi

Sanayi devrimi sonrası dönemde baskın hale gelmiş olan doğrusal ekonomi modeli, ekonomik kalkınma süreçlerinde uzun yıllar boyunca temel çerçeveyi oluşturmuştur (Dabija ve Năstase, 2024). Bu model doğal kaynakların çıkarılmasıyla başlayan, bu kaynakların üretim sürecinde kullanılması ve nihai olarak tüketildikten sonra atık olarak doğaya bırakılmasıyla sona eren doğrusal bir akışa dayanmaktadır. Doğrusal ekonomi modeli kaynakların sınırsız ve sürekli erişilebilir olduğu varsayımı üzerine kurulmuştur. Kaynakları koruma gereksinimi olmadığından dolayı üretim süreci “al, yap, kullan, at” şeklinde özetlenmektedir (Abbas vd., 2025, s. 1; MacArthur, 2013, s. 6; Neves

ve Marques, 2022, s. 1). Özellikle kısa vadede yüksek ekonomik büyüme ve üretim kapasitesi sağlama potansiyeline sahip olması modelin avantajları arasında yer almaktadır. Bu modelin temel amacının kar maksimizasyonu olması, uygulama sürecindeki görece basitliği, düşük başlangıç maliyetleri ve mevcut altyapılara kolaylıkla entegre edilebilmesi gibi unsurlar, modelin kısa sürede yaygınlık kazanmasına olanak sağlamıştır.

Ancak bu modelin sürdürülebilirlik açısından önemli yapısal sınırlılıkları bulunmaktadır. Doğal kaynakların hızla tükenmesi, enerji ve hammadde maliyetlerinde gözlemlenen sürekli artış, atıkların ve sera gazı emisyonlarının hızla artmasından kaynaklanan çevresel bozulmanın derinleşmesi ve biyolojik çeşitliliğin azalması doğrusal ekonomik modelin başlıca dezavantajları arasında yer almaktadır (Ghisellini vd., 2016, s. 14). Atıkların ekonomik döngüye yeniden kazandırılmaması, kaynak verimliliğinin gözetilmemesi ve enerji yoğun yöntemlerin yaygın kullanımı çevresel tahribatın yanı sıra uzun vadeli ekonomik maliyetleri de artırmaktadır. Atık miktarının sürekli artması hem sınırlı depolama alanları hem de yüksek bertaraf maliyetleri nedeniyle ülkeler üzerinde ciddi ekonomik ve çevresel baskılar oluşturmaktadır. Ayrıca atıkların kontrolsüz bir biçimde çevreye bırakılması, toprak, su ve hava kirliliğine yol açmakta, iklim değişikliğinin hızlanmasına katkıda bulunmakta, insan sağlığı üzerinde geri dönüşü mümkün olmayan olumsuz etkiler yaratmakta, karbon emisyonlarının yüksek seyretmesine ve ekosistem hizmetlerinin bozulmasına neden olmaktadır (Geissdoerfer, 2017, s. 757).

Doğrusal ekonomi modeli, kısa vadede üretim ve tüketim talebini karşılamada etkin görünse de uzun vadede ekolojik dengeyi bozmakta, kaynak kıtlığı riskini artırmakta ve sürdürülebilir kalkınma amaçları ile çelişen bir yapı sergilemektedir (Korhonen vd., 2018, s. 37). Bu modelin çevre ve doğal kaynaklar üzerinde bıraktığı olumsuz etkiler daha sürdürülebilir ekonomik modele duyulan gereksinimi ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda sürdürülebilirlik tartışmalarında yeşil ekonomi, geri dönüşüm ekonomisi ve döngüsel ekonomi modelleri ön plana çıkmaktadır.

1.2.2. Geri Dönüşüm Ekonomisi

Geri dönüşüm ekonomisi, doğrusal ekonomi modelinin çevresel ve ekonomik sınırlılıklarına karşı geliştirilen, ancak tam anlamıyla döngüsel ekonomi niteliği taşımayan bir ara dönüşüm modeli olarak değerlendirilebilir. Bu modelde temel amaç, üretim ve tüketim süreçleri sonunda ortaya çıkan atıkların geri kazanılarak yeniden ekonomik sisteme dâhil edilmesidir. Dolayısıyla geri dönüşüm ekonomisi, doğrusal sistemin “al-yap-kullan-at” mantığını bütünüyle ortadan kaldırmamakta; ancak oluşan atıkları ikincil hammadde olarak değerlendirerek kaynak kullanım baskısını kısmen azaltmayı hedeflemektedir. Bu yönüyle geri dönüşüm ekonomisi, sürdürülebilirlik yönünde önemli bir ilerleme sağlamakla birlikte, esas olarak ürün yaşam döngüsünün son aşamasına müdahale eden bir yapı sergilemektedir (Lemille, 2019; Sardianou vd., 2024).

Literatürde geri dönüşüm ekonomisi çoğu zaman döngüsel ekonominin ilk ve daha dar kapsamlı biçimi olarak ele alınmaktadır. Sardianou vd. (2024) değerlendirmesine göre döngüsel ekonomi kavramı başlangıçta önemli ölçüde “geri dönüşüm ekonomisi” perspektifiyle tanımlanmış; yani kaynakların ürüne dönüştürülmesi ve kullanım sonrasında tekrar geri kazanılması fikri ön plana çıkmıştır. Bununla birlikte sonraki literatür, yalnızca geri dönüşüme dayalı sistemlerin döngüsellliği tam olarak sağlayamadığını; çünkü tasarım, dayanıklılık, onarım, yeniden kullanım ve yeniden üretim gibi daha üst düzey döngüsel stratejilerin bu çerçevede yeterince yer almadığını göstermiştir (Lemille, 2019; Webster, 2021).

Geri dönüşüm ekonomisinin temel mantığı, atıkların ekonomik değer taşıyan bir girdi olarak yeniden değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu kapsamda atıkların ayrıştırılması, toplanması, işlenmesi ve yeniden üretim süreçlerine kazandırılması yoluyla hem doğal kaynak tüketiminin azaltılması hem de üretim maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Özellikle metal, plastik, cam, kâğıt ve organik atık akışlarında geri dönüşüm faaliyetleri; ikincil hammadde arzı, enerji tasarrufu ve atık bertaraf maliyetlerinin azaltılması bakımından önemli katkılar sağlayabilmektedir. Bu nedenle geri dönüşüm ekonomisi, çevresel faydalarının yanı sıra kaynak verimliliği, maliyet etkinliği ve yeni ekonomik faaliyet alanları oluşturması bakımından da önem taşımaktadır (Barford ve Ahmad, 2021).

Bununla birlikte geri dönüşüm ekonomisinin bazı yapısal sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle bu yaklaşım, çoğu durumda atığın ortaya çıkmasını önlemekten ziyade atık oluşuktan sonra onu sisteme geri kazandırmaya odaklanmaktadır. Dolayısıyla üretim ve tüketim sistemlerinin tasarım mantığında köklü bir değişim yaratmaksızın, daha çok “uç-son” müdahale mekanizmalarına dayalı kalabilmektedir. Nitekim güncel çalışmalar, özellikle yalnızca geri dönüşüme dayalı politikaların, ürünlerin ömrünü uzatma, yeniden kullanım ve kaynak tüketimini baştan azaltma gibi daha güçlü döngüsel stratejilere kıyasla daha sınırlı bir dönüşüm kapasitesine sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu çerçevede geri dönüşüm ekonomisi, doğrusal ekonomi ile döngüsel ekonomi arasında bir geçiş aşaması olarak görülmekte; ancak tek başına yeterli bir sürdürülebilirlik modeli olarak değerlendirilmemektedir (Webster, 2021).

Bu nedenle geri dönüşüm ekonomisi, sürdürülebilir ekonomi modellerine geçişte önemli fakat ara bir basamak olarak yorumlanmalıdır. Söz konusu model, atıkların tamamen değersiz çıktılar olarak değil, ekonomik sisteme yeniden kazandırılacak kaynaklar olarak görülmesini sağlaması bakımından önemli bir zihniyet değişimine işaret etmektedir. Ancak sürdürülebilirliğin daha ileri aşamada kurumsallaşabilmesi için geri dönüşümün ötesine geçen; ürün tasarımı, tüketim alışkanlıklarını, iş modellerini ve üretim süreçlerini dönüştüren daha bütüncül bir çerçeveye ihtiyaç bulunmaktadır. Bu noktada döngüsel ekonomi, geri dönüşüm ekonomisinin sağladığı kazanımları daha ileri taşıyan kapsamlı bir sistem dönüşümü olarak öne çıkmaktadır (Kirchherr vd. 2023).

1.2.3. Yeşil Ekonomi

Yeşil ekonomi, ekonomik büyümenin ekolojik sınırlar içerisinde gerçekleştirilmesini ve sosyal eşitliğin gözetilmesini hedefleyen, çevre dostu bir kalkınma modelidir (WCED, 1987). Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından “insan refahını artırırken çevresel riskleri ve ekolojik kısıtlığı önemli ölçüde azaltan ekonomi” olarak tanımlanan yeşil ekonomi hem doğal sermayenin korunmasını hem de ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir kullanımını öncelikli hedef olarak benimsemektedir. Bu yaklaşım, ekonomik kalkınma ile çevresel koruma arasındaki geleneksel çatışma varsayımını reddederek çevre dostu teknolojiler ve sürdürülebilir üretim-tüketim kalıpları aracılığıyla bu iki alanın uyumlu hale getirilebileceğini savunmaktadır (Loiseau, 2016, s. 361).

Yeşil ekonominin temel amaçları arasında temiz üretim teknolojilerinin teşvik edilmesi, düşük karbon ekonomisine geçiş, enerji verimliliğinin artırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması, sürdürülebilir tarım ve ormancılık uygulamaları ile atıkların azaltılması yer almaktadır (Loiseau vd., 2016, s. 363). Bu model, aynı zamanda yeşil istihdam yaratma potansiyeli sayesinde sosyal refahın artırılmasına da katkı sağlamaktadır. Özellikle temiz enerji, çevre teknolojileri, sürdürülebilir tarım, su yönetimi, atık yönetimi ve ekolojik restorasyon gibi sektörler yeşil ekonominin istihdam yaratma kapasitesini göstermektedir (Barbier, 2010, s. 43).

Yeşil ekonomi modelinde üretim süreçlerinde atık oluşumu en aza indirilmektedir. Bu modelde yer alan “kirleten öder” ilkesi, genişletilmiş üretici sorumluluğu ve döngüsel tedarik zincirleri gibi mekanizmalar ile atıkların ekonomik bir değere dönüştürülmesi amaçlanmaktadır. Böylelikle atıklar yalnızca bertaraf edilmesi gereken bir yük olarak değil üretim süreçlerinde girdi olarak değerlendirilen ve ekonomik sistemin işleyişine entegre edilen unsurlar haline gelmektedir. Doğal kaynakların tüketimi yavaşlamakta hem de atık bertarafına ilişkin yönetim maliyetleri uzun vadede azalma eğilimine girmektedir. (Misztal ve Dziekański, 2023, s. 2).

Yeşil ekonomiye geçiş süreci yalnızca çevresel faydalar sağlamakla kalmamakta aynı zamanda ekonomik dayanıklılığı da güçlendirmektedir. Kaynak verimliliğinin artması ve enerji maliyetlerinin düşmesi işletmelerin rekabet gücünü artırırken, atık vergileri, karbon fiyatlandırma mekanizmaları ve geri dönüşüm teşvikleri gibi politika araçları da ekonomik birimlerin sürdürülebilir üretim ve tüketim biçimlerine yönelmesine katkı sağlamaktadır. Ancak, yeşil ekonominin yaygınlaştırılmasında dönüşüm maliyetleri, teknolojik altyapı eksiklikleri ve politik uyum süreçlerindeki gecikmeler gibi dezavantajlarla karşılaşilmektedir (Bina, 2013, s. 1024).

Yeşil ekonomi yaklaşımı, kaynak kullanımının optimize edilmesine, atıkların oluşumunun azaltılması ve mevcut atıkların ekonomik döngüye yeniden kazandırılmasına, ekosistem hizmetlerinin korunmasına ve uzun vadede ekonomik sistemin çevresel sınırlar içinde büyümesine katkı sağlamaktadır. Bu önemli katkılarından dolayı sürdürülebilir kalkınma amaçlarıyla doğrudan örtüşmektedir.

Ekonomik büyümeyi ekolojik ve sosyal boyutlarla birlikte ele alan yeşil ekonomi modeli üretim ve tüketim süreçlerini kapalı devre mantığında yeniden tasarlayan ve bir

sonraki bölümde detaylı biçimde incelenecek olan döngüsel ekonomi modeliyle birlikte sürdürülebilir ekonomiye geçişin temel unsurlarından birini oluşturmaktadır.

1.2.4. Döngüsel Ekonomi

Geleneksel ekonomi yaklaşımında üretim süreçleri genellikle doğrusal bir çerçevede ele alınmaktadır. Bu anlayışta, doğal kaynak bir girdi olarak üretim sürecine dahil edilir ve üretim sonunda ürünler oluşturulur. Bu üretim sürecinin her aşamasında ve tüketim sonucunda çok miktarda atık meydana gelir. Hem kaynakların tükenmesi hem de ortaya çıkan atıkların çevresel etkileri bu ekonomi anlayışında ikinci planda kalmaktadır (George vd., 2015, s. 60). Sadece ekonomik çıktıya odaklanan doğrusal ekonomi modeli, yenilenmeyen kaynakların hızla tükenmesi, ekosistem hizmetlerinin zayıflaması ve atık yönetiminde sistemsiz krizlerin ortaya çıkma riskini beraberinde getirmektedir (Geng ve Doberstein, 2008; Lieder ve Rashid, 2016, s. 36). Dolayısıyla ekonomik faaliyetlerin sadece çıktı odaklı olarak değil de ekosistem bütünlüğünü bozmayan, kaynak döngüsellliğini sağlayan ve atık önleme stratejilerini dikkate alan bir perspektifte yeniden tasarlanması gerekmektedir. Bu noktada hem ekonomik verimliliğe hem de çevresel sürdürülebilirliğe eş zamanlı olarak odaklanan döngüsel ekonomi modeli ortaya çıkmıştır.

Döngüsel ekonomi (circular economy), ekonomik sistemlerin tasarımında kaynak döngüsellliğini, atık oluşumunun önlenmesini ve doğal sermayenin korunmasını esas alan sürdürülebilir bir ekonomik modeldir (Ghisellini vd., 2016, s. 16; Murray vd. 2017, s. 371). Avrupa Çevre Ajansı (EEA, 2016) döngüsel ekonomiyi, “ürün, malzeme ve kaynak değerinin ekonomide mümkün olduğunca uzun süre korunması ve atık oluşumunun asgariye indirilmesi” şeklinde ifade etmektedir. Bu yaklaşım, Sanayi Devrimi'nden bu yana küresel ekonomiye hakim olan ve "al-kullan-at" (take-make-dispose) esasına dayalı doğrusal ekonomi modelinin yerine “azalt–yeniden kullan–geri dönüştür” (reduce–reuse–recycle) ilkeleri üzerine inşa edilmektedir (Kirchherr vd., 2017).

Literatürde döngüsel ekonominin üç temel ilke üzerine konumlandırılmıştır. Bunlar, atık ve kirliliğin tasarım aşamasında önlenmesi, ürün ve malzemelerin değerinin döngüde tutulması, doğal sistemlerin yenilenmesidir (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Bu ilkeler doğrultusunda ürün tasarımında modülerlik, geri dönüştürülebilir malzeme kullanımı, onarım, yeniden üretim (remanufacturing) ve yenileme

(refurbishment) gibi stratejiler ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kullanımı, endüstriyel simbiyoz uygulamaları ve kapalı döngü üretim sistemleri de modelin uygulama alanlarını genişletmektedir.

Döngüsel ekonominin yaygınlaştırılması, yalnızca işletme stratejileri düzeyinde değil, aynı zamanda politika ve mevzuat boyutunda da güçlü düzenlemeler gerektirir. Avrupa Birliği'nin 2020 tarihli Yeni Döngüsel Ekonomi Eylem Planı, plastik, elektronik, tekstil ve inşaat sektörlerinde kaynak döngüselliğini artırmaya yönelik zorunlu ekotasarım standartları, ürün pasaportları, genişletilmiş üretici sorumluluğu mekanizmaları ve atık bertarafına ilişkin kısıtlamalar gibi politika araçlarını içermektedir (European Commission, 2020). OECD (2024) ise döngüsel ekonomiyi, sürdürülebilir ve düşük karbonlu kalkınma stratejilerinin ayrılmaz bir parçası olarak tanımlamaktadır.

Döngüsel ekonominin en önemli avantajı, kaynak verimliliğini artırarak ekonomik büyüme ile çevresel baskı arasındaki ilişkiyi zayıflatmasıdır. Ürün tasarımından başlayarak, hammadde kullanımının en aza indirilmesi, ürünlerin daha uzun ömürlü ve tamir edilebilir şekilde üretilmesi, kullanım sonrası ise atıkların ayrıştırılarak değerli materyallerin geri kazanılması, döngüsel ekonominin temel prensiplerindendir. Böylelikle plastik, elektronik, metal, tekstil gibi atık kategorilerinde geri kazanım oranları artırılarak yeni hammadde ihtiyacı azaltılır ve doğrudan bertaraf edilen atık miktarı minimum seviyeye indirilir (Korhonen vd., 2018, s. 43).

Atıklar, ekonomik sistemin dışına çıkan bir yük olmaktan çıkarak, yeniden üretim süreçlerinde kullanılabilen bir kaynak haline gelmektedir. Bu hem doğal kaynakların korunmasını sağlamakta hem de atık bertarafı ve depolama maliyetlerini azaltmaktadır. Özellikle belediyeler tarafından katı atık yönetiminin etkin bir şekilde planlanması, atık toplama, ayrıştırma, geri dönüşüm (recycling) ve ileri dönüşüm (upcycling) süreçlerinin döngüsel ekonomi prensipleriyle bütünleştirilmesi sürecin etkinliği açısından önem arz etmektedir. Döngüsel ekonominin hayata geçirilmesi yalnızca çevresel fayda sağlamakla kalmamakta aynı zamanda ekonomik sistemin dış şoklara karşı daha dayanıklı olmasını ve yeni iş modellerinin ortaya çıkmasını mümkün kılmaktadır (Berg vd., 2018, s. 7; Lazarevic ve Valve, 2017, s. 63).

Sürdürülebilir kalkınma amaçlarına ulaşmada önemli rol oynayan döngüsel ekonomi modelinin yaygınlaşmasında önemli zorluklar bulunmaktadır. Bu zorluklara

mevcut altyapı yetersizlikleri, tedarik zincirlerinin dönüşümü, mevzuat eksiklikleri ve toplumsal davranışların değişimi örnek olarak gösterilebilmektedir. Başarılı bir dönüşüm için çok paydaşlı iş birliği, kamu-özel sektör ortaklıkları, yenilikçi finansman modelleri ve toplumsal bilinç düzeyinin artırılması kritik öneme sahiptir. Uzun vadede döngüsel ekonomi modeli hem ekonomik büyümenin sürdürülebilirliğini sağlamakta hem de çevresel riskleri yönetilebilir düzeye indirmektedir (Korhonen vd., 2018, s. 41; Steenmans ve Lesniewska, 2023, s. 2).

Döngüsel ekonomi modeli kaynak verimliliği, atık azaltımı ve ekosistem bütünlüğünün korunması yönünde sunduğu sistematik yaklaşım ile sürdürülebilir kalkınma amaçlarına doğrudan katkı sağlamaktadır (Knable vd., 2022, s. 233). Ancak bu modelin hayata geçirilmesi yalnızca üretim-tüketim zincirlerinin yeniden tasarlanması ile sınırlı olmayıp, aynı zamanda teknolojik, çevresel ve operasyonel dönüşüm süreçlerinin bütüncül olarak yönetilmesini gerektirmektedir. Bu noktada yeşil dönüşüm, dijital dönüşüm ve yalın dönüşüm gibi tamamlayıcı dönüşüm eksenleri, sürdürülebilir ekonomik modellerin uygulanabilirliğini artıran kritik araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bir sonraki bölümde bu dönüşüm eksenleri ele alınacak ve “ikiz dönüşüm” ile “üçüz dönüşüm” kavramsallaştırmaları çerçevesinde bütünleşik bir dönüşüm perspektifi ortaya konulacaktır.

1.3. Sürdürülebilir Ekonomiye Geçişin Araçları

Ekonomi modelleri bir ekonomik sistemin kaynak tahsisini, üretim ve tüketim süreçlerini, değer yaratma ve dağıtma biçimlerini belirleyen kavramsal çerçevelerdir. Doğrusal ekonomi, döngüsel ekonomi veya yeşil ekonomi gibi modeller, sistemin nasıl işlemesi gerektiğine ilişkin uzun vadeli bir vizyon sunar. Buna karşın, dönüşüm süreçleri, mevcut ekonomik yapının belirli hedefler doğrultusunda yeniden yapılandırılmasını ifade eder. Dijital dönüşüm, yeşil dönüşüm veya yalın dönüşüm gibi yaklaşımlar, bu hedef sistemlere ulaşmak için uygulanan stratejik değişim adımlarını tanımlar. Başka bir ifadeyle, ekonomi modeli “hedef durumu” tarif ederken, dönüşüm süreci “mevcut durumdan hedef duruma geçişin” yöntem ve araçlarını ortaya koyar. Bu nedenle, sürdürülebilir ekonomi modellerinin hayata geçirilebilmesi yalnızca kavramsal çerçevenin belirlenmesiyle değil, aynı zamanda bu dönüşüm süreçlerinin etkin biçimde tasarlanması ve uygulanmasıyla mümkün olacaktır.

Bu kavramsal çerçeve dönüşüm süreçlerinin yalnızca teknik bir uyarlama değil, aynı zamanda küresel ölçekteki ekonomik, çevresel ve toplumsal hedeflerin bütünleşik biçimde ele alınmasını gerektiren stratejik bir yönelim olduğunu göstermektedir. Küresel ölçekte, sürdürülebilir kalkınma amaçları ile rekabetçilik, verimlilik ve dayanıklılık amaçları artık birbirinden bağımsız ele alınamayacak ölçüde bütünleşmiştir. Bu durum, entegre politika ve uygulama setlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda yeşil dönüşüm, dijital dönüşüm ve yalın dönüşüm, ekonomik sistemlerde kaynak verimliliğini artıran, çevresel etkileri azaltan ve operasyonel mükemmelliği kurumsallaştıran tamamlayıcı dönüşüm eksenleri olarak öne çıkmaktadır. Literatürde, özellikle dijital ve yeşil dönüşümlerin eş zamanlı yürütülmesini tanımlayan “ikiz dönüşüm” (twin transition) kavramı yerleşmiş durumdadır. Dijital ve yeşil dönüşüme yalın dönüşümün de eklenmesi ile hem kurumsal hem ulusal ölçekte bütüncül bir dönüşüm gündemi oluşturan “üçüz dönüşüm” yaklaşımı ortaya çıkarmaktadır (European Commission, 2020; 2021).

1.3.1. Yeşil Dönüşüm

Yeşil dönüşüm ekonomik büyüme hedeflerinin ekosistem bütünlüğü ile uyumlu hale getirilmesini, karbon yoğunluğunun azaltılmasını ve kaynak kullanım verimliliğinin artırılmasını esas alan bir süreç olarak tanımlanmaktadır (OECD, 2011; UNEP, 2011). Bu yaklaşım iklim değişikliği ile mücadele, biyoçeşitliliğin korunması ve döngüsel ekonomi uygulamalarının yaygınlaştırılmasını kapsayan bütüncül bir strateji gerektirmektedir. Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Commission, 2019) ve AB Döngüsel Ekonomi Eylem Planı gibi politika çerçeveleri, sanayi ve ticaretin düşük karbonlu ve kaynak verimli modellere geçişini teşvik etmektedir (Ayturan vd., 2025, s. 13). Türkiye özelinde yeşil dönüşüm, 2053 net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda enerji verimliliği, yenilenebilir enerji yatırımları ve temiz üretim teknolojilerinin sanayide yaygınlaştırılmasıyla somutlaşmaktadır. Bu dönüşüm süreci aynı zamanda firmaların küresel değer zincirlerindeki rekabet gücünü artırmakta ve yeşil finansman olanaklarına erişimini kolaylaştırmaktadır (Koç ve Demirtaş, 2023, s. 23; Tepe, 2023, s. 13).

1.3.2. Dijital Dönüşüm

Dijital dönüşüm iş süreçlerinin, ürünlerin ve hizmetlerin bilgi ve iletişim teknolojileri (BİT), nesnelerin interneti (IoT), büyük veri analitiği, yapay zeka (AI) ve bulut bilişim gibi dijital teknolojiler ile yeniden yapılandırılma süreci olarak tanımlanmaktadır (Brennen ve Kreiss, 2016; Vial, 2019). Bu dönüşüm süreci Endüstri 4.0 paradigma çerçevesinde üretim sistemleri siber-fiziksel yapılara evrilmekte, akıllı fabrikalar ve veri temelli karar alma mekanizmaları ön plana çıkmaktadır (Kagermann vd., 2013; Schwab, 2024). Dijital dönüşüm yalnızca verimlilik ve maliyet avantajı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda tedarik zincirlerinin şeffaflığını ve esnekliğini artırmakta, uzaktan erişim ve otomasyon sayesinde krizlere karşı direnç kapasitesini geliştirmektedir. Türkiye’de dijital dönüşüm “Milli Teknoloji Hamlesi” vizyonu kapsamında sanayide model fabrikalar, e-belge sistemleri, KOBİ destek programları ve siber güvenlik altyapılarının güçlendirilmesi gibi uygulamalarla desteklenmektedir (Barlin, 2025, s. 22; Koç, 2023, s. 13).

1.3.3. Yalın Dönüşüm

Yalın dönüşüm Toyota Üretim Sistemi’nin temel prensipleri üzerine inşa edilen, israfın ortadan kaldırılması, süreçlerin sürekli iyileştirilmesi ve müşteri değerinin maksimize edilmesi esasına dayalı yönetim yaklaşımıdır (Javadian Kootanaee, 2013, s. 7; Liker, 2020; Ohno, 2019, s. 4). Yalın dönüşüm dijitalleşme ile bütünleştirildiğinde “Yalın Endüstri 4.0 (Lean-Industry 4.0)” sinerjisi yaratmakta, üretim hatlarındaki gereksiz adımların ortadan kaldırılmasını, enerji ve malzeme kullanımının optimize edilmesini sağlamaktadır (Buer vd., 2018, s. 1926; Jabbour vd., 2013, s. 131). Ayrıca çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik “yeşil-yalın (lean-green)” uygulamalarla desteklenerek hem operasyonel verimlilik hem de sürdürülebilirlik performansını artırmaktadır (Garza-Reyes, 2015, s. 24). Türkiye’de yalın dönüşüm özellikle model fabrikalar, verimlilik merkezleri ve sanayi işletmelerine yönelik yalın üretim eğitim/danışmanlık programları aracılığıyla yaygınlaştırılmaktadır (Barlin, 2025, ss. 21-22).

1.3.4. İkiz ve Üçüz Dönüşüm

İkiz dönüşüm (twin transition), dijital dönüşüm ile yeşil dönüşümün eş zamanlı ve birbirini güçlendirici biçimde yönetilmesini ifade etmektedir. Avrupa Komisyonu, ikiz dönüşümün dijital teknolojilerin yeşil hedeflere hız ve ölçek kazandırdığını, yeşil hedeflerin ise dijitalleşmeyi sürdürülebilirlik odaklı ve toplumsal faydayla uyumlu hale getirdiğini belirtmektedir (European Commission, 2020; 2021). Avrupa Komisyonu, bu iki dönüşümün sinerjisini politika merkezine alarak, Avrupa'nın gelecekteki rekabet gücünün bu ikiz dönüşümün başarısına bağlı olduğunu belirtmektedir. (EEA, 2021).

İkiz dönüşüm kavramı, dijitalleşme ile yeşil dönüşüm arasındaki sinerjiyi açıklamakta önemli bir zemin sunarken bu çerçevede zamanla üçüz dönüşüm (triple transformation) perspektifiyle genişletilmektedir (OECD, 2023). Üçüz dönüşüm yalnızca teknolojik ve ekolojik dönüşümlere değil aynı zamanda toplumsal boyuta, yani insan odaklılığa ve sosyal adalete vurgu yapmaktadır. Bu çerçevede, teknolojik ve ekolojik dönüşümler yalnızca çevresel ve dijital hedeflere odaklanmakla kalmayıp, aynı zamanda insan refahını, beceri gelişimini ve adil bir geçiş sürecini merkeze almalıdır (European Heritage Hub., 2025). Yeşil ve dijital dönüşümlerin getirdiği yapısal değişimlerin çalışanlar ve toplum üzerindeki etkilerinin yönetilmesi, yeni yetkinliklerin kazandırılması ve süreçlerin yalın prensipler doğrultusunda optimize edilmesi, dönüşümün hem sürdürülebilir hem de kapsayıcı olmasını mümkün kılar. Dolayısıyla üçüz dönüşüm; ekolojik açıdan sağlam (yeşil), teknolojik olarak yenilikçi (dijital) ve insan odaklı/verimli (yalın/sosyal) bir gelecek vizyonu sunmaktadır (Interreg Europe, 2024).

Dijital, yeşil ve yalın dönüşümler ile bunların bütünleşik yaklaşımlarını ifade eden ikiz ve üçüz dönüşüm perspektifleri sürdürülebilir ekonomik yapıların inşasında temel bir yönelim ortaya koymaktadır (Sofidel Group, 2023). Bu dönüşümler özellikle kaynak verimliliğinin artırılması, atık oluşumunun önlenmesi, geri dönüşüm oranlarının yükseltilmesi ve çevresel etkilerin minimize edilmesi gibi hedefler açısından kritik öneme sahiptir.

1.3.5. Yeşil Taksonomi

Sürdürülebilir ekonomi politikalarının etkin biçimde uygulanabilmesi için çevresel hedeflerin yalnızca politika belgelerinde tanımlanması yeterli olmamakta, aynı

zamanda bu hedeflere yönlendirilecek finansal kaynakların da açık biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda geliştirilen önemli araçlardan biri Yeşil Taksonomi (Green Taxonomy) yaklaşımıdır. Avrupa Birliği tarafından geliştirilen AB Taksonomisi, ekonomik faaliyetlerin çevresel açıdan sürdürülebilir olup olmadığını belirlemek amacıyla oluşturulmuş bir sınıflandırma sistemidir. Bu sistem, yatırımcıların ve politika yapıcıların sürdürülebilir faaliyetleri tanımlamasına yardımcı olarak finansal kaynakların çevre dostu ekonomik faaliyetlere yönlendirilmesini amaçlamaktadır (ÇŞİDB, 2024; European Commission, 2024).

AB Taksonomisi kapsamında ekonomik faaliyetlerin sürdürülebilir olarak kabul edilebilmesi için belirlenen çevresel hedeflere önemli ölçüde katkı sağlaması ve diğer çevresel hedeflere zarar vermemesi gerekmektedir. Bu çerçevede taksonomi sistemi altı temel çevresel hedef üzerine kurulmuştur. Bunlar; iklim değişikliğinin azaltılması, iklim değişikliğine uyum, su ve deniz kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı, döngüsel ekonomiye geçiş, kirliliğin önlenmesi ve kontrolü ile biyolojik çeşitliliğin ve ekosistemlerin korunmasıdır (CASEM, 2024; European Commission, 2024).

Yeşil taksonomi yaklaşımı, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılabilmesi için çevresel, dijital ve ekonomik dönüşüm süreçlerinin finansal mekanizmalarla desteklenmesini sağlayan önemli bir politika aracı olarak değerlendirilmektedir. Bu yönüyle ikiz ve üçüz dönüşüm süreçleri ile doğrudan ilişkilidir. Ancak sürdürülebilir ekonomi modellerinin etkileri yalnızca finansal sistemle sınırlı kalmayıp, kamu politikaları ve yerel yönetim uygulamalarında da somut biçimde ortaya çıkmaktadır (CASEM, 2024; Doyle, 2021). Bu bağlamda sürdürülebilirlik ilkelerinin pratiğe yansıdığı en önemli alanlardan biri belediye düzeyinde yürütülen katı atık yönetimi faaliyetleridir. Dolayısıyla bir sonraki bölümde, sürdürülebilir ekonomi modelleri ve dönüşüm yaklaşımlarıyla doğrudan veya dolaylı ilişki içerisinde bulunan belediye katı atık yönetiminin ekonomik ve çevresel etkileri ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM

2. BELEDİYE KATI ATIK YÖNETİMİNİN EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Birinci bölümde sürdürülebilir kalkınmanın kuramsal temelleri ve sürdürülebilir ekonomi modellerine geçiş süreci ele alınmıştır. Bu çerçevede, ekonomik faaliyetlerin çevresel sınırlar içerisinde yeniden yapılandırılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda belediye katı atık yönetimi, yalnızca teknik bir hizmet alanı değil; ekonomik büyüme, çevresel kalite ve toplumsal refah üzerinde etkiler üreten stratejik bir politika aracı olarak değerlendirilmektedir. Bu bölümde katı atık yönetiminin kavramsal ve tarihsel gelişimi ile atık yönetim hiyerarşisinin evrimi ele alınmakta; dünyada ve Türkiye’deki uygulamalar ile kalkınma planları çerçevesindeki politika yönelimi incelenmektedir. Ayrıca katı atık yönetiminin çevresel ve ekonomik etkileri literatür ışığında değerlendirilerek çalışmanın ampirik analizine teorik bir zemin oluşturulmaktadır.

2.1. Katı Atık Yönetimi

Katı atık yönetimi, katı atıkların üretiminden nihai bertarafına kadar geçen tüm süreçlerin planlanmasını, uygulanmasını, kontrol edilmesini ve izlenmesini kapsayan bütünsel bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Bilgili, 2020, s. 92; Razzaq vd., 2023, s. 4). Bu sistem, atıkların kaynağında azaltılması, ayrıştırılması, toplanması, taşınması, geri dönüşüm, geri kazanım ve bertaraf gibi çeşitli faaliyetleri içermektedir (Demirbaş, 2011, s. 1281; Singh vd., 2014a, s. 347). Katı atık yönetimi, sürdürülebilir kalkınma amaçlarının gerçekleştirilmesi açısından kritik bir role sahiptir ve bu yönüyle ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları ile çok disiplinli bir yaklaşımı gerektirmektedir (Elsheekh vd., 2021, s. 1; Rodić ve Wilson, 2017, s. 1).

Katı atıkların yönetimi, özellikle çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında büyük önem taşımaktadır. Artan nüfus, hızlı kentleşme ve tüketim alışkanlıklarındaki değişimlerden dolayı atık üretim miktarları sürekli artış göstermektedir (Chen, 2018, s. 828; Zaman ve Lehmann, 2011, s. 177). Etkin olmayan atık yönetimi uygulamaları, toprak, hava ve su gibi temel çevresel bileşenlerin kirliliğine neden olarak insan sağlığını

ve ekosistem dengesini tehdit eder hale gelmiştir (Roy vd., 2022) . Bu bağlamda, katı atık yönetiminin en temel amacı, atıkların çevresel etkilerini minimize etmek ve doğal kaynakların korunmasını sağlamaktır (Abubakar vd., 2022, s. 1; Mor ve Revindra, 2023, s. 510).

Katı atık yönetiminin doğru uygulanmasıyla önemli ekonomik kazanımlar sağlanabilmektedir. Geri dönüşüm ve geri kazanım faaliyetleri sayesinde atıklar ekonomik açıdan değerli bir kaynak olarak yeniden değerlendirilebilmekte ve üretim süreçlerinde yeni hammaddelere dönüştürülebilmektedir. Böylece doğal kaynaklara olan talep azaltılmakta, üretim maliyetleri düşürülmekte ve yeni istihdam olanakları yaratılarak ekonomik büyümeye katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda modern atık yönetim sistemlerinde, döngüsel ekonomi anlayışı çerçevesinde atıklar değerli bir kaynak olarak görülmektedir (Baud vd., 2001, s. 3; Liu vd., 2020, s. 283).

Katı atık yönetimi, çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik gelişim ve toplum sağlığı açısından bütünsel bir yaklaşımla ele alınması gereken önemli bir konudur. Geçmişten günümüze katı atık yönetimi anlayışında yaşanan değişim ve gelişmeler, bu alandaki uygulamaların ve teknolojilerin sürekli olarak yenilenmesini gerekli kılmaktadır. Atık yönetimiyle ilgili uygulama, teknoloji ve politikadaki değişimleri doğru şekilde ortaya koymak, konunun tarihsel gelişimini aktarmak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda hazırlanan bir sonraki bölümde, katı atık yönetiminin tarihsel süreç içerisindeki gelişimi ayrıntılı olarak incelenerek konunun daha iyi anlaşılmasına katkı sağlanmaktadır.

2.1.1. Katı Atık Yönetiminin Gelişimi

Katı atık yönetiminin tarihsel gelişimi, insanlık tarihi kadar eskidir. İnsanlar, ilk çağlardan itibaren yaşam faaliyetleri sonucu oluşan atıkları yönetmek ve bertaraf etmek için çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Tarihin erken dönemlerinde atık yönetimi anlayışı, genellikle atıkların yaşam alanlarından uzaklaştırılması biçiminde ortaya çıkmıştır. Antik çağlarda, özellikle ilk kentleşme örneklerinde atıkların doğrudan çevreye bırakılması, ciddi sağlık sorunlarına neden olmuş ve bu durum, atıkların daha organize bir şekilde uzaklaştırılmasını gerekli kılmıştır. Mezopotamya, İndus Vadisi, Eski Mısır ve Roma gibi erken uygarlıklarda kanalizasyon sistemlerinin geliştirilmesi, atık yönetiminde atılan ilk

sistemantik adımlar olarak kabul edilmektedir (Angelakis vd., 2022, s. 2; Lofrano ve Brown, 2010, ss. 5255-5259; Sandhu, 2014, s. 618).

Roma İmparatorluğu döneminde atık yönetimi sistemantik hale gelmiş, sokaklardan çöplerin toplanması ve atıkların şehir dışına taşınarak gömülmesi gibi uygulamalar ortaya çıkmıştır. Bu dönemde atık yönetimi, halk sağlığını koruma amacını taşımakta olup, modern atık yönetimi anlayışının temelini oluşturmuştur. Roma'nın ardından Orta Çağ Avrupa'sında ise atık yönetimi uygulamalarının gerilediği görülmüştür. Bu dönemde kent nüfusunun artmasına karşın altyapı eksikliği ve atıkların uygun olmayan yerlere dökülmesi nedeniyle salgın hastalıklar ciddi sorunlar yaratmıştır (Starovoytova, 2018, s. 71; Wilson, 1976, s. 123; Yıldız vd., 2013, s. 58).

18. yüzyılın sonlarında İngiltere'de başlayan Sanayi Devrimi ile birlikte katı atık yönetiminde önemli bir dönüşüm yaşanmıştır. Sanayi Devrimi sonrasında hızla artan nüfus ve kentleşme oranları, atık üretiminin dramatik ölçüde artmasına neden olmuştur (Caglar vd., 2024, s. 6040; Singh vd., 2014b, s. 800). Özellikle İngiltere gibi erken sanayileşmiş ülkelerde, atık sorunu ciddi boyutlara ulaşarak önemli bir çevresel ve toplumsal mesele haline gelmiştir. Bu doğrultuda, 19. yüzyılın ortalarından itibaren katı atıkların toplanması ve bertaraf edilmesine yönelik sistemlerin yaygınlaştığı görülmektedir (Sandhu, 2014, s. 619; Yıldız vd., 2013, s. 59). Bu gelişmelerin sonucunda, atıkların bertarafında alternatif bir yöntem olarak 1874 yılında İngiltere'nin Nottingham şehrinde dünyanın ilk çöp yakma tesisi kurulmuştur (NRL, 2024).

20. yüzyılın başlarında şehirlerdeki hijyen ve sağlık koşullarının iyileştirilmesi için modern atık yönetim uygulamaları geliştirilmeye başlanmıştır. Bu dönemde özellikle ABD ve Avrupa'da düzenli çöp toplama ve bertaraf tesisleri kurulmuştur. 1937 yılında ABD'nin Kaliforniya eyaletinde ilk hijyenik çöp sahası açılmıştır (Melosi, 2005, s. 182). 1950'lerden sonra tüketim toplumunun yükselişiyle atık miktarları daha da artmış, bu durum atık yönetiminde yeni yaklaşımların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Geleneksel yöntemlerin yetersiz kalmasıyla birlikte geri dönüşüm ve geri kazanım kavramları önem kazanmıştır. Özellikle ABD ve AB ülkelerinde geri dönüşüm ve geri kazanım tesisleri kurulmaya başlanmış ve zamanla teknolojik olarak da gelişim göstermiştir (Collectors Weekly, 2013; Zylberberg, 2019).

1970'li yıllarda çevre hareketlerinin yükselişiyle birlikte, atık yönetimi artık yalnızca sağlık açısından değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da değerlendirilmeye başlanmıştır. Bu dönemde Avrupa Birliği'nin 1975 yılında yürürlüğe koyduğu Atık Çerçeve Direktifi önemli bir adım olmuştur. Bu direktif, atık yönetiminin çevresel boyutunu ön plana çıkarmış, atıkların bertaraf edilmesi yerine azaltılması, yeniden kullanılması ve geri dönüşüm gibi sürdürülebilir uygulamalara öncelik verilmesini sağlayan atık yönetim hiyerarşisinin temelini oluşturmuştur. Direktif, 2008 yılında kapsamlı biçimde güncellenerek (Directive 2008/98/EC), Avrupa ülkelerinde ortak atık yönetimi standartlarının oluşturulmasını ve daha yüksek geri dönüşüm hedeflerinin benimsenmesini sağlamıştır (Gharfalkar vd., 2015, s. 305; Pathak ve Palani, 2022, s. 15; Taelman vd., 2018, s. 3).

1999 yılında yürürlüğe giren Depolama Alanları Direktifi (Directive 1999/31/EC) ile atıkların düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmesi konusunda çevresel etkilerin azaltılması hedeflenmiştir. 2002 yılında yürürlüğe giren Elektrikli ve Elektronik Atık Direktifi (WEEE Directive 2002/96/EC) ile bu tür atıkların yönetimine özel önem verilmiş ve elektronik atıkların geri dönüşümünün artırılması hedeflenmiştir. Bu direktif, 2012 yılında yeniden düzenlenmiştir (Directive 2012/19/EU).

Avrupa Birliği, 2015 yılında Döngüsel Ekonomi Eylem Planı'nı kabul ederek atık yönetimini daha kapsamlı bir sürdürülebilirlik stratejisinin parçası haline getirmiştir. Bu plan, atık oluşumunun önlenmesi ve kaynakların daha verimli kullanılması gibi temel ilkeler üzerine kurulmuştur. 2018 yılında çıkarılan Döngüsel Ekonomi Eylem Paketi ile Atık Çerçeve Direktifi ve Depolama Alanları Direktifi gibi mevzuatlar tekrar güncellenmiştir. Ayrıca, 2019'da ilan edilen Avrupa Yeşil Mutabakatı, AB'nin 2050'de iklim nötr bir kıta olma hedefi doğrultusunda atık yönetimi politikalarını geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, sürdürülebilir uygulamaların daha ileri seviyeye taşınması hedeflenmektedir.

Dünya genelinde Japonya, İsveç, Almanya ve Hollanda gibi ülkeler atık yönetiminde öncü uygulamalara sahiptir. Japonya'nın "3R" (Reduce, Reuse, Recycle) politikasına dayanan atık yönetimi, atık miktarını büyük ölçüde azaltmıştır. İsveç, atıkları enerji üretiminde kullanarak atık miktarını önemli ölçüde azaltmış ve bu konuda dünyaya örnek teşkil eden bir sistem oluşturmuştur. Almanya ve Hollanda ise yüksek geri dönüşüm

oranları ile atık yönetimi alanında küresel standartları belirleyen ülkeler arasında yer almaktadır.

Günümüzde ise katı atık yönetimi, atıkların sadece bertaraf edilmesini değil, aynı zamanda geri dönüşüm, kaynak geri kazanımı ve döngüsel ekonomi ilkelerine uygun biçimde yeniden kullanımını hedeflemektedir. Özellikle 21. yüzyılda sıfır atık yaklaşımının benimsenmesiyle atık yönetim stratejileri yeniden şekillenmiş ve sürdürülebilir kalkınmanın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu tarihsel süreç boyunca yaşanan gelişmeler ve dönüşümler, katı atık yönetiminin günümüzdeki modern anlayışına temel oluşturmuştur.

2.1.2. Katı Atık Yönetim Hiyerarşisi

Katı atık yönetim hiyerarşisi, atıkların çevresel etkilerini en aza indirmek ve kaynak verimliliğini artırmak amacıyla, atık yönetiminde uygulanması gereken yöntemleri önem ve öncelik sırasına göre yapılandıran çerçevesel bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır (Wilson, 2013). Bu yaklaşım, atıkların oluşumunun önlenmesiyle başlayıp, sırasıyla yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım ve en son çare olarak bertaraf edilmesini içeren sistematik bir önceliklendirme sunar. Böylece, doğal kaynakların korunması, çevresel kirliliğin azaltılması ve ekonomiye geri dönüşüm yoluyla katkı sağlanması hedeflenmektedir (Van Ewijk ve Stegemann, 2016, s. 126).

Avrupa Birliği'nde bu anlayış ilk kez 1975 yılında kabul edilen Atık Çerçeve Direktifi (Council Directive 75/442/EEC) ile resmi politika belgelerine dahil edilmiştir. 2008 yılında yürürlüğe giren 2008/98/EC sayılı yeni Atık Çerçeve Direktifi ve sonrasında yapılan güncellemelerle bu hiyerarşik yapı daha da pekiştirilmiştir. Günümüzde atık yönetimi hiyerarşisi, sürdürülebilir atık politikalarının temel ilkelerinden biri olarak birçok ülkenin ulusal mevzuatında yer almakta ve uygulamada rehberlik etmektedir.

Atık yönetim hiyerarşisinin en önemli unsuru, atık oluşumunu önlemenin ve atık miktarını azaltmanın her zaman daha düşük maliyetli ve çevre dostu sonuçlar vermesidir (Gertsakis ve Lewis, 2003). Bu nedenle, hiyerarşinin ilk ve en öncelikli basamağında atık oluşumunun önlenmesi yer almaktadır. İkinci aşamada ise, kullanım ömrünü tamamlamamış veya yeniden değerlendirilme potansiyeli taşıyan ürünlerin tekrar kullanımı ve geri dönüşümü ön plana çıkmaktadır (Singh vd., 2014a). Geri dönüşümle

değerlendirilemeyen atıklar için ise enerji geri kazanım yöntemleri devreye girmektedir. Özellikle yakma tesislerinde atıklardan enerji elde edilmesi hem hacim azaltma hem de enerji üretimi açısından tercih edilen bir yöntemdir. Hiyerarşinin son basamağını ise, artık hiçbir şekilde değerlendirilemeyen atıkların düzenli depolama alanlarında nihai bertarafı veya yakma sonrası oluşan kalıntıların güvenli şekilde gömülmesi oluşturmaktadır. Böylece, çevresel etkiler ve toplumsal maliyetler en aza indirgenirken, atıklardan elde edilebilecek ekonomik fayda da azami düzeye çıkarılmaya çalışılmaktadır.

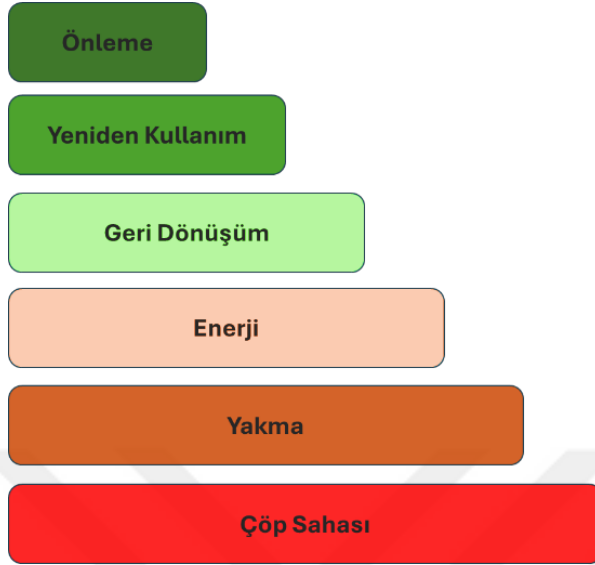
Atık yönetim hiyerarşisinin oluşum süreci ve tarihsel gelişimi, güncel uygulamaların anlaşılması açısından büyük önem taşır. Antik dönemlerden günümüze kadar uzanan atık yönetimi uygulamaları, başlangıçta halk sağlığını korumak ve kent temizliğini sağlamak amacıyla geliştirilmiş olsa da modern dönemdeki çevresel farkındalık artışıyla birlikte daha kapsayıcı ve sürdürülebilir bir bakış açısıyla ele alınmaya başlanmıştır (Zaman ve Lehmann, 2011). Bu doğrultuda, geleneksel atık yönetim hiyerarşisinden modern atık yönetim hiyerarşine, oradan da sıfır atık yönetim hiyerarşisine doğru evrilen yaklaşım, atık yönetimine ilişkin algıların ve mevzuatın sürekli güncellendiğini yansıtmaktadır. Takip eden alt başlıklarda bu farklı hiyerarşik modellerin ortaya çıkış nedenleri, uygulama biçimleri ve sınırlılıkları ayrıntılı biçimde değerlendirilmektedir.

2.1.2.1. Geleneksel Atık Yönetim Hiyerarşisi

Geleneksel atık yönetim hiyerarşisi, katı atıkların çoğunlukla bertaraf edilmesine odaklanan ve çevresel etkilerin görece sınırlı biçimde dikkate alındığı bir yaklaşımı yansıtır. Bu modelin tarihsel köklerinde, "Lansink'in Merdiveni (Ladder of Lansink)" adıyla bilinen ve Hollandalı parlamenter Ad Lansink tarafından 1979 yılında sunulan önerge önemli bir yer tutar. Şekil 3'de sunulan Lansink'in Merdiveni, atık yönetimine dair öncelik sıralamasını ortaya koyan ilk yazılı çerçevelerden biri olarak kabul edilir. Bu yaklaşım, bertaraf yerine atık oluşumunun önlenmesini merkeze alması bakımından dönüştürücü bir perspektif sunmaktadır (Ewijk ve Stegemann, 2016, ss. 123-124; Lansink, 1979).

Şekil 3.

Lansink'in Merdiveni (Ladder of Lansink)



Lansink'in Merdiveni, atık yönetimini altı basamakta ele almaktadır: önleme (prevention), yeniden kullanım (reuse), geri dönüşüm (recycling), enerji geri kazanımı (energy), yakma (incineration) ve nihai bertaraf (disposal). Bu yapının ilk üç basamağı, modern ve sürdürülebilir atık yönetimi anlayışının temel prensiplerini yansıtırken; geleneksel hiyerarşide genellikle öncelik halk sağlığının korunması ve atıkların hızlı bir şekilde bertaraf edilmesi olmuştur. Bu nedenle, geçmişte atıkların ekonomik bir kaynak olarak değerlendirilmesi geri planda kalmış, çevresel kaygılar ise sınırlı ölçüde dikkate alınmıştır (Wilson vd., 2013). Ancak buna rağmen, Lansink'in Merdiveni'nin sunduğu çerçeve, bertaraf odaklı geleneksel yaklaşımdan uzaklaşarak daha çevreci ve bütüncül bir anlayışa geçişin ilk adımlarından biri olarak kabul edilmektedir.

20. yüzyılın ortalarına kadar olan dönemde, birçok ülkede atık yönetimi uygulamaları büyük ölçüde atık toplama ve düzenli depolama gibi fiziksel uzaklaştırma yöntemlerine dayanmaktaydı (EPA, 2025a). Bu dönemde, artan kentleşme ve nüfus yoğunluğu karşısında büyük çöp sahaları inşa edilerek atıklar genellikle gömme veya yakma yoluyla bertaraf edilmiştir. Hijyen ve estetik kaygılar nedeniyle bu sahalar çoğunlukla şehir merkezlerinden uzak bölgelerde konumlandırılmıştır (Melosi, 2005). Söz konusu sistemin temel amacı, toplum sağlığını korumaya yönelik kısa vadeli çözümler üretmek olmuştur. Ancak bu yaklaşım, sera gazı salınımı, yeraltı suyu kirliliği ve hava kirliliği gibi çevresel etkileri büyük ölçüde göz ardı etmiştir (Singh vd., 2014a).

Şekil 4.

Geleneksel Atık Hiyerarşisi



Şekil 4’de gösterilen geleneksel atık hiyerarşisi, yukarıda da belirtildiği gibi atıkların genellikle gömme veya yakma yoluyla bertaraf edildiğini göstermektedir. Bu hiyerarşik yapı atıkların öncelik sıralamasına göre değil, tercih sıralamasına göre yönetildiğini göstermektedir. Bu sıralamada bertaraf (disposal) en yaygın tercih edilen yöntem iken, azaltma (reduction) en az tercih edilen yöntem olarak yer almaktadır. Ancak bu geleneksel yaklaşım zaman içinde dönüşüme uğrayarak tercih sıralamasından ziyade önem sıralamasına dayanan bir yapıya evrilmiştir.

2.1.2.2. Modern Atık Yönetim Hiyerarşisi

Zaman içerisinde atık yönetiminin sadece bertaraf odaklı bir süreç olmadığı, aksine atıkların yeniden değerlendirilebileceği anlaşılmış ve bu anlayış modern atık yönetim hiyerarşisinin temelini oluşturmuştur.

Modern Atık Yönetim Hiyerarşisi, Avrupa Birliği’nin Atık Çerçeve Direktifi’nden (Directive 2008/98/EC) esinlenilerek geliştirilen, atık yönetim süreçlerinin sürdürülebilirliği ve çevresel etkilerini en aza indirme amacını taşıyan kapsamlı bir çerçevedir. Şekil 5’te gösterilen bu hiyerarşik yapı, ters çevrilmiş bir piramit şeklinde tasarlanmış olup, yukarıdan aşağıya doğru ilerledikçe önem düzeyi azalmaktadır.

Şekil 5.

Modern Atık Yönetim Hiyerarşisi



Modern Atık Yönetim Hiyerarşisi şu beş temel basamaktan oluşur (EPA, 2025b):

Önleme (Prevention): Önleme atık oluşumunu henüz üretim aşamasında engellemeye odaklanır. Bu yöntem sürdürülebilir tüketim ve üretim uygulamaları aracılığıyla kaynak kullanımının azaltılması, yeniden kullanılabilir ürünlerin tercih edilmesi ve daha az atık üreten teknolojilerin geliştirilmesini içerir. Atık üretimini kaynağında azaltarak, doğal kaynak tüketimini en aza indirmek ve çevresel etkileri önemli ölçüde azaltmak mümkündür. Tek kullanımlık plastik ürünler yerine yeniden doldurulabilir şişelerin tercih edilmesi önlemeye önemli bir örnektir.

Yeniden Kullanım İçin Hazırlama (Preparing for Reuse): Bu aşama atık haline gelmiş fakat küçük müdahalelerle yeniden kullanıma hazır hale getirilebilecek ürünleri kapsar. Ürünlerin temizlenmesi, onarılması veya yenilenerek tekrar kullanılabilir hale getirilmesi süreçlerini içerir. Böylece ürünlerin yaşam döngüsü uzatılarak, atık miktarının azaltılması ve kaynak tasarrufu sağlanır. Burada da cam şişelerin yıkanıp tekrar doldurulması örnek olarak verilebilmektedir.

Geri Dönüşüm (Recycling): Geri dönüşüm atıkların malzeme veya madde olarak tekrar üretim sürecine dahil edilmesini ifade eder. Cam, plastik, metal ve kağıt gibi malzemelerin toplanması, ayrıştırılması ve işlenerek yeniden üretime kazandırılması bu aşamada gerçekleşir. Geri dönüşüm enerji tüketimini azaltarak doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur ve çevresel sürdürülebilirliği destekler. Atık kağıtlardan

karton ve hurda metallere yeni metal hammaddeler elde ederek geri dönüşüm sağlanabilmektedir.

Geri Kazanım (Recovery): Geri kazanım geri dönüşümü mümkün olmayan atıkların enerji elde etmek amacıyla kullanılması anlamına gelir. Bu süreç genellikle atıkların yakılarak elektrik veya ısı enerjisine dönüştürülmesi şeklinde gerçekleşir. Böylece atıkların hacmi azalırken, enerji üretimi ile ekonomiye katkı sağlanmış olur. Organik atıktan biyogaz ve kentsel atıklardan yakılarak enerji elde etmek geri kazanımın en önemli örneklerindendir.

Bertaraf (Disposal): Bertaraf modern atık hiyerarşisinin en son basamağıdır ve diğer yöntemlerin uygulanamadığı durumlarda kullanılır. Bu yöntem atıkların çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde güvenli olarak düzenli depolama sahalarında gömülmesini ya da kontrollü biçimde yakılmasını kapsar. Bertaraf atık yönetimi süreçlerinde son çare olarak değerlendirilir ve mümkün olan en düşük düzeyde uygulanması hedeflenir. Atık yönetiminde toplanan atıkların vahşi depolama sahalarında tutulması da en istenmeyen bertaraf yöntemi olarak bilinmektedir.

Modern Atık Yönetim Hiyerarşisi sürdürülebilir kalkınma amaçlarına ulaşmak, ekonomik verimliliği artırmak ve çevresel zararları minimize etmek için kritik bir çerçeve sunmaktadır (Gharfalkar vd., 2015, s. 305). Bu hiyerarşi hem politika yapıcılar hem de uygulayıcılar için atık yönetimi süreçlerinde yol gösterici bir rol oynamaktadır.

Bu modern hiyerarşi geleneksel modele kıyasla çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği konularını daha çok ön plana çıkarmaktadır (Wilson vd., 2015). Örneğin birçok AB ülkesinde depolama vergileri artırılmış veya kota konularak düzenli depolama oranları sınırlandırılmıştır. Bu sayede üreticilerin daha az atık üretmeye ve geri dönüşüme yönelmeye teşvik edildiği bir sistem tasarlanmıştır. Ayrıca modern yaklaşımla birlikte atık yönetiminde döngüsel ekonomi (circular economy) kavramı benimsenmiş, atıkların yalnızca bertaraf edilmesi gereken madde olarak görülmesi yerine değerli birer kaynak olduğu fikri yaygınlaşmıştır.

2.1.2.3. Sıfır Atık Yönetim Hiyerarşisi

Döngüsel ekonominin giderek önem kazanması atık yönetimi yaklaşımlarını daha da geliştirerek sıfır atık (zero waste) kavramının ortaya çıkmasını sağlamıştır (Connett,

2013). Modern atık hiyerarşisinin ileri bir aşaması olarak kabul edilen sıfır atık yönetim hiyerarşisi, “geri kazanım” ve “bertaraf” aşamalarını ön planda tutan geleneksel yaklaşımdan köklü biçimde ayrılmaktadır. Bu yaklaşımda atıkların tamamen ortadan kaldırılması ya da en azından minimum düzeye indirilmesi hedeflenmektedir (Lehmann ve Zaman, 2013). Sıfır atık hiyerarşisi atığın oluşum aşamasından başlayarak ürünlerin yaşam döngüsü boyunca mümkün olduğunca yeniden kullanım, geri dönüşüm ve onarım olanaklarının artırılmasını ilke edinmiştir (ZWIA, 2025).

Son yıllarda atık konusunun önemi artmış bu doğrultuda yapılan çalışmalar ve projeler de yoğunlaşmıştır. Bu bağlamda ortaya çıkan yenilikçi atık yönetim yaklaşımlarından biri olan sıfır atık kavramı, dünyada giderek büyüyen atık sorununa alternatif bir çözüm olarak görülmektedir (Connett, 2013; Zaman, 2015). Sıfır atık yaklaşımının gelişmesinde atık bertaraf yöntemlerinin yarattığı riskler, çevresel kaygıların artması, kaynakların hızla tükenmesi, küresel ısınma tehdidi, artan tüketim eğilimi ve atıkların ekonomik değerine yönelik farkındalığın yükselmesi etkili olmuştur (Dileep, 2007; Murray, 1999).

Sıfır atık yaklaşımının benimsenmesiyle birlikte atık yönetim hiyerarşisi de daha sürdürülebilir ve çevre odaklı bir anlayış doğrultusunda yeniden şekillendirilmiştir. Avrupa Birliği destekli kuruluşlardan biri olan Zero Waste Europe (ZWE) tarafından geliştirilen ve Şekil 6’te gösterilen Sıfır Atık Hiyerarşisi atık yönetimine ilişkin en güncel ve sürdürülebilir yaklaşımı temsil etmektedir. Bu modelde hiyerarşinin üst basamaklarında yer alan yöntemler çevresel ve ekonomik açıdan daha öncelikli ve sürdürülebilir kabul edilirken alt basamaklar, mümkün olduğunca kaçınılması gereken yöntemleri ifade etmektedir.

Şekil 6.

Sıfır Atık Yönetim Hiyerarşisi (ZWE, 2019)



Sıfır Atık Yönetim Hiyerarşisi aşağıdaki basamaklardan oluşmaktadır:

Reddetme / Yeniden Düşünme / Yeniden Tasarlama (Refuse/Rethink/Redesign): Atık oluşumunu daha başlangıç aşamasında önlemek için ürünlerin tasarım ve üretim süreçlerinin yeniden gözden geçirilmesini hedefler. Bu yöntem daha sürdürülebilir ve çevre dostu ürünlerin ortaya çıkmasını sağlar. Gereksiz ambalajlı ürünlerin satın alınmaması veya üreticilerin tek kullanımlık plastikleri üretimden kaldırması reddetme eyleminin örneklerindendir.

Azaltma ve Yeniden Kullanma (Reduce and Reuse): Kaynak kullanımını azaltarak, ürünlerin kullanım ömürlerini uzatmayı amaçlar. Bu sayede daha az atık oluşur ve ürünler daha uzun süre ekonomide kalır. Cam şişelerin depozito sistemiyle tekrar kullanıma sunulması veya ofislerde tek kullanımlık bardaklar yerine yıkanabilir kupaların tercih edilmesi azaltma ve yeniden kullanıma örnek olarak verilebilmektedir.

Geri Dönüşüm / Kompostlama / Anaerobik Çürütme (Recycling / Composting / Anaerobic Digestion): Atıkların materyal olarak yeniden kullanılması veya organik atıkların biyolojik yöntemlerle işlenmesi sonucu yeni ürünlerin elde edilmesi sürecidir. Bu yöntem doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunur. Kağıt, plastik ve cam

atıkların ayrı toplanıp geri dönüşüm tesislerine gönderilmesi, organik mutfak atıklarının kompost edilmesi ve büyük ölçekli organik atıkların anaerobik çürütme tesislerinde biyogaza dönüştürülmesi bu aşamanın en önemli örneklerindendir.

Yeniden Kullanım için Hazırlama (Preparation for Reuse): Atık durumundaki ürünlerin gerekli işlemlerden geçirilerek tekrar kullanılabilir hale getirilmesini sağlar. Bu aşamada ürünlerin temizlenmesi, onarılması veya yenilenmesi gerçekleştirilir. Kullanılmış mobilyaların tamir edilerek ikinci el piyasasında yeniden satılması, elektronik eşyaların onarılarak tekrar kullanıma sunulması yeniden kullanım için hazırlamanın uygulama örneklerindendir.

Malzeme ve Kimyasal Geri Kazanım (Material and Chemical Recovery): Atıklardaki değerli maddelerin kimyasal veya fiziksel yöntemlerle geri kazanılması ve üretime yeniden dahil edilmesini kapsar. Bu yöntem, ham madde talebini azaltarak ekonomik fayda sağlar. Atık elektronik devre kartlarından değerli metallerin (örneğin altın, bakır, paladyum) kimyasal çözücülerle ayrıştırılarak geri kazanılması bu aşamaya örnek olarak verilebilmektedir.

Kalıntıların Yönetimi (Residuals Management): Diğer yöntemlerle geri kazanılamayan atıkların çevresel etkilerini minimize etmek amacıyla güvenli ve sürdürülebilir yöntemlerle yönetimini ifade eder. Atık yakma tesislerinden çıkan küllerin düzenli depolama alanlarında çevresel kontrol altında bertaraf edilmesi kalıntı yönetimine örnektir.

Kabul Edilemez (Unacceptable): Çevresel etkileri yüksek ve sürdürülemez bertaraf yöntemlerini içerir. Bu yöntemler tamamen kaçınılması gereken son seçenek olarak görülür ve mümkün olduğunca ortadan kaldırılmalıdır. Atıkların doğaya kontrolsüz biçimde bırakıldığı vahşi depolama alanları kabul edilemez uygulamaların en belirgin örneğidir.

Bu yapı, geleneksel hiyerarşide ön planda yer alan geri kazanım ve bertaraf gibi yöntemlerin önemini azaltmakta; atık oluşumunu daha başlangıç aşamasında engellemeye yönelik stratejilere ağırlık vermektedir (Zaman ve Lehmann, 2013). Böylece sıfır atık yönetim hiyerarşisi, yalnızca atıkların azaltılmasını değil, kaynakların verimli kullanımını, çevresel etkilerin en aza indirilmesini ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıyı da hedefleyen bütüncül bir sistem olarak öne çıkmaktadır.

2.1.3. Dünyada ve Türkiye’de Katı Atık Yönetimi

Katı atık yönetimi, küresel ölçekte çevresel sürdürülebilirliğin ve kaynak verimliliğinin sağlanmasında temel politika alanlarından biri olarak kabul edilmektedir. Hızla artan nüfus, kentleşme oranı ve tüketim eğilimleri atık miktarının her geçen yıl yükselmesine yol açmaktadır. Bu durum hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde etkili atık yönetim sistemlerinin oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır. Bu sistemlerin oluşumları ülkelerin ekonomisi, yasal çerçevesi, teknolojik altyapısı ve toplumsal bilinç düzeylerine göre farklılık göstermektedir. Dünyada katı atık yönetiminin gelişim sürecinin bilinmesi Türkiye’nin mevcut durumunu değerlendirmek için oldukça önemlidir. İzleyen bölümlerde dünyada ve Türkiye’de atık yönetiminin tarihçesi, mevcut durumu ve geleceği incelenmektedir.

2.1.3.1.Dünyada Katı Atık Yönetimi Genel Durumu

Dünyada katı atık yönetimi konusu, çevresel sürdürülebilirlik, kaynak verimliliği ve ekonomik kalkınma açısından büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda birçok ülke, katı atıkların etkin yönetimini sağlayacak yenilikçi ve sürdürülebilir politikalar geliştirmiştir. Avrupa Birliği (AB), katı atık yönetiminde öncü kuruluşlardan biridir ve uzun yıllara dayanan ve sistematik olarak güncellenen mevzuatıyla birçok ülkeye örnek teşkil etmektedir. AB’nin atık yönetimi politikalarının temeli, ilk olarak 1975 yılında çıkarılan Atık Çerçeve Direktifi (1975/442/EEC) ile atılmıştır. Bu direktifte temel hedef, atıkların toplanması, taşınması, depolanması, işlenmesi ve bertaraf edilmesi süreçlerinde çevre ve insan sağlığının korunmasıdır. Direktifin 2008 yılında güncellenmiş versiyonu (2008/98/EC) ile atık yönetim hiyerarşisinin bileşenleri oluşturulup ve üye devletler için geri dönüşüm hedefleri belirlenmiştir.

AB öncülüğünde ilerleyen atık yönetiminin gelişim süreci, yıllar itibari ile hazırlanan direktifler, eylem planları ve çeşitli anlaşmalar ile son halini almıştır. Bu süreçte yapılmış olan bazı önemli düzenlemeler kronolojik biçimde sıralanmıştır.

1986 yılında Tehlikeli Atıklar Direktifi (Directive 86/278/EEC) kabul edilmiştir. Bu direktif, tehlikeli atıkların yönetimi ve bertarafı konusunda kapsamlı düzenlemeler getirmiştir. Ayrıca arıtma çamurunun tarımda kullanımı için uygun sınır değerlerin belirlenmesi ve kullanım koşullarının netleştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Arıtma

çamurunun insan, hayvan, bitki sağlığı ve çevre üzerindeki zararlı etkilerinden kaynaklanabilecek riskleri önlemek amacıyla, kullanılmadan önce gerekli güvenlik önlemlerinin alınması öngörölmüştür.

1999 yılında yayınlanan Depolama Alanları Direktifi (Directive 1999/31/EC), atıkların düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmesine odaklanmıştır. Direktif, depolama alanlarının çevresel etkilerini azaltmaya yönelik spesifik hedefler ve standartlar içermektedir.

2002 yılında Atık Elektrikli ve Elektronik Ekipman Direktifi (WEEE Directive 2002/96/EC) yürürlüğe girmiştir. Bu direktif, elektrikli ve elektronik atıkların çevresel etkilerini azaltmayı ve kaynakların verimli kullanımını teşvik eden kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. WEEE Direktifi, 2012 yılında güncellenmiş (Directive 2012/19/EU) ve bu güncellemeyle elektronik atıkların çevresel etkilerini azaltmak, kaynak kullanımını iyileştirmek ve geri dönüşüm oranlarını artırmak hedeflenmiştir. Ayrıca üreticilerin, ürünlerinin kullanım ömrü sonunda geri toplama, işleme ve geri dönüştürme konularındaki sorumlulukları artırılmıştır.

2006 yılında kabul edilen Atık Piller ve Akümülatörler Direktifi (Directive 2006/66/EC), atık piller ve akülerin çevreye verdiği zararları minimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu direktif, çevrenin korunmasına ve iyileştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

2015 yılında “Döngüsel Ekonomi Eylem Planı” kabul edilmiştir. Bu plan, kaynakların verimli kullanımını artırmaya ve atıkların geri dönüşümünü teşvik eden politikaları içermektedir. Ardından 2018 yılında Döngüsel Ekonomi Eylem Paketi ilan edilmiş; bu paket Atık Çerçeve Direktifi (Directive 2018/851/EU), Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Direktifi (Directive 2018/852/EU), Depolama Alanları Direktifi (Directive 2018/850/EU) ve Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atıkları Direktifinin (Directive 2018/849/EU) güncellenmiş versiyonlarını içermiştir.

2019 yılında yayınlanan “Avrupa Yeşil Mutabakatı”, Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar dünyanın ilk iklim-nötr kıtası olma hedefine ulaşmasını amaçlayan kapsamlı bir stratejidir. Bu stratejide atıkların azaltılması, kaynakların yeniden kullanımı ve geri dönüşümünün teşvik edilmesi gibi unsurlar da yer almaktadır.

Son olarak, 2020 yılında “Yeni Döngüsel Ekonomi Eylem Planı” kabul edilmiştir. Bu planın amacı, ürünlerin yaşam döngüsünü uzatmak, kaynak verimliliğini artırmak ve atık oluşumunu önlemektir. Bu eylem planı kapsamında önerilen düzenlemeler 2022 yılında kabul edilmiştir. Bu düzenlemeler arasında “Sürdürülebilir Ürünler için Ekotasarım Yönetmeliği”, “Sürdürülebilir ve Dairesel Tekstiller için AB Stratejisi”, “İnşaat Ürünleri Yönetmeliği” ve “Yeşil Geçişte Tüketicilerin Güçlendirilmesine Yönelik Teklif” yer almaktadır.

Atık yönetiminin gelişimi açısından oldukça önemli olan bu gelişmeler Avrupa ve dünyada bu konudaki ilginin ve farkındalığında artmasına katkı sağlamıştır. Yıllar itibari ile dünyanın birçok ülkesinde atık yönetimi kapsamında uygulanmış olan önemli girişimler mevcuttur. Bu girişimlerden bazı önemli olanlar Tablo 2’de verilmiştir. Almanya, İsveç, Hollanda ve Japonya gibi ülkeler katı atık yönetiminde daha etkin ülkeler olarak görülmektedir. Almanya, özellikle "Yeşil Nokta" sistemi ile ambalaj atıklarının geri dönüşümünde öncü bir rol üstlenmiştir. Ülkede geniş çapta uygulanan bu sistem sayesinde, ambalaj atıkları etkin şekilde toplanmakta ve geri dönüşümü sağlanmaktadır. İsveç, katı atıklarının yaklaşık yüzde 99’unu enerji üretiminde kullanarak atık yönetiminde yüksek başarı sağlamıştır. Bu ülke, atıktan enerji tesisleri sayesinde çevresel sürdürülebilirlik ve enerji üretimini başarılı biçimde birleştirmiştir. Hollanda ise döngüsel ekonomiyi benimseyerek atık azaltımı ve geri dönüşüm uygulamalarını yaygınlaştırmıştır. Hollanda hükümetinin uyguladığı politikalar sayesinde yüksek geri dönüşüm oranları elde edilmiş ve kaynakların etkin kullanımı sağlanmıştır. Japonya, atık yönetiminde "3R" politikası (Reduce, Reuse, Recycle) ile öncü bir rol üstlenmiştir. Özellikle elektronik atıkların yönetiminde geliştirdiği yenilikçi sistemlerle Japonya, kaynakların verimli kullanımında ve sürdürülebilir atık yönetimi uygulamalarında dünyaya örnek olmaktadır.

Tablo 2.**Ülkelerin Örnek Atık Yönetimi Uygulamaları**

Ülke	Uygulama Adı	Açıklama
Almanya	Yeşil Nokta Sistemi	Ambalaj atıklarının kaynağında ayrıştırılması, geri dönüşüm oranlarının artırılması ve üreticilerin çevresel maliyetleri üstlenerek döngüsel ekonomiye katkı sağlaması hedeflenmiştir.
Güney Kore	Hacim Temelli Ücretlendirme (Pay-as-You-Throw)	Atık oluşumunun ekonomik bir maliyet unsuru haline getirilmesi, yeniden kullanım ve geri dönüşüm davranışlarının teşvik edilmesi hedeflenmiştir.
İsveç	Atıktan Enerji Üretimi (Waste-to-Energy)	Depolama sahası ihtiyacını azaltmak, fosil yakıt tüketimini ikame etmek ve sera gazı emisyonlarını sınırlamak hedeflenmiştir.
Japonya	3R Politikası & Detaylı Sınıflandırma	Kaynak verimliliğini artırmak, hammadde kullanımını azaltmak ve atıkların çevresel etkilerini minimize etmek hedeflenmiştir.
Slovenya	Lubliana'da Sıfır Atık Modeli	Yüksek geri dönüşüm oranları, organik atıkların kompostlaştırılması ve düzenli depolama sahasına giden atıkların sıfırlanması hedeflenmiştir.
Kanada	Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR)	Ürün tasarımında geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı, atık yönetim maliyetlerinin üreticiye yüklenmesi ve kaynak verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir.
Türkiye	Sıfır Atık Projesi	Çevresel sürdürülebilirlik bilincinin yaygınlaştırılması, düzenli depolama sahasına gönderilen atık miktarının sıfıra indirilmesi, atık oluşumunun önlenmesi ve geri kazanımın maksimize edilmesi hedeflenmiştir.
Mısır	“50’ye 50” Küresel Atık İnisiyatifi	Açıktaki yakma ve vahşi depolamayı azaltarak metan emisyonlarını düşürmek ve “sıfır atık” yaklaşımıyla iklim hedeflerine katkı sağlamak hedeflenmiştir.
Çin	Büyük Ekipman ve Tüketim Ürünleri Geri Dönüşüm Eylem Planı	Kaynakların yeniden kazanımı, tehlikeli maddelerin güvenli bertarafı ve hammadde ithalat bağımlılığının azaltılması hedeflenmiştir.
ABD - San Francisco	2020 Sıfır Atık Stratejisi	Tek kullanımlık plastikleri tamamen yasaklamak, %100 geri dönüşüm ve kompostlama kapasitesine ulaşmak hedeflenmiştir.
BM Çevre Programı	Küresel Atık Azaltma Girişimi	Gelişmekte olan ülkelerde atık yönetim altyapısını güçlendirmek, uluslararası standartlar ve politika uyumunu sağlamak hedeflenmiştir.
Avrupa Birliği	WEEE Directive – (Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atıkları)	Kaynak geri kazanımını artırmak, çevreye zararlı maddelerin yayılımını önlemek ve hammadde ithalat bağımlılığını azaltmak hedeflenmiştir.

2.1.3.2. Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Genel Durumu

Türkiye’de atık yönetimine ilişkin çalışmalar görece daha yakın bir tarihte başlamıştır. 1982 yılında yürürlüğe giren Türkiye Cumhuriyeti Anayasası’nın 56. maddesi ile çevrenin korunması devletin ve vatandaşların temel görevi olarak belirtilmiştir. Türkiye’de atık yönetimine ilişkin önemli hukuki düzenleme, 1983 yılında çıkarılan 2872 sayılı Çevre Kanunu ile gerçekleşmiştir. Söz konusu kanun, atıkların oluşumu, taşınması, bertaraf edilmesi ve çevreye olan etkilerinin sınırlandırılmasına yönelik temel yükümlülükleri belirleyerek Türkiye’de çevre yönetiminin kurumsal altyapısını oluşturmuştur (Gül ve Yaman, 2021, s. 1272).

Türkiye’nin 1999 yılında AB aday ülkesi, 2004 yılında ise katılımcı ülke statüsünü kazanmasının ardından çevresel standartların AB seviyesine çıkarılması doğrultusunda yoğun mevzuat çalışmaları başlamıştır. Bu düzenlemelerin önemli bir bölümü atık yönetimi alanında gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ilk idari düzenlemeler, 2004 yılında çıkarılan Büyükşehir Belediyesi Kanunu ve 2005 yılında çıkarılan Belediye Kanunu ile yapılmıştır. Sonraki yıllarda çeşitli yönetmelikler çıkarılarak kapsamlı düzenlemeler yapılmıştır. Bunların en önemlileri şu şekildedir:

- Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (2004),
- Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği (2004),
- Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (2005),
- Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği (2006),
- Poliklorlu Bifenil ve Poliklorlu Terfenillerin Kontrolü Yönetmeliği (2007),
- Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği (2008),
- Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Yönetmeliği (2009),
- Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmeliği (2010),
- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliği (2010),
- Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği (2012),
- Maden Atıkları Yönetmeliği (2015),
- Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği (2015),
- Atık Yönetimi Yönetmeliği (2015),
- Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (2017),
- Sıfır Atık Yönetmeliği (2019),

- Atık İthalatı Yönetmeliği (2021),
- Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (2021),
- Atık İthalatı Uygulama Genelgesi (2022),
- Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Yönetimi Yönetmeliği (2022) yayınlanmıştır.

Yukarıda belirtilen kanun ve yönetmelikler, dönemsel ihtiyaçlara ve uluslararası standartlara paralel olarak düzenli biçimde güncellenmektedir.

Türkiye’de katı atık yönetimi alanında mevzuat düzenlemelerinin yanı sıra çeşitli politika belgeleri, eylem planları ve uygulama projeleri de geliştirilmiştir. Bu kapsamda en önemli girişimlerden biri olan Sıfır Atık Projesi, 2017 yılında ulusal ölçekte bir çevre hareketi olarak başlatılmış ve 2019 yılında yayımlanan Sıfır Atık Yönetmeliği ile yasal bir zemine kavuşmuştur. Proje, atık oluşumunun azaltılması, atıkların kaynağında ayrıştırılması ve geri kazanım oranlarının artırılması yoluyla kaynak verimliliğinin yükseltilmesini hedeflemektedir. Sıfır Atık yaklaşımı zaman içerisinde uluslararası düzeyde de kabul görmüş ve Birleşmiş Milletler Genel Kurulu tarafından 2022 yılında 30 Mart günü “Uluslararası Sıfır Atık Günü” olarak ilan edilmiştir. Bu girişim, sürdürülebilir atık yönetimi uygulamalarının teşvik edilmesi ve küresel ölçekte kaynak israfının azaltılması açısından önemli bir farkındalık oluşturmuştur.

Sıfır Atık uygulamalarının yaygınlaştırılmasıyla birlikte Türkiye’de geri kazanım performansında önemli bir artış yaşanmıştır. Projenin başlatıldığı 2017 yılından itibaren atıkların kaynağında ayrıştırılması ve geri kazanım altyapısının güçlendirilmesi sayesinde önemli miktarda atık yeniden ekonomiye kazandırılmıştır. Bu süreçte yaklaşık 32,5 milyon ton kâğıt ve karton, 9,1 milyon ton plastik, 3,1 milyon ton cam ve 6,4 milyon ton metal atık geri dönüşüm süreçlerinden geçirilmiş; ayrıca 23,4 milyon ton organik ve diğer geri kazanılabilir atık değerlendirilmiştir. Böylece toplamda 74,5 milyon ton atığın geri kazanılarak ekonomik sisteme yeniden kazandırılması sağlanmıştır. Bunun yanı sıra Sıfır Atık uygulamaları yalnızca atık miktarının azaltılmasıyla sınırlı kalmamış, aynı zamanda önemli çevresel ve ekonomik kazanımlar da sağlamıştır. Geri dönüşüm faaliyetleri sayesinde yaklaşık 256 milyar TL ekonomik katkı elde edilmiş; 227 milyar kWh enerji, 1,7 trilyon litre su ve 55 milyar litre petrol tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca 284 milyon m³ atık depolama alanı kullanımının önüne geçilmiş, yaklaşık 150 milyon ton sera gazı emisyonunun oluşması engellenmiş ve 553 milyon ağacın kesilmesi önlenmiştir. Bu

bulgular, Sıfır Atık uygulamalarının yalnızca çevresel koruma açısından değil aynı zamanda kaynak verimliliğini artırarak ekonomik değer üreten ve döngüsel ekonomi yaklaşımını destekleyen önemli bir politika aracı olduğunu ortaya koymaktadır (ÇŞİDB, 2025a).

Atık yönetimi kapsamında yapılan en önemli girişimlerden birisi de 2022 yılında hazırlıklarına başlanan Ulusal Depozito Yönetim Sistemidir. Bu sistem 2025 yılında pilot il olarak Sakarya’da uygulanmaya başlanmış ve binlerce vatandaşın kullanımına sunulmuştur. 2026 yılında ise bu sistemin tüm il ve ilçelere kurulması planlanmaktadır. Ulusal Depozito Yönetim Sistemi ile plastik, cam ve metal içecek ambalajlarının büyük ölçekte geri dönüşümü sağlanarak çevre kirliliğinin azaltılması ve döngüsel ekonomiye katkı amaçlanmaktadır.

Türkiye’de atık yönetimi açısından önemli bir gelişme olan Atık Yönetimi Eylem Planı (2016-2023) hazırlanmıştır. Bu plan atık yönetiminde daha organize, entegre ve kurumsal yapısı güçlü bir sisteme geçişi hedeflemiştir. Bu eylem planının temel amacı, ülke genelindeki atık yönetimi süreçlerini daha etkin ve sürdürülebilir hale getirmektir. Plan kapsamında, atık oluşumunun önlenmesi, atıkların çevresel etkilerinin azaltılması, kaynak verimliliğinin artırılması, geri kazanım oranlarının yükseltilmesi, eğitim ve farkındalığın artırılması ve sürdürülebilir atık yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılması gibi hedefler belirlenmiştir. Bu hedeflere ulaşmak için gerekli yasal ve idari düzenlemeler yapılmış, eğitim ve bilinçlendirme faaliyetleri gerçekleştirilmiş, geri dönüşüm altyapısı güçlendirilmiş, atıkların toplanması, taşınması ve işlenmesine yönelik sistemler yaygınlaştırılarak iyileştirilmiştir. Atık Yönetimi Eylem Planı genel olarak değerlendirildiğinde, 2023 yılı için koyulan hedeflere büyük ölçüde ulaşıldığı görülmektedir.

Türkiye’de atık yönetimi politikalarının uzun vadeli ve bütüncül bir çerçeveye kavuşturulması amacıyla “Ulusal Atık Yönetimi Stratejisi ve Planı (2025-2035)” hazırlanmıştır. Söz konusu plan, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda atık oluşumunun azaltılması, geri kazanım oranlarının artırılması ve atık yönetimi altyapısının güçlendirilmesini amaçlamaktadır. Plan kapsamında belediye atıkları başta olmak üzere çeşitli atık türlerine yönelik miktar tahminleri yapılmış, geri kazanım hedefleri belirlenmiş ve bölgesel ölçekte gerekli tesis yatırımları planlanmıştır. Ayrıca atık yönetimi

süreçlerinin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik ekonomik araçların ve teknolojik uygulamaların geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu plan, Türkiye’de atık yönetimi politikalarının orta ve uzun vadeli yol haritasını ortaya koyarak kaynak verimliliği ve döngüsel ekonomi hedeflerinin gerçekleştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır (ÇŞİDB, 2025b).

Türkiye’de döngüsel ekonomi yaklaşımının kurumsal bir politika çerçevesine kavuşması amacıyla “2025-2028 Ulusal Döngüsel Ekonomi Stratejisi ve Eylem Planı” hazırlanmış ve yürürlüğe girmiştir. Bu plan, Türkiye’nin doğrusal ekonomik yapıdan kaynak verimliliğini esas alan döngüsel ekonomi modeline geçişini hızlandırmayı hedefleyen kapsamlı bir politika çerçevesi sunmaktadır. Strateji kapsamında ham madde kullanımı ve çevresel etkileri yüksek olan ambalaj, plastik, tekstil, gıda ve biyokütle, elektronik ve bilgi-iletişim teknolojileri, batarya ve araçlar ile inşaat ve bina sektörleri olmak üzere yedi öncelikli sektör belirlenmiştir. Plan çerçevesinde döngüsel ürün tasarımı, yeniden kullanım, geri dönüşüm oranlarının artırılması, ikincil hammadde piyasalarının geliştirilmesi ve endüstriyel simbiyoz uygulamalarının yaygınlaştırılması gibi alanlarda toplam 53 eylem adımı tanımlanmıştır. Bu strateji belgesi, Sıfır Atık yaklaşımı ile başlatılan atık yönetimi dönüşümünü daha kapsamlı bir döngüsel ekonomi perspektifiyle genişleterek Türkiye’nin sürdürülebilir üretim ve tüketim modeline geçişinde önemli bir yol haritası sunmaktadır (ÇŞİDB, 2025c).

Türkiye 2021 yılında 2053 Net Sıfır Emisyon hedefini açıklamıştır. Bu hedef ile birlikte atık yönetimi dahil tüm çevre politikaları yeniden değerlendirilmeye başlanmıştır. Atık bertaraf edilmesi gereken yük olmaktan çıkıp üretim için girdi, enerji için kaynak ve iklim eylem stratejileri için ayrılmaz bir parça olarak görülmeye başlanmıştır. Bu yeni vizyon 2024 yılında yayınlanan "İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (İDASEP)" ve "İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planı (İDUSEP)" ile somutlaştırılmıştır. Bu planlar, 2024-2030 dönemini kapsamakta ve atık sektörünü, sera gazı emisyonlarının azaltılması için kilit sektörlerden biri olarak tanımlamaktadır.

2025 yılında Türkiye Belediyeler Birliği yürütücülüğü ve AB desteği ile "Yerelde Sıfır Atık Hibe Programı" yapılmıştır. Bu hibe programı ile belediyelere ve yerel yönetimlere atık önleme ve geri dönüşüm altyapısı kurmaları için toplam 6.3 milyon Avro'luk destek sağlanması planlanmıştır.

Türkiye, son yıllarda Sıfır Atık Yönetmeliği ve AB çevre mevzuatına uyum çabalarıyla atık yönetiminde önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Belediyelerin toplama ve bertaraf altyapısında önemli gelişmeler olsa da geri dönüşüm oranları halen istenen seviyelere ulaşmamıştır. Kaynağında ayrıştırma uygulamalarının yaygınlaştırılması, halkın farkındalık düzeyinin artırılması ve belediyeler arası kapasite farklılıklarının giderilmesi sistemin etkinliği açısından kritik öneme sahiptir.

İDASEP, İDUSEP eylem planları, 2053 net sıfır emisyon hedefi ve döngüsel ekonomi vizyonu ile Türkiye’de, atık miktarının azaltılması, geri dönüşüm oranlarının artırılması, biyobozunur atıkların değerlendirilmesi ve enerji geri kazanım teknolojilerinin yaygınlaştırılması beklenmektedir. Bu gelişmeler ile birlikte atık yönetimi konusunda daha rekabetçi ve sürdürülebilir bir konuma ulaşılabilecektir.

Bu genel değerlendirme, Türkiye’nin atık yönetimi alanındaki mevcut konumunu ve gelişim potansiyelini ortaya koymakla birlikte, kalkınma planlarında belirlenen stratejik hedeflerin önemini de açıkça göstermektedir. Bu çerçevede izleyen bölümde Türkiye Kalkınma Planlarında Atık Yönetimi Yaklaşımları ve Hedefleri ele alınarak ulusal politika belgelerinin bu alandaki vizyonu ve yönlendirici rolü incelenmektedir.

2.1.3.3. Türkiye Kalkınma Planlarında Atık Yönetimi Yaklaşımları ve Hedefleri

Türkiye'nin kalkınma planları ekonomik ve sosyal gelişmenin yanı sıra çevre ve kaynak yönetimi konularına da artan bir şekilde odaklanmıştır. İlk kalkınma planlarında daha çok temel altyapı hizmetlerine yer verilirken, atık yönetimine doğrudan vurgu yapılmamıştır. Ancak ilerleyen dönemlerde çevresel sorunların ve atık yönetiminin gerek ekonomik gerekse çevresel etkilerinin giderek daha fazla önem kazanması sonucunda, kalkınma planlarında atık yönetimi konusuna yönelik değerlendirmelere ve hedeflere daha sistematik bir şekilde yer verilmeye başlanmıştır. Bu süreçte kaynakların etkin kullanımı, atık oluşumunun önlenmesi, geri dönüşümün teşviki ve sürdürülebilir atık yönetimi uygulamalarının kalkınma politikalarındaki ağırlığı artmıştır. Böylece çevre yönetimi ve atık yönetimi, Türkiye'nin kalkınma stratejilerinde temel bir unsur olarak yer almaya başlamıştır.

İlk kalkınma planlarında öncelik olarak kaynakların verimli kullanılması, israfın önlenmesi ve temel altyapı hizmetlerinin geliştirilmesine yer verilmişken atık yönetimine

ilişkin doğrudan politika ve stratejiler oluşturulmamıştır (Birinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 1963-1967; İkinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 1968-1972). Daha sonraki planlarda su kirlenmesi, sanayi atıkları, şehirleşmeye bağlı altyapı ihtiyaçları, içmesuyu ve kanalizasyon hizmetleri gibi çevresel konulara ait açıklama ve hedefler giderek daha fazla yer almaya başlamıştır (Üçüncü ve Dördüncü Beş Yıllık Kalkınma Planları, 1973-1983). Yan ürünlerin değerlendirilmesi, sektörel bazda üretim süreçlerinde israfın azaltılması ve hijyen standartlarının yükseltilmesi yoluyla kaynak yönetimine yönelik uygulamalar geliştirilmiştir. 1980'li yıllardan itibaren ise su ve hava kirliliğinin önlenmesi, katı atık bertarafı, tehlikeli ve tıbbi atıkların yönetimi ve çevre sağlığının korunması gibi hususlarda mevzuat ve altyapı çalışmaları hız kazanmıştır (Beşinci ve Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planları, 1985-1994). 1990'lı ve 2000'li yıllarda atık yönetimi konusunda belediyelerin rolü artırılmış, geri dönüşüm uygulamaları ve çevresel izleme altyapısı öne çıkmıştır. Bu dönemde yatırım ve işleme maliyeti daha az olan düzenli depolama sahalarının artırılmasına odaklanılmıştır. Ayrıca atık türü ve ülke koşullarına uygun olan toplama, taşıma, geri kazanım ve bertaraf sistemlerinin oluşturulması hedeflenmiştir (Yedinci, Sekizinci ve Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planları, 1996-2013). Sonraki yıllarda ise gıda israfının önlenmesi, sıfır atık uygulamaları, geri dönüşüm oranlarının artırılması ve afet durumlarında atık yönetimi gibi bütüncül ve ileri düzeyde stratejiler geliştirilmiştir (Onuncu, On Birinci ve On İkinci Kalkınma Planları, 2014-2028).

Türkiye'nin 10., 11. ve 12. Kalkınma Planları'nda atık yönetimi daha kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Özellikle son iki planda atıkların azaltılması, geri dönüşümünün artırılması ve sıfır atık gibi yeni yaklaşımlar ön plana çıkmaktadır. Bu planlarda daha ileri hedefler belirlenmiş, atık yönetiminin çevre ve sürdürülebilir kalkınma politikalarıyla bütünleşik bir şekilde ele alınması amaçlanmıştır. Tablo 3'te bu üç planda yer alan atık yönetimiyle ilgili temel açıklama ve hedeflerin özet olarak karşılaştırmasını sunmaktadır.

Tablo 3.

Türkiye Kalkınma Planlarında Karşılaştırılmalı Olarak Atık Yönetimi

Kriter/ Dönem	Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018)	On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)	On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028)
Vizyon ve Yaklaşım	Atıkların azaltılması, geri dönüşümün teşviki ve sürdürülebilir atık yönetimi politikası vurgulanmıştır. Çevre bilinci ve bütünlük atık yönetimi yaklaşımları ön plandadır.	Döngüsel ekonomi, kaynak verimliliği ve sürdürülebilir atık kalkınma amaçları kapsamında atık yönetimi, çevre koruma stratejisinin temel unsuru olarak ele alınmıştır.	Yeşil dönüşüm odaklı, dijitalleşme ve ileri teknolojilerle entegre akıllı atık yönetimi hedeflenmektedir. Sıfır atık vizyonu ve iklim değişikliğiyle mücadele önceliklidir.
Yasal ve Kurumsal Yapı	Atık yönetimine ilişkin mevzuatın AB ile uyumlu hale getirilmesi, yerel yönetimlerin kurumsal kapasitesinin güçlendirilmesi öngörülmüştür.	Sıfır Atık Projesi'nin yaygınlaştırılması, atık yönetimi mevzuatında güncelleme ve denetim kapasitesinin artırılması hedeflenmiştir.	Sıfır Atık uygulamalarının tüm yurttaki yaygınlaştırılması, entegre atık yönetim sistemlerinin dijital altyapı ile güçlendirilmesi, yeni düzenleyici çerçeveler oluşturulması planlanmıştır.
Atık Azaltma ve Geri Dönüşüm	Geri dönüşüm oranlarının artırılması, kaynağında ayrıştırma ve toplama sistemlerinin yaygınlaştırılması, enerji geri kazanım tesislerinin kurulması önceliklidir.	Kaynağında ayrı toplama oranının yükseltilmesi, geri dönüşüm endüstrisinin desteklenmesi, kompost ve biyogaz gibi organik atık yönetimi çözümlerinin artırılması hedeflenmiştir.	Atık önleme ve geri dönüşümde döngüsel ekonomi ilkeleri esas alınmıştır. Kaynağında ayrı toplama oranının artırılması hedefi devam etmektedir. Geri dönüşüm oranlarının AB hedeflerine yaklaştırılması amaçlanmaktadır.
Belediye Atıkları Yönetimi	Belediye atıklarının düzenli depolanması ve bertarafı için altyapı yatırımları, atık toplama, taşıma ve bertaraf hizmetlerinde iyileştirme öngörülmüştür.	Belediyelerin atık yönetimi hizmetlerinin standartlaştırılması, atıkların düzenli depolama dışında alternatif bertaraf ve geri kazanım yöntemlerine yönlendirilmesi öngörülmüştür.	Tüm belediyelerde akıllı atık toplama sistemlerinin yaygınlaştırılması, organik atıkların ayrı toplanmasının yaygınlaştırılması ve düzenli depolama oranlarının azaltılması hedeflenmiştir.
Tehlikeli ve Endüstriyel Atıklar	Tehlikeli atıkların yönetimi, izlenmesi ve bertarafına yönelik altyapının geliştirilmesi, endüstriyel simbiyoz ve atık minimizasyonu önceliklidir.	Tehlikeli atık geri kazanımı ve bertaraf altyapısının ülke geneline yaygınlaştırılması, endüstriyel atıkların izlenebilirliğinin artırılması hedeflenmiştir.	Tehlikeli atık yönetimi için bölgesel entegre tesislerin kurulması, atık üreticilerinin sorumluluklarının artırılması ve izlenebilirliğin dijital sistemlerle sağlanması amaçlanmıştır.
Finansman ve Teşvikler	Atık yönetimi yatırımlarına finansal destek, AB fonları ve ulusal kaynakların etkin kullanımı vurgulanmıştır.	Sıfır Atık ve geri dönüşüm yatırımlarına yönelik finansal desteklerin genişletilmesi ve teşviklerin artırılması hedeflenmiştir.	Döngüsel ekonomi ve atık yönetimi yatırımlarına inovasyon ve dijitalleşme odaklı finansman modelleri geliştirilecektir. AB Yeşil Mutabakatı ile uyumlu teşvikler planlanmıştır.
Hedeflenen Temel Göstergeler	Atık geri kazanım oranlarının artırılması hedeflenmektedir.	Belediye atıklarının %35'inin geri kazanılması hedeflenmektedir.	Sıfır atık projesi kapsamında atığın geri kazanım oranının %42,5'e çıkarılması hedeflenmektedir.

Tablo 3’te yer alan karşılaştırmalı değerlendirme, Türkiye Kalkınma Planları’nın atık yönetimi alanına yönelik vizyon ve hedeflerinin zaman içinde nasıl evrildiğini ortaya koymaktadır. İlk kalkınma planlarından itibaren atıkların toplanması ve bertarafına yönelik düzenlemeler öncelikli iken sonraki planlarla birlikte çevresel sürdürülebilirlik, kaynak verimliliği ve döngüsel ekonomi ilkeleri belirginleşmiştir. Özellikle On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) ile atık yönetimi stratejilerinde atığın kaynağında azaltılması, ayrı toplama sistemlerinin güçlendirilmesi, geri kazanım oranlarının artırılması ve entegre atık yönetim sistemlerinin kurumsal kapasite ile uyumlu hale getirilmesi gibi hedefler öne çıkarılmıştır. Bu kapsamda belediye atıklarının %35’inin geri kazanılması hedeflenmiş olup, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı verilerine göre geri kazanım oranının %36,08’e ulaşmasıyla söz konusu hedefin aşıldığı görülmektedir. Bu gelişme, Sıfır Atık Projesi çerçevesinde yürütülen kurumsal yaygınlaştırma, toplumsal farkındalık artışı ve geri kazanım altyapısına yönelik yatırımların somut bir çıktısı olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla On Birinci Kalkınma Planı döneminde geri kazanım oranına ilişkin nicel hedefin gerçekleştirildiği; ancak atık oluşumunun azaltılması, kaynağında ayrıştırmanın yaygınlaştırılması ve döngüsel ekonomi entegrasyonunun derinleştirilmesi gibi daha yapısal hedefler bakımından politika sürecinin devam ettiği anlaşılmaktadır.

2.2. Katı Atık Yönetiminin Çevresel Etkileri

Son yüzyılda yaşanan demografik dönüşüm, insanlık tarihinde eşi benzeri görülmemiş bir nüfus artışını beraberinde getirmiştir. 1800’lü yıllarda yaklaşık 1 milyar olan dünya nüfusu, 2023 yılı itibarıyla 8 milyarı aşarak küresel ölçekte ciddi çevresel ve ekonomik baskılar oluşturmuştur. Bu hızlı artış yalnızca nüfusun kendisinde değil, aynı zamanda birey başına düşen tüketim düzeylerinde de önemli yükselişlere yol açmış, dolayısıyla mal ve hizmetlere yönelik talep giderek artmıştır. Artan talebi karşılamak amacıyla hız kazanan üretim süreçleri ise doğal kaynakların daha yoğun ve plansız şekilde kullanımını beraberinde getirmiştir (Meadows vd., 1972, s. 71; Rahman, 2017, s. 506).

Bununla birlikte, üretim ve tüketim faaliyetlerinin doğrudan bir çıktısı olarak ortaya çıkan atık miktarındaki artış, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Caglar vd., 2024, s. 6040). Sanayileşme, kentleşme ve teknolojik

gelişmelerle birlikte hem nitelik hem de nicelik açısından çeşitlenen atıklar, doğrudan çevresel kirlenmeye, ekosistem dengesinin bozulmasına ve insan sağlığına yönelik risklerin artmasına sebebiyet vermektedir. Özellikle evsel, endüstriyel ve tehlikeli atıkların yönetiminde yaşanan yetersizlikler, çevresel etkilerin daha da derinleşmesine neden olmaktadır (Abubakar, 2022, s. 1).

Bu kapsamda atık yönetimi yalnızca bir teknik veya lojistik süreç olarak değil aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında temel bir politika alanı olup doğal kaynakların korunması, ekosistem hizmetlerinin devamlılığı ve insan sağlığının güvence altına alınması açısından kritik öneme sahiptir. Gelişen sanayileşme, kentleşme ve nüfus artışı ile birlikte atık üretiminde yaşanan artış, çevresel sorunların karmaşıklığını da derinleştirmiştir. Bu bağlamda atıkların toplanması, taşınması, geri kazanımı ve nihai bertarafı süreçlerinin çevre üzerindeki etkilerinin sistematik biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir (Grazhdani, 2016, s. 3; Hwang vd., 2017, s. 710).

Bu doğrultuda atık yönetiminin çevresel etkileri çok boyutlu bir çerçevede ele alınmaktadır. Çalışmada sırasıyla hava kirliliği, su kirliliği ve toprak kirliliği gibi çevresel bileşenler üzerinde meydana gelen etkiler incelenmekte, devamında insan sağlığına yönelik olumsuz etkiler, iklim değişikliği ile kurulan ilişkiler, biyoçeşitlilik üzerindeki tehditler ve kaynak verimliliği bağlamında ortaya çıkan sonuçlar detaylandırılmaktadır. Her bir başlık altında atıkların çevresel sistemler üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinin kapsamlı biçimde ortaya konulması hedeflenmektedir.

2.2.1. Katı Atık Yönetiminin Hava Kirliliği Üzerine Etkileri

Atık yönetiminin çevresel etkileri içinde hava kirliliği, hem yerel hem de küresel ölçekte en belirgin ve hızlı hissedilen sonuçlardan birini oluşturmaktadır. Atıkların toplanması, taşınması, ayrıştırılması, geri dönüşümü ve özellikle bertaraf aşamalarında atmosfere salınan CO₂, CH₄, NO_x ve SO₂ gibi sera gazları ile PM₁₀ ve PM_{2.5} gibi ince partiküller hava kalitesini önemli ölçüde düşürmekte ve atmosferik kirlilik yükünü artırmaktadır (Harris vd., 2015, s. 135; Siddiqua vd., 2022, s. 58515). Açık ortamda gerçekleştirilen yakma uygulamaları, kontrolsüz depolama sahaları ve ilkel bertaraf teknikleri bu emisyonların temel kaynakları arasında yer almakta olup küresel ısınma ve çevresel bozulmayı hızlandırmaktadır (Hwang vd., 2017, s. 710; Zhao vd., 2015, s. 695).

Atık yakma süreçleri, hava kirliliği bakımından en yüksek risk düzeyine sahip bertaraf yöntemlerinden biridir. Baca gazı arıtma sistemlerinin yetersizliği veya hiç bulunmaması durumunda dioksin, furan, ağır metaller ve uçucu organik bileşikler atmosfere yayılarak hem iklim sistemi üzerinde bozucu etkiler yaratmakta hem de insan sağlığını solunum yolu hastalıkları, bağışıklık sistemi bozuklukları ve kanser türleri gibi ciddi sonuçlarla tehdit etmektedir (Harris vd., 2015, s. 135; Hwang vd., 2017, s. 710). Bu kirleticilerin kalıcı, taşınabilir ve biyobirikim eğilimli olması, risklerin mekansal etkilerini daha da genişletmektedir.

Düzenli depolama alanlarında organik içerikli atıkların anaerobik ayrışması sonucunda açığa çıkan metan, yüksek küresel ısınma potansiyeli nedeniyle kritik bir sera gazı niteliği taşımaktadır. Depolama alanları, kontrol altına alınmadığında ulusal metan emisyonlarının önemli bir bölümünü oluşturarak iklim sistemi üzerinde doğrudan baskı yaratmaktadır (Khalid vd., 2011, s. 1738; Zhu vd., 2009, s. 1123). Buna ek olarak atıkların toplanması ve taşınması süreçlerinde kullanılan fosil yakıtlı araçlar, trafik yoğunluğunu artırarak hem doğrudan emisyon üretmekte hem de şehir içi hava kalitesinin bozulmasına dolaylı yönden neden olmaktadır (Tian vd., 2022, s. 1; Wati vd., 2025, s. 564).

Sonuç olarak hava kirliliği, yetersiz ve kontrolsüz atık yönetimi uygulamalarının hem çevresel hem toplumsal hem de sağlık alanına yansıyan kritik bir çıktısıdır. Atık kaynaklı emisyonların azaltılması için atıkların kaynağında ayrıştırılması, geri kazanım oranlarının artırılması, modern gaz arıtma teknolojilerinin kullanılması ve bertaraf süreçlerinin çevresel standartlara uygun şekilde yürütülmesi, sürdürülebilir atık yönetimi politikalarının temel koşulları arasında yer almaktadır.

Bu çerçevede, atık yönetimi kaynaklı hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik uluslararası uygulamalar, ülkelerin teknolojik kapasitesi ve çevre politikaları doğrultusunda farklılaşmakta ve küresel ölçekte önemli örnekler sunmaktadır.

Almanya, Japonya ve Singapur gibi ülkeler atık yakma tesislerinde çok kademeli gaz arıtma ve katalitik filtre sistemleri kullanarak dioxin ve NOx emisyonlarını büyük ölçüde azaltmaktadır. İsveç ve Danimarka organik atıkları biyogaz tesislerinde değerlendirerek yakmadan kaynaklı kirleticileri düşürmektedir. Güney Kore sürekli emisyon izleme sistemleriyle tesisleri denetlerken, Norveç karbon yakalama teknolojisini (CCS) uygulamaya başlamıştır. Hollanda ve Fransa ise döngüsel ekonomi ve sıfır atık

politikalarıyla yakma ihtiyacını azaltarak hava kalitesini korumaktadır. Bu yöntemler, ülkelerin atıklardan kaynaklanan hava kirliliğini azaltma konusundaki kurumsal ve teknik çabalarını ortaya koymaktadır.

2.2.2. Katı Atık Yönetiminin Su Kirliliği Üzerine Etkileri

Atıkların çevre üzerindeki olumsuz etkileri değerlendirildiğinde su kirliliği, ekosistem bütünlüğünü tehdit eden ve halk sağlığı açısından yüksek risk barındıran önemli bir boyut olarak öne çıkmaktadır. Atık yönetimindeki yapısal eksiklikler, yetersiz altyapı sistemleri ve uygun şekilde tasarlanmamış depolama alanları, hem yüzeysel hem de yer altı sularının kirlenmesine neden olmakta ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını ciddi biçimde sınırlandırmaktadır (Kumar ve Prakash, 2020, s. 1; Zhuo vd., 2024).

Düzensiz depolama sahalarında oluşan sızıntı suları (liçit), ağır metaller, amonyak, fosfor, klorür bileşikler ve yüksek düzeyde organik madde içeriğiyle su kalitesini bozmakta, toksik özellikleri nedeniyle sucul canlıların yaşam döngülerini tehdit etmekte ve ekosistem fonksiyonlarını zayıflatmaktadır (Mahees vd., 2011, s. 240; Vasanthi vd., 2008, s. 227). Ayrıca evsel ve endüstriyel atıkların yüzey sularına karışması, özellikle plastik ve mikroplastiklerin birikimiyle su canlılarını tehdit etmekte, bu kirleticiler besin zincirine girerek insan sağlığını da olumsuz etkilemektedir. Deniz ortamlarında biriken kalıcı organik kirleticiler ise yalnızca biyolojik çeşitliliği tehdit etmekle kalmamakta, balıkçılık, su ürünleri yetiştiriciliği ve turizm faaliyetleri üzerinde ekonomik kayıplara yol açmaktadır (De-la-Torre, 2020, s. 1601; Nikiema vd., 2020).

Gelişmekte olan ülkelere arıtılmamış atık suların doğrudan alıcı ortamlara verilmesi yaygın bir sorun olmaya devam etmektedir. Koliform bakteriler, ağır metaller, deterjan türevleri ve endüstriyel kimyasallar içeren bu suların tarımsal sulamada kullanılması, bitkisel ürünlerde kalıntı birikimine, toprak ve gıda güvenliğinin bozulmasına ve toplum sağlığı açısından ciddi risklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Salsabila vd., 2023, s. 24; Toroğlu vd., 2006, s. 97).

Atık kaynaklı su kirliliği, sürdürülebilir bir atık yönetim sisteminin geliştirilmesinin önünde yapısal bir engel oluşturmaktadır. Bu nedenle düzenli depolama sahalarının teknik standartlara uygun şekilde inşa edilmesi, sızıntı sularının etkin arıtım

yöntemleriyle işlenmesi ve su kaynaklarının kirleticilerden korunmasına yönelik önleyici politikaların hayata geçirilmesi stratejik önem taşımaktadır.

Bu kapsamda birçok ülkede atıktan kaynaklanan su kirliliğinin azaltılması ve önlenmesi konusunda önemli girişimler bulunmaktadır. Almanya ve Hollanda, atık depolama sahalarında oluşan sızıntı sularını çok kademeli membran biyoreaktör sistemleriyle arıtarak yer altı suyu kirliliğini en aza indirmektedir. İsveç ve Danimarka, depolama alanlarında jeomembran tabanlı izolasyon sistemleri ve drenaj ağlarıyla liçit sularının çevreye sızmasını engellemektedir. Japonya, yağmur suyu ve saha sızıntı suyunun ayrıştırıldığı kapalı hücre depolama yapıları kullanarak yüzeysel su kütlelerinin korunmasını sağlamaktadır. Güney Kore, sızıntı suyu arıtımında ileri oksidasyon ve aktif karbon adsorpsiyonu yöntemleriyle mikro kirleticilerin giderimini hedeflerken, Singapur entegre atık-su yönetim politikası kapsamında katı atık ve atık su altyapılarını tek sistemde yöneterek su kaynaklarının sürdürülebilirliğini güçlendirmektedir. Bu ülkelerin girişimleri, su kirliliğini azaltmanın yanı sıra diğer ülkelere de örnek teşkil etmektedir.

2.2.3. Katı Atık Yönetiminin Toprak Kirliliği Üzerine Etkileri

Atıkların çevre üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde toprak kirliliği, hem ekosistem fonksiyonlarını hem de toplumsal yaşamı doğrudan etkileyen kritik bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Katı ve sıvı atıkların kontrolsüz biçimde çevreye bırakılması, düzenli depolama alanlarının teknik açıdan yetersiz olması ve atık yönetiminde karşılaşılan kurumsal eksiklikler, toprak kalitesinde geri dönüşü zor bozulmalara yol açmaktadır. Bu süreç, tarımsal üretimde verim kayıplarına, ekosistem işleyişinde bozulmalara ve insan sağlığı üzerinde uzun vadeli risklere neden olmaktadır (Pillai vd., 2014, s. 148; Williams ve Sankoh, 2024, s. 251).

Açık depolama sahalarında biriken ağır metaller, pestisit kalıntıları ve çeşitli kimyasal bileşikler, sızıntı suları aracılığıyla toprağa nüfuz ederek toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını olumsuz etkilemektedir. Bu kirleticiler, toprak mikroorganizmalarının faaliyetlerini zayıflatmakta, organik madde döngüsünü kesintiye uğratmakta ve toprak verimliliğini önemli ölçüde düşürmektedir (Dermatas, 2017, s. 453; Shankar ve Shikha, 2016, s. 143). Özellikle kadmiyum, kurşun, cıva ve arsenik gibi toksik metallerin bitkiler tarafından absorbe edilmesi, bu maddelerin gıda zinciri aracılığıyla insanlara ulaşmasına

neden olarak nörotoksisite, kanser riski ve organ hasarı gibi ciddi sağlık etkilerini beraberinde getirmektedir (Dermatas, 2017, s. 454; Kaliaskarova vd., 2019, s. 256).

Bunun yanı sıra, plastik atıkların bozunmasıyla oluşan mikroplastikler, toprak ekosistemlerinde giderek artan bir kirletici türü haline gelmiştir. Mikroplastikler, toprak geçirgenliğini, su tutma kapasitesini ve hava-sıvı dengesini bozarak verimliliği azaltmakta, mikroorganizma çeşitliliğinde azalmaya yol açmakta ve organik madde döngüsünü zayıflatmaktadır (Rilling, 2012, s. 6453; Wuana ve Okieimen, 2011, s. 1). Bu süreç, hem tarım topraklarında kalite kaybına hem de doğal ekosistemlerde ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır (Koul ve Taak, 2018).

Atık yönetimindeki eksiklikler toprak kirliliğini artırmakta ve toprakların kullanım potansiyelini sınırlamaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir atık yönetimi politikalarının geliştirilmesi ve toprak kirliliğini önleyici tedbirlerin etkin uygulanması, çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir.

Bu doğrultuda atıkların neden olduğu toprak kirliliğini azaltmak amacıyla birçok ülkede farklı yöntemler uygulanmaktadır. Almanya ve Hollanda, düzenli depolama alanlarında jeomembran tabanlı izolasyon sistemleri, çift katmanlı taban geçirimsizlik yapıları ve sızıntı suyu toplama hatları kullanarak ağır metal ve kimyasal bileşiklerin toprağa geçişini büyük ölçüde sınırlamaktadır. Japonya, tehlikeli atıkların bertarafında termal arıtma ve vitrifikasyon tekniklerinden yararlanarak toksik maddelerin toprak ekosistemine karışmasını önlemektedir. İsveç ve Danimarka, biyolojik olarak parçalanabilir atıkları kaynağında ayrıştırıp kompost ve biyogaz tesislerine yönlendirerek depolama baskısını azaltmakta ve toprakta organik kirletici birikimini en aza indirmektedir. Güney Kore, elektronik atıkların geri kazanımı için kurduğu ulusal toplama ve ayrıştırma altyapısıyla ağır metal bazlı toprak kirliliğinin önüne geçerken; Singapur sensör tabanlı izleme sistemleriyle depolama alanlarında zemin hareketlerini, nem dengesini ve potansiyel sızıntı risklerini gerçek zamanlı olarak takip etmektedir. Bu uygulamalar ülkelerin toprak kirliliğini önleme konusundaki kurumsal kapasitesini güçlendirirken, sürdürülebilir atık yönetimi politikalarına da yön vermektedir.

2.2.4. Katı Atık Yönetiminin Sağlık Üzerine Etkileri

Atık yönetimindeki eksiklikler, insan sağlığını hem doğrudan hem de dolaylı biçimde etkileyen ciddi riskler yaratmakta ve çevresel sağlık sorunlarının derinleşmesine

neden olmaktadır. Atıkların hava, su ve toprak sistemlerine kontrolsüz biçimde karışması, bulaşıcı hastalıkların yayılımını artırmakta ve kronik sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Louis, 2004, s. 306; Wuana ve Okieimen, 2011, s. 1).

Kontrolsüz depolama alanları, kemirgenler, sivrisinekler ve diğer vektör türleri için uygun üreme koşulları oluşturarak tifüs, sıtma, kolera, dizanteri ve hepatit gibi bulaşıcı hastalıkların toplum içinde hızla yayılmasına neden olabilmektedir (Sandhu, 2014, s. 619). Atık yakma tesislerinde yetersiz arıtım süreçleri sonucunda açığa çıkan dioksin, furan ve ağır metaller ise geniş alanlara taşınabilen kalıcı organik kirleticiler niteliğindedir. Bu maddelere uzun süreli maruziyet solunum yolu hastalıkları, kardiyovasküler rahatsızlıklar, bağışıklık sistemi bozulmaları ve kanser gibi ciddi sağlık sonuçlarına yol açabilmektedir (Craig vd., 2008, s. 590).

Ağır metallerin su ve toprak ekosistemlerine sızarak besin zincirine dahil olması, nörolojik bozukluklar, gelişimsel sorunlar, böbrek ve karaciğer fonksiyon bozuklukları ile kanser riskinde artış gibi uzun vadeli etkiler oluşturmaktadır (Rushton, 2003, s. 186; Giusti, 2009, s. 2236). Buna ek olarak plastik atıkların parçalanması sonucu oluşan mikropplastiklerin içme suları, gıdalar ve hava yoluyla insan vücuduna girmesi; endokrin sistem bozuklukları, bağışıklık zayıflamaları, inflamatuvar süreçlerin tetiklenmesi ve kansere kadar uzanan geniş bir sağlık risk yelpazesi ortaya çıkarmaktadır (Goswami vd., 2024, s. 1; Megha vd., 2025, s. 99; Rochman vd., 2013, s. 1).

Bu çerçevede kontrolsüz ve yetersiz atık yönetimi, halk sağlığı açısından kritik bir tehdit alanı oluşturmaktadır. Atık kaynaklı patojen ve toksik maddelere maruziyetin azaltılması, hem koruyucu sağlık hizmetleri hem de sürdürülebilir çevre yönetimi açısından stratejik önem taşımaktadır. Bu nedenle bilim temelli, bütüncül ve sürdürülebilir atık yönetimi politikalarının geliştirilmesi, uygulanması ve sürekli iyileştirilmesi hayati bir gereklilik haline gelmiştir. Bu doğrultuda birçok ülke, katı atık yönetiminden kaynaklanan sağlık risklerini minimize etmek amacıyla ileri teknoloji odaklı süreçler, sıkı mevzuat düzenlemeleri, izleme sistemleri ve entegre çevre-sağlık yönetimi yaklaşımlarını temel alan kapsamlı politika uygulamalarına yönelmiştir.

Almanya ve Japonya, atık yakma tesislerinde gelişmiş baca gazı arıtma ve sürekli emisyon izleme sistemleri kullanarak dioksin ve ağır metal emisyonlarını uluslararası standartların altında tutmakta, böylece solunum yolu hastalıkları ve toksik maruziyet

riskini azaltmaktadır. İsveç ve Norveç, organik atıkları kaynağında ayrıştırarak biyogaz ve kompost tesislerine yönlendirmekte; bu sayede hem açık depolama alanlarının oluşturduğu vektör kaynaklı hastalık risklerini sınırlamakta hem de toksik kirletici oluşumunu azaltmaktadır. Güney Kore, yoğun kent alanlarında atık toplama süreçlerini kapalı sistemlerde yürütmekte ve atık transfer istasyonlarında negatif basınçlı havalandırma teknolojileri kullanarak patojen yayılımını kontrol altına almaktadır. Singapur ve Hollanda ise mikrobiyolojik ve kimyasal risk yönetimi kapsamında entegre atık-su sistemleri uygulamakta, depolama ve arıtma süreçlerinde gerçek zamanlı sağlık odaklı izleme protokollerini devreye almaktadır. Bu uygulamalar, ülkelerin halk sağlığını koruma yönünde geliştirdiği kurumsal stratejilerin atık yönetimiyle bütünleşik bir yapı kazandığını göstermektedir.

2.2.5. Katı Atık Yönetiminin İklim Değişikliği Üzerine Etkileri

Atık yönetimindeki yetersizlikler, atmosferik sera gazı birikiminde belirleyici bir rol oynayarak iklim değişikliğini hızlandıran kritik bir faktör haline gelmiştir. Atıkların üretimi, taşınması, depolanması, bertarafı ve geri dönüşüm süreçlerinin tümü, CO₂, CH₄ ve N₂O gibi yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip gazların salımına yol açmaktadır. Bu süreçler, yalnızca doğrudan emisyonlarla değil, aynı zamanda enerji tüketimi ve hammadde ihtiyacını artırarak dolaylı emisyonlarla da küresel ısınmaya katkı sağlamaktadır (Caglar vd., 2024, s. 6040; Monni vd., 2006, s. 3; Udomsri vd., 2011, s. 355).

Düzenli depolama alanlarında organik atıkların anaerobik koşullarda bozunması sonucunda açığa çıkan metan, karbondioksit kiyasla oldukça yüksek bir küresel ısınma etkisine sahiptir ve atık sektöründen kaynaklanan emisyonların büyük bölümünü oluşturmaktadır. Bu nedenle organik atık miktarının azaltılması, kaynağında ayrıştırma faaliyetlerinin yaygınlaştırılması ve depolama alanlarında metan toplama–yakalama teknolojilerinin uygulanması iklim politikalarının vazgeçilmez bir bileşeni niteliğindedir (Khalid vd., 2011, s. 1738; Zhu vd., 2009, s. 1123).

Atık yakma tesislerinde fosil kökenli plastiklerin yanması, hem doğrudan CO₂ salınımına hem de iklim açısından son derece etkili bir kısa ömürlü iklim kirleticisi olan siyah karbon oluşumuna neden olmaktadır. Siyah karbon atmosferde ısı tutulumunu

hızlandırmakta ve özellikle yoğun kentleşmiş bölgelerde radyatif dengeyi bozarak ısınma etkisini artırmaktadır. (Onyanta, 2016, s. 499). Buna karşılık geri dönüşüm ve yeniden kullanım faaliyetlerinin yetersizliği, üretim süreçlerinde daha fazla enerji talebine, dolayısıyla fosil yakıt tüketiminde artışa yol açarak dolaylı emisyon baskısını yükseltmektedir (Udomsri vd., 2011, s. 355).

Atık yönetimi uygulamalarının iklim değişikliği üzerindeki belirleyici rolü hem ulusal hem de küresel düzeyde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Paris Anlaşması ve IPCC değerlendirme raporlarında da altı çizildiği üzere, atık sektöründe emisyon azaltımına yönelik politikaların güçlendirilmesi ve sürdürülebilir teknolojilerin yaygınlaştırılması, küresel iklim hedeflerine ulaşmada hayati önem taşımaktadır.

Bu kapsamda birçok ülke, atık yönetimi kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla bütüncül ve teknoloji odaklı iklim politikaları geliştirmiştir. İsveç ve Danimarka, organik atıkları biyogaz tesislerinde işleyerek depolama alanlarında oluşan metan salımlarını önemli ölçüde azaltmakta ve enerji üretiminde fosil yakıt bağımlılığını düşürmektedir. Almanya, atık depolama alanlarını kapatılan sahalarda metan toplama ve enerjiye dönüştürme sistemleriyle donatarak düzenli depolama kaynaklı emisyonları kontrol altına almaktadır. Japonya, atık yakma tesislerinde gelişmiş ısı geri kazanım sistemleri ve düşük NO_x teknolojileri kullanarak enerji verimliliğini artırmakta ve CO₂ emisyonlarını azaltmaya yönelik entegre çözümler sunmaktadır. Güney Kore, sıfır atık stratejileri kapsamında geri dönüşüm oranlarını yükseltirken, plastik atıkların yakılmasını sınırlayarak siyah karbon oluşumunu düşürmeye odaklanmaktadır. Norveç ise karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojilerini atık yakma tesislerine entegre ederek atık sektöründe karbon nötrlüğüne ulaşmayı hedefleyen öncü politikalar geliştirmektedir. Bu uygulamalar, ülkelerin atık yönetimi süreçlerini iklim değişikliğiyle mücadelede stratejik bir araç haline getirdiğini göstermektedir.

2.2.6. Katı Atık Yönetiminin Biyoçeşitlilik Üzerine Etkileri

Atıkların uygunsuz yönetimi ve kontrolsüz doğaya bırakılması, biyoçeşitlilik üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiler yaratan ciddi çevresel tehditler oluşturmaktadır. Bu durum karasal ve sucul ekosistemlerin yapısını ve işleyişini bozarak flora ve fauna üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Weng vd., 2015, s. 364). Düzensiz döküm sahaları ve kontrolsüz depolama uygulamaları, doğal habitatların parçalanmasına, yaşam

alanı kayıplarına ve tür popülasyonlarında azalmaya yol açarak ekosistem dayanıklılığını kırılgan hale getirmektedir.

Plastik atıkların uzun süre doğada kalması ve zamanla mikroplastiklere dönüşmesi, hem karasal hem de denizel ekosistemlerde artan bir tehdit niteliği taşımaktadır. Mikroplastikler solunum, sindirim veya filtrasyon yoluyla canlı organizmalara girebilmekte, fizyolojik fonksiyonlarını bozmakta ve toksik kimyasalların biyolojik dokularda birikmesine neden olmaktadır. Plastiklerin deniz canlıları tarafından yutulması, sindirim sistemlerinin tıkanmasına, açlıktan ölümlere veya fizyolojik streslere yol açarken; canlıların bu atıklara dolanması ise hareket kabiliyetinin kaybı ve boğulma gibi doğrudan ölümleri beraberinde getirmektedir (Diamond, 2024, s. 135; Megha vd., 2025, s. 99).

Atıklardan toprağa ve suya sızan ağır metaller ile kimyasal kirleticiler, ekosistemlerde kümülatif birikim oluşturarak bitki türleri, mikroorganizmalar ve sucul organizmalar üzerinde toksik etkiler yaratmaktadır. Bu kirleticiler, besin zincirinin bütünlüğünü bozmakta, hassas türlerin yok olmasına zemin hazırlamakta ve ekosistemlerin yenilenme kapasitesini zayıflatmaktadır (Dermatas, 2017, s. 454; Rochman vd., 2013, s. 1). Ayrıca atıkların yakılması veya uygun olmayan koşullarda depolanması yangın riskini artırmaktadır. Orman, mera ve kıyı ekosistemlerinde meydana gelen yangınlar habitat kaybını hızlandırarak genetik çeşitliliğin azalmasına neden olmaktadır (Mikalsen vd., 2021, s. 1).

Atık yönetimindeki eksiklikler biyoçeşitlilik üzerinde uzun vadeli ve çoğu zaman geri döndürülemez kayıplara neden olabilmektedir. Habitatların korunması, ekolojik süreçlerin devamlılığının sağlanması ve tür çeşitliliğinin güvence altına alınması için atıkların sürdürülebilir biçimde yönetilmesi kritik bir zorunluluktur. Uluslararası çevre politikalarında da vurgulandığı üzere, biyoçeşitliliği koruyucu nitelikte atık yönetimi uygulamaları sürdürülebilir kalkınma amaçlarının temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Bu çerçevede birçok ülke, atık yönetiminin biyoçeşitlilik üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla kapsamlı, teknoloji temelli ve ekosistem odaklı politika uygulamalarına yönelmiştir.

Almanya ve Hollanda, atık depolama sahalarının çevresel etkilerini en aza indirmek için ekolojik hassasiyet haritalarına dayalı mekansal planlama araçları

kullanmakta, korunan alanlara ve hassas habitatlara yakın bölgelerde depolama faaliyetlerini sıkı şekilde sınırlandırmaktadır. Japonya, plastik atıkların çevreye karışmasını önlemek amacıyla mikroplastik azaltım stratejileri geliştirmekte ve ileri teknolojiye sahip ayrıştırma sistemleriyle yüksek geri dönüşüm oranlarına ulaşarak denizel ve karasal türler üzerindeki baskıyı azaltmaktadır. İsveç ve Norveç, yasa dışı döküm sahalarını dronlar ve sensör tabanlı izleme ağlarıyla sürekli denetlemekte, orman ve kıyı ekosistemlerinde habitat tahribatını önlemek amacıyla güçlü çevre mevzuatı ve yaptırım mekanizmaları uygulamaktadır. Güney Kore, deniz ekosistemlerinde plastik, hayalet ağ ve diğer yüzer atıkların azaltılması için ulusal ölçekte deniz atığı toplama programları yürütmektedir. Singapur ise kentsel ekosistemlerde biyoçeşitliliği korumak amacıyla entegre atık bertaraf tesislerinde kapalı çevrimli operasyonlar ve sıkı emisyon kontrol standartları uygulamaktadır. Bu uygulamalar, ülkelerin atık yönetimi ile biyoçeşitlilik koruma politikalarını bütünleştirerek ekosistemlerin uzun vadeli dayanıklılığını artırmaya yönelik güçlü kurumsal çabalarını ortaya koymaktadır.

2.2.7. Katı Atık Yönetiminin Kaynak Verimliliği Üzerine Etkileri

Atık yönetimi ile doğal kaynak kullanımı arasındaki ilişki, sürdürülebilir kalkınma politikalarının temelini oluşturan stratejik bir etkileşim alanıdır. Etkin bir atık yönetimi sistemi, yalnızca atıkların çevresel zararını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda doğal kaynakların korunmasına, ekonomik verimliliğin artırılmasına ve üretim süreçlerinde kaynak kullanımının optimize edilmesine önemli katkılar sunmaktadır. Bu nedenle atık yönetiminin kaynak verimliliği üzerindeki etkilerinin çok boyutlu bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerekmektedir (Shah vd., 2023, s. 2766; Wilts vd., 2016, s. 1).

Geri dönüşüm, yeniden kullanım, geri kazanım ve enerjiye dönüştürme gibi modern atık yönetim uygulamaları, birincil hammaddelere duyulan ihtiyacı azaltarak doğal kaynak üzerindeki baskıyı hafifletmektedir. Metal, cam, kağıt ve plastik gibi materyallerin geri dönüşümü, hem hammadde talebini düşürmekte hem de üretim süreçlerinde önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayarak karbon ayak izini azaltmaktadır (Wilson, 1979, s. 161; Yang vd., 2015, s. 242). Örneğin metal geri dönüşümü, maden çıkarımına kıyasla çok daha düşük enerji gerektirdiğinden hem ekonomik hem de ekolojik açıdan yüksek verimlilik sunmaktadır.

Atıkların kontrolsüz biçimde doğaya bırakılması ise geri dönüştürülebilir ve ekonomik değeri yüksek materyallerin kaybına yol açmaktadır. Bu durum hem ekonomik kaynak israfına hem de ekosistem üzerinde gereksiz baskıya neden olmaktadır. Elektronik atıklar, nadir toprak elementleri, altın, paladyum, platin ve bakır gibi stratejik öneme sahip metaller içerdiğinden, bu atıklardan geri dönüşüm yoluyla hammadde kazanımı sağlanmadığında hem ekonomik değeri yüksek kaynaklar kaybedilmekte hem de çevreye ağır metal sızıntısı gibi ciddi zararlara yol açılmaktadır. (Yang vd., 2015, s. 242).

Organik atıkların kompost ve biyogaz üretiminde değerlendirilmesi, tarımsal üretimde besin maddesi döngüsünü desteklemekte ve kimyasal gübre ihtiyacını azaltarak hem ekonomik maliyetleri düşürmekte hem de toprak sağlığını iyileştirmektedir. Aynı zamanda biyogaz üretimi, yenilenebilir enerji kaynağı olarak fosil yakıt tüketimini azaltmakta ve sera gazı emisyonlarının kontrol altına alınmasına katkı sağlamaktadır. Bu süreçler, döngüsel ekonomi ilkelerinin uygulanabilirliğini artırarak kaynakların üretim - tüketim döngüsü içerisinde daha uzun süre kalmasına olanak tanımaktadır.

Kaynak verimliliğinin artırılması, sürdürülebilir ekonomik büyümenin desteklenmesi, doğal kaynak bağımlılığının azaltılması ve ekosistem üzerindeki baskının hafifletilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Atıkların bütüncül ve sürdürülebilir biçimde yönetilmesi, hem çevresel hem ekonomik fayda yaratarak döngüsel ekonomiye geçişin temel yapı taşlarından birini oluşturmaktadır. Bu doğrultuda birçok ülke, kaynak verimliliğini artırmak ve doğal kaynak bağımlılığını azaltmak amacıyla atık yönetiminde ileri teknolojiler ve döngüsel ekonomi temelli politika araçları geliştirmektedir.

Almanya ve Hollanda, yüksek geri dönüşüm oranlarına ulaşmak için kapsamlı ayrıştırma altyapıları, üretici sorumluluğu programları ve malzeme geri kazanım tesislerini entegre biçimde işletmektedir. Böylece özellikle metal, cam ve plastik gibi materyallerin döngüde kalma süresini artırmaktadır. Japonya, elektronik atıklarda bulunan nadir toprak elementlerinin geri kazanımında kimyasal ayırma ve hidrometalurjik işleme teknolojilerini kullanarak stratejik metallerin ekonomiye yeniden kazandırılmasını sağlamaktadır. İsveç ve Danimarka, organik atıkların kompost ve biyogaz tesislerinde değerlendirilmesini zorunlu hale getirerek hem yenilenebilir enerji üretimini artırmakta hem de tarımsal üretimde besin maddesi döngüsünü güçlendirmektedir. Güney Kore, sıfır atık ve kaynak verimliliği stratejisi kapsamında

akıllı toplama sistemleri ve dijital izleme teknolojileriyle geri dönüşüm performansını artırırken; Singapur, entegre atık-enerji tesislerinde termal enerji geri kazanımını optimize ederek fosil yakıt kullanımını azaltmaktadır. Türkiye ise Sıfır Atık Projesi kapsamında ulusal ölçekte atık ayrıştırma, geri dönüşüm altyapısı, kaynağında azaltım stratejileri ve kurumsal uygulama standartlarını güçlendirmektedir. Özellikle plastik, ambalaj, organik ve tehlikeli atık akışlarında geri kazanım oranlarını yükseltmeyi hedefleyerek kaynak verimliliği ve döngüsel ekonomi ilkelerini politika çerçevesine entegre etmektedir. Bu ülkelerin uygulamaları, kaynak verimliliğini merkezine alan atık yönetimi politikalarının ekonomik sürdürülebilirliği desteklemede kritik rol oynadığını göstermektedir.

2.3. Katı Atık Yönetiminin Ekonomik Etkileri

Katı atık yönetimi, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik ve ekosistem sağlığı açısından değil, aynı zamanda ekonomik kalkınma, rekabet gücü ve toplumsal refah bakımından da stratejik bir öneme sahiptir. Etkin, planlı ve bilim temelli bir atık yönetimi sistemi, kaynakların rasyonel kullanımını desteklemekte, üretim maliyetlerini azaltmakta ve ekonomik faaliyetlerin uzun vadede sürdürülebilirliğini güvence altına almaktadır. Bu doğrultuda atıklar, geleneksel yaklaşımlarda olduğu gibi bertaraf edilmesi gereken bir yük olarak değil, ekonomik katma değer yaratma potansiyeli taşıyan birer kaynak olarak ele alınmaktadır (Daskalopoulos vd., 1997).

Günümüzde hızlı kentleşme, teknolojik gelişmeler ve artan tüketim alışkanlıkları sonucunda oluşan atık miktarındaki artış, ekonomik sistemlerde yeni ve daha kapsayıcı yaklaşımları zorunlu hale getirmiştir. Geleneksel doğrusal ekonomi modeli atığı ekonomik bir dışsallık olarak değerlendirirken, modern döngüsel ekonomi yaklaşımı atıkları ekonomik sistemlerin geri dönüştürülebilir girdileri olarak yeniden tanımlamaktadır. Bu paradigma değişimi sayesinde atıklar üretime geri kazandırılmaktadır. Bu sayede hammadde talebi azalmakta, enerji tüketimi düşmekte ve kaynak verimliliği önemli ölçüde artmaktadır. Böylece atık yönetimi, yalnızca çevresel fayda sağlayan bir uygulama olmaktan çıkarak istihdam yaratma, teknolojik yenilikleri teşvik etme ve ekonomik değer oluşturma kapasitesine sahip bir sektör haline gelmektedir (Mian vd., 2017, s. 1127; Sharma vd., 2021, s. 1).

Atık yönetiminin ekonomik etkileri değerlendirilirken, sistemin doğrudan ve dolaylı sonuçları bir bütün olarak ele alınmalıdır. Bu bağlamda etkin atık yönetimi uygulamaları, yalnızca maliyet tasarrufu sağlamakla kalmamakta aynı zamanda yeni iş alanları yaratarak istihdamı teşvik etmekte, atık ticareti aracılığıyla ulusal ve uluslararası ekonomik iş birliği fırsatlarını genişletmekte, enerji üretimi potansiyelini ortaya çıkararak enerji güvenliğine katkı sunmaktadır. Bunlara ek olarak etkin bir atık yönetiminin sağlık harcamalarını azaltıcı etkileri, turizm sektörü üzerindeki olumlu yansımaları ve kaynakların döngüsel kullanımını sağlayarak ekonomiyi daha dirençli hale getirmesi gibi önemli ekonomik çıktıları bulunmaktadır (Aiguobarueghian vd., 2024, s. 1709)

Bu bölümün devamında katı atık yönetiminin ekonomik boyutları, özellikle istihdam olanaklarının genişlemesi, kaynak tasarrufunun sağlanması, enerji üretimi potansiyeli, atık ticareti, sağlık harcamalarının azaltılması, turizm sektörü üzerindeki olumlu etkiler ve döngüsel ekonomiye katkıları bağlamında kapsamlı bir biçimde değerlendirilerek sistematik olarak ele alınmaktadır. Böylelikle atık yönetiminin ekonomik sistemler üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri çok boyutlu bir analizle bütüncül bir şekilde ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2.3.1. Katı Atık Yönetiminin İstihdam Üzerine Etkileri

Katı atık yönetimi, sahip olduğu geniş operasyonel kapsam nedeniyle istihdam yaratma kapasitesi yüksek olan stratejik bir sektördür. Atık toplama, taşıma, ayrıştırma, geri dönüşüm, bertaraf, yeniden kullanım ve enerjiye dönüştürme gibi süreçlerin her biri, farklı düzeylerde iş gücü talebi oluşturmakta ve hem yerel hem ulusal ölçekte istihdam artışına katkı sağlamaktadır. Özellikle atıkların ekonomik değere dönüştürülmesine yönelik faaliyetlerin gelişmesi, yeni sektörlerin ortaya çıkmasına, girişimcilik fırsatlarının artmasına ve ekonomik büyümenin desteklenmesine zemin hazırlamaktadır (Aiguobarueghian vd., 2024, s. 1709; Hall, 2010, s. 5).

Atık yönetimi sektörünün istihdam potansiyeli, aynı zamanda sürecin teknolojik niteliği ve yenilikçi kapasitesi ile doğrudan ilişkilidir. Geri dönüşüm tesisleri, kompost üretim merkezleri, atık yakma tesisleri ve biyogaz santralleri hem emek yoğun hem de teknoloji yoğun faaliyetler barındırmakta; bu durum farklı beceri düzeylerinde geniş bir iş alanı oluştururken, teknoloji odaklı uygulamalar nitelikli iş gücüne olan talebi

artırmaktadır. Otomatik ayrıştırma sistemleri, yapay zeka destekli atık sınıflandırma teknolojileri ve malzeme geri kazanım tesisleri, teknik uzmanlık gerektiren yeni meslek gruplarının ortaya çıkmasına katkı sunmaktadır. Böylelikle sektör yalnızca istihdam hacmini genişletmekle kalmamakta, aynı zamanda iş gücünün niteliğini artıran bir dönüşüm süreci yaratmaktadır (Hall, 2010, s. 5).

Katı atık yönetimi, iş gücü piyasasının çeşitlenmesine, nitelikli istihdamın artmasına ve ekonomik kalkınma hedeflerinin desteklenmesine katkı sağlayan önemli bir sektörel alan niteliği taşımaktadır. Sürdürülebilir atık yönetimi politikalarının uygulanması ve sektörün teknolojik kapasitesinin güçlendirilmesi, hem istihdamın niceliksel artışı hem de iş gücü niteliğinin yükseltilmesi açısından stratejik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

Bu kapsamda birçok ülke, atık yönetimi sektörünü istihdam yaratma kapasitesi yüksek bir ekonomik alan olarak değerlendirerek çeşitli politika uygulamalarını hayata geçirmektedir. Almanya ve Hollanda, geri dönüşüm ve malzeme geri kazanım tesislerine yaptıkları yatırımlar sayesinde yüksek nitelikli teknik personelden saha çalışanlarına kadar geniş bir istihdam yapısı oluşturmuş, üretici sorumluluğu programları ile sektör içi iş gücü talebini artırmıştır. Japonya, elektronik atık geri dönüşümünde geliştirdiği ileri teknolojiler ve otomasyon sistemleriyle hem mühendislik hem de Ar-Ge odaklı yeni istihdam alanları yaratmaktadır. İsveç ve Danimarka, biyogaz ve kompost tesislerini yaygınlaştırarak organik atık yönetimi alanında yerel istihdamı güçlendirmekte, yenilenebilir enerji sektöründe yeni iş fırsatları doğurmaktadır. Güney Kore, akıllı atık toplama sistemleri ve dijital izleme teknolojileri sayesinde veri analizi, sensör teknolojisi ve çevresel mühendislik alanlarında nitelikli iş gücü talebini artırmıştır. Türkiye ise Sıfır Atık Projesi kapsamında belediyeler, organize sanayi bölgeleri, kamu kurumları ve özel sektör işletmelerinde yeni iş pozisyonları yaratarak toplama-ayrıştırma, geri dönüşüm, eğitim ve denetim alanlarında istihdam hacmini genişletmiştir. Bu uygulamalar, ülkelerin atık yönetimini yalnızca çevresel bir zorunluluk olarak değil, ekonomik ve sosyal kalkınmayı destekleyen bir istihdam kaynağı olarak da stratejik biçimde değerlendirdiğini göstermektedir.

2.3.2. Katı Atık Yönetiminin Kaynak Tasarrufu Üzerine Etkileri

Atık yönetimi süreçlerinin ekonomik boyutu incelendiğinde, en belirgin ve çok yönlü çıktılardan biri kaynak tasarrufudur. Etkin ve bütüncül bir atık yönetimi sistemi, doğal kaynaklara yönelik talebi azaltmakta, üretim süreçlerinde verimliliği artırmakta ve materyallerin ekonomiye yeniden kazandırılmasını mümkün kılarak maliyet etkinliği sağlamaktadır. Bu çerçevede geri dönüşüm, yeniden kullanım ve geri kazanım yöntemleri; hem ekonomik hem çevresel maliyetleri azaltan, hem de sürdürülebilir büyümeyi destekleyen stratejik uygulamalar olarak önem kazanmaktadır (Shah vd., 2023, s. 2766; Wilts vd., 2016, s. 1).

Geri dönüşüm uygulamaları, atıkların üretim süreçlerine ikincil hammadde olarak dahil edilmesini sağlayarak birincil kaynak kullanımını azaltmakta ve üretim maliyetlerinin düşürülmesine katkı sunmaktadır. Özellikle kağıt, plastik, cam ve metal gibi materyallerin geri dönüşümü; hammadde talebini azaltmanın yanı sıra enerji, su ve arazi kullanımında önemli tasarruflar yaratmaktadır. Nitekim alüminyum geri dönüşümü, birincil üretime kıyasla yaklaşık yüzde 95'e varan enerji tasarrufu sağlamakta; kağıt geri dönüşümü ise hem selüloz ihtiyacını azaltmakta hem de su tüketiminde ciddi düşüşlere neden olmaktadır (Das vd. 2010, s. 22; Shamsudin vd., 2016, s. 256). Bu durum yalnızca ekonomik maliyetleri azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda karbon ayak izinin düşürülmesine de katkı sağlamaktadır.

Kaynak tasarrufu, çevresel maliyetlerdeki azalma ile de doğrudan ilişkilidir. Atık miktarının azaltılması, düzenli depolama alanı ihtiyacını ve arazi kullanımını minimize ederek hem çevresel baskıyı azaltmakta hem de arazi temini ve işletme maliyetlerini düşürmektedir. Geri kazanım süreçlerinin güçlendirilmesi ise hammadde ithalatı ihtiyacını azaltarak dış ticaret dengesinin iyileştirilmesine ve ekonomik bağımsızlığın güçlendirilmesine katkıda bulunmaktadır (Cherubini vd., 2009, s. 2116). Böylece atık yönetimi, yalnızca kentsel çevre ve ekosistem sağlığı açısından değil, makroekonomik istikrar ve kaynak güvenliği açısından da stratejik bir araç haline gelmektedir.

Atık yönetimi, doğal kaynakların korunması ve verimli kullanılması açısından kritik öneme sahiptir. Kaynak tasarrufunu önceleyen sürdürülebilir politikaların benimsenmesi ve etkin atık yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılması, hem ekonomik hem çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında temel bir bileşen olarak

değerlendirilmektedir. Bu kapsamda pek çok ülke, kaynak tasarrufunu artırmak ve doğal kaynak tüketimini azaltmak amacıyla atık yönetimi alanında kapsamlı politika araçları ve ileri teknolojik uygulamalar geliştirmektedir.

Almanya ve Hollanda, yüksek geri dönüşüm oranlarına ulaşmak için üretici sorumluluğu programlarını, zorunlu atık ayrıştırma sistemlerini ve malzeme geri kazanım tesislerini bütüncül biçimde uygulayarak hammadde tasarrufunu maksimize etmektedir. Japonya, özellikle elektronik atıklarda bulunan nadir toprak elementleri ve değerli metallerin geri kazanımında hidrometalurjik ve pirometalurjik işlemleri kullanarak stratejik hammaddelerin ekonomiye yeniden kazandırılmasını sağlamaktadır. İsveç ve Danimarka, organik atıkların kaynağında ayrıştırılması ve biyogaz tesislerinde işlenmesiyle hem enerji üretiminde fosil yakıt bağımlılığını azaltmakta hem de kompost üretimi üzerinden tarım sektöründe kaynak kullanımını optimize etmektedir. Güney Kore, akıllı atık yönetimi sistemleri ve dijital takip teknolojileri aracılığıyla geri dönüşüm kalitesini artırarak malzeme kayıplarını minimize etmektedir. Türkiye ise Sıfır Atık Projesi kapsamında ulusal ayrıştırma altyapısını güçlendirmekte, geri dönüşüm oranlarını artırmaya dönük düzenlemeler uygulamakta ve özellikle ambalaj, plastik ve organik atık akışlarında kaynak tasarrufunu önceleyen politika araçlarını yaygınlaştırmaktadır. Bu uygulamalar, ülkelerin atık yönetimini kaynak tasarrufu ve döngüsel ekonomi perspektifiyle bütünleştirerek sürdürülebilir ekonomik yapılar oluşturma yönündeki kurumsal kapasitelerini ortaya koymaktadır.

2.3.3. Katı Atık Yönetiminin Enerji Üretimi Üzerine Etkileri

Katı atık yönetiminin ekonomik etkileri arasında enerji üretimi, hem sürdürülebilir enerji politikalarının desteklenmesi hem de ekonomik yapının güçlendirilmesi açısından stratejik bir alan olarak öne çıkmaktadır. Atıkların enerjiye dönüştürülmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesine katkı sağlayarak fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmakta, ülke ölçeğinde enerji arz güvenliğini artırmakta ve enerji maliyetlerini düşürmektedir. Bununla birlikte atıktan enerji üretimi, atık bertarafının ekonomik bir değere dönüşmesini sağlayarak sektörde yeni değer zincirleri yaratmakta, böylece hem çevresel hem ekonomik kazanımların eş zamanlı olarak elde edildiği entegre bir sistem ortaya çıkarmaktadır (Arena, 2012, s. 630; Dong vd., 2014, s. 400).

Atıklardan enerji üretimi; biyogaz tesisleri, doğrudan yakma ile elektrik ve ısı üretimi, yakıta dönüştürülmüş atık (RDF) kullanımı, gazifikasyon ve piroliz gibi termal dönüşüm teknolojileri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Biyogaz üretimi özellikle organik atıkların değerlendirilmesinde etkili bir yöntem olup hem metan salımını azaltmakta hem de elde edilen biyometan ve elektrik üretimiyle ekonomik getiriler sağlamaktadır. Belediyelerin topladığı evsel atıklar, tarımsal atıklar ve endüstriyel organik atıklar biyogaz tesislerine yönlendirilerek enerji üretim sürecine entegre edilmekte; bu durum aynı zamanda düzenli depolama alanlarına giden atık miktarını azaltarak çevresel baskıyı düşürmektedir (Arena, 2012, s. 630; Zhang vd., 2010, s. 1617).

Doğrudan yakma yöntemiyle gerçekleştirilen enerji üretiminde, belediye atıkları yüksek verimli kojenerasyon sistemlerinde elektrik ve ısıya dönüştürülmektedir. Elde edilen enerji hem şehir şebekelerine aktarılmakta hem de bölgesel ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. RDF teknolojisi ise özellikle plastik, tekstil ve kağıt bazlı yüksek kalorifik değere sahip atıkların yakıt haline getirilerek enerji santrallerinde fosil yakıtların yerine kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Böylece enerji maliyetlerinin düşürülmesine ve emisyonların azaltılmasına önemli katkı sunmaktadır.

Enerji üretimi açısından atıkların stratejik değeri, yalnızca enerji arzının çeşitlendirilmesi ile sınırlı değildir. Aynı zamanda dışa bağımlı ülkelerde enerji ithalat faturasını azaltması, makroekonomik istikrara katkı sunması ve yerli-yenilenebilir enerji kapasitesini artırması bakımından da kritik bir rol oynamaktadır. Ek olarak atıkların enerjiye dönüştürülmesi karbon emisyonlarını düşürmekte, düzenli depolama alanlarındaki metan oluşumunu sınırlamakta ve sürdürülebilir enerji dönüşümüne doğrudan katkı sağlamaktadır.

Atıktan enerji üretimi, maliyet etkinliği, kaynak çeşitliliği, enerji güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir stratejik araçtır. Bu alanda geliştirilecek yeni teknolojiler, finansal mekanizmalar ve politika araçları, hem enerji sektörünün dönüşümüne hem de döngüsel ekonomi çerçevesinde atık yönetimi sistemlerinin güçlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu doğrultuda pek çok ülke, atıkların enerjiye dönüştürülmesini ulusal enerji stratejilerinin ayrılmaz bir bileşeni olarak ele almakta ve bu alanda güçlü kurumsal kapasite geliştirmektedir. İsveç ve Danimarka, atıktan enerji üretiminde Avrupa'nın en ileri uygulamalarını hayata geçirerek belediye atıklarının

büyük bir kısmını yüksek verimli kojenerasyon tesislerinde elektrik ve ısıya dönüştürmektedir. Böylece hem fosil yakıt kullanımını azaltmakta hem de kentsel ısıtma sistemlerinin enerji ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Almanya ve Hollanda, biyogaz tesislerinde organik atıkların işlenmesini teşvik ederek biyometan üretimini artırmakta ve bu gazı ulusal doğal gaz şebekelerine entegre ederek enerji arz güvenliğini güçlendirmektedir. Japonya, atık yakma tesislerinde ileri ısı geri kazanım teknolojileri, gazifikasyon ve piroliz sistemleri kullanarak enerji üretim verimliliğini yükseltmektedir. Özellikle yüksek yoğunluklu kentsel alanlarda atığın enerji kaynağı olarak değerlendirilmesini yaygınlaştırmaktadır. Güney Kore, atıktan enerji üretimi konusunda dijital izleme ve otomasyon teknolojilerini kullanarak termal verimliliği artırmakta ve atık kaynaklı emisyonları sıkı şekilde denetlemektedir. Ülkelerin bu girişimleri atık yönetimini enerji üretimi ile bütünleştirerek hem ekonomik hem çevresel fayda yaratan sürdürülebilir sistemler geliştirdiğini göstermektedir.

2.3.4. Katı Atık Yönetiminin Atık Ticareti Üzerine Etkileri

Atık ticareti, atıkların yerel, ulusal ve uluslararası ölçekte ekonomik bir mal olarak değerlendirilmesini sağlayan önemli bir ekonomik boyutu ifade etmektedir. Geri dönüştürülebilir nitelikteki atıkların sınırlar arası transferi, hem ekonomik değer yaratmakta hem de küresel ölçekte kaynak döngüsünün etkinliğini artırarak döngüsel ekonomiyi desteklemektedir. Bu çerçevede atık, yalnızca bertaraf edilmesi gereken bir çevresel sorun değil, aynı zamanda yeniden işlenebilir ve piyasada değeri bulunan bir emtia niteliğine bürünmektedir (van Beukering, 2004, s. 287).

Geri dönüştürülebilir atık ticareti, kağıt, plastik, metal, elektronik atıklar, tekstil atıkları ve hurda malzemeler gibi geniş bir ürün yelpazesini kapsamaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde geri dönüşüm sanayisinin güçlenmesi açısından kritik bir rol oynayan bu ticaret, gelişmiş ülkelerde ise yüksek maliyetli işlemlerin uygun maliyetli tesislerde yapılmasına imkan sağlayarak ekonomik verimliliği artırmaktadır. Özellikle elektronik atıkların uluslararası ticareti, hem hammadde geri kazanımı hem de stratejik nadir elementlerin yeniden ekonomiye kazandırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Atık ticaretinin bir diğer önemli boyutu, teknoloji transferi ve uluslararası iş birliğini teşvik etmesidir. Geri dönüşüm teknolojileri açısından gelişmiş ülkeler, yüksek kapasiteli ayrıştırma, mekanik ve kimyasal geri dönüşüm, e-atık işleme ve tehlikeli

madde ayrıştırma teknolojilerini diğer ülkelere aktararak küresel kapasite geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu durum hem bilgi paylaşımını artırmakta hem de geri dönüşüm endüstrilerinin küresel ölçekte daha rekabetçi bir yapıya kavuşmasına imkan tanımaktadır (Kellenberg ve Levinson, 2014, s. 136; van Beukering, 2004, s. 287).

Atık ticareti kaynak döngüsünün uluslararası entegrasyonunu güçlendiren, sanayileşmeyi destekleyen, ekonomik değer yaratan ve ülkeler arası teknoloji transferine olanak sağlayan stratejik bir mekanizmadır. Bununla birlikte, uzun vadeli ve sürdürülebilir faydalar elde edilebilmesi için ticaret süreçlerinin çevresel standartlara, uluslararası düzenlemelere ve sürdürülebilirlik ilkelerine uygun bir biçimde yönetilmesi zorunludur.

Birçok ülkede atık ticareti hem ekonomik değer yaratma hem de küresel kaynak döngüsüne entegrasyon açısından stratejik bir araç olarak kullanılmaktadır. Almanya ve Hollanda, gelişmiş geri dönüşüm teknolojileri ve yüksek kalite standartlarına sahip ayrıştırma tesisleri sayesinde Avrupa'nın en büyük geri dönüştürülebilir atık ihracatçıları arasında yer almaktadır. Özellikle kağıt, plastik ve metal atık ticaretinde önemli bir pazar payına sahiptir. Japonya, ileri e-atık geri dönüşüm teknolojileri ile yüksek değerli metallerin geri kazanımında uzmanlaşarak elektronik atık ticaretinde bölgesel bir merkez işlevi görmektedir. Güney Kore, plastik ve elektronik atıkların uluslararası ticaretine yönelik sıkı kalite standartları uygulayarak hem iç piyasada geri dönüşüm kalitesini artırmakta hem de ihracat potansiyelini genişletmektedir. Singapur, dünya ticaret yolları üzerindeki avantajlı konumu sayesinde geri dönüştürülebilir malzemelerin bölgesel ticaretinde lojistik merkezlerden biri haline gelmiştir. Bu örnekler, ülkelerin atık ticaretini ekonomik kalkınma, sanayi politikaları ve dış ticaret stratejileriyle bütünleştirerek sürdürülebilir bir küresel kaynak döngüsü oluşturma yönünde önemli adımlar attığını göstermektedir.

2.3.5. Katı Atık Yönetiminin Sağlık Harcamaları Üzerine Etkileri

Katı atık yönetimi ile sağlık harcamaları arasındaki ilişki, ekonomik etkilerin dolaylı ancak son derece kritik bir boyutunu oluşturmaktadır. Etkin, bütüncül ve çevreye duyarlı bir atık yönetimi sistemi, çevresel riskleri azaltarak toplum sağlığının korunmasına katkıda bulunmaktadır. Böylece hem kamu hem de özel sağlık harcamalarında kayda değer tasarruflar yaratmaktadır. Kontrolsüz depolama alanlarında

ortaya çıkan biyolojik, kimyasal ve fiziksel kirleticiler, solunum yolu hastalıkları, dermatolojik problemler, su kaynaklı enfeksiyonlar ve toksik madde maruziyetine bağlı kronik rahatsızlıklar gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Bu durum, sağlık kurumlarında tedavi talebini artırmakta ve sağlık bütçeleri üzerinde önemli bir mali yük oluşturmaktadır (Mihaliková vd., 2022, s. 1).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve çevre sağlığı alanındaki raporlar, atıkların uygunsuz yönetiminin özellikle çocuklar, yaşlı nüfus ve düşük sosyoekonomik gruplar için daha yüksek sağlık riski yarattığını ortaya koymaktadır. Bu durum, çevresel adalet ve sağlık eşitsizlikleri açısından önemli sakıncalar doğurmaktadır. Kamu sağlık sistemlerine olan bağımlılığı artırarak devlet bütçeleri üzerinde ek baskılar oluşturmaktadır. Atığa bağlı hastalıkların ekonomik etkileri yalnızca tedavi maliyetleriyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda özel sigorta harcamalarının artmasına, bireysel tedavi giderlerinin yükselmesine ve iş gücü kayıplarının çoğalmasına neden olmaktadır. İş gücü kaybı, üretkenlik düşüşü ve uzun dönemli sağlık sorunlarına bağlı işgücü devamsızlığı, dolaylı ekonomik maliyetleri daha da büyütürken toplam refah seviyesini olumsuz etkilemektedir (Gutberlet ve Uddin, 2017; WHO, 2025).

Atıkların neden olduğu sağlık yükü, ulusal ekonomilerde hem mikro hem makro düzeyde maliyet artışlarına yol açarken, etkin atık yönetimi uygulamalarının bir halk sağlığı stratejisi olarak önemini artırmaktadır. Atığın çevre ve sağlık üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması, erken müdahale ve önleyici sağlık politikalarını desteklemekte, böylece uzun vadede kamu bütçesinde tasarruf, hanehalkı maliyetlerinde azalma ve toplumsal refah artışı sağlanmaktadır. Atık yönetiminin, yalnızca çevresel bir zorunluluk değil, aynı zamanda sağlık harcamalarını azaltan ve ekonomik sürdürülebilirliği destekleyen stratejik bir yatırım alanı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Atığa bağlı sağlık risklerini ve buna bağlı sağlık harcamalarını azaltmak amacıyla birçok ülkede, çevre sağlığı odaklı atık yönetimi politikaları geliştirilmektedir. Almanya ve Hollanda, düzenli depolama alanlarında sızıntı suyu ve gaz emisyonlarını en aza indirmek için ileri izolasyon teknolojileri ve sürekli izleme sistemleri kullanarak kirlilik kaynaklı sağlık maliyetlerini düşürmektedir. Japonya, yüksek nüfus yoğunluğuna sahip yerleşimlerde atık yakma tesislerini kapalı sistemlerde ve gelişmiş duman arıtma teknolojileriyle işletmektedir. Böylece hava kirleticilerinin solunum yolu hastalıkları

üzerindeki etkilerini azaltarak sağlık yükünü hafifletmektedir. İsveç ve Danimarka, organik atıkları biyogaz tesislerinde işleyerek metan salımını sınırlamaktadır. Bu sayede hem hava kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunmakta hem de toplum sağlığında ortaya çıkan maliyetleri uzun vadede azaltmaktadır. Güney Kore, yasa dışı döküm alanlarının tespiti için drone ve sensör tabanlı izleme sistemleri kullanarak çevre kirliliğini erken aşamada kontrol altına almakta ve halk sağlığı üzerindeki olası ekonomik yükleri sınırlamaktadır. Singapur ise yoğun kentsel alanlarda atık toplama ve bertaraf süreçlerini tamamen kapalı entegre tesislerde yürütmekte, vektör kaynaklı hastalıkların ve toksik maruziyetlerin önüne geçerek sağlık sistemi üzerindeki mali baskıyı azaltmaktadır. Bu uygulamalar, atık yönetiminin etkin yürütülmesinin sağlık harcamalarını düşürmede kritik bir politika aracı olduğunu göstermektedir.

2.3.6. Katı Atık Yönetiminin Turizm Üzerine Etkileri

Turizm sektörü, çevresel kaliteyle doğrudan ilişkili olan ve fiziksel çevredeki bozulmalara karşı son derece duyarlı bir ekonomik faaliyet alanıdır. Bu nedenle atık yönetimi, turizm destinasyonlarının sürdürülebilirliği, rekabet gücü ve ekonomik performansı üzerinde belirleyici bir etkisi bulunan stratejik bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Temiz, düzenli ve sağlıklı bir çevre, turist memnuniyetini, destinasyon çekiciliğini ve tekrar ziyaret olasılığını artırırken, kötü atık yönetimi çevre kirliliği yoluyla sektörü olumsuz yönde etkilemekte ve turizm gelirlerinde düşüşlere neden olabilmektedir (Gabor vd., 2023, s. 1; Radwan vd., 2012).

Turistik bölgelerde, özellikle yaz aylarında artan nüfus hareketliliği nedeniyle oluşan mevsimsel atık hacmi, etkili bir yönetim sistemi bulunmadığında çevresel bozulmalara yol açmaktadır. Sahil şeritlerinde, kıyı bölgelerinde, tarihi alanlarda ve korunan doğal alanlarda biriken plastik atıklar, ambalaj atıkları ve organik atıklar, görsel kirlilik yaratmakta, su ve toprak kalitesinin düşmesine neden olmakta ve ekoturizm açısından kritik öneme sahip doğal habitatların zarar görmesine yol açmaktadır. Bu durum turist memnuniyetini azaltmakla kalmayıp, bölgenin turizm markası üzerinde olumsuz bir algı oluşmasına neden olmakta ve destinasyonun rekabet gücünü zayıflatmaktadır (Baloch vd., 2023, s. 5917; Gabor vd., 2023, s. 1).

Atık kaynaklı çevre sorunlarının medya ve sosyal ağlarda görünürlük kazanması, destinasyon imajını zedelemekte ve turist tercihlerinin alternatif bölgelere kaymasına yol açabilmektedir. Bu kayma, yalnızca turizm gelirlerinde azalmaya değil, aynı zamanda konaklama, yiyecek–içecek, ulaşım, eğlence ve rehberlik gibi turizme bağlı sektörlerde zincirleme istihdam ve gelir kayıplarına neden olmaktadır. Dolayısıyla atık yönetimi yalnızca çevresel bir yükümlülük değil, aynı zamanda turizm sektörünün ekonomik sürdürülebilirliği açısından kritik bir rekabet unsuru haline gelmektedir.

Öte yandan etkin ve sürdürülebilir atık yönetimi, çevreye duyarlı turizm yaklaşımlarıyla uyumlu bir şekilde destinasyonların marka değerini artırmaktadır. “Yeşil otel”, “eko-etiketli işletme”, “sürdürülebilir destinasyon”, “çevre dostu kent” gibi uygulamalar hem pazarlama stratejilerinde hem de uluslararası turizm piyasasında önemli bir rekabet avantajı yaratmaktadır (Baloch vd., 2023, s. 5917; Dodds ve Joppe, 2005, s. 40; Sekarnigrum, 2020, s. 86). Bu tür uygulamalar, turistlerin çevresel duyarlılığının arttığı günümüz koşullarında destinasyon tercihlerini pozitif yönde etkileyerek daha yüksek katma değer yaratılmasını sağlamaktadır.

Turizm sektörünün sürdürülebilirliği ile atık yönetimi politikaları arasında güçlü bir yapısal ilişki bulunmaktadır. Atıkların kaynağında ayrıştırılması, düzenli toplanması, geri dönüşüm süreçlerinin etkin işletilmesi ve çevre dostu bertaraf yöntemlerinin benimsenmesi, hem çevresel kalitenin korunması hem de turizm sektörünün uzun vadeli ekonomik sürdürülebilirliği için vazgeçilmezdir. Bu kapsamda birçok ülke, turizm destinasyonlarının sürdürülebilirliğini güvence altına almak ve çevresel kalitenin korunması yoluyla rekabet gücünü artırmak amacıyla atık yönetimine yönelik kapsamlı politikalar uygulamaktadır.

İspanya, özellikle Balear ve Kanarya Adaları gibi yoğun turizm alanlarında atık oluşumunu azaltmak için kaynağında ayrıştırma, sıkı plastik kısıtlamaları ve kapalı devre atık toplama sistemleri uygulayarak sahil ve kıyı ekosistemlerinin korunmasına öncülük etmektedir. İtalya’nın Toskana ve Sardinya bölgeleri, turistik alanlarda yüksek geri dönüşüm oranları ve “sıfır atık plajları” konsepti ile çevresel kaliteyi artırmakta ve destinasyon imajını güçlendirmektedir. Yunanistan, ada turizmine yönelik özel atık yönetimi stratejileri kapsamında liman ve marina atıklarının ayrı toplanmasını zorunlu hale getirerek hem deniz kirliliğini azaltmakta hem de mavi bayraklı plajların

sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Singapur, kentsel turizm alanlarında yer altı atık toplama sistemleri, yüksek verimli geri dönüşüm altyapısı ve hijyen odaklı kapalı toplama teknolojileri sayesinde turizm bölgelerinde çevre kalitesini sürekli yüksek seviyede tutmaktadır. Japonya ise Kyoto, Nara ve Tokyo gibi yoğun ziyaretçi alanlarında katı atık üretimini azaltmak için “atık getirme” politikası, otomatik ayrıştırma sistemleri ve düşük atık üreten turizm işletmeleri için sertifikasyon programları uygulamaktadır. Bu örnekler, sürdürülebilir atık yönetimi uygulamalarının turizm sektörünün devamlılığını güvence altına almak ve destinasyon markasını güçlendirmek açısından kritik bir politika aracı olduğunu göstermektedir.

2.3.7. Katı Atık Yönetiminin Döngüsel Ekonomi Üzerine Etkileri

Geleneksel doğrusal ekonomi modeli, kaynakların çıkarılıp kullanıldıktan sonra atık olarak bertaraf edilmesine dayanmakta; bu yaklaşım ise kaynakların hızla tükenmesine ve çevresel bozulmaya yol açmaktadır. Bu nedenle atık yönetimi politikalarıyla yakından ilişkili olan döngüsel ekonomi kavramı ön plana çıkmıştır. Döngüsel ekonomi, kaynakların değerini uzun süre korumayı, atık oluşumunu en aza indirmeyi ve ekonomik döngüyü yeniden tasarlamayı amaçlamaktadır (Geissdoerfer vd. 2017, s. 757; Geng ve Doberstein, 2008, s. 231).

Atık yönetimi döngüsel ekonominin merkezinde yer almakta ve bu sistemin uygulanabilirliğini sağlayan temel bir bileşen olarak konumlanmaktadır. Yeniden kullanım, geri dönüşüm, onarım, yenileme (refurbishment), yeniden üretim (remanufacturing) ve endüstriyel simbiyoz gibi uygulamalar, atığın üretim sürecinin bir girdisine dönüşmesini mümkün kılarak hem ekonomik üretkenliği artırmakta hem de birincil hammadde ihtiyacını azaltmaktadır. Bu dönüşüm yalnızca kaynak verimliliğini güçlendirmekle kalmamakta, aynı zamanda yeşil teknoloji geliştirme kapasitesini, inovasyonu ve girişimcilik faaliyetlerini teşvik ederek yeni ekonomik sektörlerin ortaya çıkmasına katkı sunmaktadır (Kirchherr vd., 2017, s. 221; Murray vd., 2017, s. 369).

Döngüsel ekonomi stratejilerinin uygulanması, uzun vadeli maliyetlerin azaltılması ve tedarik zincirlerinin dayanıklılığının artırılması açısından kritik öneme sahiptir. Hammaddelere erişimde yaşanabilecek küresel belirsizlikler ve fiyat dalgalanmaları karşısında geri dönüşüm ve geri kazanım süreçleri, ekonomik

kırılganlıkları azaltan bir tampon işlevi görmektedir. Kamu–özel iş birlikleriyle geliştirilen döngüsel ekonomi programları, hem çevresel riskleri azaltmakta hem de ekonomik krizlere karşı dirençli üretim modellerinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Gregson ve Crang, 2015; van Beukering, 2004).

Atık yönetiminin döngüsel ekonomiyle bütünleşmesi, istihdam, enerji üretimi, kaynak tasarrufu, atık ticareti ve turizm gibi çok boyutlu alanlarda ekonomik değer üretimini mümkün kılmaktadır. Ayrıca atık azaltımı ve geri dönüşüm uygulamalarının güçlendirilmesi, kamu sağlığı üzerindeki yükü hafifleterek, sağlık harcamalarında dolaylı tasarruf sağlayan uzun vadeli sosyal faydalar yaratmaktadır. Bununla birlikte atık yönetiminin yetersiz olması, hava, su ve toprak kirliliğinin artmasına, ekosistemlerin bozulmasına, biyoçeşitliliğin azalmasına ve iklim değişikliğinin hızlanmasına neden olarak hem çevresel hem ekonomik riskleri derinleştirmektedir (Korhonen vd., 2018, s. 42; van Beukering, 2004).

Katı atık yönetimi çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik dayanıklılık ve kaynak verimliliği arasında güçlü bir kesişim noktasında yer almaktadır. Döngüsel ekonomiye geçişin başarılı olabilmesi için ulusal ve uluslararası düzeyde geliştirilecek politika çerçevelerinin, atık yönetimini çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla birlikte ele alan entegre stratejiler üzerine kurulması gerekmektedir. Bu yaklaşım, hem kaynakların daha verimli kullanılmasını hem ekosistemlerin korunmasını hem de uzun vadeli ekonomik istikrarın güçlendirilmesini sağlayarak sürdürülebilir kalkınmanın temelini oluşturmaktadır. Bu doğrultuda birçok ülke, döngüsel ekonomi hedeflerini desteklemek amacıyla atık yönetimi sistemlerini yeniden yapılandırmakta ve atıkların ekonomik değere dönüştürülmesini teşvik eden yenilikçi politikalar uygulamaktadır.

Almanya ve Hollanda, kapsamlı geri dönüşüm altyapıları, üretici sorumluluğu uygulamaları (EPR) ve atıkların üretim süreçlerine yeniden kazandırılmasını zorunlu kılan düzenlemeleriyle döngüsel ekonominin Avrupa'daki öncü örneklerini oluşturmaktadır. Bu ülkelerde endüstriyel simbiyoz projeleri yaygınlaşmış olup bir işletmenin atığının başka bir işletmenin girdisi olarak kullanılması yoluyla kaynak verimliliği önemli ölçüde artırılmaktadır. Japonya, “3R” (Reduce, Reuse, Recycle) stratejisini ulusal düzeyde kurumsallaştırarak elektronik atıkların yüksek değerli materyallere dönüştürülmesinde dünya liderleri arasında yer almakta; belediye atıkları

için uygulanan ileri mekanik ve biyolojik işleme teknolojileriyle döngüsel üretim modellerini desteklemektedir. Danimarka ve İsveç, organik atıkları biyogaz ve kompost üretiminde kullanarak hem enerji sektöründe kaynak çeşitliliğini artırmakta hem de tarımsal sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahip besin maddelerinin döngüye geri kazandırılmasını sağlamaktadır. Güney Kore ise dijital takip sistemleri ve akıllı atık toplama teknolojileriyle atık akışını gerçek zamanlı izleyerek geri dönüşüm oranlarını artırmakta ve döngüsel ekonomi doğrultusunda kaynak kayıplarının önüne geçmektedir. Bu uygulamalar, ülkelerin atığı ekonomik sistemin yeniden üretim mekanizmasına entegre ederek hem kaynak verimliliğini artırdığını hem de sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda güçlü bir dönüşüm süreci yürüttüğünü göstermektedir.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. BELEDİYE KATI ATIK GERİDÖNÜŞÜMÜNÜN EKONOMİK BÜYÜME VE ÇEVRESEL BOZULMA ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Belediye katı atık geri dönüşümünün ekonomik büyüme ve çevresel bozulma üzerindeki etkilerinin analiz edilmesine yönelik olarak tasarlanan üçüncü bölüm, çalışmanın ampirik temelini oluşturmaktadır. Bu çerçevede öncelikle araştırmanın amacı ayrıntılı biçimde ortaya konulmaktadır. Devamında konunun akademik ve uygulamalı düzeydeki önemi değerlendirilmektedir. Literatür taraması kapsamında ise katı atık yönetiminin ekonomi ve çevre üzerine etkisini inceleyen çalışmalar ile katı atık yönetiminin etkinliğini inceleyen çalışmalar ayrı alt başlıklar altında sistematik biçimde incelenmektedir. Sonraki bölümlerde kullanılacak veri seti, model ve yöntem tanıtılarak ekonometrik yöntemlerin uygulanması sonucu elde edilen bulgular sunulmaktadır.

3.1.Araştırmanın Amacı

Sürdürülebilir kalkınma amaçlarının gerçekleştirilmesinde katı atık yönetimi hem doğal kaynakların korunması hem de çevresel bozulmanın önlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Özellikle katı atık geri dönüşümü, doğal kaynak tüketimini azaltarak, atıkların doğaya kontrolsüz bir şekilde karışmasını ve atık kaynaklı emisyonların oluşmasını engelleyerek çevresel bozulmayı sınırlandırmaktadır. Aynı zamanda geri dönüşüm, geri kazanım ve yeniden kullanım yoluyla ekonomik değer yaratmaktadır. Bu sebeple, geri dönüşüm politikalarının yalnızca çevresel değil aynı zamanda ekonomik etkilerinin de bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, belediye katı atıklarının geri dönüşüm süreçlerinin ekonomik büyüme ve çevresel bozulma üzerindeki etkilerini bütüncül bir bakış açısıyla analiz etmektir. Bu kapsamda geri dönüşüm faaliyetlerinin ekonomik performansa katkı sağlayıp sağlamadığı ve çevresel baskıların azaltılmasında etkisinin olup olmadığı incelenmektedir. İlk olarak makro düzeyde gerçekleştirilecek analizde belediye katı atıklarının geri dönüşümünün ekonomik büyüme ve çevresel bozulma üzerindeki etkileri, verisine tam olarak ulaşılan 33 ülke özelinde değerlendirilmektedir. Bu çerçevede, ikinci nesil panel veri yöntemlerinden CS-ARDL ve AMG tahmincileri kullanılarak geri

dönüşüm faaliyetlerinin uzun ve kısa dönemli etkileri ampirik olarak test edilmektedir. AMG tahmincisi, ülkelere özgü katsayılar üretmesi sayesinde her bir ülkenin geri dönüşüm–büyüme–çevre ilişkisindeki konumunu ayrı biçimde ortaya koymaktadır. Böylece ülkeler arasındaki yapısal farklılıklar belirginleşmekte ve politika yapıcıların ülke bazında değerlendirme yapabilmesine imkan tanınmaktadır.

Araştırmanın ikinci aşamasında ise mikro düzeyde Türkiye’deki belediyelerin katı atık yönetimi süreçlerinin performansı değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda, belediyelerin atık oluşumu ve atık yönetimi aşamalarındaki operasyonel verimlilikleri, çoklu girdi ve çıktı yapısını dikkate alan çıktı yönelimli ve ölçeğe göre değişen getiri varsayımı altında Lider–Takipçi (Stackelberg) yapısına dayalı işbirlikçi olmayan iki aşamalı Ağ Veri Zarflama Analizi ile ölçülmektedir. Bu yöntem, atık oluşum sürecini lider, atık yönetim sürecini ise takipçi aşama olarak ele alarak belediyelerin hem yapısal koşullarını hem de yönetsel kapasitelerini bütüncül bir çerçevede değerlendirme imkanı sunmaktadır.

Bu çift yönlü analiz metodolojisiyle belediye katı atık yönetiminin ekonomik büyümeyi ne ölçüde teşvik ettiği ve çevresel bozulmayı azaltmadaki etkinliği hem makro hem de mikro ölçekte güçlü istatistiksel kanıtlarla ortaya konulmaktadır. Böylece belediye katı atık geri dönüşümünün ekonomik ve çevresel etkileri sürdürülebilir kalkınma perspektifiyle bütüncül bir biçimde değerlendirilmiş olmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı doğrultusunda araştırmada belediye katı atık geri dönüşüm faaliyetlerinin ekonomik ve çevresel sonuçları iki düzeyde test edilmektedir. Bu kapsamda çalışmanın temel hipotezi, geri dönüşüm oranlarındaki artışın ekonomik büyümeyi desteklediği ve çevresel kalite göstergelerini iyileştirdiğidir. Ayrıca yerel düzeyde atık yönetimi süreçlerinin etkinliğinin artırılmasının belediyelerin genel atık yönetimi performansını iyileştireceği varsayılmaktadır. Bu hipotezler doğrultusunda geri dönüşüm faaliyetlerinin sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkileri makro ve mikro analizler aracılığıyla ampirik olarak test edilmektedir.

3.2.Araştırmanın Önemi

Atık yönetimi ve özellikle belediye katı atık geri dönüşümü, günümüzde hem çevresel sürdürülebilirliğin hem de ekonomik dayanıklılığın temel bileşenlerinden biri

olarak öne çıkmaktadır. Doğal kaynakların sınırlı olması, artan nüfus, hızlı kentleşme ve tüketim alışkanlıklarındaki değişim, atık miktarının sürekli artmasına yol açmakta, bu durum çevre kirliliği, sera gazı emisyonları ve ekosistem tahribatı gibi çok boyutlu sorunları beraberinde getirmektedir. Bu sorunların yalnızca çevresel değil, ekonomik faaliyetlerin devamlılığı üzerinde de doğrudan etkili olduğu dikkate alındığında, geri dönüşüm süreçlerinin ekonomik büyüme ve çevresel kalite üzerindeki etkilerinin bilimsel temelde incelenmesi stratejik bir gereklilik haline gelmektedir.

Bu araştırmanın önemi birkaç temel noktada öne çıkmaktadır.

Birincisi, çalışma makro ve mikro düzeyi birlikte ele alan bütüncül bir analiz çerçevesi sunmaktadır. Makro düzeyde, 33 ülkeyi kapsayan panel veri seti aracılığıyla geri dönüşümün ekonomik büyüme ve çevresel bozulma üzerindeki etkileri ikinci nesil panel analiz yöntemlerinden CS-ARDL ve AMG tahmincileri aracılığıyla incelenmektedir. Bu kapsamda kullanılan CS-ARDL yöntemi, geri dönüşümün hem kısa dönem hem de uzun dönem etkilerinin birlikte değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemsel özellik, geri dönüşüm politikalarının ekonomik ve çevresel etkilerinin zaman boyutu içinde nasıl şekillendiğini anlamak açısından son derece önemlidir. Ayrıca AMG tahmincisi, ülkelere özgü katsayılar üretmesi sayesinde panel genelinde elde edilen ilişkilerin her bir ülke için ayrı ayrı görülmesine olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, ülkelerin geri dönüşüm–büyüme–çevre etkileşimindeki konumlarını karşılaştırmalı biçimde değerlendirmeyi mümkün kılarak analizlere önemli bir açıklık kazandırmaktadır.

İkincisi, çalışma Türkiye'nin ulusal politikalarıyla doğrudan ilişkili önemli bulgular sunma potansiyeline sahiptir. Türkiye'nin 2053 net sıfır emisyon hedefi, Avrupa Yeşil Mutabakatı'na uyum süreci ve On İkinci Kalkınma Planı'nda yer alan yeşil dönüşüm vizyonu, atık yönetimini stratejik bir politika alanı haline getirmiştir. Bu bağlamda özellikle Sıfır Atık Projesi, Türkiye'nin çevre yönetimi kapasitesini güçlendiren ve atık oluşumunun azaltılması, geri dönüşüm oranlarının artırılması ve kaynak verimliliğinin iyileştirilmesi açısından önemli bir dönüşüm programıdır. Projenin başarısının değerlendirilmesi, uygulanabilir ve sürdürülebilir politika tasarımı açısından zorunludur. Bu nedenle çalışmada belediye düzeyinde etkinliğin ölçülmesi, Sıfır Atık yaklaşımının yerel yönetimlerde ne ölçüde karşılık bulduğunu ortaya koyma açısından da ayrı bir önem taşımaktadır.

Üçüncüsü, araştırma mikro düzeyde belediyelerin operasyonel performansını gelişmiş bir etkinlik analizi yöntemiyle incelemesi bakımından özgündür. Çalışmada kullanılan çıktı yönelimli, VRS varsayımı altında Lider–Takipçi (Stackelberg) yapısına dayalı işbirlikçi olmayan iki aşamalı Ağ Veri Zarflama Analizi, atık oluşumu ve atık yönetimi süreçlerinin birbirine bağlı yapısını dikkate alarak belediyelerin hangi aşamada verimsizlik yaşadığını ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır. Bu yöntem, klasik VZA modellerinin aksine süreci “kara kutu” olarak ele almak yerine iki aşamalı yapıyı ayrıştırarak hem yapısal hem yönetsel verimsizlikleri tanımlamaya olanak tanımaktadır. Bu yönüyle Türkiye’de atık yönetimi özelinde iki aşamalı ağ yaklaşımının kullanıldığı sınırlı sayıda çalışmalardan biri olması bakımından literatüre önemli bir katkı sunmaktadır.

Dördüncüsü, çalışma akademik literatüre çok boyutlu bir metodolojik katkı sağlamaktadır. Makro düzeyde gelişmiş ikinci nesil panel veri yöntemlerinin ve mikro düzeyde ağ temelli etkinlik ölçüm teknikleriyle aynı araştırma kapsamında birlikte kullanılması, katı atık yönetimi literatüründe nadiren görülen kapsamlı bir yaklaşımdır. Çalışma, geri dönüşümün ekonomik ve çevresel etkilerini yalnızca ülkeler düzeyinde değil, aynı zamanda belediye süreçleri üzerinden değerlendirmesiyle döngüsel ekonomi, sürdürülebilir şehircilik ve çevresel performans yönetimi alanlarına güçlü bir ampirik katkı sunmaktadır.

Sonuç olarak bu tez, belediye katı atık geri dönüşümünü yalnızca çevresel bir süreç olarak değil ekonomik ve sosyal kalkınmanın merkezi bileşenlerinden biri olarak ele almakta ve çok katmanlı analiz yaklaşımı sayesinde politika tasarımı doğrudan katkı sağlayabilecek kapsamlı, kanıta dayalı bulgular üretmektedir. Bu yönüyle çalışma hem bilimsel literatüre hem de sürdürülebilir kalkınma politikalarına katkılar sunmaktadır.

3.3.Literatür Taraması

Bilimsel araştırmalarda literatür taraması çalışmanın kuramsal ve ampirik temellerini sağlamlaştıran, araştırma sorularının şekillenmesine ve yöntem seçimine yön veren kritik bir aşamadır. Literatür taraması ile mevcut bilgi birikimini sistematik bir şekilde özetlenerek, daha önce yapılmış çalışmalar, kullanılan yöntemler, elde edilen bulgular ve tespit edilen boşluklar ortaya konulmaktadır. Benzer çalışmaların yöntem ve

bulgularının değerlendirilmesi, araştırmanın hem özgün katkısını hem de bilimsel geçerliliğini güçlendirmektedir. Bu sayede yeni bir çalışmanın mevcut bilgiye ne tür bir katkı sunacağı netleşmiş olacaktır.

Bu bağlamda belediye katı atık yönetimi ve geri dönüşüm faaliyetlerinin ekonomi ve çevre üzerindeki etkilerine yönelik mevcut literatürün detaylı biçimde ele alınması çalışmanın ana eksenini oluşturan ilişkilerin daha sağlıklı bir şekilde ortaya koyulmasına katkı sağlayacaktır. Literatür taraması kapsamında konu üç ayrı başlık altında incelenmektedir. İlk olarak katı atık yönetimi ile ekonomi arasındaki ilişkiyi ele alan çalışmalara, daha sonra da katı atık yönetimi ile çevre arasındaki ilişkiyi inceleyen araştırmalara yer verilmektedir. Son olarak ise katı atık yönetimi süreçlerinin etkinliği ve performansını inceleyen çalışmalar üzerine odaklanan literatür sistematik biçimde incelenmektedir. Bu üçlü ayrım konunun makro düzeydeki ekonomik ve çevresel yansımaları ile mikro düzeydeki operasyonel yetkinliklerini bir arada değerlendirme imkanı sunmaktadır.

İlgili alt bölümlerde konuyla ilgili tespit edilen çalışmaların temel bulgularını özetleyen literatür özeti tabloları sunulmaktadır. Bu tabloların ardından literatürdeki çalışmaların karşılaştırmalı analizi yapılarak, benzerlikler, farklılıklar ve metodolojik yaklaşımlar açısından sentez oluşturularak genel eğilimler ve mevcut boşluklar ortaya konulmaktadır. Böylelikle araştırmanın teorik ve ampirik zeminini güçlendiren bütüncül bir değerlendirme imkanı olmaktadır.

3.3.1. Katı Atık Yönetimi ve Ekonomi İlişkisine Yönelik Literatür Araştırması

Katı atık yönetimi yalnızca çevresel koruma bağlamında değil aynı zamanda ekonomik kalkınma süreçleri açısından da önemli bir etkiye sahiptir. Atıkların geri dönüştürülerek yeniden üretim sürecine kazandırılması, hammadde talebini azaltmakta, üretim maliyetlerini düşürmekte, yeni istihdam alanları yaratmakta ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca atık yönetimi süreçlerinde kullanılan teknolojilerin gelişmesi ve geri dönüşüm sektörünün büyümesi, yenilikçi iş modellerinin ortaya çıkmasına ve yeşil ekonominin güçlenmesine katkıda bulunmaktadır.

Bu bölümde ulusal ve uluslararası düzeyde yapılan çalışmalar, kullanılan veri setleri, yöntemler ve elde edilen bulgular çerçevesinde değerlendirilmektedir. Öncelikle

Tablo 4’te katı atık yönetimi ve ekonomi ilişkisine yönelik literatür özeti sunularak araştırmaların karşılaştırmalı bir görünümü sağlanmaktadır. Daha sonra bulgular arasındaki benzerlikler ve farklılıklar tartışılarak mevcut literatürün genel eğilimleri ve boşlukları ortaya konulmaktadır. Böylelikle, belediye katı atık geri dönüşümünün ekonomik büyüme üzerindeki etkilerinin ampirik olarak incelenmesinde bu çalışmanın konumlandığı yer netleştirilmektedir.



Tablo 4.***Katı Atık Yönetimi ve Ekonomi İlişkisine Yönelik Literatür Özeti***

Yazar(lar)/Yıl	Uygulanan Ülke(ler)	Dönem	Yöntem	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken(ler)	Sonuç
Cole vd. (1997)	Çoklu ülkeler	Gösterge bazlı değişmektedir. 1960–1992, 1970–1992, 1975–1990, 1986 ve 1990	En Küçük Kareler (OLS) Genelleştirilmiş En Küçük Kareler (GLS)	CO ₂ , CFC ve HCFC, CH ₄ , SO ₂ , NO ₂ , PM, Belediye toplam atık miktarı, Toplam enerji kullanımı ve trafik hacimleri	Kişi Başına Gelir	Gelir düzeyi ile yerel hava kirleticiler arasında ters-U ilişkisi bulunmakta; ancak enerji kullanımı, trafik hacmi ve belediye atıkları ile gelir arasında güçlü ve pozitif bir ilişki bulunmaktadır
Johnstone & Labonne (2004)	OECD ülkeleri	1980-2000	Uygulanabilir Genelleştirilmiş En Küçük Kareler (FGLS)	Kişi başı hanehalkı atığı	Gelir, Kentleşme, Nüfus Yoğunluğu, Çocuk Oranı, Çalışma Çağındaki Nüfus	Gelir düzeyi ile hanehalkı katı atık üretimi arasında güçlü, pozitif ancak inelastik bir ilişki bulunmaktadır.
Mazzanti & Zoboli (2005)	AB ülkeleri	Ambalaj atıkları: 1997-2001 Belediye atıkları: 1995-2000	Panel Veri (EKC) Analizi Delinking Analizi	Kişi başı ambalaj atığı, Kişi başı belediye katı atık miktarı	Hane Halkı Tüketimi, Kişi Başına GSYİH	Avrupa ülkelerinde gelir düzeyi ile hem ambalaj atığı hem de belediye katı atık miktarı arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Gelir artışıyla birlikte atık miktarında azalma eğilimini ifade eden bir dönüm noktası gözlenmemektedir.
Mazzanti, Montini & Zoboli (2006)	İtalya’da 20 bölge İtalya’da 103 il	1996–2004 2000-2004	Panel veri (EKC) analizi Delinking Analizi	Kişi başı belediye katı atık miktarı	Kişi başına gelir, ayrıştırılmış atık, nüfus yoğunluğu, Atık yönetimi politikaları, Yıllık Turist Sayısı	Avrupa ülkelerinde gelir düzeyi ile hem belediye atıkları hem de ambalaj atıkları arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. İncelenen dönemde EKC hipotezinin il düzeyinde geçerli, bölge düzeyinde geçersiz olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4 (Devamı)

Mazzanti (2008)	AB15 28 Avrupa ülkesi	1997-2001 1995-2000	Panel veri (EKC) analizi Delinking analizi	Kişi başı belediye katı atık miktarı, Kişi başı ambalaj atık miktarı	Hane halkı tüketimi, kişi başı GSYİH	Avrupa ülkelerinde gelir düzeyi ile hem belediye atıkları hem de ambalaj atıkları arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. İki modelde de EKC hipotezi geçersizdir.
Mazzanti & Zoboli (2008)	AB15 (Batı AB ülkeleri) AB10 (Doğu AB ülkeleri)	1995–2005	Panel veri analizi, Delinking analizi	Toplanan/üretilen, çöp sahasına atılan, yakılan, geri dönüştürülen atık miktarı (kişi başı)	Tüketim, harcamaları, nüfus yoğunluğu, Hane halkı büyüklüğü, politika değişenleri	Atık üretimi, atık yakma ve atık gömme ile gelir arasında pozitif ve anlamlı ilişki tespit edilmiştir. Atık geri dönüşümü ve gelir arasında ise negatif ve anlamlı ilişki bulunmuştur.
Sidique vd. (2010)	Minnesota (ABD) 86 ilçe	1996–2004	Panel veri analizi	Kişi başı belediye katı atık miktarı	Kişi başı gelir, İlçedeki nüfusun yaş ortalaması, İlçe nüfusunun kaldırım kenarı (curbside) geri dönüşüm hizmetlerine erişimi olan kısmının yüzdesi, Nüfus yoğunluğu, Kişi başına düşen geri dönüşüm eğitimi harcaması	Gelir artışı ile geri dönüşüm oranı arasında anlamlı ancak negatif yönlü ilişki bulunmuştur. Geri dönüşümü zorunlu kılan yerel düzenlemeler ile geri dönüşüm eğitimi harcamalarının geri dönüşüm oranları üzerinde pozitif etkisi olduğu tespit edilmiştir. Kaldırım kenarı toplama ve bırakma merkezlerinin tek başına etkili olmadığı, ancak birlikte uygulandıklarında tamamlayıcı biçimde geri dönüşüm oranlarını artırdığına ulaşılmıştır.
Arbulú vd. (2015)	32 Avrupa ülkesi	1997–2010	Panel veri (EKC) analizi	Kişi başı atık üretimi	Gelir, turist sayısı, turist harcaması, ticaret, işsizlik oranı, eğitim, kırsal nüfus, hükümet etkinliği	Katı atık üretimi ile gelir arasında anlamlı ve pozitif ilişki bulunmaktadır. Uzun dönemde ilişki negatife dönmektedir. Bu Avrupa'da katı atık üretimi için EKC hipotezinin desteklendiğini göstermektedir.

Tablo 4 (Devamı)

Lee vd. (2016)	ABD	1990-2012	Granger Nedensellik Analizi	Kişi başına atık üretimi, sera gazı emisyonları	Kişi başına GSYİH, toplam atık, geri dönüşüm miktarı	GSYİH ile atık üretimi arasında bir nedensellik ilişkisi bulunamamıştır. Bu, GSYİH artsa bile atık üretiminin kendiliğinden azalmayacağı ve ABD'deki atık sektörü için EKC hipotezinin geçerli olmadığı ifade etmektedir.
Jaligot & Chenal (2018)	İsviçre (Vaud kantonunda 10 ilçe)	1996-2015	Panel veri (EKC) analizi, Genelleştirilmiş en küçük kareler (GLS)	Kişi başı atık üretimi	Kentleşme, atık vergi türleri	Çalışmada geliri temsilen vergi değerleri kullanılmıştır. Vergi ile atık üretimi arasında pozitif ilişki bulunmuştur. Bulgular, EKC hipotezini desteklememektedir.
Boubellouta & Kusch-Brandt (2020)	30 Avrupa ülkesi	2000-2016	Panel veri (EKC) analizi, GMM, 2SLS	Kişi başına düşen e-atık üretimi	Kişi başı GSYİH, Bilgi ve iletişim teknolojisi ürünleri ihracatı, Nüfus	Analiz bulgularına göre kişi başına gelir arttıkça elektronik atık üretiminin belirli bir dönüm noktasına kadar yükseldiğini, bu eşğin ardından ise ekonomik büyüme devam etmesine rağmen azalma eğilimine girdiğini göstermektedir. Ancak söz konusu dönüm noktasının oldukça yüksek GSYİH seviyelerinde gerçekleşmesi nedeniyle, Avrupa ülkelerinin büyük çoğunluğunun henüz bu aşamaya ulaşmadığı vurgulanmaktadır.
Gardiner & Hajek (2020)	AB bölgeleri	2000-2018	VECM, Panel FMOLS, Granger Nedensellik Analizi	Kişi başı atık üretimi	Kişi başı GSYİH, Ar- Ge yoğunluğu, ısıtma enerjisi, istihdam oranı, brüt sabit sermaye	Atık üretimi ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Ayrıca atık üretiminin azalması için döngüsel ekonomi modelinin benimsenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Tablo 4 (Devamı)

Magazzino vd. (2020)	İsviçre	1990-2017	Granger Nedensellik Analizi, Makine Öğrenmesi	Atık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları, Kişi başına atık üretimi	Kişi başına GSYİH, Belediye katı atık üretimi, belediye katı atık geri kazanım miktarı	GSYİH ile belediye katı atık üretimi arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca çalışmada, İsviçre için Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezinin geçerli olduğu görülmektedir.
Apaydın (2020)	OECD	2000-2017	Panel Kantil Regresyon	Ekonomik büyüme	Atık Miktarı, Geri Kazanılan Atık, Depolanan Atık, Yakılan Atık	Kişi başına düşen atık miktarı ile tüm atık yönetim biçimleri ekonomik büyümeyi pozitif yönde etkilemektedir. En güçlü etki geri dönüştürülen ve kompost edilen atıklarda gözlenmiştir. Bu da döngüsel ekonomi yaklaşımının sürdürülebilir ekonomik büyüme için kritik bir strateji olduğunu doğrulamaktadır.
Razzaq vd. (2021)	ABD	1990–2017	Bootstrapping ARDL, Granger Nedensellik Analizi	Karbon emisyonu, Kişi başı GSYİH	Belediye atığı geri dönüşüm oranı, enerji verimliliği, işgücü, nüfus, sermaye	Atık geri dönüşümündeki artış ekonomik büyümeyi anlamlı ve pozitif yönde etkilemektedir. Çalışmada katı atık geri dönüşümünden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.
Quan vd. (2024)	Çin	1985–2020	NARDL	GSYİH, Karbon emisyonu	Endüstriyel atık, brüt sabit sermaye oluşumu, işgücü, teknoloji, yatırım, enerji, doğrudan yabancı yatırım	Atık geri dönüşümü ekonomik büyümeyi anlamlı ve pozitif yönde etkilemektedir. Kısa vadede atık geri dönüşümündeki hem olumlu hem de olumsuz şoklar GSYİH'yı artırmaktadır.
Shehu vd. (2024)	Nijerya	1982–2022	VECM, Johansen Eşbütünleşme Testi	Katı atık üretimi	GSYİH, Yoğunluğu	Ekonomik büyümenin uzun vadede atık üretimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Čokovski vd. (2025)	AB 21 ülke	2013-2022	Panel Regresyon (POLS, FE, RE, ME)	Kişisel GSYİH	başına
---------------------	------------	-----------	------------------------------------	---------------	--------

Vučkovski vd. (2025)	AB 21 ülke	2013-2022	Panel Regresyon (POLS, FE, RE, ME)	Kişi başına GSYİH	Atık geri dönüşüm oranı; malzeme oranı, atıklarının dönüşüm oranı, geri dönüştürülebilir hammadde ithalatı	Analiz sonucunda elde edilen bulgulara göre döngüsel ekonomi göstergeleri olarak kabul edilen dört değişkenin tamamının (özellikle RE ve ME modellerinde) kişi başına GSYİH üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkisi olduğu doğrulanmıştır.
----------------------	------------	-----------	------------------------------------	-------------------	--	--

Tablo 4'te verilen katı atık yönetimi ve ekonomi ilişkisine yönelik literatür özeti incelendiğinde, katı atık yönetimi ve ekonomi arasındaki ilişkinin iki ana ekseninde yoğunlaştığı görülmektedir. İlk ve daha köklü olan araştırma alanı, ekonomik büyüme ile atık üretimi arasındaki ilişkiyi Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi çerçevesinde test eden çalışmalardır. İkinci ve daha güncel olan alan ise döngüsel ekonomi perspektifinin önem kazanması ile birlikte atık geri dönüşümünün ekonomik büyüme üzerindeki doğrudan etkisine odaklanan araştırmalardır.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde yılı nispeten daha eski araştırmaların çoğunda EKC hipotezinin reddedildiği görülmektedir (Cole vd., 1997; Johnstone ve Labonne, 2004; Mazzanti ve Zoboli, 2005, 2008). Bu araştırmalarda gelişmiş ülkelerde bile gelir artışının atık üretimini artırmaya devam ettiği “ters U” şeklinde ilişkinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Buna karşın daha yakın tarihli çalışmalarda ise belirli atık türleri (örn. e-atık) veya ülke grupları için EKC hipotezini destekler nitelikte sonuçlar elde etmiştir (Arbulú vd., 2015; Boubellouta ve Kusch-Brandt, 2020; Magazzino vd., 2020). İncelenen ülke grubu, analiz dönemi, atık türü ve kullanılan ekonometrik yöntemler araştırma sonuçlarının farklılaşmasında önem arz etmektedir.

Literatürdeki ikinci eksen olan geri dönüşümün ekonomik büyümeye etkisini inceleyen çalışmalarda ise daha net bir eğilim gözlenmektedir. Apaydın (2020), Razzaq vd. (2021), Quan vd. (2024) ve Grujić Vučkovski vd. (2025) gibi çalışmalar farklı ülke ve dönemler için atık geri dönüşümünün veya genel olarak döngüsel ekonomi göstergelerinin ekonomik büyüme üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkiye sahip olduğunu doğrulamaktadır. Bu bulgular geri dönüşümün sadece bir atık bertaraf yöntemi olmadığını aynı zamanda ekonomik bir değer yaratma potansiyeline sahip olduğunu ampirik olarak ortaya koymaktadır.

Metodolojik olarak ilk dönem çalışmalarda genellikle En Küçük Kareler (OLS), Genelleştirilmiş En Küçük Kareler (GLS) ve Delinking Analizi gibi daha geleneksel panel veri teknikleri kullanılırken, zamanla Granger Nedensellik, VECM ve Bootstrapping ARDL/NARDL gibi daha gelişmiş zaman serisi ile güncel panel regresyon, kantil regrasyon, nedensellik ve eşbütünleşme analiz yöntemlerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Son yıllarda ise makine öğrenmesi gibi yöntemlerle analizler

gerçekleştirilmektedir. Bu dönüşümler araştırmacıların değişkenler arasındaki dinamik ve asimetrik ilişkileri daha derinlemesine inceleme arayışını yansıtırken analiz sonuçlarını daha güçlü güncel yöntemlerle incelenmesine olanak sağlamaktadır.

3.3.2. Katı Atık Yönetimi ve Çevre İlişkisine Yönelik Literatür Araştırması

Katı atık yönetimi çevresel sürdürülebilirliğin temel bileşenlerinden birisi olup doğal kaynakların korunması, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve ekosistemin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Etkin atık yönetimi uygulamaları, düzenli depolama sahalarına gönderilen atık miktarını azaltarak toprak ve yer altı suyu kirliliğini önlemektedir. Geri dönüşüm ve yeniden kullanım süreçleri sayesinde enerji tüketimini ve hammadde çıkarımından kaynaklanan çevresel tahribatı sınırlamaktadır. Atıklardan enerji geri kazanımı ise fosil yakıt kullanımını ve buna bağlı sera gazı emisyonlarını azaltarak iklim değişikliğiyle mücadeleyi desteklemektedir.

Literatürde, katı atık yönetimi ile çevresel göstergeler arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar genellikle karbon emisyonları, hava ve su kirliliği, doğal kaynak tüketimi ve biyoçeşitlilik kaybı gibi unsurlara odaklanmaktadır. Bazı araştırmalar geri dönüşüm oranlarının ve atık yönetimi altyapısının gelişmesinin çevresel kaliteyi artırıcı etkilerini vurgularken bazıları da yetersiz atık yönetiminin çevresel bozulmayı hızlandıran temel faktörlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu bölümde katı atık yönetiminin çevresel göstergeler üzerindeki etkilerini ele alan ulusal ve uluslararası çalışmalar incelenmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan veri setleri, çevresel göstergeler, yöntemler ve temel bulgular Tablo 5'te özet olarak sunulmaktadır. İlgili çalışmaların bulguları arasındaki benzerlik ve farklılıklar tartışılarak literatürdeki genel eğilimler ve boşluklar ortaya konulmaktadır. Böylelikle belediye katı atık geri dönüşümünün çevresel bozulma üzerindeki etkilerini analiz eden bu araştırmanın literatür içerisindeki yeri ve katkısı net bir biçimde ortaya konulmaktadır.

Tablo 5.***Katı Atık Yönetimi ve Çevre İlişkisine Yönelik Literatür Özeti***

Yazar(lar)/Yıl	Uygulanan Ülke(ler)	Dönem	Yöntem	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken(ler)	Bulgular	
Lee vd. (2016)	ABD	1990-2012	Granger Nedensellik	Kişi başına atık üretimi, sera gazı emisyonları	Kişi başına GSYİH, toplam atık, geri dönüşüm miktarı	Geri dönüşüm hem toplam atık miktarını hem de emisyonları azaltmaktadır. Atıktan enerji üretiminin artması, atık miktarı artsa bile sera gazı emisyonlarını azaltmaktadır.	
Bassi vd. (2017)	Almanya, Danimarka, Fransa, İngiltere, İtalya, Polonya, Yunanistan	Yıllık	LCA modeli, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi	Sera gazı emisyonları, metan gazı emisyonları	Kentsel atık yönetim türleri (atık toplama, taşıma, geri dönüşüm, enerji geri kazanımı vb.)	Geri dönüşüm oranları ile çevresel etkiler arasında net bir doğrusal ilişki bulamamıştır. Daha yüksek geri dönüşüm oranlarına ve sınırlı depolama kullanımına sahip ülkeler daha yüksek çevresel faydalara sahip olsa da geri dönüşüm oranları arttıkça çevresel iyileşmelerin belirsizleştiği tespit edilmiştir.	
Filatov vd. (2018)	Rusya	2016	İstatistiksel Analiz İçerik Analizi, Faktör Analizi, Uzman Değerlendirmeleri ve Veri Sistemleştirme	Atık Geri Dönüşümü	Sosyo-çevresel faktörler	Atık geri dönüşümünün sosyal ve çevresel sorunları çözmede devlet müdahalesi olmadan başarısız olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Atık yönetim süreçlerinde uluslararası standartların benimsenmesi gerektiği vurgulanmıştır.	
Zhao vd. (2020)	Çin – 31 Eyalet	2002-2017	IPCC Modeli	Envanter	Atık Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları	Depolama, yakma, kompost	Çin’de atık bertaraf yöntemlerindeki değişimin seragazı emisyonlarına etkisini inceleyen çalışmadan elde edilen bulgulara göre depolamadan yakmaya doğru dönüşüm olduğu tespit edilmiştir. Bertaraf yöntemlerinin dönüştürülmesi, depolama sahalarında metan azaltım teknolojilerinin kullanılması ve kaynağında ayrıştırma işleminin yapılması önerilmektedir.

Tablo 5 (Devamı)

Magazzino vd. (2020)	İsviçre	1990-2017	Granger Nedensellik, Makine Öğrenmesi	Atık Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, Kişi başına atık üretimi	Kişi başına GSYİH, Belediye katı atık üretimi, belediye katı atık geri kazanım miktarı	Toplam belediye katı atık üretiminden sera gazı emisyonlarına doğru tek yönlü ve güçlü bir nedensellik tespit edilmiştir. Ayrıca geri kazanımın sera gazı emisyonlarını azaltmada itici bir güç olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Yang vd. (2020)	Çin – Eyalet	29 2013-2017	DDF-DEA	Çıktılar: Fon sübvansiyonu, CO ₂ emisyonu, atık su emisyonu, katı atık emisyonu ve SO ₂ emisyonu azaltımı	Girdiler: E-atık, işgücü, arazi, sermaye	Çin’de incelenen eyaletlerde e-atık geri dönüşümünün emisyon azaltımında önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. En büyük etki katı atık geri dönüşümünden kaynaklanmaktadır. Analiz sonucuna göre ortalama emisyon azaltım verimliliği 0,88 olarak gerçekleşmiştir. Bu da sistemin genel olarak verimli çalıştığını göstermektedir.
Magazzino vd. (2021)	Danimarka	1994-2017	Yapay Sinir Ağları ve Breitung-Candelon Spectral Granger Nedensellik	Atık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları	Kişi başı GSYİH, Kentleşme, Kişi başına atık üretimi	Bulgulara göre Danimarka’da hasıla artışı atıktan kaynaklanan emisyonları azaltmaktadır. Zenginleşmeyle birlikte daha iyi atık yönetimi teknolojilerine ve politikalarına yatırım yapılarak atıktan kaynaklanan emisyonlar azaltılmaktadır. Atık üretimi ile emisyon arasında tek yönlü nedensellik tespit edilmiştir.
Bayar vd. (2021)	AB Ülkeleri	2004-2017	AMG Tahmincisi, Dumitrescu ve Hurlin panel granger nedensellik	CO ₂ Emisyonları	Atık geri dönüşüm oranı, Yenilenebilir enerji tüketimi	Analiz sonucuna göre incelenen çoğu ülkede uzun vadede atık geri dönüşümü ve yenilenebilir enerji kullanımının emisyonları azaltma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.
Razzaq vd. (2021)	ABD	1990–2017	Bootstrapping ARDL, Granger Nedensellik	Karbon emisyonu, Kişi başı GSYİH	Belediye atığı geri dönüşüm miktarı, enerji verimliliği, GSYİH, Sermaye, İşgücü, Nüfus, Kişi başı gelir	Atık geri dönüşümündeki artış karbon emisyonlarını anlamlı ve negatif yönde etkilemektedir. Çalışmada katı atık geri dönüşümünden karbon emisyonuna doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

Tablo 5 (Devamı)

Magazzino ve İsviçre Falcone (2022)		1990-2017	Dinamik ARDL ve Bulanık bilişsel haritalar	Atık sektöründen kaynaklanan sera gazı	Kişi başı GSYİH, Kentleşme, Belediye atık üretimi	Belediye atık üretiminden sera gazı emisyonlarına doğru tek yönlü nedensellik olduğu tespit edilmiştir. Atık üretimi ile ekonomik büyüme arasında da çift yönlü nedensellik bulunmaktadır.
Razzaq vd. (2023)	ABD	1990Q1-2017Q4	QARDL	Karbon emisyonu	Belediye atığı geri dönüşüm miktarı, yeşil teknoloji inovasyonu, kişi başı GSYİH, İhracat, İthalat	Elde edilen uzun vadeli bulgulara göre geri dönüşüm miktarındaki artışlar özellikle düşük ve yüksek emisyon kantillerinde karbon emisyonunu önemli ölçüde azaltmaktadır. İthalat, yüksek emisyon kantillerinde karbon emisyonunu artırırken ihracat tüm kantillerde karbon emisyonunu azaltmaktadır.
Çelik vd. (2023)	OECD	1995-2018	FMOLS ve PMG	Kişi başı ekolojik ayak izi	Kişi başı belediye atığı, Çöplüklere gönderilen belediye atığı oranı, Geri dönüşüm oranı, Kişi başı GSYİH, Yenilenebilir enerji tüketimi, Ticaret açıklığı	Uzun dönemde geri dönüşüm oranı, çöplüklere gönderilen belediye atığı miktarı, geri dönüşüm oranı ve yenilenebilir enerji tüketimi kişi başına düşen ekolojik ayak izini azalttığı tespit edilmiştir. Çevresel Kuznets Eğrisinin OECD ülkeleri için geçerli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Quan vd. (2024)	Çin	1985–2020	NARDL	GSYİH, Karbon emisyonu	Endüstriyel atık, brüt sabit sermaye oluşumu, işgücü, teknoloji, yatırım, enerji, doğrudan yabancı yatırım	Atık geri dönüşümü Karbon emisyonu anlamlı ve negatif yönde etkilemektedir. Kısa vadede atık geri dönüşümündeki olumlu şoklar karbon emisyonlarını baskılarken olumsuz şokların etkisi tespit edilememiştir.
Çağlar vd. (2024)	AB Ülkeleri	1995-2018	CS-ARDL	Yük Kapasitesi Faktörü (LCF)	GSYİH, Atık geri dönüşüm oranı, Yenilenebilir enerji tüketimi, Doğal kaynak, Beşeri sermaye	Analiz sonucuna göre atık geri dönüşümünün LCF üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Bu durum, AB ülkelerindeki atık geri dönüştürme oranlarının (%46.4) henüz yeterli seviyede olmamasına bağlanmıştır.

Tablo 5 (Devamı)

Musa vd. (2024)	Almanya	1990- 2021	Dinamik Kernel Doğrusal (KRLS)	ARDL, Tabanlı Regresyon	Ekolojik Ayak İzi	Yenilenebilir enerji tüketimi, Geri dönüşüm, Onarım, Yeniden kullanım, İnovasyon, Sanayi ve hizmet istihdamı, Çevre vergisi	Yeniden kullanım, yenilenebilir enerji tüketimi ve onarım, ekolojik ayak izini anlamlı şekilde azaltmaktadır. Paradoksal olarak, geri dönüşümün ekolojik ayak izini artırdığı bulunmuştur; bu durum sektörün yeni olmasına ve veri sınırlılıklarına bağlanmıştır.
Pata vd. (2024)	OECD	2000- 2021	AMG tahmincisi ve Half-Panel Jackknife		Yük Kapasitesi Faktörü (LCF)	Kişi başına GSYİH (ve karesi), Sanayileşme, Belediye katı atık üretimi, Beşeri sermaye	OECD ülkeleri için Yük Kapasite Eğrisi (LCC) hipotezi doğrulanmıştır. Atık üretimi LCF'yi azaltarak çevresel tahribatı artırmaktadır. Atık geri dönüşümünün ise LCF'yi artırmayı desteklediği sonucuna varılmıştır.
Tiwari vd. (2024)	Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler	1997- 2020	Panel kantil ve PMG ARDL	ARDL	CO2 emisyonları	Belediye atığı geri dönüşümü, Sanayileşme, Çevre Politikası Sıklık Endeksi, Küresel tedarik zinciri baskı endeksi	Analiz kapsamında elde edile bulgulara göre belediye atığı geri dönüşümü, ortalama ve üst kantillerde karbon emisyonları üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.
Moghadam vd. (2025)	ABD-50 Eyalet	2009- 2022	Sistem GMM		PM 2.5	Belediye atıklarının geri dönüşüm oranı, Kişi başı GSYİH, Nüfusun kara alanına oranı	Analiz sonucunda yüksek geri dönüşüm oranları ile hava kirliliği seviyeleri arasında önemli ve negatif bir ilişki bulunmuştur.
Agyemang, vd. (2025)	Birleşik Krallık	1995- 2020	Vektör Düzeltilme (VECM)	Hata Modeli	Sera emisyonları gazı	Belediye atığı geri dönüşümü, Ekonomik büyüme, İklim teknolojileri,	Belediye atık geri dönüşümü ve iklim teknolojilerinin, Birleşik Krallık'ta hem kısa hem de uzun vadede sera gazı emisyonlarını azaltıcı etkide bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ekonomik büyüme kısa vadede sera gazı emisyonlarını artırırken uzun vade de azalttığı tespit edilmiştir.

Tablo 5'te sunulan katı atık yönetimi ve çevre ilişkisine yönelik literatür özeti incelendiğinde katı atık yönetimi ve çevresel göstergeler arasındaki ilişkinin çok boyutlu ve giderek daha karmaşık yöntemlerle ele alındığı görülmektedir. Çalışmalar atık yönetimi pratiklerinin, özellikle geri dönüşümün, çevresel bozulma üzerindeki etkilerini farklı coğrafyalar, zaman aralıkları ve çevresel göstergeler üzerinden analiz etmektedir. Literatürde genel bir fikir birliği olmakla birlikte, bazı aykırı ve nüans içeren bulgular da dikkat çekmektedir.

Literatür kapsamında incelenen çalışmaların büyük bir çoğunluğunun katı atık geri dönüşümünün çevresel kaliteyi iyileştiren önemli bir faktör olduğu konusunda hemfikir olduğunu ortaya koymaktadır. Lee vd. (2016), Magazzino vd. (2020; 2021), Bayar vd. (2021), Razzaq vd. (2021), Razzaq vd. (2023), Moghadam vd. (2025) ve Agyemang vd. (2025) gibi çok sayıda çalışma, farklı ülke/ler (AB, ABD, Birleşik Krallık, İsviçre, OECD) ve yöntemler kullanarak geri dönüşümün sera gazı emisyonlarını, karbon emisyonlarını ve hava kirliliğini azalttığı yönünde güçlü kanıtlar sunmaktadır. Bu durum, geri dönüşümün çevresel sürdürülebilirlik için kilit bir politika aracı olduğu yönündeki temel argümanı desteklemektedir. Benzer şekilde, Çelik vd. (2023) ve Pata vd. (2024) gibi daha geniş çevresel göstergeleri (ekolojik ayak izi, yük kapasitesi faktörü) ele alan çalışmalar da geri dönüşümün ekolojik dengeyi korumada pozitif bir rol oynadığını tespit etmiştir.

Bununla birlikte, literatürde bu genel eğilimle çelişen veya konuya daha temkinli yaklaşan çalışmalar da mevcuttur. Örneğin, Bassi vd. (2017), Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) modeli kullanarak geri dönüşüm oranları ile çevresel faydalar arasında net bir doğrusal ilişki bulamamış, belirli bir seviyeden sonra geri dönüşümün çevresel iyileşmeye katkısının belirsizleştiğini öne sürmüştür. Caglar vd. (2024), AB ülkelerinde geri dönüşüm oranlarının Yük Kapasitesi Faktörü (LCF) üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını bulmuş ve bunu mevcut geri dönüşüm oranlarının henüz kritik bir eşiğe ulaşamamış olmasına bağlamıştır. En aykırı bulgu ise Musa vd. (2024)'nin Almanya için yaptığı analizde geri dönüşümün paradoksal bir şekilde ekolojik ayak izini artırdığını tespit etmesidir. Ancak yazarlar bu durumu sektörün yeniliği ve veri sınırlılıkları ile açıklamaktadır. Bu farklı sonuçlar, geri dönüşümün başarısının ülkenin teknolojik altyapısına, politika etkinliğine ve ulaşılan geri dönüşüm oranının seviyesine bağlı olabileceğini düşündürmektedir.

Metodolojik olarak literatürde zamanla belirgin bir evrim gözlenmektedir. İlk çalışmalarda daha çok standart nedensellik testleri kullanılırken son yıllarda Dinamik ARDL, NARDL, CS-ARDL, Panel Kantil Regresyonu, Yapay Sinir Ağları ve Sistem GMM gibi ekonometrik olarak daha gelişmiş ve değişkenler arasındaki dinamik, asimetrik ve ülke-özelindeki etkileşimleri daha iyi yakalayabilen yöntemlerin ön plana çıktığı görülmektedir. Bu metodolojik zenginlik, araştırmacıların atık yönetimi-çevre ilişkisinin karmaşık doğasını daha derinlemesine anlama çabasını yansıtmaktadır.

Mevcut literatürün bütüncül bir değerlendirmesi, katı atık yönetiminin çevresel etkileri konusunda önemli bir bilgi birikimi sağladığını ancak hala araştırılmaya açık alanlar barındırdığını göstermektedir. Literatürdeki temel bulgular, geri dönüşümün genellikle olumlu çevresel sonuçlar doğurduğu yönündedir. Ancak, bu ilişkinin her koşulda ve her ülkede geçerli olmadığına işaret eden çalışmalar, konunun daha fazla incelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Literatürün kapsamlı bir analizi yapıldığında katı atık yönetiminin ve özellikle geri dönüşüm faaliyetlerinin hem ekonomik hem de çevresel boyutlarda önemli yansımaları olduğu net bir şekilde ortaya koyulmaktadır. İlk bölümde incelenen çalışmalar, geri dönüşümün ekonomik büyümeyi teşvik eden, yeni değer zincirleri yaratan ve döngüsel ekonomi prensipleriyle uyumlu kalkınma modeli sunan ekonomik bir faktör olduğunu göstermektedir. İkinci bölümde ele alınan araştırmalar ise bu ekonomik faaliyetin çevresel bir zorunluluk olduğunu teyit etmekte olup geri dönüşümün sera gazı emisyonlarını, ekolojik ayak izini ve genel olarak çevresel bozulmayı azaltmada, yük kapasitesi faktörünü ve çevresel kalitenin iyileştirilmesinde kritik bir rol oynadığını kanıtlamaktadır.

Bu iki literatür alanının sentezi, atık geri dönüşümünü tek boyutlu bir atık bertaraf yöntemi olarak görmenin ötesinde, ekonomik refah ile çevresel sürdürülebilirliği bir araya getiren bütüncül bir politika aracı olarak konumlandırmanın zorunluluğunu göstermektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada belediye katı atık geri dönüşümünün hem ekonomik büyüme hem de çevresel kalite üzerindeki etkilerinin birlikte ve ampirik olarak incelenmesi, literatürdeki bu iki ana akımı birleştiren ve politika yapıcılara daha entegre bir bakış açısı sunan önemli bir boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

3.3.3. Katı Atık Yönetimi Süreçlerinin Etkinliğine İlişkin Literatür İncelemesi

Katı atık yönetimi süreçlerinin etkinliği, belediyelerin operasyonel kapasitesinin, kaynak kullanım verimliliğinin ve çevresel performansının değerlendirilmesinde önemli bir analitik boyut oluşturmaktadır. Atık oluşumu ve atık yönetimi aşamalarının çok aşamalı ve birbirine bağlı bir yapıya sahip olması, bu süreçlerin yalnızca çıktı seviyeleri üzerinden değil, süreç içi performans farklılıklarını da dikkate alan yöntemlerle incelenmesini gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda etkinlik analizi literatürü, geleneksel tek-aşamalı modellerden çok aşamalı ağ yapılarına evrilmiş ve özellikle atık toplama, ayrıştırma, geri dönüşüm ve bertaraf süreçlerinin birbirleriyle ilişkilerini bütüncül biçimde değerlendiren uygulamalar ön plana çıkmıştır.

Bu bölümde katı atık yönetimi süreçlerinin etkinliğini konu alan ulusal ve uluslararası çalışmalar sistematik biçimde ele alınmaktadır. Ayrıca literatürde kullanılan yöntemler, değişkenler ve temel bulgular karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Literatürde yer alan farklı ülkeler ve bölgesel uygulamalar üzerinden, atık yönetimi süreçlerindeki verimlilik düzeylerinin nasıl ölçüldüğü, hangi unsurların etkinliği belirlediği ve çok aşamalı yapıların analize ne tür katkılar sağladığı ortaya konulmaktadır. Bu çerçevede, çalışmalara ilişkin özet bulgular Tablo 6'da sunularak literatürdeki eğilimler ve metodolojik yaklaşımlar karşılaştırılabilir bir formatta derlenmektedir.

Söz konusu literatür incelemesi, çalışmada uygulanacak iki aşamalı ağ temelli etkinlik analizine kuramsal bir temel oluşturmakta ve atık yönetimi süreçlerindeki performansı belirleyen kritik faktörlerin daha net anlaşılmasına olanak sağlamaktadır.

Tablo 6.***Katı Atık Yönetiminin Etkinliğine Yönelik Literatür Özeti***

Yazar(lar)/Yıl	Uygulanan Birimler	Dönem	Yöntem	Girdi(ler)	Çıktı(lar)	Bulgular
Bosch (2000)	vd. İspanya/Katalonya bölgesindeki 75 belediye	1994	VZA, SSA	Emek, sermaye/ ekipman, operasyonel kaynaklar (tipik belediye hizmet girdileri)	Toplanan atık miktarı/ hizmet çıktıları	Belediye hizmetlerinin doğrudan belediye tarafından sunulması ile özel firmalara ihale edilmesi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir etkinlik farkı olmadığı tespit edilmiştir.
Bosch (2001)	vd. İspanya/Katalonya bölgesindeki 73 belediye	1998	VZA	Konteyner kapasitesi, Araç filosu kapasitesi, Personelin yıllık çalışma süresi, Hizmetin maliyeti, Bertaraf sahasına mesafe, Mevsimsel nüfus	Yıllık toplanan organik atık tonajı, Haftalık toplama sıklığı	Analiz sonucunda ortalama teknik etkinliğin yaklaşık %77, ortalama maliyet etkinliğinin ise yaklaşık %58 olduğu, dolayısıyla maliyet boyutunda verimsizliğin daha belirgin seyrettiği vurgulanmıştır.
Marques ve Simões (2009)	Portekiz’de faaliyet gösteren 29 atık yönetim firması (kamu/özell)	2005	VZA	Operasyonel harcamalar, Sermaye maliyetleri, Nüfus yoğunluğu, Kişi başı GSYH, Tesislere ortalama mesafe	Bertaraf edilen toplam atık, Geri dönüştürülen atık	Bulgular, Portekiz’de 2005 yılı için katı atık firmalarında ortalama teknik etkinliğin 0.59 olduğunu ve aynı çıktıyı üretmek için girdilerin ortalama %41 azaltılabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca etkinlik mülkiyet yapısına veya regülasyon durumuna anlamlı biçimde bağlı değilken, operasyonel çevre içinde kişi başı GSYH etkinliği artırıcı tek faktör olarak görülmektedir.
Simões (2012)	vd. Portekiz’de yer alan 196 belediye	2008	VZA	Personel sayısı, Araç sayısı, Diğer operasyonel giderler	Toplanan evsel atık miktarı	Analiz sonucunda belediyelerin atık toplama hizmetlerinde yüksek düzeyde verimsizlik tespit edilmiştir. Mevcut girdilerin aynı çıktı düzeyinde ortalama %39–%51 civarında azaltılabileceği ve yaklaşık olarak %17 ek tasarruf sağlanabileceği bulgularına ulaşılmıştır.

Tablo 6 (Devamı)

Vishwakarma vd. (2012)	Hindistan'ın Madhya Pradesh eyaletindeki 22 şehir	2005	SSA	İşgücü, Maliyet, Nüfus yoğunluğu, Atık taşıma araçları	Günlük toplanan atık miktarı	Katı atık toplama hizmetlerinde ciddi teknik etkinsizlikler bulunduğu ve belediyelerin mevcut kaynaklarla daha fazla atık toplayabilecek kapasiteye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca bulgulara işgücü, harcama ve araç sayısının çıktıyı artırdığı, nüfus yoğunluğunun toplama kapasitesini negatif etkilediği, görece büyük belediyelerin daha etkin performans sergilediği görülmektedir.
Rogge ve De Jaeger (2013)	Belçika/Flandre bölgesinde yer alan 293 belediye	2008	Paylaşılan Girdili VZA, Sağlam ve Koşullu VZA	Belediye düzeyinde toplam katı atık toplama ve işleme maliyeti	Artık atık, diğer belediye atıkları, ambalaj atıkları, diğer EPR atıkları, yeşil atık, hacimli (bulky) atık	VZA sonuçlarına göre belediyelerin ortalama toplam maliyet etkinliği %47 düzeyindedir. Sağlam ve çevresel koşullara göre düzeltilmiş VZA sonuçları, ortalama etkinliğin %69–73 aralığına yükseldiğini göstermektedir. Politika değişkenleri açısından haftalık toplama sıklığı etkinliği artırırken, ağırlık bazlı ücretlendirme sisteminin maliyet etkinliğini düşürdüğü tespit edilmiştir.
Wu vd. (2016)	Çin'de yer alan 30 il düzeyinde bölge	2010	İki aşamalı ağ VZA	Emek, sermaye, enerji ve paylaşılan girdiler, Endüstriyel atık ve kirlilik	Nihai üretim çıktıları ve geri kazanılmış kaynaklar, Endüstriyel atık ve kirlilik	Analizden elde edilen bulgular, istenmeyen ara çıktıların geri kazanım yoluyla yeniden üretim sürecine dahil edilmesinin, bölgesel düzeyde toplam sistem etkinliğini anlamlı biçimde artırdığını göstermektedir. Paylaşılan girdilerin serbest tahsisi varsayımı altında lider aşamanın daima etkin olduğu, buna karşılık geri kazanım aşamasının etkinliğinin kaynak tahsis oranlarına duyarlı olduğu ortaya konmuştur. Çalışma, döngüsel ekonomi süreçlerinin etkinlik analizinde klasik “kara kutu” DEA yaklaşımlarının yetersiz kaldığını metodolojik olarak göstermektedir.

Tablo 6 (Devamı)

Giannakitsidou vd. (2020)	Avrupa Birliği'ne üye 26 ülke	2014–2017 (EP); 2014–2016 (CEP)	VZA, çevresel performans (EP) ve döngüsel ekonomi performansı (CEP)	Kişi başına belediye atığı oluşumu, Sosyal İlerleme Endeksi (SPI) bileşenleri: Temel İnsani İhtiyaçlar, Refahın Temelleri, Fırsatlar	EP modeli: Belediye atığı geri dönüşüm oranı. CEP modeli: Belediye atığı geri dönüşüm oranı ve döngüsel malzeme kullanım oranı	Analiz bulguları, AB ülkeleri arasında çevresel ve döngüsel ekonomi performansında belirgin farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. Belçika, her iki performans göstergesinde de en etkin ülke olarak öne çıkarken; Güney Avrupa ülkeleri (örn. Yunanistan, Kıbrıs) düşük performans sergilemektedir. Sonuçlar, atık yönetimi ve döngüsel ekonomi performansının yalnızca teknik kapasiteyle değil, sosyal gelişmişlik düzeyiyle de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.	
Evin ve Özdemir (2022)	Türkiye'de yer alan 30 büyükşehir belediyesi	2018	VZA	Kişi başı toplanan ortalama atık miktarı, atık hizmeti veren belediye sayısı	Düzenli depolama tesislerine gönderilen atık miktarı, geri kazanım tesislerine gönderilen atık miktarı	Analiz sonuçlarına göre 30 büyükşehirden yalnızca 7'si (Adana, Ankara, Gaziantep, İstanbul, Kahramanmaraş, Mardin ve Şanlıurfa) etkin bulunmuştur. Etkin olmayan büyükşehirlerin referans kümelerinde en sık İstanbul ve Gaziantep yer almakta olup, büyükşehirlerin çoğunda katı atık yönetiminde belirgin düzeyde verimsizlik tespit edilmiştir.	
Doussoulin ve Colther (2022)	Şili'de belediye	280	2014–2019	SSA, Moran endeksi	Atık yönetimi maliyeti, atık toplama personeli sayısı, şehirleşme, hizmet sunum biçimi: kamu, karma, özel	Belediyelerin yıllık topladığı evsel katı atık miktarı	Analizden elde edilen bulgulara göre belediyelerin ortalama teknik etkinliği genel olarak düşüktür. Kırsal belediyeler daha verimsiz görünmektedir ve kamu/karma/özel yönetim biçimleri arasında etkinlik farklılıkları raporlanmaktadır. Etkinliğin mekanda rastgele dağılmadığı, benzer etkinlik düzeylerine sahip belediyelerin kümelendiği gösterilmektedir.

Tablo 6 (Devamı)

Saraç (2023)	vd.	Türkiye’de alan büyükşehir	yer 30	2020– 2021	VZA	Sıfır atık eğitimi verilen kişi sayısının il nüfusuna oranı, Atık hizmeti verilen tesis sayısının il nüfusuna oranı, Sıfır Atık Belgesi alan ve sisteme geçen kuruluş sayısının il nüfusuna oranı	Kişi başına düşen atık miktarı, Geri kazanımı sağlanan atık miktarının oranı	VZA bulgularına göre CCR modelinde 20, BCC modelinde 19 büyükşehir etkin değildir. Sonuçlar, sıfır atık yönetiminde etkinliğin artırılması için yerel yönetimlerin atık işleme kapasitesini geliştirmesi, nitelikli uzman istihdamı, paydaşlarla koordinasyonun güçlendirilmesi, eğitim faaliyetlerinin yaygınlaştırılması ve mevzuatın etkin uygulanması gerektiğine işaret etmektedir.
lo (2024)	Storto	İtalya/Apulia (Puglia) bölgesinde yer alan 94 belediye		2019– 2021	GDDF- DEA, Bulanık VZA	Karışık atık toplama ve taşıma maliyeti, karışık atık arıtma/ bertaraf maliyeti, ayrı toplanan fraksiyonların toplama- taşıma maliyeti, ayrı toplanan fraksiyonların arıtma/geri kazanım maliyeti	Ayrı toplanan atık, karışık/geri kazanılamayan atık	Çalışma bulguları, belediyelerin kentsel katı atık yönetiminde eko-etkinlik düzeylerinin belediyeler arasında belirgin farklılıklar gösterdiğini ve genel olarak etkinlik sınırının altında kaldığını ortaya koymaktadır. Analiz sonuçları, eko-etkinliği artıran en temel unsurun ayrı toplanan atık oranı olduğunu, maliyet verilerindeki belirsizliklerin ise etkinlik sıralamalarını anlamlı ölçüde etkilediğini göstermektedir.
Guan (2024)	vd.	Çin anakarasında 31 eyalet/bölge		2016– 2022	İki Aşamalı Ağ DEA, one-by-one elimination ile duyarlılık analizi	çalışan sayısı, sanayi işletmesi sayısı, katı atık yönetimi yatırımı, çevre ve kamu hizmetleri yönetimi personeli	Toplam kar, tehlikeli atık oluşumu, genel endüstriyel katı atığın (GISW) kapsamlı değerlendirilmesi, GISW bertarafı, tehlikeli atığın kapsamlı değerlendirilmesi ve bertarafı	Bulgular, bölgeler arasında etkinlik düzeylerinin belirgin biçimde ayrıştığını; çoğu bölgede döngüsel ekonomi etkinliğinin artış eğilimi göstermekle birlikte kaynak yeniden kullanım aşamasının ortalama etkinliğinin düşük kaldığını göstermektedir. Ayrıca Batı bölgesinin ortalama etkinliği Doğu bölgesinden daha yüksektir, duyarlılık analizi sonuçların istatistiksel olarak sağlam olduğunu teyit etmektedir.

Tablo 6’da verilen katı atık yönetiminin etkinliğine yönelik literatür özeti incelendiğinde, atık yönetimi hizmetlerinin performansının ölçümünde etkinlik analizlerinin yaygın bir araç olarak kullanıldığı ve literatürün özellikle son yıllarda "kara kutu*" yaklaşımından süreç odaklı çok aşamalı modellere doğru evrildiği görülmektedir. Çalışmalar genel olarak belediyelerin veya atık yönetim firmalarının teknik ve maliyet etkinliklerini ölçmeyi, verimsizlik kaynaklarını tespit etmeyi ve etkinliği etkileyen çevresel faktörleri belirlemeyi amaçlamaktadır.

Literatürdeki çalışmaların büyük bir bölümünde, belediyelerin atık yönetimi süreçlerinde önemli verimsizlikler bulunduğu tespit edilmiştir. Bosch vd. (2001), Simões vd. (2012), Vishwakarma vd. (2012) ve Evin ve Özdemir (2022) gibi farklı coğrafyalarda (İspanya, Portekiz, Hindistan, Türkiye) yapılan araştırmalar, mevcut kaynaklarla daha yüksek çıktı elde edilebileceğini veya aynı hizmet seviyesinin daha düşük maliyetle sunulabileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle Türkiye özelinde yapılan çalışmalarda (Evin ve Özdemir, 2022; Saraç vd., 2023), büyükşehir belediyelerinin önemli bir kısmının etkin sınırın altında kaldığı ve atık işleme kapasitesi ile uzman personel eksikliğinin performansı sınırladığı vurgulanmıştır.

Etkinliği belirleyen faktörler açısından incelendiğinde, bulguların karmaşık bir yapı sergilediği görülmektedir. Bazı çalışmalar hizmet sunum biçiminin (kamu veya özel) etkinlik üzerinde anlamlı bir fark yaratmadığını belirtirken (Bosch vd., 2000; Marques ve Simões, 2009), diğerleri mülkiyet yapısının ve yönetim modellerinin (kamu/karma/özel) performans farklılıklarına yol açabileceğine işaret etmektedir (Doussoulin ve Colther, 2022). Ayrıca nüfus yoğunluğu, kişi başına GSYH, turizm ve ölçek büyüklüğü gibi dışsal faktörlerin de etkinlik skorları üzerinde belirleyici olduğu, Rogge ve De Jaeger (2013) ile Giannakitsidou vd. (2020) gibi çalışmalarla desteklenmektedir. Özellikle Giannakitsidou vd. (2020), atık yönetimi performansının sadece teknik bir mesele olmadığını, ülkelerin

* Geleneksel tek aşamalı etkinlik analizi yaklaşımları, karar verme birimlerini içsel üretim yapıları dikkate alınmaksızın yalnızca girdi-çıkı ilişkileri üzerinden değerlendirmekte ve bu nedenle analiz edilen sistemi bir "kara kutu" olarak ele almaktadır (Färe ve Grosskopf, 2000). Bu yaklaşım, toplam etkinlik düzeyinin ölçülmesine imkân tanımakla birlikte, verimsizliğin hangi alt süreçlerden kaynaklandığına ilişkin sınırlı bilgi üretmektedir. Literatürde bu metodolojik kısıtı aşmak amacıyla, üretim sürecini birbirini izleyen veya eşanlı alt aşamalara ayıran ağ yapılı ve çok aşamalı etkinlik modelleri geliştirilmiştir (Kao, 2014; Tone ve Tsutsui, 2009). Söz konusu modeller, karmaşık organizasyonel ve üretim yapılarında süreç içi performansın ayrıştırılmasına ve verimsizlik kaynaklarının daha ayrıntılı biçimde analiz edilmesine olanak sağlamaktadır.

sosyal gelişmişlik düzeyleriyle de yakından ilişkili olduğunu AB ülkeleri örneğinde kanıtlamıştır.

Metodolojik açıdan değerlendirildiğinde, literatürün ilk dönemlerinde Veri Zarflama Analizi (VZA) ve Stokastik Sınır Analizi (SSA) gibi geleneksel yöntemlerin tek aşamalı olarak kullanıldığı görülmektedir. Ancak son dönemde Wu vd. (2016) ve Guan vd. (2024) gibi çalışmalarla birlikte, atık yönetimini tek bir üretim süreci yerine birbirine bağlı alt süreçler (toplama, taşıma, geri kazanım, bertaraf) olarak ele alan "İki Aşamalı Ağ VZA" (Network DEA) modellerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Bu yöntemler, sistemin genel etkinliğinin yanı sıra alt süreçlerdeki verimsizliklerin kaynağını (örneğin toplama aşaması mı yoksa geri dönüşüm aşaması mı) ayrıştırma imkanı sunmaktadır. Ayrıca lo Storto (2024) gibi güncel çalışmalarda bulanık mantık (Fuzzy DEA) gibi belirsizlikleri modele dahil eden yaklaşımların kullanılması, analizlerin güvenilirliğini artırmaktadır.

Bu çerçevede, mevcut çalışma literatüre iki açıdan özgün katkı sunmayı hedeflemektedir. İlk olarak, katı atık yönetimi süreçlerinin etkinliğini iki aşamalı Ağ-VZA modeli ile analiz ederek atık oluşumu ve geri kazanım süreçlerini ayrıştırmakta ve süreç bazlı verimsizlikleri ortaya koymaktır. İkinci olarak ise, mikro düzeyde elde edilen etkinlik bulgularını, makro düzeyde geri dönüşüm-ekonomik büyüme-çevresel kalite ilişkisini inceleyen panel veri analizleriyle birlikte ele alarak literatürde sıklıkla ayrı ele alınan iki analiz düzeyini bütüncül bir çerçevede birleştirmektedir. Bu yönüyle çalışma, katı atık yönetimi süreçlerinin etkinliğinin sürdürülebilir kalkınma politikaları açısından taşıdığı stratejik önemi daha kapsamlı biçimde değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

3.4. Veri Seti, Model, Yöntem ve Bulgular

Bu bölümde tezin ampirik uygulamasına yer verilmektedir. Önceki bölümlerde teorik ve kavramsal çerçevesi sunulan ve literatürdeki yeri tartışılan belediye katı atık geri dönüşümünün ekonomik büyüme ve çevresel bozulma üzerindeki etkileri ekonometrik yöntemler kullanılarak analiz edilmektedir. Araştırmanın çift yönlü amacı doğrultusunda ilk olarak makro düzeyde seçili ülkeler kapsamında geri dönüşümün ekonomik ve çevresel etkileri incelenmektedir. Bu kapsamda, öncelikle analize dahil edilen değişkenler tanıtarak veri seti ve modellerin yapısı açıklanmaktadır. Daha sonra analizde kullanılacak olan ekonometrik yöntemler teorik altyapılarıyla birlikte sunulmuş ve bu yöntemlerin uygulanmasıyla elde edilen bulgular, ekonomi ve çevre ilişkisi temelinde ayrı başlıklar altında değerlendirilmektedir.

Bunun yanı sıra çalışmada belediye düzeyinde atık yönetimi süreçlerinin performansını ortaya koymak amacıyla etkinlik analizi gerçekleştirilmektedir. Bu analiz atık oluşumu ve atık yönetimi aşamalarının bütüncül bir süreç olarak değerlendirilmesine imkan sağlayarak ekonometrik bulguları tamamlayıcı nitelikte mikro düzeyde bir performans ölçümü sunalmaktadır. Böylece hem makro düzeyde geri dönüşümün ekonomi ve çevre üzerindeki etkileri hem de mikro düzeyde belediyelerin atık yönetimindeki etkinlik dereceleri birlikte ele alınarak araştırmanın analitik çerçevesi güçlendirilmektedir.

3.4.1. Veri Seti ve Ekonometrik Model

Bu çalışmada belediye katı atık geri dönüşümünün ekonomik büyüme, çevresel kalite ve yerel yönetimler düzeyinde operasyonel etkinlik üzerindeki etkileri, çok ölçekli bir analitik çerçeve içerisinde ele alınmaktadır. Bu doğrultuda araştırma, makro ve mikro düzeyde iki tamamlayıcı analiz eksenine üzerine kurgulanmıştır. Makro düzeyde, 1995–2021 dönemini kapsayan ve verisine eksiksiz biçimde ulaşılabilen 33* ülkeden oluşan bir

*Almanya, Amerika Birleşik Devletleri, Avusturya, Belçika, Birleşik Krallık, Bulgaristan, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Hırvatistan, Hollanda, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, Japonya, Kore, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Macaristan, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovenya, Slovakya, Türkiye, Ukrayna ve Yunanistan

panel veri seti kullanılmıştır. Ülke seçiminde veri erişilebilirliği, uluslararası karşılaştırılabilirlik ve zaman serilerinin sürekliliği temel ölçütler olarak benimsenmiştir.

Çalışmanın mikro düzey analizinde ise Türkiye'deki belediyelerin katı atık yönetimine ilişkin operasyonel performansı, iki aşamalı ağ yapısına dayalı Veri Zarflama Analizi (Ağ-VZA) yaklaşımıyla değerlendirilmektedir. Bu kapsamda atık oluşumu süreci ilk aşama, atık yönetimi ve geri kazanım süreci ise ikinci aşama olarak modellenmiştir. Her iki aşama için girdiler, ara çıktılar ve nihai çıktılar ayrı ayrı tanımlanarak süreçlerin kendi iç dinamikleri dikkate alınmıştır. Makro analizlerden farklı olarak bu bölümde, belediye düzeyinde demografik, fiziksel ve operasyonel nitelikte göstergeler kullanılarak yerel yönetimlerin göreceli etkinlik düzeyleri analiz edilmektedir.

Bu doğrultuda çalışmada kullanılan veri setleri ve ekonometrik modeller, makro ve mikro düzey analizleri yansıtacak şekilde ayrı başlıklar altında ele alınmaktadır. Bu ayırım, araştırmanın farklı ölçeklerde yürütülen ampirik analizlerinin metodolojik olarak sistematik bir çerçeve içerisinde yapılandırılmasına olanak tanımakta; aynı zamanda her bir analiz düzeyinde kullanılan veri yapısının, değişken setlerinin ve model kurgularının daha açık ve anlaşılır biçimde sunulmasını sağlamaktadır. Böylece çalışmanın çok ölçekli analiz yaklaşımı hem analitik tutarlılık hem de metodolojik açıklık açısından güçlendirilmektedir.

3.4.1.1. Katı Atık Geri Dönüşümünün Ekonomik Büyüme ve Çevresel Etkilerine İlişkin Veri Seti ve Model

Bu alt bölümde belediye katı atık geri dönüşümünün ekonomik büyüme ve çevresel kalite üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla iki ayrı ekonometrik model kurulmuştur. “Model 1” olarak tanımlanan ilk modelde, belediye atık geri dönüşüm oranının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Ekonomik büyümeyi temsilen bağımlı değişken olarak kişi başına düşen reel GSYİH (GDPP) kullanılmıştır. Bağımsız değişkenler ise yük kapasitesi faktörü (LCF), geri dönüşüm oranı (RCY), yenilenebilir enerji tüketimi (REC) ve doğal kaynak kiralrı (NRR)’dır.

“Model 2” olarak tanımlanan ikinci modelde, geri dönüşüm faaliyetlerinin çevresel kalite üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Bu doğrultuda bağımlı değişken yük kapasitesi faktörü (LCF) olup bağımsız değişkenler kişi başı GSYİH (GDPP), geri

dönüşüm oranı (RCY), yenilenebilir enerji tüketimi (REC) ve doğal kaynak kiralari (NRR)'dır. Her iki modelde kullanılan değişkenler, tanımları ve veri kaynakları Tablo 7'de ortak biçimde özetlenmiştir.

Tablo 7.

Panel Veri Analizinde Kullanılan Değişkenler, Tanımları ve Veri Kaynakları

Değişken	Sembol	Ölçüm	Veri Kaynağı
Ekonomik Büyüme	GDPP	Kişi Başı GSYİH (Sabit 2015 ABD Doları)	Dünya Bankası (WB)
Çevresel Kalite	LCF	Yük Kapasitesi Faktörü (Biyokapasitenin Ekolojik Ayak İzine Oranı)	Küresel Ayak İzi Ağı (GFN)
Geri Dönüşüm Oranı	RCY	Belediye Atıklarının Geri Dönüşüm Oranı (%)	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD)
Yenilenebilir Enerji	REC	Toplam Nihai Enerji Tüketiminde Yenilenebilir Enerjinin Payı (%)	Dünya Bankası (WB)
Doğal Kaynaklar	NRR	Toplam Doğal Kaynak Kirasının GSYİH İçindeki Payı (%)	Dünya Bankası (WB)

Makro analizlerde kullanılan veri setleri ve değişkenler yıllık panel yapıda olup değişkenlerden GDPP logaritmik formda modele dahil edilmiştir. Bunun temel nedeni, ülkeler arasında gelir düzeylerinin oldukça geniş bir dağılım göstermesi ve logaritmik dönüşümün veri dağılımını daha dengeli hale getirerek olası heteroskedastisite problemini azaltmasıdır. Ayrıca logaritmik dönüşüm, bağımsız değişkenlerde meydana gelen değişimlerin ekonomik büyüme üzerindeki etkilerinin esneklik yorumuyla değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Buna karşılık modelde yer alan LCF, RCY, REC ve NRR gibi değişkenler oran veya pay niteliğinde göstergeler olduğundan, bu değişkenlerin logaritmik dönüşüme tabi tutulması gerekli görülmemiş ve analizde düzey değerleriyle kullanılmıştır.

İlgili veriler Dünya Bankası (WB), Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) ve Küresel Ayak İzi Ağı (Global Footprint Network) gibi uluslararası güvenilir veri tabanlarından derlenmiştir. Bu aşamada kullanılan CS-ARDL yöntemi kısa ve uzun dönem etkileri eşzamanlı biçimde tahmin etme imkanı sunarken, AMG tahmincisi ülke bazlı katsayılar üreterek panel genelinde gözlenen ilişkilerin her bir ülke için ayrı ayrı değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Böylece ülkeler arasındaki yapısal farklılıklar karşılaştırmalı biçimde ortaya konmaktadır.

Belediye katı atık geri dönüşümünün ekonomik büyüme ve çevresel kalite üzerindeki etkilerini bütüncül bir çerçevede değerlendirmek amacıyla oluşturulan

modellerde, her bir bağımlı değişken çalışmanın analitik odağını yansıtmaktadır. Bu kapsamda, ekonomik büyüme üzerindeki etkinin incelendiği Model 1’de bağımlı değişken olarak kullanılan GDPP, ekonomik büyümenin zaman içindeki seyrini ortaya koymasının yanı sıra ülkeler arası karşılaştırmalarda yaygın biçimde kullanılan, güçlü ve kabul görmüş bir performans göstergesi olması nedeniyle modelin merkezi değişkeni konumundadır. Buna karşılık, çevresel kalite üzerindeki etkinin analiz edildiği Model 2’de çevresel sürdürülebilirliğin önemli bir temsilcisi olan LCF’nin bağımlı değişken olarak tercih edilmesi, çalışmanın temel metodolojik katkılarından birini oluşturmaktadır. LCF, ülkelerin biyokapasiteleri ile ekolojik ayak izleri* arasındaki oran üzerinden hesaplanan ve çevresel kaliteyi bütüncül biçimde yansıtan bileşik bir göstergedir. Bu bağlamda LCF, çevresel baskılar ile doğal kaynakların yenilenme kapasitesi arasındaki dengeyi ölçmeye imkan tanımakta olup, şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$LCF = \frac{\text{Ekolojik Ayak İzi}}{\text{Biyokapasite}}$$

LCF’nin 1’in üzerinde bir değer alması, ilgili ülkenin ekosisteminin sürdürülebilir bir kullanım düzeyinde olduğunu; 1’in altında kalması ise doğal kaynaklar üzerindeki kullanım baskısının biyokapasiteyi aşarak ülkenin çevresel baskı altında bulunduğunu göstermektedir. (Caglar vd., 2024; Pata, 2021; Zhang vd., 2025).

Model 2’de LCF’nin bağımlı değişken olarak tercih edilmesinin temel gerekçesi, çevresel kalitenin tutarlı ve bütüncül bir çerçevede analiz edilmesine imkan sağlamasıdır. CO₂ emisyonları, PM_{2.5} yoğunluğu veya enerji tüketimi gibi tekil çevresel göstergeler çevresel bozulmanın yalnızca belirli bir boyutunu yansıtırken; LCF, çevre üzerindeki baskıyı makro ölçekte ve çok boyutlu biçimde değerlendirebilmektedir. Özellikle LCF’nin, çevrenin talep yönünü temsil eden ekolojik ayak izi ile arz yönünü yansıtan biyokapasiteyi aynı anda dikkate alması, doğal kaynak kullanımı ile ekosistemin yenilenme kapasitesi arasındaki dengeyi ortak bir ölçüt altında ifade etmesine olanak tanımakta ve bu yönüyle çevresel sürdürülebilirliğin kapsamlı biçimde analiz edilmesini mümkün kılmaktadır.

* Biyokapasite; tarım alanları, meralar, ormanlar ve balıkçılık alanları gibi biyolojik üretkenliğe sahip ekosistemlerin toplam kapasitesini ifade ederken, ekolojik ayak izi; karbon emisyonları, arazi kullanımı, ormansızlaşma, enerji tüketimi ve doğal kaynak baskısı gibi unsurların çevre üzerindeki toplam yükünü göstermektedir.

LCF ve GDPP, ekonomik büyüme ile çevresel kalite arasındaki karşılıklı etkileşimi yansıtan temel değişkenlerdir. Çevresel kapasitenin görece güçlü olduğu ekonomilerde, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımına bağlı olarak üretim süreçlerinin sürekliliği sağlanmakta ve uzun vadeli büyüme performansı desteklenmektedir. Buna karşılık ekonomik büyüme, özellikle çevresel düzenlemeler ve temiz teknolojilerle desteklenmediği durumlarda, artan enerji ve kaynak kullanımı yoluyla çevre üzerinde baskı oluşturabilmekte ve çevresel taşıma kapasitesini zayıflatabilmektedir. Bu çerçevede LCF ve GDPP'nin modellerde karşılıklı bağımsız değişkenler olarak ele alınması, büyüme ile çevresel kalite arasındaki çift yönlü ilişkinin ampirik olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Her iki modelde de temel açıklayıcı değişken olarak yer alan belediye katı atık geri dönüşüm oranı (RCY), ekonomik büyüme ve çevresel kalite üzerinde çok boyutlu ve birbirini tamamlayıcı etkiler üretmektedir. Ekonomik büyüme açısından RCY, hammadde kullanımında sağladığı tasarruf, enerji tüketimindeki azalma ve geri dönüşüm faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan katma değer yoluyla üretim maliyetlerini düşürmekte ve verimlilik artışını desteklemektedir. Buna ek olarak geri dönüşüm sektörünün doğrudan ve dolaylı istihdam yaratma kapasitesi ile bağlantılı sektörlerde üretim hacmini genişletmesi, RCY'nin ekonomik büyüme üzerindeki pozitif etkisini güçlendirmektedir. Çevresel kalite boyutunda ise RCY, atık miktarını azaltarak depolama ve bertaraf süreçlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını sınırlamakta, doğal kaynak kullanımı üzerindeki baskıyı hafifletmekte ve ekolojik sürdürülebilirliği desteklemektedir. Bu yönüyle RCY, döngüsel ekonomi yaklaşımının temel unsurlarından biri olarak hem kaynak verimliliği ve emisyon azaltımı kanallarını hem de atık yönetimi politikalarının etkinliğini yansıtan kritik bir gösterge niteliği taşımaktadır. Dolayısıyla RCY'nin modele dahil edilmesi, ekonomik büyüme ile çevresel kalite arasındaki etkileşimlerin bütüncül bir perspektiften analiz edilmesine olanak tanımakta ve her iki modelin analitik açıklayıcılığını güçlendirmektedir.

Yenilenebilir enerji tüketimi (REC), ekonomik büyüme ve çevresel kalite üzerinde stratejik ve tamamlayıcı etkiler üreten temel değişkenlerden biridir. Ekonomik büyüme açısından REC, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak enerji arz güvenliğini güçlendirmekte, üretim süreçlerinde maliyet oynaklığını sınırlamakta ve sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir enerji yapısının oluşmasına katkı sunmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması, düşük karbonlu teknolojilerin kullanımını teşvik ederek inovasyon kapasitesini artırmakta, yeni yatırım alanları ve istihdam olanakları yaratarak büyüme performansını desteklemektedir. Özellikle enerji maliyetlerindeki öngörülebilirliğin artması ve teknolojik öğrenme süreçlerinin hızlanması, REC'nin uzun vadede toplam faktör verimliliğini yükselten bir unsur olarak öne çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Çevresel kalite boyutunda ise REC, fosil yakıt kullanımını ikame ederek karbon emisyonlarını azaltmakta, çevre üzerindeki baskıyı hafifletmekte ve enerji bileşiminin daha temiz ve sürdürülebilir bir yapıya dönüşmesini sağlamaktadır. Bu yönüyle REC'nin modele dahil edilmesi, enerji kullanım yapısının hem ekonomik büyüme hem de çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerinin analitik olarak değerlendirilmesine imkan tanımakta ve modelin açıklayıcı gücünü artırmaktadır.

NRR, ekonomik sistemlerin kaynak bağımlılığı düzeyini yansıtan temel göstergelerden biridir. Ekonomik büyüme açısından NRR, doğal kaynakların üretim sürecindeki rolünü ve bu kaynaklardan elde edilen ekonomik getirileri temsil etmekte olup, literatürde büyümeyi destekleyici bir unsur olarak değerlendirilmekle birlikte uzun vadede olumsuz sonuçlar doğurabileceğine işaret eden görüşler de bulunmaktadır. Bu bağlamda “doğal kaynak laneti” yaklaşımı, kaynak gelirlerine aşırı bağımlı ekonomilerde üretken yatırımların, beşeri sermaye birikiminin ve kurumsal gelişimin zayıflayabileceğini; dolayısıyla sürdürülebilir büyüme performansının olumsuz etkilenebileceğini ileri sürmektedir. Bu nedenle NRR'nin modele dahil edilmesi, ekonomik büyümenin kaynak yoğun bir yapıdan nasıl etkilendiğinin ampirik olarak test edilmesine olanak tanımaktadır. Çevresel kalite boyutunda ise NRR, doğal kaynakların yoğun kullanımının ekosistemler üzerindeki baskısını yansıtan önemli bir değişken niteliği taşımaktadır. Kaynak çıkarımı ve tüketiminin artması, ekolojik ayak izini genişleterek çevrenin taşıma kapasitesini zayıflatabilmekte ve LCF azalmasına neden olabilmektedir. Bu çerçevede NRR'nin modele dahil edilmesi, ekonomik faaliyetlerin kaynak tüketim yoğunluğunun çevresel kalite üzerindeki etkilerinin analiz edilmesine imkan tanımakta ve büyüme–çevre etkileşiminin daha bütüncül biçimde değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Bu çerçevede, tanımlanan değişkenler arasındaki ilişkilerin ampirik olarak ortaya konulabilmesi amacıyla, aşağıda sırasıyla ekonomik büyüme ve çevresel kaliteyi

açıklamaya yönelik modellerin fonksiyonel yapıları ve bunlara karşılık gelen ekonometrik gösterimleri sunulmaktadır.

Model 1'in genel fonksiyonel yapısı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

Model 1: $GDPP_{it} = f(LCF_{it}, RCY_{it}, REC_{it}, NRR_{it})$

Bu fonksiyon ekonomik büyümenin geri dönüşüm, yenilenebilir enerji, doğal kaynak kullanımı ve çevresel taşıma kapasitesi tarafından birlikte belirlendiğini göstermektedir. Fonksiyonel yapı ekonometrik forma dönüştürüldüğünde Model 1 aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir:

$$\ln(GDPP)_{it} = \alpha_i + \beta_1 LCF_{it} + \beta_2 RCY_{it} + \beta_3 REC_{it} + \beta_4 NRR_{it} + \varepsilon_{it}$$

Burada α_i ülkelere özgü sabit etkileri, ε_{it} hata terimini, i ülkeyi ve t zaman boyutunu temsil etmektedir. Bu model aracılığıyla panel veri analiz teknikleri kullanılarak geri dönüşüm faaliyetleri, enerji politikaları ve doğal kaynak kullanımının ekonomik büyüme üzerindeki kısa ve uzun dönemli etkilerinin ampirik olarak ortaya konulması amaçlanmaktadır.

Çevresel kaliteyi açıklamaya yönelik olarak hazırlanan Model 2'nin fonksiyonel yapısı ise aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

Model 2: $LCF_{it} = f(GDPP_{it}, RCY_{it}, REC_{it}, NRR_{it})$

Fonksiyonel ilişki ekonometrik formda aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir:

$$LCF_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln(GDPP)_{it} + \beta_2 RCY_{it} + \beta_3 REC_{it} + \beta_4 NRR_{it} + \varepsilon_{it}$$

Burada α_i ülkelere özgü sabit etkileri, ε_{it} hata terimini, i ülkeyi ve t zamanı göstermektedir. Modelin bu biçimde kurulması, ekonomik büyüme, enerji kullanımı ve doğal kaynak temelli göstergelerin çevresel kalite üzerindeki etkilerinin çok boyutlu olarak analiz edilmesine olanak tanımaktadır.

Bu şekilde tanımlanan fonksiyonel ve ekonometrik modeller, panel veri yapısının gerektirdiği yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliği gibi olası sorunlar dikkate alınarak tahmin edilmektedir. Modellerin tahmininde, ülkeler arası yapısal farklılıkları ve zamana bağlı ortak şokları dikkate alan ikinci nesil panel veri yöntemlerinden yararlanılmakta; değişkenler arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişkiler bu yöntemler

çerçevesinde analiz edilmektedir. Bu doğrultuda izlenen ekonometrik yaklaşım ve kullanılan testler, yöntem bölümünde ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

3.4.1.2.Katı Atık Yönetimi Süreçlerinin Etkinlik Analizine Ait Veri Seti ve Model

Bu alt bölümde Türkiye'deki illerin katı atık yönetimi süreçlerindeki performansını değerlendirmek amacıyla uygulanan iki aşamalı ağ yapısına dayalı Veri Zarflama Analizi'nin veri seti, değişken yapısı ve yöntemsel çerçevesi ayrıntılı biçimde sunulmaktadır. Katı atık yönetimi, birbirini izleyen ve aralarında güçlü bir bağımlılık ilişkisi bulunan iki temel aşamadan oluşan bütüncül bir süreçtir. Bu nedenle üretim sürecini tek bir girdi-çıktı dönüşümü olarak ele alan klasik tek aşamalı VZA modelleri, süreç içindeki ara aşamaları göz ardı etmekte ve analiz edilen sistemi bir "kara kutu" (black box) olarak değerlendirmektedir (Kao, 2012, s. 1). Bu çalışmada söz konusu metodolojik kısıtların aşılması amacıyla, aşamalar arasındaki hiyerarşik karar yapısını açık biçimde dikkate alan Stackelberg Oyun Kuramı temelli iki aşamalı Ağ-VZA modeli tercih edilmiştir (Li vd., 2012, s. 611; Liang vd., 2008, s. 645). Böylece katı atık yönetimi sürecinin her bir aşamasının performansa katkısı ayrı ayrı analiz edilebilmekte ve iller arasındaki göreceli etkinlik düzeyleri daha gerçekçi ve analitik bir çerçevede değerlendirilebilmektedir.

Modelin ilk aşaması atık oluşum sürecini temsil etmektedir. Bu aşamada illerin ekonomik ve sosyo-demografik yapısından kaynaklanan atık üretim dinamikleri dikkate alınmakta olup, bu kapsamda girdi değişkeni olarak il bazında kişi başı gayrisafi yurt içi hasıla (KBGSYH) kullanılmıştır. Ekonomik faaliyet hacminin artmasıyla birlikte tüketim düzeyinin yükselmesi ve buna bağlı olarak atık üretim potansiyelinin artması beklenmektedir. İlk aşamanın çıktısı ise il bazında üretilen kişi başı katı atık miktarıdır (KBAM). Bu gösterge bir yandan atık oluşum sürecinin sonucunu yansıtırken, diğer yandan ikinci aşamaya aktarılan ara girdi niteliği taşımaktadır. Ancak KBAM, modelin çıktı yönü itibarıyla istenmeyen bir değişken olduğundan, Seiford ve Zhu (2002) tarafından önerilen yaklaşım doğrultusunda ters yönlü dönüşüme tabi tutulmuş ve $1/KBAM$ biçiminde atık önleme kapasitesini temsil edecek şekilde modele dahil edilmiştir. Böylece daha yüksek değerlerin daha iyi performansı ifade ettiği çıktı yönelimli VZA varsayımı ile metodolojik uyum sağlanmıştır.

Modelin ikinci aşaması, atık yönetimi sürecini temsil etmekte olup ilk aşamada oluşan atıkların yönetilmesi, geri kazanılması ve çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik faaliyetleri kapsamaktadır. Bu aşamada birinci aşamadan elde edilen ve ara girdi niteliği taşıyan 1/KBAM göstergesi, atık yönetimi sürecinin iş yükünü temsil ederek modele girdi olarak dahil edilmiştir. Bunun yanı sıra illerin atık yönetimi kapasitesini ve sıfır atık uygulamalarının kurumsal ve toplumsal yaygınlığını yansıtan sıfır atık eğitimi verilen kişi sayısı (KBSAE) ile sıfır atık belgesi alan birim sayısı (KBSAF) ikinci aşamanın diğer girdilerini oluşturmaktadır. Bu değişkenler yerel düzeyde farkındalık, kurumsal benimseme ve yönetimsel kapasitenin atık yönetimi performansı üzerindeki rolünü ortaya koymak açısından önem taşımaktadır.

İkinci aşamanın çıktıları ise atık yönetimi sürecinin çevresel ve operasyonel başarısını doğrudan yansıtan göstergelerden oluşmaktadır. Bu kapsamda atık geri kazanım oranı (AGK) atıkların döngüsel ekonomiye kazandırılma düzeyini ifade ederken, PM10 değişkeni atık toplama, taşıma ve bertaraf süreçleriyle ilişkili hava kalitesi etkilerini temsil etmektedir. PM10 değişkeni çevresel kalite açısından istenmeyen bir çıktı niteliği taşıdığı için tersine çevrilerek 1/PM10 biçiminde modele dahil edilmiştir (Seiford ve Zhu, 2002). Böylece ikinci aşamada da tüm çıktılar daha yüksek değerlerin daha iyi performansı temsil ettiği çıktı yönelimli VZA yaklaşımı ile uyumlu hale getirilmiştir.

Bu çerçevede modelde kullanılan tüm değişkenlere ilişkin semboller, aşama bazlı konumları, ölçüm biçimleri, uygulanan dönüşümler ve veri kaynakları Tablo 8’de sistematik olarak sunulmuştur. Söz konusu tablo, iki aşamalı ağ yapısında yer alan girdi–ara çıktı–çıktı ilişkilerinin ve aşamalar arası veri akışının daha açık biçimde izlenmesine olanak sağlamaktadır. Aynı zamanda modelin bileşenlerini bütüncül ve karşılaştırılabilir bir çerçevede ortaya koymaktadır.

Tablo 8.***Etkinlik Analizinde Kullanılan Değişkenler, Tanımları ve Veri Kaynakları***

Değişken	Sembol	Aşama / Yön	Tür	Ölçüm / Tanım	Dönüşüm	Veri Kaynağı
Ekonomik Büyüme	KBGSYH	1. Aşama (Atık oluşumu – Lider)	Girdi (X ₁)	İl bazında kişi başı gayrisafi yurt içi hasıla	–	TÜİK–MEDAS
Atık Üretimi	KBAM	Aşamalar arası akış	Ara çıktı (Z)	İl bazında üretilen kişi başı katı atık miktarı	Z = 1/KBAM (atık önleme göstergesi; çıktı-yönelimle uyum için büyük değer = daha iyi)	TÜİK–MEDAS
Sıfır Atık Eğitimi Verilen Kişi Sayısı	KBSAE	2. Aşama (Atık yönetimi – Takipçi)	Girdi (X _{2a})	İl bazında sıfır atık eğitimi verilen toplam kişi sayısı	–	ÇŞİDB – İl Çevre Durum Raporları
Sıfır Atık Belgesi Alan Birim Sayısı	KBSAF		Girdi (X _{2b})	İl bazında sıfır atık belgesi verilen bina/tesis/kamu kurumu/restoran–kafe/arket vb. toplam birim sayısı	–	ÇŞİDB – İl Çevre Durum Raporları
Atık Geri Kazanımı	AGK		Çıktı (Y ₁)	İl bazında geri kazanılan atıkların toplam atık içindeki payı	–	TÜİK–MEDAS
Çevresel Kalite	PM10		Çıktı (Y ₂)	Aerodinamik çapı ≤10 µm olan partikül yoğunluğu	Y ₂ = 1/PM10 (istenmeyen çıktı → yararlı yönde dönüştürme)	ÇŞİDB – Sürekli İzleme Merkezi

Tablo 8’de sunulan KBGSYH, KBAM ve AGK değişkenlerine ait veriler, Türkiye İstatistik Kurumu tarafından derlenen TÜİK–MEDAS veritabanından temin edilmiştir. KBSAE ve KBSAF değişkenlerine ilişkin veriler ise Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) tarafından yıllık olarak yayımlanan İl Çevre Durum Raporları incelenerek her bir il için ayrı ayrı derlenmiştir. PM10 değişkenine ait veriler ise aynı ÇŞİDB bünyesinde faaliyet gösteren Hava Kalitesi İzleme Sistemi kapsamında toplanan ve Sürekli İzleme Merkezi aracılığıyla paylaşılan hava kirleticilerine ilişkin istasyon bazlı ölçümlerden elde edilmiştir. Bu veriler, il sınırları içerisindeki istasyonlarda günlük olarak ölçülmekte olup, analiz öncesinde günlük gözlemler yıllık frekansa dönüştürülmüş ve her il için istasyon ortalamaları alınarak nihai PM10 veri seti oluşturulmuştur.

Verilerin zaman boyutu incelendiğinde, KBAM ve AGK değişkenlerinin iki yılda bir olacak şekilde (2014, 2016, 2018, 2020 ve 2022) yayımlandığı, KBSAE ve KBSAF değişkenlerine ilişkin verilerin ise 2017 yılında hayata geçirilen Sıfır Atık Projesi sonrasında (2018–2023 dönemi) İl Çevre Durum Raporlarında yer almaya başladığı görülmektedir. İl bazında KBGSYH verileri 2000–2024 dönemini kapsarken, PM10 verileri 2010–2023 dönemi için mevcuttur. Bu farklılıklar nedeniyle modelde kullanılan tüm değişkenlerin ortak olarak gözlemlenebildiği zaman aralığı 2018, 2020 ve 2022 yılları ile sınırlı kalmış, analiz bu üç dönem üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Analiz, Türkiye’de toplam atık üretiminin yaklaşık %82,5’ini temsil eden 30 büyükşehir belediyesi üzerine uygulanmıştır. Nüfus ve ekonomik büyüklük bakımından daha küçük illerde veri sürekliliği ve erişilebilirliği konusunda yaşanan kısıtlar nedeniyle, çalışmanın güvenilirliğini ve karşılaştırılabilirliğini artırmak amacıyla örneklem bu illerle sınırlandırılmıştır.

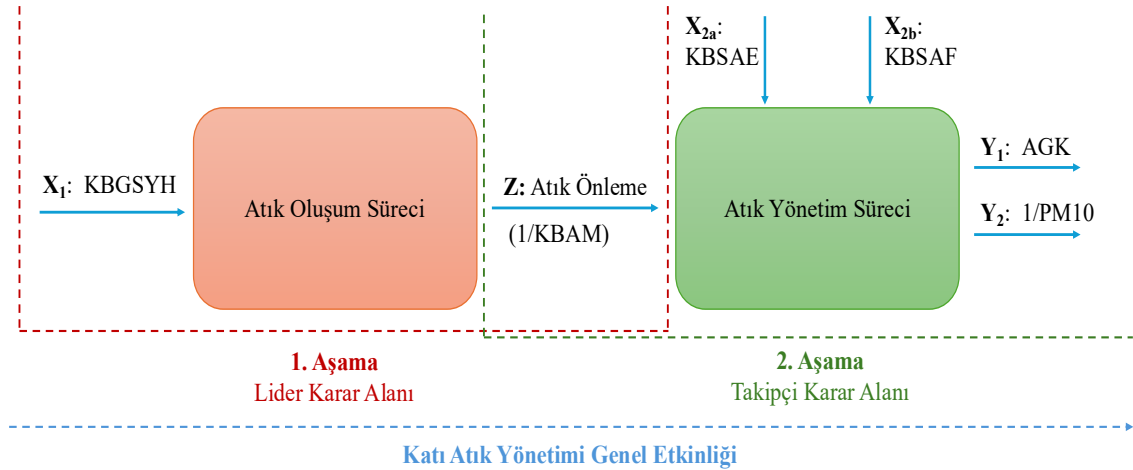
Bu çerçevede oluşturulan veri seti ve örneklem yapısı, Türkiye’deki büyükşehir belediyelerinde katı atık yönetimi süreçlerinin aşama bazında ve bütüncül biçimde analiz edilmesine imkan tanımaktadır. Farklı kaynaklardan derlenen ve zaman boyutu itibarıyla uyumlaştırılan değişkenler, atık oluşumundan atık yönetimi çıktılarının elde edilmesine uzanan sürecin analitik olarak ayrıştırılmasını mümkün kılmaktadır. Bu doğrultuda, çalışmada yalnızca nihai çıktılara odaklanan bir yaklaşım yerine, sürecin iç yapısını dikkate alan çok aşamalı bir etkinlik analizi çerçevesi benimsenmiştir.

Tablo 8’de sunulan değişken yapısı doğrultusunda oluşturulan iki aşamalı ağ modeli, katı atık oluşum süreci ile katı atık yönetimi süreci arasındaki ilişkinin hiyerarşik ve stratejik bir karar yapısı altında ele alınmasını mümkün kılmaktadır. Bu kapsamda çalışmada, Liang vd. (2008) tarafından geliştirilen işbirlikçi olmayan (non-cooperative) lider–takipçi Stackelberg Oyun Kuramı temelli Ağ Veri Zarflama Analizi yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yaklaşım, atık yönetimi sürecini aşama bazında ele alarak, klasik tek aşamalı modellerde üretim sürecinin bir “kara kutu” olarak değerlendirilmesinden kaynaklanan metodolojik sınırlılıkları aşmayı amaçlamaktadır (Li vd., 2012, s. 611; Liang vd., 2008, s. 645).

Bu yöntemsel çerçeve doğrultusunda kurgulanan iki aşamalı ağ yapısı, lider–takipçi (Stackelberg) karar mekanizması, aşamalar arası ara çıktı ilişkileri ve çıktı yönelimli etkinlik ölçüm yaklaşımı Şekil 7’de şematik olarak gösterilmektedir. Şekil, atık oluşum süreci ile atık yönetimi sürecinin nasıl birbirine bağlandığını, hangi değişkenlerin lider ve takipçi aşamalarda yer aldığını ve bu etkileşim sonucunda elde edilen katı atık yönetimi genel etkinlik skorunun hangi yapı üzerinden hesaplandığını açık biçimde ortaya koymaktadır.

Şekil 7.

Stackelberg Oyun Kuramı Temelli İki Aşamalı Ağ Veri Zarflama Analizi Yapısı



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 7’de gösterildiği üzere birinci aşama atık oluşum sürecini temsil eden lider karar alanı olarak tanımlanmaktadır. İkinci aşama ise lider aşamada belirlenen ara çıktı düzeyini veri alarak kendi etkinliğini optimize eden takipçi karar alanı olarak modellenmektedir. Aşamalar arasındaki bu hiyerarşik yapı sayesinde her iki sürecin

performansı stratejik etkileşim içinde değerlendirilmekte ve süreç içi verimsizliklerin hangi aşamadan kaynaklandığı açık biçimde ayrıştırılabilmektedir. Modelin çıktı yönelimli olarak kurgulanması, illerin mevcut kaynak ve kurumsal kapasiteleri sabit kabul edilerek çevresel ve operasyonel çıktıları ne ölçüde iyileştirebildiklerine odaklanılmasını sağlarken, ölçeğe göre değişken getiri (VRS) varsayımı, iller arasındaki nüfus, ekonomik büyüklük ve yönetsel kapasite farklılıklarının etkinlik ölçümlerini yanlışlaştırmasını engellemektedir. Bu yöntemsel yapı atık üretimi, sıfır atık uygulamalarının kurumsal yaygınlığı, geri dönüşüm kapasitesi ve çevresel kalite performansının aşama bazında olduğu kadar bütüncül bir genel etkinlik skoru altında birlikte değerlendirilmesine imkan tanımaktadır. Böylece Türkiye’deki katı atık yönetimi süreçlerinin hangi boyutlarda iyileştirilmesi gerektiğine ilişkin somut, karşılaştırılabilir ve politika açısından yol gösterici bulguların elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

3.4.2. Yöntem

Belediye katı atık geri dönüşümünün ekonomik büyüme ve çevresel kalite üzerindeki etkilerini çok boyutlu biçimde analiz edebilmek amacıyla bu çalışmada, birbirini tamamlayan iki farklı metodolojik yaklaşım benimsenmiştir. Makro düzeyde, geri dönüşüm faaliyetlerinin ekonomik ve çevresel göstergeler üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla panel veri ekonometrisi tekniklerinden yararlanılırken mikro düzeyde ise Türkiye’deki büyükşehir belediyelerinin katı atık yönetimi süreçlerindeki performanslarını değerlendirmek üzere iki aşamalı ağ yapısına dayalı Veri Zarflama Analizi uygulanmıştır. Bu çift yönlü yaklaşım, katı atık yönetiminin hem politika düzeyindeki sonuçlarını hem de uygulama düzeyindeki etkinliğini birlikte ele almayı mümkün kılmaktadır.

Panel veri analizlerinde güvenilir ve tutarlı sonuçlar elde edilebilmesi veri setinin yapısal özelliklerine uygun tahmin yöntemlerinin seçilmesine bağlıdır (Doğanay ve Değer, 2020, s. 88). Özellikle birimler arası etkileşimlerin ve yapısal farklılıkların göz ardı edilmesi, tahmin sonuçlarının sapmalı ve yanıltıcı olmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle çalışmanın makro düzey analizlerinde ana ekonometrik modellere geçilmeden önce panelin temel özelliklerini ortaya koyan bir dizi tanısal test uygulanmaktadır. Bu kapsamda ilk olarak yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliği testleri gerçekleştirilmektedir. Bu testlerden elde edilen bulgular doğrultusunda serilerin

durağanlık düzeyleri ve değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkiler, uygun birim kök ve panel eşbütünleşme testleriyle incelenmektedir. Ön test sonuçlarına bağlı olarak değişkenler arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişkilerin tahmininde kullanılacak nihai panel veri yöntemleri belirlenmektedir (Baltagi, 2021, s. 6; Tarı vd., 2019, s. 11).

Çalışmanın mikro düzey analizlerinde ise, katı atık yönetiminin birbirine bağlı alt süreçlerden oluşan yapısını dikkate almak amacıyla klasik tek aşamalı etkinlik ölçüm yaklaşımları yerine atık oluşum ve yönetim süreçlerini ayrı fakat etkileşimli aşamalar olarak ele alan Stackelberg Oyun Kuramı temelli iki aşamalı Ağ Veri Zarflama Analizi kullanılmıştır. Böylece belediyelerin yalnızca genel etkinlik düzeyleri değil aynı zamanda süreç içi aşamalarda ortaya çıkan performans farklılıkları da analitik olarak değerlendirilebilmektedir (Ma vd., 2020, s. 2211; Shakouri vd., 2019, s. 315).

Bu sistematik yöntemsel çerçeve sayesinde geri dönüşüm faaliyetlerinin ekonomik büyüme ve çevresel kalite üzerindeki etkileri makro ölçekte istatistiksel olarak test edilirken, yerel düzeyde katı atık yönetimi süreçlerinin ne ölçüde etkin yürütüldüğü mikro ölçekte ortaya konulmaktadır. Bu analizler, çalışmanın önceki bölümlerinde ortaya konulan araştırma hipotezleri doğrultusunda gerçekleştirilmekte ve geri dönüşüm faaliyetlerinin ekonomik ve çevresel sonuçlarına ilişkin ampirik kanıtlar sunulmaktadır. Böylece elde edilen bulgular hem ulusal politika tasarımına hem de yerel yönetim uygulamalarına yönelik güvenilir ve bütüncül çıkarımlar ortaya koymaktadır.

3.4.2.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Testi

Panel veri analizlerinde ülkeler arasındaki ekonomik, sosyal, kültürel, politik ve coğrafi bağların artması nedeniyle korelasyon olma olasılığı oldukça yüksektir. Özellikle uluslararası ticaret, ekonomik krizler, enerji piyasaları ve çevresel politikalar gibi ortak şoklar ülkeler arasında benzer etkiler doğurabilmekte ve bu durum yatay kesit bağımlılığına yol açmaktadır. Bu analizlerde yatay kesit bağımlılığının göz ardı edilmesi, tahmin edilen katsayıların yanlı ve tutarsız olmasına sebep olabilmektedir (De Vos, & Everaert, 2021; Pesaran, 2021, s. 14).

Çalışmada kullanılan veri setinin birim ve zaman boyutu dikkate alınarak, yatay kesit bağımlılığı hem değişkenler düzeyinde hem de panelin geneli için uygun testler aracılığıyla ayrı ayrı incelenmektedir. Bu kapsamda ilk aşamada her bir değişken için

birimler arası yatay kesit bağımlılığının varlığını test etmek amacıyla Pesaran (2004, 2021) tarafından geliştirilen CD testi ile CD-LM testi uygulanmıştır. Bu testler, özellikle büyük N ve küçük T panellerde yaygın biçimde kullanılmakta ve birimler arasında ortalama korelasyonun sıfır olup olmadığını sınamaktadır.

İkinci aşamada ise Model 1 ve Model 2 kapsamında kurulan panel denklemlerinin geneline ilişkin yatay kesit bağımlılığını daha kapsamlı biçimde değerlendirmek amacıyla literatürde önerilen gelişmiş testlere başvurulmuştur. Bu doğrultuda Pesaran (2004, 2021) tarafından geliştirilen CD testi, küçük örneklem yanlılığını gidermeyi amaçlayan LM Adjusted testi (Pesaran vd., 2008) ve değişen varyans ile otokorelasyona karşı daha dayanıklı bir yapı sunan CDw^+ testi (Fan vd., 2015) uygulanmıştır. Bu testler model genelinde yatay kesit bağımlılığının varlığını daha güçlü biçimde ortaya koymakta ve özellikle ikinci nesil panel veri yöntemlerine geçişin gerekliliğini değerlendirmede önemli bir referans oluşturmaktadır.

Söz konusu testler için kurulan temel hipotezler şu şekildedir:

H_0 : Yatay kesit bağımlılığı yoktur. (Birimler arası korelasyon sıfırdır, $\rho_{ij} = 0$)

H_1 : Yatay kesit bağımlılığı vardır.

Test istatistiklerine ait olasılık değerlerinin belirli bir önem düzeyinden (genellikle .05) küçük olması durumunda H_0 hipotezi reddedilerek yatay kesit bağımlılığının varlığına karar verilmektedir.

Bu çerçevede kullanılan test istatistikleri aşağıdaki gibi formüle edilmektedir:

CD testi (Pesaran, 2004, 2021): Birim boyutunun zaman boyutundan büyük olduğu durumlarda dahi güçlü sonuçlar veren ve literatürde standart hale gelen CD testi, birimler arasındaki ikili korelasyon katsayılarının $(\hat{\rho}_{ij})$ ortalamasına dayanmaktadır. Pesaran (2004) tarafından geliştirilen ve Pesaran (2021) çalışmasında asimptotik özellikleri detaylandırılan test istatistiği Eşitlik 3.1.'de formüle edilmektedir.

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \right) \quad 3.1.$$

CD-LM testi (Pesaran, 2004, 2021): Büyük N ve büyük T durumlarında kullanılan ve Breusch-Pagan LM testindeki boyut bozulmalarını düzelten CD-LM (Scaled LM) istatistiğinin denklemi Eşitlik 3.2.'deki gibidir.

$$CD_{LM} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T\hat{\rho}_{ij}^2 - 1) \quad 3.2.$$

LM Adjusted testi (Pesaran vd., 2008): Büyük N ve küçük T panellerde testin gücünü artırmak ve sapmayı önlemek amacıyla geliştirilen düzeltilmiş LM istatistiği Eşitlik 3.3.'de gösterilmiştir.

$$LM_{adj} = \sqrt{\frac{2}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{(T-k)\hat{\rho}_{ij}^2 - \mu_{Tij}}{v_{Tij}} \quad 3.3.$$

CD ω^+ testi (Fan vd. 2015): Güçlü ve zayıf yatay kesit bağımlılığını ayırt edebilen ve teste bir güç artırıcı bileşen ekleyen CD ω^+ testi, standart test istatistiğine (CD_ω) belirli bir eşik değeri aşan korelasyonların eklenmesiyle elde edilmektedir. Bu testin denklem olarak gösterimi Eşitlik 3.4.'te gösterildiği gibidir.

$$CD_\omega^+ = CD_\omega + \sum_{1 \leq i < j \leq N} |\hat{\rho}_{ij}| \cdot I\left(|\hat{\rho}_{ij}| > 2\sqrt{\frac{\ln(N)}{T}}\right) \quad 3.4.$$

Denklemdeki $I(\cdot)$ gösterge fonksiyonu, sadece belirgin (güçlü) korelasyonların teste katkı sağlamasına izin vererek analizin hassasiyetini artırmaktadır.

Elde edilen yatay kesit bağımlılığı test sonuçları, çalışmanın ilerleyen aşamalarında kullanılan birim kök testlerinin, eşbütünleşme analizlerinin ve nihai tahmin yöntemlerinin hangi nesil teknikler arasından seçileceğini belirlemede temel bir kriter olarak dikkate alınmaktadır.

3.4.2.2. Eğim Heterojenliği Testi

Panel veri analizlerinde model tahminine geçilmeden önce eğim katsayılarının birimler arasında homojen mi yoksa heterojen mi olduğunun belirlenmesi analizlerin güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Eğim katsayılarının homojenliği varsayımının ihlal edildiği durumlarda bu varsayıma dayalı standart tahmincilerin kullanılması sapmalı sonuçlara yol açabilmektedir (Campello vd., 2019, s. 749). Bu nedenle çalışmada birimler arası eğim katsayılarının homojenliği, Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen yöntemle incelenmiştir.

Pesaran ve Yamagata (2008), eğim katsayılarının homojenliğini test etmek amacıyla büyük birim N ve zaman T boyutlarında tutarlı sonuçlar veren standardize

edilmiş bir yaklaşım önermektedir. Çalışmada, örneklem büyüklüğüne bağlı olası sapmaları dikkate almak amacıyla testin iki farklı versiyonu olan Delta ($\tilde{\Delta}$) ve küçük örneklem düzeltmesi içeren Düzeltilmiş Delta ($\tilde{\Delta}_{adj}$) istatistikleri kullanılmıştır.

Test süreci için kurulan temel hipotezler şu şekildedir:

H_0 : Eğim katsayıları homojendir. ($\beta_i = \beta$)

H_1 : Eğim katsayıları heterojendir. ($\beta_i \neq \beta_j$)

Pesaran ve Yamagata (2008) yaklaşımında, öncelikle birimlere özgü eğim katsayı tahminlerinin ağırlıklı ortalamadan sapmalarına dayanan $\tilde{S}$ istatistiği hesaplanmaktadır. Bu istatistik Eşitlik 3.5.'deki formülle ifade edilmektedir:

$$\tilde{S} = \sum_{i=1}^N (\hat{\beta}_i - \hat{\beta}_{WFE})' \frac{x_i' M_{\tau} x_i}{\sigma_i^2} (\hat{\beta}_i - \hat{\beta}_{WFE}) \quad 3.5.$$

Büyük örneklerde geçerli olan Delta ($\tilde{\Delta}$) test istatistiği, $\tilde{S}$ istatistiğinin standardize edilmesiyle Eşitlik 3.6.'da gösterildiği biçimde elde edilmektedir.

$$\tilde{\Delta} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \tilde{S} - k}{\sqrt{2k}} \right) \quad 3.6.$$

Bununla birlikte, N boyutunun T boyutundan büyük olduğu durumlarda ortaya çıkabilecek boyut bozulmalarını gidermek ve testin gücünü artırmak amacıyla, ortalama ve varyans düzeltmesi içeren Düzeltilmiş Delta ($\tilde{\Delta}_{adj}$) istatistiği hesaplanmaktadır:

$$\tilde{\Delta}_{adj} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \tilde{S} - E(\tilde{Z}_{IT})}{\sqrt{\text{var}(\tilde{Z}_{IT})}} \right) \quad 3.7.$$

Burada $E(\tilde{Z}_{IT}) = k$ ve $\text{Var}(\tilde{Z}_{IT}) = \frac{2k(T-k-1)}{T+1}$ biçiminde tanımlanmaktadır.

Eğim heterojenliği testinden elde edilecek bulgular çalışmanın ilerleyen aşamalarında kullanılacak panel veri tahmin yöntemlerinin seçimi açısından belirleyici bir rol oynamaktadır. Katsayıların heterojen olduğuna işaret eden sonuçlar birimlere özgü etkileri dikkate alan ve heterojenliği yapısal olarak içselleştiren tahmincilerin tercih edilmesini gerektirmektedir. Bu durum özellikle ikinci nesil panel veri yöntemlerinin kullanımını metodolojik olarak zorunlu hale getirmektedir.

3.4.2.3. Birim Kök Analizi

Analiz sürecinin önceki aşamalarında serilerde ve model genelinde yatay kesit bağımlılığının varlığı tespit edilmiştir. Literatürde “birinci nesil” olarak adlandırılan (ADF, Phillips-Perron, LLC, IPS vb.) birim kök testleri, birimler arası yatay kesit bağımlılığını dikkate almamaktadır. Yatay kesit bağımlılığının bulunduğu durumlarda bu testlerin kullanılması, boyut bozulmalarına neden olmakta ve serilerin durağanlık özelliklerine ilişkin yanıltıcı sonuçlar doğurabilmektedir (Ahmed vd. 2022, s. 6878; Banerjee vd., 2005, s. 14).

Bu nedenle çalışmada, yatay kesit bağımlılığını dikkate alarak daha tutarlı ve güvenilir sonuçlar üreten “ikinci nesil” birim kök testlerinden Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CADF (Cross-Sectionally Augmented Dickey–Fuller) ve CIPS (Cross-Sectionally Augmented IPS) testleri kullanılmıştır.

Pesaran (2007) standart ADF (Augmented Dickey–Fuller) regresyonunu, birimlerin yatay kesit ortalamalarının gecikmeli değerleri ($\bar{y}_{t-1}$) ve farkları ($\Delta\bar{y}_t$) ile genişleterek, yatay kesit bağımlılığını modelleyen CADF testini önermiştir.

Her bir yatay kesit birimi için hesaplanan CADF regresyon denklemi Eşitlik 3.8.’deki gibidir:

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \rho_i y_{it-1} + \beta_i \bar{y}_{t-1} + \sum_{j=0}^k \delta_{ij} \Delta \bar{y}_{it-j} + \sum_{j=0}^k \gamma_{ij} \Delta y_{it-j} + \varepsilon_{it} \quad 3.8.$$

Bu denklemde;

- y_{it} : İncelenen değişkeni,
- $\bar{y}_t$: Değişkenin yatay kesit ortalamasını ($N^{-1} \sum_{i=1}^N y_{it}$),
- Δ : Fark operatörünü,
- k : Gecikme uzunluğunu ifade etmektedir.

Bu yöntem, panelin geneli için tek bir sonuç vermenin ötesinde her bir yatay kesit birimi (ülke/değişken) için ayrı ayrı t istatistikleri (CADF istatistikleri) üretmektedir. Bu sayede panel genelinde durağanlık sağlanamasa bile hangi özel birimlerin durağan olduğu hangilerinin birim kök içerdiği ayrı ayrı analiz edilebilmektedir.

Panelin genelinin durağanlık özelliğine karar vermek için ise hesaplanan bu bireysel CADF istatistiklerinin basit aritmetik ortalaması alınarak CIPS istatistiği elde edilmektedir. CIPS istatistiklerinin Eşitlik 3.9.’daki gibi elde edilmektedir.

$$CIPS = N^{-1} \sum_{i=1}^N CADF_i \quad 3.9.$$

Bu denklemde yer alan $CADF_i$, her bir birim için hesaplanan t istatistiğini temsil etmektedir.

Pesaran (2007) testi için kurulan temel hipotezler şu şekildedir:

H_0 : Seri birim kök içermektedir (Durağan değildir).

H_1 : Seri durağandır.

CADF ve CIPS testlerinde sıfır hipotezi ilgili değişkenin birim kök içerdiğini yani durağan olmadığını ifade etmektedir. Alternatif hipotez ise değişkenin durağan olduğu yönündedir. Testlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda değişkenlerin bütünlüşme dereceleri belirlenmiş ve buna bağlı olarak bir sonraki aşamada panel eşbütünlüşme analizine geçilip geçilmeyeceğine karar verilmiştir.

3.4.2.4. Panel Eşbütünlüşme Analizi

Panel veri modellerinde uzun dönemli ilişkinin güvenilir biçimde test edilebilmesi için panelin yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliği gibi özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu bağlamda, ikinci nesil panel eşbütünlüşme testlerinden Westerlund ve Edgerton (2008) yaklaşımı, söz konusu yapısal özellikleri dikkate alması ve yapısal kırılmaları içsel olarak modelleyebilmesi nedeniyle tercih edilmiştir.

Westerlund ve Edgerton (2008) testi, McCoskey ve Kao (1998) tarafından geliştirilen Lagrange Çarpanı (LM) yaklaşımına dayanmaktadır. Test, eşbütünlüşme ilişkisinin varlığını ortalama ve/veya trend bileşeninde ortaya çıkabilecek yapısal kırılmaları dikkate alarak sınamakta, böylece panel veri yapısında olası rejim değişimlerinin uzun dönem katsayı tahminleri üzerindeki etkilerini kontrol edebilmektedir. Ayrıca yöntem, yatay kesit bağımlılığına ve hata terimlerinde görülebilecek değişen varyans ile otokorelasyona karşı esnek bir yapı sunmakta ve bu yönüyle özellikle sınırlı zaman boyutuna sahip panellerde tutarlı ve güvenilir sonuçlar üretme kapasitesine sahiptir.

Test prosedürü her bir i birimi için hesaplanan LM test istatistiklerine dayanmaktadır. Bu kapsamda hesaplanan LM test istatistikleri ($LM_\phi(i)$ ve $LM_\tau(i)$) Eşitlik 3.10. ve Eşitlik 3.11.'de yer alan formüllerle hesaplanmaktadır.

$$LM_{\phi}(i) = T\widehat{\Phi}_l\left(\frac{\widehat{\omega}_l}{\widehat{\sigma}_l}\right) \quad 3.10.$$

$$LM_{\tau}(i) = \frac{\widehat{\Phi}_l}{SE(\widehat{\Phi}_l)} \quad 3.11.$$

Burada eşitliklerde yer alan $\widehat{\Phi}_l$ regresyon katsayısını, $SE(\widehat{\Phi}_l)$ bu katsayının standart hatasını, $\widehat{\sigma}_l$ regresyonun standart hatasını ve $\widehat{\omega}_l^2$ ise uzun dönem varyans tahmincisini (Δv_{it} 'nin uzun dönem varyansı) göstermektedir.

Westerlund ve Edgerton (2008) panel eşbütünleşme testi için kurulan temel hipotezler aşağıdaki gibidir.

H_0 : Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi yoktur.

H_1 : Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır.

Bu hipotez kurgusunda sıfır hipotezi eşbütünleşmenin yokluğunu alternatif hipotez ise uzun dönemli ilişkinin varlığını ifade etmektedir.

3.4.2.5. AMG Tahmincisi

Panel eşbütünleşme testleri sonucunda seriler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığının tespit edilmesinin ardından bu ilişkinin yönünü ve büyüklüğünü belirlemek amacıyla uzun dönem katsayılarının tahmin edilmesi gerekmektedir. Ancak panel veri analizlerinde karşılaşılan yatay kesit bağımlılığını ve eğim parametrelerindeki heterojenliği dikkate almayan klasik tahmincilerin kullanılması sapmalı ve tutarsız sonuçlara yol açabilmektedir (Ditzen, 2021, s. 687).

Bu nedenle çalışmada hem yatay kesit bağımlılığını hem de eğim heterojenliğini dikkate alarak güçlü ve tutarlı sonuçlar üreten Eberhardt ve Bond (2009) ile Eberhardt ve Teal (2010) tarafından literatüre kazandırılan AMG (Augmented Mean Group) tahmincisi kullanılmıştır.

AMG yaklaşımı, paneldeki yatay kesit bağımlılığını gözlenemeyen ortak faktörler aracılığıyla modelleyerek bu ortak bileşenleri tahmin sürecine açık biçimde dahil etmeyi amaçlamaktadır. Temel varsayım, birimler arası bağımlılığın zaman içinde değişen ortak şoklardan kaynaklandığı ve bu şokların tüm birimleri farklı yoğunluklarda etkilediğidir. AMG tahmincisi, bu ortak dinamikleri iki aşamalı bir prosedürle ayrıştırmakta ve uzun

dönem katsayılarını birimlere özgü olarak tahmin etmektedir (Paramati vd. 2022, s. 5; Pata, 2025, s. 6).

AMG tahmin sürecinin ilk aşamasında, panelin geneline ilişkin ortak zaman etkilerini yakalamak amacıyla birinci farklar üzerinden Eşitlik 3.12.'deki yardımcı regresyon tahmin edilmektedir.

$$\Delta y_{it} = \beta' \Delta x_{it} + \sum_{t=2}^T c_t \Delta D_t + u_{it} \quad 3.12.$$

Eşitlik 3.12.'de yer alan denklemden elde edilen zaman kuklası katsayıları (c_t), "ortak dinamik süreç" ($\hat{\mu}_t^\circ$) olarak yeniden adlandırılmaktadır. Bu süreç birimler arasındaki yatay kesit bağımlılığını temsil eden gözlemlenemeyen ortak faktörlerin bir vekili olarak kabul edilmektedir.

İkinci aşamada ise birinci aşamada elde edilen bu ortak dinamik süreç ($\hat{\mu}_t^\circ$), her bir birim için kurulan regresyon denklemine açıklayıcı değişken olarak eklenmektedir. Ayrıca her birim için doğrusal trend terimi (d_i) de modele dahil edilerek Eşitlik 3.13. gösterilen denklem tahmin edilmektedir.

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i x_{it} + c_i t + d_i \hat{\mu}_t^\circ + \varepsilon_{it} \quad 3.13.$$

Burada β_i , her bir i birimi için uzun dönem katsayı tahminini ifade eder. Panel geneli için AMG tahmincisi (β_{AMG}), bu bireysel birim katsayılarının aritmetik ortalaması alınarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\beta_{AMG} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i \quad 3.14.$$

Elde edilen panel geneli katsayısının istatistiksel anlamlılığı, standart t -testi veya Wald testi ile sınanır. Sonuç olarak AMG tahmincisi, heterojen panellerde uzun dönem katsayılarının güvenilir biçimde tahmin edilmesini sağlayan, yatay kesit bağımlılığını kontrol eden ve birimlere özgü dinamikleri koruyan güçlü bir yöntemdir. Bu özellikleriyle çalışmanın veri yapısı ve araştırma amacıyla yüksek düzeyde uyumlu bir tahmin tekniği olarak öne çıkmaktadır.

3.4.2.6. CS-ARDL Analizi

Panel eşbütünleşme analizleri sonucunda değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığının tespit edilmesinin ardından bu ilişkinin hem uzun dönem

katsayılarının hem de kısa dönem dinamiklerinin birlikte analiz edilmesi önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda çalışmada AMG tahmincisiinden elde edilen uzun dönem bulgularını desteklemek ve sonuçların sağlamlığını artırmak amacıyla CS-ARDL (Cross-Sectionally Augmented ARDL) yaklaşımı uygulanmıştır.

CS-ARDL yaklaşımı, dinamik panel ARDL çerçevesinin (kısa dönem dinamikleri ve uzun dönem ilişkiyi birlikte ele alan yapı) yatay kesit bağımlılığı altında genellenmiş bir versiyonudur (Chudik ve Pesaran, 2015, s. 393). Yöntemin kavramsal kökeni, Pesaran (2006) tarafından geliştirilen Common Correlated Effects (CCE) yaklaşımına dayanmaktadır. CCE yaklaşımı gözlenemeyen ortak şokların etkisini birim denklemlerine kesit ortalamalarını ekleyerek içselleştirmektedir. Bu yaklaşımın dinamik modellere genişletilmesi Chudik ve Pesaran (2015) tarafından sistematik biçimde gerçekleştirilmiştir. Bu dinamik genişletme literatürde Dinamik CCE (Dynamic Common Correlated Estimator - DCCE) olarak anılırken aynı çerçeve altında ARDL biçiminde yazılan spesifikasyon CS-ARDL olarak adlandırılmıştır. Ayrıca uzun dönem etkilerin büyük heterojen panellerde tahminine odaklanan çalışmalarda CS-ARDL etiketi açık biçimde kullanılmış ve izleyen uygulama literatürü de yöntemi Chudik ve Pesaran (2015) referansıyl a standartlaştırmıştır (Sharif vd., 2023, s. 200; Zhongwei ve Liu, 2022, s. 135).

CS-ARDL yaklaşımı, panel verilerde yatay kesit bağımlılığı sorununu modele kesitsel ortalamaların eklenmesi yoluyla giderirken aynı zamanda ARDL yapısı sayesinde değişkenlerin farklı bütünleşme derecelerine ($I(0)$ ve $I(1)$) izin vermektedir. Bu yönüyle CS-ARDL metodu uzun dönem ilişkiyi ve kısa dönem dinamikleri birlikte tahmin edebilen esnek bir panel eşbütünleşme yöntemidir.

CS-ARDL tahmincisi için kurulan temel dinamik panel denklemi şu şekildedir:

$$y_{it} = c_i + \sum_{\ell=1}^{p_i} \phi_{i\ell} y_{i,t-\ell} + \sum_{\ell=0}^{q_i} \beta'_{i\ell} x_{i,t-\ell} + \sum_{\ell=0}^{p_T} \delta'_{i\ell} \bar{z}_{t-\ell} + e_{it} \quad 3.15.$$

Eşitlikte i panelin yatay kesit boyutunu ($i = 1, \dots, N$), t panelin zaman boyutunu ($t = 1, \dots, T$), ℓ gecikme uzunluğunu, p_y , p_x ve p_z sırasıyla bağımlı değişken, açıklayıcı değişkenler ve kesit ortalamaları için maksimum gecikme sayısını ifade etmektedir. $\bar{z}_{t-\ell} = (\bar{y}_{t-\ell}, \bar{x}'_{t-\ell})'$ terimi, bağımlı değişken ile açıklayıcı değişkenlerin yatay kesit ortalamalarının gecikmeli değerlerinden oluşan vektördür. $\lambda_{i,\ell}$ ve $\beta_{i,\ell}$ birime özgü dinamik katsayıları temsil ederken, $\delta_{i,\ell}$ katsayıları paneldeki gözlenemeyen ortak şokların

etkisini kesit ortalamaları aracılığıyla denkleme dahil eden “cross-section augmentation” bileşenini yansıtmaktadır. Son olarak ε_{it} hata terimini ifade etmektedir.

CS-ARDL için uzun dönem katsayıları tahmin edilen dinamik modelden türetilmekte ve 3.16.’daki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$\hat{\theta}_{CS-ARDL,i} = \frac{\sum_{\ell=0}^{q_i} \beta_{i\ell}}{1 - \sum_{\ell=1}^{p_i} \phi_{i\ell}} \quad 3.16.$$

Panel geneli için kısa dönem katsayıları birimlerin bireysel kısa dönem katsayılarının ortalaması olarak hesaplanmakta ve Eşitlik 3.17.’de gösterilmektedir.

$$\hat{\omega}_{CS-ARDL,i} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{\omega}_i \quad 3.17.$$

AMG tahmincisi uzun dönem katsayılarının birimlere özgü heterojen yapıyı dikkate alarak güvenilir biçimde tahmin edilmesini sağlarken, CS-ARDL yaklaşımı bu sonuçları kısa dönem-uzun dönem ayrımı çerçevesinde tamamlayıcı bir analizle desteklemektedir. Bu iki yöntemin birlikte kullanılması elde edilen uzun dönem bulgularının sağlamlığını artırmakta ve politika çıkarımlarının yalnızca uzun dönem ortalamalarına değil aynı zamanda kısa dönem uyum mekanizmalarına da dayandırılmasına imkan tanımaktadır (Sharif vd., 2023, s. 200).

Sonuç olarak CS-ARDL analizi, AMG tahmincisinden elde edilen uzun dönem sonuçlarını sağlamlaştıran ve aynı zamanda modellere ait kısa dönem dinamikleri ortaya koyan tamamlayıcı bir yöntem olarak çalışmanın ampirik çerçevesini güçlendirmektedir. Bu bütüncül yaklaşım sayesinde geri dönüşüm politikalarının ekonomik büyüme ve çevresel kalite üzerindeki etkileri hem geçici hem de kalıcı boyutlarıyla kapsamlı biçimde değerlendirilebilmektedir.

3.4.2.7. Stackelberg Oyun Kuramı Temelli İki Aşamalı Ağ-VZA Modeli

Veri Zarflama Analizi (VZA), çoklu girdi ve çoklu çıktı yapısı altında karar verme birimlerinin göreceli etkinliğini ölçmeye yönelik parametrik olmayan bir yöntem olarak geliştirilmiş ve özellikle kamu hizmetleri, bankacılık, çevresel yönetim ve altyapı hizmetleri gibi piyasa fiyatlarının doğrudan gözlenemediği alanlarda yaygın biçimde kullanılmaktadır (Tetik, 2003, s. 222). VZA’nın temel yaklaşımı, gözlemlenen en iyi uygulamalardan hareketle doğrusal programlama yoluyla bir etkinlik sınırı oluşturmak ve

diğer birimlerin bu sınıra olan göreceli uzaklığını ölçmektir. VZA'nın en önemli üstünlüğü, üretim sürecine ilişkin fonksiyonel bir form varsayımı dayatmaması ve farklı ölçü birimlerine sahip girdiler ile çıktıları aynı analitik çerçevede değerlendirebilmesidir (Cooper vd., 2007).

VZA literatürünün başlangıç noktası Charnes vd. (1978) tarafından geliştirilen ve ölçeğe göre sabit getiri (CCR) varsayımı altında tanımlanan modeldir. CCR modeli, karar biriminin etkinliğini, ağırlıklandırılmış çıktıların ağırlıklandırılmış girdilere oranı olarak ifade etmekte ve örneklem içindeki en verimli birimleri referans olarak bir etkinlik sınırı oluşturmaktadır. Ancak CCR modelinin ölçek etkilerini dışlayan yapısı farklı büyüklükteki birimlerin karşılaştırılmasında etkinlik ölçümlerinin yanıltılmasına yol açabilmektedir (Cooper vd., 2007; Kao, 2023). Bu nedenle Banker vd. (1984) tarafından geliştirilen ve ölçeğe göre değişken getiri (VRS/BCC) varsayımına dayanan yaklaşım literatüre kazandırılmıştır. VRS varsayımı, teknik etkinlik ile ölçek etkinliğinin ayrıştırılmasına imkan tanıyarak özellikle yerel yönetimler gibi heterojen yapıdaki birimler için daha gerçekçi performans değerlendirmeleri yapılmasını sağlamaktadır.

Zaman içerisinde VZA literatürü yalnızca radyal modellerle sınırlı kalmamış çıktı ve girdi fazlalıklarını doğrudan dikkate alan gevşeklik temelli (slack) ölçütler de geliştirilmiştir. Tone (2001) tarafından önerilen Slack-Based Measure (SBM) yaklaşımı, etkinlik iyileştirmesini yalnızca oransal daraltma veya genişletme üzerinden değil doğrudan fazlalıklar ve eksiklikler üzerinden değerlendirmesi bakımından çevresel performans analizlerinde önemli bir metodolojik katkı sunmaktadır. Ayrıca Andersen ve Petersen (1993) tarafından geliştirilen süper etkinlik yaklaşımı, etkin birimlerin kendi aralarında sıralanmasına imkan tanıyarak politika ve karşılaştırmalı analizler açısından VZA'nın kullanım alanını genişletmiştir.

Klasik VZA olarak adlandırılan bu yöntemlerin temel sınırlılığı, üretim veya hizmet sunum sürecini tek bir girdi-çıkıtı dönüşümü olarak ele almasıdır. Kao (2023)'e göre bu yaklaşım, özellikle birbirini izleyen alt süreçlerden oluşan sistemlerde sürecin iç yapısını görünmez kılmakta ve analiz edilen sistemi analitik olarak bir “kara kutu”ya indirgemektedir. Katı atık yönetimi gibi atık oluşumu, toplama, ayrıştırma ve geri kazanım gibi ardışık aşamalardan oluşan hizmetlerde bu iç yapının göz ardı edilmesi etkinlik kayıplarının hangi aşamada ortaya çıktığının tespitini güçleştirmektedir. Bu

metodolojik ihtiyaç VZA literatüründe Ağ (Network) VZA yaklaşımlarının gelişmesini beraberinde getirmiştir. Färe ve Grosskopf'un (1996, 2000) geliştirdiği bu yaklaşım, üretim sürecini tek aşamalı olarak değil de ara ürünlerin bir alt süreçten diğerine aktarıldığı çok aşamalı bir yapı olarak ele almaktadır.

Seiford ve Zhu (2002), iki aşamalı süreçleri ele almış ancak her iki aşamanın verimliliğini bağımsız olarak hesaplamışlardır. Bu yaklaşım ara ürünlerin tutarsızlığı sorununu (bir aşamada çıktı olan değer diğer aşamada girdi olarak farklı ele alınması riski) doğurmuştur. Chen ve Zhu (2004) ise bu tutarsızlığı gidermek için ara ürünlerin her iki aşamada da aynı ağırlıkla değerlendirildiği modeller geliştirmişlerdir. Daha sonra Kao ve Hwang (2008) Tayvan sigorta şirketleri üzerine yaptıkları çalışmada, sistemin genel verimliliğinin alt aşamaların verimliliklerinin çarpımına eşit olduğu çarpımsal ayrıştırma yaklaşımını getirmişlerdir. Bu yaklaşım Ağ VZA literatüründe bir standart haline gelmiştir.

Kao ve Hwang (2008) ve izleyen çalışmalar, iki aşamalı süreçlerde birinci aşamanın çıktısının ikinci aşamanın girdisi olarak modellenmesinin toplam etkinliğin aşama bazında ayrıştırılmasına imkan tanıdığını göstermiştir. Ağ-VZA'nın VZA literatürüne temel katkısı yalnızca “genel etkinlik” skoru değil aynı zamanda her bir alt sürecin etkinliğinin ve bu süreçlerin toplam performansa katkısının ayrı ayrı ölçebilmesidir. (Kao, 2023). Böylelikle politika ve yönetim kararları, iyileştirmenin hangi aşamada yapılması gerektiğine dair bilgiyle desteklenebilmektedir.

Ağ-VZA literatüründe önemli bir tartışma alt süreçlerin işbirlikçi mi yoksa işbirlikçi olmayan bir yapı altında mı ele alınması gerektiğidir. Birçok klasik Ağ-VZA modeli tüm aşamaların ortak bir amaç fonksiyonunu eş zamanlı olarak optimize ettiği varsayımına dayanmaktadır. Oysa gerçek hayatta özellikle kamu hizmetleri ve çevresel yönetim süreçlerinde, aşamalar arasındaki karar mekanizmaları çoğu zaman simetrik olmamaktadır. Bazı aşamalar sürecin çerçevesini belirleyen “öncü” konumunda yer alırken, diğer aşamalar bu koşullar altında faaliyet göstermektedir. Bu durum Ağ-VZA modellerinin oyun teorisi temelli yaklaşımlarla genişletilmesini gerekli kılmıştır (Cooper vd., 2007; Kao, 2023).

Bu tez çalışmasında benimsenen yöntem, Stackelberg Oyun Kuramı çerçevesiyle uyumlu işbirlikçi olmayan iki aşamalı Ağ-Veri Zarflama Analizi (Ağ-VZA) yaklaşımıdır.

Liang vd. (2008) tarafından geliştirilen bu modelde aşamalardan biri lider, diğeri ise takipçi olarak tanımlanmaktadır. Lider aşama kendi etkinliğini maksimize ederken, takipçi aşama lider tarafından belirlenen ara çıktı düzeyini veri kabul ederek kendi etkinliğini optimize etmektedir. Etkinlik analizinde ölçeğe göre değişen getiri (VRS) varsayımı altında çıktı yönelimli yaklaşım benimsenmiştir. Bu çerçevede model, mevcut girdi düzeyleri altında süreç çıktıların maksimize edilmesini esas almaktadır. Bu hiyerarşik yapı, iki aşama arasındaki karar bağımlılığını açık biçimde model içine taşımakta ve süreç içi verimsizliklerin hangi aşamadan kaynaklandığını analitik olarak ayırtırmaya imkân tanımaktadır.

Modelin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir (Liang vd., 2008, s. 645; Shakouri vd. 2019, s. 323):

İki aşamalı seri üretim sürecine sahip karar verme birimlerinin (KVB) performansının ölçümünde “kara kutu” yaklaşımı, toplam etkinliği üretmekte ancak etkinliğin hangi alt süreçten kaynaklandığını ayırtırmada sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle çalışmada süreç, birinci aşamada girdilerden ara ürünlerin üretildiği ve ikinci aşamada ara ürünlerin nihai çıktılara dönüştürüldüğü iki aşamalı ağ yapısı altında modellenmektedir. Bu yapı, $x \rightarrow z \rightarrow y$ şeklinde seri bir dönüşüm mekanizması ile temsil edilmektedir.

Modelde $j = 1, \dots, n$ panelde yer alan tüm KVB’leri göstermektedir. Etkinlik analizi her bir KVB için ayrı ayrı yürütüldüğünden etkinliği hesaplanan birim notasyonda "o" ile ifade edilmektedir. Buna göre x_{mj} ($m = 1, \dots, M$) j birimine ait birinci aşama girdilerini, z_{dj} ($d = 1, \dots, D$) ara ürün değişkenlerini (birinci aşama çıktısı ve aynı zamanda ikinci aşama girdisi) ve y_{rj} ($r = 1, \dots, R$) ikinci aşama nihai çıktıları temsil etmektedir. Ağırlıklar birinci aşama girdileri için $v_m \geq 0$, ara ürünler için $w_d \geq 0$ ve nihai çıktılar için $u_r \geq 0$ olarak tanımlanmaktadır. Bu çerçevede birinci aşama etkinliği ara ürünlerin ağırlıklı toplamının birinci aşama girdilerinin ağırlıklı toplamına oranı, ikinci aşama etkinliği ise nihai çıktıların ağırlıklı toplamının ara ürünlerin ağırlıklı toplamına oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu ifadenin fonksiyonel gösterimi Eşitlik 3.18.’de verilmiştir:

$$E_{1o} = \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{do}}{\sum_{m=1}^M v_m x_{mo}}, E_{2o} = \frac{\sum_{r=1}^R u_r y_{ro}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{do}} \quad 3.18.$$

Bu gösterimde w_d ağırlıkları her iki aşamada da yer almakta dolayısıyla ara ürünler üzerinden aşamalar arasında yapısal bir bağlantı kurulmaktadır. Ayrıca iki aşamanın çarpımı, toplam sürecin etkinliğini vermektedir:

$$E_o = E_{1o} \cdot E_{2o} = \frac{\sum_{r=1}^R u_r y_{ro}}{\sum_{m=1}^M v_m x_{mo}} \quad 3.19.$$

Böylelikle model toplam etkinliği korurken etkinliğin aşamalar bazında ayrıştırılmasına imkan tanımaktadır.

Stackelberg oyun kuramı temelli yaklaşımda iki aşama arasında hiyerarşik bir karar yapısı kurulmaktadır. Bu yapıda “lider” aşama kendi amaç fonksiyonunu öncelemekte, “takipçi” aşama ise liderin seçimi altında kendi amaç fonksiyonunu maksimize eden en iyi tepkiyi vermektedir. Bu durum iki seviyeli (bi-level) bir optimizasyon çerçevesi ile ifade edilmektedir. Liderin birinci aşama olarak belirlendiği durumda fonksiyonel gösterim aşağıdaki biçimde yazılmaktadır:

$$\begin{aligned} \max_{v,w} E_{1o}(v, w) &= \frac{w'z_o}{v'x_o} \\ \text{öyle ki } (u^*, w^*) &\in \arg \max_{u,w} E_{2o}(u, w) = \frac{u'y_o}{w'z_o} \end{aligned} \quad 3.20.$$

ve her iki aşama için DEA fizibilite koşulları sağlanmaktadır:

$$\frac{w'z_j}{v'x_j} \leq 1(\forall j), \frac{u'y_j}{w'z_j} \leq 1(\forall j), v \geq 0, w \geq 0, u \geq 0 \quad 3.21.$$

Bu yapı altında lider aşama birinci aşama etkinliğini maksimize etmekte, takipçi aşama ise liderin seçtiği ara ürün ağırlıkları (ve lider etkinliği) ile tutarlı kalacak biçimde ikinci aşama etkinliğini maksimize etmektedir. Böylece çözüm liderin kararı ile takipçinin en iyi tepkisinin aynı anda sağlandığı Stackelberg dengesini temsil etmektedir.

Fraksiyonel amaç fonksiyonlarının doğrusal programlama kapsamında çözülebilmesi için standart DEA normalizasyonu kullanılmaktadır. Uygulamada lider düzeyinde çoğunlukla “ $v'x_o = 1$ ” normalizasyonu uygulanmakta ve bu durumda liderin amaç fonksiyonu “ $\max w'z_o$ ” biçiminde doğrusal olarak elde edilmektedir. Takipçi düzeyinde ise benzer biçimde “ $w'z_o = 1$ ” normalizasyonu uygulanmakta ve takipçinin amaç fonksiyonu “ $\max u'y_o$ ” biçiminde elde edilmektedir. Bu doğrultuda model, doğrusal kısıtlar altında çözümlenebilir hale getirilmektedir. Alternatif olarak liderin ikinci aşama olarak belirlendiği durumda, yukarıdaki hiyerarşi simetrik biçimde ters

çevrilmekte ve lider amaç fonksiyonu E_{20} , takipçi amaç fonksiyonu ise E_{10} üzerinden tanımlanmaktadır.

Bu çerçevede elde edilen bulgular yalnızca toplam etkinlik skorunu değil aynı zamanda etkinliğin birinci aşama ve ikinci aşama bazında nasıl oluştuğunu, ara ürünler üzerinden süreçler arası etkileşimin etkinliği hangi kanallar aracılığıyla şekillendirdiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla Stackelberg temelli iki aşamalı Ağ-VZA yaklaşımı, performans ölçümünü süreç-temelli bir ayrıştırma ile tamamlamakta ve iyileştirme önerilerinin hangi alt süreçte yoğunlaştırılması gerektiğine ilişkin daha hedefli çıkarımlar üretilmesine olanak sağlamaktadır.

3.4.3. Bulgular

Bu bölümde öncelikle, panel veri setinde birimler arası etkileşim ve ortak şokların varlığına işaret eden yatay kesit bağımlılığı bulguları sunulmaktadır. Yatay kesit bağımlılığı panelde yer alan birimlerin ortak faktörlerden farklı yoğunluklarda etkilenmesi nedeniyle hata terimlerinin korelasyonlu hale gelmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu durum izleyen aşamalarda kullanılacak birim kök, eşbütünleşme ve katsayı tahmin yöntemlerinin seçiminde kritik bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle çalışmada hem değişken bazında hem de kurulan modellerin geneli kapsamında yatay kesit bağımlılığı testleri uygulanmıştır.

Bu kapsamda, değişkenler bazında yatay kesit bağımlılığını test etmek amacıyla Pesaran (2004) tarafından geliştirilen CD ve CD-LM testleri uygulanmıştır. Modelin geneline ilişkin yatay kesit bağımlılığını daha kapsamlı biçimde değerlendirmek üzere ise Pesaran vd. (2008) LM Adjusted testi, Fan vd. (2015) tarafından önerilen CDw+ testi ve Pesaran (2008, 2021) CD testi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9.***Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları***

Test İstatistikleri			
Değişkenler	CD (Pesaran, 2004) İstatistik [Olasılık Değeri]	CD- LM (Pesaran, 2004) İstatistik [Olasılık Değeri]	
GDPP	101.796*** [.000]	323.707*** [.000]	
LCF	36.317*** [.000]	89.169*** [.000]	
RCY	84.605*** [.000]	226.679*** [.000]	
REC	87.746*** [.000]	297.508*** [.000]	
NRR	33.549*** [.000]	8.195*** [.000]	
Modeller	LM Adjusted (Pesaran vd. 2008) İstatistik [Olasılık Değeri]	CDw+ (Fan vd. 2015) İstatistik [Olasılık Değeri]	CD (Pesaran, 2008, 2021) İstatistik [Olasılık Değeri]
Model 1	33.95*** [.000]	1178.36*** [.000]	13.361*** [.000]
Model 2	1.60*** [.000]	844.06*** [.000]	7.249*** [.000]

Not: Test istatistiklerinin yanında yer alan ‘***’ işareti, ilgili model ve değişken için %1 anlamlılık düzeyinde kesitsel bağımlılığı göstermektedir.

Tablo 9’daki sonuçları incelediğimizde yatay kesit bağımlılığının olmadığını ifade eden H_0 hipotezinin reddedildiği görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre hem değişkenler düzeyinde hem de modelin geneli kapsamında yatay kesit bağımlılığının varlığı tespit edilmiştir. Bu bulgu paneldeki birimlerin birbirini etkilediğini ve herhangi bir birimde meydana gelecek bir şokun diğer birimleri de etkileyebileceğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla analizde kullanılacak olan birim kök ve eşbütünleşme testlerinin yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil testler arasından seçilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Analizde ikinci adım olarak paneldeki birimler arası katsayıların farklılaşp farklılaşmadığının tespiti amacıyla eğim heterojenliği incelenmiştir. Panel veri modellerinde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisinin her birim için aynı olduğu varsayımı (eğim homojenliği) oldukça kısıtlayıcı olabilir. Eğer birimler arasında heterojenlik mevcutsa ve bu durum dikkate alınmazsa elde edilecek katsayı

tahminleri yine sapmalı ve tutarsız olacaktır. Bu bağlamda katsayıların homojen mi yoksa heterojen mi olduğunu belirlemek için Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen delta testleri (Δ ve Δ_{adj}) kullanılmış ve test sonuçları Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10.

Eğim Heterojenliği Testi Sonuçları

Testler	Model 1	Model 2
	İstatistik [Olasılık Değeri]	İstatistik [Olasılık Değeri]
Delta	22.842*** [.000]	17.138*** [.000]
Delta_{Adj}	26.539*** [.000]	19.912*** [.000]

Not: Test istatistiklerinin yanında yer alan '***' işareti, %1 anlamlılık düzeyinde göstermektedir.

Tablo 10'da yer alan eğim heterojenliği testi sonuçları, "eğim katsayıları homojendir" şeklinde olan temel hipotezi her iki model için de reddetmektedir. Bu çerçevede panelde eğim heterojenliğinin bulunduğu, başka bir ifadeyle geri dönüşüm oranı, yenilenebilir enerji kullanımı veya doğal kaynak kiralalarının ekonomik büyüme ve çevresel kalite üzerindeki etkilerinin ülkeden ülkeye farklılaşabildiği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla panel geneli için tek bir ortak katsayı varsayımına dayalı tahmin yaklaşımı metodolojik açıdan yanıltıcı olabilecektir.

Tablo 9'da tespit edilen yatay kesit bağımlılığı bulguları ile birlikte değerlendirildiğinde, söz konusu sonuçlar analizde kullanılacak tahmincilerin hem yatay kesit bağımlılığını hem de eğim heterojenliğini dikkate alan ikinci nesil panel veri yöntemleri olması gerektiğini teyit etmektedir.

Panel veri analizlerinde serilerin durağanlık özelliklerinin incelenmesi sahte regresyon riskini azaltmak ve izleyen aşamalarda uygulanacak eşbütünleşme analizlerinin güvenilirliğini temin etmek açısından kritik bir adımdır. Yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliği bulguları dikkate alındığında çalışmada ikinci nesil birim kök testlerinin uygulanmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda birim kök testi olarak Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CADF ve CIPS testleri tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 11'de paylaşılmıştır.

Tablo 11.**Birim Kök Testi Sonuçları**

Değişkenler	Birim Kök Testleri			
	CİPS		CADF	
	I (0)	I (1)	I (0)	I (1)
GDPP	-1.930	-3.533***	-1.795	-2.633***
LCF	-1.996	-5.214***	-1.510	-2.467***
RCY	-1.513	-2.398***	-1.566	-2.230**
REC	-1.925	-3.893***	-1.531	-2.157**
NRR	-1.685	-4.619***	-1.249	-2.834***
Kritik Değerler		%1	%5	%10
		-2.300	-2.140	-2.060

Not: ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 11'de sunulan CIPS ve CADF birim kök testi sonuçları incelendiğinde değişkenlerin seviyelerinde durağan olmadıkları, ancak birinci farkları alındığında durağan hale geldikleri görülmektedir. Hem CIPS hem de CADF testlerinde tüm değişkenler için birinci farklarda istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu bulgu, serilerin genel olarak birinci düzeyden bütünleşik $I(1)$ olduğunu göstermektedir.

Değişkenlerin aynı mertebeden durağan olması ($I(1)$) aralarında uzun dönemli bir ilişkinin varlığının araştırılmasına metodolojik zemin sağlamaktadır. Bu kapsamda analizin bir sonraki aşamasında değişkenler arasında uzun dönemli bir denge ilişkisinin bulunup bulunmadığı panel eşbütünleşme analizi ile sınanmıştır.

Değişkenlerin tamamının $I(1)$ olduğunun belirlenmesinin ardından değişkenler arasında uzun dönemli bir denge ilişkisinin varlığı panel eşbütünleşme analizi ile araştırılmıştır. Ancak önceki aşamalarda panelde hem yatay kesit bağımlılığı hem de eğim heterojenliği tespit edildiğinden klasik (birinci nesil) eşbütünleşme testlerine dayalı çıkarımların güvenilirliğini azaltabilmektedir. Bu nedenle çalışmada söz konusu yapısal özellikleri dikkate alan ikinci nesil bir yaklaşım tercih edilmiştir. Ayrıca uzun dönem ilişkinin olası yapısal kırılmalar altında değişebileceği varsayımı analize dahil edilmiştir. Bu çerçevede yatay kesit bağımlılığını içselleştiren ve kırılma tarihlerini veri tarafından içsel biçimde belirleyerek eşbütünleşme ilişkisinin varlığını sınavan Westerlund ve Edgerton (2008) panel eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Testte temel hipotez

“eşbütünleşme yoktur” şeklinde kurulmakta olup bu hipotezin reddedilmesi panelde uzun dönemli ilişkinin mevcut olduğuna ve ilişkinin belirli dönemlerde yapısal değişimlere maruz kalabildiğine işaret etmektedir. İlgili test sonuçları Tablo 12 ve Tablo 13’de raporlanmıştır.

Tablo 12.

Westerlund ve Edgerton (2008) Panel Eşbütünleşme Testi Sonuçları

(Westerlund ve Edgerton, 2008)		LM τ İstatistik [Olasılık Değeri]	LM ϕ İstatistik [Olasılık Değeri]
Model 1	Ortalama Değişimi	-3.390*** [.000]	-6.070*** [.000]
	Rejim Değişimi	-3.347*** [.000]	-6.815*** [.000]
Model 2	Ortalama Değişimi	-1.257 [.104]	-3.036*** [.001]
	Rejim Değişimi	-1.916** [.028]	-2.976*** [.001]

Not: ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 12’de sunulan Westerlund ve Edgerton (2008) panel eşbütünleşme testi sonuçları, testin temel hipotezi olan “eşbütünleşme yoktur” ifadesinin model bazında değerlendirilmesini sağlamaktadır. Buna göre Model 1 için hem Ortalama Değişimi hem de Rejim Değişimi spesifikasyonlarında eşbütünleşme yokluğu hipotezi reddedilmekte ve değişkenler arasında yapısal kırılmalar altında dahi uzun dönemli bir denge ilişkisinin bulunduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Model 2’de ise bulgular kırılma türüne göre farklılaşmaktadır. Ortalama Değişimi spesifikasyonunda test göstergelerinden biri eşbütünleşme yokluğu hipotezini reddetmezken diğer gösterge eşbütünleşme ilişkisinin varlığını desteklemektedir. Rejim Değişimi spesifikasyonunda ise test sonuçları daha tutarlı biçimde eşbütünleşme ilişkisinin varlığına işaret etmektedir. Genel olarak Westerlund ve Edgerton (2008) panel eşbütünleşme testi sonuçlarından elde edilen bulgular çerçevesinde iki modelde de eşbütünleşmenin olduğu görülmektedir.

Eşbütünleşme testleri, her iki model kapsamında değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte Westerlund ve Edgerton (2008) yaklaşımı bu ilişkinin zaman içinde yapısal kırılmalar aracılığıyla

değişebileceğini de dikkate almaktadır. Bu nedenle bir sonraki adımda eşbütünleşme ilişkisinde tespit edilen kırılmaların hangi yıllarda yoğunlaştığı incelenmekte ve ilgili sonuçlar Tablo 13’de raporlanmaktadır. Böylece panel genelinde kırılmaların belirli dönemlerde kümelenip kümelenmediği değerlendirilmekte, kırılmaların en fazla gözlemlendiği yıllar ise izleyen aşamada kurulacak tahmin denklemlerinde yapısal değişimi temsil eden kukla değişkenin belirlenmesinde esas alınmaktadır.

Tablo 13.

Westerlund ve Edgerton (2008) Testine Göre Kırılma Yılları ve Ülke Sayıları

	Model 1		Model 2	
	Ortalama Değişimi	Rejim Değişimi	Ortalama Değişimi	Rejim Değişimi
1995	-	-	-	-
1996	-	-	-	-
1997	-	-	-	-
1998	-	-	-	-
1999	-	-	2	2
2000	1	1	3	4
2001	2	1	1	1
2002	-	-	1	-
2003	-	-	1	1
2004	1	1	3	3
2005	-	-	3	2
2006	-	-	1	-
2007	1	1	-	-
2008	24	21	1	2
2009	-	-	8	7
2010	1	1	1	1
2011	-	-	-	-
2012	1	1	3	2
2013	-	1	2	2
2014	2	2	2	2
2015	-	-	-	1
2016	-	3	1	3
2017	-	-	-	-
2018	-	-	-	-
2019	-	-	-	-
2020	-	-	-	-
2021	-	-	-	-
Toplam	33	33	33	33

Not: Tabloda ilgili yılların karşısında yer alan değerler, hangi yılda kaç ülkede kırılma meydana geldiğini göstermektedir.

Tablo 13 incelendiğinde kırılmaların yıllar itibarıyla homojen bir dağılım sergilemediği belirli dönemlerde belirgin biçimde yoğunlaştığı görülmektedir. Her iki modelde de (Ortalama Değişimi ve Rejim Değişimi ayrımında) bazı yıllarda kırılma sayılarının kayda değer ölçüde arttığı diğer yıllarda ise kırılma tespit edilmeyen veya sınırlı sayıda kırılmanın gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu durum panelde yer alan ülkelerin uzun dönem ilişkilerinin belirli küresel şok dönemlerinde daha sık yapısal değişime uğradığına işaret etmektedir.

Bu bağlamda her bir model için kırılma sayısının en yüksek olduğu yıl, ilgili modelin uzun ve kısa dönem katsayı tahminlerinde yapısal kırılmayı temsil eden kukla değişken olarak modele dahil edilecektir. Tablo 13'deki frekanslar dikkate alındığında Model 1'de en fazla ülkenin kırılmaya uğradığı yıl 2008, Model 2'de ise 2009 olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla izleyen tahmin aşamalarında Model 1 için 2008, Model 2 için 2009 yılına ilişkin kukla değişkenlerin modele eklenmesi uygun görülmektedir.

Yatay kesit bağımlılığı, eğim heterojenliği ve eşbütünleşme analizlerinden elde edilen bulgular, değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin mevcut olduğunu ve bu ilişkinin panelin yapısal özellikleri dikkate alınarak tahmin edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın bu aşamasında uzun dönem ve kısa dönem katsayılarının tutarlı biçimde elde edilebilmesi amacıyla yatay kesit bağımlılığını içselleştiren ikinci nesil panel tahmincilerine geçilmektedir. Bu kapsamda uzun dönem katsayılarının tahmini için AMG yöntemi, hem uzun hem de kısa dönem katsayılarının tahmini için ise CS-ARDL yaklaşımı kullanılmaktadır.

İlk olarak AMG tahmincisine ilişkin bulgular, Model 1 ve Model 2 için ayrı ayrı raporlanmaktadır. Bu çerçevede panel genelini temsil eden ortalama katsayı tahminleri ile birim bazında elde edilen katsayı tahminleri ayrı ayrı sunulmaktadır. AMG yöntemi her bir ülke için katsayıları ayrı ayrı tahmin etmekte ve ardından bu katsayıların aritmetik ortalamasını alarak panel genelindeki ortalama etkiyi elde etmektedir. Böylelikle hem ülkelere özgü dinamikler hem de panel düzeyinde ortalama uzun dönem etkiler birlikte değerlendirilebilmektedir. Elde edilen sonuçlar Tablo 14'te sunulmaktadır.

Tablo 14.**AMG Tahmincisi Panel Sonuçları**

Model 1 Bağımlı Değişken = GDPP		Model 2 Bağımlı Değişken = LCF	
Değişkenler	İstatistik [Olasılık Değeri]	Değişkenler	İstatistik [Olasılık Değeri]
LCF	-.155** [.044]	GDPP	-.308*** [.000]
RCY	.001** [.047]	RCY	.005 [.100]
REC	-.005* [.054]	REC	.005** [.017]
NRR	.056*** [.004]	NRR	-.032 [.460]
DU08	.372*** [.000]	DU09	.050** [.011]

Not: ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 14'te raporlanan AMG tahminleri, Model 1 ve Model 2 kapsamında değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkilerin analizine ait bulguları ortaya koymaktadır. Model 1'de ekonomik büyüme denklemi açısından yük kapasitesi faktörünün (LCF) katsayısı negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($\beta = -.155$). Bu durum, çevresel sürdürülebilirlik performansındaki iyileşmenin bazı ülkelerde kısa ve orta vadede uyum maliyetleri üzerinden büyüme dinamiklerini sınırlayabildiğine işaret etmektedir. Daha sıkı çevre standartları, teknoloji uyarlama harcamaları, üretim bileşimindeki dönüşüm ve geçiş sürecine bağlı verimlilik kayıpları bu etkiyi açıklayan başlıca kanallar olarak değerlendirilebilir. Söz konusu sonuç, çevresel düzenlemelerin ilk aşamalarında maliyet etkisinin baskın olabileceğini ortaya koyan literatürle örtüşmektedir (Abdouli ve Hammami, 2017; Razzaq, 2021).

Atık geri dönüşüm oranı (RCY) değişkeni pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($\beta = .001$). Buna karşın katsayının oldukça düşük düzeyde olması, geri dönüşüm faaliyetlerinin gelire katkısının sınırlı fakat destekleyici nitelikte olduğunu göstermektedir. Geri dönüşümün hammadde kullanımını azaltması, enerji tasarrufu sağlaması ve ikincil hammadde piyasalarını geliştirmesi üretim maliyetlerini düşürürken; ayrıştırma, toplama ve lojistik faaliyetleri üzerinden yerel katma değer ve istihdam kanallarını da güçlendirebilmektedir. Bu bulgu, kaynak verimliliği uygulamalarının

ekonomik performans üzerindeki etkisinin kademeli olarak ortaya çıktığını vurgulayan çalışmalarla uyumludur (Apaydın, 2020; Quan vd., 2024; Razzaq vd., 2021).

Yenilenebilir enerji tüketiminin (REC) katsayısı negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($\beta = -.005$). Bu sonuç, enerji dönüşümünün erken aşamalarında ortaya çıkan yatırım ve uyum maliyetlerinin gelir üzerinde sınırlayıcı bir rol oynayabildiğini göstermektedir. Özellikle yüksek başlangıç yatırımları ve sistem entegrasyon giderleri dikkate alındığında, geçiş sürecinde maliyet kanalının baskın hale gelmesi beklenen bir durumdur. Elde edilen bulgu, yenilenebilir enerjiye geçiş sürecinde kısa vadeli maliyet etkisini vurgulayan literatürle paralellik göstermektedir (Doğan vd., 2016; Wang vd., 2022).

Doğal kaynak kiralari (NRR) değişkeni pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($\beta = .056$). Bu bulgu, doğal kaynak gelirlerindeki artışın yatırım olanaklarını genişleterek ekonomik faaliyetleri destekleyebildiğini göstermektedir. Kaynak gelirlerinin üretim kapasitesi ve kamu harcamaları üzerinden büyümeye katkı sağlayabileceğine yönelik ampirik çalışmalarla sonuçlar örtüşmektedir (Gylfason ve Zoega, 2006; Hayat, 2018).

Model 2’de bağımlı değişken olarak ele alınan çevresel kalite göstergesi (LCF) açısından kişi başına düşen gelir (GDPP) katsayısı negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($\beta = -.308$). Bu bulgu, gelir düzeyindeki artışın üretim ve tüketim ölçeğini genişleterek enerji talebi ve kaynak kullanımı üzerinden çevresel baskıları artırabildiğine işaret etmektedir. Dolayısıyla büyüme sürecinin belirli bir aşamasında çevresel maliyetlerin ağır basabildiği anlaşılmaktadır. Bulgular, ekonomik büyümenin çevresel bozulmayı artırabileceğini ortaya koyan ampirik literatürle uyumludur (Agyemang vd., 2024; Fakher vd., 2023; Pata vd., 2024).

Atık geri dönüşüm oranı (RCY) pozitif işaret taşımakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı değildir ($\beta = .005, p=.10$). Bununla birlikte p-değerinin %10 anlamlılık düzeyi sınırına oldukça yakın olması, ilişkinin zayıf bir istatistiksel güç taşıdığına işaret etmektedir. Bu durum, geri dönüşüm faaliyetlerinin panel genelinde güçlü ve ortak bir ortalama etki üretmediğini göstermekle birlikte katsayının yönü bazı ülkelerde geri dönüşüm uygulamalarının çevresel performansı iyileştirebildiğini düşündürmektedir (Magazzino vd., 2020; Razzaq, 2021).

Yenilenebilir enerji tüketimi (REC) pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($\beta = .041$). Bu sonuç, enerji bileşiminde yenilenebilir kaynakların payının artmasının çevresel kaliteyi iyileştirdiğini göstermektedir. Fosil yakıt bağımlılığının azalmasıyla emisyonların ve ekolojik baskıların sınırlanması bu ilişkiyi açıklayan temel mekanizma olup, bulgular temiz enerji kullanımının çevresel performansı artırdığını ortaya koyan literatürle örtüşmektedir (Caglar vd., 2024; Çelik vd., 2023).

Doğal kaynak kiralari (NRR) Model 2’de negatif işaretli olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı değildir ($\beta = -.012$; $p > .10$). Bu durum, doğal kaynak kullanımının çevresel etkisinin ülkelerin düzenleyici kapasitesi, teknoloji düzeyi ve çıkarım yoğunluğu gibi faktörlere bağlı olarak farklılaşabildiğini göstermekte ve panel genelinde ortak bir etkinin ortaya çıkmaması literatürde vurgulanan heterojenlik bulgularıyla uyumludur (Erdoğan, 2024; Li vd., 2024).

Genel olarak AMG tahminleri, geri dönüşüm oranının kişi başına düşen gelir ile pozitif ve anlamlı bir ilişki sergilediğini, buna karşılık çevresel kalite üzerindeki etkinin panel genelinde istatistiksel olarak belirginleşmediğini göstermektedir. Yenilenebilir enerjinin ise çevresel kaliteyi desteklerken büyümeyi geçiş maliyetlerinden dolayı aşağı yönlü baskıladığı görülmektedir. Doğal kaynak kiralalarında artışın kişi başına düşen geliri desteklediği ancak çevresel kalite üzerinde anlamlı etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca gelir ile çevresel kalite arasında ters yönlü bir ilişkinin bulunduğu anlaşılmaktadır.

Ülkeler ekonomik yapı, enerji bileşimi, çevresel düzenleme çerçevesi ve atık yönetimi kapasitesi bakımından heterojen özellikler taşımaktadır. Bu heterojenlik, geri dönüşüm ve diğer belirleyicilerin gelir ile çevresel kalite üzerindeki etkilerinin ülkeye özgü biçimde farklılaşmasına yol açabilmektedir. Dolayısıyla panel düzeyinde elde edilen ortalama katsayılar genel resmi yansıtmakla birlikte, etkilerin ülke bazında dağılımının da değerlendirilmesi gerekmektedir. AMG tahmincisi her bir birim için ayrı katsayılar ürettiğinden dolayı ülkelere özgü sonuçlar ayrıca raporlanabilmektedir. Buna doğrultuda AMG yöntemiyle elde edilen birim düzeyi katsayı tahminleri Tablo 15’te sunulmuştur.

Tablo 15.

AMG Tahmincisi Ülke Sonuçları

Model 1							
Bağımlı Değişken: GDPP	LCF		RCY		REC		NRR
Ülkeler	İstatistik [Olasılık Değeri]		İstatistik [Olasılık Değeri]		İstatistik [Olasılık Değeri]		İstatistik [Olasılık Değeri]
Almanya	-.934 [.014]	**	.007 [.000]	***	.011 [.000]	***	.003 [.226]
A.B.D	.462 [.501]		.009 [.000]	***	.018 [.002]	***	-.004 [.005]
Avusturya	-1.017 [.000]	***	.007 [.127]		-.001 [.547]		.001 [.409]
Belçika	-1.381 [.000]	***	.006 [.000]	***	-.005 [.000]	***	.002 [.000]
Birleşik Krallık	-1.348 [.002]	***	.007 [.000]	***	-.019 [.000]	***	-.004 [.000]
Bulgaristan	-.478 [.422]		-.009 [.338]		-.015 [.427]		.010 [.022]
Çek Cumhuriyeti	-1.407 [.000]	***	.012 [.065]	*	-.003 [.609]		.005 [.001]
Danimarka	-.973 [.030]	**	.005 [.004]	***	-.001 [.985]		.001 [.525]
Estonya	-.798 [.002]	***	.009 [.003]	***	-.005 [.001]	***	.001 [.501]
Finlandiya	-.368 [.000]	***	.002 [.681]		-.009 [.001]	***	-.007 [.000]
Fransa	-.348 [.000]	***	.008 [.002]	***	-.004 [.256]		.003 [.094]
Hırvatistan	-1.776 [.040]	**	.001 [.987]		-.002 [.647]		-.001 [.688]
Hollanda	-.443 [.643]		.015 [.000]	***	-.006 [.154]		-.001 [.592]
İrlanda	-1.735 [.002]	***	.006 [.172]		-.022 [.069]	*	-.019 [.000]
İspanya	-1.143 [.000]	***	.005 [.032]	**	-.014 [.000]	***	.001 [.636]
İsveç	-.268 [.421]		.009 [.000]	***	-.001 [.448]		.003 [.006]
İsviçre	-.095 [.130]		.010 [.000]	***	.009 [.000]	***	.002 [.342]
İtalya	-.447 [.490]		.011 [.000]	***	-.019 [.000]	***	.001 [.391]
Japonya	-.005 [.993]		.009 [.000]	***	.021 [.021]	**	-.003 [.563]
Kore	-3.447 [.000]	***	.010 [.000]	***	.051 [.000]	***	.005 [.002]
Letonya	-3.669 [.000]	***	.004 [.544]		.001 [.786]		-.001 [.292]
Litvanya	-.439 [.001]	***	.001 [.676]		-.007 [.114]		.004 [.000]
Lüksemburg	-1.060 [.002]	***	.014 [.000]	***	-.006 [.000]	***	.009 [.000]

Tablo 15 (Devamı)

Macaristan	-2.495 [.000]	***	.009 [.098]	*	-.015 [.000]	***	.003 [.001]	***
Norveç	-1.228 [.077]	*	.004 [.000]	***	-.001 [.909]		.002 [.004]	***
Polonya	-.223 [.005]	***	.010 [.197]		.020 [.000]	***	.004 [.001]	***
Portekiz	-.397 [.727]		.001 [.548]		.001 [.806]		-.002 [.276]	
Romanya	-1.873 [.000]	***	.001 [.964]		-.007 [.514]		.013 [.005]	***
Slovakya	-.920 [.056]	*	-.003 [.104]		.022 [.006]	***	-.002 [.090]	*
Slovenya	-1.196 [.000]	***	.002 [.193]		-.004 [.054]	*	-.001 [.035]	**
Türkiye	-.803 [.007]	***	.003 [.400]		.030 [.016]	**	.004 [.327]	
Ukrayna	.333 [.694]		.070 [.542]		-.024 [.179]		.058 [.252]	
Yunanistan	-1.240 [.000]	***	-.001 [.914]		-.031 [.001]	***	.001 [.888]	
Model 2								
Bağımlı Değişken:	GDPP		RCY		REC		NRR	
LCF								
Ülkeler	İstatistik [Olasılık Değeri]		İstatistik [Olasılık Değeri]		İstatistik [Olasılık Değeri]		İstatistik [Olasılık Değeri]	
Almanya	-.3502 [.000]	***	.0032 [.000]	***	.002 [.269]		-.128 [.021]	**
A.B.D	-.2672 [.000]	***	-.0001 [.961]		.020 [.000]	***	-.017 [.033]	**
Avusturya	-.3962 [.000]	***	-.0003 [.852]		.001 [.640]		-.240 [.015]	**
Belçika	-.0390 [.530]		-.0002 [.661]		-.002 [.233]		.010 [.922]	
Birleşik Krallık	-.0980 [.045]	**	.0001 [.875]		.007 [.000]	***	-.028 [.011]	**
Bulgaristan	-.1893 [.041]	**	-.0057 [.040]	**	.018 [.000]	***	.022 [.287]	
Çekya	-.2629 [.000]	***	.0011 [.430]		.005 [.276]		-.022 [.232]	
Danimarka	-.2939 [.016]	**	.0006 [.558]		.003 [.025]	**	.002 [.805]	
Estonya	-.9123 [.000]	***	.0077 [.214]		-.025 [.036]	**	-.026 [.718]	
Finlandiya	-1.1112 [.000]	***	-.0052 [.524]		.007 [.514]		-.299 [.279]	
Fransa	-.2370 [.087]	*	.0013 [.495]		.007 [.007]	***	-.953 [.002]	***
Hırvatistan	-.4647 [.000]	***	.0015 [.250]		.010 [.002]	***	-.042 [.070]	*
Hollanda	-.0905 [.196]		.0006 [.689]		-.001 [.861]		-.016 [.066]	*
İrlanda	.0091 [.883]		-.0022 [.032]	**	-.002 [.821]		-.189 [.127]	

Tablo 15 (Devamı)

İspanya	-.1763 [.331]		-.0012 [.554]		-.001 [.807]		.807 [.094]	*
İsveç	-.6120 [.431]		.0057 [.506]		-.016 [.371]		-.141 [.055]	*
İsviçre	-.4816 [.000]	***	.0036 [.040]	**	.010 [.000]	***	.379 [.519]	
İtalya	-.2715 [.042]	**	.0011 [.436]		-.004 [.442]		-.060 [.574]	
Japonya	-.1219 [.003]	***	.0012 [.004]	***	.007 [.000]	***	.033 [.572]	
Kore	-.1729 [.000]	***	.0014 [.000]	***	.011 [.012]	**	.081 [.205]	
Letonya	-.2635 [.293]		-.0054 [.391]		-.023 [.186]		.013 [.921]	
Litvanya	-.2784 [.000]	***	-.0003 [.793]		.008 [.052]	*	-.040 [.533]	
Lüksemburg	-.0331 [.582]		-.0004 [.625]		.000 [.949]		.026 [.651]	
Macaristan	-.0848 [.112]		-.0019 [.174]		.011 [.000]	***	-.035 [.330]	
Norveç	-1.2893 [.018]	**	.0099 [.010]	***	.035 [.001]	***	-.007 [.402]	
Polonya	-.0436 [.315]		-.0005 [.625]		.001 [.856]		-.006 [.041]	**
Portekiz	-.2341 [.000]	***	.0015 [.023]	**	.003 [.027]	**	-.030 [.520]	
Romanya	-.2283 [.001]	***	.0068 [.014]	**	.017 [.000]	***	.012 [.458]	
Slovakya	-.4144 [.000]	***	.0009 [.445]		.011 [.185]		-.106 [.466]	
Slovenya	-.5001 [.000]	***	.0008 [.194]		.005 [.135]		.013 [.918]	
Türkiye	-.2575 [.000]	***	.0013 [.379]		.006 [.028]	**	-.031 [.100]	
Ukrayna	.2196 [.003]	***	.0257 [.479]		.030 [.008]	***	-.042 [.000]	***
Yunanistan	-.2301 [.000]	***	-.0007 [.711]		.004 [.102]		.019 [.730]	

Not: İstatistik ve [Olasılık Değeri] sütunlarının sağında yer alan yıldızlı sütun, katsayıların istatistiksel anlamlılık düzeyini göstermekte olup ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 15'te sunulan ülke bazlı tahmin sonuçlarını incelediğimiz zaman Model 1'de LCF'nin ülkelerin önemli çoğunda kişi başına düşen gelir üzerinde negatif ve anlamlı etkisi olduğu gözlemlenmektedir. Elde edilen bulgular 33 ülkenin 24'ünde LCF'de meydana gelen artışların gelir üzerinde baskı oluşturduğunu göstermektedir. Bu ters yönlü ilişki çevresel kalite üzerinde meydana gelen iyileşmelerin bazı ekonomilerde büyüme dinamikleriyle kısa ve orta vadede bir uyum maliyeti üzerinden etkileşime girebildiğini göstermektedir. Özellikle çevresel standartların sıkılaşmasıyla birlikte üretim süreçlerinde temiz teknolojiye geçiş, enerji verimliliği yatırımları, atık ve emisyon

azaltımına yönelik altyapı harcamaları gibi dönüşümler başlangıç aşamasında firmaların maliyet yapısını yükseltebilmekte ve toplam faktör verimliliğinde geçici bir yavaşlamaya yol açabilmektedir. Bu durum, çevresel hedeflerle uyumlu bir ekonomik dönüşümün, uzun vadedeki sürdürülebilir refah kazanımlarına ulaşılana dek ekonomik büyüme hızı üzerinde kaçınılmaz bir baskı oluşturduğunu göstermektedir.

Analiz sonucunda elde edilen bulgular, atık geri dönüşümünün kişi başına düşen gelir üzerindeki etkisinin pozitif ve anlamlı olduğunu göstermektedir. RCY’de meydana gelen artışların 33 ülkenin 18’inde geliri artırması, döngüsel ekonomi uygulamalarının ekonomik performans üzerindeki destekleyici rolünü vurgulamaktadır. Bu pozitif yönlü ilişkinin temelinde geri dönüşüm faaliyetlerinin üretim süreçlerinde birincil hammadde kullanımı yerine daha düşük maliyetli ve enerji tasarruflu ikincil hammaddelerin ikame edilmesine imkan tanınması yatmaktadır. Bu durum işletmelerin girdi maliyetlerini düşürerek toplam faktör verimliliğini artırmakta ve dolayısıyla ekonomik çıktıyı pozitif yönde etkilemektedir.

Özellikle Almanya, Japonya, Kore ve Amerika Birleşik Devletleri gibi teknoloji yoğun sanayi ekonomilerinde elde edilen anlamlı katsayılar, geri dönüşümün hammadde arz güvenliği sağlama kapasitesini yansıtmaktadır. Atıkların ekonomiye geri kazandırılması, ülkelerin dış kaynaklara ve hammadde ithalatına olan bağımlılığını azaltarak, ekonomiyi küresel hammadde fiyatlarındaki dalgalanmalara karşı daha dirençli bir yapıya kavuşturmaktadır. Ayrıca, geri dönüşüm oranlarındaki artış; atık toplama, ayrıştırma ve yeniden işleme süreçlerinde yeni yeşil istihdam alanlarının oluşmasına ve ileri teknoloji odaklı Ar-Ge yatırımlarının tetiklenmesine yol açmaktadır. Hollanda ve Lüksemburg gibi verimlilik odaklı ülkelerdeki güçlü katsayılar da bu sektörel genişlemenin yarattığı katma değerın ekonomik büyüme üzerindeki doğrudan katkısını teyit etmektedir. Sonuç olarak RCY değişkeninin büyüme üzerindeki destekleyici rolünü, atığın bir maliyet unsuru olmaktan çıkıp stratejik bir ekonomik kaynağa dönüşmesi, kaynak güvenliğinin tesisi ve çevresel kirlilikle mücadele maliyetlerinin minimize edilmesiyle açıklamak mümkündür.

Model 1 kapsamında yenilenebilir enerji tüketimi (REC) değişkeninin kişi başına düşen gelir üzerindeki etkileri, ülkelerin enerji altyapıları ve ekonomik gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak oldukça heterojen bir görünüm sergilemektedir. Analiz edilen 33 ülkenin 19’unda REC ile GDPP arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmış

olup bu ülkelerin 8'inde pozitif, 11'inde ise negatif yönlü bir etkileşim tespit edilmiştir. Bu durum, yenilenebilir enerjinin gelir üzerindeki rolünün tek düze olmadığını aksine ülkelerin enerji dönüşüm maliyetlerini yönetme kapasitelerine göre farklılaştığını kanıtlamaktadır.

Yenilenebilir enerjinin ekonomik büyümeyi desteklediği grupta yer alan Fransa, Almanya, Japonya, Kore, Polonya, Slovakya, Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri'nde pozitif ve anlamlı katsayılar elde edilmiştir. Bu ülkelerde yeşil enerjiye geçişin bir büyüme motoru işlevi görmesinin temel nedenleri arasında, teknolojik inovasyonun tetiklenmesi ve yenilenebilir enerji yatırımlarının yarattığı yeni istihdam alanları öne çıkmaktadır. Özellikle Türkiye, Kore ve Japonya gibi enerji ithalat bağımlılığı yüksek olan ekonomilerde, yerli yenilenebilir kaynakların devreye girmesi dış ticaret dengesini olumlu etkileyerek makroekonomik istikrar yoluyla büyümeyi desteklemektedir. Ayrıca Fransa, Almanya, Japonya, Kore ve ABD gibi ülkelerin yenilenebilir enerji teknolojileri alanındaki Ar-Ge kapasiteleri, enerji dönüşümünü bir maliyet unsuru olmaktan çıkarıp verimlilik artışı sağlayan endüstriyel fırsata dönüştürmektedir.

Öte yandan Belçika, Estonya, Finlandiya, Yunanistan, Macaristan, İtalya, Lüksemburg, Slovenya, İspanya, Birleşik Krallık ve İrlanda'da REC değişkeninin gelir üzerinde negatif ve anlamlı bir etki yarattığı saptanmıştır. Söz konusu negatif ilişki, literatürde sıklıkla vurgulanan geçiş maliyetleri ve dışlama etkisi kavramlarıyla açıklanabilmektedir. Yenilenebilir enerji altyapısının inşası için gereken yoğun sermaye ihtiyacı, bu ülkelerde kısa vadede diğer üretken alanlara gidecek yatırımların bu alana kaymasına ve dolayısıyla büyüme hızı üzerinde baskı oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca fosil yakıtlara dayalı mevcut enerji sistemlerinin henüz ekonomik ömrünü tamamlamadan terk edilmesi ve enerji dönüşümü sırasındaki yüksek birim maliyetler, bu ekonomilerde büyüme üzerinde kısıtlayıcı bir rol oynamaktadır. Netice itibarıyla REC katsayılarındaki bu farklılaşma, yeşil dönüşümün ekonomik kazanımlarının ülkelerin teknolojik hazırlık seviyeleri ve finansal kapasiteleriyle doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Model 1 sonuçları kapsamında doğal kaynak kiralalarının (NRR) kişi başına düşen gelir (GDPP) üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde, bu değişkenin ülkeler bazında farklı ekonomik dinamikleri tetiklediği görülmektedir. Tablo sonuçlarına göre, modelde yer alan ülkelerin 12 tanesinde pozitif, 6 tanesinde ise negatif ve istatistiksel olarak anlamlı

sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, doğal kaynak gelirlerinin ekonomik performans üzerindeki etkisinin ülkelerin ekonomik yapılarına ve bu kaynakları yönetme biçimlerine göre değişkenlik gösterdiğini kanıtlamaktadır. Doğal kaynak kiralalarının ekonomik büyümeyi desteklediği grupta yer alan Bulgaristan, Fransa, Macaristan, Kore, Lüksemburg, Norveç, Polonya, Romanya ve Çekya gibi ülkelerde pozitif ve anlamlı katsayılar saptanmıştır. Kaynaklardan sağlanan rantın altyapı yatırımlarına, sermaye birikimine ve üretim süreçlerine aktarılması, bu ekonomilerde GSYİH artışını tetikleyen temel bir finansman kaynağı işlevi görmektedir. Özellikle Norveç gibi kaynak yönetimi gelişmiş ülkelerdeki pozitif katsayılar, doğal kaynak gelirlerinin etkin kullanımıyla ekonomik refahın sürdürülebilir bir şekilde artırılabilirliğini göstermektedir.

Buna karşın, Finlandiya, Slovakya, Slovenya, Birleşik Krallık, İrlanda ve Amerika Birleşik Devletleri'nde NRR değişkeni ile gelir arasında negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Literatürde doğal kaynak laneti veya Hollanda hastalığı olarak adlandırılan bu durum, doğal kaynak gelirlerine aşırı bağımlılığın imalat sanayi gibi diğer üretken sektörlerin rekabet gücünü zayıflatmasıyla ilişkilidir. Bu ülkelerde doğal kaynakların ekonomik bir kazanca dönüşebilmesi için ülkelerin sanayi çeşitliliğini koruması ve kaynak gelirlerini stratejik alanlara yönlendirmesi gerekmektedir.

Model 2 kapsamında bağımlı değişken olan yük kapasitesi faktörü (LCF) üzerindeki etkiler genel olarak değerlendirildiğinde, kişi başına düşen gelirin (GDPP) çevresel kalite üzerinde baskın ve negatif bir etkisi olduğu görülmektedir. Modelde yer alan 33 ülkenin 23 tanesinde bu negatif ve anlamlı ilişkinin elde edilmesi ekonomik büyüme stratejilerinin ekosistemin taşıma kapasitesini genelleştirilebilir bir şekilde aşındırdığını kanıtlamaktadır. Bu bulgu, üretim ve tüketim odaklı büyüme stratejilerinin artan kaynak kullanımı, enerji talebi ve emisyonlar yoluyla doğal sermaye stokunu azaltarak çevresel bozulmayı derinleştirdiği yönündeki literatürle de uyumludur. İstisnai olarak sadece Ukrayna'da ekonomik büyümenin LCF üzerinde pozitif bir etki yarattığı görülmektedir. Bu ülkenin geniş doğal kaynak tabanı, Sovyet sonrası dönemde yaşanan sanayi küçülmesi ve üretim yapısındaki dönüşüm, ekolojik ayak izini biyokapasiteye göre görece sınırlı tutarak büyüme sürecinin taşıma kapasitesini aşındırıcı değil iyileştirici bir dinamik yaratmasına olanak sağlamıştır.

Katı atık geri dönüşüm oranı, incelenen ülkelerin 7 tanesinde (Almanya, Japonya, Kore, Norveç, Portekiz, Romanya ve İsviçre) çevresel kaliteyi beklenen yönde iyileştirici

bir etki üretmektedir. RCY'nin pozitif ve anlamlı çıktığı ülkelerde atık yönetimi uygulamalarının kaynak kullanım verimliliğini artırarak hem ekolojik ayak izini küçültmekte hem de biyokapasite üzerindeki baskıyı hafifletmektedir. Döngüsel ekonomi uygulamalarının temelini oluşturan bu faaliyetler, atıkların ekonomiye geri kazandırılması yoluyla ekosistem üzerindeki yükü azaltmaktarak taşıma kapasitesini desteklemektedir. Buna karşın, Bulgaristan ve İrlanda'da RCY ile LCF arasında negatif ve anlamlı bir ilişkinin tespit edilmesi, bu ülkelerdeki atık yönetimi sistemlerinin henüz çevresel iyileşme sağlayacak etkinlik düzeyine ulaşamadığına veya geri dönüşüm süreçlerindeki teknolojik yetersizliklere işaret etmektedir.

Çevresel kalitenin en güçlü destekleyicisi olarak öne çıkan yenilenebilir enerji tüketimi (REC), incelenen ülkelerin yarısına yakınında (16 ülke) pozitif ve anlamlı bir etki sergilemektedir. Bulgaristan, Danimarka, Fransa, Macaristan, Japonya, Kore, Litvanya, Norveç, Portekiz, Romanya, İsviçre, Türkiye, Birleşik Krallık, Hırvatistan, Ukrayna ve Amerika Birleşik Devletleri'nde yenilenebilir enerjinin LCF değerini artırması, temiz enerji kaynaklarına geçişin ekolojik dengeyi korumadaki başarısını bilimsel bir temele oturtmaktadır. Bu sonuçlar, düşük karbonlu enerji sistemlerinin biyokapasite üzerindeki baskıyı hafifleterek sürdürülebilir bir çevresel kalite sağladığını doğrulamaktadır. Öte yandan, sadece Estonya'da REC değişkeninin negatif bir etki göstermesi, enerji dönüşümü sırasında karşılaşılan altyapısal zorlukların veya operasyonel verimsizliklerin çevresel kapasite üzerinde geçici bir baskı yaratabileceği şeklinde yorumlanabilir.

Son olarak doğal kaynak kiralının (NRR) çevresel kalite üzerindeki etkisi incelendiğinde, 10 ülkede (Avusturya, Almanya, Fransa, Hollanda, Polonya, Birleşik Krallık, Hırvatistan, İsveç, Ukrayna ve Amerika Birleşik Devletleri) negatif ve anlamlı sonuçlara ulaşılmıştır. NRR katsayısının çoğunlukla negatif yönde gerçekleşmesi, hammadde ve fosil yakıt rantlarına dayalı ekonomik faaliyetlerin ekolojik ayak izini artırarak biyokapasiteyi baskıladığını ve ekosistemin taşıma kapasitesini hızla tükettiğini göstermektedir. Sadece İspanya'da bu etkinin pozitif çıkması kaynak kullanımının çevresel koruma standartlarıyla daha entegre yürütüldüğünü ve büyüme stratejilerinde doğal kaynaklar yerine turizm ve hizmet sektörlerine odaklanıldığını göstermektedir. Netice itibarıyla Model 2 bulguları, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması için ekonomik

büyümenin yarattığı baskının, yenilenebilir enerji ve döngüsel ekonomi gibi onarıcı politikalarla dengelenmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Yu, 2023).

Tanısal testler ve panel eşbütünleşme analizinden elde edilen bulgular doğrultusunda, değişkenler arasındaki kısa ve uzun dönem ilişkilerini ortaya koyabilmek amacıyla CS-ARDL modeli uygulanmıştır. Bu yöntem, hem yatay kesit bağımlılığını hem de eğim heterojenliğini dikkate alarak güvenilir tahminler sunması bakımından literatürde yaygın olarak tercih edilmektedir. Analizin önceki aşamasında AMG tahmincisi ile elde edilen uzun dönemli bulguların sağlamasını yapmak ve kısa dönemli dinamikleri de gözlemleyebilmek adına bu yöntemin kullanılması kararlaştırılmıştır. Bu bağlamda, CS-ARDL tahmincisi aracılığıyla hem gelir hem de çevresel kalite modelleri için elde edilen katsayı tahminleri Tablo 16’da sunulmuştur.

Tablo 16.

CS-ARDL Testi Sonuçları

Model 1			Model 2		
Bağımlı Değişken: GDP	Kısa Dönem	Uzun Dönem	Bağımlı Değişken: LCF	Kısa Dönem	Uzun Dönem
	İstatistik [Olasılık Değeri]	İstatistik [Olasılık Değeri]		İstatistik [Olasılık Değeri]	İstatistik [Olasılık Değeri]
LCF	-.0350*** [.000]	-1.4097*** [.007]	GDP	-.3111** [.017]	-.2819*** [.008]
RCY	.0036** [.047]	.0102* [.075]	RCY	.0034** [.013]	.0029*** [.010]
REC	.0044** [.018]	.0149*** [.021]	REC	.0069*** [.008]	.0066*** [.005]
NRR	.0870 [.215]	.1302 [.288]	NRR	-.0279 [.254]	-.0219 [.343]
DU08	-.0286*** [.000]	-.1076*** [.004]	DU09	.0355* [.067]	.0411** [.043]

Not: ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 16’da yer alan Model 1 sonuçlarına göre çevresel kalite göstergesi olan LCF’nin gelir üzerindeki etkisi hem kısa dönem hem de uzun dönemde negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır (kısa dönem $\beta = -.0350$; uzun dönem $\beta = -1.4097$). Uzun dönem katsayısının mutlak değeri olarak belirgin biçimde daha yüksek olması, çevresel uyum maliyetlerinin zaman içinde birikimli hale geldiğini ve gelir üzerindeki etkisinin kısa döneme kıyasla daha güçlü hissedildiğini düşündürmektedir. Bu bulgu, çevresel düzenlemelerin ilk aşamada sınırlı, ancak zamanla daha belirgin maliyet etkileri doğurabileceğini ortaya koyan çalışmalarla uyumludur (Acheampong ve Opoku, 2023; Ajeigbe ve Ganda, 2024; Androniceanu ve Georgescu, 2023; Hysa vd., 2020).

Aynı modelde geri dönüşüm oranı hem kısa hem de uzun dönemde kişi başına düşen geliri pozitif yönde anlamlı şekilde desteklemektedir (kısa dönem $\beta = .0036$; uzun dönem $\beta = .0102$). Uzun dönem katsayısının daha yüksek olması döngüsel ekonomi uygulamalarının zamanla daha verimli bir büyüme bileşeni haline geldiğini ve gelir ile çevre arasında tamamlayıcı bir rol üstlenebildiğini ortaya koymaktadır (Azwardi vd., 2023; Vučkovski vd., 2025).

Yenilenebilir enerji tüketimi (REC) kısa ve uzun dönemde pozitif ve anlamlıdır (kısa dönem $\beta = .0044$; uzun dönem $\beta = .0149$). Uzun dönemde etkinin belirginleşmesi temiz enerji yatırımlarının ekonomik getirisinin uzun vadede daha belirgin hale geldiğine işaret etmektedir. Ayrıca temiz enerjiye geçişin yalnızca emisyonları azaltmakla kalmayıp ekonomik büyümeyi de desteklediğini, yani yeşil büyüme perspektifiyle uyumlu bir etki ürettiğini ortaya koymaktadır (Rahman ve Velayutham, 2020; Shahbaz vd., 2020). Doğal kaynak kiralaları (NRR) değişkeni ise her iki dönemde de istatistiksel olarak anlamlı değildir ve panel genelinde belirgin bir ilişki ortaya koymamaktadır.

Çevresel kalite denklemi (Model 2) açısından bakıldığında kişi başına düşen gelirin LCF üzerindeki etkisi hem kısa hem de uzun dönemde negatif bulunmuştur (kısa dönem $\beta = -.3111$; uzun dönem $\beta = -.2819$). Kısa ve uzun dönem katsayıları incelendiğinde uzun dönemdeki katsayının bir miktar azalmasını, ülkelerin belirli bir refah seviyesinden sonra çevre kirliliğini kontrol altına alma çabalarının (EKC varsayımıyla uyumlu şekilde) bir yansıması olarak yorumlamak mümkündür (Caglar vd., 2024; Kartal vd., 2025; Pata ve Işık, 2021).

Aynı modelde geri dönüşüm oranındaki artışın çevresel kalite üzerinde pozitif ve anlamlı etki yarattığı görülmektedir (kısa dönem $\beta = .0034$; uzun dönem $\beta = .0029$). Kısa ve uzun dönem katsayıların birbirine yakın ve her iki dönemde de anlamlı olması, atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamalarının ekolojik ayak izini azaltarak biyokapasiteyi koruyan tamamlayıcı bir politika aracı olduğunu göstermektedir (Bayar vd., 2021; Giovanis, 2015).

Yenilenebilir enerji tüketimi (REC) de benzer biçimde pozitif ve anlamlıdır (kısa dönem $\beta = .0069$; uzun dönem $\beta = .0066$) ve temiz enerji kullanımının çevresel kaliteyi artırdığını gösteren literatür ile paralellik göstermektedir (Achuo vd., 2022; Guloglu vd., 2023; Zafar vd., 2020). Buna karşılık doğal kaynak kiralalarının (NRR) katsayıları

istatistiksel olarak anlamlı değildir ve panel genelinde ortak bir etki ortaya koymamaktadır. Bu panel genelinde NRR'nin ekonomik büyüme ve çevre kalitesine etkisinin ülke koşullarına göre farklılaşması ve panel düzeyinde ortak bir yön üretmemesinden kaynaklanmaktadır (Afolabi, 2023; Li vd., 2024).

Ayrıca, 2008 ve 2009 yılları için modele dahil edilen kukla değişkenlerin (DU08 ve DU09) anlamlı çıkması, küresel ekonomik şokların hem gelir hem de çevresel kalite üzerinde kalıcı ve hissedilir etkiler bıraktığını kanıtlamaktadır. Metodolojik açıdan bakıldığında, CS-ARDL bulgularının AMG sonuçlarıyla büyük oranda örtüşmesi ve kriz dönemlerini temsil eden kukla değişkenlerin anlamlılığı, modellerin sağlamlığını ve tahminlerin güvenilirliğini pekiştirmektedir.

Sonuç olarak AMG ve CS-ARDL analizine ait bulgular kişi başına düşen gelir ve çevresel kalite arasında olumsuz yönde karşılıklı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Buna karşın geri dönüşüm her iki modelde de hem ekonomik performans hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından destekleyici bir rol üstlenmektedir. Yenilenebilir enerji ise AMG tahmincisinde kişi başına düşen geliri azaltıcı bir etki gösterirken çevresel kaliteyi artırmaktadır. CS-ARDL yönteminde ise REC'in her iki modelde hem kısa hem de uzun dönemde pozitif ve anlamlı etki yarattığı görülmektedir. NRR'nin sonuçları hem her iki modelde hem de her iki yöntemde farklılaşmaktadır. AMG tahmincisinde gelir üzerinde pozitif ve anlamlı etkisi mevcutken, çevresel kalite üzerinde anlamlı ancak negatif etkisi bulunmaktadır. CS-ARDL yöntemi ile elde edilen bulgulara ise NRR değişkeni kişi başı gelir üzerinde pozitif ancak anlamsız, çevresel kalite üzerinde negatif fakat anlamsız etki göstermektedir.

Makro düzeyde elde edilen bu bulgular, belediye katı atık geri dönüşümünün ekonomik büyüme ve çevresel kalite üzerindeki etkilerini hem panel genelinde hem de ülke ölçeğinde kapsamlı biçimde ortaya koymaktadır. Mevcut bulgular geri dönüşüm ve yenilenebilir enerji politikalarının sürdürülebilir kalkınma açısından stratejik önemini açıkça göstermektedir. Ancak makro sonuçlar, politika tasarımının sahadaki uygulanma biçimini ve yerel yönetimlerin operasyonel performansını doğrudan yansıtmamaktadır. Bu noktada, makro analizlerin sunduğu genel çerçeveyi daha derinlemesine ve birim bazlı bir değerlendirmeye desteklemek amacıyla mikro analize geçilmesi gerekli görülmüştür. Bu doğrultuda bir sonraki aşamada analiz ölçeği mikro düzeye indirgenmekte ve

Türkiye’de büyükşehir belediyeleri bazında katı atık yönetimi süreçlerinin etkinliği incelenmektedir. Bu kapsamda süreç içi aşamaları ayrıştırmaya imkan veren ve lider-takipçi yapısını esas alan Stackelberg temelli iki aşamalı Ağ-VZA yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yöntem aracılığıyla hem atık oluşumu hem de atık yönetimi süreçlerine ilişkin etkinlik skorları hesaplanmıştır.

Söz konusu mikro düzey analizden elde edilen bulgular, belediyelerin yapısal ve yönetsel verimliliklerini karşılaştırmalı olarak ortaya koymakta olup Stackelberg temelli iki aşamalı Ağ-VZA sonuçları Tablo 17’de sunulmaktadır.



Tablo 17.

Stackelberg Temelli İki Aşamalı Ağ-VZA Sonuçları

İller/Yıllar	2018				2020				2022			
	AOE	AYE	AVZA	Durum	AOE	AYE	AVZA	Durum	AOE	AYE	AVZA	Durum
Adana	1.299	1.002	1.302	E.D.	1.285	1.000	1.285	E.D.	1.219	1.003	1.223	E.D.
Ankara	1.557	1.040	1.619	E.D.	1.357	1.000	1.357	E.D.	1.401	1.000	1.401	E.D.
Antalya	1.966	1.000	1.966	E.D.	1.881	1.022	1.922	E.D.	2.076	1.000	2.076	E.D.
Aydın	1.618	1.409	2.280	E.D.	1.596	1.230	1.963	E.D.	1.655	1.022	1.691	E.D.
Balıkesir	1.970	1.000	1.970	E.D.	1.507	1.039	1.566	E.D.	1.465	1.031	1.510	E.D.
Bursa	1.433	1.000	1.433	E.D.	1.357	1.017	1.380	E.D.	1.338	1.010	1.351	E.D.
Denizli	1.428	1.558	2.225	E.D.	1.274	1.329	1.693	E.D.	1.351	1.261	1.704	E.D.
Diyarbakır	1.430	1.000	1.430	E.D.	1.381	1.148	1.585	E.D.	1.726	1.323	2.283	E.D.
Erzurum	1.125	1.483	1.668	E.D.	1.158	1.111	1.287	E.D.	1.363	1.237	1.686	E.D.
Eskişehir	1.390	1.160	1.612	E.D.	1.338	1.131	1.513	E.D.	1.409	1.000	1.409	E.D.
Gaziantep	1.167	1.000	1.167	E.D.	1.160	1.000	1.160	E.D.	1.312	1.000	1.312	E.D.
Hatay	1.608	1.000	1.608	E.D.	1.665	1.000	1.665	E.D.	2.030	1.000	2.030	E.D.
İstanbul	1.697	1.000	1.697	E.D.	1.623	1.000	1.623	E.D.	1.705	1.000	1.705	E.D.
İzmir	1.796	1.051	1.888	E.D.	1.919	1.000	1.919	E.D.	1.841	1.006	1.852	E.D.
K.maraş	1.021	1.339	1.367	E.D.	1.050	1.400	1.470	E.D.	1.432	1.469	2.104	E.D.
Kayseri	1.256	1.276	1.603	E.D.	1.235	1.000	1.235	E.D.	1.475	1.367	2.016	E.D.
Kocaeli	1.358	1.000	1.358	E.D.	1.288	1.000	1.288	E.D.	1.239	1.000	1.239	E.D.
Konya	1.416	2.020	2.860	E.D.	1.485	1.465	2.176	E.D.	1.490	1.151	1.715	E.D.
Malatya	1.248	1.248	1.558	E.D.	1.180	1.000	1.180	E.D.	1.136	1.000	1.136	E.D.
Manisa	1.650	1.000	1.650	E.D.	1.587	1.412	2.241	E.D.	1.790	1.003	1.795	E.D.
Mardin	1.083	1.571	1.701	E.D.	1.037	1.000	1.037	E.D.	1.092	1.373	1.499	E.D.
Mersin	1.437	1.138	1.635	E.D.	1.591	1.071	1.704	E.D.	1.280	1.000	1.280	E.D.
Muğla	2.578	1.000	2.578	E.D.	2.448	1.000	2.448	E.D.	2.308	1.000	2.308	E.D.
Ordu	1.332	2.005	2.671	E.D.	1.190	1.000	1.190	E.D.	1.293	1.000	1.293	E.D.
Sakarya	1.433	1.288	1.846	E.D.	1.295	1.026	1.329	E.D.	1.368	1.000	1.368	E.D.
Samsun	1.300	1.000	1.300	E.D.	1.128	1.000	1.128	E.D.	1.252	1.000	1.252	E.D.
Şanlıurfa	1.000	1.174	1.174	E.D.	1.000	1.217	1.217	E.D.	1.000	1.209	1.209	E.D.
Tekirdağ	1.762	1.000	1.762	E.D.	1.508	1.000	1.508	E.D.	1.756	1.000	1.756	E.D.
Trabzon	1.075	1.025	1.102	E.D.	1.000	1.000	1.000	T.E.	1.087	1.007	1.095	E.D.
Van	1.721	1.000	1.721	E.D.	1.000	1.009	1.009	E.D.	1.000	1.163	1.163	E.D.
Ortalama	1.472	1.193	1.725	Ortalama	1.384	1.088	1.503	Ortalama	1.463	1.088	1.582	

Not: AOE (Atık Oluşum Etkinliği), AYE (Atık Yönetim Etkinliği) ve AVZA (Ağ VZA Genel Etkinliği) skorlarının 1'e eşit olması, her bir aşama ve toplam ağ düzeyinde tam etkinlik durumunu ifade etmektedir. Skorların 1'in üzerinde gerçekleşmesi ise etkinlikten sapmanın büyüdüğünü, başka bir ifadeyle etkinsizliğin arttığını göstermektedir. Tabloda yer alan "E.D. ve T.E." ifadeleri sırası ile "Etkin Değil ve Tam Etkin" anlamına gelmektedir.

Klasik VZA uygulaması, belediyelerin katı atık yönetimi performansına ilişkin genel bir etkinlik düzeyi sunmakla birlikte, atık oluşumu ve atık yönetimi süreçlerini tek bir “kara kutu” olarak ele aldığı için sürecin hangi aşamasında verimsizlik oluştuğunu ayrıntılı biçimde ortaya koyamamaktadır. Bu nedenle klasik VZA’dan elde edilen bulgular, yapısal ve yönetsel verimsizliklerin ayrıştırılması ve sürece özgü iyileştirme alanlarının belirlenmesi açısından sınırlı kalmakta, değerlendirmeler çoğunlukla toplam etkinlik skorları üzerinden yapılabilmektedir. Bu sınırlılığı gidermek amacıyla klasik VZA bulguları, çalışmanın kapsamını tamamlayıcı nitelikte Ek 1’de sunulmuş, mikro düzeydeki değerlendirmede ise süreç yapısını ve aşamalar arası bağımlılığı doğrudan modelleyen Stackelberg temelli iki aşamalı Ağ-VZA yaklaşımı esas alınmıştır. Tablo 17’de atık oluşumu sürecini lider, atık yönetimi sürecini ise takipçi aşama olarak modelleyen Ağ-VZA çerçevesi kullanılarak elde edilen etkinlik skorları sunulmaktadır. Sıfır Atık Projesi’nin uygulamaya alınmasının ardından büyükşehir belediyelerinin atık yönetimi etkinlikleri, projeye uyum sürecindeki değişimi izleyebilmek amacıyla verilerine eksiksiz ulaşılan 2018, 2020 ve 2022 yılları için değerlendirilmiştir.

Bu nedenle klasik VZA’dan elde edilen bulgular, yapısal ve yönetsel verimsizliklerin ayrıştırılması ve sürece özgü iyileştirme alanlarının belirlenmesi açısından sınırlı kalmakta, değerlendirmeler çoğunlukla toplam etkinlik skorları üzerinden yapılabilmektedir. Bu şehirlerde AOE’nin 1’den büyük olması yoğun nüfus, yüksek tüketim düzeyi ve karmaşık kentsel yaşam biçimlerinin atık üretimini yapısal olarak artırdığını göstermektedir. Ekonomik büyüme düzeyine ve atık önleme kapasitesine kıyasla kişi başına atık oluşumunun hala görece olarak yüksek kaldığını ve atık oluşum sürecinde tam etkinlikten uzaklaşıldığını göstermektedir. Bu sonuç yoğun kentleşme, yüksek tüketim düzeyi ve büyükşehirlerdeki hizmet sektörünün ağırlığı ile birlikte okunduğunda özellikle nüfusu kalıcı olarak yüksek olan metropollerde kaynağında atık azaltımının diğer illere kıyasla daha zor olduğunu ifade etmektedir.

Turistik iller açısından elde edilen bulgular da benzer bir çerçevede değerlendirilmektedir. Antalya, Muğla, Aydın ve Mersin gibi turizm yoğunluğu yüksek illerde atık oluşum etkinliği skorlarının tüm dönemlerde yüksek seyretmesi, mevsimsel nüfus artışlarının katı atık miktarı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Turizm sezonlarında geçici nüfusun yerleşik nüfusu önemli ölçüde aşması, konaklama, yeme-içme ve eğlence faaliyetleri üzerinden atık üretimini hızla

artırmakta, bu durum atık oluşumunun önlenmesini güçleştirmektedir. Buna ek olarak söz konusu dönemsel yoğunluklar, atık toplama, taşıma ve geri kazanım sistemlerinde operasyonel baskı yaratarak atık yönetimi süreçlerini de zorlamaktadır. Dolayısıyla turistik illerde gözlenen yüksek AOE değerleri, yalnızca belediyelerin yönetsel performanslarıyla değil, mevsimsel nüfus dalgalanmalarıyla ilişkili yapısal bir sorun alanına işaret etmektedir.

Atık yönetimi sürecini temsil eden ikinci aşamada, yani Atık Yönetim Etkinliği (AYE) skorları incelendiğinde ise genel olarak daha olumlu bir görünüm ortaya çıkmaktadır. Sıfır Atık eğitimi verilen kişi sayısı (KBSAE) ve Sıfır Atık Belgesi alan birim sayısı (KBSAF) gibi girdiler ile atık geri kazanımı (AGK) ve 1/PM10 üzerinden ölçülen çevresel kalite çıktıları birlikte değerlendirildiğinde, Ankara, İzmir, İstanbul Kocaeli, Konya, Malatya, Samsun, Trabzon ve Muğla gibi illerde AYE skorlarının 2018–2022 dönemi boyunca 1'e yakınsadığı veya 1 düzeyinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum, Sıfır Atık Projesi kapsamında yürütülen altyapı yatırımları, eğitim faaliyetleri, belgelendirme süreçleri ve geri kazanım uygulamalarının söz konusu illerde atık yönetimi süreçlerinin etkinliğini artırdığına işaret etmektedir. Belediyelerin toplama, taşıma, ayrıştırma ve geri dönüşüm kapasitelerini daha etkin kullandıkları anlaşılmaktadır. Bununla birlikte Antalya, İstanbul, Kocaeli, Muğla, Şanlıurfa ve Tekirdağ gibi bazı illerde AYE skorları 1'e ulaşmasına rağmen AVZA değerlerinin 1'in üzerinde kalması, atık yönetimi sürecinde görece bir etkinlik sağlanmış olsa dahi, atık oluşumu aşamasındaki etkinsizliklerin toplam ağ etkinliğini sınırlamaya devam ettiğini göstermektedir. Bu bulgu, politika önceliklerinin yalnızca yönetim aşamasına değil, özellikle kaynağında atık azaltımı ve tüketime yönelik davranışsal dönüşümlere de yönelmesi gerektiğine işaret etmektedir.

İller bazında yıllar itibarıyla gözlenen iyileşme ve bozulmalar, etkinlik dinamiklerinin zamana duyarlı bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Adana, Balıkesir, Bursa, Kocaeli, Muğla ve Van gibi illerde AOE skorlarının yıllar itibarıyla düşüş göstermesi, atık oluşumunu sınırlamaya yönelik politika ve uygulamaların görece başarılı sonuçlar ürettiğini düşündürmektedir. Buna karşılık Antalya, Diyarbakır, Erzurum, Hatay, Kahramanmaraş ve Manisa gibi illerde özellikle 2022 yılında AOE skorlarında belirgin artışlar gözlenmesi, atık oluşum baskısının arttığına ve önleme mekanizmalarının zayıfladığına işaret etmektedir. Bu farklılaşma, yerel ekonomik yapı,

nüfus hareketleri ve belediyelerin politika öncelikleri arasındaki heterojenliğin etkinlik sonuçlarına doğrudan yansıdığını göstermektedir.

Dönemsel açıdan değerlendirildiğinde, bazı illerde etkinliğin geçici olarak iyileşip yeniden bozulduğu görülmektedir. AOE, AYE ve AVZA skorlarının il bazındaki yıllara göre değişimleri Ek 2, Ek 3 ve Ek 4'te kapsamlı biçimde gösterilmiştir. Antalya, Aydın, Gaziantep, İstanbul, Manisa ve Trabzon gibi illerde AOE'nin 2020 yılında artması, 2022 yılında ise yeniden düşüş göstermesi, etkinlik performansının yalnızca kurumsal kapasiteye değil, dönemsel koşullara da duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Pandemi sonrası ekonomik ve sosyal canlanmayla birlikte özellikle turizm odaklı illerde AOE ve AVZA skorlarının 2022 yılında yeniden yükselmesi bu durumu desteklemektedir. Van ilinde ise atık oluşum etkinliğinde belirgin bir iyileşme sağlanmasına karşın, atık yönetimi etkinliğinde ortaya çıkan bozulma, etkinsizliğin aşamalar arasında yer değiştirebildiğini göstermektedir. AYE skorlarının da iller bazında yıllara göre değiştiği gözlemlenmektedir. Özellikle Aydın, Konya, Mersin ve Sakarya gibi illerde 2018 yılında yüksek seyreden AYE skorlarının 2020 ve 2022 yıllarında gerilediği, Diyarbakır, Kahramanmaraş ve Van'da ise yükseldiği görülmektedir. Adana, Erzurum, İzmir ve Kayseri gibi illerde önce artan sonra azalan, Balıkesir, Bursa ve Manisa gibi illerde önce azalan sonra artan etkinlik düzeyleri mevcuttur. Bu durum, atık yönetimi etkinliğinin zamana ve dönemsel koşullara duyarlı bir yapı sergilediğini göstermektedir. Elde edilen bu bulgular, Stackelberg temelli iki aşamalı Ağ-VZA yaklaşımının, politika müdahalelerinin hangi aşamaya yönelmesi gerektiğini ortaya koyan en önemli katkılarından biridir.

Genel ağ etkinliği açısından değerlendirildiğinde, AVZA skorlarının 1'e yakınsadığı Gaziantep, Malatya, Mardin, Samsun, Şanlıurfa, Trabzon ve Van gibi iller, hem atık oluşumu hem de atık yönetimi süreçlerini görece dengeli yürüten ve Sıfır Atık Projesi'nin hedefleriyle uyumlu bir performans sergileyen belediyeler olarak öne çıkmaktadır. Buna karşılık Antalya, Muğla, Balıkesir, İstanbul ve Mersin gibi turistik ve nüfusu yüksek illerde AVZA değerlerinin 1'in belirgin biçimde üzerinde kalması, Türkiye'de belediye katı atık sistemlerinde temel sorunun atık yönetiminden ziyade atık oluşumunun önlenmesi aşamasında yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Büyükşehirlerde nüfus yoğunluğu ve tüketim ölçeği, turistik illerde ise mevsimsel nüfus artışları, atık oluşum etkinliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu bağlamda atık yönetim altyapısının

güçlendirilmesine ek olarak, özellikle büyük ve turistik şehirlerde atık önleme odaklı politikaların, tüketim azaltımını hedefleyen düzenlemelerin ve sezonluk nüfus artışlarını dikkate alan esnek yönetim stratejilerinin geliştirilmesi, toplam ağ etkinliğinin artırılması açısından kritik öneme sahiptir.



SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Sürdürülebilir kalkınma amaçlarına ulaşmada katı atık yönetimi, doğrusal ekonominin "al-yap-kullan-at" yaklaşımından döngüsel ekonomi modeline geçişin en kritik uygulama alanlarından birini oluşturmaktadır. Nüfus artışı, hızlı kentleşme ve sanayileşmenin doğal kaynaklar üzerinde yarattığı baskı, ekonomik büyümenin çevresel sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu hale getirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda belediye katı atıklarının geri dönüşümü, bir yandan hammadde ve enerji tasarrufu sağlayarak ekonomik verimliliğe katkıda bulunurken, diğer yandan atık kaynaklı çevresel bozulmayı azaltarak ekolojik dengenin korunmasını desteklemektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, belediye katı atık geri dönüşümünün ekonomik büyüme ve çevresel kalite üzerindeki etkilerini hem makro düzeyde uluslararası panel veri analizi ile hem de mikro düzeyde Türkiye'deki büyükşehir belediyeleri özelinde etkinlik analizi ile kapsamlı biçimde ortaya koymaktır. Bu doğrultuda 1995–2021 dönemini kapsayan ve verilerine eksiksiz ulaşılabilen 33 ülkeye ait panel veri seti kullanılarak ekonomik büyüme ve çevresel kalite modelleri ayrı ayrı test edilmiştir. Makro analizde yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliğini dikkate alan ikinci nesil panel ekonometrik yöntemlerden AMG ve CS-ARDL tahmincileri uygulanmıştır.

Mikro düzeyde ise Türkiye'de toplam atık üretiminin yaklaşık %82,5'inden sorumlu olan 30 büyükşehir belediyesinin atık yönetim performansı, Sıfır Atık Projesi çerçevesinde 2018, 2020 ve 2022 yılları itibarıyla Stackelberg oyun kuramı temelli iki aşamalı Ağ-VZA modeli ile değerlendirilmiştir. Bu yöntem, atık oluşumu sürecini lider, atık yönetimi sürecini ise takipçi aşama olarak ele alarak süreç içi verimsizliklerin hangi aşamada ortaya çıktığını analitik biçimde ayırtmaktadır.

Makro düzey kurulan ilk modelde ekonomik büyümeyi temsil eden kişi başına gayrisafi yurt içi hasıla (GDPP) bağımlı değişken olarak tanımlanmış; yük kapasitesi faktörü (LCF), belediye atık geri dönüşüm oranı (RCY), yenilenebilir enerji tüketimi (REC) ve doğal kaynak kiralari (NRR) açıklayıcı değişkenler olarak modele dahil edilmiştir. İkinci modelde ise çevresel kaliteyi temsil eden yük kapasitesi faktörü (LCF) bağımlı değişken olarak ele alınmış aynı değişken seti (RCY, REC, NRR) bu kez çevresel performans ile olan ilişkileri ortaya koymak amacıyla kullanılmıştır. Bu çerçevede her iki

model, geri dönüşüm faaliyetlerinin ekonomik ve çevresel boyutlarını eşanlı biçimde değerlendirmeye imkân sağlayacak şekilde kurgulanmıştır.

Panel veri analizlerine ilişkin tanısal test sonuçları, her iki model için ülkeler arasında belirgin düzeyde yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliği bulunduğu, birim kök testlerinde ise tüm değişkenlerin $I(1)$ düzeyinde durağan olduğu belirlenmiştir. Eşbütünleşme sonuçları incelendiğinde ise hem ekonomi hem de çevre modelinde eşbütünleşme ilişkisinin varlığı tespit edilmiştir. Bu durum, klasik panel veri yaklaşımlarının yetersiz kalacağını ve ülkelere özgü dinamikleri dikkate alan ikinci nesil yöntemlerin kullanılmasının metodolojik bir zorunluluk olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede model tahminlerinde, uzun dönem eğilimleri ve birim düzeyindeki etkileri eşanlı olarak ortaya koyan AMG yöntemi ile hem kısa hem de uzun dönem dinamiklerini analiz etme imkanı sunan CS-ARDL yöntemi birlikte kullanılmıştır.

AMG tahmincisinden elde edilen bulgular incelendiğinde, Model 1’de LCF’nin kişi başına gelir üzerinde negatif ve anlamlı bir etkisi tespit edilmiştir. Bu durum, çevresel baskıların arttığı veya çevresel sınırlamaların sıkılaştığı dönemlerde kişi başına gelir düzeyinin uzun dönemde baskı altına girdiğini göstermektedir. Atık geri dönüşüm oranı (RCY) ise pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu bulgu, geri dönüşüm faaliyetlerinin döngüsel ekonomi mekanizmaları yoluyla kişi başına gelir düzeyini desteklediğine işaret etmektedir. Yenilenebilir enerji kullanımı (REC) kişi başına gelir üzerinde negatif ve anlamlı bir etki göstermiştir. Bu negatif ilişki, enerji dönüşümünün erken aşamalarındaki yüksek sermaye gereksinimleri ve altyapı maliyetlerinin gelir düzeyi üzerinde sınırlayıcı bir rol oynayabildiğini düşündürmektedir. Doğal kaynak kiralari (NRR) ise pozitif ve güçlü bir katsayıya sahip olup, kaynak gelirlerinin yatırım ve üretim kapasitesini destekleyen önemli bir finansman kaynağı olduğunu ortaya koyulmaktadır.

Ülke bazlı AMG tahmincisine ait bulgular incelendiğinde, Model 1’de LCF katsayısının 33 ülkenin 24’ünde negatif ve anlamlı olduğu görülmektedir. Bu sonuç, çevresel düzenlemelerin gelir üzerindeki sınırlayıcı etkisinin yaygın bir olgu olduğunu göstermektedir. RCY katsayısı ülkelerin 18’inde pozitif ve anlamlıdır. Özellikle Almanya, Japonya, Kore ve ABD gibi teknoloji yoğun sanayi ekonomilerinde elde edilen pozitif katsayılar, bu ülkelerin atığı stratejik bir hammadde olarak ekonomiye kazandırma

kapasitelerinin yüksek olduğunu teyit etmektedir. REC katsayıları ülkeler arasında heterojen bir dağılım sergilemekte, 8 ülkede pozitif, 11 ülkede ise negatif ve anlamlı sonuçlar üretmektedir. Pozitif etkinin görüldüğü ülkelerde enerji dönüşümü yeni istihdam ve inovasyon fırsatları yaratırken, negatif etkinin görüldüğü ülkelerde yüksek geçiş maliyetleri baskın çıkmaktadır. NRR değişkeni ise ülkelerin 12'sinde pozitif, 6'sında negatif ve anlamlı katsayılar üretmiştir. Bu farklılaşma, doğal kaynak gelirlerinin kurumsal kalite, üretim yapısı ve gelirlerin ekonomiye yönlendirilme biçimine bağlı olarak kişi başına gelir üzerinde destekleyici veya sınırlayıcı etkiler doğurabildiğini göstermektedir.

Model 2'de kişi başına gelirin çevresel kalite üzerinde negatif ve anlamlı bir ilişki sergilediği görülmüştür. Artan gelir düzeyine bağlı üretim ve tüketim faaliyetleri ekolojik baskıyı artırarak yük kapasitesi faktörünü (LCF) düşürmektedir. Geri dönüşüm oranı (RCY) katsayısı pozitif olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı değildir; bu durum geri dönüşüm faaliyetlerinin panel genelinde güçlü bir ortalama etki üretmediğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji kullanımı (REC) pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş, yenilenebilir enerji kullanımının çevresel sürdürülebilirliği destekleyici bir unsur olduğunu göstermiştir. Doğal kaynak kiralalarının (NRR) etkisi ise negatif işaretli olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Model 2'nin ülke bazlı bulguları, kişi başına düşen gelirin çevresel kaliteyi bozucu etkisinin 33 ülkenin 23'ünde geçerli olduğunu, sadece Ukrayna'da gelirin çevresel kaliteyi iyileştirdiğini göstermektedir. Geri dönüşüm oranı, Almanya, Japonya, Kore ve İsviçre gibi 7 ülkede çevresel kalite üzerinde anlamlı ve pozitif bir etki yaratmaktadır. Bu ülkelerdeki gelişmiş geri dönüşüm altyapısı ekolojik ayak izini küçültmektedir. Bulgaristan ve İrlanda'da ise geri dönüşüm çevre kalitesini azaltmaktadır. Bu durum, geri dönüşüm süreçlerinin yatırım ve kapasite geliştirme aşamasında ortaya çıkan geçiş maliyetleriyle ilişkilendirilebilir. Yenilenebilir enerji tüketimi ise İngiltere ve ABD'nin de dahil olduğu 15 ülkede çevresel kaliteyi pozitif yönde etkileyerek temiz enerjiye geçişin ekolojik dengeyi korumadaki başarısını ülke düzeyinde de doğrulamaktadır. Buna karşılık sadece Estonya'da REC'in çevresel kaliteyi olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Doğal kaynak kiralaları ise 11 ülkede negatif etki göstererek, kaynak bağımlı üretimin ekosistemin taşıma kapasitesini aşırdığına işaret etmektedir. Sadece İspanya'da pozitif ancak sınırda anlamlı bir etki tespit edilmiştir.

Değişkenler arasındaki ilişkilerin zaman boyutunu dikkate alarak kısa ve uzun dönem dinamiklerini ayrıştıran CS-ARDL yönteminden elde edilen bulgulara göre, LCF hem kısa dönem de hemde uzun dönemde kişi başı geliri azaltmaktadır. Uzun dönemde bu etkinin büyüklüğü artmaktadır. Atık geri dönüşüm oranı (RCY) hem kısa hem de uzun dönemde pozitif ve anlamlı katsayılara sahiptir. Uzun dönem katsayısının kısa dönem katsayısından daha yüksek olması, geri dönüşümün gelire katkısının zamanla güçlendiğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji tüketimi (REC) Model 1’de hem kısa hem de uzun dönemde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Uzun dönemdeki etkinin kısa dönemdeki etkiden daha yüksek olması, yenilenebilir enerji yatırımlarının gelir üzerindeki etkilerinin zamanla belirginleştiğini göstermektedir. Doğal kaynak kiralari (NRR) her iki dönemde de istatistiksel olarak anlamsızdır.

Model 2 kısa dönem bulguları, kişi başı gelirin (GDPP) çevresel kalite üzerinde negatif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Uzun dönemde de bu negatif ilişki devam etmektedir. Atık geri dönüşüm oranı (RCY), kısa ve uzun dönemde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Katsayıların büyüklük olarak birbirine yakın olması, geri dönüşümün çevresel kalite üzerindeki etkisinin dönemler arasında istikrarlı olduğunu göstermektedir. Yenilenebilir enerji tüketimi de benzer şekilde her iki dönemde çevresel kaliteyi pozitif yönde ve güçlü biçimde desteklemektedir. Temiz enerji kaynaklarının kullanımı, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada en etkili faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Doğal kaynak kiralari’nin çevresel kalite üzerindeki etkisi ise bu modelde de istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur.

Makro düzeyde gerçekleştirilen analizlerden elde edilen bulgular birlikte değerlendirildiğinde, kişi başına düşen gelir ile çevresel kalite arasında karşılıklı bir etkileşim ilişkisi bulunduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, ekonomik faaliyetlerin yoğunlaşmasının çevresel baskıyı artırabildiğini ve ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasında ters yönlü bir ilişkinin ortaya çıkabildiğini göstermektedir. Bu bulgu, ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi inceleyen literatürdeki birçok çalışmayla uyumludur (Agyemang vd., 2024; Fakher vd., 2023; Grossman ve Krueger, 1995; Pata vd., 2024; Shahbaz vd., 2015; Stern, 2004). Bununla birlikte çevresel kalite göstergesinin kişi başına gelir üzerinde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, çevresel baskıların arttığı veya çevresel sınırlamaların sıkılaştığı dönemlerde ekonomik faaliyetlerin ve üretim kapasitesinin uzun

dönemde baskı altına girebildiğini göstermektedir. Çevresel bozulmanın ekonomik performans üzerinde maliyet oluşturabileceğine ilişkin bu sonuç, çevresel sürdürülebilirliğin ekonomik büyüme üzerindeki rolünü vurgulayan literatürle de örtüşmektedir (Abdouli & Hammami, 2017; Razzaq, 2021).

Analiz sonuçları ayrıca atık geri dönüşüm oranlarının ekonomik performansı ve çevresel kaliteyi destekleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Geri dönüşüm faaliyetlerinin hammadde ve enerji tasarrufu sağlayarak üretim süreçlerinde kaynak verimliliğini artırdığı ve çevresel baskıyı azalttığı yönündeki bu bulgu, döngüsel ekonomi ve kaynak verimliliği literatüründeki çalışmalarla uyumludur (Apaydın, 2020; Ghisellini vd., 2016; Quan vd., 2024; Razzaq vd., 2021; Magazzino vd., 2020). Yenilenebilir enerji tüketimine ilişkin bulgular ise bu değişkenin ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin zaman içerisinde farklılaşabileceğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji yatırımlarının başlangıç aşamasında yüksek kurulum maliyetleri nedeniyle ekonomik performans üzerinde kısa dönemli baskılar oluşturabildiği, ancak uzun dönemde enerji verimliliği, teknoloji gelişimi ve enerji güvenliği kanalları aracılığıyla ekonomik büyümeyi destekleyebildiği literatürde de vurgulanmaktadır (Caglar vd., 2024; Çelik vd., 2023; Doğan vd., 2016; Wang vd., 2022).

Doğal kaynak kiralalarına ilişkin elde edilen bulgular ise bu gelirlerin ekonomik performans üzerindeki etkisinin ülkelerin kurumsal yapısı ve kaynak yönetimi politikalarına bağlı olarak farklılaşabileceğini göstermektedir. Doğal kaynak gelirlerinin ekonomik büyümeyi destekleyebildiğini, ancak zayıf kurumsal yapılar altında çevresel sürdürülebilirlik ve uzun dönemli kalkınma üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabileceğini ortaya koyan çalışmalar bu bulgularla paralellik göstermektedir (Erdoğan, 2024; Gylfason ve Zoega, 2006; Hayat, 2018; Li vd., 2024). Bu çerçevede elde edilen bulgular, ekonomik büyüme ile çevresel kalite arasındaki ilişkinin tek yönlü bir nedensellikten ziyade karşılıklı ve dinamik bir etkileşim süreci içinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermekte; geri dönüşüm faaliyetlerinin artırılması, enerji portföyünün yeşil dönüşümünün hızlandırılması ve doğal kaynak gelirlerinin sürdürülebilir yönetimi gibi politika araçlarının ekonomik ve çevresel hedeflerin birlikte gerçekleştirilmesinde kritik rol oynayabileceğine işaret etmektedir.

Mikro düzeyde Türkiye'deki 30 büyükşehir belediyesinin performansını değerlendiren Stackelberg Temelli Ağ-VZA analizi, atık yönetimi sürecindeki verimsizliklerin kaynağını atık oluşumu (lider aşama) ve atık yönetimi (takipçi aşama) olarak ayırtmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Atık Oluşum Etkinliği (AOE) skorları incelenen büyükşehirlerin çoğunda 1'in üzerinde gerçekleşerek etkinsizliğe işaret etmektedir. Özellikle İstanbul, Ankara, İzmir gibi metropoller ile Antalya ve Muğla gibi turistik illerde yüksek çıkan skorlar, yoğun nüfus, tüketim alışkanlıkları ve mevsimsel nüfus hareketlerinin atık üretimini yapısal olarak artırdığını ve önleme politikalarının bu baskıyı karşılamada yetersiz kaldığını göstermektedir. Buna karşılık Şanlıurfa, Gaziantep, Samsun ve Trabzon gibi illerde AOE skorlarının 1'e yakın veya 1 düzeyinde gerçekleşmesi, atık oluşumunun görece daha dengeli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Yıllar itibarı ile illerde meydana gelen değişimi Ek 2'de yer alan grafikte gözlemlemek mümkündür. Adana, Balıkesir, Bursa, Kocaeli ve Muğla gibi birçok ilde AOE skorlarında genel bir düşüş gözlenmiştir. Ankara, Antalya, Aydın, Denizli, Ordu ve Samsun gibi bazı illerde ise önce azalan sonra artan bir etkinlik skoru mevcuttur. Bu durum, pandemi döneminde ekonomik faaliyetlerin yavaşlaması ve toplumsal hareketliliğin azalmasıyla atık oluşum baskısının geçici olarak zayıfladığını, buna karşılık pandemi sonrasında ekonomik ve sosyal faaliyetlerin yeniden ivme kazanmasıyla birlikte söz konusu baskının yeniden artış eğilimine girdiğini göstermektedir.

Buna karşılık, sürecin ikinci aşaması olan Atık Yönetim Etkinliği (AYE) skorları genel olarak olumlu bir tablo çizmektedir. Ankara, İstanbul, Kocaeli, Konya ve Samsun gibi illerde AYE skorları 1 düzeyinde veya 1'e çok yakın gerçekleşmiştir. Bu bulgu, Sıfır Atık Projesi kapsamında yapılan altyapı yatırımlarının ve eğitim faaliyetlerinin, belediyelerin atık toplama, taşıma ve geri kazanım süreçlerindeki operasyonel başarısını artırdığını kanıtlamaktadır. Bununla birlikte bazı illerde dönemler arasında AYE skorlarında dalgalanmalar (EK 3) yaşanmıştır. Özellikle Aydın, Konya, Mersin ve Sakarya gibi illerde 2018 yılında yüksek seyreden AYE skorlarının 2020 ve 2022 yıllarında gerilediği, Diyarbakır, Kahramanmaraş ve Van'da ise yükseldiği görülmektedir. Adana, Erzurum, İzmir ve Kayseri gibi illerde önce artan sonra azalan, Balıkesir, Bursa ve Manisa gibi illerde önce azalan sonra artan etkinlik düzeyleri mevcuttur. Bu durum, atık yönetimi etkinliğinin zamana ve dönemsel koşullara duyarlı bir yapı sergilediğini göstermektedir.

Genel Ağ Etkinliği (AVZA) bulguları, AYE'ndeki başarının atık oluşumu aşamasındaki etkinsizlikler tarafından sınırlandığını ortaya koymaktadır. Antalya, Gaziantep, Samsun, İstanbul, Ordu ve Samsun gibi birçok ilde yönetim aşaması (AYE) başarılı olsa dahi oluşum aşamasındaki (AOE) yüksek verimsizlik nedeniyle genel skorlar (AVZA) 1'in üzerinde kalmıştır. Bu durum, Türkiye'deki katı atık yönetiminde asıl sorunun atığı yönetmekten ziyade atık oluşumunu kaynağında önleyememekten kaynaklandığını net bir şekilde göstermektedir.

Türkiye'deki büyükşehir belediyelerinin atık yönetimi performansının aşamalı olarak değerlendirilmesi, verimsizliklerin ağırlıklı olarak atık oluşumu aşamasında yoğunlaştığını göstermiştir. Bu bulgu, politika önceliklerinin yalnızca atık yönetim altyapısını geliştirmeye değil aynı zamanda kaynağında atık azaltımına, tüketim davranışlarının dönüştürülmesine ve mevsimsel nüfus artışlarını dikkate alan esnek yönetim stratejilerinin geliştirilmesine de yönelmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Makro ve mikro düzeyde elde edilen ampirik bulgular birlikte değerlendirildiğinde, belediye katı atık geri dönüşümünün sürdürülebilir kalkınma açısından çok katmanlı bir politika alanı oluşturduğu görülmektedir. Makro düzeyde gerçekleştirilen panel veri analizleri, belediye katı atık geri dönüşüm oranlarının artmasının hem ekonomik büyüme göstergeleri hem de çevresel kalite üzerinde olumlu etkiler yarattığını ortaya koyarak geri dönüşüm faaliyetlerinin ekonomik sistem içerisinde kaynak verimliliğini artıran ve çevresel baskıları azaltan önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Buna karşılık mikro düzeyde Türkiye'deki büyükşehir belediyeleri üzerinde gerçekleştirilen ağ-VZA temelli etkinlik analizleri, atık yönetimi süreçlerinin özellikle atık oluşumu aşamasında önemli verimsizlikler içerdiğini ve geri dönüşüm potansiyelinin yerel düzeyde tam olarak değerlendirilemediğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, geri dönüşüm faaliyetlerinin makro ölçekte gözlenen olumlu ekonomik ve çevresel etkilerinin sürdürülebilir biçimde gerçekleştirilmesi için yerel yönetimlerin atık oluşumunu kaynağında azaltmaya yönelik politika araçlarını güçlendirmesi, kaynağında ayrıştırma sistemlerini yaygınlaştırması ve döngüsel ekonomi ilkelerini belediye düzeyinde daha etkin biçimde uygulaması gerektiği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla çalışma, geri dönüşümün sürdürülebilir kalkınmaya katkısının yalnızca ulusal veya küresel düzeydeki çevre ve ekonomi politikalarıyla değil, aynı zamanda yerel ölçekte etkin atık yönetimi uygulamalarıyla desteklendiğinde tam

anlamıyla ortaya çıkabileceğini göstermekte ve bu yönüyle makro politikalar ile mikro uygulamalar arasında tamamlayıcı bir ilişki bulunduğunu ortaya koymaktadır.



POLİTİKA ÇIKARIMLARI VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen ampirik bulgular, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada belediye katı atık yönetiminin ve döngüsel ekonomiye geçişin stratejik bir role sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Makro düzeyde 33 ülkeyi kapsayan panel veri analizleri ile mikro düzeyde Türkiye’deki 30 büyükşehir belediyesine yönelik etkinlik ölçümleri, mevcut “al-kullan-at” modelinin yalnızca çevresel açıdan değil aynı zamanda ekonomik verimlilik ve toplumsal refah açısından da sürdürülebilir olmadığını göstermektedir. Buna karşılık kaynak verimliliğini, geri kazanımı ve atık oluşumunun önlenmesini merkeze alan döngüsel ekonomi yaklaşımı; çevresel sürdürülebilirliği güçlendiren, ekonomik kaynak kullanımını daha verimli hale getiren ve toplumun farklı kesimlerini kapsayan yeni istihdam ve katılım alanları oluşturan bütüncül bir kalkınma perspektifi sunmaktadır. Bu çerçevede politika tasarımının yalnızca çevresel koruma ekseninde değil; ekonomik verimlilik, mali sürdürülebilirlik, yerel yönetim kapasitesi, toplumsal farkındalık ve sosyal kapsayıcılık boyutlarını birlikte dikkate alan bütüncül bir anlayışla ele alınması gerekmektedir. Böyle bir yaklaşım, sürdürülebilirliğin üç temel ayağı olan çevresel, ekonomik ve sosyal boyutların eş zamanlı olarak güçlendirilmesine olanak sağlayarak döngüsel ekonomi temelli dönüşümün daha kalıcı ve kapsayıcı biçimde hayata geçirilmesini mümkün kılacaktır.

Makro düzeydeki bulgular, kişi başına düşen gelir ile çevresel kalite arasında halen belirgin bir ödünleşim ilişkisi bulunduğunu, ancak geri dönüşüm oranlarındaki artışın bu olumsuz dengeyi tersine çevirme potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Geri dönüşümün hem geliri desteklediği hem de çevresel kaliteyi iyileştirdiği yönündeki bulgu, politika yapıcılarının atığı yalnızca bertaraf edilmesi gereken bir çıktı olarak değil, üretim süreçlerine yeniden kazandırılabilir stratejik bir ikincil hammadde kaynağı olarak değerlendirmesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu doğrultuda, bakir hammadde kullanımına kademeli çevresel vergiler uygulanması, geri dönüştürülmüş girdi kullanan üreticilere vergi indirimi, finansman kolaylığı ve kamu alımlarında öncelik tanınması uygun olacaktır. Ayrıca “Yeşil Üretim Sertifikası” benzeri uygulamalar aracılığıyla, döngüsel üretim pratiklerini benimseyen işletmelerin piyasada görünürlüğü ve rekabet gücü artırılmalıdır. Böylece atığın ekonomik sistem içinde yeniden değer kazandığı,

kaynak kullanımının daha rasyonel hale geldiği ve çevresel baskının azaltıldığı bir üretim yapısına geçiş mümkün olabilecektir.

Çalışmanın bir diğer önemli bulgusu, yenilenebilir enerjinin çevresel kalite üzerinde açık biçimde iyileştirici bir etki yarattığı, ancak kısa dönemde yüksek yatırım ve altyapı maliyetleri nedeniyle gelir üzerinde baskı oluşturabildiğidir. Buna karşılık uzun dönemli bulgular, bu geçiş maliyetlerinin zamanla telafi edildiğini ve yenilenebilir enerji yatırımlarının ekonomik performansı destekleyen bir yapıya dönüştüğünü göstermektedir. Bu nedenle politika yapıcıların geçiş sürecinin kısa vadeli maliyetlerini azaltacak finansal araçları devreye sokmaları gerekmektedir. Özellikle yeşil tahviller, düşük faizli çevre kredileri, belediyelere yönelik uzun vadeli yatırım finansmanı ve kamu-özel sektör iş birliği modelleri bu süreçte önemli işlev görebilir. Belediyelerin atıktan enerji üretimi tesislerine yönlendirilmesi, biyogaz ve biyokütle yatırımlarının yenilenebilir enerji destekleme mekanizmaları kapsamına alınması ve enerji depolama ile şebeke entegrasyonu yatırımlarının eşzamanlı biçimde desteklenmesi, yerel yönetimlerin hem atık bertaraf maliyetlerini azaltmalarına hem de yeni gelir kanalları oluşturmalarına katkı sağlayacaktır. Bunun yanı sıra yerli teknoloji üretiminin ve teknik uzmanlık kapasitesinin artırılması, yenilenebilir enerjiye dayalı dönüşümün dışa bağımlılık oluşturmaktan ilerleyebilmesi bakımından kritik önem taşımaktadır.

Doğal kaynak kiralarna ilişkin bulgular ise, bu gelirlerin kısa vadede kişi başına düşen geliri artırabilmesine rağmen çevresel kalite üzerinde çoğu durumda olumsuz veya belirsiz etkiler yarattığını göstermektedir. Bu bulgu, kaynak rantlarının yönetim biçiminin sürdürülebilir kalkınma açısından belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Doğal kaynak gelirlerinin tüketim ağırlıklı kısa vadeli harcamalara yönlendirilmesi, uzun dönemli çevresel ve ekonomik maliyetleri artırabilmektedir. Bu nedenle söz konusu gelirlerin temiz teknoloji yatırımlarına, atık azaltımına yönelik altyapıya, çevre dostu üretim süreçlerine ve ekonomik çeşitlenmeyi güçlendiren alanlara tahsis edilmesi daha rasyonel olacaktır. Başka bir ifadeyle, kaynak rantları cari dengeyi geçici olarak rahatlatan bir mali araç olmaktan çıkarılmalı; döngüsel ekonomi temelli dönüşümün finansmanında kullanılan stratejik bir kalkınma bileşeni haline getirilmelidir.

Mikro düzeyde Türkiye'deki 30 büyükşehir belediyesi üzerinde yapılan analizler, atık yönetimindeki temel sorunun atıkların toplanması ve bertaraf edilmesinden ziyade

atık oluşumunun kaynağında önlenememesi olduğunu göstermektedir. Belediyelerin yönetim aşamasındaki görece başarısına rağmen genel etkinliğin düşük kalması, mevcut yerel yönetim anlayışında önemli bir paradigma değişimini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda belediyeler, yalnızca ortaya çıkan atığı toplayan ve bertaraf eden kurumlar olmaktan çıkarak, atığın oluşumunu azaltan, kaynağında ayrıştırmayı yöneten ve döngüsel akışları koordine eden yerel dönüşüm aktörlerine dönüştürülmelidir. Bu kapsamda özellikle atık oluşumunun yoğun olduğu metropollerde “Kirlenen Öder” ilkesi doğrultusunda kademeli tarife sistemleri, değişken ücretlendirme modelleri ve “Kullandığın Kadar Öde” yaklaşımı devreye alınmalıdır. Aynı şekilde, üreticilerin ürünlerinin yaşam döngüsü sonrasındaki atık yükünden sorumlu tutulduğu genişletilmiş üretici sorumluluğu uygulamalarının yerel yönetimlerle daha entegre ve yaptırım gücü yüksek biçimde uygulanması gerekmektedir.

Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus, politika setinin yalnızca geri dönüşümü artırmaya odaklanmasının yeterli olmayacağıdır. Çalışmanın bulguları, verimsizliğin esas olarak atık oluşumu aşamasında yoğunlaştığını gösterdiği için, politika önceliği atığın son aşamada nasıl işlendiğinden önce, ilk aşamada nasıl azaltılacağına yönelmelidir. Bu nedenle önleyici politika araçlarının daha görünür hale getirilmesi gerekmektedir. Örneğin büyük ölçekli perakende zincirlerinde yeniden doldurulabilir ambalaj sistemlerinin yaygınlaştırılması, gıda israfını azaltmak amacıyla belediyeler, perakende işletmeleri ve sosyal yardım kuruluşları arasında dijital eşleştirme mekanizmalarının kurulması, tamir–bakım–yeniden kullanım atölyelerinin yerel hibelerle desteklenmesi ve belediye satın almalarında dayanıklılık, onarılabirlik ve yeniden kullanım kriterlerinin ihale süreçlerine dahil edilmesi bu kapsamda değerlendirilebilir. Böylece atık yönetimi politikası yalnızca çıktı yönetimine değil, üretim ve tüketim kalıplarının yeniden düzenlenmesine dayalı bir dönüşüm stratejisine dönüşecektir.

Analiz sonuçları ayrıca, turistik ve metropol illerin atık oluşum karakteristiğinin farklılaştığını ve mevsimsel nüfus hareketlerinin verimliliği azaltabildiğini göstermektedir. Bu durum, tüm belediyeler için standart ve tek tip bir yönetim modelinin yeterli olmadığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle yerel dinamiklere göre farklılaştırılmış politika paketleri geliştirilmelidir. Turizm yoğunluğu yüksek bölgelerde, yaz sezonunda artan nüfus ve tüketim baskısını dikkate alan esnek atık yönetim planları hazırlanmalı;

konaklama tesisleri, yeme-içme işletmeleri ve turizm zincirindeki diğer aktörler için sıfır atık uygulamaları daha sıkı biçimde denetlenmeli ve sertifikasyon süreçleri performans kriterlerine bağlanmalıdır. Nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu büyükşehirlerde ise akıllı konteyner sistemleri, doluluk sensörleri, rota optimizasyon yazılımları ve yapay zekâ destekli toplama planlaması yaygınlaştırılarak maliyet etkinliği artırılmalıdır. Sanayi yoğun kentlerde ise belediye-sanayi iş birliği temelinde ikincil hammadde eşleştirme platformları ve endüstriyel simbiyoz mekanizmaları geliştirilerek atığın yerel ölçekte yeniden üretim sürecine dahil edilmesi sağlanmalıdır.

Bununla birlikte, teknik altyapı yatırımları tek başına yeterli değildir. Atık yönetimi etkinlik skorlarının teknik başarıya işaret etmesine rağmen genel ağ etkinliğinin istenen düzeye ulaşamaması, toplumsal davranış dönüşümünün ve kurumsal koordinasyonun en az fiziksel altyapı kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle Sıfır Atık yaklaşımının yeni evresi, yalnızca belediye hizmetlerinin iyileştirilmesine değil, aynı zamanda toplumsal kabulün ve gündelik pratiklerin dönüştürülmesine odaklanmalıdır. Milli Eğitim Bakanlığı koordinasyonunda okul öncesi eğitim döneminden başlanarak çevre bilinci, kaynak verimliliği ve atık ayrıştırma davranışı uygulamalı biçimde müfredatın bir parçası haline getirilmelidir. Ancak bu eğitim ayağı sadece örgün eğitim kurumlarıyla sınırlı kalmamalı; hane halkı, apartman/site yönetimleri, işyerleri, perakende noktaları ve hizmet sektörü de bu sürecin aktif bileşenleri haline getirilmelidir. Böylece sıfır atık kültürü, münferit farkındalık kampanyalarının ötesine geçerek yaşam tarzına dönüşen bir toplumsal norm niteliği kazanacaktır.

Bu çerçevede davranışsal kamu politikası araçlarının daha etkin kullanılması önem arz etmektedir. Tüketim alışkanlıklarını değiştirmeye yönelik kamu spotları ve teşvik edici kampanyalar yararlı olmakla birlikte, bunların tek başına kalıcı sonuç üretmesi sınırlı olabilir. Bunun yerine, bireylerin çevre dostu davranışı en kolay ve en düşük maliyetli seçenek olarak benimsemesini sağlayan “davranışsal tasarım” uygulamalarına ihtiyaç vardır. Mahalle bazlı ayrıştırma performans panoları, apartman ve site yönetimleri için geri dönüşüm skorları, toplu konut alanlarında karşılaştırmalı çevresel performans duyuruları ve varsayılan olarak ayrıştırmayı teşvik eden fiziksel yerleşim tasarımları bu kapsamda değerlendirilebilir. Böylece atık ayrıştırma yalnızca

bireysel çevre duyarlılığına bırakılmayan, sosyal normlarla güçlendirilmiş bir kent pratiğine dönüşebilecektir.

Buna ek olarak, depozito iade sistemlerinin etkin kullanımı, hane halkı düzeyinde ödüllendirme mekanizmaları ve mikro teşvik uygulamaları daha sistematik bir çerçeveye kavuşturulmalıdır. Atığını kaynağında ayrıştıran hanelere vergi indirimi, su ve elektrik faturası indirimi, ulaşım kredisi veya yerel sosyal destek programlarında öncelik gibi ödüllendirme mekanizmaları uygulanabilir. Ancak bu tür teşviklerin sürdürülebilir olabilmesi için ölçüm, doğrulama ve veri entegrasyonu altyapısının güçlü kurulması gerekmektedir. Bu noktada merkezi ve yerel yönetimlerin ortak veri tabanı üzerinden çalışan, ölçülebilir ve denetlenebilir bir teşvik modeli oluşturması yerinde olacaktır. Böylelikle teknik yatırımların toplumsal karşılığı artırılabilir ve bireylerin sisteme gönüllü katılımı daha yüksek düzeyde sağlanabilecektir.

Politika etkinliğinin kalıcı hale gelebilmesi için çok düzeyli yönetim mekanizmalarının da güçlendirilmesi gerekmektedir. Merkezi yönetim, büyükşehir belediyeleri, ilçe belediyeleri, eğitim kurumları, özel sektör temsilcileri ve sivil toplum kuruluşları arasında veri paylaşımı, görev tanımı ve performans sorumluluğu açık biçimde tanımlanmış bir koordinasyon yapısı kurulmalıdır. Bu kapsamda belediyeler için kişi başına atık oluşumu, kaynağında ayrı toplama oranı, organik atık ayrıştırma oranı, sıfır atık eğitimi erişim düzeyi ve geri kazanım performansı gibi göstergeleri içeren bir “Kentsel Döngüsellik Karne Sistemi” oluşturulabilir. Böyle bir sistem, belediyelerin yalnızca hizmet sunum kapasitelerini değil aynı zamanda önleyici ve dönüştürücü politika performanslarını da görünür kılacaktır. Bu göstergelerin bir bölümünün merkezi bütçeden yapılacak çevre temelli transferlerle ilişkilendirilmesi, belediyelerin sonuç odaklı davranmasını teşvik edebilir.

Nihayetinde, çalışmada ulaşılan ekonometrik ve teknik bulgular, döngüsel ekonomiye geçişin yalnızca çevresel bir tercih değil aynı zamanda ekonomik verimliliği, yerel mali sürdürülebilirliği ve toplumsal refahı birlikte güçlendiren stratejik bir kalkınma modeli olduğunu göstermektedir. Bu modelin başarıya ulaşması, teknik altyapı yatırımlarının davranışsal dönüşüm, kurumsal koordinasyon, farklılaştırılmış yerel stratejiler ve performans bazlı teşvik mekanizmalarıyla desteklenmesine bağlıdır. Eğitim yoluyla erken yaşta şekillenen çevresel bilinç, mikro düzeyde ekonomik teşviklerle

güçlendirilen ayrıştırma davranışı, yerel düzeyde veri temelli yönetim ve üretim-tüketim zincirinin tamamını kapsayan döngüsel düzenlemeler birlikte işletildiğinde, çalışmada ortaya konulan geri dönüşüm-gelir-çevresel kalite ilişkisi daha güçlü ve uygulanabilir bir politika sonucuna dönüşecektir. Böylelikle daha dirençli, daha verimli ve daha kapsayıcı kentlerin inşası yönünde somut bir kurumsal zemin oluşturulabilecektir.



KAYNAKÇA

- Abbas, Q., Imran, M., & Sattar, A. (2025). From linear to circular: The impact of economic policies and technological innovations on greenhouse gas emissions in the Netherlands. *Carbon Balance and Management*, 20(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s13021-025-00297-1>
- Abdouli, M., & Hammami, S. (2017). The impact of FDI inflows and environmental quality on economic growth: An empirical study for the MENA countries. *Journal of the Knowledge Economy*, 8(1), 254–278.
- Abubakar, I. R., Maniruzzaman, K. M., Dano, U. L., AlShihri, F. S., AlShammari, M. S., Ahmed, S. M. S., ... & Alrawaf, T. I. (2022). Environmental sustainability impacts of solid waste management practices in the global south. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12717. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912717>
- Acheampong, A. O., & Opoku, E. E. O. (2023). Environmental degradation and economic growth: Investigating linkages and potential pathways. *Energy Economics*, 123, 106734. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106734>
- Achuo, E. D., Miamo, C. W., & Nchofoung, T. N. (2022). Energy consumption and environmental sustainability: What lessons for posterity? *Energy Reports*, 8, 12491–12502. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.033>
- Afolabi, J. A. (2023). Natural resource rent and environmental quality nexus in Sub-Saharan Africa: Assessing the role of regulatory quality. *Resources Policy*, 82, 103488. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103488>
- Agyemang, E. T., Agyare, F. Y., & Ofori, K. (2025). Does the United Kingdom's focus on climate technologies, municipal waste treatment, and economic development align with its 2030 nationally determined contributions (NDCs)? *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 9(1), 330–352. <https://doi.org/10.47772/IJRIS.2025.9010031>
- Ahmed, F., Kousar, S., Pervaiz, A., Trinidad-Segovia, J. E., del Pilar Casado-Belmonte, M., & Ahmed, W. (2022). Role of green innovation, trade and energy to promote

- green economic growth: A case of South Asian nations. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(5), 6871–6885. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15881-4>
- Aiguobarueghian, I., Adanma, U. M., Ogunbiyi, E. O., & Solomon, N. O. (2024). Waste management and circular economy: A review of sustainable practices and economic benefits. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 22(2), 1708–1719.
- Ajeigbe, K. B., & Ganda, F. (2024). The impact of pollution and carbon emission control on financial development, environmental quality, and economic growth: A global analysis. *Sustainability*, 16(20), 8748. <https://doi.org/10.3390/su16208748>
- Andersen, P., & Petersen, N. C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science*, 39(10), 1261–1264. <https://doi.org/10.1287/mnsc.39.10.1261>
- Androniceanu, A., & Georgescu, I. (2023). The impact of CO₂ emissions and energy consumption on economic growth: A panel data analysis. *Energies*, 16(3), 1342. <https://doi.org/10.3390/en16031342>
- Angelakis, A. N., Capodaglio, A. G., & Dialynas, E. G. (2022). Wastewater management: From ancient Greece to modern times and future. *Water*, 15(1), 43. <https://doi.org/10.3390/w15010043>
- Apaydın, Ş. (2020). OECD ülkelerinde atık yönetimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: Bir panel kantil regresyon yaklaşımı. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 55(1), 300–312. <https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.20.02.1288>
- Arbulú, I., Lozano, J., & Rey-Maqueira, J. (2015). Tourism and solid waste generation in Europe: A panel data assessment of the environmental Kuznets curve. *Waste Management*, 46, 628–636. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.014>
- Arena, U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification: A review. *Waste Management*, 32(4), 625–639. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.025>

- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S., ... & Pimentel, D. (1995). Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics*, 15(2), 91–95. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00059-3](https://doi.org/10.1016/0921-8009(95)00059-3)
- Aydın, S., & Tufan, F. (2018). Sürdürülebilirlik ve yeşil kavramları bağlamında Y kuşağının satın alma davranışları. *Selçuk İletişim*, 11(2), 397–420. <https://doi.org/10.18094/josc.377009>
- Ayturan, Z. C., Dinçbaş, T., & Hasar, H. (2025). Türkiye'nin iklim politikaları ve döngüsel ekonomi. *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*, 4(7), 12–29. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/4929584>
- Azwardi, A., Imago, A. M., & Wijaya, W. A. (2023). The concept of waste management on economic development in the European Union. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(1), 1–6. <https://doi.org/10.32479/ijeep.13667>
- Baloch, Q. B., Shah, S. N., Iqbal, N., Sheeraz, M., Asadullah, M., Mahar, S., & Khan, A. U. (2023). Impact of tourism development upon environmental sustainability: A suggested framework for sustainable ecotourism. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 5917–5930. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22496-w>
- Baltagi, B. H. (2021). Introduction. In B. H. Baltagi, *Econometric analysis of panel data* (Springer texts in business and economics). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53953-5_1
- Banerjee, A., Marcellino, M., & Osbat, C. (2005). Testing for PPP: Should we use panel methods? *Empirical Economics*, 30(1), 77–91. <https://doi.org/10.1007/s00181-004-0222-8>
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078–1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Barbier, E. B. (2010). *A global green new deal: Rethinking the economic recovery*. Cambridge University Press.

- Barford, A., & Ahmad, S. R. (2021). A call for a socially restorative circular economy: Waste pickers in the recycled plastics supply chain. *Circular Economy and Sustainability*, 1(2), 761–782. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00056-7>
- Barlin, D. (2025). Türkiye'nin ikiz dönüşüm hazırlığı. *Anahtar Dergisi*, 433, 20–23. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Bassi, S. A., Christensen, T. H., & Damgaard, A. (2017). Environmental performance of household waste management in Europe: An example of 7 countries. *Waste Management*, 69, 545–557. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.042>
- Baud, I. S. A., Grafakos, S., Hordijk, M., & Post, J. (2001). Quality of life and alliances in solid waste management: Contributions to urban sustainable development. *Cities*, 18(1), 3–12. [https://doi.org/10.1016/S0264-2751\(00\)00049-4](https://doi.org/10.1016/S0264-2751(00)00049-4)
- Bayar, Y., Gavriltea, M. D., Sauer, S., & Paun, D. (2021). Impact of municipal waste recycling and renewable energy consumption on CO₂ emissions across the European Union (EU) member countries. *Sustainability*, 13(2), 656. <https://doi.org/10.3390/su13020656>
- Berg, A., Antikainen, R., Hartikainen, E., Kauppi, S., Kautto, P., Lazarevic, D., ... & Saikku, L. (2018). *Circular economy for sustainable development*. Reports of the Finnish Environment Institute (No. 26).
- Bilgili, M. Y. (2017). Ekonomik, ekolojik ve sosyal boyutlarıyla sürdürülebilir kalkınma. *Journal of International Social Research*, 10(49), 559–569 .
- Bilgili, M. Y. (2020). Katı atık yönetiminde kullanılan bazı kavramlar ve açıklamaları. *Avrasya Terim Dergisi*, 8(2), 88–97. <https://doi.org/10.31451/ejatd.773288>
- Bina, O. (2013). The green economy and sustainable development: An uneasy balance? *Environment and Planning C: Government and Policy*, 31(6), 1023–1047. <https://doi.org/10.1068/c13>
- Bosch Roca, N., Pedraja, F., & Suárez Pandiello, J. (2001). The efficiency of refuse collection services in Spanish municipalities: Do non-controllable variables matter? *IEB Working Paper*, 2001/04. <https://hdl.handle.net/2445/120205>

- Bosch, N., Pedraja, F., & Suárez-Pandiello, J. (2000). Measuring the efficiency of Spanish municipal refuse collection services. *Local Government Studies*, 26(3), 71–90. <https://doi.org/10.1080/03003930008434000>
- Boubellouta, B., & Kusch-Brandt, S. (2020). Testing the environmental Kuznets curve hypothesis for e-waste in the EU28+2 countries. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123371. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123371>
- Bozlağan, R. (2005). Sürdürülebilir gelişme düşüncesinin tarihsel arka planı. *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi*, 50, 1011–1028.
- Brennen, J. S., & Kreiss, D. (2016). Digitalization. In *The international encyclopedia of communication theory and philosophy* (pp. 1–11). <https://doi.org/10.1002/9781118766804.wbiect111>
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *Review of Economic Studies*, 47(1), 239–253. <https://doi.org/10.2307/2297111>
- Buer, S. V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924–2940. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442945>
- Caglar, A. E., Gökçe, N., & Şahin, F. (2024). Sustaining environment through municipal solid waste: Evidence from European Union economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(4), 6040–6053. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31494-5>
- Campello, M., Galvao, A. F., & Juhl, T. (2019). Testing for slope heterogeneity bias in panel data models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 37(4), 749–760. <https://doi.org/10.1080/07350015.2017.1421545>
- Cannon, C. E. (2021). Intersectional and entangled risks: An empirical analysis of disasters and landfills. *Frontiers in Climate*, 3, 709439. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.709439>
- CASEM. (2024). *Yeşil taksonomi*. Erişim tarihi: 26 Şubat 2026, <https://www.casem.com.tr/yesil-taksonomi/>

- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Chen, Y. C. (2018). Effects of urbanization on municipal solid waste composition. *Waste Management*, 79, 828–836. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.017>
- Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S. (2009). Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 34(12), 2116–2123.
- Chudik, A., & Pesaran, M. H. (2015). Common correlated effects estimation of heterogeneous dynamic panel data models with weakly exogenous regressors. *Journal of Econometrics*, 188(2), 393–420. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2015.03.007>
- Cole, M. A., Rayner, A. J., & Bates, J. M. (1997). The environmental Kuznets curve: An empirical analysis. *Environment and Development Economics*, 2(4), 401–416. <https://doi.org/10.1017/S1355770X97000211>
- Collectors Weekly. (2013). When New Yorkers lived knee deep in trash. Erişim tarihi: 25 Mart 2025, <https://www.collectorsweekly.com/articles/when-new-yorkers-lived-knee-deep-in-trash/>
- Connett, P. (2013). *The zero waste solution: Untrashing the planet one community at a time*. Chelsea Green Publishing.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Introduction to data envelopment analysis and its uses: With DEA-solver software and references*. Springer.
- Correa-Mejía, D. A., García-Benau, M. A., & Correa-García, J. A. (2024). The critical role of corporate governance in sustainable development goals prioritisation: A 5 Ps-based analysis for emerging economies. *Heliyon*, 10(3), e25480. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25480>
- Council of the European Communities. (1975). Council Directive 75/442/EEC of 15 July 1975 on waste. *Official Journal of the European Communities*, L 194, 39–41.

- Council of the European Union. (1999). Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. *Official Journal of the European Communities, L 182*, 1–19.
- Craig, L., Brook, J. R., Chiotti, Q., Croes, B., Gower, S., Hedley, A., ... & Williams, M. (2008). Air pollution and public health: A guidance document for risk managers. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 71(9–10), 588–698. <https://doi.org/10.1080/15287390801997732>
- Çalışkan Ercan, S., & Kara, E. (2025). Sokak atık toplayıcılarının kooperatifçilik ilke ve değerleriyle örgütlenmesi: Şişli Belediyesi çevreci atık toplayıcılar işletme kooperatifi örneği. *Disiplinlerarası Yenilik Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 126–141. <https://doi.org/10.56723/dyad.1648733>
- Çelik, B., Barak, D., & Koçak, E. (2023). An empirical investigation of waste management and ecological footprints in OECD countries. In *Environmental assessment of recycled waste* (pp. 43–66). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8323-8_4
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2025a). *Küresel çevre hareketi sıfır atık 8 yaşında*. Erişim tarihi: 25 Şubat 2026, <https://csb.gov.tr/haberler/kuresel-cevre-hareketi-sifir-atik-8-yasinda-302279>
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2025b). *Ulusal atık yönetimi stratejisi ve planı ile 2035'e kadar atık yönetiminde yeni dönem*. Erişim tarihi: 25 Şubat 2026, <https://cygm.csb.gov.tr/ulusal-atik-yonetimi-stratejisi-ve-plani-ile-2035-e-kadar-atik-yonetiminde-yeni-donem-duyuru-466099>
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2025c). *2025–2028 ulusal döngüsel ekonomi stratejisi ve eylem planı yürürlüğe girdi*. Erişim tarihi: 25 Şubat 2026, <https://cygm.csb.gov.tr/haberler/2025-2028-ulusal-dongusel-ekonomi-stratejisi-ve-eylem-plani-yururluge-girdi-296346>
- Dabija, D., & Năstase, C. (2024, July). Exploring the evolution of sustainability paradigms: From linear to circular economy models. In *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, 18(1), 754–769. Sciendo. <https://doi.org/10.2478/picbe-2024-0066>

- Daly, H. E. (1997). *Beyond growth: The economics of sustainable development*. Beacon Press.
- Das, S. K., Green, J. A. S., & Kaufman, J. G. (2010). Aluminum recycling: Economic and environmental benefits. *Light Metal Age*, 68(1), 22–42. https://www.phinix.net/s/Aluminum-Recycling_-Economic-and-Environmental-Phinix-LLC.pdf
- Das, S., Lee, S. H., Kumar, P., Kim, K. H., Lee, S. S., & Bhattacharya, S. S. (2019). Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 228, 658–678. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.323>
- Daskalopoulos, E., Badr, O., & Probert, S. D. (1997). Economic and environmental evaluations of waste treatment and disposal technologies for municipal solid waste. *Applied Energy*, 58(4), 209–255.
- De Vos, I., & Everaert, G. (2021). Bias-corrected common correlated effects pooled estimation in dynamic panels. *Journal of Business & Economic Statistics*, 39(1), 294–306. <https://doi.org/10.1080/07350015.2019.1654879>
- De Vries, B. J. (2023). *Sustainability science*. Cambridge University Press.
- De-la-Torre, G. E. (2020). Microplastics: An emerging threat to food security and human health. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 1601–1608. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04138-1>
- Demirbaş, A. (2011). Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1280–1287. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.09.025>
- Dermatas, D. (2017). Waste management and research and the sustainable development goals: Focus on soil and groundwater pollution. *Waste Management & Research*, 35(5), 453–455. <https://doi.org/10.1177/0734242X17706474>
- Devlet Planlama Teşkilatı. (1963). *Birinci beş yıllık kalkınma planı (1963–1967)*. T.C. Başbakanlık. <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>
- Devlet Planlama Teşkilatı. (1967). *İkinci beş yıllık kalkınma planı (1968–1972)*. T.C. Başbakanlık. <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>

- Devlet Planlama Teşkilatı. (1972). *Üçüncü beş yıllık kalkınma planı (1973–1977)*. T.C. Başbakanlık. <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>
- Devlet Planlama Teşkilatı. (1978). *Dördüncü beş yıllık kalkınma planı (1979–1983)*. T.C. Başbakanlık. <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>
- Devlet Planlama Teşkilatı. (1984). *Beşinci beş yıllık kalkınma planı (1985–1989)*. T.C. Başbakanlık. <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>
- Devlet Planlama Teşkilatı. (1989). *Altıncı beş yıllık kalkınma planı (1990–1994)*. T.C. Başbakanlık. <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>
- Devlet Planlama Teşkilatı. (1995). *Yedinci beş yıllık kalkınma planı (1996–2000)*. T.C. Başbakanlık. <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>
- Devlet Planlama Teşkilatı. (2000). *Uzun vadeli strateji ve sekizinci beş yıllık kalkınma planı (2001–2005)*. T.C. Başbakanlık. <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>
- Devlet Planlama Teşkilatı. (2006). *Dokuzuncu kalkınma planı (2007–2013)*. T.C. Başbakanlık. <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>
- Diamond, E. A. (2024). Effect of solid waste landfilling on the environment. *Research Invention Journal of Scientific and Experimental Sciences (RIJSES)*, 3(2), 135–139.
- Dileep, M. R. (2007). Tourism and waste management: A review of implementation of “zero waste” at Kovalam. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 12(4), 377–392. <https://doi.org/10.1080/10941660701823314>
- Ditzen, J. (2021). Estimating long-run effects and the exponent of cross-sectional dependence: An update to xtdcce2. *The Stata Journal*, 21(3), 687–707. <https://doi.org/10.1177/1536867X211045560>
- Dodds, R., & Joppe, M. (2005). *CSR in the tourism industry? The status of and potential for certification, codes of conduct and guidelines*. IFC.
- Dogan, E., Altinoz, B., Madaleno, M., & Taskin, D. (2020). The impact of renewable energy consumption on economic growth: A replication and extension study. *Energy Economics*, 90, 104866.

- Doğanay, M. A., & Değer, M. K. (2020). Kurumlar ve ekonomik büyüme: Panel veri analizi (2002–2018). *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(19), 75–99. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sbed/article/718977>
- Dong, J., Chi, Y., Zou, D., Fu, C., Huang, Q., & Ni, M. (2014). Energy–environment–economy assessment of waste management systems from a life cycle perspective: Model development and case study. *Applied Energy*, 114, 400–408. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.037>
- Doussoulin, J. P., & Colther, C. (2022). Evaluating the efficiency of municipal solid waste collection services in developing countries: The case of Chile. *Sustainability*, 14(23), 15887. <https://doi.org/10.3390/su142315887>
- Doyle, D. H. (2021). A short guide to the EU’s taxonomy regulation. *S&P Global*. Erişim tarihi: 5 Şubat 2026, <https://www.spglobal.com/sustainable/en/insights/a-short-guide-to-the-eu-s-taxonomy-regulation>
- Eberhardt, M., & Bond, S. (2009). *Cross-section dependence in nonstationary panel models: A novel estimator* (MPRA Paper No. 17870). MPRA <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/17870>
- Eberhardt, M., & Teal, F. (2010). *Productivity analysis in global manufacturing production*. Department of Economics, University of Oxford. <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:ea831625-9014-40ec-abc5-516ecfbd2118>
- Eisenmenger, N., Pichler, M., Krenmayr, N., Noll, D., Plank, B., Schalmann, E., ... & Gingrich, S. (2020). The sustainable development goals prioritize economic growth over sustainable resource use: A critical reflection on the SDGs from a socio-ecological perspective. *Sustainability Science*, 15(4), 1101–1110. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00813-x>
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *The circular economy in detail (deep dive)*. Ellen MacArthur Foundation. Erişim tarihi: 1 Ağustos 2025, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-circular-economy-in-detail-deep-dive>

- Elsheekh, K. M., Kamel, R. R., Elsherif, D. M., & Shalaby, A. M. (2021). Achieving sustainable development goals from the perspective of solid waste management plans. *Journal of Engineering and Applied Science*, 68, 1–15. <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00009-9>
- Enders, J. C., & Remig, M. (2014). Theories of sustainable development: An introduction. In *Theories of sustainable development* (pp. 1–5). Routledge.
- Environmental Protection Agency. (2005b). Source reduction (also known as waste prevention). In *Non-hazardous materials and waste management hierarchy*. Erişim tarihi: 6 Eylül 2025, <https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-non-hazardous-materials-and-waste-management-hierarchy>
- Environmental Protection Agency. (2025a). *Energy recovery from the combustion of municipal solid waste*. Erişim tarihi: 1 Şubat 2026, <https://www.epa.gov/smm/energy-recovery-combustion-municipal-solid-waste-msw>
- Erdoğan, S. (2024). On the impact of natural resources on environmental sustainability in African countries: A comparative approach based on the EKC and LCC hypotheses. *Resources Policy*, 88, 104492. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104492>
- Estes, R. J. (1993). Toward sustainable development: From theory to praxis. *Social Development Issues*, 15(3), 1–29.
- European Commission. (2019). *The European Green Deal*. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- European Commission. (2020). *Circular economy action plan*. Erişim tarihi: 1 Ağustos 2025, https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en
- European Commission. (2024). *EU taxonomy for sustainable activities*. Erişim tarihi: 1 Şubat 2026, https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en

- European Heritage Hub. (2025). *Triple transformation for heritage: Green-digital-social*. Europa Nostra Heritage Hub Kraków. Erişim tarihi: 5 Haziran 2025, <https://heritagehubkrakow.org/project/triple-transformation-for-heritage-green-digital-social/>
- European Parliament and Council. (2003). Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Official Journal of the European Union*, L 37, 24–38.
- European Parliament and Council. (2008). Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain directives. *Official Journal of the European Union*, L 312, 3–30.
- European Parliament and Council. (2012). Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Official Journal of the European Union*, L 197, 38–71.
- Evin, H., & Özdemir, A. (2022). Büyükşehirlerin katı atık yönetimi etkinliğinin veri zarflama analizi kullanılarak ölçülmesi. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 42, 422–454. <https://doi.org/10.14520/adyusbd.1195544>
- Fan, J., Liao, Y., & Yao, J. (2015). Power enhancement in high-dimensional cross-sectional tests. *Econometrica*, 83(4), 1497–1541. <https://doi.org/10.3982/ECTA12749>
- Färe, R., & Grosskopf, S. (1996). *Intertemporal production frontiers: With dynamic DEA*. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600779>
- Färe, R., & Grosskopf, S. (2000). Network DEA. *Socio-Economic Planning Sciences*, 34(1), 35–49. [https://doi.org/10.1016/S0038-0121\(99\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0121(99)00012-9)
- Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263>

- Filatov, V. V., Zaitseva, N. A., Larionova, A. A., Rodina, E. E., Eroshenko, V. I., Vikhrova, N. O., & Takhumova, O. V. (2018). Socio-environmental aspects of the waste recycling organization. *EurAsian Journal of BioSciences*, 12(2).
- Gabor, M. R., Panait, M., Bacoş, I. B., Naghi, L. E., & Oltean, F. D. (2023). Circular tourism economy in the European Union between competitiveness, risk and sustainability. *Environmental Technology & Innovation*, 32, 103407. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103407>
- Gardiner, R., & Hajek, P. (2020). Municipal waste generation, R&D intensity, and economic growth nexus: A case of EU regions. *Waste Management*, 114, 124–135. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.038>
- Garza-Reyes, J. A. (2015). Lean and green: A systematic review of the state of the art literature. *Journal of Cleaner Production*, 102, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.064>
- Gedik, Y. (2020). Sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarla sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 3(3), 196–215.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy: A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Geng, Y., & Doberstein, B. (2008). Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving leapfrog development. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 15(3), 231–239. <https://doi.org/10.3843/SusDev.15.3:6>
- George, D. A., Lin, B. C. A., & Chen, Y. (2015). A circular economy model of economic growth. *Environmental Modelling & Software*, 73, 60–63. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.06.014>
- Gertsakis, J., & Lewis, H. (2003). *Sustainability and the waste management hierarchy*.
- Gharfalkar, M., Court, R., Campbell, C., Ali, Z., & Hillier, G. (2015). Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. *Waste Management*, 39, 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.007>

- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Ghosh, E., & Pearson, L. J. (2025). Rethinking economic foundations for sustainable development: A comprehensive assessment of six economic paradigms against the SDGs. *Sustainability*, 17(10), 4567. <https://doi.org/10.3390/su17104567>
- Giannakitsidou, O., Giannikos, I., & Chondrou, A. (2020). Ranking European countries on the basis of their environmental and circular economy performance: A DEA application in MSW. *Waste Management*, 109, 181–191. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.055>
- Giovanis, E. (2015). Relationship between recycling rate and air pollution: Waste management in the state of Massachusetts. *Waste Management*, 40, 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.006>
- Giusti, L. (2009). A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management*, 29(8), 2227–2239. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.03.028>
- Goodland, R. (1995). The concept of environmental sustainability. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 26, 1–24.
- Goswami, S., Adhikary, S., Bhattacharya, S., Agarwal, R., Ganguly, A., Nanda, S., & Rajak, P. (2024). The alarming link between environmental microplastics and health hazards with special emphasis on cancer. *Life Sciences*, 355, 122937. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2024.122937>
- Gönel, F. (2016). *Kalkınma ekonomisi*. Efil Yayınevi.
- Grazhdani, D. (2016). Assessing the variables affecting the rate of solid waste generation and recycling: An empirical analysis in Prespa Park. *Waste Management*, 48, 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.028>
- Gregson, N., & Crang, M. (2015). From waste to resource: The trade in wastes and global recycling economies. *Annual Review of Environment and Resources*, 40(1), 151–176. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021105>

- Guan, X. G., Ren, F. R., Fan, G., Zhang, Q. Q., & Wu, T. F. (2024). Dynamic evaluation and sensitivity analysis of China's industrial solid waste management efficiency based on ecological environment cycle perspective. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1462975. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1462975>
- Guloglu, B., Caglar, A. E., & Pata, U. K. (2023). Analyzing the determinants of the load capacity factor in OECD countries: Evidence from advanced quantile panel data methods. *Gondwana Research*, 118, 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.02.013>
- Gutberlet, J., & Uddin, S. M. N. (2017). Household waste and health risks affecting waste pickers and the environment in low- and middle-income countries. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 23(4), 299–310.
- Gül, M., & Yaman, K. (2021). Türkiye’de atık yönetimi ve sıfır atık projesinin değerlendirilmesi: Ankara örneği. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 35(4), 1267–1296. <https://doi.org/10.16951/atauniiibd.870434>
- Gylfason, T., & Zoega, G. (2006). Natural resources and economic growth: The role of investment. *World Economy*, 29(8), 1091–1115.
- Hall, D. (2010). *Waste management in Europe: Framework, trends and issues*. PSIRU, University of Greenwich.
- Hardi, P., & Zdan, T. (1997). *Assessing sustainable development: Principles in practice*. International Inst. for Sustainable Development, Winnipeg, MB (Canada)
- Harris, E., Zeyer, K., Kegel, R., Müller, B., Emmenegger, L., & Mohn, J. (2015). Nitrous oxide and methane emissions and nitrous oxide isotopic composition from waste incineration in Switzerland. *Waste Management*, 35, 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.016>
- Harris, J. M. (2000). Basic principles of sustainable development. In K. S. Bawa & R. Seidler (Eds.), *Dimensions of sustainable development* (Vol. 1, pp. 21–40). EOLSS Publishers.
- Hayat, A. (2018). FDI and economic growth: The role of natural resources? *Journal of Economic Studies*, 45(2), 283–295.

- Hediger, W. (2000). Sustainable development and social welfare. *Ecological Economics*, 32(3), 481–492. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00117-2](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00117-2)
- Hickel, J. (2019). The contradiction of the sustainable development goals: Growth versus ecology on a finite planet. *Sustainable Development*, 27(5), 873–884. <https://doi.org/10.1002/sd.1947>
- Holden, E., Linnerud, K., & Bøe, V. (2025). Sustainable development: Notions, numbers, and narratives. *Sustainable Development*, 33(2), 2812–2825. <https://doi.org/10.1002/sd.3261>
- Hwang, K. L., Choi, S. M., Kim, M. K., Heo, J. B., & Zoh, K. D. (2017). Emission of greenhouse gases from waste incineration in Korea. *Journal of Environmental Management*, 196, 710–718. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.071>
- Hysa, E., Kruja, A., Rehman, N. U., & Laurenti, R. (2020). Circular economy innovation and environmental sustainability impact on economic growth: An integrated model for sustainable development. *Sustainability*, 12(12), 4831. <https://doi.org/10.3390/su12124831>
- Interreg Europe. (2024). *Triple transition and corporate responsibility: A new framework for businesses*. Erişim tarihi: 6 Eylül 2024, <https://www.interregeurope.eu/policy-learning-platform/news/triple-transition-and-corporate-responsibility-a-new-framework-for-businesses>
- Jabbour, C. J. C., de Sousa Jabbour, A. B. L., Govindan, K., Teixeira, A. A., & de Souza Freitas, W. R. (2013). Environmental management and operational performance in automotive companies in Brazil: The role of human resource management and lean manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 47, 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.010>
- Jaligot, R., & Chenal, J. (2018). Decoupling municipal solid waste generation and economic growth in the canton of Vaud, Switzerland. *Resources, Conservation and Recycling*, 130, 260–266. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.014>
- Javadian Kootanaee, A., Babu, K. N., & Talari, H. (2013). Just-in-time manufacturing system: From introduction to implement. *International Journal of Economics, Business and Finance*, 1(2), 7–25. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2253243>

- Johnstone, N., & Labonne, J. (2004). Generation of household solid waste in OECD countries: An empirical analysis using macroeconomic data. *Land Economics*, 80(4), 529–538. <https://doi.org/10.2307/3655808>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, Acatech— National Academy of Science and Engineering, 678 p.
- Kaliaskarova, Z. K., Aliyeva, Z. N., Ikanova, A. S., & Negim, E. S. M. (2019). Soil pollution with heavy metals on the land of the Karasai landfill of municipal solid waste in Almaty city. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 6(438), 256–267.
- Kalkınma Bakanlığı. (2013). *Onuncu kalkınma planı (2014–2018)*. T.C. Başbakanlık. <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>
- Kao, C. (2014). Network data envelopment analysis: A review. *European Journal of Operational Research*, 239(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.02.039>
- Kao, C. (2023). *Network data envelopment analysis: Foundations and extensions* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-27593-7>
- Kara, H., & Babaoğlu, C. (2025). Döngüsel ekonomi yaklaşımının finansmanı ve Türkiye’de yerel yönetimlerde uygulanabilirliği. *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*, 7, 48–67. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/csid/issue/93019/1724888>
- Kartal, M. T., Gokceli, E., Yildirim, H. H., & Calis, N. (2025). A new approach to analyze determinants of environmental quality: Evidence from E7 countries by panel approaches. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 32(4), 428–445. <https://doi.org/10.1080/13504509.2025.2480605>
- Kaynak, M. (2011). *Kalkınma iktisadı* (5. baskı). Gazi Kitabevi.
- Keeble, B. R. (1988). The Brundtland report: Our common future. *Medicine and War*, 4(1), 17–25. <https://doi.org/10.1080/07488008808408783>

- Kellenberg, D., & Levinson, A. (2014). Waste of effort? International environmental agreements. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 1(1–2), 135–169.
- Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., & Dawson, L. (2011). The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*, 31(8), 1737–1744. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.03.021>
- Khan, A. H., López-Maldonado, E. A., Khan, N. A., Villarreal-Gómez, L. J., Munshi, F. M., Alsabhan, A. H., & Perveen, K. (2022). Current solid waste management strategies and energy recovery in developing countries: State-of-the-art review. *Chemosphere*, 291, 133088. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133088>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kirchherr, J., Yang, N. H. N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M. J., & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the circular economy (revisited): An analysis of 221 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 194, 107001. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001>
- Knable, D., de Quevedo Puente, E., Pérez-Cornejo, C., & Baumgärtler, T. (2022). The impact of the circular economy on sustainable development: A European panel data approach. *Sustainable Production and Consumption*, 34, 233–243. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.016>
- Koç, D., & Demirtaş, U. (2023). Sanayide yeşil dönüşüm ve finansmanı. *Anahtar Dergisi*, 413, 20–23. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Koç, T. A. (2023). Dijital Türkiye vizyonu: Çevik yönetim ve kapsayıcı iş birliği. *Anahtar Dergisi*, 410, 11–16. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular economy: The concept and its limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

- Koul, B., & Taak, P. (2018). Soil pollution: Causes and consequences. In *Biotechnological strategies for effective remediation of polluted soils* (pp. 1–37). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2420-8_1
- Kumar, M., & Prakash, V. (2020). A review on solid waste: Its impact on air and water quality. *Journal of Pollution Effects & Control*, 8(4), 1–3.
- Lansink, A. (1979). *Nota afvalstoffen [Waste memorandum]*. Dutch Parliament.
- Lazarevic, D., & Valve, H. (2017). Narrating expectations for the circular economy: Towards a common and contested European transition. *Energy Research & Social Science*, 31, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.05.006>
- Lee, S., Kim, J., & Chong, W. K. (2016). The causes of municipal solid waste and greenhouse gas emissions from the waste sector in the United States. *Waste Management*, 56, 593–599. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.022>
- Lemille, A. (2019). *For a true circular economy, we must redefine waste*. World Economic Forum. Erişim tarihi: 8 Nisan 2021, <https://www.weforum.org/agenda/2019/11/build-circular-economy-stop-recycling/>
- Li, R., Hu, S., & Wang, Q. (2024). Reexamining the impact of natural resource rent and corruption control on environmental quality: Evidence from carbon emissions and ecological footprint in 152 countries. *Natural Resources Forum*, 48(2), 636–660. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12391>
- Li, Y., Chen, Y., Liang, L., & Xie, J. (2012). DEA models for extended two-stage network structures. *Omega*, 40(5), 611–618. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.11.007>
- Liang, L., Cook, W. D., & Zhu, J. (2008). DEA models for two-stage processes: Game approach and efficiency decomposition. *Naval Research Logistics*, 55(7), 643–653. <https://doi.org/10.1002/nav.20308>
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>

- Liker, J. (2020). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.
- Liu, Y., Park, S., Yi, H., & Feiock, R. (2020). Evaluating the employment impact of recycling performance in Florida. *Waste Management*, 101, 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.025>
- lo Storto, C. (2024). Measuring the eco-efficiency of municipal solid waste service: A fuzzy DEA model for handling missing data. *Utilities Policy*, 86, 101706. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101706>
- Lofrano, G., & Brown, J. (2010). Wastewater management through the ages: A history of mankind. *Science of the Total Environment*, 408(22), 5254–5264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.062>
- Loiseau, E., Saikku, L., Antikainen, R., Droste, N., Hansjürgens, B., Pitkänen, K., ... & Thomsen, M. (2016). Green economy and related concepts: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 139, 361–371. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.024>
- Louis, G. E. (2004). A historical context of municipal solid waste management in the United States. *Waste Management & Research*, 22(4), 306–322. <https://doi.org/10.1177/0734242X04045425>
- Ma, J., Qi, L., & Deng, L. (2020). Additive centralized and Stackelberg DEA models for two-stage systems with shared resources. *International Transactions in Operational Research*, 27(4), 2211–2229. <https://doi.org/10.1111/itor.12504>
- MacArthur, E. (2013). Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), 23–44.
- Magazzino, C., & Falcone, P. M. (2022). Assessing the relationship among waste generation, wealth, and GHG emissions in Switzerland: Some policy proposals for the optimization of municipal solid waste in a circular economy perspective. *Journal of Cleaner Production*, 351, 131555. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131555>

- Magazzino, C., Mele, M., & Schneider, N. (2020). The relationship between municipal solid waste and greenhouse gas emissions: Evidence from Switzerland. *Waste Management*, 113, 508–520. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.033>
- Magazzino, C., Mele, M., Schneider, N., & Sarkodie, S. A. (2021). Waste generation, wealth and GHG emissions from the waste sector: Is Denmark on the path towards circular economy? *Science of the Total Environment*, 755, 142510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142510>
- Mahees, M. T. M., Sigayoganathan, C., & Basnayake, B. F. A. (2011). Consumption, solid waste generation and water pollution in Pinga Oya catchment area. *Tropical Agricultural Research*, 22(3), 39–250. <https://doi.org/10.4038/tar.v22i3.3697>
- Marques, R. C., & Simões, P. (2009). Incentive regulation and performance measurement of the Portuguese solid waste management services. *Waste Management & Research*, 27(2), 188–196. <https://doi.org/10.1177/0734242X08095025>
- Mazzanti, M. (2008). Is waste generation de-linking from economic growth? Empirical evidence for Europe. *Applied Economics Letters*, 15(4), 287–291. <https://doi.org/10.1080/13504850500407640>
- Mazzanti, M., & Zoboli, R. (2005). Delinking and environmental Kuznets curves for waste indicators in Europe. *Environmental Sciences*, 2(4), 409–425. <https://doi.org/10.1080/15693430500364707>
- Mazzanti, M., & Zoboli, R. (2008). Waste generation, waste disposal and policy effectiveness: Evidence on decoupling from the European Union. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(10), 1221–1234. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.07.003>
- Mazzanti, M., Montini, A., & Zoboli, R. (2006). Municipal waste production, economic drivers, and new waste policies: EKC evidence from Italian regional and provincial panel data. *FEEM Working Paper No. 155.06*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.952948>
- McCoskey, S., & Kao, C. (1998). A residual-based test of the null of cointegration in panel data. *Econometric Reviews*, 17(1), 57–84. <https://doi.org/10.1080/07474939808800403>

- Meadows, D. H., Meadows, D. I., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). *The limits to growth: A report to the Club of Rome*. Universe Books.
- Megha, K. B., Anvitha, D., Parvathi, S., Neeraj, A., Sonia, J., & Mohanan, P. V. (2025). Environmental impact of microplastics and potential health hazards. *Critical Reviews in Biotechnology*, 45(1), 97–127. <https://doi.org/10.1080/07388551.2024.2344572>
- Melosi, M. V. (2005). *Garbage in the cities: Refuse reform and the environment* (Vol. 66). University of Pittsburgh Press.
- Mian, M. M., Zeng, X., Nasry, A. A. N. B., & Al-Hamadani, S. M. (2017). Municipal solid waste management in China: A comparative analysis. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19(3), 1127–1135. <https://doi.org/10.1007/s10163-016-0509-9>
- Mihalíková, E., Taušová, M., & Čulková, K. (2022). Public expenses and investment in environmental protection and its impact on waste management. *Sustainability*, 14(9), 5270.
- Mikalsen, R. F., Lönnemark, A., Glansberg, K., McNamee, M., & Storesund, K. (2021). Fires in waste facilities: Challenges and solutions from a Scandinavian perspective. *Fire Safety Journal*, 120, 103023. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103023>
- Misztal, P., & Dziekański, P. (2023). Green economy and waste management as determinants of modeling green capital of districts in Poland in 2010–2020. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2112. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032112>
- Moghadam, H., Karami, A., Moghadam Ebrahimabad, A. R., & Radulescu, M. (2025). The impact of circular economy initiatives on urban air quality in the United States. *Scientific Reports*, 15(1), 23860. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-08554-6>
- Monni, S., Pipatti, R., Lehtilä, A., Savolainen, I., & Syri, S. (2006). *Global climate change mitigation scenarios for solid waste management* (VTT Publications No. 603).

- Mor, S., & Ravindra, K. (2023). Municipal solid waste landfills in lower- and middle-income countries: Environmental impacts, challenges and sustainable management practices. *Process Safety and Environmental Protection*, 174, 510–530. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.04.014>
- Morelli, J. (2011). Environmental sustainability: A definition for environmental professionals. *Journal of Environmental Sustainability*, 1(1), 2. <https://repository.rit.edu/jes/vol1/iss1/2>
- Munasinghe, M. (2009). *Sustainable development in practice: Sustainomics methodology and applications*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626777>
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Murray, R. (1999). *Creating wealth from waste*. Demos.
- Musa, K., Tufail, S., Erum, N., Said, J., & Mustaffa, A. H. (2024). Impact of the circular economy on ecological footprint: Evidence from Germany. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34857-8>
- Negrete-Cardoso, M., Rosano-Ortega, G., Álvarez-Aros, E. L., Tavera-Cortés, M. E., Vega-Lebrún, C. A., & Sánchez-Ruíz, F. J. (2022). Circular economy strategy and waste management: A bibliometric analysis in its contribution to sustainable development toward a post-COVID-19 era. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(41), 61729–61746. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18703-3>
- Neves, S. A., & Marques, A. C. (2022). Drivers and barriers in the transition from a linear economy to a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 341, 130865. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130865>
- Nikiema, J., Mateo-Sagasta, J., Asiedu, Z., Saad, D., & Lamizana, B. (2020). *Water pollution by plastics and microplastics: A review of technical solutions from source to sea*.

- NRL Recruitment. (2024). *Generating low carbon energy from waste*. Erişim tarihi: 25 Mart 2025, <https://www.nrl.co.uk/blog/2024/05/generating-low-carbon-energy-from-waste>
- Nurse, K. (2006). Culture as the fourth pillar of sustainable development. In Commonwealth Secretariat (Ed.), *Small states: Economic review and basic statistics* (Vol. 10, pp. 32–48). Commonwealth Secretariat.
- OECD. (2011). *Towards green growth*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264111318-en>
- OECD. (2023). *Towards a triple transition: Strategies for transformational European development action*. OECD Publishing.
- OECD. (2024). *Monitoring progress towards a resource-efficient and circular economy*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/f50297ce-en>
- Ohno, T. (2019). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9780429273018>
- Omar, H., & El-Haggar, S. (2017). Sustainable industrial community. *Journal of Environmental Protection*, 8, 301–318. <https://doi.org/10.4236/jep.2017.83023>
- Onyanta, A. (2016). Cities, municipal solid waste management, and climate change: Perspectives from the South. *Geography Compass*, 10(12), 499–513. <https://doi.org/10.1111/gec3.12299>
- Paramati, S. R., Shahzad, U., & Doğan, B. (2022). The role of environmental technology for energy demand and energy efficiency: Evidence from OECD countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111735. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111735>
- Pata, U. K. (2021). Do renewable energy and health expenditures improve load capacity factor in the USA and Japan? A new approach to environmental issues. *The European Journal of Health Economics*, 22(9), 1427–1439. <https://doi.org/10.1007/s10198-021-01321-0>

- Pata, U. K. (2025). How to progress towards sustainable development by leveraging renewable energy sources, technological advances, and human capital. *Renewable Energy*, 122367. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122367>
- Pata, U. K., & Isik, C. (2021). Determinants of the load capacity factor in China: A novel dynamic ARDL approach for ecological footprint accounting. *Resources Policy*, 74, 102313. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102313>
- Pata, U. K., Pata, S. K., & Erdogan, S. (2024). Effects of waste generation on the load capacity factor: A novel waste management assessment for OECD countries. *Geological Journal*. <https://doi.org/10.1002/gj.5065>
- Pathak, P., & Palani, S. G. (Eds.). (2022). *Circular economy in municipal solid waste landfilling: Biomining & leachate treatment: Sustainable solid waste management: Waste to wealth*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-07785-2>
- Pearce, D., Markandya, A., & Barbier, E. (2013). *Blueprint 1: For a green economy*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315070223>
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross-section dependence in panels. *Cambridge Working Papers in Economics*, 435, 1–39. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.572504>
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22, 265–312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Pesaran, M. H. (2021). General diagnostic tests for cross-sectional dependence in panels. *Empirical Economics*, 60(1), 13–50. <https://doi.org/10.1007/s00181-020-01875-7>
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50–93. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.010>
- Pesaran, M. H., Ullah, A., & Yamagata, T. (2008). A bias-adjusted LM test of error cross-section independence. *The Econometrics Journal*, 11(1), 105–127. <https://doi.org/10.1111/j.1368-423X.2007.00227.x>

- Pillai, S., Peter, A. E., Sunil, B. M., & Shrihari, S. (2014, March). Soil pollution near a municipal solid waste disposal site in India. In *Proceedings of the International Conference on Biological, Civil and Environmental Engineering (BCEE-2014)*.
- Quan, Z., Xu, X., Wang, W., Jiang, J., & Gao, S. (2024). Do industrial solid waste recycling and technological innovation promote low-carbon development in China? New insights from NARDL approach. *Science of the Total Environment*, 916, 170446. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170446>
- Radwan, H. R., Jones, E., & Minoli, D. (2012). Solid waste management in small hotels: A comparison of green and non-green small hotels in Wales. *Journal of Sustainable Tourism*, 20(4), 533–550. <https://doi.org/10.1080/09669582.2011.621539>
- Rahman, M. M. (2017). Do population density, economic growth, energy use and exports adversely affect environmental quality in Asian populous countries? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 506–514. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.041>
- Rahman, M. M., & Velayutham, E. (2020). Renewable and non-renewable energy consumption–economic growth nexus: New evidence from South Asia. *Renewable Energy*, 147, 399–408. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.007>
- Ram, M., Zurba, M., & Nizamani, B. (2026). From waste to sustainable development: Evaluating Canada’s waste management policies and sustainable development goals progress. *Waste Management & Research*, 44(2), 103–115. <https://doi.org/10.1177/0734242X251364676>
- Raman, R., Gunasekar, S., Ray, S., Behera, D., Nedungadi, P., & Dénes, D. L. (2025). A holistic approach to sustainable development goal 8: Integrating economic growth, employment, and sustainability. *Equilibrium. Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*, 20(1), 147–202. <https://doi.org/10.24136/eq.3342>
- Razzaq, A., Sharif, A., Afshan, S., & Li, C. J. (2023). Do climate technologies and recycling asymmetrically mitigate consumption-based carbon emissions in the

- United States? New insights from quantile ARDL. *Technological Forecasting and Social Change*, 186, 122138. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122138>
- Razzaq, A., Sharif, A., Najmi, A., Tseng, M. L., & Lim, M. K. (2021). Dynamic and causality interrelationships from municipal solid waste recycling to economic growth, carbon emissions and energy efficiency using a novel bootstrapping autoregressive distributed lag. *Resources, Conservation and Recycling*, 166, 105372. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105372>
- Rillig, M. C. (2012). Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? *Environmental Science & Technology*, 46(12). <https://doi.org/10.1021/es302011r>
- Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., & Teh, S. J. (2013). Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports*, 3(1), 3263. <https://doi.org/10.1038/srep03263>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E. F., ... & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Rodić, L., & Wilson, D. C. (2017). Resolving governance issues to achieve priority sustainable development goals related to solid waste management in developing countries. *Sustainability*, 9(3), 404. <https://doi.org/10.3390/su9030404>
- Rogers, P. P., Jalal, K. F., & Boyd, J. A. (2012). *An introduction to sustainable development* (2nd ed.). Routledge.
- Rogge, N., & De Jaeger, S. (2013). Measuring and explaining the cost efficiency of municipal solid waste collection and processing services. *Omega*, 41(4), 653–664. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.09.006>
- Roy, H., Alam, S. R., Bin-Masud, R., Prantika, T. R., Pervez, M. N., Islam, M. S., & Naddeo, V. (2022). A review on characteristics, techniques, and waste-to-energy aspects of municipal solid waste management: Bangladesh perspective. *Sustainability*, 14(16), 10265. <https://doi.org/10.3390/su141610265>
- Rushton, L. (2003). Health hazards and waste management. *British Medical Bulletin*, 68(1), 183–197. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg034>

- Sabatini, F. (2019). Culture as fourth pillar of sustainable development: Perspectives for integration, paradigms of action. *European Journal of Sustainable Development*, 8(3), 31. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2019.v8n3p31>
- Sachs, J. D. (2015). *The age of sustainable development*. Columbia University Press.
- Salsabila, N. F., Raharjo, M., & Joko, T. (2023). Indeks pencemaran air sungai ve persebaran penyakit yang ditularkan air (waterborne diseases): Suatu kajian sistematis. *Environmental Occupational Health and Safety Journal*, 4(1), 24–34. <https://doi.org/10.24853/eohjs.4.1.24-34>
- Sandhu, K. (2014). Historical trajectory of waste management: An analysis using the health belief model. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 25(5), 615–630. <https://doi.org/10.1108/MEQ-09-2013-0098>
- Saraç, B., Gündoğdu, H. G., & Aytekin, A. (2023). Sıfır atık yönetimi etkinliğinin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi: Büyükşehirler örneği. *Politik Ekonomik Kuram*, 7(Özel Sayı), 238–256. <https://doi.org/10.30586/pek.1332939>
- Sayan, N., & Taşkın, T. (2024). Yenilenmiş ürünlerin yükselişi: Sürdürülebilir ekonomiye yönelik üretim ve tüketim üzerine çözüm arayışları. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 340–371. <https://doi.org/10.16953/deusosbil.1380906>
- Schwab, K. (2024). The fourth industrial revolution: What it means, how to respond. In *Handbook of research on strategic leadership in the Fourth Industrial Revolution* (pp. 29–34). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781802208818.00008>
- Seiford, L. M., & Zhu, J. (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142(1), 16–20. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00293-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00293-4)
- Sekarningrum, A. (2020). The analysis of ecotourism principle on methods of waste disposal to minimize negative impacts in Baluran National Park. *Gadjah Mada Journal of Tourism Studies*, 3(2), 86–96.
- Sen, A. (1999). *Development as freedom*. Alfred A. Knopf.

- Shah, H. H., Amin, M., & Pepe, F. (2023). Maximizing resource efficiency: Opportunities for energy recovery from municipal solid waste in Europe. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 25(5), 2766–2782. <https://doi.org/10.1007/s10163-023-01733-5>
- Shahbaz, M., Loganathan, N., Muzaffar, A. T., Ahmed, K., & Jabran, M. A. (2016). How urbanization affects CO₂ emissions in Malaysia? The application of STIRPAT model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.096>
- Shahbaz, M., Raghutla, C., Chittedi, K. R., Jiao, Z., & Vo, X. V. (2020). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from the renewable energy country attractive index. *Energy*, 207, 118162. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118162>
- Shakouri, R., Salahi, M., & Kordrostami, S. (2019). Stochastic p-robust approach to two-stage network DEA model. *Quantitative Finance and Economics*, 3(2), 315–346. <https://doi.org/10.3934/QFE.2019.2.315>
- Shamsudin, S., Lajis, M. A., & Zhong, Z. W. (2016). Evolutionary in solid state recycling techniques of aluminium: A review. *Procedia CIRP*, 40, 256–261. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.117>
- Shankar, S., & Shikha. (2016). Management and remediation of problem soils, solid waste and soil pollution. In *Principles and applications of environmental biotechnology for a sustainable future* (pp. 143–171). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1866-4_5
- Sharif, A., Kartal, M. T., Bekun, F. V., Pata, U. K., Foon, C. L., & Depren, S. K. (2023). Role of green technology, environmental taxes, and green energy towards sustainable environment: Insights from sovereign Nordic countries by CS-ARDL approach. *Gondwana Research*, 117, 194–206. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.01.009>
- Sharma, H. B., Vanapalli, K. R., Samal, B., Cheela, V. S., Dubey, B. K., & Bhattacharya, J. (2021). Circular economy approach in solid waste management system to

- achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. *Science of the Total Environment*, 800, 149605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149605>
- Shehu, A., Adenomon, M. O., & Nweze, N. O. (2024). The long run and short run impact of GDP and real income on solid waste in Nigeria using vector error correction model. *Asian Journal of Probability and Statistics*, 26(1), 64–86. <https://doi.org/10.9734/ajpas/2024/v26i1585>
- Siddiqua, A., Hahladakis, J. N., & Al-Attiya, W. A. K. (2022). An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(39), 58514–58536. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21578-z>
- Sidique, S. F., Joshi, S. V., & Lupi, F. (2010). Factors influencing the rate of recycling: An analysis of Minnesota counties. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(4), 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.08.006>
- Simões, P., Carvalho, P., & Marques, R. C. (2012). Performance assessment of refuse collection services using robust efficiency measures. *Resources, Conservation and Recycling*, 67, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.07.006>
- Singh, G. K., Gupta, K., & Chaudhary, S. (2014a). Solid waste management: Its sources, collection, transportation and recycling. *International Journal of Environmental Science and Development*, 5(4), 347. <https://doi.org/10.7763/IJESD.2014.V5.507>
- Singh, J., Laurenti, R., Sinha, R., & Frostell, B. (2014b). Progress and challenges to the global waste management system. *Waste Management & Research*, 32(9), 800–812. <https://doi.org/10.1177/0734242X14537868>
- Smith, A. (2022). *Milletlerin zenginliği: Doğası ve nedenleri üzerine bir inceleme* (M. Acar, Çev.). Liberus.
- Sofidel Group. (2023, May 25). The triple transition. *Soft & Green – Innovation*. Erişim tarihi: 6 Eylül 2024, <https://www.sofidel.com/en/softandgreen/innovation/the-triple-transition/>
- Soini, K., & Dessein, J. (2016). Culture-sustainability relation: Towards a conceptual framework. *Sustainability*, 8(2), 167. <https://doi.org/10.3390/su8020167>

- Starovoytova, D. (2018). Solid waste management (SWM) at a university campus (Part 1/10): Comprehensive review on legal framework and background to waste management in a global context. *Journal of Environment and Earth Science*, 8(4). <https://core.ac.uk/reader/234665170>
- Steenmans, K., & Lesniewska, F. (2023). Limitations of the circular economy concept in law and policy. *Frontiers in Sustainability*, 4, 1154059. <https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1154059>
- Stenou, K. (2002). *UNESCO universal declaration on cultural diversity: A vision, a conceptual platform, a pool of ideas for implementation, a new paradigm*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000127162>
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development*, 32(8), 1419–1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Stiglitz, J. E., Sen, A., & Fitoussi, J. P. (2009, September). *Report by the commission on the measurement of economic performance and social progress*. Erişim tarihi: 5 Mayıs 2024, <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/8131721/8131772/Stiglitz-Sen-Fitoussi-Commission-report.pdf>
- Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2019). *On birinci kalkınma planı (2019–2023)*. T.C. Cumhurbaşkanlığı. <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>
- Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). *On ikinci kalkınma planı (2024–2028)*. T.C. Cumhurbaşkanlığı. <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>
- Taelman, S. E., Tonini, D., Wandl, A., & Dewulf, J. (2018). A holistic sustainability framework for waste management in European cities: Concept development. *Sustainability*, 10(7), 2184. <https://doi.org/10.3390/su10072184>
- Tarı, R., Koç, S., & Abasız, T. (2019). *Ekonometri* (14. baskı). Umuttepe Yayınları.
- Tepe, S. (2023). Sanayimizin yeşil dönüşüm yolculuğu. *Anahtar Dergisi*, 414, 12–14. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Tetik, S. (2003). İşletme performansını belirlemede veri zarflama analizi. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 10(2), 221–230. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/145849>

- Tian, X., Huang, G., Song, Z., An, C., & Chen, Z. (2022). Impact from the evolution of private vehicle fleet composition on traffic-related emissions in a small-medium automotive city. *Science of the Total Environment*, 840, 156657. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156657>
- Tiwari, S., Mohammed, K. S., Mentel, G., Majewski, S., & Shahzadi, I. (2024). Role of circular economy, energy transition, environmental policy stringency, and supply chain pressure on CO₂ emissions in emerging economies. *Geoscience Frontiers*, 15(3), 101682. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101682>
- Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130(3), 498–509. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00407-5](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00407-5)
- Toroğlu, E., Toroğlu, S., & Alaeddinoğlu, F. (2006). Aksu Çayı'nda (Kahramanmaraş) akarsu kirliliği / Water pollution in the Aksu River (Kahramanmaraş). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 4(1), 93–103. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000059
- Udomsri, S., Petrov, M. P., Martin, A. R., & Fransson, T. H. (2011). Clean energy conversion from municipal solid waste and climate change mitigation in Thailand: Waste management and thermodynamic evaluation. *Energy for Sustainable Development*, 15(4), 355–364. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.07.007>
- United Nations Development Programme (UNDP). (2015). *Sustainable development goals (SDGs)*. United Nations. <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2011). *Towards a green economy: Pathways to sustainable development and poverty eradication*. UNEP.
- United Nations. (1992). *Report of the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3–14 June 1992* (Vol. I: Resolutions adopted by the Conference, A/CONF.151/26/Rev.1). United Nations. Erişim tarihi: 5 Mayıs 2024, <https://digitallibrary.un.org/record/168679>
- United Nations. (2002). *Report of the World Summit on Sustainable Development, Johannesburg, South Africa, 26 August–4 September 2002*. United Nations. Erişim tarihi: 5 Mayıs 2024, <https://digitallibrary.un.org/record/478154>

- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development* (A/RES/70/1). United Nations. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Vacchi, M., Siligardi, C., Demaria, F., Cedillo-González, E. I., González-Sánchez, R., & Settembre-Blundo, D. (2021). Technological sustainability or sustainable technology? A multidimensional vision of sustainability in manufacturing. *Sustainability*, 13(17), 9942. <https://doi.org/10.3390/su13179942>
- Vallance, S., Perkins, H. C., & Dixon, J. E. (2011). What is social sustainability? A clarification of concepts. *Geoforum*, 42(3), 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2011.01.002>
- van Beukering, P. J. H. (2004). International trade, recycling and the environment. In J. C. J. M. van den Bergh & M. A. Janssen (Eds.), *Economics of industrial ecology: Materials, structural change and spatial scales* (pp. 287–310). MIT Press.
- Van Ewijk, S., & Stegemann, J. A. (2016). Limitations of the waste hierarchy for achieving absolute reductions in material throughput. *Journal of Cleaner Production*, 132, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.051>
- Vasanthi, P., Kaliappan, S., & Srinivasaraghavan, R. (2008). Impact of poor solid waste management on groundwater. *Environmental Monitoring and Assessment*, 143(1), 227–238. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9971-0>
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
- Vieille Blanchard, E. (2010). Modelling the future: An overview of the “Limits to growth” debate. *Centaurus*, 52(2), 91–116. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0498.2010.00173.x>
- Vishwakarma, A., Kulshrestha, M., & Kulshreshtha, M. (2012). Efficiency evaluation of municipal solid waste management utilities in the urban cities of the state of Madhya Pradesh, India, using stochastic frontier analysis. *Benchmarking: An International Journal*, 19(3), 340–357. <https://doi.org/10.1108/14635771211242996>

- von Carlowitz, H. C. (1713). *Sylvicultura oeconomica: Anweisung zur wilden Baum-Zucht*. Braun.
- Vučkovski, B. G., Ćurčić, N. V., & Gheorghe, I. G. (2025). Circular economy as a driver of sustainable growth: Quantitative analysis of the role of recycling and secondary raw materials in the EU. *Sustainability*, 17(11), 5181. <https://doi.org/10.3390/su17115181>
- Wang, H., Chen, H., & Tawiah, V. (2023). Does ethical behaviour affect sustainable development? Evidence from developed and developing countries. *Sustainability*, 15(13), 10246. <https://doi.org/10.3390/su151310246>
- Wang, Q., Dong, Z., Li, R., & Wang, L. (2022). Renewable energy and economic growth: New insight from country risks. *Energy*, 238, 122018.
- Wati, H. R., Budihardjo, M. A., & Andarani, P. (2025). Waste transportation environmental impact using life cycle assessment: Bibliometric analysis and systematic review. *Polish Journal of Environmental Studies*, 34(1). <https://doi.org/10.15244/pjoes/186580>
- WCED (World Commission on Environment and Development). (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- Webster, K. (2021). A circular economy is about the economy. *Circular Economy and Sustainability*, 1(1), 115–126. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00034-z>
- Weng, Y. C., Fujiwara, T., Houng, H. J., Sun, C. H., Li, W. Y., & Kuo, Y. W. (2015). Management of landfill reclamation with regard to biodiversity preservation, global warming mitigation and landfill mining: Experiences from the Asia–Pacific region. *Journal of Cleaner Production*, 104, 364–373. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.014>
- Westerlund, J. (2007). Testing for error correction in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69(6), 709–748. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2007.00477.x>
- Westerlund, J., & Edgerton, D. L. (2008). A simple test for cointegration in dependent panels with structural breaks. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 70(5), 665–704. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2008.00513.x>

- Williams, R., & Sankoh, A. (2024). Soil contamination resulting from inefficient solid waste management. In *Environmental pollution and public health* (pp. 251–264). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95967-4.00010-6>
- Wilson, D. C. (1979). The efficiency of resource recovery from solid waste. *Resource Recovery and Conservation*, 4(2), 161–188. [https://doi.org/10.1016/0304-3967\(79\)90012-X](https://doi.org/10.1016/0304-3967(79)90012-X)
- Wilson, D. C. (2013). Principles of waste management. In T. M. Letcher & D. A. Vallero (Eds.), *Waste: A handbook for management* (pp. 3–27). Academic Press.
- Wilson, D. C., Velis, C. A., & Rodic, L. (2013). Integrated sustainable waste management in developing countries. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management*, 166(2), 52–68. <https://doi.org/10.1680/warm.12.00005>
- Wilson, D. G. (1976). A brief history of solid-waste management. *International Journal of Environmental Studies*, 9(2), 123–129. <https://doi.org/10.1080/00207237608737618>
- Wilts, H., Von Gries, N., & Bahn-Walkowiak, B. (2016). From waste management to resource efficiency—The need for policy mixes. *Sustainability*, 8(7), 622. <https://doi.org/10.3390/su8070622>
- Winston, N. (2022). Sustainable community development: Integrating social and environmental sustainability for sustainable housing and communities. *Sustainable Development*, 30(1), 191–202. <https://doi.org/10.1002/sd.2238>
- World Health Organization (WHO). (2025). *Guidance on solid waste and health*. Erişim tarihi: 5 Ekim 2025, <https://www.who.int/tools/compendium-on-health-and-environment/solid-waste>
- Wu, J., Zhu, Q., Ji, X., Chu, J., & Liang, L. (2016). Two-stage network processes with shared resources and resources recovered from undesirable outputs. *European Journal of Operational Research*, 251(1), 182–197. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.10.049>
- Wuana, R. A., & Okieimen, F. E. (2011). Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation.

- International Scholarly Research Notices*, 2011, 402647.
<https://doi.org/10.5402/2011/402647>
- Yang, H., Zhang, S., Ye, W., Qin, Y., Xu, M., & Han, L. (2020). Emission reduction benefits and efficiency of e-waste recycling in China. *Waste Management*, 102, 541–549. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.016>
- Yang, Z., Zhou, X., & Xu, L. (2015). Eco-efficiency optimization for municipal solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, 104, 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.091>
- Yıldız, S., Namal, O. Ö., & Çekim, M. (2013). Atık su arıtma teknolojilerindeki tarihsel gelişimler. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 55–67. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sujest/issue/23221/247958>
- Yu, Y. (2023). Role of natural resources rent on economic growth: Fresh empirical insight from selected developing economies. *Resources Policy*, 81, 103326. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103326>
- Zafar, M. W., Shahbaz, M., Sinha, A., Sengupta, T., & Qin, Q. (2020). How renewable energy consumption contributes to environmental quality? The role of education in OECD countries. *Journal of Cleaner Production*, 268, 122149. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122149>
- Zafir, C. Z. (2013). Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı. A. F. Aysan & D. Dumludağ (Ed.) içinde, *Kalkınmada yeni yaklaşımlar* (ss. 243–275). İmge Kitabevi.
- Zaman, A. U. (2015). A comprehensive review of the development of zero waste management: Lessons learned and guidelines. *Journal of Cleaner Production*, 91, 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.013>
- Zaman, A. U., & Lehmann, S. (2011). Urban growth and waste management optimization towards ‘zero waste city’. *City, Culture and Society*, 2(4), 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.ccs.2011.11.007>
- Zaman, A. U., & Lehmann, S. (2013). The zero waste index: A performance measurement tool for waste management systems in a ‘zero waste city’. *Journal of Cleaner Production*, 50, 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.041>

- Zavřelová, V., & MacGregor Pelikánová, R. (2024). The ephemeral term “sustainable development” in current EU policies. *Folia Oeconomica Stetinensia*, 24(2), 389–418. <https://doi.org/10.2478/fofi-2024-0031>
- Zhang, D. Q., Tan, S. K., & Gersberg, R. M. (2010). Municipal solid waste management in China: Status, problems and challenges. *Journal of Environmental Management*, 91(8), 1623–1633. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.03.012>
- Zhang, Y., Radmehr, R., Baba Ali, E., & Samour, A. (2025). Natural resources, financial globalization, renewable energy, and environmental quality: Novel findings from top natural resource abundant countries. *Gondwana Research*, 145, 170–182. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.12.016>
- Zhao, Y., Lu, W., & Wang, H. (2015). Volatile trace compounds released from municipal solid waste at the transfer stage: Evaluation of environmental impacts and odour pollution. *Journal of Hazardous Materials*, 300, 695–701. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.07.081>
- Zhao, Z., Bian, R., Zhao, F., & Chai, X. (2020). Implications of municipal solid waste disposal methods in China on greenhouse gas emissions. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 39(3), e13372. <https://doi.org/10.1002/ep.13372>
- Zhongwei, H., & Liu, Y. (2022). The role of eco-innovations, trade openness, and human capital in sustainable renewable energy consumption: Evidence using CS-ARDL approach. *Renewable Energy*, 201, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.10.039>
- Zhu, B., Gikas, P., Zhang, R., Lord, J., Jenkins, B., & Li, X. (2009). Characteristics and biogas production potential of municipal solid wastes pretreated with a rotary drum reactor. *Bioresource Technology*, 100(3), 1122–1129. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.08.024>
- Zhuo, T., Yu, K., Chai, B., Tang, Q., Gao, X., Wang, J., ... & Chen, B. (2024). Microplastics increase the microbial functional potential of greenhouse gas emissions and water pollution in a freshwater lake: A metagenomic study. *Environmental Research*, 257, 119250. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119250>

ZWIA. (2025). *Zero Waste International Alliance*. <https://zwia.org/>

Zylberberg. (2019). *What's the future of landfills?* Erişim tarihi: 25 Mart 2025, <https://medium.com/2030magazine/whats-the-future-of-landfills-334370b3a538>



EKLER

Ek 1.

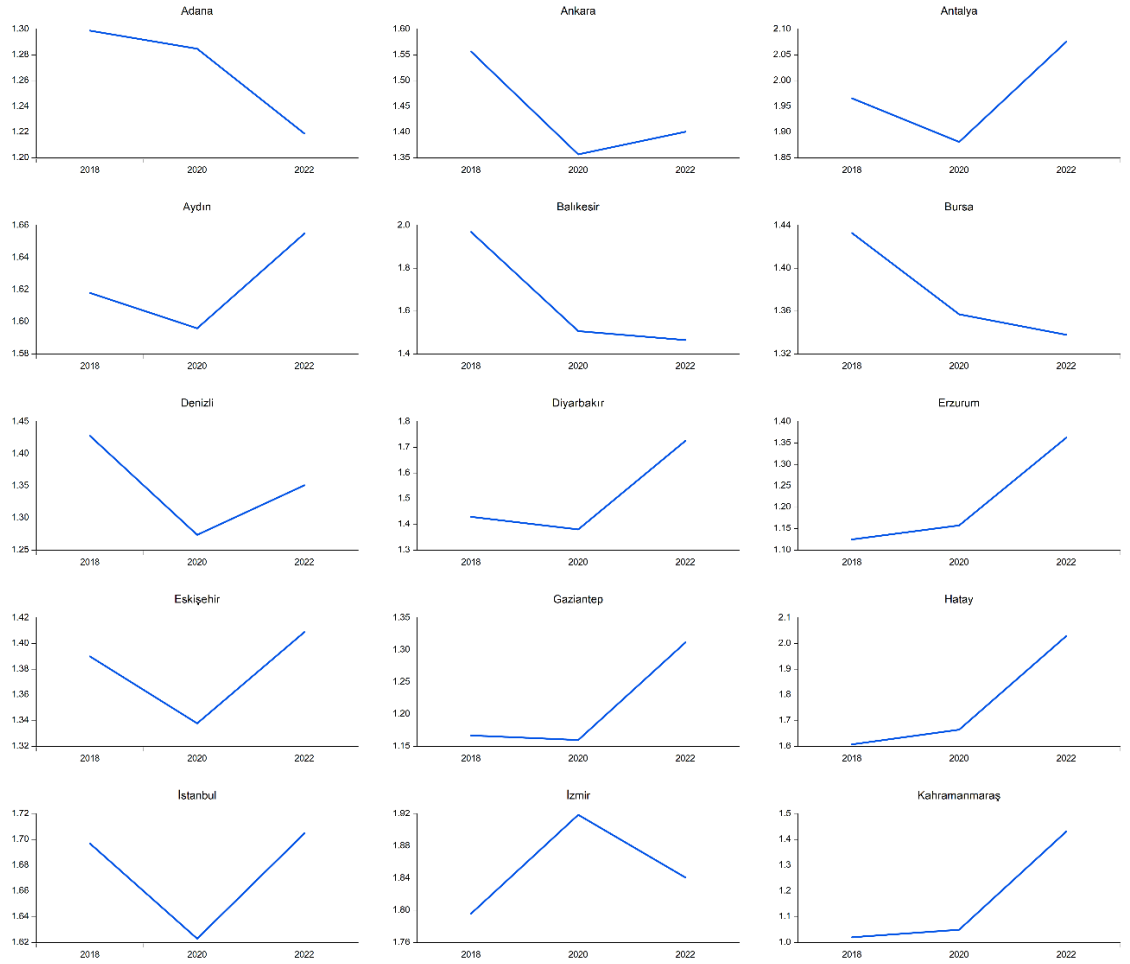
Klasik VZA Sonuçları

Yıllar	2018		2020		2022	
İller	Etkinlik Skoru	Etkinlik Durumu	Etkinlik Skoru	Etkinlik Durumu	Etkinlik Skoru	Etkinlik Durumu
Adana	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
Ankara	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
Antalya	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
Aydın	1.4087	E.D.	1.2052	E.D.	1.0222	E.D.
Balıkesir	1.1948	E.D.	1.0047	E.D.	1.0306	E.D.
Bursa	1.0000	T.E.	1.0110	E.D.	1.0097	E.D.
Denizli	1.5562	E.D.	1.2949	E.D.	1.2606	E.D.
Diyarbakır	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0274	E.D.
Erzurum	1.0000	T.E.	1.0272	E.D.	1.0000	T.E.
Eskişehir	1.1537	E.D.	1.1172	E.D.	1.0000	T.E.
Gaziantep	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
Hatay	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
İstanbul	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
İzmir	1.0379	E.D.	1.0000	T.E.	1.0056	E.D.
Kahramanmaraş	1.0000	T.E.	1.3301	E.D.	1.4688	E.D.
Kayseri	1.2758	E.D.	1.1758	E.D.	1.2267	E.D.
Kocaeli	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
Konya	1.8564	E.D.	1.7542	E.D.	1.0285	E.D.
Malatya	1.1998	E.D.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
Manisa	1.0000	T.E.	1.3621	E.D.	1.0028	E.D.
Mardin	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
Mersin	1.1372	E.D.	1.0277	E.D.	1.0000	T.E.
Muğla	1.3730	E.D.	1.0000	T.E.	1.2584	E.D.
Ordu	1.5148	E.D.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
Sakarya	1.2869	E.D.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
Samsun	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
Şanlıurfa	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
Tekirdağ	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
Trabzon	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
Van	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.	1.0000	T.E.
	1.1332		1.0770		1.0447	

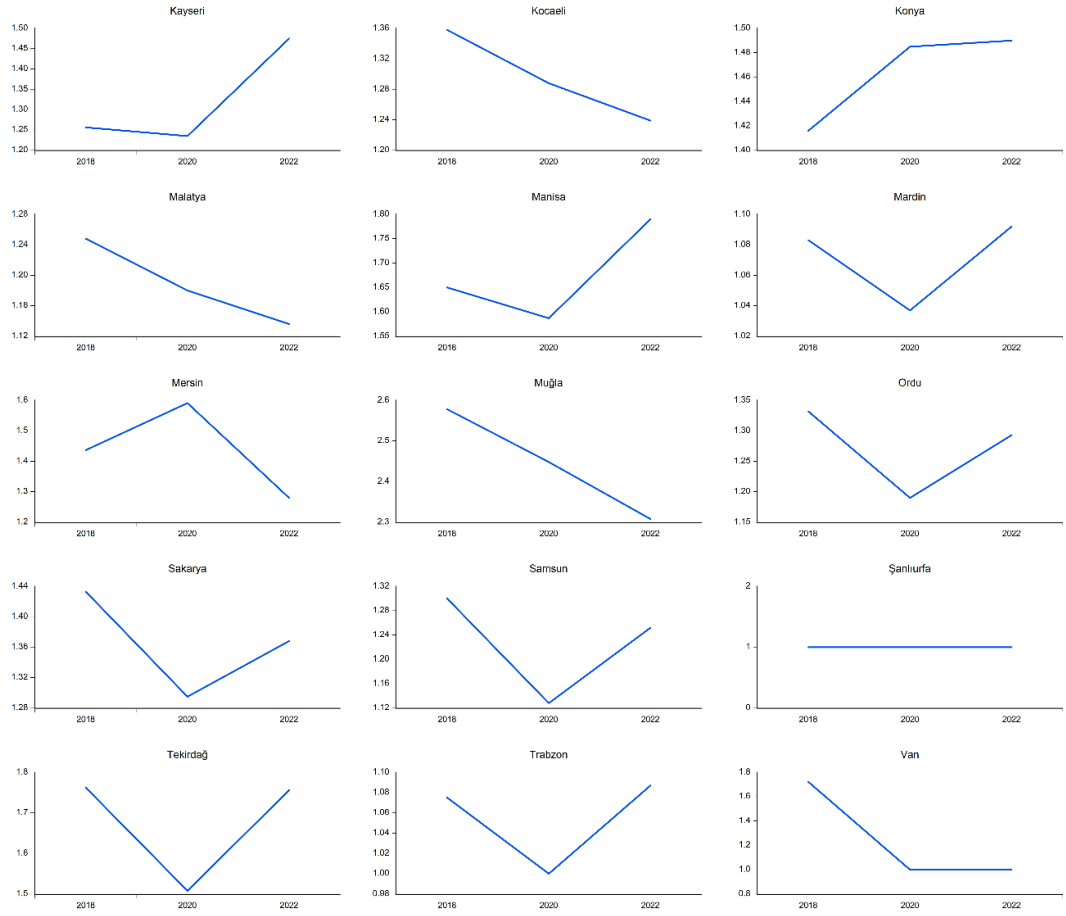
Not: Etkinlik skorları, çıktı odaklı(Output-Oriented) ve ölçeğe göre değişken getiri (VRS) varsayımı altında klasik Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemiyle hesaplanmıştır. Modelde girdiler: KBGSYH, KBAM, KBSAE ve KBSAF; çıktılar: AGK ve PM10’dur. Tabloda yer alan “E.D. ve T.E.” ifadeleri sırası ile “Etkin Değil ve Tam Etkin” anlamına gelmektedir.

Ek 2.

Atık Oluşum Etkinliği: İllerin Yıl Bazlı Değişim Değerleri



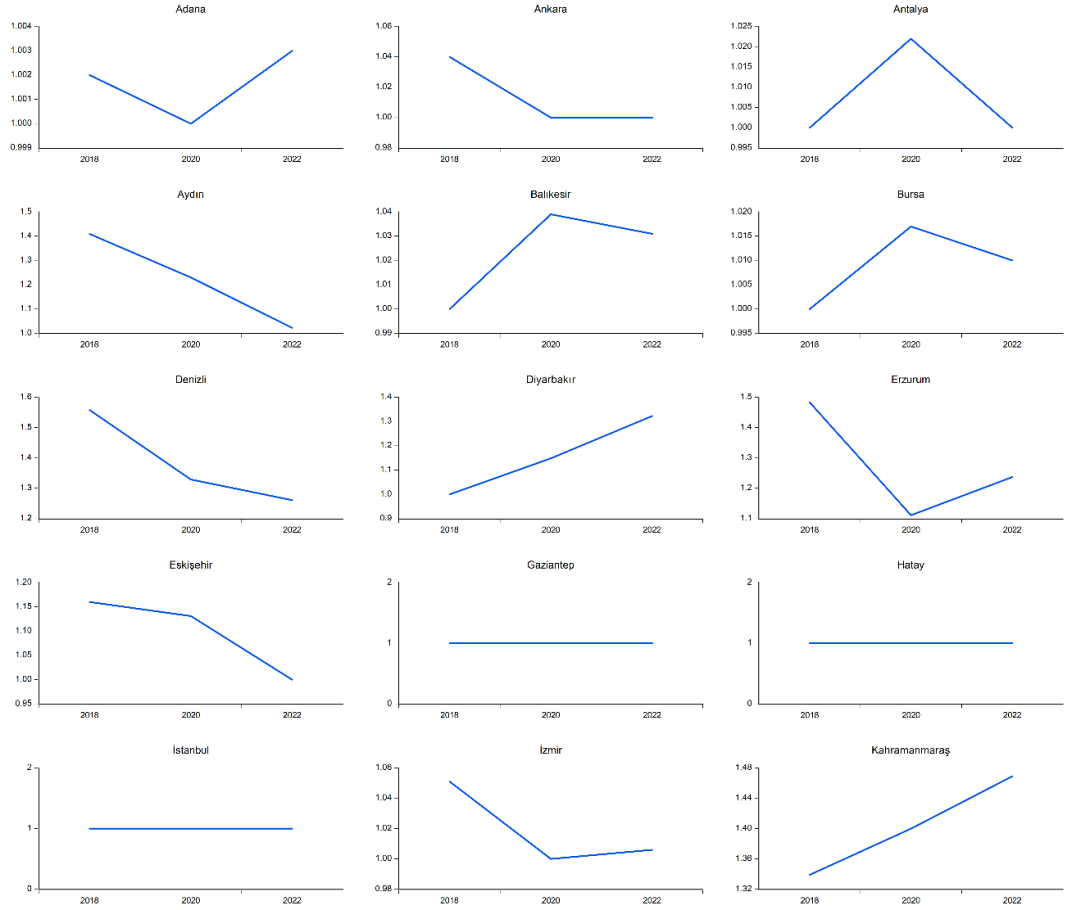
Ek 2 (Devamı)



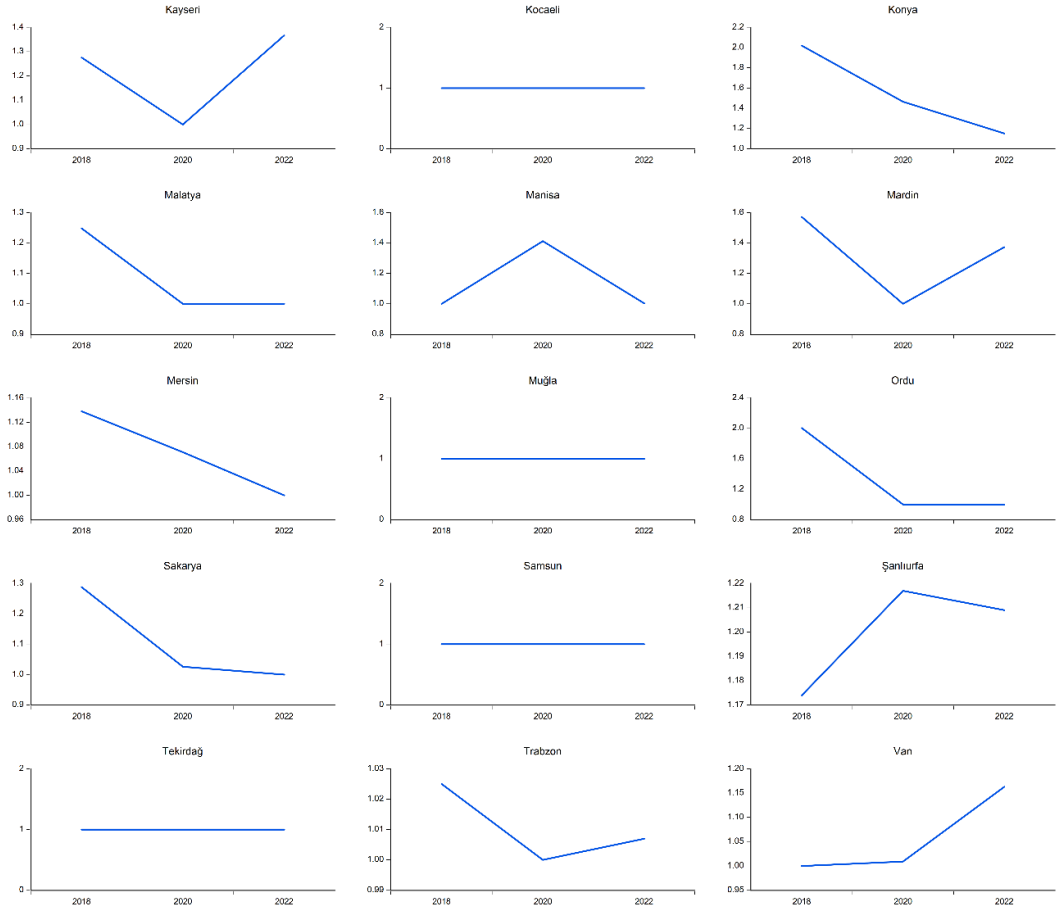
Atık Oluşum Etkinliği: İllerin Yıl Bazlı Değişim Değerleri

Ek 3.

Atık Yönetim Etkinliği: İllerin Yıl Bazlı Değişim Değerleri



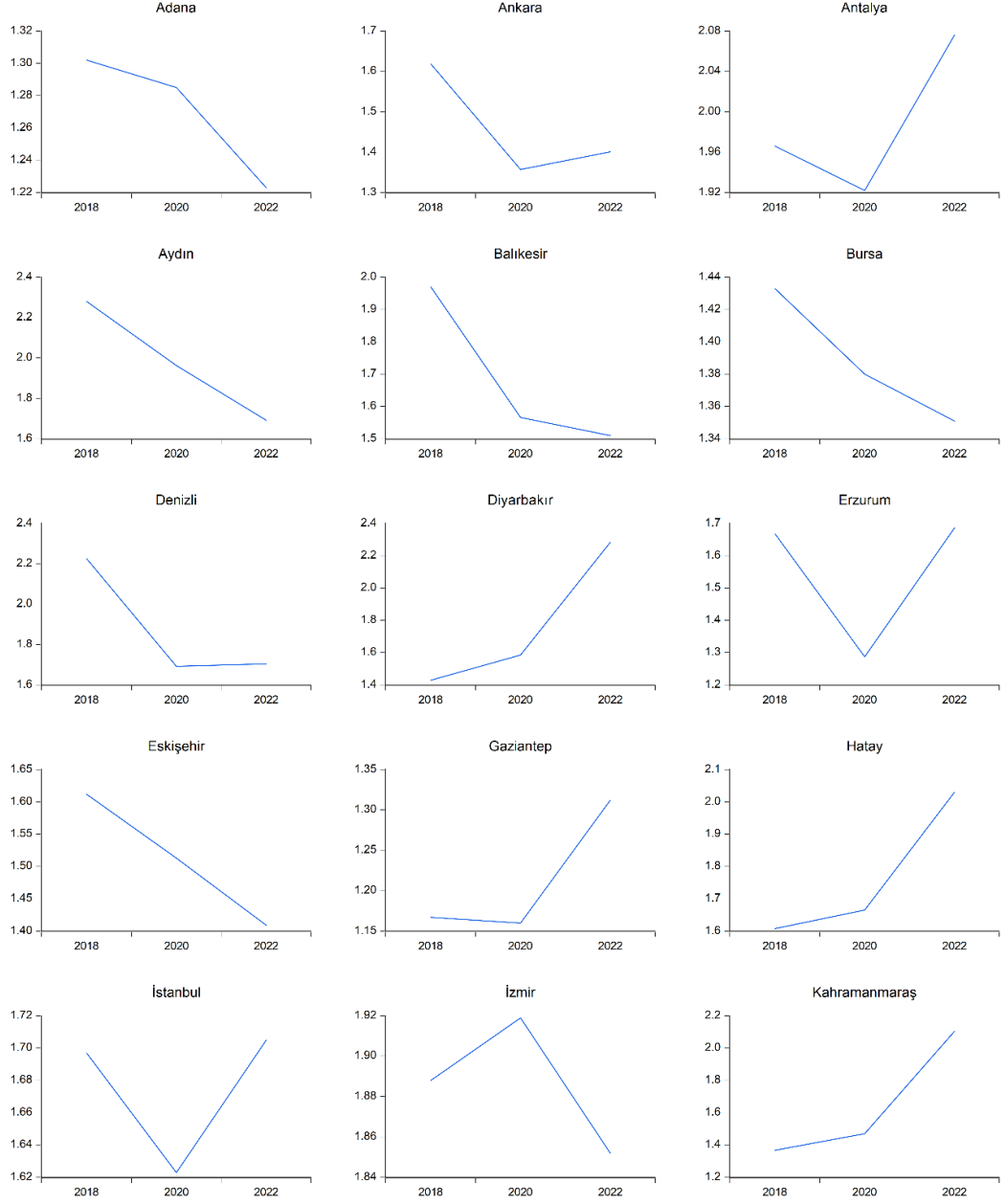
Ek 3 (Devamı)



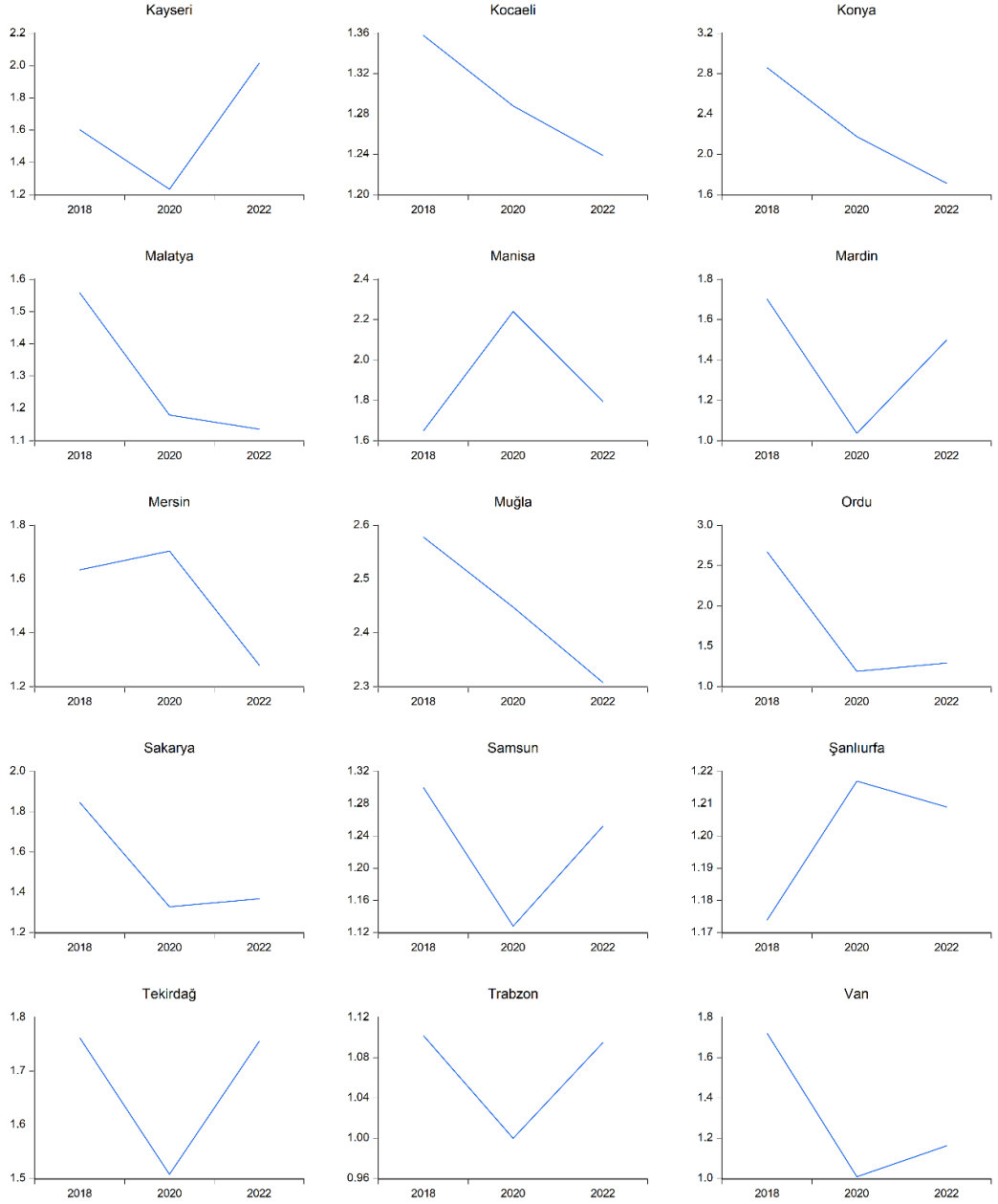
Atık Yönetim Etkinliği: İllerin Yıl Bazlı Değişim Değerleri

Ek 4.

Atık Yönetim Etkinliği: İllerin Yıl Bazlı Değişim Değerleri



Ek 4 (Devamı)



Ağ VZA Genel Etkinliği: İllerin Yıl Bazlı Değişim Değerleri

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Faruk ŞAHİN
Eğitim Durumu	
Lisans Öğrenimi	Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü
Y. Lisans Öğrenimi	Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Politikası
Doktora	Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Politikası
Bildiği Yabancı Diller	İngilizce
İş Deneyimi	