



ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ VE ÇEVRE PERFORMANSI İLİŞKİSİ: FARKLI GELİR DÜZEYİNDEKİ ÜLKELER İÇİN KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ¹

Mehmet DEMİRAL²

Emine Dilara AKTEKİN GÖK³

Öz

Bu çalışma, enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişkiyi gelir düzeyine göre sınıflandırılmış ülke gruplarını kapsayan bir örneklem çerçevesinde, CS-ARDL yöntemi ile araştırmaktadır. Çalışmada enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişki ekonomik büyüme, sanayileşme, kentleşme ve küreselleşme faktörleri kapsamında incelenmektedir. Ampirik bulgular, yenilenebilir enerji tüketimi ve karbondioksit emisyonları (CO₂) arasındaki ilişkinin gelir gruplarına göre farklılaştığını göstermektedir. Yenilenebilir enerji tüketimi, düşük gelirli ülkelerde karbondioksit emisyonlarını (CO₂) artırmaktadır. Üst-orta ve yüksek gelirli ülkelerde karbondioksit emisyonlarını (CO₂) azaltmaktadır. Ekonomik büyüme tüm gruplarda çevresel bozulmayı artırırken, diğer değişkenlerin etkileri ülkelerin yapısal özelliklerine göre farklılaşmaktadır. Çalışma sonuçları, enerji dönüşümü ve çevre performansı arasında ilişkinin sağlanabilmesi için çok boyutlu yapısal faktörleri dikkate alan, bütüncül politika yaklaşımlarının uygulanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Çevre, CS-ARDL Yöntemi

Jel Sınıflandırması: Q4, Q5, C33

ENERGY TRANSITION AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE: A COMPARATIVE ANALYSIS FOR COUNTRIES WITH DIFFERENT INCOME LEVEL

Abstract

This study examines the relationship between energy transition and environmental performance across a sample of countries categorized by income, employing the CS-ARDL methodology. It analyzes this relationship within the frameworks of economic growth, industrialization, urbanization, and globalization. The empirical findings reveal that the link between renewable energy consumption and carbon dioxide (CO₂) emissions differs among various income groups. In low-income countries, an increase in renewable energy consumption corresponds with a rise in CO₂ emissions. Conversely, upper-middle-income and high-income countries experience a decrease in emissions as their consumption of renewable energy increases. While economic growth is recognized as a contributing factor to environmental degradation across all income groups, the influence of other factors varies according to each country's structural characteristics. These findings highlight

¹ Bu çalışma Prof. Dr. Mehmet DEMİRAL danışmanlığında Arş. Gör. Emine Dilara AKTEKİN GÖK tarafından hazırlanan doktora tezinden türetilmiştir.

² Prof. Dr., Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Niğde, Türkiye, mdemiral@ohu.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8836-5682>.

³ Arş. Gör., Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Niğde, Türkiye, dilaraaktekin@ohu.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4112-2456>.

the importance of comprehensive policy strategies that take multiple structural factors into account. Such an approach is crucial for effectively aligning energy transition efforts with enhancements in environmental performance.

Keywords: Energy, Environment, CS-ARDL Method

Jel Classification: Q4, Q5, C33

GİRİŞ

Enerji dönüşümü, fosil yakıtlara dayalı yenilenemeyen enerji kaynaklarından yenilenebilir ve düşük karbonlu enerji kaynaklarına geçiş süreci olarak tanımlanmaktadır (Hernandez Serrano ve Zaveri, 2020). Bu dönüşüm süreci, enerji arzının bileşiminde ve enerji tüketiminde meydana gelen yapısal bir değişimi ifade etmektedir (O'Connor, 2010: 2; Sovacool, 2016: 202-204). Enerji dönüşümü, teknik altyapıda meydana gelen değişimlerle birlikte çevresel etkileri de kapsamaktadır. Buna bağlı olarak, enerji dönüşümü çevre performansının sağlanmasında belirleyici bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Singh vd. 2019: 2).

Çevre performansı, bir ülkenin çevresel sürdürülebilirlik kapasitesini ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltma düzeyini yansıtan çok boyutlu bir göstergedir. Bu performans, çevre problemlerinin azaltılması, ekosistem bütünlüğünün korunması, doğal kaynakların etkin ve sürdürülebilir biçimde kullanılması gibi çevresel ölçütler çerçevesinde tanımlanmaktadır. Bu kapsamda, enerji üretim ve tüketim biçimlerinde meydana gelen yapısal dönüşümler çevre üzerinde olumlu etkiler oluşturmaktadır. Özellikle fosil yakıtlara dayalı yenilenemeyen enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim, enerji faaliyetlerinden kaynaklanan çevre problemlerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bu durum, çevre performansı üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır (O'Connor, 2010: 16-20; Pala Kılınç, 2024: 600, Ai vd. 2025). Ancak söz konusu etki, yalnızca enerji kaynaklarının bileşiminde meydana gelen yapısal değişimle sınırlı değildir. Aynı zamanda ekonomik büyüme, sanayileşme, kentleşme ve küreselleşme gibi yapısal dinamikler tarafından da şekillendirilmektedir.

Bu çalışmada, enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişki araştırılmaktadır. Enerji dönüşümü ve çevre performansı ilişkisini ampirik olarak inceleyen çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, bu ilişkiyi gelir düzeyine göre sınıflandırılmış dört farklı ülke grubu (düşük, alt-orta, üst-orta ve yüksek gelirli) düzeyinde inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışma, söz konusu ilişkiyi gelir düzeyine göre sınıflandırılmış dört farklı ülke grubu kapsamında incelemekte ve literatüre önemli bir katkı sunmaktadır. Çalışmanın bir diğer katkısı ise, enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişkiyi ekonomik büyüme, sanayileşme, kentleşme ve küreselleşme faktörleri kapsamında incelemesidir. Bu doğrultuda çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, çevre performansını etkileyen unsurlar kapsamında literatürdeki örnek çalışmalara yer verilmektedir. Bu bölümde enerji dönüşümünün etkisi, yenilenebilir enerji tüketimi ve çevre konusu kapsamında verilmektedir. İkinci bölümde, enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişki gelir düzeyine göre sınıflandırılmış dört farklı ülke grubu (düşük, alt-orta, üst-orta ve yüksek gelirli) için ampirik çerçevede incelenmektedir. Son bölümde ise, ampirik bulgulara yer verilmektedir. Çalışma ampirik bulgular üzerine yapılan değerlendirmeler ve politika önerilerini kapsayan sonuç bölümü ile tamamlanmaktadır.

1. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişki, ekonomik büyüme, sanayileşme, kentleşme ve küreselleşme gibi yapısal faktörler tarafından şekillendirilmektedir. Bu faktörler, enerji talebinin yapısını ve enerji üretiminde kullanılan kaynakların bileşimini belirleyerek, çevre performansı üzerinde doğrudan ya da dolaylı etkiler yaratmaktadır. Bu doğrultuda, literatür incelemesi yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme, sanayileşme, kentleşme ve küreselleşme faktörleri temelinde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma, enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişkinin yapısal koşullar çerçevesinde incelenmesini sağlamaktadır.

1.1. Çevre-Yenilenebilir Enerji Tüketimi İlişkisi

Yenilenebilir enerji tüketimi, enerji dönüşüm sürecinin temel bileşenlerinden biri olarak çevre performansı üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır. Literatürde, yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonunu (CO₂) azalttığı ve çevre performansını olumlu yönde etkilediği yönünde çeşitli bulgular yer almaktadır (Dogan ve Seker, 2016; Ito, 2017; Sharif vd. 2019). 16 Avrupa Birliği ülkesinde yenilenebilir enerji tüketiminin çevre üzerindeki etkisini panel veri analiz yöntemi çerçevesinde 1990-2008 dönemi için analiz eden Bölük ve Mert (2014), yenilenebilir enerji tüketiminin çevre kirliliğinin azaltılmasında etkili bir yol olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmada yenilenebilir enerji teknolojisinin kullanılmasının çevre performansını artırabileceği bulgularına ulaşmışlardır. 1991-2012 dönemi kapsamında yenilenebilir enerji tüketiminin çevre üzerindeki etkisini panel veri analiz yöntemi çerçevesinde analiz eden Bhattacharya vd. (2017), 85 gelişmiş ve gelişmekte olan ülke için yenilenebilir enerji tüketiminin çevre kirliliğini azaltmada önemli bir rol oynadığı sonucunu elde etmişlerdir. GMM yöntemini uygulayan Jebli vd. (2020), 1990-2015 döneminde gelir düzeylerine göre sınıflandırılmış (düşük gelirli, alt-orta gelirli, üst-orta gelirli ve yüksek gelirli ülkeler) 102 ülke için alt-orta gelirli ülkeler dışında yenilenebilir enerji tüketiminin tüm ülkelerde çevre kirliliğini azalttığı sonucunu elde etmişlerdir.

1.2. Çevre - Ekonomik Büyüme İlişkisi

Ekonomik büyüme süreci, üretim hacmindeki ve enerji tüketimindeki artışa bağlı olarak çevre üzerinde baskı oluşturmakta ve çevre problemlerin artmasına neden olmaktadır. Bu durum, çevre performansının olumsuz yönde etkilenmesine yol açmaktadır. Ancak gelir düzeyinin yükselmesiyle birlikte çevre bilincinin gelişmesi, temiz teknolojilerin yaygınlaşması ve çevre politikalarının etkin biçimde uygulanması, çevresel koşulların iyileşmesine katkı sağlamaktadır. Bu çerçevede, ekonomik büyüme ve çevre arasındaki ilişkiyi açıklamaya yönelik geliştirilen Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi, literatürde öne çıkan temel teorik yaklaşımlardan biri olarak kabul edilmektedir. Grossman ve Krueger (1991), Panayotou (1993) ile Selden ve Song (1994) tarafından yapılan çalışmalar, bu hipotezin teorik temelini oluşturmaktadır. Bu hipoteze göre, çevre kirliliği ekonomik büyümenin ilk aşamalarında artış gösterirken, gelir belirli bir eşik düzeyine ulaştıktan sonra azalma eğilimine girmekte ve çevre kalitesinde iyileşme yaratmaktadır (Panayotou, 1993; Suri ve Chapman, 1998). Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini dikkate alan çalışmaların büyük bir kısmı değişken olarak sera gazı emisyonlarını (karbondioksit emisyonu (CO₂), metan, nitroz oksit ve florlu gazlar vb.) kullanmaktadır. 1977-2010 döneminde 17 OECD üyesi ülke için panel FMOLS ve DOLS yöntemlerini uygulayan Bilgili vd. (2016), Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerli olduğunu belirlemişlerdir. Hanif ve Gago-de-Santos (2017), 1972-2011 döneminde 86 gelişmekte olan ülkeden oluşan büyük bir örneklemede Çevresel Kuznets

Eğrisinin geçerli olduğunu destekleyen kanıtlar bulunmuştur. Bu çalışmaların aksine ekonomik büyüme ve çevre arasındaki ilişkiyi inceleyen bazı çalışmalar Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerli olmadığını savunmaktadır. Acar vd. (2018), 1970-2016 dönemi için gelişmekte olan ülkeler, OECD, Orta Doğu ve OPEC ülkelerinde sabit etki ve GMM tekniklerini kullanmış ve Çevresel Kuznets Eğrisinin geçerli olmadığını vurgulamıştır. DOLS ve FMOLS yöntemini uygulayan Ansari vd.(2020), Körfez İşbirliği Konseyi ülkeleri örneğinde 1991-2017 dönemi için Çevresel Kuznets Eğrisinin geçerli olmadığı bulgusuna ulaşmıştır.

1.3. Çevre- Sanayileşme İlişkisi

Sanayileşme, enerji yoğun sektörlerin gelişimini teşvik ederek fosil yakıtlara dayalı yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketimini artırmaktadır. Bu durum, çevre üzerinde ciddi baskılar oluşturmakta ve çevre performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Literatürde sanayi faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkisinin olumsuz olduğunu ileri süren çalışmalar bulunmaktadır. Cherniwchan (2012), 1970-2000 dönemi kapsamında 157 ülke için sanayileşmenin çevre kirliliğini artırdığı sonucunu elde etmiştir. 2004-2014 döneminde 31 Asya ülkesini Driscoll-Kraay prosedürü ile inceleyen Le vd. (2020), sanayileşmenin karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını artırdığı bulgusuna ulaşmıştır. Benzer şekilde, GMM tahmin yöntemini kullanan Van Tran (2020), sanayileşmenin 1971-2017 döneminde 66 gelişmekte olan ekonomide çevre kirliliğini artırma eğiliminde olduğu bulgusunu elde etmiştir.

1.4. Çevre- Kentleşme İlişkisi

Kentleşme, enerji tüketimi ve çevre üzerinde önemli etkiler yaratan yapısal bir süreçtir. Özellikle düzensiz ve hızlı kentleşme, ulaşım, konut ve altyapı gibi enerji yoğun alanlarda tüketimi artırarak çevre performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu bağlamda, kentleşmenin çevre üzerindeki etkileri literatürde sıklıkla incelenmektedir. Poumanyong ve Kaneko (2010), 1975-2005 döneminde 99 ülke için STIRPAT modeli çerçevesinde kentleşmenin karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını artırdığını tespit etmişlerdir. Raheem ve Ogebe (2017), 20 Afrika ülkesinde 1980-2013 dönemine ait verileri kullanarak kentleşmenin karbondioksit emisyonu (CO₂) üzerindeki etkisini panel veri analizi yöntemini kullanarak araştırmış ve kentleşmenin çevre kirliliğine neden olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmaların aksine bazı çalışmalar sürdürülebilir kentleşme uygulamalarıyla bu olumsuz etkilerin azaltılabileceğini ileri sürmektedir. Saidi ve Mbrak (2017), 1990-2013 dönemi için zaman serisi verilerini kullanarak, 19 yükselen ekonomi için kentleşmenin çevre kirliliğini azalttığı sonucuna ulaşmıştır. Benzer şekilde Salim vd. (2017), gelişmekte olan Asya ekonomilerinde 1980-2010 dönemi için panel veri analizi yöntemini planlı ve sürdürülebilir kentleşme süreçlerinin çevre kirliliğini azaltabileceği sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca, kentleşmenin uygun politikalarla desteklenmesi durumunda çevre üzerinde olumlu bir etki yaratacağı belirtilmiştir.

1.5. Çevre- Küreselleşme İlişkisi

Küreselleşme, sermaye ve teknoloji transferleri aracılığıyla enerji dönüşümünü ve çevresel uygulamaların yaygınlaşmasını etkilemektedir. Bu süreç, çevre performansı üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Bu kapsamda bazı çalışmalar, dış ticaretin genişlemesi ve doğrudan yabancı yatırımların artmasının çevre performansını olumsuz yönde etkileyebileceğini ortaya koymaktadır (Shahbaz vd. 2018; Le

ve Ozturk, 2020). Bunun aksine, küresel entegrasyonun çevre dostu teknolojilerin yayılımını kolaylaştırdığı, uluslararası çevre standartlarının benimsenmesini teşvik ettiği ve sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesine katkı sağladığı yönünde bulgulara da rastlanmaktadır (Yiğit, 2020:163).

Küreselleşmenin çevre üzerinde olumsuz etki yarattığını savunan çalışmalar literatürde geniş bir alana sahiptir. 1970-2014 dönemi çerçevesinde 25 gelişmiş ekonomi için zaman serisi ve panel veri yöntemlerini kullanarak küreselleşmenin çevre kalitesi üzerindeki etkisini araştıran Shahbaz vd. (2018), küreselleşmenin karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını artırdığı sonucuna ulaşmıştır. Benzer şekilde, 1990-2014 döneminde 47 yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomi için panel veri analiz yöntemini kullanan Le ve Ozturk (2020), küreselleşmenin çevre kirliliğini artırdığı bulgusunu elde etmiştir. Buna karşılık, küreselleşmenin çevre üzerinde olumlu etkiler yarattığını öne süren çalışmalar da bulunmaktadır. Dinamik panel veri yöntemini kullanan Lv ve Xu (2018), 1970-2012 döneminde 15 yükselen ülke için uzun vadede küreselleşmenin çevre üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu sonucuna ulaşmışlardır. 2001-2018 dönemi kapsamında 148 ülke için GMM yöntemini kullanarak küreselleşmenin çevre performansı üzerindeki etkisini araştıran Wang vd. (2021) küreselleşmenin çevre performansını iyileştirdiği sonucunu elde etmiştir.

2. AMPİRİK ÇERÇEVE

Bu bölümde, enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişkinin analizi kapsamında kullanılan veri seti, ekonometrik model ve tahmin sürecinde uygulanan metodolojik yaklaşım ayrıntılı bir biçimde açıklanmaktadır.

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada, enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişki, gelir düzeyine göre sınıflandırılmış ülke grupları kapsamında 1987-2022 dönemi yıllık verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz döneminde eksik veri veya önemli aykırı değerler içeren yıllar çıkarılmıştır. Gelir düzeyine göre sınıflandırılmış ülkeler, Dünya Bankası'nın Atlas yöntemi kullanılarak kişi başına düşen gayri safi milli gelirin (GSYİH) cari ABD dolarına dönüştürülmesine göre dört gelir grubuna ayrılmıştır. Ancak ekonomik büyüme, enflasyon, döviz kurları, nüfus ve ulusal hesaplardaki metodolojik revizyonlar kişi başına düşen GSYİH'yi etkilemektedir. Bu nedenle, Dünya Bankası gelir seviyelerini sabit tutmak amacıyla kişi başına düşen GSYİH eşiklerini yıllık olarak güncellemektedir (World Bank, 2023). Gelir düzeyine göre sınıflandırılmış ülkelere ilişkin küresel örneklemeleri kapsayan çalışmalar genellikle yalnızca belirli bir yıldaki ülke durumunu dikkate almakta ve incelenen dönemlerde bazı ülkelerin farklı gelir kategorilerine geçişlerini göz ardı etmektedir. Yıllık eşiklerin periyodik ortalamaları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1: Atlas Kişi başına düşen GSYİH Eşik Değerlerindeki Tarihsel Güncellemeler (Cari ABD Doları)

Ülke Grubu	1987-1992*	1993-1998*	1999-2004*	2005-2010*	2011-2016*	2017-2022*	1987-2022*
Düşük Gelirli Ülke Grubu	< 588	< 753	< 764	< 949	< 1031	< 1054	<856
Alt-Orta Gelirli Ülke Grubu	589-2366	754-2998	765-3032	950-3757	1032-4061	1055-4126	857-3390
Üst-Orta Gelirli Ülke Grubu	2367-6981	2999-9271	3033-9377	3758-11612	4062-12547	4127-12786	3391-10429
Yüksek Gelirli Ülke Grubu	> 6981	> 9271	> 9377	> 11612	> 12547	> 12786	>10429

Not: * Çalışmanın ülke gruplandırması 1987-2022 döneminin ortalama gelir eşiklerine dayanmaktadır.

Kaynak: (World Bank, 2023).

Tablo 2’de enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişki kapsamında incelenen gelir düzeyine göre sınıflandırılmış ülke grupları (düşük, alt-orta, üst-orta ve yüksek gelirli) yer almaktadır.

Tablo 2: Gelir Düzeyine Göre Sınıflandırılmış Ülke Grupları

Düşük Gelirli Ülke Grubu	Alt-Orta Gelirli Ülke Grubu	Üst-Orta Gelirli Ülke Grubu	Yüksek Gelirli Ülke Grubu
Burundi	Angola	Cezayir	Amerika Birleşik Devletleri
Gine	Bolivya	Gabon	Avustralya
Madagaskar	Filipinler	Güney Afrika	Avusturya
Malavi	Guatemala	Jamaika	Belçika
Mali	Hindistan	Mauritius	Danimarka
Mozambik	Honduras	Meksika	Finlandiya
Nepal	Mısır	Panama	Fransa
Nijer	Moğolistan	Paraguay	İngiltere
Orta Afrika Cumhuriyeti	Nijerya	Peru	İrlanda
Ruanda	Nikaragua	Romanya	İspanya
Togo	Papua Yeni Gine	Türkiye	İsveç
	Sri Lanka	Ürdün	İsviçre
	Vietnam		İtalya
	Zambiya		İzlanda
	Zimbabve		Japonya
			Kanada
			Norveç
			Portekiz

Kaynak: (World Bank, 2023).

Tablo 3’te, enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişkiyi açıklamak amacıyla kullanılan değişkenler ve bu değişkenlere ilişkin tanımlar yer almaktadır. Serileri olası değişen varyans ve kısmen de otokorelasyon sorunlarına karşı koruyabilmek için tüm değişkenlerin doğal logaritmik dönüşümü yapılmıştır.

Tablo 3: Ampirik Uygulamada Kullanılacak Değişkenlerin Tanımlanması

Değişken	Değişkenin Tanımı	Değişkenin Kısaltması	Değişkenin Kaynağı
Çevre Performansı*	Kişi Başına Düşen Fosil Karbondioksit Emisyonu	CO ₂	EDGAR Veri Tabanı (2023)
Yenilenebilir Enerji Tüketimi	Kişi başına yenilenebilir (*Yenilenebilir ve diğer) enerji tüketimi	Y	EIA Veri Tabanı (2023)
Ekonomik Büyüme	Kişi Başına Düşen Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH)	E	UNCTAD Veri Tabanı (2023)
Sanayileşme	Kişi başına düşen endüstri katma değeri	S	UNCTAD Veri Tabanı (2023)
Kentleşme	Kentsel nüfusun toplam nüfus içindeki payı	K	UNCTAD Veri Tabanı (2023)
Küreselleşme	Hem fiili hem de hukuki önlemlere dayalı olarak	KR	Gygli vd. (2019); KOF Swiss Economic Institute (2023)

Not: *Fosil karbondioksit emisyonları fosil yakıt kullanımı (yanma, yakma), sanayileşme süreci (çimento, çelik ve kimyasallar vb.) ve ürün kullanımı sürecindeki kaynakları içermektedir.

2.2. Ekonometrik Model

Bu çalışmada ekonometrik model, hem enerji ve çevre arasındaki ilişkinin hem de çevreyi etkileyen faktörlerin belirlenmesini amaçlayan bir yapıda organize edilmiştir. Bu çerçevede doğrultusunda panel regresyon modeli Denklem (1)’de gösterilmiştir.

$$\ln(CO_{2it}) = \alpha_0 + \alpha_1 \ln(Y_{it}) + \alpha_2 \ln(E_{it}) + \alpha_3 \ln(S_{it}) + \alpha_4 \ln(K_{it}) + \alpha_5 \ln(KR_{it}) + e_{it} \quad (1)$$

Denklem (1)’de yer alan CO_2 , Y , E , S , K ve KR değişkenleri sırasıyla *çevre performansı*, *yenilenebilir enerji tüketimi*, *ekonomik büyüme*, *sanayileşme*, *kentleşme* ve *küreselleşmeyi* temsil etmektedir. Bununla birlikte denklemde yer alan e , i ve t sırasıyla hata terimi, ülke ve zamanı ifade etmektedir.

2.3. Yöntem

Enerji dönüşümü ve çevre performansı kapsamında oluşturulan ekonometrik model üç ardışık adımda ilerlemektedir. İlk olarak, değişkenlerin yatay kesit bağımlılığı ve birim kök testi açısından incelenmektedir. İkincisi, yatay kesit bağımlılığı, homojenlik ve eşbütünleşme tanımlamaları için oluşturulan model incelenmektedir. Son olarak model tahmin edilmektedir. Buna göre, gelir düzeyine göre sınıflandırılmış ülke gruplarının (düşük, alt-orta, üst-orta ve yüksek gelirli) her biri ayrı ayrı incelenmektedir. Bu ekonomi

gruplarındaki ülkelerin birbirine bağlı olması ve her panel serisinin yatay kesit bağımlılığı içermesi mümkündür. Bu durum, ülke grupları içinde ölçülmemiş korelasyonlara ve ortak eğilimlere yol açmaktadır. Birim kök testinin varlığının belirlenmesi için yatay kesit bağımlılığının test edilmesi gerekmektedir. Yatay kesit bağımlılığının dikkate alınmaması sapmalı ve hatalı tahminler yapılmasına neden olmaktadır. Literatürde çeşitli yatay kesit bağımlılık testleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada hem değişkenler hem de model için Breusch ve Pagan (1980) tarafından geliştirilen Lagrange çarpanı (LM) testi ve Pesaran vd. (2008) tarafından geliştirilen düzeltilmiş LM (LM_{adj}) testi uygulanmıştır. Kesitler arasında bağımlılığın bulunmadığı sıfır hipotezine dayanarak, Breusch ve Pagan (1980) LM test istatistiği ve Pesaran vd. (2008) düzeltilmiş LM test (LM_{adj}) istatistiği sırasıyla Denklem 2 ve Denklem 4'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$LM = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij}^2 \sim \chi_{N(N-1)/2}^2 \quad (2)$$

Denklem 2'de yer alan $\hat{\rho}_{ij}$ katsayıları, modeldeki kesitlere ait artıklardan elde edilmiş korelasyon katsayılarını ifade etmekte ve Denklem 3'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\hat{\rho}_{ij} = \hat{\rho}_{ji} = \frac{\sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_{it} \hat{\varepsilon}_{jt}}{(\sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_{it}^2)^{1/2} (\sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_{jt}^2)^{1/2}} \quad (3)$$

$$LM_{adj} = \left(\frac{2}{N(N-1)} \right)^{1/2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N \left[\hat{\rho}_{ij}^2 \left(\frac{(T-K-1)\hat{\rho}_{ij}^2 - \hat{\mu}_{Tij}}{v_{Tij}} \right) \right] \sim N(0,1) \quad (4)$$

Denklem 4'de yer alan $\hat{\mu}_{Tij}$ ve v_{Tij} sırasıyla ortalamayı ve varyansı temsil etmektedir.

Panel veri analizlerinde, uygun bir tahmin stratejisi seçmek için değişkenin birim kök içerip içermediği kontrol edilmektedir. Yatay kesit bağımlılığı testini dikkate almayan birinci nesil panel birim kök testleri (Levin vd. 2002; Im vd. 2003) literatürde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ancak bu testler yatay kesit bağımlılığını dikkate almadığı için sapmalı sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil panel birim kök testleri (Moon ve Perron, 2004; Pesaran, 2007) literatürde daha sık kullanılmaktadır. Bu çalışmada literatürde yaygın olarak uygulanan Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CADF (Cross-Sectional Augmented Dickey Fuller) birim kök testi uygulanmıştır. CADF testi, ADF (Augmented Dickey-Fuller) regresyonunun bireysel serilerin gecikme düzeyleri ve birinci farklarının yatay kesit ortalamalarıyla genişletilmiş alternatif versiyonudur. CADF regresyonunun her bir kesit için tahmin edilmesinin ardından, CIPS test istatistikleri, ülkeye özgü kesitsel olarak artırılmış Dickey-Fuller (CADF) istatistiklerinin basit bir ortalaması olarak hesaplanmaktadır. CIPS testi, heterojenliği ve yatay kesit bağımlılığını dikkate almaktadır. CIPS test istatistikleri, Denklem 5'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CADF_i \quad (5)$$

Ampirik model tahmininden önce yatay kesit bağımlılığı ile birlikte eğim homojenliğinin de kontrol edilmesi gerekmektedir. Eğim homojenliğini test etmek için Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen Delta testi ve Delta-tilde testi kullanılmaktadır. Bu testler yatay kesit bağımlılığını dikkate almaktadır. Delta testi ($\tilde{\Delta}$) ve Delta-tilde testi ($\tilde{\Delta}_{adj}$) Denklem 6 ve 7'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$\tilde{\Delta} = (N)^{\frac{1}{2}} (2k)^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{N} \tilde{S} - k \right); \quad (6)$$

$$\tilde{\Delta}_{adj} = (N)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2k(T-k-1)}{T+1} \right)^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{N} \tilde{S} - 2k \right) \quad (7)$$

Ampirik analizde değişkenler arasındaki uzun vadeli ilişkiyi tespit etmek için Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen panel eşbütünleşme testi kullanılmaktadır. Bu test McCoskey ve Kao (1998)'nin Lagrange Çarpanı testini temel almaktadır. Ayrıca bu test, yatay kesit bağımlılığını ve eğim heterojenliğini dikkate almaktadır. Westerlund ve Edgerton (2007) LM istatistiği, Denklem 8'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$LM_N^+ = \frac{1}{NT^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T W_i^{-2} S_{it}^2 \quad (8)$$

Denklem 8'de yer alan S_{it}^2 hata terimlerinin kısmi toplamını ve W_i^{-2} uzun vadeli varyansın bozulma terimini temsil etmektedir. Bu testin sıfır hipotezi, eşbütünleşme ilişkisinin varlığını gösterirken, alternatif hipotezi eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını göstermektedir. Modelde eşbütünleşme ilişkileri mevcut olduğunda, uzun vadeli ilişkinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Ancak modelde değişkenlerin durağanlık seviyelerinin karışık olduğu durumlarda (değişkenlerin bir kısmının birinci farklarında birim kök içermesi, bir kısmının da durağan olması) eşbütünleşme tahmincileri etkinliğini kaybetmektedir. Bu sorunla ilgili olarak, ARDL yaklaşımı, bağımlı değişkenin gecikmelerini ve bağımsız değişkenleri dinamik heterojen bir şekilde regresörler olarak analize dahil etmektedir. Bu test değişkenlerin durağanlıklarının karışık olduğu durumlarda ilişkilerin tahmin edilmesini sağladığı için diğer testlere göre avantaj sağlamaktadır. Ancak Pesaran vd. (1999) tarafından geliştirilen Havuzlanmış Ortalama Grup ARDL (PMG-ARDL) tahmincisi gibi geleneksel ARDL yaklaşımları, yatay kesit bağımlılığının dikkate alınmadığı durumlarda sapmalı sonuçlar vermektedir. Bu durumda, PMG-ARDL'nin genişletilmiş bir versiyonu olan Kesitsel Genişletilmiş ARDL (CS-ARDL) modeli kullanılmaktadır. Chudik ve Pesaran (2015) tarafından geliştirilen bu model, eğim heterojenliğini ve yatay kesit bağımlılığını dikkate almaktadır. Ayrıca bu model değişkenlerin durağanlıklarının karışık olduğu durumlarda uygulanmakta ve panel veri analizinde önemli bir metodolojik boşluğu doldurmaktadır.

CS-ARDL testi hata düzeltme terimlerini, kısa ve uzun vadeli ilişkileri tahmin etmektedir. Bu test, içsellik, eğim heterojenliğini ve yatay kesit bağımlılığını dikkate almaktadır. CS-ARDL modeli Denklem 9'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$Y_{i,t} = \sum_{l=1}^{p_y} \lambda_{l,i} Y_{i,t-l} + \sum_{l=1}^{p_x} \beta_{l,i} X_{i,t-l} + \sum_{l=0}^{p_T} \gamma'_{l,i} \bar{Z}_{t-l} + \varepsilon_{i,t} \quad (9)$$

Uzun dönem CS-ARDL katsayıları ve ortalama grup (MG) tahminleri Denklem 10'da yer alan formüller kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\hat{\theta}_{CS-ARDL,i} = \frac{\sum_{l=0}^{p_x} \hat{\beta}_{l,i}}{1 - \sum_{l=1}^{p_y} \hat{\lambda}_{l,i}}; \quad \overline{\hat{\theta}}_{MG} = \sum_{i=1}^N \hat{\theta}_i \quad (10)$$

3. AMPİRİK BULGULAR

Enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişki, gelir düzeyine göre sınıflandırılmış ülke grupları (düşük, alt-orta, üst-orta ve yüksek gelirli ülkeler) kapsamında analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı ve değişkenlerin özellikleri doğrultusunda, yatay kesit bağımlılığı, eğim homojenliği ve panel birim kök testleri uygulanmıştır. Test sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4: Yatay Kesit Bağımlılığı ve Birim Kök Test Sonuçları

Ülke Grubu→	Düşük Gelirli Ülke Grubu					
Kontrol→	Trendsiz Sonuçlar					
Test↓	$\ln CO_2$	$\ln E$	$\ln Y$	$\ln S$	$\ln K$	$\ln KR$
Breusch-Pagan (1980) LM	102.153 ^a	81.575 ^b	75.063 ^b	58.616 ^c	98.505 ^a	76.340 ^b
Pesaran-Ullah-Yamagata bias-adjusted (2008) LM	4.506 ^a	4.259 ^a	2.355 ^a	6.891 ^a	8.790 ^a	6.172 ^a
Kontrol→	Trendli Sonuçlar					
Breusch-Pagan LM	111.855 ^a	73.570 ^b	75.742 ^b	68.258 ^c	114.386 ^a	74.117 ^b
Pesaran-Ullah-Yamagata bias-adjusted LM	4.932 ^a	3.981 ^a	2.235 ^b	6.660 ^a	8.986 ^a	5.998 ^a
Kontrol→	Trendsiz Sonuçlar					
Test↓	$\ln CO_2$	$\ln E$	$\ln Y$	$\ln S$	$\ln K$	$\ln KR$
CIPS (Seviyede)	-2.045	-1.459	-2.051	-2.290	-0.414	-1.862
CIPS (Birinci Farkında)	-4.258	-5.512	-5.869	-	-2.202	-5.440
Kontrol→	Trendli Sonuçlar					
CIPS (Seviyede)	-2.631	-1.814	-2.052	-2.687	-1.890	-2.140
CIPS (Birinci Farkında)	-4.061	-5.769	-6.098	-	-2.894	-5.456
Ülke Grubu→	Alt-Orta Gelirli Ülke Grubu					
Kontrol→	Trendsiz Sonuçlar					
Test↓	$\ln CO_2$	$\ln E$	$\ln Y$	$\ln S$	$\ln K$	$\ln KR$
Breusch-Pagan LM	153.145 ^a	308.614 ^a	127.857 ^c	148.364 ^a	235.409 ^a	173.240 ^a
Pesaran-Ullah-Yamagata bias-adjusted LM	2.158 ^b	3.340 ^a	1.705 ^b	3.259 ^a	1.058 ^b	16.811 ^a
Kontrol→	Trendli Sonuçlar					

Breusch–Pagan LM	162.741 ^a	298.596 ^a	138.764 ^b	162.611 ^a	249.310 ^a	187.683 ^a
Pesaran–Ullah–Yamagata bias–adjusted LM	1.338 ^c	3.149 ^a	1.719 ^b	3.414 ^a	2.004 ^c	16.036 ^a
Kontrol→	Trendsiz Sonuçlar					
Test↓	<i>lnCO₂</i>	<i>lnE</i>	<i>lnY</i>	<i>lnS</i>	<i>lnK</i>	<i>lnKR</i>
CIPS (level)	-1.628	-0.416	-2.135	-1.724	-2.548	-2.755
CIPS (Birinci Farkında)	-3.801	-4.678	-5.947	-5.274	-	-
Kontrol→	Trendli Sonuçlar					
CIPS (Seviyede)	-1.767	-2.237	-2.580	-2.165	-2.935	-2.908
CIPS (Birinci Farkında)	-4.042	-4.692	-6.144	-5.388	-	-
Ülke Grubu→	Üst-Orta Gelirli Ülke Grubu					
Kontrol→	Trendsiz Sonuçlar					
Test↓	<i>lnCO₂</i>	<i>lnE</i>	<i>lnY</i>	<i>lnS</i>	<i>lnK</i>	<i>lnKR</i>
Breusch–Pagan LM	80.641 ^c	108.776 ^a	87.057 ^b	91.102 ^b	131.078 ^a	123.723 ^a
Pesaran–Ullah–Yamagata bias–adjusted LM	17.712 ^a	14.739 ^a	27.050 ^a	10.901 ^a	25.031 ^a	11.699 ^a
Kontrol→	Trendli Sonuçlar					
Breusch–Pagan LM	72.879 ^c	111.417 ^a	100.006 ^a	91.323 ^b	103.400 ^a	116.050 ^a
Pesaran–Ullah–Yamagata bias–adjusted LM	17.683 ^a	13.978 ^a	25.317 ^a	10.735 ^a	24.407 ^a	11.538 ^a
Kontrol→	Trendsiz Sonuçlar					
Test↓	<i>lnCO₂</i>	<i>lnE</i>	<i>lnY</i>	<i>lnS</i>	<i>lnK</i>	<i>lnKR</i>
CIPS (Seviyede)	-1.81	-2.651	-2.479	-1.907	-2.095	-2.741
CIPS (Birinci Farkında)	-4.464	-	-	-4.931	-	-

Kontrol→	Trendli Sonuçlar					
Test↓						
CIPS (Seviyede)	-1.768	-2.036	-2.871	-2.032	-3.095	-3.123
CIPS (Birinci Farkında)	-3.235	-4.186	-	-5.162	-	-
Ülke Grubu→	Yüksek Gelirli Ülke Grubu					
Kontrol→	Trendsiz Sonuçlar					
Test↓	<i>lnCO₂</i>	<i>lnE</i>	<i>lnY</i>	<i>lnS</i>	<i>lnK</i>	<i>lnKR</i>
Breusch–Pagan LM	342.684 ^a	422.950 ^a	297.750 ^a	262.795 ^a	247.128 ^a	224.534 ^a
Pesaran–Ullah–Yamagata bias–adjusted LM	9.947 ^a	15.514 ^a	34.398 ^a	8.743 ^a	17.383 ^a	9.749 ^a
Kontrol→	Trendli Sonuçlar					
Breusch–Pagan LM	367.181 ^a	429.337 ^a	305.275 ^a	265.171 ^a	253.808 ^a	216.493 ^a
Pesaran–Ullah–Yamagata bias–adjusted LM	9.709 ^a	14.913 ^a	34.018 ^a	7.485 ^a	17.264 ^a	9.337 ^a
Kontrol→	Trendsiz Sonuçlar					
Test↓	<i>lnCO₂</i>	<i>lnE</i>	<i>lnY</i>	<i>lnS</i>	<i>lnK</i>	<i>lnKR</i>
CIPS (Seviyede)	-2.008	-1.778	-2.994	-1.825	-1.071	-2.770
CIPS (Birinci Farkında)	-4.804	-3.800	-	-5.093	-2.439	-
Kontrol→	Trendli Sonuçlar					
CIPS (Seviyede)	-2.931	-2.016	-2.999	-2.291	-2.258	-3.486
CIPS (Birinci Farkında)	-4.752	-3.748	-	-5.180	-3.518	-

Not: En uygun gecikme uzunlukları, maksimum 5 gecikme ile Schwarz kriteri kümesine göre seçilen 1-3 arasında değişir. a, b ve c üst simgeleri, istatistiklerin istatistiksel önemini sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyelerinde belirtir. Değişkenlerin hiçbir I(2) düzeyinde durağan değildir.

Tablo 4’te sunulan test sonuçları, hem trendsiz hem de trendli modellerde tüm değişkenler için yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliği olduğunu göstermektedir. Yatay kesit bağımlılığının varlığı, incelenen değişkenlerin her ülke grubu içinde birlikte hareket etme eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu durum ikinci nesil birim kök testinin kullanımını gerektirmektedir. Bu nedenle CIPS panel birim kök testi

uygulanmıştır. Birim kök testi sonuçları, bazı değişkenlerin birim kök içerdiğini, ancak birinci farkları alındığında durağan hale geldiğini göstermektedir. Bu durum I(1) sürecine işaret etmektedir. Ancak bazı değişkenlerin seviyede birim kök içermediği, varyanslarının ve kovaryanslarının zamana göre değişmediğini göstermektedir. Bu durum I(0) sürecine işaret etmektedir. Değişkenlerin birim kök içermesi herhangi bir şokun kalıcı etki yaratmasına ve gelecek değerlerinin tahmininin zorlaşmasına neden olmaktadır. Ancak birim kök içeren değişkenlerin birinci farklarında durağan hale gelmesi, değişkenlerin büyüme oranlarındaki şokların geçici olmasına ve değişkenlerin gelecekteki değerlerinin tahmin edilmesine imkan tanımaktadır (Hasanov vd., 2018). Buna bağlı olarak, model için eğim homojenliği, yatay kesit bağımlılığı ve eşbütünleşme test sonuçları analiz edilmiş ve Tablo 5’te sunulmuştur.

Tablo 5: Model Belirleme ve Eşbütünleşme Test Sonuçları

Ülke Grubu→	Düşük Gelirli Ülke Grubu	
Testler↓	Test↓	Model
Homojenite Testi	Pesaran–Yamagata (2008) Delta–tilde	19.333 ^a (0.000)
	Pesaran–Yamagata (2008) adjusted Delta–tilde	21.541 ^a (0.000)
Yatay Kesit Bağımlılık Testi	Breusch–Pagan (1980) LM	92.45 ^a (0.001)
	Pesaran–Ullah–Yamagata (2008) bias–adjusted LM	8.79 ^a (0.000)
Eşbütünleşme Testi	Westerlund–Edgerton (2007) bootstrap LM: Trendsiz Model	6.638 (0.431)
	Westerlund–Edgerton (2007) bootstrap LM: Trendli Model	11.841 (0.655)
Ülke Grubu→	Alt-Orta Gelirli Ülke Grubu	
Testler↓	Test↓	Model
Homojenite Testi	Pesaran–Yamagata (2008) Delta–tilde	27.177 ^a (0.000)
	Pesaran–Yamagata (2008) adjusted Delta–tilde	30.280 ^a (0.000)
	Breusch–Pagan (1980) LM	238.5 ^a (0.000)

Yatay Kesit Bağımlılık Testi	Pesaran–Ullah–Yamagata (2008) bias–adjusted LM	24.76 ^a (0.000)
Eşbütünleşme Testi	Westerlund–Edgerton (2007) bootstrap LM: Trendsiz Model	2.626 (0.817)
	Westerlund–Edgerton (2007) bootstrap LM: Trendli Model	0.767 (0.370)
Ülke Grubu→	Üst-Orta Gelirli Ülke Grubu	
Testler↓	Test↓	Model
Homojenite Testi	Pesaran–Yamagata (2008) Delta–tilde	18.527 ^a (0.000)
	Pesaran–Yamagata (2008) adjusted Delta–tilde	20.642 ^a (0.000)
Yatay Kesit Bağımlılık Testi	Breusch–Pagan (1980) LM	134.2 ^a (0.000)
	Pesaran–Ullah–Yamagata (2008) bias–adjusted LM	15.5 ^a (0.000)
Eşbütünleşme Testi	Westerlund–Edgerton (2007) bootstrap LM: Trendsiz Model	3.303 (0.571)
	Westerlund–Edgerton (2007) bootstrap LM: Trendli Model	7.052 (0.998)
Ülke Grubu→	Yüksek Gelirli Ülke Grubu	
Testler↓	Test↓	Model
Homojenite Testi	Pesaran–Yamagata (2008) Delta–tilde	28.896 ^a (0.000)
	Pesaran–Yamagata (2008) adjusted Delta–tilde	32.195 ^a (0.000)
Yatay Kesit Bağımlılık Testi	Breusch–Pagan (1980) LM	376.7 ^a (0.000)
	Pesaran–Ullah–Yamagata (2008) bias–adjusted LM	34.33 ^a (0.000)
	Westerlund–Edgerton (2007) bootstrap LM: Trendsiz Model	5.451 (0.999)

Eşbütünleşme Testi	Westerlund–Edgerton (2007) bootstrap LM: Trendli Model	7.665 (0.932)
---------------------------	---	------------------

Not: Olasılık değerleri () içindedir. a, b ve c üst simgeleri, istatistiklerin istatistiksel anlamlılığını sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde belirtir.

Tablo 5’te sunulan test sonuçları, gelir düzeyine göre sınıflandırılmış her ülke grubu için modelde yatay kesit bağımlılığı, eğim heterojenliği ve uzun dönemli ilişkinin varlığına işaret etmektedir. Bununla birlikte, panel birim kök test sonuçları değişkenlerin farklı seviyelerde durağan olduğunu göstermektedir. Bu özellikler dikkate alınarak, hem kısa hem de uzun dönem dinamiklerini ve değişkenler arasındaki heterojen yapıyı doğru şekilde tahmin etmek amacıyla CS-ARDL yöntemi uygulanmıştır. CS-ARDL yöntemi test sonuçları Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6: CS-ARDL Tahmin Sonuçları

Düşük Gelirli Ülke Grubu		
	Kısa-Dönem İlişkisi	Uzun-Dönem İlişkisi
$ECM_{(-1)}$	-1.598 ^a [0.070]	-
$\ln Y$	0.309 ^a [0.113]	0.211 ^a [0.078]
$\ln E$	0.480 ^b [0.235]	0.277 ^b [0.133]
$\ln S$	-0.077 [0.224]	-0.030 [0.134]
$\ln K$	1.164 ^b [0.554]	0.641 ^c [0.333]
$\ln KR$	-0.092 [0.163]	-0.053 [0.097]
F–test istatistiği		2.72 ^a
Alt-Orta Gelirli Ülke Grubu		
	Kısa-Dönem İlişkisi	Uzun-Dönem İlişkisi
$ECM_{(-1)}$	-1.510 ^a [0.047]	-
$\ln Y$	0.034 [0.060]	0.016 [0.039]
$\ln E$	0.300 ^a [0.109]	0.182 ^a [0.069]
$\ln S$	-0.068 [0.100]	-0.027 [0.068]
$\ln K$	3.462 ^a [1.237]	2.181 ^a [0.740]
$\ln KR$	0.381 ^a [0.133]	0.236 ^a [0.083]
F–test istatistiği	-	2.27 ^a
Üst-Orta Gelirli Ülke Grubu		
	Kısa-Dönem İlişkisi	Uzun-Dönem İlişkisi

$ECM_{(-1)}$	-1.795 ^a [0.057]	-
$\ln Y$	-0.118 ^b [0.050]	-0.063 ^b [0.026]
$\ln E$	0.795 ^a [0.176]	0.443 ^a [0.104]
$\ln S$	-0.148 ^a [0.050]	-0.079 ^a [0.027]
$\ln K$	-1.914 [2.068]	-1.162 [1.196]
$\ln KR$	0.407 ^b [0.179]	0.219 ^b [0.095]
F-test istatistiği	-	3.43 ^a
Yüksek Gelirli Ülke Grubu		
	Kısa-Dönem İlişkisi	Uzun-Dönem İlişkisi
$ECM_{(-1)}$	-1.625 ^a [0.056]	-
$\ln Y$	-0.106 ^b [0.041]	-0.067 ^b [0.026]
$\ln E$	0.503 ^a [0.130]	0.290 ^a [0.068]
$\ln S$	0.275 [0.194]	0.179 [0.128]
$\ln K$	-3.330 ^a [1.093]	-1.986 ^a [0.664]
$\ln KR$	0.369 ^a [0.198]	0.247 ^b [0.125]
F-test istatistiği	-	3.33 ^a

Not: [] standart hataları göstermektedir. a, b, ve c istatistikleri sırasıyla 1%, 5%, ve 10% düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 6’da gösterilen CS-ARDL test sonuçları, enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişkinin ülkelerin gelir düzeylerine göre farklılaştığını ortaya koymaktadır. Bu farklılıkların, gelir düzeyine göre sınıflandırılmış ülke gruplarında ekonomik büyüme, sanayileşme, kentleşme ve küreselleşme gibi faktörlerin etkileri doğrultusunda ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Düşük gelirli ülke grubuna ilişkin analiz sonuçları, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve kentleşme oranlarındaki artışın hem kısa hem de uzun vadede karbondioksit emisyon (CO_2) miktarını artırdığını göstermektedir. Buna karşılık, sanayileşme oranları ile küreselleşmede meydana gelen artışın karbondioksit emisyonu (CO_2) üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

Alt-orta gelirli ülke grubuna ilişkin analiz sonuçları, ekonomik büyüme, kentleşme oranları ve küreselleşmede meydana gelen artışın, hem kısa hem de uzun vadede karbondioksit emisyon (CO_2) miktarını artırdığını göstermektedir. Buna karşılık, aynı gelir grubunda yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın ve sanayileşme oranlarındaki değişimin karbondioksit emisyonu (CO_2) üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir.

Üst-orta gelirli ülke grubuna ilişkin analiz sonuçları, yenilenebilir enerji tüketimindeki ve sanayileşme oranlarındaki artışın, hem kısa hem de uzun vadede karbondioksit emisyonu (CO_2) miktarını istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde azalttığını göstermektedir. Buna karşılık, ekonomik büyüme ve küreselleşme düzeyindeki artışın, kısa ve uzun vadede

karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını artırdığı belirlenmiştir. Öte yandan, kentleşme oranlarındaki artışın karbondioksit emisyonu (CO₂) üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Yüksek gelirli ülke grubuna ilişkin analiz sonuçları, yenilenebilir enerji tüketimi ve kentleşme oranlarındaki artışın hem kısa hem de uzun vadede karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını azalttığını ortaya koymaktadır. Buna karşın, ekonomik büyüme ve küreselleşme düzeyinde meydana gelen artışın, kısa ve uzun dönemde karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarı üzerinde artırıcı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, sanayileşme oranındaki değişimlerin karbondioksit emisyonu (CO₂) üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişki ekonomik büyüme, sanayileşme, kentleşme ve küreselleşme kapsamında gelir düzeyine göre sınıflandırılmış ülke grupları için CS-ARDL yöntemiyle analiz edilmiştir. Analiz bulguları, enerji dönüşümü ve çevre performansı arasındaki ilişkinin ülkelerin gelir düzeyine ve yapısal özelliklere bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir. Düşük gelirli ülke grubunda yenilenebilir enerji tüketiminde meydana gelen artış karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını artırmaktadır. Bu ülke grubunda toplam enerji portföyleri içerisinde yenilenebilir enerji payının düşük olması ve yenilenebilir enerji tüketimi için gerekli teknolojik alt yapının yetersiz olması çevre kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Alt-orta gelirli ülke grubunda yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın karbondioksit emisyonu (CO₂) üzerindeki etkisi istatistiki olarak anlamsızdır. Bu bulgu, söz konusu ülke grubunda yenilenebilir enerji tüketiminin çevre kirliliği üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Üst-orta ve yüksek gelirli ülke grubunda ise yenilenebilir enerji tüketimindeki bir artış karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını azaltmaktadır. Bu ülke gruplarında toplam enerji portföyleri içerisinde yenilenebilir enerji payının yüksek olması ve yenilenebilir enerji tüketimi için gerekli teknolojik alt yapının sağlanması çevre kirliliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu bulgular, ülkelerin gelir düzeyinin yenilenebilir enerji tüketimi ve çevre arasındaki ilişkide belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir.

Ekonomik büyüme ve çevre kirliliği arasındaki ilişkinin gelir düzeyine göre sınıflandırılan tüm ülke gruplarında aynı etkiyi yarattığı belirlenmiştir. Bu kapsamda tüm ülke gruplarında ekonomik büyümede meydana gelen artış karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını artırmaktadır. Bu bulgular doğrultusunda, düşük ve alt-orta gelirli ülke gruplarında ekonomik büyüme, yenilenemeyen enerji tüketimini artırmaktadır. Bu durum çevre kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Üst-orta gelirli ülke grubunda, yenilenemeyen enerji kaynaklarından yenilenebilir enerjiye geçiş süreci gözlemlenmektedir. Ancak bu dönüşüm, çevre problemlerini önemli ölçüde azaltacak düzeyde gerçekleşmemektedir. Bu durum, yenilenemeyen enerji kaynaklarının toplam enerji portföyündeki yüksek payı ile çevresel teknolojik altyapının sınırlı gelişmişliği ile ilişkilendirilmektedir. Bu yapısal kısıtlar, ekonomik büyümenin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasında önemli bir engel oluşturmaktadır. Yüksek gelirli ülke grubunda ise, yenilenebilir enerji yatırımları ve gelişmiş çevre politikaları uygulanmasına rağmen, ekonomik büyüme çevre problemlerini tamamen ortadan kaldıramamaktadır. Bu durum, yüksek yaşam standartları ve tüketim alışkanlıklarının enerji talebini sürekli artırmasıyla ilişkilendirilmektedir.

Sanayileşme oranları ve çevre kirliliği arasındaki ilişkinin gelir düzeyine göre sınıflandırılan ülke gruplarında farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Düşük ve alt-orta gelirli ülke gruplarında sanayileşme oranlarındaki artış, karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını

azaltıcı yönde etkide bulunmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu durum, düşük ve alt-orta gelirli ülke gruplarında sanayileşmenin genellikle düşük teknolojiye dayanması ve enerji verimliliğinin sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak, sanayileşme oranlarının çevre üzerindeki etkileri sınırlı kalmaktadır. Üst-orta gelirli ülke grubunda sanayileşme oranlarındaki artış, karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını azaltmaktadır. Bu durum, gelişmiş üretim teknolojileri ve enerji verimliliği uygulamalarının çevre üzerindeki olumlu etkilerini göstermektedir. Yüksek gelirli ülke grubunda ise sanayileşme oranlarındaki artış, karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını artırmasına karşın istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu durum, sanayinin ileri teknolojiye sahip olmasına rağmen yüksek üretim hacmi ve tüketim düzeyinin çevresel baskıyı artırmasına dayandırılmaktadır. Bu bulgular, sanayileşmenin çevre üzerindeki etkilerinin ülkelerin gelişmişlik düzeyine, teknolojik altyapısına ve enerji yapısına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Kentleşme ve çevre kirliliği arasındaki ilişkinin gelir düzeyine göre sınıflandırılan ülke gruplarında farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Düşük ve alt-orta gelirli ülke gruplarında kentleşme oranlarındaki artış, karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını artırmaktadır. Bu artış, kentleşmenin plansız olması ve altyapının yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Üst-orta gelirli ülke grubunda kentleşme oranlarındaki artış karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını azaltmaktadır. Ancak bu etkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum, söz konusu ülke grubunda kentleşmenin planlı şekilde gerçekleşmemesi ve enerji verimliliği uygulamalarının sınırlı düzeyde olmasından kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak kentleşmenin çevresel etkisi tam olarak belirlenmemektedir. Yüksek gelirli ülke grubunda ise kentleşme oranlarındaki artış karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını azaltmaktadır. Bu etki, gelişmiş şehir planlaması, yüksek enerji verimliliği ve çevre dostu altyapı uygulamalarıyla ilişkilendirilmektedir. Bu bulgular, kentleşmenin çevresel etkilerinin, ülkelerin gelişmişlik düzeyi ve altyapı kapasitesi ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Küreselleşme ve çevre kirliliği arasındaki ilişki gelir düzeyine göre sınıflandırılan ülke gruplarında farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Düşük gelirli ülke grubunda küreselleşmedeki artış karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını azaltmasına karşın, bu etki istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu durum, söz konusu ülke grubunda ekonomik faaliyetlerin ve sanayileşmenin düşük düzeyde olması ile yenilenebilir enerji payının sınırlı olmasına dayandırılmaktadır. Buna bağlı olarak küreselleşmenin çevre üzerindeki etkisi sınırlı düzeyde kalmaktadır. Bu ülke grubunun aksine diğer ülke gruplarında küreselleşmedeki bir artış karbondioksit emisyonu (CO₂) miktarını artırmaktadır. Bu durum, söz konusu ülke gruplarında ekonomik faaliyetlerin ve ticaret hacminin yüksek olması ile sanayileşmenin ve enerji tüketiminin çevresel baskıyı artırmasından kaynaklanmaktadır. Bu bulgular, küreselleşmenin çevre üzerindeki etkilerinin ülkelerin ekonomik ve yapısal özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğine işaret etmektedir.

Enerji dönüşümü ve çevre performansı kapsamında, ülke gruplarının gelir düzeyi ve yapısal özelliklerine bağlı olarak çevre performansını artıracak ve enerji dönüşümünü destekleyecek bütüncül politika stratejileri geliştirmeleri ve uygulamaları gerekmektedir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Bu çalışma bilimsel araştırma ve yayın etiği kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır.

Yazarların Makaleye Katkı Oranları

Yazar 1'in makaleye katkısı %50, yazar 2'nin makaleye katkısı %50'dir.

Çıkar Beyanı

Yazarlar açısından ya da üçüncü taraflar açısından çalışmadan kaynaklı çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Acar, Y., Gürdal, T., & Ekeryılmaz, Ş. (2018). Environmental Kuznets Curve for CO₂ Emissions: An Analysis for Developing, Middle East, OECD and OPEC Countries. *Environmental & Socio-economic Studies*, 6(4), 48-58.
- Ai, H., Tan, X., Mangla, S. K., Emrouznejad, A., Liu, F., & Song, M. (2025). Renewable Energy Transition and Sustainable Development: Evidence from China. *Energy Economics*, 143, 108232.
- Ansari, M. A., Ahmad, M. R., Siddique, S., & Mansoor, K. (2020). An environment Kuznets Curve for Ecological Footprint: Evidence from GCC Countries. *Carbon Management*, 11(4), 355-368.
- Bhattacharya, M., Churchill, S. A., & Paramati, S. R. (2017). The Dynamic Impact of Renewable Energy and Institutions on Economic Output and CO₂ Emissions Across Regions. *Renewable Energy*, 111, 157-167.
- Bilgili, F., Koçak, E., & Bulut, Ü. (2016). The Dynamic Impact of Renewable Energy Consumption on CO₂ Emissions: A Revisited Environmental Kuznets Curve Approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 838-845.
- Bölük, G., & Mert, M. (2014). Fossil & Renewable Energy Consumption, Ghgs (Greenhouse Gases) and Economic Growth: Evidence from a Panel of EU (European Union) Countries. *Energy*, 74, 439-446.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and Its Applications to Model Specification in Econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239-253.
- Cherniwchan, J. (2012). Economic Growth, Industrialization, and the Environment. *Resource and Energy Economics*, 34(4), 442-467.
- Chudik, A., & Pesaran, M. H. (2015). Common Correlated Effects Estimation of Heterogeneous Dynamic Panel Data Models with Weakly Exogenous Regressors. *Journal of Econometrics*, 188(2), 393-420.
- Dogan, E., & Seker, F. (2016). Determinants of CO₂ Emissions in the European Union: The Role of Renewable and Non-Renewable Energy. *Renewable Energy*, 94, 429-439.
- EDGAR-Emissions database for global atmospheric research. (2023). <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>, (Erişim Tarihi: 20.05.2023).
- EIA- U.S. Energy Information Administration. (2023). <https://www.eia.gov/international/data/world>, (Erişim Tarihi: 21.05.2023).
- Grossman, G. M., & Krueger, A.B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. *NBER*, 3914.

- Gygli, S., Haelg, F., Potrafke, N., & Sturm, J. E. (2019). The KOF Globalisation Index-Revisited. *The Review of International Organizations*, 14, 543-574.
- Hanif, I. & Gago-de-Santos, P. (2017). The Importance of Population Control and Macroeconomic Stability to Reducing Environmental Degradation: An Empirical Test of the Environmental Kuznets Curve for Developing Countries. *Environmental Development*, 23, 1-9.
- Hasanov, F. J., Liddle, B., & Mikayilov, J. I. (2018). The impact of international trade on CO₂ emissions in oil exporting countries: Territory vs consumption emissions accounting. *Energy Economics*, 74, 343-350.
- Hernandez-Serrano, P. V., & Zaveri, A. (2020). Venturing the Definition of Green Energy Transition: A Systematic Literature Review. *Arxiv Preprint*. <https://arxiv.org/pdf/2004.10562>, (Erişim Tarihi: 15.05.2023).
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74.
- Ito, K. (2017). CO₂ Emissions, Renewable and Non-Renewable Energy Consumption, and Economic Growth: Evidence from Panel Data for Developing Countries. *International Economics*, 151, 1-6.
- Jebli, M. B., Farhani, S., & Guesmi, K. (2020). Renewable energy, CO₂ Emissions and Value Added: Empirical Evidence from Countries with Different Income Levels. *Structural Change and Economic Dynamics*, 53, 402-410.
- KOF Swiss Economic Institute. (2023). KOF Globalisation Index. <https://kof.ethz.ch/en/forecasts-and-indicators/indicators/kof-globalisation-index.html>, (Erişim Tarihi: 23.05.2023).
- Le, H. P., & Ozturk, I. (2020). The Impacts of Globalization, Financial Development, Government Expenditures, and Institutional Quality on CO₂ Emissions in the Presence of Environmental Kuznets Curve. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 22680-22697.
- Le, T. H., Le, H. C., & Taghizadeh-Hesary, F. (2020). Does Financial Inclusion Impact CO₂ Emissions? Evidence from Asia. *Finance Research Letters*, 34, 101451.
- Levin, A., Lin, C. F., & Chu, C. S. J. (2002). Unit Root Tests in Panel Data: Asymptotic and Finite-Sample Properties. *Journal of econometrics*, 108(1), 1-24.
- Lv, Z., & Xu, T. (2018). Is Economic Globalization Good or Bad for the Environmental Quality? New Evidence from Dynamic Heterogeneous Panel Models. *Technological Forecasting and Social Change*, 137, 340-343.
- Moon, H., & Perron, B. (2004). Testing for a Unit Root in Panels with Dynamic Factors. *Journal of Econometrics*, 122, 81-126.
- O'Connor, P. A. (2010). Energy Transitions. *The Pardee Papers*, No.12.
- Pala Kılınç, B. K. (2024). Küresel Enerji Dönüşümü: Yeşil Enerji Kavramı ve Teşvik Programları *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(90), 599-610.
- Panayotou, T. (1993). Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. *International Labour Organization Working Paper*, No. 292778.
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing Slope Homogeneity in Large Panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93.
- Pesaran, M. H. (2007). A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross-Section Dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22, 265-312.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. P. (1999). Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels. *Journal of the American Statistical Association*, 94(446), 621-634.

- Pesaran, M. H., Ullah, A., & Yamagata, T. (2008). A Bias-Adjusted LM Test of Error Cross-Section Independence. *The Econometrics Journal*, 11(1), 105-127.
- Poumanyong, P., & Kaneko, S. (2010). Does Urbanization Lead to Less Energy Use and Lower CO₂ Emissions? A Cross-Country Analysis. *Ecological Economics*, 70, 434-444.
- Raheem, I. D., & Ogebe, J. O. (2017). CO₂ Emissions, Urbanization and Industrialization: Evidence from a Direct and Indirect Heterogeneous Panel Analysis. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 28(6), 851-867.
- Saidi, K., & Mbarek, M. B. (2017). The Impact of Income, Trade, Urbanization, and Financial Development on CO₂ Emissions in 19 Emerging Economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(14), 12748-12757.
- Salim, R. A., Rafiq, S., & Shafiei, S. (2017). Urbanization, Energy Consumption, and Pollutant Emission in Asian Developing Economies: An Empirical Analysis *ADB Working Paper*, No. 718.
- Selden, T. M., & Song, D. (1994). Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? *Journal of Environmental Economics and management*, 27(2), 147-162.
- Shahbaz, M., Shahzad, S. J., Mahalik, M. K., & Hammoudeh, S. (2018). Does Globalisation Worsen Environmental Quality in Developed Economies? *Environmental Modeling & Assessment*, 23(2), 141-156.
- Sharif, A., Raza, S. A., Ozturk, I., & Afshan, S. (2019). The Dynamic Relationship of Renewable and Nonrenewable Energy Consumption with Carbon Emission: A Global Study with the Application of Heterogeneous Panel Estimations. *Renewable Energy*, 133, 685-691.
- Singh, H. V., Bocca, R., Gomez, P., Dahlke, S., & Bazilian, M. (2019). The Energy Transitions Index: An Analytic Framework for Understanding the Evolving Global Energy System. *Energy Strategy Reviews*, 26, 100382.
- Sovacool, B. K. (2016). How Long Will It Take? Conceptualizing the Temporal Dynamics of Energy Transitions. *Energy Research & Social Science*, 13, 202-215.
- Suri, V., & Chapman, D. (1998). Economic Growth, Trade and Energy: Implications for the Environmental Kuznets Curve. *Ecological Economics*, 25(2), 195-208.
- UNCTAD-The United Nations Conference on Trade and Development. (2023). UNCADSTAT-Data Center. <https://unctadstat.unctad.org/datacentre/>, (Erişim Tarihi: 25.05.2023).
- Van Tran, N. (2020). The Environmental Effects of Trade Openness in Developing Countries: Conflict or Cooperation? *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 19783-19797.
- Wang, Q. J., Geng, Y., & Xia, X. Q. (2021). Revisited Globalization's Impact on Total Environment: Evidence Based on Overall Environmental Performance Index. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11419.
- Westerlund, J., & Edgerton, D. L. (2007). A Panel Bootstrap Cointegration Test. *Economics Letters*, 97(3), 185-190.
- World Bank- The World Bank Atlas Method. (2023). <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/378832-the-world-bank-atlas-method-detailed-methodology>, (Erişim Tarihi: 15.05.2023).
- Yiğit, S. (2020). Küreselleşmenin Ulusların Çevresel Performansı Üzerindeki Etkisi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (64), 162-174.