



BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI

TÜRKİYE’DE ENERJİNİN VERİMLİ KULLANIMINA
YÖNELİK YAPILAN AR-GE YATIRIMLARININ
ETKİNLİĞİ: YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI,
ENERJİ FİYATLARI, ENERJİ İTHALATI VE
DOĞRUDAN YABANCI YATIRIMLAR ÜZERİNE
GÜNCEL FOURIER YAKLAŞIMI

Ayşe GECEKUŞU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Doç. Dr. Mustafa NAİMOĞLU

Bingöl – 2025

BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI
İKTİSAT BİLİM DALI

TÜRKİYE'DE ENERJİNİN VERİMLİ KULLANIMINA
YÖNELİK YAPILAN AR-GE YATIRIMLARININ
ETKİNLİĞİ: YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI,
ENERJİ FİYATLARI, ENERJİ İTHALATI VE
DOĞRUDAN YABANCI YATIRIMLAR ÜZERİNE
GÜNCEL FOURİER YAKLAŞIMI

Ayşe GECEKUŞU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Doç. Dr. Mustafa NAİMOĞLU

Bingöl - 2025

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|----------------------------------|
| BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ..... | ii |
| BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ..... | iii |
| SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE | iii |
| ÖNSÖZ | iv |
| ÖZET | v |
| ABSTRACT | vi |
| KISALTMALAR | vii |
| TABLO LİSTESİ..... | viii |
| GRAFİK LİSTESİ..... | ix |
| | |
| 1.GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Teorik Çerçeve..... | 12 |
| | |
| 2. LİTERATÜR İNCELEMESİ | 18 |
| | |
| 3. VERİLER VE MATERYALLER | 26 |
| | |
| 4.METODOLOJİ | 28 |
| | |
| 5. ANALİZ BULGULARI ve TARTIŞMA..... | 33 |
| 5.1. Analiz Bulguları..... | 33 |
| 5.2. Tartışma | 42 |
| | |
| 6. SONUÇ, POLİTİKA ETKİLERİ ve SINIRLILIKLAR | 54 |
| | |
| KAYNAKÇA..... | 61 |
| ÖZGEÇMİŞ | Hata! Yer işareti tanımlanmamış. |

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ

Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak hazırladığım “TÜRKİYE’DE ENERJİNİN VERİMLİ KULLANIMINA YÖNELİK YAPILAN AR-GE YATIRIMLARININ ETKİNLİĞİ: YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI, ENERJİ FİYATLARI, ENERJİ İTHALATI VE DOĞRUDAN YABANCI YATIRIMLAR ÜZERİNE GÜNCEL FOURİER YAKLAŞIMI” adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlanmasına kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

... / ... / 2025

İmza

Ayşe GECEKUŞU

BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Ayşe GECEKUŞU tarafından hazırlanan “TÜRKİYE’DE ENERJİNİN VERİMLİ KULLANIMINA YÖNELİK YAPILAN AR-GE YATIRIMLARININ ETKİNLİĞİ: YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI, ENERJİ FİYATLARI, ENERJİ İTHALATI VE DOĞRUDAN YABANCI YATIRIMLAR ÜZERİNE GÜNCEL FOURİER YAKLAŞIMI” başlıklı bu çalışma, [] tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda [*oybirliği/oy çokluğuyla*] başarılı bulunarak jürimiz tarafından İktisat Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ (Unvanı, Adı ve Soyadı)

| | | |
|-----------------|---------|-------------|
| Başkan | : | İmza: |
| Danışman | : | İmza: |
| Üye | : | İmza: |

ONAY

Bu Tez, Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../2025 tarih ve sayılı oturumunda belirlenen jüri tarafından kabul edilmiştir.

Unvanı Adı Soyadı
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Enerji verimliliği, sürdürülebilir kalkınma ve ekonomik büyümenin temel bileşenlerinden biridir. Artan enerji talebi, dışa bağımlılık ve çevresel sorunlar, enerji verimliliğini artıracak Ar-Ge çalışmalarının önemini her geçen gün artırmaktadır. Bu tez, Türkiye’de enerji verimliliği ve enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği arasındaki ilişkiyi inceleyerek, yenilikçi teknolojilerin enerji dönüşümüne katkısını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, doğrudan yabancı yatırımlar, enerji fiyatları, enerji ithalatı ve yenilenebilir enerji kullanımı gibi temel belirleyiciler Fourier tabanlı ekonometrik yöntemlerle analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, enerji politikalarının geliştirilmesine ve enerji verimliliği Ar-Ge yatırımlarının yönlendirilmesine katkı sağlayacak ve Türkiye’ye özgü özgün bir bakış açısı sunacaktır.

Bu tez çalışmasının hazırlanma sürecinde, bilimsel titizliği, açık fikirli yaklaşımı ve derin akademik bilgisiyle her aşamada değerli katkılar sunan danışman hocam Doç. Dr. Mustafa NAİMOĞLU’na en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisi, bilgi ve tecrübesiyle karşılaştığım her zorlukta doğru adımlar atmamı sağlamış; yol gösterici vizyonu, sabrı ve motive edici tutumuyla bu sürecin verimli ve anlamlı bir şekilde ilerlemesine büyük katkı sağlamıştır.

Ayrıca, tez süreci boyunca sabırları, destekleri ve sevgileriyle daima yanımda olan eşime, aileme ve birlikte geçireceğimiz zamanlardan fedakârlık ederek bu çalışmanın tamamlanmasına sessizce katkı sunan oğlum Akif Asım GECEKUŞU’na gönülden teşekkür ederim.

..../..../2025

Ayşe GECEKUŞU

ÖZET

Tezin Başlığı : TÜRKİYE’DE ENERJİNİN VERİMLİ KULLANIMINA YÖNELİK YAPILAN AR-GE YATIRIMLARININ ETKİNLİĞİ: YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI, ENERJİ FİYATLARI, ENERJİ İTHALATI VE DOĞRUDAN YABANCI YATIRIMLAR ÜZERİNE GÜNCEL FOURIER YAKLAŞIMI

Tezin Yazarı : Ayşe GECEKUŞU

Danışman : Doç. Dr. Mustafa NAİMOĞLU

Anabilim Dalı: İktisat

Bilim Dalı : İktisat

Kabul Tarihi :

Sayfa Sayısı : ... (ön kısım) + (tez) + (ekler)

Türkiye’de artan enerji talebi, dışa bağımlılık ve sürdürülebilir çevre politikalarının gerekliliği, enerji verimliliği odaklı Ar-Ge yatırımlarının etkinliğini stratejik bir politika alanı hâline getirmiştir. Bu çalışma, 1990–2022 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak doğrudan yabancı yatırımlar, enerji fiyatları, enerji ithalatı ve yenilenebilir enerji kullanımı değişkenlerinin enerji verimliliği Ar-Ge yatırımları üzerindeki etkilerini incelemektedir. Teorik çerçeve, Kaynak Tabanlı Yaklaşım, Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı, Porter Hipotezi ve Endojen Büyüme Kuramı üzerine inşa edilmiştir. Serilerin durağanlık düzeyleri Standart ADF ve Fourier ADF testleriyle analiz edilmiş; uzun dönem eşbütünlük ilişkileri Fourier Engle-Granger ve Fourier ADL testleriyle araştırılmıştır. Uzun ve kısa dönem katsayı tahminleri ise FMOLS, CCR ve DOLS yöntemleriyle elde edilmiştir. Bulgular, doğrudan yabancı yatırımların uzun vadede enerji verimliliği Ar-Ge yatırımlarının etkinliğini anlamlı biçimde artırdığını, enerji fiyatlarının hem kısa hem uzun dönemde enerji verimliliği Ar-Ge yatırımlarının etkinliğini teşvik ettiğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji kullanımı enerji verimliliği Ar-Ge yatırımlarının etkinliği üzerinde olumlu etkiler oluştururken, enerji ithalatı her iki dönemde de etkinliği azaltan başlıca unsur olmuştur. Sonuç olarak, enerji verimliliği politikalarının başarısının yalnızca harcama düzeyine değil, her birim Ar-Ge kaynağının oluşturduğu somut verimlilik ve çevresel kazanımlara bağlı olduğu belirlenmiştir. Türkiye’nin enerji dönüşümünü sürdürülebilir biçimde ilerletebilmesi için enerji verimliliği Ar-Ge politikalarının uzun vadeli, istikrarlı ve teknoloji odaklı bir stratejik çerçevede yürütülmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği Ar-Ge Etkinliği, Yenilenebilir Enerji Kullanımı, Enerji Fiyatları, DYY, Enerji İthalatı

ABSTRACT

| | |
|---|---|
| Title of the Thesis: THE EFFECTIVENESS OF R&D INVESTMENTS FOR EFFICIENT ENERGY USE IN TÜRKİYE: A RECENT FOURIER APPROACH ON RENEWABLE ENERGY USE, ENERGY PRICES, ENERGY IMPORTS, AND FOREIGN DIRECT INVESTMENT | |
| Author | :Ayşe GECEKUŞU |
| Supervisor | : Associate Professor Doctor Mustafa NAIMOGLU |
| Department | : Economics |
| Branch of Science : Economics | |
| Date | : |
| Number of Pages : ... (front part) + (thesis) | |
| <p>The increasing demand for energy in Turkey, dependence on external sources, and the necessity of sustainable environmental policies have made the effectiveness of R&D investments focused on energy efficiency a strategic policy area. This study examines the effects of foreign direct investment, energy prices, energy imports, and renewable energy use variables on energy efficiency R&D investments using annual data from 1990 to 2022. The theoretical framework is built upon the Resource-Based Approach, the Sustainable Development Approach, Porter's Hypothesis, and the Endogenous Growth Theory. The stationarity levels of the series were analysed using ADF and Fourier ADF tests; long-term cointegration relationships were investigated using Fourier Engle-Granger and Fourier ADL tests. Long- and short-term coefficient estimates were obtained using FMOLS, CCR, and DOLS methods. The findings show that foreign direct investment significantly increases the effectiveness of energy efficiency R&D investment in the long term, while energy prices encourage the effectiveness of energy efficiency R&D investment in both the short and long term. The use of renewable energy has a positive effect on the effectiveness of energy efficiency R&D investment, while energy imports have been the main factor reducing effectiveness in both periods. Consequently, it has been determined that the success of energy efficiency policies depends not only on the level of expenditure but also on the tangible efficiency and environmental gains generated by each unit of R&D resources. In order for Turkey to advance its energy transition in a sustainable manner, energy efficiency R&D policies must be implemented within a long-term, stable and technology-focused strategic framework.</p> | |
| Keywords: Energy Efficiency R&D Event, Renewable Energy Use, Energy Prices, DYY, Energy Imports | |

KISALTMALAR

| | |
|-------------------|---|
| ADF | Augmented Dickey-Fuller (Genişletilmiş Dickey-Fuller) Test |
| ADL | Autoregressive Distributed Lag (Otokorelasyonlu Dağıtılmış Gecikme) Modeli |
| AR-GE | Araştırma ve Geliştirme |
| ARDL | Autoregressive Distributed Lag Model (Otokorelasyonlu Dağıtılmış Gecikme Modeli) |
| ASEAN | Association of Southeast Asian Nations (Güneydoğu Asya Ulusları Birliği) |
| C | Sabit Terim (Regresyonlardaki sabit katsayı) |
| CCR | Canonical Cointegrating Regression (Kanonik Eşbütünleşme Regresyonu) |
| CS-ARDL | Cross-Sectionally Augmented ARDL (Kesitler Arası Bağımlılık İçin Genişletilmiş ARDL Modeli) |
| COS | Kosinüs (Fourier dönüşüm bileşeni) |
| DOLS | Dynamic Ordinary Least Squares (Dinamik En Küçük Kareler) |
| DYY | Doğrudan Yabancı Yatırımlar |
| ECM | Error Correction Model (Hata Düzeltme Modeli) |
| ECT | Error Correction Term (Hata Düzeltme Terimi) |
| ETKB | Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı |
| FADF | Fourier Augmented Dickey-Fuller Testi |
| FMOLS | Fully Modified Ordinary Least Squares (Tam Düzenlenmiş En Küçük Kareler Yöntemi) |
| FOURIER | Fourier Fonksiyonu / Dönüşümü |
| G7 | Group of Seven/Yedi Ülke Grubu |
| G8 | Group of Eight/Sekiz Ülke Grubu |
| GSYH | Gayri Safi Yurtiçi Hasıla |
| IEA | International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı) |
| ISO 50001 | Energy Management Systems (Enerji Yönetim Sistemleri Standardı) |
| KOBİ | Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler |
| KTY | Kaynak Temelli Yaklaşım |
| Log-Log | Logarithmic-Logarithmic Model/Logaritmik Dönüşümle Kurulan Model |
| MİN.KKT | Minimum Karşılık Katsayısı Terimi |
| OECD | Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü) |
| RBV | Resource-Based View (Kaynak Temelli Yaklaşım) |
| SBB | Strateji ve Bütçe Başkanlığı |
| SEE Action | State and Local Energy Efficiency Action Network (Eyalet ve Yerel Enerji Verimliliği Eylem Ağı) |
| SİN | Sinüs (Fourier dönüşüm bileşeni) |
| SKA | Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları |
| s. | Tek Bir Sayfa İçin |
| vd. | Ve Diğerleri |

TABLO LİSTESİ

| <u>Tablo No</u> | | <u>Sayfa</u> |
|------------------------|--|---------------------|
| Tablo 1: | Değişkenler, Tanımları ve Veri Kaynakları | 27 |
| Tablo 2: | Tanımlayıcı istatistikler | 29 |
| Tablo 3: | Standart ADF Testi Sonuçları – Seviye ve Birinci Fark | 34 |
| Tablo 4: | Fourier ADF Testi Sonuçları – Seviye | 35 |
| Tablo 5: | Fourier Engle-Granger ve Fourier ADL Eşbütünleşme Test Sonuçları | 36 |
| Tablo 6: | FMOLS Uzun ve Kısa Dönem Katsayı Tahminleri | 38 |
| Tablo 7: | CCR Uzun ve Kısa Dönem Katsayı Tahminleri | 40 |
| Tablo 8: | DOLS Uzun ve Kısa Dönem Katsayı Tahminleri | 41 |

GRAFİK LİSTESİ

| <u>Grafik No</u> | | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------|--|---------------------|
| Grafik 1: | Enerji Fiyatları (ABD doları\L), Türkiye (1990–2022) | 46 |
| Grafik 2: | Enerji İthalatı (Tj), Türkiye (1990–2022) | 48 |
| Grafik 3: | Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kullanımı (Tj), Türkiye (1990–2022) | 50 |
| Grafik 4: | Türkiye’de Doğrudan Yabancı (Sabit 2015 ABD doları), Türkiye (1990–2022) | 53 |



1.GİRİŞ

Enerji verimliliği, bir üretim veya ekonomik faaliyet sürecinde elde edilen çıktının kullanılan enerji girdisine oranını ifade eder. Başka bir ifadeyle, aynı enerji miktarıyla daha fazla mal, hizmet veya ekonomik değer üretilmesini amaçlayan bir kavramdır. Enerji verimliliği yalnızca fiziksel üretimle sınırlı olmayıp, enerji yoğunluğunun azaltılması ve kaynak kullanımında ekonomik etkinliğin artırılmasıyla da yakından ilişkilidir. Enerji kaynaklarının daha verimli kullanımı hem gereksiz tüketimin önlenmesine hem de sera gazı salımlarının azaltılmasına katkı sağlar (Mecu vd., 2023, s. 1159). Bu yönüyle enerji verimliliği, özellikle uzun vadeli tasarruf potansiyeli ve düşük uygulama maliyetleri sayesinde, iklim değişikliğiyle mücadelede en etkili politika araçlarından biri olarak değerlendirilmektedir (IEA, 2022). Uluslararası düzeyde belirlenen iklim hedeflerinin gerçekleştirilmesinde de öncelikli bir unsur konumundadır (European Commission, 2023, s. 1).

Küresel ölçekte değerlendirildiğinde, enerji verimliliği sürdürülebilir kalkınmanın vazgeçilmez bir bileşenidir. Özellikle, nüfus artışı ve ekonomik büyüme, enerji talebinde sürekli bir yükseliş oluşturmaktadır. Ancak fosil yakıt rezervleri sınırlı olduğu için mevcut kaynakların etkin biçimde kullanılması hem ekonomik istikrarın korunması hem de çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından kaçınılmaz hâle gelmiştir (ETKB, 2017, s. 4).

Enerji verimliliği uygulamaları, ülkeler ve işletmeler açısından enerji maliyetlerini azaltırken rekabet gücünü de artırmaktadır. Örneğin, Almanya'nın sanayi sektöründe uyguladığı enerji verimliliği önlemleri, işletmelerin enerji faturalarını düşürmüştü ve uluslararası pazarlardaki rekabet avantajını güçlendirmiştir (Porter ve van der Linde, 1995, s. 104). Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA, 2023, s. 3) verilerine göre, 2022 yılında küresel enerji verimliliğinde %2,2'lik bir artış gerçekleşmiştir. Bu eğilim, enerji arz güvenliğini güçlendirerek dışa bağımlılığı azaltmakta ve enerji kısıtlarının olumsuz etkilerini hafifletmektedir. Böylece ülkeler, enerji piyasalarındaki belirsizliklere karşı daha dirençli bir yapı kazanmakta ve uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerine yaklaşmaktadır (WEF, 2024, s. 43).

Enerji verimliliği yalnızca teknik bir kavram değil; sürdürülebilir kalkınma, ekonomik dayanıklılık ve iklim değişikliğiyle mücadelede stratejik bir politika aracı olarak, yenilikçi teknolojilerin gelişimini teşvik ederek yeşil dönüşüm sürecinin temel

dinamiklerinden birini oluşturur. Düşük karbonlu üretim modellerine geçişi destekleyen bu süreç, çevresel dengeyi korurken küresel refahın artmasına da katkı sağlar (Mete, 2025, s. 68). Bu nedenle, enerji verimliliği politikalarının kararlılıkla uygulanması sürdürülebilir bir geleceğin inşası açısından kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla, enerji verimliliği politikaları Türkiye'nin enerji stratejilerinin de temel referans noktalarından biridir.

Türkiye'de enerji verimliliği politikaları, 1980'lerde teknik ve tasarruf odaklı bir başlangıç döneminden geçmiştir. O dönemde uygulamalar daha çok sanayi ve elektrik sektöründe enerji tasarrufu sağlamaya yöneliktir ve yasal çerçeve oldukça sınırlıydı. 1990'lardan itibaren yasal düzenlemeler ve kurumsal yapılar güçlenmiş, kamu ve özel sektör yatırımları teşvik edilmiştir (Gurizadeh, 2020 s. 143). 2000'li yıllarda ISO 50001 gibi enerji yönetim sistemleri yaygınlaşırken, 2010'lardan itibaren enerji verimliliği karbon azaltımı ve sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle bütünleşmiştir. Günümüzde ise enerji verimliliği, net sıfır ve düşük karbon stratejileri doğrultusunda uygulanan politika çerçevesinde, enerji arzının güvence altına alınması, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve 2053 yılına kadar net sıfır hedefine ulaşmada kritik bir araçtır (Mete, 2025, s. 74).

Bu kapsamda, Türkiye'nin enerji verimliliği politikaları, ulusal hedeflerin yanı sıra Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ile uyumlu bir kalkınma çerçevesinde de şekillenmektedir (ETKB, 2024, s. 1). Enerji verimliliği, özellikle SKA 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji), SKA 9 (Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı) ve SKA 11 (Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar) kapsamında belirlenen amaçların gerçekleştirilmesine hizmet eder. Üretimden tüketime kadar tüm enerji kaynaklarının etkin kullanımı çevresel performansı iyileştirir. Aynı zamanda ekonomik rekabet gücünü artırarak düşük karbonlu kalkınma hedeflerinin hızlı hayata geçirilmesine katkı sağlar.

Çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için Türkiye'de belirlenen yasal ve stratejik çerçeve büyük önem taşımaktadır. 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu (T.C. Resmî Gazete, 2007, Sayı 26510) ve Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (ETKB, 2017, s. 4) enerji verimliliği uygulamalarının ve Ar-Ge yatırımlarının yönlendirilmesinde temel araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu kapsamda binalarda enerji yönetim sistemlerinin uygulanması, sanayide verimliliği artıran projelerin

hayata geçirilmesi, ulaşım sektöründe düşük karbonlu çözümlerin geliştirilmesi ve yenilenebilir enerji yatırımlarının teşvik edilmesi başlıca öncelikler arasında yer almaktadır. Ayrıca kamu ve özel sektör iş birlikleri, uygulamaların etkinliğini artırarak yaygınlaştırılmasına katkı sağlamaktadır. Yenilikçi finansman mekanizmaları ve yatırım programları, enerji tüketiminin azaltılmasına, yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaşmasına ve yeşil istihdamın artırılmasına hizmet ederek ulusal çevresel sürdürülebilirlik vizyonunu desteklemektedir. Bu uygulamalar, aynı zamanda SKA 7, SKA 9 ve SKA 11 hedeflerine doğrudan katkı sunmaktadır (Simas vd., 2022, s. 11).

Enerji verimliliğini etkileyen faktörler üzerine yapılan araştırmalar, farklı ülkeler ve zaman dilimleri için çeşitli sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu çalışmaların çoğu, enerji yoğunluğunu temel gösterge olarak kullanmaktadır; çünkü enerji yoğunluğu veriye erişimin kolay olması ve uluslararası karşılaştırmalar için standart bir ölçüt sunması açısından tercih edilmektedir. Literatürde, enerji yoğunluğunun hem artmasına hem de azalmasına yol açan etkenler olduğuna dair bulgular mevcuttur. Örneğin, Naimoğlu ve Akal (2021, s.1) çalışmasında, yenilenebilir enerji yatırımları, enerji verimli teknolojilerin kullanımı ve sanayi süreçlerindeki modernizasyon gibi arz kaynaklı önlemler ile enerji tasarruflu cihazların kullanımı gibi talep yönlü önlemlerin enerji yoğunluğunu düşürmede etkili olduğü görülmüştür. Hübler ve Keller (2008, s. 22) ise 60 gelişmekte olan ülkeyi kapsayan analizlerinde, doğrudan yabancı yatırımların (DYY) enerji yoğunluğunu azaltıcı etkisine dair genel bir kanıt bulamamış; bazı durumlarda enerji yoğun sektörlerle yönelim nedeniyle verimlilik kazanımlarının sınırlı kaldığını belirtmişlerdir.

Enerji yoğunluğunun, Türkiye’de sürdürülebilirlik politikalarının yönlendirilmesi ve izlenmesi açısından kritik bir rolü bulunmaktadır. Enerji yoğunluğundaki azalma, üretim birimi başına daha düşük enerji tüketimiyle ilişkilendirilmekte olup; bu durum, sera gazı emisyonları ve yerel hava kirleticilerin azaltılmasına olumlu yönde katkı sunmaktadır (Doğan ve Karay, 2019, s. 182). Teknolojik yenilikler ve verimlilik temelli Ar-Ge faaliyetleri, enerji yoğunluğunu azaltmanın yanı sıra, uzun vadede Türkiye’nin enerji arz güvenliğini artırmakta ve fosil yakıt ithalatına olan bağımlılığı sınırlandırmaktadır (Algül ve Erenel, 2024, s. 554). Enerji yoğunluğunun azaltılması, 2053 Net Sıfır Emisyon hedefi, Paris Anlaşması

yükümlülükleri ile SKA 7, SKA 9 ve SKA 11 hedefleri bakımından, çevreyle uyumlu ve ekonomik faydaların eş zamanlı olarak gerçekleşmesine olanak tanımaktadır.

Ancak, bazı yapısal ve kurumsal kısıtlar nedeniyle enerji yoğunluğunu azaltma yönündeki girişimlerin çevresel sürdürülebilirliğe yansımaları, istenen ölçüde gerçekleşmemektedir. Bu durum, kurumsal kapasite eksikliğinden kaynaklanmaktadır; örneğin enerji verimliliği denetim mekanizmalarının zayıf olması, politikaların beklenen sonuçlarını sınırlamaktadır. Türkiye ekonomisinde enerji tüketimi yoğun sektörlerin üretim yapısındaki yüksek payı, sağlanan verimlilik artışlarının toplam enerji yoğunluğuna yansımalarını kısıtlamaktadır. Yüksek verimlilik sağlayan teknolojilerde yerli üretim kapasitesinin yetersizliği, dışa bağımlılığı artırarak teknoloji transferinde maliyet ve zaman kaybına yol açmaktadır (IEA, 2021, s. 34). Kurumsal kapasite eksikliği ve politika istikrarındaki aksaklıklar, enerji verimliliği uygulamalarının ilerlemesini sınırlayabilir (European Commission, 2018, s. 6).

Verimlilik artışlarının maliyetleri düşürmesiyle ortaya çıkan geri tepme etkisi (rebound effect), tasarruf sonucu düşen maliyetin tüketimi yeniden artırmasıdır ve bu durum enerji talebinde artışa yol açarak sağlanan çevresel kazanımların bir kısmını azaltabilmektedir (Gillingham vd., 2015, s. 5). Son olarak, sektörel düzeyde veri ve izleme mekanizmalarının yeterince gelişmemiş olması, politika etkilerinin sağlıklı biçimde değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla, enerji verimliliği yalnızca teknik bir gereklilik değil, Türkiye'nin uzun vadeli kalkınma vizyonunun çevresel, ekonomik ve toplumsal boyutlarını şekillendiren stratejik bir zorunluluktur.

Makroekonomik istikrarın tesis edilmesi açısından, fosil yakıtlara bağımlılığı yüksek ve enerji ithalatı yoğun olan ülkelerde enerji verimliliğinin artırılması büyük önem taşımaktadır. Bu durum, yalnızca enerji maliyetlerini düşürmekle kalmayıp, dış kaynaklara olan yapısal bağımlılığı azaltarak ekonomik dirençliliği güçlendirmektedir (Behera vd., 2025, s. 4). Ayrıca, enerji verimliliği alanındaki Ar-Ge yatırımları, yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve üretim süreçlerinin iyileştirilmesi yoluyla enerji yoğun sektörlerde verimlilik artışını sağlar. Bu sayede uzun vadede karbon yoğunluğu azalırken, Türkiye'nin uluslararası pazarlarda rekabet gücü de güçlenir.

Enerji verimliliği Ar-Ge yatırımları, SKA 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji), SKA 9 (Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı) ve SKA 11 (Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar) hedefleriyle doğrudan uyum içindedir (Gurizadeh, 2020, s. 200). Aynı zamanda,

Türkiye'nin Paris Anlaşması taahhütlerini hayata geçirmesi ve 2053 Net Sıfır Emisyon vizyonuna ulaşması açısından merkezi bir öneme sahiptir (Demir, 2025, s. 63). Enerji talebinin yoğun olduğu sanayi, ulaşım ve kentsel altyapı alanlarında yürütülen Ar-Ge tabanlı verimlilik projeleri, dikkate değer sonuçlar doğurmaktadır. Bu projeler, üretim başına enerji kullanımını azaltarak sera gazı salımlarını sınırlamakta; yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasına katkı sağlamakta ve düşük karbonlu kalkınma hedeflerine geçişi hızlandırmaktadır (Eid vd., 2024, s. 34).

Sürdürülebilir çevresel politikaların başarısı açısından, enerji verimliliği temel bir öneme sahiptir. Ancak bu alandaki Ar-Ge harcamalarının potansiyel katkısı, çeşitli yapısal sınırlılıklar nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, enerji verimliliği alanındaki Ar-Ge harcamalarının çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine etkisi, mevcut koşullar nedeniyle çoğu zaman potansiyelinin gerisinde kalmaktadır. Örneğin, finansman yetersizliği öncelikli bir sorundur; kamu bütçesinde bu alana ayrılan kaynaklar hem gelişmiş ekonomilerle karşılaştırıldığında düşüktür hem de uzun vadeli projeleri destekleyecek süreklilikten uzaktır. Bu durum, yenilikçi teknolojilerin ticarileşmesini geciktirerek sektörler arası yayılımını sınırlandırmaktadır (Woo ve Chun, 2023, s. 2109). Ayrıca, kurumsal kapasite eksikliği ve kurumlar arası koordinasyon sorunları, geliştirilen projelerin ulusal ölçekte etkili sonuçlar üretmesini engellemektedir. Yetki çakışmaları, standart eksiklikleri ve uygulama süreçlerindeki tutarsızlıklar, Ar-Ge çıktılarının politika hedeflerine entegre edilmesini zorlaştırmaktadır (Sorrell vd., 2021, s. 155).

Özel sektörün sürece yeterince dâhil olmaması da önemli bir kısıt oluşturmaktadır. Özellikle KOBİ'ler için yüksek başlangıç maliyetleri, uzun geri dönüş süreleri ve belirsiz piyasa koşulları, verimlilik odaklı Ar-Ge yatırımlarını cazip olmaktan uzaklaştırmaktadır (Meijer vd., 2019, s. 123). Yatırımcıların ve tüketicilerin konuya ilişkin farkındalığının düşük olması, geliştirilen teknolojilerin yaygınlaşmasını yavaşlatmaktadır. Ayrıca mevcut teşvikler çoğu zaman kısa vadeli olup, uzun vadede verimlilik artışı ve emisyon azaltımı sağlayacak projelere yeterli güvence sunmamaktadır. Bölgesel ve sektörel farklılıklar gözetilmeden belirlenen standartlar ise uygulama etkinliğini düşürmektedir. Tüm bu etkenler bir araya geldiğinde, enerji verimliliği alanındaki Ar-Ge harcamalarının Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sunma potansiyelini tam anlamıyla gerçekleştirmesini

zorlaştırmakta; bu yatırımların stratejik etkisi yapısal, finansal ve kurumsal engeller nedeniyle sınırlı kalmaktadır (Akıner, 2025, s. 21).

Ar-Ge harcamalarının yalnızca yapılması değil, bu harcamaların çevresel hedeflere katkı düzeyinin izlenebilir ve ölçülebilir olması, sürdürülebilir kalkınma açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada enerji verimliliği, Ar-Ge yatırımlarının sağladığı enerji tasarrufu düzeyiyle ölçülmektedir. Başka bir deyişle, araştırmanın odak noktası, belirli bir birim Ar-Ge harcamasının enerji tüketiminde sağladığı tasarruftur. Bu bağlamda, Ar-Ge harcamalarının yalnızca miktarı değil, ortaya çıkardığı somut ve ölçülebilir çıktılar esas alınmaktadır. Enerji arzında dışa bağımlılığın yüksek olduğu ve enerji yoğun sektörlerin ön planda yer aldığı Türkiye ekonomisi açısından bu tür yatırımlar stratejik bir önem taşımaktadır (SBB, 2025, s. 52).

Türkiye, çevresel sürdürülebilirlik vizyonunu; 2053 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşma hedefi, Paris Anlaşması'ndan doğan sorumluluklar ve SKA 7, SKA 9 ile SKA 11 kapsamındaki öncelikler üzerine temellendirmektedir. Bu vizyonun hayata geçmesinde, enerji verimliliğine yönelik Ar-Ge yatırımlarının ortaya koyduğu sonuçların etkinliği kilit bir öneme sahiptir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verileri, 2011–2022 yılları arasında enerji yoğunluğunun %20,4 azaldığını ve bu iyileşmenin 2023 hedefinden önce sağlandığını göstermektedir (ETKB, 2024, s. 13). Ancak bu kazanımların kalıcı olması, Ar-Ge projelerinin yalnızca uygulanmasına değil, aynı zamanda her birim harcamanın oluşturduğu verimlilik kazancının düzenli biçimde ölçülüp iyileştirilmesine bağlıdır.

Araştırma sonuçları, Türkiye'de yenilenebilir enerji talebindeki artışın Ar-Ge yatırımlarını teşvik edici yönde etkili olduğunu göstermektedir. Ancak bu harcamalardaki artış her zaman doğrudan ve ölçülebilir bir yenilenebilir enerji kullanım artışıyla sonuçlanmamaktadır (Huseynli, 2023, s. 183). Benzer şekilde, uluslararası literatürde de bu bulgular desteklenmektedir. Örneğin, Çin üzerine yapılan bir araştırma, yenilenebilir enerji talebindeki artışın Ar-Ge yatırımlarını güçlendirdiğini, ancak bu yatırımların her zaman doğrudan izlenebilir ve ölçülebilir enerji verimliliği kazanımları sağlamadığını ortaya koymaktadır (Jin vd., 2018, s. 2). Bu nedenle, öncelik yalnızca bütçe büyüklüğüne değil, her birim Ar-Ge harcamasının

sağladığı verimlilik kazancına verilmelidir. Böylece mevcut kaynaklar, en yüksek çevresel ve ekonomik getiriyi sağlayacak projelere yönlendirilebilir.

Bu nedenle, enerji verimliliği Ar-Ge harcamalarının etkinliğini artırmak, Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik hedefleri açısından yalnızca bir teknik seçenek olmanın ötesinde, çok boyutlu bir stratejik gerekliliktir. Bu gereklilik, ekonomik rekabetçiliği artırır, enerji arz güvenliğini güçlendirir ve iklim değişikliğiyle mücadelede somut ilerlemelere doğrudan katkı sağlar (EU ve RoT, 2020, s. 22). Her birim harcamanın sağladığı verimlilik kazanımlarının düzenli olarak izlenmesi ve bu verilerin politika oluşturma sürecine dâhil edilmesi ise, uzun vadeli çevresel hedeflere ulaşmada kritik bir işlev üstlenecektir.

Bu tezde analiz edilen temel değişken, enerji verimliliği Ar-Ge harcamalarının etkinliğidir. Etkinlik, yapılan her birim Ar-Ge harcamasının karşılığında elde edilen enerji tasarrufu ve somut çıktılarla ölçülen performansı ifade etmektedir (Hacıoğlu vd., 2024, s. 470). Dolayısıyla burada yalnızca yatırım miktarına değil, bu harcamaların çevresel hedeflere ne ölçüde katkı sunduğuna odaklanılmaktadır. Enerji bağımlılığı yüksek ve enerji yoğun sektörlerin ağırlıkta olduğu Türkiye'de, enerji politikalarının başarısı, yapılan harcamanın büyüklüğünden çok, sağladığı verimlilikle ölçülmelidir (Öncel, 2022, s. 239). Bu nedenle çalışmada, enerji verimliliğine yönelik Ar-Ge yatırımlarının etkinliğini ölçmek hem ekonomik rekabet gücünün artırılması hem de çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması açısından stratejik bir gereklilik olarak ele alınmaktadır.

Bu yaklaşımda, nicelikten ziyade niteliğin belirleyici olduğu vurgulanmaktadır. Enerji verimliliğine yönelik Ar-Ge çalışmalarında esas olan, ayrılan bütçenin büyüklüğünden çok, bu kaynakların kullanımının ne ölçüde verimlilik artışı, enerji tasarrufu, emisyon azaltımı ve maliyet düşüşü sağladığıdır. Dünya genelindeki uygulamalar da bu yaklaşımı destekler niteliktedir. Örneğin Çin'de yapılan ampirik bir araştırma, teknolojik ilerlemelerin enerji verimliliği üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu; ancak geri tepme etkisinin bu kazanımları önemli ölçüde sınırladığını ortaya koymuştur (Liao ve Wang, 2019, s.13). Bazı ülkeler, Ar-Ge için yüksek bütçeler ayırmalarına rağmen beklenen verimlilik artışlarını sağlayamamış; özellikle geri tepme etkisi gibi faktörler nedeniyle enerji tasarrufu hedeflerine ulaşamamışlardır. Yanlış yönlendirilmiş yatırımlar ise önemli ölçüde kaynak israfına yol açmıştır

(Özsoy, 2022, s. 15). Bu durum, harcanan her bir kaynağın karşılığında elde edilen verimlilik kazanımının titizlikle ölçülmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Özetle, enerji verimliliği Ar-Ge harcamalarının etkinliğinin bu çalışmada bağımlı değişken olarak seçilmesinin nedeni, Türkiye gibi enerji ithalatına yüksek oranda bağımlı ve enerji yoğun sanayi yapısına sahip bir ekonomide, politika başarısını yalnızca harcama büyüklüğüyle değil, bu harcamanın oluşturduğu somut verimlilik çıktılarıyla ölçme gerekliliğidir (Demir ve Korhan Barış, 2025, s. 106). Böylece, ayrılan bütçenin gerçekten enerji tasarrufu, emisyon azaltımı ve maliyet düşüşü gibi stratejik kazanımlar üretip üretmediği ortaya konulabilmektedir. Politika öncelikleri de daha etkin biçimde belirlenebilmektedir.

Tezin teorik çerçevesi, Kaynak Tabanlı Yaklaşım (KTY), Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı, Porter Hipotezi ve Endojen Büyüme Teorisi gibi literatürde yaygın olarak kabul gören modeller esas alınarak yapılandırılmıştır. Bu teoriler, enerji verimliliği odaklı Ar-Ge etkinliğini hem firma içi hem de makro düzeyde açıklayabilmekte olup, birbirini tamamlayan farklı bakış açıları sunmaktadır. Aynı zamanda, bağımsız değişkenlerin enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerindeki etkilerinin teorik çerçeveye dayalı olarak açıklanmasına da olanak sağlamaktadır. Böylece teorik temel, tezin hipotezleriyle doğrudan ilişkilendirilebilecek sağlam bir altyapı sunmaktadır.

KTY, enerji verimliliği Ar-Ge çıktılarının, firmanın benzersiz kaynak ve yetenek setine, özellikle bilgi birikimi, örgütsel öğrenme ve dış teknolojiyi içselleştirme kapasitesine bağlı olduğunu savunur. Aynı harcama düzeyinde farklı sonuçların bu içsel farklılıklardan doğduğunu belirtir (Teece vd., 1997).

Sürdürülebilir Kalkınma yaklaşımı, çevresel etkileri azaltma hedefiyle ekonomik dayanıklılık ve toplumsal refahın birlikte gözetilmesini; bunun da kaynakların verimli kullanımı ve politikalar arası uyumla mümkün olacağını vurgular (Kaman ve Bozkurt, 2025, s. 300).

Porter Hipotezi, iyi tasarlanmış ve öngörülebilir çevre politikalarının fiyat ve standart sinyalleri üzerinden süreç yeniliklerini tetiklediğini, başlangıçtaki uyum maliyetlerinin zamanla verimlilik kazanımları ile dengelendiğini ileri sürer (Porter ve van der Linde, 1995).

Endojen Büyüme Teorisi ise uzun dönem büyümeyi bilgi, Ar-Ge ve beşerî sermaye birikimiyle açıklar; yeniliklerin ve bilgi taşmalarının kalıcı üretkenlik artışları oluşturduğunu savunur (Romer, 1990).

Birlikte değerlendirildiğinde bu dört çerçeve, enerji verimliliği alanında Ar-Ge'den “etkin” sonuç alınmasını; kurumların içsel yetenekleri, sürdürülebilirlik ilkeleri, düzenleme kalitesi ve bilgi birikiminin büyüme dinamikleri üzerinden açıklayan tutarlı bir teori zemini sağlar.

Devamında, söz konusu çalışmamızda kullanılan dört bağımsız değişken (Enerji Fiyatları, Enerji İthalatı, Doğrudan Yabancı Yatırımlar, Yenilenebilir Enerji Kullanımı) kuramsal çerçeveye dayalı olarak ele alınacak ve enerji verimliliği odaklı Ar-Ge'nin etkinliğine dair beklenen etkiler sistematik biçimde ortaya konacaktır. Bu eşleştirmeyi yapmamızın nedeni, ampirik bölümde kurulacak hipotezlere sağlam bir dayanak oluşturmaktır. Böylece katsayıların işaret ve büyüklükleri daha anlamlı biçimde yorumlanabilir ve nedenselliğin işleyeceği kanallar önceden netleştirilebilir. Aşağıdaki açıklamalar, her değişkeni uygun kuramsal çerçeveye ilişkilendirerek enerji verimliliği odaklı Ar-Ge üzerindeki olası etkilerini ortaya koyacaktır.

Doğrudan yabancı yatırımlar, yerli firmalara yalnızca finansman sağlamakla kalmaz; aynı zamanda teknoloji ve bilgi transferi aracılığıyla Ar-Ge kapasitesini güçlendirebilir. Kaynak Tabanlı Yaklaşım, stratejik ve zor taklit edilen kaynakların işletme performansını sürdürülebilir kıldığını öne sürerken; Endojen Büyüme Teorisi, dış kaynaklı bilgi akışlarının ulusal yenilik potansiyelini artırdığını ve kalıcı üretkenlik artışlarına yol açtığını belirtir. Bu iki yaklaşım birlikte değerlendirildiğinde, teknoloji yoğun ve stratejik sektörlere yönelen doğrudan yabancı yatırımların, uygun kurumsal altyapı koşullarında enerji verimliliğine yönelik Ar-Ge etkinliğini artırabileceği öngörülmektedir.

Türkiye gibi enerji ithalatına bağımlı ekonomilerde dış kaynaklı enerji, yalnızca maliyet baskısı oluşturmakta kalmaz; aynı zamanda arz güvenliğini zedeleyen yapısal kırılganlık oluşturur. Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı, bu baskının ülkeleri enerji tasarrufu ve yerli kaynaklara dayalı üretim sistemlerine yönlendirdiğini savunur. Endojen Büyüme Teorisi ise ithal edilen teknolojiler ve bilgi transferinin enerji verimliliği odaklı Ar-Ge etkinliğini güçlendirdiğini öne sürer. Enerji ithalatının Ar-Ge süreçleri üzerindeki etkisi, yönetsel kapasite, mali yapı ve politika bütünlüğüne bağlı

olarak değişir; güçlü yapısal koşullarda ithalat, enerji tasarrufu odaklı Ar-Ge'yi desteklerken, zayıf koşullarda etkinliği sınırlandırabilir.

Enerji fiyatları, Ar-Ge etkinliğini etkileyen temel ekonomik göstergelerden biridir. Porter Hipotezi, kalıcı fiyat artışlarının işletmeleri daha az enerji tüketen teknolojilere yönlendirdiğini savunur. Öngörülebilir piyasa koşullarında firmalar, enerji tasarrufu sağlayan yenilikçi çözümlere yatırım yapma eğilimindedir. Bu durum, enerji verimliliği odaklı Ar-Ge harcamalarının düzeyini ve etkinliğini artırır. Endojen Büyüme Teorisi ise, bu maliyet baskılarının bilgi üretimi ve teknolojik gelişmeyi tetikleyerek uzun vadede üretkenliği artırabileceğini öne sürer. Etkileşimin yapıcı olması ise düzenleyici politikaların sürekliliği, yatırım ortamının öngörülebilirliği ve kurumsal kapasitenin etkinliğine bağlıdır.

Yenilenebilir enerji kullanımındaki artış, çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamasının yanı sıra enerji sistemlerinde yenilikçi teknolojilerin gelişimini destekleyen bir dönüşüm başlatmaktadır. Endojen Büyüme Teorisi, bu teknolojilerin yaygınlaşmasının bilgi üretimini hızlandırarak verimlilik odaklı Ar-Ge faaliyetlerini teşvik ettiğini savunur. Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı ise yenilenebilir enerji kullanımının çevresel baskıları azaltırken enerji arz güvenliğini güçlendirdiğini vurgular. Bu iki kuram birlikte değerlendirildiğinde, yenilenebilir enerji yatırımlarının bilgi üretimini ve çevresel uyumu güçlendirerek enerji verimliliği Ar-Ge harcamalarının etkinliğini artırdığı sonucuna varılabilir.

Bu bağlamda, çalışmada yanıt aranacak temel araştırma soruları aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir.

Soru 1. Yenilenebilir enerji kullanımı, Türkiye'de enerji verimliliği alanındaki Ar-Ge harcamalarının etkinliğini hangi yönde etkiler?

Soru 2. Enerji fiyatları, Türkiye'nin enerji verimliliği alanındaki Ar-Ge harcamalarının etkinliğini hangi mekanizmalar aracılığıyla etkiler?

Soru 3. Enerji ithalatı, Türkiye'nin enerji verimliliği alanındaki Ar-Ge harcamalarının etkinliğini hangi kanallar üzerinden etkiler?

Soru 4. Doğrudan yabancı yatırımlar, Türkiye'de enerji verimliliği odaklı Ar-Ge harcamalarının etkinliğini hangi yönde etkiler?

Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik hedefleri çerçevesinde, enerji verimliliği Ar-Ge harcamalarının etkinliğini ele alan bu tez, alanında öncü bir çalışmadır. Çalışmanın önemi, enerji verimliliği politikalarının başarısını yalnızca yapılan harcama düzeyine göre değil, her birim harcamanın sağladığı somut verimlilik artışı üzerinden değerlendirmesinde yatmaktadır. Böyle bir bakış açısı, enerji arzında dışa bağımlılığın yüksek ve enerji yoğun sektörlerin ağırlıkta olduğu bir ekonomide, sınırlı kaynakların çevresel ve ekonomik açıdan en yüksek getiriyi sağlayacak şekilde kullanılmasına katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın literatüre katkısı üç boyutta değerlendirilebilir. İlk olarak, Türkiye açısından stratejik önem taşıyan enerji verimliliği Ar-Ge harcamalarının etkinliği değişkeni, ilk kez bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Bu değişkenin araştırılması, enerjiye yüksek oranda dışa bağımlı, enerji yoğun sektörlerin ağırlıkta olduğu bir ekonomide, politika başarısının yalnızca harcama miktarıyla değil, her birim harcamanın sağladığı somut verimlilik kazanımıyla ölçülmesi gerektiğini ortaya koyması bakımından önemlidir. İkinci olarak, bu değişkenin enerji fiyatları, enerji ithalatı, yenilenebilir enerji kullanımı ve doğrudan yabancı yatırımlar gibi farklı alanlara ait çok boyutlu belirleyicilerle birlikte ele alınması, çalışmayı enerji ekonomisi, çevre ekonomisi ve uluslararası sermaye literatürlerinin ortak kesitinde konumlandırmaktadır.

Ayrıca her bir değişkenin teorik temelli olarak test edilmesi ise çalışmaya ayrı bir yenilik katmaktadır. Bu durum, çalışma bulgularının hangi yaklaşımları desteklediği açısından önemli olduğu gibi, diğer yandan yeni görüşler için de zemin hazırlaması açısından değerlidir ve gelecekteki araştırmalara yön verici bir nitelik taşımaktadır. Son olarak, analizlerde tercih edilen güncel Fourier yaklaşımı, geleneksel yöntemlerin çoğunlukla göz ardı ettiği yapısal kırılmaları ve doğrusal olmayan dinamikleri hesaba katma yeteneğiyle öne çıkmaktadır. Böylece, zaman serilerinde ortaya çıkan ani politika değişiklikleri, ekonomik dalgalanmalar ve dışsal şoklar modele yansıtılarak daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlara ulaşılmıştır. Bu yöntemsel seçim, elde edilen bulguların hem akademik açıdan güvenilirliğini hem de politika yapımcılar için uygulanabilirliğini artırmıştır.

Bu yönleriyle tez, hem ele aldığı bağımlı değişkenin yeniliği hem de çok boyutlu analiz çerçevesi ve güncel Fourier yaklaşımının sağladığı üstünlükler sayesinde,

Türkiye özelinde yapılmış önceki çalışmalardan ayrılmaktadır. Ayrıca, literatürde enerji ithalatı ve enerji fiyatı değişkenlerinin enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği ile ele alındığı çalışmaların sınırlı olması, bu tezin katkısını daha da değerli kılmaktadır. İzleyen bölümlerde literatür taraması, veri ve yöntem açıklamaları, metodoloji, analiz bulguları ve sonuç bölümleri sunularak araştırma sorularına yanıt verilecektir.

1.1. Teorik Çerçeve

Enerji verimliliği, günümüzde yalnızca teknik bir mesele olmaktan öteye geçmiş; çevreyle uyumlu ekonomik büyüme, üretim maliyetlerinin azaltılması ve enerji arz güvenliğinin güçlendirilmesi gibi çok yönlü hedefleri kapsayan stratejik bir politika aracına dönüşmüştür. Ancak bu hedeflerin başarısı, yalnızca ayrılan kaynakların büyüklüğüne değil; bu kaynakların, verimlilik ve çıktı odaklı bir biçimde kullanılma düzeyine bağlıdır. Bu bağlamda, enerji verimliliğine yönelik Ar-Ge yatırımlarının ne ölçüde etkin sonuçlar doğurduğunu anlamak için, söz konusu yatırımları etkileyen temel belirleyicilerin kuramsal düzeyde incelenmesi gerekmektedir. İşte bu bölümde, bağımlı değişken olan enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği ile açıklayıcı değişkenler arasındaki ilişkileri kuramsal olarak temellendirmek amacıyla kullanılan teoriler ele alınmaktadır.

Bu doğrultuda, enerji verimliliği Ar-Ge harcamalarının yalnızca varlığı değil, bu harcamaların etkinlik düzeyi araştırmanın temel sorunsalını oluşturmaktadır. Etkinlikten kastedilen, her birim Ar-Ge kaynağının ne düzeyde somut verimlilik çıktısı ürettiğidir. Bu açıdan, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini etkileyen unsurların kuramsal temelde analiz edilmesi, nedensel ilişkilerin açıklanabilirliğini artırmakta ve ampirik incelemeler için sağlam kavramsal dayanaklar sunmaktadır. Enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği analizi, enerji yatırımlarının yalnızca büyüklüğünü değil, bu yatırımların çıktı üretme kapasitesini değerlendirmeye olanak tanıdığı için, politika etkisi açısından hayati önem taşımaktadır. Bu amaçla çalışmada, doğrudan yabancı yatırımlar, enerji ithalatı, enerji fiyatları ve yenilenebilir enerji kullanımı gibi dört temel belirleyici değişken seçilmiş ve her biri ilgili kuramsal yaklaşımlarla çok boyutlu biçimde ilişkilendirilmiştir. Bu kuramsal yapı, yalnızca istatistiksel ilişkilere dayanmamakta; aynı zamanda kuramsal gerekçelendirmeyle desteklenen analitik bir çerçeve sunmaktadır.

Kuramsal çerçevenin temelleri, enerji verimliliği odaklı Ar-Ge etkinliğini çok boyutlu biçimde açıklayabilecek dört ana yaklaşım üzerine inşa edilmiştir. Bunlardan ilki olan Kaynak Tabanlı Yaklaşım, firmanın sürdürülebilir rekabet üstünlüğü elde etmesini sağlayan bilgi, teknoloji ve bilgi edinme kapasitesi gibi stratejik kaynaklara dayanmaktadır. Bu yaklaşımda, Ar-Ge etkinliği, firmanın içsel kaynakları nasıl yönettiğiyle doğrudan ilişkilidir. Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı ise, enerji verimliliğini çevresel ve toplumsal yararı önceleyen bir yapı içinde değerlendirir. Porter Hipotezi, özellikle artan enerji fiyatları ile çevreye yönelik düzenlemelerin firmalar üzerinde yenilik baskısı oluşturarak, Ar-Ge faaliyetlerini artırabileceğini savunmaktadır. Son olarak, Endojen Büyüme Teorisi, bilgi birikimi ve Ar-Ge harcamalarının uzun dönemli üretkenlik ve büyüme üzerindeki belirleyici rolünü vurgular.

Bu dört kuramsal yaklaşım, tez kapsamında ele alınan bağımsız değişkenlerin her biriyle ilişkilendirilmiş ve bu sayede nedensel ilişkilerin kuramsal temellendirilmesi sağlanmıştır. Bu bağlamda, doğrudan yabancı yatırımlar hem Kaynak Tabanlı Yaklaşım hem de Endojen Büyüme Teorisi çerçevesinde açıklanmıştır. Enerji ithalatı, Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı ile birlikte Endojen Büyüme Teorisi kapsamında değerlendirilmiştir. Enerji fiyatları ise Porter Hipotezi ve Endojen Büyüme Teorisi ile ilişkilendirilerek yorumlanmıştır. Son olarak, yenilenebilir enerji kullanımı hem Endojen Büyüme Teorisi hem de Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı doğrultusunda analiz edilmiştir. Böylece, yalnızca teorik bir çerçeve sunulmamış; aynı zamanda yapılacak ampirik analizlerin kavramsal dayanakları da güçlendirilmiştir.

Sonuç olarak, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği, yalnızca teknik bir çıktı değil; aynı zamanda kuramsal düzlemde çok boyutlu açıklanması gereken, yapısal ve stratejik bir süreçtir. Bu nedenle, çalışmanın teorik çerçevesi; bağımsız değişkenler ile enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği arasındaki ilişkileri, yalnızca gözleme dayalı değil, aynı zamanda kuramsal olarak gerekçelendirilmiş şekilde analiz etmeyi mümkün kılmaktadır.

Doğrudan yabancı yatırımlar, enerji verimliliğine yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yalnızca mali kaynak sağlamakla kalmaz; aynı zamanda teknoloji transferi, süreç bilgisi ve yönetim deneyimi gibi yüksek katma değerli bilgi

unsurlarını yerli sistemlere kazandırır. Kaynak Tabanlı Yaklaşım, bu tür yatırımların, yerli firmaların bilgi altyapısını ve teknolojik yeterliliğini güçlendirerek Ar-Ge çıktılarının kalitesini artırabileceğini öne sürer. Endojen Büyüme Teorisi ise, dışarıdan aktarılan bilgi ve teknolojilerin, ülke içindeki yenilik kapasitesini tetikleyerek zaman içinde üretkenliği artırabileceğini savunmaktadır. Bu süreçte özellikle kurumsal öğrenme, deneyim birikimi ve bilgi paylaşımı gibi mekanizmalar aracılığıyla, Ar-Ge yatırımlarının enerji verimliliği üzerindeki etkisinin kalıcı hâle gelebileceği öngörülmektedir.

Her iki yaklaşım birlikte değerlendirildiğinde, doğrudan yabancı yatırımların Ar-Ge etkinliği üzerindeki etkisinin yalnızca yatırım miktarıyla sınırlı olmadığı görülmektedir. Etkinin düzeyi, yerli işletmelerin dış teknolojiyi özümseme kapasitesi, kurumsal altyapının niteliği ve yatırımcıların teknoloji yoğunluğu gibi bağlamsal unsurlara bağlı olarak değişmektedir. Eğer yerli firmalar gelen bilgi ve teknolojiyi içselleştirebilecek birikime sahipse, aynı düzeydeki Ar-Ge harcamalarıyla daha güçlü enerji verimliliği çıktıları elde edilebilir. Bu nedenle doğrudan yabancı yatırımların etkisi, yalnızca nicel göstergelerle değil; kurumsal kapasite, öğrenme dinamikleri ve teknoloji transferi gibi yapısal faktörlerin etkileşimiyle birlikte değerlendirilmelidir. Bu çerçevede, söz konusu yatırımların enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerindeki etkisini sağlıklı biçimde analiz edebilmek için hem kuramsal hem de bağlamsal boyutların dikkate alınması gerekmektedir.

Enerji ithalatı, özellikle dışa bağımlılığın yüksek olduğu ülkelerde yalnızca ekonomik bir maliyet kalemi değil, aynı zamanda enerji politikalarının yönünü şekillendiren yapısal bir baskı unsurudur. Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı çerçevesinde değerlendirildiğinde, bu bağımlılık; çevresel, ekonomik ve toplumsal riskleri artırarak, karar alıcıları daha verimli, yerli ve yenilikçi enerji sistemlerine yönelten bir itici güç hâline gelir. Bu koşullar altında, enerji ithalatı verimlilik odaklı Ar-Ge harcamalarına olan ihtiyacı artırabilir; zira dış kaynaklara aşırı bağımlılık, sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle çelişen yapısal bir kırılganlık üretmektedir. Bu kırılganlığın azaltılması, yerli enerji çözümlerinin geliştirilmesini ve bu doğrultuda Ar-Ge yatırımlarının etkinliğinin artırılmasını stratejik bir gereklilik hâline getirmektedir.

Endojen Büyüme Teorisi ise enerji ithalatına aşırı bağımlılığın, uzun vadede ülke içindeki bilgi üretimi ve teknoloji geliştirme süreçlerini sekteye uğratarak inovasyon kapasitesini zayıflatabileceğini öne sürer. Bununla birlikte, uygun politika ortamı ve güçlü kurumsal yapı koşullarında, söz konusu dışa bağımlılık bilgi üretimini tetikleyici bir stres faktörü olarak da işlev görebilir. Yüksek ithalat baskısı, yerli aktörleri enerji verimliliği odaklı Ar-Ge süreçlerine yönlendirerek hem teknoloji geliştirme hem de kurumsal öğrenme kapasitelerini harekete geçirebilir. Bu nedenle, enerji ithalatının enerji verimliliği Ar-Ge harcamalarının etkinliği üzerindeki etkisi, yalnızca nicel göstergelerle açıklanamayacak kadar çok katmanlıdır; bu etkiyi sağlıklı biçimde değerlendirebilmek için hem kuramsal çerçeve hem de bağlamsal faktörler birlikte dikkate alınmalıdır.

Enerji fiyatları, işletmelerin üretim tercihleri, teknoloji seçimi ve maliyet yönetimi üzerinde doğrudan etkili olan temel iktisadi göstergelerden biridir. Bu değişkenin, enerji verimliliğine yönelik Ar-Ge harcamalarının etkinliği üzerindeki rolü hem Porter Hipotezi hem de Endojen Büyüme Teorisi perspektifinden değerlendirildiğinde daha anlamlı hâle gelmektedir. Porter Hipotezi kapsamında değerlendirildiğinde; enerji fiyatlarında meydana gelen kalıcı artışlar, firmalar üzerinde belirli bir uyum baskısı oluşturarak, onları daha az enerji tüketen ve çevresel etkileri düşük olan teknolojilere yönelmeye teşvik etmektedir. Bu bağlamda enerji fiyatları, yalnızca bir girdi maliyeti değil; aynı zamanda işletmeleri üretim süreçlerini yeniden kurgulamaya ve yenilikçi uygulamalara yönelmeye zorlayan bir “yenilik tetikleyicisi” olarak işlev görmektedir. Özellikle piyasalarda fiyat sinyallerinin açık, istikrarlı ve öngörülebilir nitelikte olması durumunda, firmaların enerji tasarrufu sağlayan Ar-Ge yatırımlarına yönelme eğilimi artmakta ve bu durum yapılan harcamaların etkinliğini yükseltebilmektedir.

Endojen Büyüme Teorisi ise, enerji maliyetlerindeki artışın yalnızca üretim üzerindeki kısa vadeli etkilerle sınırlı kalmadığını; aynı zamanda bilgi üretimi, teknolojik ilerleme ve yenilik süreçlerini tetikleyen bir unsur olarak değerlendirilebileceğini öne sürmektedir. Bu çerçevede yükselen enerji maliyetleri, firmaları daha düşük enerji bağımlılığına sahip üretim sistemlerine yönelmeye ve Ar-Ge faaliyetlerini yoğunlaştırmaya sevk edebilir. Ancak bu dönüşümün kalıcı ve etkili olabilmesi; piyasa koşullarının istikrarı, düzenleyici çerçevenin sürekliliği ve

firmaların teknolojik uyum kapasitesi gibi yapısal faktörlerin varlığına bağlıdır. Bu nedenle, enerji fiyatlarının enerji verimliliği Ar-Ge harcamalarının etkinliği üzerindeki etkisi, yalnızca maliyet baskısıyla değil; aynı zamanda kuramsal gerekçelere dayalı ve bağlamsal faktörlerin etkileşimiyle şekillenen çok katmanlı bir süreç olarak ele alınmalıdır.

Yenilenebilir enerji kullanımı, enerji sistemlerinin dönüşümünde yalnızca çevresel sürdürülebilirliği değil, aynı zamanda bilgi üretimi ve teknolojik ilerlemeyi destekleyen temel bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Endojen Büyüme Teorisi bağlamında ele alındığında, bu tür yatırımların; yeni teknolojilerin benimsenme hızını artırdığı, öğrenme süreçlerini derinleştirdiği ve dolayısıyla enerji verimliliği odaklı Ar-Ge çalışmalarının daha etkili sonuçlar üretmesine katkı sağladığı görülmektedir. Özellikle güneş, rüzgâr ve biyokütle gibi yenilenebilir kaynaklara yönelik altyapı yatırımları, hem yerli bilgi üretimini teşvik etmekte hem de teknoloji transferi yoluyla kurumsal öğrenme kapasitesini geliştirmektedir. Bu süreç, yenilikçi çözümler üretilmesini kolaylaştırarak Ar-Ge harcamalarının daha verimli ve somut çıktılarla sonuçlanmasına zemin hazırlamaktadır.

Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı açısından bakıldığında ise, yenilenebilir enerji kullanımı yalnızca çevresel baskıların azaltılmasına hizmet etmemekte; aynı zamanda ekonomik dayanıklılığı ve toplumsal refahı destekleyen bir dönüşüm aracı olarak da işlev görmektedir. Fosil yakıt ithalatına olan bağımlılığın azalması, enerji arz güvenliğini güçlendirmekte ve dışsal kırılganlıkları azaltarak yerli teknolojilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda, yenilenebilir enerjiye dayalı üretim yapısı, enerji verimliliği hedeflerinin gerçekleştirilmesinde Ar-Ge yatırımlarının daha etkin kullanımını sağlayacak kurumsal ve teknolojik altyapının oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımının teknoloji geliştirme kapasitesi, öğrenme süreçleri ve sürdürülebilirlik politikaları yoluyla enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerinde çok boyutlu ve olumlu etkiler oluşturduğu söylenebilir. Bu etkinin, kuramsal yaklaşımlar ve bağlamsal faktörlerin ortak etkileşimiyle değerlendirilmesi gerektiği de önemle vurgulanmalıdır.

Sonuç olarak, enerji verimliliği alanındaki Ar-Ge harcamalarının etkinliği; doğrudan yabancı yatırımların teknoloji transferi ve kurumsal öğrenme yoluyla sağlayacağı katkılar, enerji ithalatının oluşturduğu dış baskının yönlendirici gücü,

enerji fiyatlarındaki kalıcı artışların yenilikleri tetikleyici rolü ve yenilenebilir enerji kullanımının bilgi üretimini destekleyici yapısı üzerinden şekillenmektedir. Bu dört temel belirleyici, yalnızca ekonomik göstergeler olarak değil; aynı zamanda kurumsal kapasite, politika istikrarı ve teknolojik altyapı gibi bağlamsal faktörlerle birlikte değerlendirildiğinde, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerinde çok boyutlu ve etkileşimli bir etki mekanizması ortaya koymaktadır.



2.LİTERATÜR İNCELEMESİ

2.1.Literatür İncelemesi

Enerji verimliliği, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması, enerji arz güvenliğinin güçlendirilmesi ve düşük karbonlu kalkınma hedeflerine ulaşılması açısından stratejik bir politika aracı olarak giderek daha kritik bir önem kazanmaktadır. Bu çerçevede, enerji verimliliğine yönelik Ar-Ge harcamaları hem ulusal hem de uluslararası düzeyde çok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Ancak literatür incelendiğinde, söz konusu çalışmaların büyük ölçüde Ar-Ge yatırımlarının toplam hacmine veya sektörel dağılımına odaklandığı; buna karşılık, bu harcamaların ne düzeyde etkin çıktılar ürettiğini değerlendiren analizlerin oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkeler özelinde, enerji verimliliği odaklı Ar-Ge yatırımlarının çıktıları ile bu çıktıları şekillendiren kurumsal, ekonomik ve dışsal faktörler arasındaki ilişkilerin yeterince derinlikli biçimde ele alınmadığı dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, mevcut literatürün eleştirel bir bakışla gözden geçirilmesi hem kuramsal hem de ampirik boşlukların ortaya konması açısından önem arz etmektedir.

Literatürde enerji verimliliği genellikle enerji yoğunluğu göstergesiyle temsil edilmektedir. Ancak bu gösterge, çoğu durumda teknoloji düzeyini ve bilgi üretim süreçlerini göz ardı etmekte; dolayısıyla Ar-Ge harcamalarının etkinliğini doğrudan ölçmekten çok, yalnızca genel eğilimleri izlemeye olanak tanımaktadır. Öte yandan, birçok çalışmada yapısal kısımlar, politika istikrarı, dışa bağımlılık düzeyi ve fiyat sinyalleri gibi kritik bağlamsal faktörlerin yeterince dikkate alınmadığı görülmektedir. Bu eksiklikler, yapılan analizlerin politikaya dönük açıklayıcılığını ve uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Dolayısıyla enerji verimliliği odaklı Ar-Ge etkinliğini çok boyutlu, bağlamsal ve kuramsal temelli yaklaşımlarla ele alan bütüncül modellere duyulan ihtiyacı açık biçimde ortaya koymaktadır.

Bu nedenle, söz konusu eksikliği gidermeye yönelik olarak geliştirilen bu tez çalışması, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini yalnızca bir çıktı değil, aynı zamanda stratejik bir politika başarısı olarak ele almakta ve bu süreci hem kuramsal bir zemin hem de bağlamsal tutarlılık içerisinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, enerji fiyatları, enerji ithalatı, yenilenebilir enerji kullanımı ve doğrudan yabancı yatırımlar gibi belirleyici değişkenler, teorik çerçeveye ilişkilendirilerek

sistematik biçimde analiz edilmiştir. Böylece, mevcut literatürdeki kavramsal ve yöntemsel sınırlılıkların ötesine geçilerek, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğine dair çok boyutlu ve politika rehberliğinde kullanılabilecek özgün bir çerçeve sunulmaktadır.

Literatürdeki pek çok çalışma, enerji verimliliği kavramını ve bu alandaki Ar-Ge harcamalarını genel hatlarıyla ele almakta; özellikle yatırım hacmi, sektörel dağılım ve politika etkileri gibi makro göstergelere odaklanmaktadır. Bu çalışmalar, enerji verimliliği konusunda yapısal eğilimlere ve genel dinamiklere dair önemli içgörüler sunmakla birlikte, çoğu zaman Ar-Ge harcamalarının etkinlik boyutunu ikincil plana itmektedir. Diğer bir ifadeyle, yatırımların yalnızca varlığı ya da artışı incelenmekte; bu yatırımların ne ölçüde somut ve ölçülebilir çıktılar ürettiği yeterince değerlendirilmemektedir.

Özellikle enerji verimliliği Ar-Ge harcamalarının kısa ve uzun vadeli etkilerini ayırıştırarak ele alan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle, söz konusu etkilerin zaman boyutunu içeren bütüncül analizlere duyulan ihtiyaç hem politika yapıcılar hem de akademik çevreler için daha sağlıklı ve yol gösterici değerlendirmeler sunulmasını gerekli kılmaktadır. Mevcut literatürdeki bu eksiklik, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği konusundaki bağlamsal çözümlenmeleri kısıtlamakta; dolayısıyla stratejik düzeyde politika önerileri geliştirmeye olanak tanıyacak ampirik bulguların ortaya konmasını zorlaştırmaktadır.

Bu eksikliğin özellikle Türkiye gibi yükselen ekonomiler arasında yer alan, yüksek sosyal ve ekonomik büyüme potansiyeline sahip ancak enerji ihtiyacını büyük oranda dış kaynaklardan karşılayan ülkeler açısından daha dikkat çekici ve hayati bir boyut taşıdığı açıktır. Enerji verimliliğine yönelik Ar-Ge harcamalarının kısa ve uzun vadeli etkilerinin yeterince analiz edilmemesi, bu ülkelerde stratejik kaynak tahsisini zorlaştırmakta; ayrıca politika tasarımı süreçlerinde karar vericilerin yeterli yönlendirmeye ulaşamamasına neden olmaktadır.

Bu bağlamda, yalnızca yatırım miktarlarını değil; aynı zamanda yatırımların zaman içinde ürettiği somut verimlilik çıktıları, teknolojik kazanımlar ve çevresel etkiler açısından da değerlendirilebilmesi hem sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılması hem de enerji bağımlılığının azaltılması açısından kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Özellikle enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini çok boyutlu ve

bağlamsal bir perspektiften ele alan çalışmaların sayısının azlığı, bu tezin literatüre sağlayacağı katkının önemini daha da artırmaktadır.

Bu bağlamda, izleyen bölümde literatür; enerji verimliliği ve enerji verimliliği alanındaki Ar-Ge harcamalarına ilişkin çalışmalar ekseninde sistematik olarak ele alınacaktır.

Enerji verimliliği, günümüzde yalnızca teknik bir tasarruf yaklaşımı olarak değil; aynı zamanda ekonomik kalkınma, çevresel sürdürülebilirlik ve yapısal dönüşüm politikalarının merkezi bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda yapılan çalışmalar, enerji verimliliğini etkileyen belirli yapısal değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlı etkiler ürettiğini ortaya koymaktadır. Literatürde öne çıkan bağımsız değişkenler arasında yenilenebilir enerji kullanımı, enerji fiyat düzeyi, enerji ithalatı ve doğrudan yabancı yatırımlar öne çıkmakta; bu faktörler, enerji verimliliği politikalarının şekillenmesinde belirleyici rol üstlenmektedir.

Yenilenebilir enerji kullanımı, enerji verimliliği üzerindeki etkileri bakımından literatürde sıkça incelenen ve genellikle olumlu sonuçlar üreten temel belirleyicilerden biridir. Bu çerçevede yürütülen birçok çalışma, yenilenebilir kaynakların kullanımıyla birlikte enerji sistemlerindeki yapısal kayıpların azaldığını ve verimlilik artışının sağlandığını göstermektedir. Örneğin Eid vd. (2024) 21 OECD ülkesine yönelik CS-ARDL yöntemiyle gerçekleştirdiği analiz, yenilenebilir enerjiye yapılan Ar-Ge harcamalarının hem kısa hem de uzun vadede enerji verimliliğini artırıcı yönde etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Değirmenci ve Aydın (2024), yenilenebilir enerji kullanımının uzun vadeli enerji verimliliği üzerindeki belirgin etkilerine işaret etmiş ve kamu-özel sektör ortaklığında yürütülen Ar-Ge projelerinin dönüşüm sürecine anlamlı katkılar sunduğunu ifade etmiştir.

Türkiye bağlamında ise, enerji verimliliği hedeflerine ulaşmada yenilenebilir enerji yatırımlarının destekleyici rolü açık biçimde vurgulanmaktadır. Aydın (2016), bu yatırımların enerji yoğunluğunu azaltma potansiyeline sahip olduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte, Zapata vd. (2024), yenilenebilir enerji kapasitesindeki artışın, Ar-Ge faaliyetleriyle yeterince entegre edilmemesi durumunda verimlilik kazanımlarının sınırlı kalabileceğine dikkat çekmektedir. Ayrıca Chaouali vd. (2023), Tunus örneğinde yürüttükleri çalışmada, yenilenebilir enerji tüketimindeki negatif şokların uzun vadede CO₂ emisyonlarını artırabileceğini ve bu ilişkinin

doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur. Tüm bu bulgular, yenilenebilir enerji kullanımının enerji verimliliğini artırmada genel olarak olumlu bir etkiye sahip olduğunu; ancak bu etkinin yapısal, yönetsel ve bağlamsal koşullara bağlı olarak farklılaşabileceğini göstermektedir.

Enerji fiyat düzeyleri, enerji verimliliğini şekillendiren temel makroekonomik değişkenler arasında yer almakta; kısa ve uzun vadede farklı yönlü etkiler üretebilmektedir. Bu kapsamda, enerji maliyetlerindeki artışların kısa vadede üretim maliyetlerini yükselterek firmaların Ar-Ge yatırımlarını sınırlayıcı bir baskı unsuru hâline geldiği; ancak uzun vadede bu durumun enerji tasarrufu sağlayan teknolojilere yönelimi teşvik ederek verimlilik artışına zemin hazırladığı literatürde ifade edilmektedir (André vd., 2023). Owoeye vd. (2020), Afrika ülkelerini kapsayan analizinde de bu duruma benzer bir çerçeve sunulmuş; yüksek enerji fiyatlarının elektrik tüketimini azaltıcı etkisi vurgulanmakla birlikte, bu azalmanın enerji verimliliğinde anlamlı bir iyileşmeye yol açmadığı belirtilmiştir. Bu bulgular, enerji fiyatlarının yalnızca maliyet unsuru değil, aynı zamanda verimlilik odaklı teknoloji yatırımlarını yönlendiren bir sinyal mekanizması işlevi gördüğünü; ancak bu etkinin ortaya çıkabilmesi için yenilikçi kapasitenin ve kurumsal altyapının belirleyici rol oynadığını göstermektedir.

Enerji ithalatına olan yüksek bağımlılık, özellikle dış ticaret dengesi ve makroekonomik istikrar üzerinde baskı oluşturarak, enerji verimliliğini artırmaya yönelik politikaların önemini artırmaktadır. Türkiye özelinde yürütülen bir diğer çalışmada, Yurdakul (2025), enerji ithalatına bağımlılığın ciddi ekonomik baskılar oluşturduğunu ve bu durumun enerji verimliliği ile teknoloji odaklı yapısal dönüşüm stratejileriyle hafifletilebileceğini ortaya koymuştur. Benzer şekilde G7 ülkeleri üzerine gerçekleştirilen panel veri analizinde, Ar-Ge harcamalarının enerji ithalatına olan bağımlılığı azaltıcı yönde etkiler oluşturduğunu ve bunun enerji yoğunluğunda düşüşe katkı sağladığını tespit edilmiştir (Yu vd., 2025). Bu bulgular, enerji ithalatının, verimlilik temelli dönüşüm politikalarının yönünü belirleyen yapısal bir unsur hâline geldiğini ortaya koymaktadır.

Doğrudan yabancı yatırımların (DYY), enerji verimliliği üzerindeki etkisi, yalnızca finansal sermaye aktarımıyla sınırlı kalmayıp; aynı zamanda teknoloji transferi, inovasyon kapasitesi ve çevresel standartların iyileştirilmesi gibi çok yönlü

kanallar üzerinden şekillenmektedir. Çin örneğini ele alan Yi vd. (2023), DYY'nin sanayi yapısında düşük karbonlu dönüşüm ve stratejik Ar-Ge yönelimleri üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Türkiye verileriyle yürütülen çalışmada Ok-Ergün ve Ergün (2023), DYY ile patent başvuruları gibi yenilik göstergeleri arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ve bu değişkenlerin enerji tüketimi üzerinde pozitif yönde etkiler oluşturduğunu tespit etmiştir. Bu bulgular, DYY'nin yalnızca yatırım değil, aynı zamanda teknolojiyle bütünleşik yapısal dönüşüm kapasitesine katkı sunduğunu göstermektedir.

Diğer taraftan, DYY'nin enerji verimliliği üzerindeki etkisinin Ar-Ge harcamalarıyla sinerjik biçimde şekillendiği de vurgulanmaktadır. Tariq vd. (2022), Güney Asya ülkeleri örneğinde bu etkileşimin yenilenebilir enerji kullanımıyla birlikte verimlilik kazanımlarını güçlendirdiğini belirtmiştir. Mara'nın (2025) Avrupa Birliği ülkelerine yönelik çalışması ise, DYY ve yeşil finansman akışlarının enerji altyapısı dönüşümünde ve enerji yoksulluğunu azaltmada belirleyici rol oynadığını göstermiştir. Ayrıca Micocci vd. (2023), DYY'nin etkisinin yalnızca miktarına değil, niteliksel yapısına da bağlı olduğunu vurgulayarak, yüksek teknolojiye sahip yabancı firmaların yerel yeşil inovasyonu daha fazla teşvik ettiğini ifade etmiştir. Bu doğrultuda, DYY'nin enerji verimliliği üzerindeki etkisi, yatırım yapılan ülkenin kurumsal altyapısı, Ar-Ge politikalarıyla uyumu ve teknolojik emilim kapasitesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Dolayısıyla, literatürde enerji verimliliğinin özellikle enerji arz güvenliği, ekonomik dirençlilik ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri açısından taşıdığı kritik önem açık biçimde kabul görmüş ve bu konu çok sayıda ampirik çalışmanın merkezine yerleşmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımı, enerji fiyatları, enerji ithalatı ve doğrudan yabancı yatırımlar gibi yapısal faktörlerin enerji verimliliği üzerindeki etkileri hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülke örnekleri üzerinden çok boyutlu olarak analiz edilmiştir. Ancak tüm bu katkılara rağmen, enerji verimliliği politikalarının istenilen ölçüde kalıcı ve yaygın sonuçlar üretmekte zorlandığı da görülmektedir. Bu sınırlılıklar çoğunlukla; yenilikçi kapasite eksiklikleri, kurumsal uyumsuzluklar, geri tepme etkisi, Ar-Ge süreçlerinin ticarileşme düzeyinde yaşanan aksaklıklar ve politika sürekliliği konusundaki zayıflıklarla ilişkilendirilmektedir. Dolayısıyla, enerji

verimliliği yalnızca teknik değil; aynı zamanda yönetsel, kurumsal ve sosyal-ekonomik bileşenleri olan karmaşık bir dönüşüm alanı olarak değerlendirilmelidir.

Enerji verimliliği, sürdürülebilir kalkınma ve iklim politikalarının merkezinde yer alan stratejik bir hedef olup, bu alanda yapılan Ar-Ge harcamaları, sadece teknik ilerleme değil; aynı zamanda ekonomik rekabetçilik ve çevresel performans açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Literatürde, enerji verimliliği Ar-Ge harcamalarının hem kısa hem uzun vadede farklı etkiler ürettiği, bu etkinin ise ülkelerin yapısal, sektörel ve kurumsal koşullarına bağlı olarak anlamlı biçimde değiştiği görülmektedir.

Türkiye bağlamında, Algül ve Erenel (2024), 2010–2021 dönemine ait bölgesel verilerle gerçekleştirdikleri çalışmada, Ar-Ge harcamalarının enerji yoğunluğu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Ayyıldız ve Demirci (2022) ise enerji sektörüne yönelik kamu Ar-Ge harcamalarının uzun vadede ekonomik büyümeyi en fazla etkileyen kalem olduğunu tespit etmiştir. Wang ve Wang (2021) Çin için yürüttükleri analizde, yeşil inovasyonun enerji verimliliği üzerindeki etkisini eşik regresyon modeliyle test ederek, Ar-Ge odaklı teknolojilerin karbon salımını azalttığını ve kaynak kullanımını optimize ettiğini belirtmiştir. Haseeb vd. (2019) ASEAN ülkeleri örneğinde, enerji tüketiminin kısa vadede Ar-Ge üzerinde anlamlı etki oluşturmadığını, ancak uzun vadede bu harcamaları artırarak enerji verimliliğini dolaylı olarak teşvik ettiğini ifade etmiştir.

Değirmenci ve Aydın (2024), kamu-özel ortaklığı projelerinin dönüşüme katkısını vurgularken; 2024 yılında yaptıkları takip analizde, Ar-Ge harcamalarının kısa vadeli etkilerinin sınırlı kaldığını ortaya koymuşlardır. Ancak bu çalışmalar, kısa vadeli etkilerin sınırlı kaldığını ve Ar-Ge harcamalarının zamana yayılmış bir etki mekanizmasıyla çalıştığını da ortaya koymuştur. Aytaç (2020), enerji fiyatlarındaki dalgalanmaların Ar-Ge yatırımlarını olumsuz etkileyebileceğini belirtmiş; bu durumun yatırım kararlarını geciktirebileceği vurgulanmıştır. Ünlü vd. (2022), G8 ülkelerinde kısa vadede yenilenebilir enerjiye talebin Ar-Ge harcamalarını artırdığını; ancak uzun vadede bu etkinin kaybolduğunu bulgulamıştır.

Yu vd. (2025), G7 ülkeleri için yürüttükleri analizde, Ar-Ge harcamalarının enerji ithalatı bağımlılığını azaltarak enerji yoğunluğunda düşüş sağladığını belirtmiştir. Naimoğlu (2021), Almanya’da 1990–2019 döneminde yenilenebilir enerjiye yönelik Ar-Ge harcamalarının %99 oranında arttığını; aynı dönemde

yenilenebilir enerji kullanımında ise %1068 gibi dikkat çekici bir artış yaşandığını belirtmiştir. Bu durumu, enerji dönüşümünün yalnızca Ar-Ge harcamalarının düzeyiyle değil, aynı zamanda politika uyumu, teknoloji adaptasyonu ve sektörel yönlendirme kapasitesiyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulayarak açıklamıştır. Li vd. (2022) ve Qayyum vd. (2021), Çin ve Hindistan gibi sanayileşen ekonomilerde Ar-Ge yatırımlarının uzun vadede anlamlı etkiler doğurduğunu belirtmişlerdir. Karimu ve Brännlund (2015), Ar-Ge yatırımlarının enerji talebini azaltarak enerji verimliliğini artırabileceğini; ancak bu etkinin ülkelerin yapısal özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterebileceğini belirtmişlerdir.

Shove (2018), bazı bağlamlarda enerji verimliliği politikalarının mevcut tüketim kalıplarını yeterince sorgulamadığını ve bu nedenle çevresel fayda sağlamak yerine tüketim davranışlarını pekiştirebileceğini ileri sürmektedir. Dube ve Horvey (2023) ise, Doğu Afrika örneğinde kurumsal kapasitenin, yenilenebilir enerjiye yönelik Ar-Ge faaliyetlerinin sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkisini belirleyici kıldığını göstermiştir.

Son olarak, Akıner (2025), bölgesel ve sektörel farklılıkların göz ardı edildiği durumlarda politika uygulamalarının etkinliğinin düştüğünü belirtmiş; Alka vd. (2025) ise Ar-Ge yatırımlarının maliyet düşürme ve çevresel etki azaltımında önemli rol oynadığını ifade etmiştir. Benzer şekilde, Bozkaya (2023) tarafından G-7 ülkeleri özelinde yapılan analizler, enerji yoğunluğundaki artışla birlikte enerji tüketiminin azaldığını göstermekte ve verimlilik odaklı Ar-Ge politikalarının somut sonuçlar üretebildiğine işaret etmektedir.

Sonuç olarak, enerji verimliliği alanındaki Ar-Ge harcamalarının etkinliği yalnızca yatırımın niceliğiyle değil; bu harcamaların hangi sektöre, hangi teknolojik düzeye ve hangi kurumsal çerçeveye yönlendirildiğiyle doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, enerji verimliliği Ar-Ge yatırımları; çevresel sürdürülebilirlik, enerji arz güvenliği ve ekonomik rekabetçilik hedefleri açısından stratejik bir politika aracı olarak değerlendirilmektedir. Özellikle Türkiye gibi enerji ithalatına yüksek oranda bağımlı, sanayi yapısı enerji yoğun sektörlerle dayalı olan yükselen ekonomilerde, bu yatırımlar yalnızca çevresel değil; aynı zamanda makroekonomik istikrar açısından da kritik öneme sahiptir.

Literatür incelendiğinde, enerji verimliliği alanına özgü Ar-Ge harcamalarının etkinliğine odaklanan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu; özellikle bu konunun gelişmekte olan ülkelerde henüz yeni yeni araştırma gündemine girmeye başladığı görülmektedir. Dolayısıyla, bu çalışma yalnızca mevcut bilgi boşluğunu doldurmakla kalmamakta; aynı zamanda enerji dönüşümüne hazırlanan ülkeler açısından hayati öneme sahip bir politika alanına katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Tüm bu bulgular ışığında, enerji verimliliği alanındaki Ar-Ge harcamalarının etkinliğini çok boyutlu yapısal, yönetsel ve kuramsal bir çerçevede analiz eden bu tez çalışması gerek mevcut bilgi boşluklarını kapatma gerekse politika üretim süreçlerine katkı sağlama potansiyeli açısından önemli bir özgünlük taşımaktadır.



3. VERİLER VE MATERYALLER

Bu çalışma, Türkiye'de enerji verimliliği üzerinde etkili olabilecek başlıca makroekonomik faktörlerin, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği bağlamında nasıl bir rol oynadığını analiz etmektedir. Bu kapsamda, bağımlı değişken olarak enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği tanımlanmış olup, analiz 1990–2022 dönemine ait veriler üzerinden yürütülmüştür. Bağımsız değişkenler arasında yenilenebilir enerji kullanımı, enerji fiyat düzeyi, enerji ithalatı ve doğrudan yabancı yatırımlar yer almaktadır. Enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği göstergesi, enerji verimliliği alanında yapılan Ar-Ge harcamalarının ne ölçüde somut ve ölçülebilir verimlilik çıktıları ürettiğini ifade etmektedir. Veri seti, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve Dünya Bankası (World Bank) gibi güvenilir ulusal ve uluslararası kaynaklardan temin edilmiş olup, her bir değişkenin kapsamı ve ölçüm yöntemi üzerinde açıklayıcı değerlendirme yapılmıştır. Analizlerde değişkenler arasındaki esnekliklerin hesaplanabilmesi amacıyla tüm serilere doğal logaritma dönüşümü uygulanmıştır.

$AR-GE_{ETKİNLİK}$; bu değişken, enerji sisteminde sağlanan verimlilik düzeyinin, bu çıktıya yönelik yapılan enerji verimliliği Ar-Ge harcamalarının etkinliğine oranı olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği, birim Ar-Ge harcamasına karşılık ne düzeyde enerji verimliliği sağlandığını gösteren bileşik bir ölçüttür. Söz konusu gösterge, enerji verimliliğine yönelik farklı teknoloji alanlarına yapılan toplam Ar-Ge harcamaları ile sağlanan verimlilik çıktılarının oranıdır. Böylece, yatırımın miktarından ziyade, harcamanın çıktı üretme kapasitesi esas alınarak değerlendirme yapılmaktadır.

$FİYAT_{ENERJİ}$; bu değişken, Türkiye'deki benzin fiyatlarını temsil etmekte olup, birim fiyat verileri üzerinden oluşturulmuştur. Enerji fiyatlarındaki artışlar, enerji verimliliği odaklı Ar-Ge yatırımlarını etkileyebilir; bu nedenle $FİYAT_{ENERJİ}$ değişkeni, modelde enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini açıklayan önemli bir belirleyici olarak yer almaktadır.

$YEŞİL$ değişkeni, Türkiye'de kişi başına düşen yenilenebilir enerji kullanımını (terajoule, Tj) temsil etmektedir ve yenilenebilir enerji üretim verileri ile kişi sayısı üzerinden hesaplanmıştır. Modelde, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerindeki etkisini analiz etmek için kullanılmıştır.

İTHALAT_{ENERJİ} değişkeni, Türkiye'nin toplam enerji tüketimi içindeki ithal enerji payını yansıtan bir değişkendir ve veriler Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) kaynaklarından sağlanmıştır. Modelde, enerji ithalatının enerji verimliliği Ar-Ge yatırımlarına etkilerini ölçmek amacıyla bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.

DYY değişkeni, Türkiye'ye yönelen doğrudan yabancı yatırım (DYY) girişlerinin kişi başına düşen düzeyini göstermektedir. Bu değişken, yazar tarafından hesaplanmış olup, kişi başına DYY önce cari Amerikan doları cinsinden nominal değer olarak belirlenmiş ve ardından 2015 baz yılına göre sabit Amerikan dolarına (reel değer) dönüştürülerek enflasyon etkisi giderilmiştir. Veriler Dünya Bankası veri tabanından elde edilmiştir.

Tablo 1: Değişkenler, Tanımları ve Veri Kaynakları

| | DEĞİŞKEN | TANIM | KAYNAK |
|-----------------------------|------------------------------------|---|----------------------------|
| Bağımlı Değişken | | Enerji verimliliği kullanımı/Enerji | |
| | Enerji Verimliliği Ar-Ge etkinliği | enerjililiği Ar-Ge bütçe teknoloji grubu başına ABD doları cinsinden değeri | Uluslararası Enerji Ajansı |
| Bağımsız Değişkenler | Doğrudan Yabancı Yatırım | Doğrudan Yabancı Yatırım net girişler (Kişi başına GSYH (2015 ABD doları)) | Dünya Bankası |
| | Enerji Fiyatı | Enerji fiyatı (USD/litre) | Uluslararası Enerji Ajansı |
| | Yenilenebilir Enerji Kullanımı | Kişi başına yenilenebilir enerji kullanımı | Uluslararası Enerji Ajansı |
| | Enerji İthalatı | Enerji ithalatı | Uluslararası Enerji Ajansı |

Kaynak: Yazar tarafından Uluslararası Enerji Ajansı ve Dünya Bankası verilerinden derlenmiştir

4.METODOLOJİ

Bu teorik çerçeve temel alınarak, enerji verimliliği Ar-Ge yatırımlarının etkinliğini ve belirleyicilerini analiz etmek amacıyla önerilen ekonometrik model şu şekilde formüle edilmiştir:

$$AR-GE_{ETKİNLİK, it} = \beta_0 + \beta_1 FİYAT_{ENERJİ, it} + \beta_2 YEŞİL_{it} + \beta_3 İTHALAT_{ENERJİ, it} + \beta_4 DYY_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Denklem 1’de AR-GE_{ETKİNLİK} değişkeni, enerji verimliliği kullanımının, enerji verimliliği amaçlı Ar-Ge harcamalarına oranlanmasıyla elde edilen ve çıktı odaklı etkinliği ölçen bileşik bir göstergedir. FİYAT_{ENERJİ}, enerji fiyatlarını; YEŞİL, kişi başına yenilenebilir enerji kullanım miktarını; İTHALAT_{ENERJİ}, toplam enerji ithalatını; DYY ise doğrudan yabancı yatırım düzeyini temsil etmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye ekonomisine ilişkin 1990–2022 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak enerji verimliliği AR-GE_{ETKİNLİK} ile FİYAT_{ENERJİ}, İTHALAT_{ENERJİ}, YEŞİL ve DYY arasındaki ilişki incelenmiştir. Ampirik analiz öncesinde değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 2’de sunulmuş; serilerin dağılım özelliklerini değerlendirmek amacıyla Jarque-Bera normallik testi uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, tüm değişkenlerin %5 anlamlılık düzeyinde normal dağılıma yakın görüldüğünü göstermektedir; ancak küçük örneklemelerde Jarque-Bera testinin sınırlılıkları dikkate alınmalıdır. Değişkenlerin farklı ölçeklerde tanımlanması ve varyans heterojenliğini önlemek amacıyla, analizde kullanılmadan önce tüm serilere doğal logaritma dönüşümü uygulanmıştır. Bu dönüşüm, değişkenler arasında karşılaştırılabilirliği artırmakta ve analizlerin istatistiksel sağlamlığını güçlendirmektedir.

Standart sapma değerleri dikkate alındığında, en yüksek dalgalanma AR-GE_{ETKİNLİK} değişkeninde gözlenirken, en düşük dalgalanma İTHALAT_{ENERJİ} değişkeninde kaydedilmiştir. Bu farklılık, enerji verimliliği serisinin zaman içinde yüksek dalgalanma sergilediğini; buna karşın enerji ithalatı değişkeninin daha durağan bir seyir izlediğini ortaya koymakta ve modelin volatiliteye duyarlılığı açısından önemli bir bilgi sağlamaktadır. YEŞİL değişkeni, pozitif yönlü çarpıklık katsayısıyla sağa eğimli bir dağılıma sahipken; İTHALAT_{ENERJİ} ve DYY değişkenleri negatif çarpıklık katsayıları ile sola eğimli bir yapı sergilemektedir. FİYAT_{ENERJİ} değişkeni ise simetriye oldukça yakın bir dağılım özelliği göstermektedir.

Tablo 2. Tanımlayıcı istatistikler

| İstatistik | AR-GE _{ETKİNLİK} | DYY | FİYAT _{ENERJİ} | YEŞİL | İTHALAT _{ENERJİ} |
|-----------------|---------------------------|--------|-------------------------|---------|---------------------------|
| Ortalama | -3.200 | 1.886 | 0.088 | -2.417 | 6.443 |
| Medyan | -2.950 | 2.017 | 0.079 | -2.519 | 6.501 |
| Maksimum | -1.605 | 2.466 | 0.398 | -1.941 | 6.717 |
| Minimum | -4.811 | 1.272 | -0.301 | -2.736 | 6.054 |
| Standart Sapma | 0.940 | 0.417 | 0.215 | 0.246 | 0.212 |
| Çarpıklık | -0.136 | -0.192 | 0.060 | 0.735 | -0.323 |
| Basıklık | 1.900 | 1.334 | 1.743 | 2.210 | 1.802 |
| Jarque-Bera | 1.767 | 4.019 | 2.189 | 3.830 | 2.546 |
| Olasılık Değeri | 0.413 | 0.134 | 0.334 | 0.147 | 0.280 |
| Toplam | -105.610 | 62.241 | 2.893 | -79.764 | 212.638 |
| Kareler Toplamı | 27.731 | 5.580 | 1.485 | 1.950 | 1.442 |

Kaynak: Yazar tarafından Uluslararası Enerji Ajansı ve Dünya Bankası verilerinden derlenmiştir

Bu tez çalışmasında, Türkiye'de enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini etkileyen makroekonomik değişkenler arasındaki uzun ve kısa dönemli ilişkiler, gelişmiş zaman serisi analiz teknikleriyle incelenmiştir. Analiz sürecinde öncelikle serilerin durağanlık düzeylerini belirlemek amacıyla Standart ADF testi uygulanmış, ardından yapısal kırılmaları ve periyodik bileşenleri dikkate almak üzere Fourier ADF testiyle destekleyici analiz gerçekleştirilmiştir. Durağanlık analizini takiben, değişkenler arasında uzun dönemli ilişkilerin varlığını test etmek amacıyla önce Engle-Granger eşbütünlük testi, ardından yapısal kırılmaları içeren Fourier ADL yöntemi uygulanmıştır.

Eşbütünlük ilişkileri doğrulandıktan sonra, uzun dönem katsayı tahminleri FMOLS (Fully Modified Ordinary Least Squares), CCR (Canonical Cointegrating Regression) ve DOLS (Dynamic Ordinary Least Squares) yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir; aynı zamanda bu modeller aracılığıyla kısa dönem dinamikler de analiz edilmiştir. Her üç yöntemde hem fark değişkenleri hem de hata düzeltme terimi (ECT) kullanılarak kısa dönemli etkiler tahmin edilmiş, böylece modelin tam dinamik yapısı ortaya konmuştur. Uygulanan testlerin tamamı, veri setinin özellikleri, yapısal kırılma potansiyeli ve kuramsal çerçeve dikkate alınarak seçilmiş ve sonuçların güvenilirliğini artırmak amacıyla birbirini tamamlayıcı biçimde kullanılmıştır.

Uygulanan testlerin tümü, yukarıda özetlenen metodolojik sıralama doğrultusunda yapılandırılmıştır. Bu bağlamda, her bir analiz tekniğine ait teorik yapı ve model denklemleri aşağıda sunulmakta ve ilgili açıklamalarla desteklenmektedir.

Standart ADF test denklemi:

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Denklem 2’de Δy_t bağımlı değişkenin birinci farkını, α sabiti, β trend katsayısını, y_{t-1} gecikmeli düzey değişkeni, δ_i geçmiş farkların katsayısını ve ε_t hata terimini temsil etmektedir (Dickey ve Fuller, 1979).

Fourier ADF test denklemi:

$$\Delta y_t = \alpha + \gamma y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta y_{t-i} + \theta_1 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \theta_2 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \varepsilon_t \quad (3)$$

Denklem 3’te, k Fourier frekansı, T örneklem uzunluğu, θ_1 ve θ_2 Fourier dönüşüm katsayılarıdır. Bu yapı, yapısal kırılmaların etkisini sinüs ve kosinüs bileşenleriyle modele entegre eder (Enders ve Lee, 2012)

Fourier Engle-Granger test denklemi:

$$y_t = \alpha + \beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + \dots + \beta_n x_{nt} + \theta_1 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \theta_2 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \varepsilon_t \quad (4)$$

Denklem 4’te y_t bağımlı değişkeni, x_{it} açıklayıcı değişkenleri, β_i uzun dönem katsayıları, α sabit, θ_1 ve θ_2 yapısal kırılma bileşenleri ve ε_t hata terimini ifade eder (Enders ve Lee, 2012).

Fourier ADL model denklemi:

$$\begin{aligned}
 \Delta \text{AR-GE}_{\text{ETKİNLİK } t} = & + \sum_{j=0}^{q_1} \gamma_{1j} \Delta \text{FİYAT}_{\text{ENERJİ}, t-j} \\
 & + \sum_{j=0}^{q_2} \gamma_{2j} \Delta \text{YEŞİL}_{t-j} + \sum_{j=0}^{q_3} \gamma_{3j} \Delta \text{İTHALAT}_{\text{ENERJİ}, t-j} \\
 & + \sum_{j=0}^{q_4} \gamma_{4j} \Delta \text{DYY}_{t-j} + \phi \text{AR-GE}_{\text{ETKİNLİK}, t-1} \\
 & + \psi_1 \text{FİYAT}_{\text{ENERJİ}, t-1} + \psi_2 \text{YEŞİL}_{t-1} \\
 & + \psi_3 \text{İTHALAT}_{\text{ENERJİ}, t-1} + \psi_4 \text{DYY}_{t-1} \\
 & + \theta_1 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \theta_2 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \varepsilon_t
 \end{aligned} \tag{5}$$

Denklem 5'te ifade edilen AR-GE_{ETKİNLİK_t} enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini, X bağımsız değişkenleri, ϕ ve ψ uzun dönem katsayılarını, β_i ve γ_j kısa dönem katsayılarını, θ_1 ve θ_2 ise Fourier bileşenlerini temsil etmektedir (Banerjee vd., 2017).

FMOLS model denklemi:

$$\begin{aligned}
 & \text{AR-GE}_{\text{ETKİNLİK}, t} \\
 = & \beta_0 + \beta_1 \text{FİYAT}_{\text{ENERJİ}, t} + \beta_2 \text{YEŞİL}_t + \beta_3 \text{İTHALAT}_{\text{ENERJİ}, t} \\
 & + \beta_4 \text{DYY}_t + \varepsilon_t
 \end{aligned} \tag{6}$$

Denklem 6'da eşbütünleşme ilişkisi altında sapmalı tahminleri düzeltmek amacıyla geliştirilmiştir (Phillips ve Hansen, 1990). Burada: $\text{FİYAT}_{\text{ENERJİ}, t}$ enerji fiyatlarını, YEŞİL_t kişi başına düşen yenilenebilir enerji kullanımını, $\text{İTHALAT}_{\text{ENERJİ}, t}$ enerji ithalatını, DYY_t doğrudan yabancı yatırımı ve β_i bu değişkenlerin enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerindeki etkilerini ifade eder.

CCR modeli denklemi:

$$\begin{aligned}
 & \text{AR-GE}_{\text{ETKİNLİK}, t} \\
 = & \beta_0 + \beta_1 \text{FİYAT}_{\text{ENERJİ}, t} + \beta_2 \text{YEŞİL}_t \\
 & + \beta_3 \text{İTHALAT}_{\text{ENERJİ}, t} + \beta_4 \text{DYY}_t + \varepsilon_t
 \end{aligned} \tag{7}$$

Denklem 7 hata teriminde otokorelasyon ve içsel belirlenmişlik sorunlarını ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiştir (Park, 1992). E_t düzeltilmiş hata terimini temsil eder.

DOLS modeli denklemi:

$$\begin{aligned}
 & \Delta \text{AR-GEETKİNLİK}_t \tag{8} \\
 &= \beta_1 \text{FİYAT}_{\text{ENERJİ},t} + \beta_2 \text{YEŞİL}_t + \beta_3 \text{İTHALAT}_{\text{ENERJİ},t} + \beta_4 \text{DYY}_t \\
 &+ \sum_{j=-q}^q \delta_{1j} \Delta \text{FİYAT}_{\text{ENERJİ},t-j} \\
 &+ \sum_{j=-q}^q \delta_{2j} \Delta \text{YEŞİL}_{t-j} + \sum_{j=-q}^q \delta_{3j} \Delta \text{İTHALAT}_{\text{ENERJİ},t-j} \\
 &+ \sum_{j=-q}^q \delta_{4j} \Delta \text{DYY}_{t-j} + \varepsilon_t
 \end{aligned}$$

Denklem 8 küçük örneklerde daha sağlam sonuçlar üretebilmek için geçmiş ve ileri dönem farklarını modele dâhil eder (Stock ve Watson, 1993). Burada: ΔX_{t-j} , açıklayıcı değişkenlerin geçmiş ve ileriye dönük farklarını, δ_j bu farkların katsayılarını temsil eder.

ECM (Hata Düzeltme Modeli) modeli denklemi:

$$\begin{aligned}
 & \Delta \text{AR-GE}_{\text{ETKİNLİK}_t} \tag{9} \\
 &= \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta \text{AR-GE}_{\text{ETKİNLİK}_{t-i}} \\
 &+ \sum_{j=0}^q \gamma_j \Delta \text{FİYAT}_{\text{ENERJİ},t-j} + \sum_{j=0}^q \delta_j \Delta \text{YEŞİL}_{t-j} \\
 &+ \sum_{j=0}^q \eta_j \Delta \text{İTHALAT}_{\text{ENERJİ},t-j} + \sum_{j=0}^q \kappa_j \Delta \text{DYY}_{t-j} \\
 &+ \lambda (\text{AR-GE}_{\text{ETKİNLİK},t-1} - \theta_1 \text{FİYAT}_{\text{ENERJİ},t-1} \\
 &- \theta_2 \text{YEŞİL}_{t-1} - \theta_3 \text{İTHALAT}_{\text{ENERJİ},t-1} - \theta_4 \text{DYY}_{t-1}) \\
 &+ \varepsilon_t
 \end{aligned}$$

Denklem 9 kısa dönem dalgalanmalar ile uzun dönem denge arasındaki sapmaların düzelme hızını analiz etmek için kullanılır (Engle ve Granger, 1987). λ , dengesizliklerin ne hızla ortadan kalktığını gösteren hata düzeltme teriminin katsayısıdır. Bu yöntemsel yapı sayesinde, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği ile seçilmiş makroekonomik değişkenler arasındaki ilişki hem istatistiksel hem de yapısal olarak güçlü biçimde test edilmiştir.

5. ANALİZ BULGULARI ve TARTIŞMA

5.1 Analiz Bulguları

Bu bölümde, Türkiye’de enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini etkileyen temel makroekonomik değişkenler (enerji fiyatları, enerji ithalatı, doğrudan yabancı yatırımlar ve yenilenebilir enerji kullanımı) arasındaki ilişkiler, gelişmiş zaman serisi analiz yöntemleriyle değerlendirilmiştir. İlk aşamada, değişkenlerin durağanlık düzeylerini belirlemek amacıyla geleneksel Standart ADF testi uygulanmış; ardından yapısal kırılmaları ve döngüsel bileşenleri dikkate alan Fourier ADF testi ile analiz desteklenmiştir. Durağanlık analizlerinin ardından, değişkenler arasında uzun dönemli ilişkilerin varlığını test etmek üzere sırasıyla Engle-Granger eşbütünlük testi ve Fourier ADL yöntemi kullanılmıştır. Eşbütünlük ilişkileri doğrulandıktan sonra, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini açıklamaya yönelik uzun ve kısa dönem katsayı tahminleri FMOLS, CCR ve DOLS modelleri aracılığıyla gerçekleştirilmiş; böylece hem yapısal hem zamansal boyutları içeren bütüncül çok katmanlı bir analiz zemini ortaya konmuştur.

Tez çalışmasının ilk aşamasında, zaman serisi analizlerinde sağlıklı ve güvenilir tahminler yapabilmek için serilerin durağanlık düzeylerinin önceden belirlenmesi ön koşul niteliğindedir. Bu bağlamda uygulanan Standart ADF testi, her bir değişkenin zaman içinde sabit ortalama ve varyansa sahip olup olmadığını sınamakta; böylece serilerin birim kök içerip içermediğini ortaya koymaktadır. Ancak klasik ADF testi, serilerde zamanla ortaya çıkabilecek yapısal kırılma ve döngüsel dalgalanmaları dikkate almadığından, sonuçların güvenilirliği sınırlı kalabilmektedir. Bu nedenle, serilerin daha esnek biçimde modellenmesi ve olası yapısal değişimlerin analize dâhil edilebilmesi amacıyla Fourier ADF testi uygulanmıştır. Böylece durağanlık süreci hem yapısal hem de dönemsel bileşenleri kapsayacak biçimde daha bütüncül olarak değerlendirilmiştir.

Standart ADF testi sonuçları, modelde yer alan tüm değişkenlerin seviye değerlerinde durağan olmadığını, yani birim kök içerdiğini göstermektedir. Bu bulgular Tablo 3’te özetlenmiştir. Tüm değişkenler için t-istatistik değerleri mutlak anlamda kritik değerlerin altında kalmakta, olasılık değerleri ise %5 anlamlılık düzeyinin üzerinde yer almaktadır. Bu bulgular, serilerin düzey değerlerinde durağan olmadığını, yani birim kök içerdiğini göstermektedir. Ancak değişkenlerin birinci

farkları alındığında, tüm serilerin t-istatistik değerleri anlamlı hale gelmiş ve olasılık değerleri %1 düzeyinde anlamlılık göstermiştir. Bu bulgular, tüm değişkenlerin I(1) düzeyinde bütünleşik olduğunu ve analizlerin devamı için eşbütünleşme testlerinin uygulanabileceğini teyit etmektedir. Ancak standart ADF testinin yapısal kırılmaları dikkate alınmaması, bu bulguların Fourier ADF yöntemiyle desteklenmesini gerekli kılmaktadır.

Tablo 3: Standart ADF Testi Sonuçları – Seviye ve Birinci Fark

| Değişken | t-İstatistik | Olasılık | Değişken | t-İstatistik | Olasılık |
|---------------------------|--------------|----------|---------------------------------------|--------------|----------|
| AR-GE _{ETKİNLİK} | -1.383 | 0.578 | Δ (AR-GE _{ETKİNLİK}) | -6.794 | 0.000 |
| İTHALAT _{ENERJİ} | -1.090 | 0.707 | Δ (İTHALAT _{ENERJİ}) | -6.953 | 0.000 |
| DYY | -1.499 | 0.521 | Δ (DYY) | -6.205 | 0.000 |
| FİYAT _{ENERJİ} | -1.200 | 0.662 | Δ (FİYAT _{ENERJİ}) | -5.122 | 0.000 |
| YEŞİL | 0.273 | 0.973 | Δ (YEŞİL) | -5.721 | 0.000 |

Not: Δ : Birinci farkı göstermektedir.

ADF testi için kritik değerler: %10 = 6.35, %5 = 7.58, %1 = 10.35 (Bu değerler, serilerin t-istatistikleri ile karşılaştırıldığında, I(1) bütünleşik oldukları sonucunu desteklemektedir.)

Zaman serilerinin durağanlık yapısını test ederken yapısal kırılma ve doğrusal olmayan bileşenlerin varlığı dikkate alınmadığında, elde edilen sonuçlar yanıltıcı olabilmektedir. Bu nedenle, Standart ADF testinin sınırlılıklarını aşmak amacıyla Fourier ADF yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem, serilerdeki ani değişimleri, dalgalı yapıları ve dönemsel bileşenleri Fourier yaklaşımı ile modelleyerek daha esnek ve duyarlı bir durağanlık testi sunmaktadır. Özellikle makroekonomik göstergelerin zaman içinde politika şoklarına ve piyasa yapısal dönüşümlerine maruz kaldığı göz önüne alındığında, Fourier ADF yöntemi bağlamın doğasına daha uygun bir test niteliği taşımaktadır.

Fourier ADF testi bulgularına göre, FİYAT_{ENERJİ} ve YEŞİL değişkenlerinin F kısıt test istatistikleri sırasıyla 7.912 ve 12.130 olarak hesaplanmıştır ve her iki değer de %10 anlamlılık düzeyinin üzerindedir. Bu sonuçlar, Tablo 4'te de görüldüğü üzere, bu değişkenlerde yapısal kırılmaların serilerin durağanlık düzeyleri üzerinde anlamlı etkisi bulunduğunu ve durağanlık süreçlerinin bu kırılmalardan önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Diğer değişkenlerde ise F istatistikleri anlamlılık sınırlarını aşmamıştır. Ayrıca, Fourier ADF yöntemi klasik standart ADF testine kıyasla daha düşük olasılık değerleri üretmiş olup, bu durum yapısal değişimlerin varlığında daha duyarlı sonuçlar sunduğunu göstermektedir.

Tablo 4: Fourier ADF Testi Sonuçları – Seviye

| Değişken | Frekans | Min.KKT | F Kısıt Test İstatistik | Lag | FADF Test İstatistik |
|---------------------------|---------|---------|-------------------------|-----|----------------------|
| AR-GE _{ETKİNLİK} | 1 | 7.795 | 3.091 | 4 | -2.303 |
| İTHALAT _{ENERJİ} | 4 | 0.023 | 1.449 | 2 | -2.829 |
| DYY | 1 | 1.125 | 2.376 | 1 | -2.404 |
| FİYAT _{ENERJİ} | 1 | 0.105 | 7.912** | 3 | -2.261 |
| YEŞİL | 1 | 0.079 | 12.130*** | 8 | -1.293 |

Not: *, **, *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Fourier testi için (frekans = 1) kritik değerler: %10 = -3.49, %5 = -3.81, %1 = -4.42

ADF testi için kritik değerler: %10 = 6.35, %5 = 7.58, %1 = 10.35 (Bu değerler, serilerin t-istatistikleri ile karşılaştırıldığında, I(1) bütünleşik oldukları sonucunu desteklemektedir.)

Yapılan analizler neticesinde, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği (AR-GE_{ETKİNLİK}), enerji fiyatları (FİYAT_{ENERJİ}), yenilenebilir enerji kullanımı (YEŞİL), enerji ithalatı (İTHALAT_{ENERJİ}) ve doğrudan yabancı yatırımlar (DYY) değişkenlerinin farklı seviyelerde durağanlık gösterdiği saptanmıştır. Durağanlık analizlerinin sonucunda modelde yer alan tüm değişkenlerin birinci farklarında durağan, yani I(1) düzeyinde bütünleşik olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda, değişkenler arasında uzun dönemli denge ilişkilerinin varlığını test etmek amacıyla Fourier temelli eşbütünleşme yöntemleri tercih edilmiştir.

Geleneksel Engle-Granger yaklaşımı, sabit yapıli modellerde eşbütünleşme ilişkilerini test etmek amacıyla geliştirilmiştir. Ancak bu yöntem, zaman serilerinde yapısal kırılmaların veya doğrusal olmayan bileşenlerin bulunduğu durumlarda yeterli duyarlılık gösterememektedir. Örneğin, ekonomik krizler veya politika değişimleri gibi ani yapısal dalgalanmalar seriler arasındaki uzun dönem ilişkilerini değiştirebildiğinden, Engle-Granger yaklaşımı bu tür dinamikleri tam olarak yansıtamamaktadır. Bu sınırlılığın aşmak ve makroekonomik değişkenlerin zaman içinde geçirdiği yapısal dönüşümleri dikkate almak amacıyla Fourier serilerine dayalı esnek test yapıları kullanılmaktadır. Fourier Engle-Granger testi, hata terimleri üzerinden eşbütünleşme ilişkisini sıarken dönemsel ve yapısal dalgalanmaları model içine entegre edebilmektedir. Fourier ADL testi ise gecikmeli değişkenler aracılığıyla uzun dönemli ilişkiyi parametrik olmayan bir yaklaşımla analiz ederek yapısal değişimlere karşı daha yüksek duyarlılık sunmaktadır.

Fourier Engle-Granger ve sağlamlık testi niteliğindeki Fourier ADL eşbütünleşme analizleri, tüm değişkenlerin birinci farkta durağan olması nedeniyle

uygulanmaya uygun görülmüştür. Tablo 5’te özetlenen bulgulara göre, Fourier Engle-Granger testinde frekans değeri 1 olarak belirlenmiş ve F kısıt test istatistiği -6.113 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, %1 anlamlılık düzeyindeki kritik eşik olan -5.596 ’nın mutlak anlamda altında yer aldığından, modelde yer alan değişkenler arasında uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisinin varlığına işaret etmektedir.

Sağlamlık testi amacıyla uygulanan Fourier ADL yöntemi ise frekans değeri 2 olarak belirlenmiş, F kısıt test istatistiği -5.466 olarak elde edilmiştir. Bu değer de %1 düzeyindeki kritik eşik olan -5.040 ’ın altında yer almakta olup, Fourier Engle-Granger testi ile ulaşılan eşbütünleşme bulgularını teyit etmektedir. Her iki test sonucuna göre, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği ile modelde yer alan makroekonomik değişkenler arasında uzun dönemli yapısal denge ilişkisi istatistiksel olarak anlamlı biçimde doğrulanmıştır. Analiz bulguları, Türkiye’de uygulanan enerji verimliliği Ar-Ge politikalarının zamanla yapısal dönüşümlere yol açtığını ve bu sonuçların güncel literatürle tutarlı bir görünüm sergilediğini göstermektedir.

Tablo 5. Fourier Engle-Granger ve Fourier ADL Eşbütünleşme Test Sonuçları

| Test Yöntemi | Frekans | Min. KKT | F Kısıt Test İstatistik | %10 | %5 | %1 |
|-----------------------|---------|----------|-------------------------|--------|--------|--------|
| Fourier Engle-Granger | 1 | 4.193 | -6.113 | -4.640 | -4.957 | -5.596 |
| Fourier ADL | 2 | 0.243 | -5.466 | -3.990 | -4.360 | -5.040 |

Not: Kritik değerler %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Eşbütünleşme ilişkisinin belirlenmesinin ardından, analiz sürecinin bir sonraki aşamasında değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkileri tahmin etmek amacıyla FMOLS (Fully Modified Ordinary Least Squares) yöntemi uygulanmıştır.

Enerji verimliliği odaklı Ar-Ge yatırımlarının makroekonomik belirleyicilerini analiz ederken, geleneksel regresyon yöntemleri yapısal kırılmaları ve eşbütünleşme ilişkilerinde görülen sapmaları yeterince dikkate alamamaktadır. Bu doğrultuda, FMOLS yöntemi hem küçük örneklem özelliği hem de seriler arasındaki olası hata terimi korelasyonlarını düzeltme kapasitesi sayesinde, Türkiye gibi yapısal dönüşüm süreçlerini sık yaşayan gelişmekte olan ekonomiler için daha güvenilir ve önyargısız tahminler sunmaktadır. FMOLS yöntemi, özellikle uzun dönemli ilişkilere odaklanarak enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerindeki yapısal etkileri ayrıştırabilme

imkânı sağlar. Bu yöntem, özellikle enerji fiyatlarındaki yavaş dalgalanmaların ve politika temelli şokların Ar-Ge etkinliği üzerindeki uzun vadeli etkilerini daha güvenilir ve tutarlı biçimde tahmin etmeye olanak tanımaktadır.

Bu çalışmada FMOLS tahminleri, geleneksel modellerin ötesine geçerek Fourier serileriyle genişletilmiş yapıda değerlendirilmiştir. Fourier serilerindeki sinüs ve kosinüs bileşenleri, çevrimsel etkileri modele kırılma oluşturmadan entegre etmeye olanak verir. Dolayısıyla enerji piyasalarındaki yavaş ve kademeli dalgalanmalar yapısal analiz içinde temsil edilebilir. Bu durum, Türkiye'nin 1990 sonrası dönemde sıkça yaşadığı enerji fiyat oynaklığı, ithalat bağımlılığı ve politika geçişlerinin daha sağlıklı modellenmesini mümkün kılar. Böylece FMOLS, Fourier genişletmesiyle birlikte ilişkilerin zaman içinde farklılaşıp kırılanlaştığı yapısal süreçleri de kapsayarak uzun dönemli analizlerde önemli bir avantaj sunmaktadır.

Bu kapsamda, FMOLS yöntemiyle tahmin edilen uzun ve kısa dönem katsayılar ile ilgili anlamlılık düzeyleri Tablo 6'da detaylandırılmıştır. FMOLS yöntemiyle elde edilen uzun dönem katsayıları, değişkenlerin logaritmik formda modellenmiş olması nedeniyle esneklik yorumuna uygundur. Buna göre, doğrudan yabancı yatırımlarda meydana gelen %1'lik artış, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinde yaklaşık %0,8 oranında bir artışa karşılık gelmektedir. Enerji fiyatlarındaki %1'lik artış, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinde %2,9 oranında bir artışla ilişkilidir. Yenilenebilir enerji kullanımındaki %1'lik artış ise yaklaşık %2,1 oranında artış oluşturmaktadır. Buna karşılık, enerji ithalatındaki %1'lik artış enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinde yaklaşık %7,4 oranında bir azalışa neden olmaktadır. Uzun dönem modelde yer alan Fourier bileşenlerinden sinüs katsayısı istatistiksel olarak anlamlı bulunurken, kosinüs katsayısı anlamlı çıkmamıştır. Elde edilen sonuçlar genel olarak literatür ile uyumludur.

FMOLS kısa dönem katsayı tahminleri, log-log modelleme nedeniyle esneklik yorumu yapılabilecek niteliktedir. Elde edilen sonuçlar genel olarak beklenen yönle uyumludur. Sonuçlar, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinin kısa vadede doğrudan yabancı yatırımlardaki %1'lik artışa karşı yaklaşık %0,04 oranında azalışla ve enerji fiyatlarındaki %1'lik artışa karşı %3,3 oranında artışla ilişkilendiğini göstermektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kullanımındaki %1'lik artış enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinde %1,6 oranında artışa, enerji ithalatındaki %1'lik artış ise yaklaşık %9,4

oranında azalışa neden olmaktadır. Kısa dönem modelde sinüs ve kosinüs fonksiyonları kullanılmış hem sinüs hem de kosinüs bileşenleri anlamlılık eşliğini karşılamamıştır.

Modelde yer alan hata düzeltme terimi olan ECT(-1) katsayısı, teorik beklentilerle uyumlu olacak şekilde -1 ile 0 arasında negatif bir değer almış ve istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bu durum, kısa dönemli dengesizliklerin uzun vadede denge seviyesine doğru düzeltildiğini göstermektedir. ECT katsayısının -0,94 olduğu varsayıldığında, sistemde meydana gelen herhangi bir şok yaklaşık olarak $1/0,94 \approx 1,06$ yılda dengeye dönmektedir. Ayrıca, ECT katsayısının anlamlı bulunması, modelde yer alan değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığını da doğrulamaktadır.

Tablo 6. FMOLS Uzun ve Kısa Dönem Katsayı Tahminleri

| Uzun Dönem Kat Sayıları | | | | |
|---------------------------------------|---------|---------------|--------------|----------|
| Değişken | Katsayı | Standart Hata | t-İstatistik | Olasılık |
| DYY | 0.826 | 0.274 | 3.013 | 0.006 |
| FİYAT _{ENERJİ} | 2.900 | 0.823 | 3.523 | 0.002 |
| YEŞİL | 2.132 | 1.218 | 1.750 | 0.092 |
| İTHALAT _{ENERJİ} | -7.487 | 1.664 | -4.500 | 0.000 |
| C (sabit) | 48.402 | 13.319 | 3.634 | 0.001 |
| COS | -0.054 | 0.266 | -0.205 | 0.840 |
| SIN | 0.747 | 0.211 | 3.540 | 0.001 |
| Kısa Dönem Kat Sayıları | | | | |
| Değişken | Katsayı | Standart Hata | t-İstatistik | Olasılık |
| Δ (DYY) | -0.042 | 0.233 | 0.182 | 0.857 |
| Δ (FİYAT _{ENERJİ}) | 3.280 | 0.659 | 4.980 | 0.000 |
| Δ (YEŞİL) | 1.630 | 1.024 | 1.592 | 0.125 |
| Δ (İTHALAT _{ENERJİ}) | -9.402 | 1.825 | -5.153 | 0.000 |
| ECT (-1) | -0.945 | 0.139 | -6.800 | 0.000 |
| C (sabit) | 0.057 | 0.060 | 0.950 | 0.352 |
| COS | 0.093 | 0.069 | 1.359 | 0.188 |
| SIN | 0.028 | 0.069 | 0.409 | 0.686 |

Eşbütünleşme ilişkisinin doğrulanmasının ardından, uzun dönemli ilişkilerin alternatif tahmin yöntemleriyle sınanması amacıyla CCR (Canonical Cointegrating Regression) yöntemi kullanılmıştır. FMOLS yöntemine benzer şekilde, CCR tekniği

de regresyon kalıntılarında ortaya çıkabilecek otokorelasyon ve değişen varyans sorunlarını düzeltme kapasitesine sahiptir. Bu özelliği sayesinde özellikle yapısal dönüşüm süreçlerinden geçen ekonomilerde, serilerin dengesizlik eğilimlerine karşı daha güvenilir ve önyargısız tahminler sunabilmektedir. Ayrıca Fourier serileriyle genişletilen CCR modeli, Türkiye'nin enerji sisteminde gözlenen çevrimsel veya kademeli değişimlerin kırılma oluşturmada yapıya entegre edilmesini sağlamaktadır. Bu sayede enerji fiyatlarındaki oynaklık, enerji ithalat bağımlılığı ve sürdürülebilirlik politikalarındaki yön değişimleri modele uyumlu bir biçimde dahil edilebilmiştir. Bu sayede modeldeki uzun dönem katsayıların yorumu daha güvenilir hale gelmektedir; ilgili bulgular ise Tablo 7'de özetlenmiştir.

CCR uzun dönem katsayı tahminleri, log-log model yapısı gereği esneklik yorumuna olanak tanımaktadır. Buna göre, doğrudan yabancı yatırımlarda meydana gelen %1'lik artış, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini yaklaşık %0,9 oranında artırmaktadır. Enerji fiyatlarında gözlenen %1'lik artış, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinde yaklaşık %2,8 oranında bir yükselişe karşılık gelmektedir. Yenilenebilir enerji kullanımındaki %1'lik artış ise yaklaşık %2,4 oranında enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini artırmıştır. Diğer yandan, enerji ithalatındaki %1'lik artış enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinde yaklaşık %7,7 oranında azalışa neden olmaktadır. Sonuçlar literatür ile uyumludur. Fourier serisine ait bileşenlerden sinüs fonksiyonu anlamlı çıkarken, kosinüs fonksiyonu anlamlılık eşliğini karşılamamıştır.

Kısa dönem katsayıları da aynı şekilde log-log esneklik çerçevesinde değerlendirilmiştir. Doğrudan yabancı yatırımlardaki %1'lik artış, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinde kısa vadede yaklaşık %0,1 oranında azalışla ilişkilidir. Enerji fiyatlarındaki %1'lik artış ise kısa dönemde %2,7 düzeyinde anlamlı bir artış oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımındaki %1'lik artış yalnızca %0,3 düzeyinde bir artış oluşturmuştur. Enerji ithalatındaki %1'lik artış, kısa vadede enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinde yaklaşık %6,3 oranında azalışa neden olmaktadır. Elde edilen sonuçlar genel olarak beklenen yönle uyumludur. Kısa dönem modelinde Fourier serisine dahil edilen sinüs ve kosinüs bileşenleri ise anlamlı bulunmamıştır.

Modelde yer alan hata düzeltme terimi olan $ECT(-1)$, -0.773 değeriyle teorik beklenti olan -1 ile 0 aralığında kalmakta ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu katsayı, modelde ortaya çıkan kısa dönemli dengesizliklerin yaklaşık

$1/0.773 \approx 1,29$ yıl içinde telafi edildiğini ve değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin mevcut olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 7. CCR Uzun ve Kısa Dönem Katsayı Tahminleri

| Uzun Dönem Katsayıları | | | | |
|-------------------------------|----------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| Değişken | Katsayı | Standart Hata | t-İstatistik | Olasılık |
| DYY | 0.924 | 0.329 | 2.809 | 0.010 |
| FİYAT _{ENERJİ} | 2.896 | 1.181 | 2.453 | 0.021 |
| YEŞİL | 2.490 | 1.552 | 1.604 | 0.121 |
| İTHALAT _{ENERJİ} | -7.784 | 2.145 | -3.628 | 0.001 |
| C | 50.983 | 17.188 | 2.966 | 0.007 |
| COS | -0.125 | 0.372 | -0.335 | 0.740 |
| SIN | 0.808 | 0.289 | 2.792 | 0.010 |

| Kısa Dönem Katsayıları | | | | |
|-------------------------------|----------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| Değişken | Katsayı | Standart Hata | t-İstatistik | Olasılık |
| $\Delta(DYY)$ | -0.156 | 0.357 | -0.437 | 0.666 |
| $\Delta(FİYAT_{ENERJİ})$ | 2.702 | 1.144 | 2.362 | 0.027 |
| $\Delta(YEŞİL)$ | 0.378 | 1.538 | 0.246 | 0.808 |
| $\Delta(İTHALAT_{ENERJİ})$ | -6.307 | 3.136 | -2.011 | 0.056 |
| ECT(-1) | -0.773 | 0.209 | -3.705 | 0.001 |
| C | 0.033 | 0.074 | 0.447 | 0.659 |
| COS | 0.087 | 0.078 | 1.106 | 0.280 |
| SIN | 0.001 | 0.080 | 0.010 | 0.992 |

Eşbütünleşme ilişkisinin doğrulanmasının ardından, daha önce FMOLS ve CCR yöntemleriyle test edilen uzun ve kısa dönemli ilişkilerin tutarlılığını pekiştirmek ve alternatif bir tahmin tekniğiyle sonuçları desteklemek amacıyla DOLS (Dynamic Ordinary Least Squares) yöntemi uygulanmıştır. FMOLS ve CCR tahmincilerinin sunduğu bulgular, değişkenler arasında enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği açısından anlamlı ve yönü büyük ölçüde benzer ilişkiler ortaya koymuştur. Bu bağlamda DOLS yöntemi, hem geçmiş tahminlerle karşılaştırmalı analiz yapılmasına olanak sunmakta hem de dinamik etkileri dikkate alan yapısıyla kısa ve uzun dönem ilişkilerin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sayede modeldeki uzun dönem katsayıların yorumlanması daha güvenilir bir çerçeveye oturmakta ve elde edilen bulgular, Tablo 8’de sistematik bir şekilde özetlenmiştir.

DOLS uzun dönem katsayı tahminleri log-log model yapısı nedeniyle esneklik yorumuna uygundur. Buna göre, doğrudan yabancı yatırımlarda meydana gelen %1'lik artış, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinde yaklaşık %2,4 oranında bir artışa karşılık gelmektedir. Enerji fiyatlarındaki %1'lik artış, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinde yaklaşık %4,8 oranında artış ile ilişkilidir. Yenilenebilir enerji kullanımında gözlenen %1'lik artış, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinde %9,0 artış oluşturmaktadır. Öte yandan, enerji ithalatındaki %1'lik artış, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini yaklaşık %15,7 oranında azaltmaktadır. Elde edilen sonuçlar genel olarak beklenen yönle uyumludur. Uzun dönem Fourier bileşenlerinden sinüs katsayısı ve kosinüs bileşeni de istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır.

Kısa dönem DOLS tahminleri de yine logaritmik modelleme çerçevesinde esneklik yorumu yapılabilecek niteliktedir ve literatürdeki benzer çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. Doğrudan yabancı yatırımlardaki %1'lik artış kısa vadede enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinde yaklaşık %0,1 oranında azalışla ilişkilidir. Enerji fiyatlarındaki %1'lik artış kısa dönemde %2,8 oranında artışla anlamlı bulunmuştur. Yenilenebilir enerji kullanımındaki %1'lik artış yaklaşık %0,1 oranında artış sağlamaktadır. Enerji ithalatındaki %1'lik artış ise kısa dönemde enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğinde yaklaşık %8,1 oranında azalışa neden olmaktadır. Kısa dönem Fourier bileşenlerinden hem sinüs hem de kosinüs katsayıları istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu durum kısa dönem etkilerin yapısal dalgalanmalardan bağımsız olduğunu göstermektedir.

Modelde yer alan hata düzeltme terimi $ECT(-1) = -0,860$ olup teorik beklentiyle uyumlu şekilde -1 ile 0 aralığında negatif bir değer almıştır ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu sonuç, modelde ortaya çıkan kısa vadeli dengesizliklerin yaklaşık $1/0,860 \approx 1,16$ yıl içinde telafi edildiğini göstermektedir. Ayrıca, ECT katsayısının anlamlılığı değişkenler arasında uzun dönemli eşbütünlüşme ilişkisinin varlığını da teyit etmektedir.

Tablo 8. DOLS Uzun ve Kısa Dönem Katsayı Tahminleri

| Uzun Dönem Katsayıları | | | | |
|-------------------------|---------|---------------|--------------|----------|
| Değişken | Katsayı | Standart Hata | t-İstatistik | Olasılık |
| DYY | 2.388 | 0.504 | 4.734 | 0.001 |
| FİYAT _{ENERJİ} | 4.807 | 2.937 | 1.637 | 0.130 |
| YEŞİL | 8.952 | 4.044 | 2.214 | 0.049 |

| | | | | |
|---------------------------|---------|--------|--------|-------|
| İTHALAT _{ENERJİ} | -15.672 | 5.404 | -2.900 | 0.014 |
| C | 114.281 | 44.193 | 2.586 | 0.025 |
| COS | -0.650 | 1.047 | -0.620 | 0.548 |
| SIN | 1.464 | 0.977 | 1.499 | 0.162 |

Kısa Dönem Katsayıları

| Değişken | Katsayı | Standart Hata | t-İstatistik | Olasılık |
|-------------------------------|---------|---------------|--------------|----------|
| Δ(DYY) | -0.051 | 0.390 | -0.131 | 0.897 |
| Δ(FİYAT _{ENERJİ}) | 2.770 | 1.087 | 2.547 | 0.018 |
| Δ(YEŞİL) | 0.077 | 1.662 | 0.046 | 0.963 |
| Δ(İTHALAT _{ENERJİ}) | -8.055 | 3.008 | -2.678 | 0.013 |
| ECT(-1) | -0.860 | 0.201 | -4.276 | 0.000 |
| C | 0.089 | 0.098 | 0.912 | 0.371 |
| SIN | 0.125 | 0.119 | 1.051 | 0.304 |
| COS | 0.017 | 0.117 | 0.143 | 0.887 |

5.2. Tartışma

Küresel ölçekte artan enerji talebi, çevresel sürdürülebilirlik baskıları ve ekonomik dayanıklılık ihtiyacı, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeleri çok yönlü bir denge kurma zorunluluğu ile karşı karşıya bırakmaktadır. Bu dengenin merkezinde ise enerji arz güvenliği, dışa bağımlılık ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri yer almaktadır. Türkiye, enerji dönüşüm sürecinde dışa bağımlılığını azaltmaya çalışırken bu çok katmanlı zorluklarla baş etmektedir. Bu bağlamda, yapısal dönüşüm baskısı altında bulunan ve yüksek düzeyde dışa bağımlı enerji yapısına sahip Türkiye, enerji verimliliği odaklı Ar-Ge etkinliğinin analizi açısından örnek niteliğinde stratejik bir vaka sunmaktadır.

Enerji talebinin sürekli yükseldiği, buna karşılık arzın büyük ölçüde ithalata dayalı olduğu Türkiye ekonomisinde; sanayi, ulaşım ve yapı sektörlerinin enerji yoğun yapısı hem çevresel riskleri hem de ekonomik kırılganlıkları derinleştirmektedir. Bu durum, enerji verimliliğini yalnızca teknik bir mühendislik konusu olmaktan çıkararak makroekonomik politika tasarımının temel unsurlarından biri hâline getirmektedir. Böylece enerji verimliliği; makroekonomik istikrarın sağlanması, çevresel sürdürülebilirliğin güçlendirilmesi ve enerji bağımlılığının azaltılması açısından merkezi bir stratejik önceliğe dönüşmektedir. Enerji fiyatlarında gözlenen dalgalanma düzeyi ve dış ticaret dengesi üzerindeki baskı da dikkate alındığında, enerji verimliliği

günümüzde yalnızca çevresel bir kaygı olmaktan çıkmış; ekonomik kırılganlıklara karşı bir koruma mekanizması hâline gelmiştir.

Bu nedenle, enerji verimliliği odaklı Ar-Ge yatırımlarının etkinliğini ölçmek, yani yapılan harcamaların gerçekte hangi düzeyde somut çıktılar ürettiğini belirlemek, yalnızca akademik analizler açısından değil; politika tasarımı ve kaynak tahsisi açısından da kritik bir ihtiyaçtır. Bu çalışmada, söz konusu etkinliğin ölçülmesi amacıyla Fourier temelli ekonometrik yöntemler kullanılmıştır; böylece yapısal kırılmalar ve döngüsel bileşenler dikkate alınarak güvenilir tahminler elde edilmesi amaçlanmıştır. Özellikle Türkiye’de, kamu desteklerinin sınırlı; özel sektör yatırımlarının ise öngörülemezliğe açık olduğu bir ekonomik ortam söz konusudur. Bu nedenle, yapılan harcamaların miktarından çok, oluşturduğu etkiye odaklanan bir değerlendirme yaklaşımının benimsenmesi hem stratejik planlamaya hem de politika önceliklerinin yeniden şekillendirilmesine önemli katkılar sunacaktır. Nitekim Türkiye’de enerji arz güvenliği, cari açık baskısı ve sanayi temelli enerji yoğun yapı gibi yapısal unsurlar dikkate alındığında, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği yalnızca teknik bir gösterge değildir. Bu etkinlik, aynı zamanda kalkınma politikalarının yönünü tayin eden stratejik bir performans alanı hâline gelmiştir.

Bu çerçevede, çalışmada uygulanan durağanlık, eşbütünleşme ve katsayı analizlerine ait bulgular, enerji fiyatları, enerji ithalatı, doğrudan yabancı yatırımlar ve yenilenebilir enerji gibi faktörlerin Türkiye’de enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerindeki uzun vadeli etkilerini farklı yönlerde ortaya koymaktadır. Elde edilen bu bulgular, söz konusu etkinin düzeyine ve yönüne ilişkin kapsamlı değerlendirmelere zemin hazırlamaktadır.

Yapılan ADF testleri sonucunda tüm değişkenlerin birinci farkta durağan hâle geldiği belirlenmiş ve Fourier testleriyle yapısal kırılmaların varlığı doğrulanmıştır. Bu sonuç, değişkenler arasındaki uzun vadeli denge ilişkilerinin güvenilir şekilde incelenebilmesi için eşbütünleşme analizlerinin uygulanmasının gerekli olduğunu göstermektedir (Özbek ve Naimoğlu, 2022).

Fourier Engle-Granger ve Fourier ADL testlerinden elde edilen bulgular, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği ile enerji fiyatları, yenilenebilir enerji kullanımı, enerji ithalatı ve doğrudan yabancı yatırımlar arasında uzun dönemli eşbütünleşme ilişkilerinin varlığını açık biçimde ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, Türkiye’de

uygulanan enerji verimliliği Ar-Ge politikalarının zamanla yapısal dönüşümlere yol açtığını ve bu dönüşümün Yağış (2024) çalışmasının bulgularıyla paralel olarak literatürdeki güncel çalışmalarla uyumlu bir görünüm sergilediğini göstermektedir.

Bu yapısal ve uzun dönemli eşbütünleşme ilişkilerinin ortaya konulmasının ardından, modelde yer alan değişkenlerin enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerindeki uzun ve kısa vadeli etkilerini belirlemek amacıyla FMOLS, CCR ve DOLS yöntemleri kullanılmıştır. Uygulanan tahmin teknikleri karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, her üç modelin de enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini belirleyen makroekonomik değişkenler açısından benzer yönlü ve tutarlı sonuçlar ürettiği görülmektedir.

Üç farklı tahmin yöntemiyle elde edilen bulgular, enerji fiyatlarının hem uzun hem de kısa vadede enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerinde tutarlı ve pozitif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Tüm modellerde, enerji fiyatlarındaki artışlar Ar-Ge yatırımlarını teşvik edici yönde sonuçlar üretmiş; bu durum özellikle uzun vadeli dönüşüm politikalarının desteklenmesi açısından dikkat çekicidir, çünkü genellikle fiyat artışlarının yatırımları baskılayacağı beklenmektedir. Türkiye gibi enerji maliyetlerinin yüksek ve dışa bağımlılığın yoğun olduğu ekonomilerde, enerji fiyatları yalnızca maliyet unsuru değil; aynı zamanda yenilikçiliği ve teknolojiye dayalı verimlilik yatırımlarını motive eden stratejik bir araç hâline gelmektedir.

Artan enerji fiyatlarının firmalar üzerinde oluşturduğu maliyet baskısı, üretim süreçlerinde daha az enerji tüketen teknolojilere yönelimi teşvik etmektedir. Nitekim Liu (2023) tarafından G7 ülkeleri üzerinde yapılan çalışmada, enerji fiyatlarındaki artışların sanayi sektöründe enerji talebini azalttığı ve firmaların enerji verimli teknolojilere geçişini hızlandırdığı ortaya konmuştur. Türkiye bağlamında ise enerji fiyatlarındaki dalgalanmalar, Ar-Ge yatırımlarının sürdürülebilirliği açısından güçlü bir kurumsal kapasiteye ve stratejik planlamaya duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır (Demirtaş, 2013). Ayrıca, yükselen enerji maliyetleri firmaların yenilikçi çözümlere yönelmesini sağlamaktadır. Bu kapsamda Ar-Ge yatırımları ve çevreci inovasyonlar hem maliyetleri düşürme hem de çevresel performansı artırma açısından stratejik bir araç hâline gelmektedir (Yurdakul ve Kazan, 2020).

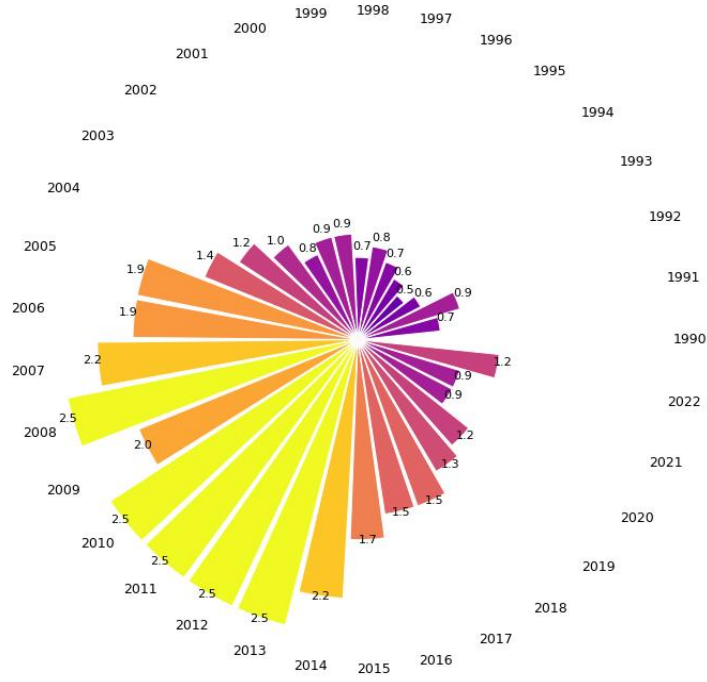
Enerji fiyatlarının enerji verimliliği üzerindeki etkisi, bağlamsal ve zamansal faktörlere bağlı olarak farklı yönlerde şekillenebilmektedir. Gerarden vd. (2015), enerji fiyatlarının çevresel dışsallıkları tam olarak içermemesi ve fiyat belirsizliği gibi

nedenlerle, enerji verimliliği yatırımlarının toplumsal açıdan optimal seviyeye ulaşamayabileceğini teorik düzeyde ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, SEE Action (2011) tarafından hazırlanan teknik değerlendirmede, enerji verimliliği programlarının başlangıçta fiyat artışına yol açabileceği, ancak uzun vadede toplam enerji maliyetlerini düşürücü etki oluşturabileceğini vurgulanmaktadır. Bu çalışmalar, özellikle kısa vadede fiyat artışlarının firmaların yatırım kararlarını geciktirebileceği, tüketici ve üretici davranışlarında caydırıcı etkiler oluşturabileceğine işaret etmektedir.

Ancak bu tezde Türkiye bağlamında elde edilen bulgular, enerji fiyatlarındaki artışın hem kısa hem de uzun vadede enerji verimliliği odaklı Ar-Ge yatırımlarını istatistiksel olarak anlamlı ve teşvik edici biçimde etkilediğini göstermektedir. Bu farklılık, Türkiye’de enerji piyasalarının geç liberalizasyon süreciyle ilişkilendirilebilir ve fiyat artışlarının yatırım kararlarında daha güçlü tepkilere yol açabilmesini açıklamaktadır. Dolayısıyla enerji fiyatlarının enerji verimliliği üzerindeki etkisi yalnızca ekonomik teoriye değil, aynı zamanda ülke bağlamına, piyasa koşullarına ve kurumsal kapasiteye göre de önemli ölçüde farklılık göstermektedir.

Bu tez kapsamında elde edilen ekonometrik bulgular, enerji fiyatlarının hem kısa hem de uzun vadede enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etki oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, teorik çerçevede ele alınan Porter Hipotezi’nin temel öngörülerini destekler niteliktedir. Hipoteze göre, artan enerji fiyatları firmalar üzerinde maliyet baskısı oluşturarak, daha az enerji tüketen teknolojilere ve verimlilik odaklı yeniliklere yönelmeyi teşvik etmektedir. Türkiye bağlamında, özellikle son yıllarda enerji fiyatlarında yaşanan yükselişin, firmaların enerji verimliliğini artırmaya yönelik Ar-Ge yatırımlarına yönelme eğilimini güçlendirdiği gözlemlenmiştir. Bu durum, enerji fiyatlarının yalnızca üretim maliyetini belirleyen bir unsur değil, aynı zamanda enerji verimliliği Ar-Ge’sini harekete geçiren stratejik bir sinyal işlevi gördüğünü göstermektedir. Endojen Büyüme Teorisi açısından bakıldığında, enerji fiyatlarındaki artışlar bilgi üretimi ve teknolojik yeniliği teşvik ederek uzun vadede verimlilik temelli büyümeyi desteklemektedir. Bulgular da bu yaklaşımı doğrulamakta; enerji fiyatlarındaki yükseliş, enerji verimliliğine yönelik Ar-Ge harcamalarının etkinliğini artırmaktadır.

Grafik 1, 1990–2022 döneminde enerji fiyatlarının dalgalı bir seyir izlediğini ve özellikle 2000’li yıllarda belirgin bir artış yaşandığını göstermektedir. 2014 sonrası dönemde gözlenen kısmi gerilemeye rağmen fiyatların 2020 sonrasında yeniden yükselmesi, enerji fiyatlarının dolaylı etkilerinin politika süreçlerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle enerji fiyatları, yalnızca piyasa dinamiklerini değil, aynı zamanda enerji dönüşüm politikalarının yönünü yansıtan temel bir gösterge niteliğindedir.



Grafik 1. Enerji Fiyatları (ABD doları/L), Türkiye (1990-2022)

Kaynak: Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), 2024.

Üç modelin de ortak sonucu, enerji ithalatının Ar-Ge temelli enerji verimliliğini zayıflattığı yönündedir. Tüm modellerde, enerji ithalatındaki artışlar, Ar-Ge yatırımlarını baskılayıcı yönde sonuçlar üretmiş; bu durum özellikle uzun vadeli teknoloji üretimi ve enerji dönüşümü politikalarının sürdürülebilirliği açısından kritik bir kırılma noktası olarak öne çıkmıştır. Türkiye gibi enerji arzının büyük ölçüde ithal kaynaklara dayandığı, cari açık ve dışa bağımlılık baskısı altında bulunan ekonomilerde enerji ithalatı, yalnızca dış ticaret dengesiyle sınırlı bir sorun değildir. Bu durum, aynı zamanda yenilikçi Ar-Ge faaliyetlerinin yönünü belirleyen yapısal bir engel olarak da işlev görmektedir. Artan ithalat düzeyi, yerli teknoloji üretimine ayrılan kaynakları sınırlandırmakta ve enerji verimliliğini artırmaya yönelik Ar-Ge harcamalarının etkinliğini zayıflatmaktadır. Bu çerçevede, enerji ithalatı yalnızca dışsal bir maliyet unsuru değil, aynı zamanda Türkiye'nin uzun vadeli verimlilik

temelli büyüme hedeflerini sekteye uğratabilecek sistemik bir risk faktörü olarak değerlendirilmelidir.

Enerji ithalatına dayalı ekonomik yapılar, yerli teknoloji üretimi ve verimlilik odaklı Ar-Ge yatırımları üzerinde sınırlayıcı etkiler oluşturmaktadır. Liu vd. (2024), özellikle gelişmekte olan ülkelerde yüksek enerji ithalatının bilgi üretimi kapasitesini zayıflattığını ve Ar-Ge etkinliğini olumsuz etkilediğini belirtmektedir. Benzer biçimde, Yu vd. (2025) de ithalat yöneliminin yenilenebilir enerji tüketimini baskıladığını ve bunun temel nedeninin, yerli inovasyon kapasitesinin yeterince gelişmemesi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, enerji ithalatına bağımlılığın yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda teknolojik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da ciddi bir risk unsuru taşıdığını göstermektedir.

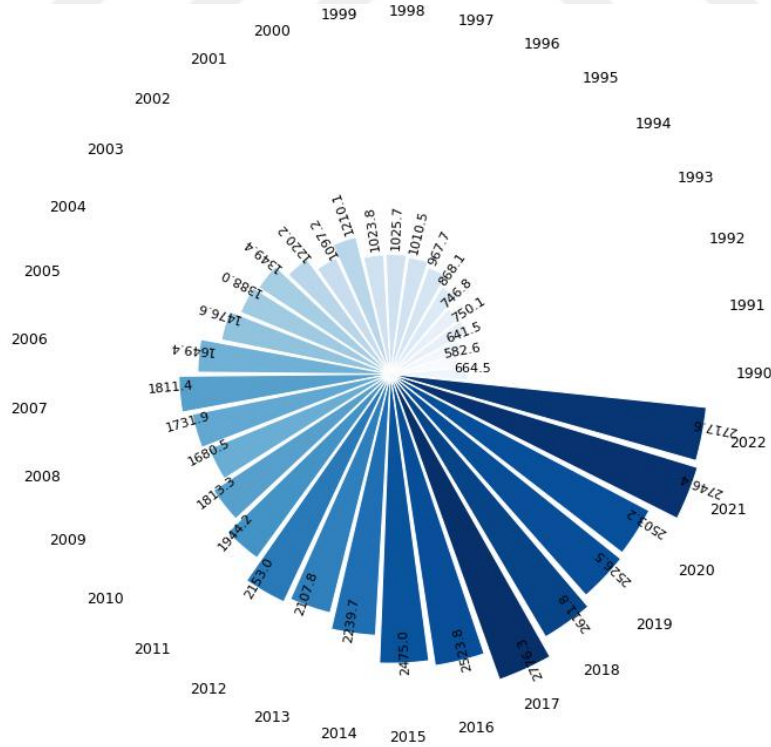
Enerji ithalatının enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerindeki etkisi, ülke bağlamına göre farklılık göstermektedir. Zhang vd. (2025) çalışmasında, gelişmiş ülkelerde güçlü kurumsal yapı ve teknolojik altyapı sayesinde enerji ithalatının verimlilik artışıyla uyumlu sonuçlar üretebildiği gösterilmiştir. Benzer şekilde, 1990–2023 dönemini kapsayan bir başka araştırma da gelişmekte olan ülkelerde iklim politikalarının sıklığına bağlı olarak ithalatın teknoloji transferi ve kapasite gelişimi yoluyla olumlu etkiler oluşturabileceğini savunmaktadır (Nouira, vd., 2025).

Ancak bu tezde Türkiye'ye özgü elde edilen bulgular, enerji ithalatının enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif bir etki oluşturduğunu göstermektedir. Bu sonucun arkasında, ithalata dayalı enerji yapısının yerli teknoloji üretimini ve yenilikçi Ar-Ge yatırımlarını ikame etmesi; dış kaynaklı enerji girdilerinin uzun vadeli verimlilik arayışlarını ertelemesi ve teknoloji transferinin sınırlı kalması gibi yapısal faktörler yer almaktadır. Türkiye'de enerji ithalatının çoğunlukla tüketime yönelik kullanılması, bu ithalatın Ar-Ge odaklı dönüşüm süreçlerine katkı sunmak yerine, dışa bağımlılığı pekiştirici bir unsur hâline gelmesine yol açmaktadır.

Bu çalışmada teorik temeli oluşturan Endojen Büyüme Teorisi ve Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı, Türkiye'ye ait ampirik bulgular doğrultusunda yeniden değerlendirilmiştir. Bulgular, enerji ithalatı değişkeninin Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı çerçevesinde öngörülen pozitif yapısal dönüşüm baskısını desteklemediğini ortaya koymaktadır. Öte yandan, Endojen Büyüme Teorisi'nin bilgi, Ar-Ge ve beşerî

sermaye birikimi yoluyla uzun dönemli büyümeyi teşvik edebileceğine dair varsayımı Türkiye açısından doğrulanmamıştır. Artan ithalat bağımlılığı, bilgi üretimi ve teknoloji geliştirme süreçlerini teşvik etmek yerine, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini anlamlı biçimde zayıflatmıştır. Bu durum, dışa bağımlılığın Endojen Büyüme Teorisi'nin öngördüğü bilgi temelli büyüme mekanizmasının işlemlerini engellediğine işaret etmektedir. Türkiye'deki kurumsal kapasite eksiklikleri, politika süreksizliği ve enerji arzındaki yapısal dışa bağımlılık bu sınırlayıcı etkinin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Sonuç olarak, enerji ithalatı Türkiye'de hem yenilik temelli büyüme hem de sürdürülebilir dönüşüm açısından engelleyici bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

Grafik 2, 1990–2022 dönemine ait enerji ithalatı verileri, Türkiye'nin enerji talebindeki yapısal artışı yansıtan belirgin bir yükseliş eğilimine sahiptir. 2000'li yıllardan itibaren hızlanan bu artış, özellikle 2010 sonrası dönemde daha görünür hâle gelmiştir. Küresel dalgalanmalar ve ekonomik yavaşlama dönemlerinde kısa süreli gerilemeler yaşansa da genel eğilim yukarı yönlüdür. Bu görünüm, Türkiye'nin dışa bağımlı enerji yapısının sürdüğünü ve enerji verimliliği Ar-Ge yatırımlarının önemini artıran bir dışsal baskı alanı oluşturduğunu göstermektedir.



Grafik 2. Enerji İthalatı (Tj), Türkiye (1990–2022)
Kaynak: Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), 2024.

Benzer biçimde, yenilenebilir enerji değişkenine ilişkin analizler de enerji verimliliği odaklı Ar-Ge etkinliği üzerinde uzun ve kısa vadede pozitif bir etki oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Tüm modeller, yenilenebilir enerji yatırımlarının Ar-Ge faaliyetlerini teşvik edici yönde katkı sağladığını ortaya koymakta; bu durum, özellikle uzun vadeli sürdürülebilir enerji dönüşümü politikalarının ve çevresel hedeflerin gerçekleştirilmesi açısından dikkat çekici bir bulgu olarak öne çıkmaktadır. Kısa dönem etkilerinin göreceli olarak düşük olması nedeniyle, bu analizde uzun dönem bulguları daha belirleyici ve etkili sonuçlar sunmaktadır. Türkiye gibi dışa bağımlılığın yoğun ve enerji talebinin giderek arttığı bir ekonomide, yenilenebilir enerji yalnızca bir arz kaynağı olarak değil; çevresel sürdürülebilirliği destekleyen, teknoloji geliştirme ve verimlilik odaklı Ar-Ge'yi harekete geçiren stratejik bir araç olarak işlev görmektedir.

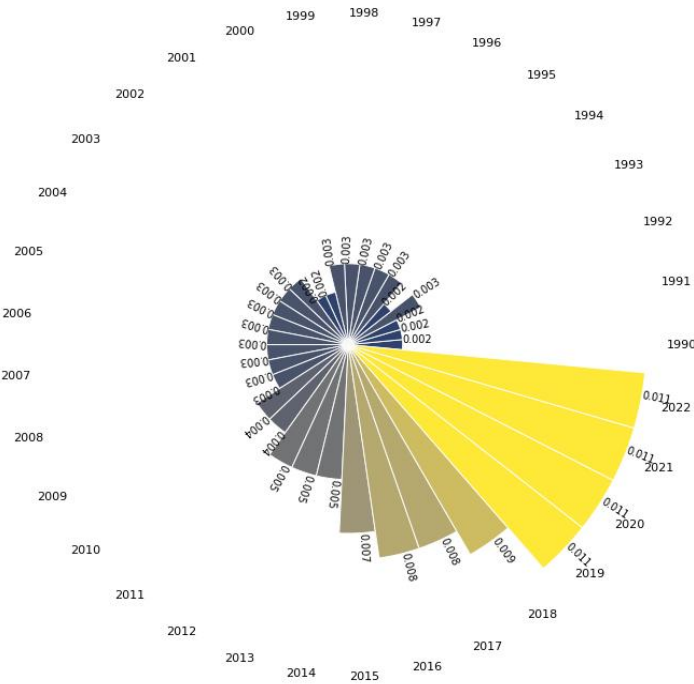
Bu doğrultuda, tezde ulaşılan bulgular literatürdeki bazı çalışmalarla önemli ölçüde örtüşmektedir. Ang vd. (2017), yenilenebilir enerji kaynaklarının Ar-Ge faaliyetlerini hızlandıran bir katalizör işlevi gördüğünü; Gan (2025) ise bu yatırımların teknoloji odaklı kalkınma stratejileriyle bütünleştğinde çok yönlü bir etki oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu değerlendirmeler, tez bulgularıyla paralel biçimde, yenilenebilir enerji kullanımının enerji verimliliği odaklı Ar-Ge etkinliğini uzun vadede güçlendirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, her iki çalışmada da vurgulandığı üzere bu etkinin kalıcı hale gelmesi, teknik kapasitenin ötesinde kurumsal istikrar, altyapı yeterliliği ve politika sürekliliği gibi yapısal unsurların varlığına bağlıdır.

Grafström vd. (2023), Avrupa Birliği ülkelerinde yenilenebilir enerjiye yönelik kamu Ar-Ge desteklerinin ülkeler arasında farklı sonuçlar ürettiğini ve bu durumun Ar-Ge etkinliğini sınırlayarak bazı ülkelerde özel sektör yatırımlarını dışlayıcı etkiler oluşturduğunu belirtmiştir. Benzer biçimde Li vd. (2025), yenilenebilir enerji kullanımının enerji yoğunluğunu azaltma potansiyeline rağmen gelir eşitsizliğinin yüksek olduğu ekonomilerde bu etkinin zayıfladığını ortaya koymuştur. Bu iki çalışma, yenilenebilir enerji yatırımlarının kurumsal istikrarsızlık ve sosyoekonomik eşitsizlik koşullarında beklenen verimlilik artışlarını sağlayamayabileceğini göstermektedir. Buna karşılık, Türkiye üzerine yapılan bu tez çalışmasında yenilenebilir enerji kullanımının enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerinde uzun

dönemde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu farklılık, Türkiye’de 2017 sonrasında güçlenen kurumsal yapı, politika sürekliliği ve kamu destekli Ar-Ge programlarının, yenilenebilir enerji yatırımlarını daha verimli ve sistematik biçimde desteklemesinden kaynaklanmaktadır.

Çalışmanın önceki bölümünde teorik olarak ele alınan Endojen Büyüme Teorisi ve Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı, bu aşamada Türkiye’ye özgü ampirik bulgular ışığında yeniden değerlendirilmektedir. Yenilenebilir enerji kullanımına ilişkin bulgular, Endojen Büyüme Teorisi ve Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı’nın temel varsayımlarıyla büyük ölçüde örtüşmektedir. Analiz sonuçları, yenilenebilir enerji kullanımının enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerinde özellikle uzun dönemde belirgin ve pozitif bir etki oluşturduğunu göstermektedir. Bu bulgu, yenilenebilir enerji yatırımlarının bilgi birikimini ve teknoloji temelli verimliliği artırarak sürdürülebilir büyümeye katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

Grafik 3, 1990’lardan itibaren Türkiye’de yenilenebilir enerji kullanımı yavaş da olsa sürekli bir artış göstermektedir. 1990’lı yıllarda düşük seviyelerde başlayan kullanım, 2000’li yıllarda istikrarlı bir şekilde yükselmiş ve özellikle 2010 sonrasında belirgin bir artış trendi sergilemiştir. Bu gelişme, enerji verimliliği Ar-Ge’si ve yenilenebilir enerji politikalarının etkisiyle enerji dönüşümünde ilerleme kaydedildiğini göstermektedir.



Grafik 3. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kullanımı (Tj), Türkiye (1990–2022)

Kaynak: Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), 2024.

Üç farklı ekonometrik yöntemle (FMOLS, CCR ve DOLS) elde edilen sonuçlar, doğrudan yabancı yatırımların enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerindeki etkisinin uzun dönemde istikrarlı biçimde pozitif, kısa dönemde ise anlamlı olmadığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu, yabancı sermaye girişlerinin yalnızca finansal kaynak sağlamaktan öte, teknoloji transferi, bilgi paylaşımı ve kurumsal öğrenme süreçleri aracılığıyla yerli Ar-Ge kapasitesini zaman içinde güçlendirdiğini göstermektedir. Dolayısıyla doğrudan yabancı yatırımlar, Türkiye’de enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini destekleyen birikimsel ve uzun vadeli bir kaldıraç işlevi görmektedir; sürdürülebilir büyüme hedefleri açısından stratejik bir unsur hâline gelmektedir.

Dau Jarama vd. (2025) tarafından gerçekleştirilen analiz, Latin Amerika ülkelerinde doğrudan yabancı yatırımların (DYY) enerji yoğunluğunu azalttığını ve bu yolla enerji verimliliğini artırdığını ortaya koymuştur. Araştırma, DYY’nin gelişmiş teknolojilerin ve sürdürülebilir yönetim uygulamalarının transferini teşvik ederek yenilik kapasitesi yüksek ekonomilerde daha güçlü verimlilik kazanımları oluşturduğunu vurgulamaktadır. Buna karşılık, Koffi vd. (2025) tarafından Bahreyn için yürütülen çalışmada, DYY’nin enerji yoğunluğunu artırdığı ve dolayısıyla enerji verimliliği üzerinde olumsuz bir etki oluşturduğu belirlenmiştir. Bu durumun, yabancı sermayenin enerji yoğun sektörlerle yönelmesi ve teknolojik dönüşüm kapasitesinin sınırlı kalmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Her iki çalışma birlikte değerlendirildiğinde, DYY’nin etkisinin ülke koşullarına, teknolojik altyapıya ve yatırımın sektörel bileşimine göre değişkenlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Türkiye örneğinde gözlenen olumlu etkinin, yabancı sermayenin özellikle yüksek teknoloji, yenilenebilir enerji ekipmanları ve verimlilik odaklı imalat sektörlerinde yoğunlaşmasıyla ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Bu yönelim, politika yapısının dönüşüm hedefleriyle uyumlu olması ve inovasyon odaklı yatırımların artması sayesinde DYY’nin enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini destekleyici bir kanala dönüşmesine imkân tanımaktadır.

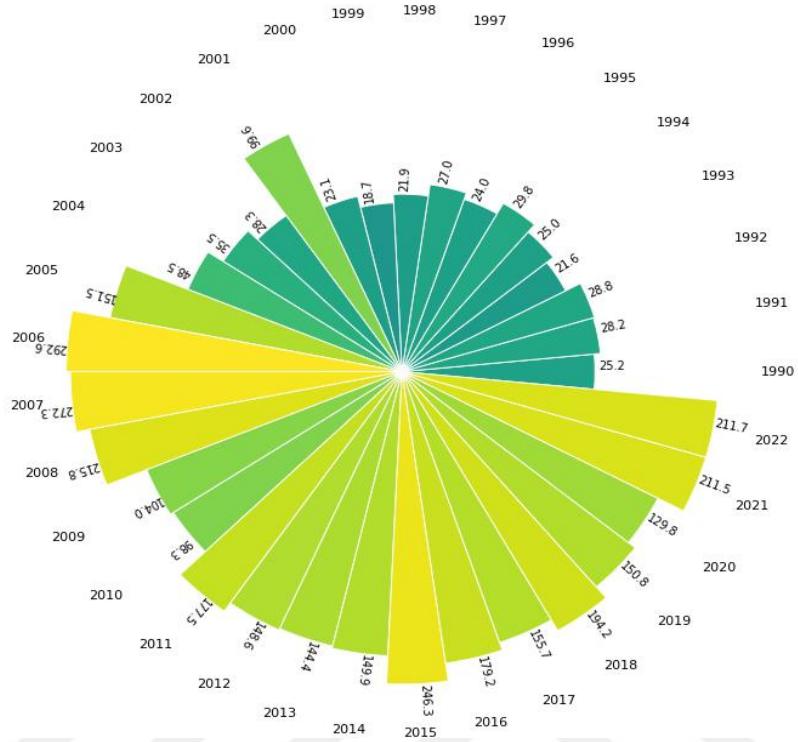
Aali-Bujari ve Venegas-Martínez (2021), Meksika üzerine yaptıkları çalışmada doğrudan yabancı yatırımlar ile enerji tüketimi arasında uzun dönemde istikrarlı ve pozitif bir ilişki bulmuş; kısa dönemde DYY’den enerji tüketimine tek yönlü, uzun dönemde ise çift yönlü bir nedensellik tespit etmişlerdir. Bu sonuç, yabancı sermaye

girişlerinin enerji talebini artırarak enerji verimliliği üzerinde baskı oluşturabileceğini göstermektedir. Öte yandan, panel kantil regresyon analizine dayanan bulgular, kentleşme ve doğrudan yabancı yatırımların enerji yoğunluğunu artırıcı bir etkisi olduğunu; ayrıca ticari açıklığın özellikle alt kantillerde enerji yoğunluğunu yükseltebildiğini ortaya koymaktadır (Kazemzadeh vd., 2023, s. 29). Buna karşın, Türkiye için elde edilen sonuçlar, DYY'nin uzun vadede enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini artırdığını göstermektedir. Bu farklılığın temel nedeni, yabancı yatırımların yüksek teknoloji ve yenilik kapasitesi taşıyan sektörlerde yoğunlaşması ve Ar-Ge teşviklerinin kurumsal olarak güçlenmesidir.

Çalışmanın önceki bölümünde doğrudan yabancı yatırımların enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerindeki etkisi, Kaynak Tabanlı Yaklaşım ve Endojen Büyüme Teorisi çerçevesinde teorik olarak açıklanmıştır. Bu aşamada, söz konusu kuramsal beklentiler Türkiye'ye özgü ampirik bulgular ışığında yeniden değerlendirilmektedir. Test sonuçları, teorik varsayımları büyük ölçüde doğrulamaktadır. Uzun dönemde doğrudan yabancı yatırımların enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisinin bulunması, Kaynak Tabanlı Yaklaşımın öngördüğü biçimde, yabancı sermaye yoluyla aktarılan bilgi, teknoloji ve yönetim becerilerinin yerli sistemde stratejik kaynak niteliği kazandığını göstermektedir. Bu durum aynı zamanda Endojen Büyüme Teorisi ile de uyumludur; çünkü dış kaynaklı bilgi akışları, ulusal yenilik sistemini besleyerek üretkenliği ve Ar-Ge etkinliğini artırmaktadır. Ancak kısa dönemde anlamlı bir etkinin gözlenmemesi, bu ilişkinin yalnızca güçlü kurumsal kapasiteye ve yüksek teknolojik emilim düzeyine sahip ekonomilerde kalıcı biçimde işlediğini göstermektedir. Türkiye özelinde elde edilen bulgular ise, DYY'nin uzun vadede enerji verimliliğini artırıcı bir kanal oluşturduğunu; ancak etkinin sürdürülebilirliği açısından sektörel yönelimin ve yerli firmaların uyum kapasitesinin belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Grafik 4, 1990–2022 döneminde Türkiye'de kişi başına doğrudan yabancı yatırım (DYY) dalgalı bir seyir izlemiş, 1990'lı yıllarda düşük seviyelerde başlayan yatırım, 2000'li yılların başında hızlı artışlar göstermiştir. 2005–2008 döneminde yüksek değerler kaydedilmiş, sonraki yıllarda dalgalı bir seyir izleyerek 2022'de görece yüksek seviyelerde dengelenmiştir. Bu dalgalı seyir, Türkiye ekonomisinin dış yatırım girişlerine olan bağımlılığını ve yatırım ortamındaki kırılganlıkları ortaya

koyarak, Ar-Ge ve teknoloji odaklı politika planlamaları açısından önemli bir bağlam sunmaktadır.



Grafik 4. Türkiye’de Doğrudan Yabancı (Sabit 2015 ABD doları), Türkiye (1990–2022)
Kaynak: Dünya Bankası (WDI), 2024.

6. SONUÇ, POLİTİKA ETKİLERİ ve SINIRLILIKLAR

Bu çalışmanın bulguları, Türkiye'nin enerji arz güvenliği ile sürdürülebilir kalkınma arasındaki dengenin sağlanmasında Ar-Ge etkinliğinin kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Hızla artan enerji talebi, sanayi temelli üretim yapısı ve yüksek ithalat oranı nedeniyle Türkiye, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini analiz etmek açısından gelişmekte olan ülkeler içinde stratejik bir örnek teşkil etmektedir. Enerji fiyatlarındaki oynaklık, dışa bağımlı tedarik zincirleri ve sınırlı teknoloji üretimi, ülkeyi hem ekonomik kırılganlık hem de yenilik kapasitesi bakımından ikili bir baskı altında bırakmaktadır. Bu nedenle Türkiye'nin incelenmesi, yalnızca veri erişilebilirliği açısından değil; aynı zamanda 2053 Net Sıfır Emisyon hedefi, Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı ve sürdürülebilir büyüme politikaları bağlamında yürütülen dönüşüm sürecinin bütüncül biçimde analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Türkiye bu yönüyle, 1990–2022 dönemini kapsayan veri seti ve Fourier temelli ekonometrik yöntemlerin kullanıldığı bu çalışma kapsamında, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini ekonomik büyüme, teknolojik yenilik ve çevresel sürdürülebilirlik ekseninde eş zamanlı olarak değerlendirebilen yükselen ekonomiler arasında özgün bir örnek oluşturmaktadır.

Enerji verimliliğine yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları, bir ülkenin hem ekonomik büyüme kapasitesini hem de çevresel sürdürülebilirliğini doğrudan etkileyen temel göstergelerden biridir. Bu çalışmada enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği, yapılan Ar-Ge harcamalarının enerji tüketiminde sağladığı tasarruf ve çevresel çıktılar üzerinden değerlendirilmiş; yani yalnızca harcama büyüklüğünü değil, bu harcamaların ölçülebilir verimlilik kazanımlarına dönüşme derecesini yansıtan bir performans göstergesi olarak ele alınmıştır. Başka bir deyişle, etkinlik kavramı; kaynak kullanımındaki verim, teknoloji üretimindeki ilerleme ve yenilikçi uygulamaların hayata geçirilebilme düzeyi üzerinden operasyonelleştirilmiştir. Bu yönüyle enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği, Paris Anlaşması'nın düşük karbonlu kalkınma yaklaşımıyla kavramsal açıdan uyumludur. Ayrıca Türkiye'nin 2053 Net Sıfır Emisyon vizyonu, sürdürülebilir kalkınma hedefleri ve uzun vadeli rekabet gücü açısından stratejik bir öncelik alanı oluşturmaktadır.

Enerji verimliliği çalışmalarının çoğu, performansı genellikle enerji yoğunluğu göstergesiyle ölçmekte; yani ekonomik üretim başına enerji tüketimine odaklanmaktadır. Ancak bu yaklaşım, Ar-Ge ve teknolojik ilerlemenin gerçek etkisini tam olarak yansıtamamaktadır. Benzer biçimde, Ar-Ge harcamalarına yönelik araştırmalar da çoğunlukla harcama düzeylerini esas almakta, verimlilik çıktısını göz ardı etmektedir. Bu durum, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini çıktı temelli ölçen çalışmalara duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışması, tam da bu boşluğu doldurmayı hedeflemiştir. Enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini yalnızca harcama tutarlarıyla değil, bu harcamaların gerçek verimlilik çıktılarıyla kurduğu oransal ilişki üzerinden değerlendiren özgün bir gösterge Fourier temelli normalize edilmiş değişkenler kullanılarak geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, enerji yoğunluğu temelli ölçümlerin eksik bıraktığı teknolojik boyutu tamamlamakta ve Ar-Ge harcamalarının verimlilik üzerindeki yapısal etkisini daha net biçimde görünür kılmaktadır. Böylece çalışma, Türkiye örneğinde enerji politikalarının etkinliğini değerlendirirken literatürdeki yaklaşımlardan ayrılan yenilikçi ve bütüncül bir analiz çerçevesi sunmuştur.

Türkiye'nin kalkınma politikaları, ekonomik büyümeyi çevresel sürdürülebilirlik ilkesiyle bütünleştirerek uzun vadeli bir dönüşüm hedeflemektedir. Analiz bulguları, bu dönüşümün enerji verimliliği Ar-Ge yatırımları üzerinden desteklenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda 2053 Net Sıfır Emisyon vizyonu ile Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları arasında güçlü bir uyum bulunmaktadır. Özellikle SKA 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji), SKA 9 (Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı) ve SKA 11 (Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar), enerji verimliliği ve yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesine odaklanarak Türkiye'nin enerji politikalarının yönünü belirlemektedir. Enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği, bu hedeflerin kesişim noktasında yer almakta ve sürdürülebilir kalkınmanın ölçülebilir bir göstergesi olarak önem kazanmaktadır. Etkinliğin artması, enerji ithalatına bağımlılığın azalmasını, yerli üretim kapasitesinin güçlenmesini ve düşük karbonlu büyümenin kurumsal temelde desteklenmesini sağlar. Bu yönüyle enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği, hem Türkiye'nin 2053 iklim vizyonunun hem de sürdürülebilir kalkınma stratejisinin başarısı için stratejik bir performans göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Bu tezde kullanılan bağımsız değişkenler, Türkiye'nin enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini etkileyen temel ekonomik ve yapısal dinamikleri temsil etmektedir. Analizde kullanılan değişkenler; enerji fiyatı, enerji ithalatı, yenilenebilir enerji kullanımı ve doğrudan yabancı yatırımlar olup, her biri enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerinde farklı yönlü etkiler oluşturmuştur. Enerji fiyatı, verimlilik ve yenilik baskısını artırırken; enerji ithalatı dışa bağımlılığın Ar-Ge yatırımlarını sınırlayıcı etkisini yansıtmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımı uzun vadede teknoloji üretimiyle bütünleşerek verimliliği desteklemekte; doğrudan yabancı yatırımlar ise bilgi ve teknoloji transferi yoluyla Ar-Ge kapasitesini güçlendirmektedir. Bu sonuçlar, Türkiye'nin enerji sisteminde ekonomik, teknolojik ve çevresel dinamiklerin birbirini tamamlayıcı biçimde işlediğini göstermektedir.

Bu çalışmada, 1990–2022 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak Türkiye'de enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini belirleyen makroekonomik değişkenler arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Öncelikle serilerin durağanlık özelliklerini incelemek amacıyla Standart ADF testi uygulanmış, ardından yapısal kırılmaları ve dönemsel dalgalanmaları dikkate almak için Fourier ADF testi kullanılmıştır. Değişkenlerin aynı bütünleşme derecesine sahip olduğu belirlendikten sonra, uzun dönemli denge ilişkilerinin varlığını test etmek üzere Fourier Engle-Granger ve Fourier ADL eşbütünleşme yöntemlerinden yararlanılmıştır. Eşbütünleşme ilişkileri doğrulandıktan sonra, uzun ve kısa dönem katsayı tahminleri sırasıyla FMOLS, CCR ve DOLS yöntemleriyle elde edilmiştir. Bu yöntemler sayesinde hem yapısal kırılmaların hem de zaman içinde değişen dinamiklerin modele dâhil edilmesi sağlanmış, böylece Türkiye'nin enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini etkileyen faktörler hem kısa hem uzun vadeli bir bakışla değerlendirilmiştir.

Analiz bulguları, enerji fiyatlarının hem kısa hem uzun vadede enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, fiyat artışlarının üretici ve tüketicileri daha verimli teknolojilere yönlendirdiğini ve enerji tasarrufu sağlayan yenilikleri teşvik ettiğini ortaya koymaktadır. Türkiye gibi enerji ithalatına bağımlı ekonomilerde, enerji fiyatları yalnızca bir maliyet göstergesi değil; aynı zamanda teknoloji geliştirme sürecini harekete geçiren önemli bir piyasa sinyalidir.

Bu bulgular, Türkiye'nin enerji politikalarında iki temel önceliğe işaret etmektedir. İlk olarak, mevcut enerji sübvansiyonları çoğu zaman piyasa sinyallerini bastırmakta ve yenilikçi yatırımları geciktirmektedir. Bu nedenle sübvansiyonlar sosyal destekle sınırlı tutulmalı ve fiyat sinyalleri sanayiye doğru biçimde yansıtılmalıdır. İkinci olarak, artan maliyetlerin üretim üzerindeki baskısını hafifletmek için enerji verimliliği odaklı Ar-Ge projelerine mali destekler artırılmalıdır. Ulusal Ar-Ge destek programlarının kapsamı genişletilmeli; özellikle KOBİ'lerin yeşil kredi, karbon fonu ve vergi teşviki gibi araçlara erişimi kolaylaştırılmalıdır. Uzun vadede ise enerji fiyatlandırma politikaları, 2053 Net Sıfır hedefiyle uyumlu biçimde hem piyasa istikrarını hem de Ar-Ge temelli yeşil dönüşümü destekleyecek şekilde yeniden yapılandırılmalıdır.

Enerji fiyatlarının ardından, Türkiye'nin enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini etkileyen bir diğer kritik unsur enerji ithalatıdır. Analiz bulguları, enerji ithalatının enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerinde hem kısa hem uzun vadede negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, dışa bağımlı enerji yapısının, yerli teknoloji üretimi ve yenilikçi yatırımlar üzerindeki baskısını ortaya koymaktadır. Enerji ithalatındaki artış hem cari açığı büyütmede hem de ulusal kaynakların Ar-Ge faaliyetlerinden enerji ithalatına yönelmesine neden olmaktadır. Bu durum, Türkiye'nin enerji verimliliği hedefleri açısından önemli bir kısıt oluşturarak sürdürülebilir büyüme kapasitesini etkilemektedir.

Bu bulgu, Türkiye enerji politikalarında yerli üretim ve teknoloji odaklı bir dönüşüm gerekliliğine işaret etmektedir. Öncelikle, enerji ithalatına bağımlılığı azaltacak şekilde yenilenebilir enerji yatırımları ile yerli ekipman ve teknoloji üretimi desteklenmelidir. Ar-Ge politikaları, dışa bağımlılığı azaltacak alanlara (enerji depolama, akıllı şebekeler, yerli güneş paneli üretimi vb.) öncelik vermelidir. Ayrıca, ithal kaynaklara dayalı enerji üretim tesisleri yerine, yerli ve yenilenebilir tabanlı projelere uzun vadeli finansman olanakları sağlanmalıdır. Bu çerçevede, Türkiye'nin 2053 Net Sıfır hedefi doğrultusunda ithalata bağımlı enerji altyapısından bilgi ve teknoloji temelli bir enerji sistemine geçiş hem ekonomik kırılganlıkları azaltacak hem de enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini güçlendirecektir.

Dışa bağımlılığın azaltılması ve fiyat dalgalanmalarının etkilerinin sınırlanması açısından, yenilenebilir enerji kullanımı Türkiye'nin enerji verimliliği Ar-Ge

politikalarında belirleyici bir unsur hâline gelmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yenilenebilir enerji kullanımının uzun ve kısa vadede enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerinde pozitif ve anlamlı bir etki oluşturduğunu göstermektedir. Bu sonuç, yenilenebilir enerji yatırımlarının çevresel sürdürülebilirliğin ötesinde bilgi üretimi, teknoloji geliştirme ve yerli inovasyon kapasitesini desteklediğini ortaya koymaktadır. Özellikle 2017 sonrasında yürürlüğe giren Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı ve uzun vadeli karbon nötr stratejisi, yenilenebilir enerjiye dayalı dönüşüm sürecinin Ar-Ge temelli bir yapıya yönelmesini sağlamıştır.

Bu doğrultuda, yenilenebilir enerji yatırımlarının Ar-Ge etkinliği üzerindeki olumlu etkisinin sürdürülebilir olabilmesi için uzun vadeli destek mekanizmaları ve yerli üretimi teşvik eden finansal araçlar geliştirilmelidir. Güneş, rüzgâr ve enerji depolama teknolojileri gibi alanlarda kamu-özel sektör iş birlikleri genişletilmeli; Ar-Ge fonları, yeşil finansman modelleri ve teknoloji transfer programlarıyla yerli üretim kapasitesi güçlendirilmelidir. Yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaşması yalnızca çevresel hedeflerin değil, ekonomik dirençliliğin de bir unsuru olarak görülmeli; enerji verimliliği Ar-Ge politikaları uzun vadeli karbon nötr strateji ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (7, 9 ve 11) ile tam uyumlu biçimde tasarlanmalıdır.

Yenilenebilir enerji kullanımının uzun vadeli etkilerinin ardından, enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini şekillendiren bir diğer önemli unsur doğrudan yabancı yatırımlardır. Yenilenebilir enerjiye dayalı dönüşüm sürecinin ardından, Türkiye’de enerji verimliliği Ar-Ge etkinliğini etkileyen son temel unsur doğrudan yabancı yatırımlar olarak öne çıkmaktadır. Model sonuçları işaret etmektedir ki , doğrudan yabancı yatırımların uzun vadede enerji verimliliği Ar-Ge etkinliği üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu, kısa vadede ise bu etkinin belirgin olmadığını göstermektedir. Bu sonuç, yabancı sermaye girişlerinin yalnızca finansman sağlamaktan öte, bilgi birikimi, teknoloji transferi ve kurumsal öğrenme süreçleri aracılığıyla yerli Ar-Ge kapasitesini güçlendirdiğini ortaya koymaktadır. Türkiye bağlamında bu durum, doğrudan yabancı yatırımların enerji verimliliği odaklı yenilik süreçlerinde uzun dönem katsayılarının pozitif yönlü olmasıyla desteklenen birikimsel ve yapısal bir etki oluşturduğunu göstermektedir.

Bu bulgu, Türkiye’nin yatırım ve teknoloji politikaları açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır. İlk olarak, yabancı yatırımların enerji verimliliği Ar-Ge alanlarına

yönlendirilmesi için teşvik sistemlerinin sektörel önceliklere göre yeniden tasarlanması gerekmektedir. Özellikle yenilenebilir enerji, enerji depolama ve dijital verimlilik teknolojileri gibi stratejik sektörlerde uluslararası iş birlikleri ve ortak Ar-Ge merkezleri desteklenmelidir. İkinci olarak, teknoloji transferinin kalıcı etkiler oluşturabilmesi için yerli firmaların uyum kapasitesi artırılmalı; üniversite–sanayi–yatırımcı iş birlikleri daha etkin hâle getirilmelidir. Uzun vadede ise, doğrudan yabancı yatırımların yalnızca sermaye değil, aynı zamanda bilgi ve yenilik kaynağı olarak değerlendirilmesi; Türkiye'nin 2053 Net Sıfır Emisyon hedefiyle uyumlu, sürdürülebilir ve verimlilik temelli büyüme modeline geçişini hızlandıracaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma Türkiye'de enerji verimliliğine yönelik Ar-Ge politikalarının yalnızca teknolojik bir alan olarak değil, ekonomik kırılganlıklar, dışa bağımlılık ve kurumsal kapasite gibi çok boyutlu unsurlarla birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir. Enerji fiyatlarındaki oynaklık, ithalat bağımlılığı ve sınırlı sermaye mobilitesi gibi dışsal baskılar, Ar-Ge yatırımları üzerinde belirleyici bir etki oluşturmaktadır; bu durum özellikle gelişmekte olan ekonomilerde yapısal dönüşüm ihtiyacını daha görünür kılmaktadır. Fourier tabanlı ekonometrik yöntemlerin kullanımı, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, doğrudan yabancı yatırımlar, enerji fiyatı ve enerji ithalatı değişkenlerinin eşanlı etkilerini bütüncül biçimde analiz etmeye olanak tanımış; böylece literatürdeki parçalı yaklaşımların ötesine geçen bir değerlendirme yapılmasını sağlamıştır.

Bu tez, enerji fiyatları, enerji ithalatı ve Ar-Ge yatırımlarını Türkiye örneğinde tek bir yapısal çerçevede içinde birleştirerek literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmuştur. Ar-Ge'nin yalnızca genel bir yatırım göstergesi değil, enerji verimliliği temelli bir stratejik politika aracı olarak ele alınması, çalışmanın özgün yönünü oluşturmuştur; bu yönüyle çalışma, enerji politikalarının bilimsel temelde yeniden değerlendirilmesine katkı sunmaktadır. Ayrıca Fourier tabanlı yapısal kırılma testlerinin sistematik biçimde uygulanması, yöntemsel açıdan analizin derinliğini artırmış; enerji verimliliği odaklı politika önerilerini bilimsel temelde güçlendirmiştir. Bunun yanı sıra, elde edilen bulguların kuramsal yaklaşımlar (Kaynak Tabanlı Yaklaşım, Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı, Porter Hipotezi ve Endojen Büyüme Teorisi) ile tutarlılık içinde yorumlanması, analizlerin salt istatistiksel bir düzlemde kalmasını önlemiştir. Kuram temelli açıklamalar, değişkenler arasındaki nedensellik

ilişkilerini daha sistematik biçimde değerlendirme olanağı sunarak, çalışmanın hem teorik hem uygulamalı düzeyde bütüncül bir katkı oluşturmasına olanak sağlamıştır. Böylece çalışma hem yöntem hem içerik bakımından enerji politikalarının sürdürülebilir kalkınma perspektifinden yeniden değerlendirilmesine katkı sunmuştur.

Bununla birlikte, her akademik araştırma gibi bu çalışmanın da bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Model, enerji verimliliği Ar-Ge yatırımlarını makro düzeyde yapısal değişkenlerle açıklamaya çalışmıştır. Ancak, sektörel ve bölgesel farklılıkları tam olarak yansıtamamaktadır. Gelecek araştırmalarda, bu farklılıkların mekânsal ekonometrik modeller veya mikro düzey firma verileriyle incelenmesi çalışmanın kapsamını genişletebilir. Ayrıca kurumsal kalite, çevresel düzenlemeler ve toplumsal çevre bilinci gibi dolaylı faktörlerin dışlanması analiz alanını sınırlamıştır. Enerji verimliliği Ar-Ge yatırımlarının yalnızca miktarına değil, teknolojik niteliğine ve yeşil inovasyon kapasitesine odaklanması, gelecekteki politika önerilerinin etkinliğini artırabilir. Son olarak, enerji fiyatı ve enerji ithalatı gibi stratejik değişkenlerin etkilerini konu alan ampirik literatürün sınırlı olması, bu alanda daha kapsamlı ve teorik derinliği yüksek yeni çalışmalara duyulan ihtiyacı açıkça ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

- Aali-Bujari, A., & Venegas-Martínez, F. (2021). *On the relationship between foreign direct investment and energy consumption: The Mexican case. International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(2), 229–236. <https://doi.org/10.32479/ijeep.10988>
- Akiner, M. E. (2025). *Structural Obstacles to Energy Transition in Türkiye and Holistic Solution Proposals: A Political, Economic and Social Dimensional Analysis. Energies*, 18(10), 2591. <https://doi.org/10.3390/en18102591>
- Algül, A., & Erenel, A. (2024). The impact of R&D expenditures on regional energy intensity in Turkey. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(5), 555–567. <https://doi.org/10.32479/ijeep.16907>
- Alka, T. A., Raman, R., & Suresh, M. (2025). Critical success factors for successful technology innovation development in sustainable energy enterprises. *Scientific Reports*, 15, Article 14138. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-98725-2>
- André, C., Costa, H., Demmou, L., & Franco, G. (2023). *Rising energy prices and productivity: Short-run pain, long-term gain?* (OECD Economics Department Working Papers No. 1755). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/2ce493f0-en>
- Ang, G., Röttgers, D., & Burli, P. (2017). *The empirics of enabling investment and innovation in renewable energy* (OECD Environment Working Papers No. 123). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/67d221b8-en>
- Aydın, M. (2016). Enerji verimliliğinin sürdürülebilir kalkınmadaki rolü: Türkiye değerlendirmesi. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 14(28), 409–441. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/comuybd/issue/43613/534094>
- Aytaç, D. (2020). *Emisyon vergileri, enerji fiyatları ve teknolojik yenilik*. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 13(3), 39–63.
- Ayyıldız, F. V., & Demirci, O. (2022). Ar-Ge harcama gruplarının ekonomik büyüme üzerindeki etkileri: Türkiye örneğinde yapay sinir ağları ile ARDL analizi. *Trends in Business and Economics*, 36(4), 346-358. <https://doi.org/10.5152/TBE.2022.1033642>
- Banerjee, P., Arčabić, V., & Lee, H. (2017). *Fourier ADL cointegration test to approximate smooth breaks with new evidence from crude oil market. Economic Modelling*, 67, 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.11.004>

- Behera, M. K., Paul, A., & Sahoo, D. (2025). The moderating role of renewable energy in the energy insecurity–economic growth nexus in the net oil-importing countries of G20. *Energy Research Letters*, 6, 132424. <https://doi.org/10.46557/001c.132424>
- Bozkaya, Ş. (2023). Jevons paradoksu çerçevesinde enerji tüketimi ve enerji verimliliği ilişkisi: G-7 ülkeleri örneği. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 55, 303–314. <https://doi.org/10.30794/pausbed.1116610>
- Chaouali, I., Ben Jebli, M., & Gam, I. (2023). An assessment of the influence of clean energy and service development on environmental degradation: Evidence for a nonlinear ARDL approach for Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 80364–80377. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28007-9>
- Dau Jarama, G., Vilema-Escudero, S. F., & Samaniego López, J. M. (2025). *Foreign direct investment and energy intensity in Latin America*. In M. Iñigo et al. (Eds.), *CITIS 2024: Communications in Computer and Information Science* (Vol. 1331, pp. 346–348). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87065-1_31
- Degirmenci, T., & Aydın, M. (2024). Türkiye’de çevresel inovasyon ve Ar-Ge harcamalarının düşük karbonlu enerji tüketimine etkisi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 25(2), 239–250. <https://doi.org/10.37880/cumuiibf.1382019>
- Demir, İ., & Korhan Barış, S. (2025). Energy Geopolitics and Policies: The Case of Türkiye. *European Journal of Technique (EJT)*, 15(1), 97-108. <https://doi.org/10.36222/ejt.1680126>
- Demir, M. (2025). Türkiye’nin iklim değişikliği politikaları ve 2053 net sıfır emisyon hedefi: Taahhütler, uygulamalar ve karşılaşılan güçlükler. *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 26(2), 53–66. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/itucis/issue/93813/1676939>
- Demirtaş, İ. (2013). *Enerji teknolojileri Ar-Ge politikaları: OECD ülke deneyimleri ve Türkiye karşılaştırması*. *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, 8(2), 119–132.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427–431. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531>
- Dogan, N., & Karay, M. (2019). The Impact of Renewable Energy Consumption and Energy Intensity on CO2 emissions from Fuel Combustions for the Case of Turkey: A

- Cointegration Analyses. *BİLTÜRK Ekonomi ve İlişkili Çalışmalar Dergisi*, 1(2), 169-187.
- Dube, A., & Horvey, S. S. (2023). Institutional quality and renewable energy capital flows in Africa: New evidence using nonlinear estimation. *Future Business Journal*, 9(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s43093-023-00234-Z>
- Eid, A. G., Mrabet, Z., & Alsamara, M. (2024). Assessing the impact of energy R&D on green growth in OECD countries: A CS-ARDL analysis. *Environmental Economics and Policy Studies*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10018-024-00413-4>
- Enders, W., & Lee, J. (2012). A unit root test using a Fourier series to approximate smooth breaks. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 74(4), 574–599. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2011.00662.x>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). *Enerji Verimliliği 2030 stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024–2030)*. <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimliliği/UlusalEnerjiVerimliliğiEylemPlanı/Belgeler/2UlusalEnerjiVerimliliğiEylemPlanı.pdf>
- Engle, R. F., & Granger, C. W. J. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251–276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- European Commission, & Republic of Turkey. (2020). *Instrument for Pre-Accession Assistance (IPA II) 2014–2020: Energy sector programme*. Delegation of the European Union to Turkey. https://enlargement.ec.europa.eu/document/download/44496bd7-a695-4bfd-8737-11fd16f4d0c7_en
- European Commission, Directorate-General for Energy. (2023, December 2). *Global Renewables and Energy Efficiency Pledge* (PDF). https://energy.ec.europa.eu/system/files/2023-12/Global_Renewables_and_Energy_Efficiency_Pledge.pdf
- European Commission. (2018). *Instrument for Pre-Accession Assistance (IPA II) 2014–2020: Support to the Energy Sector – Action summary* (p. 6). Retrieved from https://enlargement.ec.europa.eu/document/download/44496bd7-a695-4bfd-8737-11fd16f4d0c7_en?filename=ad_en.pdf

- Gan, J. (2025). *New insights into how green innovation, renewable energy, and institutional quality shape environmental sustainability in emerging economies*. *Frontiers in Environmental Science*, 13, 1525281. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1525281>
- Gerarden, T. D., Newell, R. G., & Stavins, R. N. (2015). *Assessing the energy-efficiency gap* (Faculty Working Paper No. 2015-04). Mossavar-Rahmani Center for Business & Government, Harvard Kennedy School. <https://www.hks.harvard.edu/sites/default/files/centers/mrcbg/files/mrcbg.fwp.2015-04.Stavins.ency.pdf>
- Gillingham, K., Rapson, D., & Wagner, G. (2015). *The rebound effect and energy efficiency policy*. *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(1), 68–88. https://environment.yale.edu/gillingham/GillinghamRapsonWagner_Rebound.pdf
- Grafström, J., Söderholm, P., Gawel, E., Lehmann, P., & Strunz, S. (2023). *Government support to renewable energy R&D: Drivers and strategic interactions among EU Member States*. *Economics of Innovation and New Technology*, 32(1), 1–24. <https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1857499>
- Gurizadeh, Y. (2020). Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde Türkiye'nin enerji politikasındaki dönüşüm. In F. Purtaş & F. H. Dikmen (Ed.), *Ekonomi ve politikada 100 yıllık miras ve gelecek perspektifi* (s. 187). Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi TODAİE Yayınları. https://www.researchgate.net/publication/375611298_Ekonomi_ve_Politikada_100_Yillik_Miras_ve_Gelecek_Perspektifi_kitabi_bolumu
- Hacıoğlu, H., Altuntaş, E., & Baran, M. F. (2024). Çeltik Üretiminde Enerji Bilançosunun Belirlenmesi (Çorum İli Osmancık İlçesi Örneği). *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2), 468-481. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1294152>
- Haseeb, M., Kot, S., Hussain, H. I., & Jermsittiparsert, K. (2019). *Impact of economic growth, environmental pollution, and energy consumption on health expenditure and R&D expenditure of ASEAN countries*. *Energies*, 12(19), 3598. <https://doi.org/10.3390/en12193598>
- Huseynli, B. (2023). Research and development expenditures and renewable energy: An empirical analysis in Türkiye. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(6), 1–12. <https://doi.org/10.32479/ijeep.14601>
- Hübler, M., & Keller, A. (2008). *Energy savings via FDI? Empirical evidence from developing countries* (Kiel Working Paper No. 1393). Kiel Institute for the World

- Economy. <https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/fis-import/fc81b496-a2f4-46ef-a190-14880b9b45b5-energy-savings-via-fdi-empirical-evidence-from-developing-countries.pdf>
- International Energy Agency. (2021). *Turkey 2021: Energy policy review*. OECD Publishing. <https://www.iea.org/reports/turkey-2021>
- International Energy Agency. (2022). *Energy efficiency 2022*. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2022>
- International Energy Agency. (2023). *Energy Efficiency: The Decade for Action*. IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-the-decade-for-action>
- Jin, L., Duan, K., & Tang, X. (2018). What is the relationship between technological innovation and energy consumption? Empirical analysis based on provincial panel data from China. *Sustainability*, 10(1), 145. <https://doi.org/10.3390/su10010145>
- Kaman, D., & Bozkurt, Y. (2025). Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre: Geleceği Şekillendirecek Stratejiler. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*(83), 299-316. <https://doi.org/10.51290/dpusbe.1581194>
- Karimu, A., & Brännlund, R. (2015). *Energy efficiency and the demand for energy: A heterogeneous panel approach*. SSRN. <https://ssrn.com/abstract=2703247>
- Kazemzadeh, E., Fuinhas, J. A., Shirazi, M., Koengkan, M., & Silva, N. (2023). Economic complexity and energy intensity: Evidence from club convergence and panel quantile regression models. *Energy Efficiency*, 16(29). <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10104-w>
- Koffi, I. E., Edem, E. X., & Bahamar, N. (2025). *Determinants of energy intensity in Bahrain: An econometric analysis using canonical and cointegrating regression approaches*. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 10(5), e5069. <https://jisem-journal.com/index.php/journal/article/view/11261/5240>
- Li, R., Yang, Z., & Wang, Q. (2025). *Does renewable energy reduce energy intensity? A matter of income inequality*. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(138). <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04439-1>
- Li, Y., Wang, Y., Hussain, M., & Jamil, M. (2022). Investigating the role of green energy investment and renewable energy consumption in reducing CO₂ emissions in China: Evidence from the bootstrap ARDL model. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 960795. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.960795>

- Liao, M., & Wang, Y. (2019). *China's energy consumption rebound effect analysis based on the perspective of technological progress. Sustainability.*
<https://doi.org/10.3390/su11051461>
- Liu, S., Shen, Z. Y., Štreimikienė, D., Baležentis, T., & Wang, R. (2024). Industry energy-environmental efficiency: Analysis from imports and regulatory policy in an emerging economy. *Energy Reports*, 12, 6112–6125.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.11.066>
- Liu, Y. (2023). Energy efficiency, cleaner energy and energy related prices: Evidence from dynamic generalised method of moments. *Economic Research-Ekonomiska Istraživanja*, 36(2), Article 2106280.
<https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2106280>
- Mara, E. R. (2025). *Mitigating energy poverty in the European Union welfare states through renewable energy and technological innovation.* *Economic Analysis and Policy*, 86, 438–460. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2025.03.026>
- Mecu, A.-N., Chițu, F., Marin, G.-I., & Hurduzeu, G. (2023). Analysis of the impact of energy efficiency and renewable energy on greenhouse gas emissions and economic growth in EU member states. *Amfiteatru Economic*, 25(Special Issue No. 17), 1149–1163. <https://doi.org/10.24818/EA/2023/S17/1149>
- Meijer, L. L. J., Huijben, J. C. C. M., van Boxstael, A., & Romme, A. G. L. (2019). *Barriers and drivers for technology commercialization by SMEs in the Dutch sustainable energy sector.* *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 114–126.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.050>
- Mete, M. H. (2025). Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında sanayide yeşil dönüşümün rolü. *Bölgesel Kalkınma Dergisi*, 3(1), 67–79.
<https://doi.org/10.61138/bolgeselkalkinmadergisi.1662812>
- Micocci, F., Ghodsi, M., & Rungi, A. (2023). *FDI and innovation dynamics: The role of foreign corporate groups and technological pathways in domestic green innovation.* Vienna Institute for International Economic Studies (wiiw). <https://wiiw.ac.at/fdi-and-innovation-dynamics-the-role-of-foreign-corporate-groups-and-technological-pathways-in-domestic-green-innovation-dlp-7345.pdf>
- Namoglu, M. (2021). Enerji alanında yapılan Ar-Ge harcamalarının enerji tüketimi üzerindeki etkisi: Almanya örneği. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22, 97–118. <https://doi.org/10.29029/busbed.924348>

- Naimoglu, M., & Akal, M. (2021). Enerji verimliliği üzerine arz ve talep yönlü genel bir bakış. *Verimlilik Dergisi*, 3, 3–20. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.698615>
- Nouira, R., Ben Salem, L., Saafi, S., & Rault, C. (2025, June). Renewable energy consumption and international trade: Does climate policy stringency matter? (IZA Discussion Paper No. 17955). IZA – Institute of Labor Economics. <https://docs.iza.org/dp17955.pdf>
- Ok-Ergün, H., & Ergün, T. (2023). Determinants of energy consumption in Turkey: Innovation and foreign direct investment. *Alanya Akademik Bakış Dergisi*, 7(3), 1029–1041. <https://doi.org/10.29023/alanyaakademik.1093590>
- Owoeye, T., Olanipekun, D. B., Ogunsola, A. J., & Adegboye, B. F. (2020). Energy prices, income and electricity consumption in Africa: The role of technological innovation. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(5), 392–400. <https://doi.org/10.32479/ijEEP.9494>
- Öncel, A. G. (2022). Enerji krizi, bağımlılığı ve cari açık: Karşılaştırmalı Türkiye örneği. *Journal of Economics Business and International Relations-JEBI*, 1(2), 228–239. <https://doi.org/10.58654/jebi.1204191>
- Özbek, S., & Naimoğlu, M. (2022). Çevre kalitesi-ekonomik karmaşıklık ilişkisi: Türkiye ekonomisi üzerine Fourier eşbütünleşme analizi. *İstanbul İktisat Dergisi*, 72(1), 407–431. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2022-1061837>
- Özsoy, T. (2022). The “energy rebound effect” within the framework of environmental sustainability. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 11(6), e517. <https://doi.org/10.1002/wene.517>
- Park, J. Y. (1992). Canonical cointegrating regressions. *Econometrica*, 60(1), 119–143. <https://doi.org/10.2307/2951679>
- Phillips, P. C. B., & Hansen, B. E. (1990). Statistical inference in instrumental variables regression with I(1) processes. *Review of Economic Studies*, 57(1), 99–125. <https://doi.org/10.2307/2297545>
- Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment–competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97–118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>
- Qayyum, A., Naimoglu, M., Sinha, A., & Dogan, E. (2021). The dynamic linkage between financial development, renewable energy consumption, technological innovation,

- and CO₂ emissions: Evidence from India. *Energies*, 14(15), 4505.
<https://doi.org/10.3390/en14154505>
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5, Part 2), S71–S102. <https://doi.org/10.1086/261725>
- SEE Action. (2011, July). *Analyzing and managing bill impacts of energy efficiency programs: Principles and recommendations*. U.S. Department of Energy.
https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-07/ratepayer_efficiency_billimpacts_0.pdf
- Shove, E. (2018). What is wrong with energy efficiency? *Building Research & Information*, 46(7), 779–789. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1361746>
- Simas, M., Wiebe, K. S., & Sodersten, C. J. (2022). *ILO yeşil işler değerlendirme modelinin Türkiye'ye uygulanması* (M. Harsdorff, Katk.). Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) Türkiye Ofisi. https://www.ilo.org/ankara/publications/WCMS_844181/lang--tr/index.htm
- Sorrell, S., Rivers, N., & Jaffe, A. B. (2021). Energy efficiency and the rebound effect. *Annual Review of Environment and Resources*, 46, 135–165.
<https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-084937>
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (1993). A simple estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems. *Econometrica*, 61(4), 783–820.
<https://doi.org/10.2307/2951763>
- Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2025, Ağustos 1). *Enerji verimliliği ve arz güvenliği özel ihtisas komisyonu raporu*. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2025/08/Enerji-Verimliliği-ve-Arz-Guvenligi-OIK-Raporu_01082025.pdf
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2017). *Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017–2023*. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü.
<https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/UlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1/Belgeler/UEVEP.pdf>
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). *Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik hedefleri ve 2053 net sıfır emisyon taahhüdü*. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
<https://enerji.gov.tr>

- T.C. Resmî Gazete. (2007, 2 Mayıs). Enerji Verimliliği Kanunu (Kanun No. 5627). Resmî Gazete, Sayı 26510, Tertip 5, Cilt 46.
<https://enerjiverimliliği.enerji.gov.tr/template/dist/pdf/EnerjiKanun.pdf>
- Tariq, G., Sun, H., Ali, I., Pasha, A. A., Khan, M. S., Rahman, M. M., Mohamed, A., & Shah, Q. (2022). The impact of green technology, energy efficiency, trade, economic growth, and FDI on climate change in South Asia. *Scientific Reports*, 12, Article 16365. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20432-z>
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7<509:AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509:AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z)
- Ünlü, U., Yıldırım, F., Kuloğlu, A., Ersoy, E., & Çetenak, E. H. (2022). Nexus between Renewable Energy, Credit Gap Risk, Financial Development and R&D Expenditure: Panel ARDL Approach. *Sustainability*, 14(23), 16232.
<https://doi.org/10.3390/su142316232>
- Wang, F., & Wang, R. (2021). The mechanism of driving green growth and decreasing energy security risks by innovation in China. *Sustainability*, 13(9), 4733.
<https://doi.org/10.3390/su13094733>
- Woo, C., & Chun, D. (2023). R&D performance and relevant factors of renewable energy projects: Separating innovation and economic perspectives. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(3), 2099–2110.
<https://doi.org/10.1007/s13762-022-04124-9>
- World Economic Forum. (2024). *Fostering effective energy transition 2024*. Geneva: World Economic Forum. <https://www.weforum.org/publications/fostering-effective-energy-transition-2024/>
- Yağış, O. (2024). Türkiye’de teknolojik yenilikler ve ekonomik büyümenin çevre kalitesi üzerindeki etkileri: ARDL sınır testi. *Abant Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(1), 103–117.
<https://doi.org/10.11616/asbi.1391389>
- Yi, J., Hou, Y., Zhang, X., & Liu, Y. (2023). *Foreign direct investment, environmental regulation and carbon emissions in China’s manufacturing industry: An empirical study based on heterogeneous sectors*. *Innovation and Green Development*, 2, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100086>

- Yu, M., Farooq, U., Tabash, M. I., Aljughaiman, A. A., & Almulhim, A. A. (2025). Technological innovation and trade orientation as drivers of renewable energy consumption: Evidence from G7 economies. *Global Challenges*, 9(1), 2400345. <https://doi.org/10.1002/gch2.202400345>
- Yurdakul, E. M. (2025). Türkiye’de Enerji İthalatını Belirleyen Faktörlerin Analizi. *Journal of Academic Value Studies*, 11(2), 71-83. <http://dx.doi.org/10.29228/javs.81126>
- Yurdakul, M., & Kazan, H. (2020). The effects of eco-innovation on financial and environmental performance: A resource-based view and natural-resource-based view approach. *Sustainability*, 12(8), 3167. <https://doi.org/10.3390/su12083167>
- Zapata, S., Uriona-Maldonado, M., & Herrera, M. M. (2024). Dynamic evaluation of renewable energy technologies using system dynamics and R&D policy scenarios. *Electricity*, 5(3), 526–545. <https://doi.org/10.3390/electricity5030026>
- Zhang, X., Xie, R., Mu, H., & Hu, X. (2025). Trade and the sustainable energy transition: Evidence from developed economies. *Sustainability*, 17(4), 1566. <https://doi.org/10.3390/su17041566>

