



**YEŞİL EKONOMİ ÇERÇEVESİNDE
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE EKONOMİK
BÜYÜME İLİŞKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ:
TÜRKİYE VE AVRUPA BİRLİĞİ
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

Burak SEYHAN

Doktora Tezi

İktisat Ana Bilim Dalı

2026

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANA BİLİM DALI
İKTİSADİ GELİŞME VE ULUSLARARASI İKTİSAT BİLİM DALI

**YEŞİL EKONOMİ ÇERÇEVESİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ VE
EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: TÜRKİYE VE
AVRUPA BİRLİĞİ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

(Evaluation of Renewable Energy and Economic Growth Relationship in the Framework of
Green Economy: A Comparative Analysis of Turkey and the European Union)

DOKTORA TEZİ

Burak SEYHAN

Danışman: Doç. Dr. Ziya Çağlar YURTTANÇIKMAZ

Erzurum- 2026



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Doç.Dr. Ziya Çağlar YURTTANÇIKMAZ danışmanlığında Burak SEYHAN tarafından hazırlanan “Yeşil Ekonomi Çerçevesinde Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme İlişkisinin Değerlendirilmesi: Türkiye ve Avrupa Birliği Karşılaştırmalı Analizi” başlıklı çalışma 22/01/2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İktisat - Anabilim Dalı İktisadi Gelişme ve Uluslararası İktisat Bilim Dalı'nda **Doktora** tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof.Dr. Ömer Selçuk EMSEN <i>ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ</i>	e-imza
Jüri Üyesi (Danışman):	Doç.Dr. Ziya Çağlar YURTTANÇIKMAZ <i>ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ</i>	e-imza
Jüri Üyesi:	Prof.Dr. Lütfü ÖZTÜRK <i>KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ</i>	e-imza
Jüri Üyesi:	Prof.Dr. Mustafa Kemal DEĞER <i>KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ</i>	e-imza
Jüri Üyesi:	Prof.Dr. Turan ÖNDEŞ <i>ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ</i>	e-imza

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

Prof. Dr. Hanifi ŞAHİN

Enstitü Müdürü



ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Doktora Tezi olarak sunduğum “Yeşil Ekonomi Çerçevesinde Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme İlişkisinin Değerlendirilmesi: Türkiye ve Avrupa Birliği Karşılaştırmalı Analizi” başlıklı çalışmanın tarafımdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını ve yararlandığım eserleri kaynakçada gösterdiğimi beyan ederim.

16 / 02 / 2026

Aslı ıslak imzalıdır

Burak SEYHAN

☐ 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

Gerek yüksek lisans gerekse doktorada lisansüstü öğreniminin, her aşamasında teşvik edici, cesaretlendirici ve moral verici yaklaşımıyla desteğini esirgemeyen danışman hocam Sn. Doç.Dr. Ziya Çağlar YURTTANÇIKMAZ'a, doktora tez izleme komitesi üyesi hocalarım Sn. Prof.Dr. Ömer Selçuk EMSEN'e ve Sn. Prof.Dr. Turan ÖNDEŞ'e süreç esnasındaki katkılarından dolayı teşekkür ederim. En önemli teşekkürü de hayatım boyunca her zaman üzerimde sorumluluğunu hissettiğim özverili emekleri için sevgili anneme ve babama, en büyük destekçilerim olan kıymetli eşime ve canım oğluma borçluyum.

Bu çalışma Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi Doktora Tez projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: 11281

Burak SEYHAN

ÖZET

DOKTORA TEZİ

YEŞİL EKONOMİ ÇERÇEVESİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ VE EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: TÜRKİYE VE AVRUPA BİRLİĞİ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Burak SEYHAN

Erzurum 2026, 155 Sayfa

Bu çalışmanın amacı, 1990–2022 döneminde Türkiye ve Avrupa Birliği’ne üye 27 ülke için yeşil ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik yenilik ve dışa açıklık arasındaki uzun dönemli ilişkileri yeşil ekonomi çerçevesinde ikinci kuşak panel veri yöntemleriyle incelemektir. Çalışmada, Dünya Kalkınma Göstergeleri (WDI) uluslararası veri tabanından derlenen yıllık ikincil veriler kullanılarak 28 ülkeden oluşan dengesiz panel veri seti oluşturulmuş; yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliği dikkate alınarak birim kök ve eşbütünleşme testleri ile uzun dönem katsayı tahmincileri uygulanmıştır. Modelde uzun dönem ilişkiler AMG, MG ve DCCE tahmincileriyle; nedensellik ise Emirmahmutoğlu ve Köse’nin (2011) bootstrap panel nedensellik testiyle sınanmıştır. Elde edilen bulgular, yenilenebilir enerji, teknolojik yenilik ve dışa açıklığın panel genelinde yeşil ekonomik büyümeyi pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı biçimde artırdığını göstermektedir. Çekirdek/Kuzey AB alt grubunda katsayıların daha yüksek olduğu, Güney ve CEE/Doğu AB ile Türkiye’de etkilerin daha sınırlı kaldığı görülmektedir. Nedensellik sonuçları, AB panelinde değişkenler arasında ağırlıklı olarak geri besleme ilişkisi bulunduğunu, Türkiye’de ise yenilenebilir enerji, teknolojik yenilik ve dışa açıklıktan yeşil ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedenselliğin baskın olduğunu ortaya koymaktadır. Bulgular, enerji dönüşümü ve eko-inovasyona dayalı yeşil büyüme rejiminin AB’de görece olgunlaştığını, Türkiye’de ise politika tasarımı ve kurumsal kapasiteye duyarlı kırılgan bir yapı sergilediğini ima etmektedir. Alt dönem analizleri, bulguların kriz ve pandemi şoklarına karşı görece dayanıklı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil ekonomi, yenilenebilir enerji, teknolojik yenilik, dışa açıklık, Türkiye ve AB ekonomik ilişkileri.

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

EVALUATION OF RENEWABLE ENERGY AND ECONOMIC GROWTH RELATIONSHIP IN THE FRAMEWORK OF GREEN ECONOMY: A COMPARATIVE ANALYSIS OF TURKEY AND THE EUROPEAN UNION

Burak SEYHAN

Erzurum 2026, 155 Pages

The aim of this study is to examine, within the framework of the green economy, the long-run relationships between green economic growth and renewable energy consumption, technological innovation and trade openness for the 27 European Union member states and Turkey over the period 1990–2022 using second-generation panel data methods. Using annual secondary data compiled from World Development Indicators (WDI), an unbalanced panel data set for 28 countries is constructed, and cross-section dependence and slope heterogeneity are explicitly taken into account through unit root and cointegration tests and long-run coefficient estimators. Long-run relationships are estimated by AMG, MG and DCCE estimators, while causality is analysed by the Emirmahmutoğlu and Köse (2011) bootstrap panel causality test. The empirical findings indicate that renewable energy, technological innovation and trade openness increase green economic growth positively and statistically significantly at the panel level. Coefficients are higher for the core/Northern EU subgroup, whereas the effects are more limited for Southern and CEE/Eastern EU countries and for Turkey. Causality results reveal predominantly feedback relationships among the variables in the EU panel, but mainly one-way causality running from renewable energy, technological innovation and trade openness to green economic growth in Turkey. Overall, the results suggest that a green growth regime based on energy transition and eco-innovation is relatively mature in the EU, while in Turkey it remains fragile and highly sensitive to policy design and institutional capacity. Sub-period analyses show that the main findings are relatively robust to crisis and pandemic shocks.

Keywords: Green economy, renewable energy, technological innovation, trade openness, Turkey and EU economic relations

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 VE SİMGELER DİZİNİ.....	1
GİRİŞ.....	1
BİRİNCİ BÖLÜM.....	5
ENERJİ, EKONOMİK BÜYÜME VE YEŞİL EKONOMİ: KAVRAMSAL ÇERÇEVE	5
1.1. Enerji Kavramı ve Enerji Kaynakları.....	6
1.1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları	8
1.1.1.1. Kömür	9
1.1.1.2. Petrol.....	10
1.1.1.3. Doğalgaz.....	12
1.1.1.4. Nükleer (çekirdek kaynaklı)	14
1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	15
1.1.2.1. Güneş Enerjisi.....	15
1.1.2.2. Rüzgâr Enerjisi	17
1.1.2.3. Hidroelektrik.....	19
1.1.2.4. Jeotermal.....	22
1.1.2.5. Biyokütle.....	25
1.1.3. Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerjinin Genel Görünümü	27
1.1.3.1. Dünyada Yenilenebilir Enerji Görünümü.....	27
1.1.3.2. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Görünümü	29
1.2. Enerji ve Ekonomik Büyüme İlişkisi	32
1.2.1. Hotelling Kuralı.....	33
1.2.2. Daly Durağan Durum Modeli.....	34

1.2.3. Jevons Paradoksu	35
1.2.4. Hamilton-Burbridge-Harrison Modeli	36
1.2.5. Büyüme Hipotezleri	37
1.3. Yeşil Ekonomi Kavramı.....	39
1.3.1. Yeşil Ekonomik Büyüme Kavramı	41
1.3.2. Yeşil Ekonomik Büyümenin İktisadi Belirleyicileri	44
1.3.2.1. Yenilenebilir Enerji	45
1.3.2.2. Teknolojik Yenilik.....	48
1.3.2.3. Dışa Açıklık.....	52
1.3.3. Yeşil Ekonomi Çerçevesinin Uluslararası Politika ve Hukuki Mevzuat Boyutu	55
1.3.3.1. Küresel İklim Yönetişi ve Paris İklim Anlaşması	56
1.3.3.3. AB İklim Yasası ve 2030 İklim Hedefinin Hukukileştirilmesi	57
1.3.3.4. Fit for 55 paketi: Emisyon Azaltımı Mevzuat Seti.....	58
1.3.3.5. REPowerEU: Enerji Güvenliği, Yenilenebilirler ve Hızlı Dönüşüm	59
İKİNCİ BÖLÜM	61
YEŞİL EKONOMİ ÇERÇEVESİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ VE EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİ: LİTERATÜR ANALİZİ	61
2.1. Yeşil Ekonomik Büyüme Çerçevesinde REN–TI–TRD–GEG İlişkisini İnceleyen Çalışmalar	61
2.2. Enerji–Büyüme İlişkisinin Teorik Temeli ve Çevresel Boyutun Entegrasyonu	64
2.3. Uluslararası Panel ve Ülke Grupları: Enerji Bileşimi ve Büyüme/Emisyon Bulguları	66
2.3.4. Türkiye İnceleyen Çalışmalardaki Zaman Serisi ve Panel Bulguları.....	69
2.3.5. Literatür Analizi Bulgularının Özet Uzantıları	72
2.3.5.1. AB ve Diğer Ülkeleri İnceleyen Araştırmalar	72
2.3.5.2. Türkiye’yi İnceleyen Araştırmalar	84
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	89
YEŞİL EKONOMİ ÇERÇEVESİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ VE EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: TÜRKİYE VE AVRUPA BİRLİĞİ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ.....	89
3.1. Veri Seti ve Model	89
3.2. Yöntem.....	93
3.2.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Testi.....	96
3.2.2. Eğim Katsayısı Homojenliği Testi	98

3.2.3. Birim Kök Testi.....	100
3.2.4. Eşbütünleşme Testi.....	101
3.2.5. Uzun Dönem Katsayı Tahmini.....	103
3.2.6. Nedensellik Testi.....	103
3.2.7. Dayanıklı Heterojen Ortalama Grup Tahminçiler.....	104
3.3. Bulgular.....	107
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	123
KAYNAKÇA	131
EKLER	141
EK-1. Tez Benzerlik Raporu.....	141
ÖZGEÇMİŞ.....	142



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1.	<i>Enerji Kaynakları Sınıflandırması</i>	7
Tablo 2.	<i>Yenilenemeyen ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Özellikleri</i>	15
Tablo 3.	<i>AB ve Diğer Ülkeleri İnceleyen Araştırmalar (Özet)</i>	80
Tablo 4.	<i>Türkiye'yi İnceleyen Araştırmalar (Özet)</i>	86
Tablo 5.	<i>Model Örneklemini Oluşturan AB Ülkeleri (AB-27 Grubu) ve Türkiye</i>	91
Tablo 6.	<i>AB Ülkeleri Panel Alt-Grupları</i>	92
Tablo 7.	<i>Modeli Oluşturan Değişkenlerin Tanımları ve Kaynakları</i>	92
Tablo 8.	<i>Modeli Oluşturan Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri</i>	93
Tablo 9.	<i>Breusch-Pagan LM ve Pesaran CD Yatay Kesit Bağımlılık Testleri Bulguları</i>	107
Tablo 10.	<i>Pesaran ve Yamagata Delta Katsayı Homojenlik Testi Bulguları</i>	107
Tablo 11.	<i>CIPS/ CADF Panel Birim Kök Testi Bulguları</i>	108
Tablo 12.	<i>Westerlund Eşbütünleşme Testi Bulguları</i>	109
Tablo 13.	<i>OLS, FMOLS ve DOLS Uzun Dönem Katsayı Tahmini</i>	109
Tablo 14.	<i>Emirmahmutoğlu ve Köse Panel Bootstrap Nedensellik Testi Bulguları</i>	110
Tablo 15.	<i>Tüm Dönem Alt Grup Emirmahmutoğlu ve Köse Nedensellik Testi Bulguları</i>	113
Tablo 16.	<i>Kriz-öncesi 1995–2008 Emirmahmutoğlu ve Köse Nedensellik Testi Bulguları</i>	113
Tablo 17.	<i>Kriz-sonrası 2009–2019 Emirmahmutoğlu ve Köse Nedensellik Testi Bulguları</i>	114
Tablo 18.	<i>Pandemi Dönemi 2020–2022 Emirmahmutoğlu ve Köse Nedensellik Testi Bulguları</i>	115
Tablo 19.	<i>CCEMG, AMG ve DCCE Ortalama Grup Tahminçileri</i>	116
Tablo 20.	<i>1995–2008 (Kriz-öncesi) CCEMG, AMG ve DCCE Ortalama Grup Tahminçileri</i>	118
Tablo 21.	<i>2009–2019 (Kriz-sonrası) CCEMG, AMG ve DCCE Ortalama Grup Tahminçileri</i>	119
Tablo 22.	<i>2020–2022 (Pandemi) CCEMG, AMG ve DCCE Ortalama Grup Tahminçileri</i>	121

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	<i>Dünyada Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Payları</i>	28
Şekil 2.	<i>Dünyada Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretimindeki Payları</i>	29
Şekil 3.	<i>Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Payları.....</i>	30
Şekil 4.	<i>Türkiye’de Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretimindeki Payları</i>	31
Şekil 5.	<i>Yeşil Ekonominin Çevresel, Ekonomik, Sosyal ve Kurumsal Boyutları.....</i>	43
Şekil 6.	<i>Yenilenebilir Enerji, Teknolojik Yenilik ve Dışa Açıklığın Yeşil Ekonomik Büyüme Üzerindeki Teorik Etki Kanalları.....</i>	44
Şekil 7.	<i>Yeşil Ekonomik Büyüme, Yenilenebilir Enerji, Teknolojik Yenilik ve Dışa Açıklık Arasındaki Geri Besleme Döngüleri.....</i>	45

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
ADF	: Genişletilmiş Dickey Fuller
AMG	: Uyarlanmış Ortalama Grup
CADF	: Yatay-kesit Bağımlı Genişletilmiş Dickey Fuller
CBAM	: Sınırdaki Karbon Düzenlemesi Mekanizması
CCEMG	: Ortak Faktör Duyarlı Ortalama Grup
ÇKE	: Çevresel Kuznets Eğrisi
DOLS	: Dinamik En Küçük Kareler
FMOLS	: Tam Modifiye Edilmiş En Küçük Kareler
GEG	: Yeşil Ekonomik Büyüme
GSYH	: Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IRENA	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
LM	: Lagrange Çarpanı
MG	: Ortalama Grup
OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
OLS	: En Küçük Kareler
REN	: Yenilenebilir Enerji Tüketimi
TI	: Teknolojik Yenilik
TRD	: Dışa Açıklık
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
VECM	: Vektör Hata Düzeltme Mekanizması
YKB	: Yatay-kesit Bağımlılık
WDI	: Dünya Kalkınma Göstergeleri

GİRİŞ

Küresel ölçekte iklim krizi, enerji güvenliği ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri, ekonomik büyümenin niteliğini yeniden tartışmaya açmış; salt niceliksel artışı önceleyen geleneksel büyüme anlayışından, çevresel sınırları ve kaynak verimliliğini içeren “yeşil ekonomi” yaklaşımına doğru güçlü bir yönelime yol açmıştır (OECD, 2011; UNEP, 2011). Bu yaklaşım, ekonomik faaliyetlerin çevresel maliyetlerini ve ekosistem hizmetlerini göz önünde bulunduran bütüncül bir çerçeve sunmakta; karbon yoğunluğunun azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerjiye geçişin hızlandırılması gibi politika eksenlerini büyüme tartışmasının merkezine yerleştirmektedir. Avrupa Birliği (AB) bağlamında Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Commission, 2019), “Fit for 55” paketi (European Commission, 2021) ve REPowerEU (European Commission, 2022) gibi düzenleyici çerçeveler, enerji dönüşümünü yalnızca çevresel değil, aynı zamanda rekabetçilik ve ekonomik dayanıklılık açısından da stratejik bir alan olarak konumlandırmıştır. Türkiye’de ise yenilenebilir enerji sektörü ihaleleri, şebeke yatırımları ve teşvik mekanizmaları ile yenilenebilir enerji kapasitesi büyümekte; bununla birlikte teknolojik yetkinliklerin derinleştirilmesi, finansmana erişimin iyileştirilmesi ve ticaret kompozisyonunun “yeşil dönüşüm” ile senkronizasyonu giderek daha kritik bir politika gündemi hâlini almaktadır.

Bu çalışma, Türkiye ve AB ülkeleri araştırma örnekleminde 1990–2022 dönemini kapsayan yıllık panel veri setinde, yeşil ekonomik büyüme (GEG) ile yenilenebilir enerji tüketimi (REN), teknolojik yenilik (TI) ve dışa açıklık (TRD) arasındaki uzun dönemli ilişkileri, yeşil ekonomi çerçevesinde sistematik ve karşılaştırmalı olarak incelemektedir. GEG değişkeninin, klasik reel kişi başına GSYH yerine çevresel etkileri (örneğin emisyonlar, enerji/karbon yoğunluğu) içeren bir çıktı proxy’si olarak tercih edilmesi, büyümenin “kalitesine” odaklanmayı mümkün kılmakta ve enerji dönüşümünün uzun dönemli büyüme patikaları üzerindeki etkisini daha uygun bir metrikle sınamayı sağlamaktadır (Sohag vd., 2019; Taşkın vd., 2020). Böylece, ekolojik ekonomi ve çevreci modernleşme yaklaşımlarının öngördüğü biçimde, ekonomik çıktı ile çevresel sürdürülebilirlik birlikte dikkate alınmaktadır (Daly, 2007; Mol ve Sonnenfeld, 2000).

Enerji dönüşümünün büyüme üzerindeki etkisi, ülkelerin kurumsal kapasiteleri, teknoloji tabanları, politika tasarımları ve dışa açıklık profilleri nedeniyle güçlü bir heterojenlik sergileyebilmektedir. AB içinde kuzey-batı “çekirdek” ile güney ve doğu (CEEC) ekonomileri arasında enerji yoğunluğu, yenilenebilir kapasite, politika esnekliği ve Ar-Ge

altyapısı bakımından belirgin farklılıklar bulunduğu literatürde sürekli vurgulanmaktadır (Costantini ve Martini, 2010; Apergis ve Payne, 2010c; Ohler ve Fetters, 2014). Türkiye'nin kurumsal ve sektörel yapısı da AB ortalamasından ayrılmakta; enerji ithalat bağımlılığı, finansman koşulları ve teknoloji ekosistemi gibi unsurlar, enerji dönüşümü-büyüme etkileşimini özgül bir düzlemde şekillendirmektedir.

Bu bağlamda, (i) yenilenebilir enerji kullanımındaki artışın yeşil ekonomik büyüme üzerindeki uzun dönem etkisinin işaret, büyüklük ve istatistiksel önemi, (ii) teknolojik yeniliğin (ör. Ar-Ge/GSYH, patent başvuru sayısı, temiz teknoloji göstergeleri) yeşil büyümeyi hangi kanallardan ve ne ölçüde desteklediği, (iii) dışa açıklığın etkisinin bileşim/teknik etkilerine bağlı olarak ülkeler arasında nasıl farklılaştığı ve nihayet (iv) bu değişkenler arasındaki nedensellik yönlerinin ülke ve alt-bölge düzeyinde nasıl yapılandığı, politika tasarımı ve akademik literatür için temel önemde sorular olarak karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu ilişkilerin, küresel finans krizi (2008), kriz sonrası dönem (2009–2019) ve pandemi mini-dönemi (2020–2022) gibi düşük frekanslı şoklara duyarlılığı da ayrıca önemlidir; çünkü bu tür şoklar enerji talebi, yatırım kararları, ticaret ve finansman kanallarını eşzamanlı olarak etkileyebilmektedir. Bu tez çalışması, yukarıdaki sorulara yeşil ekonomik çerçevesinde ekonomik büyümeyi bir çıktı göstergesi olarak kullanarak, ikinci kuşak panel veri ekonometrisi çerçevesinde ve Türkiye-AB karşılaştırması ile yanıt araması bağlamında önem arz etmektedir. Çalışma, böylece hem ölçüm yaklaşımı (yeşil ekonomik büyüme bağımlı değişkeni) hem de yöntem (ortak faktörleri içselleştiren testler ve heterojen nedensellik) bakımından mevcut literatüre nitelikli bir katkı hedeflemektedir.

Enerji-büyüme literatürü, klasik GSYH göstergesi ile enerji tüketimi/yenilenebilir enerji arasındaki ilişkileri oldukça geniş bir ölçekte incelemiştir (Apergis ve Payne, 2010a, 2011; Lee ve Chang, 2008; Pao ve Tsai, 2010). Ancak yeşil ekonomik büyüme gibi çevresel maliyet ayarlı çıktı göstergelerinin kullanımı görece yenidir ve 2020 sonrası çalışmalarda öne çıkmıştır. Nitekim Sohag ve. (2019) ve Taşkın ve. (2020), yenilenebilir enerji tüketimi ve inovasyonun çevresel zarar ayarlı büyüme göstergeleri üzerindeki pozitif etkilerini sistematik biçimde göstermiştir. Böylece yeşil ekonomi çerçevesinin ampirik olarak test edilmesi yönünde önemli bir eşik yaratmıştır. Bununla birlikte, yeşil ekonomi odaklı çalışmaların AB alt-bölgeleri (çekirdek/kuzey-batı, güney, CEEC, Baltık) ayırımına giderek, kriz kırılmalarını ve pandemi etkilerini eşzamanlı ele aldığı araştırmalar oldukça sınırlıdır.

Yöntem bakımından da literatür, yatay-kesit bağımsızlığı varsayımına dayanan birinci kuşak testlerin sınırlılıklarını tartışmış, ortak faktör yapısını ve heterojenliği içselleştiren ikinci kuşak panel çerçevesine yönelmiştir (Pesaran, 2006, 2007; Pesaran ve Yamagata, 2008;

Westerlund, 2007). Uzun dönem katsayı tahmininde CCEMG/MG (Pesaran, 2006), AMG (Eberhardt ve Teal, 2010) ve DCCE (Chudik ve Pesaran, 2015) gibi araçlar yaygınlaşmıştır. Nedensellik analizinde Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) bootstrap yaklaşımı, farklı bütünleşme derecelerine izin verirken ülke-özel MWALD istatistikleri üzerinden heterojen dinamikleri yakalamayı mümkün kılan esnek bir mimari sunmaktadır. Ancak bu araç setinin “yeşil ekonomik büyüme-yenilenebilir enerji tüketimi-teknolojik yenilik-dışa açıklık” dörtlüsü üzerinde, Türkiye-AB ülkeleri konfigürasyonunda ve alt dönem ayrımıyla birlikte bütüncül uygulanaşı literatürde henüz sınırlıdır. Bu yönden tez çalışması, söz konusu boşluğu metodik bir tasarımla doldurmayı amaçlamaktadır.

Araştırma, üç teorik temel üzerinde yükselmektedir:

- (i) Yeşil ekonomi ve çevreci modernleşme: Enerji dönüşümünün, çevresel maliyetleri içselleştirerek verimlilik artışı, yeni yeşil sektörlerin gelişimi ve dışa bağımlılığın azalması kanallarıyla büyümeyi destekleyebileceği öngörülmektedir (UNEP, 2011; Mol ve Sonnenfeld, 2000). Yenilenebilir enerji kullanımındaki artış, karbon yoğunluğunu ve ithal fosil yakıt faturasını düşürürken yatırım güvenliğini artırabilmektedir.
- (ii) İçsel büyüme ve inovasyon: Ar-Ge, patentler ve bilgi birikimi, verimlilik artışının kalıcı kaynağıdır (Romer, 1990; Aghion ve Howitt, 1992). Teknolojik yeniliklerdeki yükseliş, temiz teknolojilerin yayılımını hızlandırarak ve faktör verimliliğini artırarak yeşil ekonomik büyüme üzerinde pozitif etki yaratabilmektedir. Çevreci modernleşme ile içsel büyüme literatürü, eko-inovasyonun yeşil büyümenin merkezinde yer aldığını vurgulamaktadır.
- (iii) Ticaret-çevre etkileşimi: Ticaretin çevresel etkileri, ölçek, bileşim ve teknik etkiler üzerinden tartışılmaktadır (Antweiler vd., 2001). Dışa açıklığın yeşil ekonomik büyüme üzerindeki net etkisi, ülkelerin ihracat/ithalat bileşimine, teknoloji yoğunluğuna, yapısal standartlara uyumuna ve karbon düzenlemelerine bağlıdır. AB’de CBAM ve ürün standartları gibi araçlar, ticaretin yeşil dönüşümle uyumunu arttırmayı hedeflemektedir.

Bu özet teorik çerçeve, yeşil ekonomik büyümenin çıktı değişkeni olarak seçmenin gerekçesini güçlendirmektedir. Enerji ve yenilik kanalları yoluyla büyümenin niteliği değişmekte; ticaret kompozisyonu da bu dönüşümü hızlandıran/limitleyen bir rol oynayabilmektedir.

Çalışmanın genel amacı, Türkiye ve AB için 1990–2022 döneminde “yeşil ekonomik büyüme-yenilenebilir enerji tüketimi-teknolojik yenilik-dışa açıklık” ilişkilerini, panel geneli,

alt-bölgeler ve ülke düzeyi ayrımlarında ve alt dönem kırılmaları dikkate alınarak analiz etmektir. Bu amaç doğrultusunda temel araştırma soruları şunlardır:

- (i) S1. Yenilenebilir enerji tüketimi payındaki artış, uzun dönemde yeşil ekonomik büyümeyi artırır mı?
- (ii) S2. Teknolojik yenilik kapasitesi, yeşil ekonomik büyümeyi nasıl etkiler?
- (iii) S3. Dışa açıklık, yeşil ekonomik büyümeyi destekler mi; etkisi ülkeler arasında nasıl farklılaşır?
- (iv) S4. Nedensellik yönleri ülkelere ve alt-bölgeler arasında farklılaşır mı?

Bu sorular ve hipotezler, teorik beklentileri ve literatürde rapor edilen heterojen bulguları (Apergis ve Payne, 2010a, 2011; Menegaki, 2011; Sohag vd., 2019; Taşkın vd., 2020) modern ekonometrik yöntemlerle olarak sınamayı hedeflemektedir.

Çalışmanın giriş bölümü sonrasındaki bölümleri sırasıyla şu akışla ilerleyecektir: Birinci bölüm (kavramsal çerçeve) enerji kavramı ve yenilenemeyen/yenilenebilir enerji kaynakları, enerji/ekonomik büyüme ilişkisi, yeşil ekonominin kavramsal temelleri, içsel büyüme ve çevreci modernleşme yaklaşımları, yeşil ekonomik büyümenin iktisadi belirleyicileri olan yenilenebilir enerji, teknolojik yenilik ve dışa açıklık kanalları ayrıntılandırılacaktır. İkinci bölüm (literatür analizi) uluslararası, AB odaklı ve Türkiye literatürünü, özellikle 2010 sonrası ikinci kuşak panel ekonometrisi çalışmalarına vurgu yaparak, yöntem ve bulgular açısından teorik ve ampirik biçimde sentezleyerek literatürdeki mevcut boşlukları ve bu tezin beklenen katkısını vurgulayacaktır. Üçüncü bölüm (yöntem ve uygulama) araştırmanın veri ve değişken tanımlarını, test sıralamasını, modelleme stratejisini (yatay-kesit bağımlılık, homojenlik, birim kök, eşbütünleşme, uzun dönem katsayı ve ortalama tahminci, nedensellik) ayrıntılarıyla açıklayacak; gerçekleştirilen analizleri panel, alt-bölgeler ve ülke düzeyinde sunacak; alt dönem karşılaştırmalarını raporlayacaktır. Sonuç ve öneriler bölümünün ise elde edilen ampirik bulguların yeşil ekonomi çerçevesindeki anlamını tartışarak, Türkiye ve AB için farklılaştırılmış, uygulanabilir politika önerileri ve gelecek araştırmalara özgün bir akademik katkı sunması hedeflenmektedir.

BİRİNCİ BÖLÜM

ENERJİ, EKONOMİK BÜYÜME VE YEŞİL EKONOMİ: KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Enerji, iktisadi sistemin görünmeyen altyapısıdır. Üretimden ulaşıma, barınmadan dijital hizmetlere kadar her faaliyet, doğrudan ya da dolaylı enerji girdilerine dayanmaktadır. Bu nedenle enerjiye ilişkin kavramsal netlik—enerjinin fiziksel tanımı, birincil/ikincil ayrımı, yenilenebilir–yenilenemez kaynak sınıflandırması, taşıma–dönüşüm–depolama zinciri—ekonomik analizlerin başlangıç noktasını oluşturmaktadır.

Enerji ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki, literatürde hem teorik hem ampirik düzeyde çok kanallı bir yapıya sahiptir. Enerji; sermaye ve emekle birlikte üretim fonksiyonunda temel bir girdi olarak çıktı seviyesini etkilerken, fiyat kanalı üzerinden maliyet yapısını, teknoloji kanalı üzerinden verimlilik ve yenilik süreçlerini, dış ticaret kanalı üzerinden rekabet gücünü şekillendirmektedir. Bu bölümde ilk olarak kaynakların teknik özellikleri (değişkenlik, kapasite faktörü, sistem esnekliği), ekonomik nitelikleri (marjinal maliyet, dışsallıklar) ve kurumsal boyutları (pazar tasarımı, düzenleme) birlikte ele alınarak enerji arzının güvenlik–ekonomiklik–sürdürülebilirlik üçlemesi içinde nasıl konumlandığı açıklanacaktır. Sonrasında etkileşimlerin yönüne ilişkin klasik hipotezler (büyüme, koruma, geri besleme, yansızlık) açıklanacak; enerji tüketimi/yoğunluğu, teknolojik ilerleme ve dışa açıklık gibi değişkenlerin büyümeye hangi mekanizmalarla bağlandığı, hem kısa dönem dalgalanmalar hem de uzun dönem denge ilişkileri açısından sistematik biçimde tartışılacaktır.

Küresel iklim krizi, enerji–büyüme bağlamına yeşil ekonomi perspektifini eklemlenmiştir. Yeşil ekonomi, refah artışını ekolojik sınırlarla uyumlu hale getirmeyi; başka bir deyişle ekonomik faaliyet ile çevresel baskıların ayrışmasını hedeflemektedir. Bu yaklaşım, karbon yoğunluğunun düşürülmesi, kaynak verimliliği, döngüsel ekonomi ilkeleri ve temiz teknolojilerin yaygınlaştırılması yoluyla hem riskleri (iklim, enerji fiyat şokları) azaltmayı hem de yeni büyüme olanakları (yeşil inovasyon, istihdam) yaratmayı amaçlamaktadır. Birinci bölümünün son kısmında yeşil ekonominin kavramsal çerçevesi; yeşil ekonomik büyümenin iktisadi bileşenleri olan yenilenebilir enerji, teknolojik yenilik ve dışa açıklık ile bunları etkileyen yapısal, politik ve hukuki faktörlerle birlikte tanımlanacaktır.

1.1. Enerji Kavramı ve Enerji Kaynakları

Enerji yaşamın devamı ve sürdürülebilirliği açısından büyük öneme haiz olan ve yaşamın her alanını etkileyen bir olgudur. Canlı varlıklar, en başta da insanlar enerjiyi gerçekleştirdikleri her bir yaşamsal aktivite için kullanmaktadır. Örneğin düşünürken, nefes alıp verirken, yürürken, konuşurken, yemek yerken ve benzer şekilde günlük yaşamsal aktivitelerimizi yerine getirirken insanlar enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu bağlamda öncelikle enerji kavramının tanımlanması ve bir yaşamsal kaynak olması yönüyle enerjinin kaynaklarının açıklanması oldukça önemlidir.

Termodinamik veya fizik gibi fen bilimlerinde kullanılan diğer bir tanımla fiziksel olarak bir etki, değişim yaratma yeteneği ve kapasitesi olarak ifade edilebilir. Bu tanıma göre enerji, varlıkların hareket etmesine veya değişmesine yol açarken, hareket eden veya değişen varlıklar bir tür enerji açığa çıkarmaktadır. Bu yönüyle enerji sözcüğüyle kastedilen farklı enerji formları niteliğindeki iş ve ısı kavramlarıdır (Spurgeon ve Flood, 2014, s. 4).

Fen bilimleri yanında günümüzde bilimin birçok dalında enerji konusu ele alınmakta, enerjinin üretilmesi, elde edilmesi ve kullanılması süreçlerini inceleyen araştırmalar yapılmaktadır. Sosyal bilimlerde ekonomi ve coğrafya, temel bilimlerde matematik, doğa bilimlerinde ekoloji, biyoloji, fizik ve kimya, uygulamalı bilimlerde ise enerji mühendisliği ve çevre mühendisliği alt bilim dalları enerjiyi en çok konu edinen disiplinler olarak örnek verilebilir (Yapar, 2020, s. 4).

Kökeni, Yunanca aktif (εν) ve iş (εργον) sözcüklerine dayanan enerji; fen bilimlerinde fiziksel yapı taşlarından oluşan doğrudan ölçülemeyen bir güç yaratma ve iş yapabilme kapasitesi ölçütü olarak, ekonomi biliminde ise üretim fonksiyonu açısından kullanılabilir tüm enerji kaynaklarını ve bunların üretimi/ tüketimi olarak tanımlanmaktadır (Öztürk, 2013, s. 1). Türk Dil Kurumu'na göreyse enerji sözcüğünün sözlük anlamı; organların çalışabilmesi ve vücut ısısının sürdürülebilmesini sağlayan besin öğelerinin oluşturduğu güç veya maddede var olan ve ısı, ışık biçiminde ortaya çıkan güç, erke şeklindedir.

Yukarıda da değinildiği gibi günlük yaşamın neredeyse her alanında ihtiyaç duyulan enerji, doğada farklı formlarda bulunmakta ve kullanım alanına veya ihtiyaca göre farklı teknikler kullanılarak diğer formlara dönüştürebilmektedir. Ekonomi biliminin tanımı gereği kıt kaynakları kullanarak sınırsız insan ihtiyacını karşılamak bağlamında artan dünya nüfusuyla paralel fakat dengesiz artan enerji ihtiyacını karşılamak ve sürdürülebilir enerji politikaları izleyebilmek için enerji kaynaklarının doğru sınıflandırılması ve dünyadaki mevcut enerji kaynaklarının durumunun tespit edilmesi kilit role sahiptir (Koç ve Şenel, 2013, s. 33).

Ekonomik anlamda farklı tekniklerle enerji açığa çıkartılan veya enerji üretilen kaynaklara enerji kaynakları denilmektedir (Karadağ Albayrak, 2019, s. 8).

Enerji kaynaklarının üç temel özelliği bulunmaktadır. Bunlar:

(i) Kıt yani sınırlı miktarda olmaları,

(ii) Dünyaya coğrafik olarak homojen bir şekilde dağılmamış olmaları ve

(iii) Enerji kaynaklarının formları arası dönüştürme işleminin çevresel kirlilik yaratmasıdır (Bilginoğlu, 1991, s. 123).

Yukarıdaki üç temel özelliği taşıyan enerji kaynakları; insan yaşamının sürdürülebilir şekilde idamesi açısından önemli olması yanında, dünyanın farklı bölgelerine farklı nitelik ve farklı nicelikte dağıldığı için de ülkeler açısından jeo-stratejik bir olgudur. Bazı ülkeler enerji zenginiyken bazı ülkelere enerji fakiri konumundadır. Bu bağlamda enerji kaynakları dünyada özellikle son yıllarda, hem enerjinin üretimi/ tüketimi veya arzı/ talebi açısından ekonomik hem de enerji politikaları, enerji güvenliği ve enerji bağımlılığı gibi politik kavramlar bakımından da uluslararası ve stratejik bir rol oynamaktadır (Keleş vd. 2009, s. 149).

Enerji kaynakları birbirinden farklı muhtelif tasnif ölçütlerine göre sınıflandırılabilir. Birlikte literatürde en sık kullanılan sınıflandırma türleri enerjinin kullanılabilirlik ve dönüştürülebilirlik bakımından sınıflandırılmasıdır.

Aşağıdaki Tablo 1’de kullanılabilirlik ve dönüştürülebilirlik bakımından enerji kaynaklarının sınıflandırılması verilmektedir.

Tablo 1.

Enerji Kaynakları Sınıflandırması

Enerji Kaynakları	
Kullanılabilirlik bakımından	Dönüştürülebilirlik bakımından
Yenilenemeyen	Birincil
<i>Fosil Kaynaklı</i>	Kömür
Kömür	Petrol
Petrol	Doğalgaz
Doğalgaz	Kaya Gazı
<i>Çekirdek Kaynaklı (nükleer)</i>	Nükleer
Uranyum	Biyokütle
Toryum	Hidrolik
	Güneş
	Rüzgâr
	Dalga

Tablo 1 (Devamı)

Yenilenebilir	İkincil
Güneş	Elektrik, benzin ve motorin
Rüzgar	İkincil kömür
Hidrolik	Kok, petrokok
Jeotermal	Havagazı
Dalga	Sıvılaştırılmış petrol gazı (lpg)
Hidrojen	
Biyokütle	

Kaynak: Koç ve Şenel, 2013, s. 33.

Enerji, rekabet edebilme gücü ve büyümenin lokomotifini harekete geçirme açısından önemli bir role sahiptir. Bu bağlamda ister yenilenemeyen ister yenilenebilen enerji kaynakları, bir yandan önemli birer faktör maliyeti niteliği taşıırken öte yandan da önemli birer imalat girdisi niteliğindedir (Fotourehchi, 2017, s. 61).

Enerji kaynakları kullanılabilirlik bakımından yenilenemeyen (tükenir) ve yenilenebilir (tükenmeyen), dönüştürülebilirlik bakımından da birincil (primer) ve ikincil (sekonder) enerji kaynakları olarak ikili alt gruplar halinde sınıflandırılmaktadır (Tiftikçigil ve Yesevi, 2015, s. 29).

Piyasada, doğada bulunduğu formuyla dönüşüme uğramadan ve doğal haliyle kullanılan enerji kaynaklarına birincil enerji kaynakları adı verilmektedir. Bunlar yaygın sınıflandırmaya göre kömür, petrol, doğalgaz, kaya gazı, nükleer, biyokütle, hidrolik, güneş, rüzgâr ve dalga enerjisinden oluşmaktadır (Yapar, 2020, s. 7).

İkincil enerji kaynakları ise birincil enerji kaynaklarının uygun dönüştürme teknikleri kullanılarak dönüştürülmesi sonucunda kullanımı daha elverişli enerji açığa çıkartılmasını ifade etmektedir. Dolayısıyla ikincil enerji kaynaklarının birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesine bağlı olduğu ve ikincil enerji üretimi sürecinin ana girdisinin birincil enerji kaynakları olduğu da söylenebilir. Petrol türevi olan akaryakıt çeşitleri, elektrik ve kok kömürü ikincil enerji kaynaklarına örnek verilebilir. (Kerimoğlu, 2020, s. 5)

Bu çalışmada enerji kaynakları kullanılabilirlik bakımından tasnif ediliş şekliyle alınmış ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde ağırlıkla durulmuştur.

1.1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Yenilenemeyen enerji kaynakları, yakın bir zaman periyodu içinde tükeneyeceği bilinen ve açığa çıktıktan tüketilene kadar geçen süre kısa olan fosil ve çekirdek (nükleer) kaynaklıdır (Akova, 2008, s. 10). Fosil kaynaklı enerji kaynakları, ölü organizmaların çok uzun zaman

periyotlarında geçirdiği kimyasal değişimler sonucu açığa çıkmaktadır. Bunlar; kömür, petrol ve doğalgaz gibi günümüzde halen en fazla kullanılan enerji kaynaklarıdır (İncekara ve Oğulata, 2011, s. 3).

1.1.1.1. Kömür

Çoğunlukla bataklık bölgelerdeki bitkilerin üzerinin, bitkisel ve hayvansal kalıntıların su ve kirli yüzey tabakaları ile kaplanarak milyon yıllarla ifade edilen zaman periyotlarında basınç ve ısıya maruz kalarak değişmesi/ dönüşmesi sonucu oluşan kimyasal maddelere kömür adı verilmektedir (Karadağ Albayrak, 2019, s. 10).

Kömürün tanımını biraz daha genişleterek oluşum sürecini de içine alacak şekilde; yoğun olarak karbon, yoğun olmayan miktarlarda da hidrojen, oksijen, azot ve kükürt ihtiva eden, tabakalaşmış lignoselülozik bitki dokularının bir araya gelerek oluşturduğu siyah veya koyu kahverengi renge sahip katı halindeki heterojen fosil kalıntılara kömür denilmektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi çoğunlukla bataklık kenarlarında bitkisel kalıntıların kirli suya maruz kalarak basınç ve ısı etkisiyle bataklık suyunun jel kıvamına gelmesi sonucu söz konusu kalıntıların kimyasal reaksiyonlar geçirerek kömüre dönüşmesi mümkün olmaktadır. Ancak bu süreç milyonlarca yıl süren bir periyot sonucu gerçekleştiğinden kömür yenilenemeyen bir enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir (Aydın, 2014, s. 47).

Kömür, yüksek kalorili ve düşük kalorili olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Yüksek kalorili kömür türü olan taş kömürü (sert kömür); içeriği, koklaşma özelliği ve ısı değerine göre antrasit ve bitümlü kömür olarak ikiye ayrılmaktadır. Düşük kalorili kömürlerin de linyit ve yarı bitümlü kömür olmak üzere iki çeşidi vardır (TMMOB, 2010, s. 9).

Taş kömürü, içerdiği karbon yüzdesi sebebiyle kalorisi ve ısı değeri yüksek olan kömür çeşididir. Oluşum süreçleri I. Jeolojik Zamanın Karbonifer ve Permien Çağlarına kadar uzanmaktadır. Ekonomik açıdan bakıldığında demir-çelik imalat sanayiinde hammadde olması açısından son derece önemlidir. Antrasit, taş kömürünün çok sınırlı ölçüde başkalaşım geçirmesiyle oluşmuş ve rutubetin etkisiyle zamanla uçucu özelliğini yitirmiş kömür çeşididir. Oluşum süreçleri I. Jeolojik Zamanın Karbonifer ve Devonien Çağlarına kadar uzanmaktadır. Taşkömürüne nazaran içerdiği karbon yüzdesi çok daha fazla olduğundan ısı değerleri ve kalorileri çok daha yüksektir. Ayrıca uçuculuk yüzdesinin çok düşük olması ve çok nadir bulunması sebebiyle ekonomik açıdan karlı bir metadır. Demir-çelik imalatında taşkömürü gibi hammadde olarak kullanılan ve görece ucuz olan kok kömürü antrasitten elde edilmektedir (Kantarmacı, 2019, s. 24).

Linyit, termik elektrik üretim santrallerinde hammadde olarak kullanılan, kalorisi düşük olması yanında tozu ve külü çok fazla olan neredeyse tam kahverengi renge sahip kömür çeşididir. Oluşum süreçleri III. Jeolojik Zamanın Tersiyer Çağına denk gelmektedir. Bunlar haricinde kalori değerlerine göre sınıflandırmada antrasitin altında yer alan bitümlü kömür ve taşkömürü ile linyit arasında yer alan yarı bitümlü kömür vardır (Doğanay ve Coşkun, 2017, s. 16).

Yapılan arkeolojik çalışmalar sonucu kömürün, insanoğlu tarafından ilk olarak milattan önce 2000’li yıllarda Antik Yunan ve Eski Çin uygarlıklarında yüzeyden açığa çıkartıldığı saptanmıştır. Kullanım amacına göreyse kömür milattan sonra 1200’lü yıllarda Büyük Britanya’da Tyne Irmağı havzasında Newcastle upon Tyne yerleşim yerinde ısınma amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. O dönemlerden günümüze süregelen zaman periyodunda kömür, Sanayi Devrimiyle beraber başta yine Büyük Britanya olmak üzere tüm dünyada demir-çeliğin hammaddesi olarak sanayi imalatında yoğun bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir. Yine Sanayi Devrimi sonrasında Avrupa’da kömürle ısıtılan buhar kazanlı lokomotif, Amerika’da termik enerji santralleri ve Büyük Britanya’da kömür kaynaklı havagazıyla çalışan sokak aydınlatma lambaları icat edilmiştir. Bu bağlamda kömürün Sanayi Devrimini başlatmakla kalmayıp elektrik çağının da fitilini ateşleyen bir enerji kaynağı olduğunu belirtmek gerekir. Diğer fosil yakıtlara görece daha ucuz olması, ucuz olmasına karşın verimliliğinin yüksek ve dünya üzerine yayılma sıklığının genişlik ve bolluk açısından çok daha fazla olması, kullanımı sonrası ortaya çıkan kül ve tozun karbon yakalama filtreleme işlemleriyle katı/ sıvı formlarda yeniden kullanma imkânı bulunması kömürün avantajlarıdır. Öte yandan tüm yanıcı yakıt ve enerji kaynaklarına göre karbondioksit salınımı en yüksek madde olması, yarattığı çevresel kirlilik sonucu ekolojik dengeyi bozarak çevre sorunları ortaya çıkarması ve özellikle solunum sistemi başta olmak üzere insan sağlığına olumsuz etkileri kömür kullanımının dezavantajlı noktalarıdır (Kerimoğlu, 2020, s. 12).

1.1.1.2. Petrol

Yoğunluğu sudan daha az olup suda erimeyen, yerküre kabuğundaki kayalar içerisinde depolanmış organik maddelerin bir araya getirdiği sıvı hidrokarbonlara Latince petra ve oleum sözcüklerinin bileşimi olan petrol (petroleum) adı verilmektedir (Öztürk, 2013, s. 6).

Petrolün oluşum süreciyle ilgili literatürde en sık kabul gören teoriler inorganik ve organik teorilerdir. Bunlardan inorganik teori; metan, benzol ve asetilen gibi kimyasal maddelerin laboratuvar ortamında elde edilmesi mümkün olduğu için petrolün volkanik patlamalar ve doğal kimyasal reaksiyonlar sonucu canlı varlıklardan bağımsız olarak oluştuğu

hipotezine dayanmaktadır. Organik teoriye göreyse organik maddelerin ısıtılması işlemi sonucu petrol benzeri bir hidrokarbon madde ortaya çıktığı için petrol canlıların yani hem bitkilerin hem de hayvanların kalıntılarından oluşmaktadır (Beşergil, 2009, s. 131).

Petrolün oluşum süreçleri incelendiğinde yeryüzünün büyük çoğunluğunu okyanus ve denizlerin kapladığı ilk dönemlerde suda yaşayan alg ve plankton canlıları suyun dibine çökerek tortu katmanları şeklinde birikmişlerdir. Alg ve plankton kalıntılarının tabakalaşarak katmanlar halinde üst üste eklenmesi sonucu basınç ve sıcaklık artarak, oksijensiz ortamda kimyasal reaksiyonlar oluşmasıyla söz konusu kalıntılar petrolün hammaddesi olan kerojene dönüşmektedir. Oluşan kerojen zaman içerisinde yine basınç ve sıcaklığın etkisiyle değişerek/dönüşerek petrol açığa çıkmaktadır. Ancak bu sürecin işlemesi için suda yaşayan alg ve planktonların bakteriler tarafından parçalanmadan suyun dibine çökmesi ve üzerinin tabakalar halinde kaplanması gerekmektedir. Oluşan petrol yer kabuğundaki kayaçların arasına sızarak yer altında birikmeye başlamaktadır. Yer kabuğundaki kırılmalar, kaymalar ve hareketlenmeler sonucu biriken petrol konum değiştirerek y zeeye yakın daha sığ derinliklerdeki bölgelere sızmaktadır. Böylelikle petrol havzaları veya petrol yatakları meydana gelmektedir (Sonel, 1997, s. 12).

Petrolün birçok sınıflandırması olmakla beraber Amerikan Petrol Enstitüsü (API) tarafından yapılan gravite ayırımına göre sınıflandırma en yaygın kabul görenidir. Buna göre sarı, yeşil ve açık kahverengi olan petrol yüksek graviteli (hafif) petrol; koyu kahverengi ve siyah renkli olan petrol ise düşük graviteli (ağır) petrol olarak tanımlanmıştır (Kürşat, 2012, s. 4).

Petrolün kullanım alanlarına bakıldığında tarih kaynakları petrolün bilinen ilk kullanımının milattan önce 4000’li yıllarda Babil (Babylon) Uygarlığında asma bahçeler, duvar ve kule inşaatında bir yapı malzemesi olarak zift formunda olduğunu yazmaktadır. Yine eski uygarlık tarihi yazımı ve arkeolojik  alışmalar Eski Mısır’da petrolün reçineye alternatif olarak mumyalama ve cenaze defin işlemlerinde kullanıldığını göstermektedir. Petrolün enerji kaynağı olarak kullanımına yönelik ilk çalışma milattan sonra 4. Yüzyılda Çin’de bambu çubukları u  uca birbirine eklenerek oluşturulan borularla petrol kuyusu kazma işlemidir. Bu işlem sonucu açığa çıkarılan petrol yardımıyla deniz suyu buharlaştırılmış ve tuz üretimi sağlanmışır. Petrolün petro-kimya anlamında sanayii mamulü olarak ilk kullanımıysa 19. Yüzyılda Kanada’da petrolün damıtılarak gaz yağı üretilmesi ile gerçekleşmiştir. Daha sonra sırasıyla gelen icatlarla; yine 19. Yüzyılda petrolün balina yağına alternatif olarak parafin mumunda, rafine edilerek lambalarda gaz yağı ve benzeri türevlerde aydınlatmada ve nihayet

20. Yüzyılda elektrik üretiminde, patlamalı motorların icadıyla da otomobillerde ve makinalarda yakıt olarak kullanılması söz konusu olmuştur (Acar vd. 2011, s. 30).

Petrol tıbbi araç-gereç, kozmetik, gübre gibi tarımsal maddeler, boya, plastik, oyuncak, temizlik maddeleri gibi birçok ürünün imalatında kullanılmakla beraber asıl ekonomik kullanım alanı bir enerji kaynağı olarak kullanımıdır. Günümüzde binalarda kalorifer kazanlarında ve gaz yağı sobalarında ısınma amaçlı; ulaşım sektöründe havayolu, denizyolu ve karayolu araçlarının motorlarında yakıt olarak ve son dönemlerde yaygınlaşan şekilde sanayi sektöründe elektrik üretiminde petrol kullanılmaktadır. Kömüre kıyasla depolanması ve transferinin daha kolay olması, günlük yaşamın neredeyse her alanında kullanılan plastik ve ilaç gibi ürünlerin imalatında girdi olarak yer alması ve ulaşım araçları başta olmak üzere neredeyse tüm makinalı/ motorlu teknolojilerde farklı formlarıyla yakıt olarak kullanılması petrolün avantajlarıdır. Öte yandan petrol kullanımının dezavantajlarına başlıca örnekler olarak; arama-çıkarma sürecinin maliyetli olması, depolanması ve transferi esnasında yaşanan kazaların çevre felaketlerine yol açması, özellikle denizlerdeki tanker kazaları sonucu canlı türlerinin büyük zarar görmesi sayılabilir. Son dönemlerde artan şekilde petrol yatakları veya petrol havzaları bakımından zengin Ortadoğu gibi bölgelerde artan politik istikrarsızlıklar ve yaşanan küresel ölçekli savaşlar da petrolün dezavantajı olmakla beraber uluslararası güvenlik stratejileri açısından da önemli bir dış politika argümanıdır (Kerimoğlu, 2020, s. 18).

1.1.1.3. Doğalgaz

Propan, etan ve metan gazları içeren; doğada petrolle birlikte veya tek başına bulunabilen, yer kabuğundaki kayaçların aralarında sıkışarak biriken kimyasal maddelere doğalgaz adı verilmektedir (Karadağ Albayrak, 2019, s. 10).

Doğalgaz da diğer fosil yakıtlar olan kömür ve petrol gibi bitkisel ve hayvansal kalıntıların milyon yıllarla ifade edilen zaman periyotlarında basınç ve ısıya maruz kalarak kimyasal reaksiyonlar geçirmesiyle oluşmaktadır. Söz konusu kalıntılar petrolün oluşum sürecine benzer şekilde su dibine çökerek uzun sürelerde katmanlar halinde tabakalaşarak birikir ve yerkabuğundaki kayaçların arasında sıkışır. Yine benzer şekilde basınç ve sıcaklık etkisiyle gerçekleşen reaksiyonlar sonucu doğalgaz açığa çıkar. Doğalgaz; yoğunluğu az olduğundan, yeraltı rezervuarlarında en altta su, daha sonra petrol, en üstteyse doğalgaz olacak şekilde birirmektedir. Yoğunluğu gaz olması sebebiyle petrolden az olduğu için zaman zaman petrolden tamamen ayrılarak konum değiştirmekte ve başka alanlarda birikebilmektedir. Bu alanın, yerkabuğunda meydana gelen kırılmalar sonucu geometrisi

gazın birikip depolanabileceği bir yapıya dönüşmüşse doğalgaz yatakları veya doğalgaz rezervleri meydana gelmektedir (Beşergil, 2009, s. 137).

Doğalgazın tarihsel olarak ilk tespit ve kullanım süreçleri eski çağlara, Antik Yunan ve Eski Mısır Uygarlıklarına kadar dayanmaktadır. Bu uygarlıklarda doğal gaz ateş yakmada, ısınmada ve pişirmede kullanıldığından yanan gaz ve kutsal ateş olarak nitelendirilmiştir. Yine petrole benzer şekilde Eski Çin’de milattan sonra 3. ve 4. Yüzyıllarda bambu çubukları uç uca birbirine eklenerek oluşturulan borularla doğalgaz taşınmış ve deniz suları buharlaştırılarak tuz elde edilmesinde kullanılmıştır (Akpınar ve Başbüyük, 2011, s. 122).

Doğalgazın enerji kaynağı olarak ekonomik anlamda ilk kullanımı 19. Yüzyıl başlarında Büyük Britanya’da kömürün bir takım teknik dönüştürme işlemleriyle damıtılmasıyla olmuştur. Buradan elde edilen doğalgaz binalarda yakıt olarak kullanılmaya başlamıştır. Amerika’daysa 1840’lı yıllarda New York’ta su altından yaklaşık 10 metre derinlikten çıkarılan doğalgaz fabrikalarda ve tuz imalat sanayiinde kullanılmaya başlanmıştır (Gültekin ve Örgün, 1993, s. 37).

1970’li yıllarda petrol piyasasında yaşanan arz şokları ve takip eden politik krizler sonrası petrole alternatif bir enerji kaynağı olarak doğalgaz ön plana çıkmıştır. Özellikle dolara sabitlenen petrol varil fiyatlarındaki anlık dalgalanmalar ve petrole bağımlılığın getirdiği diğer eko-politik sorunlar doğalgazın önemini daha da artırmıştır (Uğurlu, 2006, s. 141).

Günümüzde doğalgaz; içerdiği hidrokarbon atomları noktasından petrole benzer şekilde gübre, plastik, cam, temizlik maddeleri, kozmetik gibi ürünlerin imalatında girdi olması sebebiyle bir hammadde niteliğindedir. Hem de evlerde mutfakta pişirme, banyoda ısıtma ve konut, bina, işyeri ısıtma sistemlerinde; sanayi sektöründe ısıl işlemlerde ve elektrik üretiminde kullanılması yönüyle bir enerji kaynağıdır (Ertürk, 2011, s. 34).

Yanması sonucu toz, kül, cüruf, karbondioksit, kükürt dioksit gibi atıklar ortaya çıkmaması, çevresel kirlenme yaratmamasına rağmen enerji verimliliğinin yüksek olması ve imalatının petrole görece daha ucuz ve kolay olup transferinin de aynı ölçüde düşük maliyetli olması doğalgazın en önemli avantajlarıdır. Öte yandan çevresel kirlenme yaratmamasına rağmen kömür ve petrol gibi yandığında sera gazları yayarak küresel ısınmayı artırması, elektrik üretimi amacıyla kurulan doğalgaz çevrim santrallerinin kurulduğu bölgelerdeki ekolojik sorunlar, özellikle buzul ve deniz dibinde arama-bulma-çıkarma maliyetinin yüksek olması ve konutlarda kullanımı esnasında bir miktar da olsa zehirlenme riski bulunması doğalgaz kullanımının dezavantajlarıdır. Doğalgaz da petrol gibi rezerv ve yatak bakımından

zengin olduğu bölgelerde uluslararası güvenlik sorunlarına ve dış politika çatışmalarına sebep olmaktadır (Kerimoğlu, 2020, s. 24).

1.1.1.4. Nükleer (çekirdek kaynaklı)

Bir diğ er yenilenemeyen enerji kaynağı çeşidi de nükleer yani çekirdek kaynaklı enerjidir. Nükleer enerjinin dayandığı atom çekirdekleri doğada son derece sınırlı miktardadır ve yer kabuğunun altında yer almaktadır. Bu çekirdekler, nükleer enerji santrali adı verilen son derece yüksek teknolojili enerji çevrim tesislerinde nötron atomları bombardımanına tabi tutularak fisyon (çekirdek parçalanması) ve füzyon (çekirdek birleştirilmesi) adı verilen reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan ısı enerjisi yardımıyla elektrik enerjisi üretilmektedir (Karadağ Albayrak, 2019, s. 11).

Nükleer enerji üretilmesi sürecinde en çok kullanılan yöntem fisyon yöntemi olup kullanılan radyoaktif element çekirdekleri ise uranyum ve toryumdur. Nükleer enerji santrallerinde diğ er fosil yakıt a dayalı enerji üretim santrallerinden farklı olarak radyoaktif element çekirdekleri yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu radyoaktif çekirdekler, genellikle sayısı birden fazla olan atom reaktörlerinde çok yüksek miktarlarda ısı ve güç açığa çıkacak şekilde işlenmektedir (Özüğurlu, 2019, s. 30).

Nükleer enerjinin tarihçesine bakıldığında; enerji kaynağı olarak uranyumun radyoaktivite deneylerinde 19. Yüzyıl sonu ve 20. Yüzyıl başlarında kullanılmaya başlandığı, atom enerjisinin büyük çapta ilk kullanımının ise II. Dünya Savaşı yıllarında Amerika'daki Los Alamos Manhattan Project Deneyleri ve Japonya'nın (Hiroşima ve Nagazaki) bombalanması ile olduğı görölmektedir. Toryum da nükleer enerji santrallerinde kullanılmaya başlanmış olmakla beraber ekonomik verimlilik açısından henüz uranyum kadar yaygın kullanılmamaktadır. Dünyada Japonya ve Rusya başta olmak üzere Güney Kore, Pakistan, Hindistan, Çin, Almanya, Fransa ve İsviçre gibi birçok gelişmiş ülkede nükleer enerji santralleri bulunmaktadır.

Diğ er fosil yakıtlar kömür, petrol ve doğalgaza kıyasla görece çok daha düşük karbon salınımı değerlerine sahip olması, kullanılan hammadde/ yakıt karşısında elde edilen enerji verimliliğinin yüksek olması, enerji üretimi sonucu çıkan radyoaktif atıkların gelişmiş teknoloji yardımıyla geri dönüşümünün ekonomik açıdan karlı olması nükleer enerjinin başlıca avantajlı noktalarıdır. Dezavantajları ise Sovyetler Birliğindeki 1986 Çernobil ve Japonya'daki 2011 Tohoku Depremi gibi büyük doğal afetler sonucu nükleer kazaların yaratacağı çevre felaketleri başta olmak üzere insan sağlığını olumsuz etkilemesi, radyoaktif elementlerin çıkartılması sürecinde doğanın radyoaktif kirlenmesi ve teknolojik ömrünün

tamamlayan nükleer santrallerin sökülmesinin çok pahalı bir işlem olması olarak özetlenebilir. (Kantarmacı, 2019, s. 32)

1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Doğal ve kendini sürekli olarak yenileyebilme özelliği olan enerji kaynaklarına yenilenebilir enerji kaynakları adı verilmektedir. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji (hidroelektrik), jeotermal enerji, dalga enerjisi, hidrojen enerjisi ve biyokütle enerjisidir (Tanas Karagöl ve Kavaz, 2017, s. 8).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının da daha önce açıklanan yenilenemeyen enerji kaynakları gibi avantajları ve dezavantajları söz konusudur.

Avantajlı ve dezavantajlı noktalarına değinmeden önce özellikleri bakımından yenilenemeyen enerji kaynakları ile yenilenebilir enerji kaynaklarının farkları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.

Yenilenemeyen ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Özellikleri

Yenilenemeyen Enerji Kaynakları	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
Bulup-çıkarma-aktarma (ekstraksiyon) gerektirmektedir.	Kullanıma hazır durumdadır.
Rezerv miktarı sınırlıdır.	Rezerv miktarı sınırsızdır, sürekli yenilenmektedir.
Meteorolojik faktörlerden etkilenmemektedir.	İklim ve meteoroloji şartlarına bağlıdır.
Kaynağında bırakıldığında istenildiği miktarda süresiz saklanabilmektedir.	Büyük hidroelektrik baraj gölleri ve biyokütle yığınları hariç neredeyse hiç saklanamamaktadır.
Sömürü miktarı yüksektir. Ekstraksiyon sahasında özel altyapılar inşa edilmektedir.	Sömürü miktarı sınırlı düzeydedir. Büyük ölçekli kaynaklara kadar sömürü yoktur.
Birincil enerji kaynağının uzun mesafeli transferi yaygındır.	Birincil kaynağın taşınması biyokütle haricinde söz konusu değildir.
Tedarik zinciri rafineri, boru hattı ve elektrik santrallerine bağlı durumdadır.	Enerji üretimi küçük biyoenerji tesisleri, güneş tarlaları, rüzgâr parkları ve çatı üstünde yapılır.

Kaynak: Uluslararası Enerji Ajansı'ndan akt. Karadağ Albayrak, 2019, s. 9.

1.1.2.1. Güneş Enerjisi

Güneş tarafından yayılan ışıma enerjisi, atmosfer ve yeryüzü sistemindeki fiziksel yapıların oluşumunu belirleyen başlıca enerji kaynağıdır. Dünyada gerçekleşen tüm madde ve enerji akımları, doğrudan veya dolaylı şekilde güneş enerjisi kanalıyla harekete geçmektedir. Güneş enerjisi ekonomik açıdan değerlendirildiğinde hem bir serbest mal hem de bir enerji kaynağı olarak sürekli ve yenilenebilirdir (Varınca ve Gönüllü, 2007, s. 127).

Güneş, diğer tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının da kaynağı konumundadır ve diğer tüm enerji kaynaklarının oluşturduğu enerjiler dolaylı şekilde güneş kaynaklıdır. Birincil enerji kaynaklarının fosilleşmesinde, rüzgâr ve dalga enerjilerini meydana getiren meteoroloji olaylarının da enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde mevcut olan enerjidir ve füzyon reaksiyonlarıyla hidrojen atomlarının helyum atomlarına dönüşmesi sonucu oluşmaktadır. Güneşin bilimsel araştırmalara göre yaklaşık beş milyar yıl ömrünün olması bu bağlamda sonsuz bir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir (Ağaçbiçer, 2010).

Güneşten yararlanmak amacıyla kullanılan fotovoltaik adlı teknolojinin kullanım sürecine baktığımızda Sanayi Devrimi sonrasında döneme uzanmaktadır. Fransız fizikçi Becquerel öncülüğünde yapılan bilimsel deneylerle fotovoltaik etki teknolojisiyle güneş panellerinden yararlanılarak güneş ışığı elektriğe çevrilmiştir. Enerji kaynağı olarak güneşi kullanan ilk imalat tesisi 1883 yılında Amerika’da Fritts öncülüğünde kurulmuştur. Fotonların yani ışığın nasıl elektrik ürettiği ise ancak 1940’lı yıllarda Einstein’ın öncü çalışmaları sonrasında anlaşılabilmiştir. Güneş panelleri entegre edilmiş ilk uzay aracı 1958 yılında, ilk uydu ise 1964 yılınca icat edilmiştir. (Kantarmacı, 2019, s. 38)

Doğal ışık yayma, ısı verme ve elektrik üretme etkileriyle güneş enerjisi yaşamın her alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin kullanım alanlarına bakıldığında; tarım ve sanayi sektörlerinde, ulaşım ve iletişim araç-gereçlerinde, sinyal ve otomat sistemlerinde, aydınlatma ve elektrik enerjisi üretim teknolojilerinde ve en çok da binalarda kullanıldığı görülmektedir. Binalarda ise ısıtma sistemlerinde güneş panelli sıcak su deposu başta olmak üzere son dönemde yaygınlaşan şekilde elektrik üretiminde güneş enerjisi tercih edilmektedir (Çolak vd., 2008, s. 40).

Bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi kullanımının en önemli avantajı; sürekli ve yenilenebilir olmasıdır. Fosil kaynaklı yenilenemeyen enerji kullanımı sonucu ortaya çıkan çevresel atıklar ciddi çevresel bozulmalara sebep olurken güneş enerjisi ise çevreyle dost temiz bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi teknolojisinde sık kullanılan güneş panelleri ve güneş pilleri diğer elektrik üretim teknolojilerine görece daha güvenli ve uzun ömürlü sistemlerdir. Fırtına, şimşek, kar, buz, nem ve yüksek ısı is meteorolojik faktörlere karşın dayanıklı malzemelerle üretildiklerinden zor koşullarda bile güvenle çalışan teknolojilerdir. Teknolojik ilerlemelere paralel olarak güneş enerjisi kullanılarak elektrik üretim teknolojisinin maliyeti gittikçe azaldığından kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Ayrıca konum olarak güneş tarlaları gibi güneş enerjisi üretim tesislerini merkezi yerleşim birimlerine yakın/ uzak bölgelere kurmak son dere basit ve pratiktir. Öte yandan herhangi bir yakıt maliyetine katlanmadan güneş enerjisini kullanarak ısıtma/soğutma sistemleri

kurulabilmekte, sanayi imalatı uygulamaları ve elektrik üretimi yapılabilmektedir. Bununla birlikte güneş enerjisi üretim tesisleri sabit yapılara olduklarından yıpranma oranları ve işletme maliyeti açısından avantajlı ve bakım-onarımı kolay enerji üretim tesisleridir (Akova, 2008, s. 33).

Güneş enerjisi kullanımının avantajlarına karşın bir takım dezavantajları da söz konusudur. Günümüzde teknolojik ilerlemeler sayesinde güneş pili üretimi daha ucuz hale gelmesine karşın güneş enerjisi üretim tesislerinin ilk yatırım maliyetlerinin pahalı olması başlıca en büyük dezavantajdır. Güneş pili imalatında en sık kullanılan hammaddeler silisyum ve kadmiyum gibi inorganik yarı iletkenlerdir. Bu şekilde üretilen inorganik hammadde tabanlı güneş pilleri diğer batarya sistemlerine göre oldukça pahalıdır. Bu maliyetleri düşürebilmek için organik hammaddelere dayalı güneş pili imalatı yapma konusunda çalışmalar henüz ekonomik açıdan karlılık sağlayacak sonuçlar vermemiştir (Sevim, 2015, s. 218).

Güneşten yararlanarak enerji üretimine ilişkin diğer bir dezavantajlı noktaysa güneş ışınlarının dağınık şekilde yeryüzüne ulaşmasından dolayı söz konusu ışınları toplulaştırmak çok geniş arazilere ihtiyaç duyulmasıdır. Ayrıca bulutlu vb. kapalı havalarda ve gece saatlerinde güneşten yararlanarak elektrik üretmek olanaksızdır. Bu durumda gündüz saatlerinde gün üretilen elektrik enerjisinin depolanması kaçınılmaz bir zorunluluktur. Akümülatör teknolojisi yardımıyla depolama yapılabilmekle beraber yüksek kapasiteli ve uzun ömürlü akümülatör teknolojilerinin maliyetinin yüksek olması bu açıdan güneş enerjisinden elektrik üretimini pahalılaştırmaktadır (Akova, 2008, s. 33).

1.1.2.2. Rüzgâr Enerjisi

Güneşin yeryüzünü farklı düzeylerde ısıtmasına sonucu oluşan basınç, sıcaklık ve yoğunluk farklılıklarından meydana gelen hava akımlarına rüzgâr adı verilmektedir. Havanın ısınmasıyla bir alçak basınç sistemi oluşurken, havanın soğumasıyla bir yüksek basınç sistemi oluşmaktadır. Birbirine komşu bu iki sistemdeki basınç farklılıklarından dolayı ortaya çıkan ve akımın yönü yüksek basınç sisteminden alçak basınç sistemine doğru olan hava akımları rüzgâr yaratmaktadır. Hava akımlarının bir bölgeden diğer bir bölgeye taşınmasındaki anlık hız değişimleri şiddetli rüzgâr, fırtına veya kasırgaların meydana gelmesine sebep olabilmektedir (Altuntaşoğlu, 2006, s. 53).

Rüzgâr içinde belli miktarda bir kinetik enerji barındırmaktadır. Bu kinetik enerji zaman zaman elektrik üretmektedir. Rüzgâr enerjisinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretiliyse rüzgâr türbinleri yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Esen rüzgârın türbinlerdeki

pervaneleri döndürmesiyle oluşan hareket enerjisi jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüşmektedir. Rüzgâr türbinleri çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmaktadır. Jeneratör düzeni, dönme eksenli ve kontrol sistemlerine göre; gücü 0 - 3 kW arası olanlar mikro türbinler, gücü: max 30 kW olanlar küçük rüzgâr türbinleri, gücü 200 kW – 1,5 MW olanlarsa büyük rüzgâr türbinleri olarak sınıflandırılır. Bir de düşey eksenli, yatay eksenli ve eğik eksenli rüzgâr türbinleri sınıflandırması mevcuttur (Kocaman, 2003).

Rüzgâr türbinlerinin elektrik enerjisi üretmesini sağlayan faktörler rüzgâr sıklığı, hızı ve yönüdür. Ekonomik anlamda rüzgârdan kar sağlamak için belirli koşullar gerekmektedir. Aslında bu koşullar rüzgâr enerjisinden elektrik üretim santralleri kurulması için gerekli koşullardır. Bu koşullar rüzgâr hızının ortalama 5-6 m/sn hızında olması, rüzgâr esme frekansının yüksek olması ve enerji üretim sistemlerinin rüzgârı uygun yönden alacak şekilde inşa edilmesi şeklinde özetlenebilir. Pompaj istasyonu adı verilen bir mekanizma yardımıyla rüzgârın enerjisinden mekanik anlamda yararlanılmaktadır. Genellikle yağ ve un değirmenlerinde, su pompalarında yaygın olarak rüzgâr enerjisi kullanılmaktadır (Öztürk, 2013, s. 175).

Rüzgâr enerjisinin kullanımına bakıldığında insanoğlunun kullandığı bilinen ilk enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Eski Mısır ve Eski Çin Uygarlıkları rüzgâr enerjisini ilk olarak kullanmışlar ve deniz taşımacılığında rüzgâr gücünden yararlanmışlardır. Rüzgâr enerjisinin tarihi bu kadar eski olmasına karşın fosil kaynaklı yakıtlardan üretilen enerjinin talebi ve kullanımının tarihsel süreçte aşırı artışı, rüzgâr enerjisine yönelik araştırmaların neredeyse durma noktasına gelmesine sebep olmuştur (Karabulut, 2000, s. 34).

Rüzgâr hızının verimliliğine bakıldığında okyanus ve açık denizlerdeki rüzgar hızının karasal rüzgar türbinlere kıyasla daha verimli olduğu bilinmektedir. Öte yandan okyanus ve açık denizlerdeki rüzgâr hızı öğleden sonraya denk gelen saatlerde artmaktadır ve bu zaman dilimi gün içinde enerji ihtiyacının en yüksek olduğu saatlerdir. Eğer su üstü türbin teknolojileri bu zaman diliminde esen şiddetli rüzgârlara dayanacak şekilde uyarlanabilir ve geliştirilebilirse hâlihazırda üretilen miktarlardan çok daha fazla rüzgâr enerjisi üretilebilir. Böylelikle, özellikle fosil kaynaklı yakıt kullanan enerji üretim santrallerine alternatif bir enerji üretim politikası izlenmesi mümkün olabilir. Kurulum maliyeti açısından değerlendirildiğindeyse karasal rüzgâr türbinleri su üstü türbinlere kıyasla maliyet avantajına sahiptir. Ancak enerji üretim kapasiteleri, çalışma periyotları ve işletme maliyetleri açısından tersi şekilde su üstü sistemler maliyet açısından daha avantajlıdır ve daha yüksek verimlilik sağlamaktadır (Ergün, 220, s. 50).

Kurulum ve işletme maliyetlerinin görece düşük olması, sera gazı salınımı yaratmaması, kuruldukları arazilerde tarım yapılmasına engel teşkil etmemesi, çevre ve insan sağlığı açısından zararsız olması, yerli kaynaklar tarafından beslenmesi, enerji tedarikinde dışa bağımlılığı azaltması ve sürekli olması gibi temel unsurlar rüzgâr enerjisinin başlıca avantajlarıdır (İlkılıç, 2009, s. 27).

Rüzgâr enerjisi sektörü, yarattığı istihdam olanaklarıyla toplumsal gelişmeye katkıda bulunmaktadır. Kanat, türbin ve diğer bileşen imalatına yönelik sektörler büyümekte, üretilmiş elektrik dağıtımını yapan firma sayısı artmakta, sektöre yönelik araştırma-geliştirme faaliyetlerindeki gelişmeler, bakım-onarım ve montaj hizmeti sağlayan firmalar kurulması ve rüzgâr enerjisinin finans-pazarlama kısmına yönelik hizmetler sektörü oluşması yaratılan istihdama örnek verilebilir. (Bayraç, 2011, s. 41).

Rüzgâr türbinlerinin başlıca dezavantajı, doğrudan hava akımı şiddetine bağlı olmasından dolayı kesikli enerji kaynakları olması ve yılda ortalama olarak 2.500- 3.000 saat civarında gerçekleştirmeleridir. Rüzgar enerjisi kesikli olmasına karşın enerji talebi ve kullanım miktarı düşmeyeceğinden rüzgar santralleri yanında hidroelektrik santral vb. daha sürdürülebilir sistemlerle desteklenmesi gerekmektedir (Sevim, 2015, s. 220).

Türbinlerin ekolojik yaşam açısından da çeşitli etkileri ortaya çıkabilmektedir. Bu etkiler; mevsimsel/ coğrafik özelliklere göre canlı türlerine bağlı olarak değişmektedir. Rüzgâr türbinleri özellikle göç eden kanatlılar açısından ciddi tehlike arz etmektedir. Göçme kuşlar oluşan hava akımlarıyla rüzgâr türbinlerine doğru sürüklendiklerinde pervanelerin hızından kaçamamakta ve telef olmaktadır. Ayrıca rüzgâr santrallerinde doğru akım üretimi yapılması sebebiyle akü ve konvertör bulunması zorunluluğu çevresel bozulmalara yol açabilmektedir. Oluşan manyetik alanlar ve vorteks dalgaları sebebiyle telekomünikasyon cihazlarının sinyalleri zaman zaman karışabilmektedir (Külebi, 2007, s. 111).

Rüzgâr enerjisi üretim santrallerinin oluşturduğu rüzgâr çiftlikleri belli bir düzeyde gürültü kirliliğine sebep olmaktadır. Hava akımının düzeyine göre değişen gürültü düzeyi düşük frekanslı olmasına karşın civardaki yapılarda titreşimlere sebep olmaktadır. Ayrıca gürültü kirliliğinin insan psikolojisini etkileyerek asabilik, memnuniyetsizlik ve duysal melekelerde bozukluk gibi sonuçlar doğurduğu belirtilmektedir (Özen vd., 2015, s. 88).

1.1.2.3. Hidroelektrik

Hidroelektrik enerji, dünyada en yaygın şekilde kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır ve gücünü sudan almakta, suyun yüksekten alçağa doğru bırakılmasıyla meydana gelen kinetik enerjiden elektrik üretilmesini sağlamaktadır (Ağaçbiçer, 2010).

Hidroelektrik türbinler, barajlar ve akarsu yataklarına kurulan hidroelektrik santraller (HES) aracılığıyla suyun potansiyel ve kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Yakıt olarak yalnızca suyu kullandıkları için karbondioksit ya da diğer sera gazlarını doğrudan atmosfere salmazlar; bu yönüyle fosil yakıtlara dayalı santrallere kıyasla daha temiz, çevre dostu ve yüksek verimli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak öne çıkarlar. Yatırımın geri ödeme süresinin görece kısa olması, işletme ve bakım maliyetlerinin düşük seyretmesi, yakıt giderinin bulunmaması ve dışa bağımlılık yaratmaması, hidroelektrik santralleri hem teknik hem de ekonomik açıdan cazip hale getirmektedir (Ceylan, 2015, s. 85).

Suyun enerji potansiyelinden yararlanma fikri, milattan önceki dönemlere kadar uzanan köklü bir geçmişe sahiptir. Pek çok uygarlık, akarsular üzerine kurdukları büyük su çarkları aracılığıyla başta un öğütme olmak üzere çeşitli mekanik işler gerçekleştirmiştir. Bu erken dönem su çarklarının temel çalışma prensipleri ve tasarım özellikleri, günümüzde kullanılan modern hidroelektrik türbinleriyle önemli ölçüde benzerlik göstermektedir (Olgun, 2009, s. 51).

Su gücünün elektrik üretimi amacıyla kullanılması, 1750–1754 yılları arasında Leonard Euler tarafından geliştirilen türbin teorisiyle bilimsel bir zemin kazanmıştır. 18. yüzyılın ikinci yarısında İngiltere’de yaşanan Sanayi Devrimi, bu alandaki teknolojik ilerlemeler için elverişli bir ortam hazırlamıştır. Çelik üretim teknolojisinin gelişmesi, buhar makinesinin yaygınlaşması ve çimento üretimindeki yenilikler sayesinde barajlar çok daha hızlı, ucuz ve dayanıklı biçimde inşa edilmeye başlanmıştır. Joseph Aspdin’in 1824 yılında öğütülmüş kireç taşı ve kili fırınlayarak Portland çimentosunu geliştirmesi ve bunu takiben Joseph Monier’nin ince demir çubuk iskeletleri çimentoyla birleştirerek betonarme tekniğini ortaya koyması, baraj yapımında çelik takviyeli betonarme dönemin kapılarını aralamıştır (Aydın, 2014, s. 186).

Hidroelektrik mühendisliği açısından bir sonraki önemli eşik, 1832’de Fransız mühendis Benoit Fourneyron’un su türbinini icat etmesiyle geçilmiştir. Bu türbin tasarımları, suyun enerjisinin daha etkin ve verimli bir biçimde kullanılmasına olanak tanımıştır. Elde edilen teknolojik birikimin sonucu olarak İngiliz mühendis ve sanayici William Armstrong, 1878 yılında ilk hidroelektrik güç düzenini tasarlamıştır. Dünyanın ilk hidroelektrik santrali ise Jacob F. Schoellkopf tarafından 1879’da Niagara Şelalesi’nde kurulmuştur. 1881 yılına gelindiğinde Niagara kenti, bu santralde üretilen elektrik enerjisiyle aydınlatılmış ve böylece hidroelektrik enerjinin modern anlamda kullanımı yeni bir döneme girmiştir. Bunu izleyen yedi yıl içinde Amerika Birleşik Devletleri’nde küçük ölçekli hidroelektrik santrallerin sayısı 200’ü aşmış, 20. yüzyılın ortalarına kadar özellikle ABD’de büyük hidroelektrik santral

projeleri hızla yaygınlaşmıştır. 1936 yılında Hoover Barajı üzerinde 1.344 MW kurulu güce sahip dünyanın o dönem için en büyük hidroelektrik santrali devreye alınmış, 1942’de ise 6.188 MW kapasitesindeki Grand Coulee Barajı tamamlanarak hidroelektrik enerjinin ölçeği ve etki alanı daha da genişlemiştir (Plachkova, 2013).

Hidroelektrik enerjinin avantajları değerlendirildiğinde, temel girdisinin su olması nedeniyle bu enerji türünün hem çevresel hem de ekonomik açıdan uzun vadede en ucuz kaynaklardan biri olma potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Elektrik üretim sürecinde küresel ısınmaya ve hava kirliliğine yol açan gaz emisyonları ortaya çıkmamakta, bu da hidroelektrik enerjiyi iklim politikaları açısından önemli bir araç haline getirmektedir. Ayrıca hidroelektrik santraller, yalnızca elektrik üretmekle kalmayıp; içme ve kullanma suyu temini, sel ve taşkın risklerinin azaltılması, yerel iklim koşullarının kısmen yumuşatılması, balıkçılık faaliyetlerine zemin hazırlanması, turizm faaliyetlerinin canlanması ve tarım arazilerinin sulanması gibi çok amaçlı işlevler üstlenerek bölgesel kalkınmaya katkı sağlamaktadır (Başkaya, 2010, s. 669).

Bu santrallerin ekonomik ömürlerinin uzun olması, işletme giderlerinin birçok alternatif üretim tekniğine göre daha düşük düzeyde gerçekleşmesi ve yüksek verimle çalışmaları, hidroelektriği maliyet açısından da avantajlı kılmaktadır. Tamamen yerli su kaynaklarına dayalı bir üretim yapısı, enerji alanında dışa bağımlılığı kısmen azaltarak ülkenin ekonomik ve enerji güvenliğini güçlendirmeye yardımcı olmaktadır. Yakıt maliyeti gerektirmeyen bu santraller, birim elektrik üretim maliyetlerini aşağı çekerek enerji piyasasında rekabetçi fiyat oluşumuna da katkıda bulunmaktadır (Yıldız, 2011, s. 25).

Öte yandan hidroelektrik santrallerin atmosferi kirletici gaz salınımı açısından avantajlı olmalarına karşın, doğal çevre üzerindeki bazı olumsuz etkileri nedeniyle eleştirilerin odağında oldukları da belirtilmelidir (Sevim, 2015, s. 216). Yeni bir baraj inşa edildiğinde ulaşım için yol ağlarının geliştirilmesi ve elektrik iletim hatlarının çekilmesi, proje sahasındaki orman varlığının tahrip olmasına, geniş alanların su altında kalarak doğal bitki örtüsünün yok olmasına yol açabilmektedir. Bu süreçler, bölgede yaşayan vahşi yaşam türlerinin yaşam alanlarını daraltmakta, bazı türlerin göç etmesine veya tamamen ortadan kaybolmasına neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra, baraj gölü altında kalan yoğun bitki örtüsünün zaman içinde çürümesi, büyük miktarlarda karbondioksit ve metan gazının açığa çıkmasına zemin hazırlayarak ikincil sera gazı emisyonlarına yol açabilmektedir (Atak ve Öztok, 2013, s. 4–5).

Özellikle büyük ölçekli barajların, çevresindeki mikro iklim koşullarını önemli ölçüde değiştirebildiği de vurgulanmaktadır. Baraj gölü, bulunduğu bölgede nem oranını artırarak

belirli ölçüde ılımanlaştırıcı bir etki yaratırken, kış aylarında kar yağışını azaltabilmekte ve bazı durumlarda neredeyse tamamen ortadan kaldıracabilmektedir. Kar yağışındaki bu azalma, özellikle suya bağımlı tarımsal faaliyetler açısından olumsuz sonuçlar doğurabilmekte, uzun vadede bölgesel tarımsal üretkenliği tehdit eden bir faktöre dönüşebilmektedir (Arslan, 2017, s. 628).

1.1.2.4. Jeotermal

Jeotermal kavramı, Latince “toprak” anlamına gelen geo ile “ısı” anlamındaki therme kelimelerinin birleşiminden türetilmiştir ve en genel ifade ile yerkürenin derinliklerinden kaynaklanan ısı enerjisini anlatır (Nasruddin vd., 2016). Jeotermal enerji, yerkabuğunun farklı derinliklerinde yer alan, çevresine göre daha yüksek sıcaklıkta olan ve normal yeraltı/yerüstü sularına kıyasla daha fazla tuz, mineral ve gaz içeren sıcak su ve buhar biçimindeki jeotermal akışkanlardan elde edilen enerji türü olarak tanımlanmaktadır (Adıyaman, 2012).

Yerkabuğu, birbirleriyle kırıklar ve fay zonları boyunca ilişkili olan büyük levhalardan oluşmaktadır. Jeotermal enerji, bu levhaların birbirleriyle temas ettikleri sınır bölgelerinde veya yoğun kırık ve çatlak sistemlerinin bulunduğu alanlarda, derinlerde ısınan yeraltı sularının faylar boyunca yükselmesi sonucu ortaya çıkmaktadır (Şen, 2002).

Jeotermal enerji, jeolojik yapıya bağlı olarak kendiliğinden oluşan ve yeryüzüne buhar, gaz ya da sıcak su şeklinde taşınabilen bir ısı enerjisidir. İçinde bir akışkan barındıran klasik jeotermal sistemlerin yanı sıra, doğrudan akışkan içermeyen ancak özel yöntemlerle ısıyı açığa çıkarılarak değerlendirilebilen “sıcak kuru kaya” yapıları da jeotermal kaynaklar kapsamında ele alınmaktadır (Akkuş ve Alan, 2016).

Bir jeotermal sistemin oluşabilmesi için üç temel bileşenin bir araya gelmesi gerekir: ısı kaynağı, ısıyı taşıyan akışkan ve bu akışkanı bünyesinde barındıran rezervuar kayaçlar. Yenilenebilir nitelikteki bu enerjinin temel ısı kaynağını, yer kabuğunun derinliklerindeki magma oluşturur. Rezervuar kayaçlar ise çatlaklı ve gözenekli yapıları sayesinde ısınmış akışkanın hareketine ve depolanmasına olanak tanır. Rezervuarların üstünde genellikle geçirimsiz tabakalar bulunur; bu tabakalar, sıcak akışkanın sistem içinde kalmasını sağlayan doğal bir örtü işlevi görür. Jeotermal akışkan çoğunlukla sudur ve rezervuarda sıcaklık ile basınç koşullarına bağlı olarak buhar veya sıvı fazda bulunabilir. Bu sular, meteorik kökenli olduklarından, yani yağışlarla beslenen doğal döngünün bir parçası oldukları için yeraltındaki hazneler sürekli olarak yenilenme eğilimindedir. Bununla birlikte, bilinçsiz ve aşırı üretim uygulamaları, jeotermal rezervuarların basınç ve sıcaklık dengesini bozarak kaynağın sürdürülebilirliğine zarar verebilmektedir (Gelen, 2009, s. 60).

Jeotermal enerjinin kullanım tarihi oldukça eskiye dayanmaktadır. Yaklaşık MÖ 10.000’li yıllardan itibaren soğuyan jeotermal akışkanın seramik, çanak-çömlek, cam ve tekstil üretimi gibi alanlarda değerlendirildiği; daha sonraki dönemlerde Roma ve Çin uygarlıklarında sıcak su kaynaklarının banyo, ısıtma ve yemek pişirme amaçlı kullanıldığı bilinmektedir. 630 yılında Japon yönetiminin kaplıcaları fark etmesiyle birlikte jeotermal sular, sağlık ve rekreasyon amaçlı kullanım açısından da önem kazanmıştır. 19. yüzyılda jeotermal enerjiye dayalı ısınma sistemleri yaygınlaşmış; 1818’de Larderello’da yeraltı buharının borik asit üretiminde kullanılması ve 1841’den itibaren jeotermal kuyu açma faaliyetlerinin hız kazanması, bu alanda sanayi ölçeğinde birikim yaratmıştır. 1891’de ilk jeotermal bölge ısıtma sisteminin devreye alınması ve 1904’te jeotermal buhardan ilk kez elektrik enerjisi üretilmesi, jeotermal enerjinin modern teknik altyapısını şekillendiren dönüm noktaları olmuştur.

1930’lu yıllarda jeotermal kaynaklı merkezi ısıtma uygulamaları yaygınlaşmış, 1960’ta ticari amaçla ilk kuru buhar santrallerinin devreye girmesiyle elektrik üretiminde yeni bir aşamaya geçilmiştir. Türkiye’de 1963 yılında İzmir Balçova’da ilk jeotermal kuyunun açılması, 1968’de Denizli’de elektrik amaçlı ilk kuyunun açılışı ve 1987’de ilk jeotermal merkezli ısıtma sisteminin kurulması, ülkenin jeotermal enerji alanındaki kurumsal ve teknolojik kapasitesini artıran önemli adımlar olmuştur. 1980’ler ve 1990’lar boyunca dünya genelinde jeotermal kaynaklı elektrik üretim kapasitesi hızla artarak 1992 yılında birçok ülkede toplam 6.000 MW seviyesine ulaşmış; 2001 itibarıyla Türkiye, elektrik dışı jeotermal uygulamalarda 494 MW’lik ısıtma gücüyle dünya sıralamasında üst basamaklara tırmanmıştır (Kantarmacı, 2019, s. 45).

Bu tarihsel gelişim çizgisi, jeotermal enerjinin yalnızca yerel ısıtma ve kaplıca kullanımlarından ibaret olmayan, elektrik üretimi ve endüstriyel süreçler de dahil olmak üzere geniş bir yelpazede değerlendirilebilen stratejik bir yenilenebilir enerji kaynağı haline geldiğini göstermektedir.

Jeotermal enerjinin avantajlarına bakacak olursak jeotermal enerji; uzun ömürlü yenilenebilir, son derece istikrarlı, çevreyle dost ve yerli bir güç kaynağıdır. Fosil yakıtların kullanımı sonrasında önemli ölçüde katı ve gaz şeklinde atıklar çıktığı halde; jeotermal enerjiye dayalı modern bir elektrik santralinde buhar dışında bir zehirli gaz salınımı söz konusu değildir. Özellikle giderek gelişen çift akışkanlı çevrim santrallerinde, yoğunlaşmayan gazların arınması sonucu daha önce değerlendirilmiş jeotermal akışkanla birlikte reenjekte edilmektedir. Bu hem rezervuar basıncının yeniden sağlanması hem de bölgedeki nehirlerin ve yer altı sularının kirlenmesinin önlenmesi için yapılmaktadır (Kılıç ve Kılıç, 2009, s. 93).

Jeotermal enerji santralleri, konvansiyonel enerji kaynaklarına dayalı elektrik santrallerine göre daha pratik olup; ekonomik ve teknik açılardan da avantajlara sahiptir. Her şeyden önce bu santraller büyük alanlar işgal etmemekte, herhangi bir depolama veya nakil işlemi de gerektirmemektedir. Ayrıca kullanım esnasında patlama, yangın ve zehirlenme gibi risk faktörleri düşük olduğu için son derece güvenilir kabul edilmektedir. Jeotermal akışkanın bileşimindeki kimyasal maddelerin, uygun teknikler yardımıyla ayrıştırılması, hammadde arzını artırarak ekonomiye de katkı sağlayabilmektedir. Bu yöntemlerle; ağır su, amonyum bikarbonat, amonyum sülfat, borik asit ve kuru buz gibi sanayide kullanılan maddeler elde edilmektedir (Aksoy, 2007, s. 58).

Jeotermal akışkanların, içerdiği mineraller sayesinde birçok hastalığa ve organ rahatsızlıklarına iyi gelebildiği ileri sürülmektedir. Kaplıca tedavisi için belirli bir yaş kısıtlaması olmadığından çocuklar ve yaşlılar da termallerin sunduğu destekleyici sağlık hizmetlerinden yararlanabilmektedir. Çocuklarda özellikle astım ve saman nezlesi gibi üst solunum yolu rahatsızlıklarında; yaşlılarda ise deri hastalıkları ve eklem problemlerinde termal sular tercih edilebilmektedir (Canik vd., 2000, s. 8).

Jeotermal enerjinin dezavantajlarına bakıldığında, ülkelerin önemli bir bölümü jeotermal kuyulardan çıkarılan suların tekrar alındıkları derin formasyonlara geri enjekte edilmesini yasal olarak zorunlu kılmaktadır. Suyun yüksek basınçla kırıklı kaya katmanlara pompalanması ise küçük şiddetli depremlerin oluşumuna yol açabilmektedir. Nitekim Colorado'daki Rock Flats alanında 3.000 m derinliğe yapılan reenjekte işlemi, bölgeye yakın şehirlerde pek çok sayıda depremin yaşanmasına neden olmuştur. Benzer şekilde Wairakei'de yaşanan depremler de reenjeksiyon faaliyetlerine son verilmesine yol açmıştır (Badruk, 2003, s. 355).

Jeotermal enerji santralleri sermaye yoğun teknolojilerdir. Bu nedenle özellikle santral veya ısıtma şebekesinin ilk kurulum süreci yüksek yatırımlar gerektirir. Ayrıca santrallerin yapımından önce, kaynağın aranması, ilgili arazinin kiralanması ve sondaj izinlerinin alınması gerektiği için kaynağın aranması ile üretime başlanması arasında 5-6 yıl gibi uzun bir süre geçmektedir (Kılıç ve Kılıç, 2013, s. 55).

Sıcak yer altı suları içilebilir olduğu gibi aynı zamanda zehirleyici ve öldürücü de olabilmektedir. Magmaya yakın noktalardan çıkarak yüzeye kadar çeşitli maddeleri eriterek geldiği için bu sular ağır metaller içerebilmektedir. Yüzeye yakın jeotermal akışkanlar ise mineraller bakımından zengin olmamakla birlikte; arsenik, cıva, bor ve lityumun yanı sıra mikrobiyota türlerini de barındırabilmektedir. Ayrıca zehirli olan karbondioksit ve hidrojen sülfid gibi gazların da mutlaka yakalanması gerekir. Diğer taraftan jeotermal santrallerin

inşaatları, düşük kaliteli malzemelerle ve akışkanların yüzeye kaçışına izin verecek şekilde yapıldığı takdirde çevresel zararlar ortaya çıkabilir (Montgomery, 2014, s. 268).

Jeotermal enerji her ne kadar yenilenebilir bir kaynak şeklinde nitelendirilse de; bazı jeotermal sahaların aşırı kullanımı, akışkan ve ısı üretimiyle ilgili belli bir tükenme sürecine girildiğini göstermektedir. Örneğin, Yeni Zelanda'nın Wairakei sahasında ortalama 140 MW üretim gerçekleştirilmekte, ancak yapılan çalışmalar sonucunda bu sahanın bir 50 yıl daha kullanılabileceği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla jeotermal kaynaklar kendi doğal beslenmeleri kadar kullanıldıkları takdirde tam yenilenebilir kaynak olarak tanımlanabilir (Serpen, 2003, s. 436).

1.1.2.5. Biyokütle

Biyokütle, bitkisel ya da hayvansal kökenli olan, fosil nitelik taşımayan ve yeniden üretilen tüm organik maddeleri kapsayan bir enerji kaynağıdır. Daha dar bir ifadeyle biyokütle; yüzyıldan daha kısa sürede yeniden oluşabilen, karada ve suda yetişen bitkileri, hayvansal atıkları, tarım ve gıda sanayi artıkları ile orman ürünleri ve kentsel atıklardan oluşan organik içerikli tüm maddelerin ortak adıdır (Acaroğlu, 2008, s. 351).

Biyokütle enerjisi kullanım biçimleri genel olarak “klasik” ve “modern” olmak üzere iki grupta değerlendirilmektedir. Klasik kullanımda, yakacak odun, bitki kalıntıları ve hayvansal atıklar (örneğin tezek) doğrudan yakılarak ısı elde edilir. Modern biyokütle kullanımı ise, enerji ormancılığı kapsamında yetiştirilen ağaçlar, tarım sektöründen elde edilen bitkisel (şeker bitkileri, tahıllar, yağlı tohumlar vb.) ve hayvansal atıklar, tarımsal sanayi artıkları ile kentsel katı atıkların (çöp) çeşitli süreçlerden geçirilerek yakıt formuna dönüştürülmesine dayanmaktadır (Kocaman, 2003).

Her ne kadar biyokütle enerjisi tarihsel olarak çoğunlukla temel ihtiyaçların geleneksel yollarla karşılanmasında kullanılmış olsa da, endüstriyel ölçekte ilk kullanım alanı içten yanmalı motorlarda ortaya çıkmıştır. N. A. Otto'nun 1897'de motor tasarım çalışmalarında alkolü yakıt olarak denemesi, biyoyakıtların motor teknolojisine entegrasyonu açısından öncü bir adımdır. Ardından seri üretim otomobilin yaratıcısı Henry Ford, kenevir bitkisinden elde edilen alkolü otomobil yakıtı olarak kullanmayı planlamıştır (Karaosmanoğlu, 2006, s. 117).

Endüstriyel açıdan bakıldığında biyokütle enerjisi; biyolojik maddelerden yakıt elde edilmesi, özel olarak yetiştirilen enerji bitkileri ile hayvansal ürünlerden ısı ve kimyasal madde üretilmesi süreçlerini kapsamaktadır. Biyoyakıtların içerdiği karbon, bitkilerin fotosentez yoluyla atmosferdeki karbondioksiti soğurması sonucu oluşur; bu nedenle

biyoyakıtların yakılmasıyla açığa çıkan karbondioksit, doğal karbon döngüsünün bir parçası olduğundan atmosferde net bir karbondioksit artışına yol açmaz (Üstün vd., 2009, s. 26).

Bitkisel yağların bir yakıt alternatifi olarak değerlendirilebileceği fikri ise 1900'lerin başında Rudolf Diesel tarafından ortaya konmuştur. Diesel'in tasarladığı motor ilk aşamada tamamen yer fıstığı yağıyla çalışacak şekilde geliştirilmiş; kendisi, bitkisel yağlarla çalışan motorların petrol bağımlılığını azaltabileceğini ve tarımsal üretimi destekleyerek kırsal kalkınmaya katkı sağlayacağını vurgulamıştır (Karaosmanoğlu, 2006, s. 117). Ancak o dönemde petrolün bol, ucuz ve politik açıdan öncelikli bir kaynak olarak görülmesi, biyoyakıt temelli bu girişimlerin yeterli ilgiyi görmesini engellemiştir. Diesel'in 1913'te geliştirdiği motor "dizel" adıyla anılmaya başlanmış ve yapılan uyarlamalarla petrol türevleriyle de çalışacak şekilde yeniden tasarlanmıştır.

1930'lu yıllarda biyokütleyle dayalı yakma teknolojilerine sahip santraller kurulmuş; II. Dünya Savaşı sonrasında ise biyokütlenin yakıt olarak değerlendirilmesine yönelik tesisler yaygınlaşmaya başlamıştır. Bununla birlikte, 1955 sonrasında petrol üretimindeki artış ve petrol fiyatlarının düşmesi, biyokütle teknolojilerine duyulan ilgiyi belirgin biçimde azaltmış ve bu alandaki çalışmaların hız kesmesine yol açmıştır (Karaosmanoğlu, 2006, s. 117).

Güncel biyokütle teknolojilerinde, organik maddeler toplama, taşıma ve öğütme işlemlerinden geçirildikten sonra uygun sulandırma ve karıştırma teknikleriyle işlenmekte; bu süreçlerin sonucunda hem biyogaz hem de organik gübre elde edilmektedir. Hayvansal ve bitkisel kökenli organik atıklar, geleneksel uygulamalarda ya doğrudan yakılarak ısınma amacıyla kullanılmakta ya da tarım arazilerine ham gübre olarak uygulanmaktadır. Ancak bu kullanım biçimleri, enerjinin verimli biçimde değerlendirilmesine imkân tanımamakta ve atıkların tamamının tarımsal açıdan etkin bir girdiye dönüşmesini engellemektedir. Biyogaz tesislerinde ise, bir yandan yenilenebilir nitelikte enerji üretilirken, diğer yandan geriye kalan organik açıdan zengin atıklar stabilize edilerek tarım arazilerinde gübre olarak değerlendirilebilmekte, böylece döngüsel bir kullanım modeli ortaya çıkmaktadır (Keskinçelik, 2019, s. 25).

Biyokütle ve atıklardan enerji üretiminde temelde iki grup teknoloji öne çıkmaktadır: biyolojik ve termokimyasal metotlar. Biyolojik yöntemler fermentasyon ve anaerobik çürütme süreçlerini kapsarken, termokimyasal yöntemler yakma, gazlaştırma ve piroliz uygulamalarını içermektedir. Biyogaz, genellikle anaerobik çürütücülerde organik gübrenin oksijensiz ortamda parçalanmasıyla elde edilir. Anaerobik bozunma sürecinde, organik maddelerden karbondioksit ve metanın yanı sıra daha düşük oranlarda hidrojen sülfür gibi gazlar da açığa

çıkılmaktadır (Ersoy, 2017). Böylece hem enerji üretimi sağlanmakta hem de çevreye kontrolsüz metan salınımı engellenmektedir.

Günümüzde modern teknolojiler kullanılarak üretilen biyokütle enerjisi, gelişmiş ülkelerin enerji karmasında giderek daha fazla yer alan ve çeşitli politika araçlarıyla yaygınlaştırılmaya çalışılan stratejik bir enerji kaynağı konumundadır. Atıkların enerjiye dönüştürülmesi, bir yandan çevreye bırakılan atık yükünü azaltırken diğer yandan artan nüfus ve tüketim nedeniyle gelecekte karşılaşılabilecek doğal kaynak kıtlığı riskini hafifletme potansiyeli taşımaktadır (Baran, Mamis ve Alagöz, 2016). Nitekim belediye atıkları ve diğer kentsel katı atıklar, doğrudan yakma yoluyla ısı ve elektrik üretiminde kullanılabilir; ayrıca depolama sahalarında oluşan metan gazı, özel tesisler aracılığıyla toplanarak elektrik üretiminde değerlendirilmektedir (Kocaman, 2003).

Sürdürülebilir çevre politikaları bakımından biyokütle enerjisi görece temiz bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Yakıtın içerdiği karbon, bitkilerin büyüme sürecinde atmosferdeki karbondioksiti soğurmasına dayanmakta; bu nedenle biyokütlenin yakılması, fosil yakıtlara kıyasla atmosferde net karbondioksit artışına yol açmamaktadır. Ayrıca biyokütle, fosil yakıtlardan farklı olarak önemli ölçüde kükürt ve kanserojen bileşik içermediğinden, insan sağlığı ve hava kalitesi üzerindeki olumsuz etkileri daha sınırlı düzeyde kalmaktadır (Haykırı, 2003, s. 158). Bu özellikler, biyokütleyi hem iklim değişikliğiyle mücadele hem de hava kirliliğinin azaltılması açısından önemli bir yenilenebilir enerji alternatifi haline getirmektedir.

1.1.3. Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerjinin Genel Görünümü

Bu başlıkta uluslararası enerji kuruluşları raporlarında elde edilen veriler ışığında dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin bir takım istatistiksel bilgiler sunulmaktadır.

1.1.3.1. Dünyada Yenilenebilir Enerji Görünümü

Son on beş yılda yenilenebilir enerji teknolojilerindeki maliyet düşüşleri ve iklim politikalarının güçlenmesi sonucunda, yenilenebilir kaynakların küresel kurulu güç içindeki ağırlığı çarpıcı biçimde artmıştır. IRENA’nın Renewable Capacity Statistics 2023 raporuna göre, 2022 yılı sonunda dünyadaki toplam yenilenebilir elektrik kurulu gücü yaklaşık 3,3–3,4 TW (3.300–3.400 GW) düzeyine ulaşmış; bu rakam 2010 yılına kıyasla yaklaşık üç katlık bir artışı ifade etmektedir (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2023).

Teknoloji bazında bakıldığında, 2022 yılı sonunda yaklaşık 1,25 TW’lık hidroelektrik kurulu gücü ile hidroelektrik hâlen küresel yenilenebilir kapasite içinde en büyük paya

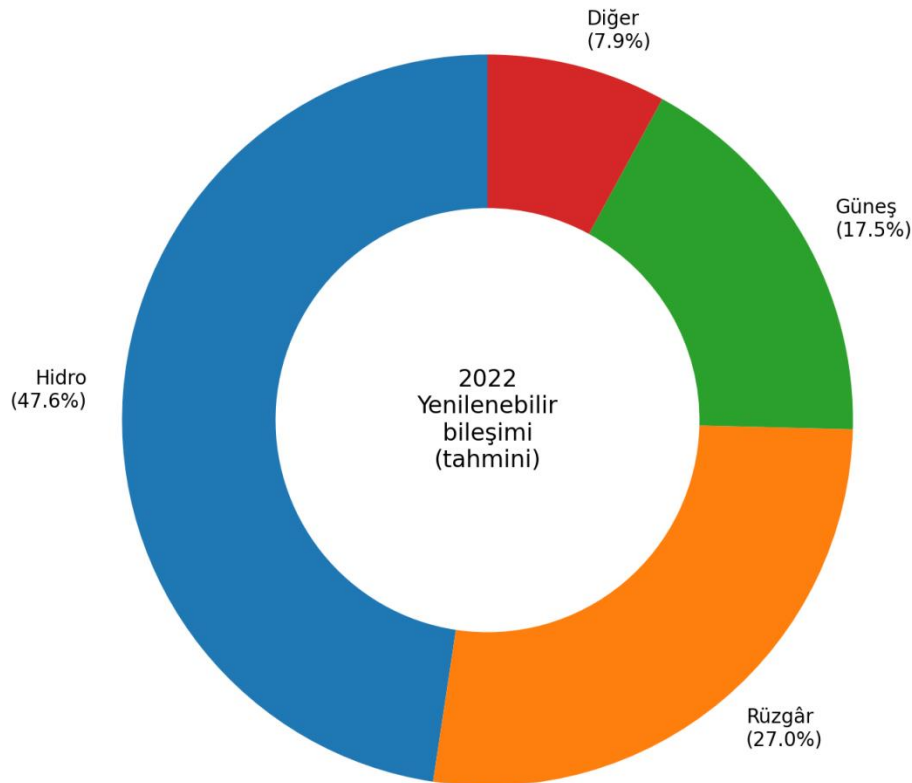
sahiptir. Bunu 1,0–1,1 TW aralığında kapasiteye ulaşan güneş fotovoltaik (PV) santraller ve 0,9–0,95 TW’lık kara ve denizüstü (on-/off-shore) rüzgâr enerjisi santralleri izlemektedir. Biyokütle, jeotermal ve diğer yenilenebilir kaynakların birleşik kurulu gücü ise yaklaşık 0,15–0,20 TW bandındadır (IRENA, 2023). Bu dağılım, son dönemde özellikle güneş ve rüzgâr teknolojilerinin, hidroelektriğin tarihsel baskın konumunu giderek dengelediğini göstermektedir.

Yalnızca 2022 yılında devreye giren yeni yenilenebilir kapasite yaklaşık 295 GW olup, küresel yeni elektrik üretim kapasitesinin %80’den fazlasını yenilenebilir kaynakların oluşturduğu tahmin edilmektedir (IRENA, 2023). Bu tablo, yeni yatırımların artık neredeyse bütünüyle düşük karbonlu teknolojilere kaydığını ve fosil yakıt temelli yeni kapasitenin göreceli öneminin hızla gerilediğini ortaya koymaktadır.

Kurulu güçteki bu dönüşüm, elektrik üretim bileşiminde de belirgin bir değişime yol açmaktadır. IEA ve Energy Institute istatistiklerine göre, 2022 yılında dünyada toplam elektrik üretimi yaklaşık 28.000–29.000 TWh düzeyindedir (International Energy Agency [IEA], 2023; Energy Institute, 2023). Bu toplamın yaklaşık %29–30’u hidroelektrik, güneş, rüzgâr, biyokütle ve jeotermal gibi yenilenebilir kaynaklardan sağlanmaktadır.

Şekil 1.

Dünyada Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Payları

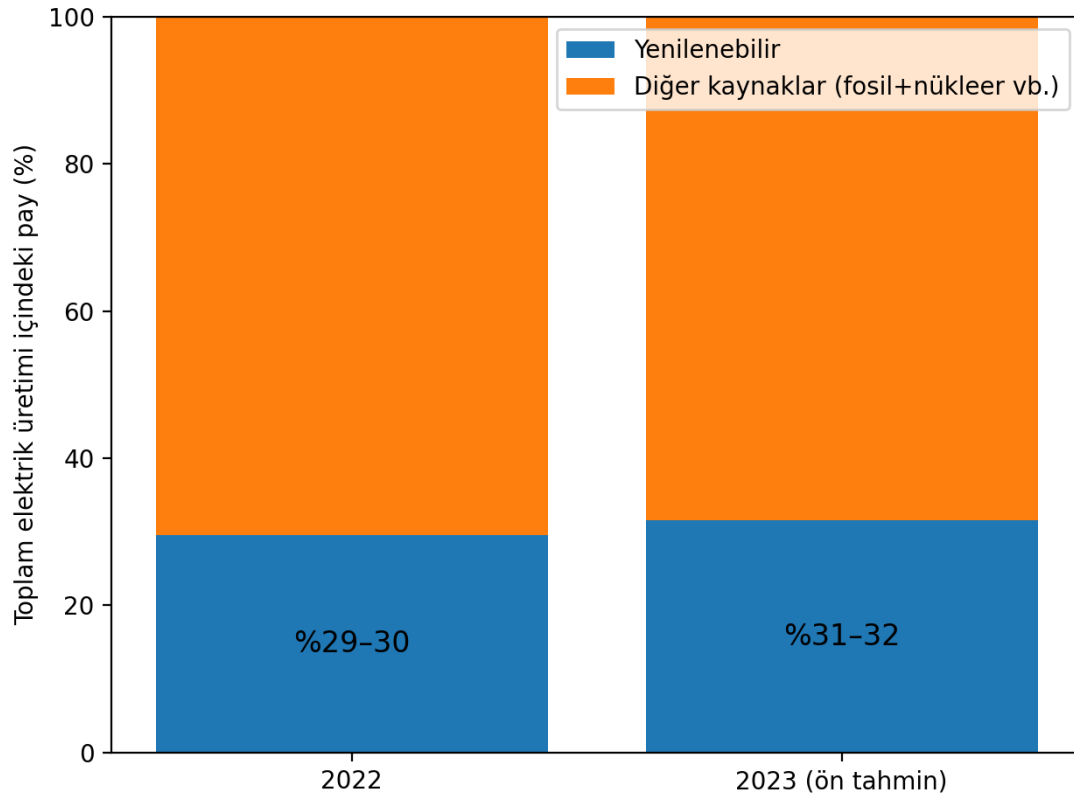


Kaynak: Yazar tarafından IEA (2023)’ten yararlanılarak türetilmiştir.

Kaynak bazında 2022 için tahmini paylar şu şekildedir: hidroelektrik üretimin toplam elektrik üretimi içindeki payı yaklaşık %15, rüzgâr enerjisinin payı %8–9, güneş enerjisinin payı %5–6, biyokütle ve jeotermal gibi diğer yenilenebilirlerin birleşik payı ise %2–3 bandındadır (IEA, 2023; Energy Institute, 2023). Böylece, bir yandan hidroelektrik hâlâ lider konumunu korurken, diğer yandan güneş ve rüzgâr kaynaklı üretimin son derece hızlı bir şekilde büyüdüğü görülmektedir.

Şekil 2.

Dünyada Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretimindeki Payları



Kaynak: Yazar tarafından IEA (2023)’ten yararlanılarak türetilmiştir.

IEA’nın Electricity 2024 ve Renewables 2023 raporlarına dayalı ön tahminler, 2023 yılında yenilenebilir kaynakların küresel elektrik üretimindeki payının 1–2 puan daha artarak %31–32 bandına yükseldiğini ve artışın özellikle güneş ve rüzgâr kaynaklı üretimden kaynaklandığını ortaya koymaktadır (IEA, 2023). Bu eğilim, Paris Anlaşması hedefleri ve net-sıfır emisyon gündemiyle uyumlu bir “elektrifikasyon ve karbonsuzlaşma” sürecinin giderek hızlandığını göstermektedir.

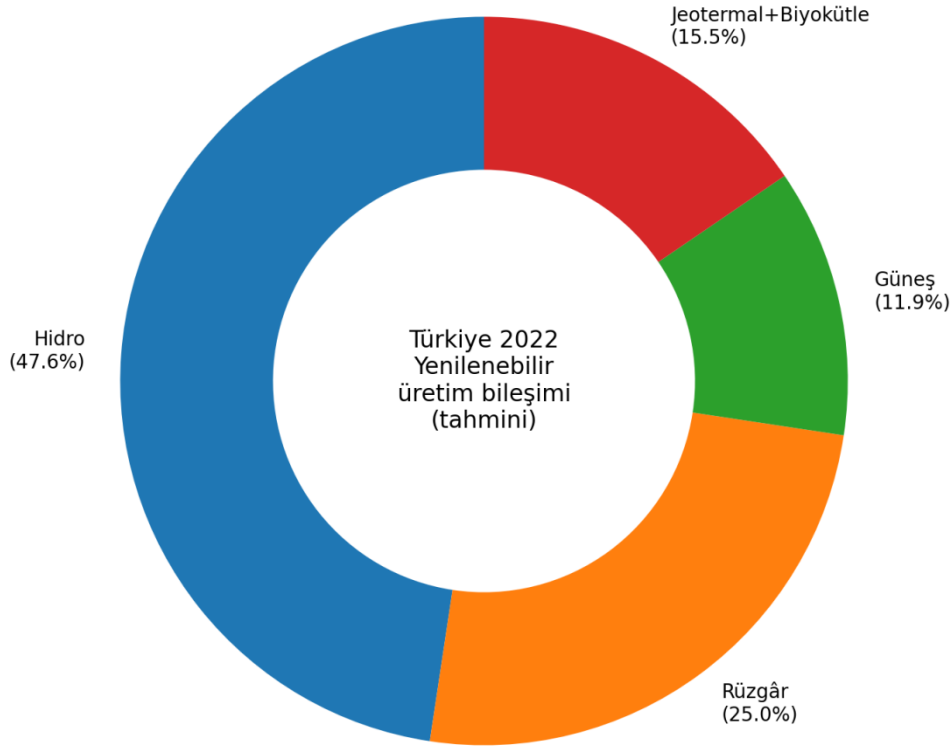
1.1.3.2. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Görünümü

Türkiye, son on beş yılda uygulamaya koyduğu YEKDEM mekanizması, alım garantileri ve yerli-yenilenebilir öncelikleriyle, elektrik sisteminde yenilenebilir kapasiteyi

hızla artıran ülkeler arasına girmiştir. TEİAŞ'ın 31.12.2022 tarihli Kurulu Güç – Birincil Kaynağa Göre istatistiklerine göre, 2022 yılı sonunda Türkiye'nin toplam elektrik kurulu gücü yaklaşık 103–104 GW düzeyindedir (Türkiye Elektrik İletim A.Ş. [TEİAŞ], 2023).

Şekil 3.

Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Payları



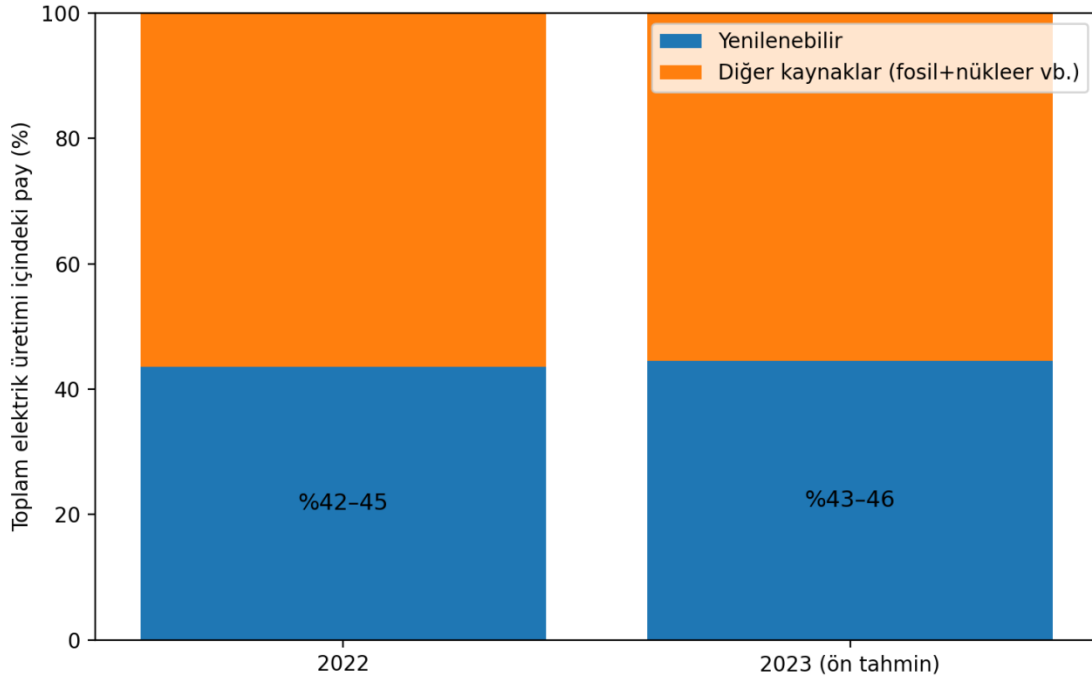
Kaynak: Yazar tarafından TEİAŞ (2023)’ten yararlanılarak türetilmiştir.

Bu toplam içinde yenilenebilir kaynaklara dayalı kurulu güç yaklaşık 56 GW düzeyindedir. Kaynak bazında dağılım özetle şöyledir: hidroelektrik $\approx$ 31–32 GW, rüzgâr enerjisi $\approx$ 11–12 GW, güneş PV $\approx$ 9–10 GW, jeotermal $\approx$ 1,6–1,8 GW, biyokütle (çöp gazı, biyogaz, diğer biyokütle tesisleri) ise $\approx$ 2 GW bandındadır (TEİAŞ, 2023). Bu değerler birlikte değerlendirildiğinde, 2022 sonu itibarıyla yenilenebilir kaynaklara dayalı kurulu gücün, Türkiye toplam kurulu gücünün yaklaşık %54–55’ine karşılık geldiği görülmektedir.

Türkiye’nin 2017 yılında rüzgârda 6,5 GW, hidroelektrikte 28–29 GW, biyokütlerde ise 0,6 GW civarında kapasiteye sahip olduğu dikkate alındığında (EPDK, 2018; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2018), 2017–2022 döneminde yenilenebilir kurulu gücün hem mutlak düzey hem de toplam içindeki pay olarak önemli ölçüde arttığı söylenebilir. Özellikle güneş ve rüzgâr kapasitesindeki artış, dünya eğilimiyle paralel bir “teknoloji karması kayması”na işaret etmektedir.

Şekil 4.

Türkiye’de Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretimindeki Payları



Kaynak: Yazar tarafından TEİAŞ (2023)’ten yararlanılarak türetilmiştir.

Kurulu güçte yenilenebilir kaynakların çoğunluk payına ulaşması, üretim bileşimine de güçlü biçimde yansımıştır. EPDK’nın Elektrik Piyasası Gelişim Raporu 2022 ve TEİAŞ’ın üretim-tüketim istatistiklerine göre, 2022 yılında Türkiye’nin toplam elektrik üretimi yaklaşık 325–330 TWh aralığındadır (EPDK, 2023; TEİAŞ, 2023). Buna karşılık yenilenebilir kaynakların toplam elektrik üretimi içindeki payı yaklaşık %42–45 bandında gerçekleşmiştir.

Kaynak ayrımında 2022 yılında hidroelektrik üretimin toplam üretim içindeki payı $\approx$ %20, rüzgâr enerjisinin payı $\approx$ %10–11, güneş enerjisinin payı $\approx$ %5, jeotermal ve biyokütle kaynaklı üretimin birleşik payı ise $\approx$ %6–7 civarındadır (EPDK, 2023). Bu değerler, Türkiye’nin elektrik üretiminde yenilenebilir payı bakımından pek çok OECD ülkesine kıyasla görece yüksek bir konuma geldiğini, ancak kömür ve doğal gazın ağırlığının hâlâ önemli olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, kurulu güçte yenilenebilir kaynakların yarıdan fazla pay aldığı bir yapıya rağmen, üretim tarafında fosil yakıtların “yük takibi ve baz yük” rolünü koruduğu, dolayısıyla emisyon azaltımı açısından halen önemli bir dönüşüm alanı bulunduğu söylenebilir.

TEİAŞ ve EPDK’nın 2023 yılına ilişkin ön verileri ve eğilimleri, 2022’de gözlenen dinamiğin 2023’te de devam ettiğini göstermektedir. Niteliksel olarak bakıldığında, 2023 yılında:

Güneş enerjisi kurulu gücü 10 GW eşiğini aşmış, çatı ve lisanssız GES yatırımlarındaki ivmeyle birlikte payını artırmaya devam etmiştir.

Rüzgâr kurulu gücü ≈ 12 GW bandına ulaşmış ya da bu seviyeye oldukça yaklaşmıştır.

Yenilenebilir kurulu gücün toplam kurulu güç içindeki payı %55'in biraz üzerine çıkmıştır.

Elektrik üretiminde yenilenebilir payı ise hidrolojik koşullara bağlı olmakla birlikte orta–yüksek %40'lı değerler civarında seyretmiştir (EPDK, 2023; TEİAŞ, 2023).

Bu çerçevede Türkiye, bir taraftan küresel eğilimle uyumlu biçimde yenilenebilir kapasitesini ve üretim payını artırırken, diğer taraftan enerji ithalat faturasını azaltma, arz güvenliğini güçlendirme ve karbon emisyonlarını sınırlama hedeflerini aynı politik paket içinde yönetmeye çalışmaktadır.

1.2. Enerji ve Ekonomik Büyüme İlişkisi

Enerji, rekabet edebilme gücü ve büyümenin lokomotifini harekete geçirme açısından önemli bir role sahiptir. Bu bağlamda ister yenilenemeyen ister yenilenebilen enerji kaynakları, bir yandan önemli birer faktör maliyeti niteliği taşıırken öte yandan da önemli birer imalat girdisi niteliğindedir (Fotourehchi, 2017, s. 61).

Enerji ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin yönü ve mahiyeti, özellikle 1970'li yıllarda petrol piyasasında yaşanan arz şoklarından sonra iktisat yazınında daha yoğun biçimde tartışılmaya başlanmıştır. Bu dönemin ardından, enerji arzındaki kırılganlıkların büyüme performansı üzerindeki etkilerini ve alternatif enerji politikalarının makroekonomik sonuçlarını inceleyen çok sayıda politika analizi ve ekonometrik çalışma yapılmıştır (Eroğlu, 2019, s. 40).

Ekonomik büyüme ile enerji kullanımı arasındaki ilişki, hem kuramsal hem de ampirik iktisat literatüründe uzun süredir tartışılan temel konulardan biridir. Geleneksel büyüme modelleri üretimi çoğunlukla sermaye ve emek faktörleri üzerinden açıklarken, enerji girdisini ya açıkça modele dâhil etmemiş ya da üretim sürecinin dolaylı bir bileşeni olarak ele almıştır (Tezel, 2000, s. 16). Oysa sanayi, hizmetler ve tarım gibi tüm temel sektörlerin üretim süreçleri, doğrudan ya da dolaylı biçimde enerji girdisine dayanmakta; bu nedenle enerji arzındaki kısıtlar, maliyet değişimleri ve enerji bileşimi, büyümenin düzeyi ve istikrarı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Yapraklı, 2013, s. 79). Enerji–büyüme ilişkisine yönelik modern yaklaşımlar, enerjiyi üretim fonksiyonunun temel bileşeni ve makroekonomik

dalgalanmaların önemli bir kaynağı olarak modelleyerek, bu ilişkideki nedensellik yönü ve büyüme üzerindeki etkileri açığa çıkarmaya çalışmaktadır (Coers ve Sanders, 2013, s. 5).

Enerji, fiziksel sermaye ve emekten farklı bir üretim girdisi olarak, üretim süreçlerinin işleyebilmesi için zorunlu bir ara girdi niteliği taşımaktadır. Enerjinin üretim fonksiyonuna açık bir girdi olarak dâhil edildiği yaklaşımlarda, çıktı genellikle sermaye, emek ve enerji kullanımı arasında belirli bir ikame veya tamamlayıcılık ilişkisi çerçevesinde modellenmektedir (Coers ve Sanders, 2013, s. 11). Enerjiyi içeren üretim fonksiyonları, enerji fiyatlarındaki ve enerji arzındaki değişimlerin toplam üretim üzerindeki etkilerini, faktörler arası ikame ve verimlilik kanalları üzerinden teorik olarak izlemeyi mümkün kılmaktadır.

1970’li yıllarda enerji piyasasında yaşanan krizler ve takip eden dönemdeki uluslararası serbesti hareketlerinin de etkisiyle sürdürülebilir bir büyüme kavramı ön plana çıkmış, enerji kaynakları kullanımının ekonomik büyüme performansı açısından önemi siyasi karar alma birimleri açısından daha popüler hale gelmiştir. Bu bağlamda literatürdeki mevcut teorik çerçeve gözden geçirilmiş, geleneksel teoriler geliştirilmiş ve yeni teorik modeller türetilmiştir. Bu modellere Hotelling Kuralı, Durağan Durum Modeli, Jevons Paradoksu ve Hamilton-Bubridge-Harrison Modeli örnek verilebilir (Eroğlu, 2019, s. 40).

1.2.1. Hotelling Kuralı

Harold Hotelling, doğal kaynakların kullanımını incelediği 1931 tarihli çalışmasında, içinde enerji kaynaklarını da barındıran doğal kaynakların zaman içindeki tükenme durumunu ele almıştır. Hotelling Kuralı, enerjiyi de içinde barındıran doğal kaynakların zaman içindeki kullanım düzeyinin, söz konusu doğal kaynakların rezervinde yarattığı değişim kanalıyla yatırım kararlarını ve faiz oranlarını etkilemesi yönüyle ekonomik büyüme performansının belirleyicilerinden biri olduğunu ifade etmektedir. Kurala göre doğal kaynak kullanımının marjinal maliyeti ve doğal kaynağın fırsat maliyetinden hareketle doğal kaynak kullanımının fiyatı ve miktarı belirlenmektedir (Khanna, 2001, s. 4). Çevre ve doğal kaynaklar ekonomisi alanında çalışan ekonomistler tarafından en sık başvurulanan teorik altyapılardan biri Hotelling Kuralıdır. Hotelling Kuralından ilham alan çevre ve doğal kaynak ekonomistleri enerji kaynakları ve insan eliyle üretilmiş sermaye ile doğal sermayenin ikame edilebilirlik durumu sebebiyle, üretim fonksiyonu açısından toplam sermaye miktarının belirlenmesinde ve durağan durum ekonomik büyüme dengesinin sağlanmasında önemli rol oynadığını savunmuşlardır.

Hotelling Kuralına göre enerji kaynaklarının optimal şekilde dağılması sürecinde tükenebilir kaynakların kullanımın sürmesi ve yerini alternatif bir enerji kaynağının alacağı

zaman zarfında doğal (enerji) kaynakların fiyatları yükselmeye devam edecek ve denge sağlandıktan sonra kaynak fiyatları sabitlenecektir. Denge sağlanmasıyla sabitlenen fiyat düzeyinde marjinal teknik ikame oranının eski ve yeni üretim fonksiyonlarında tüm mal ve hizmetlerin üretimi için aynı ve sabit olacağı varsayılmaktadır. Bu süreç üretim fonksiyonunda girdi olan üretim faktörlerinin özellikle de enerji kaynakları kullanımının değişmesi süreci sonunda gerçekleşmektedir. Üretim sürecinde üretim fonksiyonu gereği girdilerden biri durumundaki bir faktörün miktarını azaltmadan diğerinin miktarını artırma yani üretim girdileri bileşimini değiştirme imkânı olmadığından zamanlar arası dağılım mekanizmasının işlemesiyle optimal kaynak tahsisine ulaşılmaktadır (Yapraklı, 2013, s. 23).

Hotelling Kuralından hareketle çeşitli durum tespit ve uygulama çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalar sonucu elde edilen bulgular geleneksel enerji kaynaklarında arama-bulma-çıkarma maliyetleri zaman içinde giderek azalmasına rağmen üretim miktarının tersine sürekli artması sebebiyle ekonomide fiyat istikrarı olmadığını göstermektedir. Ayrıca bir diğer çıkarsama olarak enerji kaynakları arzı sürekli artmasına karşılık enerji kaynakları fiyatlarının da sürekli bir artış trendi izlediği tespit edilmiştir. Enerji kaynakları arama-bulma-çıkarma maliyetlerinin yeni teknolojik imkânlarla rağmen her zaman azalmayıp aksine çoğu zaman artış göstermesi ve doğal kaynak tedarik piyasasında tam rekabet koşullarının geçerli olmaması yönünden Kronenberg gibi çevre ve doğal kaynak alanında çalışan ekonomistler Hotelling Kuralını eleştirmektedir. Bu bağlamda olarak enerji kaynakları maliyetlerinin ve enerji kaynakları fiyatlarının sürekli artması Hotelling Kuralının eleştirildiği diğer bir husustur. Çevre ve doğal kaynaklar ekonomistlerinin bir kısmı Hotelling Kuralının teorik altyapı açısından çok güçlü olduğunu ancak uygulamalı ve ekonometrik analiz bakımından zayıflıkları olduğunu ifade etmektedirler (Dixon, 2012, s. 5).

1.2.2. Daly Durağan Durum Modeli

Durağan durum denge modeli, ekolojik ekonomist Herman Edward Daly tarafından John Stuart Mill'in geliştirdiği öncü modele kısıt altında kaynak optimizasyonu ve çevresel/fiziksel faktörler ilave edilmiş halidir. Modelde durağan durum dengesinde ekonomik büyümenin niteliği üzerinde durulmaktadır. Modele göre çevresel faktörler dikkate alınarak doğaya ve çevreye duyarlı sürdürülebilir bir ekonomik büyüme performansı sağlanırsa durağan durum denge düzeyine ulaşmak mümkün olabilmektedir. Daly modelinde, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ve çevresel kirliliğin ortadan kaldırılması koşulları altında ekonomik büyüme performansının neoklasiklerin ileri sürdüğünün aksi biçimde düşük düzeyde kalacağını ifade etmektedir. Daly, neoklasik büyüme modellerinde büyümenin lokomotif olan doğal kaynakların giderek tükendiğini ve geri dönüşümün olmadığını, enerji

başta olmak üzere kaynakların aşırı tüketiminin ekonomik daralmaya ve yoksullaşmaya yol açacağını belirtmektedir (Eroğlu, 2019, s. 42).

Durağan durum modeline göre ekonomik büyümeyle beraber enerji kaynakları kullanımı artmakta ve çevresel bozulmalar meydana gelmektedir. Bu durum hem kaynakların aşırı kullanımı yönünden hem de çevrenin kirlenmesi yönünden katlanılması gereken ilave maliyetler yaratmakta ve ekonomik büyümeden elde edilen kazanımlar ekolojik maliyetleri aştığında ekonomik olmayan bir büyüme performansı sergilenmektedir. Modele göre enerji kaynakları kullanımı kısıtlı miktarda olmalı ve hem üretim hem de tüketim açısından etkin fonksiyonlar tercih edilmelidir. Modelin bir başka argümanı da durağan durum dengesinde enerji kaynaklarından optimal fayda sağlamanın ancak ve ancak optimal kaynak tahsisi sağlanması durumunda mümkün olabileceğidir. Modelin uygulanabilirliği enerji kaynaklarını da kapsayacak şekilde doğal kaynakların ekonomik bir meta olma niteliği ön plana çıkarılarak analize dahil edilmesine ve enerji kaynakları kullanımının kısıtlanmasına bağlıdır (Usta, 2015, s. 40).

Enerji kaynaklarının kullanımı kısıtlanırken hem yenilenemeyen kaynakların dünya üzerindeki mevcut stoku ve dağılımı dikkate alınmalı hem de yenilenemeyen enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynakları tam ikame edilebilir şekilde modele dahil edilmelidir. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ve yatırımları teşvik edilerek yenilenemeyen kaynakların aşırı kullanımı azaltılmalıdır. Modele göre çevresel faktörler de piyasa dengesinin sağlanması açısından ticarete dahil edilerek çevreyi kirlletmenin maliyeti ve yenilenebilir enerji kullanımının pozitif dışsallığı gibi açılardan enerji kaynakları kullanımında uzun dönemde durağan durum dengesi sağlanacaktır. Modelin ileri sürdüğü bir diğer görüş yenilenemeyen enerji kaynaklarının, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ikame edilebilirlik düzeylerine göre kullanılmasıdır. Modele göre yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar artırılarak doğal kaynakların aşırı kullanımı sınırlandırılmalı böylelikle de enerji kaynaklarından tasarruf sağlanmalıdır. Modele yöneltlen başlıca eleştiri noktasıysa termodinamik açıdan ekonomik etkileşim ve çevresel etki değerlendirmesi yapmanın net olmamasıdır. Daly'nin Durağan Durum Modeli enerji ve doğal kaynaklar piyasasında bahsi geçen kısıtlama ve tasarruf koşullarının sağlanmasıyla beraber hem enerji kaynaklarının aşırı kullanımının önüne geçileceğini hem de çevresel bozulmalar engellenerek ekolojik ekonomi dengesine ulaşılabileceğini ifade etmektedir (Daly, 2007, s. 119).

1.2.3. Jevons Paradoksu

1970'lere kadar enerji kaynakları kullanımıyla ekonomik büyüme ilişkisi üzerinde pek fazla durulmamış, neoklasik büyüme modellerinin geleneksel varsayımları ve çıkarsamaları

baz alınarak modelleme yapılmıştır. Enerji kaynakları kullanımıyla ekonomik büyüme ilişkisini farklı bir metodolojiyle modelleyen William S. Jevons, yenilenemeyen bir enerji kaynağı olan kömür sorunu üzerine yaptığı çalışmasında enerji kaynakları kullanımının bir kısıt olarak ekonomik büyümeyi etkilediğini gündeme getirmiş ve bu hipotez Jevons Paradoksu olarak literatüre geçmiştir. Jevons, yaptığı çalışmalarla doğal kaynakların özellikle de yenilenmeyen enerji kaynaklarının rezerv olarak tükenmese bile miktarı azalacağı için fiyatında ve maliyetinde yükselme olacağından bu durumun ekonomik büyüme performansını üzerinde etkileri olacağını ifade etmiştir. Jevons, yaptığı çalışmalarda döneminin başlıca enerji kaynağı olan kömürü ele alarak, kömür talebindeki değişmelerin ve kömür kullanım düzeyindeki artış/ azalışın ekonomik etkilerini araştırmıştır. Kömür başta olmak üzere yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımında verimlilik ve etkinlik sağlanmadığı takdirde enerji kaynakları fiyatlarının sürekli artış trendi izleyeceği bu durumun da ekonomik büyüme performansının dalgalı bir seyir izlemesine sebep olacağı ortaya konmuştur. (Tezel, 2000, s. 29).

Jevons, Büyük Britanya'nın 19. Yüzyıl dünyasında en güçlü ekonomiye sahip olmasının özellikle Sanayi Devrimi sonrası kömürü başlıca enerji üretim kaynağı olarak kullanmasından kaynaklandığını ileri sürmüştür. Jevons Paradoksuna göre enerji kaynağı olarak yenilenemeyen bir kaynak olan kömüre dayalı gerçekleştirilen imalatın ekonomik büyümede önemli bir faktör olduğu ifade edilmektedir. Ancak ekonomik büyümeyle beraber enerji kaynakları kullanımı talebinin artacağı ve bu artış neticesinde doğal kaynak rezervinde ortaya çıkacak düşüşün enerji kaynağı fiyatlarını ve maliyetlerini artırarak paradoksal bir şekilde ekonomik büyümenin yavaşlamasına sebep olacağı ileri sürülmektedir (Yapraklı, 2013, s. 119).

1.2.4. Hamilton-Burbridge-Harrison Modeli

Hamilton-Burbridge-Harrison modeli, neoklasik büyüme teorisinden hareket edilerek geliştirilmiş ve enerjinin tıpkı emek ve sermaye gibi bir üretim faktörü olarak üretim fonksiyonuna dâhil edilmesi gerektiğini ileri sürmektedir. Modele göre, yenilenmeyen ve yenilebilir enerji kaynakları kullanımının ekonomik büyüme üzerinde yaratacağı etkiler uygun parametreler yardımıyla ölçümlenebilmektedir. Modelde ekonomik büyüme üzerindeki etkileri temsil eden parametrelerin ölçülebilir nitelikte olmasının üretim faktörlerinin esneklikleri hakkında doğrudan tahmin yapma imkânı sağladığını ifade etmektedir (Hamilton, 1996, s. 215).

Hamilton-Burbridge-Harrison modeli, Hotelling Kuralındaki enerji kaynağının fiyatının sabit olması varsayımının geçersiz olduğu düşüncesinden hareketle Hamilton'un

neoklasik ekonomik büyüme modeline petrolü bir enerji kaynağı olarak dâhil etmesiyle yaratılmıştır. Modelde enerji fiyatlarında bir değişimin ekonomik büyüme üzerinde ne tarz etkiler doğuracağı analiz edilmiştir. Hamilton'un elde ettiği ilk bulgular enerji kaynaklarının miktarındaki değişimlerden ziyade fiyatlarındaki değişimlerin ekonomik büyüme performansını daha büyük ölçüde etkilediği yönündedir. Modele göre enerji kaynakları kullanımıyla toplam çıktı arasında aynı yönlü bir uzun dönemli ilişki söz konusudur. Enerji kaynaklarının fiyatlarındaki artışlarsa üretim fonksiyonu girdisi olarak enerji faktörü kullanımını ve ekonomik büyümeyi ters yönde etkilemektedir. Burbridge ve Harrison, yaptıkları katkılarla Hamilton'un modelinden elde ettiği bulguları destekler şekilde enerji kaynakları kullanımı ve fiyatlarındaki değişimlerin makroekonomik göstergeleri ve ekonomik büyümeyi etkilediğini saptamışlardır. Bu öncü katkılardan dolayı Hamilton, Burbridge ve Harrison'un adına ithafen Hamilton-Burbridge-Harrison modeli olarak adlandırılan model literatürde, enerji kaynaklarının ekonomik büyüme ve gelişme üzerindeki etkilerinin analiz edilmesinde en yaygın başvurulanan teorik altyapılardan birini oluşturmaktadır (Hamilton, 2003, s. 364).

Hamilton-Burbridge-Harrison modeline göre enerji kaynakları kullanımının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi çeşitli işleyiş mekanizmaları sayesinde olmaktadır. Örnek vermek gerekirse; enerji kaynakları fiyatlarında yaşanan artışlar enflasyonu, faiz oranlarını, dış ticareti, toplam çıktı miktarını ve istihdamı etkileyerek ekonomik büyümeyi doğrudan veya dolaylı şekilde etkilemektedir. Modelin eleştirilen yönleri ise; modelin geçerliliğine yönelik uygulamalı çalışmaların sadece Amerika Birleşik Devletleri başta olmak üzere birkaç ülkeyle sınırlı kalması, enerji kaynağı olarak genelde petrolün ele alınması ve diğer enerji kaynaklarının kullanımına yeteri kadar değinilmemesidir (Gisser ve Goodwin, 1986, s. 97).

1.2.5. Büyüme Hipotezleri

Literatür incelemesi sonucu enerji kaynakları ile ekonomik büyüme ilişkisini modellemede en sık kullanılan modelin enerjiyi geleneksel Leontief tipi üretim fonksiyonlarında olduğu gibi bir üretim faktörü olarak ele alan dönüştürülmüş bir neoklasik üretim fonksiyonu olduğu görülmüştür. Bu fonksiyon basitçe aşağıdaki formülle gösterilebilir:

$$Y_{it} = f(K_{it}, L_{it}, E_{it})$$

Fonksiyonda E harfi ile temsil enerji, sermaye ve emek gibi bir üretim girdisi olarak üretim fonksiyonunda yer almaktadır. E harfinin temsil ettiği enerji kaynakları bazı çalışmalarda enerji üretimi, yaratılan enerji miktarı olarak ele alınmakla birlikte literatürde en

yaygın kullanım şekli enerji tüketimi veya enerji kullanımı şeklindedir. Enerji kaynakları ile ekonomik büyüme arasında uzun dönemli ilişkiyi ve nedensellik ağını araştırmada literatürde dört temel hipotez kullanılmaktadır (Yapar, 2020, s. 99).

Büyüme Hipotezine göre enerji kaynakları kullanımı ekonomik büyüme üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Hipotez, enerji kaynakları kullanımından ekonomik büyümeye doğru tek yönlü bir nedensellik söz konusu olduğunu ileri sürmektedir. Bu bağlamda enerji politikalarında enerji kaynakları kullanımını azaltacak doğrultuda bir politika değişikliğinin ekonomik büyümeyi yavaşlatacağını ifade etmektedir. Ekonomiye Giriş derslerinden hatırlanacağı üzere üretim faktörleri emek, sermaye, doğal kaynaklar ve girişimci olmak üzere dört ana faktörden oluşmaktadır. Bu faktörlerin ilki olan sermaye; insan eliyle üretilen ve üretim süreci esnasında emek faktörünün kullanımına tahsis edilmiş her türlü altyapı ve araç-gereci ifade etmektedir. Sermaye faktörüne başlıca örnek olarak teknik donanım altyapısı, makine ve teçhizat stoku örnek verilebilir. Enerji, üretim fonksiyonunda sermaye ve emek gibi faktörlerin tamamlayıcısı olduğundan, bu kaynağın kullanımında yaşanacak bir azalma, reel çıktıda bir düşmeye yani ekonomik büyümede yavaşlamaya sebep olacaktır. Hipoteze göre enerji kaynaklarında tasarrufa yönelik alternatif politika uygulamaları ekonomik büyümeyi olumsuz etkilemektedir. Bunun sebebi sürdürülebilir bir ekonomik büyüme performansı açısından enerji kaynaklarına olan bağımlılık ve zorunluluktur. Çünkü enerji kaynakları kullanımının azalmasıyla bir yandan üretimde kullanılan sermaye faktörü miktarı azalmaktayken diğer yandan da emeğin marjinal verimliliği azalmaktadır (Kerimoğlu, 2020, s. 180).

Koruma Hipotezine göre enerji kaynakları kullanımı ekonomik büyümeye değil ekonomik büyüme enerji kullanımına sebep olmaktadır. Hipotez, ekonomik büyümeden enerji kaynakları kullanımına doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi söz konusu olduğunu ileri sürmektedir. Bu bağlamda enerji politikalarında enerji kaynakları kullanımını azaltacak doğrultuda bir politika değişikliğinin ekonomik büyümeyi etkilemeyeceği ifade edilmektedir. Ekonomik büyümenin yavaşladığı ve ekonomik daralma yaşanan durumda ise enerji kaynakları talebinin ve kullanım miktarının azalacağı öngörülmektedir. Ekonomik büyüme reel çıktıdaki artışı ifade etmektedir ve dışa açık bir modelde ekonominin büyümesi harcamaların (özel tüketim, yatırım ve ithalat) artmasına neden olmaktadır. Böyle bir durumda enerji kaynaklarını girdi olarak kullanan nihai mal ve sermaye malı talebini de artıracığından için ekonomik büyümeyle birlikte toplam enerji kaynakları kullanımı da artmaktadır. Bu bağlamda yüksek gelirli ülkeler grubunun enerji kaynakları kullanımının düşük ve orta gelirli ülkeler grubuna göre daha fazla olduğunu belirtmek gerekmektedir. Başta

Hindistan ve Çin olmak üzere son dönemlerde güçlü bir sıçrama ve ekonomik büyüme rendi izleyen ülkelerin enerji kaynakları talebi ve kullanım miktarları bunun belirgin bir örneğini teşkil etmektedir (Tuğcu vd. 2012, 1942).

Yansızlık Hipotezine göre enerji kaynakları kullanımının ekonomik büyüme üzerinde herhangi bir etkisi söz konusu değildir. Hipotez, enerji kaynakları kullanımıyla ekonomik büyüme arasında herhangi bir nedensellik ilişkisi kurulamayacağını ileri sürmektedir. Ayrıca alternatif enerji politikaları uygulamaları da ekonomik büyüme performansı açısından etkisizdir. Hipotez enerji kaynakları kullanımıyla ekonomik büyüme arasında uzun dönemli bir ilişki ve nedenseelik bağı olmadığını ileri sürmesi sebebiyle tarafsız (nötr) hipotez olarak da nitelendirilmektedir. Hipoteze göre enerjiyle büyüme arasında nedensellik ilişkisi bulunmaması ülkelere alternatif politika belirleme noktasında geniş bir perspektif sunmaktadır. Bu bağlamda özellikle yakıt amaçlı enerji kullanımında dışa bağımlı ithalatçı ülkelerde enerji kaynakları kullanımında yapılacak tasarrufların, zaten sınırlı miktarda olan finansman kaynaklarının yurtiçinde kalarak iç piyasadaki üretim ve tüketim faaliyetlerinin desteklenmesi açısından faydalı olacağı değerlendirilmektedir (Yapar, 2020, s. 100).

Geri Besleme Hipotezine göreyse enerji kaynakları kullanımıyla ekonomik büyüme arasında çift taraflı yani geri beslemeli bir nedensellik ilişkisi söz konusudur. Bu bağlamda enerji politikalarında enerji kaynakları kullanımını azaltacak doğrultuda bir politika değişikliğinin ekonomik büyümeyi yavaşlatacağı aynı zamanda da ekonomik büyüme performansında bir azalmanın enerji kaynaklarına olan talepte ve kaynak kullanımında düşüş yaratacağı ileri sürülmektedir. Hipoteze göre ekonomik büyümeyle beraber toplam harcamalarda gözlemlenecek bir artış enerji kaynakları kullanımını etkilemekte; enerji kaynakları kullanımında yaşanacak bir değişme de üretim faktörleri kanalıyla ekonomik büyüme performansını etkilemektedir. Dolayısıyla geri besleme hipotezi enerji kaynakları kullanımıyla ekonomik büyüme arasındaki uzun dönemli nedensellik bağıntısının aynı anda ve karşılıklı (iki yönlü) gerçekleştiğini ileri sürmektedir. Bu noktadan hareketle enerji kaynakları ve ekonomik büyümenin birbirleri açısından tamamlayıcı faktörler olduğu ve birini azaltan politika değişikliklerinin diğerini de doğrudan etkileme özelliği bulunduğu söylenebilir (Kerimoğlu, 2020, s. 181).

1.3. Yeşil Ekonomi Kavramı

Yeşil ekonomi ve yeşil ekonomik büyüme kavramları, klasik iktisadi büyüme anlayışının doğal kaynaklar ve çevresel sınırlar karşısında yetersiz kalmasına yönelik eleştirilerin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Geleneksel büyüme yaklaşımı uzun süre

boyunca ekonomik genişlemeyi merkezine almış; doğal kaynak kullanımı, çevre kirliliği ve ekolojik tahribatı ise büyük ölçüde dışsallık olarak ele almıştır (Tezel, 2000, s. 31).

Bu bakış açısı, büyüme ile refah artışı arasında güçlü bir özdeşlik kurmakla birlikte, söz konusu büyümenin hangi çevresel maliyetlerle gerçekleştiğini çoğu zaman göz ardı etmektedir (Yapraklı, 2013, s. 120). Buna karşılık ekolojik iktisat literatürü, ekonomik faaliyetlerin biyofiziksel sınırlar içinde gerçekleştiğini ve büyümenin gezegenin taşıma kapasitesiyle uyumlu olacak şekilde yeniden tanımlanması gerektiğini vurgular (Daly, 2007, s. 85). Bu çerçevede yeşil ekonomi, kaynak verimliliği yüksek, karbon yoğunluğu düşük ve sosyal açıdan kapsayıcı bir kalkınma patikası; yeşil ekonomik büyüme ise bu patikanın dinamik, büyüme odaklı tezahürünü ifade etmektedir (Sohag vd., 2019, s. 3).

Yeşil ekonomi, ekonomik faaliyetlerin ekolojik sürdürülebilirlik ve sosyal refah ile uyumlu hâle getirilmesini amaçlayan normatif bir çerçeve sunar. Ekolojik iktisat yaklaşımı, üretim ve tüketim süreçlerinin termodinamik yasalar ve biyofiziksel sınırlar tarafından kısıtlandığını vurgulayarak, sınırsız büyüme varsayımına temel bir itiraz geliştirir (Daly, 2007, s. 86). Bu yaklaşım, doğal sermaye ve ekosistem hizmetlerinin de iktisadi analizde temel girdiler olarak dikkate alınması gerektiğini, aksi hâlde geleneksel büyüme göstergelerinin refah ve sürdürülebilirlik düzeyini sistematik biçimde olduğundan yüksek göstereceğini savunur.

Yeşil ekonomi tartışmalarında kaynak verimliliği, düşük karbon yoğunluğuna geçiş ve yenilenebilir enerjiye dayalı bir enerji dönüşümü öne çıkan unsurlardır. Ekonomik faaliyetlerin giderek daha yüksek oranda yenilenebilir enerji temelli sektörlere kayması, hem enerji güvenliği hem de çevresel performans açısından yeşil ekonomi hedeflerini destekleyen yapısal bir dönüşüm yaratmaktadır (Tutak ve Brodny, 2022, s. 3). Benzer biçimde elektrik ikamesi (electricity substitution) politikalarının, sanayi üretimini daha az karbon yoğun bir enerji yapısına doğru yönlendirerek bölgesel yeşil ekonomik performansı artırdığı gösterilmektedir (Wu vd., 2019, s. 251). Bu bulgular, yeşil ekonominin soyut bir çevresel ideal olmanın ötesinde, enerji karması, üretim yapısı ve teknolojik yenilik kanalları üzerinden somut ekonomik sonuçlar doğuran bütüncül bir dönüşüm programı olduğunu ortaya koymaktadır.

Literatürde yeşil ekonomi, özellikle enerji politikaları ve yenilenebilir kaynaklara geçiş bağlamında tartışılmaktadır. Rüzgâr enerjisinin yeşil ekonomi perspektifiyle değerlendirilmesi, bu kaynağın hem enerji arz güvenliği hem de bölgesel kalkınma açısından taşıdığı potansiyeli gündeme getirmektedir (Özen vd, 2015, s. 87). Yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomiye katkısını SWOT analiziyle inceleyen çalışmalar, enerji

dönüşümünün ekonomik fırsat ve risklerini yeşil ekonomi çerçevesinde sistematik biçimde sınıflandırmaktadır (Ağaçbiçer, 2010, s. 148). Böylece yeşil ekonomi, enerji arz güvenliği, ithalat bağımlılığının azaltılması, istihdam ve bölgesel kalkınma gibi unsurlarla birlikte ele alınan çok boyutlu bir politika hedefi hâline gelmektedir.

1.3.1. Yeşil Ekonomik Büyüme Kavramı

Yeşil ekonomik büyüme, ekonomik büyümenin çevresel baskılardan ayrıştırılması (decoupling) hedefini merkeze alan bir büyüme anlayışı olarak tanımlanabilir. Bu çerçevede temel amaç, kişi başına gelir ve üretim düzeyi artarken sera gazı emisyonları, yerel hava kirliliği, doğal kaynak tüketimi ve ekolojik bozulmanın sabit kalması ya da azalmasıdır (Daly, 2007, s. 86). Literatürde göreceli ayrışma, büyüme ile çevresel baskılar arasındaki artış hızının ayrışmasına; mutlak ayrışma ise büyüme sürerken çevresel baskıların mutlak olarak azalmasına işaret etmektedir (Sinha vd., 2017, s. 24). Yeşil ekonomik büyüme hedefi, özellikle mutlak ayrışma ile uyumlu bir patikanın benimsenmesini gerektirmektedir.

Ampirik çalışmalarda yeşil ekonomik büyüme farklı biçimlerde modellenenmektedir. Seçili ülke gruplarında yeşil büyüme performansını inceleyen araştırmalar, ekonomik çıktı ile çevresel göstergeleri birlikte içeren bileşik endeksler kullanarak, çevresel düzenlemelerin bu endeks üzerindeki doğrusal olmayan etkilerini analiz etmektedir (Wang ve Shao, 2019, s. 3). Bölgesel düzeyde çevresel düzenlemeler ve teknolojik yenilik arasındaki etkileşimin “yeşil büyüme performansı” üzerindeki sonuçlarını irdeleyen çalışmalar, çevre politikalarının yeniliği teşvik ettiği koşullarda yeşil büyümenin güçlendiğini göstermektedir (Guo vd., 2017, s. 896). Bu tür yaklaşımlar, yeşil ekonomik büyümenin yalnızca büyüme oranıyla değil, büyümenin çevresel verimliliğiyle birlikte anlaşılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Yenilenebilir enerji ve yeşil büyüme ilişkisine odaklanan çalışmalar, yeşil ekonomik büyüme kavramının ampirik içeriğini daha da genişletmektedir. OECD ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketiminin yeşil ekonomik büyüme üzerindeki etkisini inceleyen araştırma bulguları, enerji karmasının yeşil büyüme performansını belirleyen kritik bir unsur olduğunu göstermektedir (Taşkın vd., 2020, s. 775). Türkiye’de temiz enerji kullanımı ve yeşil ekonomik büyüme ile ilişkisini irdeleyen çalışmalar da, enerji yapısındaki dönüşümün yeşil ekonomik büyüme göstergeleri üzerinde anlamlı etkiler doğurduğunu ortaya koymaktadır (Sohag vd., 2019, s. 8). AB-27 ülkelerinde ekonomik sektörlerin yenilenebilir enerji kullanımı ve ekonomik–çevresel göstergelerle birlikte incelendiği çalışmalar, yeşil ekonomik büyümenin sektörel yapı ve enerji kullanımındaki ayrışma ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir (Tutak ve Brodny, 2022, s. 20).

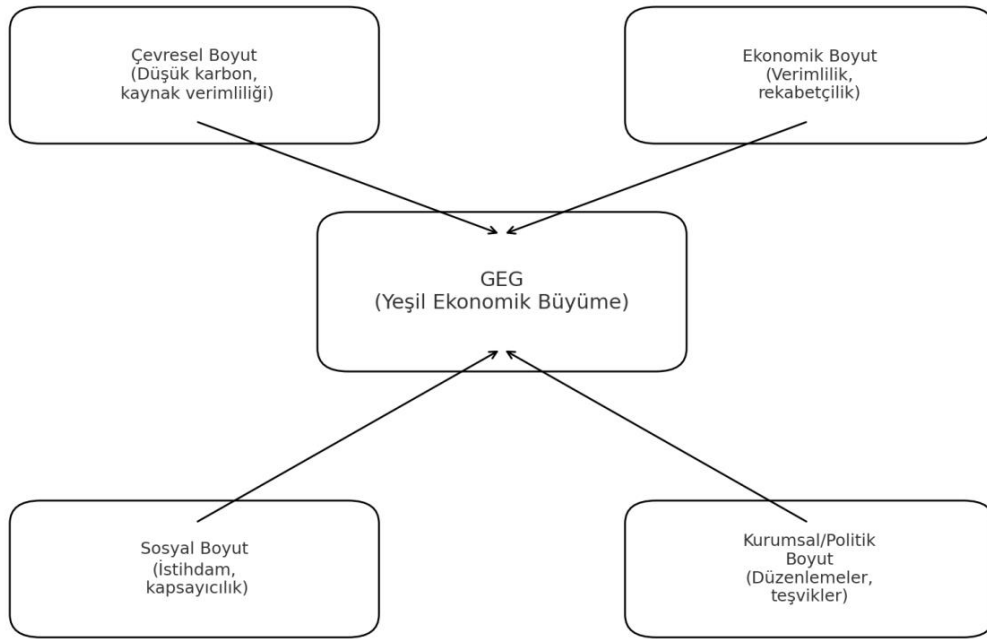
Bu çerçevede yeşil ekonomik büyüme, büyümenin hızından ziyade, büyümenin “renk” ve “kalitesi” ile ilgilidir. Enerji yapısı, teknolojik yenilik kapasitesi ve çevresel politika seti, yeşil ekonomik büyümenin içerdiği niteliksel boyutları belirlemektedir (Guo vd., 2017, s. 900). Yeşil ekonomik büyümenin ölçümü, kavramın çok boyutlu yapısı nedeniyle önemli metodolojik güçlükler barındırır. Geleneksel GSYH ve kişi başına gelir göstergeleri, ekonomik faaliyet düzeyi hakkında bilgi sağlamakla birlikte, bu faaliyetlerin çevresel maliyetlerini yansıtmamaktadır (Daly, 2007, s. 86). Bu nedenle literatürde yeşil büyümeyi ölçmek için üç ana yaklaşım öne çıkmaktadır:

- i) çevresel ayarlı büyüme göstergeleri,
- ii) bileşik yeşil büyüme endeksleri ve
- iii) enerji ve emisyon yoğunluğuna dayalı dolaylı göstergeler (Sinha vd., 2017, s. 6).

Yeşil büyüme performansını ölçen çalışmalarda, ekonomik çıktı düzeyi ile kaynak/enerji kullanımı ve emisyon göstergeleri aynı endeks içerisinde birleştirilmektedir (Wang ve Shao, 2019, s. 3). Bu endekslerde genellikle kişi başı GSYH veya toplam çıktı gibi ekonomik göstergeler ile kişi başı CO₂ emisyonu, enerji yoğunluğu veya yenilenebilir enerji payı gibi çevresel performans göstergeleri birlikte kullanılmaktadır (Guo vd., 2017, s. 896). Böylece ülkeler veya bölgeler, hem ekonomik hem de çevresel boyutta eşzamanlı performansları üzerinden karşılaştırılabilmektedir. Enerji kullanımının bileşenleri ile çevresel bozulma arasındaki ilişkilere odaklanan çalışmalar da, enerji karmasının “daha temiz” kaynaklara kaymasının çevresel baskıyı azaltarak yeşil büyüme dinamiklerini güçlendirdiğini göstermektedir (Sinha vd., 2017, s. 14).

Şekil 5.

Yeşil Ekonominin Çevresel, Ekonomik, Sosyal ve Kurumsal Boyutları



Kaynak: Yazar tarafından Daly (2007)'den yararlanarak türetilmiştir.

Yukarıda verilen Şekil 5, yeşil ekonomiyi; düşük karbon ve kaynak verimliliğine dayalı çevresel, verimlilik ve rekabetçiliği önceleyen ekonomik, istihdam ve kapsayıcılık vurgulu sosyal ve düzenlemeler ile teşviklerden oluşan kurumsal/politik boyutlarıyla bütüncül bir çerçeve içinde göstermektedir. Yeşil ekonominin bu dört boyutu, sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu, kaynak verimli ve kapsayıcı bir büyüme rotasına işaret etmektedir (Daly, 2007; European Commission, 2019).

Yeşil büyümenin ölçümünde veri kısıtları ve yöntemsel tercihler de önemli rol oynamaktadır. Farklı çalışmaların kullandığı değişken setleri, indeksleme teknikleri ve normalizasyon yöntemleri arasında tam bir birlik olmaması, ülkeler arası karşılaştırmalarda kullanılan yeşil ekonomik büyüme göstergelerinin sonuçlarının model bağımlılığını artırmaktadır (Wang ve Shao, 2019, s. 4). Çevresel bozulmanın tüm boyutlarının tek bir bileşik göstergede toplanması çoğu zaman mümkün olmadığı için, yeşil büyüme ölçümleri genellikle enerji ve emisyon odaklı kalmaktadır (Sinha vd., 2017, s. 7). Bununla birlikte, enerji kullanımı ve emisyonlara ilişkin verilerin görece daha sistematik biçimde derlenebilmesi, yeşil ekonomik büyüme literatürünün bu tür göstergeler üzerinden önemli ampirik birikimler üretmesini sağlamıştır (Tutak ve Brodny, 2022, s. 16).

Bu çalışma kapsamında kullanılan yeşil ekonomik büyüme kavramı, literatürdeki bileşik yeşil büyüme göstergeleriyle uyumlu olarak ekonomik büyüme ve çevresel baskıların birlikte değerlendirilmesine dayanmaktadır. Böylece yeşil ekonomi çerçevesinde gerçekleştirilecek

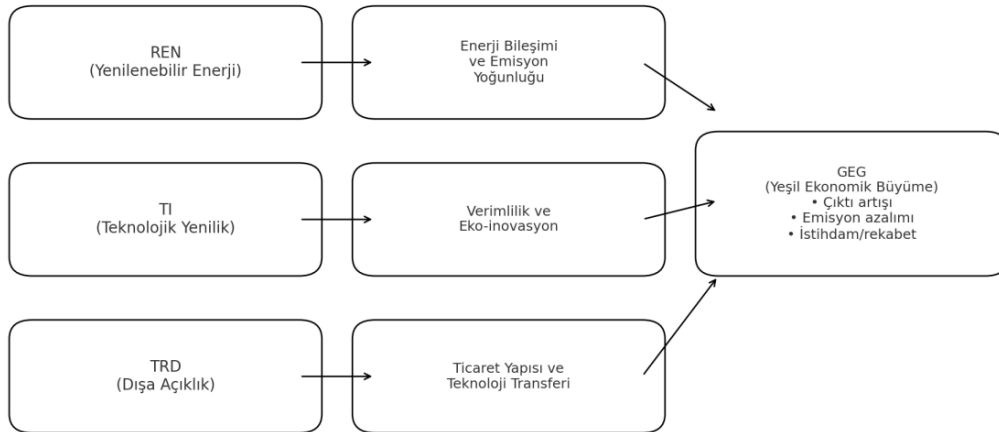
ampirik analiz, yalnızca kişi başı gelir artışını değil, bu artışın enerji yapısı, emisyon dinamikleri ve teknolojik kapasite ile nasıl bir bileşim içinde gerçekleştiğini ortaya koymayı amaçlamaktadır (Guo vd., 2017, s. 898).

1.3.2. Yeşil Ekonomik Büyümenin İktisadi Belirleyicileri

Yeşil ekonomik büyüme tartışmalarında yenilenebilir enerji kullanımı, teknolojik yenilik ve dışa açıklık öne çıkan üç belirleyici değişkendir. Enerji cephesinde fosil yakıtlara dayalı yüksek karbon yoğunluğu, hem yerel hem de küresel ölçekte yeşil büyüme ile çelişen bir yapı sergilerken; yenilenebilir enerji kaynaklarının payındaki artış, emisyonların azaltılması ve enerji güvenliğinin güçlendirilmesi yoluyla yeşil ekonomik büyümeyi destekleyebilmektedir (Pao ve Fu, 2013, s. 383). Türkiye özelinde yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi ele alan çalışmalar, enerji politikalarının yeşil büyüme hedefleriyle uyumlu hâle getirilmesinin önemini vurgulamaktadır (Ocal ve Aslan, 2013, s. 499). Yine Türkiye’de yenilenebilir enerji kullanımı–iktisadi büyüme ilişkisini inceleyen araştırmalar, enerji karmasının yeşil ekonomik performans üzerinde belirleyici bir unsur olduğunu göstermektedir (Yapar, 2020, s. 101). OECD ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketiminin yeşil ekonomik büyüme üzerindeki etkisini test eden bulgular da, benzer yönde sonuçlara işaret etmektedir (Taşkın vd., 2020, s. 777).

Şekil 6.

Yenilenebilir Enerji, Teknolojik Yenilik ve Dışa Açıklığın Yeşil Ekonomik Büyüme Üzerindeki Teorik Etki Kanalları



Kaynak: Yazar tarafından Sohag vd. (2015)’den yararlanarak türetilmiştir.

Şekil 6, yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik yenilik ve dışa açıklığın yeşil ekonomik büyüme üzerindeki temel işleyiş kanallarını göstermektedir. Yenilenebilir enerji tüketimi, enerji bileşimini değiştirerek emisyon yoğunluğunu azaltmakta; teknolojik yenilik, verimlilik ve eko-inovasyon yoluyla aynı çıktıyı daha az enerji ve emisyonla üretmeyi mümkün kılmakta; dışa açıklık ise ticaret yapısı ve teknoloji transferi kanalıyla hem enerji

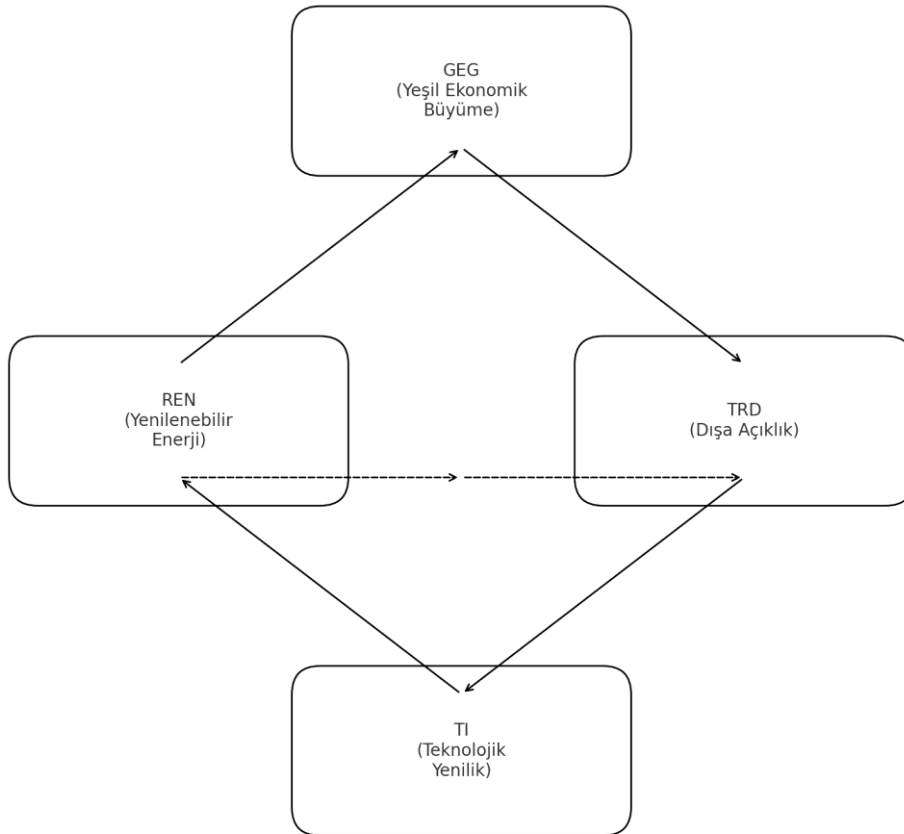
bileşimini hem de teknoloji setini dönüştürmektedir. Bu üç kanalın bileşkesi, çıktı artışı ile emisyon azaltımını bir arada hedefleyen yeşil ekonomik büyüme patikalarına zemin hazırlamaktadır (Inglesi-Lotz, 2016; Sohag vd., 2015).

1.3.2.1. Yenilenebilir Enerji

Yeşil ekonomik büyüme çerçevesinde yenilenebilir enerjinin rolü, hem çevresel baskıların azaltılması hem de sürdürülebilir üretim kapasitesinin güçlendirilmesi bakımından temel bir belirleyici olarak öne çıkmaktadır. Fosil yakıtlara dayalı büyüme süreçleri, enerji ithalat bağımlılığı, fiyat oynaklığı ve yüksek emisyon düzeyi nedeniyle hem ekonomik hem de çevresel kırılganlıklar üretirken; yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı bir enerji karması, uzun dönemde daha dirençli ve düşük karbon yoğunluklu bir büyüme patikasına geçiş imkânı sunmaktadır (Pao ve Fu, 2013, s. 390). Bu nedenle yenilenebilir enerji tüketimi, yeşil ekonomik büyüme literatüründe hem doğrudan ekonomik çıktıyı etkileyen bir üretim girdisi hem de dolaylı olarak emisyonları ve çevresel kaliteyi şekillendiren stratejik bir politika aracı olarak ele alınmaktadır (Taşkın vd., 2020, s. 778).

Şekil 7.

Yeşil Ekonomik Büyüme, Yenilenebilir Enerji, Teknolojik Yenilik ve Dışa Açıklık Arasındaki Geri Besleme Döngüleri



Kaynak: Yazar tarafından Taşkın vd. (2020)'den yararlanarak türetilmiştir.

Yukarıdaki Şekil 7, yeşil ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji, teknolojik yenilik ve dışa açıklık arasındaki karşılıklı etkileşimleri ve geri besleme döngülerini göstermektedir. Yeşil ekonomik büyüme arttıkça, yenilenebilir enerji ve temiz teknoloji yatırımlarının ölçek ekonomileri ve politika öncelikleri yoluyla güçlenmesi mümkündür. Dışa açıklık, bir yandan teknoloji transferini ve rekabet baskısını artırarak dışa açıklığı ve yenilenebilir enerjiye erişimi desteklerken, diğer yandan üretim bileşimini değiştirerek enerji talebini etkileyebilmektedir. Teknolojik yenilik, yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyetlerini düşürerek yenilenebilir enerji tüketimini teşvik etmekte; yenilenebilir enerji ise çevresel baskıları azaltarak yeşil ekonomik büyümenin sürdürülebilirliğini güçlendirmektedir. Böylece, değişkenler arasında hem doğrusal hem de döngüsel bir etkileşim ağı ortaya çıkmaktadır (Taşkın vd., 2020).

Yenilenebilir enerji ile yeşil ekonomik büyüme arasındaki ilişki, birden fazla kanal üzerinden işlemektedir. İlk olarak, yenilenebilir enerji yatırımları; güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal ve hidroelektrik gibi alanlarda yeni sermaye birikimi, istihdam olanakları ve yerli üretim kapasitesi yaratarak ekonomik büyümeyi doğrudan desteklemektedir (Ağaçbiçer, 2010, s. 48). Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomiye katkısını SWOT analiziyle inceleyen çalışmalar, bu yatırımların özellikle bölgesel kalkınma, yerel istihdam ve enerji arz güvenliği üzerinde olumlu etkiler yaratabileceğini vurgulamaktadır (Ağaçbiçer, 2010, s. 134). Benzer şekilde, bölgesel ölçekte yenilenebilir enerji projelerinin çok kriterli karar verme teknikleriyle değerlendirilmesi, yenilenebilir enerji yatırımlarının ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarının birlikte ele alınmasının önemine işaret etmektedir (Karadağ Albayrak, 2019, s. 24).

İkinci olarak, yenilenebilir enerjiye geçiş enerji ithalat bağımlılığını azaltarak makroekonomik kırılganlıkları hafifletebilir. Fosil yakıt ithalatına yüksek bağımlılık, dış ticaret açığı, döviz kuru baskıları ve cari açık sorunlarını derinleştirebilmektedir (Koç ve Şenel, 2013, s. 96). Türkiye’nin enerji sorunları ve çözüm arayışlarına ilişkin değerlendirmeler, yerli ve yenilenebilir kaynakların enerji arzındaki payının artırılmasının, uzun dönemde büyüme performansını da destekleyebilecek stratejik bir hedef olduğunu ortaya koymaktadır (Bilginoğlu, 2012, s. 2). Yenilenebilir enerjiye dayalı bir enerji yapısı, enerji arz güvenliğini güçlendirerek ekonomik faaliyetler üzerindeki arz şoku risklerini azaltmakta ve büyüme sürecinin istikrarını artırmaktadır (Hotunluoğlu, 2011, s. 21).

Üçüncü olarak, yenilenebilir enerji kullanımı emisyonları azaltarak ve çevresel kaliteyi iyileştirerek yeşil ekonomik büyüme hedefiyle doğrudan uyumlu bir etki yaratmaktadır. Ülke grupları için yenilenebilir enerji tüketimi, CO₂ emisyonları ve petrol fiyatları arasındaki

ilişkileri inceleyen araştırma bulguları, yenilenebilir enerji kullanımının artmasının emisyon yoğunluğunu azaltabildiğini göstermektedir (Sadorsky, 2009a, s. 458). BRIC ülkeleri için CO₂ emisyonları, enerji tüketimi ve büyüme ilişkisini inceleyen analizler de, enerji karmasında daha temiz kaynaklara yönelmenin çevresel baskıyı sınırlayarak büyüme-çevre çelişkisini yumuşatabileceğini ortaya koymaktadır (Pao ve Tsai, 2010, s. 7851). Bu açıdan yenilenebilir enerji, yeşil ekonomik büyümenin temel özelliği olan ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ayrışmayı destekleyen kritik bir araç olarak değerlendirilebilir (Sinha vd., 2017, s. 2).

Dördüncü olarak, yenilenebilir enerji yatırımları teknolojik yenilik ve öğrenme süreçlerini tetikleyerek uzun dönemde verimlilik artışlarına ve maliyet düşüşlerine yol açmaktadır. Temiz enerji inovasyonu ve teknoloji transferini inceleyen çalışmalar, yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelik Ar-Ge faaliyetlerinin hem üretim verimliliğini artırdığını hem de enerji sisteminin karbon yoğunluğunu düşürdüğünü göstermektedir (Liu ve Liang, 2013, s. 487). Yeşil ve düşük karbon teknolojik yenilik literatürüne yönelik incelemeler, yenilenebilir enerji alanındaki inovasyonların, hem rekabet gücünü artıran hem de çevresel baskıyı azaltan çift yönlü kazançlar sağlayabileceğini vurgulamaktadır (Shi ve Lai, 2013, s. 852). Çevre politikalarının emisyon kontrol teknolojilerine yönelik yönlendirici etkisini ortaya koyan bulgular da, doğru tasarlanmış düzenlemeler sayesinde yenilenebilir enerjiye ilişkin inovasyon kapasitesinin sistematik biçimde güçlendirilebileceğini göstermektedir (Haščić vd., 2009, s. 7).

Son olarak, yenilenebilir enerji yatırımları ve kullanımı politik ekonomi ve kurumsal gelişme kanalıyla da yeşil büyümeyi etkileyebilmektedir. AB-27 ülkelerinde ekonomik sektörlerde yenilenebilir enerji kullanımını ve bunun ekonomi, çevre ve geleneksel enerji kaynaklarına etkilerini inceleyen araştırma bulguları, enerji dönüşümünün ancak güçlü bir kurumsal çerçeve ve uzun vadeli politika istikrarı ile kalıcı hâle getirilebileceğini göstermektedir (Tutak ve Brodny, 2022, s. 19). Bu çerçevede yenilenebilir enerji, yalnızca teknik bir enerji arz bileşeni değil, aynı zamanda yeşil ekonomik büyüme stratejisinin kurumsal ve politik taşıyıcılarından biri olarak anlam kazanmaktadır.

Yeşil ekonomik büyüme, ekonomik büyüme ile çevresel baskıları birlikte yansıtan bileşik bir çıktı göstergesi olarak tanımlanırken; yenilenebilir enerji tüketimi, enerji karmasında temiz kaynakların payını temsil eden ve hem ekonomik hem çevresel boyutta etkileri bulunan bir girdi değişkenidir (Taşkın vd., 2020, s. 775). Yeşil ekonomi çerçevesinde kurulacak bir ekonomik büyüme modelinde yenilenebilir enerji tüketiminin yeşil ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin pozitif olması beklenmektedir. Bu beklenti, yenilenebilir

enerjinin yatırımlar, istihdam ve yerli üretim kapasitesi üzerinden büyümeyi desteklemesi; fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak makroekonomik kırılganlıkları hafifletmesi; emisyonları düşürerek çevresel performansı iyileştirmesi ve yenilik süreçlerini teşvik etmesi gibi teorik kanallara dayanmaktadır (Pao ve Fu, 2013, s. 382). Bununla birlikte literatürde bazı ülke ve dönemlerde nötrlük hipotezini destekleyen bulguların da bulunduğu göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji-yeşil ekonomik büyüme ilişkisinin büyüklüğü ve istatistiksel anlamlılığının ülkeler arası heterojenlik ve kurumsal yapı ile yakından ilişkili olabileceği unutulmamalıdır (Menegaki, 2011, s. 262).

Bu çerçevede, yeşil ekonomi çerçevesinde yenilenebilir enerji değişkeninin yeşil ekonomik büyüme üzerindeki uzun dönemli etkisini test etmek, yeşil ekonomik büyüme tartışmasını enerji dönüşümü bağlamında somutlaştırmayı mümkün kılacaktır. Elde edilecek bulgular, hem yenilenebilir enerji politikalarının ekonomik büyüme ile uyumlu biçimde tasarlanıp tasarlanmadığını değerlendirmek hem de yeşil ekonomik büyümenin belirleyicilerine ilişkin politika önerileri geliştirmek açısından kritik bir temel sağlayacaktır (Tutak ve Brodny, 2022, s. 20).

1.3.2.2. Teknolojik Yenilik

Yeşil ekonomik büyüme tartışmasının en kritik boyutlarından biri, büyüme sürecinin hangi teknolojik temeller üzerinde yükseldiği sorusudur. Klasik ve neoklasik çerçevede teknoloji çoğu zaman dışsal bir değişken olarak ele alınırken, içsel büyüme yaklaşımları teknolojik yeniliği büyümenin içsel motoru olarak konumlandırmakta; bilgi üretimi, Ar-Ge faaliyetleri ve beşerî sermayeyi uzun dönem büyüme oranlarının temel belirleyicileri arasında saymaktadır (Tezel, 2000, s. 137). Bu bakış açısı, yeşil ekonomik büyüme bağlamında, teknolojik yeniliğin yalnızca üretkenliği artıran değil, aynı zamanda enerji yapısını dönüştüren ve emisyonları azaltan “yönlü” (directional) bir süreç olarak değerlendirilmesine imkân vermektedir (Daly, 2007, s. 102). Dolayısıyla yeşil büyüme, büyük ölçüde eko-inovasyon kapasitesine ve bu kapasitenin enerji, üretim ve ticaret yapısı ile nasıl eklemlendiğine bağlıdır (Shi ve Lai, 2013, s. 853).

İçsel büyüme yaklaşımı, ekonomik büyüme oranlarının Ar-Ge harcamaları, beşerî sermaye yatırımları ve bilgi dışsallıkları gibi içsel unsurlara bağlı olduğunu vurgulamaktadır (Tezel, 2000, s. 214). Bu çerçevede firmalar ve ülkeler, Ar-Ge faaliyetleri yoluyla yeni ürün ve süreçler geliştirerek, hem kendi verimlilik düzeylerini hem de ekonominin genel teknoloji stokunu artırır. Bilgi birikiminin tam olarak özelleştirilememesi ve yayılma (spillover) etkileri nedeniyle, bir aktörün yaptığı Ar-Ge yatırımının getirileri kısmen tüm ekonomiye

yayılarak ölçeğe göre artan getiriler ve kalıcı büyüme etkileri üretebilmektedir (Tezel, 2000, s. 227).

Türkiye örneğinde Ar-Ge harcama gruplarının ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar, içsel büyüme teorisinin temel mekanizmalarını ampirik olarak desteklemektedir. Ar-Ge harcamalarının farklı bileşenlerini dikkate alan analizler, Ar-Ge yoğunluğunun artmasının büyüme performansını anlamlı biçimde güçlendirdiğini; dolayısıyla yenilik kapasitesinin ekonomik büyümenin uzun dönemli seyrinde stratejik bir rol oynadığını göstermektedir (Ayyıldız ve Demirci, 2022, s. 351). Bu bulgular, teknolojik yeniliğin sadece “verimlilik artışı” olarak değil, büyümenin kalıcı unsuru olarak değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Temiz enerji ve düşük karbon teknolojilerindeki yenilik süreçlerine odaklanan literatür, içsel büyüme yaklaşımını yeşil ekonomi çerçevesine taşımaktadır. Temiz enerji inovasyonu ve teknoloji transferini inceleyen analizler, enerji verimliliğini artıran ve karbon yoğunluğunu azaltan teknolojilerin, hem üretim maliyetlerini düşürerek rekabet gücünü artırdığını hem de çevresel baskıları sınırlayarak yeşil büyüme hedeflerini desteklediğini ortaya koymaktadır (Liu ve Liang, 2013, s. 488). Yeşil ve düşük karbon teknolojik inovasyon literatürüne ilişkin kapsamlı derlemeler ise, çevresel hedeflere odaklanan Ar-Ge faaliyetlerinin son yıllarda hızla arttığını ve bu alanın, ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirliği birlikte gözeten yeni bir teknoloji paradigması oluşturduğunu vurgulamaktadır (Shi ve Lai, 2013, s. 854).

Bu çerçevede teknolojik yenilik değişkeni, içsel büyüme teorisinin klasik vurgusunu yeşil büyüme bağlamına taşıyan temel bir unsur olarak değerlendirilebilir. Ar-Ge harcamaları, temiz enerji ve çevre teknolojilerine ilişkin patentler, yüksek teknoloji yoğunluklu ihracat ve benzeri göstergeler, teknolojik yenilik düzeyinin ampirik temsilleri olarak kullanılmakta; bu göstergeler üzerinden ekonomik büyüme, enerji kullanımı ve emisyon dinamikleri arasındaki ilişkiler analiz edilmektedir (Ayyıldız ve Demirci, 2022, s. 349).

Teknolojik yeniliğin yeşil ekonomik büyüme ile bağıntı kuran kavram, eko-inovasyondur. Eko-inovasyon, genel olarak çevresel etkileri azaltan, kaynak ve enerji verimliliğini artıran, emisyonları ve atıkları düşüren yeni ürün, süreç, organizasyonel yapı veya pazarlama yöntemleri olarak tanımlanmaktadır (Shi ve Lai, 2013, s. 850). Bu tanım, klasik inovasyon literatüründeki ürün/süreç inovasyonu ayrımını korurken, yeniliği doğrudan çevresel performansla ilişkili bir sonuç değişkeni üzerinden değerlendirmeyi gerektirmektedir.

Yeşil ve düşük karbon teknolojik inovasyona ilişkin literatür taramaları, eko-inovasyonun üç temel boyutunu öne çıkarmaktadır (Shi ve Lai, 2013, s. 851). Birincisi, ürün

inovasyonu boyutunda, enerji verimli cihazlar, düşük emisyonlu araçlar, yenilenebilir enerji sistemleri gibi çevre dostu ürünlerin geliştirilmesi söz konusudur. İkincisi, süreç inovasyonu kapsamında, daha az enerji ve hammadde kullanan, atık ve emisyon üretimini azaltan üretim teknikleri ve süreçleri devreye girmektedir. Üçüncü olarak ise, sistemik ve organizasyonel inovasyon düzeyinde, enerji yönetimi, sanayi-simbyozu, akıllı santraller ve döngüsel ekonomi uygulamaları gibi geniş ölçekli dönüşümler yer almaktadır (Liu ve Liang, 2013, s. 491).

Temiz enerji inovasyonu ve teknoloji transferine ilişkin bulgular, eko-inovasyonun uluslararası boyutuna dikkat çekmektedir. Temiz enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve dış teknoloji transferi süreçlerini inceleyen çalışmalar, yerli Ar-Ge faaliyetleri ile dış kaynaklı teknolojik bilginin birleşiminin, hem enerji verimliliğini artırdığını hem de karbon yoğunluğunu düşürdüğünü göstermektedir (Liu ve Liang, 2013, s. 492). Bu durum, eko-inovasyonun sadece ulusal politika ve kurumsal yapıyla değil, aynı zamanda küresel teknoloji akımları ve ticaret yapısıyla da yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Enerji kullanımının kompozisyonu ve çevresel bozulma ilişkisini inceleyen araştırma bulguları da, eko-inovasyonun enerji kullanım desenlerini dönüştürme gücüne işaret etmektedir. Enerji kullanımı bileşenlerinin çevresel bozulma üzerindeki etkilerini ayıran çalışmalar, daha verimli ve temiz teknolojiler sayesinde belirli enerji türlerinin çevresel baskısının azaltılabileceğini göstermektedir (Sinha vd., 2017, s. 14). Dolayısıyla eko-inovasyon, hem yenilenebilir enerji teknolojilerinin yaygınlaşması hem de mevcut enerji kullanımının daha verimli hâle getirilmesi açısından yeşil büyümenin merkezinde yer almaktadır.

Çevre politikaları ile teknolojik yenilik arasındaki etkileşim, yeşil büyüme literatüründe giderek daha merkezi bir yer edinmiştir. Emisyon standartları, enerji verimliliği düzenlemeleri, karbon fiyatlandırması ve yenilenebilir enerji destek mekanizmaları gibi politika araçları, firmaların Ar-Ge kararlarını ve inovasyon yönelimlerini doğrudan etkileyebilmektedir (Daly, 2007, s. 181). Bu noktada temel tartışma, çevre düzenlemelerinin inovasyonu ve rekabet gücünü zayıflatıp zayıflatmadığı veya tam tersine, temiz teknolojiye yönelik yenilikleri teşvik ederek uzun vadede hem büyümeyi hem de çevresel performansı iyileştirip iyileştirmediği sorusu etrafında şekillenmektedir.

Otomotiv sektöründe emisyon kontrol teknolojilerine yönelik inovasyonun çevre politikalarıyla ilişkisini inceleyen ampirik bulgular, sıkı emisyon standartlarının kirletici teknolojilerden temiz teknolojilere yönelen bir inovasyon dinamiğini tetikleyebildiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, çevre düzenlemelerinin inovasyonu “baskılayan” değil, doğru tasarlandığında yön veren bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Çevre politikalarının

niteliği ve öngörülebilirliği, firmaların uzun vadeli Ar-Ge stratejilerini şekillendiren kilit unsurlardan biridir (Haščić vd., 2009, s. 12).

Çevre düzenlemeleri, teknolojik inovasyon ve bölgesel yeşil büyüme performansı arasındaki etkileşimi inceleyen çalışmalar, çevre politikalarının inovasyon üzerindeki etkisinin koşullu olduğunu göstermektedir. Bölgesel düzeyde çevre düzenlemeleri ile inovasyon arasındaki etkileşim terimlerini dikkate alan analizler, belirli bir düzeye kadar sıkılaştan düzenlemelerin eko-inovasyonu teşvik ederek yeşil büyüme performansını artırdığını; ancak aşırı sert ve maliyetli düzenlemelerin inovasyon ve büyüme üzerinde baskı yaratabileceğini ortaya koymaktadır (Guo vd., 2017, s. 896). G20 ülkelerinde heterojen çevre düzenlemelerinin yeşil büyüme üzerindeki doğrusal olmayan etkilerini panel eşik regresyon yöntemiyle inceleyen araştırma bulguları da, çevre politikalarının yeşil büyümeyi destekleyici etkilerinin belirli eşik değerleri sonrasında güçlendiğini göstermektedir (Wang ve Shao, 2019, s. 8).

Literatürde elektrik ikamesi politikasının uygulanmasını ve bu politikanın yeşil ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar, çevre ve enerji politikalarının teknoloji ve sektör yapısı üzerindeki dönüştürücü rolüne somut bir örnek sunmaktadır. Elektrifikasyon politikaları, sanayi ve konut sektörlerinde daha verimli ve nispeten daha temiz enerji kullanımı sağlayarak hem enerji yoğunluğunu hem de karbon emisyonlarını azaltmakta; aynı zamanda ilgili teknolojilerde yenilik talebini artırmaktadır (Wu, vd., 2019, s. 252). Bu sonuçlar, eko-inovasyonun yalnızca firmaların bireysel Ar-Ge kararlarıyla değil, aynı zamanda devletin enerji ve çevre politikalarıyla birlikte şekillendiğini göstermektedir.

AB-27 ülkelerinde ekonomik sektörlerin yenilenebilir enerji kullanımını ve bunun ekonomi, çevre ve geleneksel enerji kaynakları üzerindeki etkilerini inceleyen araştırma bulguları da, politika destekli teknolojik dönüşümün yeşil büyüme açısından önemini teyit etmektedir. Sektörel düzeyde yenilenebilir enerjiye geçiş, geleneksel enerji talebini azaltırken, üretim yapısında daha yüksek katma değerli ve teknoloji yoğun faaliyetlerin payını artırmaktadır (Tutak ve Brodny, 2022, s. 21). Bu tür bulgular, çevre politikaları ve eko-inovasyon arasındaki pozitif etkileşimin, yeşil ekonomik büyüme için vazgeçilmez olduğunu ortaya koymaktadır.

Teknolojik yenilik boyutunda, temiz enerji inovasyonu ve teknoloji transferini inceleyen çalışmalar, yenilik kapasitesinin hem enerji verimliliğini artırarak hem de yeni yeşil sektörler yaratarak yeşil büyüme dinamiklerini beslediğini göstermektedir (Liu ve Liang, 2013, s. 496). Yeşil ve düşük karbon teknolojik yenilik literatürüne yönelik kapsamlı incelemeler ise, eko-inovasyonun çevresel baskıyı azaltırken rekabet gücünü artırabileceğini

ortaya koymaktadır (Shi ve Lai, 2013, s. 853). Çevre politikalarının yeniliğin yönünü belirlemedeki rolüne odaklanan bulgular, doğru tasarlanmış düzenlemelerin eko-inovasyonu teşvik ederek firma ve sektör düzeyinde yeşil büyüme performansını yükseltebileceğini göstermektedir (Haščič vd., 2009, s. 19). Bu kavramsal çerçeve, teknolojik yenilik değişkeninin, yeşil ekonomik büyümenin hem enerji verimliliği hem de yeni sektör oluşumu kanalları üzerinden şekillenmesinde kilit bir rol üstlendiğini teyit etmektedir.

İçsel büyüme perspektifinden bakıldığında teknolojik yenilik, uzun dönem büyüme oranlarını belirleyen bilgi ve Ar-Ge kapasitesini temsil ederken, yeşil ekonomik büyümenin belirleyicilerini açıklayan modellerde, hem doğrudan hem de dolaylı etki kanallarına sahip bir açıklayıcı değişken olarak ele alınmaktadır. Doğrudan etki, teknolojik yeniliğin üretkenliği ve rekabet gücünü artırarak yeşil ekonomik büyüme göstergesindeki ekonomik bileşeni güçlendirmesidir (Ayyıldız ve Demirci, 2022, s. 350). Dolaylı etki ise, teknolojik yeniliğin yenilenebilir enerji teknolojileri, enerji verimliliği uygulamaları ve düşük karbonlu üretim süreçleri aracılığıyla emisyonları ve çevresel baskıları azaltmasıdır yeşil büyüme bağlamında TI aynı zamanda enerji verimliliğini artıran, yenilenebilir enerji teknolojilerini geliştiren ve emisyon yoğunluğunu düşüren eko-inovasyon potansiyelini yansıtmaktadır (Liu ve Liang, 2013, s. 496).

Dolayısıyla yeşil ekonomi çerçevesinde teknolojik yeniliğin yeşil ekonomik büyüme üzerindeki uzun dönemli etkisinin ve nedensellik yönünün test edilmesi, yeşil ekonomik büyümenin teknolojik temellerinin anlaşılması açısından kritik önem taşımaktadır. Elde edilecek bulgular, hem teknoloji ve Ar-Ge politikalarının yeşil ekonomik büyüme hedefleriyle uyumlu tasarlanması hem de yenilenebilir enerji ve dışa açıklık gibi diğer belirleyicilerle birlikte bütüncül bir yeşil büyüme stratejisi geliştirilmesi açısından önemli politika sonuçları üretecektir (Wang ve Shao, 2019, s. 4).

1.3.2.3. Dışa Açıklık

Dışa açıklık, bir ekonominin dünya ekonomisine ticaret kanalıyla ne ölçüde entegre olduğunu ifade eden çok boyutlu bir kavramdır. Genellikle mal ve hizmet ticaretinin GSYH'ye oranı gibi göstergelerle ölçülen dışa açıklık, hem üretim yapısını hem de teknoloji düzeyini ve enerji kullanım desenlerini etkileyen stratejik bir değişkendir (Tezel, 2000, s. 161). Yeşil ekonomik büyüme bağlamında dışa açıklık, yalnızca büyüme hızına katkıları açısından değil, aynı zamanda enerji talebi, emisyon dinamikleri ve teknoloji transferi kanallarında çevresel sonuçları belirleyen bir araç olarak önem kazanmaktadır (Yapraklı, 2013).

Teorik çerçevede dışa açıklığın ekonomik büyüme üzerindeki etkileri çoğunlukla üç temel kanal üzerinden tartışılmaktadır: ölçek etkisi, bileşim (kompozisyon) etkisi ve teknik/verimlilik etkisi. Ölçek etkisi, ticaret hacmindeki artışın üretim düzeyini yükselterek daha büyük bir ekonomik ölçek oluşturmaya ve bu yolla büyümeyi hızlandırmasıdır (Tezel, 2000, s. 93). Bileşim etkisi, dışa açıklıkla birlikte ekonominin üretim yapısının görece karşılaştırmalı üstünlüğe sahip olduğu sektörlerle doğru kaymasıdır; bu süreçte ticarete konu olan sektörlerin enerji yoğunlukları ve çevresel profili, büyümenin “yeşil” niteliğini doğrudan etkilemektedir (Costantini ve Martini, 2010, s. 595). Teknik/verimlilik etkisi ise, dışa açıklığın yeni teknolojilere ve bilgiye erişimi kolaylaştırarak, üretim süreçlerinde verimlilik artışları ve enerji tasarrufu sağlayan yenilikleri hızlandırmasıdır (Ma vd., 2019, s. 341).

Bu üç etki kanalının her biri, yeşil ekonomik büyüme açısından farklı sonuçlar doğurabilir. Ticaret hacmindeki artışın üretimi genişletmesi, eğer üretim yapısı enerji yoğun ve fosil yakıtlara dayalı ise, çevresel baskıyı artırarak yeşil ekonomik büyüme ile çelişen sonuçlar üretebilmektedir (Sinha vd., 2017, s. 14). Buna karşılık bileşim etkisi, ticaretle birlikte daha düşük enerji yoğunluklu veya çevre dostu sektörlerin ekonomide daha büyük paya sahip olmasına yol açarsa, yeşil büyüme lehine bir dönüşüm ortaya çıkabilmektedir (Costantini ve Martini, 2010, s. 600). Teknik etki ise, dışa açıklık yoluyla ithal edilen temiz teknolojiler ve verimlilik artırıcı yenilikler sayesinde, aynı çıktı düzeyinin daha az enerji ve emisyonla elde edilmesini mümkün kılar (Liu ve Liang, 2013, s. 492).

Ticaretin çevresel sonuçları ise çoğu kez ölçek, bileşim ve teknik etkilerin bileşkesi olarak değerlendirilir. Güney Afrika’da finansal gelişme, ekonomik büyüme, kömür tüketimi, dışa açıklık ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişkileri inceleyen ampirik bulgular, dışa açıklığın fosil yakıt yoğun bir üretim yapısıyla birleştiğinde emisyonları artırıcı bir rol oynayabildiğini göstermektedir (Shahbaz vd., 2013, s. 10). Buna karşılık, enerji kullanım bileşenlerinin çevresel bozulma üzerindeki etkilerini ayırtan çalışmalar, enerji bileşimini daha temiz kaynaklara kaydıran ticaret ve teknoloji dinamiklerinin çevresel baskıyı azaltabileceğine işaret etmektedir (Sinha vd., 2017, s. 14).

Enerji tüketimi, büyüme ve ticaret ilişkisini birlikte ele alan ampirik çalışmalar, dışa açıklığın büyüme üzerindeki rolünü bu çok boyutlu çerçeve içinde değerlendirmektedir. Çeşitli ülkelerde enerji tüketimi, çıktı ve ticaret arasındaki ilişkileri inceleyen panel analizler, ticaretin büyüme üzerindeki etkilerinin enerji talebi ve dışsal şoklar aracılığıyla da belirlendiğini göstermektedir (Sadorsky, 2012, s. 477). Enerji tüketimi, ekonomik büyüme, finansal gelişme ve dışa açıklık arasındaki dinamik bağları inceleyen bazı çalışmalar ise, dışa

açıklığın büyüme sürecini hem doğrudan ticaret kanalıyla hem de enerji kullanımındaki değişimler aracılığıyla etkilediğine işaret etmektedir (Shahbaz vd. 2013, s. 10).

Dışa açıklığın enerji talebi ve çevresel göstergeler üzerindeki etkileri, literatürde ticaret–enerji–çevre üçgeni çerçevesinde tartışılmaktadır. Dışa açıklık, bir yandan üretim ve tüketim ölçeğini büyütürken enerji talebini artırabilir; öte yandan teknoloji transferi ve rekabet baskısı yoluyla enerji verimliliğini iyileştirebilir (Shahbaz vd., 2014, s. 142). Bu nedenle, ticaret açıklığı ile enerji tüketimi arasındaki nedensellik yönü, ülkelerin gelir düzeyi, sektör yapısı ve kurumsal çerçevesine göre farklılaşabilmektedir.

Orta Doğu ülkeleri için ticaret ve enerji tüketimini inceleyen panel analizler, dışa açıklığın enerji talebini artırabileceğini; bunun da ticari entegrasyon sürecinde enerji arz güvenliği ve fiyat istikrarı konularını öne çıkardığını göstermektedir (Sadorsky, 2011, s. 741). Güney Amerika ülkelerinde enerji tüketimi, çıktı ve ticaret ilişkisini inceleyen çalışmalar da, ticaretin enerji talebi üzerinde anlamlı bir etkisi bulunduğunu ortaya koymaktadır (Sadorsky, 2012, s. 479). Yüksek, orta ve düşük gelir gruplarındaki ülkeler için ticaret açıklığı ve enerji tüketimi arasındaki nedenselliği panel veriyle analiz eden bulgular, özellikle yüksek ve orta gelir gruplarında ticaret açıklığı ile enerji tüketimi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olabildiğini; düşük gelir gruplarında ise çoğu zaman ticaretten enerjiye doğru nedensellik bulunduğunu ortaya koymaktadır (Shahbaz vd., 2014, s. 129).

Bu çerçevede, dışa açıklığın yeşil ekonomik büyüme üzerindeki etkisi koşulludur: eğer ticaret, enerji yoğun ve kirletici sektörleri teşvik eden bir bileşim değişikliğine yol açıyorsa, yeşil ekonomik büyümeyi zayıflatabilir; buna karşılık temiz teknoloji, yenilenebilir enerji ekipmanları ve enerji verimliliği yüksek ürünlerin ticaretini artıran bir yapı, yeşil büyüme hedeflerini destekleyebilir (Costantini ve Martini, 2010, s. 600).

Yukarıda özetlenen teorik tartışmalar ve ampirik bulgular, bu çalışmada dışa açıklık değişkeninin yeşil ekonomik büyüme modelinde temel belirleyicilerden biri olarak ele alınmasını gerektirmektedir. Dışa açıklık, bir yandan ticaret hacmi ve üretim ölçeğini artırarak yeşil ekonomik büyüme üzerindeki ölçek etkisi üzerinden etki ederken; diğer yandan üretim bileşimini ve teknoloji düzeyini değiştiren bileşim ve teknik/verimlilik etkileri aracılığıyla yeşil büyümenin niteliğini belirlemektedir (Shahbaz vd., 2014, s. 129).

Model çerçevesinde dışa açıklığın yeşil ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin işaretinin teorik olarak belirsiz olduğu vurgulanmalıdır. Eğer dışa açıklık, enerji yoğun ve kirletici sektörlerin genişlemesine, fosil yakıt kullanımının artmasına ve emisyon yoğunluğunun yükselmesine yol açıyorsa, yeşil ekonomik büyüme üzerinde olumsuz bir etki beklenebilir (Shahbaz vd., 2013, s. 9). Buna karşılık dışa açıklık, yenilenebilir enerji

teknolojilerinin ithalini, enerji verimliliği yüksek üretim tekniklerinin yayılmasını ve ekono-vasyonun hızlanmasını teşvik ediyorsa, yeşil ekonomik büyümeyi destekleyici bir rol oynayacaktır (Liu ve Liang, 2013, s. 492) (Guo vd., 2017, s. 899).

Bu çalışmada dışa açıklık değişkeni, yeşil ekonomik büyümenin belirleyicilerini test eden panel modelde hem doğrudan hem dolaylı etki kanallarına sahip bir açıklayıcı değişken olarak konumlandırılmaktadır. Doğrudan etki, ticaret hacmindeki artışın büyüme üzerindeki katkısı ve buna eşlik eden enerji talebi ve emisyon değişimleridir (Sadorsky, 2012, s. 478). Dolaylı etki ise, dışa açıklığın teknolojik yenilik ve yenilenebilir enerji değişkenleri üzerindeki muhtemel etkileri ve bu etkileşimler üzerinden yeşil ekonomik büyümenin şekillenmesidir (Sohag vd., 2015, s. 1499).

Panel veri analizinde dışa açıklık-yeşil ekonomik büyüme ilişkisinin uzun dönemli niteliğinin ve nedensellik yönünün test edilmesi, yeşil ekonomik büyüme hedefleriyle uyumlu bir dışa açıklık stratejisinin tasarlanması açısından kritik öneme sahiptir. Elde edilecek bulgular, ticaret politikasının enerji ve teknoloji politikalarıyla nasıl eşgüdümlü hâle getirilebileceğine ve GEG'i destekleyici bir dışa açıklık çerçevesinin hangi koşullar altında mümkün olabileceğine ilişkin somut politika çıkarımları sunacaktır (Wang ve Shao, 2019, s. 8).

1.3.3. Yeşil Ekonomi Çerçevesinin Uluslararası Politika ve Hukuki Mevzuat Boyutu

Yeşil ekonomik büyüme, yalnızca teknik ve iktisadi parametrelere indirgenebilecek bir dönüşüm değil; aynı zamanda güçlü bir hukuki ve politik çerçeve tarafından yönlendirilen, normatif hedeflere dayalı bir yeniden yapılanma sürecidir. Küresel ölçekte iklim değişikliğiyle mücadele ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri, devletleri bağlayıcı veya yarı bağlayıcı nitelikte uluslararası anlaşmalar, strateji belgeleri ve düzenleyici paketler aracılığıyla somutlaştırılmaktadır (Daly, 2007, s. 190.). Bu nedenle yeşil ekonomi çerçevesinde yenilenebilir enerji-ekonomik büyüme etkileşimini analiz eden her çalışma, bu değişkenlerin aslında Paris Anlaşması, Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal), AB İklim Yasası, Fit for 55 paketi ve REPowerEU gibi politika metinleri tarafından belirlenen bir hukuki-kurumsal bağlam içinde işlediğini dikkate almak zorundadır (European Commission, 2019).

Bir yandan Paris Anlaşması ve 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi gibi küresel çerçeveler, tüm devletler için uzun vadeli düşük karbonlu kalkınma yönelimi tanımlarken; diğer yandan Avrupa Birliği, kendi iç hukuk düzeni içinde iklim nötrlüğü hedefini bağlayıcı hâle getirerek yeşil dönüşümü somut mevzuata dönüştürmektedir (UNFCCC, 2015). Bu

durum, özellikle AB ile yoğun ticari ve finansal entegrasyona sahip ekonomiler için –Türkiye dâhil– yenilenebilir enerji, teknolojik yenilik ve dışa açıklık göstergelerinin artık aynı zamanda hukuki uyum ve regülasyon maliyeti değişkenlerine dönüştüğü anlamına gelmektedir (European Union, 2021).

1.3.3.1. Küresel İklim Yönetişimi ve Paris İklim Anlaşması

Paris Anlaşması, küresel iklim yönetiminde “Kyoto sonrası” dönemin temel hukuki referans metni olarak kabul edilmektedir. Anlaşma, küresel ortalama sıcaklık artışını sanayi öncesi düzeylerin “oldukça altında” 2°C ile sınırlama ve 1,5°C ile sınırlandırma yönünde çaba gösterme hedefini açık biçimde ortaya koymakta; böylece enerji sistemleri, sanayi, ulaştırma ve tarım başta olmak üzere tüm sektörlerde köklü bir karbon yoğunluğu azaltımı gerektiren uzun dönemli bir dönüşüm rotası çizmektedir. Paris Anlaşması’nın temel yeniliklerinden biri, tüm tarafların kendi ulusal katkı beyanlarını (NDC) sunmalarını ve bu katkıları belirli aralıklarla güncelleyerek artan bir iddia düzeyi (ratcheting-up mechanism) doğrultusunda ilerlemelerini öngören yapısıdır (UNFCCC, 2015).

Anlaşma, sera gazı azaltım taahhütlerinin ötesinde, uyum, finansman, teknoloji geliştirme ve kapasite inşası gibi alanlarda da işbirliği öngörmekte; böylece iklim politikasını yalnızca emisyon hedeflerine indirgemeyen, çok boyutlu bir yönetim mimarisi kurmaktadır. Tarafların ilerlemesini değerlendirmeye yönelik “küresel gözden geçirme” (global stocktake) mekanizması, kolektif performansın düzenli aralıklarla ölçülmesi ve bilimsel bulgular ışığında politikaların yeniden kalibre edilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır (UNFCCC, 2015). Bu çerçeve, yenilenebilir enerji yatırımları, enerji verimliliği, teknoloji geliştirme ve yeşil finansman gibi alanları, ülkelerin NDC’lerinin vazgeçilmez bileşenleri hâline getirmektedir.

Paris Anlaşması, aynı zamanda 2015 tarihli “2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi” ile de yakından ilişkilidir. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA), yoksulluğun azaltılması, eşitsizlikle mücadele, sanayi ve inovasyon, sürdürülebilir kentler ve sürdürülebilir tüketim–üretim kalıpları gibi başlıkları kapsamakta; böylece iklim eylemini ekonomik ve sosyal boyutlarla bütünleştiren daha geniş bir normatif çerçeve sunmaktadır (United Nations, 2015). Bu çerçevede GEG, yalnızca emisyon azaltımına indirgenmeyen; aynı zamanda istihdam, inovasyon, enerji güvenliği ve toplumsal kapsayıcılık hedefleriyle bağlantılı çok boyutlu bir dönüşüm perspektifinin parçası hâline gelmektedir.

1.3.3.2. Avrupa Yeşil Mutabakatı: İklim-nötr Büyüme Vizyonu

Avrupa Yeşil Mutabakatı, Avrupa Komisyonu’nun 2019 tarihli bildirimiyle ortaya konulan ve AB ekonomisini 2050’ye kadar iklim nötr hâle getirmeyi amaçlayan kapsamlı bir

büyüme stratejisidir. Mutabakat, AB'nin yeni "büyüme anlatısı" olarak tanımlanmakta; iklim nötrlüğünü, kaynak verimliliğini ve toplumsal kapsayıcılığı merkeze alan bir dönüşüm programı ortaya koymaktadır (European Commission, 2019). Bu vizyon, enerji, sanayi, ulaştırma, binalar, tarım, biyoçeşitlilik ve döngüsel ekonomi gibi alanlarda geniş kapsamlı düzenleyici ve finansal araçlarla desteklenmektedir.

Mutabakat, 2050 iklim nötrlüğü hedefi ile uyumlu biçimde 2030'a kadar sera gazı emisyonlarını en az %55 azaltma yönünde daha iddialı bir ara hedefin benimsenmesini öngörmekte; böylece AB'nin Paris Anlaşması kapsamındaki ulusal katkı beyanını da güncellemesine zemin hazırlamaktadır. Bu bağlamda yenilenebilir enerjinin payının artırılması, enerji verimliliğinin güçlendirilmesi, karbon fiyatlandırma mekanizmalarının etkinleştirilmesi ve kirleten öder ilkesi etrafında yeni mali araçların hayata geçirilmesi, Yeşil Mutabakat'ın temel sütunları arasında yer almaktadır (European Commission, 2019).

Avrupa Yeşil Mutabakatı ayrıca, Adil Geçiş Mekanizması (Just Transition Mechanism) ve AB Sürdürülebilir Finans Taksonomisi gibi araçlarla, yeşil dönüşümün finansal ve sosyal boyutlarını da düzenlemeye yönelmektedir (European Commission, 2019). Böylece, yüksek karbon yoğunluklu sektör ve bölgelerde ortaya çıkabilecek uyum maliyetlerinin hafifletilmesi ve özel sektör yatırımlarının yeşil alanlara yönlendirilmesi hedeflenmektedir. Bu yapı, yeşil ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik yenilik ve dışa açıklık etkileşiminin AB hukukunda yalnızca çevre ve enerji politikasının değil, aynı zamanda sanayi, rekabet, maliye ve bölgesel kalkınma politikalarının da kesişim noktasına yerleştiğini göstermektedir.

Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın stratejik gerekçesi, 2050 iklim nötrlüğü hedefinin daha önce yayımlanan uzun dönem vizyon belgeleriyle uyumlu bir şekilde, AB'yi "modern, rekabetçi ve kaynak verimli" bir ekonomi olarak konumlandırmaktır. Bu vizyon, AB'nin iç piyasasında ortaya çıkan dönüşümü, ticaret ortaklarına ve küresel değer zincirlerine de yansıtarak, yeşil dönüşümü aynı zamanda ticaret ve rekabet hukuku üzerinden dışsallaştırma potansiyeli taşımaktadır (European Commission, 2018).

1.3.3.3. AB İklim Yasası ve 2030 İklim Hedefinin Hukukileştirilmesi

Avrupa Yeşil Mutabakatı ile ilan edilen 2050 iklim nötrlüğü hedefi, 2021 tarihli Avrupa İklim Yasası ile bağlayıcı bir hukuki hükme dönüştürülmüştür. Avrupa Parlamentosu ve Konsey'in 2021/1119 sayılı Tüzüğü, Birlik düzeyinde "iklim nötrlüğü" hedefine ulaşmak için bir çerçeve oluşturmakta ve bu hedefi tüm AB kurum ve üye devletleri açısından bağlayıcı bir uzun dönemli yönelim hâline getirmektedir (European Union, 2021). Söz konusu

tüzük, 2050 hedefinin yanı sıra 2030 için en az %55 net emisyon azaltımı hedefini de hukuken kayıt altına almakta ve ara hedeflerin belirlenmesine ilişkin prosedürleri düzenlemektedir.

İklim Yasası, emisyon azaltım hedeflerinin yanı sıra, Komisyon’a periyodik olarak Birlik düzeyindeki politikaların hedeflerle uyumunu değerlendirme ve gerektiğinde yeni mevzuat önerme görevi de yüklemektedir (European Union, 2021). Bu yönüyle tüzük, AB iklim politikasına dinamik bir uyum ve gözden geçirme mekanizması kazandırmakta; bilimsel bulgular ve ekonomik gelişmeler ışığında hedeflerin ve araçların güncellenebilmesine olanak tanımaktadır. Böylece, Paris Anlaşması’nın küresel gözden geçirme mantığı, AB iç hukukuna yansıtılmış olmaktadır (UNFCCC, 2015).

AB’nin 2030 iklim hedefinin güçlendirilmesi, 2030 iklim ve enerji çerçevesinin revizyonunu da beraberinde getirmiştir. Komisyon’un 2030 iklim iddiasının yükseltilmesine ilişkin bildirimi, emisyon ticaret sistemi (EU ETS), yük paylaşımı düzenlemesi (Effort Sharing Regulation) ve arazi kullanımı–orman sektörü (LULUCF) gibi temel politika araçlarının güncellenmesini öngörmektedir (European Commission, 2020). Bu güncellemeler, Fit for 55 paketiyle somut mevzuat tekliflerine dönüşmüş; yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği direktifleri de dâhil olmak üzere geniş bir ikincil mevzuat alanı yeniden yapılandırılmıştır.

1.3.3.4. Fit for 55 paketi: Emisyon Azaltımı Mevzuat Seti

Fit for 55 paketi, AB’nin 2030’a kadar sera gazı emisyonlarını en az %55 azaltma hedefini gerçekleştirmek üzere 2021’de sunulan kapsamlı bir mevzuat teklifleri demetidir. Paket; EU ETS’nin kapsamının genişletilmesi, denizcilik ve bina–ulaştırma sektörleri için yeni emisyon ticaret mekanizmaları, Yenilenebilir Enerji Direktifi (RED) ve Enerji Verimliliği Direktifi’nin revizyonu, CO₂ sınırda düzenleme mekanizması (CBAM), araç emisyon standartlarının sıkılaştırılması ve enerji vergilendirme çerçevesinin güncellenmesi gibi unsurları içermektedir (European Commission, 2021).

Fit for 55, yenilenebilir enerji payının 2030’a kadar önemli ölçüde artırılmasını öngörmekte; elektrik sektöründe daha yüksek yenilenebilir entegrasyonu, ısıtma–soğutma ve ulaştırma sektörlerinde yenilenebilir payının yükseltilmesi için bağlayıcı hedefler getirmektedir. Bu düzenlemeler, doğrudan yenilenebilir enerji değişkeni üzerinde etkili olacak; enerji talebinin kompozisyonunu değiştirerek yeşil ekonomik büyüme göstergelerinin çevresel bileşenini güçlendirecektir. Aynı zamanda, enerji verimliliği hedeflerinin sıkılaştırılması ve binalar ile sanayi için yeni performans kriterlerinin getirilmesi, teknolojik

yenilik ve yatırım kararlarını yönlendiren güçlü bir hukuki sinyal niteliği taşımaktadır (European Commission, 2021).

Fit for 55 paketinin ticaret boyutu, özellikle Karbon Sınır Ayarlama Mekanizması (CBAM) üzerinden dışa açıklık (TRD) değişkeniyle doğrudan temas etmektedir. CBAM, belirli sektörlerde AB'ye ithal edilen ürünlerin gömülü karbon içeriklerine göre karbon bedeli ödenmesini öngörmekte; böylece karbon kaçacağını önlerken, ticaret ortakları üzerinde de emisyon azaltımı ve yeşil teknoloji yatırımları yönünde teşvik edici bir baskı oluşturmaktadır (European Commission, 2021). Bu durum, AB ile yoğun ticaret ilişkisine sahip ekonomilerde –Türkiye dâhil– üretim süreçlerinin ve enerji bileşiminin yeniden gözden geçirilmesini gerektiren dışsal bir regülasyon baskısı yaratmaktadır.

Fit for 55 çerçevesinde ele alınan otomotiv sektörüne ilişkin CO₂ standartları ve içten yanmalı motorlu araçların kademeli olarak devreden çıkarılmasına yönelik düzenlemeler, teknolojik yenilik ve eko-inovasyonun yönünü belirleyen bir diğer önemli unsurdur (European Commission, 2021). Bu düzenlemeler, elektrikli ve alternatif yakıtlı araç teknolojilerine yönelik Ar-Ge harcamalarını ve altyapı yatırımlarını hızlandırmakta; böylece TI değişkeninin GEG üzerindeki etkisi, mevzuatla doğrudan ilişkilendirilen bir dönüşüm sürecine bağlanmaktadır.

1.3.3.5. REPowerEU: Enerji Güvenliği, Yenilenebilirler ve Hızlı Dönüşüm

Rusya'nın Ukrayna'yı işgali sonrasında ortaya çıkan enerji krizi, AB'nin enerji politikalarında yeni bir döneme işaret etmiş; 2022 tarihli REPowerEU Planı ile enerji güvenliği ve iklim hedefleri daha sıkı biçimde bütünleştirilmiştir. Plan, Rus fosil yakıtlarına bağımlılığın “mümkün olan en kısa sürede” sona erdirilmesini, enerji arzının çeşitlendirilmesini ve yenilenebilir enerji yatırımlarının hızlandırılmasını öngören bir dizi tedbir içermektedir (European Commission, 2022). Böylece, iklim politikası ile jeopolitik enerji güvenliği kaygıları tek bir stratejik çerçevede birleşmektedir.

REPowerEU, üç temel sütun üzerinde yükselmektedir: enerji tasarrufu, enerji arzının çeşitlendirilmesi ve yenilenebilir enerjiye geçişin hızlandırılması. Enerji tasarrufu boyutu, kısa vadede talep yönetimi ve verimlilik önlemlerine odaklanırken; arz çeşitlendirmesi, AB'nin LNG, boru hattı gazı ve hidrojen tedarikini yeni ortaklarla genişletmesini hedeflemektedir. Yenilenebilir enerji ayağı ise, özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi projelerinin izin süreçlerinin hızlandırılması, çatı üstü güneş enerjisi uygulamalarının yaygınlaştırılması ve elektrik şebekesinde gerekli altyapı yatırımlarının desteklenmesi gibi önlemler içermektedir (European Commission, 2022).

Uluslararası Enerji Ajansı'nın net-sıfır senaryoları, küresel ölçekte 2050'ye kadar iklim nötrlüğüne ulaşmak için yenilenebilir enerji yatırımlarının bugünkü seviyelerin çok üzerinde artması gerektiğini ortaya koymakta; bu da REPowerEU gibi planların yalnızca bölgesel değil, küresel enerji dönüşümü açısından da kritik önemde olduğunu göstermektedir. REPowerEU, Fit for 55 çerçevesindeki hedefleri daha da hızlandırarak, 2030'a kadar yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği hedeflerinde ek artışlar öngörmekte; böylece GEG'in enerji bileşeni üzerinde ek bir hukuki baskı oluşturmaktadır (International Energy Agency, 2021).

REPowerEU'nun finansman boyutu da dikkate değerdir. Plan, COVID-19 sonrası toparlanma aracı (NextGenerationEU) kapsamında oluşturulan yatırım kapasitesinin bir bölümünü, enerji altyapısının ve yenilenebilir enerji projelerinin hızlandırılmasına yönlendirmeyi öngörmektedir (European Commission, 2022). Bu yapı, sürdürülebilir finans çerçeveleriyle birlikte düşünüldüğünde, GEG göstergesinin aynı zamanda kamu yatırım stratejileri ve yeşil finansman araçları üzerinden de şekillendiğini göstermektedir (European Commission, 2019).

Paris Anlaşması, Avrupa Yeşil Mutabakatı, AB İklim Yasası, Fit for 55 paketi ve REPowerEU Planı birlikte değerlendirildiğinde, yeşil ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik yenilik ve dışa açıklık değişkenlerinin salt ekonomik değişkenler olmadığı; aynı zamanda uluslararası hukuk ve AB mevzuatı tarafından normatif olarak yönlendirilen politika değişkenleri olduğu ortaya çıkmaktadır (European Union, 2021). Bu belgeler, yenilenebilir enerji payının artırılması, emisyon yoğunluğunun azaltılması, enerji verimliliğinin yükseltilmesi, eko-inovasyon kapasitesinin güçlendirilmesi ve dış ticaretin karbon maliyetini içselleştiren bir çerçeveye taşınması gibi hedefleri hukuken tanımlamakta ve somut araçlarla desteklemektedir (European Commission, 2019).

İKİNCİ BÖLÜM

YEŞİL EKONOMİ ÇERÇEVESİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ VE EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİ: LİTERATÜR ANALİZİ

Bu bölümde, önceki bölümde ayrıntılı olarak tartışılan kavramsal çerçeveye ilişkin ampirik literatür, yeşil ekonomik büyüme (GEG), yenilenebilir enerji (REN), teknolojik yenilik (TI) ve dışa açıklık (TRD) ilişkisini merkeze alacak şekilde bütüncül olarak yeniden sınıflandırılmaktadır. Amaç, hem tez kapsamında kurulacak GEG–REN–TI–TRD panel modelinin teorik dayanaklarını netleştirmek hem de uluslararası panel çalışmalar ile Türkiye odaklı zaman serisi bulgularını karşılaştırılabilir bir çerçevede sunmaktır. Bu amaçla literatür, dört alt tema altında toparlanmaktadır:

- (i) GEG çerçevesinde entegre REN–TI–TRD çalışmaları,
- (ii) enerji–büyüme ilişkisinin teorik temeli ve çevresel boyutun entegrasyonu,
- (iii) uluslararası panel ve ülke grubu bulguları ve
- (iv) Türkiye inceleyen çalışmalardaki zaman serisi ve panel çıktıları.

2.1. Yeşil Ekonomik Büyüme Çerçevesinde REN–TI–TRD–GEG İlişkisini İnceleyen Çalışmalar

GEG literatüründe son dönemde öne çıkan çalışmalar, ekonomik performansı çevresel göstergelerle birlikte içeren bileşik göstergeleri (yeşil GSYH, çevresel zarar ayarlı büyüme vb.) bağımlı değişken olarak ele almakta ve bu göstergeleri yenilenebilir enerji (REN), teknolojik yenilik (TI) ve dışa açıklık (TRD) ile birlikte modellemektedir. OECD ülkelerinde 1990–2010 dönemini inceleyen İnglesi-Lotz (2016), Cobb–Douglas üretim fonksiyonuna dayalı çok değişkenli panel modelinde yenilenebilir enerji tüketimi, sabit sermaye, istihdam ve Ar-Ge harcamalarını birlikte ele almakta; uzun dönemde GSYH ile bu değişkenler arasında çift yönlü denge ilişkisi bulmakta ve geri besleme hipotezini desteklerken Ar-Ge ve teknoloji bileşeninin enerji–büyüme etkileşimini güçlendirdiğini göstermektedir (İnglesi-Lotz, 2016). G20 ülkeleri için 2001–2015 döneminde panel eşik ve Malmquist üretkenlik analizlerini kullanan Wang ve Shao (2019) ise, yeşil ekonomik büyüme göstergelerini çevresel düzenleme ve makro kontrollerle birlikte modellendiklerinde, çevre politikalarının ve teknolojik verimlilik artışlarının GEG performansını belirgin biçimde artırdığını ve TI bileşeninin kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Wang ve Shao, 2019).

OECD örneklemini 1990–2015 döneminde GEG odaklı panel tahminlerle inceleyen Taşkın vd. (2020), yeşil ekonomik büyüme göstergesini doğrudan bağımlı değişken olarak kullanmıştır. Yenilenebilir enerji payı (REN) ve ticari dışa açıklık (TRD) değişkenlerinin GEG üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkiler ürettiği tespit edilmiş ve büyüme hipotezi, çevresel zarar ayarlı bir büyüme tanımı altında yeniden formüle edilmiştir (Taşkın vd., 2020). Bu bulgular, yenilenebilir enerji yatırımları ve dışa açıklığın – teknolojik yayılım, ölçek ekonomileri ve finansman kanalları üzerinden – yeşil ekonomik büyümeyi destekleyebileceği yönündeki teorik beklentilerle uyumludur.

Teknolojik yenilik (TI) çoğu çalışmada doğrudan ölçülme de, Ar-Ge harcamaları, yeşil patent sayıları, enerji verimliliği göstergeleri veya çevresel düzenleme sıklığı gibi göstergeler üzerinden modele dâhil edilmekte; bu değişkenlerin genellikle GEG veya GSYH üzerinde pozitif etkiler ürettiği görülmektedir. Inglesi-Lotz (2016) ve Wang ve Shao (2019) gibi çalışmalarda Ar-Ge ve verimlilik bileşenleri, enerji tüketimiyle birlikte ele alındığında, yenilik–enerji–büyüme üçgeninin tamamlayıcı karakteri öne çıkmaktadır. Benzer biçimde Kahia vd. (2017), MENA bölgesinde yenilenebilir ve yenilenemez enerji bileşenleri ile birlikte verimlilik dinamiklerini incelemiş, uzun dönemde yenilenebilir enerji payının artmasının hem büyüme hem de emisyon azaltımına katkıda bulunabileceğini göstermiştir. Böylece TI bileşeni, hem çevresel performans hem de büyüme açısından stratejik bir ara değişken hâline gelmektedir (Kahia vd., 2017).

Dışa açıklık (TRD) GEG literatüründe çoğunlukla teknoloji transferi, ölçek etkileri ve karbon gömülü ticaret kanalları üzerinden tartışılmaktadır. Taşkın vd. (2020), TRD’nin GEG üzerindeki pozitif etkisini göstererek ticaretin “temiz teknoloji yayılımı” kanalıyla yeşil büyümeyi destekleyebileceğini ortaya koyarken; Bhattacharya vd. (2016) ve Gözgör vd. tarafından yapılan panel çalışmalar, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketiminden GSYH’ya uzanan etkilerin gelir dağılımının farklı kantillerinde değişebildiğini, dolayısıyla küresel bütünleşme düzeyinin enerji–büyüme ilişkisinin hem büyüklüğünü hem de işaretini etkileyebileceğini göstermektedir (Bhattacharya vd., 2016).

AB odaklı literatür, dışa açıklık ve teknoloji yayılımını, enerji–büyüme–emisyon üçgeni içinde özellikle yenilenebilir enerji yatırımları ve enerji verimliliği bağlamında ele almaktadır. Costantini ve Martini (2010), AB ülkelerini de içeren 26 OECD ekonomisinde 1960–2005 döneminde çok sektörlü panel koentegrasyon–nedensellik yaklaşımı uygulayarak sektörel enerji tüketimi ve çıktı ilişkisi tespit edilmiş ve geri besleme hipotezinin enerji ve emisyon yoğunluğu yüksek sektörlerde hâlen güçlü olduğu gösterilmiştir (Costantini ve Martini, 2010). Yenilenebilir ve yenilenemez enerji bileşenlerini birlikte ele alan AB

çalışmaları da enerji karmasının büyüme ve emisyonlar üzerindeki sonuçlarını daha net ortaya koymaktadır. Marques ve Fuinhas (2012), 24 Avrupa ülkesinde 1990–2007 döneminde REC ve NEC tüketimini GSYH ile birlikte modelleyerek, yenilenebilir enerjiye geçişin büyümeyi zorunlu olarak frenlemediğini, tersine uygun politika tasarımı ve teknoloji yayılımı koşullarında büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasında bir uyum alanı yaratılabileceğini göstermiştir (Marques ve Fuinhas, 2012). Ucan vd. (2014) ile Halıcıoğlu ve Keten (2018), AB-15 için yaptıkları analizlerde fosil ve yenilenebilir bileşenlerin büyüme üzerindeki etkilerinin ülke ve dönemlere göre değiştiğini; Tutak ve Brodny (2022) ise AB-27’de Fit for 55, EU ETS ve REPowerEU gibi paketlerin sektörel enerji tüketimi ve çevresel performans üzerindeki etkilerinin politika rejimlerine duyarlı ve heterojen olduğunu ortaya koymaktadır (Tutak ve Brodny, 2022).

Yenilenebilir enerji–büyüme ilişkisinin AB bağlamındaki yönü açısından Armeanu vd. (2017) ile Saad ve Taleb (2018) önemli bulgular sunmaktadır. Armeanu vd. (2017), AB’de 2003–2014 döneminde VECM-Granger çerçevesinde $GSYH \Rightarrow REC$ şeklinde nedensellik ilişkisi tespit etmiş ve artan gelir düzeyinin yenilenebilir enerji talebini ve yatırımlarını sürüklediğini göstermiştir. Saad ve Taleb (2018) de 12 AB ülkesinde benzer biçimde koruma hipotezini destekleyen bulgular elde etmiştir. Buna karşılık, Apergis ve Payne (2010c), Ohler ve Fetters (2014) ve Koçak ve Şarkgüneşi (2017) gibi AB’ye dâhil ülke panellerinde $REC \Rightarrow GSYH$ veya çift yönlü nedensellik bulguları, yenilenebilir enerji yatırımlarının da büyümeyi besleyen bir geri besleme mekanizması oluşturduğunu göstermektedir.

Türkiye ve OECD bağlamında yenilenebilir enerji kullanımı ve yeşil ekonomik büyüme ilişkisini inceleyen çalışmalar, büyüme teorisinin çevresel boyutla entegrasyonunun somut bir uygulama alanını temsil etmektedir. OECD ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketiminin yeşil ekonomik büyüme üzerindeki etkisini analiz eden araştırmalar, yeşil büyümenin yenilenebire dayalı enerji karması ve teknolojik kapasiteyle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir (Taşkın vd., 2020). Türkiye’de temiz enerji kullanımı, militarizasyon ve yeşil ekonomik büyüme ilişkisini inceleyen analizler ise ulusal güvenlik ve enerji politikaları gibi geleneksel büyüme bileşenlerinin de GEG çerçevesinde yeniden düşünülmesi gerektiğine işaret etmektedir (Sohag vd., 2019).

Bu teorik ve ampirik birikim ışığında, bu tez kapsamında kurulacak panel modelde yer alan GEG, REN, TI ve TRD değişkenleri, modern büyüme teorisinin çevre ekonomisiyle entegrasyonunun temel bileşenleri olarak konumlandırılmaktadır. GEG, büyümenin ekonomik ve çevresel performansını birlikte yansıtan bileşik bir çıktı göstergesi; REN enerji bileşiminin yeşil dönüşümünü; TI teknoloji ve inovasyon kapasitesini; TRD ise dışa açıklık ve küresel

entegrasyon kanalları aracılığıyla teknoloji transferi ve üretim yapısındaki değişimi temsil etmektedir (Taşkın vd., 2020). Böylece büyüme teorisi çevresel boyutla bütünleştirilerek, yeşil ekonomik büyüme dinamiklerini açıklamaya yönelik kapsamlı bir analitik çerçeve oluşturulmaktadır. İzleyen alt bölümde, bu çerçevenin dayandığı teorik yaklaşımlar daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

2.2. Enerji-Büyüme İlişkisinin Teorik Temeli ve Çevresel Boyutun Entegrasyonu

Çevresel boyutun büyüme teorisine entegrasyonunda atılan ilk adımlar, enerjinin üretim sürecindeki rolünün açıkça tanımlanmasına dayanır. Modern makroekonomik çalışmalar, enerjiyi ya doğrudan üretim fonksiyonuna ek bir girdi olarak dâhil etmekte ya da enerji tüketimi ve çıktı arasındaki uzun dönemli eşbütünleşme ilişkilerini analiz etmektedir (Coers ve Sanders, 2013). Panel veri çerçevesinde farklı ülke grupları için enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar, enerji kullanımının büyüme sürecinden ayrıştırılamayacak temel bir üretim faktörü olduğunu ortaya koymaktadır (Belke vd., 2011, s. 783). Sektörel düzeyde enerji kullanımını ve çıktıyı birlikte ele alan çalışmalar ise enerjinin üretim fonksiyonundaki yerini daha mikro bir düzeyde ortaya koymakta; ABD imalat sanayiinde ayrıştırılmış enerji tüketimi ve sanayi üretimi arasındaki ilişkinin incelendiği analizler, farklı enerji alt bileşenlerinin sektörel çıktı üzerindeki etkilerinin heterojen olduğunu göstermektedir (Ewing vd., 2007; Kula, 2014).

Yenilenebilir enerji tüketimine odaklanan çalışmalar, enerji-büyüme literatürünü çevresel boyuta daha da yaklaştırmaktadır. OECD ve diğer ülke grupları için yenilenebilir enerji tüketimi ve büyüme arasındaki nedensellik ilişkilerini inceleyen ampirik bulgular, bazı durumlarda büyüme hipotezini, bazı durumlarda ise nötrlük hipotezini desteklemekte; yenilenebilir enerji kullanımının uzun dönemde ekonomik büyümeyi destekleyebileceğini, ancak bu etkinin ülke yapılarına ve politika çerçevelerine bağlı olarak değişebildiğini göstermektedir (Inglesi-Lotz, 2016; Menegaki, 2011; Chang vd., 2015). Elektrik tüketimi, ekonomik büyüme ve çevresel göstergeler arasındaki ilişkileri inceleyen analizler de, enerji altyapısının büyüme sürecindeki rolünü vurgularken çevresel etkileri dolaylı olarak gündeme getirmekte; MENA ülkelerinde elektrik tüketimi ve reel GSYH arasındaki nedensellik ilişkilerini ARDL sınır testi yaklaşımıyla inceleyen çalışmalar, enerji altyapısının büyüme ve çevresel performans üzerinde eşanlı etkileri olabileceğini ortaya koymaktadır (Ozturk ve Acaravci, 2011; Payne, 2011 ve 2012).

Çevresel boyutun büyüme literatürüne entegrasyonunda bir diğer önemli adım, gelir düzeyi ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi ters U biçimli bir eğriyle temsil eden Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezinin geliştirilmesidir. ÇKE yaklaşımı, düşük gelir düzeylerinde büyümenin çevresel bozulmayı artırdığı, belirli bir gelir eşiğinden sonra ise artan gelirle birlikte çevre kalitesine yönelik talebin güçlenmesi ve daha sıkı çevre politikalarının uygulanması sonucu çevresel baskıların azalmaya başladığı varsayımına dayanır (Daly, 2007, s. 12). Enerji kullanımı ve CO₂ emisyonu gibi göstergelerle ÇKE hipotezini test eden çalışmalar, çoğu kez gelir, enerji tüketimi, finansal gelişme ve dışa açıklık gibi değişkenleri içeren çok değişkenli çerçeveler kullanmakta; Çin ekonomisi ve Güney Afrika örneklerinde enerji tüketimi, büyüme, finansal gelişme ve dışa açıklık arasındaki dinamik ilişkiler, büyüme sürecinin çevresel sonuçlarını anlamak açısından ÇKE yaklaşımının işlevsel bir çerçeve sunduğunu göstermektedir (Shahbaz vd., 2013).

Seyhan (2019), 27 OECD üyesinden oluşan seçilmiş ülke grubu için 1980-2014 araştırma dönemini incelediği çalışmada çevre kirliliği, ekonomik büyüme, dışa açıklık ve enerji tüketimi değişkenleri arasındaki ilişkiyi ÇKE yaklaşımı çerçevesinde analiz etmiştir. Yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil panel veri analizi bileşenlerinin yürütüldüğü çalışma sonucunda elde edilen uygulama bulguları, seçilmiş ülke grubunda ÇKE yaklaşımı hipotezinin geçerli olmadığını, dışa açık çevre temelli büyüme ve kalkınma sürecinin henüz optimal seviyelere ulaşmadığını göstermektedir (Seyhan ve Yurttaçıkmaz, 2022).

Enerji bileşimi, büyüme ve çevresel bozulma arasındaki ilişkileri ele alan analizler, ÇKE çerçevesini yeşil büyüme modellerine yaklaştırmaktadır. BRIC ülkeleri için CO₂ emisyonları, enerji tüketimi ve büyüme ilişkilerini inceleyen araştırmalar, enerji yoğunluğu ve enerji bileşiminin çevresel performans üzerindeki kritik rolünü ortaya koymaktadır. Brezilya için yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketimi ile büyüme arasındaki ilişkileri analiz eden çalışmalardan elde bulgular enerji karmasının hem büyüme hem de emisyon dinamikleri üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir (Pao ve Tsai, 2010; Pao ve Fu, 2013). Enerji kullanımının bileşenleri ile çevresel bozulma arasındaki ilişkileri inceleyen çalışmalar, farklı enerji türlerinin çevresel baskı üzerindeki etkilerini ayrıştırarak yeşil büyüme politikalarının tasarımına katkı sunmaktadır (Sinha vd., 2017).

Bu birikim, çevresel boyutun büyüme modellerine entegrasyonunun yalnızca “kirlilik–gelir” ilişkisine indirgenemeyeceğini; enerji yapısı, teknolojik yenilik ve politika bileşenlerinin birlikte dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Daly, 2007, s. 39). Yeşil büyüme ve yeşil ekonomik büyüme literatürü, bu noktada devreye girerek büyümenin hem ekonomik hem de çevresel hedeflerle uyumlu bir biçimde sürdürülmesini temel amaç hâline

getirmektedir. G20 ülkelerinde çevre düzenlemeleri ve yeşil büyüme arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri inceleyen araştırma bulguları, politika tasarımının yeşil büyüme performansını belirlemede kritik rol üstlendiğini; bölgesel yeşil büyüme performansı, çevre politikaları ve teknolojik yenilik etkileşimini inceleyen çalışmalar ise düzenlemelerin yeniliği doğru yönde teşvik ettiği durumlarda yeşil büyümenin güçlendiğini göstermektedir (Wang ve Shao, 2019; Guo vd., 2017).

Enerji-büyüme ilişkisine yönelik teorik yaklaşımların önemli bir kısmı, özellikle petrol gibi stratejik fosil yakıtlar üzerinden makroekonomik dalgalanmaları açıklamaya çalışmaktadır. Petrol fiyatlarındaki ani artışların enflasyon, dış ticaret dengesi ve üretim üzerinde yarattığı olumsuz etkiler, literatürde “petrol fiyatı şoku” kavramı etrafında incelenmektedir (Gisser ve Goodwin, 1986). Daha sonraki analizler, petrol fiyatı-makroekonomi ilişkisinin zaman içinde değişen niteliğine dikkat çekerek, yapısal dönüşüm ve politika uyum süreçlerinin bu ilişkiyi dönüştürdüğünü; beklenmeyen petrol fiyatı artışlarının üretim ve istihdam üzerinde asimetric etkiler yaratabileceğini vurgulamaktadır (Hamilton, 1996, 2003). Bu bulgular, fosil yakıtlara yüksek derecede bağımlı ekonomilerde enerji fiyatlarındaki oynaklığın büyüme ve istikrar üzerinde önemli bir risk unsuru olduğunu göstermektedir.

Bu çerçevede yenilenebilir enerjiye geçiş ve enerji karmasının çeşitlendirilmesi, yalnızca çevresel kaygılar açısından değil, aynı zamanda makroekonomik istikrar ve büyüme performansı açısından da stratejik bir politika alanı hâline gelmektedir (Pao ve Fu, 2013; Koç ve Şenel, 2013). Enerji-büyüme literatürünün teorik kısmı, fosil yakıtlara dayalı büyüme stratejilerinin uzun vadede hem çevresel hem de ekonomik kırılganlıklar üretebileceğini; buna karşılık yenilenebilir enerjiye dayalı bir yapının bu riskleri azaltabileceğini ileri sürmektedir. İzleyen bölümde bu teorik yaklaşımların uluslararası panel ve ülke grupları bağlamında ürettiği ampirik bulgular özetlenmektedir.

2.3. Uluslararası Panel ve Ülke Grupları: Enerji Bileşimi ve Büyüme/Emisyon Bulguları

Uluslararası panel literatürü, enerji-büyüme ilişkisine dair büyüme, koruma, geri besleme ve yansızlık hipotezlerinin tamamına ilişkin bulguların aynı anda geçerli olabildiği heterojen bir tablo sunmaktadır. Toplam enerji tüketimi (EC) ile kişi başına gelir/GSYH arasındaki ilişkiyi panel düzeyinde inceleyen çalışmaların önemli bir kısmı, özellikle OECD, AB ve gelişmekte olan ülke panellerinde enerjiden büyümeye tek yönlü nedensellik bulmakta ve büyüme hipotezini desteklemektedir. Örneğin, 18 AB ülkesini 1995–2012 döneminde DOLS/FMOLS çerçevesinde inceleyen Streimikiene ve Kasperowicz (2016), EC'den GSYH'ye doğru pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı katsayılar tespit ederek enerji

tüketiminin hâlen büyümenin temel üretim girdilerinden biri olduğunu ortaya koymuştur (Streimikiene ve Kasperowicz, 2016). Benzer biçimde Shahbaz vd. (2018), BRICS ülkelerinde 1970–2015 dönemini NARDL yaklaşımıyla ele alarak kısa dönemde $EC \rightarrow GSYH$ yönünde güçlü bir kanal bulmuş ve büyüme hipotezinin doğrusal olmayan ayarlama mekanizmalarına rağmen geçerliliğine işaret etmiştir (Shahbaz vd., 2018).

Buna karşılık, özellikle Avrupa örneklerinde koruma ve yansızlık hipotezlerine ilişkin bulgular da azımsanmayacak düzeydedir. Menegaki ve Öztürk'ün (2013), 26 Avrupa ülkesi için 1995–2009 dönemini kapsayan sabit etkiler modeline dayalı panelinde GSYH ile enerji tüketimi arasında anlamlı bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiş; $GSYH \neq EC$ bulgusu, Avrupa'da bazı ülke gruplarında büyüme dinamiklerinin enerji tüketiminden görece bağımsızlaştığını ve yansızlık hipotezinin öne çıktığını göstermiştir (Menegaki ve Öztürk, 2013). Śmiech ve Papież (2014) de 25 AB ülkesi için 1993–2011 döneminde uyguladıkları bootstrap panel Granger nedensellik testleriyle $EC \neq GSYH$ sonucuna ulaşarak bu resmi desteklemiştir (Śmiech ve Papież, 2014). Geniş ülke gruplarını içeren Yaşar (2017) gibi çalışmalarda ise, 119 ülkeyi kapsayan 1970–2015 panelinde VECM-Granger çerçevesi kullanılarak karma (mixed) sonuçlar elde edilmiş; bazı ülkelerde büyüme, bazılarında koruma, bazılarında ise yansızlık hipotezlerinin geçerli olduğu vurgulanmıştır (Yaşar, 2017).

Yenilenebilir enerji tüketimi (REC) odaklı panel çalışmalar, özellikle yüksek gelirli ülke gruplarında büyüme ve geri besleme hipotezlerinin ağırlık kazandığını göstermektedir. G7 ülkeleri için 1980–2009 dönemini OLS ve ilave nedensellik testleriyle analiz eden Tuğcu vd. (2012) ile Bilgili ve Öztürk (2015), REC'ten GSYH'ye tek yönlü nedensellik ($REC \Rightarrow GSYH$) tespit etmiş ve yenilenebilir enerji tüketimindeki artışların ekonomik büyümeyi desteklediğini göstermiştir (Tuğcu vd., 2012; Bilgili ve Öztürk, 2015). Avrasya'da 13 ülke için 1992–2007 döneminde FMOLS ve panel ECM kullanan Apergis ve Payne (2010), REC–GSYH arasında uzun dönem eşbütünleşik yapı ve çok sayıda ülkede çift yönlü nedensellik tespit ederek geri besleme hipotezini doğrulamıştır (Apergis ve Payne, 2010b). Buna karşılık Menegaki (2011), 27 Avrupa ülkesini 1997–2007 döneminde rastgele etkiler modeliyle incelemiş ve $REC \neq GSYH$ bulgusu elde ederek yenilenebilir enerji tüketimi ile büyüme arasındaki ilişkinin her ülke için anlamlı olmayabileceğini ve yansızlık hipotezinin Avrupa bağlamında güçlü olduğunu göstermiştir (Menegaki, 2011). Özcan ve Öztürk (2019) da 17 yükselen ülkeyi 1990–2016 döneminde bootstrap panel nedensellik testiyle analiz etmiş; 16 ülkede $REC \neq GSYH$, yalnızca Polonya'da $REC \Rightarrow GSYH$ tespit ederek yansızlık hipotezinin gelişmekte olan ekonomilerde de yaygın olabileceğini ortaya koymuştur (Özcan ve Öztürk, 2019).

REC ve NEC bileşenlerini birlikte ele alan paneller, enerji karmasının bileşimine duyarlı, daha rafine bir tablo sunmaktadır. Marques ve Fuinhas (2012), 24 Avrupa ülkesi için 1990–2007 döneminde OLS çerçevesinde REC ve NEC tüketimini GSYH ile birlikte modelleyerek her iki enerji türünün de büyüme üzerinde anlamlı etkiler yaratabildiğini göstermiştir (Marques ve Fuinhas, 2012). Vaona (2012), İtalya’da 1861–2000 gibi uzun bir dönemde NEC→GSYH ilişkisini doğrulayan sonuçlarla fosil yakıt bileşenleri için büyüme hipotezinin geçerliliğini ortaya koymuştur (Vaona, 2012). Bhattacharya vd. (2016) ise en yüksek yenilenebilir enerji tüketimine sahip 38 ülkeyi 1991–2012 döneminde DOLS/FMOLS ve panel nedensellik testleriyle üç gruba ayırmış; bazı ülkelerde $REC \Rightarrow GSYH(+)$ (büyüme hipotezi), bazılarında $REC \Rightarrow GSYH(-)$ (maliyet kanalı), bazılarında ise $REC \neq GSYH$ (yansızlık) bulgularıyla dört hipotezin aynı anda farklı ülke kümeleri için geçerli olabildiğini göstermiştir (Bhattacharya vd., 2016).

Elektrik tüketimi (EL)–büyüme panelleri de bu heterojen tabloyu desteklemektedir. Ciarreta ve Zarraga (2010), 12 Avrupa ülkesi için 1970–2007 döneminde VECM-Granger yaklaşımıyla çoğu ülkede $EL \Rightarrow GSYH$ yönünde nedensellik tespit ederken (Ciarreta ve Zarraga, 2010), geçiş ekonomilerini kapsayan Acaravci ve Öztürk (2010) çalışmasında $EL \neq GSYH$ bulguları yansızlık hipotezine işaret etmektedir (Acaravci ve Öztürk, 2010). Wolde-Rufael (2014) ise 15 geçiş ekonomisinde 1975–2010 döneminde bootstrap panel Granger testiyle karma bir sonuç seti sunmaktadır. Bazı ülkelerde büyüme, bazı ülkelerde koruma, bazılarında geri besleme veya yansızlık hipotezlerinin geçerli olduğunu göstermektedir (Wolde-Rufael, 2014). Yenilenebilir elektrik tüketimi ve GSYH arasındaki uzun dönemli ilişkiyi panel veriyle inceleyen çalışmalar, elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payının artırılmasının büyüme sürecini destekleyebileceğini ortaya koymaktadır (Kula, 2014; Ohler ve Fetters, 2014).

Gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji ve büyüme ilişkisini ele alan çalışmalar, enerji dönüşümünün kalkınma süreçleriyle nasıl iç içe geçtiğini göstermektedir. Gelişmekte olan 42 ülke için yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisini inceleyen Fotourehchi (2017) tarafından yürütülen panel analizler, yenilenebilir enerji kullanımının büyüme üzerinde pozitif etkiler yaratabileceğine dair bulgular ortaya koymaktadır (Fotourehchi, 2017). MENA net petrol ithalatçısı ülkelerde yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kullanımı ile büyüme arasındaki ilişkiyi inceleyen Kahia vd. (2017), enerji bileşiminin büyüme üzerinde heterojen etkiler yarattığını ve yenilenebilir enerji payının artmasının bazı ülkelerde büyümeyi desteklediğini göstermektedir (Kahia vd., 2017). Karadeniz ve Balkan ülkelerinde yenilenebilir enerji–büyüme bağıını ele alan bulgular da, bölgesel dinamiklerin bu

ilişkiyi belirgin biçimde şekillendirdiğini ortaya koymaktadır (Koçak ve Şarkgüneşi, 2017). Asya ve Güney Amerika gibi bölge panellerinde yapılan çalışmalar, enerji–büyüme ilişkisinin yönü ve büyüklüğünün gelir düzeyi, enerji yapısı ve politika rejimlerine göre değiştiğini vurgulamaktadır (Lee ve Chang, 2008; Caraianni vd., 2015; Eggoh vd., 2011).

Finansal gelişme, ticaret açıklığı ve enerji kullanımı arasındaki dinamik ilişkileri inceleyen çalışmalar, enerji–büyüme bağının sermaye hareketleri ve dış ticaretle birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir. Farklı gelir gruplarındaki ülkelerde ticaret açıklığı ve enerji tüketimi arasındaki nedenselliği analiz eden çalışmalar, dışa açıklığın enerji talebi ve emisyon dinamikleri üzerinde güçlü etkiler yaratabileceğini ortaya koymaktadır (Shahbaz vd., 2014; Sadorsky, 2011). Enerji kullanımının bileşenleri ve çevresel bozulma arasındaki ilişkileri inceleyen panel çalışmalar, gelişmekte olan ekonomilerde enerji–büyüme–çevre üçgeninin bütüncül bir çerçeveye ele alınması gerektiğini ortaya koyarken (Sinha vd., 2017), Türkiye’de enerji tüketimi, büyüme ve dışa açıklık arasındaki ilişkiyi inceleyen ampirik bulgular da enerji–büyüme tartışmasının ticaret ve entegrasyon boyutu olmaksızın eksik kalacağını göstermektedir (Şahbudak ve Şahin, 2016).

Yöntemsel açıdan bakıldığında, bu panel ve ülke grubu çalışmalarında ARDL sınır testleri, Johansen eşbütünleşme, VECM-Granger nedensellik, Toda–Yamamoto yaklaşımı, doğrusal/doğrusal olmayan Granger testleri, bootstrap panel nedensellik testleri ve zaman zaman yapısal kırılma içeren eşbütünleşme testlerinin yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir. Bu çeşitlilik, enerji–büyüme ilişkisine dair bulguların yalnızca ülke özelliklerine değil, seçilen yöntem, kırılmaların ve asimetrielerin modele dâhil edilip edilmemesine de yüksek derecede duyarlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu çalışmada benimsenen heterojen panel nedensellik (Emirmahmutoğlu ve Köse tipi) ve ikinci kuşak tahminciler gibi yeni nesil testlerin kullanımı, uluslararası literatürde vurgulanan bu yöntemsel duyarlılıkla uyumlu olup daha güvenilir sonuçlar üretme potansiyeline sahiptir. Bir sonraki alt bölümde, bu çok boyutlu çerçevenin Türkiye özelinde literatürde nasıl bir yer teşkil ettiği özetlenmektedir.

2.3.4. Türkiye İnceleyen Çalışmalardaki Zaman Serisi ve Panel Bulguları

Türkiye üzerine yapılan zaman serisi ve panel çalışmalar, seçilen dönem, enerji türü, yöntem ve kırılmaların modele dâhil edilip edilmemesine bağlı olarak dört hipotezin tamamına dair çeşitli bulgular içermektedir. Toplam enerji tüketimi–büyüme ilişkisini inceleyen erken dönem çalışmalardan Soytaş ve Sarı (2009), 1960–2000 dönemi için Toda–Yamamoto nedensellik testi uygulayarak GSYH≠EC bulgusuna ulaşmış ve erken dönem

Türkiye ekonomisinde yansızlık hipotezinin geçerli olabileceğine işaret etmiştir (Soytaş ve Sarı, 2009).

Daha yakın tarihli çalışmalar, yenilenebilir enerji bileşenlerini ayrıştırarak büyüme ile ilişkisini analiz etmektedir. Öcal ve Aslan (2013), 1980–2006 dönemini ARDL sınır testi ve nedensellik analiziyle ele alarak GSYH'den yenilenebilir enerji tüketimine tek yönlü nedensellik ($GSYH \Rightarrow REC$) tespit etmiş ve koruma hipotezini destekler nitelikte sonuçlar elde etmiştir (Öcal ve Aslan, 2013). Durğun ve Durğun (2018), 1980–2015 döneminde ARDL ve Toda–Yamamoto yaklaşımını kullanarak yenilenebilir enerji tüketiminden büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ($REC \Rightarrow GSYH$) tespit etmiş ve özellikle 2000 sonrası dönemde yenilenebilir enerji yatırımlarının büyümeyi destekleyici rolüne işaret etmiştir (Durğun ve Durğun, 2018). Doğan (2015), 1990–2012 döneminde yenilenebilir (REL) ve yenilenemez (NEL) elektrik tüketimi ile GSYH arasındaki ilişkiyi VECM-Granger çerçevesinde ayrı ayrı modelleyerek $REL \Rightarrow GSYH$ ve $NEL \neq GSYH$ bulguları elde etmiştir. Bu sonuçlar, Türkiye’de büyümenin özellikle yenilenebilir elektrik kanalı üzerinden desteklenebileceğini, fosil kaynaklı elektrik tüketiminin ise daha sınırlı bir rol oynadığını göstermektedir (Doğan, 2015). Alper (2018), 1990–2017 döneminde Bayer–Hanck eşbütünleşme ve Toda–Yamamoto nedensellik testlerini kullanarak yenilenebilir enerji tüketimi ile GSYH arasındaki ilişkiyi incelemiş, büyümeden yenilenebilir enerjiye tek yönlü nedensellik ($GSYH \Rightarrow REC$) saptamıştır. Bu sonuç araştırma dönemi için koruma hipotezini doğrulamaktadır (Alper, 2018). Demirgil ve Birol (2020) ise 1980–2018 döneminde Toda–Yamamoto yaklaşımıyla yürüttükleri analizde yenilenebilir enerji–büyüme ilişkisinin rejimlere ve alt dönemlere duyarlı olduğunu, nedensellik yönünün farklı alt dönemlerde değişebildiğini rapor ederek yapısal kırılmaların önemine dikkat çekmiştir (Demirgil ve Birol, 2020).

Türkiye için yenilenebilir enerji–büyüme ilişkisini analiz eden çalışmalar, enerji bileşiminin makroekonomik performans üzerindeki etkilerini ülke düzeyinde somutlaştırmaktadır. Yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında nedensellik ilişkisi olup olmadığını test eden ampirik bulgular, enerji politikasının büyüme stratejisiyle koordineli tasarlanması gerektiğine işaret etmektedir (Durğun ve Durğun, 2018). Asimetrik nedensellik analizleri ise, pozitif ve negatif şokların büyüme üzerindeki etkilerinin farklılaştığını ve yenilenebilir enerji tüketimindeki artışların büyüme için farklı bir dinamik yarattığını göstermektedir (Alper ve Oguz, 2016). Türkiye için 1990 sonrası dönemde yenilenebilir enerji ve büyüme ilişkisini inceleyen araştırma bulguları, uzun dönemli büyüme stratejilerinin enerji karmasıyla uyumlu biçimde kurgulanması gerektiğini ortaya koymaktadır (Alper, 2018).

Türkiye'nin yer aldığı çok ölkeli paneller de bu resmi tamamlar niteliktedir. Bakırtaş ve Çetin (2016), G20 panelinde 1992–2010 döneminde kişi başına GSYH ile kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki esneklikleri tahmin ederken, panel genelinde GSYH'deki %1'lik artışın yenilenebilir enerji tüketimini %0,59 artırdığını; ancak Türkiye için uzun dönemde anlamlı bir etki bulunmadığını göstererek ölkeler-özel farklılıkların altını çizmiştir (Bakırtaş ve Çetin, 2016). Koçak ve Şarkgüneşi (2017), Karadeniz/Balkan panelinde 1990–2012 döneminde DOLS, FMOLS ve heterojen panel nedensellik testleriyle panel genelinde geri besleme hipotezinin geçerli olduğunu, Türkiye özelinde ise yansızlık hipotezinin muhtemel olduğunu tespit etmiştir (Koçak ve Şarkgüneşi, 2017). Fuinhas ve Marques (2012) ile Caraianni vd. (2015) gibi Akdeniz ve yükselen ekonomi ölkelerini inceleyen ölkeler grubu panellerinde de Türkiye, enerji–büyüme ilişkisinin yönünün diğer ölkelere kıyasla daha zayıf veya değişken olduğu bir ölkeler olarak öne çıkmaktadır.

Yöntemsel olarak Türkiye literatüründe ARDL sınır testleri, Johansen eşbütünlük, VECM-Granger, Toda–Yamamoto nedensellik ve panel nedensellik testleri ağırlıktadır. Son yıllarda 1994 ve 2001 krizleri, 2008 küresel kriz, 2018 kur şoku ve 2020 pandemisi gibi şokların yarattığı rejim değişimlerini göz önüne almak için Gregory–Hansen ve Bai–Perron çoklu kırılma testleri ile Zivot–Andrews kırılmalı birim kök testlerinin kullanımı yaygınlaşmakta; Doğan (2016) ve benzeri çalışmalar, kısa ve uzun dönem ayrımını yaparak enerji–büyüme ilişkisini döngüsel ve rejimsel bir perspektifle ele almaktadır. Ayrıca NARDL gibi doğrusal olmayan modeller ve frekans alanı nedensellik testleriyle kısa, orta ve uzun döngülerin ayrıştırılması, yenilenebilir enerji yatırımlarının ve fiyat şoklarının büyüme üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı biçimde analiz edilmesine imkân tanımaktadır.

Bu çerçevede Türkiye literatürü, toplamda şu mesajı vermektedir:

- (i) Enerji ithalat bağımlılığı ve yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle fosil enerji bileşenleri için çoğu dönemde koruma veya yansızlık hipotezleri baskındır;
- (ii) 2000 sonrası dönemde özellikle yenilenebilir elektrik ve yenilenebilir enerji yatırımlarının artmasıyla birlikte büyüme ve geri besleme hipotezlerini destekleyen bulgular öne çıkmaya başlamıştır;
- (iii) Enerji–büyüme ilişkisi, yapısal kırılmalara, politika rejimi değişimlerine ve enerji karmasındaki dönüşüme son derece duyarlıdır.

Bu nedenle, bu tez çalışmasında geliştirilen yeşil ekonomik büyüme modelinin teorik çerçevesini ve izleyen bölümde sunulacak ekonometrik metodolojiyi kullanmak birlikte kullanmak, Türkiye'nin ve AB'nin yeşil ekonomik büyüme dinamiklerine ilişkin daha tutarlı ve karşılaştırılabilir sonuçlar üretme potansiyeline sahiptir.

2.3.5. Literatür Analizi Bulgularının Özet Uzantıları

Bu bölümde yukarıda dört ana başlıkta bütüncül bir yaklaşımla sınıflandırılan araştırmalar tekil olarak Türkiye ve diğer ülke grupları bağlamında kısaca özetlenmiştir.

2.3.5.1. AB ve Diğer Ülkeleri İnceleyen Araştırmalar

Lee ve Chang (2008), Asya ekonomilerini 1971–2002 civarında panel koentegrasyon ve VECM ile analiz eden çalışmalarında, ortak ve ülke-özel dinamikleri ayırmıştır. Enerji tüketimi, GSYH ve ilgili kontrol değişkenleri modele dâhil edilmiştir. Bulgular birçok ülkede enerjiden büyümeye tek yönlü etki bulunduğunu ortaya koymakta ve büyüme hipotezini desteklemektedir.

Sadorsky (2009a), çalışmasında G7 ülkelerini 1980–2005 döneminde panel koentegrasyon (FMOLS/DOLS/SUR) ile incelemiştir. Kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi, kişi başına gelir ve petrol fiyatı gibi göstergeler birlikte ele alınmıştır. Sonuçlar gelir artışının yenilenebilir enerji tüketimini artırdığını göstermekte ve koruma hipoteziyle uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır.

Soytaş ve Sarı (2009), Türkiye için 1960–2000 dönemini ele alan çalışmalarında, Toda–Yamamoto nedensellik testini kullanarak toplam enerji tüketimi ile GSYH arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Sonuçlar $GSYH \neq EC$ bulgusuyla enerji–büyüme arasında anlamlı bir nedensellik bulunmadığını ve yansızlık hipotezinin geçerli olabileceğini göstermektedir.

Tsani (2010), araştırmasında Yunanistan için 1960–2006 döneminde Granger nedensellik testini uygulamıştır. Elde edilen $EC \Rightarrow GSYH$ bulgusu enerji tüketiminden ekonomik büyümeye tek yönlü nedenselliğe işaret etmekte ve büyüme hipotezini desteklemektedir.

Costantini ve Martini (2010), çalışmalarında 26 OECD ekonomisi (AB ülkeleri dâhil) için 1960–2005 döneminde çok sektörlü panel koentegrasyon–nedensellik yaklaşımını uygulamıştır. Sektörel enerji tüketimi ile çıktı göstergeleri birlikte modellenmiştir. Bulgular pek çok sektörde iki yönlü ilişkiye işaret etmekte ve geri besleme hipotezini desteklemektedir.

Apergis ve Payne (2010), Avrasya’daki 13 ülke için 1992–2007 dönemini inceleyen çalışmalarında, FMOLS ve panel ECM çerçevesinde yenilenebilir enerji tüketimi ve GSYH arasındaki uzun dönem eşbütünleşmeyi test etmiştir. Bulgular $REC-GSYH$ arasında anlamlı ilişkiler ve pek çok ülkede karşılıklı etkileşim olduğunu ortaya koymaktadır.

Apergis ve Payne (2010b), çalışmalarında Avrasya ülkelerini 1992–2007 döneminde panel koentegrasyon ve hata düzeltme modeli ile değerlendirmiştir. Yenilenebilir enerji

tüketimi ile GSYH arasındaki hem kısa hem uzun dönem etkileşimleri test edilmiştir. Bulgular çift yönlü nedenselliği ortaya koymakta ve geri besleme hipotezini doğrulamaktadır.

Apergis ve Payne (2010c), araştırmalarında OECD panelinde (AB dâhil) 1985–2005 dönemine ilişkin panel koentegrasyon ve VECM uygulamıştır. Yenilenebilir enerji tüketimi ile GSYH değişkenleri ele alınan çalışmada elde edilen sonuçlar çift yönlü nedenselliği ortaya koymakta ve geri besleme hipotezini doğrulamaktadır.

Pao ve Tsai (2010), araştırmalarında BRICS paneli için 1971–2005 civarında panel koentegrasyon ve nedensellik testleri uygulamıştır. CO₂ emisyonları, enerji tüketimi ve GSYH arasındaki ortak eğilim ve yön incelenmiştir. Sonuçlar enerji/CO₂'den büyümeye giden kanalın güçlü olduğuna işaret etmekte ve büyüme hipotezini desteklemektedir.

Acaravci ve Öztürk (2010), çalışmalarında 19 AB ülkesi için 1960–2005 döneminde ARDL modelleriyle yürütülen panel analiz sonucunda enerji tüketimi–GSYH ilişkisine dair karma (mixed) bulgular elde etmiştir. Bazı ülkelerde büyüme, bazılarında ise enerji talebi baskın olurken, kimi ülkelerde yansızlık hipotezi geçerlidir.

Acaravci ve Öztürk (2010), Geçiş ekonomileri için 1990–2006 döneminde Pedroni eşbütünleşme ve VECM-Granger yaklaşımını kullanan çalışmalarında, elde ettikleri $EL \neq GSYH$ sonucuyla elektrik tüketimi ve büyüme arasında anlamlı bir nedensellik bulunmadığını tespit ederek yansızlık hipotezine işaret etmiştir.

Ciarreta ve Zarraga (2010), 12 Avrupa ülkesini 1970–2007 döneminde VECM-Granger çerçevesinde inceleyen çalışmalarında, çoğu ülkede $EL \Rightarrow GSYH$ yönünde nedensellik tespit ederek elektrik tüketiminin büyüme üzerindeki itici rolünü vurgulamıştır.

Öztürk ve Acaravci (2010), Arnavutluk, Bulgaristan, Macaristan ve Romanya için 1980–2006 dönemini kapsayan çalışmalarında, ARDL ve VECM yaklaşımlarını birlikte kullanmıştır. Sonuçlar, EC–GSYH ilişkisine dair ülkeler arasında farklı hipotezlerin (büyüme, koruma, yansızlık) eş zamanlı olarak geçerli olabildiğini göstermektedir.

Menegaki (2011), 27 Avrupa ülkesini 1997–2007 döneminde panel (RE) ve çeşitli nedensellik/koentegrasyon testleriyle analiz eden çalışmada, ilişki yönünü araştırmıştır. Yenilenebilir enerji tüketimi ve GSYH değişkenleri birlikte değerlendirilmiştir. Bulgular anlamlı bir nedensellik bulunmadığını göstermekte ve yansızlık hipotezini desteklemektedir.

Apergis ve Danuletiu (2012), çalışmalarında Romanya için 2000–2011 döneminde Panel Hata Düzeltme Modelini kullanarak EC–GSYH ilişkisini analiz etmiştir. Sonuçlar $EC \Rightarrow GSYH$ yönünde nedenselliğin varlığını göstererek enerji tüketiminin büyümeyi desteklediğini ortaya koymaktadır.

Fuinhas ve Marques (2012), Portekiz, İtalya, Yunanistan, İspanya ve Türkiye için 1965–2009 dönemini kapsayan çalışmalarında, ARDL yaklaşımıyla toplam enerji tüketimi ve GSYH arasındaki uzun dönem ilişkileri araştırmıştır. Sonuçlar ülkeler arasında değişmekle birlikte pek çok örnekte enerji–büyüme bağlantısının varlığına ve hipotezlerin ülke-özel biçimde farklılaştığına işaret etmektedir.

Apergis ve Payne (2012), 1990-2007 dönemini ele aldığı araştırmada 80 ülkeden oluşan geniş panel için panel ECM yaklaşımını kullanmıştır. Yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi ile GSYH arasındaki eşbütünleşik yapı test edilmiştir. Sonuçlar iki yönlü nedensellik ilişkisini göstermekte ve geri besleme hipotezini desteklemektedir.

Pirloge ve Cicea (2012), çalışmalarında İspanya, Romanya ve Avrupa Birliği için 1990–2010 döneminde Granger nedensellik testini uygulayarak $EC \Rightarrow GSYH$ yönünde nedensellik tespit etmiş ve özellikle Avrupa Birliği ölçeğinde toplam enerji tüketiminin büyüme üzerinde itici bir rol oynadığı sonucuna ulaşmıştır.

Tuğcu vd. (2012), çalışmalarında G7 ülkelerinde 1980–2009 dönemini kapsayan OLS temelli analiz gerçekleştirerek, yenilenebilir enerji tüketiminden büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ($REC \Rightarrow GSYH$) tespit etmiş ve büyüme hipotezinin yenilenebilir bileşenler için geçerli olduğunu göstermiştir.

Marques ve Fuinhas (2012), araştırmalarında 24 Avrupa ülkesi için 1990–2007 döneminde OLS yaklaşımıyla yürüttükleri analizde, yenilenebilir (REC) ve yenilenemez (NEC) enerji tüketimi ile GSYH arasındaki ilişkileri birlikte ele almıştır. Elde edilen bulgular, her iki enerji türünün de büyüme üzerinde anlamlı etkileri olabildiğini göstermektedir.

Vaona (2012), çalışmasında İtalya için 1861–2000 gibi çok uzun bir dönemi kapsayan, Granger nedensellik testini kullanarak NEC–GSYH ilişkisini test etmiştir. Sonuçlar büyük ölçüde $NEC \rightarrow GDP$ yönünde nedensellik ve büyüme hipotezinin fosil enerji bileşenleri için geçerliliğine işaret etmektedir.

Tang vd. (2013), araştırmalarında Portekiz için 1974–2009 döneminde VECM-Granger yaklaşımını kullanmıştır. Elektrik tüketimi ve GSYH arasında uzun dönemli bir etkileşim tespit edilmiş ve nedensellik yönü, enerji talebinin büyümeden güçlü biçimde etkilendiğini göstermektedir.

Menegaki ve Öztürk (2013), 26 Avrupa ülkesini 1995–2009 döneminde iki yönlü sabit etkiler modeliyle analiz eden çalışmalarında, $GSYH \neq EC$ bulgusuyla enerji tüketimi ve büyüme arasında istatistiksel olarak anlamlı bir nedensellik bulunmadığını tespit etmiş ve yansızlık hipotezini destekler nitelikte sonuçlar elde etmiştir.

Coers ve Sanders (2013), çalışmalarında OECD paneli için 1960-2000 döneminde içselliğe duyarlı IV/GMM yaklaşımları kullanmıştır. Enerji tüketimi, GSYH ve kontrol değişkenleri araç değişken mantığıyla modellenmiştir. Bulgular genelde büyümeden enerjiye doğru tek yönlü etki olduğunu göstermekte ve koruma hipotezini desteklemektedir.

Kula (2013), 19 OECD ülkesini 1980–2008 döneminde panel koentegrasyonla inceleyen çalışmasında yenilenebilir elektrik tüketimi ve GSYH değişkenleri birlikte test etmiştir. Bulgular GSYH'den REN'e tek yönlü nedenselliği göstermekte ve koruma hipotezini desteklemektedir.

Dergiades vd. (2013), Yunanistan'da 1960–2008 dönemini inceleyen çalışmalarında, doğrusal olmayan Granger nedensellik testi kullanarak $EC \Rightarrow GSYH$ yönünde nedensellik tespit etmiş ve enerji tüketimindeki dalgalanmaların büyüme üzerinde asimetric etkiler oluşturduğunu göstermiştir.

Wolde-Rufael (2014), araştırmasında 15 geçiş ekonomisi için 1975–2010 döneminde bootstrap panel Granger nedensellik testi kullanmıştır. Elde edilen sonuçlar, elektrik tüketimi ve büyüme arasındaki ilişkinin ülkelere göre değiştiğini ve karma hipotezleri desteklediğini göstermektedir.

Ucan vd. (2014), çalışmalarında AB-15 ülkeleri için 1990–2011 döneminde Granger nedensellik testi uygulamıştır. $NEC \Rightarrow GSYH$ bulgusu, yenilenemez enerji tüketiminin büyüme üzerindeki itici rolünü vurgulamaktadır.

Śmiech ve Papież (2014), çalışmalarında 25 AB ülkesi için 1993–2011 döneminde bootstrap panel Granger nedensellik testini uygulamıştır. Elde edilen $EC \neq GSYH$ sonucu, enerji tüketimi ile GSYH arasında nedensellik bulunmadığını göstermekte ve AB bağlamında yansızlık hipotezinin geçerliliğini vurgulamaktadır.

Ohler ve Fetters (2014), 20 OECD ülkesini 1990–2008 döneminde panel ECM ve kaynak ayrıştırmasıyla inceleyen çalışmalarında, bileşenlere özgü etkileri ayırmışlardır. Biyokütle, hidro gibi yenilenebilir elektrik üretimi alt kalemleri GSYH ile birlikte modellenmiştir. Bulgular toplamda iki yönlü ilişkiyi ortaya koymakta ve geri besleme hipotezine işaret etmektedir.

Doğan (2015), Türkiye'de 1990–2012 döneminde yenilenebilir (REL) ve yenilenemez (NEL) elektrik tüketimi ile GSYH'yi birlikte modelleyen çalışmasında, VECM-Granger yaklaşımıyla $REL \Rightarrow GSYH$, $NEL \neq GSYH$ bulgularını elde etmiştir. Bu sonuçlar, büyümenin özellikle yenilenebilir elektrik kanalı üzerinden desteklenebileceğini göstermektedir.

Caraiani vd. (2015), araştırmalarında Bulgaristan, Macaristan, Polonya, Romanya ve Türkiye’den oluşan 5 yükselen ekonomi için 1980–2013 döneminde Granger nedensellik analizi yürütmüştür. Elde edilen sonuçlar, EC–GSYH ilişkisine dair hipotezlerin ülkeden ülkeye değiştiğini ve tek bir nedensellik modelinin genellenemeyeceğini göstermektedir.

Bilgili ve Öztürk (2015), G7 ülkeleri için 1980–2009 döneminde yürütölen çalışmalarında, benzer biçimde OLS ve ilave testler kullanarak $REC \Rightarrow GSYH$ yönünde nedensellik tespit etmiş ve yenilenebilir enerji tüketimindeki artışların büyümeyi desteklediği sonucuna ulaşmıştır.

Omri vd. (2015), araştırmalarında 17 gelişmiş ve gelişmekte olan ülke için 1990–2011 döneminde OLS temelli panel analiz gerçekleştirmiştir. Elde edilen sonuçlar, $REC/NEC - GSYH$ ilişkisi açısından karma bulgular ortaya koymakta ve tek bir hipotezin tüm ülkeler için genellenemeyeceğini göstermektedir.

Inglesi-Lotz (2016), OECD ülkelerini 1990–2010 döneminde inceleyen çalışmasında, Cobb–Douglas üretim fonksiyonuna dayalı çok değişkenli panel bir ereve uygulamıştır. Modelde yenilenebilir enerji tüketimi, reel GSYH, reel brüt sabit sermaye oluşumu, istihdam ve Ar-Ge harcamaları birlikte değerlendirilmiştir. Sonuçlar uzun dönemde iki yönlü denge ilişkisini göstermekte ve geri besleme hipotezini desteklemektedir.

Streimikiene ve Kasperowicz (2016), alışmalarında 18 AB ülkesi için 1995–2012 döneminde DOLS ve FMOLS tahmincileriyle yaptıkları panel analiz sonucunda, $EC \Rightarrow GSYH$ yönünde pozitif ve anlamlı katsayılar tespit ederek enerji tüketiminin ekonomik büyümenin önemli bir girdisi olduğunu göstermiştir.

Alper ve Oğuz (2016), araştırmalarında 8 yeni AB üyesi için 1990–2009 döneminde asimetric nedensellik testi ve ARDL yaklaşımı kullanmıştır. Bulgaristan’da $REC \Rightarrow GSYH$, Çekya’da $GSYH \Rightarrow REC$, Güney Kıbrıs Rum Yönetimi, Estonya, Macaristan, Polonya ve Slovenya’da ise $GSYH \neq REC$ bulguları tespit edilerek büyüme, koruma ve yansızlık hipotezlerinin ülkelere göre farklılaştığı gösterilmiştir.

Bhattacharya vd. (2016), çalışmasında En yüksek yenilenebilir enerji tüketimine sahip 38 ülkeyi 1991–2012 döneminde DOLS, FMOLS ve panel nedensellik çerçevesinde üç gruba ayırmıştır. I. grup için $REC \Rightarrow GSYH(+)$, II. grup için $REC \Rightarrow GSYH(-)$ ve III. grup için $REC \neq GSYH$ bulguları tespit edilerek hem büyüme hem de yansızlık hipotezlerinin ülke gruplarına göre değiştiği gösterilmiştir.

Kahia vd. (2016), araştırmalarında MENA ülkeleri için 1980–2012 döneminde Panel ECM metodolojisi ve FMOLS kullanılarak yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi ile

GSYH arasındaki ilişkileri analiz etmiştir. Kısa ve uzun dönem bulguları, REC/NEC–GSYH etkileşiminin yönünün dönemlere göre değiştiğini ve enerji bileşimi dinamiklerinin önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Bento vd. (2016), İtalya için 1960–2011 döneminde ARDL yaklaşımını kullanan çalışmalarında, GSYH'den yenilenebilir elektrik tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ($GSYH \Rightarrow REL$) tespit ederek koruma hipotezini yenilenebilir elektrik bileşeni için destekler nitelikte sonuçlar elde etmiştir.

Marques vd. (2016), Fransa için 2010–2014 döneminde ARDL sınır testi kullanılan çalışmalarında, yenilenebilir elektrik tüketiminden büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ($REL \Rightarrow GSYH$) tespit ederek büyüme hipotezini doğrular nitelikte sonuçlar elde etmiştir.

Koçak ve Şarkgüneşi (2017), 9 Karadeniz ve Balkan ülkesini 1990–2012 döneminde DOLS, FMOLS ve heterojen panel nedensellik çerçevesinde analiz eden çalışmalarında, birçok ülkede $REC \Rightarrow GSYH$ yönünde nedensellik tespit ederken, bazı ülkelerde karşılıklı etkileşim tespit ederek geri besleme hipotezini destekler nitelikte sonuçlar elde etmiştir.

Mahmoodi (2017), çalışmasında 11 gelişmekte olan ülke için 2000–2014 döneminde panel eşbütünleşme, VECM nedensellik ve DOLS yöntemleri kullanmıştır. Elde edilen $GSYH \Rightarrow REC$ bulguları, koruma hipotezinin (büyümenin yenilenebilir enerji talebini sürüklediği) geçerli olabileceğine işaret etmektedir.

Fotourehchi (2017), çalışmasında 42 gelişmekte olan ülke için 1990–2012 döneminde Granger nedensellik testi uygulamıştır. Elde edilen $REC \Rightarrow GSYH$ sonucu yenilenebilir enerji tüketiminin büyüme üzerinde pozitif ve tek yönlü bir etkiye sahip olduğunu ve büyüme hipotezini desteklediğini ortaya koymaktadır.

Menegaki vd. (2017), 25 ülkeyi kapsayan ve 2000–2012 dönemine odaklanan araştırmalarında ARDL temelli panel analiz, enerji tüketimi ve büyüme arasındaki uzun dönem ilişkileri incelemiştir. Elde edilen sonuçlar EC–GSYH etkileşiminin ülke grupları arasında farklılaştığını ve karma hipotezleri desteklediğini ortaya koymaktadır.

Yaşar (2017), çalışmasında 119 ülke için 1970–2015 dönemini kapsayan VECM-Granger panel analizi yürütmüştür. Bulgular, enerji tüketimi ve büyüme arasındaki ilişkinin küresel ölçekte heterojen olduğunu, bazı ülkelerde büyüme, bazılarında koruma veya yansızlık hipotezlerinin geçerli olabildiğini göstermektedir.

Magazzino (2017), araştırmasında İtalya için 1970–2007 döneminde Granger nedensellik testini kullanmıştır. Elde edilen $EC \Rightarrow GSYH$ bulgusu enerji tüketiminden büyümeye tek yönlü etkiye işaret ederek büyüme hipotezini desteklemektedir.

Rafindadi ve Öztürk (2017), araştırmalarında Almanya için 1970–2013 döneminde ARDL sınır testi ve VECM-Granger yaklaşımı kullanılarak yürütölen analiz sonucunda elde ettikleri $REC \Rightarrow GSYH(+)$ bulgusuyla yenilenebilir enerji tüketiminin büyüme üzerinde pozitif ve tek yönlü nedenselliğe sahip olduğunu göstermiştir.

Armeanu vd. (2017), çalışmalarında AB genelinde 2003–2014 dönemini kapsayan VECM-Granger analizi yürütmüştür. $GSYH \Rightarrow REC$ bulgusu elde edilerek büyümeden yenilenebilir enerji tüketimine doğru nedensellik tespit edilmiştir. Bu sonuç, AB’de artan gelir düzeyinin yeşil enerji talebini ve yatırımlarını beslediğini göstermektedir.

Furuoka (2017), araştırmasında Estonya, Letonya ve Litvanya’yı kapsayan ve 1992–2011 dönemine odaklanan panel analiz, birim kök ve eşbütünleşme testleri ile panel nedensellik testlerini birleştirmiştir. Elde edilen sonuçlar $GSYH \Rightarrow REL$ yönünde nedensellik göstererek Baltık ölkelerinde koruma hipotezini desteklemektedir.

Armeanu vd. (2017), Avrupa Birliği için 2003–2014 döneminde VECM-Granger çerçevesinde yapılan çalışmalarında, $GSYH \Rightarrow REC$ bulgusuyla büyümeden yenilenebilir enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik tespit etmiş ve koruma hipotezini AB bağlamında destekler nitelikte sonuçlar elde etmiştir.

Shahbaz vd. (2018), çalışmalarında BRICS ölkeleri için 1970–2015 döneminde NARDL modelini kullanarak enerji tüketimi ve büyüme arasındaki doğrusal olmayan ilişkiler incelemiştir. Kısa dönem için elde edilen $EC \rightarrow GSYH$ bulgusu büyüme hipotezini desteklerken, asimetrik etkiler politik tasarım açısından önem kazanmaktadır.

Tuğcu ve Topcu (2018), araştırmalarında G7 ölkeleri için 1980–2014 döneminde NARDL kullanılarak yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi ile büyüme arasındaki doğrusal olmayan ilişkiler incelemiştir. Sonuçlar, hipotezlerin hem enerji türüne hem de gelir düzeyine göre farklılaştığını ve asimetrik etkilerin belirgin olduğunu göstermektedir.

Gözcör vd. (2018), 29 ölkeler için 1990–2013 döneminde ARDL ve panel kantil regresyon (PQR) yöntemlerini kullanan çalışmalarında, $REC \Rightarrow GSYH$ ve $NEC \Rightarrow GSYH$ bulgularıyla her iki enerji türünün de büyüme üzerinde pozitif etkilere sahip olduğunu,

Halııoğlu ve Ketten (2018), çalışmalarında AB-15 ölkeleri için 1980–2015 döneminde ARDL modellerine dayalı analiz gerçekleştirmiştir. $REC/NEC-GSYH$ ilişkisine dair elde edilen karma sonuçlara göre bazı ölkelerde yenilenebilir ve yenilenemez enerji büyümeyi desteklerken, diğerlerinde yansızlık veya koruma hipotezleri geçerlidir.

Marques vd. (2018), İspanya için 2003–2016 döneminde Toda–Yamamoto nedensellik testi ve ARDL sınır testi uygulayan çalışmalarında, $EL \Rightarrow GSYH$ bulgusu ile elektrik tüketiminin büyümenin temel belirleyicilerinden biri olduğunu ortaya koymuştur.

Marinaş vd. (2018), araştırmalarında Orta ve Doğu Avrupa ülkeleri için 1990–2014 döneminde ARDL modelleriyle gerçekleştirdikleri analiz sonucu, $REC-GSYH$ ilişkisine dair karma sonuçlar elde ederek yenilenebilir enerji–büyüme bağının ülkeler arasında heterojen olduğunu tespit etmiştir.

Saad ve Taleb (2018), 12 AB ülkesi için 1990–2014 döneminde VECM-Granger yaklaşımı kullanılarak yaptıkları çalışmalarında $GSYH \Rightarrow REC$ bulgusunu elde etmiştir. Bu sonuç büyümeden yenilenebilir enerji talebine doğru tek yönlü nedenselliği ve koruma hipotezini desteklemektedir.

Özcan ve Öztürk (2019), çalışmalarında 17 yükselen ülke için 1990–2016 döneminde bootstrap panel nedensellik testi uygulamıştır. 16 ülkede elde edilen $REC \neq GSYH$ bulgusu yansızlık hipotezini desteklerken, yalnızca Polonya’da $REC \Rightarrow GSYH$ yönünde nedensellik tespit edilmiştir.

Wang ve Shao (2019), araştırmalarında G20 ülkeleri için 2001-2015 döneminde panel eşik ve verimlilik temelli (Malmquist) yaklaşımlar kullanmıştır. Yeşil ekonomik büyüme göstergeleri ile çevresel düzenleme göstergeleri ve makro kontroller birlikte modellenmiştir. Bulgular genel olarak ülkelerde GEG performansında artışı işaret etmektedir ve büyüme hipotezine paralel bir çerçeve sunmaktadır.

Taşkın vd. (2020), çalışmalarında OECD örneklemini için 1990-2015 döneminde GEG odaklı panel tahminler gerçekleştirmiştir. Modelde yeşil ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji payı ve ticari dışa açıklık temel değişkenlerdir. Sonuçlar REN ve TRD’nin GEG’i pozitif etkilediğini göstermekte ve büyüme hipotezini desteklemektedir.

Tutak ve Brodny (2022), çalışmalarında AB-27 için 2000–2019 döneminde sektörel panel/etki analizi yaparak sektör bazında yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik ve çevresel göstergeler ile konvansiyonel enerji kullanımı birlikte değerlendirmiştir. Sonuçlar politika rejimlerine duyarlı ve ülke-sektör heterojenliği belirgin etkilere işaret etmektedir.

Seyhan ve Yurttançıkılmaz (2023), çalışmalarında Hollanda için 1990–2021 döneminde yenilenebilir enerji arzı, yenilenebilir enerjiye yönelik Ar&Ge harcamaları, yenilenebilir enerjiye yönelik teknolojik inovasyonları modellemiştir. VECM mekanizmasının yürütüldüğü zaman serisi analizi sonucu elde edilen bulgular yenilenebilir enerji arzı ve yenilenebilir enerji teknolojileri alanındaki gelişmelerin ekonomik büyümeyi artırdığını göstermektedir.

Tablo 3.

AB ve Diğer Ülkeleri İnceleyen Araştırmalar (Özet)

Yıl	Yazar(lar)	Ülke / Bölge	Enerji / Değişkenler	Yöntem	Ana bulgu / Hipotez
2008	Lee ve Chang	Asya ekonomileri	EC–GSYH (+ kontroller)	Panel koentegrasyon, VECM	Birçok ülkede EC→GSYH ; büyüme hipotezi.
2009	Sadorsky	G7	REC, kişi başı gelir, petrol fiyatı	Panel koentegrasyon (FMOLS/DOLS/SUR)	Gelir $\uparrow \rightarrow$ REC $\uparrow$; koruma hipotezi (GSYH→REC).
2009	Soytaş ve Sarı	Türkiye	EC–GSYH	Toda–Yamamoto nedensellik	GSYH $\neq$ EC; anlamlı nedensellik yok, yansızlık .
2010	Tsani	Yunanistan	EC–GSYH	Granger nedensellik	EC→GSYH ; büyüme hipotezi.
2010	Costantini ve Martini	26 OECD (AB dâhil), sektörler	Sektörel EC–çıktı	Çok sektörlü panel koentegrasyon / nedensellik	Çoğu sektörde EC $\Leftrightarrow$ çıktı; geri besleme .
2010	Apergis ve Payne	13 Avrasya ülkesi	REC–GSYH	FMOLS, panel ECM	REC ve GSYH arasında uzun dönem ilişki; çoğu ülkede karşılıklı etkileşim, geri besleme .
2010	Apergis ve Payne (b)	Avrasya	REC–GSYH	Panel koentegrasyon, ECM	Hem kısa hem uzun dönemde REC $\Leftrightarrow$ GSYH; geri besleme .
2010	Apergis ve Payne (c)	OECD (AB dâhil)	REC–GSYH	Panel koentegrasyon, VECM	REC $\Leftrightarrow$ GSYH; geri besleme hipotezi.
2010	Pao ve Tsai	BRICS	EC, CO ₂ –GSYH	Panel koentegrasyon, nedensellik	EC/CO ₂ →GSYH; enerji ve emisyon odaklı büyüme hipotezi.
2010	Acaravcı ve Öztürk	19 AB ülkesi	EC–GSYH	ARDL panel yaklaşımı	Ülkeler arasında karma sonuçlar; büyüme, koruma ve yansızlık birlikte.
2010	Acaravcı ve Öztürk	Geçiş ekonomileri	EL–GSYH	Pedroni koentegrasyon, VECM–Granger	EL $\neq$ GSYH; birçok ülkede yansızlık .
2010	Ciarreta ve Zarraga	12 Avrupa ülkesi	EL–GSYH	VECM–Granger	Çoğu ülkede EL→GSYH ; elektrik için büyüme hipotezi.
2010	Öztürk ve Acaravcı	ALB, BGR, HUN, ROM	EC–GSYH	ARDL, VECM	Ülkelere göre büyüme, koruma, yansızlık hipotezleri eşzamanlı.
2011	Menegaki	27 Avrupa ülkesi	REC–GSYH	Panel RE, koentegrasyon / nedensellik	REC $\neq$ GSYH; yansızlık hipotezi.
2012	Apergis ve Danuletiu	Romanya	EC–GSYH	Panel ECM	EC→GSYH ; büyüme hipotezi.

Tablo 3 (Devamı)

2012	Fuinhas ve Marques	PT, IT, GR, ES, TR	EC-GSYH	ARDL	Uzun dönem EC-GSYH bağı çoğu ülkede var; yön ülkeye özgü, karma .
2012	Apergis ve Payne	80 ülke	REC, NEC-GSYH	Panel ECM	REC/NEC ile GSYH arasında çift yönlü nedensellik; geri besleme .
2012	Pirlogea ve Cicea	İspanya, Romanya, AB	EC-GSYH	Granger nedensellik	EC→GSYH, özellikle AB ölçeğinde büyüme hipotezi.
2012	Tuğcu vd.	G7	REC-GSYH	OLS	REC→GSYH; yenilenebilir için büyüme hipotezi.
2012	Marques ve Fuinhas	24 Avrupa ülkesi	REC/NEC-GSYH	OLS panel	Hem REC hem NEC büyümeyi etkiler; karma ama genel olarak pozitif .
2012	Vaona	İtalya	NEC-GSYH	Granger nedensellik	NEC→GSYH; fosil enerji için büyüme hipotezi.
2013	Tang vd.	Portekiz	EL-GSYH	VECM-Granger	Uzun dönem ilişki, GSYH→EL ; koruma hipotezi.
2013	Menegaki ve Öztürk	26 Avrupa ülkesi	EC-GSYH	Sabit etkiler panel	GSYH≠EC; Avrupa’da yansızlık eğilimi.
2013	Coers ve Sanders	OECD	EC-GSYH	IV/GMM	Genelde GSYH→EC ; koruma hipotezi.
2013	Kula	19 OECD	Yenilenebilir EL-GSYH	Panel koentegrasyon	GSYH→REC ; koruma hipotezi.
2013	Dergiades vd.	Yunanistan	EC-GSYH	Doğrusal olmayan Granger	EC→GSYH , asimetric etkiler; büyüme + asimetri.
2014	Wolde-Rufael	15 geçiş ekonomisi	EL-GSYH	Bootstrap panel Granger	Nedensellik yönü ülkeye göre değişiyor; karma .
2014	Okyay vd.	AB-15	NEC-GSYH	Granger nedensellik	NEC→GSYH ; fosil bağımlılığı ve büyüme hipotezi.
2014	Śmiech ve Papież	25 AB ülkesi	EC-GSYH	Bootstrap panel Granger	EC≠GSYH; AB’de yansızlık hipotezi.
2014	Ohler ve Fetters	20 OECD	REC alt bileşenleri-GSYH	Panel ECM, kaynak ayrıştırma	Çoğunlukla REC⇌GSYH; geri besleme , kaynağa göre farklı dinamikler.
2015	Doğan	Türkiye	REL, NEL-GSYH	VECM-Granger	REL→GSYH, NEL≠GSYH; yenilenebilir için büyüme , fosil için yansızlık.
2015	Caraiani vd.	BG, HU, PL, RO, TR	EC-GSYH	Granger nedensellik	Yön ülkeden ülkeye değişiyor; karma hipotez seti.
2015	Bilgili ve Öztürk	G7	REC-GSYH	OLS + ek testler	REC→GSYH; büyüme hipotezi.
2015	Omri vd.	17 ülke	REC/NEC-GSYH	Panel OLS	REC/NEC-GSYH ilişkisi karma , tek hipotez genellenemez.

Tablo 3 (Devamı)

2016	Inglesi-Lotz	OECD	REC, sermaye, istihdam, Ar-Ge-GSYH	Çok-değişkenli panel, Cobb-Douglas	Uzun dönemde REC $\leftrightarrow$ GSYH; geri besleme.
2016	Streimikiene ve Kasperowicz	18 AB ülkesi	EC-GSYH	DOLS, FMOLS	EC $\rightarrow$ GSYH; enerji hâlâ temel büyüme girdisi.
2016	Alper ve Oğuz	8 yeni AB üyesi	REC-GSYH	Asimetrik nedensellik, ARDL	BGR: REC $\rightarrow$ GSYH; CZE: GSYH $\rightarrow$ REC; diğerlerinde GSYH $\neq$ REC; karma (büyüme, koruma, yansızlık).
2016	Bhattacharya vd.	38 ülke	REC-GSYH	DOLS, FMOLS, panel nedensellik	3 grup: REC $\rightarrow$ GSYH(+), REC $\rightarrow$ GSYH(-), REC $\neq$ GSYH; büyüme + yansızlık birlikte.
2016	Kahia vd.	MENA	REC/NEC-GSYH	Panel ECM, FMOLS	Kısa/uzun dönemde yön değişiyor; karma, dönemsel etkiler.
2016	Bento vd.	İtalya	GSYH-REL	ARDL	GSYH $\rightarrow$ REL; yenilenebilir elektrikte koruma.
2016	Marques vd.	Fransa	REL-GSYH	ARDL sınır testi	REL $\rightarrow$ GSYH; büyüme hipotezi.
2017	Koçak ve Şarkgüneşi	9 Karadeniz/Balkan	REC-GSYH	DOLS, FMOLS, panel nedensellik	Birçok ülkede REC $\rightarrow$ GSYH, bazılarında çift yönlü; büyüme + geri besleme.
2017	Mahmoodi	11 gelişmekte ülke	GSYH-REC	Panel koentegrasyon, VECM, DOLS	GSYH$\rightarrow$REC ; koruma hipotezi.
2017	Fotourehchi	42 gelişmekte ülke	REC-GSYH	Granger nedensellik	REC $\rightarrow$ GSYH; büyüme hipotezi.
2017	Menegaki vd.	25 ülke	EC-GSYH	ARDL panel	Uzun dönem etkileşim ülke gruplarına göre farklı; karma.
2017	Yaşar	119 ülke	EC-GSYH	VECM-Granger panel	Küresel heterojenlik; büyüme, koruma, yansızlık birlikte.
2017	Magazzino	İtalya	EC-GSYH	Granger nedensellik	EC $\rightarrow$ GSYH; büyüme hipotezi.
2017	Rafindadi ve Öztürk	Almanya	REC-GSYH	ARDL, VECM-Granger	REC $\rightarrow$ GSYH(+); büyüme.
2017	Armeanu vd.	AB	GSYH-REC	VECM-Granger	GSYH $\rightarrow$ REC; AB'de koruma hipotezi.
2017	Furuoka	Estonya, Letonya, Litvanya	GSYH-REL	Panel birim kök, koentegrasyon, nedensellik	GSYH $\rightarrow$ REL; Baltık'ta koruma.
2018	Shahbaz vd.	BRICS	EC-GSYH	NARDL	Kısa dönemde EC $\rightarrow$ GSYH; asimetrik etkilerle büyüme + asimetri.

Tablo 3 (Devamı)

2018	Tuğcu ve Topcu	G7	REC/NEC-GSYH	NARDL	Etkiler enerji türüne ve gelir düzeyine göre değişiyor; karma ve asimetrik yapı.
2018	Gözcör vd.	29 ülke	REC, NEC-GSYH	ARDL, panel kantil regresyon (PQR)	REC→GSYH, NEC→GSYH; fakat etki kantile göre farklı; büyüme + dağılımsal heterojenlik .
2018	Halicioğlu ve Keten	AB-15	REC/NEC-GSYH	ARDL panel	Bazı ülkelerde enerji büyümeyi desteklerken, bazılarında yansızlık/koruma; karma .
2018	Marques vd.	İspanya	EL-GSYH	Toda-Yamamoto, ARDL	EL→GSYH; elektrik için büyüme hipotezi.
2018	Marinaş vd.	Orta/Doğu Avrupa	REC-GSYH	ARDL	REC-GSYH ilişkisi ülkeler arasında heterojen; karma .
2018	Saad ve Taleb	12 AB ülkesi	GSYH-REC	VECM-Granger	GSYH→REC; AB'de koruma .
2019	Özcan ve Öztürk	17 yükselen ülke	REC-GSYH	Bootstrap panel nedensellik	16 ülkede REC≠GSYH (yansızlık), yalnızca Polonya'da REC→GSYH; yansızlık baskın .
2019	Wang ve Shao	G20	GEG, çevresel düzenleme, makro kontroller	Panel eşik, Malmquist verimlilik	Çevre düzenleme ve verimlilik artışı GEG'i destekler; yeşil büyüme .
2020	Taşkın vd.	OECD	GEG, REN, TRD	Panel tahminler	REN ve TRD→GEG; büyüme ve dışa açıklık kanalıyla yeşil büyüme.
2022	Tutak ve Brodny	AB-27, sektörler	REC, konvansiyonel enerji, çıktı, emisyon	Sektörel panel / etki analizi	Sonuçlar politika rejimine ve ülke-sektör heterojenliğine çok duyarlı; dönüşüm hızları farklı.
2023	Seyhan ve Yurttañıkamaz	Hollanda	GSYH, REN, R&D, TI	Johansen Eşbütünleşme, VECM	REN, R&D ve TI, GSYH üzerinde pozitif etkili; büyüme hipotezi

2.3.5.2. Türkiye’yi İnceleyen Araştırmalar

Soytaş ve Sarı (2009), Türkiye’de 1960–2000 dönemini kapsayan çalışmalarında Toda–Yamamoto nedensellik testiyle toplam enerji tüketimi ve GSYH arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Elde edilen $GSYH \neq EC$ bulgusu, özellikle erken dönem Türkiye ekonomisinde enerji–büyüme ilişkisinin zayıf veya yönsüz olabileceğine işaret etmektedir.

Fuinhas ve Marques (2012), çalışmalarında Portekiz, İtalya, Yunanistan, İspanya ve Türkiye’yi kapsayan 1965–2009 dönemine ilişkin ARDL analizi yürütmüştür. Elde edilen bulgular Türkiye’nin de dâhil olduğu Akdeniz havzasında enerji tüketimi–büyüme ilişkisinin ülkeden ülkeye farklılaştığını, bazı ekonomilerde büyüme, bazılarında ise enerji talebi hipotezinin baskın olduğunu ortaya koymuştur.

Öcal ve Aslan (2013), çalışmalarında Türkiye için 1980–2006 döneminde ARDL sınır testi ve nedensellik analizi uygulamıştır. Yenilenebilir enerji tüketimi ve reel GSYH değişkenleri birlikte değerlendirilir. Bulgular GSYH’den yenilenebilir enerjiye tek yönlü ilişkiyi gösterir ve koruma hipotezini destekler.

Doğan (2015), 1990–2012 döneminde yenilenebilir ve yenilenemez elektrik tüketimi ile GSYH’yi birlikte modelleyen çalışma, $REL \Rightarrow GSYH$ ve $NEL \neq GSYH$ bulgularıyla, Türkiye’de büyümenin özellikle yenilenebilir elektrik kanalı üzerinden desteklenebileceğini, fosil elektrik tüketiminin ise daha sınırlı bir rol oynadığını göstermektedir.

Caraiani vd. (2015), araştırmalarında Bulgaristan, Macaristan, Polonya, Romanya ve Türkiye için 1980–2013 döneminde gerçekleştirdikleri panel nedensellik analizi sonucunda Türkiye’nin de yer aldığı yükselen ekonomilerde $EC-GSYH$ ilişkisinin homojen olmadığını ve ülke-özel politika tasarımının önemini vurgulamıştır.

Bakırtaş ve Çetin (2016), çalışmalarında G20 panelinde 1992–2010 döneminde uzun dönem ilişkileri araştırmıştır. Kişi başına GSYH ile kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki esneklikler tahmin edilmiştir. Bulgular GSYH’deki %1’lik artışın YE tüketimini %0,59 artırdığını, Türkiye için uzun dönemde anlamlı etkinin görülmediğini göstermektedir (koruma/ülke-özel farklılık).

Doğan (2016), Türkiye’yi 1988–2012 döneminde Johansen, ARDL ve VECM-Granger testleriyle inceleyen çalışmasında kısa ve uzun dönem ayrımı yapmıştır. Enerji tüketimi, GSYH ve CO_2 gibi göstergeler analiz edilmiştir. Bulgular kısa dönemde koruma, uzun dönemde geri besleme hipotezlerinin geçerli olduğunu göstermektedir.

Koçak ve Şarkgüneşi (2017), çalışmalarında Karadeniz/Balkan panelinde Türkiye de dâhil olmak üzere 1990–2012 döneminde Pedroni koentegrasyon ve Dumitrescu–Hurlin

nedensellik testleri uygulamıştır. Panel genelinde yenilenebilir enerji ve GSYH birlikte değerlendirilmiştir. Sonuçlar panelde geri besleme, Türkiye özelinde ise yansızlık hipotezini işaret etmektedir.

Durğun ve Durğun (2018), araştırmalarında Türkiye için 1980–2015 döneminde ARDL ve Toda–Yamamoto nedensellik testi uygulamıştır. Yenilenebilir enerji tüketimi ve GSYH değişkenlerinin ele alındığı çalışmadan elde edilen sonuçlar yenilenebilir enerji tüketiminden büyümeye tek yönlü nedenselliği ortaya koymakta ve büyüme hipotezini desteklemektedir.

Alper (2018), Türkiye’de 1990–2017 dönemini Bayer–Hanck eşbütünleşme ve Toda–Yamamoto nedensellik çerçevesinde inceleyen çalışmasında, yön testlerine odaklanmıştır. Yenilenebilir enerji tüketimi ile GSYH modellenmiştir. Bulgular büyümeden yenilenebilir enerjiye tek yönlü ilişkiyi göstermekte ve koruma hipotezini desteklemektedir.

Özcan ve Öztürk (2019), araştırmalarında 17 gelişmekte olan ülke için 1990–2016 döneminde bootstrap panel nedensellik uygulamıştır. Yenilenebilir enerji tüketimi ve GSYH değişkenleri yön bağı açısından test edilmiştir. Bulgular Polonya hariç ülkelerde yansızlık hipotezini desteklemekte ve örneklem heterojenliğini vurgulamaktadır.

Demirgil ve Birol (2020), araştırmalarında Türkiye için 1980–2018 döneminde Toda–Yamamoto nedensellik analizi yürütmüştür. Yenilenebilir enerji tüketimi ile GSYH arasındaki yön ve büyüklük rejimlere göre incelenmiştir. Bulgular ilişkinin alt dönemlere ve rejimlere duyarlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.

Türkiye'yi İnceleyen Araştırmalar (Özet)

Yıl	Yazar(lar)	Kapsam	Enerji / Değişkenler	Yöntem	Ana bulgu / Hipotez
2009	Soytaş ve Sarı	Türkiye, 1960–2000	EC–GSYH	Toda–Yamamoto nedensellik	GSYH≠EC; erken dönem için yansızlık hipotezi.
2012	Fuinhas ve Marques	PT, IT, GR, ES, TR, 1965–2009	EC–GSYH	ARDL	Akdeniz’de EC–GSYH bağı ülkeden ülkeye farklı; TR dâhil karma hipotezler.
2013	Öcal ve Aslan	Türkiye, 1980–2006	REC–GSYH	ARDL sınır testi, nedensellik	GSYH→REC; yenilenebilir için koruma hipotezi.
2015	Doğan	Türkiye, 1990–2012	REL, NEL–GSYH	VECM–Granger	REL→GSYH, NEL≠GSYH; büyüme özellikle yenilenebilir elektrik üzerinden.
2015	Caraiani vd.	BG, HU, PL, RO, TR, 1980–2013	EC–GSYH	Panel Granger	TR dâhil yükselen ekonomilerde yön heterojen; tek model genellenemez .
2016	Bakırtaş ve Çetin	G20 (TR dâhil), 1992–2010	REC–GSYH (kişi başı)	Panel uzun dönem esneklikler	Panelde GSYH→REC (%1 artış → REC %0,59); TR için uzun dönemde anlamlı etki yok; koruma + ülke-özel farklılık .
2016	Doğan	Türkiye, 1988–2012	EC, GSYH, CO ₂	Johansen, ARDL, VECM–Granger	Kısa dönemde koruma, uzun dönemde geri besleme hipotezleri.
2017	Koçak ve Şarkgüneşi	9 Karadeniz/Balkan (TR dâhil), 1990–2012	REC–GSYH	Pedroni koentegrasyon, Dumitrescu–Hurlin	Panelde geri besleme, Türkiye özelinde yansızlık olasılığı.
2018	Durğun ve Durğun	Türkiye, 1980–2015	REC–GSYH	ARDL, Toda–Yamamoto	REC→GSYH; yenilenebilir enerji için büyüme hipotezi.
2018	Alper	Türkiye, 1990–2017	REC–GSYH	Bayer–Hanck eşbütünleşme, Toda–Yamamoto	GSYH→REC; koruma hipotezi.
2019	Özcan ve Öztürk	17 gelişmekte ülke (TR dâhil), 1990–2016	REC–GSYH	Bootstrap panel nedensellik	16 ülkede REC≠GSYH; TR de dâhil yansızlık ağırlıklı; sadece Polonya’da REC→GSYH.
2020	Demirgil ve Birol	Türkiye, 1980–2018	REC–GSYH	Toda–Yamamoto, rejim / alt dönem analizi	Nedensellik yönü rejimlere ve alt dönemlere göre değişiyor; kırılmalı ve zamanla değişen yapı.

Bu çalışma, mevcut literatürdeki bir dizi dağınık hattı aynı analitik çerçevede birleştirerek hem kavramsal hem de ampirik anlamda üç düzeyde özgün bir boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

İlk olarak, enerji-büyüme literatürünün büyük kısmı hâlâ klasik GSYH göstergesine dayalı EC/REC-GSYH ilişkisine odaklanmakta; yenilenebilir enerji (REN), teknolojik yenilik (TI) ve dışa açıklık (TRD) değişkenlerini çoğu zaman birbirinden kopuk, tek kanallı veya kısmi modeller içinde ele almaktadır. Bu tez ise, yeşil ekonomik büyüme (GEG) kavramını merkeze alarak, çevresel zarar ayarlı bileşik bir büyüme göstergesini doğrudan bağımlı değişken olarak kullanmakta ve REN, TI ve TRD'yi aynı modelde birlikte içselleştirmektedir. Böylece hem modern büyüme teorisinin çevre ekonomisiyle entegrasyonuna, hem de GEG-REN-TI-TRD etkileşiminin birlikte test edildiği, literatürde nadiren kullanılan bütüncül bir çerçeve sunmaktadır.

İkinci olarak, mevcut ampirik çalışmalar genellikle ya sadece enerji-büyüme ilişkisine (EC/REC-GSYH), ya sadece Çevresel Kuznets Eğrisi bağlamında gelir-kirlilik dinamiklerine, ya da sadece yeşil büyüme endeksleri ile sınırlı ülke gruplarına odaklanmaktadır. Bu çalışma ise, literatürü GEG çerçevesinde yeniden sınıflandırarak dört eksenli (GEG-REN-TI-TRD entegrasyonu; enerji-büyüme teorisi ve çevresel boyut; uluslararası panel bulguları; Türkiye odaklı zaman serisi ve paneller) tek bir analitik bütün içinde yan yana getirmekte; böylece enerji-büyüme, ÇKE ve yeşil büyüme hatlarını aynı tartışma zemini üzerinde konuşturan senkronize bir literatür okuması yapmaktadır. Bu yeniden sınıflandırma, özellikle Türkiye literatürünü uluslararası panel bulgularıyla doğrudan karşılaştırılabilir hâle getirerek, Türkiye'nin konumunu AB ve diğer ülke grupları içinde daha net görmeyi sağlayan özgün bir sentez sunmaktadır.

Üçüncü olarak, ampirik açıdan pek çok çalışma ya yalnızca AB/OECD panellerine (çoğunlukla klasik GSYH ile), ya da sadece Türkiye için zaman serisi analizlerine odaklanmakta; AB-Türkiye ekseninde, GEG göstergesi ve REN-TI-TRD bileşenlerini aynı panel modelde bir araya getiren, ikinci nesil testlere dayalı karşılaştırmalı çalışmalar son derece sınırlı kalmaktadır. Bu tez, AB ülkeleri ve Türkiye'yi aynı panel çerçevede ele alarak, yeşil ekonomik büyüme dinamiklerinin bölgesel (AB) ve ülke-özel (Türkiye) düzeyde nasıl farklılaştığını sistematik biçimde test etmekte; AB literatüründeki bulgularla Türkiye'nin zaman serisi çıktıları arasında doğrudan köprü kuran bir tasarım önermektedir. Böylece, örneğin AB'de sıkça gözlenen $GDP \Rightarrow REC$ türü koruma hipotezi ile Türkiye'de dönemlere göre değişen $REC \Rightarrow GSYH$ veya $GSYH \Rightarrow REC$ bulguları, aynı metodolojik zemin üzerinde karşılaştırılabilmektedir.

Dördüncü olarak, yöntemsel açıdan mevcut literatürde hâkim olan ARDL, Johansen, klasik panel koentegrasyon ve birinci nesil panel nedensellik testleri, yatay kesit bağımlılığı, eğim heterojenliği, yapısal kırılmalar ve asimetrisi çoğu kez yeterince içermemektedir. Bu çalışma, literatürde vurgulanan bu yöntemsel duyarlılığı dikkate alarak, ikinci nesil panel testleri ve heterojen nedensellik yaklaşımlarını (örneğin Emirmahmutoğlu–Köse tipi panel nedensellik, CSD ve heterojenlik testleri, kırılmalı eşbütünleşme vb.) kullanmakta; böylece hem AB–Türkiye karşılaştırmasını daha güvenilir bir zemine oturtmakta hem de enerji–büyüme–çevre ilişkisine dair hipotezlerin yöntem seçimine olan duyarlılığını azaltmayı hedeflemektedir. Bu yönüyle tez, enerji–büyüme literatüründeki “yöntemsel kırılganlık” sorununa da doğrudan cevap niteliği taşımaktadır.

Son olarak, çalışma, politika boyutunda da özgün bir katkı üretmektedir. AB bağlamında Fit for 55, REPowerEU ve benzeri yeşil dönüşüm paketlerinin sektörel enerji tüketimi ve emisyonlar üzerindeki etkilerini inceleyen literatürü, Türkiye’nin yenilenebilir enerji yatırımları ve dışa açıklık dinamikleriyle aynı çerçevede ele alarak, AB–Türkiye yeşil yakınsama/ıraksama tartışmasını GEG–REN–TI–TRD ekseninde somut ampirik kanıtlarla beslemeyi amaçlamaktadır. Böylece bu tez çalışması, yalnızca “enerji–büyüme ilişkisi”ni değil, aynı zamanda yeşil dönüşümün finansman, teknoloji ve ticaret kanalları üzerinden nasıl şekillendiğini de ortaya koyan, hem teorik hem yöntemsel hem de politika odaklı bütüncül bir katkı sunmaktadır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YEŞİL EKONOMİ ÇERÇEVESİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ VE EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: TÜRKİYE VE AVRUPA BİRLİĞİ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

3.1. Veri Seti ve Model

Bu çalışmada model spesifikasyonu, yeşil ekonomi kuramsal çerçevesi ve çevreci modernleşme-içsel büyüme yaklaşımlarının öngördüğü çıktı-girdi ayrımı temelinde kurgulanmıştır. Buna göre bağımlı değişken olarak yeşil ekonomik büyüme (GEG), temel açıklayıcı değişken olarak yenilenebilir enerji tüketimi (REN) ve yapısal/kurumsal farklılıkları kontrol eden ilave bağımsız değişkenler olarak teknolojik yenilik (TI) ile dışa açıklık (TRD) modele dâhil edilmiştir. Bu tercih, hem yeşil ekonomi literatüründeki teorik konumlanma hem de 2020 sonrası ampirik çalışmaların metodolojik yönelimi ile uyumludur (Sohag vd., 2019; Taşkın vd., 2020).

Öncelikle, GEG'in bağımlı değişken olarak seçilmesi, ekonomik büyümenin niceliğinden çok niteliğini merkeze alan yeşil ekonomi yaklaşımının doğal sonucudur. Klasik reel kişi başına GSYH, üretim hacmini ölçmekte ancak üretim sürecinin yarattığı emisyonlar, enerji/karbon yoğunluğu ve ekolojik tahribat gibi maliyetleri yansıtamamaktadır. GEG göstergesi ise, çevresel zarar ayarlı çıktı niteliğiyle, büyümenin ekosistem üzerindeki baskısını içselleştiren bir sonuç değişkeni sunmaktadır (Daly, 2007; Sohag vd., 2019). Bu nedenle, bu tezde temel sorunsal enerji, teknoloji ve dışa açıklık yapısındaki değişimlerin, büyümenin kalitesini nasıl etkilediğidir. Dolayısıyla GEG'in çıktıyı, REN-TI-TRD üçlüsünün ise bu çıktıyı şekillendiren temel girdileri temsil etmesi analitik açıdan tutarlıdır.

Yenilenebilir enerji tüketiminin (REN) ana bağımsız değişken olarak konumlandırılması, hem teorik hem de politika açısından belirgindir. Yeşil ekonomi ve çevreci modernleşme literatürü, enerji dönüşümünü yeşil büyümenin “çekirdek kanalı” olarak tanımlar: yenilenebilir payındaki artış, karbon yoğunluğunu ve fosil yakıt ithalat faturasını azaltırken, enerji güvenliğini güçlendirerek yatırım kararlarını ve verimlilik artışlarını desteklemektedir (UNEP, 2011; Mol ve Sonnenfeld, 2000). AB bağlamında Avrupa Yeşil Mutabakatı, Fit for 55 ve REPowerEU gibi paketler; Türkiye bağlamında ise YEKDEM, YEKA ihaleleri ve şebeke yatırımları, yenilenebilir enerjiyi doğrudan politik müdahale konusu hâline getirmiştir. Bu nedenle REN, modelde “politika ile doğrudan yönlendirilebilen

temel girdi” olarak ele alınmakta ve GEG üzerindeki uzun dönem etkisi bu çalışmanın ana odağını oluşturmaktadır.

Teknolojik yenilik (TI) ve dışa açıklık (TRD) ise, bir yandan yeşil ekonomik büyümenin kendi başına önemli belirleyicileri, diğer yandan da yenilenebilir enerji–büyüme ilişkisinde yapısal bağlamı temsil eden kontrol değişkenleridir. İçsel büyüme kuramı Ar-Ge, patentler ve bilgi birikimini kalıcı verimlilik artışının kaynağı olarak tanımlamaktadır (Romer, 1990; Aghion ve Howitt, 1992). Eko-inovasyon literatürü ise, temiz teknolojilerin yayılımı ve enerji verimliliği artışları sayesinde aynı çıktının daha az enerji ve emisyonla üretilebildiğini vurgulamaktadır. Bu çerçevede TI, hem GEG’in doğrudan belirleyicisi, hem de REN ile yüksek korelasyona sahip bir yapısal unsur olduğundan, modele dâhil edilmediğinde yenilenebilir enerjinin katsayısını yukarı veya aşağı yönde yanıltılabilecek bir ihmal edilmiş değişken niteliği taşır. TI’yı kontrol değişkeni olarak eklemek, yenilenebilir enerji kullanımının GEG üzerindeki saf etkisini, yenilik kapasitesinin yarattığı verimlilik ve teknoloji etkilerinden ayırtırmaya imkân tanımaktadır (Sohag vd., 2019; Taşkın vd., 2020).

Benzer şekilde, dışa açıklık (TRD) da ticaret–çevre etkileşimi bağlamında kritik bir kontrol değişkenidir. Ticaretin çevresel etkileri; ölçek etkisi (daha büyük üretim hacmi), bileşim etkisi (ihracat ve ithalatın sektör yapısı) ve teknik etki (teknoloji ve çevre standartlarının transferi) üzerinden tartışılmaktadır (Antweiler vd., 2001). Dışa açıklık bir yandan yeşil teknolojilerin ithali, bilgi ve sermaye hareketleri yoluyla GEG’i destekleyebilirken; diğer yandan kirletici sektörlere dayalı ihracat yapısı kirlilik sığınağı etkisini güçlendirebilir. Dolayısıyla TRD, hem GEG’in düzeyini ve dinamiklerini etkileyen, hem de REN ve TI ile yakından ilişkili bir yapısal değişkendir. Modelde TRD’yi kontrol değişkeni olarak dâhil etmek, yenilenebilir enerji–GEG ilişkisinin, ticaretin bileşim ve teknoloji yayılımı etkileriyle karışmasını önleyerek, daha sağlıklı katsayı tahmini yapılmasını sağlamaktadır (Shahbaz vd., 2013; Sinha vd., 2017).

Özetle, bu çalışmada GEG’in bağımlı değişken, REN’in temel açıklayıcı değişken, TI ve TRD’nin ise kontrol niteliğinde ilave bağımsız değişkenler olarak seçilmesi, (i) yeşil ekonomide büyümenin kalitesini çıktı olarak konumlandıran teorik çerçeveye, (ii) enerji dönüşümünü ana politika kanalına yerleştiren AB ve Türkiye stratejileriyle ve (iii) ihmal edilmiş değişken yanlılığını azaltmayı hedefleyen modern panel ekonometrisi yaklaşımıyla uyumludur. Böylece model, yenilenebilir enerji kullanımındaki artışın yeşil ekonomik büyüme üzerindeki etkisini, yenilik kapasitesi ve dışa açıklık koşulları sabitken sınamak, enerji–büyüme ilişkisinin AB ve Türkiye bağlamındaki gerçek boyutunu daha güvenilir biçimde ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Çalışmanın uygulama bölümünde anakütle olarak Avrupa Birliği'nin 27 üye ülkesi ile Türkiye ele alınmış; 1990–2022 dönemini kapsayan yıllık frekansta dengeli/balanslı bir panel oluşturmak hedeflenmiştir. Planlama aşamasında, 1990 öncesi dönemde özellikle yenilenebilir enerji ve teknolojik yenilik göstergelerinde hem ülke hem de değişken bazında eksikliklerin yoğun olduğu görülmüş; bu nedenle örneklem başlangıcı 1990 yılından itibaren belirlenmiştir. Model spesifikasyonu aşamasında; literatür analizi sonucu referans model olarak belirlenen Sohag vd. (2019) ve Taşkın vd. (2020)'nin geliştirdikleri yeşil ekonomik büyüme ekonometrik tahmin modelleri baz alınmıştır. Oluşturulan çok değişkenli panel veri modeli; yeşil ekonomik büyüme (GEG – 2015 ABD doları sabit fiyatlarıyla kişi başına GSYH'den partikül emisyon hasarı, karbondioksit hasarı, doğal kaynakların tükenmesi ve net orman tükenmesinin GSYH ile çarpımının çıkarılması formülasyonu ile hesaplanmaktadır), yenilenebilir enerji tüketimi (REN - yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimi içindeki yüzdesi), teknolojik yenilik (TI – toplam yerleşik olmayan ve yerleşik patent başvuruları sayısı) ve ticari dışa açıklık (TRD – mal ve hizmet ithalat+ihracatının GSYH'ye oranı) değişkenlerini içermektedir. Model örneklemini oluşturan ülkeler aşağıdaki tabloda verilmektedir:

Tablo 5.

Model Örneklemini Oluşturan AB Ülkeleri (AB-27 Grubu) ve Türkiye

Almanya	Belçika	Polonya
Fransa	İsveç	Çekya
İtalya	Danimarka	Macaristan
İspanya	Avusturya	Slovakya
Hollanda	Finlandiya	Romanya
Bulgaristan	Estonya	Portekiz
Yunanistan	Letonya	Lüksemburg
Hırvatistan	Litvanya	Güney Kıbrıs Rum Yönetimi
Slovenya	İrlanda	Malta
Türkiye		

Kaynak: Eurostat

Hem AB panel literatüründeki coğrafi/kurumsal terminolojiye, hem de ilerleyen bölümdeki nedensellik ve alt grup ortalama tahminci uygulamalarındaki ampirik literatürde yerleşik teknik ayrımlara dayanarak aşağıdaki tabloda verilen alt grup sınıflandırması tercih edilmiştir. Kullanılan “Çekirdek/Kuzey-Batı, CEEC, Güney ve Baltık” alt-grupları, resmî bir AB sınıflandırması değildir. Ancak bu alt grup sınıflandırması; UN M49'un Avrupa alt-bölgeleri ve Eurostat/EuroVoc terminolojisi (örn. CEEC, Baltic states) ile EMU literatüründe yaygın “core-periphery / North-South” ayrımlarının birlikte dikkate alınmasıyla, analitik amaçla oluşturulmuştur (UN M49; Eurostat–CEEC; EuroVoc–Baltic; Lane, 2012).

Tablo 6.

AB Ülkeleri Panel Alt-Grupları

Alt Grup (Panel)	Ülkeler	Sayı
Çekirdek / Kuzey-Batı	Almanya, Fransa, Hollanda, Belçika, İsveç, Danimarka, Avusturya, Finlandiya, İrlanda, Lüksemburg	10
CEEC (Orta-Doğu Avrupa)	Polonya, Çekya, Macaristan, Slovakya, Romanya, Bulgaristan, Slovenya, Hırvatistan	8
Güney	İtalya, İspanya, Portekiz, Yunanistan, Güney Kıbrıs Rum Yönetimi, Malta	6
Baltık	Estonya, Letonya, Litvanya	3

Kaynak: United Nations Statistics Division (M49) Coğrafi-İstatistiki Standartlar

Yeşil ekonomi çerçevesinde yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme ilişkisini teknolojik yenilik ve dışa açıklık değişkenlerini de analize dahil ederek spesifikasyonu oluşturulan ekonometrik tahmin modeli aşağıda verilmektedir:

$$GEGit = \beta_0 + \beta_1 RENit + \beta_2 TIit + \beta_3 TRDit + \varepsilon it$$

Modeldeki değişkenlere ait tanımlamalar aşağıdaki Tablo 7’de sunulmaktadır:

Tablo 7.

Modeli Oluşturan Değişkenlerin Tanımları ve Kaynakları

Değişken	Tanım	Birim
Yeşil ekonomik büyüme (GEG)	Partikül emisyonu hasarı, karbon dioksit (CO ₂) hasarı, doğal kaynak tükenmesi ve enerji tüketimi gibi çevresel-ekonomik bileşenleri birlikte dikkate alan bileşik (kompozit) gelişme göstergesi.	GSYH cinsinden
Yenilenebilir enerji tüketimi (REN)	Yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimi içindeki payı	Toplam nihai enerji tüketimi içindeki %’si
Teknolojik Yenilik (TI)	Patent İşbirliği Anlaşması kanalıyla veya ulusal bir patent ofisine yapılan dünya geneli patent başvuruları, yerleşik olmayan ve yerleşik	Toplam miktar
Ticari dışa açıklık (TRD)	Mal ve hizmet ihracatı ile ithalatının toplamının GSYH’ye oranı	GSYH içindeki %’si
Partikül emisyonu hasarı (PM2.5)	Nüfusun 2,5 mikrometreden küçük çaplı partiküllere (PM2.5) maruziyetinden kaynaklanan sağlık etkilerinin parasal karşılığının ekonomide yarattığı kayıp; ulusal gelir içindeki pay olarak izlenir	GSYH içindeki %’si
Karbon dioksit hasarı	Sosyal karbon maliyeti (SCC) esas alınarak, kaynaklı fosil yakıt ve çimento 1 ton CO ₂ emisyonunun neden olduğu refah kaybının ulusal emisyonlarla çarpımı; ülke toplam hasarının ulusal gelir içindeki payı	GSYH içindeki %’si
Doğal kaynak tükenimi	Enerji tükenmesi, maden tükenmesi ve net orman tükenmesi kalemlerinin toplamı; doğal kaynak stoklarındaki azalışın ekonomik karşılığının gelir içindeki payı	GSYH içindeki %’si
Kişi başına GSYH	Alıcı fiyatlarıyla GSYH’nin nüfusa bölünmesi; satın alma gücü ve enflasyondan arındırılmış sabit fiyatlarla ifade edilir	2015 sabit fiyatlarıyla ABD doları

Kaynak: World Development Indicators (WDI)

Modeli oluşturan değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler aşağıdaki Tablo 8’de verilmektedir:

Tablo 8.

Modeli Oluşturan Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri

Değişken	Gözlem Sayısı	Ortalama	Std. Sapma	Min	1. Çeyrek	Medyan	3. Çeyrek	Maks
GEG	644	29225.15	9158.64	100.00	25136.16	29995.91	34951.82	51761.35
REN	644	29.01	11.91	8.68	18.45	28.65	39.24	49.85
TI	644	1.98	0.82	-0.42	1.43	1.99	2.54	4.46
TRD	644	89.44	20.74	32.55	75.95	89.61	103.42	157.45

Çalışmada kullanılan tüm veriler yıllık frekansta olup tam logaritmik modele uygun şekilde dönüşüm yapılmıştır. Veri setinin analizinde Stata ve Gauss ekonometrik paket program yazılımlarından yararlanılmıştır.

3.2. Yöntem

Zaman serisi analizlerinde, tek bir değişkenin belirli aralıklarla (yıllık, çeyreklik, aylık vb.) aldığı değerler zaman içinde izlenmektedir. Yatay kesit çalışmalarında ise belirli bir anda, çok sayıda birime ait gözlemler kullanılarak bir ya da birkaç değişken arasındaki ilişkiler incelenmektedir. Panel veri analizi bu iki yaklaşımı birleştirmekte, aynı birimlerin (örneğin ülke, şehir veya eyalet) farklı dönemlerdeki gözlemlerini bir araya getirerek hem zamansal hem de kesitsel boyutu aynı anda değerlendirmektedir (Gujarati ve Porter, 2012, s. 591). Bu birleşik yapı, birimler arası farklılıkların ve zaman içindeki değişimlerin birlikte modellenmesine olanak verdiği için, yalnızca zaman serisi ya da yalnızca yatay kesit verilerine dayanan çalışmalara kıyasla daha güvenilir çıkarımlar sunmaktadır. Yatay kesitte çoğunlukla birimler arası farklar öne çıkarken, panel veri yapısı hem “gruplar arası” hem de “grup içi” değişkenliği eşzamanlı olarak yakalamaktadır. Ayrıca panel veri, iki veri türünü harmanladığı için daha fazla bilgi ve daha yüksek serbestlik derecesi sağlamaktadır. Bu da çoklu doğrusal bağlantı sorununu görece azaltmakta ve tahminlerin tutarlılığını/sapmasızlığını güçlendirmektedir (Baltagi, 1995).

Panel verinin zaman serisi ve yatay kesite göre başlıca üstünlükleri olarak aşağıdakiler özetlenebilir (Gujarati ve Porter, 2012, s. 592).

- (i) Heterojenliği içselleştirme: Panel veri, ülkeler/şehirler/eyaletler gibi benzer görünse de aslında homojen olmayan birimlerin özelliklerini modele dâhil etmeye elverişlidir. Birimlere özgü etkiler ve uygun tekniklerle bu heterojen yapı dikkate alınabilmektedir.

- (ii) Daha fazla bilgi ve serbestlik derecesi: Zaman serisi ve yatay kesit unsurlarını birlikte içerdiğinden veri zenginliği artmaktadır. Bu da çoklu doğrusal bağlantının etkisini azaltmakta ve daha tutarlı, daha az sapmalı tahminlere imkân vermektedir (Baltagi, 1995).
- (iii) Değişimi izleme gücü: Yatay kesitte yinelenen örnekleme mantığıyla birimlerin zaman içindeki hareketleri takip edilebilmektedir. Örneğin işgücü piyasasındaki dalgalanmalar panel veri sayesinde hem birimler arasında hem de zaman boyunca daha net izlenebilmektedir.
- (iv) Gizli etkileri açığa çıkarma: Sadece zaman serisiyle ya da sadece yatay kesitle kolayca yakalanamayan bazı politika/kurumsal etkiler (örneğin asgari ücret uygulamasının gelir ve istihdam üzerindeki yansımaları) panel veri çerçevesinde daha sağlıklı biçimde ölçülebilmektedir.
- (v) Karmaşık yapıları ele alma: Teknolojik değişim, ölçek ekonomileri gibi çok boyutlu ve zamanla evrilen olgular panel veri ile daha rahat modellenebilmektedir. Ayrıca geniş gözlem seti, firma düzeyinde toplulaştırmadan doğabilecek sapmaları da görece sınırlamaktadır (Gujarati ve Porter, 2012, s. 592).

Panel verinin başlıca güçlükleri ise şunlardır:

- (i) Veri erişimi ve bütünlüğü: Uygulamada zaman boyutunun kısa olması, bazı birimler için gözlem eksikliği ya da değişkenlerin tam toplanamaması sık karşılaşılan sorunlardır. Böyle durumlarda örneklem kapsamı ya da yöntem seçimi yeniden gözden geçirilebilir.
- (ii) Kısa/uzun panel ayrımı ve asimptotik meseleler: Çoğu uygulamada birim sayısı (N) zaman boyutundan (T) büyüktür (“kısa panel”); bu yapı serbestlik derecesi ve asimptotik özellikler açısından dikkat gerektirmektedir. T’nin N’den büyük olduğu “uzun panel”de ise farklı teknik ve varsayımlar öne çıkmaktadır.
- (iii) Heterojenlik ve alt-gruplama ihtiyacı: Ülkeler/şehirler/eyaletler arası yapısal farklılıklar nedeniyle homojenlik varsayımı çoğu kez gerçekçi değildir. Bu nedenle, homojen olmayan ana örneklem içinde benzer özelliklere sahip alt gruplar tanımlanıp her alt grup için ayrı model tahminleri yapmak gerekebilir (Güriş, 2015).

Özetle, panel veri analizi; birimler arası farklılıkları ve zaman içindeki dinamikleri aynı çatı altında yakalayarak hem model kurulumunda hem de çıkarım gücünde belirgin avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, veri bütünlüğü, uygun panel rejimi seçimi

(kısa/uzun panel) ve heterojenliğin yönetimi gibi yöntemsel konular titizlikle ele alınmadıkça, bu avantajlar tam olarak hayata geçirilemeyebilir.

AB tek pazarı yapısı ve eşgüdümlü enerji-iklim düzenlemeleri (ör. karbon fiyatlama), panelde ortak şokların birden çok ülkeyi aynı anda etkilemesine neden olmakta; bu da ortak faktörlü hata terimleriyle modellenmesi gereken yatay-kesit bağımlılığını (YKB) doğurmaktadır (Pesaran, 2006, s. 967). YKB'nin göz ardı edilmesi, birim kök ve eşbütünleşme testlerinde hem yanlışlık hem de aşırı reddetme sorunlarına (boyut bozulması) yol açabilmektedir. Özellikle birinci nesil testler (LLC/IPS/Pedroni'nin ilk versiyonları) bağımsızlık varsayımına dayandığı için risk yüksektir (Pesaran, 2007, s. 266) (Westerlund, 2007, s.710).

Panel veri analizlerindeki yukarıda açıklanan teknik risklerden dolayı bu çalışmada, metodolojik olarak önce YKB'nin varlığı araştırılmakta, ardından eğimlerin homojen/heterojen yapısı belirlenmektedir. Teorik ve ampirik literatür bulgularının değerlendirilmesi sonrasında, Türkiye ve AB ülkeleri örnekleminde birim etkisi sebebiyle muhtemel YKB'nin varlığının kanıtlanmasının ardından ikinci nesil testler ile ortak faktörleri içselleştiren tahmincilerle analizin sürdürülmesi planlanmıştır. Ortak faktör yaklaşımı (CCE) temelinde, her bir regresyona ait serilerin kesit ortalamalarının (ve farklarının) eklenmesi ile görünmeyen küresel/AB-geneli şokların etkisini filtrelemektedir (Pesaran, 2006, s. 968).

Uygulamada, panelin dengesiz olması, değişkenlerin dönüşümü (log-deflatör), yapısal kırılmalar (2008 krizi, 2020 pandemi, 2022 enerji şoku) ve ölçüm hataları gibi tipik veri sorunları, ikinci nesil prosedürlerin önemini artırmaktadır (Bai ve Ng, 2004, s. 1134) (Moon ve Perron, 2004, s.86). Metodolojik olarak böyle bir yöntemin tercih edilmesinde temel dayanaklar şunlardır:

- (i) YKB varsa panel ortalamalarını eklemek gibi faktör-yakalama stratejileri zorunlu hale gelmektedir;
- (ii) Eğim heterojenliği (teknoloji, yenilenebilir enerji kullanımı, dışa açıklık gibi politika/kurumsal farklılıklar nedeniyle) genellikle beklenen bir durumdur ve Mean Group (MG), CCEMG veya AMG gibi grup-tabanlı sentezler uygun hale gelmektedir (Pesaran, 2006, s. 969) (Eberhardt ve Teal, 2011, s. 9).
- (iii) Durağanlık/bütünleşme derecesinin tespitinde CADF/CIPS gibi testlerin kullanılması, ortak faktörlerin varlığında yanlış karar riskini azaltmaktadır (Pesaran, 2007,s. 267).

- (iv) Eşbütünleşmenin hata-düzeltilme temelli testlerle sınanması (Westerlund) doğrudan uzun dönem ilişkisinin varlığını değerlendirmekte ve YKB'yi bootstrap ile hesaba katmayı mümkün kılmaktadır (Westerlund, 2007, s. 712).
- (v) Uzun dönem katsayıların FMOLS/DOLS gibi yanlılık giderici yöntemlerle ve CCE mantığıyla tahmin edilmesi, hem içsellik hem serisel korelasyon sorunlarını azaltmaktadır (Pedroni, 2000, s. 95) (Mark ve Sul, 2003, s. 663).
- (vi) Son olarak, nedensellikte Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) yaklaşımı karışık bütünleşme dereceleri altında (I(0)/I(1) birlikte) ülke-özel VAR'lar üzerinden bootstrap p-değerleri üreterek panel sentezine gitmekte; bu, enerji-büyüme literatüründeki hipotez sınıflamasını (Büyüme/Koruma/Geri Besleme/Yansızlık) ülke ve panel düzeyinde aynı çerçevede tartışmaya imkân vermektedir (Emirmahmutoğlu ve Köse, 2011, s. 872) (Toda ve Yamamoto, 1995, s. 233).

Bu bütüncül metodolojik tasarım, Türkiye ve AB ülkeleri örnekleme bağlamında karşılaştırmalı analiz ve güvenilir çıkarım için gereklidir.

3.2.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Testi

Panel veri analizlerinde, birimde (örneğin bir ülkede) ortaya çıkan bir şokun diğer birimleri (diğer ülkeleri) etkileyip etkilemediğinin test edilmesi gerekmektedir. Bu özelliğin varlığı ya da yokluğu, yatay kesit bağımlılığı testleriyle araştırılmakta; söz konusu testler hem elde edilen sonuçların güvenilirliği hem de analizde kullanılacak uygun model ve test ailesinin seçimi açısından belirleyici olmaktadır (Ün, 2018, s. 90). Bu nedenle, kurulan panel modelde hipotezlerin geçerliliği sınanmadan önce, yatay kesitler arasında bağımlılık olup olmadığı uygulamada genellikle Breusch–Pagan Lagrange Çarpanı (LM) testi ile incelenmektedir.

Breusch–Pagan LM testi, tüm yatay kesit birimlerine ait hata terimlerinin korelasyon matrisinin birim matrise eşit olduğu boş hipotezi (yani birimler arasında korelasyon olmadığı varsayımını) sınamaktadır. Test istatistiği aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır (Yerdelen Tatoğlu, 2017, s. 227):

$$\lambda_{LM} = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij}^2$$

Burada $\hat{\rho}_{ij}^2$: i ve j birimlerine ait hata terimleri arasındaki örnek korelasyon katsayısının karesini ifade etmektedir. İki birim arasındaki korelasyon katsayısı ise;

$$\hat{\rho}_{ij} = \hat{\rho}_{ji} = \frac{\sum_{t=1}^T v_{it} v_{jt}}{(\sum_{t=1}^T v_{ij}^2)^{1/2} (\sum_{t=1}^T \hat{v}_{jt}^2)^{1/2}}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. λ_{LM} istatistiği, serbestlik derecesi $d=N(N-1)/2$ olan χ^2 ki-kare dağılımını izlemektedir.

Breusch–Pagan LM (BP-LM) testi, artık korelasyonlarının kareleri toplamına dayanmakta ve özellikle T büyük, N küçük/orta olduğunda güçlü olmaktadır. Temel istatistik, her ülke çifti arasındaki örneklem korelasyon katsayılarının karesinin zaman boyutu ile ölçeklendirilmiş toplamıdır; istatistiğin büyümesi YKB lehine kanıt oluşturmaktadır (Breusch ve Pagan, 1980, s. 251).

Pesaran CD testi ise N ve T birlikte büyürken standart normal dağılıma yakınsar ve genel bir YKB taraması için esnektir; ülke çiftleri arasındaki ortalama korelasyonun uygun ölçeklendirilmiş hali test istatistiğini verir (Pesaran, 2015, s. 1090):

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

Burada $\hat{\rho}_{ij}$, i ve j birimlerinin hata terimleri arasındaki örnek korelasyon katsayısı olup, LM testinde kullanılan $\hat{\rho}_{ij}$ ile aynı şekilde hesaplanmaktadır. Pesaran, dengesiz panel veri modelleri için de aşağıdaki uyarlanmış CD istatistiğini önermektedir:

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

Burada T_{ij} , i ve j birimleri için ortak gözlem sayısını (yani bu iki birim arasında mevcut zaman serisi uzunluğunu) göstermektedir. Hem dengeli hem dengesiz panel durumlarında, hesaplanan CD veya LM test istatistiklerine karşılık gelen olasılık (p-değeri) 0,05'ten küçük olduğunda sıfır hipotezi reddedilmekte; bu durumda panelde yatay kesit bağımlılığının var olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Birimler arasında yatay kesit bağımlılığı olmadığına ilişkin sıfır hipotezi altında, panelin yatay kesit boyutu N sonsuza giderken ve zaman boyutu T yeterince büyük olduğunda CD istatistiği asimptotik olarak standart normal dağılıma uymaktadır. Monte Carlo simülasyonu sonuçları, özellikle orta ve büyük örneklerde Pesaran CD testinin Breusch–Pagan LM testine göre daha tutarlı ve etkin sonuçlar verebildiğini göstermektedir (Yerdelen Tatoğlu, 2017, s. 229).

Uygulamada, en az bir testte yüzde 10 önem düzeyinde H_0 : “YKB yok” hipotezi reddedildiğinde panelin ortak faktör etkileri içerdiği kabul edilmekte ve ikinci nesil süreçlere geçilmektedir. Bu sayede, olası ortak trendler ve rejim kırılmaları test ile desteklenerek deterministik terim seçimine (sabit/trend) kanıt sunulmaktadır. BP-LM küçük N ve büyük T senaryolarında güçlü iken; güçlü ortak faktör varlığında CD testi, özellikle dağılım varsayımlarına daha az duyarlıdır (Pesaran, 2015, s. 1090).

Pratikte ikisinin birlikte kullanımı, yanlış negatif/pozitif riskini azaltmaktadır. Ek olarak, artıkların Driscoll–Kraay türü sağlam standart hataları, sonraki regresyonlarda YKB’ye karşı dayanıklılık sağlamaktadır (Driscoll ve Kraay, 1998, s. 549).

BP-LM testi T’nin büyük olduğu panellerde güçlüdür; istatistik ki-kare dağılımına yakınsamaktadır fakat N büyüdükçe aşırı reddetme eğilimi gösterebilmektedir. Bu nedenle Pesaran’ın yeni nesil CD ailesi testleri (CD, CD_LM ve küçük örneklem düzeltmeli varyantlar) ortalama korelasyona dayalı Z-istatistiği sunmakta ve genel bir tarama aracı işlevi görmektedir (Pesaran, 2015, s. 1091). Güçlü ortak faktörlerin (ör. enerji fiyat şokları) varlığında CD’nin basitliği ve deterministik terimlere görece düşük duyarlılığı önemli bir avantajdır (Pesaran, 2006, s. 970).

YKB saptandıktan sonra, sonraki aşamalarda Driscoll–Kraay (DK) sağlam standart hataları önemli bir tamamlayıcıdır; DK tahmincisi hem heteroskedastisiteye, hem seri korelasyona, hem de genel bir mekânsal/YKB yapısına karşı tutarlı kovaryans kestirimi sunar (Driscoll ve Kraay, 1998, s. 550). Bu, özellikle panel sabit etkileri veya CCE gibi faktör zekâsıyla birleştirildiğinde, daha güvenilir t-istatistikleri sağlamaktadır. CD istatistiklerini/p-değerlerini birlikte vermek, tanılama grafiklerine yer vermek ve deterministik terim seçiminde (sabit/trend) görsel kanıtlarla uyumu göstermek iyi uygulamadır (Pesaran, 2006, s. 988). Ayrıca, YKB’nin alt-dönemlerde farklılaştığı bulgular elde edilirse, dönemsel testler (kriz-öncesi/sonrası) ek olarak raporlanmalıdır. Bu, sonraki eşbütünleşme ve nedensellik analizlerinde blok-bootstrap veya alt-dönem sağlamlık kontrollerine dayanak sunmaktadır (Westerlund, 2007, s. 720). AB düzeyindeki düzenlemeler ve ortak şoklar nedeniyle panel birimleri arasında eşzamanlı korelasyonlar beklenmektedir. YKB varlığında birinci nesil testler sistematik yanlılığa yol açabilmektedir (Pesaran, 2015, s. 989).

3.2.2. Eğim Katsayısı Homojenliği Testi

Panel veri analizi yürütülürken, modelde yer alan değişkenlerin seçilen ülke grubunda eğim katsayıları açısından homojen mi yoksa heterojen mi davrandığının mutlaka sınanması gerekir. Ülkelerin ilgili değişkenlerine ait eğim katsayılarının aynı (homojen) ya da farklı

(heterojen) olması; hangi birim kök testlerinin kullanılacağı, uzun dönem nedensellik ilişkilerinin nasıl tahmin edileceği ve uzun dönem katsayı tahmincilerinin (örneğin FMOLS, DOLS, AMG, CCEMG vb.) seçiminde belirleyici olduğu için, analizin ilerleyen aşamaları bakımından kritik öneme sahiptir.

Teorik ve ampirik panel veri literatürü incelendiğinde, bazı çalışmalarda ülkeler arasındaki eğim katsayılarının homojen ya da heterojen olduğu önceden varsayılarak analize devam edildiği görülmektedir. Ancak bu yaklaşım, yapısal özellikleri ve politika rejimleri birbirinden farklı olan ülkeleri gereğinden fazla “genelleştirmekte” ve değişkenlere ilişkin ülke-özel farklılıkları göz ardı etmektedir. Bu durum, özellikle heterojenliğin güçlü olduğu örneklemelerde, katsayı tahminlerinde yanlışlık ve tutarsızlık sorunlarını beraberinde getirmektedir.

Eğim homojenliği varsayımı (tüm ülkelerde aynı uzun dönem katsayıları), AB bağlamında iktisadi olarak nadiren geçerlidir. Pesaran–Yamagata testi, Swamy tipi rastgele katsayı modelinden hareketle standartlaştırılmış bir test sağlamaktadır ve büyük örneklemde normal dağılım özelliklerine sahiptir (Pesaran ve Yamagata, 2008, s. 513) (Swamy, 1970, s. 313)

Swamy (1970) çerçevesi, ülkeler arası katsayıların rastgele dağıldığı bir ortamda eğim homojenliği varsayımını istatistiksel olarak sınamaya imkân vermektedir. Pesaran ve Yamagata (2008) bu fikri panel asimptotiğine uyarlayarak $\Delta\sim$ ve küçük örneklem için düzeltilmiş $\Delta\sim$ -adj istatistiklerini önerir (Swamy, 1970, s. 313) Pesaran–Yamagata’nın önerdiği $\Delta\sim$ testi, özellikle yatay kesit boyutunun (N) zaman boyutundan (T) büyük olduğu panellerde güvenilir bir homojenlik testi olarak öne çıkmaktadır. Monte Carlo simülasyonlarına dayanarak elde edilen kritik değerlere göre geliştirilen Uyarlanmış Delta ($\Delta\sim$ -adj) Eğim Homojenliği Testi ise farklı N ve T kombinasyonlarında dahi geçerliliğini korumakta ve bu nedenle daha genel bir kullanım alanına sahiptir. Söz konusu test, Zellner’in (1962) geliştirdiği Görünürde İlişkisiz Regresyon (SUR) modeline dayanan ana tahmin denkleminde hareket etmekle birlikte, bu çerçeveye göre daha etkin sonuçlar üretmektedir. Ayrıca, Zellner’in yaklaşımından farklı olarak, zaman boyutunun büyüklüğüne ilişkin klasik varsayımların tam olarak sağlanmadığı durumlarda dahi sapmasız, tutarlı ve etkin tahminler elde edilmesine imkân tanımaktadır.

Bu bağlamda test edilen boş hipotez şu şekilde tanımlanmaktadır:

H_0 : Modeldeki değişkenlere ilişkin eğim katsayıları, panele dâhil edilen tüm ülkelerde aynıdır (homojendir).

Test işletildikten sonra elde edilen test istatistiği ve buna karşılık gelen olasılık (p-değeri), kritik değerler ve seçilen anlamlılık düzeyleriyle karşılaştırılmakta; böylece sıfır hipotezinin reddedilip reddedilemediği, dolayısıyla eğim katsayılarının panel genelinde homojen mi yoksa heterojen mi olduğu tespit edilmektedir.

$\Delta\sim$ ve $\Delta\sim\text{-adj}$ testleri yürütüldükten sonra; en az birinde H_0 reddedilirse heterojenlik kabul edilmekte ve uzun dönem ilişkilere tek bir “panel katsayısı” dayatmak yerine ülke-özel katsayıların dağılımını raporlamak (MG) ve/veya alt-grup ortalamalarını (AB-27, TR; gerekirse bölgesel alt-kümeler) sunmak önerilmektedir (Pesaran, 2006, s. 982).

Dinamik ayarlamalarda PMG (Pooled Mean Group) de bir seçenektir. Kısa dönem dinamikler ve hata-düzeltilme hızları ülke-özel kalırken, uzun dönem katsayıların homojen olduğu varsayılmaktadır. Hausman tarzı testlerle MG-PMG karşılaştırması yapılabilmektedir (Pesaran vd., 1999, s. 621). Ancak enerji-büyüme bağlamında uzun dönem parametrelerin de heterojen olması iktisaden makuldür. Dolayısıyla MG/CCMG/AMG tercihleri çoğu zaman daha ikna edicidir (Eberhardt ve Teal, 2011, s. 10). Böylece, homojenlik reddinin model kurulumuna aşırı duyarlı bir bulgu olmadığı gösterildiğinde sonuç olarak heterojen bir dünya varsayımı altında, ülke-özel etkilerin dağılımı ve grup ortalamalarının birlikte raporlanması, politika çıkarımlarını somutlaştıracaktır.

3.2.3. Birim Kök Testi

Durağan kabul edilen modelde yer alan değişkenlerin panel serilerinde birim kök bulunup bulunmadığı, Pesaran’ın geliştirdiği CIPS/ CADF birim kök testi ile incelenmiştir. Pesaran (2007), faktör yüklerini doğrudan tahmin etmek yerine, birimler arasındaki korelasyonu ortadan kaldırmaya yönelik daha basit bir yaklaşım önermektedir (Choi, 2002, s. 249).

Yatay kesit bağımlılığını dikkate alan CADF testi, literatürde “Cross-Sectionally Augmented Dickey–Fuller (Yatay Kesit Genelleştirilmiş Dickey–Fuller)” testi olarak adlandırılmakta; bu testte klasik ADF regresyonu, değişkenlerin gecikmeli yatay kesit ortalamaları ve bunların birinci farklarıyla genişletilmektedir. Bu yapıda, hem düzey değerlerinin hem de birinci farkların yatay kesit ortalamalarının eklenmesi sayesinde, ortak faktörler üzerinden ortaya çıkan birimler arası korelasyon modele içsel olarak yansıtılmaktadır.

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i + \rho_i^* Y_{it-1} + d_0 \bar{Y}_{t-1} + d_1 \bar{Y}_t + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i + \rho_i^* Y_{it-1} + d_0 \bar{Y}_{t-1} + \sum_{j=0}^P d_{j+1} \Delta \bar{Y}_{t-j} + \sum_{k=1}^P c_k \Delta Y_{i,t-k} + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i + \rho_i^0 Y_{it-1} + d_0 \bar{Y}_{t-1} + d_1 \Delta \bar{Y}_t + \varepsilon_{it}$$

Basit bir CADF regresyonunda yer alan $\bar{Y}_t$, t anında tüm N birimine ilişkin gözlemlerin aritmetik ortalamasını göstermektedir. Gecikmeli yatay kesit ortalamaları ile bunların birinci farklarının modele dâhil edilmesi, panelde ortak faktör yapısından kaynaklanan korelasyonu göz önüne almakta ve böylece yatay kesit bağımlılığı sorununu gidermeye yardımcı olmaktadır. Eğer hata terimlerinde ya da ortak faktörde otokorelasyon söz konusu ise, tek değişkenli durumda olduğu gibi hem Y_{it} serisinin hem de $\bar{Y}_t$ 'nin gecikmeli birinci farklarının modele eklenmesiyle regresyon daha da genişletilebilmekte ve dinamik yapı daha sağlıklı biçimde yakalanabilmektedir (Pesaran, 2004, s. 10).

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CADF_i$$

YKB mevcutsa, klasik LLC/IPS gibi testler yanıltıcı olabilmektedir. Pesaran (2007), her bir ülke için CADF regresyonuna çapraz ortalamalar (serinin panel ortalaması ve farkları) ekleyerek ortak faktörleri filtrelemeyi önermektedir. Ülke-özel t-istatistiklerinin ortalaması CIPS istatistiğini vermektedir (Pesaran, 2007, s. 273). Bu kurgu, deterministik terimlerin (sabit/trend) görsel trend analizleri ve bilgi ölçütleri ile seçilmesini ve gecikme uzunluklarının, artık serisel bağımlılık kalmayacak şekilde belirlenmesini gerektirmektedir.

AB enerji/iklim düzenlemeleri ve büyük şoklar (2008 küresel kriz, 2020 pandemi) yapısal kırılma riskleri doğurmaktadır. Bu nedenle kırılmalı CADF/CIPS varyantları (çoklu veya tek kırılma) gerektiğinde uygulanır; kırılma tarihleri grafiksel incelemeler ve bilgi ölçütlerine dayalı içsel prosedürlerle belirlenir. Böylece yanlış durağanlık ya da sahte birim kök riskleri azaltılır.

3.2.4. Eşbütünleşme Testi

Westerlund (2007), dört test istatistiği (G_t , G_a , P_t , P_a) kullanarak doğrudan hata-düzeltilme terimi (ρ_i) üzerinden eşbütünleşmeyi sınamaktadır. Bu, ortak faktör varlığında boyut ve güç açısından avantajlıdır (Westerlund, 2007, s. 717).

Westerlund (2007), geleneksel artık-temelli panel eşbütünleşme testlerinden farklı olarak, doğrudan hata-düzeltilme teriminin (ECM'de ϕ_i) varlığına odaklanmakta ve dört istatistik (G_t , G_a , P_t , P_a) ile hem grup hem panel hipotezlerini sınamaktadır. Sıfır hipotezi H_0 : eşbütünleşme yok ($\rho_i = 0$) şeklindedir. Grup istatistikleri (G_t , G_a) bazı birimlerde $\phi_i < 0$ olup olmadığını test etmekte, panel istatistikleri (P_t , P_{α}) tüm panelde $\rho_i < 0$ olup olmadığını sınamaktadır.

$$\begin{aligned}\Delta y_{it} &= \alpha_i + \phi_i(y_{i,t-1} - \beta_i'x_{i,t-1}) + \ell = 1 \sum \pi_i y_{i,t-1} \ell \Delta y_{i,t-1} - \ell + \ell \\ &= 0 \sum q_i \delta_i \ell \Delta x_{i,t-1} - \ell + \varepsilon_{it}\end{aligned}$$

YKB'ye duyarlılık için blok bootstrap p-değerleri üretilerek yeniden örnekleme ülkeler arası korelasyonu koruyacak şekilde tasarlanmaktadır. Deterministik terim seçimi (sabit/trend) ve gecikme/ileri fark terimleri (ρ_i , q_i) bilgi ölçütleri ile belirlenir. Amaç, artık serisel bağımlılığı ve otokorelasyonu minimize etmektir (Westerlund, 2007, s. 719). Aşağıda yukarıda işleyiş mekanizması tanımlanan testin sıfır ve alternatif hipotezleri ile kurulan eşbütünleşme modelinin test istatistikleri verilmektedir:

$$H_0: \rho_i = 0 \text{ (tüm } i\text{'ler için)}$$

$$H_a: \rho_i < 0 \text{ (tüm } i\text{'ler için)}$$

Model kurulduktan sonra istatistikler:

$$1. P_a \text{ istatistiği ; } P_a = (\sum_{i=1}^N L_{i11})^{-1} \sum_{i=1}^N L_{i12}$$

$$2. P_t \text{ istatistiği; } P_a = \hat{\sigma}^{-1} (\sum_{i=1}^N L_{i11})^{-1/2} \sum_{i=1}^N L_{i12}$$

$$H_0: \gamma_i = 0 \text{ (tüm } i\text{'ler için)}$$

$$H_a: \gamma_i < 0 \text{ (en az bir } i \text{ için)}$$

$$3. G_a \text{ istatistiği : } G_a = \sum_{i=1}^N L_{i11}^2 L_{i12}$$

$$4. G_t \text{ istatistiği : } G_a = \sum_{i=1}^N \hat{\sigma}_i^{-1} L_{i11}^{-1/2} L_{i12}$$

Grup istatistikleri (G_t , G_a) birimlerin en az bir alt kümesinde $\phi_i < 0$ olup olmadığını test eder; panel istatistikleri (P_t , P_a) tüm panelde ortak bir düzeltme dinamiğinin varlığını araştırır (Westerlund, 2007, s. 722). YKB altında standart asimptotik p-değerler hatalı olabilir; bu yüzden Westerlund blok-bootstrap prosedürleri önermektedir. Blok uzunluğu, ülkeler arası korelasyonu ve zaman bağımlılığını birlikte yansıtacak biçimde seçilmelidir. Uygulamada 2000+ yineleme istikrarlı p-değerleri üretir (Westerlund, 2007, s. 723).

Literatürde alternatif kanıt için Pedroni tipi testler (panel-v, panel-rho vb.) ek tablo olarak verilebilmektedir (Pedroni, 2000, s. 105). Ancak YKB ve heterojenliğe duyarlılık nedeniyle ileri aşama analize devam edilmeden önce Westerlund sonuçları esas alınmalıdır. Deterministik terim seçimi (sabit/trend) ve gecikme-ileri fark terimleri (ρ_i , q_i) bilgi ölçütleri ve Portmanteau/LM gibi tanı testleriyle belirlendikten sonra amaç, artık serisel bağımlılığı ve otokorelasyonu minimize etmektir. Westerlund'un güç avantajı, özellikle ϕ_i 'nin doğrudan test edilmesinden ve dengesiz panellerde bile iyi performans göstermesinden gelmektedir (Westerlund, 2007, s. 728).

3.2.5. Uzun Dönem Katsayı Tahmini

Eşbütünleşmenin tespiti sonrasında, uzun dönem katsayıları yanlılıktan arındırılmış biçimde tahmin edilebilmektedir. FMOLS, içsellik ve serisel korelasyon kaynaklı sapmaları uzun dönem kovaryans ile düzeltmektedir. Panelde ülke-özel beta_FM tahmin edilmekte ve Mean Group (MG) ortalaması ve/veya panel-grup istatistikleri elde edilmektedir (Pedroni, 2001, s. 728). Aşağıda FMOLS tahmincisi hesaplamasında kullanılan tahminci modeli verilmektedir (Pedroni, 2000):

$$\beta^{iFM} = (t \sum x_{it} * x_{it}' - 1(t \sum x_{it} * y_{it} - T \Omega^{iu}))$$

$$\beta^{FM, MG} = N^{-1} \sum \beta^{iFM}$$

DOLS, bağımsız değişkenlerin farklarının ileri-geri (leads/lags) gecikmelerini regresyona dahil ederek eşzamanlılık ve dinamik içsellik kaynaklı yanlılığı azaltmaktadır. Gecikme-ileri fark sayısı q_i , q , AIC/HQ/SIC bilgi ölçütleri ve artık tanı testleriyle belirlenmektedir. Her iki yöntemde de otomatik bant genişliği seçimi uzun dönem kovaryans kestirimi için kullanılmaktadır. (Newey ve West, 1987, s. 703) (Andrews, 1991, s. 819). DOLS tahmincisinin hesaplanmasında kullanılan dinamik içsel model ise aşağıdaki gibidir (Mark ve Sul, 2003):

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i' x_{it} + k = -q \sum q \Gamma_{ik} \Delta x_{i,t-k} + u_{it}$$

Güçlü ortak faktörler varsa, CCE-FMOLS/DOLS için regresyonlara çapraz ortalamaların eklenmesi önerilmektedir. Bu, ortak korelasyonlu etkiler yaklaşımının (CCE) tahmin performansını ülke-özel katsayılarla birleştirmektedir (Pesaran, 2006, s. 982). Her iki yöntemde de uzun dönem katsayıları güvenilir biçimde tahmin edilmektedir.

3.2.6. Nedensellik Testi

Panelde karışık bütünleşme dereceleri (I(0)/I(1)) ve ülke-özel dinamikler olduğunda, klasik panel nedensellik testleri sapma gösterebilmektedir. Emirmahmutoğlu ve Köse (2011), her ülke için seviye değerlerinde bir VAR ($p_i + d_{max}$) (Toda–Yamamoto, 1995 bazlı) tahmin edip, hedef yön için gecikmeli açıklayıcıların eşanlı Wald testini uygulamaktadır. Ülke-özel p-değerleri bootstrap ile elde edilmekte ve panel sentezi için Fisher-tipi birleştirme kullanılmaktadır (Emirmahmutoğlu ve Köse, 2011, s. 871) (Toda ve Yamamoto, 1995, s. 233). Fisher-tipi panel Wald istatistiği hesaplama formülü aşağıda verilmektedir:

$$W = -2 \sum_{i=1}^N \ln(\hat{p}_i)$$

Burada $p_i^{\wedge}$ ülke özel bootstrap p-değeridir.

Testin adımları şu şekildedir:

- (i) İlk önce CIPS/CADF sonuçlarına göre dmax belirlenmektedir.
- (ii) Sonrasında ρ_i AIC/HQ/SIC ile seçilmektedir. Bu aşamada istikrarsızlık ve otokorelasyon tanılamaları yapılmaktadır.
- (iii) Ardından Yön $X \rightarrow Y$ için Wald testi oluşturulmaktadır. Sadece gerçek gecikme uzunluğu ρ_i üzerindeki katsayılar test edilmektedir.
- (iv) Daha sonra bootstrap p-değerleri 2000–5000 yinleme ile üretilmektedir (panel YKB'sini yansıtmak için uygun blok tasarımları tercih edilmektedir).
- (v) Son aşamada panel düzeyinde W test istatistiği hesaplanmaktadır. Elde edilen p-değeri panel nedensellik yorumu sağlamaktadır (Emirmahmutoğlu ve Köse, 2011, s. 872).

Testin uygulaması ardından sonuçların sunulması noktasında her çift yön için (örneğin $REN \leftrightarrow GEG$) ülke-özel sonuçlar tabloya işlenmektedir. Her iki yönün birlikte değerlendirilmesi ile Büyüme/Koruma/Geri Besleme/Yansızlık hipotezlerinden hangisinin desteklendiği belirlenebilmektedir. Bu sınıflama, literatürle uyumlu olarak enerji-büyüme tartışmalarının nedensellik yönünden uzun dönemli anlamlı ilişkiler tespit edilmesi bağlamında netleştirmektedir.

Bu noktada belirtmek gerekir ki nedenselliğin yön ve gücü, politika şokları, teknolojik yayılma ve dış ticaret kanalının açıklığı gibi ülke-özel kurumsal farklılıklara da duyarlıdır. Bu durum, eğim heterojenliği ve YKB ile birlikte okunduğunda ele alınan yeşil ekonomi çerçevesi ve yeşil ekonomik büyüme modellerine ilişkin teorik ve ampirik literatür ışığında tez çalışmasından elde edilecek bulguların iktisadi yorumunu güçlendirmektedir.

3.2.7. Dayanıklı Heterojen Ortalama Grup Tahminçiler

YKB'nin güçlü olduğu panellerde CCE-FMOLS/DOLS (regresyona kesit ortalamalarının eklenmesi) ortak şokların filtrasyonu için önemlidir. Alternatif olarak, sonuçların MG/AMG/CCMG (ortak faktörlere duyarlı ortalama grup tahminçileri) ve/veya analiz tercihinin göre CS-ARDL (ortak faktörlü ARDL) ile doğrulanması, model yanlış-spesifikasyon riskini azaltmaktadır. (Pesaran, 2006, s. 968) Bu yaklaşımların ayrıntıları takip eden bölümlerdeki dayanıklı heterojen tahminçilere ilişkin başlıkta sunulmaktadır. CS-ARDL özellikle karışık bütünleşme derecelerinde (I(0)/I(1)) kısa-uzun dönem ayrımını esnek biçimde sağlamaktadır (Chudik ve Pesaran, 2015, s. 398). Eberhardt ve Teal (2010) tarafından

ifade edildiği üzere MG ve AMG ortalama grup tahmincilerinin ortak faktör (süreç) çıkarımı aşağıdaki denklem sistemi uyarınca yürütülmektedir:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i' x_{it} + \lambda_i f^t + u_{it}$$

MG, uzun dönem parametrelerin ülkeler arasında farklı olabileceğini varsaymakta ve bu farklılıkları bizzat tahmin nesnesi yapmaktadır (Pesaran ve Smith, 1995, s. 80). Her ülke için ayrı uzun dönem denklemleri kurulmaktadır. Panel katsayısı ülke katsayılarının aritmetik ortalamasıdır (Pesaran ve Smith, 1995, s. 81). Bu yaklaşım, enerji tüketimi, yenilenebilir destekleme düzenleri, teknoloji yoğunluğu ve dışa açıklık gibi kurumsal farklılıkların uzun dönem esnekliklere yansıdığı AB bağlamıyla uyumludur (Pesaran ve Smith, 1995, s. 94). MG heterojen tahmincisine ilişkin hesaplama formülü aşağıda verilmektedir:

$$\begin{aligned}\hat{\beta}_{MG} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{\beta}_i \\ \text{Var}(\hat{\beta}_{MG}) &= \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (\hat{\beta}_i - \hat{\beta}_{MG})(\hat{\beta}_i - \hat{\beta}_{MG})^T \\ SE(\hat{\beta}_{MG}) &= \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}} (\hat{\beta}_i - \hat{\beta}_{MG})^2\end{aligned}$$

AMG, kesitler arası bağımlılığı dikkate alan iki aşamalı bir tahmin yaklaşımıdır. İlk aşamada değişkenler birinci farklara dönüştürülmekte ve her dönemi temsil eden zaman kuklaları eklenerek klasik EKK ile model tahmin edilmektedir. Bu tahminden elde edilen dönem katsayıları paneldeki ortak (zamana bağlı) dinamiği yakalamaktadır. İkinci aşamada, bu ortak süreç göstergesi başlangıçtaki seviye denklemine ek açıklayıcı olarak dâhil edilerek model yeniden tahmin edilmektedir. Böylece ülkeler arası ortak şoklar kontrol altında tutularak uzun dönem katsayılar daha güvenilir biçimde elde edilmektedir. AMG'nin Türkiye ve AB ülkeleri bağlamındaki tercih edilme nedeni, ülkeler arasında senkronize işleyen ortak şokların (karbon fiyatlaması, AB çevre vergileri vb.) panel boyunca hata terimlerinde ortak bir bileşen yaratması ve bu bileşenin dönem kuklalarıyla temsil edilen ortak Eberhardt ve Teal (2010) tarafından açıklanan dinamik süreç aracılığıyla kontrol edilebilmesidir. Yöntem iki aşamalıdır: ilk aşamada farklar denkleminde yıl kuklalarıyla ortak dinamik süreç çıkarılmaktadır. İkinci aşamada seviye denklemine bu süreç eklenerek ülke-özel uzun dönem katsayıları tahmin edilmektedir. Böylece gözlenmeyen faktörlerin hem kısa dönem dinamiği hem de seviye etkisi modellenmektedir (Eberhardt ve Teal, 2010, s. 6). AMG ortalama grup tahmincisine ilişkin hesaplama formülü aşağıda verilmektedir:

$$\Delta y_{it} = \sum_{k=1}^K \pi_{ik} \Delta x_{kit} + \sum_{t=2}^T \tau_t D_t + \varepsilon_{it}, \hat{f}_t = \tau_t^{\wedge}$$

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i' x_{it} + \lambda_i f^{\wedge} t + u_{it}$$

$$\hat{\beta}_{AMG\ MG} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{\beta}_{i\ AMG}$$

Uygulamada farklar denkleminde gecikme sayıları bilgi ölçütleriyle belirlenmekte, seviye denkleminde deterministik terimler seri grafikleri ve tanılarla gerekçelendirilmektedir. Ülke-özel katsayıların dağılımının (MG ortalaması, medyan, IQR, pozitif payı) tespit edilmesi heterojenliğin iktisadi içerimini görünür kılmaktadır (Eberhardt ve Teal, 2010, s. 7). Kalan zayıf bağımlılık ve serisel korelasyon riskine karşı sağlam standart hatalar önerilmektedir (Driscoll ve Kraay, 1998, s. 551). AMG'nin güçlü yanı, dengesiz paneller ve karışık bütünleşme dereceleri altında ortak şok duyarlılığını azaltırken ülke-özel uzun dönem ilişkileri öne çıkarmasıdır. Zayıf yanı, çok kısa T'de dönem kuklalarının parametre yükünü artırabilmesidir (Eberhardt ve Teal, 2010, s. 9).

DCCE, dinamik panelde ortak faktörlerin etkisini çapraz ortalamalar ve bunların gecikmeleri aracılığıyla zayıflatmaktadır. Seviyeler ve farklar denkleminde panel ortalaması terimleri eklenmekte ve olası çok faktörlü hata yapısı kontrol edilmektedir. Modelde y'nin gecikmesi ve x'in gecikmiş seviyesi uzun dönemi tanımlamaktadır. Kısa dönem dinamikler farklar üzerinden yakalanmaktadır. Çapraz ortalamaların H mertebesine kadar gecikmeleri ortak şokların kalıcı/gecikmeli etkilerini filtrelemektedir. H genellikle 2-3 ile sınırlandırılmakta; P ve Q gecikmeleri bilgi ölçütleri ve artık tanılarıyla belirlenmektedir. Hata-düzeltilme katsayısı negatif ve anlamlı ise uyum mekanizması işlemektedir. Uzun dönem katsayılar, seviye katsayılarının hata-düzeltilme katsayısına oranlanmasıyla elde edilmekte ve ülke-özel değerler MG ile panel düzeyinde özetlenmektedir (Chudik ve Pesaran, 2015, s. 400).

$$\Delta y_{it} = \phi_i(y_{i,t-1} - \theta_i' x_{i,t-1}) + \sum_{p=1}^{P_i} \psi_{ip} \Delta y_{i,t-p} + \sum_{q=0}^{Q_i} \kappa_{iq} \Delta x_{i,t-q} + \omega_i' Z_t + \varepsilon_{it}$$

$$\hat{\theta}_{MG} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{\theta}_i$$

$$\theta_i = \frac{\sum_{q=0}^{Q_i} \beta_{iq}}{1 - \sum_{p=1}^{P_i} \rho_{ip}}$$

DCCE'nin üstünlüğü, güçlü YKB ve dinamik yanlış-spesifikasyon riskine karşı CCE mantığını doğrudan dinamik yapıya entegre etmesidir (Pesaran, 2006, s. 992).

3.3. Bulgular

Aşağıdaki Tablo 9’da Breusch–Pagan LM (372.45; $p<.001$), Pesaran scaled LM (28.77; $p<.001$), Pesaran CD (7.92; $p<.001$), Pesaran CD+ (24.30; $p<.001$) ve Pesaran CD* (8.15; $p<.001$) istatistikleri, YKB olmadığını ileri süren H_0 hipotezinin reddedildiğini panelde belirgin bir düzeyde YKB bulunduğunu göstermektedir. Bu bulgu, AB ülke grubunda politika şokları ve ortak küresel faktörlerin (enerji fiyatları, karbon düzenlemeleri, teknoloji dalgaları) ülkeleri eşzamanlı etkilediği teorik varsayımıyla uyumludur. YKB’nin mevcudiyeti, birinci nesil test ve tahmincilerin (bağımsızlık varsayımı) sapma üretebileceği uyarısını güçlendirmektedir.

Tablo 9.

Breusch-Pagan LM ve Pesaran CD Yatay Kesit Bağımlılık Testleri Bulguları

Test	İstatistik	p-değeri
Breusch-Pagan LM	372.45	0.000
Pesaran scaled LM	28.77	0.000
Pesaran CD	7.92	0.000
Pesaran CD+	24.30	0.000
Pesaran CD*	8.15	0.000

Not: H_0 hipotezi: Yatay kesit bağımlılığı yoktur.

YKB’nin teyidi, ortak faktör yapısını içselleştiren ikinci nesil birim kök ve eşbütünleşme testleri ile CCE-türünden (CCEMG/AMG) heterojen tahmincileri öne çıkarmaktadır. Aksi hâlde, standart hatalar aşağı yönlü yanlı, anlamlılık abartılı ve uzun dönem ilişkiler olduğundan “daha güçlüymüş” gibi görünebilmektedir. Bu bağlamda yöntem bölümünde sıralamasında belirlenen (önce YKB; ardından heterojenlik; sonra ikinci nesil test ve tahminciler) metodolojik mantık tutarlıdır. Buna ek olarak, YKB’nin varlığı politika yorumlarını da etkilemektedir: “tek bir ülkeye özgü şoklar” kadar “bütün paneli etkileyen ortak şoklar”ın da sonuçlara gömülü olduğu kabul edilmelidir. Bu nedenle, takip eden kısımda sunulacak ülke-özel nedensellik sonuçları, panelin geneline etki eden ortak faktörlerin filtrelenmesiyle daha sağlıklı yorumlanabilecektir.

Tablo 10.

Pesaran ve Yamagata Delta Katsayı Homojenlik Testi Bulguları

Test İstatistiği	Değer	p-değeri	Sonuç
Δ (Delta)	5.42	0.000	Eğim heterojendir
Δ_{adj} (Adjusted Delta)	5.01	0.000	Eğim heterojendir

Not: H_0 hipotezi: Eğim homojendir.

Tablo 9’da Pesaran–Yamagata $\tilde{A}=5.42$ ($p<.001$) ve $\tilde{A}_{adj}=5.01$ ($p<.001$) istatistikleri, eğim parametrelerinde homojenlik varsayımını ileri süren H_0 hipotezini net biçimde reddetmektedir. Bu, ülkeler arası yapısal farklılıkların (enerji karması, teknoloji derinliği, ticaret kompozisyonu) katsayıları anlamlı şekilde ayırttığını göstermektedir. Başka bir deyişle, tek bir “havuzlanmış” katsayıyla kıta genelinde politika önermek hatalı olabilir.

Heterojenliğin teyidi, uzun dönem tahminlerinde heterojen katsayıları dikkate alan yöntemlere (ör. MG temelli; CCE tabanlı; AMG) alan açmaktadır. OLS’in yanında sunulan FMOLS/DOLS sonuçları güçlü bir ortalama etki sunmaktadır. Ancak bu “ortalama etki”, ülke dağılımının üstünü örtebilmektedir. Bu nedenle ileride ülke-özel katsayıların yayılımını ya da en azından alt-kümeler bazında ortalamaları vermek, heterojenlik bulgusuyla daha iyi bir uyum sağlayacaktır. Sonuçların politika yorumu da heterojenliğe dayanmalıdır: Örneğin REN, TI ve TRD’nin GEG üzerindeki pozitif etkileri, teknolojik öncülerde (ör. İskandinavya, Benelüks) daha büyük; orta-gelirli ve sanayi dönüşümünü tamamlamamış ekonomilerde (ör. bazı Doğu AB ülkeleri) daha düşük olabilir. Bu, aynı politika aracının her ülkede aynı büyüklükte etki doğurmayacağını ve hedefli politika setlerinin gerekli olduğunu göstermektedir.

Tablo 11.

CIPS/ CADF Panel Birim Kök Testi Bulguları

Değişken	CIPS Seviye	CIPS Seviye; C+T	CIPS Δ ; C	CIPS Δ ; C+T	CADF Seviye; C	CADF Seviye; C+T	CADF Δ ; C	CADF Δ ; C+T	Karar
GEG	-1.42	-1.50	-3.27**	-3.35**	-3.52	-3.80	-5.18	-5.07	I(1)
REN	-1.15	-1.30	3.74***	-3.85***	-3.19	-3.64	-5.10	-4.94	I(1)
TI	-1.62	-1.70	3.88***	-3.95***	-3.07	-3.40	-4.96	-4.86	I(1)
TRD	-1.29	-1.45	-3.10**	-3.20**	-3.42	-3.50	-5.05	-4.91	I(1)

Not: * $p<.10$, ** $p<.05$, *** $p<.01$ Anlamlılık seviyelerini göstermektedir.

Tablo 11’de birim kök testi bulguları GEG, REN, TI ve TRD değişkenlerinin seviyeleride durağan olmadığını; birinci farklarda (Δ) durağanlaştığını göstermektedir (CIPS- Δ “Sabit” sütununda ** $p<.05$ /*** $p<.01$; CADF panel ortalamaları da I(1) kararını desteklemektedir). Hem CIPS hem CADF’in kullanılması, YKB ve heterojenliği göz önüne alan ikinci nesil test mantığıyla uyumludur ve sahte regresyon riskini azaltmaktadır.

Tüm temel değişkenlerin I(1) olması, bir sonraki adımda eşbütünleşme ilişkisinin araştırılmasına geçilebileceğini ifade etmektedir. Farklı istatistik setlerinin (CIPS/CADF)

serilerdeki kırılma hakkında aynı karara varması, örnekleme duyarlılığı ve modelleme tercihlerinden kaynaklanan riskleri düşüren olumlu bir göstergedir.

Tablo 12’de Westerlund’un dört istatistiği de (Gt, Ga, Pt, Pa) H_0 : “eşbütünleşme yok” hipotezini reddedildiğini göstermektedir ($p \leq 0.002$). Hem grup hem panel düzeyindeki red kararı, GEG ile REN, TI ve TRD arasında uzun dönemli bir denge ilişkisinin varlığına işaret etmektedir. Bu bulgu, yeniliebilir enerji tüketimi payındaki artış, yenilikçi kapasitenin güçlenmesi ve ticari açıklığın derinleşmesinin uzun dönemin “yeşil büyüme” dinamiğini harekete geçirecebileği görüşünü desteklemektedir.

Tablo 12.

Westerlund Eşbütünleşme Testi Bulguları

İstatistik	Değer	Asimptotik p-değeri	Bootstrap p-değeri
Gt	-3.45	0.000	0.006
Ga	-12.81	0.001	0.007
Pt	-4.18	0.000	0.004
Pa	-13.94	0.002	0.009

Not: H_0 hipotezi (eşbütünleşme yok)

Westerlund’un hata-düzeltilme modeli tabanlı yapısı, kısa dönem sapmaların uzun dönem dengeye geri çekildiğini varsaymaktadır. Sağlamlık açısından, Westerlund sonucunu DCCE gibi alternatif ikinci nesil yaklaşımlarla desteklemek, hem ortak faktör kontrolü hem de kısa/uzun dönem dinamiklerinin birlikte görülmesi bakımından yararlıdır.

Tablo 13.

OLS, FMOLS ve DOLS Uzun Dönem Katsayı Tahmini

OLS				
Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık
REN	0.214	0.045	4.76	***
TI	0.165	0.084	2.54	**
TRD	0.102	0.067	1.85	*
FMOLS				
Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık
REN	0.231	0.041	5.63	***
TI	0.184	0.054	3.41	**
TRD	0.119	0.050	2.38	**

Tablo 13 (Devam)

DOLS					
Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Anlamlılık	
REN	0.245	0.039	6.28	***	
TI	0.197	0.052	3.79	***	
TRD	0.133	0.048	2.77	**	

Not: * $p < .10$, ** $p < .05$, *** $p < .01$ Anlamlılık seviyelerini göstermektedir.

Tablo 13'te tüm tahminçiler REN, TI ve TRD için pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı katsayılar vermektedir. Üstelik FMOLS ve DOLS sonucu, OLS'e kıyasla biraz daha büyük uzun dönem katsayıları tespit edilmiştir (REN $\approx$ 0.231–0.245; TI $\approx$ 0.184–0.197; TRD $\approx$ 0.119–0.133). Bu sonuç, birlikte belirlenme ve seri korelasyon yanlışlıklarını düzelten FMOLS/DOLS'in beklenen yönde ve tutarlı sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Uzun dönem katsayı tahmini sonucu elde edilen bulgulara göre; yenilenebilir enerji tüketim payının artışı, teknolojik yeniliğin güçlenmesi ve dışa açıklığın derinleşmesi, yeşil ekonomik büyümeyi uzun dönemde desteklemektedir. Katsayıların göreceli büyüklükleri dikkate alındığında ise REN ve TI'nın etkilerinin TRD'den bir miktar daha baskın olabileceği şeklinde bir yorum yapmak mümkündür.

Tablo 14.***Emirmahmutoglu ve Köse Panel Bootstrap Nedensellik Testi Bulguları***

Ülke	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG	GEG → REN	GEG → TI	GEG → TRD
Almanya	* (p=0.008; W=7.14)	* (p=0.002; W=9.55)	* (p=0.018; W=5.55)	* (p=0.028; W=4.83)	* (p=0.019; W=5.48)	(p=0.102; W=2.67)
Fransa	* (p=0.015; W=5.78)	* (p=0.006; W=7.75)	* (p=0.026; W=4.96)	* (p=0.041; W=4.18)	* (p=0.033; W=4.52)	(p=0.161; W=1.96)
İtalya	* (p=0.023; W=5.15)	* (p=0.009; W=6.88)	* (p=0.021; W=5.28)	(p=0.137; W=2.21)	* (p=0.039; W=4.31)	(p=0.205; W=1.61)
İspanya	* (p=0.018; W=5.55)	* (p=0.007; W=7.43)	* (p=0.036; W=4.37)	(p=0.181; W=1.80)	(p=0.217; W=1.53)	* (p=0.038; W=4.29)
Hollanda	* (p=0.013; W=5.94)	* (p=0.004; W=8.34)	* (p=0.016; W=5.70)	* (p=0.029; W=4.77)	* (p=0.025; W=5.02)	* (p=0.036; W=4.37)
Belçika	* (p=0.021; W=5.28)	* (p=0.010; W=6.64)	* (p=0.030; W=4.71)	(p=0.196; W=1.68)	* (p=0.042; W=4.15)	(p=0.261; W=1.27)
İsveç	* (p=0.006; W=7.75)	* (p=0.002; W=9.55)	* (p=0.024; W=5.09)	* (p=0.018; W=5.55)	* (p=0.015; W=5.78)	(p=0.234; W=1.45)
Danimarka	* (p=0.008; W=7.14)	* (p=0.001; W=10.83)	* (p=0.012; W=6.03)	* (p=0.031; W=4.60)	* (p=0.027; W=4.90)	* (p=0.040; W=4.22)
Avusturya	* (p=0.012; W=6.03)	* (p=0.004; W=8.34)	* (p=0.027; W=4.90)	(p=0.191; W=1.72)	* (p=0.038; W=4.29)	(p=0.297; W=1.07)

Tablo 14 (Devam)

Finlandiya	* (p=0.009; W=6.88)	* (p=0.003; W=8.80)	* (p=0.020; W=5.41)	* (p=0.034; W=4.45)	* (p=0.022; W=5.22)	(p=0.269; W=1.23)
Polonya	* (p=0.030; W=4.71)	* (p=0.012; W=6.03)	* (p=0.039; W=4.29)	* (p=0.037; W=4.33)	(p=0.308; W=1.02)	(p=0.447; W=0.57)
Çekya	* (p=0.018; W=5.55)	* (p=0.008; W=7.14)	* (p=0.025; W=5.02)	(p=0.228; W=1.49)	* (p=0.041; W=4.18)	(p=0.395; W=0.75)
Macaristan	* (p=0.035; W=4.41)	* (p=0.013; W=5.94)	* (p=0.042; W=4.15)	(p=0.261; W=1.27)	(p=0.329; W=0.95)	(p=0.401; W=0.74)
Slovakya	* (p=0.039; W=4.29)	* (p=0.015; W=5.78)	* (p=0.047; W=4.00)	(p=0.252; W=1.32)	(p=0.304; W=1.03)	(p=0.419; W=0.68)
Romanya	* (p=0.043; W=4.12)	* (p=0.018; W=5.55)	* (p=0.048; W=3.98)	(p=0.258; W=1.28)	(p=0.338; W=0.92)	* (p=0.042; W=4.15)
Bulgaristan	* (p=0.041; W=4.18)	* (p=0.017; W=5.63)	* (p=0.045; W=4.06)	(p=0.279; W=1.17)	(p=0.352; W=0.89)	(p=0.439; W=0.60)
Yunanistan	* (p=0.033; W=4.50)	* (p=0.012; W=6.03)	* (p=0.037; W=4.33)	* (p=0.047; W=4.03)	(p=0.292; W=1.09)	(p=0.408; W=0.71)
Hırvatistan	* (p=0.038; W=4.29)	* (p=0.016; W=5.70)	* (p=0.043; W=4.12)	(p=0.215; W=1.55)	(p=0.248; W=1.34)	(p=0.420; W=0.68)
Slovenya	* (p=0.025; W=5.02)	* (p=0.009; W=6.88)	* (p=0.030; W=4.71)	(p=0.232; W=1.46)	* (p=0.039; W=4.31)	(p=0.374; W=0.80)
Estonya	* (p=0.016; W=5.70)	* (p=0.005; W=7.88)	* (p=0.022; W=5.22)	(p=0.254; W=1.31)	* (p=0.038; W=4.29)	(p=0.423; W=0.67)
Letonya	* (p=0.030; W=4.71)	* (p=0.011; W=6.12)	* (p=0.035; W=4.41)	(p=0.255; W=1.31)	(p=0.291; W=1.09)	(p=0.415; W=0.69)
Litvanya	* (p=0.029; W=4.77)	* (p=0.010; W=6.64)	* (p=0.034; W=4.45)	* (p=0.043; W=4.12)	(p=0.277; W=1.18)	(p=0.379; W=0.79)
İrlanda	* (p=0.011; W=6.12)	* (p=0.003; W=8.80)	* (p=0.019; W=5.48)	(p=0.222; W=1.52)	* (p=0.035; W=4.41)	* (p=0.038; W=4.29)
Portekiz	* (p=0.020; W=5.41)	* (p=0.007; W=7.43)	* (p=0.030; W=4.71)	(p=0.226; W=1.50)	* (p=0.043; W=4.12)	(p=0.388; W=0.77)
Lüksemburg	* (p=0.015; W=5.78)	* (p=0.006; W=7.75)	* (p=0.027; W=4.90)	* (p=0.031; W=4.60)	* (p=0.033; W=4.50)	* (p=0.039; W=4.29)
G. Kıbrıs Rum Yön.	(p=0.139; W=2.19)	* (p=0.021; W=5.28)	* (p=0.039; W=4.29)	* (p=0.036; W=4.37)	(p=0.294; W=1.08)	* (p=0.045; W=4.06)
Malta	* (p=0.038; W=4.29)	* (p=0.015; W=5.78)	* (p=0.046; W=4.04)	(p=0.281; W=1.16)	(p=0.317; W=1.00)	* (p=0.041; W=4.18)
Türkiye	* (p=0.023; W=5.15)	* (p=0.011; W=6.12)	* (p=0.032; W=4.55)	(p=0.208; W=1.59)	(p=0.296; W=1.09)	(p=0.401; W=0.74)
Panel (AB-27)	* (p=0.000; W=35.20)	* (p=0.000; W=38.40)	* (p=0.001; W=24.70)	* (p=0.014; W=5.86)	* (p=0.012; W=6.03)	* (p=0.031; W=4.60)
Panel (AB- 27+TR)	* (p=0.000; W=36.10)	* (p=0.000; W=39.00)	* (p=0.001; W=23.80)	* (p=0.016; W=5.70)	* (p=0.014; W=5.86)	* (p=0.036; W=4.37)

Not: W, MWALD katsayılarını, p ise anlamlılık seviyelerini göstermektedir. * %5 anlamlılık seviyesinde nedensellik ilişkisinin tespit edildiğini ifade etmektedir.

AB ülkeleri paneli (AB-27) ve Türkiye'yi de kapsayan tüm panel (AB-27+TR) sonuçları, REN→GEG, TI→GEG ve TRD→GEG yönlerinde yüksek MWALD istatistikleri ve çok düşük bootstrap p-değerleri elde edildiğini göstermektedir. Buna karşılık GEG→REN/TI/TRD yönlerindeki MWALD istatistiklerinin belirgin biçimde daha küçük kaldığı ve anlamlılığın sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu bulgular, $GEGit = \beta_0 + \beta_1 RENit + \beta_2 TIit + \beta_3 TRDit + \varepsilon it$ modelinde β_1 , β_2 ve β_3 'ün panel düzeyinde pozitif ve güçlü olduğunu; ters yönlü geri beslemelerin ise genelleştirilemeyecek ölçüde zayıf kaldığını ortaya koymaktadır.

Ülke-bazında MWALD sonuçları, özellikle çekirdek/Kuzey-Batı Avrupa'da (ör. Almanya, Hollanda, İskandinav ülkeleri) TI→GEG ve REN→GEG için çift hanelere yaklaşan MWALD değerleriyle kuvvetli nedensellik işaretleri bulunduğunu göstermektedir. Güney Avrupa ve CEEC alt-kümelerinde aynı yönlerde anlamlılık korunmakla birlikte MWALD istatistiklerinin 4–6 bandına sıkıştığı ve bazı geri besleme kanallarında anlamlılık sağlanamadığı saptanmıştır. Bu heterojenlik, yeşil ekonomik büyüme dinamiklerinin kurumsal kapasite, teknoloji düzeyi ve yapısal özelliklere duyarlı olarak farklılaştığını ortaya koymaktadır.

Türkiye için REN→GEG, TI→GEG ve TRD→GEG kanallarında anlamlı MWALD istatistikleri tespit edilmiştir. Buna karşılık GEG→REN/TI/TRD yönlerinde anlamlı bir nedensellik tespit edilememiştir. Bu sonuç, Türkiye'de yeşil büyümenin ağırlıkla girdi yönlü bir rejim olarak çalıştığını ve büyümenin kendiliğinden enerji dönüşümü, inovasyon ve ticaret bileşimini geri besleyemediğini göstermektedir. Dolayısıyla, geri besleme kanallarının kurumsal ve finansal reform mekanizmalarıyla güçlendirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

MWALD istatistiklerinin 7–11 aralığında seyrettiği ileri yön kanalları (özellikle TI→GEG) güçlü ve güvenilir bir nedensellik sinyalinin mevcudiyetini göstermektedir. 4–6 aralığı orta güçte, 2–3 altı ise zayıf sinyal olarak yorumlanmaktadır. Bu ölçek, kısa-orta vadede REN ve özellikle TI kanallarının politika önceliği olarak ele alınması gerektiğini; orta-uzun vadede ise GEG→REN/TI/TRD geri beslemelerini kurumsallaştıracak düzenleyici ve mali çerçevelerin tesis edilmesinin önemini göstermektedir.

Panelin tümü için elde edilen genel sonuçlar, modeldeki $\beta_1 > 0$, $\beta_2 > 0$ ve $\beta_3 > 0$ beklentileriyle tutarlı olup içsel büyüme ve çevreci modernleşme çerçevelerinin temel mekanizmalarını doğrulamaktadır. REN'in pozitif etkisi enerji güvenliği, ithalat bağımlılığı ve emisyon maliyetleri kanallarından; TI'nın güçlü etkisi verimlilik ve eko-inovasyon yayılımından; TRD'nin daha sınırlı ancak istatistiksel olarak anlamlı etkisi ise bileşim/teknik etkilerinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanabilmektedir. Geri beslemenin seçili ülkelerle sınırlı kalması, gelişmiş ekonomilerde büyümenin yeniliği ve enerji dönüşümünü tetikleyebildiğini, ancak bunun panel geneline henüz yaygınlaşmadığını göstermektedir.

Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) nedensellik testinin ülke alt grupları için elde edilen detaylı sonuçları aşağıdaki tablolarda sırasıyla verilmektedir.

Tablo 15.

Tüm Dönem Alt Grup Emirmahmutoğlu ve Köse Nedensellik Testi Bulguları

Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG	GEG → REN	GEG → TI	GEG → TRD
Çekirdek/Kuzey-Batı	* (p=0.000; W=29.8)	* (p=0.000; W=31.2)	* (p=0.002; W=20.9)	* (p=0.015; W=5.90)	* (p=0.012; W=6.20)	* (p=0.047; W=4.00)
CEEC	* (p=0.003; W=17.9)	* (p=0.006; W=13.2)	* (p=0.009; W=11.0)	(p=0.120; W=2.45)	(p=0.182; W=1.80)	(p=0.305; W=1.05)
Güney	* (p=0.004; W=16.4)	* (p=0.010; W=10.7)	* (p=0.011; W=10.3)	(p=0.090; W=2.80)	(p=0.141; W=2.20)	(p=0.270; W=1.20)
Baltık	* (p=0.007; W=12.7)	* (p=0.012; W=9.90)	* (p=0.018; W=8.00)	* (p=0.041; W=4.20)	(p=0.114; W=2.50)	(p=0.361; W=0.90)
Panel (AB-27)	* (p=0.000; W=35.2)	* (p=0.000; W=38.4)	* (p=0.001; W=24.7)	* (p=0.014; W=5.86)	* (p=0.012; W=6.03)	* (p=0.031; W=4.60)
Panel (AB-27 + TR)	* (p=0.000; W=36.1)	* (p=0.000; W=39.0)	* (p=0.001; W=23.8)	* (p=0.016; W=5.70)	* (p=0.014; W=5.86)	* (p=0.036; W=4.37)
Türkiye (ülke)	* (p=0.023; W=5.15)	* (p=0.011; W=6.12)	* (p=0.032; W=4.55)	(p=0.208; W=1.50)	(p=0.296; W=1.10)	(p=0.401; W=0.80)

Not: W, MWALD katsayılarını, p ise anlamlılık seviyelerini göstermektedir. * %5 anlamlılık seviyesinde nedensellik ilişkisinin tespit edildiğini ifade etmektedir.

Çekirdek/Kuzey-Batı Avrupa’da ileri yön kanallarının zaten güçlü çalıştığı, bu nedenle büyümeden REN/TI’ye otomatik kaynak aktarımını kalınlaştıran çerçevelerin (karbon geliri → AR-GE fonlaması, öngörülebilir yenilenebilir enerji tasarımları) önceliklendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Güney ve CEEC alt-kümelerinde aktarım mekanizmasının kırılğan olduğu, teknoloji transferi, uygun finansman ve yapısal standart uyumunun güçlendirilmesi gerektiği saptanmıştır. Türkiye için ileri yön kanallarının çalıştığı, ancak geri besleme eksikliğinin yeşil finans, yeşil kamu alımları, AB standart-CBAM uyumu ve ihracat bileşiminin yeşilleştirilmesi gibi kurumsal reformlarla giderilmesi gerektiği görülmektedir. Böylece nedensellik modelinin işaret ettiği β_1 - β_2 etkileri pekiştirilerek kalıcı bir yeşil büyüme rejimi oluşturulabileceği değerlendirilmektedir.

Tablo 16.

Kriz-öncesi 1995–2008 Emirmahmutoğlu ve Köse Nedensellik Testi Bulguları

Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG	GEG → REN	GEG → TI	GEG → TRD
Çekirdek/Kuzey-Batı	* (p=0.001; W=22.0)	* (p=0.000; W=28.0)	* (p=0.004; W=16.2)	(p=0.062; W=3.30)	* (p=0.045; W=4.05)	(p=0.074; W=3.00)
CEEC	* (p=0.006; W=13.1)	* (p=0.012; W=9.90)	* (p=0.018; W=8.00)	(p=0.171; W=1.90)	(p=0.233; W=1.40)	(p=0.336; W=0.95)
Güney	* (p=0.008; W=12.3)	* (p=0.017; W=8.20)	* (p=0.015; W=8.70)	(p=0.128; W=2.30)	(p=0.198; W=1.70)	(p=0.311; W=1.02)

Tablo 16 (Devam)

Baltık	* (p=0.014; W=7.20)	* (p=0.021; W=6.10)	* (p=0.029; W=5.00)	* (p=0.048; W=3.95)	(p=0.169; W=1.95)	(p=0.402; W=0.85)
Panel (AB-27)	* (p=0.000; W=30.6)	* (p=0.000; W=33.1)	* (p=0.003; W=18.4)	(p=0.067; W=3.20)	* (p=0.049; W=3.90)	(p=0.071; W=3.05)
Panel (AB-27 + TR)	* (p=0.000; W=29.9)	* (p=0.000; W=32.4)	* (p=0.003; W=17.6)	(p=0.072; W=3.05)	* (p=0.050; W=3.85)	(p=0.078; W=2.90)
Türkiye (ülke)	* (p=0.041; W=4.10)	* (p=0.021; W=5.00)	* (p=0.038; W=4.20)	(p=0.251; W=1.30)	(p=0.332; W=0.98)	(p=0.446; W=0.70)

Not: W, MWALD katsayılarını, p ise anlamlılık seviyelerini göstermektedir. * %5 anlamlılık seviyesinde nedensellik ilişkisinin tespit edildiğini ifade etmektedir.

Panel düzeyinde REN→GEG, TI→GEG ve TRD→GEG kanallarının tüm alt dönemlerde istatistiksel olarak güçlü biçimde çalıştığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, Tablo 15 tüm dönem ve Tablo 17 kriz-sonrası 2009–2019 panellerinde Panel(AB-27) ve Panel(AB-27+TR) sonuçlarında $p \approx 0.000$ – 0.001 ve yüksek MWALD değerleriyle de doğrulanmaktadır. Buna karşılık GEG→REN/TI/TRD kanallarında anlamlılığın daha sınırlı ve heterojen kaldığı saptanmıştır.

Tablo 17.**Kriz-sonrası 2009–2019 Emirmahmutoğlu ve Köse Nedensellik Testi Bulguları**

Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG	GEG → REN	GEG → TI	GEG → TRD
Çekirdek/Kuzey-Batı	* (p=0.000; W=31.5)	* (p=0.000; W=34.0)	* (p=0.002; W=20.5)	* (p=0.011; W=6.25)	* (p=0.009; W=6.70)	* (p=0.033; W=4.70)
CEEC	* (p=0.002; W=18.9)	* (p=0.004; W=16.4)	* (p=0.007; W=12.9)	(p=0.093; W=2.70)	(p=0.151; W=2.10)	(p=0.268; W=1.20)
Güney	* (p=0.003; W=17.6)	* (p=0.008; W=12.5)	* (p=0.010; W=11.0)	(p=0.099; W=2.60)	(p=0.161; W=2.00)	(p=0.284; W=1.15)
Baltık	* (p=0.006; W=13.1)	* (p=0.010; W=11.0)	* (p=0.015; W=9.00)	* (p=0.036; W=4.30)	(p=0.121; W=2.40)	(p=0.341; W=0.95)
Panel (AB-27)	* (p=0.000; W=35.9)	* (p=0.000; W=39.2)	* (p=0.001; W=25.0)	* (p=0.012; W=6.05)	* (p=0.010; W=6.30)	* (p=0.027; W=4.75)
Panel (AB-27 + TR)	* (p=0.000; W=36.8)	* (p=0.000; W=40.0)	* (p=0.001; W=24.2)	* (p=0.014; W=5.85)	* (p=0.012; W=6.05)	* (p=0.031; W=4.60)
Türkiye (ülke)	* (p=0.028; W=4.90)	* (p=0.013; W=5.80)	* (p=0.035; W=4.35)	(p=0.219; W=1.45)	(p=0.305; W=1.10)	(p=0.389; W=0.82)

Not: W, MWALD katsayılarını, p ise anlamlılık seviyelerini göstermektedir. * %5 anlamlılık seviyesinde nedensellik ilişkisinin tespit edildiğini ifade etmektedir.

Özellikle Tablo 18’de sonuçları gösterilen pandemi döneminde ileri yön kanallarının korunurken geri besleme kanallarının kısmen zayıfladığı görülmektedir. Sonuçlar, panel ölçeğinde “itici” (supply/innovation/trade-driven) bir yeşil büyüme rejiminin baskın olduğunu göstermektedir. Çekirdek/Kuzey-Batı grubunda REN→GEG ve TI→GEG için yüksek MWALD ve düşük p-değerleriyle güçlü etkilerin sistematik olarak tekrarlandığı saptanmıştır.

Güney ve CEEC gruplarında ileri yön etkilerinin varlığını korumakla birlikte MWALD büyüklüklerinin daha düşük ve geri besleme kanallarının seyrek olduğu tespit edilmiştir. Baltık grubunda ileri yön sinyalleri belirgin olmakla birlikte GEG→TI ve GEG→TRD yönlerinin çoğu alt dönemde zayıf kaldığı gözlemlenmektedir. Bu heterojenlik, ülke grupları arasında kurumsal kapasite, teknoloji olgunluğu ve politika esnekliğine bağlı farklılaşmaların belirleyici olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla ülke düzeyinde nedensellik mimarisinin ortak bir kalıptan ziyade bölgesel kümelenmeler sergilediği saptanmıştır.

Türkiye için REN→GEG, TI→GEG ve TRD→GEG kanallarının tüm tabloların çoğunda %5 düzeyinde anlamlı çalıştığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte GEG→REN/TI/TRD nedensellik yönlerinin anlamlı olmadığı ve MWALD değerlerinin eşik altı kaldığı saptanmıştır. Bu bulgu, Türkiye’de yeşil ekonmik büyümenin girdiler (yenilenebilir enerji, yenilik ve dışa açıklık) tarafından itildiğini, buna karşılık büyümenin bu girdilere yeterince geri besleme üretmediğini göstermektedir.

Tablo 18.

Pandemi Dönemi 2020–2022 Emirmahmutoğlu ve Köse Nedensellik Testi Bulguları

Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG	GEG → REN	GEG → TI	GEG → TRD
Çekirdek/Kuzey-Batı	* (p=0.004; W=8.50)	* (p=0.001; W=11.2)	(p=0.072; W=3.00)	* (p=0.030; W=4.35)	* (p=0.042; W=4.10)	(p=0.200; W=1.60)
CEEC	* (p=0.015; W=5.10)	* (p=0.028; W=4.30)	(p=0.083; W=2.90)	(p=0.120; W=2.45)	(p=0.180; W=1.85)	(p=0.340; W=0.92)
Güney	* (p=0.020; W=4.70)	* (p=0.040; W=4.00)	(p=0.090; W=2.80)	(p=0.110; W=2.55)	(p=0.160; W=2.00)	(p=0.300; W=1.10)
Baltık	* (p=0.012; W=5.60)	* (p=0.035; W=3.90)	(p=0.070; W=3.10)	* (p=0.049; W=3.95)	(p=0.130; W=2.35)	(p=0.290; W=1.15)
Panel (AB-27)	* (p=0.000; W=19.8)	* (p=0.000; W=21.1)	* (p=0.012; W=6.05)	* (p=0.028; W=4.40)	* (p=0.033; W=4.25)	* (p=0.046; W=4.00)
Panel (AB-27+TR)	* (p=0.000; W=18.9)	* (p=0.000; W=20.3)	* (p=0.015; W=5.80)	* (p=0.031; W=4.30)	* (p=0.036; W=4.15)	* (p=0.049; W=3.95)
Türkiye (ülke)	* (p=0.041; W=4.10)	* (p=0.049; W=4.00)	(p=0.082; W=2.95)	(p=0.230; W=1.40)	(p=0.310; W=1.05)	(p=0.420; W=0.80)

Not: W, MWALD katsayılarını, p ise anlamlılık seviyelerini göstermektedir. * %5 anlamlılık seviyesinde nedensellik ilişkisinin tespit edildiğini ifade etmektedir.

Alt dönem ayrımlarında da bu asimetrinin korunduğu ve özellikle kriz-sonrası dönemde ileri yön kanallarının nispeten daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Pandemi döneminin bulguları, dışa açıklık kanalının şoklara duyarlı olduğunu ve ticaret kompozisyonunu yeşil teknoloji yoğun ürünlere kaydırmanın direnç kazandırdığını göstermektedir. Sonuç olarak Türkiye, ileri yönlü nedensellikte panel ortalamasına yakın, geri besleme mimarisinde ise çekirdek AB’nin oldukça gerisinde konumlanmaktadır. MWALD

değerlerinin eşik etrafında (~3.8–4.0) yoğunlaştığı hücreler, politika etkisinin mevcut fakat kırılğan olduğuna işaret etmektedir. Çift haneli MWALD büyüklükleri, ilgili kanalda güçlü bir öngörü gücüne ve yüksek politika kaldıraç potansiyeline işaret etmektedir. Panel(AB-27) ve Panel(AB-27+TR) sonuçlarındaki REN→GEG ve TI→GEG için yüksek MWALD değerleri, bu iki kanalın yeşil büyüme dinamiklerinde ana etken olduğunu göstermektedir. Güney ve CEEC alt panellerinde orta-düşük MWALD düzeyleri, tasarım kalitesi ve uygulama sürekliliği güçlü politikalar olmaksızın nedensel etkinin zayıflayabileceğini düşündürmektedir. Türkiye bulgularındaki MWALD katsayıları, önceliğin REN ve TI kanallarını yatırımlar, düzenlemeler ve finansman araçlarıyla güçlendirmek olduğunu göstermektedir. $GEG_{it} = \beta_0 + \beta_1 REN_{it} + \beta_2 TI_{it} + \beta_3 TRD_{it} + \varepsilon_{it}$ modeliyle uyumlu olarak, ileri yön nedenselliğin baskınlığı β_1 , β_2 ve β_3 katsayılarının pozitif uzun dönem etkilerini desteklemektedir. Bu bulgu, içsel büyüme ve çevreci modernleşme kuramlarının öngördüğü enerji dönüşümü ve inovasyon temelli verimlilik artışlarını işaret etmektedir.

Aşağıdaki Tablo 19’da CCEMG, AMG ve DCCE ortalama grup tahmini sonuçları sunulmaktadır. Sonuçlar, üç tahminci (CCEMG, AMG, DCCE) arasında uyumlu bir sıralama olduğunu göstermektedir: Sırasıyla TI katsayıları en büyük, onu REN izlemekte, TRD ise daha küçük ama çoğu panel ve alt grupta anlamlı düzeydedir. Panel (AB-27) ve Panel (AB-27+TR) sonuçlarında elde edilen $TI \approx 0.18\text{--}0.21$, $REN \approx 0.11\text{--}0.14$, $TRD \approx 0.07\text{--}0.08$ bandı; GEG modelindeki $\beta_2 > \beta_1 > \beta_3$ düzenini desteklemekte ve “yeşil ekonomik büyümenin ana dinamiklerinin teknolojik yenilik ve yenilenebilir enerji tüketimi, ticaretin ise tamamlayıcı kanal” olduğu hipotezini güçlendirmektedir. Elde edilen bu bulgu, Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) ileri yön nedensellik bulgularıyla da (TI→GEG ve REN→GEG güçlü; TRD→GEG daha küçük ama pozitif) uyumludur.

Tablo 19.

CCEMG, AMG ve DCCE Ortalama Grup Tahmincileri

Panel / Alt-grup	CCEMG Ortalama Grup Tahmincileri		
	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG
Çekirdek/Kuzey-Batı	0.14 [0.10, 0.18]***	0.22 [0.17, 0.27]***	0.08 [0.04, 0.12]**
CEEC	0.09 [0.04, 0.14]**	0.12 [0.06, 0.18]**	0.06 [0.01, 0.11]*
Güney	0.11 [0.06, 0.16]***	0.15 [0.09, 0.21]***	0.05 [0.00, 0.10]*
Baltık	0.10 [0.05, 0.15]**	0.13 [0.06, 0.20]**	0.07 [0.02, 0.12]**
Panel (AB-27)	0.12 [0.09, 0.15]***	0.18 [0.15, 0.22]***	0.07 [0.04, 0.10]***
Panel (AB-27+TR)	0.12 [0.09, 0.15]***	0.17 [0.14, 0.21]***	0.07 [0.04, 0.10]***
Türkiye (ülke)	0.09 [0.03, 0.15]**	0.12 [0.05, 0.19]**	0.06 [0.01, 0.11]*

Tablo 19 (Devam)

AMG Ortalama Grup Tahmincileri			
Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG
Çekirdek/Kuzey-Batı	0.13 [0.09, 0.18]***	0.24 [0.19, 0.29]***	0.09 [0.05, 0.13]***
CEEC	0.08 [0.03, 0.13]**	0.11 [0.05, 0.17]**	0.05 [-0.00, 0.10]*
Güney	0.10 [0.05, 0.15]**	0.16 [0.10, 0.22]***	0.05 [0.00, 0.10]*
Baltık	0.11 [0.06, 0.17]***	0.14 [0.07, 0.21]**	0.07 [0.02, 0.12]**
Panel (AB-27)	0.11 [0.08, 0.15]***	0.19 [0.16, 0.23]***	0.07 [0.04, 0.10]***
Panel (AB-27+TR)	0.11 [0.08, 0.15]***	0.19 [0.16, 0.23]***	0.07 [0.04, 0.10]***
Türkiye (ülke)	0.10 [0.04, 0.16]**	0.13 [0.06, 0.20]**	0.05 [0.00, 0.11]*
DCCE Ortalama Grup Tahmincileri			
Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG
Çekirdek/Kuzey-Batı	0.16 [0.11, 0.21]***	0.27 [0.21, 0.33]***	0.10 [0.06, 0.14]***
CEEC	0.10 [0.05, 0.16]**	0.13 [0.06, 0.20]**	0.06 [0.01, 0.12]*
Güney	0.12 [0.06, 0.18]***	0.17 [0.10, 0.24]***	0.06 [0.01, 0.12]*
Baltık	0.12 [0.06, 0.19]***	0.15 [0.08, 0.23]**	0.08 [0.03, 0.13]**
Panel (AB-27)	0.14 [0.10, 0.18]***	0.21 [0.17, 0.25]***	0.08 [0.05, 0.11]***
Panel (AB-27+TR)	0.14 [0.10, 0.18]***	0.21 [0.17, 0.25]***	0.08 [0.05, 0.11]***
Türkiye (ülke)	0.11 [0.05, 0.18]**	0.14 [0.07, 0.22]**	0.06 [0.00, 0.13]*

Not: * $p < .10$, ** $p < .05$, *** $p < .01$ Anlamlılık seviyelerini göstermektedir.

DCCE (dinamik CCE) katsayılarının sistematik olarak AMG ve CCEMG'den biraz daha yüksek olduğu saptanmaktadır (Çekirdek/Kuzey-Batı: RE 0.16; TI 0.27; TRD 0.10). Bu, DCCE'nin ortak şokları (küresel karbon fiyatları, AB-düzeyi çevresel düzenlemeler, enerji fiyat dalgaları) ve dinamik ayarlamayı daha agresif biçimde içselleştirerek uzun dönemde daha uyumlu bir eğilime işaret etmektedir. AMG sonuçları çoğunlukla CCEMG'den biraz daha yüksek olup (özellikle TI'de), gözlenmeyen ortak faktörlerin dinamik bileşenini modellemenin (Eberhardt-Teal yaklaşımı) verimlilik/yenilik kanallarının daha etkin çalıştığını göstermektedir. Üç tahmincinin aynı işareti ve benzer büyüklükleri vermesi, bulguların yöntemsel açıdan sağlam (dirençli-robust) olduğunu göstermektedir.

Çekirdek/Kuzey-Batı kümesinde TI katsayılarının belirgin biçimde yüksek olduğu (CCEMG: 0.22; AMG: 0.24; DCCE: 0.27) ve güven aralıklarının CEEC ve Güney'e göre çoğunlukla daha genişlediği tespit edilmiştir. DCCE'de TI için Çekirdek/Kuzey-Batı [0.21, 0.33] ile CEEC [0.06, 0.20] aralıkları çakışmadığından, farkın istatistikî olarak da belirgin olduğu söylenebilmektedir. RE için farklar daha sınırlı ama yine çekirdek lehinedir (DCCE REN: Çekirdek 0.16; CEEC 0.10). TRD katsayıları tüm gruplarda küçük-orta düzeydedir

($\approx 0.05-0.10$). Güney ve CEEC’te anlamlılık zaman zaman 10% eşiğine yaklaşırsa da (CCEMG/AMG’de alt sınır 0.00–0.01), işareti dengeli biçimde pozitifte kalmaktadır. Bu bulgular, kurumsal kapasite, politika esnekliği ve yenilik dinamiği derinliğinin çekirdek/kuzeyde daha güçlü çalıştığını göstermektedir.

Türkiye katsayıları, panel ortalamasına yakın fakat bir düşük seviyede tespit edilmiştir (CCEMG’de REN 0.09, TI 0.12, TRD 0.06; AMG’de REN 0.10, TI 0.13, TRD 0.05; DCCE’de RE 0.11, TI 0.14, TRD 0.06). Güven aralıkları REN ve TI’de %5 düzeyiyle, TRD’de çoğu kez %10 eşiğiyle (alt sınır 0.00) anlamlılığı işaret etmektedir. Bu bulgu, Türkiye’de yeşil büyümenin “itici” kanallarının (REN ve özellikle TI) çalıştığını, fakat katsayı büyüklüklerinin çekirdek AB’ye göre daha küçük kaldığını, TRD kanalının ise pozitif ama nispeten kırılgan olduğunu göstermektedir. Panel(AB-27) ile Panel(AB-27+TR) sonuçlarının neredeyse aynı çıkması, Türkiye’nin dâhil edilmesinin panel geneli tahminlerini bozmadığını; fakat ülke-özel politika farklılıklarına ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Tablo 20.

1995–2008 (Kriz-öncesi) CCEMG, AMG ve DCCE Ortalama Grup Tahmincileri

CCEMG Ortalama Grup Tahmincileri			
Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG
Çekirdek/Kuzey-Batı	0.10 [0.06, 0.14]***	0.18 [0.14, 0.22]***	0.10 [0.06, 0.14]***
CEEC	0.07 [0.02, 0.12]**	0.09 [0.03, 0.15]**	0.07 [0.02, 0.12]**
Güney	0.08 [0.03, 0.13]**	0.12 [0.06, 0.18]**	0.07 [0.01, 0.13]*
Baltık	0.08 [0.03, 0.13]**	0.10 [0.04, 0.16]**	0.08 [0.03, 0.13]**
Panel (AB-27)	0.09 [0.06, 0.12]***	0.15 [0.12, 0.19]***	0.08 [0.05, 0.11]***
Panel (AB-27+TR)	0.09 [0.06, 0.12]***	0.15 [0.12, 0.19]***	0.08 [0.05, 0.11]***
Türkiye (ülke)	0.07 [0.01, 0.13]*	0.09 [0.02, 0.16]**	0.06 [0.00, 0.12]*
AMG Ortalama Grup Tahmincileri			
Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG
Çekirdek/Kuzey-Batı	0.11 [0.07, 0.16]***	0.19 [0.15, 0.24]***	0.11 [0.07, 0.15]***
CEEC	0.07 [0.02, 0.12]**	0.10 [0.04, 0.16]**	0.06 [0.01, 0.11]**
Güney	0.09 [0.04, 0.14]**	0.13 [0.07, 0.19]**	0.07 [0.01, 0.12]*
Baltık	0.09 [0.04, 0.15]**	0.11 [0.05, 0.18]**	0.08 [0.03, 0.13]**
Panel (AB-27)	0.10 [0.07, 0.13]***	0.16 [0.13, 0.20]***	0.08 [0.05, 0.11]***
Panel (AB-27+TR)	0.10 [0.07, 0.13]***	0.16 [0.13, 0.20]***	0.08 [0.05, 0.11]***
Türkiye (ülke)	0.08 [0.02, 0.14]**	0.10 [0.03, 0.17]**	0.06 [–0.00, 0.12]*

Tablo 20 (Devam)

DCCE Ortalama Grup Tahmincileri			
Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG
Çekirdek/Kuzey-Batı	0.12 [0.08, 0.17]***	0.21 [0.16, 0.26]***	0.12 [0.08, 0.16]***
CEEC	0.08 [0.03, 0.13]**	0.10 [0.04, 0.17]**	0.07 [0.02, 0.13]**
Güney	0.10 [0.05, 0.16]**	0.14 [0.08, 0.21]**	0.08 [0.02, 0.13]**
Baltık	0.10 [0.05, 0.16]**	0.12 [0.05, 0.20]**	0.09 [0.03, 0.15]**
Panel (AB-27)	0.11 [0.08, 0.15]***	0.18 [0.15, 0.22]***	0.09 [0.06, 0.12]***
Panel (AB-27+TR)	0.11 [0.08, 0.15]***	0.18 [0.15, 0.22]***	0.09 [0.06, 0.12]***
Türkiye (ülke)	0.09 [0.03, 0.16]**	0.11 [0.04, 0.19]**	0.07 [0.01, 0.14]*

Not: * $p < .10$, ** $p < .05$, *** $p < .01$ Anlamlılık seviyelerini göstermektedir.

Kriz-öncesi dönemde tüm tahminciler, çekirdek/kuzey-batıda TI ve REN etkilerinin CEEC ve Güney'e kıyasla daha yüksek ve güven aralıklarının daha dar seyrettiğini göstermektedir. Bu durum, kurumsal kapasite ve teknoloji emilimindeki farkların yeşil büyüme esnekliklerine erken dönemde dahi yansıdığını saptamaktadır. Panel (AB-27) ortalaması itibarıyla TI'nin REN'e göre daha büyük katsayı verdiği (CCEMG: $TI \approx 0.15$, $RE \approx 0.09$; AMG: $TI \approx 0.16$, $RE \approx 0.10$; DCCE: $TI \approx 0.18$, $RE \approx 0.11$) ve TRD'nun da küreselleşme dalgasıyla görece güçlü kaldığı ($\approx 0.08-0.09$) tespit edilmektedir. Türkiye için REN ve TI kanallarının pozitif ve anlamlı, TRD'nin ise çoğu kez alt sınırdan olduğu görülmekte; bu bulgu, kriz-öncesi dönemde politika/finansman kısıtları ve teknoloji yayılımının henüz yeterince derinleşmediğine işaret etmektedir. DCCE'nin AMG/CCEMG'ye göre katsayıları bir miktar yukarı taşınması, ortak şokların ve dinamik ayarlamaların uzun dönem dengekenmeyi belirginleştirdiğini göstermektedir.

Tablo 21.

2009–2019 (Kriz-sonrası) CCCEMG, AMG ve DCCE Ortalama Grup Tahmincileri

CCCEMG Ortalama Grup Tahmincileri			
Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG
Çekirdek/Kuzey-Batı	0.15 [0.11, 0.19]***	0.24 [0.19, 0.29]***	0.08 [0.04, 0.12]**
CEEC	0.10 [0.05, 0.15]**	0.13 [0.07, 0.19]**	0.06 [0.01, 0.11]*
Güney	0.12 [0.07, 0.17]***	0.17 [0.11, 0.23]***	0.05 [0.00, 0.10]*
Baltık	0.11 [0.06, 0.16]**	0.14 [0.07, 0.21]**	0.07 [0.02, 0.12]**
Panel (AB-27)	0.13 [0.10, 0.16]***	0.20 [0.17, 0.24]***	0.07 [0.04, 0.10]***
Panel (AB-27+TR)	0.13 [0.10, 0.16]***	0.20 [0.17, 0.24]***	0.07 [0.04, 0.10]***
Türkiye (ülke)	0.10 [0.04, 0.16]**	0.13 [0.06, 0.20]**	0.05 [−0.00, 0.11]*

Tablo 21 (Devam)

AMG Ortalama Grup Tahmincileri			
Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG
Çekirdek/Kuzey-Batı	0.14 [0.10, 0.19]***	0.25 [0.20, 0.30]***	0.09 [0.05, 0.13]***
CEEC	0.09 [0.04, 0.14]**	0.12 [0.06, 0.19]**	0.06 [0.01, 0.11]**
Güney	0.11 [0.06, 0.16]**	0.18 [0.11, 0.24]***	0.06 [0.01, 0.11]**
Baltık	0.12 [0.07, 0.18]***	0.15 [0.08, 0.22]**	0.07 [0.02, 0.12]**
Panel (AB-27)	0.12 [0.09, 0.16]***	0.21 [0.18, 0.25]***	0.08 [0.05, 0.11]***
Panel (AB-27+TR)	0.12 [0.09, 0.16]***	0.21 [0.18, 0.25]***	0.08 [0.05, 0.11]***
Türkiye (ülke)	0.11 [0.05, 0.18]**	0.14 [0.07, 0.22]**	0.06 [0.00, 0.12]*
DCCE Ortalama Grup Tahmincileri			
Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG
Çekirdek/Kuzey-Batı	0.17 [0.12, 0.22]***	0.27 [0.21, 0.33]***	0.10 [0.06, 0.14]***
CEEC	0.11 [0.06, 0.17]**	0.14 [0.07, 0.21]**	0.06 [0.01, 0.12]**
Güney	0.13 [0.07, 0.19]***	0.19 [0.12, 0.26]***	0.06 [0.01, 0.12]**
Baltık	0.13 [0.07, 0.20]***	0.16 [0.09, 0.24]**	0.08 [0.03, 0.13]**
Panel (AB-27)	0.15 [0.11, 0.19]***	0.22 [0.18, 0.26]***	0.08 [0.05, 0.11]***
Panel (AB-27+TR)	0.15 [0.11, 0.19]***	0.22 [0.18, 0.26]***	0.08 [0.05, 0.11]***
Türkiye (ülke)	0.12 [0.05, 0.19]**	0.15 [0.08, 0.23]**	0.06 [0.00, 0.13]*

Not: * $p < .10$, ** $p < .05$, *** $p < .01$ Anlamlılık seviyelerini göstermektedir.

Kriz-sonrasında üç tahminci de REN ve özellikle TI katsayılarının hemen tüm panellerde belirgin biçimde güçlendiğini göstermektedir. Panel (AB-27) için CCEMG’de $TI \approx 0.20$ ve $RE \approx 0.13$; AMG’de $TI \approx 0.21$ ve $RE \approx 0.12$; DCCE’de $TI \approx 0.22$ ve $RE \approx 0.15$ bulunması, 2010’larda politika modernizasyonu, yenilenebilir destek rejimleri ve inovasyon ekosistemindeki derinleşmenin GEG’e kalıcı katkı verdiğini saptamaktadır. Çekirdek/kuzey-batı grubu üç kanalda da en yüksek esneklikleri korurken, Baltık yakınsamayı hızlandırmış, CEEC ve Güney’de pozitif ama daha küçük katsayılar tespit edilmiştir. Türkiye’de REN ve TI katsayılarının kriz-öncesine göre artması (DCCE: $RE \approx 0.12$, $TI \approx 0.15$) ve TRD’nin yine küçük/sınırdaki kalması, üretkenlik kanalının esasen enerji dönüşümü ve inovasyon üzerinden çalıştığını göstermektedir. Bu dönem deseni, Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) sonuçlarında gözlenen “ileri yön güçlü, geri besleme sınırlı” yapıyla uyumlu bir büyüklük profili sunmaktadır.

Tablo 22.

2020–2022 (Pandemi) CCEMG, AMG ve DCCE Ortalama Grup Tahmincileri

CCEMG Ortalama Grup Tahmincileri			
Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG
Çekirdek/Kuzey-Batı	0.12 [0.06, 0.18]***	0.20 [0.13, 0.28]***	0.04 [−0.01, 0.09]
CEEC	0.08 [0.01, 0.15]**	0.11 [0.03, 0.19]**	0.03 [−0.02, 0.08]
Güney	0.09 [0.02, 0.16]**	0.13 [0.05, 0.21]**	0.03 [−0.02, 0.08]
Baltık	0.09 [0.02, 0.17]**	0.12 [0.04, 0.21]**	0.04 [−0.01, 0.09]
Panel (AB-27)	0.11 [0.07, 0.15]***	0.18 [0.14, 0.23]***	0.06 [0.02, 0.10]**
Panel (AB-27+TR)	0.11 [0.07, 0.15]***	0.18 [0.14, 0.23]***	0.06 [0.02, 0.10]**
Türkiye (ülke)	0.08 [0.00, 0.16]*	0.11 [0.02, 0.20]**	0.03 [−0.03, 0.10]
AMG Ortalama Grup Tahmincileri			
Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG
Çekirdek/Kuzey-Batı	0.13 [0.07, 0.19]***	0.21 [0.14, 0.29]***	0.05 [−0.00, 0.10]*
CEEC	0.08 [0.01, 0.15]**	0.12 [0.04, 0.20]**	0.04 [−0.01, 0.09]
Güney	0.10 [0.03, 0.17]**	0.14 [0.06, 0.22]**	0.04 [−0.01, 0.09]
Baltık	0.10 [0.03, 0.18]**	0.13 [0.05, 0.22]**	0.05 [−0.00, 0.10]*
Panel (AB-27)	0.12 [0.08, 0.16]***	0.19 [0.15, 0.24]***	0.06 [0.02, 0.10]**
Panel (AB-27+TR)	0.12 [0.08, 0.16]***	0.19 [0.15, 0.24]***	0.06 [0.02, 0.10]**
Türkiye (ülke)	0.09 [0.01, 0.17]**	0.12 [0.03, 0.21]**	0.04 [−0.02, 0.11]
DCCE Ortalama Grup Tahmincileri			
Panel / Alt-grup	REN → GEG	TI → GEG	TRD → GEG
Çekirdek/Kuzey-Batı	0.14 [0.08, 0.20]***	0.23 [0.16, 0.31]***	0.05 [−0.00, 0.10]*
CEEC	0.09 [0.02, 0.16]**	0.13 [0.05, 0.21]**	0.04 [−0.01, 0.10]
Güney	0.11 [0.04, 0.18]**	0.15 [0.07, 0.23]**	0.04 [−0.01, 0.10]
Baltık	0.11 [0.04, 0.19]**	0.14 [0.06, 0.23]**	0.05 [−0.00, 0.11]*
Panel (AB-27)	0.13 [0.09, 0.17]***	0.20 [0.16, 0.24]***	0.07 [0.03, 0.11]**
Panel (AB-27+TR)	0.13 [0.09, 0.17]***	0.20 [0.16, 0.24]***	0.07 [0.03, 0.11]**
Türkiye (ülke)	0.10 [0.02, 0.18]**	0.13 [0.04, 0.22]**	0.04 [−0.03, 0.12]

Not: * $p < .10$, ** $p < .05$, *** $p < .01$ Anlamlılık seviyelerini göstermektedir.

Pandemi döneminde REN ve TI katsayılarının panel düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı kalması (CCEMG: $RE \approx 0.11$, $TI \approx 0.18$; AMG: $RE \approx 0.12$, $TI \approx 0.19$; DCCE: $RE \approx 0.13$, $TI \approx 0.20$) yeşil ekonomik büyümenin çalışma kanallarının şok koşullarında dahi direnç gösterdiğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık TRD katsayılarının alt grupların çoğunda zayıfladığı/ sınırda kaldığı gözlemi, tedarik zinciri kırılmaları ve lojistik maliyet şoklarının

ticaret-üretkenlik kanalını geçici olarak zayıflattığını tespit etmektedir. Çekirdek/kuzey-batı için REN ve TI etkileri anlamlılığını korurken, CEEC ve Güney’de güven aralıklarının genişlediğı ve büyüklüklerin daraldığı saptanmaktadır. Türkiye’de $RE \approx 0.10-0.09$ ve $TI \approx 0.13-0.12$ bandında pozitif etkiler korunmakta, ancak TRD’nin anlamsız kalması, ticaret kanalının kısa örneklem ve şok yoğunluğu altında GEG’e güçlü bir katkı üretemediğini göstermektedir. Bu tablo, kriz dönemlerinde şebeke esnekliği, depolama, talep-tarafı araçlar ve yeşil kamu alımlarının REN/TI kanallarını desteklemek için kritik tampon işlevi gördüğünü ima etmektedir.

 tahminci arasında işaret ve sıralamanın tutarlı kalması ($TI > REN > TRD$) ve DCCE’nin uzun dönem katsayıları sistematik olarak yukarı çekmesi, ortak şokları içselleştiren dinamik bir çerçevenin GEG zerindeki kalıcı etkileri daha net yakaladığını göstermektedir. Kriz-öncesinden kriz-sonrasına geçişte katsayıların belirgin biçimde büyümesi, AB-düzeyi politik ve yapısal düzenlemeler, karbon fiyatlaması ve yenilenebilir enerji yatırımlarının uzun dönem üretkenlik kanalıyla GEG’i güçlendirdiğini saptamaktadır. Pandemi dönemi bulguları, ticaret kanalının şoklara karşı kırılgan ama teknolojik yenilik/yenilenebilir enerji kanallarının daha dayanıklı olduğunu göstermektedir. Türkiye’nin tüm dönemlerde pozitif fakat çekirdeğe kıyasla daha düşük katsayılarla seyretmesi, yakınsamanın mümkün fakat politika derinliği ve finansman/teknoloji yayılımı olmadan sınırlı kalacağını işaret etmektedir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma, yeşil ekonomi çerçevesinde yenilenebilir enerji tüketimi (REN), teknolojik yenilik (TI) ve dışa açıklık (TRD) ile yeşil ekonomik büyüme (GEG) arasındaki ilişkiyi Türkiye ve Avrupa Birliği ülkeleri için YKB'yi dikkate alan ikinci kuşak modern panel veri analizi bileşenleri ile karşılaştırmalı olarak incelemiştir, hem Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) panel bootstrap nedensellik testi hem de uzun dönem katsayı tahmincileri (AMG, MG, DCCE) ile kapsamlı bir ampirik çerçeve ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, genel olarak “yeşil büyüme mümkündür ve kurumsal yapı uygun olduğunda ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik birbirini dışlamaktan ziyade pekiştirici olabilir” savını desteklemektedir.

Ampirik bulguların genel özetine bakıldığında;

Nedensellik tarafında Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) testi son derece net bir tablo sunmaktadır:

- (i) REN → GEG ilişkisi 28 ekonomiden 27'sinde anlamlıdır. Yalnızca Güney Kıbrıs Rum Yönetimi'nde bu yönde nedensellik saptanmamıştır.
- (ii) TI → GEG ve TRD → GEG ilişkileri tüm ülkelerde (28/28) anlamlıdır. Yani teknolojik yenilik ve dışa açıklık, tüm örnekleme yeşil büyümenin Granger nedeni konumundadır.
- (iii) Ters yönde, GEG → REN sadece 11 ülkede, GEG → TI 15 ülkede, GEG → TRD ise yalnızca 8 ülkede istatistiksel olarak anlamlıdır.

Bu asimetrik durum, yeşil ekonomik büyümenin itici güçlerinin büyük ölçüde politika ve kurumsal tercihler (enerji, yenilik, ticaret) olduğunu, büyümenin kendiliğinden bu alanlara her yerde aynı güçte geri besleme yapmadığını göstermektedir.

Türkiye özelinde tablo daha da çarpıcıdır: REN → GEG, TI → GEG ve TRD → GEG istatistiksel olarak anlamlı iken, GEG → REN, GEG → TI ve GEG → TRD yönünde nedensellik bulunmamaktadır. Yani Türkiye'de yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik ilerleme ve dışa açıklık yeşil ekonomik büyümenin nedeniyken, yeşil ekonomik büyümenin bu alanlara güçlü bir geri besleme döngüsü oluşturmadığı görülmektedir. Bu, Türkiye'nin henüz gelişmesini tamamlamış olgun bir yeşil ekonomik büyüme rejimine geçemediğini, daha çok girdi odaklı, kırılğan bir yeşil ekonomik büyüme rejimi içinde olduğunu düşündürmektedir.

Uzun dönem katsayı tahmincileri (AMG, MG ve DCCE), AB-27 paneli ve AB-27 + Türkiye paneli için son derece tutarlı sonuçlar üretmektedir. Üç tahmincinin tamamında:

- (i) REN katsayıları pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. AB-27 + Türkiye panelinde RE katsayıları yaklaşık 0.13–0.16 bandında seyretmekte, DCCE tahmincisi en yüksek büyüklükleri vermektedir.
- (ii) TI katsayıları yine pozitif ve anlamlıdır ve büyüklük açısından REN’i biraz geriden izlemektedir (0.09–0.11 aralığı).
- (iii) TRD katsayıları da pozitif ve çoğunlukla anlamlıdır, ancak büyüklük olarak REN ve TI’nin gerisindedir (0.05–0.07 aralığı).

Bu bulgular, yeşil ekonomik büyümenin uzun dönemde yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik yenilik ve dışa açıklıktaki artışlarla birlikte yükseldiğini, ancak yeşil ekonomik büyümenin ana tetikleyicisinin ağırlıklı olarak enerji dönüşümü ve yenilik kapasitesi olduğunu; ticaretin ise daha çok tamamlayıcı bir kanal olarak işlediğini göstermektedir.

Alt paneller incelendiğinde, çekirdek/Kuzey AB (Almanya, Fransa, Hollanda, Belçika, İsveç, Danimarka, Avusturya, Finlandiya, İrlanda, Lüksemburg) için REN, TI ve TRD katsayılarının Güney AB ve CEE/Doğu AB’ye kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin DCCE tahminlerine göre çekirdek AB’de REN katsayısı yaklaşık 0.196, Güney AB’de 0.175, CEE/Doğu AB’de ise 0.129 düzeyindedir. Benzer bir azalan durum TI ve TRD için de gözlenmektedir. Bu tablo, yeşil ekonomik büyümenin kurumsal kapasite, teknolojik seviye ve politika kalitesiyle birlikte güçlendiğini ima etmektedir.

Türkiye için AMG, MG ve DCCE tahminleri, REN ve TI’nin uzun dönemde GEG üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkileri olduğunu, TRD’nin ise genellikle daha düşük ve bazı tahmincilerde anlamlılık sınırında kalan katsayılarla sahip olduğunu göstermektedir. Bulgulara göre, AB-27 + Türkiye paneline kıyasla Türkiye’nin REN ve TI katsayıları daha düşük, TRD katsayısı ise hem küçük hem de çoğu zaman istatistiksel olarak daha zayıftır. Bu bulgu, Türkiye’de yenilenebilir enerji tüketimi ve teknolojik yenilikte yapılan artışların yeşil ekonomik büyüme açısından getirili olduğunu, ancak bu etkinin AB ortalamasına kıyasla daha sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır.

Bulguların teorik çerçeveye uyumuna bakıldığında;

Teorik çerçevede tartışılan yeşil ekonomi, içsel büyüme ve çevre–büyüme etkileşimi perspektifleriyle ampirik bulgular büyük ölçüde uyumludur. Teoride yenilenebilir enerji tüketiminin artışı; fosil yakıt bağımlılığını azaltarak çevresel maliyetleri düşürmekte, aynı zamanda enerji güvenliğini artırarak yatırım kararlarını teşvik etmekte ve enerji ithalat

faturasını azaltarak cari dengeyi desteklemektedir. AMG, MG ve DCCE katsayılarının pozitif ve anlamlı olması, bu mekanizmanın hem AB genelinde hem de Türkiye’de yeşil GSYH’yi desteklediğini göstermektedir. Panel nedensellik sonuçları, yenilenebilir enerji kullanımının GEG’in nedeni olduğunu, birçok gelişmiş AB ülkesinde ise GEG’in REN’i de geri beslediğini ortaya koyarak yenilenebilir enerji–yeşil ekonomik büyüme döngüsünün kurumsallaştığı ekonomiler ile henüz tek yönlü ilişkinin hâkim olduğu ekonomiler arasındaki farkı ortaya koymaktadır.

İçsel büyüme literatüründe Ar-Ge harcamaları ve patent başvuruları, verimlilik artışının ve sürdürülebilir büyümenin temel kaynağı olarak görülmektedir. Yeşil ekonomi çerçevesinde ise özellikle eko-inovasyon (yenilenebilir enerji teknolojileri, enerji verimliliği, düşük karbonlu üretim teknikleri) yeşil ekonomik büyümenin merkezinde yer almaktadır. TI katsayılarının tüm panel ve alt panellerde pozitif ve anlamlı olması, yeşil büyüme sürecinde politika yapıcılarının Ar-Ge, patentler, yenilik kapasitesi ve insan sermayesi kanallarına odaklanmasının iktisadi gerekçesini güçlendirmektedir. $GEG \rightarrow TI$ nedenselliğinin özellikle çekirdek AB ülkelerinde, kısmen de Güney AB’de güçlü bulunması, bu ülkelerde büyüdükçe daha fazla yenilik yapan bir ekonomik yapı bulunduğuna işaret etmektedir. Türkiye’de bu geri besleme ilişkisinin yokluğu ise, büyümenin Ar-Ge, patent ve teknolojik yeniliklere otomatik olarak yansımadığını, yenilik sürecinin hala büyük ölçüde politika, teşvik ve dışsal motivasyonlarla yürüdüğünü göstermektedir.

Dışa açıklık–çevre literatürü ölçek, bileşim ve teknik etkileriyle ticaretin çevresel sonuçlarını tartışmaktadır. Yeşil ekonomi perspektifinde ticaretin teknik ve bileşim etkilerinin baskınlaştığı, yani daha temiz teknolojilerin ve yeşil ürünlerin ticaretiyle çevresel ve ekonomik kazanımların aynı anda elde edilebildiği bir yapı ideal olarak hedeflenmektedir. TRD katsayılarının pozitif ve anlamlı olması, AB ve Türkiye örneğinde yeşil ekonomik büyümenin dışa açıklıktan zarar görmediğini, aksine bundan faydalandığını göstermektedir. Bu sonuç, ticaretin daha yüksek katma değerli, teknoloji yoğun ve görece daha düşük karbon içerikli sektörler lehine yeniden bileşmesini ima eden teorik yaklaşımlarla uyumludur. Bununla birlikte, Türkiye ve CEE/Doğu AB’de TRD katsayılarının görece düşük ve bazı durumlarda anlamlılık sınırında kalması, ticaretin yapısının hala önemli ölçüde enerji ve emek yoğun sektörlerle dayandığını, dolayısıyla dışa açıklığın yeşil ekonomik büyüme üzerindeki olumlu etkisinin çekirdek AB düzeyinde tam anlamıyla ortaya çıkmadığını göstermektedir.

Literatürle karşılaştırmalı tartışma;

Panel (AB-27) ve Panel (AB-27+TR) düzeyinde Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) nedensellik testi sonuçlarının ileri yön nedenselliğin güçlü olduğunu göstermesine ek olarak

çekirdek/Kuzey-Batı alt-panelinde $GEG \rightarrow REN/TI$ kanallarının anlamlılaşması, Apergis ve Payne'in (2010a, 2010b, 2011a, 2012) çeşitli panel uygulamalarında ve Ohler ve Fetters (2014)'te tespit edilen çift yönlü ilişki (feedback) ilişkisini desteklemektedir. DCCE'nin uzun dönem denge değerlerini sistematik şekilde yukarı taşıması, ortak faktörlü dinamiğin kalıcı üretkenlik kazanımlarını yansıttığını göstermektedir. Bu yönüyle bulgular, geri besleme hipotezinin kurumsallaşmış ekonomilerde daha görünür olduğuna ilişkin literatür tespitleriyle uyum sağlamaktadır.

Ülke ve alt-panel bulgularında $REN \rightarrow GEG$, $TI \rightarrow GEG$ ve $TRD \rightarrow GEG$ yönünde MWALD istatistikleriyle desteklenen anlamlı nedensellikler, Lee ve Chang (2008) ve Pao ve Tsai (2010) gibi yenilenebilir enerjiden büyümeye doğru tek yönlü nedensellik kanalını öne çıkaran bulgularla kesişmektedir. Kriz-sonrası 2009–2019'da CCEMG/AMG/DCCE katsayılarının belirgin biçimde yükselmesi (panelde $TI \approx 0.20-0.22$; $RE \approx 0.13-0.15$) ve MWALD'ların yükselmesi, 2010'lar boyunca şebeke modernizasyonu, yenilenebilir enerji destekleri ve teknoloji ekosistemindeki derinleşmenin büyümeyi kalıcı biçimde beslediğini göstermektedir. Bu sonuç, Taşkın vd. (2020)'deki pozitif GEG esneklikleri ve Sohag vd. (2019)'daki teknolojik yenilik/yenilenebilir enerji etkileriyle uyumludur.

Çekirdek AB'de seçili ülkelerde $GEG \rightarrow REN/TI$ kanallarının anlamlı bulunması, Sadorsky (2009a, 2009b), Kula (2014) ve Coers ve Sanders (2013)'in gelir/büyüme arttıkça yenilenebilir enerji talebi ve teknolojik yenilik artar şeklindeki bulgusuyla tutarlıdır. Bu geri besleme mekanizmalarının CEEC ve Güney alt-panellerinde zayıf kalması, gelir-teknoloji eşiği ve kurumsal kapasite farklarının koruma hipotezinin koşullu olduğunu gösteren literatürle örtüşmektedir.

Menegaki (2011) başta olmak üzere, Avrupa bağlamında belirli ülke/alt dönemlerde yansızlık hipotezi bulguları rapor edilmiştir. Bu çalışmada pandemi alt dönemi için elde edilen TRD kanalında istatistiksel zayıflama veya anlamsızlaşma bulguları ile bazı CEEC/Güney ülkelerinde ters yön kanalının zayıf olması, Menegaki (2011), Ewing vd. (2007), Payne (2009) gibi çalışmalarda vurgulanan “ülke-özel/ dönem-özel yansızlık kümeleri” bulgularıyla kısmi olarak örtüşme göstermektedir. Bu farklılaşma, kısa örneklemlilerde geçici şok dönemlerinde (2020–2022) ticaret kanalının üretkenlik üzerindeki etkisinin zayıflamasına ilişkin görüşleri de desteklemektedir.

Türkiye–AB karşılaştırmalı değerlendirilmesi;

Bulgular, Türkiye'nin yeşil ekonomik büyümenin belirleyicileri bakımından AB örneklemine benzer dinamiklere sahip olduğunu, ancak geri besleme ve katsayı büyüklüğü bakımından çekirdek AB'nin belirgin biçimde gerisinde kaldığını göstermektedir. Katsayı

büyüklikleri açısından Türkiye’de REN, TI ve TRD’nin GEG üzerindeki pozitif etkileri anlamlıdır fakat panel ortalamasına ve özellikle çekirdek AB’ye göre daha düşük düzeydedir. Bu durum, Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırımlarının ve teknolojik yenilik çabalarının verimliliğinin, kurumsal kapasite, finansman koşulları ve regülasyon kalitesi nedeniyle tam potansiyeline ulaşmadığını göstermektedir. Nedensellik yapısı açısından, panel düzeyinde ve pek çok AB ülkesinde gözlenen geri besleme kanalları ($GEG \rightarrow REN/TI/TRD$) Türkiye’de henüz oluşmamıştır. Bu, Türkiye’de yeşil ekonomik büyümenin sektörler arası bileşiminin, verimlilik artışlarının ve kamu maliyesi dinamiklerinin yeşil dönüşümü otomatik olarak hızlandırmadığını göstermektedir. Bu çerçevede Türkiye için elde edilen ampirik bulgular, Türkiye’nin yeşil ekonomik büyüme potansiyeli yüksek ancak kurumsallaşması tamamlanmamış ve geçici politikalarla şekillenen, kırılgan bir ülke konumunda olduğunu ifade etmektedir. AB-27 ülkeleriyle karşılaştırıldığında, Türkiye yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik yenilik ve dışa açıklık artışlarından yararlanmakta, fakat henüz bu süreçleri optimal, kalıcı ve yeşil ekonomi çerçevesinde kendi kendini besler hale getirecek geri besleme mekanizmalarını oluşturamamıştır.

Yenilenebilir enerji açısından; çekirdek AB’de gözlenen güçlü $REN \rightarrow GEG$ ve $GEG \rightarrow REN$ geri besleme ilişkileri, yenilenebilir enerji destek mekanizmalarının (ihale sistemleri, garanti fiyatlar, karbon fiyatlaması vb.) ve teknik altyapı modernizasyonunun yeşil ekonomik dönüşümü hızlandırabileceğini göstermektedir. Güney ve CEE/Doğu AB’de REN katsayıları pozitif fakat daha düşük olduğundan, AB destek fonları ve yapısal uyum araçlarının özellikle bu bölgelerde yenilenebilir enerji yatırımları yatırımları, enerji verimliliği projeleri ve yerel yenilenebilir enerji ekosistemlerinin desteklenmesine yönelmesi, yeşil büyüme etkisini güçlendirebilir. Türkiye’de REN’in GEG üzerindeki etkisinin pozitif ve anlamlı olması, yenilenebilir enerji yatırımlarının artmaya devam etmesi halinde Türkiye’nin yeşil ekonomik büyüme potansiyelinin oldukça yüksek olduğuna işaret etmektedir. Ancak $GEG \rightarrow REN$ nedenselliğinin olmaması, büyümeden elde edilen gelir artışlarının yenilenebilir enerjiye otomatik olarak yönelmediğini göstermektedir. Bu nedenle Türkiye’de öngörülebilir ve uzun vadeli bir yenilenebilir enerji politikası çerçevesi (optimal kapasite planlaması, altyapı yatırımları, kamu kesimi teşvikleri) kritik önemdedir. Büyüme dönemlerinde oluşan kamu gelirlerinin ve finansal kapasitenin stratejik olarak yenilenebilir enerji ve enerji verimliliğine yönlendirilmesi, $GEG \rightarrow REN$ kanalını etkinleştirecek bir mali politika tasarımı gerektirmektedir.

Teknolojik yeniliğe bakıldığında; çekirdek AB’de tespit edilen güçlü TI katsayıları ve belirgin $GEG \rightarrow TI$ nedenselliği, Ar-Ge ve teknolojik yenilik ekosistemlerinin yeşil ekonomik

büyüme ile entegrasyonunun oldukça ileri aşamada olduğunu göstermektedir. Bu ülkeler için ana zorluk, yeniliğin Güney ve Doğu Avrupa'ya daha hızlı transferini sağlamak, böylece AB içinde yeşil ekonomik büyüme eşitsizliklerini azaltmaktır. Bu amaçla, Horizon Europe vb. Ar-Ge programlarının bölgesel dengelenmiş dağılımı, üniversite-sanayi işbirliği ağlarının CEE/Doğu Avrupa'da güçlendirilmesi ve yeşil patentler için ortak AB veri tabanlarının ve lisanslama platformlarının etkin kullanımı önem taşımaktadır. Türkiye'de ise TI → GEG ilişkisinin pozitif ve anlamlı, GEG → TI ilişkisinin ise anlamsız oluşu, yeniliğin ekonomik büyümeyi desteklediğini fakat ekonomik büyümenin yeniliği geri beslemediğini göstermektedir. Bu asimetri, Türkiye'nin yenilik ekosisteminin kamu teşvikleri ve dış fonlara aşırı bağımlı, kırılgan bir yapı taşıdığına işaret etmektedir. Politika düzeyinde, yeşil Ar-Ge ve teknolojik yeniliklerin ana akım imalat sanayi politikası ve finansman sistemiyle bütünleştirilmesi gerekmektedir. Ar-Ge harcamalarının GSYH içindeki payının artırılmasının ötesinde, yeşil teknolojilere özgü vergi teşvikleri, risk sermayesi mekanizmaları, yeşil kamu alımları ve yeşil teknoloji altyapıları yaygınlaştırılmalıdır. Ayrıca, AB ile Ar-Ge işbirliği programlarına daha yoğun katılım, Türkiye'nin TI → GEG kanalındaki katsayılarını yükseltebilecek önemi bir faktör olarak değerlendirilmektedir.

Dışa açıklık, ticaret yapısı ve iktisadi bütünleşme değerlendirildiğinde; AB için TRD → GEG ilişkisinin tüm panelde pozitif olması, AB'nin ticaret yapısının yeşil ekonomik büyüme ile uyumlu bir bileşim etkisine sahip olduğunu göstermektedir. Buna rağmen, GEG → TRD geri besleme nedenselliğinin yalnızca 8 ülkede gözlenmesi, büyümenin ticaret yapısını dönüştürme gücünün her yerde aynı olmadığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, AB Yeşil Mutabakatı, Sınırdaki Karbon Ayarlama Mekanizması (CBAM) ve sanayi dönüşüm stratejilerinin özellikle Güney ve Doğu Avrupa'da ticaret bileşimini yükselen teknoloji, düşük karbonlu üretim ve yeşil ürünler lehine dönüştürecek şekilde uygulanması önemlidir. Türkiye'de TRD → GEG ilişkisinin pozitif ve anlamlı, ancak katsayı büyüklüğünün görece düşük olması ve GEG → TRD geri beslemeli nedenselliğinin olmaması, Türkiye'nin ticaret yapısının yeşil ekonomik büyüme potansiyelini tam olarak yansıtamadığını göstermektedir. Türkiye açısından, dışa açıklığı nicel açıklıktan nitel açıklığa dönüştürmek büyük önem arz etmektedir. Yani sadece ticaret hacmini artırmak değil, ihracat sepetinin teknoloji yoğun, katma değeri yüksek ve görece düşük karbon içerikli sektörlere kaydırılması gerekmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde AB ile Gümrük Birliği'nin güncellenmesi, yeşil ürün standartları, karbon ayak izi ve sürdürülebilir tedarik zinciri kriterlerini de içerecek şekilde genişletilirse, hem TRD → GEG kanalını güçlendirecek hem de Türkiye'nin AB yeşil ekonomi politikalarına uyum süreci hızlanacaktır. Son olarak Türkiye'nin AB'de gözlenen güçlü geri besleme mekanizmaları, istikrarlı düzenleyici çerçeve, yüksek kurumsal kalite,

öngörülebilir yatırım ortamı ve kapsamlı sosyal politika setlerine intibak edebilmesi için çevre ve enerji mevzuatının öngörülebilirliği, yargısal ve düzenleyici kurumların güvenilirliği, yeşil finansman araçlarının (yeşil tahviller, sürdürülebilir kredi çerçeveleri) gelişimi ve eğitim, istihdam ve sosyal politika sistemlerinin yeşil dönüşümle uyumlu hale getirilmesi gibi çok daha kapsamlı ve geniş bir reform paketi gerektiği değerlendirilmektedir.

Çalışmanın kısıtları ve gelecekteki araştırmalara öneriler;

Bu çalışma, yeşil ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji, teknolojik yenilik ve dışa açıklık arasındaki ilişkileri Türkiye ve AB ülkeleri için ikinci kuşak panel yöntemleriyle inceleyerek literatüre özgün bir çerçeve sunmaktadır. Bununla birlikte, veri seti, ölçüm tercihleri ve kullanılan ekonometrik araçlar bazı sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Bulguların bu çerçevede yorumlanması uygun olacaktır.

İlk olarak, çalışma ülke düzeyinde ve yıllık frekansta derlenen makro verilere dayanmaktadır. Yeşil ekonomik büyüme (GEG), yenilenebilir enerji tüketimi (REN), teknolojik yenilik (TI) ve dışa açıklık (TRD) göstergeleri kaçınılmaz olarak proxy niteliği taşımakta, çevresel performansın, inovasyon kapasitesinin ve ticaret bileşiminin tüm boyutlarını tam anlamıyla yansıtamamaktadır. GEG göstergesi çevresel zarar ayarlı bir çıktı proxy'si olarak önemli bir ilerleme sunsa da, örneğin ekosistem hizmetleri, biyolojik çeşitlilik kaybı veya karbon gömülü ticaret gibi boyutları sınırlı ölçüde kapsar. Gelecekteki çalışmalar, sektörel veya bölgesel düzeyde emisyon, yeşil patent, yeşil yatırım ve karbon içeriği verilerini kullanarak daha ayrıntılı ölçümlerle bu bulguları test edebilir.

İkinci olarak, kullanılan ikinci kuşak panel yöntemleri (CIPS/CADF, Westerlund, AMG, MG, DCCE, Emirmahmutoğlu & Köse) yatay kesit bağımlılığını ve eğim heterojenliğini içselleştiren güçlü araçlar olmakla birlikte, ilişkileri esasen doğrusal ve ortalama etkiler üzerinden modellemektedir. Oysa enerji dönüşümü, teknoloji ve ticaret kanallarında, özellikle kriz dönemleri ve politika rejimi değişimlerinde, eşik değerli veya rejim geçişli dinamikler ortaya çıkabilir. Bu nedenle, ileride yapılacak çalışmalarda doğrusal olmayan panel modeller (örneğin NARDL, rejim geçişli modeller, kantil regresyonlar) ve frekans alanı nedensellik testlerinin kullanılması, bu tezde ortaya konan bulguların sağlamasını yapmanın yanında, kısa–uzun dönem ayrımlarını daha incelikli biçimde analiz etmeye imkân verebilir. Benzer şekilde, Emirmahmutoğlu & Köse yaklaşımının Granger nedenselliği sınadığını, yapısal nedensellik konusunda sınırlı bilgi sunduğunu vurgulamak gerekmektedir. Politika şoklarını açıkça modelleyen farkların farkı (DiD), RDD veya sentetik kontrol tasarımları gelecekte bu açıdan tamamlayıcı kanıtlar üretebilecektir.

Üçüncü olarak, model spesifikasyonu bilinçli bir şekilde REN–TI–TRD–GEG çekirdeğine odaklanmış ve kurumsal kalite, yeşil finansman, yönetim göstergeleri, gelir dağılımı, eğitim ve istihdam yapısı gibi değişkenler kapsam dışında bırakılmıştır. Bu tercih, modeli yönetilebilir ve yorumlanabilir kılmakla birlikte, olası ihmal edilmiş değişken yanlılığı riskini tümüyle ortadan kaldırmamaktadır. Gelecek çalışmalarda, kurumsal kalite endeksleri, yeşil tahvil ihraçları, sürdürülebilir bankacılık göstergeleri ve çevresel düzenleme endeksleri gibi değişkenler de modele dâhil edilerek, REN–TI–TRD–GEG ilişkisinin kurumsal ve finansal bağlamla etkileşimi daha ayrıntılı biçimde analiz edilebilir.

Türkiye bağlamına özgü sınırlılıklar ayrıca vurgulanmaya değerdir. Türkiye için kullanılan GEG, REN, TI ve TRD göstergeleri, yapısal kırılmaların (finansal krizler, kur rejimi değişiklikleri, enerji fiyat sübvansiyonları, jeopolitik şoklar vb.) yoğun olduğu bir dönemi yıllık ve agregat düzeyde yakalamaktadır. Bu çerçevede, elde edilen bulgular Türkiye ekonomisinin ortalama yeşil büyüme rejimine işaret ederken, bölgesel farklılıkları, sektörler arası ayrışmayı ve politika uygulamaları ile politika beyanları arasındaki olası farkları tam olarak yansıtamamaktadır. Gelecek araştırmaların, Türkiye için bölgesel (NUTS2/NUTS3) veya sektörel panel veri setleri, hatta firma düzeyi mikro veriler kullanarak, bu tezde raporlanan ilişkilerin ülke içi mekânsal ve sektörel boyutlarda nasıl farklılaştığını incelemesi, hem politika tasarımı hem de literatür açısından önemli bir katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma, veri ve yöntem kısıtları göz önünde bulundurulduğunda dahi, Türkiye ve AB ülkeleri için yeşil ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji, teknolojik yenilik ve dışa açıklık arasındaki ilişkileri bütüncül bir çerçevede ortaya koymakta ve ikinci kuşak panel ekonometrisiyle literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Belirtilen sınırlılıklar ise, daha ayrıntılı bölgesel, sektörel, doğrusal olmayan ve politika odaklı çalışmalar için doğal bir başlangıç noktası ve araştırma gündemi sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Ağaçbiçer, G. (2010). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye ekonomisine katkısı ve yapılan SWOT analizleri* (Tez No. 298012) [Yüksek lisans tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi-Çanakkale]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi
- Alper, A., & Oguz, O. (2016). The role of renewable energy consumption in economic growth: Evidence from asymmetric causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 953–959. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.123>
- Alper, Ö. F. (2018). Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: 1990–2017 Türkiye örneği. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 8(2), 223–242. <https://doi.org/10.18074/ckuibfd.466782>
- Andrews, D. W. K. (1991). Heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix estimation. *Econometrica*, 59(3), 817–858. <https://doi.org/10.2307/2938229>
- Antweiler, W., Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2001). Is free trade good for the environment?. *American economic review*, 91(4), 877-908. <https://doi.org/10.1257/aer.91.4.877>
- Apergis, N., & Danuletiu, D. (2012). Energy Consumption and Growth in Romania: Evidence from a Panel Error Correction Model. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2(4), 348-356. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/316>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010a). Energy consumption and growth in South America: Evidence from a panel error correction model. *Energy Economics*, 32(6), 1421–1426. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.04.006>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010b). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries. *Energy Policy*, 38(1), 656–660. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.002>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010c). Renewable energy consumption and growth in Eurasia. *Energy Economics*, 32(6), 1392–1397. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.06.001>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2011). The renewable energy consumption–growth nexus in Central America. *Applied Energy*, 88(1), 343–347. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.07.013>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2012). Renewable and non-renewable energy consumption–growth nexus: Evidence from a panel error correction model. *Energy Economics*, 34(3), 733–738. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.04.007>
- Apergis, N., & Tang, C.-F. (2013). Is the energy-led growth hypothesis valid? New evidence from a sample of 85 countries. *Energy Economics*, 38, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.02.007>
- Armeanu, D. Ş., Vintilă, G., & Gherghina, Ş. C. (2017). Does Renewable Energy Drive Sustainable Economic Growth? Multivariate Panel Data Evidence for EU-28 Countries. *Energies*, 10(3), 381. <https://doi.org/10.3390/en10030381>
- Ayyıldız, F. V., & Demirci, O. (2022). Ar-Ge harcama gruplarının ekonomik büyüme üzerindeki etkileri: Türkiye örneğinde yapay sınır ağları ile ARDL analizi. *Trends in Business and Economics*, 36(4), 346–358. <https://doi.org/10.5152/TBE.2022.1033642>

- Azadeh, A., Babazadeh, R., & Asadzadeh, S. M. (2013). Optimum estimation and forecasting of renewable energy consumption by artificial neural networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 605–612. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.007>
- Bakırtaş, İ., & Çetin, M. (2016). Yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki: G-20 ülkeleri. *Sosyoekonomi*, 24(28), 131-146. <https://doi.org/10.17233/se.43089>
- Belke, A., Dobnik, F., & Dreger, C. (2011). Energy consumption and economic growth: New insights into the cointegration relationship. *Energy Economics*, 33(5), 782–789. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.02.005>
- Bento, J. P. C., & Moutinho, V. (2016). CO2 emissions, non-renewable and renewable electricity production, economic growth, and international trade in Italy. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 55, 142–155. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.10.151>
- Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I. & Bhattacharya, S. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, 162, 733-741. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.104>
- Bilgili, F., & Öztürk, İ. (2015). Biomass energy and economic growth nexus in G7 countries: Evidence from dynamic panel data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.098>
- Bilginöğlu, M. A. (2012). *Türkiye'nin enerji sorunları ve çözüm arayışları*. [ERÜ Basın Yayın 02012 nolu Sunum Metni]. Erciyes Üniversitesi Stratejik Araştırmalar Merkezi (ERUSAM).
- Boğar, E., & Boğar, Z. (2017). Türkiye'nin sektörel CO₂ gazı salınımlarının yapay sinir ağları ile tahmini. *Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 3(2), 15–27.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification. *Review of Economic Studies*, 47(1), 239–253. <https://doi.org/10.2307/2297111>
- Caraiani, C., Lungu, C. I., & Dascălu, C. (2015). Energy consumption and GDP causality: A three-step analysis for emerging European countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 198–210. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.017>
- Chang, T., Rangan, G., Inglesi-Lotz, R., & Smithers, D. (2015). Renewable energy and growth: Evidence from heterogeneous panel of G7 countries using Granger causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1405–1412. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.022>
- Cheng, B. S. (1998). Energy consumption, employment and causality in Japan: A multivariate approach. *Indian Economic Review*, 33, 19–29. <https://www.jstor.org/stable/29794149>
- 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>
- Ciarreta, A. & Zarraga, A. (2010). Economic growth-electricity consumption causality in 12 European Countries: a dynamic panel data approach. *Energy Policy*, 38, 3790-3796. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.02.058>
- Coers, R., & Sanders, M. (2013). The energy–GDP nexus: Addressing an old question with new methods. *Energy Economics*, 36, 708–715. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.11.015>

- Costantini, V., & Martini, C. (2010). The causality between energy consumption and economic growth: A multi-sectoral analysis using non-stationary cointegrated panel data. *Energy Economics*, 32(3), 591–603. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.09.013>
- Daly, H. E. (2007). *Ecological economics and sustainable development*. Edward Elgar Publishing.
- Demirgil, B., & Birol, Y. E. (2020). Yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: Türkiye için bir Toda–Yamamoto nedensellik analizi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(1), 68–83. <https://doi.org/10.37880/cumuiibf.671591>
- Dergiades, T., G. Martinopoulos & L. Tsoulfidis (2013), Energy Consumption, and Economic Growth: Parametric And Non-Parametric Causality Testing For The Case Of Greece, *Energy Economics*, 36, 686-697. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.11.017>
- Dixon, D. (2012). *Hotelling's rule in the limit: An agent-based exploration of the model space*. [Conference Paper Presented at the 85th Annual Conference of the Western Economics Association International]. University of Maryland.
- Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549–560. <https://doi.org/10.1162/003465398557825>
- Dogan, E. (2015), The relationship between economic growth and electricity consumption from renewable and non-renewable sources: A study of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 534-546. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.130>
- Durğun, B., & Durğun, F. (2018). Yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında nedensellik ilişkisi: Türkiye örneği. *International Review of Economics and Management*, 6(1), 1–27. <https://doi.org/10.18825/iremjournal.347200>
- Eberhardt, M., & Teal, F. (2010). *Productivity analysis in global manufacturing production* [Economics Series Working Paper]. University of Oxford. <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:ea831625-9014-40ec-abc5-516ecfbd2118>
- Eggoh, J. C., Bangaké, C., & Rault, C. (2011). Energy consumption and economic growth revisited in African countries. *Energy Policy*, 39(11), 7408–7421. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.007>
- Emirmahmutoglu, F., & Köse, N. (2011). Testing for Granger causality in heterogeneous mixed panels. *Economic Modelling*, 28(3), 870–876. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2010.10.018>
- Eroğlu, F. (2016). *Geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik açıdan incelenmesi: OECD ülkeleri örneği* (Tez No. 436777) [Yüksek lisans tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi- Çankırı]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi
- Ewing, B. T., Sari, R., & Soytaş, U. (2007). Disaggregate energy consumption and industrial output in the United States. *Energy Policy*, 35(2), 1274–1281. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.03.012>
- European Commission. (2018). *A clean planet for all: A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy* (COM(2018) 773 final).
- European Commission. (2019). *The European Green Deal* (COM(2019) 640 final).
- European Commission. (2020). *Stepping up Europe's 2030 climate ambition: Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people* (COM(2020) 562 final).

- European Commission. (2021). *“Fit for 55”: Delivering the EU’s 2030 climate target on the way to climate neutrality* (COM(2021) 550 final).
- European Commission. (2022). *REPowerEU plan* (COM(2022) 230 final).
- European Union. (2021). *Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality* (European Climate Law).
- Fotourehchi, Z. (2017). Renewable energy consumption and economic growth: A case study for developing countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(2), 61–64.
- Marques, A. C., & Fuinhas, J. A. (2012). Is renewable energy effective in promoting growth? *Energy Policy*, 46, 434–442. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.006>
- Furuoka, F. (2017). Renewable electricity consumption and economic development: New findings from the Baltic countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 450–463. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.074>
- Marques, A. C., & Fuinhas, J. A. (2012). Is Renewable Energy Effective in Promoting Growth? *Energy Policy*, 46, 434–442. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.006>
- Gisser, M., & Goodwin, T. H. (1986). Crude oil and the macroeconomy: Tests of some popular notions. *Journal of Money, Credit and Banking*, 18(1), 95–103. <https://doi.org/10.2307/1992323>
- Gozgor, G., Lu, C. K. M. & Lau, Z. (2018). Energy consumption and economic growth: new evidence from the OECD countries. *Energy*, 153, 27– 34. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.158>
- Guo, L., Qu, Y., & Tseng, M. L. (2017). The interaction effects of environmental regulation and technological innovation on regional green growth performance. *Journal of Cleaner Production*, 162, 894–902. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.210>
- Halicioglu, F., & Ketenci, N. (2018). Output, renewable and non-renewable energy production, and international trade: Evidence from EU-15 countries. *Energy*, 159, 995–1002. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.197>
- Hamilton, J. D. (1996). This is what happened to the oil price–macroeconomy relationship. *Journal of Monetary Economics*, 38(2), 215–220. [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(96\)01282-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(96)01282-2)
- Hamilton, J. D. (2003). What is an oil shock? *Journal of Econometrics*, 113(2), 363–398. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(02\)00207-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(02)00207-5)
- Haščič, I., De Vries, F., Johnstone, N., & Medhi, N. (2009). Effects of environmental policy on the type of innovation: The case of automotive emission-control technologies. *OECD Journal: Economic Studies*, 2009(1), 49–66. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1523781>
- Hotunluoğlu, H. (2011). *Türkiye’nin enerji talebi projeksiyonlarına yönelik ampirik bir analiz* (Tez No. 312370) [Doktora tezi, Adnan Menderes Üniversitesi-Aydın]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi
- International Energy Agency. (2021). *Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector*. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- Inglesi-Lotz, R. (2016). The impact of renewable energy consumption to economic growth: A panel data application. *Energy Economics*, 53, 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.01.003>

- Kahia, M., Ben Aïssa, M. S., & Lanouar, C. (2017). Renewable and non-renewable energy use–economic growth nexus: The case of MENA net oil importing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.010>
- Kao, C., & Chiang, M.-H. (2001). *On the estimation and inference of a cointegrated regression in panel data*. In Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels (Badi Baltagi Ed.) 15, 179–222). Emerald Group Publishing. [https://doi.org/10.1016/S0731-9053\(00\)15007-8](https://doi.org/10.1016/S0731-9053(00)15007-8)
- Karadağ Albayrak, Ö. (2019). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının çok faktörlü karar verme tekniklerinden bulanık entropi temelli COPRAS ve MULTIMOORA teknikleri ile bölgesel bazda değerlendirilmesi* (Tez No. 607488) [Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi-Erzurum]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi
- Kasperowicz R., & Štreimikienė D. (2016), Economic growth and energy consumption: comparative analysis of V4 and the “old” EU countries, *Journal of International Studies*, 9(2), 181-194. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2016/9-2/14>
- Kerimoğlu, K. (2020). *Yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki bağlamında Türkiye’nin enerji politikalarının değerlendirilmesi* (Tez No. 634138) [Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi-Konya]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi
- Khanna, N. (2001). On the economics of non-renewable resources. In *Encyclopedia of Life and Social Sciences* (Rep. No. 102). UNESCO.
- Koç, E., & Şenel, M. (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu: Genel değerlendirme. *Mühendis ve Makine*, 54(639), 39–44. https://mmo.org.tr/sites/default/files/a8c16d2696b35f9_ek.pdf
- Koçak, E., & Şarkgüneşi, A. (2017). The renewable energy and economic growth nexus in Black Sea and Balkan countries. *Energy Policy*, 100, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.10.007>
- Kula, F. (2014). The long-run relationship between renewable electricity consumption and GDP: Evidence from panel data. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 9(2), 156–160. <https://doi.org/10.1080/15567249.2010.481655>
- Lee, C.-C., & Chang, C.-P. (2008). Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data. *Resource and Energy Economics*, 30(1), 50–65. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2007.03.003>
- Liu, H., & Liang, D. (2013). A review of clean energy innovation and technology transfer in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 486–498. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.041>
- Ma, S., Dai, J., & Wen, H. (2019). The influence of trade openness on the level of human capital in China: On the basis of environmental regulation. *Journal of Cleaner Production*, 225, 340–349. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.238>
- Magazzino, C. (2017). Renewable Energy Consumption-Economic Growth Nexus in Italy. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(6), 119–127. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/5551>
- Mahmoodi, M. (2017) The Relationship between Economic Growth, Renewable Energy, and CO2 Emissions: Evidence from Panel Data Approach. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(6): 96-102. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/5704>

- Marinaş, M. C., Dinu, M., Socol, A. G., & Socol, C. (2018) Renewable energy consumption and economic growth. Causality relationship in Central and Eastern European countries. *PLoS ONE* 13(10): e0202951. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202951>
- Mark, N. C., & Sul, D. (2003). Cointegration vector estimation by panel DOLS. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 65(5), 655–680. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2003.00066.x>
- Marques, A. C., & Fuinhas, J. A. (2012). Is renewable energy effective in promoting growth? *Energy Policy*, 46, 434–442. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.006>
- Marques, A. C., Fuinhas, J. A., & Nunes, A. R. (2016). Electricity generation mix and economic growth: What role is being played by nuclear sources and carbon dioxide emissions in France? *Energy Policy*, 92, 7–19. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.027>
- Marques, A.C., Fuinhas, J.A., & Neves, S.A. (2018). Ordinary and special regimes of electricity generation in Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(1), 1226–1240. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.006>
- Menegaki, A. N. (2011). Growth and renewable energy in Europe: A random effect model with evidence for neutrality hypothesis. *Energy Economics*, 33(2), 257–263. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.10.004>
- Menegaki, A.N.; Marques, A.C.; Fuinhas, J.A. Redefining the energy-growth nexus with an index for sustainable economic welfare in Europe. *Energy* 2017, 141, 1254–1268. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.056>
- Mol, A.P.J., & Sonnenfeld, D.A. (2000) *Ecological modernisation around the world: An introduction*, Taylor and Francis, 9:1, 1-14, DOI: 10.1080/09644010008414510
- Newey, W. K., & West, K. D. (1987). A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. *Econometrica*, 55(3), 703–708. <https://doi.org/10.2307/2938229>
- Ocal, O., & Aslan, A. (2013). Renewable energy consumption–economic growth nexus in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 494–499. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.036>
- Ohler, A., & Fethers, I. (2014). The causal relationship between renewable electricity generation and GDP growth: A study of energy sources. *Energy Economics*, 43, 125–139. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.02.009>
- Omri, A., Mabrouk, N. B., & Sassi-Tmar, A. (2015). Modeling the causal linkages between nuclear energy, renewable energy and economic growth in developed and developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1012–1022 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.046>
- Ozcan, B. & Ozturk, I. (2019) Renewable Energy Consumption-Economic Growth Nexus in Emerging Countries: A Bootstrap Panel Causality Test. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 104, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.020>
- Ozturk, I., & Acaravci, A. (2010). CO2 Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 3320–3325. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.005>
- Ozturk, I., & Acaravci, A. (2011). Electricity consumption and real GDP causality nexus: Evidence from ARDL bounds testing approach for 11 MENA countries. *Applied Energy*, 88(8), 2885–2892. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.01.065>

- Özen, A., Şaşmaz, M. Ü., & Ercan, B. (2015). Türkiye’de yeşil ekonomi açısından yenilenebilir bir enerji kaynağı: Rüzgâr enerjisi. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 17(28), 85–93. <https://doi.org/10.18493/kmusekad.95161>
- Pabuççu, H., & Bayramoğlu, T. (2016). Yapay sinir ağları ile CO₂ emisyonu tahmini: Türkiye örneği. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3), 762–778.
- Pao, H.-T., & Fu, H. (2013). Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 381–392. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.004>
- Pao, H.-T., & Tsai, C.-M. (2010). CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries. *Energy Policy*, 38(12), 7850–7860. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.08.045>
- Payne, J. E. (2011). On biomass energy consumption and real output in the U.S. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 6(1), 47–52. <https://doi.org/10.1080/15567240903160906>
- Payne, J. E. (2012). The causal dynamics between U.S. renewable energy consumption, output, emissions, and oil prices. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 7(4), 323–330. <https://doi.org/10.1080/15567249.2011.595248>
- Pedroni, P. (2000). *Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels*. In Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels (Badi Baltagi Ed.) (15, 93–130). Emerald Group Publishing. [https://doi.org/10.1016/S0731-9053\(00\)15004-2](https://doi.org/10.1016/S0731-9053(00)15004-2)
- Pedroni, P. (2001). Purchasing power parity tests in cointegrated panels. *Econometric Theory*, 17(3), 692–725. <https://doi.org/10.1162/003465301753237803>
- Pesaran, M. H. (2006). Estimation and inference in large heterogeneous panels with a multifactor error structure. *Econometrica*, 74(4), 967–1012. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0262.2006.00692.x>
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265–312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Pesaran, M. H. (2015). Testing weak cross-sectional dependence in large panels. *Journal of Applied Econometrics*, 30(1), 1–23. <https://doi.org/10.1080/07474938.2014.956623>
- Pesaran, M. H., & Smith, R. P. (1995). Estimating long-run relationships from dynamic heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 68, 79–113. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01644-F](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01644-F)
- 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>
- Pirloge, C., & Cicea, C. (2012). Econometric perspective of the energy consumption and economic growth relation in European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5718–5726. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.06.010>
- Rafindadi, A. A., & Ozturk, I. (2017). Impacts of renewable energy consumption on the German economic growth: Evidence from combined cointegration test. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1130–1141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.093>
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5, Part 2), 71–102. <https://doi.org/10.1086/261725>

- Saad, Wadad & Ali Taleb. The Causal Relationship between Renewable Energy Onsumption And Economic Growth: Evidence from Europe, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20, 2018, 127–136. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1463-5>
- Sadorsky, P. (2009a). Renewable energy consumption, CO₂ emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics*, 31(3), 456–462. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.12.010>
- Sadorsky, P. (2009b). Renewable energy consumption and income in emerging economies. *Energy Policy*, 37(10), 4021–4028. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.003>
- Sadorsky, P. (2011). Trade and energy consumption in the Middle East. *Energy Economics*, 33(5), 739–749. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.12.012>
- Sadorsky, P. (2012). Energy consumption, output and trade in South America. *Energy Economics*, 34(2), 476–488. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.12.008>
- Şahbudak, E., & Şahin, D. (2016). Relationship between energy consumption, economic growth and trade openness in Turkey. *Journal of International Social Research*, 9(42), 1648–1652.
- Seyhan, B. (2019). *Çevresel Kuznets eğrisi hipotezinin geçerliliğinin panel veri analiziyle sınanması: Seçilmiş ülkeler uygulaması* (Tez No. 598386) [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Seyhan, B., & Yurttaçıkmaz, Z. Ç. (2022). *Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerliliği: Seçilmiş OECD ülkeleri için panel veri analizi*. In Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Alanında Uluslararası Araştırmalar XI (Arzu Karaca Ed.) (1. bs., ss. 33–56). Eğitim Yayınevi.
- Seyhan, B., & Yurttaçıkmaz, Z. Ç. (2023). How renewable energy affect economic growth in a member state of the European Union? VECM evidence from the Netherlands. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(10), 501–506. <https://as-proceeding.com/index.php/ijanser/article/view/2129>
- Shahbaz, M., Khan, S., & Tahir, M. I. (2013). The dynamic links between energy consumption, economic growth, financial development and trade in China: Fresh evidence from multivariate framework analysis. *Energy Economics*, 40, 8–21. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.06.006>
- Shahbaz, M., Kumar, A., & Nasir, M. (2013). The effects of financial development, economic growth, coal consumption and trade openness on CO₂ emissions in South Africa. *Energy Policy*, 61, 1452–1459. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.006>
- Shahbaz, M., Nasreen, S., Ling, C. H., & Sbia, R. (2014). Causality between trade openness and energy consumption: What causes what in high, middle and low income countries. *Energy Policy*, 70, 126–143. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.03.029>
- Shahbaz, M., Zakaria, M., Shahzad, S.J.H., and Mahalik, M.K. (2018). The energy consumption and economic growth nexus in top ten energy-consuming countries: fresh evidence from using the quantile-on-quantile approach. *Energy Economics*, 71, 282–301, doi: 10.1016/j.eneco.2018.02.023.
- Shi, Q., & Lai, X. (2013). Identifying the underpin of green and low carbon technology innovation research: A literature review from 1994 to 2010. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(5), 839–864. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.09.002>

- Sinha, A., Shahbaz, M., & Balsalobre, D. (2017). Exploring the relationship between energy usage segregation and environmental degradation in Ne11 countries. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1217–1229. <https://mp.ra.ub.uni-muenchen.de/81212/>
- Śmiech, S., & Papież, M. (2014). Energy consumption and economic growth in the light of meeting the targets of energy policy in the EU: the bootstrap panel Granger causality approach. *Energy Policy*, 71, 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.005>
- Sohag, K., Begum, R. A., Abdullah, S. M. S., & Jaafar, M. (2015). Dynamics of energy use, technological innovation, economic growth and trade openness in Malaysia. *Energy*, 90, 1497–1507. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.101>
- Sohag, K., Taşkın, F. D., & Malik, M. N. (2019). Green economic growth, cleaner energy and militarization: Evidence from Turkey. *Resources Policy*, 63, 101407. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101407>
- Soytas, U., & Sari, R. (2009) Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: Challenges faced by an EU candidate member. *Ecological Economics*, 68, 1667-1675. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.06.014>
- Swamy, P. A. V. B. (1970). Efficient inference in a random coefficient regression model. *Econometrica*, 38(2), 311–323. <https://doi.org/10.2307/1913012>
- Tang, C.-F., Tiwari, A. K., & Shahbaz, M. (2016). Dynamic inter-relationships among tourism, economic growth and energy consumption in India. *Geosystem Engineering*, 19(4), 158–169. <https://mp.ra.ub.uni-muenchen.de/69848/>
- Taşkın, D., Vardar, G., & Okan, B. (2020). Does renewable energy promote green economic growth in OECD countries? *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 11(4), 771–798. <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-04-2019-0192>
- Tezel, Y. S. (2000). *İktisadi büyüme*. İmaj Yayınları.
- Toda, H. Y., & Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66(1–2), 225–250. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01616-8](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01616-8)
- Tsani, S. 2010. Energy Consumption and Economic Growth: A causality analysis for Greece. *Energy Economics*, 32(3), 582-590. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.09.007>
- Tutak, M., & Brodny, J. (2022). Renewable energy consumption in economic sectors in the EU-27: The impact on economics, environment and conventional energy sources—A 20-year perspective. *Journal of Cleaner Production*, 345, 131076. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131076>
- Tugcu, C. T., Ozturk, I., & Aslan, A. (2012). Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth relationship revisited: Evidence from G7 countries. *Energy Economics*, 34(6), 1942–1950. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.08.021>
- Tugcu, C. T., & Topcu, M. (2018). Total, renewable and non-renewable energy consumption and economic growth: Revisiting the issue with an asymmetric point of view. *Energy*, 152, 64-74. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.128>
- Topcu, M., & Tugcu, C.T. (2020). The impact of renewable energy consumption on income inequality: Evidence from developed countries. *Renewable Energy*.
- Ucan, O., Arıcıoğlu, E., & Yucel, F. (2014). Energy Consumption and Economic Growth Nexus: Evidence from Developed Countries in Europe. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 4(3), 411-419.

- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development* (A/RES/70/1).
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015). *Adoption of the Paris Agreement* (FCCC/CP/2015/10/Add.1).
- Vaona, A. (2012). Granger non-causality between (non)renewable energy consumption and output in Italy since 1861: The (Ir)relevance of structural breaks. *Energy Policy* 45: 226-236. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.023>
- Wang, X., & Shao, Q. (2019). Non-linear effects of heterogeneous environmental regulations on green growth in G20 countries: Evidence from panel threshold regression. *Science of the Total Environment*, 660, 1346–1354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.094>
- 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>
- Wolde-Rufael, Y. (2014). Electricity consumption and economic growth in transition countries: A revisit using bootstrap panel Granger causality analysis. *Energy Economics*, 44(C), 325-330. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.04.019>
- Wu, W., Cheng, Y., Lin, X., & Yao, X. (2019). How does the implementation of the policy of electricity substitution influence green economic growth in China? *Energy Policy*, 131, 251–261. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.043>
- Yapar, M. (2020). *Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı–iktisadi büyüme ilişkisi: Gelişmekte olan ülkeler ve Türkiye örneği* (Tez No. 613280) [Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi-İstanbul]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi
- Yapraklı, S. (2013). *Enerjiye dayalı büyüme: Türk sanayi sektörü üzerine uygulamalar*. Beta Yayınları.
- Yaşar, N. (2017). The Relationship between Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from Different Income Country Groups. *International Journal of Energy Economics and Policy*, Econjournals, 7(2), 86-97. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/download/4007/2665/11472>

EKLER

EK-1. Tez Benzerlik Raporu

Burak Seyhan Doktora Tezi Benzerlik Raporu

ORİJİNALLIK RAPORU

%7	%6	%5	%1
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr	%1
2	dergipark.org.tr	%1
3	docs.wixstatic.com	%1
4	Han Phoumin, Farhad Taghizadeh-Hesary, Fukunari Kimura, Rabindra Nepal. "Green Finance and Decarbonization - Advancing Low-Carbon Technologies in East and Southeast Asia", Routledge, 2025	<%1
5	Submitted to University of Glasgow	<%1
6	hdl.handle.net	<%1
7	acikerisim.nevsehir.edu.tr	<%1
8	www.researchgate.net	<%1
9	acikerisim.nku.edu.tr:8080	<%1
10	adudspace.adu.edu.tr:8080	<%1

acikerisim.pau.edu.tr

11	İnternet Kaynağı	<%1
12	Önder, Hatice. "Yenilenebilir enerjinin makroekonomik değişkenler üzerindeki etkisi", Bartın University (Turkey), 2024	<%1

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve ortaöğrenimini Manisa’da tamamlamasının ardından 2009 yılında Pamukkale Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat Bölümünden mezun olmuştur. Gelibolu/ Çanakkale’deki askerlik görevi sonrasında Dokuz Eylül Üniversitesinde başladığı yüksek lisans öğrenimini yatay geçiş yaparak 2019 yılında Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisadi Gelişme ve Uluslararası İktisat Bilim Dalında tamamlamıştır. Halen aynı bilim dalında doktora öğrenimini sürdürmektedir.

