

Türkiye’de Çevresel Sürdürülebilirliği Artırmada Yenilenemeyen Enerji Verimliliğinin Rolü, EKC ve LCC Hipotezleri: Kesirli Fourier ARDL Yaklaşımı ile Bulgular

Mehmet ASLAN (<https://orcid.org/0000-0002-7455-5354>), Artvin Çoruh University, Türkiye;
mehmetaslan@artvin.edu.tr

The Role of Non-renewable Energy Efficiency in Enhancing Environmental Sustainability in Türkiye, EKC and LCC Hypotheses: Evidence with Fractional Fourier ARDL Approach

Abstract

This study analyses the relationship between non-renewable energy efficiency, renewable energy use, economic growth and environmental quality within the Environmental Kuznets Curve (EKC) and Load Capacity Curve (LCC) hypothesis framework. In this direction, data for the period 1982-2022 are analysed. ADF, PP, Kapetanios unit root tests, Fractional Fourier ARDL bounds test and Fourier Toda-Yamamoto causality test are applied to analyse the data. According to the findings, non-renewable energy efficiency and renewable energy use have a negative impact on CO₂ and EF, but a positive impact on LCF. Considering the economic growth variable, the EKC and LCC hypotheses are valid in Türkiye.

Keywords : Ecological Footprint, CO₂ Emissions, Load Capacity Factor, Renewable Energy, Non-renewable Energy Efficiency, Fourier ARDL Cointegration Test.

JEL Classification Codes : C32, F64, Q43, Q53, Q57.

Öz

Bu çalışma, yenilenemeyen enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı, ekonomik büyüme ile çevresel kalite arasındaki ilişkiyi Çevresel Kuznets eğrisi (EKC) ve Yük Kapasite Eğrisi (LCC) hipotezi çerçevesinde incelemektedir. Bu doğrultuda 1982-2022 dönemindeki veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Verilerin analiz edilmesinde ADF, PP, Kapetanios birim kök testleri, Kesirli Fourier ARDL sınır testi ve Fourier Toda-Yamamoto nedensellik testi uygulamaktadır. Bulgulara göre yenilenemez enerji verimliliği ile yenilenebilir enerji kullanımı CO₂ ve EF üzerinde negatif, LCF üzerinde ise pozitif etkiye sahiptir. Ekonomik büyüme değişkeni dikkate alındığında Türkiye’de EKC ve LCC hipotezleri geçerlidir.

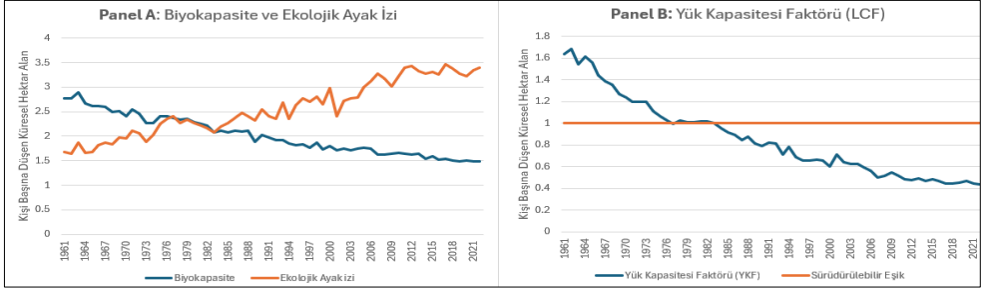
Anahtar Sözcükler : Ekolojik Ayak İzi, CO₂ Emisyonları, Yük Kapasitesi Faktörü, Yenilenebilir Enerji, Yenilenemeyen Enerji Verimliliği, Fourier ARDL Eşbütünleşme Testi.

1. Giriş

Ülkelerin en önemli amaçlarından biri ekonomik büyümeyi sağlamaktır. Ancak ekonomik büyüme için kaynakların aşırı kullanılması küresel ısınma, iklim değişikliği ve çevresel bozulma gibi çevresel sorunlar gündeme getirmektedir. Ülkelerin ekonomik büyümelerini gerçekleştirmek için kömür, doğalgaz, petrol gibi yenilenemeyen enerjiye (fosil kaynaklı enerji) olan taleplerini artırması, karbondioksit (CO₂) emisyonları başta olmak üzere sera gazı emisyonlarının artmasına neden olmaktadır (Kamacı, 2024: 250). Sera gazı emisyonlarındaki artış insan yaşamı için ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Bu nedenle ülkeler, temiz ve sürdürülebilir enerji arzını sağlamak için çeşitli stratejiler geliştirmektedirler. Dünyadaki çevresel kötüleşmenin önüne geçebilmek için 1997’de Kyoto ve 2015’te Paris İklim Anlaşması (PCA) gibi küresel organizasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu organizasyonlar, gelecek nesillere temiz ve yeşil bir çevre sağlamayı amaçlamaktadır (Usman et al., 2022: 91-92). Yapılan anlaşmalar kapsamında, ülkelerin sıkı önlemler alarak CO₂ emisyonlarını azaltmaları gerekmektedir. Üzerinde durulan en önemli adım ihtiyaç duyulan enerjinin yenilenebilir enerjilerle karşılanması ve fosil kaynaklara dayalı yenilenemez enerji verimliliğinin artırılmasıdır. Bu bağlamda ekonomik faaliyetlerin çevre üzerindeki etkisinin ölçülmesi önem kazanmaktadır.

Araştırmacılar ekonomik faaliyetlerin çevre üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için çeşitli göstergeler geliştirmişlerdir. Çok sayıda ampirik çalışma, çevresel bozulmayı ölçmek için CO₂ emisyonlarını ve ekolojik ayak izini (Ecological Footprint - EF) gösterge olarak kullanmıştır. CO₂, çevre kirliliğini dar kapsamlı olarak hava kalitesi açısından ele almaktadır. Rees (1992) arazi dönüşümü, orman örtüsü kaybı, su tüketimi ve karbon emisyonları gibi farklı yönleri dikkate alarak doğal kaynakların kullanımı ve bozulmasına ilişkin daha kapsamlı ekolojik ayak izini geliştirmiştir. Ancak EF çevrenin talep tarafındaki durumları dikkate aldığı ve doğanın insan ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetini gösteren biyolojik kapasiteyi dikkate almadığı için literatürde eleştirilmiştir. Bu bağlamda, Siche vd. (2010) yük kapasitesi faktörünü (Load Capacity Factor - LCF) önermiştir. Pata (2021), LCF belirleyicileri için ilk ampirik analiz sonuçlarını sunmuştur. LCF çevresel kaliteyi çevrenin hem arz yönünü temsil eden biyolojik kapasiteyi hem de talep yönünü temsil eden EF’yi dikkate alarak hesaplanmaktadır. LCF, biyolojik kapasiteyi ekolojik ayak izine bölerek, çevrenin kaldırabileceği sınırlar içinde mi çalıştığını yoksa kapasitesini aşp aşmadığını ortaya koymaya yardımcı olur. Eğer oran 1’den küçükse doğanın biyolojik kapasitesine göre daha fazla kaynak tüketildiğini ve ekolojik açık meydana getirdiğini gösterir. Eğer oran 1’den büyükse doğanın biyolojik kapasitesine göre daha az kaynak tüketildiğini ve ekolojik fazla meydana getirdiğini gösterir (Siche et al., 2010: 3184-3186). Grafik 1’de Türkiye’nin çevresel kalite göstergeleri sunulmaktadır.

Grafik: 1
Türkiye’nin Çevresel Kalite Göstergeleri



Grafik 1’de Panel A’da gösterildiği gibi, Türkiye’nin biyokapasitesi 1982’li yıllara kadar ekolojik ayak izinin üzerindedir. 1982’li yıllardan sonra ise tam tersi durum gerçekleşmekte, biyokapasite ekolojik ayak izinin altında kalmaktadır. Bu duruma paralel olarak Panel B’de gösterildiği gibi LCF 1961’de 1.6, 1983’te sürdürülebilir eşik altına düşerek 0.99 değerini almakta ve düşüş devam ederek 2022’de 0.43 değerini almıştır. LCF’nin 1982’li yıllardan itibaren sürdürülebilir limitin (biyokapasite = ekolojik ayak izi) altına düşmesinde, Türkiye’nin 1980’li yıllardan itibaren uygulanmaya başlanan dışa açık sanayileşme politikasının etkili olduğu düşünülmektedir (Can & Kılıç: 67). LCF istatistikleri, Türkiye’de yıllar içinde çevre kalitesinde herhangi bir iyileşme olmadığını, hatta Türkiye’nin doğal kaynaklarının yaklaşık 2,3 kat fazlasının tüketildiğini göstermektedir. Bu durum, Türkiye’de çevresel kaliteyi düşüren faktörlere yönelik olarak ampirik çalışmalar yapılmasını gerekli kılmaktadır.

Bu araştırma, yenilenemez enerji verimliliğinin, yenilenebilir enerji kullanımının ve ekonomik büyümenin çevresel bozulma üzerindeki etkisine EKC ve LCC hipotezine odaklanmaktadır. Bu doğrultuda çalışma bazı soruların cevaplarını aramaktadır: (1) Yenilenemeyen kaynaklardan sağlanan enerjinin verimli kullanılması çevre kalitesi üzerindeki etkisi nasıldır? CO₂, EF ve LCF’yi ne derece etkiler? (2) Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması çevresel kaliteyi artırmanın itici bir gücü müdür? (3) Kişi başına düşen milli gelirdeki değişimler çevresel kaliteyi nasıl etkiler? (4) EKC ve LCC hipotezi Türkiye’de geçerli mi? Çalışma bu sorulara cevaplar arayarak CO₂, EF ve LCF sürdürülebilir eşik altında olan Türkiye’de çevresel kalitenin artırılmasına yönelik olarak öneriler sunmaktadır.

Bu araştırmanın amacı, Türkiye’de yenilenemez enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı, ekonomik büyüme ile CO₂, EF, LCF arasındaki ilişkiyi incelemek ve EKC ile LCC hipotezlerinin geçerliliğini kesirli Fourier ARDL metoduyla test etmektir. Çalışmanın özgünlüğü, Türkiye’ye özgü olarak yapılan kıyaslamalı EKC ile LCC hipotezleri ile ilgili çalışmaların az olmasıdır. Ayrıca ulusal literatürdeki çalışmalar fosil kaynaklara dayalı yenilenemez enerji tüketiminin çevresel kalite üzerindeki etkisini incelemektedir. Ulusal literatürde yenilenemez enerji verimliliğini LCF bağlamında ele alan bir çalışmaya

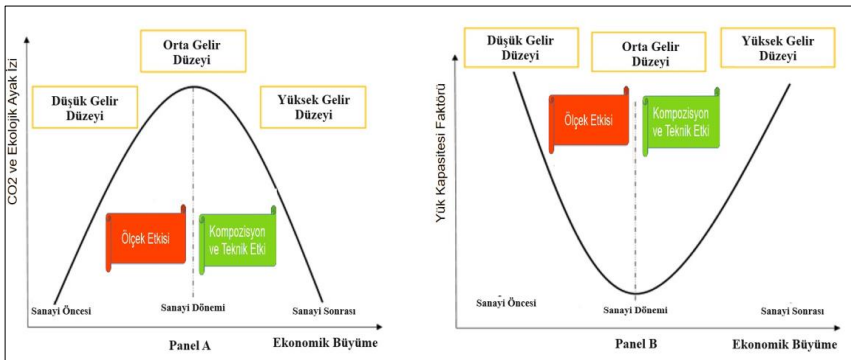
rastlanmamıştır. Bu bağlamda çalışma yenilenemez enerji verimliliğinin çevre kalitesi üzerindeki etkisini ele almaktadır. Söz konusu etki kesirli Fourier ARDL eşbütünleşme testi ve Fourier Toda-Yamamoto nedensellik testi ile araştırılmıştır. Kullanılan ekonometrik yöntemler güncel yöntem olup, ele alınan konu ile ilgili literatürün genişletilmesine katkı sunacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın ikinci kısmında incelenen konuya ilişkin teorik çerçeve ortaya konulmuş ve Türkiye’ye ait verilere yer verilmiştir. Üçüncü kısımda ise ulusal ve uluslararası literatürdeki çalışmalara yer verilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmada ele alınan veri setine yer verilmiş ve çalışmada kullanılan model gösterilmiştir. Beşinci kısımda ise çalışmada kullanılan ekonometrik yöntemden bahsedilmiştir. Altıncı kısımda ampirik bulgular ortaya konulmuştur. Yedinci kısımda ise ampirik bulgular değerlendirilmiştir.

2. Teorik Çerçeve

Son yıllarda, Grossman ve Krueger (1991, 1995) tarafından önerilen Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC), çevre ekonomisi alanında büyük önem kazanmış ve ekonomik büyüme seviyeleri ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi anlamak için çok önemli bir araç haline gelmiştir. EKC hipotezi, ekonomik büyümenin başlangıçta ölçek etkisiyle çevresel kaliteyi düşürdüğünü, daha sonra kompozisyon ve teknik etki nedeniyle çevresel kaliteyi artırdığını öne sürmektedir. EKC teorisine göre, çevresel kirleticiler (CO₂, EF gibi) ile ekonomik büyüme arasında ters U şeklinde bir ilişki vardır. Pata ve Kartal (2023) çalışmalarına göre hem LCF ve EF’yi hem de biyolojik kapasiteyi bir araya getiren çevresel sürdürülebilirliğin bir ölçüsüdür. EKC hipotezinin tersine LCF ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki U şeklinde olabilir. Bu doğrultuda Doğan ve Pata (2022) çalışmalarında yük kapasitesi eğrisi (LCC) hipotezini öne sürmüşlerdir. LCC hipotezi, çevrenin hem talep tarafını (EF) hem de arz tarafını (Biyokapasite) dikkate alarak çevresel kaliteye daha geniş bir perspektiften değerlendirme yapma imkânı sağlamaktadır. EKC ve LCC hipotezlerini karşılaştırmalı olarak gösteren iki grafik 2’de sunulmaktadır.

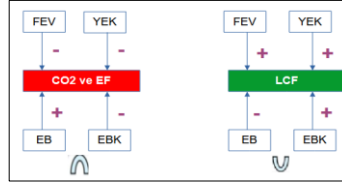
Grafik: 2
EKC ve LCC Hipotezlerini Karşılaştırma



Grafik 2 incelendiğinde, Panel A’da EKC hipotezi gösterilmektedir ve çevresel kirleticiler olan CO₂ ve EF ile çevresel kalite arasında ters U şeklinde ilişki vardır. Bu ilişki sırası ile “Ölçek Etkisi”, “Kompozisyon Etkisi” ve “Teknik Etki” olmak üzere üç etkiye dayanmaktadır (Grossman & Krueger, 1991). Ölçek etkisi, ekonomik büyümenin çevresel kaliteyi azalttığını ifade eder. Kalkınmanın ilk aşaması düşük gelirle karakterize edilir. Bu aşamada politika yapıcılarının öncelikli amacı çevresel koşullardan ziyade istihdamı artırarak gelir yaratmaktır. Bu durum fosil kaynaklara dayalı enerji tüketiminin artmasına yol açarak çevresel kirleticilerin çevresel kaliteyi düşürmesine yol açar. Dolayısıyla sanayi öncesinde tarımdan sanayiye geçiş aşamasında çevresel baskının arttığını ifade etmektedir (Koçak, 2024b: 657). Ekonomik büyümenin sonucunda belirli bir gelir eşiğine ulaşıldığında, ülkeler “Kompozisyon ve Teknik Etki” aşamasına geçerler. Bu aşamada ülkeler, çevreyi kirleten ekonomik büyümeden çevreye daha duyarlı bir ekonomik büyümeye geçiş için gerekli olan sermayeye sahip olurlar. Ülkeler, enerji verimliliği politikalarına sermaye ayırmaya başlarlar ve yenilenemeyen enerji kaynaklarına kıyasla çok daha maliyetli olan teknolojilere yatırım yaparlar. Dolayısıyla sanayi sektöründen hizmet sektörüne geçiş aşamasında hizmet sektörü çevre teknolojilerinin gelişimini destekleyerek çevresel kalitenin artmasına katkıda bulunur (Polat vd., 2023: 112). Panel B, LCC hipotezini göstermektedir. LCC hipotezi, EKC’nin tam aksine LCF ile ekonomik büyüme arasında U şeklinde bir ilişkinin var olduğunu ifade etmektedir. LCC hipotezi, kalkınmanın ilk aşamalarında çevreden ziyade ekonomik büyümeyi artırmak önemli olduğu için EF artmakta ve biyolojik kapasite azalmaktadır. Bu durum çevresel kaliteyi olumsuz etkilediğinden dolayı LCF azalmaktadır. Belli bir gelir düzeyine ulaştıktan sonra çevreye karşı duyarlılık arttığı için EF azalmakta ve biyolojik kapasite artmaktadır. Bu durum çevresel kaliteyi olumlu etkilediğinden dolayı LCF artmaktadır. Dolayısı ile LCC hipotezi, EKC, EF ve biyolojik kapasiteyi aynı anda ele alması bakımından farklıdır.

EKC ve LCC hipotezlerinin geçerliliği Türkiye için önemlidir. Bu hipotezlerden herhangi biri geçerliyse belirli bir eşiği geçtikten sonra ekonomik büyüme çevresel kaliteyi artırmak için bir araç olarak kullanılabilir. Birim enerji kullanımı başına üretkenlikteki artışı ifade eden yenilenemeyen enerji verimliliğindeki ve yenilenebilir enerji kullanımındaki artış ekonomik büyümeyi olumlu etkileyebilir, doğal kaynak kullanımını düşürebilir, enerji tüketimini azaltabilir ve çevresel kalitenin artmasına yardımcı olabilir. Dolayısıyla yenilenebilir enerji kullanımındaki ve yenilenemez enerji verimliliğindeki artış enerji yapısını daha çevre dostu bir yapıya dönüştürerek çevresel kalitenin iyileşmesine katkıda bulunabilir. Grafik 3’te, FEV, YEK, EB ve EBK’nın çevre üzerindeki etkilerine ilişkin teorik beklentileri göstermektedir.

Grafik 3
Değişkenlerin İşaretlerine İlişkin Teorik Beklentiler



Kaynak: Pata vd., 2023a: 5.

Grafik 3’te FEV, fosil kaynaklarına dayalı yenilenemez enerji verimliliğini ve YEK ise yenilenebilir enerji kullanımını göstermektedir. FEV ve YEK’teki artışlar CO2 ve EF çevre kirleticilerini azaltmaları beklenebilir. Bu beklenti doğrultusunda EKC hipotezi gereği CO2 ve EF’in bağımlı değişkenler olduğu modeller için ekonomik büyüme ile çevresel kirleticiler arasında ters U şeklinde bir ilişki beklenmektedir. LCC hipotezi altında FEV ve YEK pozitif işaretli olması LCF’yi artırması beklenebilir. LCF ile ekonomik büyüme arasında U şeklinde bir ilişki beklenmektedir.

3. Literatür

Literatürde, ülkelerin çevresel kalitesini ortaya koyabilmek için CO2 emisyonları çevresel bir gösterge olarak kullanılmıştır. Çevresel sorunların öneminin artmasıyla CO2 çevresel göstergesi dahada genişletilerek EF literatürde kullanılmaya başlamıştır. EF ve CO2 çevresel göstergeler çevresel tüketimi dikkate aldığı için eksik bulunmuş ve biyolojik kapasiteyi de dikkate alan LCF literatürde kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada çevresel göstergelerin üçünü de (CO2, EF, LCF) dikkate alarak Türkiye’nin durumunu net bir şekilde ortaya koymaya çalışmaktadır. CO2 emisyonları ve EF üzerine yapılan çalışmalar EKC hipotezine dayanmaktadır.

Literatürde EKC hipotezinin geçerliliğini destekleyen çok sayıda çalışma yapılmıştır. Örneğin, Türkiye için Haug ve Ucal (2019), Pata (2019), Cetin vd. (2018), Bölük ve Mert (2015), Seker vd. (2015), Halicioğlu (2009), Bangladeş için Voumik vd. (2022), Hasan vd. (2022), Murshed vd. (2021), Hindistan için Uche vd. (2023), Sreenu (2022), Çin için Aslam vd. (2021), Jiang vd. (2021), Usman vd. (2019), Sinha ve Shahbaz (2018), Dong vd. (2018), Jalil ve Mahmud (2009), Pakistan için Ali vd. (2021), Nadeem vd. (2020), Ullah ve Khan (2020), Malik vd. (2020), Ahmed ve Long (2012), Shahbaz vd. (2012), Nasir ve Rehman (2011), Malezya için Mehraeein vd. (2021), Suki vd. (2020), Lau vd. (2014), Saboori vd. (2012), İspanya için Balaguer ve Cantavella (2016), Esteve ve Tamarit (2012) çalışmalarda EKC hipotezinin geçerli olduğunu test etmişlerdir. Ancak Türkiye için Oztürk ve Acaravcı (2010), Akbostancı vd. (2009), Lise (2006), Bangladeş için İslam vd. (2023), Bulgaristan için Tsiantikoudis vd. (2019), Suudi Arabistan için Raggad (2018), 25 Afrika ülkesi için Zoundi (2017), 21 Kyoto ek ülkeleri için Mert ve Bölük (2016) çalışmalarında EKC hipotezinin geçerli olmadığını tespit etmişlerdir.

EKC hipotezinin geçerliliğini araştıran çalışmaların yanında CO2 emisyonunu ve EF’yi etkileyen faktörleri de araştıran çalışmalar yapılmıştır. Bu bağlamda çalışmalara yenilenebilir enerji kullanımı ve fosil yakıtlara dayalı yenilenemez enerji verimliliği gibi değişkenlerde dahil edilmiştir. Literatürde, enerji verimliliğinin çevre kalitesi üzerindeki etkisini inceleyen çok sayıda araştırma yapılmıştır. Çalışmalarda genellikle enerji yoğunluğu veya milli gelirin enerji tüketimine oranlanması enerji verimliliğinin göstergesi olarak kullanılmıştır. Özübuğday ve Erbas (2015) çalışmalarında OECD ülkelerinde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerjinin CO2 emisyonları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar 36 ülkede enerji verimliliği endeksleri oluşturmuşlar ve enerji verimliliğindeki %1’lik bir artışın CO2 emisyonlarını %0,55 oranında azalttığı sonucuna varmışlardır. Tajudeen vd. (2018) çalışmalarında 30 OECD ülkesinde enerji verimliliğinin (enerji verimliliğini temsilen enerji yoğunluğu) CO2 emisyonları üzerindeki etkisi incelenmişlerdir. Sonuçlar enerji verimliliğinin çevresel kaliteyi artırdığını tespit etmişlerdir. Akram vd. (2020) çalışmalarında gelişmekte olan 66 ülkede EKC modelini kullanarak enerji verimliliğinin CO2 emisyonları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Enerji yoğunluğu ve regresyon sonuçları ile ortaya konan enerji verimliliği, CO2 emisyonlarını azaltabileceğini ve enerji verimliliği katsayısının yenilenebilir enerjiden daha büyük olduğunu göstermişlerdir. Kazemzadeh vd. (2022) çalışmalarında 16 gelişmekte olan ülkede enerji verimliliğinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bulgular, enerji verimliliğinin ekolojik ayak izini azaltabileceğini göstermişlerdir. Shokoohi vd. (2022) çalışmalarında enerji yoğunluğunu enerji verimliliğinin göstergesi olarak ele almışlardır. Ekonomik büyümenin enerji verimliliğinden önemli ölçüde etkilendiği, ancak sera gazı emisyonlarının enerji verimliliği ile önemli ölçüde ilişkili olmadığını tespit etmişlerdir. Jahanger vd. (2023) çalışmalarında enerji verimliliğinin çevre üzerindeki etkisini 29 Avrupa ülkesinde incelemiştir. Enerji verimliliğini enerji tüketiminin GSYİH’ye bölünmesi elde etmişlerdir. FMOLS, DOLS ve Granger nedensellik testlerinin sonuçları enerji verimliliğinin sera gazlarıyla mücadelede etkili bir araç olduğunu ortaya koymuşlardır. Fakher vd. (2023) çalışmalarında enerji verimliliğini temsil etmek üzere enerji yoğunluğunu seçmişlerdir. Çalışmalarında, BRICS ülkelerinde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerjinin CO2 emisyonları üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuçlar enerji verimliliğinin çevresel kirliliği azalttığını ve uzun vadeli parametrenin kısa vadeli parametreden daha büyük olduğunu ortaya koymuşlardır. Zhou vd. (2023) çalışmalarında enerji verimliliğinin CO2 emisyonları üzerindeki etkisini ve Çin’de EKC’nin geçerli olup olmadığını incelemişlerdir. Enerji verimliliğini enerji tüketiminin GSYİH’ye bölünmesi elde etmişlerdir. Ulaştıkları bulgulara göre enerji verimliliği çevresel kaliteyi artırmaktadır. Chen vd. (2024) çalışmalarında enerji verimliliğinin göstergesi olarak enerji yoğunluğu seçilmiş ve enerji verimliliği en yüksek 10 ülke incelenmiştir. Bulgulara göre uzun dönemde enerji verimliliğinin CO2 emisyonları ve EF ile temsil edilen çevresel bozulmayı azalttığını ortaya koymuşlardır. Enerji verimliliğinin su kullanımını, sera gazı emisyonlarını ve diğer kirleticileri azalttığını tespit edilmiştir. Ayrıca Bataille ve Melton (2017), Xu ve Xu (2022), Akbar vd. (2022), Awan vd. (2022), Pata vd. (2023b) çalışmalarında benzer sonuçlara ulaşmışlardır. Bazı çalışmalarda yenilenebilir enerji tüketimi değişken olarak kullanılmıştır. Örneğin, MENA ülkeleri için Saadaoui (2022), Joof vd. (2023), BRICS ülkeleri için Bashir

vd. (2020), Türkiye için Özpolat ve Özsoy (2021), Karaaslan ve Çamkaya. (2022), Acaroğlu vd. (2023) çalışmalarında yenilenebilir enerjinin CO2 emisyonlarını azalttığını, 24 OECD ülkeleri için Destek ve Sinha (2020), G7 ülkeleri için Ahmed vd. (2021), Türkiye için Alnour ve Atik (2021), Acaroğlu vd. (2023), Koçak (2024a) ise çalışmalarında EF'yi azalttığını tespit etmişlerdir. Abou Houran ve Mehmood (2023), 25 Afrika ekonomisi bağlamında yenilenebilir enerjinin CO2 emisyonları üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır. Saqib vd. (2023) çalışmalarında 1990'dan 2013'e kadar 107 ekonomide yenilenebilir enerji kullanımı ile CO2 emisyonları arasındaki korelasyonu incelemek için panel eşbütünleşme testi ile test etmişlerdir. Düşük gelirli ekonomiler için yenilenebilir enerji ile CO2 emisyonları üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu ortaya koydu. Ancak, yüksek gelirli ekonomiler için bu etki etki negatiftir. Ayrıca MENA ülkeleri için Nathaniel vd. (2021), Türkiye için Pata (2018) yenilenebilir kaynakların etkili bir şekilde kullanılmadığı için çevresel bozulmayı önlemeye yardımcı olmadığı sonucuna varmışlardır.

Literatürde EKC, EF ve biyolojik kapasiteyi aynı anda ele alan LCC hipotezinin geçerliliğini destekleyen sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Örneğin Türkiye için, Dam ve Sarkodie (2023), Afshan ve Yagoob (2023), Güneysu (2023), 26 OECD ülkesi için Güloğlu vd. (2023), BRICS için Çağlar vd. (2023), Meksika için Huilan vd. (2024). ASEAN ülkeleri için Dai vd. (2023), G7 ülkeleri için Doğan ve Pata (2022) çalışmalarında LCC hipotezinin geçerli olduğunu ortaya koymuşlardır. Ancak En İyi Turizm Destinasyonu Olan İlk On Ülke için Pata ve Tanriover (2023), Hindistan için Alola vd. (2023), G20 ülkeleri için Liv d. (2023) çalışmalarında LCC hipotezinin geçerli olmadığını tespit etmişlerdir. Pata vd. (2023) çalışmalarında Almanya için 1974-2018 yıllarını kapsayan dönemde CO2 Emisyonu, EF, LCF, ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji ve nükleer enerji Ar-Ge harcamaları arasındaki ilişkileri FADL eşbütünleşme, FMOLS, DOLS yöntemleri ile araştırmışlardır. Bulgulara göre Almanya da EKC hipotezi geçerli ancak LCC hipotezi geçersizdir. Ayrıca yenilenebilir enerji çevresel kaliteyi artırdığını tespit etmişlerdir.

Genel olarak literatürü özetlemek gerekirse, mevcut literatürde aynı çalışmada yenilenemez enerji verimliliğini LCF kavramı içerisinde ele alan sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin etkisi çok daha fazla araştırmaya konu edildiği görülmektedir. Ulusal literatürde yenilenemez enerji verimliliğinin çevresel bozulma üzerindeki etkilerini LCF bağlamında inceleyen bir çalışmaya rastlanılmaması bir araştırma açığıdır. Dolayısıyla bu çalışma, kapsamlı bir yaklaşımla Türkiye'ye odaklanarak mevcut literatüre katkıda bulunmayı, yenilenebilir enerji kullanımı ve yenilenemez enerji verimliliğinin enerji krizine karşı bir seçenek olarak kullanılmasını düşünenler için çıkarımlar sunmayı amaçlamaktadır.

4. Veri Seti

Çalışma, Türkiye'de yenilenemez enerji verimliliğinin ve ekonomik büyümenin yük kapasitesi faktörü üzerindeki etkisini araştırmak için 1982'den 2022'ye kadar yıllık verileri kullanmaktadır. Kişi başına düşen fosil enerji tüketim verileri 1982 yılından itibaren mevcut olduğu ve son dönem verileri olmadığı için zaman aralığı bu şekilde oluşturulmuştur. EKC

ve LCC hipotezlerinin geçerli olup olmadığını ortaya koyabilmek için ekonomik büyümenin karesi (EBK) çalışmaya eklenmiştir. Tablo 1’de çalışmada kullanılan seriler ve serilerin hangi kaynaklardan elde edildiği sunulmaktadır.

Çalışmada kullanılan tüm serilerin, heteroskedastisite sorununu önlemek, seriler arasındaki boyut farklılığını azaltmak ve esneklikleri hesaplamalarını daha iyi bir şekilde yapabilmek için logaritmik dönüşümleri yapılmıştır. Çalışmada 1 ABD doları gelir elde etmek için ne kadar yenilenemeyen enerji kullanmak gerektiğini ortaya koyan yenilenemeyen enerji verimliliğini değişken olarak kullanılmıştır. Yenilenemeyen enerji verimliliğini $\frac{GDP}{\text{Yenilenemeyen Enerji Tüketimi}}$ formülü yardımı ile hesaplanmıştır (Alola et al., 2023). Ekonomik büyüme değişkenini temsilen 2015 yılı baz alınarak hesaplanan kişi başına düşen GSYH dikkate alınmıştır.

Tablo: 1
Çalışmada Kullanılan Değişkenler

Kısaltmalar	Açıklama	Kaynak
lnLCF	Yük Kapasitesi Faktörü (Kişi başına düşen Küresel hektar alan)	Global Footprint Network
lnEF	Ekolojik Ayak İzi (Kişi Başına Düşen Küresel Hektar Alan)	Global Footprint Network
lnCO2	CO2 Emisyonları (Kişi Başına Düşen Ton)	Our World in Data
lnFEV	Yenilenemeyen Enerji Verimliliği (\$/kWh)	Our World in Data, World Bank
lnYEK	Yenilenebilir Enerji kullanımı (Kişi Başına kWh)	Our World in Data
lnEB	Ekonomik Büyüme (Kişi Başına GSYH)	World Bank
lnEBK	Ekonomik Büyümenin karesi (Kişi Başına GSYH Karesi)	-

Çalışmada EKC ve LCC hipotezlerini analiz etmek için üç farklı model kullanılmıştır. Modeller Denklem (1), Denklem (2) ve Denklem (3)’te sunulmaktadır.

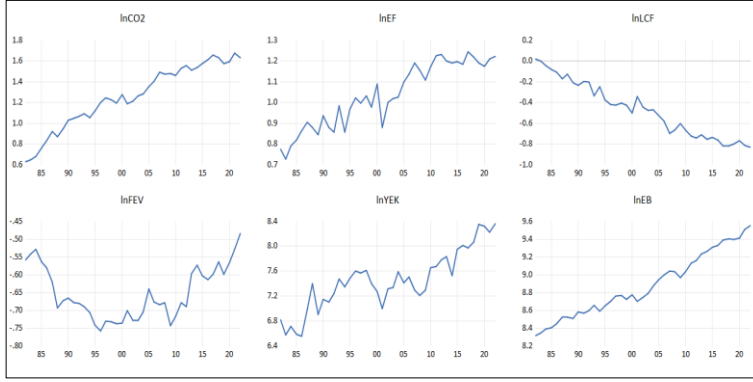
$$\text{Model 1: } \ln\text{CO2}_t = \rho_0 + \rho_1 \ln\text{FEV}_t + \rho_2 \ln\text{YEK}_t + \rho_3 \ln\text{EB}_t + \rho_4 \ln\text{EBK}_t + e_t \quad (1)$$

$$\text{Model 2: } \ln\text{EF}_t = \tau_0 + \tau_1 \ln\text{FEV}_t + \tau_2 \ln\text{YEK}_t + \tau_3 \ln\text{EB}_t + \tau_4 \ln\text{EBK}_t + u_t \quad (2)$$

$$\text{Model 3: } \ln\text{LCF}_t = \beta_0 + \beta_1 \ln\text{FEV}_t + \beta_2 \ln\text{YEK}_t + \beta_3 \ln\text{EB}_t + \beta_4 \ln\text{EBK}_t + w_t \quad (3)$$

Denklemlerde t zamanı, ρ_0 , τ_0 ve β_0 sabit terimleri, $\rho_{1,2,3,4}$, $\tau_{1,2,3,4}$ ve $\beta_{1,2,3,4}$ bağımsız değişkenlerin katsayılarını, e_t , u_t ve w_t ise hata terimlerini göstermektedir. EKC hipotezi geçerliyse lnEB değişkenlerinin katsayıları olan ρ_3 , τ_3 ’ün değerleri pozitif, lnEBK değişkenlerinin katsayıları olan ρ_4 , τ_4 ’ün değerleri ise negatif olmalıdır. LCC eğrisinin geçerliliği için ise lnEB değişkeninin katsayısı olan β_3 ’ün değeri negatif, lnEBK değişkeninin katsayısı olan β_4 ’ün değeri ise pozitif olmalıdır. Bu bağlamda LCC hipotezinin geçerliliği için lnEB ve lnEBK değişkenlerinin esnekliklerinin işaretleri yer değiştirmekte ve ekonomik büyüme ile çevre kalitesi arasında U şeklinde bir ilişki beklenmektedir.

Grafik: 4
Değişkenlerin Zaman Yolu Grafikleri



Analize başlamak için ilk adım, makalede kullanılan zaman serilerinin (değişkenlerin) görsel olarak zaman grafiği özelliklerini (trend, sapmalar, yapısal kırılmalar, mevsimsellik vs.) kontrol etmektir. Çünkü değişkenlerin zaman grafiği özellikleri dikkate alınmazsa regresyon sonuçları yanıltıcı olabilir. Grafik 4’te değişkenlerin zaman yolu grafikleri raporlanmıştır.

Grafik 4’te zaman yolu grafikleri incelendiğinde tüm serilerin birim kök içerdikleri söylenebilir. Serilerin birim kök içerip içermediğinin birim kök testleriyle sınanması gerekir.

Tablo 2’de değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler sunulmaktadır.

Tablo: 2
Değişkenlere İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

	lnCO2	lnEF	lnYKF	lnFEV	lnYEK	lnEB	lnEBK
Ortalama	1.256507	1.035869	-0.469366	-0.651690	7.451245	8.878563	78.95277
Medyan	1.264360	1.026482	-0.471449	-0.679109	7.412511	8.772544	76.95753
Maksimum	1.675230	1.245956	0.019510	-0.484833	8.366657	9.550741	91.21665
Minimum	0.629233	0.727493	-0.831418	-0.758214	6.553187	8.317860	69.18679
Standart Sapma	0.303979	0.154202	0.263862	0.073513	0.477008	0.356358	6.365490
Çarpıklık	-0.458097	-0.265731	0.232005	0.453138	0.058050	0.291724	0.339704
Basıklık	2.176769	1.746326	1.788712	2.024667	2.570407	1.898838	1.921239
Jarque-Bera	2.591749	3.167506	2.874312	3.028212	0.338300	2.652990	2.776588
Olasılık	0.273658	0.205204	0.237603	0.220005	0.844382	0.265406	0.249501
Gözlem Sayısı	41	41	41	41	41	41	41

Tablo 2’ye göre, beklendiği gibi, EBK’nin ortalaması en büyüktür. Bunu LNEB ve LNYEK değişkeni takip etmektedir. Ayrıca, değişkenlerin standart sapma değerleri bakımından LNEBK’nin büyük olduğunu göstermekte, bu da bu değişkenin oldukça oynak olduğunu ve diğer değişkenlerin daha az oynaklığa sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Tüm değişkenlerin basıklık değerleri pozitiftir. Çarpıklık değerleri ise lnCO2 ve lnEF değişkenleri dışındaki değişkenler ise pozitiftir. Sonuç olarak tüm değişkenlerin Jarque-Bera

istatistiklerinin ve olasılıklarının değerleri normal dağılıma sahip olmadıklarını göstermektedir.

5. Ekonometrik Yöntem

5.1. Birim Kök Testleri

Birim kök testleri serilerin durağanlığını incelemek için kullanılmaktadır. Eğer durağan olmayan seriler kullanılırsa model, sahte regresyon sorunuyla karşı karşıya kalabilir. Dolayısıyla ekonometrik metodolojinin ilk aşaması olarak araştırmaya dahil edilen serilerin birim kök özellikleri ortaya koyulacaktır. Bu doğrultuda, serilerin birim kök özelliklerinin incelendiği bu çalışmada Augmented Dickey ve Fuller (1979) ve Phillips ve Perron (1988) birim kök testleri kullanılmıştır. Ancak, geleneksel birim kök testleri birim köklerdeki yapısal değişiklikleri açıklayamamaktadır. Zaman serilerinde yapısal kırılmalar yaşandığında birim kök içeren seriler birim kök içermemiş gibi görülebilir (Aytaç & Duran, 2010: 141). Bu nedenle, analiz dönemi yapısal kırılmalar yaratabilecek deprem, ulusal ve uluslararası krizler gibi olayları içerdiğinden dolayı, yapısal kırılmaları içeren Kapetanios (2005) testi de kullanılmıştır. Birim kök testleri çalışmada ele alınan serilerin en fazla I(1) mertebesinde entegre olduğunu gösteriyorsa, bu durum çalışma değişkenleri arasında uzun dönem denge ilişkilerinin varlığına işaret etmektedir.

5.2. Kesirli Fourier ARDL

Pesaran vd. (2001) tarafından geliştirilen ARDL yaklaşımı, farklı bütünleşme mertebelerine sahip serilerin analizine izin verdiği için araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun temel nedeni testin bağımsız değişkenlerin entegrasyon derecesine bakılmaksızın ARDL sınır testi kullanılabilir ve test küçük örneklerde bile iyi boyut ve güç özelliklerine sahiptir (Narayan, 2005). ARDL Sınır testini uygulamak için Denklem (4)'teki model tahmin edilir:

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \varphi_i \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=0}^q \delta_i \Delta X_{t-i} + e_t \quad (4)$$

Eşitlik (4)'te β_0 sabit terimi, p ve q bilgi kriterlerine göre belirlenen optimal gecikme uzunluklarını, φ_i ve δ_i kısa dönem katsayılarını, β_1 ve β_2 uzun dönem katsayılarını, e_t hata terimini göstermektedir. Pesaran vd. (2001)'e göre bir eş bütünleşmenin varlığı F-test (FA) ve t-test (t) kullanılarak Eşitlik (5)'te gösterilen boş hipotezlerin reddedilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

$$\text{FA test için } H_0: \beta_1 = \beta_2 = 0 \text{ ve t test için } H_0: \beta_1 = 0 \quad (5)$$

FA hipotezi bir F-testi kullanılarak test edilebilirken, t test hipotezi bir t-testi kullanılarak incelenebilir. McNown vd. (2018), bağımsız değişkenlerin anlamlılığını birlikte test etmek için Eşitlik (6)'daki FB hipotezini önererek bu testleri tamamlamaktadır:

$$\text{FB test için } H_0: \beta_2 = 0 \quad (6)$$

Bir eşbütünleşme ilişkisinin geçerli olabilmesi için üç testin (FA, t, FB) boş hipotezi reddedilmelidir. Herhangi bir testin boş hipotezi reddedilemezse, iki dejenere duruma ortaya çıkar.

Dejenere Durum 1: FA ve FB testleri anlamlı, t testi anlamsız ise dejenere (1) gerçekleşir.

Dejenere Durum 2: FA ve t testleri anlamlı, FB testi anlamsız ise dejenere (2) gerçekleşir.

Her iki dejenere durumda seriler arasında eşbütünleşme ilişkisi yoktur. ARDL Sınır testi, yapısal değişikliklerin modele dahil edilmemesi ve uzun dönemli ilişkide yapısal bir kırılmanın fark edilmemesi gibi durumlarda yanlış çıkarımlara yol açabilir. Bu noktada Solarin (2019), Pata ve Aydın (2020) ile Yılancı ve Pata (2020), Fourier yaklaşımını kullanarak bootstrap ARDL modelini yapısal kırılmaları içerecek şekilde genişletmişlerdir. Ancak Solarin (2019), Pata ve Aydın (2020) frekansları tam sayı [$k=1, \dots, 3, \dots, 5$] olarak kabul etmiştir. Tamsayı frekanslar geçici kırılmaları, kesirli frekanslar ise kalıcı kırılmaları temsil etmektedir (Christopoulos & Leon-Ledesma, 2011). Yılancı ve Pata (2020) ARDL yöntemindeki Fourier fonksiyonlarını kesirli frekansları [$k=0.1, \dots, 0.3, \dots, 4.8, \dots, 5$] dikkate alarak kalıcı kırılmaları hesaba katacak şekilde uyarlamıştır. Kesirli Frekans Fourier ARDL yöntemi için, Denklem (7)’ye Fourier yaklaşımları eklenerek model aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-1} + \gamma_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \gamma_1 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{i=1}^p \varphi_i \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=0}^q \delta_i \Delta X_{t-i} + e_t \quad (7)$$

Denklem (7)’de sin sinüsü, cos kosinüsü, k kesirli frekansı, $\pi=3.1416$ ’yı, t trendi ve T gözlem sayısını göstermektedir.

5.3. Fourier Toda-Yamamoto Nedensellik Testi

Araştırmacılar değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi incelerken genellikle VAR modeline dayanan Granger’ın (1969) nedensellik yöntemini kullanırlar. Bu testin kullanılabilmesi için serilerin durağan olması gerekmektedir. Nedensellik, durağan olmayan veriler üzerinde fark alma işlemi gerçekleştirildikten sonra test edilir. Ancak, farkın alınması uzun vadeli bilgi kaybına yol açabilir. Toda-Yamamoto (1995) nedensellik testi (TY) ile bilgi kaybının önüne geçilerek Granger Nedensellik Testinin eksiklikleri giderilmiştir. TY (1995), $(p + d)$ dereceden bir VAR modeli kurulmasını önermektedir. Nazlıoğlu vd. (2016) çalışmalarında, TY nedensellik testine Fourier fonksiyonlarını eklemiş ve kırılmaların sayısı, tarihi ve şekline ilişkin ön bilgiye gerek olmadığını belirtmiştir. Bu çalışmada, Nazlıoğlu vd. (2016) çalışmalarını takip ederek, gecikmesi artırılmış VAR modeli Eşitlik (8), Eşitlik (9)’daki gibi tahmin edilmektedir.

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{i=1}^{m+d} \max \theta_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^{m+d} \max \varphi_i X_{t-i} + u_t \quad (8)$$

$$\Delta X_t = \delta_0 + \delta_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{i=1}^{m+d} \max \varphi_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^{m+d} \max \theta_i X_{t-i} + v_t \quad (9)$$

Eşitlik (8) ve Eşitlik (9)'da m ve d_{max} parametreleri değişkenlerin optimal gecikme uzunluğunu ve maksimum bütünleşme mertebesini göstermektedir. Modele bu parametrelerin dahil edilmesinin nedeni durağan olmama durumunda değişkenlerin farkları alınırken uzun dönem bilgi kaybı sorununun ele alınmasıdır. Çalışmada Pata ve Yılancı (2020) çalışmalarındaki önerisini izlenerek, [0.1, 0.2, 0.3, ..., 5] aralığındaki tüm kesirli değerler için VAR modelini tahmin edilerek ve karesel artıkların toplamını en aza indiren değeri optimal frekans değerini (k) olarak belirlenmektedir. X 'ten Y 'ye nedensellik olmadığı test etmek için, Eşitlik (8)'deki θ_i 'lerin anlamlılığı bir Wald testi kullanılarak test edilmektedir. Eşitlik (9)'daki ϕ_i 'nin anlamlılığını incelenerek ve bootstrap simülasyonları ile gerekli kritik değerler elde edilerek Y 'den X 'e nedenselliğin olmadığı boş hipotezini test edilmektedir.

6. Bulgular

Çalışmanın bu bölümünde ekonometrik analizler sonucu ulaşılan bulgular paylaşılmaktadır.

6.1. Birim Kök Testleri

ARDL sınır testi yaklaşımına göre değişkenlerin tümü ya birinci farkta ($I(1)$), ya düzeyde ($I(0)$) ya da her iki durumun kombinasyonundan ($I(0,1)$) oluşmalıdır. Bu model, 1'den daha yüksek mertebeden ($I(2)$ veya üzeri) entegrasyona sahip seriler için kullanılamaz. ARDL modelini tahmin etmeden önce verilerin bütünleşme sırasını araştırmak üzere üç farklı birim kök testi uygulanmaktadır. Çalışmanın değişkenleri üzerinde yapılan DF ve ADF birim kök testlerinin sonuçları Tablo 3'te raporlanmaktadır.

Tablo: 3
ADF ve PP Birim Kök Sonuçları

Değişkenler	ADF Test İstatistiği		PP Test İstatistiği	
	Sabitli	Sabitli Trendli	Sabitli	Sabitli Trendli
LNFKF	-1.599762	-3.190582	-1.525939	-3.124532
LNFEV	-0.842868	-1.105621	-0.895259	-0.849350
LNFEK	-1.085147	-3.068897	-0.644104	-3.063926
LNEB	0.398827	-2.064988	1.102921	-2.064988
LNEBK	0.604314	-1.830240	1.456824	-1.855903
ΔLNFKF	-6.989494*	-7.183076*	-10.94801*	-16.67066*
ΔLNFEV	-5.680857*	-6.558541*	-5.660943*	-7.409848*
ΔLNFEK	-8.109267*	-7.995710*	-9.383299*	-9.232504*
ΔLNEB	-6.566220*	-6.576359*	-6.906350*	-7.589923*
ΔLNEBK	-6.443735*	-6.509560*	-6.562228*	-7.498713*
Kritik Değerler				
%1	-3.616	-4.205	-3.616	-4.205
%5	-2.941	-3.527	-2.941	-3.527

Not: * ve ** sırasıyla %1, %5 anlamlılık seviyelerini ifade etmektedir. Δ sembolü birinci mertebeden fark alınmış seriyi ifade eder.

Tablo 3'teki sonuçlar, tüm değişkenlerin seviyelerinde birim köklere sahip olduğunu göstermektedir. Değişkenlerin birinci farkta birim kök içerip içermediğini test etmek için birinci farkları alınmıştır ve seriler birim kök içermediği görülmüştür. Birinci farkları alınmış değişkenlerin önüne delta (Δ) konulmuştur. Ayrıca, serilerdeki olası yapısal kırılmaları değerlendirmek için 5 yapısal kırılmaya kadar izin veren Kapetanios (2005) birim kök testi yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 4'te raporlanmaktadır.

Tablo: 4
Kapetanios (2005) Çoklu Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testi (5 Kırılmalı)

Değişkenler	Test İstatistiği	Kritik Değerler		Kırılma Sayısı	Kırılma Tarihleri
		%1	%5		
LNYKF	-10.1011*	-9.039	-8.343	5	1987, 1994, 2000, 2006, 2016
LNFEV	-8.32459*	-8.243	-7.736	4	1987, 1994, 2004, 2012
LNYEK	-5.92273	-8.243	-7.736	4	1988, 1998, 2006, 2013
LNEB	-6.01539	-9.039	-8.343	5	1987, 1993, 2000, 2007, 2014
LNEBK	-5.9561	-9.039	-8.343	5	1987, 1993, 2000, 2007, 2014
ΔLNYEK	-10.8759*	-9.039	-8.343	5	1988, 1995, 2001, 2009, 2014
ΔLNEB	-8.90523**	-9.039	-8.343	5	1989, 1994, 2001, 2009, 2017
ΔLNEBK	-8.86647	-9.039	-8.343	5	1989, 1994, 2001, 2009, 2017

Not: * ve ** sırasıyla %1, %5 anlamlılık seviyelerini ifade etmektedir.

Tablo 3 ve 4’teki birim kök analiz sonuçları değerlendirildiğinde, tüm değişkenler ya düzeyde $I(0)$ ya da birinci farkla $I(1)$ durağan oldukları, ikinci farkta $I(2)$ durağan olmadıkları tespit edilmiştir. Seriler durağanlıkla ilgili koşulu sağladığı için sonraki aşama olan eş bütünleşme aşamasına geçilmiştir.

6.2. Eşbütünleşme Analizi

Serinin durağanlığı belirlendikten sonra, değişkenler arasında uzun dönemde eş bütünleşme ilişkisi olup olmadığını ortaya kayabilmek için Kesirli Fourier ARDL Sınır Testi kullanılmıştır. Model 1, Model 2 ve Model 3 için optimal gecikme uzunlukları, uygun frekans değerleri, üç testin (FA, FB, t) istatistik değerleri ve kritik değerleri Tablo 5’te raporlanmaktadır.

Tablo: 5
Fourier Terimleri ile Eş Bütünleşme Test Sonuçları

Modeller	Gecikme Uzunluğu	K*	Test İstatistikleri	Üst Kritik Değerler $I(1)$		
				%1	%5	%10
Model 1 $\ln CO_2 = f(\ln FEV, \ln Yek, \ln EB, \ln EBK)$	1, 0, 0, 0, 1	1.33	FA	35.120**	6.25	4.54
			t	-9.22**	-4.60	-3.99
			FB	34.07**	6.39	4.54
Model 2 $\ln EF = f(\ln FEV, \ln Yek, \ln EB, \ln EBK)$	1, 0, 0, 1, 0	3.69	FA	14.853**	5.72	4.57
			t	-7.89**	-4.96	-4.36
			FB	11.794**	6.55	4.54
Model 3 $\ln LCF = f(\ln FEV, \ln Yek, \ln EB, \ln EBK)$	2, 0, 2, 2, 2	3.61	FA	8.137**	6.25	4.54
			t	-4.728**	-4.60	-3.99
			FB	7.587**	6.63	4.67

Not: * Model 1 ve Model 3 AIC bilgi kriterine göre, Model 2 SC bilgi kriterine göre belirlenen uygun frekans değerini, ** %1 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 5’teki verilere göre, uygun frekans değerleri Model 1, Model 2 ve Model 3 için kesirli olarak hesaplanmıştır. Frekans değerinin kesirli olarak bulunması kırılmaların kalıcı olduğunu göstermektedir. Tam eş bütünleşme olabilmesi için her üç test istatistiğinin de üst sınır kritik değerlerini aşması gerekmektedir. Her üç model içinde FA, t, FB test istatistikleri kritik değerlerden mutlak olarak büyük olduğu tespit edilmiştir. Buna göre her üç model için de, FA, t ve FB test istatistiğinin %1 düzeyinde istatistiki olarak anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bu sonuç değişkenler arasında uzun dönemde eşbütünleşme ilişkisi olduğunu kanıtlamaktadır. Diğer bir ifade ile Türkiye ekonomisinde $\ln FEV$, $\ln YEK$, $\ln EB$ ve $\ln EBK$ bağımsız değişkenlerinin $\ln CO_2$, $\ln EF$ ve $\ln LCF$ bağımlı değişkenleri

üzerindeki etkisini doğrulamaktadır. Bu ampirik bulgular, politika yapıcılarının yenilenemez enerji verimliliğini artırmaya yönelik önlemler almasına, yenilenebilir enerji tüketimini teşvik etmesine ve çevresel sürdürülebilirliği artırmak için yenilikçi enerji politikası yol haritaları oluşturmaya yardımcı olabilir.

Tablo: 6
Diagnostik Testler

	CO2	EF	LCF	Karar*
Serial Correlation	0.056321 (0.9453)	0.157078 (0.8554)	0.905197 (0.4190)	✓
Ramsey Reset	2.343032 (0.1363)	2.618927 (0.1164)	4.578802 (0.0532)	✓
Jarque-Bera	5.438107 (0.0660)	3.739328 (0.1541)	0.172369 (0.91743)	✓
White	1.096476 (0.3919)	0.557267 (0.8204)	0.727130 (0.7286)	✓
ARCH	1.528889 (0.2241)	0.093338 (0.7617)	0.969942 (0.3313)	✓
Cusum**	İstikrarlı	İstikrarlı	İstikrarlı	✓
Cusumsq**	İstikrarlı	İstikrarlı	İstikrarlı	✓

Not: Parantez içerisindeki rakamlar olasılık değerlerini ifade etmektedir.

*: ✓ işareti tanı testlerinin sorunsuz olduğunu göstermektedir.

** : Grafik 5'e bakınız.

ARDL modeli, sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak için bir dizi tanısal test sonuçları Tablo 6’da raporlanmıştır. Tablo 6’daki veriler değerlendirildiğinde, kurulan modelin tanı testlerinden geçtiği görülmektedir. ARDL modellerinde katsayıların kararlılığı Brown vd. (1975) tarafından geliştirilen CUSUM ve CUSUM-SQ testleri kullanılarak analiz edilmektedir. Grafik 5’te CUSUM ve CUSUM-SQ sunulmaktadır.

Grafik: 5
CUSUM ve CUSUM-SQ



Kesirli Fourier fonksiyonlu ARDL modelinde sınır testi sonuçlarına göre seriler arasında eş bütünleşik bir ilişki var olduğu için, seçilen ARDL modelinin kısa ve uzun dönem tahminlerinin sonuçları Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo: 7
Kısa ve Uzun Dönem Katsayılar (Fourier Terimleriyle Birlikte)

Seriler		CO2		EF		LCF	
		Katsayı	Olasılık	Katsayı	Olasılık	Katsayı	Olasılık
Uzun Dönem	lnFEV	-1.032*	0.000	-0.269**	0.048	0.694*	0.000
	lnYEK	-0.204*	0.000	-0.077*	0.000	0.104*	0.000
	lnEB	5.738**	0.014	6.227*	0.000	-3.640*	0.007
	lnEBK	-0.258**	0.043	-0.308*	0.001	0.156**	0.036
Dönüm Noktası		67,440 \$		24,532 \$		116,477 \$	
Kısa Dönem	ECT _{t-1}	-0.846*	0.000	-0.985*	0.000	-0.889*	0.000

Not: *, ** ve *** yıldız işaretleri sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı temsil etmektedir.

Tablo 7’deki veriler incelendiğinde, uzun dönem katsayılarına göre, EKC hipotezi CO2 ve EF için geçerlidir. Gelir düzeyi ile bu iki çevresel kirletici arasında ters U şeklinde bir ilişki vardır. Çalışmanın sonuçları Haug ve Ucal (2019), Pata (2019), Cetin vd. (2018), Bölük ve Mert (2015), Halicioğlu (2009). Seker vd. (2015) çalışmaları ile uyumludur. Çevresel kalite, kişi başına düşen gelir yıllık olarak CO2 için 67.440 \$, EF için 24.532 dolara

ulaşana kadar azalması, söz konusu değerlere ulaştıktan sonra ise çevresel kalite artması beklenmektedir. Dolayısı ile söz konusu değerler dönüm noktası olarak ifade edilmektedir. TÜİK verilerine göre Türkiye'de 2023 yılı itibarı ile kişi başına düşen milli gelir 13.110 \$ ile dönüm noktası değerlerinin oldukça gerisinde kalmaktadır. Diğer bir ifade ile Türkiye henüz çevresel kaliteyi artıracak gelir düzeyine ulaşamamıştır. Ayrıca çalışmada ulaşılan bulgular lnEB katsayısının pozitif, lnEBK katsayısı negatif ve anlamlı olduğu için LCC hipotezinin geçerli olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmanın sonuçları Dam ve Sarkodie (2023), Afshan ve Yagoob (2023), Güneysu (2023) çalışmaları ile örtüşmektedir.

Yenilenemez enerji verimliliği, Türkiye'nin CO₂ ile EF'sini azaltmak ve LCF'yi artırmak için etkili bir politika aracıdır. Kesirli Fourier ARDL modeli sonuçları, yenilenemez enerji verimliliğindeki %1'lik artışın uzun dönemde CO₂ ve EF'yi sırasıyla %1.032 ve %0.376 oranında azaltabileceğini göstermektedir. Aynı şekilde yenilenemez enerji verimliliğindeki %1'lik artışın uzun dönemde LCF'yi 0.694 oranında artırabilir. Çalışmanın sonuçları Özübuğday ve Erbas (2015), Tajudeen vd. (2018), Akram vd. (2020), Kazemzadeh vd. (2022), Jahanger vd. (2023), Zhou vd. (2023), Chen vd. (2024) çalışmaları ile uyumludur.

Yenilenebilir enerji kullanımının uzun vadede CO₂, EF, LCF göz önünde bulundurulduğunda çevre kalitesi üzerinde etkisinin olduğu görülmektedir. Kesirli Fourier Genişletilmiş ARDL modeli sonuçları, yenilenebilir enerji kullanımındaki %1'lik artışın uzun dönemde CO₂ ve EF'yi sırasıyla %0.204 ve %0.0830 oranında azaltabileceğini göstermektedir. Aynı şekilde yenilenebilir enerji kullanımındaki %1'lik artışın uzun dönemde LCF'yi 0.104 oranında artırabilir. Yenilenebilir enerjinin CO₂, EF ve LCF açısından çevre kalitesi üzerinde uzun vadeli bir etkisi düşük düzeydedir. Türkiye'nin toplam enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin payı 1982 yılında %24.37 iken fosil bazlı enerji tüketimindeki artışın etkisiyle azalarak 2020 yılında %13.72 düzeyine düşmüştür (WDI, 2022). Türkiye, yenilenebilir enerjinin toplam enerji kullanımındaki payını 2035 yılına kadar %23,7'ye çıkarmak istemektedir (UEP, 2022: 19). Araştırmanın sonuçları, Türkiye'de yenilenebilir enerjinin çevre kalitesi üzerinde pozitif etkisi olduğunu göstermektedir ve bu sonuç Türkiye gibi gelişmekte olan pek çok ülkenin sonuçlarıyla da örtüşmektedir.

Araştırma, Hata Düzeltme Teriminin (ECT) test edilen tüm modellerde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif olduğunu göstermektedir. Bu da çevresel göstergeler ile diğer sistem faktörleri arasında uzun dönem ilişkisinin varlığına işaret etmektedir. Özellikle, CO₂, EF ve LCF'nin bağımlı değişkenler olarak eklendiği modellerde ECT 0 ile -1 arasında değişmektedir. Bu, uzun dönem denge seviyesinden herhangi bir sapmanın, sistem farklı değişkenler arasındaki dengeyi yeniden kurmak için ayarlandıkça kısa dönemde düzeltilebileceğini göstermektedir.

CCR ve DOLS yöntemlerini kullanarak uzun vadeli katsayıların sağlamlığı test edilmektedir. Sonuçlar Tablo 8'de raporlanmaktadır.

Tablo: 8
FMOLS ve CCR Sonuçları

Model	CO2		EF		LCF	
	Katsayı	Olasılık	Katsayı	Olasılık	Katsayı	Olasılık
FMOLS						
lnFEV	-0.816	0.000	-0.348	0.018	0.696	0.000
lnYEK	-0.069	0.000	-0.086	0.001	0.110	0.000
lnEB	4.498	0.000	8.240	0.000	-4.95	0.000
lnEBK	-0.209	0.000	-0.398	0.000	0.286	0.000
Dönüm Noktası	47.082 \$		31.278 \$		86.172 \$	
CCR						
lnFEV	-1.003	0.000	-0.075	0.005	0.688	0.000
lnYEK	-0.106	0.000	-0.021	0.000	0.111	0.000
lnEB	4.896	0.000	6.576	0.000	-3.091	0.001
lnEBK	-0.222	0.005	-0.304	0.000	0.134	0.023
Dönüm Noktası	61.444 \$		49.745 \$		101.965 \$	

Tablo 8’deki verilere göre FMOLS ve CCR sonuçları ARDL katsayılarıyla tutarlıdır.

6.3. Nedensellik Analizi

Son olarak, kesirli frekans ile Fourier Toda-Yamamoto nedensellik testi sonuçları Tablo 5’te raporlanmaktadır.

Tablo: 9
Fourier Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Sonuçları

H_0 Hipotez	Wald ist.	Asymptotic p	Bootstrap p	g	k
Model 1					
FEV/→ CO2	0.354	0.552	0.560	1	0.8
YEK/→ CO2	0.226	0.634	0.640	1	0.8
EB/→ CO2	0.030	0.882	0.880	1	0.8
CO2/→ FEV	0.209	0.650	0.651	1	0.8
CO2/→ YEK	0.160	0.690	0.690	1	0.8
CO2/→ EB				1	0.8
Model 2					
FEV/→ EF	3.326	0.068*	0.081*	1	0.8
YEK/→ EF	0.410	0.522	0.528	1	0.8
EB/→ EF	2.965	0.085	0.097	1	0.8
EF/→ FEV	2.087	0.149	0.161	1	0.8
EF/→ YEK	2.833	0.092	0.105	1	0.8
EF/→ EB	9.817	0.002***	0.005***	1	0.8
Model 3					
FEV/→ LCF	3.792	0.052*	0.061*	1	0.8
YEK/→ LCF	0.103	0.749	0.751	1	0.8
EB/→ LCF	2.819	0.093	0.102	1	0.8
LCF/→ FEV	4.545	0.033**	0.044**	1	0.8
LCF/→ YEK	0.032	0.858	0.867	1	0.8
LCF/→ EB	2.533	0.111	0.125	1	0.8

Not: *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 düzeyinde anlamlılık göstermektedir. 10.000 adet bootstrap simülasyonu ile analizler yapılmıştır. P; olasılık değerini, g; gecikme sayısını, k; uygun frekans değerini ifade eder.

Tablo 9’da yer alan nedensellik analiz sonuçlarına göre, Model 1’de herhangi bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir. Model 2’de yenilenemez enerji verimliliğinden ekolojik ayak izine doğru, ekolojik ayak izinden de ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Model 3’te yenilenemez enerji verimliliğinden yük kapasitesi faktörüne doğru çift yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. FEV ile LCF arasında çift yönlü nedensellik ilişkisinin olması yenilenemez enerji verimliliğinin çevre kalitesinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Yenilenebilir enerji kullanımının üç

çevresel gösterge ile nedensel bir ilişkisi yoktur. Bu durum yenilenebilir enerji tüketiminin çevresel kalite göstergelerini düşük düzeyde etkilediğini ifade etmektedir. Bu da mevcut yenilenebilir enerji tüketiminin Türkiye'deki çevre sorunlarını çözmek için yeterli olmadığını göstermektedir.

7. Sonuç

Çalışmada, EKC ve LCC hipotezlerinin Türkiye için geçerli olup olmadığı çeşitli zaman serisi yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kullanımı ve gelirin çevresel göstergeler üzerindeki etkisini analiz etmek için Fourier genişletilmiş ARDL modeli uygulanmıştır.

Analiz sonuçlarına göre yenilenemeyen kaynaklardan sağlanan enerjinin verimli kullanılması uzun dönemde çevre kalitesini iyileştirmektedir. Yenilenemeyen enerji verimliliğinin %1 artması CO₂'yi %1.032, EF'yi %0.269 azaltmakta, LCF'yi ise %0.694 artırmaktadır. Fourier Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Sonuçlarına göre yenilenemez enerji verimliliğinden ekolojik ayak izine doğru tek yönlü, yük kapasitesi faktörüne doğru çift yönlü nedensellik ilişkisinin olması yenilenemez enerji verimliliğinin çevre kalitesinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması uzun dönemde çevresel kaliteyi olumlu etkilemektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı %1 arttığında CO₂'yi %0.204, EF'yi %0.077 azaltmakta, LCF'yi ise %0.104 artırmaktadır. Ancak yenilenebilir enerji kullanımı ile CO₂, EF ve LCF arasından bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir. Bu durum, mevcut yenilenebilir enerji tüketiminin Türkiye'nin çevre sorunlarının çözümünde yetersiz olduğunu ve yenilenebilir enerji kullanımının çevre kalitesinin iyileştirilmesinde itici bir güç olmadığını göstermektedir. Ayrıca Türkiye'de kişi başına düşen gelirin çevresel bozulmayı azaltabileceği tespit edilmiştir. Bu tespit EKC ve LCC hipotezlerinin Türkiye için geçerli olduğunu ortaya koymaktadır. CO₂ emisyonları ve EF için dönüm noktaları sırası ile yıllık olarak kişi başına 67.440 \$ ve 24.532 \$ dolar olarak hesaplanmıştır. Yük kapasitesi faktörü için bu değer 116.477 \$ olarak hesaplanmıştır. Tüm dönüm noktaları Türkiye'nin kişi başına düşen gelir seviyesinin (2023 yılı itibarıyla 13.110\$) üzerinde olduğundan, ülke ekonomisi büyüdükçe kirlilik artmaya devam etmektedir. CO₂ ve EF'nin azalması kişi başına düşen milli gelirin artmasına bağlı olarak sonraki yıllarda mümkün olacaktır. Tam aksine LCF hem CO₂'yi hem EF'yi hem de biyokapasiteyi de kapsadığı için diğer iki çevresel göstergeye göre daha yüksek gelir seviyesi gerekmektedir. Yenilenemez enerji verimliliğinin ve yenilenebilir enerji kullanımının artması çevre kalitesini iyileştirebilecek enerji kaynaklarıdır. Ancak yenilenebilir enerji kullanımı fosil yakıtlara dayalı yenilenemez enerji verimliliğine göre çevre kalitesini artırma etkisi düşük düzeyde kalmaktadır.

Ulaşılan ekonometrik bulgular politika yapıcıları için yol gösterici olabilir. Bu doğrultuda çalışma politika yapıcılarına bazı öneriler sunmaktadır.

- Ekonomik büyüme çevresel sürdürülebilirliği bozmaktadır. Bu nedenler politika yapıcılar, yeşil büyümeye geçiş için yeşil teknolojilere yapılan yatırımları teşvik

etmelidirler. Dolayısıyla ekonomik faaliyetler uygun teşviklerle daha çevre dostu girişimlere kaydırılmalıdır.

- Türkiye çevresel kaliteyi artırmak için gerekli olan dönüm noktalarındaki kişi başına düşen milli gelir seviyelerinden uzak olduğu ülkenin için gelir düzeyini artıracak çevreye duyarlı kalkınma stratejileri geliştirilmelidir.
- Yenilenebilir enerji Türkiye’de çevresel kalitenin artırılmasında ve çevresel bozulmanın önlenmesinde etkili bir araçtır. Sürdürülebilir bir çevre elde etmek için yenilenebilir enerjinin toplam enerji içerisindeki payı artırılmalıdır. Bunu yapmak için politika yapıcılar, yenilenebilir enerji yatırımlarını çekmek için yerli ve yabancı yatırımcılara sübvansiyonlar, vergi teşvikleri, gibi etkili politikalar uygulamalıdır.
- Bulgular yenilenemeyen enerji verimliliğinin artırılmasının çevresel kaliteyi artırarak çevresel sürdürülebilirliği desteklemeye yardımcı olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, politika yapıcılar, yenilenemeyen enerjinin verimli kullanımını teşvik etmeyi amaçlayan politikalar oluşturmalarıdır. Bu, farkındalık kampanyaları ve ülke enerjisinin son kullanıcıları olan hane halklarının, işletmelerin ve endüstrilerin eğitilmesi yoluyla gerçekleştirilebilir.
- Çevresel kalitenin artması için çevreyi kirleten fosil kaynaklı enerjiye alternatif kaynaklar geliştirilmelidir. Bu bağlamda yenilenebilir enerjinin yanında çevresel kaliteyi artıran nükleer enerji santrallerine yapılan yatırımlar artırılmalıdır. Bu alanlarda yapılan yatırımlar Türkiye’nin artan enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji ve nükleer enerji ile karşılanması, bu enerjilerin fosil yakıtların yerine kullanılması enerji ithalatına olan bağımlılığın azalmasına yardımcı olabilir. İthalata bağımlılığın azalmasıyla sağlanacak kaynakları yeşil ekonomik kalkınma stratejilerin geliştirilmesinde kullanılabilir.

Araştırmanın politika açısından önemine rağmen zayıf yönleri gelecekteki çalışmalarda geliştirilebilir. Bu çalışmanın bulguları, kullanılan değişkenler, uygulanan ekonometrik yöntemler, zaman dilimi ve farklı ekonomik özellikler nedeniyle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için uygun olmayabilir. Bu nedenle, benzer çalışmaların hem gelişmiş hem de gelişmekte olan diğer ülkeler için de yapılması önerilmektedir. Bu sayede, yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji verimliliğinin dünya çapında çevresel sürdürülebilirliği sağlamaya yönelik nasıl çalıştığına dair kapsamlı bulgular elde edilebilir.

Kaynaklar

- Abou Houran, M. & U. Mehmood (2023), "How institutional quality and renewable energy interact with ecological footprints: Do the human capital and economic complexity matter in the Next Eleven nations?", *Environmental Science and Pollution Research*, DOI: 10.1007/s11356-023-26744-5.
- Acaroğlu, H. et al. (2023), "Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis in Terms of Ecological Footprint and CO2 Emissions through Energy Diversification for Turkey", *Environmental Science and Pollution Research*, 30(22), 63289-63304.

- Afshan, S. & T. Yaqoob (2023), "Unravelling the Efficacy of Green Innovation and Taxation in Promoting Environmental Quality: A Dual-model Assessment of Testing the LCC Theory in Emerging Economies", *Journal of Cleaner Production*, 416, 137850.
- Ahmed, K. & W. Long (2012), "Environmental Kuznets Curve and Pakistan: an Empirical Analysis", *Procedia Economics and Finance*, 1, 4-13.
- Ahmed, Z. et al. (2021), "Economic Growth, Renewable Energy Consumption, and Ecological Footprint: Exploring the Role of Environmental Regulations and Democracy in Sustainable Development", *Sustainable Development*, 30(4), 595-605.
- Akbar, M. et al. (2022), "Role of Fiscal Policy in Energy Efficiency and CO2 Emission Nexus: an Investigation of Belt and Road Region", *Journal of Public Affairs*, 22(4), e2603.
- Akbostancı, E. et al. (2009), "The Relationship Between Income and Environment in Turkey: Is There an Environmental Kuznets Curve?", *Energy Policy*, 37(3), 861-867.
- Akram, R. et al. (2020), "Heterogeneous Effects of Energy Efficiency and Renewable Energy on Carbon Emissions: Evidence from Developing Countries", *Journal of Cleaner Production*, 247, 119122.
- Ali, M.U. et al. (2021), "Fossil Energy Consumption, Economic Development, Inward FDI Impact on CO2 Emissions in Pakistan: Testing EKC Hypothesis through ARDL Model", *International Journal of Finance & Economics*, 26(3), 3210-3221.
- Alnour, M. & H. Atik (2021), "The Dynamic Implications of Globalization and Renewable Energy in Turkey: Are They Vital for Environmental Sustainability? An Svar Analysis", *Bilgi*, 23(2), 288-314.
- Alola, A.A. et al. (2023), "Role of Non-Renewable Energy Efficiency and Renewable Energy in Driving Environmental Sustainability in India: Evidence from the Load Capacity Factor Hypothesis", *Energies*, 16(6), 2847.
- Aslam, B. et al. (2021), "The Nexus of Industrialization, GDP Per Capita and CO2 Emission in China", *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101674.
- Awan, A. et al. (2022), "Revisiting Global Energy Efficiency and CO2 Emission Nexus: Fresh Evidence from the Panel Quantile Regression Model", *Environmental Science and Pollution Research*, 29(31), 47502-47515.
- Aytaç, D. & M.C. Güran (2010), "Kamu Harcamalarının Bileşimi Ekonomik Büyümeyi Etkiler mi? Türkiye Ekonomisi için Bir Analiz", *Sosyoekonomi*, 13(13), 129-152.
- Balaguer, J. & M. Cantavella (2016), "Estimating the Environmental Kuznets Curve for Spain by Considering Fuel Oil Prices (1874-2011)", *Ecological Indicators*, 60, 853-859.
- Bashir, M.F. et al. (2020), "The Nexus Between Environmental Tax and Carbon Emissions with The Roles of Environmental Technology and Financial Development", *Plos One*, 15(11), e0242412.
- Bataille, C. & N. Melton (2017), "Energy Efficiency and Economic Growth: A Retrospective CGE Analysis for Canada from 2002 to 2012", *Energy Economics*, 64, 118-130.
- Bölük, G. & M. Mert (2015), "The Renewable Energy, Growth and Environmental Kuznets Curve in Turkey: an ARDL Approach", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 587-595.
- Brown, R.L. et al. (1975), "Techniques for Testing the Constancy of Regression Relationships over Time", *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 37(2), 149-163.

- Can, G. & F. Kılıç (2022), “Türkiye’de Sanayileşme ve Kentleşmenin Çevresel Tahrifat Üzerindeki Etkisi: ARDL Sınır Testi Yaklaşımı”, *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 17(2), 66-76.
- Cetin, M. et al. (2018), “The Impact of Economic Growth, Energy Consumption, Trade Openness, and Financial Development on Carbon Emissions: Empirical Evidence from Turkey”, *Environmental Science and Pollution Research*, 25(36), 36589-36603.
- Chen, W. et al. (2024), “The Need for Energy Efficiency and Economic Prosperity in a Sustainable Environment”, *Gondwana Research*, 127, 22-35.
- Christopoulos, D.K. & M.A. Leon-Ledesma (2011), “International Output Convergence, Breaks, and Asymmetric Adjustment”, *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 15(3), <https://doi.org/10.2202/1558-3708.1823>
- Çağlar, A.E. et al. (2023), “Assessing the Connection Between Competitive Industrial Performance on Load Capacity Factor within the LCC Framework: Implications for Sustainable Policy in BRICS Economies”, *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 67197-67214.
- Dai, J. et al. (2023), “Assessing the Nexus Between Human Capital, Green Energy, and Load Capacity Factor: Policymaking for Achieving Sustainable Development Goals”, *Gondwana Research*, 129, 452-464.
- Dam, M.M. & S.A. Sarkodie (2023), “Renewable Energy Consumption, Real Income, Trade Openness, and Inverted Load Capacity Factor Nexus in Türkiye: Revisiting the EKC Hypothesis with Environmental Sustainability”, *Sustainable Horizons*, 8, 100063.
- Destek, M. & A. Sinha (2020), “Renewable, Non-Renewable Energy Consumption, Economic Growth, Trade Openness and Ecological Footprint: Evidence From Organisation for Economic Co-Operation and Development Countries”, *MPRA Paper* 104246.
- Dogan, A. & U.K. Pata (2022), “The Role of ICT, R&D Spending and Renewable Energy Consumption on Environmental Quality: Testing the LCC Hypothesis for G7 Countries”, *Journal of Cleaner Production*, 380, 135038.
- Dong, K. et al. (2018), “CO2 Emissions, Economic Growth, and the Environmental Kuznets Curve in China: What Roles can Nuclear Energy and Renewable Energy Play?”, *Journal of Cleaner Production*, 196, 51-63.
- Esteve, V. & C. Tamarit (2012), “Threshold Cointegration and Nonlinear Adjustment Between CO2 and Income: the Environmental Kuznets Curve in Spain 1857-2007”, *Energy Economics*, 34(6), 2148-2156.
- Fakher, H.A. et al. (2023), “Renewable Energy, Nonrenewable Energy, and Environmental Quality Nexus: An Investigation of the N-Shaped Environmental Kuznets Curve Based on Six Environmental Indicators”, *Energy*, 263, 125660.
- Grossman, G.M. & A.B. Krueger (1991), “Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement”, *NBER*, 3914.
- Güloğlu, B. et al. (2023), “Analyzing the Determinants of the Load Capacity Factor in OECD Countries: Evidence from Advanced Quantile Panel Data Methods”, *Gondwana Research*, 118, 92-104.
- Güneysu, Y. (2023), “Türkiye’de Finansal gelişme, Küreselleşme ve Sanayileşmenin Yük Kapasite Faktörü Üzerindeki Etkisi”, *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(3), 934-946.

- Halicioglu, F. (2009), "An Econometric Study of CO2 Emissions, Energy consumption, Income and Foreign Trade in Turkey", *Energy Policy*, 37(3), 1156-1164.
- Hasan, M.A. et al. (2022), "Nexus of Economic Growth, Energy Consumption, FDI and Emissions: A Tale of Bangladesh", *Environment, Development and Sustainability*, 24, 6327-6348.
- Haug, A.A. & M. Ucal (2019), "The Role of Trade and FDI for CO2 Emissions in Turkey: Nonlinear Relationships", *Energy Economics*, 81, 297-307.
- Huilan, W. et al. (2024), "Impact of trade liberalization and renewable energy on load capacity factor: Evidence from novel dual adjustment approach", *Energy & Environment*, 35(2), 795-814.
- Islam, M. et al. (2023), "Economic Growth and Environmental Pollution Nexus in Bangladesh: Revisiting the Environmental Kuznets Curve Hypothesis", *International Journal of Environmental Studies*, 80(1), 68-92.
- Jahanger, A. et al. (2023), "Analyzing the N-shaped EKC Among top Nuclear Energy Generating Nations: A Novel Dynamic Common Correlated Effects Approach", *Gondwana Research*, 116, 73-88.
- Jalil, A. & S.F. Mahmud (2009), "Environment Kuznets Curve for CO2 Emissions: a Cointegration Analysis for China", *Energy Policy*, 37(12), 5167-5172.
- Jiang, Q. et al. (2021). Measuring the Simultaneous Effects of Electricity Consumption and Production on Carbon Dioxide Emissions (CO₂e) in China: New Evidence from an EKC-Based Assessment", *Energy*, 229, 120616.
- Joof, F. et al. (2023), "Climate Change, Insurance Market, Renewable Energy, and Biodiversity: Double-Materiality Concept from BRICS Countries", *Environmental Science and Pollution Research*, 30(11), 28676-28689.
- Kamacı, A. (2024), "Küreselleşme, Hidroelektrik Enerji, Ekonomik Büyüme, CO2 Emisyonları ve Ekolojik Ayak İzi İlişkisinin ABD için Analizi: Kesirli Fourier ADL Eşbütünlüşme Yöntemi", *Sosyoekonomi*, 32(59), 249-267.
- Karaaslan, A. & S. Çamkaya (2022), The Relationship Between CO2 Emissions, Economic Growth, Health Expenditure, and Renewable and Non-Renewable Energy Consumption: Empirical Evidence from Turkey", *Renewable Energy*, 190, 457-466.
- Kazemzadeh, E. et al. (2022). Do Energy Efficiency and Export Quality Affect the Ecological Footprint in Emerging Countries? A Two-Step Approach Using the SBM-DEA Model and Panel Quantile Regression", *Environment Systems and Decisions*, 42(4), 608-625.
- Koçak, E. (2024a), "Yenilenebilir Enerjinin Ekolojik Ayak İzi Üzerine Etkisi: Türkiye Örneği", *Politik Ekonomik Kuram*, 8(1), 256-265.
- Koçak, E. (2024b), "Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Geçerli Mi? AB Ülkelerinden Kanıtlar", *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 23(2), 654-666.
- Lau, L.S. et al. (2014), "Investigation of the Environmental Kuznets Curve for Carbon Emissions in Malaysia: do Foreign Direct Investment and Trade Matter?", *Energy Policy*, 68, 490-497.
- Li, L. et al. (2023), "Analyzing the Validity of Load Capability Curve: how Economic Complexity, Renewable Energy, R&D, and Communication Technologies Take their part in G-20 Countries", *Environmental Science and Pollution Research*, 30(40), 92068-92083.
- Lise, W. (2006), "Decomposition of CO2 Emissions over 1980-2003 in Turkey", *Energy Policy*, 34(14), 1841-1852.

- Malik, M.Y. et al. (2020), "Symmetric and Asymmetric Impact of Oil Price, FDI and Economic Growth on Carbon Emission in Pakistan: Evidence from ARDL and Non-linear ARDL Approach", *Science of the Total Environment*, 726, 138421.
- McNown, R. et al. (2018), "Bootstrapping the Autoregressive Distributed Lag Test for Cointegration", *Applied Economics*, 50(13), 1509-1521.
- Mehraeein, M. et al. (2021), "Dynamic Impact of Macroeconomic Variables on the Ecological Footprint in Malaysia: Testing EKC and PHH", *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 8(5), 583-593.
- Mert, M. & G. Bölük (2016), "Do Foreign Direct Investment and Renewable Energy Consumption Affect the CO2 Emissions? New Evidence from a Panel ARDL Approach to Kyoto Annex Countries", *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 21669-21681.
- Murshed, M. et al. (2021), "The Environmental Kuznets Curve Hypothesis for Deforestation in Bangladesh: An ARDL Analysis with Multiple Structural Breaks", *Energy, Ecology and Environment*, 6(2), 111-132.
- Nadeem, A.M. et al. (2020), "Relationship Between Inward FDI and Environmental Degradation for Pakistan: An Exploration of Pollution haven Hypothesis through ARDL Approach", *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 15407-15425.
- Narayan, P.K. (2005), "The Saving and Investment Nexus for China: Evidence from Cointegration Tests", *Applied Economics*, 37(17), 1979-1990.
- Nasir, M. & F.U. Rehman (2011), "Environmental Kuznets Curve for Carbon Emissions in Pakistan: an Empirical Investigation", *Energy Policy*, 39(3), 1857-1864.
- Nathaniel, S.P. et al. (2021), "Natural Resource Abundance, Renewable Energy, and Ecological Footprint Linkage in MENA Countries", *Estudios de Economía Aplicada*, 39(2), 9.
- Ozturk, I. & A. Acaravci (2010), "CO2 Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3220-3225.
- Özbuğday, F.C. & B.C. Erbas (2015), "How Effective are Energy Efficiency and Renewable Energy in Curbing CO2 Emissions in the Long run? A Heterogeneous Panel Data Analysis", *Energy*, 82, 734-745.
- Özpolat, A. & F.N. Özsoy (2021), "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Çevresel Bozulmayı Azaltıyor mu? Türkiye Örneği", *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD)*, 13(24), 49-60.
- Pata, U.K. & A.E. Caglar (2021), "Investigating the EKC Hypothesis with Renewable Energy Consumption, Human Capital, Globalization and Trade Openness for China: Evidence From Augmented ARDL Approach with a Structural Break", *Energy*, 216, 119220.
- Pata, U.K. & B. Tanriover (2023), "Is the Load Capacity Curve Hypothesis Valid for the Top Ten Tourism Destinations?", *Sustainability*, 15(2), 960.
- Pata, U.K. & M. Aydin (2020), "Testing the EKC Hypothesis for the Top Six Hydropower Energy-Consuming Countries: Evidence from Fourier Bootstrap ARDL Procedure", *Journal of Cleaner Production*, 264, 121699.
- Pata, U.K. & M.T. Kartal (2023), "Impact of Nuclear and Renewable Energy Sources on Environment Quality: Testing the EKC and LCC Hypotheses for South Korea", *Nuclear Engineering and Technology*, 55(2), 587-594.

- Pata, U.K. (2018), "Renewable Energy Consumption, Urbanization, Financial Development, Income and CO2 Emissions in Turkey: Testing EKC Hypothesis with Structural Breaks", *Journal of Cleaner Production*, 187, 770-779.
- Pata, U.K. (2019), "Environmental Kuznets Curve and Trade Openness in Turkey: Bootstrap ARDL Approach with a Structural Break", *Environmental Science and Pollution Research*, 26(20), 20264-20276.
- Pata, U.K. (2021), "Renewable and Non-Renewable Energy Consumption, Economic Complexity, CO2 Emissions, and Ecological Footprint in the USA: Testing the EKC Hypothesis with a Structural Break", *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 846-861.
- Pata, U.K. et al. (2023a), "The Role of Renewable and Nuclear Energy R&D Expenditures and Income on Environmental Quality in Germany: Scrutinizing the EKC and LCC Hypotheses with Smooth Structural Changes", *Applied Energy*, 342, 121138.
- Pata, U.K. et al. (2023b), "Empirical Considerations on the Reciprocal Relationship Between Energy Efficiency and Leading Variables: New Evidence from OECD Countries", *Energy and Buildings*, 284, 112857.
- Pesaran, M.H. et al (2001), "Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships", *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326.
- Polat, M.A. & S. Ergün (2023), "Türkiye’de Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Ekonomik Büyüme ve Farklı Küreselleşme Türleri Bakımından Analizi", *İstanbul İktisat Dergisi*, 73(1), 107-142.
- Raggad, B. (2018), "Carbon Dioxide Emissions, Economic Growth, Energy Use, and Urbanization in Saudi Arabia: Evidence from the ARDL Approach and Impulse Saturation Break Tests", *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 14882-14898.
- Saadaoui, H. (2022), "The Impact of Financial Development on Renewable Energy Development in the MENA Region: the Role of Institutional and Political Factors", *Environmental Science and Pollution Research*, 29(26), 39461-39472.
- Saboori, B. et al. (2012), "Economic Growth and CO2 Emissions in Malaysia: a Cointegration Analysis of the Environmental Kuznets Curve", *Energy Policy*, 51, 184-191.
- Saqib, N. et al. (2023), "Pollution Haven or Halo? How European Countries Leverage FDI, Energy, and Human Capital to Alleviate their Ecological Footprint", *Gondwana Research*, 116, 136-148.
- Seker, F. et al. (2015), "The Impact of Foreign Direct Investment on Environmental Quality: a Bounds Testing and Causality Analysis for Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 347-356.
- Shahbaz, M. et al. (2012), "Environmental Kuznets Curve Hypothesis in Pakistan: Cointegration and Granger Causality", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2947-2953.
- Sharif, A. et al. (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.
- Shokoohi, Z. et al. (2022), "Energy Intensity, Economic Growth and Environmental Quality in Populous Middle East Countries", *Energy*, 239, 122164.
- Sinha, A. & M. Shahbaz (2018), "Estimation of Environmental Kuznets Curve for CO2 Emission: Role of Renewable Energy Generation in India", *Renewable Energy*, 119, 703-711.

- Solarin, S.A. (2019), "Modelling the Relationship Between Financing by Islamic Banking System and Environmental Quality: Evidence from Bootstrap Autoregressive Distributive lag with Fourier Terms", *Quality & Quantity*, 53(6), 2867-2884.
- Sreenu, N. (2022), "Impact of FDI, Crude Oil Price and Economic Growth on CO2 Emission in India: Symmetric and Asymmetric Analysis Through ARDL and Non-linear ARDL Approach", *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42452-42465.
- Suki, N.M. et al. (2020), "Revisiting the Environmental Kuznets Curve in Malaysia: the Role of Globalization in Sustainable Environment", *Journal of Cleaner Production*, 264, 121669.
- Tajudeen, I.A. et al. (2018), "How Significant is Energy Efficiency to Mitigate CO2 Emissions? Evidence from OECD Countries", *Energy Economics*, 72, 200-221.
- Tsiantikoudis, S. et al. (2019), "Revising the Environmental Kuznets Curve for Deforestation: An Empirical Study for Bulgaria", *Sustainability*, 11(16), 4364.
- Uche, E. et al. (2023), "Re-examining the Environmental Kuznets Curve (EKC) for India via the Multiple Threshold NARDL Procedure", *Environmental Science and Pollution Research*, 30(5), 11913-11925.
- UEP (2022), *Ulusal Enerji Planı*, <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/Turkiye_Ulusal_Enerji_Planı.pdf> , 26.06.2024.
- Ullah, A. & D. Khan (2020), "Testing environmental Kuznets Curve Hypothesis in the Presence of Green Revolution: a Cointegration Analysis for Pakistan", *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 11320-11336.
- Usman, M. et al. (2022), "Pollution Concern During Globalization Mode in Financially Resource-rich Countries: do Financial Development, Natural Resources, and Renewable Energy Consumption matter?", *Renewable Energy*, 183, 90-102.
- Usman, O. et al. (2019), "Revisiting the Environmental Kuznets Curve (EKC) Hypothesis in India: the Effects of Energy Consumption and Democracy", *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 13390-13400.
- Voumik, L.C. et al. (2022), "Investigating the Subsistence of Environmental Kuznets Curve in the Midst of Economic Development, Population, and Energy Consumption in Bangladesh: Imminent of ARDL Model", *Heliyon*, 8, 100223.
- WB (2022), *Renewable Energy Consumption (% of Total Final Energy Consumption) - Türkiye*, <<https://data.worldbank.org/indicator/EG.FEC.RNEW.ZS?locations=TR>>, 26.06.2024.
- Xu, B. & R. Xu (2022), "Assessing the Role of Environmental Regulations in Improving Energy Efficiency and Reducing CO2 Emissions: Evidence from the Logistics Industry", *Environmental Impact Assessment Review*, 96, 106831.
- Yilanci, V. & U.K. Pata (2020), "Investigating the EKC Hypothesis for China: the Role of Economic Complexity on Ecological Footprint", *Environmental Science and Pollution Research*, 27(26), 32683-32694.
- Zhou, R. et al. (2023), "Energy Efficiency and China’s Carbon Emissions: Evidence from Non-Parametric Approaches", *Energy Efficiency*, 16(6), 63.
- Zoundi, Z. (2017), "CO2 Emissions, Renewable Energy and the Environmental Kuznets Curve, a Panel Cointegration Approach", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1067-1075.