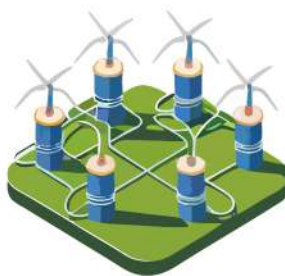


Enerji Ekonomisi Çalışmaları-1

Editor: Dr. Öğr. Üyesi Fatih Volkan Ayyıldız



Enerji Ekonomisi Çalışmaları-1

Editör:

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Volkan Ayyıldız



Published by

Özgür Yayın-Dağıtım Co. Ltd.

Certificate Number: 45503

📍 15 Temmuz Mah. 148136. Sk. No: 9 Şhitkamil/Gaziantep

☎ +90.850 260 09 97

📞 +90.532 289 82 15

🌐 www.ozguruyayinlari.com

✉ info@ozguruyayinlari.com

Enerji Ekonomisi Çalışmaları-1

Editor: Dr. Öğr. Üyesi Fatih Volkan Ayyıldız

Language: Turkish-English

Publication Date: 2025

Cover design by Mehmet Çakır

Cover design and image licensed under CC BY-NC 4.0

Print and digital versions typeset by Çizgi Medya Co. Ltd.

ISBN (PDF): 978-625-5646-12-5

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub757>



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>
This license allows for copying any part of the work for personal use, not commercial use, providing author attribution is clearly stated.

Suggested citation:

Ayyıldız, F. V. (ed) (2025). *Enerji Ekonomisi Çalışmaları-1*. Özgür Publications.

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub757>. License: CC-BY-NC 4.0

The full text of this book has been peer-reviewed to ensure high academic standards. For full review policies, see <https://www.ozguruyayinlari.com/>



Ön Söz

Enerji hayatın temel döngüsü içerisinde yer alan, üretim ve tüketim sürecinde önemli bir aktördür. Sanayi Devrimiyle birlikte buharlı makineler ve çeşitli teknolojik gelişmeler enerji alanında önemli bir mihenk taşı olarak yerini almıştır. Bu itibarla tarihsel süreç içerisinde enerji ekonomisi önemini giderek hissettirmiştir ve disiplinler arasında kendini ayrı konumlandırmıştır. Enerji Ekonomisi Çalışmaları serisinin ilki olan “*Enerji Ekonomisi Çalışmaları I*” adlı bu eser, enerji ekonomisi alanında yapılan güncel akademik çalışmaları bir araya getirerek okuyuculara hem teoride hem de uygulamada geniş bir perspektif kazandırmayı amaçlıyor.

Enerji Ekonomisi Çalışmaları I kitabı; bankacılık sektöründe enerji ekonomisinden, hidrojen ekonomisine, elektrik tüketiminden akıllı enerjiye, enerji tüketiminden iktisadi büyüme ve gelir dağılımına kadar enerjiyle ilgili güncel ve dikkat çekici konu başlıklarını içermektedir. Kitap, enerji ekonomisine ilgi duyan herkes için kapsamlı ve disiplinler arası bir kaynak niteliği taşımaktadır.

Bu değerli esere; Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Atatürk Üniversitesi, Bitlis Eren Üniversitesi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Kastamonu Üniversitesi ve Ordu Üniversitesi’nden toplam sekiz farklı yazar katkı sunmuştur. Alanlarında uzman bu araştırmacıların ve akademisyenlerin özgün çalışmaları, kitabı daha da zengin ve anlamlı kılmıştır.

Kitapta yer alan bölümler şunlardır:

- “Enerji Tüketimi, İktisadi Büyüme ve Gelir Dağılımı İlişkisi: E-7 Ülkeleri Üzerine Bir Analiz” - Prof. Dr. Adem Üzümcü ve Araştırma Görevlisi Nur Koç
- “Türkiye’nin Hidrojen Ekonomisine Geçiş: Yenilenebilir Enerji Potansiyeli, Jeopolitik Konum ve Lojistik Altyapı” - Doç. Dr. Bülent Yıldız ve Doktora öğrencisi Oğuzhan Yavuz
- “Tüketimin Nabızı: Türkiye’de Elektrik Kullanımı, İşsizlik ve Enflasyon İlişkisi” - Dr. Öğr. Üyesi Ufuk Işık
- “Smart Cities and Smart Energy: Living Spaces of The Future” - Doktora öğrencisi Halil Cem Teler ve Dr. Öğr. Üyesi Ş. Mustafa Ersungur

- “Bankacılık Sektöründe Enerji Ekonomisine Yönelik Olarak Yapılan Çalışmalar” - Dr. Öğr. Üyesi Esra Dursun

Serinin ilk eserine katkı sağlayan tüm yazarlara ve bize bu imkânı sağlayan Özgür Yayınevi'ne ayrıca teşekkür ederim. Enerji Ekonomisi Çalışmaları serisi; akademisyenler, lisans/lisansüstü öğrenciler, enerji sektörü profesyonelleri, politika yapıcıları ve konuya ilgi duyan tüm okuyucular için bu alanda ses getirecek temel bir akademik başvuru kaynağı olmayı hedeflemektedir. Seri, bu ilk eserle ve gelecek ciltleriyle birlikte hedefleri doğrultusunda ilerlemeye devam edecektir.

İçindekiler

Ön Söz

iii

Bölüm 1

Enerji Tüketimi, İktisadi Büyüme ve Gelir Dağılımı İlişkisi: E-7 Ülkeleri Üzerine Bir Analiz

1

Adem Üzümcü

Nur Koç

Bölüm 2

Türkiye'nin Hidrojen Ekonomisine Geçişi: Yenilenebilir Enerji Potansiyeli, Jeopolitik Konum ve Lojistik Altyapı

29

Bülent Yıldız

Oğuzhan Yavuz

Bölüm 3

Tüketimin Nabızı: Türkiye’de Elektrik Kullanımı, İşsizlik ve Enflasyon İlişkisi

55

Ufuk Işık

Bölüm 4

Smart Cities and Smart Energy: Living Spaces of The Future

71

Halim Cem Teleri

Şaban Mustafa Ersungur

Bölüm 5

Bankacılık Sektöründe Enerji Ekonomisine Yönelik Olarak Yapılan Çalışmalar

103

Esra Dursun

Enerji Tüketimi, İktisadi Büyüme ve Gelir Dağılımı İlişkisi: E-7 Ülkeleri Üzerine Bir Analiz

Adem Üzümcü¹

Nur Koç²

Özet

Literatürde enerji tüketimi ile iktisadi büyüme ilişkisini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmakta, bu iki değişken arasında çoğunlukla eş bütünleşme ilişkisi ve nedensellik ilişkisi bulunduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Ayrıca literatürde kişi başına gelir ile enerji tüketimi bağlamında CO₂ salınımı arasındaki ilişkinin de Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) çerçevesinde ele alındığı görülmektedir. Bu çalışmada literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak enerji tüketimi ve iktisadi büyüme ilişkisi gelir dağılımını dikkate alan biçimde incelenmektedir. Bu çerçevede çalışmada birincil enerji tüketiminin değişim oranı, iktisadi büyüme oranı (GSYİH artışı) ve gelir dağılımındaki eşitsizliği temsilen Gini Katsayısına analizde yer verilmektedir. Çalışmada bu üç değişken arasındaki ilişki, Gelişen 7 ülke (Çin, Hindistan, Rusya, Brezilya, Meksika, Endonezya ve Türkiye) örneğinde 2010-2023 dönemi itibarıyla panel veri analizine tabi tutulmaktadır.

Çalışmanın ampirik analizi çerçevesinde öncelikle panel veri analizi bağlamında yatay kesit bağımlılık ve birim kök testi gerçekleştirilmiş, Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen eş-bütünleşme analizi sonrası Kesitler Arası Korelasyon Etkileri Grup Ortalaması Tahmincisi (CCEMG) ve Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi (AMG) ile panel tahmini yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre E7 ülkeleri örneğinde incelenen dönem itibarıyla değişkenler arasında eş-bütünleşme ilişkisi olduğu bulgusuna

1 Prof. Dr. Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İİBE, Uluslararası Ticaret ve Finansman Bölümü, adem.uzumcu@hbu.edu.tr , ORCID ID: 0000-0002-8699-053X

2 Araştırma Görevlisi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İİBE, Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik Bölümü, nur.koc@ikc.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4063-8802 Doktora öğrencisi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uluslararası Ticaret ABD.

ulaşmıştır. Enerji tüketimi ile iktisadi büyüme değişkenleri arasında pozitif ilişki olduğu da model tahmincileriyle yapılan analizlerde ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda CCEMG tahmincisiyle yapılan analizde iktisadi büyüme oranındaki bir birimlik artışın E7 ülkeleri örneğinde 2010-2023 döneminde enerji tüketimini ortalama 1.58 birim arttırdığı tespit edilmiştir. Ampirik analiz çerçevesinde AMG tahmincisine göre de iktisadi büyüme oranındaki bir birimlik artışın enerji tüketimini ortalama 0.65 birim arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. CCEMG ve AMG tahmincisine göre enerji tüketiminin bağımlı değişken olduğu modelde gelir dağılımı adaletsizliğini temsil eden Gini katsayısı değişkeninin işareti negatif olarak bulunmuş ve enerji tüketimi ile gelir dağılımı ilişkisi bağlamında istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır.

1. Giriş

Fosil enerji kaynaklarının giderek azaldığı günümüzde dünyada enerji kaynaklarının önemi gitgide artmakta, enerji kullanımı hızlı şekilde artan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde enerjinin istikrarlı ve ucuz kaynaklardan temini, ya da bir başka deyişle enerji arzının istikrarı büyük önem taşımaktadır. Enerji arzındaki istikrarın önemi; enerjinin neredeyse tüm üretim faaliyetleri içinde yer alması, iktisadi büyüme açısından enerjinin önemli bir girdi olması ve bir ülkenin vatandaşlarının daha yüksek yaşam standardını sürdürmesinin enerji teminine bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Enerjinin önemi 1973 petrol şoku (enerji fiyatlarındaki yüksek artışlar) sonrası çok daha iyi anlaşılmıştır. Arap-İsrail savaşı nedeniyle petrol fiyatlarının beş katına çıktığı petrol şoku sonrası gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, enerji ihtiyaçlarını sağlam, ucuz, alternatif kaynaklardan sağlama yanı sıra enerjinin daha etkin (verimli ve tasarruflu) kullanılmasının önemini farkına varmışlardır. Dolayısıyla enerji arz istikrarı ve enerjinin etkin kullanımı, iktisadi büyüme başta olmak üzere Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için geleceğe dönük planlama yapılması gereken konular arasında önemli yer tutmaktadır.

Birçoğu geçmişte sömürgelerinden elde ettikleri ucuz hammadde ve enerji kaynakları sayesinde yüksek oranda istikrarlı büyüme sağlayarak kalkınan zenginleşen sanayileşmiş/gelişmiş ülkeler ile bazıları hammadde, madenler ve enerji arz kaynakları açısından zengin ama çoğunluğu enerji arz kaynakları açısından yetersiz rezervlere sahip kişi başına gelir açısından yoksul, gelir dağılımı bozuk az gelişmiş ülkeler arasındaki gelişmişlik/kalkınmışlık farkları ve dalgalı enerji fiyatları, hem bu ülkelerde yoksulluğun devamını sağlamakta, hem de bu ülkelerin bulunduğu coğrafyalar çoğunlukla çatışma ve savaş alanı haline gelmektedir. Bu bağlamda dünyanın geleceğinde gıda ve su yanında enerji kaynaklarının belirleyici olduğu açıktır. Bu çerçevede özellikle az gelişmiş ve bazı gelişmekte olan ülkeler, hem istikrarlı biçimde iktisadi büyümelerini sağlamak, hem de vatandaşlarının yaşam standartlarını

yükseltici zenginleşme hedefine nispi gelir dağılımı adaletini de sağlayarak ulaşmak istemektedir.

Öte yandan gelişmekte olan ülkeler yüksek yaşam standartlarında enerji tüketiminin artacağına da farkındadır. Dolayısıyla bu ülkeler, üç hedefe aynı anda ulaşmak istemektedirler. Bu üç hedef; zenginleşmek için istikrarlı iktisadi büyüme oranları tutturmak, zenginleşirken gelir dağılımı adaletini sağlayan politikalar üretmek ve zenginliğin/daha yüksek yaşam standardının bir gereği ve üretim sürecinin zorunlu bir girdisi olarak enerji arz güvenliğini, enerji tüketimini sağlam kaynaklardan tedarik etmek olarak belirtilebilir. Bu bağlamda bu çalışmada dünyanın en büyük ekonomileri arasında bulunan ve gelişen 7 ülke (Emerging Seven – E 7) olarak adlandırılan enerji kaynakları/ rezervleri ve enerji tüketimi düzeyleri birbirinden farklı olan Çin, Hindistan, Brezilya, Rusya, Endonezya, Meksika ve Türkiye örneğinde enerji tüketimi, iktisadi büyüme ile gelir dağılımı arasındaki ilişkiler analiz edilmektedir.

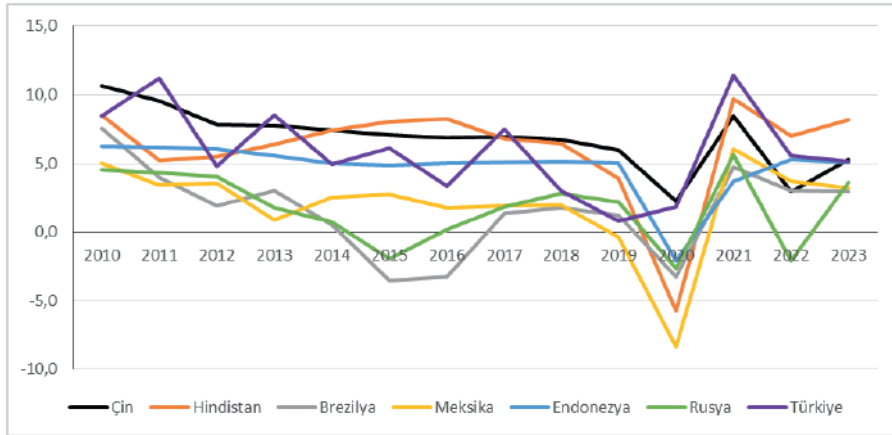
Çalışmanın planı şu şekildedir. Girişin ardından ikinci başlıkta E7 ülkelerinde enerji tüketimi, iktisadi büyüme ve gelir dağılımı adaletsizliğinin genel durumu kısaca gösterilmekte, üçüncü başlıkta teorik çerçeve, yani enerji tüketimi, iktisadi büyüme ve gelir dağılımı değişkenlerinin arasındaki ilişkiler üzerinde durulmakta, dördüncü başlıkta değişkenler arasındaki ilişkiyi inceleyen literatüre değinilmektedir. Beşinci başlıkta E-7 ülkelerinin 2010-2023 dönemi iktisadi büyüme oranları, enerji tüketimi değişim oranları ve gelir dağılımına ilişkin Gini katsayılarından oluşan veri seti kullanılarak yapılacak çalışmanın yöntemi tanıtılmaktadır. Altıncı başlıkta E-7 ülkeleri örneğinde panel veri analizi çerçevesinde istatistiksel testlerin uygulandığı ampirik analiz bulguları yer almaktadır. Son başlıkta uygulama sonucu elde edilen bulgular yorumlanmakta, ayrıca kısaca sonuç ve önerilere yer verilmektedir.

2. E-7 Ülkelerinde Enerji Tüketimi, İktisadi Büyüme ve Gelir Dağılımı

Gelişen 7'ler terimi, dünyanın en büyük mali denetleme şirketlerinden Pricewaterhouse'un raporunda 2006 yılında dile getirilmiştir (Hawksworth ve Cookson, 2008). Dünya Bankası verilerine göre dünya yüzölçümünün %30'unu kaplayan E7 ülkeleri (Dünya Bankası, 2025a), 2023 yılı itibarıyla 8,1 milyara yaklaşan dünya nüfusunun 3,7 milyarını, bir başka deyişle dünya toplam nüfusunun yaklaşık %46'sını barındırmaktadır. E7 ülkeleri içinde özellikle Hindistan (1 milyar 438 milyon) ve Çin (1 milyar 411 milyon) dünyanın en kalabalık nüfusuna sahip iki ülkesi olarak göze çarpmaktadır. (Dünya Bankası, 2025b)

Dünya Bankası verilerine göre GSYİH düzeyi olarak bakıldığında 2023 yılı itibarıyla 106 trilyon dolara ulaşan dünya GSYİH düzeyinin yaklaşık 30 trilyon dolarını E7 ülkelerinin ürettikleri görülmektedir. Bir başka deyişle dünya GSYİH düzeyinin 2023 yılı itibarıyla %28,1'ni E7 ülkeleri üretmiştir (Dünya Bankası, 2025c). Bu bağlamda 1990'lı yıllarda iktisadi büyüklükleri Gelişmiş 7'ler (Group Seven – G7) ülkelerinin yarısı kadar olan E7 ülkeleri, 2000'li yılların başından itibaren G7 ülkelerinin reel GSYİH büyüme oranlarının üzerinde iktisadi büyüme performansı göstermişlerdir. Bu çerçevede E7 ülkeleri, son 20-25 yıl boyunca önemli ölçüde gelişerek dünyanın en güçlü ekonomileri arasına girmiş ve G7 ülkeleri ile neredeyse aynı büyüklüğe ulaşmıştır. (Kırca ve Ertekin, 2020: 292).

E7 ülkelerinin 2010-2023 dönemi büyüme oranlarının gelişimi Grafik 1'de yer almaktadır. Grafikte görüldüğü üzere bu dönemde E7 ülkeleri içinde görece zayıf büyüme oranları Rusya ve Brezilya'da yaşanmıştır. Öte yandan bu dönemde Çin, Hindistan ve Endonezya'nın istikrarlı ve yüksek oranda büyüdüğü, özellikle Hindistan'ın 2015 yılı sonrası Çin'den daha yüksek iktisadi büyüme oranlarına ulaştığı söylenebilir. Türkiye'nin bu üç ülkeyle kıyaslandığında görece yüksek oranda büyüdüğü, ancak istikrarsız büyüme oranlarına sahip olduğu dikkati çekmektedir.



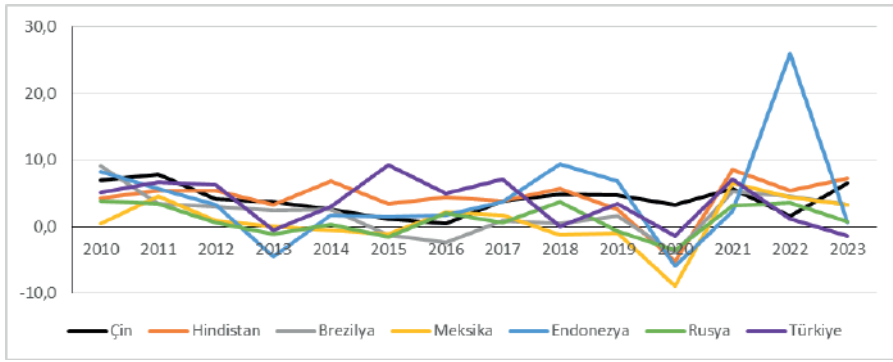
Grafik 1: E7 Ülkeleri Reel Büyüme Oranlarının Gelişimi (2010-2023, Yıllık % Değişme)

Kaynak: Dünya Bankası (2025d).

Yine grafikte görüldüğü üzere Covid 19 pandemisi nedeniyle Çin ve Türkiye hariç diğer 5 ülkenin 2020 yılında negatif büyüme bölgesine girdiği, Hindistan'ın %6 ve Meksika ekonomisinin %8 civarında küçüldüğü, Rusya

ekonomisinin ise hem pandemi nedeniyle 2020'de hem de Ukrayna savaşı nedeniyle 2022'de küçüldüğü anlaşılmaktadır. Ayrıca petrol fiyatlarının gerilediği 2015 ve 2016'de petrol ihracatçısı Rusya ve Brezilya ekonomilerinin küçüldüğü de dikkat çekmektedir.

Daha önceleri BP günümüzde ise Enerji Enstitüsü (2024) tarafından sağlanan dünya enerji istatistikleri verilerine göre E7 ülkelerinin bu dönemde birincil enerji tüketimlerdeki yıllık değişim Grafik 2'de yer almaktadır. Grafikte görüldüğü üzere Covid 19 pandemisi nedeniyle 2020 yılı ve bazı yıllar hariç E7 ülkelerinin enerji tüketimlerinin pozitif bölgede olduğu ortalama olarak %5 ile %10 arasında artış gösterdiği söylenebilir. İstisnai olarak Endonezya'nın 2022 yılı itibarıyla enerji tüketimindeki artış oranı %26 civarına ulaşmıştır.



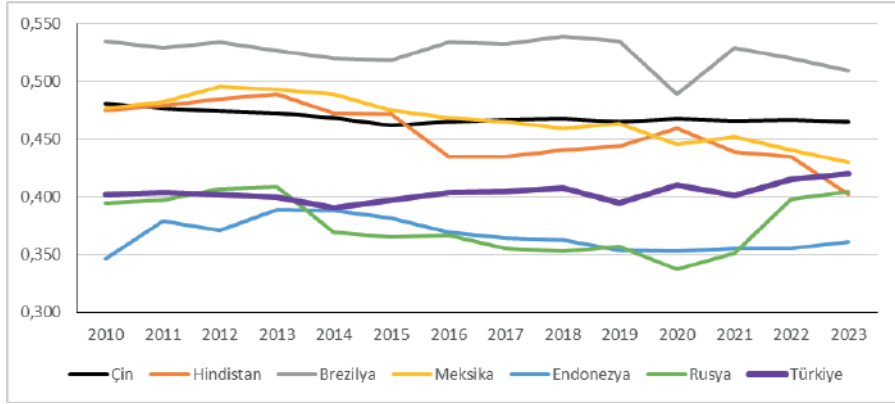
Grafik 2: E7 Ülkeleri Birincil Enerji Tüketimlerinin Gelişimi (2010-2023, Yıllık % Değişme)

Kaynak: Enerji Enstitüsü (2024).

İki grafik bir arada değerlendirildiğinde E7 ülkelerinde yüksek oranda iktisadi büyüme sağlanan yıllarda bu ülkelerin birincil enerji tüketimlerinin de arttığı, aksine ekonomik küçülme yaşanan yıllarda birincil enerji tüketim artış oranlarının zayıfladığı ve pandemi nedeniyle 2020'de Çin hariç diğer altı ülkenin enerji tüketiminin belirgin biçimde azaldığı (örneğin Meksika %8,9, Endonezya %5,9 ve Hindistan %5,2) söylenebilir.

E7 ülkeleri yüksek oranlı büyüme performansı gösteren ülkeler olmakla birlikte genel olarak gelir dağılımı adaletini sağlama noktasında sorunlu ülkelerdir. Bilindiği üzere gelir dağılımı adaletsizliğini ölçmede kullanılan Gini katsayısı 0 ile 1 değerleri arasındadır. Gini katsayısı değeri bire doğru yaklaştıkça gelir dağılımı adaletsizliği artmakta, sıfıra doğru yaklaştıkça nispi

gelir dağılımı düzelmektedir. Bu bağlamda Grafik 3’de E7 ülkelerinde 2010-2023 dönemi gelir dağılımı adaletsizliğinin durumu yer almaktadır.



Grafik 3: E7 Ülkelerinde Gini Katsayısının Gelişimi (2010-2023, %)

Kaynak: Dünya Bankası (2025e) ve TÜİK (2024).

Grafikte görüldüğü üzere özellikle Brezilya, Çin, Hindistan ve Meksika’da Gini katsayı değerleri oldukça yüksek düzeydedir. Bununla birlikte bu dönem boyunca Hindistan ve Meksika’da Gini katsayısının düzleşme yönünde bir eğilim gösterirken Türkiye ve Rusya’da kötüleşme eğilimi olduğu dikkati çekmektedir. E7 ülkeleri içinde görece en düşük Gini katsayılarının Endonezya’da olduğu, bir başka deyişle E7 ülkeleri içinde görece gelir dağılımı adaletsizliğinin daha az olduğu ülkenin Endonezya olduğu anlaşılmaktadır.

3. Teorik Çerçeve

Enerji üretimi/tüketimi ve iktisadi büyüme ilişkisine teorik çerçevede bakıldığında enerji tüketimi ve iktisadi büyüme ilişkisi konusunda iktisatçılar arasında tam bir uzlaşma bulunmadığı görülmektedir. Özellikle iktisadi büyüme ve enerji tüketimi arasında doğrusal ilişki kuranlar yanında çevreci/ekolojik görüş noktasından eleştirel bakışa sahip iktisatçıların belirgin yaklaşım farklılıkları bulunmaktadır (Ockwell, 2008: 4601). Bu bağlamda enerji tüketimi ve iktisadi büyüme ilişkisinde dört farklı olasılıktan hareket eden dört farklı yaklaşımdan söz edilebilir. Bu yaklaşımlar; büyüme hipotezi, korumacı/çevreci (conservation) hipotez, nötrallite hipotezi ve feedback etkisi hipotezleridir (Apergis ve Payne, 2009: 212).

Birinci yaklaşım *büyüme hipotezinde*, enerji tüketiminin işgücü ve fiziki sermayenin tamamlayıcısı bir üretim faktörü olarak üretim sürecinde

doğrudan ve dolaylı biçimde etkili olduğu ve iktisadi büyüme sürecinde önemli rol oynadığı ileri sürülmektedir. Enerji tüketiminin büyümenin bir çeşit motoru (engine of growth) olduğunu ileri süren hipoteze göre enerjiye bağımlı bir ekonomide enerji tüketiminde görülen bir artış reel GSYİH'ı artıracaktır. Bu hipoteze göre enerji tüketimini azaltıcı aşırı korumacı (çevreci) politikalar, reel GSYİH artışını olumsuz etkileyebilir. Bununla birlikte bu hipotezin aksine enerji tüketimi ile iktisadi büyüme arasında negatif ilişki oluşabileceğini ileri süren az sayıda açıklamalar da bulunmaktadır. Buna göre, örneğin ekonomide üretim daha az enerji yoğun hizmetler sektörüne doğru yönelirse büyüyen bir ekonomide daha az enerjiye ihtiyaç duyulabilir. Ayrıca bir ülke ekonomisindeki aşırı enerji kullanan ancak verimliliği düşük sektörlerde etkin olmayan enerji arzı söz konusu olduğunda enerji tüketiminin reel GSYİH artışı üzerinde negatif etkisi olabilecektir (Çam Karakaş, Üzümcü ve Karakaş, 2019: 318).

İkinci yaklaşım *korumacı/çevreci hipoteze* göre enerji tüketimini düşüren ve enerji israfını azaltan çevreci/enerji etkinliğini artıran enerji politikaları, reel GSYİH artışına dönük olumsuz yan etkiler üretmemektedir. Bu hipotezi savunanlar olası reel GSYİH artışının enerji tüketimini artılabileceğini kabul etmektedirler. Bununla birlikte politik istikrarsızlık, altyapı sorunları ve kaynakları verimsiz kullandığı için büyüme oranı potansiyelin altında kalan bir ekonomide etkinsizlik oluşabilir ve bu durumda mal ve hizmet talepleri düşük oranda gerçekleşeceği için enerji tüketimi düşük düzeyde kalabilir (Squalli, 2007: 1193-1194).

Üçüncü yaklaşım *nötrallite hipotezinde*, enerji tüketiminin toplam hasılanın (GSYİH) küçük kısmını oluşturduğu ileri sürülmektedir. Bu çerçevede enerji tüketiminin talep yönlü büyüme üzerinde etkisinin minimal olacağı, dolayısıyla enerji tüketiminin iktisadi büyüme üzerindeki etkisinin nötr olabileceği düşüncesine dayanılmaktadır (Wolde-Rufael, 2005: 893). Bu hipotezde enerji etkinliğine dayalı çevreci enerji politikalarının iktisadi büyüme üzerinde olumsuz etkilerinin olmayacağı ileri sürülmekte, ayrıca enerji sektörünün GSYİH içindeki yeri görece küçük olduğu için enerji tüketimi ile büyüme arasında nedensellik ilişkisinin bulunmadığı belirtilmektedir.

Dördüncü yaklaşım, *geri besleme (feedback) etkisi hipotezine* göre enerji tüketimi ve iktisadi büyüme arasında birbirlerini olumlu yönde etkileyen ve süreklilik arz eden geri besleme etkileri bulunmaktadır. Bu yaklaşıma göre enerji tüketimi ile iktisadi büyüme arasında nedensellik ilişkisi çift yönlüdür. Enerji tüketiminde verimliliği artıran enerji politikaları, iktisadi büyüme üzerinde uzun dönemli verimliliği artırıcı etkiler doğurduğu için büyüme üzerinde olumsuz etki oluşturmayacaktır (Apergis ve Payne, 2009: 212).

İktisadi büyüme ile gelir dağılımı (adaletsizliği) ilişkisine yönelik farklı görüşler bulunmaktadır. Bu bağlamda gelir dağılımındaki eşitsizliğin iktisadi büyümeye pozitif katkı yaptığı görüşü yanı sıra iktisadi büyümenin olumsuz etkileneceğine yönelik argümanlar da ileri sürülmektedir. Ayrıca iktisadi büyümeden gelir dağılımına doğru ilişkiye bakıldığında iktisadi büyümenin doğal olarak gelir dağılımını bozacağını ileri süren görüşler olduğu gibi belirli koşullar altında iktisadi büyümenin gelir dağılımı adaletinin sağlanmasına katkı sağlayabileceği de belirtilmektedir.

Öncelikle gelir dağılımından iktisadi büyümeye doğru ilişkiye bakılırsa teorik çerçevede yüksek düzeyde gelir dağılımı eşitsizliğinin iktisadi büyümeyi pozitif etkileyeceği belirtiliyor, gelir dağılımı adaletsizliğinin iki yoldan iktisadi büyümeye katkı sağladığı vurgulanıyordu. Bu yollardan ilkinde göre gelir eşitsizliği, bireyleri çalışmaya ve beşeri sermayelerine (eğitimlerine) yatırım yapmaya teşvik etmek suretiyle iktisadi büyümeyi arttırabilmektedir. İkinci olarak, bir ülkedeki yüksek gelir gruplarının tasarruf ve yatırım eğilimleri yüksek olacağı için gelir eşitsizliğinin yatırımlar aracılığıyla daha yüksek bir iktisadi büyümeye neden olacağı ileri sürülmektedir (Erkişi ve Ceyhan, 2020: 197).

Öte yandan gelir dağılımı eşitsizliğinin iktisadi büyümeyi olumsuz yönde etkileyebileceği görüşleri de bulunmaktadır. Bu yaklaşıma göre gelir dağılımındaki eşitsizlikler toplumdaki dezavantajlı grupların istihdam olanaklarını azaltmaktadır. Bu durum ülkedeki toplumsal dinamizmi azaltmakta ve iktisadi büyüme potansiyelini sınırlandırmaktadır. Böylesi bir durumda uygun bir devlet politikası (eğitim politikası, sosyal yardım politikaları vb.) izlenmezse iktisadi büyüme performansı düşük olacaktır (Üzümcü, 2018). Ayrıca gelir eşitsizliği popülist politikalara neden olup, yatırımlar yerine gösteriş tüketimine kaynakların kaymasına yol açabilmekte, gösteriş tüketimine yönelik iç ve dış borçlanmayı arttırarak iktisadi büyümeyi yavaşlatıcı etkilerin olacağı bazı Güneydoğu Asya ve Afrika ülkelerinde buna benzer olumsuzlukların yaşandığı belirtilmektedir.

Ayrıca bazı iktisatçılar piyasa ekonomilerinde iktisadi büyüme sürecinin gelir dağılımında yaşanan bozukluklara ihtiyaç duyduğunu belirtmektedir. Bu bağlamda üç argümana dayanılmaktadır. İlk olarak servet/gelir getirici varlıklar dünyada uzun yıllardan beri dengesiz biçimde dağıldığı için iktisadi büyüme, zengin kesimleri daha da zenginleştirmekte ve gelir dağılımında adaletsizliği arttırmaktadır. İkinci olarak teknolojik yenilikler kalifiye/vasıflı ve eğitimli işgücüne yarar sağlayarak nitelikli işgücü lehine gelir farkları artacağı için gelir dağılımı bozulmaktadır. Üçüncü olarak servet/varlık sahipleri borçlanma noktasında teminat gösterme imkanına sahip olduğu için

görece varlıklı/zengin kişilerin yatırım kredilerini kullanarak zenginliklerini daha fazla artırarak gelir dağılımı uçurumunun sürmesinin dinamiklerinin yeniden üretilebildiği ifade edilmektedir (İsagiller, 2007: 85).

İktisadi büyüme ve gelir dağılımı arasındaki ilişki iktisat literatüründe ilk olarak Kuznets (1955) tarafından araştırılmış ve Kuznets Hipotezi ortaya atılmıştır. Bu hipoteze göre, düşük gelir seviyeli ülkelerde gelir eşitsizliği nispeten azdır. İktisadi büyüme sürecinde fert başına düşen gelir artışıyla birlikte gelir dağılımında eşitsizlik artmaktadır. Fakat iktisadi büyümenin daha ileri safhalarında gelir dağılımı eşitsizliği azalma trendine girmektedir. Kuznets'in bu yaklaşımına göre gelir dağılımı ile kişi başına gelir düzeyi arasındaki ilişki “ters U-eğrisi” şeklinde ortaya çıkmaktadır (Özdemir vd., 2011).

Kuznets (1955)'e göre iktisadi büyümenin ilk aşamasında tasarruf yapabilenler yüksek gelirli bireylerdir. En düşük gelirli kısım hiç tasarruf yapamamaktadır. Bu aşamada sermayenin görece kıt olması, sermaye sahibi zengin bireylerin yaptıkları yatırımlardan elde ettikleri kârlarla zenginliklerinin artmasına sebep olarak gelir eşitsizliğini arttıracaktır. (Üzümcü, 2018). Ancak iktisadi büyüme sürecinde sermaye birikiminin sağlanması, düşük gelir grubundakilerin tasarruf ve gelir artışlarına yol açabilecektir. Böylece gelir dağılımı zamanla düzelebilecektir. Kuznets'in yaklaşımına göre bir az gelişmiş ekonomide tarım kesiminde düşük gelir düzeyi gelir dağılımı açısından adaletsizliğin görece zayıf olduğu bir durum sunmaktadır. Kuznets hipotezine göre özetle iktisadi büyüme sürecinde tarım dışı sektörlerin (sanayi ve hizmetler) öne çıkmasıyla gelir dağılımı bozulmaktadır. Ancak gelirin arttığı ileri aşamalarda adaletsizlik azalma trendine girmektedir (Çakmak ve Tosun, 2017: 35-36).

Kuznets Hipotezi, 1950-1970 arasında yapılan ampirik analizler çerçevesinde desteklenmiştir. Bu görüşe karşı eleştiriler 1970'li yılların ortalarından itibaren ortaya çıkmış, son yıllarda ise iktisadi büyümeye rağmen gelir eşitsizliğinin azalmadığını gösteren bulgulara sahip araştırmalar çerçevesinde Kuznets Hipotezi eleştirilmiştir (Alpdoğan, 2023: 262). Bu bağlamda Kuznets'in gelir dağılımı ve iktisadi büyüme arasında olduğunu ileri sürdüğü “ters U eğrisi” görüşünün reddeden çalışmalar bulunmaktadır. Bunlar arasında örneğin Huang ve diğerlerinin (2012) çalışması, Ak ve Altıntaş (2016)'ın çalışması ile Çakmak ve Tosun (2017)'un çalışmasında gelir dağılımı ile iktisadi büyüme ilişkisi “düz U” şeklindedir. Öte yandan bu eğrinin bu iki ihtimal, yani ters U veya düz U biçiminde olmayabileceği de belirtilmektedir. Örneğin Theyson ve Heller (2015) bu eğrinin “S” biçiminde olabileceğini, List ve Gallet (1999), Tribble (1999), Gallet ve

Gallet (2004) “yatay-S” biçiminde olabileceğini, Akalın vd. (2018) ise kübik model çerçevesinde “ters-N” biçiminde olduğunu ileri sürmektedir (Aktaran Erkişi ve Ceyhan, 2020: 196).

4. Literatür

Enerji tüketimi ile iktisadi büyümeyi doğrudan veya dolaylı olarak ilişkilendiren çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların önemli kısmında sadece bir veya birkaç ülke örneğinde zaman serisi analizleri kullanılmaktadır. Bu çerçevede standart regrasyon analizleri, eşbütünleşme testleri, hata düzeltme modeli ve nedensellik analizleri yapılmaktadır. 2000 yılı sonrasındaki çalışmalarda ise çok sayıda ülkeyi içine alan panel veri analizleri yapılmakta, bu çerçevede enerji tüketimi ile iktisadi büyümeyi ilişkilendiren panel eşbütünleşme ve nedensellik analizlerinin kullanıldığı görülmektedir.

Enerji tüketimi ve iktisadi büyüme arasındaki ilişkiyi tek bir ülke bazında ele alan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu bağlamdaki ilk çalışma olan Kraft ve Kraft (1978) çalışmalarında ABD örneğinde 1947-1974 dönemi verilerini kullanarak Granger nedensellik analizini gerçekleştirmiş ve nedensellik ilişkisinin iktisadi büyümeden enerji tüketimine doğru gerçekleştiği sonucuna ulaşmışlardır. Abosedra ve Baghestani (1989), ABD örneğinde 1947-1987 dönemi için enerji tüketimi ve iktisadi büyüme ilişkisini eşbütünleşme ve Granger nedensellik analizi ile araştırmıştır. Çalışmada iktisadi büyümeden enerji tüketimine doğru nedensellik ilişkisi bulgusuna ulaşılmıştır. Stern (2000), ABD örneğinde 1948-1994 dönemi için enerji tüketimi ile iktisadi büyüme ilişkisini çok değişkenli eşbütünleşme ve Granger nedensellik analizi altında incelemiş, enerji tüketiminden iktisadi büyümeye doğru nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Paul ve Bhattacharya (2004), enerji tüketimi ile iktisadi büyüme arasındaki nedensel ilişkiyi Hindistan için araştırmışlardır. 1950-1996 dönemine ait verilerle yapılan analizler, değişkenlerin karşılıklı etkileşim içinde olduklarını ve çift yönlü nedensellik ilişkisini göstermiştir. Lise ve Montfort (2007) Türkiye örneğinde 1970-2003 dönemini ele aldıkları çalışmada eşbütünleşme analizi yapmışlardır. Çalışmalarında eşbütünleşme ilişkisi bulunmuş, nedensellik analizinde büyümeden enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisine ulaşmışlardır. Bowden ve Payne (2009) çalışmalarında, ABD örneğinde enerji tüketimi ve büyüme ilişkisini 1949-2006 dönemi için Toda-Yamamoto nedensellik analizi çerçevesinde incelemiştir. Çalışmalarında enerji tüketiminden büyümeye doğru nedensellik ilişkisi sonucuna ulaşmışlardır.

Çok ülke örneğinde enerji tüketimi ve iktisadi büyüme arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalar da oldukça fazladır. Bu bağlamda Yu ve Choi (1985), 5 ülke (İngiltere, ABD, Polonya, Filipinler ve G. Kore) örneğinde 1950-1976 dönemi için enerji tüketimi ile büyüme arasındaki ilişkiyi Granger nedensellik analizi altında incelemişlerdir. Bu çalışmada İngiltere, ABD ve Polonya nedensellik ilişkisine rastlanmazken Filipinler için enerji tüketiminden büyümeye ve G. Kore için büyümeden enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi sonucuna ulaşmışlardır. Erol ve Yu (1987) çalışmalarında 1952-1982 dönemi için altı sanayileşmiş ülke (Japonya, İtalya, Almanya, Kanada, Fransa ve ABD) örneğinde enerji tüketimi ile büyüme arasındaki ilişkiyi Granger nedensellik analizi altında incelemiştir. Çalışmada Japonya için çift yönlü nedensellik, İtalya ve Almanya örneğinde büyümeden enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik, Kanada örneğinde enerji tüketiminden büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuş, Fransa ve ABD örneğinde iki değişken arası nedensellik ilişkisine rastlanılmamıştır. Soytaş ve Sarı (2003) çalışmalarında 1950-1992 döneminde G-7 ülkeleri ve on gelişmekte olan ülke (Çin hariç) örneğinde enerji tüketimi ve büyüme ilişkisini eşbütünleşme ve Granger nedensellik analizi ile incelemişlerdir. Çalışmada, Arjantin örneğinde enerji tüketimi ile büyüme arasında çift yönlü nedensellik; İtalya ve Kore örneğinde büyümeden enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik; Türkiye, Japonya, Fransa ve Almanya örneğinde enerji tüketiminden iktisadi büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi sonucuna ulaşmışlardır. Wolde-Rufael (2005), enerji tüketimi (talebi) ile büyüme ilişkisini 19 Afrika ülkesi örneğinde 1971-2001 dönemi için analiz etmiştir. Kişi başına enerji tüketimi ile kişi başına reel GSYİH arasındaki ilişkiyi, Paseran (2001) sınır testi ve Toda-Yamamoto türü nedensellik analizinin kullanıldığı çalışmada, 8 ülke örneğinde uzun dönemde iki değişken arası eşbütünleşme ilişkisine ulaşılmış ve 10 ülke için nedensellik ilişkisinin bulunduğu görülmüştür.

Lee ve Chang (2007), çalışmalarında 1965-2002 ve 1971-2002 dönemleri için 22 gelişmiş ülke ve 18 gelişmekte olan ülke örneğinde enerji tüketimi ile büyüme arasındaki ilişkiyi panel VAR modeli altında analiz etmişlerdir. Çalışmalarında gelişmekte olan ülkelerde büyümeden enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik, gelişmiş ülkeler örneğinde ise iki değişken arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi sonucu bulunmuştur. Öztürk ve diğerleri (2010) yaptıkları çalışmada 1971-2005 dönemini içeren biçimde düşük gelirli, alt orta gelirli ve üst orta gelirli üç grup altında 51 ülke örneğinde enerji tüketimi ve büyüme arasındaki ilişkiyi Pedroni (1999) panel eşbütünleşme analizi, Granger nedensellik analizi ve eşbütünleşme ilişkisinin zayıf mı yoksa güçlü olup olmadığını test etmek için Pedroni (2001)'nin

diğer yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada üç grup ülke örneğinde de enerji tüketimi ile büyüme arasında eşbütünleşme ilişkisinin olduğu, ancak eşbütünleşme ilişkisinin çok güçlü olmadığı görülmüştür. Nedensellik analizleri çerçevesinde düşük gelir grubundaki ülkelerde büyümeden enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik, orta gelirli ülkeler grubunda enerji tüketimi ile büyüme arasında iki yönlü nedensellik ilişkisinin bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Belke ve diğerleri (2011) çalışmalarında 25 OECD ülkesi örneğinde 1981-2007 dönemi için enerji tüketimi ve büyüme ilişkisini enerji fiyatlarını da dikkate alarak panel eşbütünleşme ve Granger nedensellik analizi ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda enerji tüketimi ve büyümeyi etkileyen uluslararası faktörlerin dikkate alındığı ampirik analiz çerçevesinde eşbütünleşme olduğu ve enerji tüketimi ile büyüme arasında çift yönlü nedensellik bulunduğu sonucuna ulaşmışlardır. Kahsai ve diğerleri (2012), Aşağı Sahra Afrika ülkeleri (düşük ve orta gelir grubundaki 40 ülke) örneğinde 1980-2007 dönemi için enerji tüketimi ve büyüme ilişkisini tüketici fiyat endeksindeki gelişmeleri de dikkate alarak incelemiştir. Çalışmada Pedroni (1999)'nin kullandığı çok değişkenli panel eşbütünleşme analizi ve dinamik panel hata düzeltme modeli nedensellik ilişkisine yer verilmiştir. Çalışma sonuçları, orta gelirli ülkeler hariç diğer ülkelerde kısa dönemde nötralite hipotezini desteklerken uzun dönemde çift yönlü güçlü nedensel ilişki sonucuna ulaşılmıştır.

Özetle, enerjinin önemli bir girdi olarak iktisadi büyümeye katkısı noktasında genel bir kabul bulunmakla birlikte dört farklı yaklaşımdan çıkarılabileceği gibi farklı koşullar altında farklı ülkeler örneğinde enerji tüketimi ile iktisadi büyüme arasında farklı ilişkilerin ortaya çıkma olasılığı bulunmaktadır. Bu durum; enerji üretim, tüketim süreçlerinin iktisadi büyüme ile doğrudan veya dolaylı ilişkisi, enerji üretim/tüketiminin iktisadi büyüme dışındaki başka ekonomik değişkenlerle ilişkilerinin karmaşık olması, ampirik çalışmalarda incelenen ülke örnekleri, zaman dilimi ve ampirik çalışmalarda kullanılan yöntem ile ilgilidir. Nitekim dört farklı hipotezin ampirik çalışmalarda ne ölçüde doğrulandığına ilişkin yaptığı literatür taraması çalışmasında Payne (2010), bu konuda yapılan 65 adet ampirik çalışmaya bakıldığında bu çalışmaların %31'de nötralite hipotezinin desteklendiği, %27,9'da korumacı/çevreci hipotezin desteklendiği, %22,95 düzeyinde büyüme hipotezinin desteklendiği ve %18 oranında feedback etkisi hipotezinin desteklendiği sonucundan söz etmektedir (Öztürk, 2010).

Gelir dağılımı ve iktisadi büyüme arasındaki ilişkinin analizi noktasında Kuznets Hipotezinin ya da kişi başına gelir artışı ile (gelir dağılımı ilişkisine bakan veya bakmayan biçimde) CO₂ salınımı arasındaki ilişkinin analizi bağlamında çevresel Kuznets eğrisinin test edilmesi noktasında benzer

biçimde tek veya az sayıda ülke örneğinde zaman serisi analizleri yanı sıra çok sayıda ülke örneğinde panel veri analizleri de bulunmaktadır. Burada bu konudaki çalışmalardan bazılarına bakılacak olursa örneğin Ayan ve Kaygısız (2023) çalışmalarında Türkiye örneğinde 1986-2021 dönemi için Kuznets Hipotezini test etmek amacıyla kişi başına reel gelir, Gini katsayısı yanı sıra enflasyonu temsilen GSYİH defatörü ve dışa açıklık değişkenini de analizlerine dahil etmiştir. Analizlerinde ARDL sınır testine yer verilmiş, değişkenler arasında uzun dönemli ilişki olduğu sonucuna ulaşılmış, ancak incelenen dönem itibarıyla Türkiye için Kuznets Hipotezinin geçerli olmadığı görülmüştür. Erkişi ve Ceyhan (2020) çalışmalarında seçilmiş 14 Avrupa Birliği ülkesi örneğinde 1993-2016 dönemi için Westerlund Panel Eşbütünleşme Testi ile iktisadi büyüme ile gelir dağılımı arasındaki uzun dönemli ilişkiyi, Havuzlanmış Ortalama Grup (PMG), tahmincisi ile de büyüme ile gelir dağılımı adaleti arasında kısa dönemli ilişkiyi incelemiştir. Analiz sonucu kısa dönemde bir ilişki olmadığı ancak uzun dönemde iktisadi büyümenin gelir dağılımı adaletini olumsuz etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar, Kuznets Hipotezine tezat olarak değerlendirilmektedir. Alpdoğan (2023)'ın ampirik çalışmasında Türkiye örneğinde ARDL Sınır Testi çerçevesinde yoksulluk, gelir eşitsizliği ve iktisadi büyüme arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişki üzerinde durulmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları bağlamında kısa ve uzun dönemde bu üç değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir nedensellik ilişkisi vardır. Uzun dönemde iktisadi büyüme oranı artışı ve kişi başına düşen gelirdeki değişim, beşeri kalkınma endeksini pozitif yönde etkilemektedir. Buna karşın gelir dağılımındaki değişim beşeri kalkınma endeksini negatif yönde etkilenmektedir.

İktisadi büyüme ile gelir dağılımı arasındaki ilişkiyi analiz eden ampirik literatürde de ülkeleri gelir seviyelerine göre ayıran çalışmalarda farklı sonuçlar karşımıza çıkmaktadır. Örneğin Barro (2000) çalışmasında 1960-1990 döneminde 100'den fazla ülkeyi analizine dâhil etmiş, gelişmiş ülkeler örneğinde gelir dağılımı adaleti ile büyüme arasında pozitif yönlü ilişki bulgusuna ulaşılmış, buna karşın gelişmekte olan ülkelerde negatif yönlü ilişkinin varlığına dikkat çekmiştir. Knowles (2005) çalışmasında 1960-1990 dönemi için 40'dan fazla ülkeli analiz gerçekleştirmiş ve gelir dağılımı ile iktisadi büyüme arasında negatif korelasyon bulmamıştır. Özdemir ve diğerleri (2011) çalışmalarında geçiş ekonomileri (transition economies) örneğinde Kuznets Hipotezini sınamış ve bu ekonomilerin Kuznets eğrisinin ilk aşamasında olduğuna dikkat çekmiştir. Lind ve Mehlum (2010) çalışmalarında Hipotezi aksine gelir dağılımı ile iktisadi büyüme arasında U şeklinde bir ilişkinin olduğu bulgusuna ulaşmıştır. Ak ve Altıntaş (2016)'ın çalışmasına göre Türkiye örneğinde 1986-2012

dönemi itibarıyla Kuznets Hipotezinin aksine gelir seviyesi arttıkça gelir dağılımındaki eşitsizlik önce azalmakta, daha sonra artmaktadır. Topuz ve Dağdemir (2016) çalışmalarında, düşük, alt orta gelir grubundaki ülkelerde iktisadi büyümenin gelir dağılımı adaletini bozduğu, yüksek gelir grubunda yer alan zengin ülkelerde ise azalttığı sonucuna ulaşmıştır. Kazazi vd. (2022) Avrupa kıtasını esas aldığı çalışmalarında Doğu Avrupa ülkelerinde kişi başı reel gelirin artmasıyla birlikte gelir dağılımının iyileştiği, ancak daha sonra bozulduğu sonucuna ulaşmasına karşın Batı Avrupa ülkelerinde kişi başı gelir artışı ile gelir dağılımı arasında anlamlı bir ilişkinin tespit edilemediğini belirtmektedir.

Bu üç değişken arasındaki yani enerji tüketimi, iktisadi büyüme ve gelir dağılımı ilişkisini ele alan çalışmalar görece daha az sayıdadır ve başka değişkenlerle birlikte ya da iktisadi büyümenin, enerji tüketiminin ya da gelir dağılımının belirleyicilerini inceleyen analizler biçiminde karşımıza çıkmaktadırlar. Bu konuda örneğin Dünya Bankası uzmanları Bacon ve Kojima (2016)'nın yoksulluğun azaltılması ile ilgili olarak enerji, iktisadi büyüme değişkenlerini analiz eden 200'e yakın eserden oluşan literatür taraması çalışmalarında altyapı (özellikle enerji üretimine ilişkin altyapı) ile büyüme, enerji üretimi/tüketimi ve büyüme, enerji (elektrik) kesintileri ile ilgili analizlerden söz etmektedirler. Bu çalışmada yapılan literatür taramasına göre daha hızlı büyüme ile yoksulluğun azaltılması arasında pozitif ilişki bulunduğu, enerji altyapısı başta olmak üzere altyapıya yönelik yapılan yatırımların (enerji sektörü projelerinin) iktisadi büyümeye ve yoksulluğun azaltılmasına pozitif yönde katkı yaptığı belirtilmekte, enerji üretimi/tüketimi büyüme ilişkisinde enerji altyapısının durumu ve enerji sektörü altyapısına yönelik yatırımların anahtar bir faktör ve tamamlayıcı bir girdi olarak önem taşıdığı vurgulanmaktadır. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerde daha sık görülebilen elektrik kesintilerinin özellikle sanayi üretimini olumsuz etkileyerek ekonomide kayıplara yol açtığı iktisadi büyümeyi negatif biçimde etkileyerek yoksulluğun azaltılması çabalarını olumsuz biçimde etkileyebildiğine ilişkin literatürden söz edilmektedir.

Apergis (2015), çalışmasında yenilenebilir enerji üretiminin gelir eşitsizliğini etkileyip etkilemediği sorusundan hareket etmektedir. Bu çalışmada 1988-2013 dönemi OECD ülkeleri örneği üzerinde panel veri analizi yapılmakta ve yenilenebilir enerjinin (türlerinin) gelir eşitsizliği üzerinde pozitif etkide bulunduğu sonucuna ulaşıldığı belirtilmektedir. Topçu ve Tuğcu (2020) çalışmalarında 1990-2014 dönemi itibarıyla gelişmiş ülkeleri içeren panel veri analizinde yenilenebilir enerji tüketiminin gelir dağılımı adaletine etkisini araştırmıştır. Çalışmada gelişmiş ülkeler örneğinde yenilenebilir enerji tüketiminde artışın gelir dağılımının iyileşmesine yol

açtığı sonucuna ulaşılmıştır. Uzar (2020) çalışmasında gelişmiş ve gelişmekte olan 43 ülke örneğinde gelir eşitsizliğinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisini 2000-2015 dönemi için incelemektedir. Kişi başı gelir, CO₂ emisyonu ve ticari açıdan dışa açıklık değişkenlerinin olduğu analize göre gelir dağılımında iyileşmenin yenilenebilir enerji tüketimini arttırdığı ve gelir dağılımının iyileştiği bölgelerde çevresel bozulmanın önlenilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Asongu ve Odhiambo (2021) dünyanın en yoksul ülkelerinin bulunduğu Sahra Altı Afrika ülkeleri (39 ülke) örneğinde 2004-2014 dönemi için gelir eşitsizliği, finansal gelişme ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkileri ampirik olarak analiz ettikleri çalışmalarında Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi (GMM) ve Kantil Regresyonlar yöntemi kullanmıştır. Yapılan GMM sonuçlarına göre finansal gelişmişlik düzeyi yenilenebilir enerji tüketimini teşvik etmekte, gelir eşitsizliği ise bu olumlu etkiyi ortadan kaldırmaktadır. Kantil regresyon sonuçları GMM bulgularının yalnızca yenilenebilir enerji tüketim dağılımının alt kantillerinde geçerliliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Churchil, İvanovski ve Munyanyi (2021) çalışmalarında yenilenebilir enerji ile gelir eşitsizliği ilişkisini 1990-2016 dönemi için 17 ülkeyi içine alan bir panel analizi çerçevesinde ele almaktadır. Çalışmaya göre 1996-2002 dönemi için iki değişken arası negatif ilişki bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada 2010 sonrası ilişkinin pozitif dönme durumuna işaret edilmekle birlikte kalkınma sürecinde gelir dağılımı eşitsizliğinin önemli bir sorun olduğu belirtilmektedir. Bu bağlamda az gelişmiş ya da gelişmekte olan ülkelerde gelir dağılımı eşitsizliğinin kurumların verimli yatırımlarını ve yenilenebilir enerji tüketimi gibi çevre dostu politikaların etkinliğini azalttığı vurgulanmaktadır. Sharma ve Rajpurohit (2022) çalışmalarında gelir eşitsizliği, kişi başı gelir ve beşeri sermayenin yenilenebilir enerji üzerindeki etkisini araştırmıştır. Hindistan örneğinde 1980-2016 dönemi için NARDL yönteminin kullanıldığı analize göre gelir dağılımında kötüleşme yenilenebilir enerji tüketimini azaltmakta, kişi başı gelir ve beşeri sermaye artışı ise yenilenebilir enerji tüketimini artırmaktadır.

Arı (2023) çalışmasında gelir dağılımının yenilenebilir enerji üzerindeki etkisini G8 ülkeleri için 1992-2015 dönemi itibarıyla araştırmıştır. Çalışmaya göre G8 ülkelerinde gelir dağılımındaki bir bozulma enerji tüketimini pozitif etkilemekte ve gelir dağılımındaki eşitsizlik değişkeninden yenilenebilir enerji tüketimi değişkenine doğru tek yönlü nedensellik bulunmaktadır. Çalışmaya göre gelir eşitsizliği artışıyla yenilenebilir enerji tüketiminin artacağı sonucuna ulaşılabilmektedir.

Alev ve Ersezer (2024) çalışmalarında MINT (Meksika, Endonezya, Nijerya ve Türkiye) ülkeleri için 2002-2020 dönemi itibarıyla gelir dağılımı, yenilenebilir enerji tüketimi ve iktisadi büyüme arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Ampirik analizde yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde gelir dağılımındaki eşitsizliğin istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkisinin olduğu, iktisadi büyümenin olumlu ancak istatistiksel açıdan anlamlı etkisinin olmadığı bulgusuna ulaşmışlardır. Çalışmaya göre gelir eşitsizliğindeki artış yönlü şoklar çoğunlukla yenilenebilir enerji tüketimi ve iktisadi büyüme üzerinde artan etkide bulunmakta ve incelenen dönem boyunca gelir dağılımı eşitsizliği, yenilenebilir enerji tüketimi ve iktisadi büyüme üzerinde önemli şoklara neden olmaktadır. Çalışmada gelir dağılımı değişkeninden yenilenebilir enerji tüketimi değişkenine doğru tek yönlü, yine gelir dağılımından iktisadi büyümeye doğru tek yönlü ve yenilenebilir enerji tüketiminden iktisadi büyümeye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Hacıimamoğlu vd. (2025) çalışmalarında yenilenebilir enerji tüketimi, gelir dağılımı ve iktisadi büyümenin CO₂ salınımı üzerindeki etkisini analiz ettikleri çalışmalarında 1995-2021 döneminde gelir dağılımı adaletsizliğinin yüksek olduğu 17 ülke örneğinde momentler kantil regresyon yöntemini kullanmıştır. Çalışmanın bulgularına göre başlangıçta iktisadi büyüme CO₂ salınımını artırmakta, ancak daha sonra Çevresel Kuznets Hipotezini (ÇKE) doğrulayan biçimde belirli bir gelir düzeyindeki dönüm noktasından sonra CO₂ salınımı azalmaktadır. Çalışmaya göre yenilenebilir enerji tüketimi CO₂ salınımını azaltmakta buna karşılık gelir dağılımı adaletsizliği CO₂ salınımını artırmaktadır.

5. Veriler ve Yöntem

5.1. Veriler

Bu çalışmada E-7 ülkelerinde iktisadi büyüme, enerji tüketimi ve gelir dağılımı arasındaki ilişki 2010 – 2023 dönemi için araştırılmaktadır. İktisadi büyüme oranı (GSYİH artış oranı yıllık % değişim oranı), gelir dağılımını temsil etmesi için Gini katsayısı ve enerji tüketimi değişim oranı (birincil enerji tüketiminin –exajoule- yıllık % değişim oranı) kullanılmıştır. İktisadi büyüme oranları ve gelir dağılımı Gini katsayısı değişkenleri Dünya Bankası veri tabanından enerji tüketimi artış oranları Enerji Enstitüsü istatistik verilerinden elde edilmiştir.

5.2. Yöntem

Ekonometride zaman serisi, kesit veri ve panel veri olmak üzere üç tür veri mevcuttur. Zaman serileri, bir verinin zaman içerisinde aldığı değerlerden oluşmaktadır. Kesit verisi ise zamanın belirli bir noktasında değişkenin aldığı değerdir. Panel veri ise kesit verisi ile zaman serisinin birleşiminden oluşmaktadır. Çalışmada panel veri ekonometrisinden yararlanılacaktır. Panel verilerde klasik regresyon modeli şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i X_{it} + u_{it} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

$$\varepsilon_{it} = \mu_{it} + v_{it} \quad (2)$$

Denklem (1)'de yer alan y_{it} bağımlı değişkeni, X_{it} ise açıklayıcı değişkenleri temsil etmektedir. α_i terimi sabit terim katsayısını temsil ederken, β_i ise eğim katsayısını temsil etmektedir. i , kesit boyutu; t , zaman boyutudur. u_{it} ise hata terimini ifade etmektedir. Denklem (2)'de ise; μ_{it} gözlemlenemeyen bireysel etkileri, v_{it} ise kalan bozulmayı ifade etmektedir. Çalışmada kullanılacak model şu şekildedir:

$$\text{Energy}_{it} = \beta_{1i} \text{Gini}_{it} + \beta_{2i} \text{Growth}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Modelde yer alan bağımlı değişken Energy; E7 ülkeleri örneğinde 2010-2023 dönemi itibarıyla enerji tüketimindeki değişimi göstermektedir. Modelin bağımsız değişkenleri olarak gelir dağılımı adaletsizliğini temsilen Gini katsayısı; iktisadi büyüme oranını temsilen de Growth değişkeni bulunmaktadır.

Panel veri analizine başlamadan önce yapılması gereken bazı ön testler bulunmaktadır. Bunların başında yatay kesit bağımlılık testleri gelmektedir. Bir ülkede meydana gelen şok, örnekleme dahil edilen diğer ülkeleri etkiliyorsa kesitler arasında bağımlılık söz konusudur. Bu bağımlılığı dikkate almadan analiz yapmak, sapmalı sonuçlara yol açabilmektedir.

Bu çalışmada yatay kesit bağımlılığını test etmek için dört farklı yatay kesit bağımlılık testi yapılacaktır. Bunlar; Breusch ve Pagan (1980), Pesaran (2004) ve Pesaran vd. (2008) testleridir. Panel modelinin En Küçük Kareler yöntemiyle tahmin edilmesinin ardından elde edilen hata terimleri üzerinden testler yapılmaktadır.

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{p}_{ij} \quad (4)$$

$$CD_{LM1} = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{p}_{ij}^2 \sim \chi^2_{N(N-1)/2} \quad (5)$$

$$CD_{LM2} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T \hat{p}_{ij}^2 - 1) \quad (6)$$

$$CD_{LMadj} = \sqrt{\frac{2}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{(T-k) \hat{p}_{ij}^2 - \mu_{Tij}}{v_{Tij}} \quad (7)$$

Bir diğer önemli test ise birim kök testidir. Ekonometrik analizin en temel süreci verilerin durağanlığının sınanmasıdır. Panel veride birim kök testleri birinci nesil panel birim kök testleri ve ikinci nesil panel birim kök testleri olarak iki gruba ayrılmaktadır.

Birinci nesil birim kök testleri yatay kesit bağımlılığını dikkate almazken, ikinci nesil birim kök testleri ise yatay kesit bağımlılığını dikkate almaktadır. Bu çalışmada yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ve Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CADF testi uygulanacaktır. Klasik ADF regresyonuna kesit ortalamalarının eklenmesiyle oluşan modelde, her bir kesit için CADF istatistikleri elde edilerek panel istatistiği inşa edilmektedir (CIPS);

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i Y_{it-1} + \gamma_i' Z_t + \sum_{j=1}^{p_i} \beta_{ij} \Delta Y_{it-j} + c_i \bar{y}_{t-1} + \sum_{j=0}^{p_i} d_{ij} \Delta \bar{y}_{it-j} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

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

Birim kök testlerinden sonra, uzun dönemli ilişkiyi test etmek için eş bütünleşme testi yapılmaktadır. Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen LM eş bütünleşme testi yatay kesit bağımlılığını dikkate almaktadır. Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından önerilen test istatistiğinin hesaplanması ise denklem (9)'da gösterilmektedir:

$$LM_N^+ = \frac{1}{NT^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \omega_i^{-2} S_{it}^2 \quad (9)$$

S_{it}^2 terimi z_{it} hata teriminin kısmi toplamını, ω_i^{-2} , u_{it} 'nin uzun dönem varyansı ifade etmektedir. Westerlund ve Edgerton (2007) bu istatistiğin hesaplanırken, seri korelasyon ve yatay kesit bağımlılığı söz konusu olduğunda asimptotik dağılımın uygulanabilir olmadığını ileri sürerek bootstrap tekniği ile tahmin edilmesi gerektiğini dile getirmiştir. Westerlund ve Edgerton (2007) eş-bütünleşme analizinde modelin paneli için hipotez, şu şekilde kurulmaktadır; H_0 : eşbütünleşme vardır ve alternatif hipotez H_1 p : eşbütünleşme yoktur şeklindedir (Westerlund ve Edgerton, 2007: 186)

Model tahmininde yatay kesit bağımlılığını dikkate alan Kesitler Arası Korelasyon Etkileri (Common Correlated Effects - CCE) ve Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi (Augmented Mean Group - AMG) kullanılacaktır.

Pesaran (2006) tarafından geliştirilen CCE tahmincisinde; açıklayıcı değişkenlerin yanı sıra, gözlemlenemeyen faktörler için bağımlı ve bağımsız değişkenlerin yatay kesit ortalamaları regresyona açıklayıcı değişken olarak dahil edilmektedir. CCE regresyon denklemi (10)'da gösterilmektedir:

$$y_{it} = \beta_{it}X_{it} + c_i \bar{Y}_t + d_i \bar{X}_t + u_{it} \quad i=1,2,\dots,N \quad t=1,2,\dots,T \quad (10)$$

Eberhardt ve Bond (2009) tarafından geliştirilen Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi (Augmented Mean Group - AMG), CCE tahmincisinin performansı ile benzer bir performans göstermektedir. AMG tahmincisinde, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin birinci farkı regresyonda yer alırken, bu durumda zaman kuklası da modele dâhil edilmektedir. AMG denklemi (11) aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$\Delta y_{it} = \beta'X_{it} + \sum_{t=2}^T c_t \Delta D_t + e_{it} \quad \text{ve} \quad c_t \equiv \mu_t^* \quad (11)$$

$$y_{it} = \alpha_i + \beta'_i X_{it} + c_{it} + d_i \mu_t^* + e_{it} \quad (12)$$

$$\beta_{AMG} = \frac{1}{N} \sum_i \beta_i \quad (13)$$

6. Bulgular

Çalışmada öncelikle yatay kesit bağımlılık, homojenlik ve birim kök testi yapılmıştır. Yatay kesit bağımlılık testleri sonuçları Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Yatay Kesit Bağımlılık Testi Sonuçları

Seriler	Testler	Sabitli		Sabit + Trend	
		Test istatistiği	Olasılık değeri	Test istatistiği	Olasılık değeri
growth	CD_{LM1}	52.432	0.000	45.987	0.001
		4.850	0.000	3.856	0.000
	CD_{LM2}	-2.391	0.008	-2.302	0.011
	CD	-0.262	0.603	-0.960	0.831
	Bias – adjusted CD test				
gini	CD_{LM1}	46.565	0.001	46.991	0.001
		3.945	0.000	4.010	0.000
	CD_{LM2}	-2.302	0.011	-2.247	0.012
	CD	4.933	0.000	1.082	0.140
	Bias – adjusted CD test				
energy	CD_{LM1}	36.747	0.018	40.590	0.006
		2.430	0.008	3.023	0.001
	CD_{LM2}	-1.593	0.056	-1.768	0.039
	CD	-0.811	0.791	-1.410	0.921
	Bias – adjusted CD test				

Notlar: CD_{LM1} testi Breusch ve Pagan (1980) tarafından geliştirilen yatay kesit bağımlılığı testini, CD_{LM2} ve CD ise Pesaran (2004) tarafından geliştirilen yatay kesit bağımlılığı testini temsil etmektedir. Bias – adjusted CD test ise Pesaran vd. (2008) tarafından geliştirilen yanlışlığı düzeltilmiş yatay kesit bağımlılığı test sonuçlarını kesitler için raporlamaktadır. Testler, Gauss 24 programı kullanılarak yapılmıştır.

Tabloda görüldüğü üzere yatay kesit bağımlılık testlerine göre tüm seriler yatay kesit bağımlılığı içermektedir. Bu sebeple analizin bundan sonraki kısmında yatay kesit bağımlılığını dikkate alan yöntemler kullanılacaktır.

Yatay kesit bağımlılığı testlerinden sonra modelde kullanılan değişkenlere ilişkin panel birim kök testleri gerçekleştirilmiş ve Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Panel Birim Kök Testi Sonuçları

Seriler	CIPS – Sabit	CIPS – Sabit + trend
growth	-2.063	-2.224
Δ growth	-2.676***	1.700
gini	-4.500***	-5.007***
energy	-2.044	-2.442
Δ energy	-2.691***	1.700***

*Notlar: Sabitli model için kritik değerler; -2.66(1%), -2.37(5%) ve -2.2(10%). Sabit ve trendli modeli için kritik değerler; -3.24 (%1), -2.93 (%5) ve -2.76 (%10). (Pesaran, 2007, Tablo 2.b ve 2.c). *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı sonuçları göstermektedir. Testler, Stata 14 programı kullanılarak yapılmıştır.*

Birim kök testi sonuçlarına göre sabitli ve sabit + trendli modelde büyüme ve enerji değişkeni seviyede birim köklü iken birinci farkta durağandır. Gini değişkeni ise seviyede durağandır.

Birim kök testleri analizinden sonra modele uygun Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen panel eş-bütünleşme testi gerçekleştirilmiştir. Yapılan panel eş-bütünleşme testi analizinin sonuçları da Tablo 3’te gösterilmektedir.

Tablo 3. Westerlund ve Edgerton (2017) Panel Eş-bütünleşme Analizi Sonuçları

	Sabit	Bootstrap olasılık değeri	Sabit ve Trend	Bootstrap olasılık değeri
Model	2.846	0.880	8.597	0.826

Notlar: Kritik değerler (%95), 1000 bootstrap replikasyonuna dayanmaktadır. Test, Gauss 24 programı ile yapılmıştır.

Tablo 3’te panel eş-bütünleşme testi sonucu görülmektedir ve test yatay kesit bağımlılığı altında yapıldığı için bootstrap değerleri yer almaktadır. Yapılan eş-bütünleşme testi sonucu bağlamında bootstrap olasılık değerlerine göre seriler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Westerlund ve Edgerton (2007) panel eş-bütünleşme analizinden sonra Paseran (2006) tarafından geliştirilen Kesitler Arası Korelasyon Etkileri ortalama grup tahmincisi (Common Correlated Effects Mean Group - CCEMG) ve Eberhardt ve Bond (2009) tarafından geliştirilen AMG tahmincilerinin sonuçlarına yer verilmiştir, bu çerçevede panel model tahmin sonuçları da Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Panel Tahmin Sonuçları

Bağımlı değişken (energy)	CCEMG	AMG
gini	-21.639 (0.814)	-25.472 (0.122)
growth	1.577*** (0.005)	0.649*** (0.000)
Wald chi2	7.93	104.80
Prob > chi2	0.019	0.000

*Notlar: CCEMG, Kesitler Arası Korelasyon Etkilerinin Grup Ortalamasını; AMG ise Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisini ifade etmektedir. *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı sonuçları göstermektedir. Testler; Stata 14 programı kullanılarak yapılmıştır.*

Tablo 4'te yer verilen panel model tahmin sonuçlarına göre iktisadi büyüme oranındaki artışın enerji tüketimi üzerinde pozitif ve anlamlı etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu bağlamda CCEMG tahmincisiyle yapılan analizde E7 ülkeleri örneğinde incelenen dönem itibarıyla iktisadi büyüme oranındaki bir birimlik artışın enerji tüketimini ortalama 1.58 birim arttırdığı bulgusuna ulaşılmıştır. Benzer biçimde AMG tahmincisinde de E7 ülkelerinde aynı dönem itibarıyla iktisadi büyüme oranındaki bir birimlik artışın enerji tüketimini ortalama 0.65 birim arttırdığı gözlenmiştir. Bu bulgu, iktisadi büyümenin enerji kullanımı üzerinde teşvik edici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Öte yandan E7 ülkeleri örneğinde incelenen dönem itibarıyla gelir dağılımı adaletsizliğini temsilen modelde yer verilen Gini katsayısının işaretinin beklendiği gibi negatif olduğu, ancak gelir dağılımının enerji tüketimi üzerindeki etkisini gösteren katsayının istatistiksel olarak anlamsız olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

7. Sonuç ve Öneriler

Enerji üretimi/tüketimi ile iktisadi büyüme arasındaki ilişkinin teorik ve ampirik çerçevede analiz edildiği çalışmaları ele alan oldukça geniş literatüre bakıldığında, teorik çerçevede kabul edilen dört hipotezi de doğrulayan çok sayıda çalışma bulunduğu gibi iktisadi büyüme ile gelir dağılımı arasındaki

ilişkiyi meşhur Kuznets hipotezi çerçevesinde (gelişmekte olan ülkelerde kişi başına gelir arttıkça gelir dağılımı adaletsizliğinin önce arttığı sonra azalma gösterdiği biçimde ters U eğrisi) ele alan ancak U şeklinin ters, düz olabileceği, S biçiminde olabileceğine yönelik de çok büyük bir ampirik literatürün oluştuğu ve günümüze doğru çevresel duyarlılıkların artması ile birlikte kişi başına gelir artışı ile çevre kirliliği (CO2 emisyonu/salınımı) arasındaki ilişkiyi de ÇKE çerçevesinde analiz eden ampirik çalışmaların giderek arttığı da gözlemlenmektedir. Bu bağlamda asıl itibarıyla enerji tüketimi, iktisadi büyüme (mutlak gelir ya da kişi başına gelir artışı) ve gelir dağılımını bir arada alan çalışmaların az sayıda olduğu dikkati çekmektedir.

Bu çerçevede bu çalışmada birincil enerji tüketimi, iktisadi büyüme ve gelir dağılımı değişkenlerini birlikte ele alan bir ampirik analiz E7 ülkeleri örneğinde 2010-2023 dönemi için gerçekleştirilmiştir. Ampirik analizde yer verilen değişkenlere ait serilerin öncelikli olarak yatay kesit bağımlılığı durumuna bakılmış ve seriler arasında yatay kesit bağımlılığı bulunduğu için yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil birim kök testlerinden biri olan CIPS testinden yararlanılmış, test sonuçlarına göre enerji tüketimi ve iktisadi büyüme serilerinin sabitli ve trendli modelde düzeyde durağan olmadığı, gelir dağılımı adaletsizliğini temsilen kullanılan Gini katsayısının ise düzeyde durağan olduğu görülmüştür. Bu çerçevede ilgili serileri durağan hale getirmek için birinci farkları alınarak panel analizine geçilmiştir.

Panel eş-bütünleşme analizi olarak Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen ve yatay kesit bağımlılığını dikkate alan analize göre seriler arasında eş bütünleşme olduğu, dolayısıyla seriler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğu, serilerin uzun dönemde birlikte hareket ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Ardından panel analizinde yatay kesit bağımlılığını dikkate alan CCEMG ve AMG tahmincileri kullanılmıştır. Panel tahminleri bağlamında E7 ülkelerinde 2010-2023 döneminde iktisadi büyüme oranındaki artışın enerji tüketimi üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisinin bulunduğu sonucuna ulaşılmış, ancak gelir dağılımına ilişkin Gini katsayısının işareti negatif ve istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. CCEMG tahmincisine göre E7 ülkelerinde iktisadi büyüme oranında bir birimlik artışın enerji tüketimini daha fazla (1,57 birim) artırdığı, AMG tahmincisi de iktisadi büyüme oranında bir birimlik artışın enerji tüketimini görece daha az 0,65 birim artırdığı sonucunu göstermiştir. Analizde yer alan gelir dağılımı ile enerji tüketimi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamasının nedeni alınan dönemin ve ülke örneklemin az olması ile ilgili olabilir. Bu bağlamda gelir dağılımı adaleti açısından daha iyi durumda olan ve olmayan çok sayıda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri kapsayan ve daha uzun dönem içeren bir analizin yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

Ampirik analiz çerçevesinde elde edilen ve istatistiksel açıdan pozitif ve anlamlı bulunan bu sonuçlar, iktisadi büyümenin enerji tüketimini teşvik ettiğini gösteren ilgili literatürün büyük bir kısmı ile uyumludur ve kalkınma sürecini sürdüren gelişmekte olan ülkelerin iktisadi büyüme oranlarının artışı ile enerji tüketim taleplerinin artacağı, dolayısıyla gelişmekte olan ülkelerin fosil ya da yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji ihtiyaçlarının tedarikinin önemli olduğunu bir kez daha göstermiştir. Bu bağlamda enerji arz güvenliğinin öneminin gittikçe arttığı günümüzde E7 ülkeleri örneğinden hareketle gelişmekte olan ülkelerin öncelikle enerji arz güvenliğini sağlamaları gerekmektedir. Türkiye gibi enerji ithalatına bağımlı olan ülkelerin ise mevcut yerel enerji kaynaklarını ve ithal enerji kaynaklarını verimli biçimde kullanmaları, enerji tüketiminde bireysel düzlemde enerji verimliliği yanı sıra enerjinin tasarruflu kullanımını sağlayan teknolojik gelişmelere uyum sağlanması da önemlidir. Öte yandan kamu eliyle yönlendirilen enerji politikaları bağlamında gerekli yeni enerji altyapılarının inşası, mevcut enerji altyapılarının korunması ve güçlendirilmesi, enerji arzına ilişkin rüzgâr yanı sıra güneş ve nükleer enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları başta olmak üzere alternatif enerji kaynaklarının devreye alınması da büyük önem taşımaktadır.

Kaynakça

- Abosedra, S. and Baghestani, H. (1989), New Evidence on The Causal Relationship Between United States Energy Consumption and Gross National Product”, *Journal of Energy Development*, Vol: 14, pp. 285–292.
- Ak, M. ve Altıntaş, N. (2016), Kuznets’in ters-U Eğrisi Bağlamında Türkiye’de Gelir Eşitsizliği ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: 1986-2012, *Maliye Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 93-102.
- Akalın, G., Özbek, R. ve Çifçi, İ. (2018), Türkiye’de Gelir Dağılımı ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: ARDL Sınır Testi Yaklaşımı, *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20 (4), 60-76.
- Alev N. ve Ersezer Ö. (2024). Gelir Eşitsizliği, Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Panel VAR Yaklaşımından Kanıtlar. *MEC-MUA-Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 9 (17), 92-107.
- Alpdoğan, Hilal (2023), Türkiye’de Ekonomik Büyüme, Gelir Dağılımı ve Yoksulluk İlişkisi, *Sayıştay Dergisi*, 34 (129), 259-290.
- Apergis, N. (2015), Does Renewables Production Affect Income Inequality? Evidence From an International Panel of Countries, *Applied Economics Letters*, 22 (11), 865-868.
- Apergis, N. and Payne, J. E. (2009), Energy Consumption and Economic Growth in Central America: Evidence From a Panel Cointegration and Error-Correction Model, *Energy Economics*, Vol: 31, pp. 211-216.
- Asongu, S. ve Odhiambo, N. M. (2020). Inequality, Finance and Renewable Energy Consumption in Sub-Saharan Africa, *Renewable Energy*, 165(P1), 678-688.
- Ayan, C. ve Durgun Kaygısız, A., (2023). Türkiye’de İktisadi Büyüme ve Gelir Dağılımı İlişkisi, *Hukuk ve İktisat Araştırmaları Dergisi*, 15 (2): 171-186.
- Bacon, R. and Kojima, M. (2016), Energy, Economic Growth, and Poverty Reduction: A Literature Review, Working Paper, No: 104866v1, World Bank Group, https://www.researchgate.net/publication/301700793_Energy_Economic_Growth_and_Poverty_Reduction_A_Literature_Review Erişim: 04.06. 2025.
- Barro, R. J. (2000). Inequality and Growth in a Panel of Countries, *Journal of Economic Growth*, Vol:5, pp. 5-32.
- Belke, A., F Dobnik and C. Dreger (2011), Energy Consumption and Economic Growth: New Insights into the Cointegration Relationship, *Energy Economics*, 33 (5), pp. 782-789.
- Bowden, N. and Payne, J. E. (2009), The Causal Relationship Between US Energy Consumption and Real Output: A Disaggregated Analysis, *Journal of Policy Modeling*, 31(2), 180–188.

- Breusch, T.S. & Pagan, A.R. (1980) The Lagrange Multiplier Test and Its Applications to Model Specification in Econometrics, *Review of Econometric Studies*, 47 (1), 239-253.
- Churchill, S. A., Ivanovski, K. ve Munyanyi, M. E. (2021). Income Inequality and Renewable Energy Consumption: Time-varying Non-parametric Evidence, *Journal of Cleaner Production*, 296 (11), 1-11.
- Çakmak, A. ve Tosun, B. (2017), Ekonomik Büyüme-Gelir Dağılımı İlişkisi: Kuznets Hipotezinin Seçilmiş Ülkeler Üzerine Araştırılması, *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (33), 33-44.
- Çam Karakaş, Ü., Üzümcü, A. ve Karakaş, A. (2019), Energy Import and Economic Growth: An Analysis on Some Energy Importer Countries, *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt: 20, Sayı: 2, ss. 317-334.
- Dünya Bankası (2025a), *Dünya Coğrafi Alan, Arazi Göstergeleri*, <https://data.worldbank.org/indicator/AG.SRFTOTL.K2?view=chart> Erişim: 02.06. 2025.
- Dünya Bankası (2025b), *Dünya Nüfus Göstergeleri*, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?view=chart> Erişim: 02.06. 2025.
- Dünya Bankası (2025c), *Ekonomik Göstergeler, GDP*, <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?view=chart> Erişim: 02.06. 2025.
- Dünya Bankası (2025d), *Ekonomik Göstergeler, GDP Growth Rate, Annual (%)* <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?view=chart> = Erişim: 02.06. 2025.
- Dünya Bankası (2025e), *Ekonomik Göstergeler, Gini Katsayısı*, <https://data-bank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&series=SI.POV.GINI&-country=> Erişim: 02.06. 2025.
- Eberhardt, M., & Bond, S. (2009). *Cross-section dependence in nonstationary panel models: a novel estimator*. Munich Personal RePEc Archive
- Energy Institute (2024), *Statistical Review of World Energy (2024)*, https://www.energyinst.org/data/assets/pdf_file/0006/1542714/684EIStat_ReviewV16_DIGITAL.pdf Erişim: 03.06. 2025.
- Erkişi, Kemal ve Ceyhan, Turgay (2020), İktisadi Büyüme ve Gelir Dağılımı Adeleti İlişkisi: Bir Panel Veri Analizi, *Sosyoekonomi*, 28 (43), 195-212.
- Erol, U. and Yu, E. S. H. (1987), On The Causal Relationship Between Energy and Income for Industrialized Countries”, *Journal of Energy Development*, Vol: 13, pp. 113–122.
- Gallet, C. and Gallet, R. (2004), US Growth and Income Inequality: Evidence of Racial Differences, *Social Science Journal*, 41 (1), 43-51.
- Hacımamoğlu, T., Sungur, O., Yıldırım, K. ve Yapar, M. (2025), Rethinking the Climate Change-Inequality Nexus: The Role of Wealth Inequality,

- Economic Growth and Renewable Energy in CO₂ Emissions, *Sustainability*, 17 (8), <https://doi.org/10.3390/su17083335> Erişim: 03.06.2025.
- Hawksworth, J. ve Cookson, G. (2008), *The World in 2050: Beyond the BRICs: A Broader Look at Emerging Market Growth Prospects*, Pricewaterhouse Cooper LLP.
- Huang, H.C., Lin, Y.C. and Yeh, C.C. (2012), An Appropriate Test of the Kuznets Hypothesis, *Applied Economics Letters*, 19(1), 47-51.
- İsagiller, A. (2007), Income Distribution and Economic Growth, *Sosyal Bilimler Dergisi*, (1), 83-94.
- Kahsai, M.S., C. Nondo, P.V. Schaeffer and T. G. Gebremedhin (2012), Income Level and the Energy Consumption-GDP Nexus: Evidence From Sub-Saharan Africa, *Energy Economics*, 34 (3), 739-746.
- Kazazi, S., Kucukahmetoğlu, O., Şişman, M., ve Bakırtaş, T. (2022). Doğu ve Batı Avrupa’da Gelir Eşitsizliği ve Ekonomik Arasındaki İlişkinin Kuznets Ters U Hipotezi Çerçevesinde Karşılaştırmalı Analizi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 18(1), 244-276.
- Kırca, Mustafa ve Subaşı Ertekin, Meriç (2020), E7 Ülkelerinde Gayrisafi Yurtiçi Hasılanın İstihdam Oranına Etkileri, *Route Educational and Social Science Journal (RESS)*, 7 (6), 291-304.
- Kraft, J. and Kraft, A. (1978), On The Relationship Between Energy and GNP, *Journal of Energy and Development*, Vol: 3, pp. 401-403.
- Knowles, S. (2005). Inequality and economic growth: The Empirical Relationship Reconsidered in The Light of Comparable Data. *The Journal of Development Studies*, 41(1), 135-159.
- Kuznets, Simon (1955), Economic Growth and Income Inequality, *The American Economic Review*, 45(1), 1-28.
- Lee, C.C. and C. P. Chang (2007), Energy Consumption and GDP Revisited: A Panel Analysis of Developed and Developing Countries, *Energy Economics*, Vol: 29, pp. 1206–1223.
- Lind, J. T. ve Mehlum, H. (2010). With or without U? The Appropriate Test for a U-Shaped Relationship. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 72, 109–118.
- Lise, W. and Montfort K. Van (2007), Energy Consumption and GDP in Turkey: is There a Co-integration Relationship?, *Energy Economics*, Vol: 29, pp. 1166–1178.
- List, J. and Gallet, C. (1999), The Kuznets Curve: What Happens after the Inverted-U?, *Review of Development Economics*, 3(2), 200-206.
- Ockwell, David G. (2008), Energy and Economic Growth: Grounding Our Understanding in Physical Reality, *Energy Policy*, Vol: 36, pp. 4600-4604.

- Özdemir, D., Emsen, Ö. S., Hiç-Gencer, A. ve Kılıç, C. (2011), Ekonomik Büyüme ve Gelir Dağılımı İlişkileri: Geçiş Ekonomileri Deneyimi, *International Conference on Eurasian Economics*, Bışkek, Kırgızistan, 12-14 Ekim 2011, 440-447.
- Öztürk, İlhan (2010), "A Literature Survey on Energy-Growth Nexus, *Energy Policy*, Vol: 38, pp. 340-349.
- Öztürk, I., Aslan A. and H. Kalyoncu (2010), Energy Consumption and Economic Growth Relationship: Evidence from Panel Data for Low and Middle Income Countries, *Energy Policy*, Vol: 38, pp. 4422-4428.
- Paul, S. and Bhattacharya, R. N. (2004), Causality Between Energy Consumption and Economic Growth in India: A Note on Conflicting Results, *Energy Economics*, 26 (6), 977-983.
- Payne, James E. (2010), "A survey of The Electricity Consumption-Growth Literature", *Applied Energy*, Vol: 87, pp. 723-731.
- Pesaran, M.H. (2004). *General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels*, CESifo Working Paper Series, 1229.
- Pesaran, M.H. (2006). Estimation and Inference in Large Heterogeneous Panels with a Multifactor Error Structure, *Econometrica*, 74 (4), 967-1012.
- Pesaran, M.H. (2007) A Simple Unit Root Test in The Presence of Cross-Section Dependence, *Journal of Applied Econometrics*, 22 (2), 265-312.
- Pesaran, M. H., Ullah, A. & Yamagata, T. (2008) A Bias-Adjusted LM Test of Error Cross-Section Independence, *Econometrics Journal* 11, 105-127.
- Sharma, R. ve Rajpurohit, S. S. (2022). Nexus between income inequality and consumption of renewable energy in India: A nonlinear examination, *Economic Change and Restructuring*, 55, 2337-2358.
- Soytas, Uğur and Sarı, R. (2003), Energy Consumption and GDP: Causality Relationship in G-7 Countries and Emerging Markets, *Energy Economics*, Vol:25, pp. 33-37.
- Squalli, Jay (2007), Electricity Consumption and Economic Growth: Bounds and Causality Analyses of OPEC Members, *Energy Economics*, Vol: 29, pp. 1192-1205.
- Stern, D.I. (2000), A Multivariate Cointegration Analysis of The Role of Energy in The US Macroeconomy, *Energy Economics*, Vol: 22, pp. 267-283.
- Theyson, K. and Heller, L. (2015), Development and Income Inequality: A New Specification of the Kuznets Hypothesis, *The Journal of Developing Areas*, 49 (3), 103-118.
- Topuz, S. G. ve Dağdemir, O. (2016). Ekonomik Büyüme ve Gelir Eşitsizliği İlişkisi: Kuznets Ters-U Hipotezinin Geçerliliği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 11(3), 115-130.

- Tribble, R. (1999), A Restatement of the S-Curve Hypothesis, *Review of Development Economics*, 3 (2), 207-214.
- TÜİK (2024), Gelir Dağılımı İstatistikleri 2024, *Haber Bülteni*, Sayı: 53712, Yayın Tarihi: 27 Aralık 2024, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Gelir-Dagilimi-Istatistikleri-2024-53712> Erişim: 03.06. 2025.
- Uzar, U. (2020). Is income inequality a driver for renewable energy consumption? *Journal of Cleaner Production*, 255. (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120287> Erişim: 03.06. 2025.
- Üzümcü, Adem (2018), *İktisadi Büyüme*, (3. Baskı), Beta Yayınları. İstanbul.
- Westerlund, J., & Edgerton, D. L. (2007). A panel bootstrap cointegration test. *Economics Letters*, 97(3), 185–190
- Wolde-Rufael, Yemane (2005), Energy Demand and Economic Growth: The African Experience, *Journal of Policy Modeling*, Vol: 27, pp. 891-903.
- Yu, E.S.H. and Choi, J. Y. (1985), The Causal Relationship Between Energy and GNP: An International Comparison, *Journal of Energy and Development*, Vol: 10, pp. 249–272.

Türkiye'nin Hidrojen Ekonomisine Geçiş: Yenilenebilir Enerji Potansiyeli, Jeopolitik Konum ve Lojistik Altyapı

Bülent Yıldız¹

Oğuzhan Yavuz²

Özet

Bu araştırmanın önemi, küresel nüfus artışı ve mevcut enerji kaynaklarının giderek yetersiz hâle gelmesiyle birlikte, hidrojen enerjisinin sürdürülebilir bir çözüm olarak yeniden gündeme gelmesinden kaynaklanmaktadır. Özellikle 1990'lı yılların sonlarından itibaren artan çevresel kaygılar ve iklim değişikliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmiş; bu doğrultuda hidrojen, düşük emisyon salımı, yüksek enerji yoğunluğu ve çok yönlü kullanım alanlarıyla dikkat çeken stratejik bir enerji taşıyıcısı olarak ön plana çıkmıştır. Bu çalışma, Türkiye'nin hidrojen ekonomisine geçiş sürecini; yenilenebilir enerji potansiyeli, jeopolitik konumu ve mevcut lojistik altyapısı bağlamında analiz etmeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında, Türkiye'nin hidrojen enerjisi üretimi ve lojistiği açısından mevcut enerji politikalarının yeterliliği ile jeopolitik konumunun stratejik bir avantaj sağlayıp sağlamadığı iki temel araştırma sorusu çerçevesinde ele alınmıştır. Literatür taramasına dayalı olarak gerçekleştirilen analizde, Türkiye'nin güneş, rüzgâr, jeotermal ve hidroelektrik enerji kaynaklarına ilişkin potansiyeli ayrıntılı biçimde incelenmiş; ayrıca Hidrojen Vadisi Projesi gibi somut stratejik girişimler değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, Türkiye'nin hidrojen üretimi ve dağıtımı açısından önemli fırsatlara sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, Türkiye'nin enerji arz güvenliğini artırmak ve 2053 net sıfır emisyon hedeflerine ulaşmak adına, hidrojen teknolojilerine yönelik bütüncül, uzun vadeli ve uygulamaya geçirilebilir bir ulusal strateji geliştirmesi gerekmektedir.

1 Doç. Dr., Kastamonu Üniversitesi İİBF İşletme Bölümü, byildiz@kastamonu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5368-2805

2 Doktora Öğrencisi, Kastamonu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, oguz.yavuz98@gmail.com, ORCID: 0009-0007-8612-6251

1.GİRİŞ

Sanayileşmenin hız kazanması ve dünya nüfusunun sürekli artması, küresel ölçekte enerji talebini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu artış, özellikle fosil yakıtların sınırlı rezervleri ve çevresel etkileri nedeniyle sürdürülebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Yang vd., 2025). Artan karbon salımları, hava kirliliği ve iklim değişikliğinin yarattığı ekosistem tehditleri, yalnızca çevresel açıdan değil, aynı zamanda ekonomik ve politik bağlamda da enerji sistemlerinin yeniden yapılandırılmasını gerekli kılmaktadır. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi gün geçtikçe artmakta ve bu kaynaklar arasında hidrojen enerjisi, sahip olduğu özellikler nedeniyle ön plana çıkmaktadır (Timalsina vd., 2025; Chen vd., 2025).

Hidrojen enerjisi, sifıra yakın emisyon salımı, yüksek enerji yoğunluğu ve çok yönlü kullanım alanları sayesinde, enerji dönüşüm sürecinde stratejik bir çözüm aracı olarak değerlendirilmektedir. Hidrojenin doğada bol miktarda bulunması ve yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilmesi, onu fosil yakıtlara kıyasla çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif hâline getirmektedir (Sukurova vd., 2023). Ancak hidrojenin enerji sistemi içerisindeki potansiyelinden tam anlamıyla yararlanılabilmesi, yalnızca üretim süreciyle sınırlı değildir; bu potansiyelin etkin bir şekilde kullanılması, aynı zamanda depolama, taşıma ve dağıtım gibi lojistik süreçlerin güvenli, ekonomik ve verimli biçimde tasarlanmasını gerektirmektedir (Tunç & Solmaz, 2025; Zhu vd., 2025). Bu noktada hidrojen teknolojilerinin yaygınlaştırılmasının, yalnızca mühendislik çözümleriyle değil; aynı zamanda etkili enerji politikaları, altyapı yatırımları ve stratejik planlamalarla da desteklenmesi büyük önem taşımaktadır.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, enerji arz güvenliğini sağlama hedefi doğrultusunda, Türkiye, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı stratejiler geliştirmeye yönelik politikalarını hızlandırmıştır (Hamzaçebi, 2007). Bu kapsamda hidrojen enerjisi, hem enerji güvenliğinin güçlendirilmesinde hem de 2053 yılı için belirlenen “net sıfır emisyon” hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu geniş güneşlenme süresi, rüzgâr verimliliği yüksek kıyı bölgeleri ve dünyanın önde gelen jeotermal rezerv alanları, hidrojen üretimi açısından yüksek bir teknik potansiyel sunmaktadır (Yılmaz vd., 2024). Öte yandan, Türkiye'nin Asya ile Avrupa arasında yer alan stratejik coğrafi konumu, yalnızca enerji üretiminde değil, aynı zamanda hidrojenin uluslararası piyasalara taşınmasında da lojistik bir avantaj sağlamaktadır. Bu durum, Türkiye'yi

hem üretici hem de enerji geçiş merkezi olarak konumlandırabilecek özgün bir fırsat alanı sunmaktadır.

Bu çalışma, yukarıda belirtilen bağlamlar doğrultusunda, aşağıdaki iki temel araştırma sorusu çerçevesinde şekillendirilmiştir:

S1.Türkiye'nin mevcut enerji politikaları, hidrojen enerjisinin üretimi ve lojistiği açısından ne ölçüde yeterlidir?

S2.Türkiye'nin jeopolitik konumu ve yenilenebilir enerji potansiyeli, hidrojen ekonomisinde stratejik bir avantaj sunmakta mıdır?

Bu sorular doğrultusunda, hidrojen enerjisinin temel tanımı ve teknik özellikleri ele alınmakta; üretim, taşıma ve depolama süreçlerine ilişkin kuramsal bilgiler ile Türkiye'nin güncel sektörel uygulamaları bir arada değerlendirilmektedir. Çalışmada, mevcut durum analizine ek olarak, geleceğe dönük stratejik öneriler de sunulurken, Türkiye'nin hidrojen ekonomisine geçiş sürecine bilimsel bir katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

2.KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Hidrojenin Tanımı ve Enerji Sistemlerindeki Rolü

Hidrojenin enerji taşıyıcısı olarak kullanımı yaklaşık iki yüzyıllık bir geçmişe sahiptir (Dunn, 2001). Ancak özellikle son yıllarda çevresel kaygıların ve enerji arz güvenliği ihtiyacının artmasıyla birlikte, hidrojenin enerji sistemlerindeki rolü yeniden önem kazanmıştır. Çok yönlü bir enerji taşıyıcısı olan hidrojen, gerek enerji depolama teknolojilerinde gerekse doğrudan yakıt olarak kullanımıyla, sürdürülebilir enerji dönüşümünde stratejik bir alternatif sunmaktadır. Bu özelliği sayesinde, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasında önemli bir rol üstlenme potansiyeline sahiptir (Sukurova vd., 2023).

Hidrojen enerjisine yönelik ilginin son dönemde artmasının ardında yatan temel faktörler arasında; artan hava kirliliği, düşük ya da sıfır emisyonlu ulaşım araçlarına olan talep, karbondioksit (CO₂) emisyonlarının azaltılması gerekliliği ve küresel iklim değişikliğine karşı geliştirilen enerji politikaları yer almaktadır (Solomon & Banerjee, 2006). Bu faktörler, yalnızca hidrojenin teknik üstünlüklerine değil, aynı zamanda çevresel ve politik açıdan taşıdığı değere de işaret etmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilen hidrojenin, uzun vadede kalıcı ve düşük karbonlu bir enerji sistemi oluşturulmasında merkezi bir rol üstlenmesi beklenmektedir (Veziroğlu & Şahin, 2008). Fiziksel özellikleri açısından değerlendirildiğinde, hidrojen son derece hafif bir element

olup, havaya kıyasla yaklaşık %6,9 oranında daha düşük yoğunluğa sahiptir ve benzinden yaklaşık 12 kat daha geniş bir hacme yayılma eğilimindedir. Bu özellikleri, onu bazı güvenlik risklerinden arındırmakta ve yanma-patlama tehlikelerini sınırlı seviyede tutmaktadır (Sharma & Ghoshal, 2015).

Ayrıca hidrojen, fosil kaynaklı enerji sistemlerinin neden olduğu karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂), hidrokarbonlar (C_nH_m), sülfür oksitler (SO_x) ve azot oksitler (NO_x) gibi zararlı emisyonlara kıyasla, çevresel etkileri son derece düşük olan bir enerji çözümüdür. Yenilenebilir enerji kaynakları temelinde üretilen hidrojen, bu bağlamda çevre dostu bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Momirlan & Veziroğlu, 2002).

2019–2024 yılları arasında hidrojen kullanımı büyük ölçüde sanayi, rafineri ve geleneksel sektörlerde yoğunlaşmıştır. Bu dönemde yeni kullanım alanlarının payı oldukça sınırlı kalmıştır. Ancak 2030 yılına yönelik projeksiyon, hidrojenin geleneksel kullanımının sabit kaldığı; buna karşın ulaşım, elektrik üretimi, sentetik yakıt ve diğer yeni uygulama alanlarında belirgin bir artış yaşandığı bir tabloyu göstermektedir. Özellikle sanayi ve ulaşım sektörlerinde hidrojenin artan oranda kullanılacağı öngörülmektedir. Bu durum, enerji dönüşüm stratejilerinde hidrojenin merkezi bir rol üstleneceğini ortaya koymaktadır. 2023 yılı itibarıyla hidrojen kullanımının bölgesel dağılımı incelendiğinde, Çin %29 ile en büyük paya sahip ülke konumundadır. Onu %24 ile “dünyanın geri kalanı” kategorisi takip etmektedir. Kuzey Amerika %16’lık bir oranla üçüncü sırada yer almakta, Orta Doğu (%14) ve Hindistan (%9) gibi bölgeler de dikkat çekici oranlara sahiptir. Buna karşın, Avrupa’nın hidrojen kullanım oranı yalnızca %8 olarak kaydedilmiştir; bu da bölgedeki hidrojen altyapısının henüz istenilen düzeye ulaşmadığını göstermektedir (International Energy Agency, 2024). Söz konusu veriler, hidrojen kullanımının hem sektörler hem de bölgeler bazında önemli bir dönüşüm sürecine girdiğini göstermektedir. Sanayi ve ulaşım gibi enerji yoğun sektörlerde hidrojenin rolü giderek artarken, coğrafi olarak Asya kıtasının özellikle Çin’in bu dönüşümde öncü konumda olduğu anlaşılmaktadır. Avrupa’nın bu alanda düşük paya sahip olması ise, bölgenin hidrojen stratejilerinde ilerleme kaydetmesine karşın uygulama düzeyindeki gecikmelere işaret etmektedir.

Hidrojen enerjisi, günümüzün sürdürülebilir enerji politikalarında giderek daha fazla ön plana çıkan stratejik bir enerji taşıyıcısıdır. Hem fosil kaynaklardan hem de yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilibilme özelliği sayesinde yüksek esneklik sunan hidrojen, sanayi, ulaşım ve kimya gibi çeşitli sektörlerde kullanılabilirliği ile dikkat çekmektedir. Aynı zamanda çevre dostu olması, özellikle yenilenebilir enerjiyle üretildiğinde emisyon salımının

neredeyse sıfıra inmesi, hidrojenin düşük karbonlu enerji sistemleri açısından kritik bir rol üstlenmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte, hidrojenin büyük ölçekli enerji sistemlerine entegre edilmesi bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Hidrojenin fiziksel özellikleri, özellikle düşük moleküler ağırlığı, depolama sırasında sızıntı riskini artırmakta; bazı malzemelerde kırılabilirliğe yol açarak güvenlik açısından ek önlemler gerektirmektedir. Ayrıca, üretim sürecindeki yüksek maliyetler ve mevcut depolama sistemlerinin enerji yoğunluğu açısından verimsizliği, hidrojenin özellikle ulaşım sektörü gibi uygulamalarda geniş çaplı kullanımını sınırlandırmaktadır. Ancak son yıllarda geliştirilen ileri mühendislik çözümleri ve malzeme teknolojileri, bu sınırlılıkların aşılabileceğini göstermektedir. Depolama güvenliği, taşımacılık altyapısı ve maliyet etkinliği konularındaki ilerlemeler sayesinde hidrojenin enerji sistemlerindeki payının artırılması mümkün görünmektedir (Rosen & Koohi-Fayegh, 2016).

2.2. Hidrojen Lojistiği

Lojistik, birden fazla paydaşın yer aldığı ortak bir değer ağı içinde bilgi akışı, karar alma süreçleri ve kaynak yönetiminin planlanması ve uygulanmasını kapsayan entegre ve koordineli bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Benjelloun & Crainic, 2008). Bu çerçevede, hidrojen lojistiği, yalnızca tedarik zinciri yönetiminin bir unsuru olmakla kalmayıp, aynı zamanda hidrojen ekonomisinin gelişimi ve sürdürülebilir enerjiye geçiş süreci açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik küresel hedefler doğrultusunda, hidrojenin üretim noktalarından tüketim merkezlerine etkin ve güvenli bir şekilde taşınması büyük önem arz etmektedir (Erdoğan vd., 2024).

Hidrojenin taşınabilirliği, onu stratejik bir enerji taşıyıcısı yapan temel unsurlardan biridir. Günümüzde hidrojen; karayolu, denizyolu, demiryolu ve boru hatları aracılığıyla taşınabilmektedir (Tunçbilek, 2024). Bu taşıma yöntemlerinin seçimi, taşınacak hidrojenin hacmine, taşınma mesafesine, altyapı kapasitesine ve maliyet unsurlarına bağlı olarak değişmektedir. Özellikle büyük hacimli ve uzun mesafeli taşımalar için, hidrojenin sıkıştırılmış gaz formunda boru hatlarıyla taşınması teknik açıdan en uygun yöntem olarak değerlendirilmektedir (Rosen & Koohi-Fayegh, 2016). Ancak bu yöntemin uygulanabilirliği, gelişmiş bir altyapının varlığını gerektirmektedir.

Boru hattı taşımacılığı, yüksek taşıma kapasitesi ve sürekli akış imkânı sayesinde avantajlı olmakla birlikte, hidrojenin kimyasal özellikleri bu yöntemin uygulanmasında bazı teknik zorluklara yol açmaktadır. Hidrojenin

yüksek reaktivitesi ve yanıcılığı, boru hatlarında kullanılacak malzemelerin seçiminde özel önlemler alınmasını zorunlu kılmakta; sızıntı riskine karşı ek güvenlik sistemlerinin entegrasyonunu gerektirmektedir. Ayrıca hidrojen, belirli metal alaşımlarla temas ettiğinde malzeme kırılganlığına neden olabilmekte ve bu durum boru hatlarının uzun ömürlü kullanımı açısından ciddi bir engel teşkil etmektedir (Raj vd., 2024). Bu tür teknik ve güvenlik riskleri nedeniyle, hidrojenin boru hatlarıyla taşınmasının kısa vadede yaygın bir çözüm olarak benimsenmesi sınırlı kalabilir (Staffell vd., 2019).

Boru hattı taşımacılığında maliyet unsurları da önemli bir değişken olarak öne çıkmaktadır. Hidrojenin akış hızı, teslimat mesafesi ve boru hattı çapı gibi faktörler, toplam lojistik maliyetini belirleyici unsurlar arasında yer almaktadır. Küçük hacimli taşımalar için boru hattı kullanımı, genellikle maliyet açısından verimsiz kabul edilmektedir. Bu nedenle kısa mesafelerde, özellikle küçük hacimli hidrojen taşımalarında, gaz hâlindeki hidrojenin tüp tanklar aracılığıyla kamyonlarla taşınması en ekonomik ve uygulanabilir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Ajanovic, 2008).

Alternatif taşıma modlarına bakıldığında, denizyolu taşımacılığı büyük hacimli taşımalarda tercih edilen yöntemlerden biridir. Bu yöntem, 1000 m³'ün üzerinde kapasiteye sahip özel tankerlerle gerçekleştirilebilmektedir. Karayolu taşımacılığı ise esnekliği ve kolay erişilebilirliği sayesinde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, genellikle 30–60 m³ hacme sahip römorklar aracılığıyla 2100 ila 4200 kg arasında hidrojen taşınabilmektedir. Demiryolu taşımacılığı ise, daha büyük ölçekli taşımalar için uygun bir alternatif olup, yaklaşık 8000 kg kapasiteye sahip 115 m³'lük konteynerler kullanılmaktadır (Aziz, 2021). Bu bağlamda, hidrojenin lojistiği, yalnızca taşıma yöntemlerinden ibaret olmayan çok boyutlu bir süreçtir. Altyapı gereksinimleri, güvenlik önlemleri, ekonomik sürdürülebilirlik ve enerji dönüşüm hedefleri birlikte değerlendirildiğinde, hidrojen lojistiğinin başarılı bir şekilde yönetilmesi, hidrojen ekonomisinin gelişimi açısından temel bir ön koşul olarak öne çıkmaktadır.

Hidrojenin enerji sistemleri içerisinde etkin bir biçimde kullanılabilmesi, yalnızca üretim teknolojilerine değil; aynı zamanda bütüncül bir tedarik zinciri yapısının varlığına da bağlıdır. Literatürde, hidrojen tedarik zinciri dört temel aşamadan oluşan bir yapı şeklinde tanımlanmaktadır: hammadde tedariki, üretim, depolama ve dağıtım (Nunes vd., 2015).

Zincirin ilk halkasında yer alan hammadde tedarikçileri, ulusal veya uluslararası kaynaklardan sağlanan girdileri üretim tesislerine ulaştırmaktadır. Bu hammaddeler, doğalgaz, su veya organik atık gibi hidrojen üretimine uygun bileşenleri içermektedir. Üretim tesislerinde bu hammaddeler,

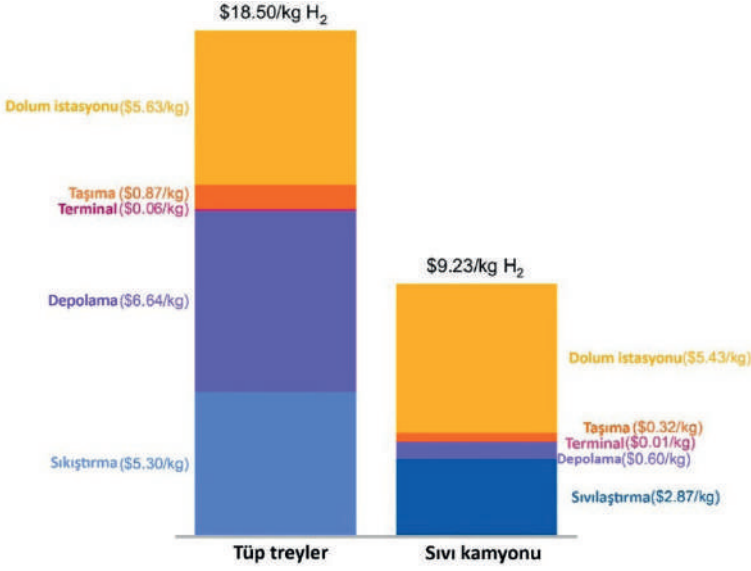
çeşitli teknolojik süreçler (örneğin buhar metan reformasyonu, elektroliz veya biyokütle gazlaştırması) aracılığıyla sıvı ya da gaz hâlindeki hidrojene dönüştürülmektedir. Elde edilen hidrojen, üretim noktasından sonra ya depolama tesislerine yönlendirilmekte ya da doğrudan yakıt ikmal istasyonlarına sevk edilmektedir. Depolama tesisleri, hidrojenin talep zamanlamasına uygun şekilde kullanılabilmesi için stratejik bir ara aşama işlevi görmektedir. Eğer hidrojenin anlık kullanımına ihtiyaç duyulmazsa, bu ürün güvenli koşullar altında depolanarak ilerideki tüketim ihtiyaçlarına yönelik olarak sistemde tutulmaktadır. Talep oluştuğunda ise, hidrojen depolama alanlarından alınarak tüketim noktalarına taşınmakta ve nihai kullanıcıya ulaştırılmaktadır (Nunes vd., 2015). Bu yapı, hidrojenin üretimden nihai kullanıma kadar olan sürecinin sistematik biçimde planlanmasını ve yönetilmesini gerekli kılmakta olup, enerji güvenliği ve sürdürülebilir lojistik açısından hayati önem taşımaktadır.

2.3. Hidrojenin Ulaşımında Kullanımı ve Yakıt İkmal Altyapısı

Hidrojenin ulaşım sektöründe etkin bir yakıt olarak kullanılabilmesi, yalnızca üretim süreçlerinin değil; aynı zamanda yaygın, erişilebilir ve güvenli bir ikmal istasyonları ağıının oluşturulmasını da gerektirmektedir (Wallington vd., 2025). Bu altyapı, hidrojenin hem depolanmasını hem de son kullanıcıya ulaştırılmasını mümkün kılarak, taşımacılıkta hidrojen bazlı dönüşümün temelini oluşturmaktadır.

Hidrojenin ikmal ve dağıtım süreçlerinde karşılaşılan en büyük zorluklardan biri ise yüksek teslimat maliyetleridir. Bu maliyetleri sistematik olarak analiz etmek ve optimize etmek amacıyla, Hidrojen Dağıtım Senaryosu Analiz Modeli (HDSAM) geliştirilmiştir (Elgowoiny & Reddi, 2024). HDSAM modeli, özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde hidrojen dağıtımına ilişkin maliyet tahminleri ile birlikte, çevresel emisyonların analiz edilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Model, günlük 100 kg ile 2000 kg arasında hidrojen dağıtımı gerçekleştiren ikmal istasyonları için farklı dağıtım senaryolarına göre maliyet tahminleri sunmaktadır. Bu kapsamda, Şekil 1'de yer verilen analizler, HDSAM modeli kullanılarak hesaplanan teslimat maliyetlerini göstermektedir. Analiz sonuçları, mevcut altyapının hidrojenin yaygınlaşması için yetersiz kaldığını ve özellikle teslimat süreçlerinde maliyetlerin azaltılması ve sistemin verimliliğinin artırılması gerektiğini ortaya koymaktadır (Wallington vd., 2025).



Şekil 1. Hidrojenin Tahmini Maliyetleri (Wallington vd., 2025)

Şekil1, hidrojenin tüp treyler ve sıvı kamyonu ile taşınmasına ilişkin birim başı toplam maliyetleri ve bu maliyetlerin alt bileşenlerini karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Her iki taşıma yöntemi için farklı lojistik aşamaların (sıvılaştırma/sıkıştırma, depolama, terminal işlemleri, taşıma ve dolum istasyonu) birim maliyete katkısı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Grafik, taşıma yönteminin seçiminde yalnızca teknik değil, ekonomik etkenlerin de belirleyici olduğunu açık biçimde göstermektedir. Tüp treyler yöntemiyle hidrojen taşınmasında toplam maliyetin 18.50 ABD doları/kg H₂ olduğu görülmektedir. Bu yöntemde en yüksek maliyet kalemleri: Depolama (\$6.64/kg), sıkıştırma (\$5.30/kg), dolum istasyonu işlemleri (\$5.63/kg) olarak öne çıkmaktadır. Taşıma (\$0.87/kg) ve terminal maliyetleri (\$0.06/kg) toplam maliyette görece daha düşük bir paya sahiptir. Bu durum, özellikle sıkıştırma ve depolamanın enerji yoğunluğu ve teknik gereklilikleri nedeniyle tüp treyler yönteminin daha yüksek işletme maliyetiyle sonuçlandığını göstermektedir. Sıvı kamyonu yöntemiyle hidrojen taşımacılığının toplam maliyeti ise 9.23 ABD doları/kg H₂ olup, tüp treylere kıyasla neredeyse yarı yarıya daha düşük bir maliyet sunmaktadır. En büyük maliyet kalemi yine: dolum istasyonu işlemleri (\$5.43/kg) olmakla birlikte, diğer bileşenler oldukça düşük kalmaktadır. Özellikle, sıvılaştırma maliyeti (\$2.87/kg), depolama (\$0.60/kg), taşıma (\$0.32/kg), terminal işlemleri (\$0.01/kg) bu yöntemin ekonomik avantajlarını göstermektedir. Bu durum, sıvı taşımacılığın yüksek hacimli taşımalar için daha verimli bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır.

Verilere göre, hidrojen taşımacılığında sıvı kamyonu yöntemi, tüp treyler yöntemine kıyasla daha düşük maliyetli bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Özellikle sıkıştırma ve depolama gibi enerji yoğun aşamalardaki maliyet farkları, toplam maliyeti ciddi biçimde etkilemektedir. Bununla birlikte, dolum istasyonlarındaki maliyetin her iki yöntemde de yüksek olması, bu aşamanın hidrojen tedarik zincirindeki en kritik ekonomik darboğazlardan biri olduğunu göstermektedir. Enerji geçiş stratejilerinde maliyet etkinliğinin artırılabilmesi için, sıkıştırma ve depolama teknolojilerinin geliştirilmesi, ayrıca terminal ve dolum süreçlerinin daha verimli hâle getirilmesi önemli bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

2.4. Türkiye’de Lojistik Altyapı ve Hidrojen Taşımacılığı Açısından Stratejik Potansiyel

Türkiye, sahip olduğu coğrafi konum ve ulaşım çeşitliliği sayesinde lojistik altyapısını çok modlu taşımacılık ilkeleri çerçevesinde geliştirmeye devam etmektedir. Karayolu, denizyolu, demiryolu, havayolu ve boru hattı taşımacılığı gibi farklı ulaşım türlerinin entegre biçimde kullanılması, hem iç ticaretin etkinliğini artırmakta hem de enerji lojistiği gibi stratejik alanlarda yüksek esneklik ve güvenlik sağlamaktadır. Bu kapsamda, Türkiye genelinde taşımacılık modlarının entegrasyonunu sağlayacak şekilde yapılandırılmış 11 adet lojistik merkez aktif olarak hizmet vermektedir (Bozdağlıoğlu & Keşir, 2022).

Karayolu taşımacılığı, özellikle kısa mesafeli sevkiyatlarda hızlı ve etkin lojistik çözümler sunması nedeniyle Türkiye’de en yaygın kullanılan ulaşım türü olarak öne çıkmaktadır. Üretim noktalarından tüketim merkezlerine doğrudan erişim sağlaması, bu sistemin tercih edilme oranını artırmaktadır (Takım & Ersungur, 2015). Havayolu taşımacılığı, taşıma süresinin kısa olması bakımından avantaj sağlasa da, yüksek maliyetli olması ve hava koşullarına duyarlılığı nedeniyle sınırlı kullanım alanına sahiptir (Gün, 2007).

Denizyolu taşımacılığı, özellikle uzun mesafeli taşımacılıkta ekonomik açıdan avantajlı bir alternatif sunmaktadır. Yüklerin farklı taşıma araçlarına kolaylıkla aktarılabilmesi (intermodalite) ve Türkiye’nin 8.400 kilometreyi aşan doğal kıyı uzunluğu, bu yöntemin stratejik önemini artırmaktadır (İrmaç & Pelit, 2020). Demiryolu taşımacılığı, hem yük ve çeşitli ürünlerin taşınmasında hem de ulaşım yolları açısından önemli bir taşıma sistemi olarak öne çıkmaktadır (Tutar vd., 2009). Türkiye Karayolu ve Demiryolu Taşımacılığı Sektör Araştırması Raporu’na (2023) göre, Türkiye’nin toplam 13.128 kilometre uzunluğundaki ulusal demiryolu altyapısı bu alandaki lojistik faaliyetlerin temelini oluşturmaktadır.

Enerji taşımacılığında öne çıkan bir diğer önemli sistem olan boru hattı taşımacılığı, özellikle petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynaklarının hızlı, güvenli ve maliyet etkin bir şekilde taşınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Oğuz & Oğuz, 2020). Türkiye'nin mevcut boru hattı altyapısı, yalnızca mevcut enerji ihtiyacını karşılamakla kalmamakta; aynı zamanda hidrojen taşımacılığı açısından da büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bu doğrultuda, gelecekte üretilecek hidrojenin tüketim bölgelerine verimli şekilde ulaştırılabilmesi amacıyla planlanan boru hattı güzergâhları, enerji politikaları açısından stratejik bir öneme sahiptir.

Türkiye'nin coğrafi yapısı, enerji altyapısı ve sanayi kümelenmeleri göz önünde bulundurularak olası hidrojen boru hattı için belirlenen güzergâhlar, ülkenin doğu-batı yönündeki enerji geçişi rolünü güçlendirme potansiyeline sahiptir. Güzergâh, batıda İzmir, Bursa ve İstanbul gibi sanayi ve ihracat merkezlerinden başlayarak, İç Anadolu'daki üretim ve dağıtım noktaları olan Ankara, Konya ve Kayseri üzerinden geçmekte; doğuda ise Gaziantep, Diyarbakır, Van ve Erzurum gibi enerji ihtiyacı yüksek illere uzanmaktadır. Aynı zamanda hat, Akdeniz limanlarına (Mersin, Antalya) ve Karadeniz kıyısındaki şehirler (Samsun, Ordu, Trabzon) aracılığıyla deniz taşımacılığı ile entegre edilebilecek bir yapı sunmaktadır. Bu sayede hidrojenin hem iç hem de dış pazarlara taşınması mümkün olabilecektir (Çolak vd., 2021).

Bu güzergâhın enerji lojistiği açısından önemi, birkaç temel faktöre dayanmaktadır: Var olan doğalgaz boru hattı altyapısına paralel geliştirilebilir olması, yeni yatırımların maliyetini düşürebilir. Sanayi ve enerji tüketiminin yoğun olduğu bölgeleri kapsamaması, hidrojenin dağıtım verimliliğini artırır. Deniz limanlarına bağlantı sağlaması, hidrojenin sıvı veya tüp formda ihraç edilmesini kolaylaştırır. Doğu ile Batı arasındaki enerji geçiş koridoru niteliği, Türkiye'nin jeopolitik avantajlarını hidrojen ekonomisiyle birleştirir. Ayrıca, bu hat ile entegre edilecek yakıt ikmal istasyonları, yerel üretim tesisleri ve depolama altyapıları, Türkiye'nin ulusal hidrojen stratejisi kapsamında "bütünleşik bir hidrojen lojistik ağı" kurmasına olanak sağlayacaktır. Bu yönüyle önerilen güzergâh, yalnızca fiziksel bir iletim hattı değil; aynı zamanda hidrojen ekonomisine geçişin temel taşı niteliğinde bir altyapı unsuru olarak değerlendirilmelidir.

2.5.Hidrojenin Depolanması

Hidrojen enerjisinin sunduğu çevresel ve teknik avantajlara rağmen, güvenli ve verimli bir şekilde depolanabilmesi, hidrojen ekonomisinin yaygınlaşmasında hâlâ önemli bir zorluk olarak varlığını sürdürmektedir (Zhang vd., 2015). Hidrojenin uygun koşullarda ve maliyet etkin

biçimde depolanması hem taşıma süreçlerinin sürdürülebilirliği hem de arz-talep dengesinin sağlanması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Hidrojen depolama yöntemleri genel olarak iki ana kategori altında sınıflandırılmaktadır: fiziksel yöntemler ve malzeme temelli teknolojiler (Jorschick vd., 2021; Osman vd., 2024). Bu sınıflandırma aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Fiziksel Yöntemler: Sıkıştırılmış hidrojen tankları, Sıvı hidrojen (LH₂) tankları, Kriyojenik-sıkıştırılmış tanklar
- Malzeme Temelli Teknolojiler: Metal hidritler, Adsorbanlar, Kimyasal hidritler

Fiziksel yöntemler, hidrojenin ya yüksek basınç altında sıkıştırılmış gaz hâlinde ya da çok düşük sıcaklıklarda sıvı formda depolanmasına dayanmaktadır. Bu yöntemler günümüzde en yaygın kullanılan depolama teknolojileri arasında yer almakta ve mevcut hidrojen lojistiğinin omurgasını oluşturmaktadır (Jorschick vd., 2021). Sıkıştırma yöntemi, doğalgaz için kullanılan sistemlere benzer tanklarda uygulanmakta olup, görece düşük maliyetli ve basit bir altyapı gerektirmektedir. Bu tanklar, güvenlik açısından da gelişmiş sistemlerle donatılmıştır; yangın durumlarında patlamayı önleyen güvenlik fitilleri, acil durum kesici sistemleri gibi önlemler, kullanım güvenliğini artırmaktadır (Cipriani vd., 2014).

Hidrojenin sıvı formda depolanabilmesi için öncelikle sıvılaştırma sürecinden geçirilmesi gerekmektedir. Bu süreç, hidrojenin kriyojenik sıcaklıklara (-253 °C) kadar soğutulmasını içerir. Ancak, hidrojenin son derece düşük kaynama noktası nedeniyle, sürekli soğutma teknik olarak mümkün değildir. Bu nedenle, depolama tanklarının yüksek düzeyde yalıtımlı olması kritik önem taşır. Yine de tam yalıtım sağlanamadığından, sıvı hidrojen zamanla buharlaşabilir. Bu kayıpları kontrol altına almak amacıyla, büyük ölçekli tesislerde buharlaşan hidrojenin basınçlı kaplarda yeniden gaz olarak depolanması, sistemin verimliliğini artırmaktadır (Burke vd., 2024).

Malzeme temelli yaklaşımlar arasında en dikkat çekici olan yöntemlerden biri metal hidritli depolama sistemleridir. Bu sistemlerde hidrojen, metal alaşımlarının yapısına kimyasal olarak bağlanarak depolanmakta ve ihtiyaç hâlinde geri salınmaktadır (Zhang vd., 2015). Metal hidrit bazlı depolama sistemlerinin başlıca avantajları arasında; yüksek kütleli ve hacimsel hidrojen yoğunluğu, üst düzey güvenlik, yüksek saflıkta hidrojen üretimi ve iyi geri dönüşüm performansı yer almaktadır (Chen & Zhu, 2008).

Bir diğer gelişmiş yöntem ise kimyasal depolamadır. Bu yöntemde, hidrojen kimyasal taşıyıcılar aracılığıyla bağlanarak daha kararlı bir formda

depolanır. Bu tür teknolojiler, özellikle Power-to-X uygulamaları kapsamında gelişmektedir. Burada hidrojen, katalitik süreçler aracılığıyla azot (N₂) veya karbondioksit (CO₂) ile tepkimeye girerek sırasıyla amonyak, metan, metanol ya da sentetik hidrokarbonlar gibi taşıyıcı moleküllere dönüştürülmektedir (Jorschick vd., 2021). Bu yaklaşım hem taşıma kolaylığı hem de entegre enerji sistemlerine adaptasyon açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır.

2.6. Türkiye'nin Enerji Profili ve Hidrojen Üretimindeki Potansiyeli

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (ETKB) 2025 yılı Nisan ayı sonunda yayımladığı verilere göre, Türkiye'nin toplam kurulu elektrik üretim kapasitesi 118.668 MW olarak kaydedilmiştir. Bu kurulu gücün enerji kaynaklarına göre dağılımı incelendiğinde; %27,2'sinin hidrolik, %20,7'sinin doğal gaz, %18,5'inin kömür, %18,7'sinin güneş, %11,2'sinin rüzgâr, %1,5'inin jeotermal ve %2,2'sinin diğer enerji kaynakları tarafından sağlandığı görülmektedir (ETKB, 2025). Bu dağılım, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik artan ilgisini ve kaynak çeşitliliğini yansıtmaktadır.

Hidrojen; çevre dostu yapısı, geri dönüştürülebilirliği, yüksek enerji yoğunluğu ve düşük karbon emisyonu ile fosil yakıtlara karşı umut verici bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, hidrojen üretim ve kullanım süreçlerinde bazı teknik ve ekonomik zorluklar da bulunmaktadır. Yüksek üretim maliyetleri, gelişmiş altyapı gereksinimi, dağıtım ve depolama sistemlerinin yetersizliği ve verimliliği artıracak ileri teknolojilere olan ihtiyaç, hidrojenin yaygınlaşmasının önündeki temel engeller olarak öne çıkmaktadır (Akpasi vd., 2025).

Özellikle doğal gaz gibi fosil kaynaklardan üretilen gri hidrojen ile yenilenebilir kaynaklarla üretilen yeşil hidrojen arasındaki maliyet farkı, yeşil hidrojenin benimsenmesini sınırlayan önemli bir faktördür. Bu bağlamda, hidrojenin güvenli ve verimli bir şekilde taşınmasını sağlayacak dağıtım altyapılarının geliştirilmesi, yakıt ikmal istasyonlarının yaygınlaştırılması ve destekleyici politikaların hayata geçirilmesi büyük önem arz etmektedir (Caldeira & Moro, 2025).

Yılmaz vd. (2024), Türkiye'nin biyo-hidrojen üretim sürecine ilişkin güçlü ve zayıf yönlerini, fırsatlarını ve tehditlerini belirleyebilmek amacıyla SWOT analizi yöntemini kullanmışlardır. Bu analiz kapsamında, Türkiye'nin hidrojen üretimi konusundaki güçlü yönleri arasında; jeopolitik avantajı, doğal kaynak çeşitliliği, Ar-Ge faaliyetlerinin yürütülmesi, kamu desteği ve hem ulusal hem de uluslararası özel sektör yatırımları öne çıkmaktadır. Ancak

bu avantajlara karşın, zayıf yönler olarak sınırlı altyapı kapasitesi, yüksek teknolojik yatırım maliyetleri, nitelikli insan kaynağı eksikliği ve geleneksel enerji kaynaklarıyla rekabetin yarattığı baskılar ön plana çıkmaktadır.

Analize göre, Türkiye'nin biyo-hidrojen sektöründe önemli fırsatlara da sahip olduğu görülmektedir. Bu fırsatlar arasında, küresel pazarda artan ihracat potansiyeli, uluslararası iş birliklerinin gelişmesi, enerji sürdürülebilirliğinin sağlanması, fosil yakıt ithalatının azaltılması, çevresel iyileşmelerin desteklenmesi ve yeni istihdam alanlarının yaratılması sayılabilir. Ancak sektör aynı zamanda bazı tehditlerle de karşı karşıyadır. Bunlar arasında değişken uluslararası talep yapısı, rekabet baskısı, hidrojenin yanıcılığına dayalı güvenlik riskleri ve üretim ekipmanları açısından dışa bağımlılık yer almaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının, hidrojen üretiminde çeşitli avantajları bulunmaktadır. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle gibi temiz enerji kaynaklarıyla hidrojen üretimi gerçekleştirilebilmekte; bu süreç doğrudan emisyonlara veya zararlı yan ürünlere yol açmamaktadır (Dincer & Chaab, 2025). Rüzgâr santralleri ile hidrojen üretim tesisi arasında enerji depolama entegrasyonunun sağlanması, pahalı elektrolizörlerin yüksek kullanım faktörüne göre boyutlandırılmasına ve elektrolizör performansındaki bozulmaların azaltılmasına olanak tanımaktadır (Wang vd., 2024). Güneş enerjisi ile entegre edilmiş hidrojen üretimi, iklim değişikliği ve fosil yakıtların tükenmesi gibi çevresel sorunların azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Barghash vd., 2025).

Ülkelerin enerji kaynakları, devletlerin coğrafyasının bir unsurudur. Bu nedenle enerji jeopolitiği, diğer unsurların yanı sıra enerji arz ve talep merkezlerinin konumu, geçiş yolları ve enerji kaynaklarının stratejik değeri gibi faktörlerin etkisini analiz etmektedir. Enerji jeopolitiği, devletin çıkarlarını anlamak amacıyla; ulusal stratejilerin etkinliği ile ekonomik büyüklüğün enerji politikalarına olan etkisini değerlendirmek için kullanılmaktadır (Campos & Fernandes, 2017). Türkiye, stratejik konumu dolayısıyla Avrupa ile Asya arasında bir köprü işlevi görmektedir ve bu özelliği sayesinde bir enerji merkezi olarak hizmet verme potansiyeline sahiptir (Hilali vd., 2024).

Türkiye, Asya ve Avrupa arasında stratejik bir köprü konumunda bulunmasının yanı sıra, sahip olduğu iklimsel çeşitlilik ve doğal kaynak zenginliği sayesinde yenilenebilir enerji üretimi açısından önemli avantajlara sahiptir. Bu avantajlar, özellikle yeşil hidrojen üretimi açısından Türkiye'yi potansiyel bir merkez hâline getirmektedir. Ülkenin yüksek güneşlenme kapasitesi, özellikle fotovoltaik sistemlerle su elektrolizi yoluyla hidrojen üretimi için uygun koşullar sağlamaktadır. Başta Antalya olmak üzere

güneş enerjisi açısından verimli bölgelerde bu tür sistemlerin kurulumu teknik ve ekonomik olarak elverişlidir. Benzer şekilde, Türkiye'nin uzun kıyı şeridi boyunca farklı yönlerden esen rüzgarlar, özellikle Aydın ve Muğla gibi bölgelerdeki rüzgar enerjisi santralleri aracılığıyla hidrojen üretimini destekleyebilecek potansiyele sahiptir. Bunun yanı sıra, Türkiye, jeotermal enerji kaynakları açısından da zengin bir ülkedir. Kapadokya ve Pamukkale gibi sıcak su kaynaklarının bulunduğu alanlar, elektroliz yoluyla hidrojen üretiminde jeotermal enerjinin etkin biçimde kullanılabileceği bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, Türkiye'nin akarsu, göl ve çevre denizlerden oluşan su varlığı, hidroelektrik enerji yoluyla dolaylı olarak hidrojen üretimine katkı sunabilecek kapasitededir. Tarım ve ormancılığa dayalı faaliyetler sonucunda ortaya çıkan biyokütle ve organik atıklar, biyolojik süreçlerle hidrojen üretimi için değerlendirilebilecek önemli kaynaklar arasında yer almaktadır. Bu çeşitlilik, Türkiye'nin hem kaynak temelli hem de coğrafi açıdan yeşil hidrojen üretimi için önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Yılmaz vd., 2024).

2.7.Hidrojen Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Back vd. (2025) tarafından yürütülen çalışmada, İspanya'nın karbonsuzlaşma hedefleri doğrultusunda hidrojen üretiminin potansiyeli analiz edilmiştir. 2040 yılına yönelik planlanan elektrik sistemi, artan yenilenebilir enerji kapasitesiyle simüle edilmiş ve bu sistemin mevsimsel enerji dengesizlikleri oluşturabileceği tespit edilmiştir. İlkbahar, yaz ve sonbahar aylarında toplam 17,33 TWh'lik bir enerji fazlası öngörülmekte olup, bu fazla enerjiyle yaklaşık $4,33 \times 10^9 \text{ m}^3$ hidrojen üretiminin mümkün olduğu belirlenmiştir. Üretilen hidrojenin tamamının depolanabilmesi için yaklaşık 60 tuz mağarasına ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut durumda Torrelavega, Sales de Monzón ve Jumilla/Pinoso bölgelerinde bulunan bu mağaralar hâlihazırda yalnızca tuzlu su üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Çalışma, yaz döneminde oluşan fazla elektriğin elektroliz yoluyla hidrojen üretiminde değerlendirilerek, kış aylarında ortaya çıkan 5,69 TWh'lik enerji açığını dengelemede kullanılmasını önermektedir. Bu senaryo, mevsimsel enerji esnekliği açısından hidrojenin kritik bir çözüm aracı olduğunu göstermektedir.

Sanchez vd. (2025), Suudi Arabistan'ın 2030 Vizyonu doğrultusunda planlanan karbonsuzlaşma sürecinde hidrojen üretimini incelemişlerdir. Tatlı su kaynaklarının kısıtlı olduğu ülkede, proton değişim membranlı (PEM) su elektrolizi yöntemi değerlendirilmiş ve tuzdan arındırma sürecinin üretim üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Araştırmada iki yenilenebilir enerji senaryosu incelenmiştir: fotovoltaiik (güneş) sistemler ve kara tipi rüzgar

türbinleri. Bulgulara göre, bu sistemlerle çalışan elektrolizörler aracılığıyla %95'e varan sera gazı azaltımı sağlanabilmektedir. Güneş enerjisiyle üretilen hidrojen için 3,66 kg CO₂ eşdeğeri/kg H₂, rüzgâr enerjisiyle üretilen hidrojen için ise yalnızca 0,76 kg CO₂ eşdeğeri/kg H₂ emisyon değeri rapor edilmiştir. Çalışma, süreç optimizasyonunun ve yenilenebilir kaynak entegrasyonunun, çevresel sürdürülebilirliği sağlama açısından kritik olduğunu vurgulamaktadır.

Karayel vd. (2023a), Türkiye'de kara ve deniz kökenli yenilenebilir kaynaklara dayalı hidrojen üretim potansiyelini analiz etmiştir. Denizaltı akıntıları dâhil olmak üzere farklı enerji kaynaklarıyla yapılan modelleme sonucunda, Erzurum (13,83 milyon ton), Van (12,81 milyon ton), Konya (12,05 milyon ton) ve Sivas (11,82 milyon ton) illerinin en yüksek üretim potansiyeline sahip bölgeler olduğu belirlenmiştir.

Karayel vd. (2023b) tarafından yürütülen başka bir çalışmada, Türkiye'de hidroelektrik kaynaklara dayalı yeşil hidrojen üretim potansiyeli incelenmiştir. Hidro bazlı üretim konsepti doğrultusunda Türkiye'nin toplam üretim potansiyeli 2,26 megaton/yıl olarak tahmin edilmiştir. En yüksek üretim kapasitelerine sahip iller sırasıyla Şanlıurfa (233,09 kt/yıl), Elazığ (204,92 kt/yıl), Diyarbakır (175,35 kt/yıl), Artvin (157,28 kt/yıl) ve Adana (140,8 kt/yıl) olarak öne çıkmaktadır.

Karayel vd. (2022) ise Türkiye'nin jeotermal kaynaklarını esas alarak yeşil hidrojen üretim potansiyelini değerlendirmiştir. Jeotermal enerjinin verimliliği; kaynakların sıcaklığı, akış hızı ve bileşimi gibi fiziksel özelliklere bağlı olarak değişmektedir. Hidrojen üretiminde alkalın elektrolizörlerin uygun bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Türkiye'nin toplam jeotermal kaynaklı hidrojen üretim kapasitesi 559,76 kiloton olarak hesaplanmıştır. En yüksek potansiyele sahip iller arasında Aydın, Manisa ve Denizli yer almaktadır.

Dincer vd. (2022), İstanbul özelinde yapılan çalışmada yeşil hidrojen üretim potansiyelini ilçeler bazında analiz etmiştir. Elektrolizörler aracılığıyla yapılan üretim hesaplamalarında, Çatalca (1,40 milyon ton), Şile (1,19 milyon ton), Silivri (1,12 milyon ton), Arnavutköy (0,57 milyon ton) ve Beykoz (0,46 milyon ton) ilçeleri en yüksek potansiyele sahip bölgeler olarak tespit edilmiştir.

Uysal vd. (2021), deniz ve göl sularının elektroliz yoluyla hidrojen üretimindeki potansiyelini değerlendirmiştir. Karadeniz, Ege Denizi, Marmara Denizi, Akdeniz, Van Gölü, Ağcaşar Barajı, Yeşilirmak ve Kızılırmak gibi kaynaklar incelenmiş; özellikle Marmara Denizi ve Van Gölü,

diğer bölgelere göre daha yüksek hidrojen üretim kapasitesi göstermiştir. Ayrıca, üretim verimliliğinin büyük ölçüde pH değeri ve tuzluluk oranı gibi su kimyasal özelliklerine bağlı olduğu saptanmıştır. Örneğin, Akdeniz suyu, Van Gölü'ne kıyasla yaklaşık %23 daha yüksek hidrojen üretim potansiyeline sahiptir.

Genç vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen vaka analizinde, İç Anadolu Bölgesi'ndeki beş lokasyonda rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemleri kullanılarak hidrojen üretimi ve maliyetleri değerlendirilmiştir. 1300 kW gücünde bir sistemle, yıllık hidrojen üretimi Niğde'de 1665,24 kg H₂ (50 m göbek yüksekliği), Pınarbaşı'nda ise 6288,59 kg H₂ (100 m göbek yüksekliği) olarak ölçülmüştür. Bu veriler, bölgesel rüzgâr profillerinin üretim verimliliği üzerindeki etkisini göstermektedir.

2.8.Türkiye'de Hidrojen Enerjisi: Stratejik Hedefler ve Geliştirilen Projeler

Dünyada hidrojen enerjisi alanındaki en iddialı projelerden biri olan Western Green Energy Hub, Batı Avustralya'nın güneydoğusunda yer alan 15.000 km²'lik bir alanda geliştirilmektedir. Proje tamamlandığında, 50 GW'ın üzerinde hibrit rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesiyle dünyanın en büyük yenilenebilir enerji altyapılarından biri hâline gelmesi hedeflenmektedir. Bu kapasiteyle yılda yaklaşık 3,5 milyon ton sıfır karbonlu yeşil hidrojen üretilenektir. Üretilen hidrojenin; enerji üretimi, madencilik faaliyetleri, uzun menzilli deniz taşımacılığı ve ağır taşıma sektörleri için yeşil türev yakıtların üretiminde kullanılması planlanmaktadır. Ayrıca proje kapsamında rüzgâr ve güneş santralleriyle birlikte elektrolizör sistemlerinin yaygın olarak kurulması öngörülmektedir (Western Green Energy Hub, 2023).

Bununla birlikte, Japonya'da yer alan ve 2020 yılında faaliyete geçen Fukushima Hidrojen Enerji Araştırma Sahası (FH2R), dünyanın en büyük yenilenebilir enerji destekli yeşil hidrojen üretim tesislerinden biri olarak dikkat çekmektedir. Tesis, 10 MW kapasiteli elektrolizör ve 20 MW gücünde güneş enerjisi santrali ile entegre çalışmaktadır. 180.000 m² alana kurulu olan bu yapı, saatte 1.200 Nm³ hidrojen üretim kapasitesine ulaşabilmekte ve tam kapasitede çalıştığında 150 hanenin aylık enerji ihtiyacını veya 560 hidrojen yakıtlı aracı karşılayabilecek miktarda üretim sağlayabilmektedir. Üretilen hidrojen, Fukushima Eyaleti, Tokyo Metropol Bölgesi ve çevresine boru hatları ve özel taşıma sistemleriyle dağıtılmaktadır (NEDO, 2020).

Türkiye'de de hidrojen enerjisine yönelik stratejik planlar ve projeler bulunmaktadır. Türkiye'nin 12. Kalkınma Planı (2024–2028) çerçevesinde,

hidrojen enerjisi teknolojileri stratejik öncelik olarak ele alınmıştır. Ülkenin toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık %70'inin enerji sektöründen kaynaklandığı dikkate alındığında, yeşil hidrojen gibi temiz enerji teknolojilerinin hızla hayata geçirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu kapsamda, 2053 yılı için belirlenen net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda, hidrojenin üretimi, taşınması, depolanması ve sanayide kullanımı için yerli imkânlarla geliştirilecek teknolojilerin ticarileştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, uluslararası iş birliklerinin artırılması, sektörel analizler ve yerli elektrolizör teknolojilerinin geliştirilmesiyle yeşil hidrojen üretiminin desteklenmesi hedeflenmiştir (Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından belirlenen hedefler doğrultusunda, yerli ve milli elektrolizör üretimi için mevcut eksikliklerin tespiti yapılmış ve özel projelerle bu açıkların kapatılması amaçlanmıştır. Ayrıca, linyit kökenli hidrojen üretimi için gazlaştırma teknolojilerinin geliştirilmesi, organik atıkların değerlendirilmesi ve bu kaynakların verimli şekilde kullanılması öncelikli hedefler arasındadır. Hidrojen üretiminin yenilenebilir enerji santralleriyle entegre edilmesi, böylece iletim maliyetlerinin azaltılması da öngörülmektedir. Bunun yanı sıra, kullanılmayan elektriğin hidrojen olarak depolanmasına olanak tanıyan pilot uygulamalar (örneğin pompaj depolamalı HES) ile enerji arz-talep dengesinin sağlanması ve yenilenebilir enerji yatırımlarının geri dönüş sürelerinin kısaltılması hedeflenmiştir (ETKB, 2023).

Boru hatlarında kullanılacak malzemelerin temini, basınçlı kara taşıtı depolarının ve metal hidrürlü (özellikle bor bazlı) depolama sistemlerinin geliştirilmesi, ayrıca kriyojenik tank teknolojisinin havacılık ve savunma sanayii gibi stratejik sektörlerde kullanılması için destek verilmesi planlanmaktadır. Türkiye'nin mevcut tuz mağaralarının hidrojen depolama amacıyla kullanılabilirliğine yönelik çalışmalar da yürütülmektedir. Son olarak, hidrojenin hem yerli üretim kapasitesi hem de teknoloji ihracatı potansiyeli açısından değerlendirilerek, bu alanda stratejik fırsatların belirlenmesi hedeflenmektedir.

TÜBİTAK (2023) tarafından desteklenen Hidrojen Vadisi Projesi, hidrojenin entegre biçimde üretildiği, depolandığı ve tüketildiği uçtan uca bir model olarak tasarlanmıştır. Projede, sanayide fosil yakıt kullanımının azaltılması öncelikli hedefler arasındadır. Yıllık en az 500 ton yeşil hidrojen üretimi planlanmakta olup, proje yalnızca yeşil hidrojen üretimine değil; aynı zamanda metanol ve amonyak gibi dışa bağımlı kimyasalların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla yeşil yöntemlerle üretilmesine de odaklanmaktadır. Güney Marmara Hidrojen Kıyısı Platformu Projesi kapsamında, 30 kW

gücündeki PEM tipi elektrolizör teknolojisinin yerli imkânlarla geliştirilmesi hedeflenmiştir. Üretilen hidrojenin depolanması ve Bandırma üssünde kullanılması planlanmakta; böylece hem teknolojik kapasitenin artırılması hem de sanayiye entegrasyonun sağlanması amaçlanmaktadır.

3.SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada öncelikli olarak, “Türkiye’nin mevcut enerji politikaları, hidrojen enerjisinin üretimi ve lojistiği açısından ne ölçüde yeterlidir?” sorusuna yanıt aranmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yayımlanan 2025 yılı verilerine göre, Türkiye’nin toplam kurulu enerji gücü 118.668 MW seviyesindedir. Bu kapasitenin yalnızca %27,2’si hidrolojik (hidroelektrik) kaynaklardan sağlanmakta olup, yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam içindeki payı artış eğilimindedir. ETKB’nin stratejik belgeleri ve 12. Kalkınma Planı (2024–2028) doğrultusunda, hidrojen enerjisi üretimi konusunda yerli ve millî teknolojilerin geliştirilmesi ve hidrojenin enerji arzı içindeki payının artırılması yönünde politikalar benimsenmiştir.

Bu kapsamda yalnızca hidrojenin üretimi değil, aynı zamanda lojistiği, depolanması ve ticarileştirilmesi de politika belgelerinde öncelikli alanlar arasında tanımlanmaktadır. Boru hatlarında kullanılacak malzeme özelliklerinden kara taşıtları için geliştirilecek basınçlı depolama sistemlerine kadar pek çok teknik altyapı unsuru, yürütülmekte olan stratejik projelerin konusu hâline gelmiştir. Bu projeler arasında öne çıkan Hidrojen Vadisi Projesi, Türkiye’nin ulusal hidrojen stratejisini sahada somutlaştıran en kapsamlı girişimlerden biridir. Proje kapsamında, yılda en az 500 ton yeşil hidrojen üretimi hedeflenmekte olup, bu üretimin yerli imkânlarla geliştirilecek PEM tipi elektrolizör sistemleri aracılığıyla gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Bu gelişmelere karşın, mevcut durumda Türkiye’nin hidrojen üretim kapasitesi ve lojistik altyapısı henüz istenen düzeyde değildir. Özellikle büyük ölçekli depolama sistemlerinin eksikliği, elektrolizör üretiminde dışa bağımlılık ve taşımacılık altyapısının sınırlılığı, hidrojenin ticarileşmesi önünde yapısal engeller oluşturmaktadır. Ancak, geliştirilen pilot projeler, sanayi yatırımları ve kamu destekli Ar-Ge faaliyetleri sayesinde, önümüzdeki yıllarda hidrojen üretiminde artış ve bu üretimin lojistik sistemler aracılığıyla iç ve dış pazarlara ulaştırılması mümkün hâle gelebilecektir.

Çalışmada ikinci olarak “Türkiye’nin jeopolitik konumu ve yenilenebilir enerji potansiyeli, hidrojen ekonomisinde stratejik bir avantaj sunmakta mıdır?” sorusu ele alınmıştır. Türkiye’nin Asya ve Avrupa arasında köprü

konumunda bulunması, hidrojenin bölgesel ölçekte üretimi, taşınması ve ihracatı açısından kritik bir jeopolitik avantaj sunmaktadır. Bu stratejik konum, yalnızca coğrafi değil, aynı zamanda diplomatik ve ticari iş birlikleri bakımından da Türkiye'yi hidrojen koridorlarının merkezi hâline getirebilecek potansiyele sahiptir.

Ayrıca, Türkiye'nin sahip olduğu iklimsel çeşitlilik ve yenilenebilir enerji kaynakları hidrojen üretimi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Kıyı bölgelerinde rüzgâr enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir ve Aydın, Çanakkale, Muğla gibi illerde kurulmuş rüzgâr santralleri bu potansiyeli desteklemektedir. Aynı şekilde, ülkenin çeşitli bölgelerinde bulunan jeotermal kaynaklar —özellikle Aydın, Denizli ve Manisa'da— hidrojenin elektroliz yoluyla üretimi için uygun enerji kaynakları sunmaktadır. Türkiye'nin zengin su kaynakları ise, hidroelektrik enerji aracılığıyla elektroliz için gerekli enerjinin sürdürülebilir şekilde sağlanmasına imkân tanımaktadır.

Türkiye için bu yerli ve yenilenebilir kaynaklar, yalnızca enerji güvenliğini artırmakla kalmayacak, aynı zamanda hidrojen ihracatı ile ekonomik kazanımlar elde edilmesini de mümkün kılacaktır. Veziroğlu & Türe'ye (2006) göre, hidrojenin yerli kaynaklarla üretilmesi, fosil yakıt ithalatını azaltarak dış ticaret dengesine olumlu katkı sağlayacaktır. Ayrıca, hidrojenin üretimi, dağıtımı ve kullanımı etrafında gelişecek yeni sanayi kolları sayesinde istihdam olanakları artacak, yerli teknoloji üretimi teşvik edilecek ve uzun vadede rekabetçi bir hidrojen ekonomisi inşa edilebilecektir.

Bu çalışma kapsamında, hidrojenin tanımı, üretimi, taşınması ve depolanması gibi temel unsurlar ele alınmış; Türkiye'nin mevcut durumu 12. Kalkınma Planı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın stratejik hedefleri ve Hidrojen Vadisi Projesi çerçevesinde analiz edilmiştir. Türkiye, sahip olduğu iklimsel çeşitlilik ve jeopolitik konumu sayesinde hidrojenin üretimi ve ticarileştirilmesi açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Türkiye'nin hidrojen stratejisi, yalnızca enerji üretimi ile sınırlı kalmamakta; hidrojenin depolanması, taşınması ve ihraç edilmesi gibi tüm aşamaları kapsayan entegre bir yaklaşıma dayanmaktadır. Toplumsal farkındalığın artırılması ve iletişim faaliyetlerinin yaygınlaştırılması da bu sürecin destekleyici unsurları arasında yer almaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, Türkiye'nin hidrojen politikaları, net sıfır emisyon hedefi, fosil yakıtlardan bağımsızlık ve sürdürülebilir kalkınma vizyonu doğrultusunda somut adımlar içermektedir. Bu adımlar kararlılıkla sürdürüldüğü takdirde, Türkiye'nin enerji güvenliğini sağlaması, teknoloji ihracatçısı konumuna yükselmesi ve yeşil dönüşümde bölgesel liderlik rolü üstlenmesi mümkün olacaktır.

Türkiye'nin hidrojen ekonomisine geçişi, sürdürülebilir kalkınma ve enerji güvenliği açısından çok boyutlu kazanımlar sunabilir. Ancak bu dönüşüm, yalnızca teknik altyapı yatırımlarıyla sınırlı kalmamalı; aynı zamanda enerji politikalarının uygulanabilirliği, mevzuat düzenlemeleri, kamu-özel sektör iş birlikleri ve toplumsal farkındalık düzeyiyle desteklenmelidir. Çalışmada da gösterildiği üzere, hidrojen üretiminde verimliliği etkileyen faktörler arasında uygun elektroliz teknolojilerinin geliştirilmesi, düşük karbonlu enerji kaynaklarının entegrasyonu ve maliyetlerin düşürülmesi büyük önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra, depolama ve taşımacılık sistemlerinin modernize edilmesi, hidrojenin sanayide ve ulaşımda yaygınlaşmasını hızlandıracaktır. Boru hatlarının fiziksel uygunluğu, metallerdeki kırılganlık ve sızıntı riski gibi teknik zorlukların aşılması, hidrojenin güvenli ve sürdürülebilir bir enerji taşıyıcısı olarak konumlandırılabilmesinin ön koşuludur.

Çin, Japonya ve Almanya gibi ülkelerin hidrojen altyapısına yönelik atımları, Türkiye için örnek teşkil etmektedir. Bu doğrultuda Türkiye'nin hedeflerine ulaşabilmesi için küresel iyi uygulamaları izleyerek yerli koşullara uyarlaması ve ileri teknolojiye dayalı üretim-tedarik zincirlerini geliştirmesi gereklidir.

Türkiye'nin hidrojen ekonomisine geçiş sürecinin başarıyla yönetilebilmesi, yalnızca stratejik hedeflerin belirlenmesiyle değil, bu hedeflerin somut adımlarla desteklenmesiyle mümkün olacaktır. Bu bağlamda, ilk olarak Ulusal Hidrojen Stratejisi kapsamında belirlenen politika hedeflerinin yalnızca belge düzeyinde kalmaması; uygulamaya geçirilmeleri, performans göstergeleriyle izlenmeleri ve düzenli olarak gözden geçirilmeleri büyük önem taşımaktadır. Stratejilerin etkinliği, merkezi ve yerel düzeyde koordinasyonun sağlanması ve özel sektörle güçlü iş birliklerinin kurulmasıyla artırılabilir.

Özellikle yerli elektrolizör teknolojilerinin geliştirilmesi, hidrojen üretiminde dışa bağımlılığın azaltılması açısından kritik bir önceliktir. Bu amaçla üniversiteler, araştırma kurumları ve özel sektörün dahil olduğu kamu destekli Ar-Ge programları yaygınlaştırılmalı; TÜBİTAK, KOSGEB ve Kalkınma Ajansları gibi kurumlar aracılığıyla teknoloji geliştirme projeleri teşvik edilmelidir. Yerli üretimin yanı sıra teknoloji transferi anlaşmaları ve uluslararası ortak Ar-Ge projeleri de bu süreci destekleyecek araçlar arasında yer alabilir.

Boru hattı altyapısının hidrojen taşımaya uyumlu hâle getirilmesi bir diğer temel ihtiyaçtır. Mevcut doğalgaz boru hatlarının hidrojen taşıma kapasiteleri açısından teknik uygunluklarının değerlendirilmesi ve gerekli modifikasyonların yapılması, büyük ölçekte ve maliyet etkin hidrojen

taşımacılığı açısından hayati öneme sahiptir. Bu çerçevede, özellikle Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamındaki hidrojen koridorları ile entegrasyon sağlanması, Türkiye'nin ihracat kapasitesini doğrudan etkileyebilir.

Hidrojenin güvenli ve uzun süreli depolanması ise, enerji arz-talep dengesinin sağlanması için vazgeçilmezdir. Bu nedenle metal hidrit, kimyasal bileşikler ve kriyojenik tank sistemleri gibi gelişmiş depolama teknolojilerine yatırım yapılmalı; bu sistemlerin yerli üretimi ve sertifikasyonu için gerekli teşvik mekanizmaları oluşturulmalıdır. Türkiye'de bulunan doğal tuz mağaralarının hidrojen depolama amaçlı kullanımı konusunda pilot uygulamalara başlanması, bu alandaki teknik yeterliliklerin gelişmesine katkı sağlayacaktır.

Ayrıca, bölgesel pilot projelerin hayata geçirilmesi, hidrojen teknolojilerinin farklı iklim ve altyapı koşullarında uygulanabilirliğinin test edilmesini sağlayacaktır. Özellikle Konya, Erzurum, Van ve Şanlıurfa gibi yüksek yenilenebilir enerji potansiyeline sahip iller, bu tür uygulamalara öncülük edebilecek niteliktedir. Bu bölgelerde kurulacak küçük ölçekli entegre hidrojen üretim, depolama ve kullanım tesisleri, ulusal düzeyde yaygınlaştırılacak modellerin geliştirilmesine katkı sunacaktır.

Bununla birlikte, hidrojen ekonomisinin gelişmesi yalnızca teknik değil, aynı zamanda insan kaynağı ve toplumsal farkındalık ile de doğrudan ilişkilidir. Bu doğrultuda üniversiteler, meslek yüksekokulları ve kamu kurumlarının iş birliğinde hidrojen teknolojilerine yönelik eğitim programları oluşturulmalı; teknik ve mesleki eğitimlerin yanı sıra kamuoyunu bilinçlendirmeye yönelik yaygın iletişim kampanyaları yürütülmelidir. Eğitim içerikleri, hidrojenin temel fiziksel-kimyasal özelliklerinden güvenlik önlemlerine kadar çok yönlü hazırlanmalı ve uygulamalı laboratuvar çalışmalarıyla desteklenmelidir.

Türkiye'nin hidrojen stratejisi yalnızca iç pazarı hedeflemekle sınırlı kalmamalı, aynı zamanda ihracat odaklı bir perspektifle şekillendirilmelidir. Özellikle Avrupa Birliği'nin yeşil dönüşüm hedefleri doğrultusunda artan hidrojen talebi dikkate alınarak, Türkiye'nin yeşil hidrojen üretim kapasitesi Avrupa pazarlarına entegre edilmelidir. Bu amaçla, yeşil hidrojen ihracatına yönelik ticaret anlaşmaları, altyapı ortaklıkları ve lojistik iş birlikleri geliştirilmelidir. Türkiye, bu sayede yalnızca enerji ithalatçısı değil, aynı zamanda yenilenebilir enerji ihracatçısı konumuna yükselerek bölgesel bir enerji merkezi hâline gelebilir.

Gelecekte yapılacak çalışmaların, hidrojen üretim tesislerinin nerede ve neden kurulması gerektiği üzerine odaklanması, hidrojenin Türkiye açısından taşıdığı stratejik önemi daha somut bir biçimde ortaya koyacaktır.

Kaynakça

- Ajanovic, A. (2008). On the economics of hydrogen from renewable energy sources as an alternative fuel in transport sector in Austria. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(16), 4223–4234.
- Akpasi, S. O., Smarte Anekwe, I. M., Tetteh, E. K., Amune, U. O., Mustapha, S. I., & Kiambi, S. L. (2025). Hydrogen as a clean energy carrier: advancements, challenges, and its role in a sustainable energy future. *Clean Energy*, 9(1), 52-88.
- Aziz, M. (2021). Liquid hydrogen: A review on liquefaction, storage, transportation, and safety. *Energies*, 14(18), 5917.
- Back, C., González-Morán, L., & Iranzo, A. (2025). Green hydrogen from renewable surplus: Production and storage potential in Spain's 2040 energy horizon. *International Journal of Hydrogen Energy*, 140, 2-10.
- Barghash, H., AlRashdi, Z., Okedu, K. E., & Hasoon, F. N. (2025). Assessing Environmental Benefits of Green Hydrogen Production from Sewage Treatment Plants Considering Solar PV PEM Electrolysis. *Results in Engineering*, 105559. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105559>
- Benjelloun, A., & Crainic, T. G. (2008). Trends, challenges, and perspectives in city logistics. In *Transportation and Land Use Interaction Proceedings TRANSLU* (Vol. 8, pp. 269–284).
- Bozdağlıoğlu, Y. E., & Keşir, B. (2022). Türkiye’de lojistik sektörünün dış ticarete etkisi. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 10(1), 1–17.
- Burke, A., Ogden, J., Fulton, L., & Cerniauskas, S. (2024). *Hydrogen storage and transport: Technologies and costs*.
- Caldeira, R., & Infante-Moro, A. (2025). Strategic hydrogen management: driving a sustainable energy future. *Frontiers in Energy Research*, 13, 1540396.
- Campos, A., & Fernandes, C. P. (2017). The geopolitics of energy. In *Geopolitics of energy and energy security* (pp. 23–40). Instituto da Defesa Nacional.
- Chen, P., & Zhu, M. (2008). Recent progress in hydrogen storage. *Materials Today*, 11(12), 36–43. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(08\)70315-3](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(08)70315-3)
- Chen, Z., Zhao, Y., Jia, Y., Zheng, X., Shao, G., Li, Y., ... & Gu, C. (2025). The impacts of the hydrogen economy on climate: Current research and future projections to 2050. *International Journal of Hydrogen Energy*, 119, 204–217.
- Cipriani, G., Di Dio, V., Genduso, F., La Cascia, D., Liga, R., Miceli, R., & Galluzzo, G. R. (2014). Perspective on hydrogen energy carrier and its automotive applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(16), 8482–8494. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.03.092>

- Çolak, E., Aksoy, H., & Sanlı, B. (2021). *Türkiye'nin yeşil hidrojen üretim ve ihracat potansiyelinin teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi*. SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi
- Dincer, I., Javani, N., & Karayel, G. K. (2022). Sustainable city concept based on green hydrogen energy. *Sustainable Cities and Society*, 87, 104154.
- Dincer, M., & Agelin-Chaab, M. (2025). Sustainability analysis of electrolysis based green hydrogen production pathways: A life cycle perspective. *International Journal of Hydrogen Energy*, 138, 617-625.
- Dunn, S. (2001). *Hydrogen futures: toward a sustainable energy system*. Worldwatch Paper 157, Worldwatch Institute, Washington, DC.
- Elgowainy, A., & Reddi, K. (2024). *Hydrogen delivery scenario analysis model (HDSAM) V4.5*. Argonne National Laboratory.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2023). *Türkiye hidrojen teknolojileri stratejisi ve yol haritası*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://www.enerji.gov.tr/>.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2025). *Elektrik – Nisan 2025 kurulu güç verileri*. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>.
- Erdoğan, A., Geçici, E., & Güler, M. G. (2024). Hidrojen lojistiğine genel bakış ve Türkiye'deki durum. *Makina Mühendisleri Odası Yayını*.
- Genç, M. S., Çelik, M., & Karasu, İ. (2012). A review on wind energy and wind-hydrogen production in Turkey: A case study of hydrogen production via electrolysis system supplied by wind energy conversion system in Central Anatolian Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(9), 6631–6646.
- Gün, D. (2007). *Hava kargo pazarının lojistik açıdan değerlendirilmesi ve Türkiye için durum analizi* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Anadolu Üniversitesi
- Hamzaçebi, C. (2007). Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases. *Energy Policy*, 35(3), 2009–2016.
- Hilali, İ., Işiker, Y., & Ulker, N. (2024). The hydrogen perspective for Türkiye, which is on the Asia-Europe energy transition route. Can Türkiye become hydrogen hub?. *International Journal of Hydrogen Energy*, 75, 88-97.
- International Energy Agency. (2024). *Global Hydrogen Review 2024*. Uluslararası Enerji Ajansı. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024>
- Irmak, E., & Pelit, İ. (2020). Türkiye'de lojistik sektörünün değerlendirilmesi (2000-2018). *Turkish Studies Economy*, 15(3), 1397-1415.
- Jorschick, H., Preuster, P., Bösmann, A., & Wasserscheid, P. (2021). Hydrogenation of aromatic and heteroaromatic compounds—a key process for future logistics of green hydrogen using liquid organic hydrogen carrier systems. *Sustainable Energy & Fuels*, 5(5), 1311–1346.

- Karayel, G. K., Javani, N., & Dincer, I. (2022). Effective use of geothermal energy for hydrogen production: A comprehensive application. *Energy*, 249, 123597.
- Karayel, G. K., Javani, N., & Dincer, I. (2023a). Green hydrogen production potential in Turkey with wind power. *International Journal of Green Energy*, 20(2), 129–138.
- Karayel, G. K., Javani, N., & Dincer, I. (2023b). Hydropower for green hydrogen production in Turkey. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(60), 22806–22817.
- Momirlan, M., & Veziroğlu, T. N. (2002). Current status of hydrogen energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(1–2), 141–179.
- New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation, Tohoku Electric Power Co., Inc., & Iwatani Corporation. (2020, March 7). The world's largest-class hydrogen production, Fukushima Hydrogen Energy Research Field (FH2R) now is completed at Namie town in Fukushima. NEDO. https://www.nedo.go.jp/english/news/AA5en_100422.html
- Nunes, P., Oliveira, F., Hamacher, S., & Almansoori, A. (2015). Design of a hydrogen supply chain with uncertainty. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(46), 16408–16418.
- Oğuz, İ. H., & Oğuz, D. (2020). Türkiye ekonomisinde lojistik. *International Journal of Business and Economic Studies*, 1(2), 65–74.
- Osman, A. I., Abd-Elaziem, W., Nasr, M., Farghali, M., Rashwan, A. K., Hamada, A., & Elsheikh, A. H. (2024). Enhanced hydrogen storage efficiency with sorbents and machine learning: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 22(4), 1703–1740.
- Raj, A., Larsson, I. A. S., Ljung, A.-L., Forslund, T., Andersson, R., Sundström, J., & Lundström, T. S. (2024). Evaluating hydrogen gas transport in pipelines: Current state of numerical and experimental methodologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 67, 136–149. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.04.140>
- Rosen, M. A., & Koochi-Fayegh, S. (2016). The prospects for hydrogen as an energy carrier: An overview of hydrogen energy and hydrogen energy systems. *Energy, Ecology and Environment*, 1, 10–29.
- Sanchez, V. H., Okeke, I. J., Singh, E., Baaqel, H., Saville, B. A., MacLean, H. L., & Sarathy, S. M. (2025). A life cycle assessment of e-hydrogen production using proton-exchange membrane water electrolysis coupled with desalination in Saudi Arabia. *International Journal of Hydrogen Energy*, 139, 792–805.

- Sharma, S., & Ghoshal, S. K. (2015). Hydrogen the future transportation fuel: From production to applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1151–1158.
- Solomon, B. D., & Banerjee, A. (2006). A global survey of hydrogen energy research, development and policy. *Energy Policy*, 34(7), 781–792.
- Staffell, I., Scamman, D., Abad, A. V., Balcombe, P., Dodds, P. E., Ekins, P., ... & Ward, K. R. (2019). The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. *Energy & Environmental Science*, 12(2), 463–491.
- Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). *On İkinci Kalkınma Planı (2024–2028)*. T.C. Cumhurbaşkanlığı. <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>
- Sukurova, N., et al. (2023). *Ukrainian Hydrogen Export Potential: Opportunities and Challenges in the Light of the Ongoing War*. Fraunhofer ISI.
- Timalsina, S., Zhang, C., Kumar, D., & Holubnyak, E. (2025). Optimizing hydrogen transportation infrastructure and supply chain under uncertainty: An integrated mixed integer linear programming and real options analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 111, 635–647.
- Tunç, M., & Solmaz, R. (2025). Occupational health and safety assessment of hydrogen transport by trucks. *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.05.073>
- Tunçbilek, Ö. F. (2024). Hidrojen enerjisi ve çevresel etkileri üzerine değerlendirilmeler. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(2), 189–197.
- Tutar, E., Tutar, F., & Yetişen, H. (2009). Türkiye’de lojistik sektörünün gelişmişlik düzeyinin seçilmiş AB Ülkeleri (Romanya ve Macaristan) ile karşılaştırmalı bir analizi. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2009(2), 190–216.
- TÜBİTAK. (2023). *Türkiye’nin ilk hidrojen vadisi ve Türkiye’nin en büyük kapasiteli ilk yerli yeşil hidrojen tesisi kuruluyor*. <https://tubitak.gov.tr/tr/haber/turkiyenin-ilk-hidrojen-vadisi-ve-turkiyenin-en-buyuk-kapasiteli-ilk-yerli-yesil-hidrojen-tesisi-kuruluyor>
- Türkiye Karayolu ve Demiryolu Taşımacılığı Sektör Araştırması Raporu (2023). *Uluslararası Taşımacılık İşçileri Federasyonu*. https://turkey.fes.de/fileadmin/user_upload/Türkiye-kara-demiryolu-arastirma-2023.pdf
- Uysal, S., Kaya, M. F., Demir, N., Hüner, B., Özcan, R. U., Erdem, Ö. N., & Yılmaz, M. (2021). Investigation of hydrogen production potential from different natural water sources in Turkey. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(61), 31097–31107.
- Veziroğlu, N., & Türe, E. (2006). 21. yüzyılın enerjisi: Hidrojen enerji sistemi. In *Türkiye 10. Enerji Kongresi*, İstanbul, Türkiye.
- Veziroğlu, T. N., & Şahi, S. (2008). 21st Century’s energy: Hydrogen energy system. *Energy conversion and management*, 49(7), 1820–1831.

- Wallington, T. J., Woody, M., Lewis, G. M., Keoleian, G. A., Adler, E. J., Martins, J. R. R. A., & Collette, M. D. (2025). Hydrogen as a sustainable transportation fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 217, 115725.
- Wang, Z., Wang, H., Sant, T., Zhao, Z., Carriveau, R., Ting, D. S., ... & Xiong, W. (2024). Subsea energy storage as an enabler for floating offshore wind hydrogen production: Review and perspective. *International Journal of Hydrogen Energy*, 71, 1266-1282.
- Western Green Energy Hub. (2023). *Green energy from Mirning traditional lands* (Case study). <https://wgeh.com.au/>.
- Yang, X., Zhang, Y., Li, H., & Wang, S. (2025). *Life cycle assessment of green hydrogen production from renewable sources: A global perspective*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178, 113456.
- Yilmaz, G., Sadvakasova, A. K., Kossalbayev, B. D., Bauenova, M. O., Zhar-mukhamedov, S. K., Ziyayeva, G. K., ... & Allakhverdiev, S. I. (2024). Hydrogen energy development in Turkey: Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 52, 1304-1311.
- Zhang, Y. H., Jia, Z. C., Yuan, Z. M., Yang, T., Qi, Y., & Zhao, D. L. (2015). Development and application of hydrogen storage. *Journal of Iron and Steel Research International*, 22(9), 757-770.
- Zhu, Y., Keoleian, G. A., & Cooper, D. R. (2025). The role of hydrogen in decarbonizing US industry: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 214, 115392.

Tüketimin Nabzı: Türkiye’de Elektrik Kullanımı, İşsizlik ve Enflasyon İlişkisi

Ufuk Işık¹

Özet

Bu çalışma, Türkiye’de kişi başı mesken elektrik tüketimi ile işsizlikteki ve enflasyondaki değişim arasındaki ilişkiyi 2007-2021 dönemine ait İBBS 2. Düzey bölge verileri kullanarak panel veri analiziyle incelemektedir. Türkiye İstatistik Kurumu’ndan elde edilen verilerle gerçekleştirilen analizde Panel ARDL yöntemi uygulanmıştır. Kısa dönem bulgularına göre, işsiz kişi sayısındaki artışın ve enflasyon oranındaki yükselişin kişi başına elektrik (kW) tüketimini azalttığı ve bu etkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Uzun dönem ilişkisini değerlendiren hata düzeltme modeline göre ise, işsiz kişi sayısındaki artışın elektrik tüketimini azaltmaya devam ettiği görülürken, enflasyonun uzun vadede anlamlı bir etkisinin bulunmadığı saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar, ekonomik göstergelerin elektrik tüketimi üzerindeki etkilerinin zaman boyutuna göre değişiklik gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Özellikle işsizlik oranındaki artışın hem kısa hem uzun vadede elektrik tüketimini baskılayıcı bir unsur olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışma, enerji ekonomisi literatürüne, makroekonomik değişkenlerin bölgesel düzeyde enerji tüketimi üzerindeki etkilerini ortaya koyarak özgün bir katkı sunmaktadır.

1. Giriş

Enerji tüketimi, ekonomik faaliyetlerin hem bir girdisi hem de çıktısı olarak değerlendirilen temel göstergelerden biridir. Özellikle hanehalkı düzeyindeki elektrik tüketimi, yaşam standartlarını, gelir düzeylerini ve genel ekonomik refahı yansıtan önemli bir tüketim biçimidir (Narayan ve Smyth, 2005). Tüketim davranışları, işsizlik oranı ve enflasyon gibi makroekonomik göstergelerle doğrudan ilişkilidir. İşsizlik artışı, gelir kayıplarına ve tüketim harcamalarında daralmaya yol açarak enerji talebini azaltabilir. Benzer

1 Dr. Öğr. Üyesi, Ordu Üniversitesi, Ünye Meslek Yüksekokulu, ufukisik@odu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2097-1627.

şekilde, enflasyonist baskılar tüketici güvenini azaltarak zorunlu olmayan tüketim kalemlerinde tasarrufa gidilmesine neden olabilir; bu durum, konutlardaki elektrik tüketimini de etkileyebilmektedir (Halicioğlu, 2007). Dolayısıyla, elektrik tüketimi, yalnızca teknolojik gelişmelerle veya fiyatlarla değil; istihdam ve fiyat istikrarı gibi makroekonomik koşullarla da şekillenen dinamik bir yapı arz etmektedir. Bu bağlamda, enerji ekonomisi literatüründe makroekonomik değişkenlerin hanehalkı düzeyindeki enerji talebi üzerindeki etkisinin panel veri düzeyinde incelenmesi, hem akademik hem de politika geliştirme açısından kritik öneme sahiptir.

İşsiz kişi sayısındaki artış, hanehalkı gelirinde azalmaya ve dolayısıyla temel ihtiyaçlara yönelen harcamaların yeniden yapılandırılmasına neden olmaktadır. Enerji, her ne kadar temel bir ihtiyaç olarak kabul edilse de, bu tür ekonomik kısıtlamalar altında tüketim davranışları değişmekte; bireyler, elektrik tüketimini azaltarak tasarruf arayışına girebilmektedir. Dolayısıyla, artan işsizlik yalnızca iş gücü piyasasını değil, aynı zamanda enerji talebini de önemli ölçüde etkilemektedir.

Enflasyon oranındaki artış ise, özellikle sabit gelirli bireyler açısından reel alım gücünün azalmasına yol açmakta, bu durum temel tüketim malları kadar enerji harcamalarında da kısıtlamalara neden olabilmektedir. Enflasyonun yüksek seyrettiği dönemlerde, hanehalkları elektrik gibi zorunlu harcamalarda dahi daha tutumlu davranma eğilimi gösterebilmektedir. Bu nedenle, enflasyonun enerji tüketimi üzerindeki kısa ve uzun vadeli etkilerini anlamak, ekonomik istikrarın toplumsal yansımalarını değerlendirme açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışma, Türkiye’de 2007-2021 dönemine ait veriler ışığında, kişi başına meskenlerde elektrik tüketimi ile işsiz kişi sayısı ve enflasyon oranı arasındaki ilişkiyi İBBS-2 düzeyinde panel veri analiziyle incelemektedir. Panel ARDL yöntemi kullanılarak, değişkenler arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişkiler analiz edilmiştir. Bu sayede, ekonomik değişkenlerdeki dalgalanmaların bireylerin enerji kullanım davranışları üzerindeki etkileri zaman boyutunda ayrıştırılmıştır.

Elde edilen kısa dönem bulgular, hem işsiz kişi sayısındaki hem de enflasyon oranındaki artışların kişi başına elektrik tüketimini azaltma yönünde etkili olduğunu göstermektedir. Uzun dönem analizde ise, enflasyonun anlamlı bir etkisi bulunmazken, işsiz kişi sayısındaki artışın tüketimi azaltmaya devam ettiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, özellikle istihdam koşullarının bireysel enerji tüketimi üzerinde yapısal ve kalıcı bir etki yarattığını ortaya koymaktadır. Çalışma, literatüre hem enerji ekonomisi

hem de iş gücü piyasaları açısından yeni bir ampirik katkı sunmakta; ekonomik kırılganlıkların bireysel yaşam pratikleri üzerindeki etkilerine dair önemli çıkarımlar sağlamaktadır.

2. Temel Kavramlar ve Literatür

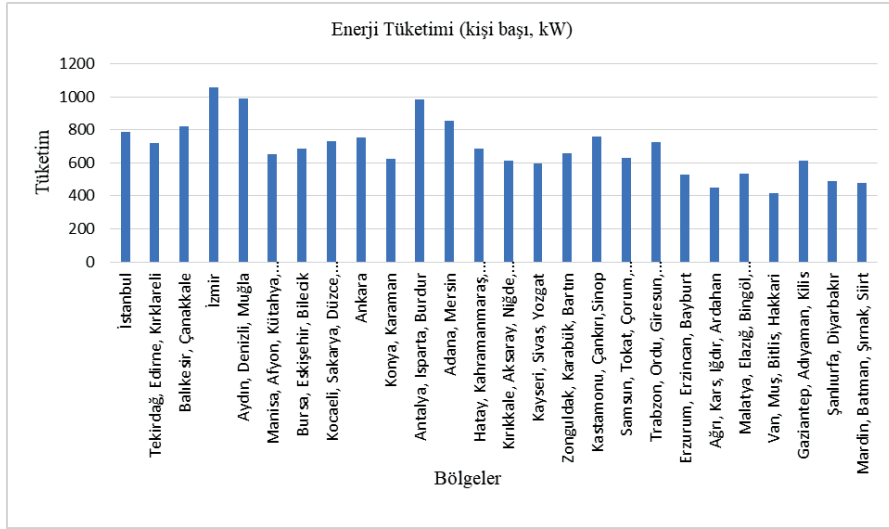
Bu çalışmada kişi başına düşen mesken tipi elektrik tüketimi ile işsiz kişi sayısı ve enflasyon oranı arasındaki ilişki ele alınmaktadır. Çalışmada kullanılan değişkenler, hem ekonomik hem de sosyal boyutlarıyla hanehalkı davranışlarını etkileyen önemli göstergelerdir.

Kişi başına meskenlerde elektrik tüketimi, bağımlı değişken olarak değerlendirilmekte olup, hanehalklarının günlük yaşamlarında kullandıkları enerji miktarının kişi başına düşen ortalama değerini yansıtmaktadır. Söz konusu değişken kilovat-saat (kWh) cinsinden ölçülmektedir. Bu veri, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan mesken tipi elektrik tüketim miktarları ile aynı yıllara ait nüfus verilerinin bölgesel düzeyde orantılanması yoluyla elde edilmiştir. Elektrik tüketimi, bireylerin yaşam standartları, teknolojik kullanım alışkanlıkları ve genel refah düzeyleriyle yakından ilişkilidir. Bu nedenle, enerji tüketimindeki değişimlerin toplumsal ve ekonomik koşullardaki değişimlere duyarlı olduğu varsayılmaktadır.

Bağımsız değişkenlerden biri olan işsiz kişi sayısı, TÜİK tarafından yayımlanan işgücü istatistikleri temel alınarak, 15 yaş ve üzeri nüfus içerisindeki toplam işsiz bireylerin sayısını ifade etmektedir. İşsizlik düzeyleri, bireylerin gelir elde etme kapasitelerini doğrudan etkilediğinden, tüketim davranışlarında özellikle zorunlu harcamalar dışında kalan alanlarda belirgin değişimlere neden olabilmektedir. Enerji tüketimi de bu anlamda işsizlik oranlarından etkilenebilir. Hanelerin gelir düzeylerinde yaşanan düşüş, tasarruf eğilimlerini artırmakta ve enerji kullanımında kısıtlamalara yol açabilmektedir.

Bir diğer bağımsız değişken olan enflasyon oranı ise TÜFE (Tüketici Fiyat Endeksi) baz alınarak hesaplanan ve 12 aylık ortalamaya göre yıllık değişimi yansıtan bir göstergedir. Enflasyon, genel fiyat düzeyindeki artışı temsil etmekle birlikte, hanehalklarının alım gücünü doğrudan etkileyen bir makroekonomik değişkendir. Enflasyon oranındaki artış, özellikle sabit ya da düşük gelirli bireylerin temel ihtiyaçlara erişimini zorlaştırmakta ve zorunlu harcamalarla sınırlı bir tüketim eğilimine yol açabilmektedir. Bu bağlamda, enflasyonun enerji tüketimi üzerindeki etkisinin hem kısa hem de uzun vadeli dönemlerde farklı şekillerde ortaya çıkması mümkündür.

Tablo 1. 2021 Yılı Ülkemizde Elektrik Tüketimi



Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)

2021 yılına ait kişi başı elektrik tüketim verilerinin görselleştirildiği bu grafikte, Türkiye’nin farklı bölgeleri arasında dikkat çekici farklılıklar olduğu gözlemlenmektedir. Verilere göre en yüksek kişi başı elektrik tüketimi 1.059 kWh ile İzmir bölgesinde gerçekleşmiştir. İzmir’i sırasıyla Aydın-Denizli-Muğla (989 kWh) ve Antalya-Isparta-Burdur (982 kWh) bölgeleri takip etmektedir. Bu bölgelerdeki yüksek tüketim düzeyleri, gelişmişlik seviyesi, yaşam standardı ve iklimsel etkilerle açıklanabilir.

Öte yandan en düşük tüketim düzeyleri ise sırasıyla Van-Muş-Bitlis-Hakkari (418 kWh), Mardin-Batman-Şırnak-Siirt (477 kWh) ve Şanlıurfa-Diyarbakır (488 kWh) bölgelerinde kaydedilmiştir. Bu durum, bölgedeki düşük gelir seviyeleri, görece daha sınırlı altyapı ve enerjiye erişim olanaklarıyla ilişkilendirilebilir. Ayrıca, bu bölgelerde tasarruf eğiliminin daha yüksek olması da tüketim miktarlarını azaltan bir diğer faktör olabilir.

Grafik, Türkiye genelinde enerji tüketiminin homojen dağılmadığını, bölgesel kalkınma düzeylerinin ve sosyoekonomik yapıların elektrik kullanım alışkanlıkları üzerinde belirleyici olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, enerji politikalarının ve bölgesel kalkınma stratejilerinin belirlenmesinde bu tür göstergeler önemli bir referans niteliği taşımaktadır.

Bu çalışma, Türkiye’de konut satışlarının mekânsal düzeydeki eğilimlerini değerlendirmek ve bu eğilimlerin arka planında yatan sosyoekonomik

faktörlere dikkat çekmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, konuyla ilgili mevcut bilgi birikiminin genel çerçevesini sunmak ve ilgili araştırma alanında yapılan önceki çalışmaları değerlendirmek üzere, ulusal ve uluslararası literatür kapsamlı bir şekilde taranmıştır. Aşağıda, konuya ilişkin yapılan bazı akademik çalışmalar örnek niteliğinde sunulmakta ve mevcut araştırma ile ilişkilendirilmektedir.

Bhattacharjee ve Reichard (2011) çalışmalarında bireysel hanehalkı enerji tüketimini etkileyen sosyo-ekonomik faktörleri sistematik bir literatür taraması yoluyla incelemişlerdir. Çalışma, farklı ülkelerde yürütülen ampirik araştırmaları değerlendirerek gelir düzeyi, eğitim seviyesi, hane büyüklüğü, yaş grubu dağılımı ve konut sahipliği gibi değişkenlerin enerji tüketimi üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak analiz etmektedir. Araştırmacılar, özellikle yüksek gelir düzeyine sahip hanelerin daha fazla enerji tükettiğini; yaşlı bireylerin yaşadığı hanelerde ise enerji kullanımının farklılaştığını ortaya koymuştur. Ayrıca eğitim düzeyinin enerji verimliliğine yönelik bilinçli tüketimle ilişkili olduğu vurgulanmıştır.

McLoughlin ve arkadaşları (2012) çalışmalarında, İrlanda'daki konutların elektrik tüketim davranışlarını konut tipolojisi ve sosyo-ekonomik faktörler bağlamında analiz etmişlerdir. 2008 mikro verileri kullanılarak yapılan çalışmada, çok değişkenli regresyon ve kümeleme analizleri ile tüketim desenlerinin belirleyicileri incelenmiştir. Sonuçlar, konut büyüklüğü ve gelir düzeyinin tüketimde en güçlü etkiye sahip olduğunu; yaşlı nüfusun yoğun olduğu küçük hanelerde ise tüketimin anlamlı derecede düşük gerçekleştiğini göstermiştir.

Jones ve arkadaşları (2015), çalışmalarında 2011 yılı İngiltere verilerini kullanarak konutlarda elektrik tüketimini etkileyen sosyo-ekonomik, yapısal ve cihaz kullanımına ilişkin faktörleri incelemişlerdir. Çok değişkenli regresyon analizleri ile gerçekleştirilen çalışmada, gelir düzeyi, aile büyüklüğü, yaş yapısı, konutun fiziksel özellikleri ve kullanılan elektrikli cihaz sayısı gibi değişkenler analiz edilmiştir. Sonuçlar, evde geçirilen sürenin ve cihaz sayısının elektrik tüketimini artırdığını, yaşlı bireylerin yaşadığı konutlarda tüketimin daha yüksek olduğunu, düşük gelirli hanelerde ise cihaz kullanımının ve dolayısıyla tüketimin daha düşük seviyelerde gerçekleştiğini ortaya koymuştur.

Buba ve arkadaşları (2017), Nijerya'da hanehalkı enerji tüketim tercihlerini şekillendiren sosyo-ekonomik faktörleri analiz etmek için 2010-2011 ulusal hanehalkı anket verilerinden yararlanmıştır. Çalışmalarında 2010-2011 yıllarına ait ulusal hanehalkı anket verileri kullanılmıştır. Analiz yöntemi olarak çoklu regresyon ve logit modelleri tercih edilmiştir. Araştırmada

gelir düzeyi, eğitim seviyesi, yaş, meslek, konut tipi gibi değişkenlerin enerji tercihlerinde nasıl rol oynadığı değerlendirilmiştir. Sonuçlar, düşük gelirli hanelerin genellikle geleneksel yakıt türlerini (odun, kömür vb.) tercih ettiğini, gelir ve eğitim seviyesi arttıkça daha modern ve temiz enerji kaynaklarına yönelim olduğunu ortaya koymuştur.

Chen (2017) Tayvan konut sektörü üzerine yaptığı araştırmasında, elektrik tüketim dinamiklerini belirleyen temel faktörleri ve uzun dönemli eğilimleri incelemektedir. 2001-2015 dönemine ait zaman serisi verileri kullanılarak yapılan çalışmada, çoklu doğrusal regresyon ve zaman serisi analiz yöntemleri birlikte uygulanmıştır. Analizler, elektrik talebi üzerinde en güçlü etkiye sahip değişkenlerin hanehalkı geliri ve elektrik fiyatları olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle, gelir esnekliğinin pozitif, fiyat esnekliğinin ise negatif işaretli olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, demografik faktörler (hanehalkı büyüklüğü) ve meteorolojik değişkenler (sıcaklık anomalileri, mevsimsel dalgalanmalar) de tüketim desenlerini önemli ölçüde etkilemiştir. Çalışma, konut elektrik talebinin çok boyutlu belirleyicilerini ortaya koyarak, enerji politikaları için önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Vojtovic ve diğerleri (2018), Litvanya’daki konut sektörüne yönelik elektrik tüketim sürdürülebilirliği ile makro düzey sosyo-ekonomik göstergeler arasındaki ilişkiyi sistematik bir şekilde inceleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmada, 2009–2016 dönemine ait veriler kullanılarak regresyon analizi yöntemiyle ampirik bir değerlendirme yapılmıştır. Çalışmada, gelir düzeyi, enerji fiyatları, istihdam oranı ve nüfus gibi makroekonomik değişkenlerin elektrik tüketimi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, gelirdeki artışın elektrik tüketimini istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artırdığını ortaya koyarken, enerji verimliliği politikalarının bu artışı kısmen dengelediğini göstermiştir. Bunun yanı sıra, istihdam oranındaki yükselişin de elektrik talebini pozitif yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Noeurn (2021) çalışmasında Kamboçya’da konut tüketicilerinin elektrik tüketimini etkileyen faktörleri incelemiştir. Araştırmada kullanılan veriler anket yöntemiyle toplanmış ve analiz sürecinde çoklu regresyon yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada hanehalkı gelir düzeyi, konut tipi, hane büyüklüğü, elektrikli cihaz sahipliği gibi değişkenler değerlendirilmiştir. Bulgulara göre, gelir düzeyindeki artışın ve elektrikli cihaz sayısının fazla olmasının elektrik tüketimini anlamlı şekilde artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, daha büyük konutlarda ve daha kalabalık hanelerde elektrik kullanımının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Sena ve diğerleri (2021), çalışmalarında Malezya'daki konut sektörüne yönelik elektrik tüketim davranışlarını ampirik olarak incelemişlerdir. Araştırmada, 2017-2018 dönemine ait kapsamlı hançalkı anket verileri çoklu doğrusal regresyon analizi ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın bulguları, elektrik tüketimindeki değişimin %46'sının elektrikli cihaz özellikleri, sosyo-demografik faktörler ve tüketici davranış kalıpları tarafından açıklandığını göstermektedir. Özellikle, cihazların enerji verimliliği düzeyi ve kullanım sıklığı, hançalkı büyüklüğü, gelir düzeyi ve eğitim durumu gibi demografik değişkenler ile enerji tasarrufu alışkanlıkları ve cihaz kullanım süreleri gibi davranışsal faktörlerin elektrik talebi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkileri olduğu tespit edilmiştir.

Tete ve arkadaşları (2024) çalışmalarında Burkina Faso'daki kentsel alanlarda konut bazlı elektrik tüketimini etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Çalışmada konutun fiziksel özellikleri, hane yapısı, sosyo-ekonomik göstergeler ve ev içi elektrikli cihaz kullanımı gibi değişkenler ele alınmıştır. Analiz yöntemi olarak çok değişkenli regresyon analizinden yararlanılmıştır. Bulgular, hançalkı geliri, evde bulunan cihaz sayısı ve konutun büyüklüğünün elektrik tüketimini artıran temel unsurlar olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, hançalkı büyüklüğü ve eğitim düzeyinin de tüketim davranışları üzerinde anlamlı etkiler yarattığı tespit edilmiştir.

3. Veri Seti, Model ve Ekonometrik Metodoloji

3.1. Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlı bgesel istatistiklere dayanmaktadır. Veri seti, 2007-2021 yılları arasındaki dönemi kapsamakta olup, Türkiye'nin 26 İBBS-2 (Düzey 2) bölgesine ait yıllık gözlemlerden oluşmaktadır. Çalışmada bağımlı değişken olarak kişi başına mesken tipi elektrik tüketimi (kWh cinsinden) ele alınmıştır. Bu değişken, konutlarda kullanılan elektrik miktarını nüfusa oranlayarak enerji kullanım alışkanlıklarını daha sağlıklı bir şekilde yansıtmaktadır. Bağımsız değişkenler olarak ise her bölge için 15 yaş ve üzeri toplam işsiz kişi sayısı ile 12 aylık ortalamaya göre hesaplanan yıllık enflasyon oranı kullanılmıştır. Verilerin panel yapısı, hem zaman boyutu hem de bölgesel farklılıkları göz önünde bulundurarak daha güçlü ampirik sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır.

Viler TÜİK'in "Bölgesel Göstergeler", "İşgücü İstatistikleri" ve "Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE)" veri tabanlarından temin edilmiştir. Tüm seriler bölgesel düzeyde yıllık olarak derlenmiş ve analiz öncesinde doğal logaritma dönüşümüne tabi tutulmuştur. Bu dönüşüm, serilerdeki olası

heteroskedastisiteyi azaltmak ve değişkenler arasındaki ilişkileri daha lineer hale getirmek amacıyla yapılmıştır. Veri seti, kişi başına enerji tüketimini etkileyen ekonomik faktörlerin uzun ve kısa dönemli etkilerini ölçmek üzere panel ARDL modeli ile analiz edilmiştir. Bu kapsamda, işsizlik oranı ve enflasyonun hem anlık (short-run) hem de gecikmeli (long-run) etkileri istatistiksel olarak test edilmiştir. Elde edilen veri seti, Türkiye’nin bölgesel enerji tüketim dinamiklerine ışık tutmakta ve makroekonomik değişkenlerle olan ilişkisini ortaya koymaktadır.

3.2. Model

Çalışmada kişi başına mesken tipi elektrik tüketimi ile işsiz sayısı ve enflasyon oranı arasındaki ilişkiyi analiz edebilmek amacıyla panel veri analizi yaklaşımı benimsenmiştir. Bu kapsamda oluşturulan model, Türkiye’nin İBBS-2 düzeyindeki 26 bölgesi için 2007-2021 yıllarını kapsayan veri seti üzerine kurulmuştur. Bağımlı değişken olarak kişi başına düşen elektrik tüketimi $lnelektirik_{i,t}$ seçilmiştir. Bağımsız değişkenler ise aynı döneme ait işsiz kişi sayısı $lni^{\circ}siz_{i,t}$ ve enflasyon oranı $lnenflasyon_{i,t}$ olarak tanımlanmıştır. Tüm değişkenler doğal logaritmik forma dönüştürülerek modele dâhil edilmiştir. Bu dönüşüm, hem değişkenler arasındaki ilişkiyi esneklik düzeyinde yorumlamayı mümkün kılmakta hem de olası durağanlık ve varyans sorunlarını azaltarak daha istikrarlı tahminler elde etmeyi sağlamaktadır. Modelin teorik çerçevesi, özellikle ekonomik belirsizliklerin ve iş gücü piyasasındaki dalgalanmaların enerji talebi üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır.

$$lnelektirik_{i,t} = \alpha + \beta_1 lni^{\circ}siz_{i,t} + \beta_2 lnenflasyon_{i,t} + \varepsilon_{i,t}. \quad (1)$$

Bu çalışmada kullanılan bağımlı değişken, meskenlerde kişi başına düşen elektrik tüketimini temsil etmekte olup kilowatt (kWh) cinsinden yıllık tüketim miktarını ifade etmektedir. Elektrik tüketimi, hanehalklarının yaşam tarzlarını, gelir düzeylerini ve enerji kullanım eğilimlerini yansıtan önemli bir göstergedir. Bağımsız değişkenlerden biri olan işsiz sayısı, 15 yaş ve üzeri iş gücüne dahil olup aktif olarak iş arayan bireylerin toplamını kapsamaktadır ve bölgesel iş gücü piyasasındaki ekonomik durumu yansıtmaktadır. Bir diğer bağımsız değişken olan enflasyon oranı ise Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından hesaplanan ve 12 aylık ortalamalara göre yıllık değişimi ifade eden genel fiyat düzeyi göstergesidir. Enflasyon, satın alma gücündeki değişimleri ve yaşam maliyetini doğrudan etkileyerek hanehalklarının tüketim alışkanlıkları üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Modelde yer alan bu değişkenler, makroekonomik koşulların enerji tüketimi üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla seçilmiştir.

3.3. Ekonometrik Metodoloji

Panel ARDL (Autoregressive Distributed Lag) modeli, panel veri analizinde hem düzeyde (I(0)) hem de birinci farkta (I(1)) durağan olan değişkenlerin birlikte kullanılmasına imkân tanıyan esnek bir yöntemdir. Bu çalışmada kullanılan kişi başına mesken elektrik tüketimi ve enflasyon oranı düzeyde durağan çıkarken, işsizlik verisi birinci farkta durağanlık göstermiştir (Mensah vd.,2019, 164). Bu tür farklı durağanlık düzeyleri, Panel ARDL yöntemini uygulamak için uygun bir zemin sunmaktadır. Ayrıca çalışmada çapraz kesitler arasında ilişki bulunduğunu gösteren yatay kesit bağımlılığı tespit edilmiş ve analiz buna uygun şekilde yürütülmüştür. Bu durum, ülkeler veya bölgeler arası etkileşimlerin göz ardı edilmeden modellendiğini ve elde edilen sonuçların daha gerçekçi bir çerçevede değerlendirildiğini göstermektedir.

Panel ARDL modeli, hem kısa hem de uzun dönemli ilişkilerin birlikte analiz edilebilmesine olanak tanınması açısından önemli bir avantaj sunmaktadır. Kısa dönem katsayıları, ekonomik değişkenlerdeki geçici dalgalanmaların elektrik tüketimi üzerindeki etkilerini ortaya koyarken; uzun dönem katsayıları, kalıcı ve yapısal ilişkileri analiz etmeyi mümkün kılmaktadır. Ayrıca model kapsamında tahmin edilen hata düzeltme mekanizması (ECT), sistemin dengesiz durumdan dengeye dönüş hızını ölçmekte ve uzun dönem dengesine dönüş sürecini açıklamaktadır (Nguyen, 2021). Bu bağlamda, kişi başına düşen elektrik tüketiminin işsizlik ve enflasyon gibi makroekonomik göstergelerle olan dinamik ilişkilerinin hem geçici hem de kalıcı yönleri ayrıntılı şekilde incelenebilmiştir. Panel ARDL yaklaşımı, enerji talebini etkileyen değişkenlerin farklı zaman boyutlarındaki etkilerini değerlendirme gücü sayesinde literatürde sıkça tercih edilen yöntemlerden biridir.

PARDL analiz istatistiği aşağıdaki gibidir (Zardoub,2023, 94-95);

$$Y_{it} = \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} Y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^p \delta_{ij} X_{i,t-j} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\Delta Y_{it} = \phi_i \left(Y_{it-1} - \phi_i X_{it} \right) + \sum_{j=1}^{p-1} \lambda_{ij}^* \Delta Y_{it-j} + \sum_{j=0}^{p-1} \delta_{ij}^* \Delta X_{it-j} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Formülde N yatay kesit sayısını, $t=1,2,3,\dots T$ zaman boyutunu, $k \times 1$, açıklayıcı değişken vektörünü, δ_{ij} $k \times 1$ katsayı vektörlerini, λ_{ij} , ölçekleri, μ_j , yatay kesit etkilerini, β_j , vektör katsayılarını, ϕ_j , hata düzeltme mekanizmasını ve ε_{it} ise hata terimini ifade etmektedir.

4. Bulgular

Tablo 1. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	Değişken. Açıklaması	Göz. Sayısı	Ortalama	Stan. Sapma	Min.	Max.	Bek. Etki
Bağımlı Değişkenler							
Elektrik	Mesken Kişi Başı Elektrik Tüketimi (kW)	90	6.286	0.327	5.308	6.965	
Bağımsız Değişkenler							
İşsiz	Toplam İşsiz Sayısı (+15)	90	4.452	0.812	2.397	6.917	Pozitif
Enflasyon	Enflasyon Oranı (12 aylık ortalamalara göre değişim)	90	2.302	0.341	1.430	3.144	Pozitif

Çalışmada kullanılan değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri incelendiğinde, bağımlı değişken olan kişi başına mesken elektrik tüketimi (kW) değişkeninin ortalama değerinin 6.286 olduğu görülmektedir. Bu değişkenin standart sapması 0.327 olup, minimum değeri 5.308 ve maksimum değeri 6.965 olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, bireysel konut elektrik tüketiminin bölgeler arasında görece dar bir dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Bağımsız değişkenlerden toplam işsiz sayısının ortalama değeri 4.452, standart sapması ise 0.812 olarak hesaplanmıştır. İşsiz sayısı değişkeninin minimum değeri 2.397, maksimum değeri ise 6.917 düzeyindedir. Bu sonuç, işsizlik oranlarının bölgeler arasında anlamlı bir değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Diğer bağımsız değişken olan enflasyon oranının ortalama değeri 2.302, standart sapması 0.341 olup, değerlerin 1.430 ile 3.144 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Enflasyon oranı değişkeninin görece düşük standart sapması, incelenen dönemde bölgeler arasında enflasyon oranlarında büyük farklılıkların bulunmadığını göstermektedir.

Çalışmada panel veri setinin yapısal özelliklerini değerlendirebilmek amacıyla, öncelikle yatay kesit bağımlılığı test edilmiştir. Bu kapsamda, Pesaran (2004) tarafından geliştirilen CD (Cross-Sectional Dependence) testi uygulanarak birimler arasında karşılıklı bağımlılık olup olmadığı incelenmiştir. Yatay kesit bağımlılığı tespit edilmesi durumunda, geleneksel panel veri testlerinin sonuçları yanıltıcı olabileceğinden, daha sağlam yöntemlerin tercih edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, modelde yer alan değişkenlerin parametrelerinin homojen olup olmadığını belirlemek amacıyla

homojenlik testi olarak Delta testi uygulanmıştır. Panel veri analizinde bir diğer önemli adım, değişkenlerin durağanlık düzeylerinin belirlenmesidir. Bu doğrultuda, yatay kesit bağımlılığı dikkate alınarak, birim kök testi olarak CIPS (Cross-Sectionally Augmented IPS) testi tercih edilmiştir. Bu yöntem, geleneksel IPS testinin yatay kesit bağımlılığını göz ardı eden doğasına karşı geliştirilmiş olup, veri setinin daha gerçekçi bir şekilde analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Belirtilen testler sonucunda elde edilecek bulgular, uygun modelleme süreci için yönlendirici nitelik taşıyacaktır.

Tablo 2. Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

Değişkenler	Pesaran CD_{LM}	p-değeri
Elektrik	58.448***	0.000
İşsizlik	30.112***	0.000
Enflasyon	66.880***	0.000

Çalışmada kullanılan veri setinde birim sayısının (N) zaman boyutundan (T) fazla olması ($N > T$) nedeniyle Pesaran CD testinin tercih edilmesi uygun bulunmuştur (Pesaran,2004). Tablo 2’de sunulan Pesaran CD testi sonuçlarına göre, tüm değişkenler için olasılık değerleri %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ve bu nedenle sıfır hipotez reddedilmiştir. Bu sonuç, panel veri setinde birimler arasında yatay kesit bağımlılığı bulunduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, analiz sürecinde bu bağımlılığın dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

Tablo 3. Homojenite (Delta) Testi Sonuçları

Modeller	Delta ve Delta (adj)	p-değeri
	4.243	0.000
	4.955	0.000

Tablo 3’te sunulan homojenlik testi sonuçları, Swamy’nin (1970) geliştirdiği Delta ve düzeltilmiş Delta (Delta adj) istatistiklerine dayanmaktadır (Kayıkçı ve Altay, 2025, 133). Test sonuçlarına göre, her iki istatistik için de p-değerleri %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu durum, sıfır hipotezi olan “tüm birimler için katsayıların homojen olduğu” varsayımının reddedildiğini göstermektedir. Dolayısıyla, panel veri setinde birimler arasında heterojenlik olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bulgu, modelleme aşamasında heterojenliğin dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır.

Tablo 4. CİPS Test Sonuçları

Değişkenler	Düzyey Seviye		Farkı Alınmış Seriler	
	Sabit	Trend	Sabit	Trend
Elektrik	-2.655***	-2.956***		
İşsizlik	-2.014	-2.447	-3.355***	-3.443***
Enflasyon	-3.047***	-3.653***		

Çalışmada panel veri setinde yatay kesit bağımlılığı tespit edildiği için, birim kök analizi aşamasında 2. nesil birim kök testlerinden biri olan CIPS testinin kullanılması uygun bulunmuştur (Pesaran vd., 2008). Tablo 4’te sunulan CIPS birim kök testi sonuçları, değişkenlerin durağanlık düzeylerini belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre, kişi başı mesken elektrik tüketimi değişkeni hem sabitli hem de trendli modellerde %1 anlamlılık düzeyinde durağan bulunmuştur. Enflasyon değişkeni de benzer şekilde, düzey değerlerinde sabitli ve trendli modellerde %1 anlamlılık düzeyinde durağanlık göstermektedir. Diğer yandan, işsiz sayısı değişkeni düzeyde durağan bulunmamış; ancak birinci farkı alındıktan sonra sabitli ve trendli modellerde %1 anlamlılık düzeyinde durağan hale gelmiştir. Bu sonuçlar, panel ARDL yaklaşımı için gerekli olan değişkenlerin düzeyde veya birinci farkta durağan olma şartını sağlamaktadır.

Gecikme uzunluklarının belirlenmesi sürecinde modelin doğruluğunu ve tahmin gücünü artırmak amacıyla Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayes Bilgi Kriteri (BIC) dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda optimum gecikme uzunluğu (1,1,0) olarak belirlenmiş ve Panel ARDL modelinin tahminine geçilmiştir. Tahmin sürecinde PMG (Havuzlanmış Ortalama Grup) ve MG (Ortalama Grup) tahmincileri arasında tercih yapmak üzere uygulanan Hausman testi sonucunda, elde edilen olasılık değeri ($p=0.0580$) %5 anlamlılık düzeyinin üzerinde bulunmuştur (Baltagi vd., 2005). Bu durum, PMG tahmincisinin tutarlı ve etkin olduğu yönündeki sıfır hipotezin reddedilemeyeceğini ve dolayısıyla PMG yönteminin analizde tercih edilmesinin uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, panel veri setinin yapısına en uygun tahmin yöntemi olarak PMG yaklaşımı benimsenmiştir.

Tablo 5. Panel ARDL Sonuçları

Değişkenler(SR)	Katsayı	p-değeri
Enflasyon	-0.355**	0.042
İşsizlik	-0.057***	0.000
ECT	-0.856	0.000
Değişkenler(ECT)		
Enflasyon	0.196	0.325
İşsizlik	-0.050**	0.017
Sabit Terim	3.579	0.000

Panel ARDL modeline ilişkin kısa dönem sonuçları incelendiğinde, enflasyondaki %1 oranındaki bir artışın, diğer değişkenler sabitken, kişi başı mesken elektrik tüketimini yaklaşık %0.355 oranında azalttığı ve bu etkinin %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Benzer şekilde, işsiz sayısındaki %1 oranındaki bir artışın, diğer değişkenler sabitken, kişi başı mesken elektrik tüketimini yaklaşık %0.057 oranında azalttığı ve bu etkinin %1 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu bulgular, kısa vadede enflasyonist baskılar ve işgücü piyasasındaki olumsuzlukların, hanchalkı enerji tüketimini azaltıcı yönde etkilediğini göstermektedir.

Uzun dönem ilişkisini yansıtan hata düzeltme terimi (ECT) katsayısı -0.856 olarak tahmin edilmiş ve bu katsayı %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. ECT katsayısının negatif ve anlamlı olması, değişkenler arasında uzun dönemli bir denge ilişkisi bulunduğuna işaret etmektedir. Uzun dönem katsayıları değerlendirildiğinde, enflasyon değişkeninin elektrik tüketimi üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı, buna karşın işsizlik oranındaki %1 oranındaki bir artışın, diğer değişkenler sabitken, kişi başı mesken elektrik tüketimini uzun vadede yaklaşık %0.050 oranında azalttığı ve bu etkinin %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu durum, işsizliğin enerji tüketimi üzerinde yalnızca kısa vadede değil, uzun vadede de kısıtlayıcı bir etki yarattığını göstermektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada, konut sektöründeki kişi başı elektrik tüketimini belirleyen makroekonomik faktörler panel ARDL (Otoregresif Dağıtılmış Gecikme) yöntemiyle sistematik olarak analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, değişkenler arasındaki kısa dönem dinamikleri ile uzun dönem denge

ilişkileri ayrı ayrı incelenmiş ve nedensellik bağlantıları ekonometrik olarak test edilmiştir.

Ampirik bulgular, kısa dönemde enflasyon ve işsizlik oranlarının elektrik tüketimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı negatif etkiler yarattığını ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, makroekonomik istikrarsızlıkların tüketici davranışları üzerindeki yansımalarını açık bir şekilde yansıtmaktadır. Özellikle enflasyonist baskıların hanehalklarının reel gelirlerini aşındırarak enerji harcamalarında rasyonel kısıtlamalara yol açtığı gözlemlenmiştir. Satın alma gücündeki erime, tüketicileri esnek tüketim kalemlerinde tasarruf tedbirleri almaya yönlendirmekte ve bu durum elektrik talebinde gözlemlenebilir bir daralmaya sebep olmaktadır.

İşsizlik oranındaki artışların ise hem kısa hem de uzun vadede elektrik tüketimini baskılayıcı etki gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bulgu, gelir kaybının yarattığı harcama kısıtlamalarının enerji tüketim alışkanlıklarında yapısal değişimlere yol açtığını göstermektedir. Uzun dönemde devamlılık gösteren işsizlik sorununun, hanehalkı bütçelerinde kalıcı daralmalara neden olarak enerji talebinde sürekli azalışlara yol açabileceği değerlendirilmektedir.

Ekonometrik analiz sonucunda elde edilen negatif ve istatistiksel olarak anlamlı hata düzeltme katsayısı (ECT), sistemin kısa dönem şoklardan sonra denge durumuna dönme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, değişkenler arasında sağlam bir uzun dönem ilişkisinin varlığını teyit etmektedir. Çalışmanın genel bulguları, enerji talebi ile makroekonomik göstergeler arasındaki karmaşık etkileşimi ortaya koymakta ve sürdürülebilir enerji politikalarının formülasyonunda sosyoekonomik faktörlerin dikkate alınması gerekliliğini vurgulamaktadır.

Kaynakça

- Altay, A., & Kayıkçı, F. (2025). Neo-Malthusyen Yaklaşım'ın Seçili Latin Amerika Ülkeleri Üzerinde Panel Ardl Yöntemi ile İncelenmesi. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 8(2), 124-141.
- Baltagi, B. H., Bratberg, E., & Holmås, T. H. (2005). A panel data study of physicians' labor supply: the case of Norway. *Health economics*, 14(10), 1035-1045.
- Bhattacharjee, S., & Reichard, G. (2011). Socio-economic factors affecting individual household energy consumption: A systematic review. *Energy Sustainability*, 54686, 891-901.
- Buba, A., Abdu, M., Adamu, I., Jibir, A., & Usman, Y. I. (2017). Socio-economic determinants of households fuel consumption in Nigeria. *International Journal of Research-Granthaalayah*, 5(10), 348-360.
- Chen, Y. T. (2017). The factors affecting electricity consumption and the consumption characteristics in the residential sector—a case example of Taiwan. *Sustainability*, 9(8), 1484.
- Halicioğlu, F. (2007). Residential electricity demand dynamics in Turkey. *Energy economics*, 29(2), 199-210.
- Jones, R. V., Fuertes, A., & Lomas, K. J. (2015). The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 901-917.
- McLoughlin, F., Duffy, A., & Conlon, M. (2012). Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: An Irish case study. *Energy and buildings*, 48, 240-248.
- Mensah, I. A., Sun, M., Gao, C., Omari-Sasu, A. Y., Zhu, D., Ampimah, B. C., & Quarcoo, A. (2019). Analysis on the nexus of economic growth, fossil fuel energy consumption, CO2 emissions and oil price in Africa based on a PMG panel ARDL approach. *Journal of Cleaner Production*, 228, 161-174.
- Narayan, P. K., & Smyth, R. (2005). Electricity consumption, employment and real income in Australia evidence from multivariate Granger causality tests. *Energy policy*, 33(9), 1109-1116.
- Nguyen, Q. H. (2021). Impact of investment in tourism infrastructure development on attracting international visitors: A nonlinear panel ARDL approach using Vietnam's data. *Economics*, 9(3), 131.
- Noeurn, V. (2021). Factors affecting electricity consumption of residential consumers in Cambodia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 746, No. 1, p. 012034). IOP Publishing.
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. Cambridge Working Papers. *Economics*, 1240(1), 1.

- Pesaran, M. H., Ullah, A. & Yamagata, T. (2008). A Bias-Adjusted LM Test of Error Cross-Section Independence. *Econometrics Journal*, 11(1), 105-127.
- Sena, B., Zaki, S. A., Rijal, H. B., Alfredo Ardila-Rey, J., Yusoff, N. M., Yakub, F., ... & Muhammad-Sukki, F. (2021). Determinant factors of electricity consumption for a Malaysian household based on a field survey. *Sustainability*, 13(2), 818.
- Tete, K. H. S., Soro, Y. M., Coulibaly, S. F. A., Jones, R. V., & Sidibé, S. D. S. (2024). Determinants of urban residential electricity consumption in Burkina Faso: a study of dwelling, household, socio-economic and appliance-related factors. *Buildings*, 14(3), 683.
- Vojtovic, S., Stundziene, A., & Kontautiene, R. (2018). The impact of socio-economic indicators on sustainable consumption of domestic electricity in Lithuania. *Sustainability*, 10(2), 162.
- Zardoub, A. (2023). Exploring the links between financial flows and economic growth: A panel ARDL approach. *PSU Research Review*, 7(2), 90-104.

Smart Cities and Smart Energy: Living Spaces of The Future¹

Halim Cem Teleri²

Şaban Mustafa Ersungur³

Abstract

The 21st century's rapid urbanization necessitates transformative approaches to city design and administration. This article explores the convergence of smart cities and smart energy, focusing on their socio-economic impacts and technological drivers. Through a literature review and open-source analysis, the study proposes a definition of smart cities and classifies their social and economic implications. It argues that the socio-economic effects of smart cities must be examined from a multi-stakeholder perspective. While contributing to the theoretical understanding of smart cities, the paper emphasizes the need for strategies to maximize positive outcomes (e.g., economic growth, improved quality of life) and minimize negative ones. Key technological advancements, such as green roofs, autonomous vehicles, smart buildings, and e-government services, are analyzed, alongside their potential benefits and challenges. The study concludes that smart cities and economic development are complementary, with smart initiatives driving job creation, infrastructure investment, and energy efficiency while enhancing safety, environmental sustainability, and civic engagement. However, citizen involvement is crucial for building resilient, intelligent urban centers, and municipal authorities must engage citizens in decision-making processes to ensure sustainable and inclusive urban transformation.

- 1 This article was presented as an oral presentation at the 2nd International Energy Congress organized by Nişantaşı University in Istanbul between 19-20 December 2024.
- 2 Atatürk University, Institute of Social Sciences, Department of Economics, Erzurum / Türkiye, halimcem.teleri18@ogr.atauni.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-9396-2716
- 3 Asst. Prof., Atatürk University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Economics, Erzurum / Türkiye, ersungur@atauni.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-9396-2716

1. Introduction

In the early 21st century, cities are sprawling, putting enormous pressure on infrastructure and resources. The notion of ‘smart cities’ has developed as a response to the multi-faceted challenges posed by population explosion, climate change and resource scarcity. Smart cities optimise resource management, improve service delivery and enhance the quality of life for their citizens through the use of information and communication technologies (ICT). Smart Energy, an important component of this vision, focuses on producing, distributing and consuming energy in urban environments in an efficient and sustainable manner. This article analyses the synergistic relationship between smart cities and smart energy, and discusses its implications for future living environments.

In the coming decades, the vision of smart cities powered by intelligent energy systems is set to become a reality. Equipped with the latest technologies, these integrated urban environments are poised to improve our environmental impact. (If reducing negative impact is the main focus). The concept of smart energy is at the heart of the smart city. Furthermore, smart energy is a holistic approach to managing and optimizing the use of energy in all aspects of urban life. Through the harmonious integration of sustainable energy sources, energy-efficient buildings combined with sophisticated monitoring and surveillance systems, the smart cities of tomorrow aim to reduce carbon emissions, lower energy costs and provide a more sustainable living experience for their residents.

One of the principal drivers behind smart energy in smart cities is widespread adoption of renewable energy technologies. Solar panels adorn rooftops, wind turbines dot the skyline, and energy storage solutions including batteries and heat accumulators help to balance supply and demand. This move towards clean, decentralised energy production not only reduces dependence on fossil fuels, but also allows citizens to actively manage their energy needs.

Complementing sustainable energy infrastructures, Intelligent buildings play crucial roles in the smart city ecosystem. Armed with advanced sensors, automatic controls as well as energy management systems, they optimise energy consumption, regulate temperature and adapt to occupants’ needs. By integrating smart building automation, energy-efficient appliances and smart home technologies, occupants can enjoy greater comfort, lower energy bills and a smaller environmental footprint. But the real power of smart cities lies in the seamless interconnection of these energy systems with the wider urban infrastructure. Transportation networks, street

lighting, water management and waste disposal systems are all integrated into a centralized, data-driven platform that enables real-time monitoring, predictive maintenance and dynamic resource allocation. This holistic vision not only increases efficiency, improves the overall quality of life for citizens as well.

As cities around the world embrace the smart city vision, the impact on our living spaces is growing. Imagine a future where your home automatically adjusts temperature and lighting based on your preferences and usage patterns, where your electric vehicle charges itself during off-peak hours, and where your neighborhood streetlights turn on or off based on pedestrian traffic. This is the future that smart cities and smart energy are preparing to deliver.

In the 2024 Smart City Index report produced by the International Institute for Management Development (IMD), Singapore, Zurich, Oslo, Seoul and Dubai were the cities that stood out with their smart city applications. Singapore is a leader in smart city technologies. It is at the top especially in terms of urban transport, environmental sustainability and citizen satisfaction. With its 'Smart Nation' initiative, it offers comprehensive digitalisation solutions in health, education and transport. Zurich (Switzerland) stands out with its environmentally friendly energy systems and smart waste management. It is a pioneer in citizen-oriented digital services. Oslo (Norway) stands out with its sustainability-oriented solutions. It is leading the world in using electric vehicles. It is also a strong example with its smart transport systems and practices to reduce carbon emissions. Seoul (South Korea), with its 'Smart IoT' based city infrastructure, offers comprehensive digitalisation from traffic management to public safety. It is admired for its 'Seoul Smart Citizen' platform that increases citizen engagement. It has also launched the Seoul Digital Capacity Building Training Plan for 2022. Trainers visit places frequented by the elderly to conduct individual training sessions with the elderly on directions for use smart services. Smart cities with an ageing society could follow Seoul's example to ensure that all their inhabitants benefit equally for smart city projects (IMD, 2024). It has been noted that the development of smart cities can help to reduce the gap between wealth and poverty and support citizen engagement in all kinds of social activities. At the same time, low-education employment, governmental openness and perceptions of privacy have declined in first- and second-wave smart cities as well (Lim et al. 2024). Dubai (United Arab Emirates) attracts attention with Blockchain-based government services and artificial intelligence-oriented security applications. It makes high investments in smart infrastructure projects (IMD, 2024).

The road to the future is not without its challenges. Securing vast networks of interconnected devices, guaranteeing data privacy and cybersecurity, and overcoming the logistical and financial hurdles associated with large-scale infrastructure upgrades are crucial considerations. Nevertheless, with the right policies, innovative technologies and collaborative efforts between governments, businesses and citizens, the promise of smart cities and smart energy can be realized, transforming our living spaces into more sustainable, efficient and livable environments. The following sections of this paper are organized as follows: first, we focus on smart cities and smart energy applications, then on technological developments and smart city applications that provide the infrastructure for smart transformation, then on analyzing the economic impacts of smart cities, then on examining the challenges and barriers to smart cities, and finally on presenting the results obtained from the studies conducted within the scope of the paper.

2. Smart Cities: Definition and Objectives

Smart cities are modern cities that use digitalisation, the Internet of Things (IoT), large data sets and other innovative technologies to meet the challenges of urbanisation. These cities specifically adopt solutions such as green energy, energy-efficient building designs and smart grids to achieve sustainability goals. However, criticisms such as focusing only on technological innovations and insufficient citizen participation raise new concerns such as social inequalities and cyber security risks.

The main objective of smart cities is to ensure social, environmental and economic sustainability together. Social sustainability prioritises community engagement and strengthening social ties, while environmental sustainability focuses on reducing carbon footprint and conserving natural resources. Economic sustainability, on the other hand, aims to provide fair distribution of resources and long-term growth opportunities. To achieve these goals, smart solutions are implemented to improve energy efficiency, waste management and urban infrastructure, thereby building more liveable and resilient cities.

The evolution of technology and urbanisation creates a vision of 'living spaces of the future' that offer integrated and innovative solutions in various areas such as transport, energy, healthcare and public administration. This vision uses technologies such as blockchain, IoT and artificial intelligence to optimise urban resources while making energy management more transparent and efficient. At the same time, projects that prioritise energy savings through sustainable urban planning approaches are developed and

the spread of smart cities is supported. In this way, a more livable future centred on technology and innovation is aimed. In this section, smart cities will first be defined, then the dynamics underlying the development of smart cities will be discussed, and finally, the future expectations in this area will be analysed.



Figure 1: Smart Cities

2.1. Defining Smart Cities

As Michael Batty (2013) asserts in the publication entitled *The New Science of Cities*, the contemporary era is characterised by an unprecedented degree of urbanisation. In other words, global urbanization has reached its peak. Cities are increasingly using the interconnected ecosystem of big data, cloud computing, and IoT (Internet of Things), as well as other innovative solutions to address various challenges and aim to enhance civil services.

The expanding urban population means that necessitate the development of methods in order to achieve greater efficiency in the execution of tasks. Digitization and initiatives to achieve maximum efficiency in urban performance have become a trend. Smart cities and regions have developed dramatically over the last 20 years (Caragliu, 2009). Smart city projects are being used to address the crisis and scarcity of resources and services, notably in the areas of the environment, transport, healthcare and education. The ongoing energy crunch, the rising traffic congestion in urban areas, and the escalating costs of conventional energy sources underscore the pressing need to devise innovative solutions in the realm of sustainability, particularly with respect to enhancing urban environments. The integration of green energy into the framework of a smart city has been demonstrated to hold considerable potential in the realms of energy efficiency, architecture and smart grid systems (Suryadevara and Biswal, 2019).

However, a paucity of understanding and a lack of consensus on the definition of smart cities can also have negative implications in practice. In the majority of cases, the concept of smart city can be optimistic in its conception, but its actual implementation can be far more controversial. In addition, a unilateral technological focus on smart city implementation and a lack of citizen-centricity can also raise serious concerns. For local and regional authorities, smart cities present either opportunities or challenges. Anvenniemi et al. (2017) highlights the importance of studying the impact of smart cities on citizens' social lives. Prosser (2018) sees cybersecurity, social fragmentation at least due to gentrification, and unsustainability as the principal vulnerabilities of the smart cities. Patel and Doshi et al. (2019) argued that the mass deployment of IoT devices can raise questions about security and protection of privacy. Trencher (2019) states that more advanced Smart City concepts, for instance 2.0, can, with comprehensive planning and design, be used as a tool to address societal challenges. The researcher also assessed smart cities as a means of resolving endogenous social issues using Fukushima to illustrate in Japan.

In terms of sustainable city performance, Kumar and De Vass (2021) looked at specific smart city constituents, such as logistics. Radchenko (2022), using concrete illustrations of pioneering smart cities, pointed out that the indiscriminate use of new technological advances can lead to a variety of negative effects if the sustainability aspect is neglected. Misinterpretation of the concept may be behind the negative effects of smart cities, lack of awareness and its all-encompassing human-centric definition, multi-stakeholder approaches to understanding the smart city concept must be considered (Radchenko, 2023).

Researchers including Popescu (2015), Khalifa (2019), Visvizi and Lytras, (2019), Trencher et al. (2019) have analyzed the potential for significant socioeconomic impact of smart cities. The difference between theorising and practising is explained by Shelton (2015). The response to the query regarding whether smart cities automatically raise their inhabitants' living standards is analyzed in the relevant report of Congress by Municipal and Regional Authorities. As the study shows, the main threats and opportunities of smart cities relate to privacy and the widening of digital divide through artificial intelligence.

Dhere and Bendale (2019) point out that it is questionable how beneficial smart cities can be for society when only the economic aspect is emphasized and the social aspect is entirely neglected or absent. Taylor (2015) stated that smart city applications, which are well-known examples, could have different impacts in the places where they are implemented. While city resources are concentrated in certain groups, some segments are impoverished and social polarization can occur.

As far as the definition of smart cities is concerned, the most important studies in this field have been carried out by Dameri (2013), Russo et al. (2014) and Ramaprasad, Sánchez-Ortiz and Syn (2017).

Rapid urbanisation has given rise to the notion of 'smart cities' providing a guiding vision for the future. Unlike traditional city centres, smart cities use technology, data and technological innovation to improve the experience of residents, enhance city operations and create a more resilient and liveable environment. Some authors even consider cities as strategic entities rather than simply geographical locations.

One of the hallmarks of a smart city is the integration of various systems and infrastructures into the urban landscape. These range from transportation and energy networks to water management and waste disposal systems. By linking these different elements through sensors, connectivity and data analysis, smart cities can optimize resource allocation, reduce waste and meet the changing needs of the population in real time.

Smart cities prioritize citizen engagement, leveraging digital platforms and interactive tools to foster participation in decision-making, feedback, problem reporting, and solution development. The ultimate goal is improved quality of life through enhanced public safety, reduced congestion, better access to services, and a more inclusive society. This goal is achieved using technologies that include IoT (the Internet of Things), AI, and even

renewable energy to analyse data to inform urban planning and service delivery.

While the specific implementation of smart city initiatives can vary considerably depending on the needs and challenges specific to a given urban area, the underlying principles remain the same: harnessing the power of both technology and innovation to create more liveable, sustainable and resilient cities. As the world grapples with the challenges of rapid urbanization, the Smart City concept is emerging as a promising solution, providing a plan for the cities of the future. If we try to find a common and simple definition that encompasses all these elements, a so-called smart city would be an agglomeration that harnesses the power of technology, information and innovation to improve the quality of life for its citizens and efficiency of the city's operations, creating a better, more sustainable and liveable communities.

To effectively deploy intelligent solutions across various domains, municipal administrations must formulate a strategic roadmap for smart city development. This framework should encompass three primary dimensions. The initial dimension involves the identification of specific issues and the necessity for innovative solutions. It is important to involve all stakeholders including residents and industries. In this way, their expectations and needs can be taken into account. The second one pertains to the formulation of policies. Robust policies are imperative to steer smart city implementations, delineate responsibilities, and develop comprehensive agendas and strategies to attain the goals set. The third dimension focuses on citizen engagement through e-government initiatives, access to open data, provision of complimentary Wi-Fi, involvement in sporting events, among other avenues. In summary, smart cities are characterized as a digitally interconnected environment that fosters access to open data for start-ups while ensuring full disclosure. It embodies an environmentally sustainable, energy-saving framework that investments in renewable energy sources, LED lighting, electric transportation vehicles and systems. Moreover, smart city prioritizes safety by implementing technological solutions aimed at crime reduction, establishing intelligent traffic management systems to minimize casualties, and leveraging artificial intelligence to anticipate and avert criminal activities proactively. A financially stable smart city boasts commendable creditworthiness and a proven track record. Furthermore, it is a socially engaged urban landscape where citizens exhibit a strong sense of civic identity and actively participate in community matters through digital interactions with municipal authorities. A smart city utilizes advanced technologies to stimulate economic progression via direct infrastructure investments and

enhanced proficiency in various technical disciplines. In essence, urban areas encounter numerous challenges, including unemployment, traffic congestion, elevated crime rates, and outdated infrastructure. Smart city initiatives hold the potential to mitigate these urban challenges by decreasing crime, lowering traffic accidents and congestion, and providing communities with novel business opportunities; smart technologies empower communities to stimulate job creation and economic growth.

2.2. Objectives of Smart City Initiatives

Within the domain of urban evolution, smart city initiatives have shown that social, environmental and economic sustainability are at the core of their objectives. In particular, social sustainability has been highlighted as a major consideration when planning future urban development, underlining the importance of integrating these economic, environmental as well as social aspects in urban planning and management. This issue has been the subject of research into whether there may be a negative impact on the environment (Monfaredzadeh et al., 2015). Smart city residents value social diversity, and social sustainability—crucial for a strong social fabric—depends on effective community engagement. However, despite its close ties to the notion of the smart city, social sustainability is given lesser attention than ecological sustainability (Yiğitcanlar et al., 2019).

Worldwide, atmospheric sustainability is recognised as one of the biggest issues. This approach is predicated on achieving a balance between ecosystem health and cost-effectiveness through the conservation of resources, the reduction of carbon emissions, and the prevention and mitigation of environmental degradation. The concept of environmental sustainability is a prominent one in the growing smart city trend, given the significant sustainability potential of cities. (Chatfield et al., 2016). The negative environmental impacts of urban areas are due to a number of factors, including urban adjustment, power and water usage, waste accumulation as well (Brauer et al., 2015).

The necessity of financial and economic resilience to facilitate long-term development in the smart city sector is indisputable. Economic stability also involves the delicate task of balancing intergenerational differences, which, contrary to popular belief, is not always quite simplistic as it might seem. This is the link that connects distributive equity, growth sustainability, optimal performance and timing preference (Anand et al., 2000). Smart City's economic systems require resource management strategies that [e.g., "maximize efficiency," "ensure equitable distribution," "promote sustainable

growth”] to ensure the distribution of money is both equal and efficient among the city’s inhabitants, thereby facilitating the creation and increase of resources in a similar manner. Consequently, economic sustainability will engender opportunities to increase individual production in the future. By leveraging economic and social resources, this strategy aims to improve the existing knowledge and the skills of the smart city’s inhabitants.

Smart City intends to analyse and realise relevant Smart City solutions, promoting growth and long-term evolution of the living environment. By facilitating object control, mutual interaction and the hosting of connected campaigns, smart city solutions have been found to enhance the functionality of everyday life in a variety of ways. The fundamental principle underlying the smart city vision is the extensive application of intelligent systems in all areas of the city’s ecosystem, encompassing infrastructure, transportation, governance, education, agriculture, healthcare, industry, energy, environment, and the economy (Brauer et al., 2015).

2.3. Future Prospects in The Context of Future Living Spaces Objectives of Smart City Initiatives

Looking ahead to the 21st century, the convergence of technological advances and a growing urban population has given rise to a vision of “living spaces of the future” - a future where smart cities and intelligent energy systems work together to create more durable, resource-efficient and desirable environments for all. At its centre are smart cities - hubs which harness technologies, data-driven policy-making protocols and novel approaches to enhance the experience and well-being of their citizens. These smart city projects are characterised by smooth interaction between different systems and infrastructures, from transport and energy networks to healthcare and public administration.

The use of intelligent energy in smart cities is dramatically changing how we live in the future:

- * Decentralized energy production: Rooftop solar panels and community renewable energy projects, also known as green roofs, enable city dwellers actively participate in energy production.

- * Energy efficiency: Intelligent homes and buildings equipped with energy-efficient appliances and automatic controls reduce energy consumption and operating costs.

- * Greater comfort and convenience: Smart thermostats, lighting systems and appliances offer personalized comfort and convenience while minimizing energy waste.

- * Improved air quality: The transition to cleaner energy sources helps improve air quality and public health.

- * Reduced carbon footprint: Greenhouse gas emissions are significantly reduced and climate change mitigated through the widespread use of renewable energy.

In the future, smart cities and smart energy solutions will become even more widespread and advanced. It is important to understand that the following list represents only a selection of the anticipated advances and innovations that are expected to occur in this particular field of study in the near future:

- * Blockchain technology: It will support smart energy solutions by bringing transparency and security to energy trading.

- * Internet of Things (IoT): The use of more advanced systems that monitor and optimize energy consumption will increase.

- * Artificial intelligence (AI): efficiency will be enhanced by predictive analysis and automated energy management.

- * Sustainable urban planning: Urban planning approaches that prioritize energy efficiency will be developed.

3. Technological Developments Shaping Smart Cities and Smart Energy

The global trend towards urbanization poses significant challenges in terms of resource management, infrastructure development and environmental sustainability. One promising approach to meeting these challenges is to build smart cities that use Information and Communication Technologies (ICT) to help make the world a better place. A key part of smart city development is smart energy, focusing on producing, distributing and consuming energy efficiently and sustainably in urban areas. This chapter examines the key technological developments shaping smart cities and smart energy, and analyzes their interconnections and potential impacts.

3.1. Intelligent Energy Concept

Smart energy is about efficiency and sustainability solutions, using information technology to produce, distribute and consume energy. Smart

energy systems aim to use energy resources more efficiently and reduce carbon emissions. The main applications of smart energy are as follows:

- * Smart grids: Improves energy efficiency through real-time observation and management in energy consumption.

- * Renewable energy supplies: Integration of environmentally sustainable energy resources such as wind, hydro and solar power.

- * Energy storage systems: Energy supply and demand are balanced by batteries and other energy storage solutions.

- * Smart metering systems: Smart meters are designed to track energy consumption and inform users.

- * Energy management systems: Automation and control systems are implemented to optimize energy consumption.



Figure 2: Smart Energy Concept

3.2. Basic Technological Developments

For smart cities to progress, it is essential to bring together the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI) and machine learning (ML), renewable energy integration, big data analytics, and various technologies. Monitoring and controlling urban systems with IoT enable (energy, transport, water, waste management) in real time, allowing resources to be optimised and services to be improved. AI and ML algorithms play a key role in analysing IoT data, enabling predictive maintenance, anomaly detection and optimisation of energy usage. The integration of renewable power sources including solar, wind, bioenergy and hydropower is accelerating the transition to sustainable, decentralised energy systems, supporting grid stability and reducing carbon emissions. Big data analytics enable data-driven decisions, understanding urban dynamics and optimizing resource allocation through IoT data. Smart grid technologies optimise energy distribution, while energy storing technologies (Li-ion batteries, pumped hydro storage, thermal energy storage and hydrogen fuel cells) offset for the intermittent nature of renewables. Building automation systems improve energy efficiency, while electric and autonomous vehicles are transforming transport systems. Blockchain technology enhances energy transaction transparency and security, while 5G and advanced communication networks support big data traffic, strengthening smart cities' global connectivity. In short, the synergistic interplay of these technologies is helping achieve more efficient, better sustainable and more liveable urban environments. Technological developments we have mentioned are combining to create the smart city of tomorrow, and these technologies will now be briefly examined.

* The Internet of Things (IoT): The proliferation of interconnected sensors, actuators and smart devices enables real-time surveillance and control of diverse urban systems, ranging from energy grids and transport networks to water and waste management facilities. IoT facilitates data collection, assessment and decision making, optimising resource allocation and improving service delivery.

* Artificial Intelligence and Machine Learning (AI and ML): AI and ML algorithms are crucial for analysing the large amount of data generated by IoT devices. These advanced algorithms enable predictive maintenance, anomaly detecting and optimisation models for energy consumption. AI-based traffic management systems can improve traffic flow and reduce congestion, while AI-based energy forecasting can optimize grid stability

and renewable energy integration. Accordingly, the efficiency of smart cities increases thanks to data analysis and predictive analytics.

* **Integration of renewable energies:** The transition to decentralised, sustainable energy systems is being driven by the increasing accessibility and efficiency of renewable energy sources such as solar, wind and geothermal. Smart grids integrating renewable energy sources increase grid stability and flexibility, which is vital for the decarbonization of urban energy systems. Renewables will play an essential part in meeting the energy needs of smart city environments. Integrating renewable energy increases energy efficiency and sustainability. The main renewable energy sources are; Solar energy (Buildings are topped with solar panels or on large open surfaces to produce energy), Wind power (Wind turbines generate electricity from wind energy and are integrated into smart grid systems), Bioenergy (Energy is produced by transforming organic waste in biomass power plants), and Hydroelectric power (Hydroelectric power plants are designed to generate energy via rivers and dams).

* **Big Data Analytics:** To understand urban dynamics and optimise resource allocation, the power to gather, store and evaluate large amounts of IoT information is essential. By providing information on energy consumption patterns, traffic flows, environmental conditions and citizen behavior, Big Data Analytics enables data-driven decision-making to improve urban planning and management.

* **Smart grid technologies:** Smart grids use advanced sensors, communication networks and control systems to optimize energy distribution, increase grid stability and integrate distributed generation resources. These technologies provide real-time metering of power consumption, demand response programmes and resilience improvements to the grid.

* **Energy storage technologies:** In order to balance energy supply and demand, energy storage is essential. Advances in battery technology and other energy storage solutions are key to reducing the renewable energy's unreliability. Energy storage systems enable solar and wind power to be reliably integrated into the grid, guaranteeing a sustainable energy supply. This is particularly important given the intermittent nature of renewable energy. The following technologies are used for energy storage: Lithium-ion cells (widely used for electric cars and high-volume energy storage), pumped storage (where energy is stored as water is pumped from a lower pool to a higher one, and then released when the energy is needed), thermal energy storage (where excess energy is stored as heat for heating and cooling

applications), and hydrogen fuel cells (where excess energy is used to produce hydrogen, which is then released through combustion to produce energy).

- * Building automation systems: Intelligent buildings use sensors and automatic controls to optimize energy consumption and improve occupant comfort.

- * Electric vehicles (EVs) and autonomous vehicles (AVs): The transition to EVs and AVs will have a considerable effect on urban transport and energy demand.

- * Blockchain technology: The secure character of decentralized blockchain can increase transparency as well as security of energy transactions, particularly in peer-to-peer energy trading and microgrids, thus support citizen participation and data sharing.

- * 5G and advanced communication networks: High-bandwidth, low-latency communication networks are needed to support the massive data traffic generated by IoT devices and facilitate real-time communication between different urban systems. Smart cities need to be better integrated with the outside world in order to survive intense international competition. 5G technology will be crucial to unlocking the opportunities of smart cities and smart energy.

3.3 Synergistic Effects

The interaction between the smart technologies listed above creates a synergistic effect, enhancing their individual impact. For example, IoT appliances collect data on energy usage, which is then analysed using advanced artificial intelligence and predictive machine learning techniques to optimise energy allocation and manage demand. Renewable energy powers smart grids, enabling a more sustainable and flexible energy system.

The technological developments discussed in this chapter are fundamentally reshaping smart cities and smart energy. These technologies offer opportunities to create both sustainable, resilient and equitable urban environments, however require addressing related challenges. Realising the full promise of these technologies thus ensure a smooth shift to a smarter, more sustainable tomorrow will require further research and development.

3.4 The Cornerstones of Smart Cities: Key Concepts

Smart cities-urban centers employing state-of-the-art technologies and novel approaches-are a crucial response to the challenges arising from rapid global metropolitanisation and a growing demand for more durable, efficient

and liveable environments. As mentioned above, smart cities offer smarter solutions than traditional methods in such areas as traffic management and reducing energy consumption and waste management, thanks to data collection and analysis processes. The smart transformation is founded on five key pillars: smart transport, smart energy management, smart buildings, smart healthcare, and smart governance.

3.5 Intelligent transport systems

In a smart city, the transportation system is designed to be efficient, sustainable and adapted to users' needs. Improved traffic flow, enhanced road safety, and reduced environmental impact are achieved through Intelligent Transport Systems (ITS), which utilize information and communication technologies namely sensors and Big Data analysis. Intelligent transport systems are based on real-time monitoring of traffic and the integration of technologies such as public transport, car sharing and electric vehicle infrastructure. By optimising the management of people and goods, intelligent transport reduces congestion, cuts emissions and improves the overall mobility of urban populations.

The subsequent discussion delineates several components integral to intelligent transportation systems:

- * Real-time traffic management: data collection from sensors and cameras enable instant detection of traffic density and accidents.

- * Intelligent traffic signals: Traffic lights optimize traffic flow based on real-time data analysis.

- * Autonomous vehicles: Driverless vehicles are integrated into intelligent transport systems to improve traffic efficiency and reduce accidents.

- * Optimizing public transport: Intelligent ticketing systems and real-time tracking make public transport services more efficient.

3.6 Intelligent energy management

The seamless combination of renewable energy sources, advanced energy storage solutions and sophisticated energy management systems characterises the energy environment of a smart city. The sophisticated energy management framework allows the city's energy consumption to be controlled and optimised. Through the deployment of smart grids, smart meters and new technology for energy efficiency, smart cities can reduce their carbon footprint, cut energy costs and provide more reliable and flexible power to their residents. This holistic approach to energy management

not only benefits the environment, but also empowers citizens to take an active role in their energy consumption. Smart cities aim to increase energy efficiency and sustainability through intelligent energy solutions. Presented below are several illustrative instances of applications:

- * City of Songdo, South Korea: energy consumption is optimized thanks to smart networks and renewable energy systems.

- * Freiburg, Germany: An example of sustainable urban planning thanks to solar energy and ecological building practices.

- * City of Amsterdam, Netherlands: Reducing carbon emissions through smart metering and energy management solutions.

3.7 Intelligent buildings

Intelligent buildings are an important component of the smart city ecosystem. These structures are equipped with advanced sensors, automatic controls and energy management systems that optimize energy use, regulate temperature and adapt to the needs of building occupants. By integrating technologies such as building automation, energy-efficient appliances and smart home devices, smart buildings can significantly reduce energy consumption, cut operating costs, enhance safety and offer a more comfortable, sustainable living experience for their occupants.

3.8 Intelligent healthcare services

In a smart city, the healthcare system is designed to be more accessible, more efficient and more personalized. Through the integration of telemedicine, remote monitoring and data-driven decision-making, smart healthcare initiatives can improve the delivery of medical services, enhance disease prevention and offer more tailored treatment options for urban residents. In addition, the use of smart technologies in hospitals and clinics can improve patient satisfaction, streamline administrative processes and optimize the allocation of healthcare resources.

3.9 Intelligent governance

A well-coordinated and transparency of governance is the core of a smart city. Smart governance strengthens decision-making, improves public service delivery and fosters a more inclusive and participatory urban environment through the use of digital technologies, open data and citizen engagement. This can include the use of online platforms for civic engagement, the implementation of e-government services, and the adoption of data-driven policies that prioritise the demands and concerns of the local community.

Citizen engagement in smart cities is essential to improve the performance of city governance and to better meet the needs of citizens. The following are some of the ways in which citizen engagement can be promoted:

- * E-participation platforms: Citizens can submit feedback and contribute to decision-making processes via digital platforms provided by the municipalities.

- * Mobile applications: Mobile applications giving access to municipal services and enabling citizens to report problems are being developed.

- * Community workshops: Citizens can play an active role in urban planning and projects through physical meetings and workshops.

- * Social media and digital surveys: Citizens' opinions and suggestions are collected via social media platforms and digital surveys.

By integrating these five pillars - smart transportation, smart energy management, smart buildings, smart healthcare and smart governance - smart cities can create a more sustainable, efficient and liveable urban environment. However, successful implementation of these concepts requires a collaborative approach, with governments, businesses and citizens working together to meet the unique challenges and potential of their local contexts.

As the world continues to evolve, the vision of smart cities promises a future where technology and innovation are used to improve the experience of life for all city dwellers, leading the way to a more prosperous and equitable future.

3.10 A framework for sustainable and resilient urban environments

Achieving sustainable and resilient urban environments requires a holistic approach that integrates smart city initiatives and smart energy strategies:

- * Participatory planning: Involving citizens in the planning and execution processes is essential to ensure widespread acceptance and ownership.

- * Data-driven decision-making: Leveraging data analysis to inform policy decisions and optimize resource allocation is essential.

- * Public-private partnerships: Collaboration between government agencies, private sector companies and research institutions is essential to stimulate innovation and support investment.

* Investment in infrastructure: Significant investment is needed to upgrade existing infrastructure and deploy new smart technologies.

* Capacity building: Investment in education and training programmes to improve digital and technical skills is essential.

4. Smart Cities and Smart Energy: Economic Impacts

The paucity of evaluation tools has made assessing the economics of smart city projects a challenging task. To meet this challenge, an exploratory research approach was employed to identify the economic benefits of smart cities (Wirsinna and Grega, 2021). The authors have summarised the opinions of 12 experts in Table 1 below and classified the economic benefits of smart cities into 10 categories.

A summary of the principal economic benefits of the Smart City approach is presented in the Table 1.

4.1 Cost Savings

Indeed, the potential for cost savings is inextricably linked to the performance potential of smart city projects. By reducing costs, such projects have a chance to increase business and revenue. It is important to acknowledge that the realisation of smart infrastructure is a long-term investment. A comprehensive set of policy strategies exists to cut costs, such as implementation of efficient transportation systems, reliable water and energy supplies, and the optimisation of public facility maintenance.

Table 1: Smart city initiatives’ economic benefits illustrated by themes and categories

Theme	Categories	Codes
Economic benefits of smart city initiatives	Productivity	Greater mobility and easier access to services
	Security	Peak-time traffic control, emergency response services, mobilizing citizens in pandemic situations
	Attractiveness of the city	Enhancing the urban landscape, panoramic views
	Reducing Costs	Service and maintain system costs to a minimum
	Durability	Ensure a balance between preservation and use of amenities in a strategic perspective, creating mutual interest for all stakeholders.
	Intelligent transport	Priority to public transport, integration of urban transport facilities, increased number of shared transport stations
	Intelligent building	Minimisation of the environmental burden caused by the use of water and energy
	Financing	Allocation of public funds, promotion of an intelligent energy strategy
	Measurability	Smart city application monitoring, including evaluation of the impact of smart city initiatives

4.2 Efficiency

Efficiency is evident in processes such as manufacturing, power consumption and urban agriculture that can be enabled by smart city technologies. Efficiency is linked to digitalisation. More connected systems, thanks to information technologies, will speed up services and connect stakeholders. The ability to compare, measure and evaluate all of the information in smart cities should improve the performance of service distribution. Consequently, services will be restructured and consolidated to improve citizen satisfaction and efficiency.

4.3 Safety

Control centers in large cities are necessary to ensure people’s safety. These control centres feed data about traffic and pedestrians, as well as sensors such as water levels in areas at risk of flooding. Safety is approached from many angles, such as emergency response preparedness, peak-time traffic management, disaster or pandemic mobilization. Risk and damage prevention are top priorities. Smart city initiatives can contribute to and

address this, particularly during periods of pandemic when a rapid response is required.

4.4 Attractiveness of Cities

Smart people want to live in smart cities. Indeed, talented human resources are attracted to desirable cities, and major employers are keen to relocate when they perceive strong demand. Smart city initiatives can ease the process of urban integration by reducing many administrative requirements. Improving the standard of living for residents is the aim of smart city initiatives. Better living conditions are more valuable than advanced technology. In turn, the city offers more tax and other revenues, an abundance of skilled labour and a better image. A high speed network can make a city or province more desirable and economically attractive, for home-businesses. In this case, regions with a fast Internet infrastructure will become more attractive for pandemic-type processes.

4.5 Connectivity

Connectivity is essential to the success of smart city projects. A lot has been said about the significance of Internet of Things (IoT) applications. These include LoRaWan technology (Long Range Wide Area Network, a protocol that allows IoT devices to interact with each other and with the cloud), open interfaces and bulk data processing. Making data available to city inhabitants or creating business opportunities has become the main element of smart city projects. It is rather novel approach from the municipal point of view. The explicit aim is avoiding handing private public data over to commercial providers, while ensuring that it is still accessible to those who need it. However, there are often no specific ideas about how this data would be used. The level of networking between cities is seen as an economic advantage.

4.6 Intelligent transport

With regard to smart city initiatives in the field of intelligent transport, the public sector is intensively evaluating autonomous driving to cut both costs and crowding. Transportation should receive preferential treatment in order to reduce costs. City dwellers will only take it, when it is as convenient or pleasant than private transport. Intelligent app-based systems optimise traffic patterns.

4.7 Economic Development

Cities generate around 90 per cent of total US national output and provide 85 per cent of US national employment; in other words, cities are the focus of economic vitality (Florida, 2017). When talking about economic impact on a global scale, it would be more accurate to target cities rather than nations. The goal of stimulating economic development is to increase incomes and employment, and reduce indigence, and thus contribute to a reduction in crime rates, which can lead to a stronger economy and an increase in people's quality of life and prosperity. Smart cities represent departure from inflexible, scripted approaches to managing urban resources. High crime levels dissuade both foreign and domestic investment and redistribute assets, leading a lack of both certainty and efficiency. In contrast, smart city model open ways to major economic potential and public security. As we can see, achieving smart city goals also means achieving economic development goals (Musa, 2017).

As cities develop smart technologies, job opportunities increase; besides smart cities create new, green workplaces. GIS (Geographic Information Systems) are applied to reducing crime through the geographical location of high crime areas and the identification of particular crime patterns. High crime rates have a negative influence on economic activity, creating insecurity as well as inefficiency. Smart city tools, including GIS, can help reduce crime, improve productivity, save costs, make communities safer and improve people's quality of life (Musa, 2017).

Based on the literature review and discussions, we propose a classification of the positive (in Table 2) and negative (in Table 3) economic impacts of smart cities as below (Radchenko, 2023).

Table 2: The positive economic impact of the smart city (selected by stakeholders)

The positive economic impact of the smart city
Investment growth
Strengthening of economic growth
Facilitating joint public-private partnerships
Qualitative development of workforce resources
Evolution from a low-skilled to a high-skilled workforce
Increased productivity
Improving the competitiveness of local authorities
Advanced data system management, analytical insight to trigger cost-effective solutions
Wage increases
Encouraging small-scale approaches

Table 3: The most significant economic impacts of smart cities (selected by stakeholders)

The most significant economic impacts of smart cities
Corruption
Lacking funding for non-Smart City projects
Economic risks associated with cybercrime
Deepening socio-economic gap
The financial inaccessibility of smart transformation for poor communities without additional resources
Focus on smart metropolitan infrastructure to address urban-rural divide
Dependence on exclusive technologies; obligation to renew licenses when existing systems are replaced or become obsolete
Incompatibility between system and hardware
Increased poverty for those without technological expertise
Shifting resources from traditional sectors and services to smart urban planning, limiting access to traditional industry resources.

Traffic congestion also has a detrimental effect on income and employment growth. Road accidents also result in job losses and have a negative impact on economic development. Road traffic crashes are estimated to cost most countries around 3% of their GDP (WHO, 2024). Around 1.19 million people worldwide die each year as a consequence of road traffic crashes, and road traffic crash injuries are the leading cause of mortality of children and young adults between the ages of 5 and 29. Despite owning around 60% of the world's vehicles, 92% of the world's road deaths occur in lower-

and middle-income countries. Traffic problems can be alleviated through sensors and intelligent solutions. The data from sensors allows the number of traffic lights to be increased or footpaths to be widened where necessary. GIS solutions help transport planners determine the best possible place for new traffic signals or a new viaduct. The speed of drivers who run red lights is reported by intelligent traffic cameras. The results of using surveillance technology in the transport system have brought increased revenue to many cities, reduced traffic accidents and changed the behaviour of reckless drivers.

Popescu points out that smart city projects' economic impact will be the creation of businesses and jobs, the development of human resources and increased efficiency (Popescu 2015). Shelton et al. argue that the expansion of intelligence can have a positive role in the regional economic order by providing a tool for restructuring the local economy. A smart city has opportunity to improve information processing, increase capacity and help restructure the local economy. Smart cities can help unleash local talent and localize economic gravitational forces. They can also improve operational performance by making smart zones more attractive to investors. Intelligence has great potential, especially in times of austerity (Shelton, Zook and Wiig, 2015). Masera et al. mentioned the cybersecurity issues associated with smart energy (Masera, Bompard, Profumo and Hadjsaid, 2018). By definition, the smart city model allows for more collaboration and participation from stakeholders, leading to a co-creation and user-driven economy (Radchenko, 2021). A greater capacity for economic performance is vital to a smart city approach that uses both scientific and engineering solutions to overcome economic recession. Tangible examples of improved macro-economic metrics in advanced cities through the use of a smart framework exist (Radchenko, 2022).

Simultaneously, smart cities risk widening the rich-poor gap, leaving behind under-resourced communities and stealing funds from other sectors (Visvizi and Lytras, 2019). The negative economic impacts of smart cities, selected by stakeholders, are presented in Table 3 above. The most classic of these are threats to critical installations and state resources, like financial systems, and threats to personal privacy. They also include spying on individuals, institutions and organisations, the use of cyber warfare, competition for control of cyberspace, and the disruption of e-business and major economic sectors of the city (Khalifa, 2019).

5. Challenges and Obstacles

Despite their many benefits, several challenges stand in the way of widespread adoption of smart cities and smart energy:

- * High upfront costs to invest: Deploying smart technologies takes a significant initial financial commitment. However, these costs can be financed in the long term through resources provided by the public, and social benefits can be increased.

- * Data protection and privacy: Data security and privacy concerns arise from the large amounts of data that are collected and analysed.

- * Interoperability issues: Ensuring seamless communication and data exchange between different systems and platforms remains a challenge.

- * Digital divide: unequal access to technology and digital culture can exacerbate existing urban inequalities.

- * Regulatory frameworks: Clear and effective regulations are still needed to govern the use of smart technologies and ensure their responsible deployment.

6. Method

This study uses a combination of qualitative and quantitative research methods to examine the socio-economic impacts of smart cities and smart energy systems. The research is based on literature review and open source data analysis. Firstly, the existing literature on smart cities and smart energy is reviewed and previous studies in this field are analysed. The literature review focused on the definition of smart cities, their objectives and technological developments.

In the second stage of the research, open source data were analysed to assess the economic and social impacts of smart city applications. These analyses aimed to reveal the impacts of smart cities in areas such as energy efficiency, job opportunities, infrastructure investments and citizen engagement. In addition, the challenges and obstacles faced by smart cities were also addressed within the scope of these analyses.

In the data collection process, reports of international organisations, academic articles and official documents related to smart city projects were used. The analyses were conducted with a comparative approach to understand the impacts of smart cities on economic growth, environmental sustainability and social inequalities.

7. Findings

The findings of the study reveal both positive and negative impacts of smart cities and smart energy systems. Firstly, smart cities have been found to make significant contributions in areas such as energy efficiency, reduction of carbon emissions and use of renewable energy sources. In particular, smart grids and energy storage systems have been observed to optimise energy consumption and reduce energy costs.

In economic terms, it has been determined that smart cities create new job opportunities and increase infrastructure investments. In particular, projects such as smart transport systems and smart buildings have been observed to revitalise local economies and increase employment. However, the high costs and financing problems of smart city projects stand out as an important factor preventing the expansion of these projects.

In terms of social impacts, smart cities have been found to increase citizen participation and improve quality of life. However, the digital divide and inequalities in access to technology cause some social groups not to benefit from smart city projects sufficiently. In addition, data security and privacy concerns have been identified as one of the important obstacles to the widespread use of smart cities.

8. Discussion

This study reveals that smart cities and smart energy systems play an important role in shaping the living spaces of the future. Smart cities offer significant opportunities in areas such as energy efficiency, economic growth and citizen engagement. However, some challenges need to be overcome in order to fully utilise these opportunities.

Firstly, the high costs of smart city projects make it difficult to implement these projects, especially in developing countries. Therefore, public-private partnerships and international financing mechanisms are critical for the expansion of smart city projects. In addition, to ensure the sustainability of smart cities, local governments need to involve citizens in decision-making processes and develop policies to reduce social inequalities.

Data security and privacy concerns are one of the most important challenges of smart cities. IoT devices and data collection systems used in smart cities may be vulnerable to cyber-attacks. Therefore, it is of great importance to take strong cyber security measures in smart city projects and protect citizens' data privacy.

In conclusion, smart cities and smart energy systems have a great potential to build sustainable and liveable cities of the future. However, in order to fully realise this potential, technological, economic and social challenges need to be overcome. In this context, future studies should focus on how smart cities can be implemented in different geographies and socio-economic conditions.

9. Conclusion

Smart cities and smart energy are intrinsically linked and profoundly shape the future of urban habitats. By overcoming the challenges and embracing the opportunities offered by technological advancements, smart cities can create sustainable, resilient and equitable urban environments that enhance the quality of all citizens' lives.

First, economic and social perceptions of smart cities were framed and a definition of a smart city was created. The common definition obtained through this study is as follows: "A smart city is an area that harnesses the potential of technology, data and innovation to improve the standards of living of its residents and the efficiency of city operations, creating a more sustainable and liveable environment". Second, in societal terms, the most frequently cited benefits are sustainability, quality living, the green agenda, increased connectedness and networking between people, and the potential, but not automatic, basis for facilitating inclusion and equality. On the negative side, the main criticisms of smart cities are seen as marginalisation, privacy concerns and data monopolisation.

Third, it unlocks smart cities' economic potential through encouraging micro-scale solutions and community innovation, fostering skills and knowledge, developing local talent, and making communities more competitive. In particular, cybersecurity risks and the exacerbation of divisions (rich-poor, urban-rural, etc.) are cited in the literature as negative aspects. Ultimately, despite the plethora of possible smart technologies and innovations, a consistent approach will be needed to reap their advantages or manage their impacts. Not only an overall strategy, but also concrete efforts at different levels are needed to address negative impacts while maximising positive outcomes. Otherwise, the potential benefits of the smart city could be diminished while the challenges get out of hand. This study has revealed that there is a strong relationship linking the smart city and sustainability; further research is necessary to explore the transformative and synergistic potential of smart cities to meet the challenges identified. Furthermore, the potential impacts of smart cities, the exploration of effective and balanced

definitions and the inclusion of the voice of citizens and stakeholders are among the things that remain to be done when it comes to smart cities.

The most important conclusions that can be drawn from the present paper are as follows:

1) The safety, security and well-being of the citizens is the common goal of both economic progress and smart metropolis initiatives. Economic development is about building communities and job creation for prosperity, while smart city initiatives are about technology for community safety and prosperity.

2) Smart City projects contribute both directly and peripherally to helping cities grow economically. Direct investment in infrastructure, resulting in less time spent on traffic, fewer accidents, and more local trade; better use of energy, including smart lighting and air conditioners; improved social infrastructure, including hospital, school, and library facilities; and effective regulation of new technologies, including self-driving electric vehicles and IoT. An important contribution can be made indirectly through (a) protecting lives against environmental hazards as well as crime, (b) promoting quality of life, (c) inhabitants being least dissatisfied and more motivated, (d) inhabitants having a sense of civic belonging, finally (e) building relationships across the private sector.

3) Urban smart applications are implemented through concentration on four key areas: economic growth, improved public safety, the climate changing, and finally traffic.

4) Autonomous electric vehicles, sensor-enabled traffic lights, sensor-enabled street lights, water leak detection sensors, GIS, high-speed internet connection, e-payments and e-licensing services are among the key smart solutions implemented by smart cities.

5) Smart technologies can connect infrastructure, but building a resilient, smart society takes more than technology. In order to achieve an intelligent society, citizen participation is an essential element. Local authorities are encouraged to involve their inhabitants in the process of policy development, particularly on planning and policy issues.

Despite the apparent importance of the subject, there is still no comprehensive research on this issue, particularly with regard to the various stakeholders involved. It is therefore necessary to systematize existing results and broaden the theoretical debate in this direction.

References

- Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I., & Airaksinen, M. (2017). What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, 60, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009>
- Anand, S., & Sen, A. (2000). Human development and economic sustainability. *World Development*, 28(12), 2029–2049. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(00\)00071-1](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(00)00071-1)
- Batty, M. (2013). *The new science of cities*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9399.001.0001>
- Bouzgenda, I., Alalouch, C., & Fava, N. (2019). Towards smart sustainable cities: A review of the role digital citizen participation could play in advancing social sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101627. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101627>
- Brauer, B., Eisel, M., & Kolbe, L. M. (2015). The state of the art in smart city research – A literature analysis on Green IS solutions to foster environmental sustainability. In *PACIS 2015 Proceedings* (Paper 74). <https://aisel.aisnet.org/pacis2015/74/>
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2009). Smart cities in Europe. In *Proceedings of the 3rd Central European Conference in Regional Science (CERS 2009)* (pp. 49–59). Košice.
- Chatfield, A. T., & Reddick, C. G. (2016). Smart city implementation through shared vision of social innovation for environmental sustainability: A case study of Kitakyushu, Japan. *Social Science Computer Review*, 34(6), 757–773. <https://doi.org/10.1177/0894439315611085>
- Dameri, R. P. (2013). Searching for smart city definition: A comprehensive proposal. *International Journal of Computers & Technology*, 11, 2544–2551. <https://doi.org/10.24297/ijct.v11i5.1142>
- Dhere, V., & Bendale, U. (2019). Impact of smart city on social relations. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(6), 1435–1437. <https://doi.org/10.35940/ijitee.F1292.0486S419>
- Florida, R. (2017). *The new urban crisis: How our cities are increasing inequality, deepening segregation, and failing the middle class—and what we can do about it*. Basic Books.
- IMD. (2024, April). *IMD Smart City Index*. Retrieved November 26, 2024, from <https://we-gov.org/portfolio/wego-imd-smarti-cities-index-2024/>
- Khalifa, E. (2019). Smart cities: Opportunities, challenges, and security threats. *Journal of Strategic Innovation and Sustainability*, 14(3), 79–88. <https://doi.org/10.33423/jsis.v14i3.2108>

- Lim, Y., Edelenbos, J., & Gianoli, A. (2024). What is the impact of smart city development? Empirical evidence from a Smart City Impact Index. *Urban Governance*, 4(1), 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.ugj.2023.11.003>
- Masera, M., Bompard, E. F., Profumo, F., & Hadsaid, N. (2018). Smart (electricity) grids for smart cities: Assessing roles and societal impacts. *Proceedings of the IEEE*, 106(4), 613–625.
- Monfaredzadeh, T., & Krueger, R. (2015). Investigating social factors of sustainability in a smart city. *Procedia Engineering*, 118, 1112–1118.
- Musa, W. (2017). *The impact of smart city initiatives on cities' local economic development* [Master's thesis, Fort Hays State University]. <https://doi.org/10.58809/YHXQ3534>
- Popescu, G. H. (2015). The economic value of smart city technology. *Economics, Management, and Financial Markets*, 10(4), 76–82.
- Prosser, A. (2018). What the smart city in the Danube region can learn from Industry 4.0. In *Central and Eastern European eDem and eGov Days*, 331, 191–201. <https://doi.org/10.24989/ocg.v331.16>
- Radchenko, K. (2021). Public-private partnership for smarter cities. In *Central and Eastern European eDem and eGov Days*, 103–114. <https://doi.org/10.24989/ocg.v341.7>
- Radchenko, K. (2022). The perspectives of sustainable territorial development in smart cities. *Smart Cities and Regional Development (SCRD) Journal*, 6(3), 59–72. <https://doi.org/10.25019/scrd.v6i3.136>
- Ramaprasad, A., Sánchez-Ortiz, A., & Syn, T. (2017). A unified definition of a smart city. In *International Conference on Electronic Government* (pp. 13–24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64677-0_2
- Russo, F., Rindone, C., & Panuccio, P. (2014). The process of smart city definition at an EU level. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 191, 979–989.
- Shee, H. K., Miah, S. J., & De Vass, T. (2021). Impact of smart logistics on smart city sustainable performance: An empirical investigation. *The International Journal of Logistics Management*, 32(3), 821–845. <https://doi.org/10.1108/IJLM-07-2020-0282>
- Shelton, T., Zook, M., & Wiig, A. (2014). The ‘actually existing smart city’. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8(1), 13–25. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsu026>
- Solanki, A. S., Patel, C., & Doshi, N. (2019). Smart cities—A case study of Porto and Ahmedabad. *Procedia Computer Science*, 160, 718–722. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.021>
- Suryadevara, N. K., & Biswal, G. R. (2019). Smart plugs: Paradigms and applications in the smart city-and-smart grid. *Energies*, 12(10), 1957. <https://doi.org/10.3390/en12101957>

- Trencher, G. (2019). Towards the smart city 2.0: Empirical evidence of using smartness as a tool for tackling social challenges. *Technological Forecasting and Social Change*, 142, 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.033>
- Visvizi, A., & Lytras, M. (Eds.). (2019). *Smart cities: Issues and challenges – Mapping political, social and economic risks and threats*. Elsevier.
- Wirsinna, A., & Grega, L. (2021). Assessment of economic benefits of smart city initiatives. *Cuadernos de Economía*, 44(126), 45–56. <https://doi.org/10.32826/cude.v1i126.505>
- World Health Organization. (2024). *Global health observation data*. Retrieved November 26, 2024, from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- Yigitcanlar, T., Han, H., Kamruzzaman, M., Ioppolo, G., & Sabatini-Marques, J. (2019). The making of smart cities: Are Songdo, Masdar, Amsterdam, San Francisco and Brisbane the best we could build? *Land Use Policy*, 88, 104187.

Bankacılık Sektöründe Enerji Ekonomisine Yönelik Olarak Yapılan Çalışmalar¹

Esra Dursun²

Özet

Sanayi Devrimin yaşanmasıyla birlikte dünyanın makineleşmeye olan geçiş süreci sanayi devriminden bugüne kadar gelen süreçte daha modern yaşam ve hızlı kentleşme için enerji ihtiyacını arttırmıştır. Ülke ekonomileri açısından değerlendirildiğinde ise ülkelerin ekonomik savaş anlamında kıran kırana bir mücadeleye girdiği ve küresel ekonomide daha fazla söz sahibi olmak için ekonomik anlamda büyümenin şart olduğu küreselleşme sürecinde, enerjinin kesintiye uğramadan makul fiyatlarla karşılanabilmesi her ekonominin çözüm aradığı bir konu olmuştur. Ülke ekonomilerinin büyümeleri noktasında enerji; hem gayri safi yurt içi hasıla yönünden büyüme hem de ülke kalkınması açısından kilit taşı konumundadır. Ülkelerin bu anlamda çok büyük rekabete girdiği enerji kaynakları sürdürülebilir bir ekonominin de güvencesi olmaktadır. Ülkeler açısından enerji ihtiyaçlarını hem kendi kaynaklarıyla hem de yenilenebilir şekilde karşılamak, ülkenin üretim ve gündelik hayatının devamı noktasında dışa bağımlılığını azaltacak, bu aşama da ülkenin büyüme ve kalkınma anlamında kendi atılımları için gerekli olan kaynakları hiçbir ülkenin etkisi ve baskısı altından olmadan kullanılabilir duruma getirecektir. Bir ülkede cari dengenin sağlanabilmesi için ülkenin ithalata olan bağımlılık oranı düşmeli, dış borç yükü azalmalı, ülke tasarrufları artırarak ekonomiye yatırım amaçlı aktarılmalı, para ve maliye politikalarının yerinde ve ölçülü kullanılması gibi birçok noktada olumlu gelişmeler ön plana çıkmalıdır. Ülkelerin vereceği cari açık düzeyleri ülkenin gelişme ve ilerlemesine karşı bir engel niteliğinde olup Türkiye gibi cari açığın gözle görülür bir şekilde yüksek seyrettiği ülkelerde bunun asli nedenlerinden birinin de enerji açısından

- 1 Bu çalışma 5. Bilisel International Aspendos Scientific Researches Kongresinde “The Provision Of Credit By Public Banks For The Energy Economy” adlı tebliğ olarak sunulmuştur. Genişletilmiş son hali ise “Bankacılık Sektöründe Enerji Ekonomisine Yönelik Olarak Yapılan Çalışmalar” ismiyle burada kitap bölümü olarak yer almaktadır.
- 2 Dr. Öğretim Görevlisi, Bitlis Eren Üniversitesi Hizan Meslek Yüksekokulu, , Finans-Bankacılık ve Sigortacılık, edursun@beu.edu.tr, ORCID:0000- 0001-6242-4093

neredeysse %70 oranında dışa bağımlılık olduğu görülmektedir. Tüm bu olumsuzluklara rağmen Türkiye özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olma konusunda dünyanın şanslı ülkelerinden biri sayılmaktadır. Bu zenginliği enerji potansiyelinin farkındalığıyla birlikte güçlü sürdürülebilir politikalarla desteklemek Türkiye açısından artık bir zorunluluk halini almıştır. Bu destek noktasında bankalar önemli rol oynamakta olup çalışmada enerji ekonomisine yönelik olarak Türkiye’de hizmet veren en büyük 5 bankanın enerji politikaları ve enerji için verdikleri kredi desteklerini konu almaktadır.

1. Enerji Ekonomisi ve Enerji

1.1. Enerji Ekonomisi

Her türlü gereksinimlerin karşılanması noktasında ana unsur olarak yerini alan enerji, sürekli, büyüyen ve gelişen bir dünyada insanlığın nüfusunun da sürekli artmasıyla artık daha fazla üzerinde çalışılan bir konu haline gelmiştir. Dünyada var olan ülkeler jeopolitik konumları itibarıyla sahip oldukları kaynakların daha verimli kullanılmasının yanı sıra, kıt kaynaklar dolayısıyla mevcut kaynaklarını çeşitlendirme noktasında çalışmalarını gün ve gün arttırarak sürdürmektedirler. Günlük hayatta en küçük işlerde bile kullanılması neredeyse zorunluluk haline gelen enerji, toplumda kırsaldan, kente her kesimde ve her alanda kullanılmaya başlandığı için, tıpkı diğer ekonomik kaynaklar gibi sınırlı olması nedeniyle, ekonominin içerisinde de ayrı bir çalışma sahası olarak yeni bir bilim sayılan enerji ekonomisinin de yolunu açmıştır.

Enerji ekonomisi, evrendeki mevcut olarak bulunan enerji kaynaklarını ve bu kaynakların etkin bir şekilde kullanımını, enerjinin ekonomik faaliyetler olan ilişkisini inceleyen bilim dalıdır. Bunların yanı sıra ülkelerdeki enerji potansiyellerinin hacmini belirleyip, ülkedeki durum analizini çıkartarak, ekonomi politikalarında etkin rol üstlenen çalışmaların da önünü açmıştır (Ak, 2019).

1.2. Enerji

Enerji, herhangi bir maddenin ya da maddeler sisteminin bir işi yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Termodinamikte enerji kavramı ise, “bir yerde etki oluşturabilme kapasitesi, ” olarak ifade edilmektedir. Gündelik yaşamda “enerji” ile enerjinin geçişken şekilleri olan iş ya da ısı olduğu kastedilmektedir (Spurgeon & Flood, 2002).

Bilimsel olarak yapılan tanımda ise enerji, herhangi bir alanda değişiklik meydana getirebilme ya da bir işi yapabilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. İnsan emeğiyle birlikte farklı noktalardan elde edilebilecek

birçok enerji kaynağı bulunmaktadır. Bu kaynaklar ısı, nükleer, mekanik, elektrik, yerçekimi, su, rüzgar gibi kaynaklardır. Enerji her bilimde herkes tarafından kabul gören, bütün bilimlerin ortak birleştirici noktasıdır. Bu nedenle enerji denildiğinde birçok enerji kavramı mevzu bahis olmaktadır. (Martinas, 2005).

1.2.1.Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları Birleşmiş Milletler tarafından “yenilenebilir” ve yenilenemez enerji kaynakları” olmak üzere iki ana başlık şeklinde sınıflandırmaktadır. Kendisini yenilemeyen enerji kaynaklarına fosil enerji kaynakları da denmektedir. Bu kaynaklar; petrol, taşkömürü, doğal gaz, bitümlü şeyl, asfaltit, toryum ve uranyumdur. Diğer sınıflandırma olan yenilenebilir enerji kaynakları ise adından da belli olduğu üzere sürekli olarak kendini tekrar eden bir döngüde olan ve devamlı üretilip kullanılabilen enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise; hidrolik enerji, güneş enerjisi, jeotermal enerji, deniz dalga enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrojen ve biomas enerjidir. (Biçici, 2008). Şimdi yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarına sırasıyla değinilecektir.

1.2.1.1.Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Petrol: Petrol sadece hidrojen ve karbon olmak üzere iki elementi içeren organik bileşenlerin bir karışımı olmaktadır. Ham petrol ise doğada sıvı halde bulunan bir hidrokarbondur ve yerküredeki mevcut organik maddelerin başka bir hale dönüşmesi sonucu oluşmaktadır. Rafinelerde damıtılma işlemine tabi tutularak günümüzde kullanılan akaryakıt çeşidi ve ara maddeye dönüştürülmektedir (Albayrak, 2019). Türkiye’de 2022 yılı verilerine göre 33,49 milyon ham petrol ithalatı yapılmasına karşın yalnızca 3,58 milyon ton ham petrol üretimi yapılmıştır. Bu verilerden ortaya çıkan sonuç Türkiye’nin ham petrolde %90 oranında dışa bağımlı olduğudur. Türkiye’nin 2022 verilerine göre üretilebilir ham petrol rezervi itibarıyla yaklaşık 70 milyon ton olup sadece bu yıl içerisinde 421.408 metre sondaj yapılmış ve 191 ham petrol kuyusu ülkeye kazandırılmıştır (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2023).

Taşkömürü: Kömürü içeriğinde hidrojen, karbon, oksijen gibi elementlerin olduğu yanıcı özelliği olan sedimanter organik bir tür kaya olarak tanımlamak mümkündür (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025). Türkiye’nin enerji kaynağı olarak önemli bir yerde bulunan kömür rezervi açısından durumuna bakıldığında MTA 2024 raporuna göre, henüz dünya veri bankalarına kanıtlanmış kaynak olarak yansıtılmamış olsa da son dönemlerde yürütülen arama ve rezerv geliştirme çalışmaları sonucunda

2023 yılı sonuna kadar 3,561,117 metre sondaj çalışmasını tamamlanmıştır. Bu sondaj çalışmaları sonucu 7 tanesi büyük çaplı olmak üzere toplamda 30 adet yeni kömür rezerv sahası keşfetmiştir. 7 rezerv merkezi Karapınar-Ayrancı, Eskişehir-Alpu, Afyon-Dinar, Tekirdağ-Malkara, İstanbul-Silivri, Edirne-Meriç ve Muş mevkileridir. 2024 yılı istatistiklerine göre Türkiye’de 20,53 milyar ton linyit ve asfaltit, 1,51 milyar ton taşkömürü olmak üzere toplamda yaklaşık olarak 22,04 milyar ton’dur kömür kaynağı mevcuttur (MTA, 2024). Ülke sahalarında tüm kömür kaynakları üzerinde etüt ve fizibilite çalışmaları henüz tam anlamıyla bitirilemediği için kaynakların tamamı rezerv olarak ekonomiye dahil edilememektedir (Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, 2024).

-Doğal gaz: Havadan daha hafif, rengi ve kokusu bulunmayan doğal gaz yanıcı bir gaz olmakla birlikte büyük yoğunluğunu metan, propan, etan gibi hafif moleküler özelliği olan hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Bunlarla birlikte az da olsa ağır karbondioksit, hidrokarbon, azot, hidrojen, sülfür helyum gazlarını da içeriğinde barındırmaktadır. Doğal gaz yer altında petrole birlikte bulunabileceği gibi yalnız da bulunabilir. Yoğun olarak elektrik üretimi için, sanayide, konutlarda, hizmet sektöründe kullanılmaktadır (Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, 2023). Türkiye doğalgaz açısından 2022 verilerine göre yalnızca 408 milyon m³ üretim yapmış olmasına rağmen 54,6 milyar m³ doğal gaz ithalatı gerçekleştirmiştir. Bu rakamlardan yola çıkarak elde edilen sonuç Türkiye’nin doğalgazda %99 oranında dışa bağımlı olduğudur. Bu olumsuz tabloya rağmen Türkiye rezerv olarak içerisinde yaklaşık 544 milyar m³ doğalgaz barındırmakta. Karadeniz’de Sakarya sahasının da keşfedilip geliştirilmesiyle beraber bu rezerv hacminin daha da artması beklenmektedir. (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2023)

-Bitümlü şeyl: Literatürde en yaygın isim kullanımı “petrollü şeyl” olan bu organik kayalar ısıtıldığı zaman petrol ve gaz üretebilmekte , bitümlü şist (bituminous schist) ya da bitümlü şeyl (bituminous shale) olarak adlandırılmaktadır (Şengüler, 2007). Bitümlü şeyl; Kerojen olarak ta nitelendirilen, ince taneli ve çoğu zamanda laminalı sedimanter kayalardır. Kerojen ile kaplandıkları için bir nevi kömüre benzer özellikler gösteren bir enerji kaynağıdır. Bitümlü şeyleri tıpkı kömür gibi, termik santrallerde katı yakıt aracı olarak kullanmak yahut üretim fırınlarında damıtma yapılarak içeriğinde petrol veya doğal gaz elde etmek mümkündür (Lan, 2003). Bitümlü şeyller bileşen açısından organik ve inorganik olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Organik bileşenler maseraller olup bu madenin çökme ortamı ile birlikte kalitesiyle de ilgili olarak önemli bilgiler sunmaktadır. İnorganik bileşenler mineraller olup çökme koşullarıyla ilgili önemli bilgiler sunar ve genel olarak kil, karbonat, kuvars, sülfat, sülfid, evaporit,

zeolit minerallerinden meydana gelmektedir. Tüm bu bileşenler aynı zamanda canlı türü, iklim çözeltilinin kimyasal karakteri ve alterasyonu hakkında bilgiler sunmaktadır. Türkiye’de bitümlü şeyl ile ilgili etütler MTA enstitüsünde bir komisyon kurulmasıyla beraber başlamış olup, ilk zamanlarda gerçekleştirilen çalışmalar neredeyse dünyanın tamamında olduğu gibi sentetik petrol elde etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda Ankara-Beyparazarı, Kütahya-Seyitömer, Bolu-Hatıladağ, Bolu-Himmetoğlu, Bolu-Mengen, Niğde-Ulukışla, Kocaeli-Bahçecik , Balıkesir-Burhaniye, Ankara- Beydili, Çorum-Dodurga, Amasya-Çeltek sahalarında etütler gerçekleştirilmiş ve bu etütler sonucunda Türkiye’de 1.6 milyar ton bitümlü şeyl rezervi tespit edilmiştir. Ayrıca Kastamonu-Boyalı, Manisa-Demirci, Çankırı-İlslık, Kastamonu-Aspiras bölgelerinde de prospeksiyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şengüler, 2007).

- **Asfaltit:** Petrolün tektonik hareketlerin bir sonucu olarak kendi yatağından ayrılarak çevredeki yarık ve çatlaklara yerleşmesi ve sonrasında basınç ve sıcaklık etkisiyle metamorfizmaya uğraması sonucu ortaya çıkan maddelere asfaltit denilmektedir. Kalorisinin yüksek olması, köken olarak petrol kökenli olması, içeriğinde molibden, nikel, vanadyum gibi elementleri bulundurmasından mütevellit önemli bir enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir (Demirci & Sivrikaya & Vapur, 2018). Asfaltitler, üçüncü jeolojik döneme ait fayların birbiri üzerine binmesi sürecinde oluşan kırılmalar neticesinde faylanma düzlemlerinin içine girmiştir (Parnell, 1994). Rezerv açısından Türkiye değerlendirilmesi yapılacak olunur ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi içerisinde yer alan Şırnak hem asfaltit merkezleri hem de kömür madenlerindeki büyük rezervlerin içinde ve çevresinde bulunmaktadır. Asfaltit içeriğinde kül ve kükürt elementlerinin yüksek olması sebebiyle, temizlenmiş bir şekilde kullanılması, çevre sorunlarına yol açmaması ve enerji kalitesinin artırılması bakımından önem taşımaktadır (Bilgin, 2021) Türkiye’de asfaltitler 12 filon halinde olup yaklaşık toplam rezervi 82 milyon ton olarak hesaplanmaktadır (Şengüler, 2007)

-**Toryumdur:** Toryum, atom numarası 90, sembolü Th olan, zayıf radyoaktif metalik kimyasal bir elementtir. Toryum gümüş renginde olup ve hava ile teması gerçekleştiğinde hemen oksitlenmekte ve bunun sonucunda toryum dioksiti oluşturmaktadır. Orta derecede yumuşaklığa sahip Toryum dövülebilir olmakla birlikte yüksek erime noktasına sahiptir. Bilinen tüm toryum izotopları kararsız özellik göstermekte olup en kararlı izotop olan Th yaklaşık olarak 14.05 milyar yıllık bir yarılanma ömrüne sahiptir. Toryum rezerv olarak doğada uranyumdan üç kat daha fazla bulunsun da uranyum gibi doğada serbest halde bulunmaz. Toryumun içerisinde 60’dan fazla mineral tespit edilmiş olup bunlardan yalnızca torite ve monazit toryum üretiminde

kullanmaktadır. 2016 yılı verilerine göre dünyada tespit edilen toplam toryum rezervi yaklaşık 6,35 milyon ton olup ve ortalama olarak % 6-7 civarında toryum içerdiği tahmin edilmektedir. Rezervler ağırlıklı olarak, Brezilya, Hindistan, ABD, Avustralya ve Türkiye’de bulunmaktadır (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Eroğlu ve Şahiner, 2017). Türkiye Toryum’da potansiyel açıdan nükleer enerji kaynağı olarak kabul edilen birkaç ülkeden biri olup gelecek açısından büyük bir umut kaynağı olarak görülmektedir. Nükleer enerji elde edebilme açısından Toryum içerisinde riskler barındırır da bu riskleri minimize edecek teknolojiler geliştirilebilirse gelecekte insanlık açısından daha güvenilir bir şekilde kullanılan enerji kaynağı seviyesine gelebilecektir (Maden Tetkik Arama ve Genel Müdürlüğü, 2017).

-Uranyum: Uranyum, periyodik tabloda kimyasal sembolü U atom numarası 92 olan, doğal olarak meydana gelen radyoaktif bir elementtir. Uranyum “Aktinitler” olarak adlandırılan özel bir element grubuna ait olup tarihin nispeten geç dönemlerinde keşfedilmiş bir elementtir. Doğadaki var olan diğer tüm aktinitler gibi uranyum da radyoaktiftir olup zamanla bozulmakta ve bu bozulma sonucu ve enerji açığa çıkmaktadır. Bu özel nitelikleri uranyumu nükleer reaktörler için ana yakıt kaynağı haline getirmektedir. Yaklaşık olarak bir uranyumdan 88 ton kömür kadar elektrik elde edilebilmektedir (Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu, 2024).

Dünyada tespit edilen yaklaşık 2,60 milyon ton görünür uranyum rezervi bulunmaktadır. Türkiye’de uranyum etütlerine 1990 yılının sonuna kadar devam edilmiş ve 5 ayrı yatakta olmak üzere toplam 9.129 ton görünür uranyum rezervi keşfedilmiştir. Bu 5 yatakta bulunan ortalama tenör ve rezervleri, ilk keşfedildikleri yıllarda, dünya tarafından kabul gören ekonomik seviyelerde bulunmalarına rağmen, bugün açısından, kabul edilen sınırların oldukça aşağısında kalmıştır. Bunun nedeni olarak gösterilen, dünyada son yıllarda nükleer santral planlamalarında görülen önemli değişimler sonucu, özellikle Kanada ve Avustralya’da üretim maliyetleri hem çok düşük hem de yüksek tenörlü uranyum yataklarının bulunmuş olmasıdır (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2024)

1.2.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

-Hidrolik enerji: Suyun mevcut olan potansiyel enerjisinin dönüştürülerek kinetik enerji olması sağlanan enerji çeşidine hidrolik enerji denilmektedir. Suyun yukarı seviyelerden alt seviyelere düşmesi sonucu ortaya çıkan hidrolik enerji, ortaya çıkmasıyla birlikte türbinlerin dönmesini sağlamak ve dönme kuvvetiyle elektrik enerjisi elde edilmektedir. Ortaya çıkacak olan hidrolik enerji potansiyeli yağış mevcuduna bağlı olup, iklim şartlarında

oluşacak değişimlere karşı hassasiyet göstermektedir. Hidroelektrik santraller ile gerçekleştirilen elektrik üretimi, dünyada elde edilen toplam elektrik üretiminin yaklaşık %23'ünü oluşturmaktadır. Türkiye mevcut yüksek debili akarsuların varlığı nedeniyle hidrolik enerji kaynak rezervi açısından dünyanın ilk sıralarında yerini almaktadır. Fırat, Dicle, Seyhan, Ceyhan, Kızılırmak nehirleri üzerinde kurulan barajlardan ciddi miktarda hidrolik enerji elde edilmektedir. Türkiye'nin mevcut brüt hidrolik potansiyeli yılda 430 milyar kWh, mevcut teknik potansiyeli yılda 215 milyar kWh ve ekonomik açıdan kullanılabilir hidrolik potansiyeli ise yıllık 125 milyar kWh olarak verilmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020)

-Güneş enerjisi: Güneşin çekirdeğinde gerçekleşen füzyon süreci ile hidrojen gazı helyuma dönmekte böylece güneş enerjisi açığa çıkmaktadır. Güneş, temiz ve bitmeyen bir enerji kaynağı olup yaklaşık $3,9 \times 10^{26}$ W güç yaymaktadır. Güneşten etrafa yayılan bu enerjinin çok azı dünyaya ulaşmakta atmosferin dış yüzeyindeki mevcut her metrekaareye yaklaşık olarak 1.367 W güç düşmektedir. Güneşten atmosfere yansıyan bu ışımanın içerisinden genellikle X ve ultraviyole ışıklardan oluşan bir kısmını emilirken bir kısmı da atmosfer tarafından yansıtılmaktadır. (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024). Doğal bir enerji rezervi olan güneş, yenilenebilir enerjiler arasında en popüleridir. Türkiye coğrafi konumu sebebiyle potansiyel güneş enerjisi bakımından yüksek bir seviyeye sahip olmakta ülkede yıllık ortalama güneşlenme süresi 2.640 saat (günlük 7,2 saat), yıllık ortalama toplam radyasyon basıncı da $1.311 \text{ kWh/m}^2\text{- yıl}$ (günlük toplam $3,6 \text{ kWh/m}^2$) olarak hesaplanmıştır (Wentzel & Pouris,2007).

-Rüzgar enerjisi: Rüzgarın gücünden faydalanma amacıyla kullanılan bir zamanlar yel değirmeni olarak isimlendirilen mekanizmalar teknolojinin son yıllarda çok ciddi şekilde ilerlemesiyle ABD de dahil olmak üzere birçok ülkede ciddi bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Rüzgar tribünleri rüzgar tarafından üretilen kinetik enerjiyi toplayıp enerji şebekelerine güç sağlamak amacıyla elektriğe dönüştürmektedir. Rüzgar enerjisi bir nevi güneşin yan ürünü olup, güneşin atmosferi her yüzeyi eşit olmayacak şekilde ısıtmasıyla dünyanın düz olmayan yüzeyleri ve gezegenin güneşin etrafında dönüşünü gerçekleştirmesiyle rüzgarı oluşturmaktadır. Güneş gezegeni ısıtmaya devam ettiği sürece, rüzgar bol olarak bulunan bir enerji kaynağı olmaktadır. Bununla birlikte rüzgar enerjisi her yıl büyüyen bir sektör olduğundan, ülke genelindeki vatandaşlara istihdam sağlamaktadır (ABD Enerji Bakanlığı, 2025). Türkiye rüzgar enerjisi bakımından dünya bağlamında iyi bir konuma sahip durumdadır. Türkiye'nin genişlemesi, rüzgar enerjisi kapasitesinin daha artması ve teknolojik ilerlemeler sayesinde küresel eğilimlerle uyumlu gerçekleşmektedir. Türkiye'nin daha temiz enerji kaynaklarına geçmesi için,

rüzgar enerjisine stratejik açıdan odaklanması, küresel olarak oluşan çabaları tamamlayıcı nitelikte gerçekleşmektedir. Ülkede rüzgar enerjisi kapasitesi açısından büyümesi, sürdürülebilir enerji güvenliğinin artırılması, karbon emisyonlarının azaltılması gibi konularda küresel amaçların bir yansıması olmaktadır. Ülke içerisinde toplam olarak kurulmuş rüzgar enerji kapasite hacmi 2024 yılının ilk yarı döneminde 427 MW'lık bir artışla 13 GW'a düzeyine ulaşmak üzeredir. Sektörel açıdan Türkiye'nin rüzgâr enerjisi sektöründe son on yılda önemli derecede bir büyüme yaşanmıştır. 2010 yılında kurulmuş olan rüzgâr enerjisi kapasitesi 1.375 MW olup 2024 yılının Haziran ayına gelindiğinde 12.909 MW'a kadar büyüme göstermiştir. Bu büyüme düzeyi 2023 yılından 2024 yılının ortasına kadar 427 MW'lık bir artışla göstermiş bu artış 2023 yılındaki büyümeyi neredeyse 6 ayda gerçekleştirildiğini gözler önüne sermiştir (Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, 2024).

- Deniz dalgası enerjisi: Okyanus enerjileri teknolojilerinin en ileri iki çeşidini temsil eden gelgit ve dalga enerjileri deniz yüzeyinde rüzgarların esmesi neticesinde oluşmaktadır. Üretilen dalga enerjisinin boyutu, rüzgarın hızına, rüzgarın esme süresine, rüzgarın üflenmiş olduğu su ile arasında olan mesafesine, akıntılara ve deniz tabanının batimetresine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Su hareket ettiğinde dalga enerji cihazları tarafından oluşturulan kinetik enerjiyi taşımaktadır. Gelgit enerjisi ise, güneş ve ayın okyanuslar üzerinde sürekli değişkenlik gösteren yerçekimi kuvveti tarafından oluşturulmak ve bu gelgitlerin asla durgunluk göstermediği görülmektedir. Okyanus içerisindeki su önce dünyanın bir yanına sonra diğer yanına, ve dünyanın her yerine sürekli olarak hareket etmektedir. Gelgit enerji teknolojileri, gelgit bölgelerinde okyanuslar tarafından giren ve çıkış yapan akımların enerjisini yakalamaktadır. Ortaya çıkan ve çıkma ihtimali olan gelgit enerjileri, güneşin ve ayın birbirlerine göreceli konumları tam ve doğru olarak hesaplandığı için tam olarak tahmin edilebilmektedir. Bu enerjiyi bu kadar kıymetli bir kaynak yapan da bu gelgit enerjilerinin öngörülebilir olmasından gelmektedir (Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi, 2024). Türkiye'de ise dalga enerjisinin durumuna bakıldığında dalga enerjisinin mevcut potansiyeli 4-17 kW/m dalga gücü aralığında olup kullanılabilir kaynak rezervi ise yaklaşık 10 TWsaat/ yıl olarak belirtilmiştir. Batı Karadeniz Bölgesi, İstanbul Boğazı'nın kuzeyi, ve Ege Denizi'nin Marmaris, Finike arasında bulunan güneybatı kıyıları, Türkiye'de dalga enerjisi açısından en iyi mevkieiler olarak belirtilmiştir (Sağlam& Sulukan& Uyar, 2010).

-Biomass: Biyokütle hayvanlardan ve bitkilerden elde edilen yenilenebilir organik maddedir. Biyokütle doğrudan ısı elde etme amacıyla yakılabilir

yahut çeşitli işlemlerden geçirilerek gaz ya da sıvı yakıtlara dönüştürülerek Biomas adı verilen enerji elde edilebilir (ABD Enerji Bilgi İdaresi, 2024). Türkiye Biomas enerjisi açısından değerlendirildiğinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan rapor doğrultusunda Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası'na (BEPA) göre, mevcut biyokütle artıkları ve atıklarının toplam ekonomik enerji eşdeğeri yıllık ortalama 3,9 MTEP olmaktadır. Bahsedilen diğer enerji kaynaklarından farklı şekilde, biyokütle enerji rezervinin ekonomiye kazandırılması için daha bütünlüklü bir sistem gerekmektedir. Elektrik ve ısı üretilebilmesi için önemli bir potansiyeli içerisinde bulunduran biomas enerjisi, çevre koruma, mevcut emisyonların azaltılması, iklim değişikliği olumsuz etkilerinin etkin bir şekilde yönetimi için önemli fırsatları da beraberinde sunmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir bir biokaynak yönetimi ülke endüstrisinin iklim değişikliğine daha uyumlu olması açısından önem taşımaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024)

-Hidrojen: Hidrojen enerjisi; fosil enerji kaynaklarından petrol, kömür, doğalgaz gibi enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenmesi sebebiyle çevreye zararı olmayan “geleceğin enerjisi” olarak tanımlanmaktadır. Hidrojen enerjisi güvenli bir şekilde ve kolaylıkla her yere rahatlıkla taşınabilen ve bu taşıma esnasında çok düşük enerji harcaması olan, evlerde, sanayide, taşıtlarda her yerde kullanılabilen bir enerji türüdür. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan hidrojen, karbon içermeyen, kolay bir şekilde ısı, mekanik ve elektrik enerjisine dönüşebilen enerjidir. Potansiyel olarak hidrojenin güneşin tahmini ömrü olarak hesaplanan 5 milyar yıl süresince geleceğin yakıtı olacağı bildirilmektedir. Bu nedenle diğer yakıtlardan daha pahalı olsa da teknolojik ilerlemelerin de etkisiyle uzun dönemde enerji kullanımında önemli bir rolü üstlenecektir. Elektrik ve hidrojen enerjisinin birbirine kolaylıkla dönüşmesi, hidrojenin tüm sektörleri direkt ve dolaylı olarak etkileyebilmesi, refah düzeyinin ve toplumsal gelişmenin belirleyicisi olması hidrojeni kritik bir konumda taşımaktadır. Hidrojen üretiminin otuz yılı aşkın bir süredir gelişmesiyle birlikte, dünyada petrol ve kimya sanayine bağlı olarak, gittikçe büyüyen bir hidrojen ekonomisi oluşmuştur. Bu sebeple hidrojen; kömür, petrol ve doğal gazın gelecekte daha fazla yaygınlaşabilecek tek alternatifi olarak gösterilmektedir (Kılıç, 2009).

2. Bankaların Enerji Politikaları ve Enerji Ekonomisine Yönelik Verdikleri Kredi Destekleri

Ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişimleri açısından ihtiyaç duyduğu temel öğelerden biri enerjidir. Ekonominin gelişebilmesi gerekli olan ihtiyaçların giderilmesi için temiz, sağlam ve güvenilir kaynaklardan enerji sağlanması

gereklidir. (Wentzel & Pouris 2007). Bu bölümde temiz ve güvenilir enerjinin finansmanına yönelik olarak Türkiye’de en büyük 5 bankanın kredilendirme politikalarından bahsedilmektedir. Türkiye Bankalar Birliği Aralık 2024 raporu doğrultusunda aktif büyüklüklerine göre ilk 5 banka sıralaması şu şekildedir; (Türkiye Bankalar Birliği, 2024).

1. Türkiye Cumhuriyeti Ziraat Bankası
2. Türkiye Vakıflar Bankası
3. Türkiye İş Bankası A.Ş.,
4. Türkiye Halk Bankası A.Ş.,
5. Türkiye Garanti Bankası A.Ş.

2.1. Türkiye Cumhuriyeti Ziraat Bankası Enerji Politikası ve Kredilendirmesi

Türkiye Cumhuriyet Ziraat Bankası’nın enerji finansmanına yönelik politikasını şu şekilde ifade etmiştir. “ Son zamanlarda tüm dünyada ortaya çıkan iklim değişiklikleri ve doğal afetlerin çevresel etkileri üst düzeylerde yaşanmaktadır. Küresel ısınmanın en önemli sebeplerinden bir tanesi hem evsel kullanımların hem de var olan üretim süreçlerinin yol açtığı karbon ve emisyon salımı olarak kabul edilmektedir. Ziraat Bankası sektör içindeki mevcut öncülüğe, bu konuyla ilgili olarak yapılacak yatırım ve harcamaların finansmanında da sürdürmeye devam edecektir. Bu amaç doğrultusunda sera gazı emisyonlarının azaltılması, karbon salımı ve yeşil enerjinin sürdürülebilir dönüşümünün stratejik ehemmiyeti anlaşılmakta ve çevresel tüm zararların azaltılmasına yönelik olarak kredilendirme çeşitlerimizle müşterilere destek olmaya devam edilmektedir. Ziraat Bankası’nın belirlemiş olduğu enerji politikasına yönelik olarak enerji ekonomisine destek vermek için hazırladığı kredi seçenekleri aşağıda sırayla verilmektedir; (Ziraat Bankası Sürdürülebilirlik Politikaları, 2022)

Yenilenebilir Enerji Yatırım Kredisi: Ziraat Bankası tarafından yenilenebilir enerjiyi finanse etmek için verilen kredilerden biri yenilenebilir enerji yatırım kredisidir. Bu kapsamda kentsel dönüşüm, bina yalıtımı, imalat, enerji, ulaştırma, ormancılık gibi birçok sektörde faaliyet gösteren işletmelerin enerji olarak dışa bağımlılığının en aza indirilmesi ve yeşil enerji dönüşümün gerçekleştirilmesinde finansman desteği vermek amaçlanmaktadır (Ziraat Bankası Kurumsal Krediler)

Enerji Verimliliği Kredisi: Ziraat Bankası enerji verimliliği kredi kapsamında işyeri ve binalarda gerekli yalıtımların gerçekleştirilmesi, split

klimalar kullanılmasının önüne geçilerek yerine merkezi ısıtma/soğutma sistem kurulumlarının gerçekleştirilmesi, fabrikalarda gerekli otomasyon sistemlerinin kurulumları, işletmelerde aydınlatma sistemlerinin dönüşüm geçirerek hareket/gün ışığı sensörlerinin faal duruma getirilmesi gibi yatırımları teşvik için kredilendirme sağlamaktadır. Bu kredinin özellikleri şu şekildedir; (Ziraat Bankası Ticari Krediler)

-Yapılması planlanan yatırımlarda makine/ekipman bedelinin tamamının kredilendirme olanağı

- Bedeli 500.000 USD' ye kadar olan yatırımlarda 7 yıla kadar vade seçeneği

- Bedeli 500.000 USD' den daha fazla olan yatırımlara yönelik proje bazlı vade seçeneği

- İhtiyaç durumunda 24 aya kadar ödemesiz dönem seçeneği

Enerji verimliliği Yönetimi Kredisi: Kullanılan Enerjinin verimliliğinin artırılması amacıyla yatırım gerçekleştirmek isteyen site ve apartman yönetimlerine özel olarak; yalıtım, mantolama, , aydınlatma ve güneş enerjisiyle ısıtma sağlanması ve doğalgaz sisteminin kurulmasına yönelik ihtiyaçları için verilen kredilerdir. Bu kredinin özellikleri şunlardır; (Ziraat Bankası Bireysel Krediler)

-Mevcut kredi sürecini sadece site yahut apartman tarafından yetkilendirilmiş olan yöneticiler yürütülebilecektir.

-Kredilendirme sürecinde Apartman/Siteye ait karar defterinin şubeye ibrazı şarttır.

-Kullandırılan kredi site/apartman maliklerine kullandırılmakta olup, yönetimin resmi hesaplarına otomatik olarak aktarım gerçekleştirilmektedir.

-Vade olarak 125.000'e kadar olan krediler 36 aya kadar, 125.001-250.000 TL arası krediler 24 aya kadar ve 250.001'den daha fazla olan krediler için ise maksimum 12 aya kadar kredi taksitlendirme imkânı bulunmaktadır.

Kredinin alınabilmesi için kapsama dâhil olan faaliyetler aşağıda sıralanmaktadır.

-Çatı, kapı ve Yalıtımlı pencere doğrama sistemleri,

-Konutun duvar, zemin ve tavanın, su, ısı, ses ve/veya yangın yalıtımı ile dış cephe mantolama işlemleri

-Doğalgaz dönüşüm sistemleri

-Daha verimli aydınlatma içi ledli ya da tasarruflu aydınlatma cihazları

-Güneş enerjisi ile sıcak su sağlama ve ısınma sistemleri sistemleri

Tarımsal Yenilenebilir Enerji Destek Kredisi: Tarımsal faaliyetlerini gerçekleştiren üreticilere yönelik olarak, kendi kapasitelerine de uyum sağlaması koşulu ile enerji gereksinimlerini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayabilmeleri hatta üretebilmeleri için gereken yatırım finansmanının sağlanmasına yönelik verilen kredi desteğidir. Bu kredi finansman desteği kapsamında desteklenen faaliyetler şunlardır; (Ziraat Katılım Bankası Ticari Tarım)

-Tarımsal faaliyet gösteren ortakların, işletmelerin, örgütlerin, tarımsal üretim yapmaları amacıyla sulama sistemlerine yönelik gerekli enerji ihtiyaçlarını güneşten sağlayabilmeleri adına sistem kurulması

-Jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyokütle enerjisi vb. enerjilere yönelik olarak yatırım harcamalarının finansmanının sağlanması

-Sulama tesislerinin ve sulama birliklerinin ihtiyacı olan elektrik enerjisini, güneş enerjisinden karşılayabilmelerine yönelik olarak gereken tesis ve yatırım kurma harcamaları Ziraat bankası finansman desteği kapsamında karşılanmaktadır.

2.1. Türkiye Vakıfbank Enerji Politikası ve Kredilendirmesi

Vakıfbank'ın sürdürülebilirlik anlayışı çerçevesinde enerji ekonomisine yönelik olarak politika tedbirleri maddeler şeklinde ifade edilecek olunursa; (Vakıfbank Basın Bülteni, 2021).

-Vakıfbank, yenilenebilir enerji ve enerji tasarrufu projelerine temin ettiği kredilerle faaliyetlerinden dolayı gerçekleşen dolaylı çevresel etkileri en düşük seviyeye indirmeyi amaçlamaktadır.

-Bankacılık operasyon işlemleri çerçevesinde tüketilen elektrik, doğalgaz, su ve kâğıt gibi kaynakların kullanımında tasarruf yapılabilmesi amacıyla hem sistemsel hem teknolojik ve altyapının kurulmasını sağlamak.

-Yenilenebilir enerjiyi desteklemek ve teşvik etmek adına tüm lokasyonlarda kullanılmakta olan enerjinin yenilebilir enerji rezervlerinden temin edilmesi ve yıllık bazda karbon salınımından daha fazla miktarda karbon salınımı kredisi vererek bu alanda nötrleşme sağlamak.

-Yönetim Kurulu kararı doğrultusunda alınan enerji tasarrufu tedbirleri kapsamında; metrekaresi bazında sarf edilen elektrikte, doğalgazda, kişi başına kullanım suyunda %2 bazında tasarruf gerçekleştirmek.

-Yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği yatırımlarına yönelik olarak sağlanan finansmanın kullanılması sürecinde ortaya çıkabilecek dolaylı

etkilerin kontrolünün sağlanması için çevre dostu sistemlerin teşvik edilmesi amacıyla yatırımcılara bilgilendirici etütler gerçekleştirmek ve uzman kadro takibinde yatırımın başından sonuna tüm süreçlerinde takibi gerçekleştirmek.

Vakıfbank'ın bahsedilen bu enerji politikaları doğrultusunda enerji ekonomisine yönelik olarak verdikleri kredi destekleri şunlardır;

Yeşil Konut Kredisi: Vakıfbank'ın enerji verimliliğini yükseltmek için çevreye duyarlılığı yüksek inşaatların yapımını teşvik amacıyla, konut sektörüne yönelik olarak kullandığı kredidir. Bunun yanında bireysel olarak bütçe dostu, enerji tasarrufu sağlayan ev almak isteyenlere de kredi olanağı sunulmaktadır. Bu kapsamda A enerji seviyesine sahip konutlar için 1,25 faiz oranıyla 2,7 milyonluk 120 aya kadar vade seçeneği ile kredi sağlanmaktadır. Bu kredilendirme kampanyası kapsamında bankanın amacı enerji tasarrufu sağlayarak sürdürülebilirlik stratejisinin desteklenmesi, enerji verimliliği daha yüksek düzeyde konutların teşvik edilerek, ulusal bütçeye olumlu katkılar sunmanın yanı sıra hanelerde gerçekleştirilecek olan enerji tasarrufu ile birlikte aile bütçelerine de katkı sağlanmasıdır (Vakıfbank Basın Bülteni, 2021).

Isı Yalıtım Kredisi: Bu krediyle mesken olarak kullanılan yerlerde enerji tasarrufunun sağlanmasına yönelik olarak yapılacak yatırımların finansa edilmesiyle yakıt tüketiminde düşüş gerçekleşmesi ile aile bütçesine katkı sağlanmak amaçlanmakta olup, makro boyutta ülke ekonomisine destek olarak enerjide dışa bağımlılığın azaltılması amaçlanmaktadır (Vakıfbank,2025).

Sürdürülebilirlik ve Kaynak Verimliliği Kredisi: Bu kredi bankanın işletmeleri hem verimlilik hem de geri dönüşümde teşvik etmeleri amacıyla hazırlanmıştır. Kredi kapsamında sektör ayrımı yapılmaksızın tüm ticari işletmelerin kaynak verimliliği, enerji verimliliği, su verimliliği için atık su geri kazanımı, hammadde verimliliği için yapacakları tüm yatırım ve harcamalar kredilendirilebilir. Kredi koşulları yıllık 16,50 faiz oranı ve maksimum 36 aya kadar vade imkanı olup geri ödemede üç ay esneklik tanınmaktadır (Vakıfbank Basın Bülteni, 2021)

Doğa Dostu Taşıt Kredisi: Vakıfbank Doğa Dostu Taşıt Kredisi ile elektrikli ve hibrit araçların alınması için gereken mali desteği vermeyi, böylece araçlarda benzin, dizel tasarrufu oluşturarak enerji tasarrufu sağlanmasını amaçlanmaktadır. Sıfır veya ikinci el olan binek, hafif ticari elektrikli yahut hibrit araç alımında kullanılmak üzere planlanan kredi, 1,48 faiz oranında 3 ila 48 ay vade koşullarında tüketicilere sunulmaktadır (Vakıfbank Basın Bülteni, 2021).

2.3. Türkiye Halkbank Enerji Politikası ve Kredilendirmesi

Halkbank'ın enerji yönetimiyle ilgili oluşturduğu politikanın temeli 2016 yılından itibaren ISO 14001 Çevre yönetim sistemi ve ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi üzerine kurulu olup Halkbank bağımsız dış denetimle bu belgeleri almaya hak kazanmış ve tüm bankacılık faaliyetlerine entegre eden ilk banka olma konumuna ulaşmıştır. Halkbank entegre enerji yönetim süreci ile mevcut tüm bankacılık politikalarını çevre ve enerji yönetimi üzerinden gözden geçirmeyi, yapılan tüm faaliyetler sonucunda ortaya çıkan atıkları, su ve enerji gibi kaynakları denetim altında tutarak azaltmayı ve faaliyetlerden ortaya çıkabilecek olumsuz etkileri azaltmayı hem amaçlamakta hem de bunları yapacağını taahhüt etmektedir. Halkbank bu çerçevede Enerji ve Doğal Kaynak Yönetim Sistemi projesine başlamış olup bu projelerin enerji yönetimi ve sürdürülebilirlik konusunda tüm paydaşlarına örnek olmayı amaçlamıştır. Tüm bu politikalarına hizmet edecek çalışmaları enerji ve doğal kaynak tüketimini azaltmak, iç verimliliği yükseltecek yenilikçi çözümler geliştirme üzerine kurulu olup banka bu çalışmaları kapsamında Türkiye'de ilk kez LEED yeşil bina sertifikasına sahip Datacenter olma unvanına haiz görülmüştür(Halkbank) Halkbank'ın enerji ekonomisine yönelik olarak verdiği kredi olanakları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

Halkbank DB Enerji Verimliliği Kredisi: Halkbank Dünya Bankası Enerji Verimliliği Kredisiyle işletmelerin verimlilik artışı sağlamak ve enerji giderlerini azaltmak amacıyla yapacakları tüm modernizasyon yatırımlarını finanse edecektir. Firmaların bu krediyi alabilmeleri için üretim kapasitelerinde bir değişiklik olmasa bile enerji tüketimini azaltan ve enerjide verimliliği arttıran yatırımlarının olması ya da enerji verimliliği yatırımlarıyla ekstra ilave finansal kazanımları hedeflemesi gerekmektedir (Halkbank Kobi Kredileri)

Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Yatırım Kredisi: Banka bu kredi ile firmaların enerji sarfiyatlarını yenilenebilir enerji sistemlerinden karşılamalarını amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda rüzgar ya da güneş enerji santralleri, biyogaz ve jeotermal tesisler kurulması gibi yatırımlar için kredilendirme yapacaktır (Halkbank Kobi Destek Paketleri).

Yeşil İş Yeri Yatırım Kredisi: Banka bu kredi ile firmaların işyerinde kalite ve üretim miktarını azaltmadan, enerji giderlerini azaltacak yatırımları kredilendirmeyi amaçlamaktadır (Halkbank Kobi Destek Paketleri).

Yeşil Sertifikalı İnşaat Projesi Kredisi: Çevre, şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığından “Yeşil Sertifika” almayı başaramamış, bölge koşullarına uyumlu, enerji ve su kaynaklarından tasarruf yapmayı amaçlayan

inşaat firmaları bu kredi ile desteklenmektedir (Halkbank Kobi Destek Paketleri).

Yeşil Işık Ticari Taşıt Kredisi: Banka, gerçek kişi ya da tüzel firmaların satın almayı planladığı elektrikli çevre dostu ya da hibrit taşıtlar ya da iş makinelerinde kredilendirme sağlamaktadır (Halkbank Kobi Destek Paketleri).

Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Kredisi: Bu krediyle elektrikli araçların enerji ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik hizmet verecek istasyonların kurulması desteklenmektedir (Halkbank Kobi Destek Paketleri).

Geri Dönüştüren Kredi: Geri Dönüştüren Kredi kapsamında Sürdürülebilirlik ilkesi kapsamında, atıkların sınıflandırılması, depolanması, yeniden kullanılması için geri dönüşüm projeleri kredilendirilmektedir (Halkbank Kobi Destek Paketleri).

Sürdürülebilirlik Sertifikasyonuna Destek Kredisi: Sürdürülebilirlik ilkesi kapsamında banka tarafından belirlenmiş sertifikalardan birine bile sahip olan işletmelerin desteklenmesine yönelik verilen kredilerdir (Halkbank Kobi Destek Paketleri).

Atık Su Yönetimi Kredisi: Atık olan suları arıtarak geri kazanılmasına yönelik olarak yapılacak tesisleri desteklemek amaçlı verilen kredilerdir (Halkbank Kobi Destek Paketleri, 2025).

2.4. Türkiye İş Bankası Enerji Politikası ve Kredilendirmesi

İş Bankası enerji konusunda diğer bankalardan farklı olarak sadece kredilendirme yapmamış 2022 Ağustos ayında İş Enerji A.Ş. 'yi kurarak başta güneş, rüzgar santralleri olmak üzere, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik olarak, Türkiye'nin önde gelen firmalarından biri olmayı amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda bankanın enerji bağımlılığını azaltacak, geri dönüşümü destekleyecek, enerji sektörünün aktif bir aktörü olmaya yönelik bir anlayış benimsenmiştir (İş Enerji Yatırımları A.Ş., 2022) . İş Enerji'nin yanında bankanın verdiği enerji kredilerine sırayla değinilmiştir. Bunlar;

Lisanssız Elektrik Üretim Kredisi: Bu kredide banka tarafından rüzgar, güneş ve yenilenebilir diğer enerji kaynaklarına yönelik elektrik üretmek isteyen firmalar için yerli ve yabancı para cinsinden kredilendirme sağlanmaktadır (İş Bank Ticari Krediler)

İşte Güneş Kredi Kampanyası: Bu kampanya ile enerji yoğun sektörlerde işlev gösteren, yüksek elektrik tüketimine sahip firmaların kendi enerji tüketimlerine yönelik cephne, çatı ve arazi tipi lisansız güneş enerjisi yatırımları için kredi desteği sağlanmaktadır (İş Bankası, 2025).

Enerji Verimliliği Kredisi: Enerji maliyetlerini düşürmek ve enerji verimliliği sağlamak isteyen yatırımları desteklemek amacıyla verilen kredidir (İş Bankası, 2025).

Çevreye Duyarlı İşletme Kredisi: İş Bankası bu kampanya ile bir işletmenin yaptığı üretimlerinde hammadde aşamasından nihai ürüne kadar tüm süreçlerinde, enerji verimliliğini oluşturmak ve çevreye verilebilecek olumsuz etkileri en asgariye indirmek amaçlı gerekli sistem ve süreçlerin oluşturulması için, sürdürülebilirlik kapsamında istenilen sertifikalardan en az bir tanesine sahip işletmeleri kredilendirmeyi amaçlamaktadır (İş Bankası, 2025)

Suya Değer Kredisi: Suya Değer Kredisi ile son zamanlarda yaşanan deniz kirliliği olaylarının önlenerek azaltılması, denizlerin korunmaya alınarak suyu geri kazanmaya yönelik tesislerin yatırımını gerçekleştirmek isteyen firmalar desteklenmesi amacıyla verilmektedir (İş Bankası Yeşil Enerjiye Katkı Sağlayan Ürünler)

Elektrikli Şarj İstasyonu Kurulum Kredisi: Elektrikli Şarj İstasyonu Kurulum Kredisi ile enerji sarfiyatını düşürmeye yönelik, doğa dostu hibrit ve elektrikli araçların şarja ulaşmasını kolaylaştıracak ünitelerin finansmanları desteklenmektedir (İş Bank Ticari Krediler).

Çevreye Duyarlı Turizm İşletmeleri Yenilenebilir Enerji Desteği: Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak yapılan elektrik üretim santrali yatırımlarını destekleyen kredidir (İş Bank Çevreye Duyarlı Krediler, 2025)

2.5. Garanti Bankası Enerji Politikası ve Kredilendirmesi

Garanti Bankası enerji ekonomisine yönelik olarak oluşturduğu politikanın adı İşbu Enerji Politikaları olarak adlandırmakta, bu politika kapsamında tüm yerleşkelerinde enerji performansını iyileştirmeye yönelik amaçlar gütmektedir. Banka bu konuda gerekli önlemlerin alınmasına yönelik sürdürülebilirlik politikasını ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemlerini referans alarak oluşturmuştur. Garanti İşbu politikasının amacını 3 başlıkta oluşturmuştur (Garanti Kurumsal Yönetim)

-Yaşanılan iklim değişikliği koşullarında, hissedarlara, çalışanlara, topluma, çevreye katılan değeri sürekli olarak arttırmak.

-Enerji yönetim sistemi uygulanan tüm hizmet noktalarında, enerji yönetimiyle ilgili olarak izlenmesi gereken genel uygulama kapsamalarını ve ilkeleri tanımlamak.

- Bankada tüm mevzuat ve sistemlerin, 50001 Enerji Yönetim Sistemi ilkeleri, Enerji Kaynaklarının ve Enerji Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik stratejisine uyumlu bir şekilde yürütülmesi için gerekli tedbirleri almak.

Garanti Bankası İşbu Politikalarıyla bir taraftan bankada enerji yönetiminde uygulayacağı ana çerçeveleri belirlemekte, diğer taraftan bahsedilecek kredilerle enerji yönetimine destek sağlamaktadır. Bu kredi destekleri şunlardır;

Yenilenebilir Enerji Kredileri: Bu kredi ile bankanın kriterlerine uygun olarak yenilenebilir enerji yatırımları gerçekleştirecek işlemler desteklenmektedir (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Enerji Verimliliği Kredileri: Bu kredi vasıtasıyla üretilen ürünlerde adet başına enerji tüketimini azaltan ve enerji verimliliği sağlayan teknolojiler desteklenmektedir (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Bina Yalıtım Kredisi: Bina Yalıtım Kredisi ile bina yalıtımlarını destekleyerek verimli enerji kullanımını teşvik eden kredilendirme yapılmaktadır (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Tüzel Çatı GES Kredisi: Bu kredi ile kendi elektriğini güneş enerjisi yoluyla üreterek maliyetlerini düşürmek isteyen lisanssız elektrik üretim projeleri desteklenmektedir (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Bireysel Çatı GES Yatırım Kredisi: Bu kredi çeşidi ile Türkiye’de bir ilk olarak bağımsız bir şekilde kendi güneş enerjisi üretimini yapmak isteyen binalar kredilendirilmektedir (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Yeşil Konut Kredisi: 2017 yılında çevre dostu yeşil binalarda yaşanmasını teşvik için verilmeye başlanan kredi çeşididir (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Kentsel Dönüşüm Kredisi: Kentsel dönüşüm kanunu kapsamında riskli yerlerde bulunan konutların sağlam yapılara dönüştürülmesi için verilen kredi çeşididir (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Çevreci Taşıt Kredisi: Mayıs 2017 tarihinden itibaren hibrit ve elektrikli otomobiller için tüketicilere yönelik olarak verilmeye başlanan kredi çeşididir (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Kurumsal Yeşil Taşıt Kredisi: Bu kredi ile kurumların almak istedikleri araçlarda ya da filo kiralamalarında hibrit ve elektrikli araç tercih etmesini teşvik etmek için kredilendirme yapılmaktadır.

Elektrikli Bisiklet Özel Alışveriş Kredisi: Elektrikli Bisiklet Özel Alışveriş Kredisi yeşil ulaşım amacına teşvik için verilmektedir (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Yeşil Kiralama Kredisi: Sürdürülebilirlik ilkesi ile bağlantılı olarak enerji verimliliğine yönelik ekipmanların kredilendirilmesine verilen finansman desteğidir (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Tarım Kredileri (Organik Tarım, Sulama Kredileri, Doğrudan Ekim, Dijital Tarımcılık, Tarımda GES Kredileri): Bu krediler sürdürülebilir tarımın desteklenmesine yönelik olarak verilmekte olup organik tarımı, tarımda enerji verimliliğini ve daha verimli su tüketimi projelerini desteklemek için verilmektedir (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Atık Yönetimi / Döngüsel Ekonomi Kredileri: Atık Yönetimi / Döngüsel Ekonomi Kredileri, geri dönüşümü, atıkların yönetimini finanse etme amaçlı verilen kredilerdir (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Atık Su / Su Yönetimi Kredileri: Su israfını azaltarak suyu geri dönüştürüp tekrar prosese dahil etmeye yönelik yatırımları destekleyen kredilerdir (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Sürdürülebilirlikle Bağlantılı Krediler: Sürdürülebilirlikle bağlantılı krediler her müşteri için özel tasarlanmakta olup temelinde sürdürülebilirlikle ilgili stratejik önceliklerin değerlendirilmesi ve sürdürülebilirliğin işletmelerin karar verme mekanizmasına entegre edilmesi gibi planları kapsar (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri).

Yeşil Doğrudan Tahsilat Sistemi (DTS): Türkiye’de ilk olarak uygulanan bu kredi Garanti Bankası tarafından yeşil olduğu belirlenen firmalara tanımlanmakta olup amaç sürdürülebilirliğe katkı sunmaktır (Garanti Sürdürülebilirlik Kredileri, 2025)

SONUÇ

Bir iş, oluş, hareket olarak tanımlanan enerji ilk çağlardan beri insanlığın hayatta kalma ve hayatını rahat bir şekilde sürdürebilme aracı olup, dünyanın dönmesi, güneşin evreni ısıtması, ekilen tarım ürünlerinin büyümesi için yağmurun yağması hepsi bir enerji hareketi sonucu oluşmaktadır. İnsanlık başladığı günden beri enerji ile içli dışlı bir yapı sergilemekte, insan vücudunun bir yerden bir yere hareketinde bile enerji gerekmektedir. Bilimsel olarak ise enerjinin başlangıç aşaması tekerleğin icadı olarak kabul edilmekte olup, sonrasında rüzgarın ve suyun gücünden faydalanmak için yapılan değirmenler, buharla çalıştırılan trenler ve günümüzde kullanılan

petroller, hatta roketler bile enerjinin zaman içinde dönüşümü neticesinde insanlığın kullanımına sunulmuştur.

Toplumların hayatını idame ettirebilmeleri için bu kadar elzem bir ihtiyaç olan enerjinin daha sürdürülebilir şekilde kullanılması gibi konular petrol kriziyle birlikte literatürde yerini almış sonrasında ekonominin bir bilim dalı olarak bilim insanlarının ilgisini çeken konuların en önemlilerinden biri haline gelmiştir. Dünyada güç savaşlarının farklı boyutta yaşanmaya başladığı şu dönemde enerji ile ilgili sorunları analiz ederek, doğru çözümleyebilmek ve bu alanda etkin politikalar geliştirmek tüm ülkelerin başlıca amacı haline gelmiştir bu durum da enerji ekonomisi bilimini doğurmuştur.

Yaşam için hayati önemde olan enerjinin elde edilmesi, kurulması ya da etkin bir şekilde değerlendirilmesi hepsi bir finans gerekliliği oluşturmuş bu gereklilikle birlikte hemen hemen tüm bankalar enerji finansmanı ile ilgili enerji politikaları ve finansal kredi desteklerine başvurmuştur. Çalışma bankaların enerji politikaları ve kredilendirme türlerini anlatan iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde enerji ekonomisinin ne olduğu ve önemi kısaca tanıtılmış, sonrasında enerji nedir ve enerji çeşitleri nelerdir konularına giriş yapılmıştır. İkinci bölümde ise Bankalar Birliğinin raporlarına göre aktif büyüklük açısından en büyük beş banka olan Ziraat Bankası, Vakıf Bank, İş Bankası, Halk Bank ve Garanti Bankalarının enerji politikaları ve enerjiye yönelik olarak verdikleri finansman desteklerine değinilmiştir. Aktif büyüklük açısından en büyük beş bankanın enerji politikaları ve kredi desteklerinin tamamının bir yerde bulunmasını sağlayan çalışma bu konuda bir atılım yapmak isteyen firmaların, yatırımcıların ve bireylerin aradıklarını daha kolay bulmaları ve zamandan tasarruf etmesi bakımından yol gösterici niteliktedir.

Kaynakça

- ABD Enerji Bilgi İdaresi (2024), <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/>, Erişim tarihi (22.05.2025)
- Ak, S. (2019). Enerji Ekonomisi Perspektifinden Türkiye’de Cari Açığın Sürdürülebilirliği Üzerine Ekonometrik Bir Analiz (Yüksek Lisans Tezi). Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın
- Albayrak, K. (2019). Türkiye’nin Enerji Ekonomisi Ve Cari Açık İçin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi (Yüksek Lisans Tezi). Karatay Üniversitesi, Konya
- Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi (2024), Sektör raporları: EMEC. Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi. <https://www.emec.org.uk/marine-energy/industry-reports/>, Erişim tarihi (19.05.2025).
- Biçici, R. (2008), Türkiye’de Enerji Ekonomisi (Yüksek Lisans Tezi). Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak
- Bilgin, Ö. (2021), Chemical Physics Letters, Volume 776, August 2021, 138710
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2020), <https://webdosya.csb.gov.tr/db/edirne/haberler/5-h-droelektr-k-enerj-s--n-hat-20200615080657.pdf>, (Erişim Tarihi- 22 Mayıs 2025)
- Demirci S. & Sivrikaya O & Vapur, H. (2018), Enerji Kaynağı Olarak Asfaltit: Oluşumu, İçeriği, Türkiye Rezervleri, Temizlenmesi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, (2019), 312-325
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSayfalar%20FK%C3%B6m%C3%BCr+-Nedir-.pdf, Erişim tarihi (23.05. 2025).
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı , <https://enerji.gov.tr/tabii-kaynaklar-uranium> , Erişim tarihi (23.05. 2025).
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2024), <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-dogalgaz#:~:text=Bu%20verilerden%20yola%20%C3%A7%-C4%B1karak%20%C3%BClkemizin,rezervimizin%20daha%20da%20artmas%C4%B1%20beklenmektedir.> , Erişim tarihi (23.05. 2025).
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2024), <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>, Erişim tarihi (22.05.2025)
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2024), <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle-en>, Erişim tarihi (23.05. 2025)
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2023), <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-petrol> Erişim tarihi (16.05.2025)
- Eroğlu G., Şahiner M. (2017), Dünyada ve Türkiye’de Uranyum ve Toryum, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı Eylül 2017

- Gökdemir M. & Kömürcü, M.İ. & Evcimen, T.U. (2012), Türkiye’de Hidroelektrik Enerji ve HES Uygulamalarına Genel Bakış, TMOB Türkiye İnşaat Mühendisleri Odası
- Halkbank Kobi Kredileri (2025), <https://www.halkbankkobi.com.tr/tr/kobi/krediler/Yurtdisi-Kaynakli-Krediler/DB-Enerji-Verimlilik-Kredisi.html>, Erişim Tarihi (23.05. 2025)
- Halkbank Kobi Destek Paketleri(2025), <https://www.halkbankkobi.com.tr/tr/kobi/destek-paketleri/kobi-destek-paketleri/yesil-donusum-ve-surdurulebilirlik-destek-paketi.html>, Erişim Tarihi (23.05. 2025)
- İnternational Atomic Energy Agency (2024), www.iaea.org/newscenter/news/what-is-uranium -. Erişim Tarihi (15.05.2025)
- İş Bankası Çevreye Duyarlı Krediler,2025, <https://www.isbank.com.tr/is-ticari/cevreye-duyarli-ticari-krediler>, Erişim Tarihi, (23.05. 2025)
- İş Bankası Enerji Kredileri(2025), <https://www.isbank.com.tr/kampanyalar/is-teguneskampanyasi>, Erişim Tarihi (23.05. 2025)
- İş Enerji Yatırımları A.Ş., 2022, <https://www.isenerji.com.tr/kurumsal/hakkimizda>, Erişim Tarihi (01.06.2025)
- Kılıç, N. (2009), Geleceğin Enerjisi Olarak Adlandırılan Hidrojen Enerjisi, İzmir Ticaret Odası, Arge Bülten, Ekim, İzmir.
- Maden Tetkik Arama ve Genel Müdürlüğü, (2024), <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/komur-arama-arastirmalari>, Erişim Tarihi (17.05.2024)
- Martinas K (2005) Energy in physics and in Economy. *Interdisciplinary Description of Complex Systems* 3(2): 44-58.
- Parnell, J., “Hydrocarbons and Other Fluids: Paragenesis, Interactions and Exploration Potential Inferred from Pétrographie Studies”, Geofluids: Origin, Migration and Evolution of Fluids in Sedimentary Basins Geological Society Special Publication, sayı.78, s. 275-291, 1994 b.
- Sağlam M., Sulukan E. ve Uyar T. S.,(2010) Wave energy and technical potential of Turkey, Journal of Naval Science and Engineering, 6, 2, 34-50.
- Spurgeon, R. & M. Flood (2002); *Enerji ve Güç*, (Çev.: K. Sönmezler), TÜBİTAK, Ankara.
- Şengüler, İ. (2007), Asfaltit ve Bitümlü Şeylin Türkiye’deki Potansiyeli ve Enerji Değeri, TMMOB Türkiye VI. Enerji Sempozyumu - Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye Gerçeği
- Türkiye Bankalar Birliği (2024), Aktif Büyüklüklerine Göre Banka Sıralaması Raporu, Erişim tarihi (26.05.2025)
- Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu İstatistikleri 2024, <https://www.tki.gov.tr/istatistikler>, Erişim Tarihi, (31.05.2025)
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistiki Raporu, Temmuz 2024,

- Lan, G.Ü. (2003). Türkiye Enerji Kaynaklarının Genel Değerlendirmesi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 27(1), 17-44
- USA Department of Energy, <https://www.energy.gov/eere/wind/wind-energy-basics>, Erişim tarihi (22.05.2025)
- Vakıfbank (2025), <https://www.vakifbank.com.tr/tr/bireysel/krediler/isi-yalitim-kredisi>,
- Vakıfbank Basın Bülteni, Vakıfbank'ın Yeni Sürdürülebilirlik Bankacılık Ürünleri 2021, <https://vbassets.vakifbank.com.tr/bankamiz/basin-bultenleri/vakifbanktan-surdurulebilirlik-ve-kaynak-verimlilik-yatirimlarina-finansman.pdf>, Erişim Tarihi (27.05.2021)
- Vakıfbank Basın Bülteni (2021), <chrome-extension://efaidnbmnnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://vbassets.vakifbank.com.tr/bankamiz/basin-bultenleri/vakifbanktan-cevre-dostu-yesil-ev-kredisi.pdf>, Erişim Tarihi (27.05.2021)
- Wentzel M., & Pouris A. (2007). The development impact of solar cookers: a review of solar cooking impact research in South Africa. Energy Policy, 35,1909–19

Enerji Ekonomisi Çalışmaları-1

Editör:

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Volkan Ayyıldız