



## THE EFFECT OF FOSSIL FUEL AND RENEWABLE ENERGY ON LOAD CAPACITY FACTOR IN TURKIYE: BOOSTRAP FARDL APPROACH FOR SUSTAINABLE ENVIRONMENT

**Meral ÇABAŞ\***

\* Dr., dogacabas@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3335-3297

Received Date:10.07.2024

Accepted Date:05.09.2024

Copyright © 2024 Meral ÇABAŞ. This is an open access article distributed under the Eurasian Academy of Sciences License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### ABSTRACT

This study aims to econometrically examine the interactions of fossil fuel use, renewable energy use, economic growth and urbanization with the load capacity factor in Türkiye. The load capacity factor is a very comprehensive environmental indicator that can read environmental demand as well as environmental supply. In the study where annual data for the periods 1961-2022 and 1990-2022 were used, long-term interactions were tested with the Bootstrap FARDL cointegration test and the coefficients of these interactions were obtained with FMOLS (Fully Modified Least Squares) and DOLS (Dynamic Ordinary Least Squares) estimators. According to the results obtained, it is confirmed that fossil fuel use, renewable energy use, economic growth and urbanization have long-term interactions with the load capacity factor in Türkiye. Fossil fuel use, economic growth and urbanization harm environmental sustainability by reducing the load capacity factor, while renewable energy use increases the load capacity factor. This situation shows us the necessity of increasing renewable energy resources and making their use widespread in Türkiye. Considering that urbanization and economic growth cause environmental destruction, the integration of environmentally friendly green technologies and green finance into urban development and economic growth can support a sustainable environment by increasing the load capacity factor.

**Keywords:** Load capacity factor, Fossil fuel, Renewable energy, Bootstrap FARDL

**JEL-Classification:** C12, C40, P48

## TÜRKİYE'DE FOSİL YAKIT VE YENİLENEBİLİR ENERJİNİN YÜK KAPASİTESİ FAKTÖRÜNE ETKİSİ: SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN BOOSTRAP FARDL YAKLAŞIMI

### ÖZET

Bu çalışma fosil yakıt kullanımı, yenilenebilir enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve kentleşmenin yük kapasitesi faktörüyle etkileşimlerini Türkiye özelinde ekonometrik olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Yük kapasitesi faktörü çevresel arzın yanında çevresel talebi de okuyabilen oldukça kapsamlı bir çevre göstergesidir. 1961-2022 ve 1990-2022 dönemi yıllık verilerin kullanıldığı çalışmada uzun dönem etkileşimler Bootstrap FARDL eşbütünlük testiyle sınanmış bu etkileşimlere ait katsayılar FMOLS (Tamamen Değiştirilmiş En Küçük Kareler) ve DOLS (Dinamik Sıradan En Küçük Kareler) tahminleriyle elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Türkiye'de fosil yakıt kullanımı, yenilenebilir enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve kentleşmenin yük kapasitesi faktörüyle uzun dönem etkileşimlerini doğrulamaktadır. Fosil yakıt kullanımı, ekonomik büyüme ve kentleşme yük kapasitesi faktörünü azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe zarar verirken yenilenebilir enerji kullanımı yük kapasitesi faktörünü artırmaktadır. Bu durum bize Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılmasının ve kullanımının yaygın hale getirilmesinin gerekliliğini göstermektedir. Kentleşmenin ve ekonomik büyümenin çevresel tahribata neden olduğu göz önünde bulundurulduğunda çevre dostu yeşil teknolojiler ve yeşil finansmanın kentsel gelişim ve ekonomik büyümeye entegrasyonu yük kapasitesi faktörünü artırarak sürdürülebilir çevreyi destekleyebilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Yük kapasitesi faktörü, Fosil yakıt, Yenilenebilir enerji, Bootstrap FARDL

**JEL-Sınıflaması:** C12, C40, P48



## 1.GİRİŞ

Artan küresel nüfus ve ekonomik ilerlemeye paralel olarak küresel enerji talebi de sürekli artış sergilemektedir. Enerji talebindeki artış çevreye zararlı sera gazı emisyonlarını artırarak çevresel zorlukların yoğunlaşmasına neden olmuştur. Bu süreçte çevreye en kötü davranan enerji türü fosil yakıt enerjisi (Ahmed vd. 2019) olmasına rağmen Dünya Enerji İstatistikleri Raporu'na göre 2023 yılında dünya enerji tüketiminin %81.5'i fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Ayrıca fosil yakıtlar, küresel karbon emisyonlarının %90'undan fazlası ve sera gazı emisyonlarının %75'inden sorumludur. Bu durum ise Birleşmiş Milletler tarafından belirlenen "Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri" (SKH)'ne ters düşmektedir. SKH-13'ün odağındaki "İklim değişikliği ve etkileriyle mücadele için acil eylemde bulunun." çağrısı doğrultusunda toplumların yeşil kalkınmayı benimsemeleri zorunlu hale gelmiştir. Özellikle fosil yakıt kullanımı nispeten daha yüksek olan gelişmekte olan ülkelerin bu çağrıya ivedilikle kulak vermeleri kaçınılmazdır.

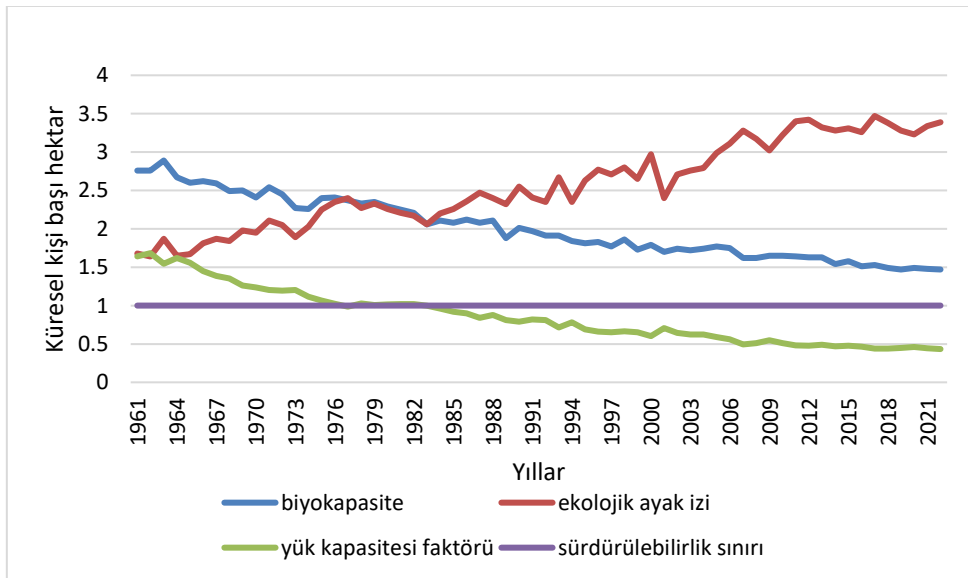
2023 yılında Dubai'de düzenlenen COP'28 İklim Konferansı'nda aralarında Türkiye'nin de bulunduğu yaklaşık 200 ülke küresel enerji hedefleri doğrultusunda oldukça iddialı bir çalışmayı kabul etmişlerdir. Dolayısıyla 2050 yılına kadar küresel enerji sektöründen net sıfır emisyon elde etme, fosil yakıt kullanımını azaltırken yenilenebilir enerji kapasitesini üç katına çıkarma ve 2023 yılına kadar enerji verimliliğini iyileştirme oranını iki katına çıkarırken alternatif düşük emisyonlu teknolojilerin dağıtımını hızlandırma taahhüdünde bulunmuşlardır (IEA, 2024). Bu taahhütler ışığında dünya üzerinde birçok ekonomi fosil yakıtların alternatifi olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Çevre dostu yenilenebilir enerji, sürdürülebilir bir küresel ekonomiyi desteklerken fosil yakıt enerjisi kullanımını da azaltma yeteneğine sahiptir. Yenilenebilir enerji, enerji güvenliği sorumluluğuyla sıfır karbon elektrik tedarikçisi olarak da küresel kabul görmektedir (Raihan vd., 2022). Yenilenebilir enerji aynı zamanda enerji maliyetlerini düşürmekte, çevreye salınan sera gazı ve karbon emisyonlarını minimize ederek ekolojik dengeye katkı sağlamaktadır (Kirikkaleli ve Adebayo, 2021). Ekonomik büyümeyle birlikte artan fosil yakıt tüketimine ek olarak kentlerdeki nüfus artışı da ekolojik tehdit yaratan bir diğer faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Artan kent nüfusunun enerji talebi, yapılaşma sırasında yapı malzemelerinin çevreye saçtıkları emisyonlar ve kentleşmenin sulak alanlar, otlak alanları ve ormanlık alanları baskılayarak biyoçeşitliliğe zarar vermesi ekolojik tahribata neden olmaktadır (Kassouri, 2021).

Sürdürülebilir çevre araştırmalarında ilk zamanlarda araştırmacılar sıklıkla CO2 emisyonlarına (Pata, 2018; Kirikkaleli ve Kalmaz, 2020; Martins vd, 2021; Balsalobre-Lorente vd., 2023; Çabaş ve Beşer, 2023; Voumik vd., 2023) ve daha sonra da ekolojik ayak izine (Danish vd., 2020; Çağlar vd., 2021; Nathaniel vd., 2021; Rafique vd., 2022; Zhang vd., 2023; Çabaş, 2024) odaklanmıştır. Ancak, bu iki çevre göstergesi insanların çevreyi tüketmesiyle ilgiliyen doğanın bu tahribata verdiği tepki gözden kaçmıştır. Ekolojik ayak izi temelde küresel hektar cinsinden bir nüfusun çevreyi tüketiminin sürdürülebilirliğini izleyen talep yönlü bir ölçü iken çevrenin arz tarafını dikkate almamaktadır. Çevre üzerindeki insan baskılarının yanında doğal kaynakların buna cevabını yani arz tarafını da dikkate alabilmek için Siche (2010) tarafından daha kapsamlı bir çevre göstergesi olan yük kapasitesi faktörü (LCF) önerilmiştir. Bu gösterge biyolojik kapasitenin ekolojik ayak izine oranlanmasıyla hesaplanmaktadır. Yük kapasitesi faktöründe 1 sürdürülebilirlik sınırını ifade ederken, LCF bu



sınırın altında ise çevrenin sürdürülebilirliğini yitirmeye başladığını, üstünde ise çevrenin hâlâ tahribatı tolere ederek sürdürülebilir olduğunu ifade etmektedir (Pata, 2021).

Bu çalışmada fosil yakıt kullanımı, yenilenebilir enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve kentleşmenin yük kapasitesi faktörü ile uzun dönem etkileşimleri Türkiye için güncel ekonometrik tekniklerle derinlemesine incelenmiştir. Türkiye'nin çalışmanın odak noktasında olması için birçok neden söz konusudur. 2023 yılı verileriyle 1.024 milyar \$'lık GSYİH'sı ve 11.938,8\$'lık kişi başı geliri ile dünyanın 17. büyük ekonomisi (IMF, 2024) olup OECD ve G20 üyesidir. 1961 yılında yaklaşık 9 milyon olan kent nüfusu toplam nüfusun %32.06'sını oluştururken, 2023 yılına gelindiğinde kentsel nüfus yaklaşık 66 milyon ile toplam nüfusun %77.46'sını oluşturmaktadır (WDI, 2024). Türkiye'de 2023 yılında toplam enerji arzının %26,1'i kömür, %29,2'si petrol ve %26,3'ü doğal gaz olmak üzere %81,6'sı fosil yakıtlardan oluşurken %11,6'sı rüzgar, güneş, hidrolik, jeotermal vb. gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Türkiye'de son yirmi yılda yaşanan hızlı ekonomik büyüme ve nüfus artışı, enerji talebinde güçlü bir büyümeye neden olmakla beraber ithalat bağımlılığında da artışa neden olmuştur. Enerji fiyatlarını düşürme ve ithalat büyüme hızını yavaşlatma amacıyla enerji sisteminde yeniden yapılandırmaya giden Türkiye, son on yılda yenilenebilir elektrik üretimini üç katına çıkararak enerji karışımını önemli ölçüde çeşitlendirmiş ve ilk nükleer enerji tesisini devreye alarak ülkenin yakıt karışımını daha da çeşitlendireceği düşünülmektedir (IEA, 2024). Buna rağmen fosil yakıtlar, özellikle petrol ve doğal gaz olan yüksek ithalat bağımlılığı Türkiye ekonomisini yönlendirmeye devam etmektedir. Türkiye fotoğrafına genel bakışta gördüğümüz; hızla artan ekonomik büyüme ve kentleşmenin yarattığı artan enerji talebinin yüksek oranda fosil yakıt enerjisi ile karşılanmasına karşın henüz yeterli seviyelere ulaşamayan yenilenebilir enerji prosesleri olarak özetlenebilmektedir. Dolayısıyla bu durum Türkiye'de karbon ve sera gazı emisyonlarının da günden güne artışına neden olmaktadır. SKH-13 ve COP'28 hedefleri doğrultusunda Türkiye'de sürdürülebilir bir çevre için mücadele zorunlu hale gelmiştir. Şekil 1'de Türkiye'de biyokapasite, ekolojik ayak izi ve yük kapasitesi faktörünün analiz dönemi boyunca yıllık seyri gösterilmiştir.



Şekil 1. Türkiye'de biyokapasite, ekolojik ayak izi ve yük kapasitesi faktörü.



Şekil 1’e göre, Türkiye’de 1980’li yıllardan itibaren ekolojik ayak izi ile biyokapasite arasındaki makasın giderek açıldığı ve yine bu dönemden itibaren yük kapasitesi faktörünün sürdürülebilirlik sınırı altında kaldığı açıkça görülmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın Türkiye için yük kapasitesi faktörüne yoğun etki eden fosil yakıt kullanımı, ekonomik büyüme ve kentleşmeyi yenilenebilir enerji perspektifinden ekonometrik olarak derinlemesine incelemesi literatüre katkı sağlayacaktır. Ayrıca bilindiği kadarıyla Türkiye özelinde bu değişken birleşiminin yük kapasitesi faktörüne etkisini inceleyen ilk çalışmadır. Çalışmada mümkün olan en güncel verilerle birlikte en güncel ekonometrik yöntemler kullanılarak Türkiye’de ekolojik tahribat hem talep yönlü hem de arz yönlü değerlendirilerek çözüm önerileri sunulmuştur. Bu değerlendirmede Türkiye ekonomisinin yavaş yavaş yaşadığı yapısal değişiklikler de Fourier prosedürü yardımıyla göz önünde bulundurulmuştur. Değişkenlerin nitelikleri Fourier KPSS testiyle belirlenirken, aralarındaki uzun dönem etkileşimler Bootstrap Fourier ARDL yaklaşımı ile sınandı. Değişkenlere ait eğim katsayıları, Bootstrap Fourier ARDL yaklaşımından elde edilen kalıntılarla birlikte FMOLS ve DOLS tahmincileriyle tahmin edildi.

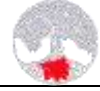
Makale bu bölümden sonra ikinci bölümde makalenin konusuyla ilgili araştırmalara yer verilen literatür inceleme ile devam etmektedir. Üçüncü bölümde veri tanıtımı ve ekonometrik metodoloji anlatılmış ve dördüncü bölümde analizlerden elde edilen sonuçlar ve tartışmaya yer verilmiştir. Son olarak sonuç ve politika çıkarımlarıyla çalışma sonlandırılmıştır.

## 2. LİTERATÜR İNCELEME

Bu bölümde çeşitli ülke ve ülke gruplarına yönelik fosil yakıt, yenilenebilir enerji, ekonomik büyüme ve kentleşmenin yük kapasitesi faktörüyle etkileşimlerini inceleyen ekonometrik çalışmalara yer verilmiştir.

**Tablo 1.** Fosil Yakıt, Yenilenebilir Enerji, Ekonomik Büyüme ve Kentleşmenin LCF ile İlişkilerini İnceleyen Ekonometrik Çalışmalar

Yazar (lar)	Dönem	Ülke/Bölge	Metot	Bulgular
Fareed vd. (2021)	1965Q1-2014Q4	Endonezya	Fourier Kantil Nedensellik	Yenilenemeyen enerji ve gelir LCF’yi azaltırken, yenilenebilir enerji artırmaktadır.
Pata (2021)	1982-2016	Japonya ve ABD	ARDL	Yenilebilir enerji ABD’de LCF’yi artırmakta, gelir ise her iki ülkede LCF’yi azaltmaktadır.
Pata ve Isik (2021)	1981-2017	Çin	Dinamik ARDL	Enerji yoğunluğu ve gelir LCF’yi azaltmaktadır.
Pata ve Balsalobre-Lorente (2022)	1965-2017	Türkiye	Dinamik ARDL	Enerji tüketimi ve gelir LCF’yi azaltmaktadır.
Raihan ve Tuspekova (2022)	1990-2019	Meksika	Dinamik ARDL	Yenilenemeyen enerji kaynakları LCF’yi azaltmaktadır.
Shang vd. (2022)	1980-2018	ASEAN	CS-ARDL	Yenilenebilir enerji LCF’yi artırmaktadır.
Huang vd. (2023)	1975–2021	Hindistan	AARDL	Enerji tüketimi LCF’yi azaltmaktadır.
Alola vd. (2023)	1965-2018	Hindistan	Dinamik ARDL	Yenilenebilir enerji LCF’yi artırmaktadır.



Guloglu vd. (2023)	1980-2018	26 OECD ülkesi	QMG	Yenilenebilir enerji LCF'yi artırmakta kentleşme ise azaltmaktadır.
Pata ve Samour (2023)	1990-2018	27 OECD ülkesi	MMQR	Yenilenebilir enerji LCF'yi artırmaktadır.
Zhao vd. (2023)	1990-2018	BRICS-T	CS-ARDL	Fosil yakıtlar LCF'yi azaltırken, yenilenebilir enerji artırmaktadır.
Hakkak vd. (2023)	1992-2018	Rusya	ARDL	Yenilenebilir enerji LCF'yi artırmaktadır.
Khan vd. (2022)	1997-2018	G7 ve E7	Regresyon analizi	Yenilenebilir enerji LCF'yi artırmaktadır.
Xu vd. (2022)	1970-2017	Brezilya	ARDL	Yenilenemez ve yenilenebilir enerji kullanımı ile ekonomik büyüme LCF'yi azaltmaktadır.
Raihan vd. (2023)	1971-2018	Meksika	ARDL, FMOLS, DOLS, CCR	Fosil yakıtlar, ekonomik büyüme ve kentleşme LCF'yi azaltırken, yenilenebilir enerji artırmaktadır.

### 3. VERİ SETİ VE METODOLOJİ

Bu çalışma, 1961-2022 ve 1990-2022 arası yıllık veriler yardımıyla Türkiye özelinde fosil yakıt, yenilenebilir enerji, ekonomik büyüme ve kentleşmenin yük kapasitesi faktörüne etkilerini ekonometrik olarak incelemektedir. Yenilenebilir enerji verilerinin 1990 yılı itibariyle elde edilebilmesi nedeniyle analizler iki ayrı model aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Yük kapasitesi faktörü verileri Küresel Ayak İzi Ağı'ndan elde edilen kişi başı biyokapasite ve kişi başı ekolojik ayak izi verileri birbirine oranlanarak yazar tarafından hesaplanmıştır. Diğer değişkenlere ait veriler Dünya Bankası Kalkınma Göstergeleri'nden çekilmiştir. Analizlerde olası tahmin hatalarının önüne geçmek adına serilerin doğal logaritmaları kullanılmıştır. Değişkenler hakkında detaylı bilgi Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Değişkenlere Ait Açıklayıcı Bilgiler

Değişken	Değişkenlerin Açıklaması	Tanımlar	Kaynak
LCF	Yük kapasitesi faktörü	Kişi başı biyokapasite gha	Küresel Ayak İzi Ağı
FE	Fosil yakıt enerjisi kullanımı	Toplam nihai enerji kullanımının yüzdesi	Dünya Kalkınma Göstergeleri
RE	Yenilenebilir enerji kullanımı	Toplam nihai enerji kullanımının yüzdesi	Dünya Kalkınma Göstergeleri
GDP	Ekonomik Büyüme	Kişi başına düşen GSYİH (sabit 2015 ABD\$)	Dünya Kalkınma Göstergeleri
URB	Kentleşme	Kentsel nüfus (toplam nüfusun yüzdesi)	Dünya Kalkınma Göstergeleri

Çalışma için oluşturulan ekonometrik modellerden ilkinde fosil yakıt tüketimi, ekonomik büyüme ve kentleşmenin yük kapasitesi faktörüyle uzun dönem etkileşimleri 1961-2022 dönemi yıllık verileriyle sorgulanmış ve modele ait regresyon denklemi eşitlik 1'de gösterilmiştir.



$$LCF=f(FE, GDP, URB)$$

$$\text{Model 1: } LDCF_t = \beta_0 + \beta_1 LFE_t + \beta_2 LGDP_t + \beta_3 LURB_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

İkinci model de ise yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve kentleşmenin yük kapasitesi faktörüyle uzun dönem etkileşimleri 1990-2022 dönemi yıllık verileriyle sorgulanmış ve modele ait regresyon denklemi eşitlik 2'de gösterilmiştir.

$$LCF=f(RE, GDP, URB)$$

$$\text{Model 2: } LDCF_t = \alpha_0 + \alpha_1 LRE_t + \alpha_2 LGDP_t + \alpha_3 LURB_t + \mu_t \quad (2)$$

Değişkenlerin kalıcı şoklara sahip olup olmadığını anlamak adına gerçekleştirilen birim kök sınamaları Fourier prosedürüne sahip, Becker vd. (2006) tarafından KPSS (Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin) testinin trigonometrik terimlerle genişletilmiş hali olan FKPSS testiyle yapılmıştır. Teste ait veri yaratma süreci, trigonometrik terimler vektörü ve Fourier fonksiyonları sırasıyla eşitlik 3, 4 ve 5'te sunulmuştur.

$$y_t = X_t' \alpha + Z_t' \beta + r_t + \varepsilon_t ; r_t = r_{t-1} + u_t \quad (3)$$

$$Z_t = [\sin(2\pi kt/T), \cos(2\pi kt/T)]' \quad (4)$$

$$\alpha(t) = \beta_0 + \beta_1 \sin(2\pi kt/T) + \beta_2 \cos(2\pi kt/T) \quad (5)$$

Eşitlik 5 eşitlik 6'da yerine yazılarak FKPSS test modeli oluşturulmuş ve Eşitlik 7'de sunulmuştur.

$$y_t = \alpha(t) + f_t + e_t \quad (6)$$

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 \sin(2\pi kt/T) + \beta_2 \cos(2\pi kt/T) + e_t \quad (7)$$

Eşitlik 8 FKPSS test istatistiğini eşitlik 9 ise trigonometrik terimlere ait anlamlılık sınavasını yapan F test istatistiğinin hesaplanışını göstermektedir (Becker vd., 2006).

$$\tau_\mu(k) = [1/T^2 (\sum_{t=1}^T S_t(k)^2)] / \sigma^2 \quad (8)$$

$$F_i(k) = [(KKT_0 - KKT_1(k))/2] / [KKT_1(k)/(T-q)] \quad (9)$$

Serilerin uzun dönem ilişkileri Yilanci vd. (2020) tarafından geliştirilen kesirli frekanslı Fourier ARDL (FARDL) eşbütünleşme prosedürü ile incelendi. Bu test, bağımsız değişkenlerin farklı seviyelerinde durağanlığına izin vermenin yanında yavaş gerçekleşen yapısal değişimleri içsel olarak hesaba katar. Ayrıca küçük örneklemelerde de etkin sonuçlara sahip olması testin avantajlı yönleridir. FARDL testi için; eşitlik 1 ve eşitlik 2'deki denklemler kısıtsız hata düzeltme denkleminde yerine yazılmış ve eşitlik 10 ve eşitlik 11'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \Delta LDCF_t = d(t) + \beta_2 LDCF_{t-1} + \beta_3 LFE_{t-1} + \beta_4 LGDP_{t-1} + \beta_5 LURB_{t-1} + \sum_{i=1}^p \alpha'_i \Delta LDCF_{t-i} \\ + \sum_{i=0}^q \delta'_i \Delta LFE_{t-i} + \sum_{i=0}^v \phi'_i \Delta LGDP_{t-i} + \sum_{i=0}^w \varphi'_i \Delta LURB_{t-i} + e_t \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \Delta LDCF_t = d(t) + \beta_2 LDCF_{t-1} + \beta_3 LRE_{t-1} + \beta_4 LGDP_{t-1} + \beta_5 LURB_{t-1} + \sum_{i=1}^p \alpha'_i \Delta LDCF_{t-i} \\ + \sum_{i=0}^q \delta'_i \Delta LRE_{t-i} + \sum_{i=0}^v \phi'_i \Delta LGDP_{t-i} + \sum_{i=0}^w \varphi'_i \Delta LURB_{t-i} + e_t \end{aligned} \quad (11)$$

$\Delta$ : Birinci fark,  $p$ : Gecikme uzunluğu



Eşitlik 10 ve eşitlik 11'deki  $d(t)$  Fourier fonksiyonları aşağıda gösterilmiştir.

$$d(t) = \beta_0 + \gamma_1 \sin(2\pi kt/T) + \gamma_2 \cos(2\pi kt/T)$$

$$d(t) = \beta_0 + \beta_1 t + \gamma_1 \sin(2\pi kt/T) + \gamma_2 \cos(2\pi kt/T)$$

**t:**Trend terimi, **T:** Örneklem büyüklüğü, **k:** Frekans,  **$\pi$ :** 3.14

FARDL testi ile değişkenler arasında eşbütünlük ilişkisinin yokluğunu ifade eden sıfır hipotezi  $F_A$ ,  $t$  ve  $F_B$  şeklinde 3 test istatistiği ile sınanmaktadır. Her üç test istatistiğinin de bootstrap kritik değerlerinden (En az %10 anlam düzeyinde) büyük olması durumunda sıfır hipotezi reddedilerek eşbütünlüğün varlığı doğrulanmaktadır.

#### 4. AMPİRİK SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde ekonometrik analizlerden elde edilen sonuçlar ve konu ile ilgili tartışmaya yer verilmiştir. Analizlere ilk olarak değişkenlerin birim kök sınımlarıyla başlanmış ve FKPSS birim kök testinden elde edilen sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.** FKPSS Birim Kök Test Sonuçları

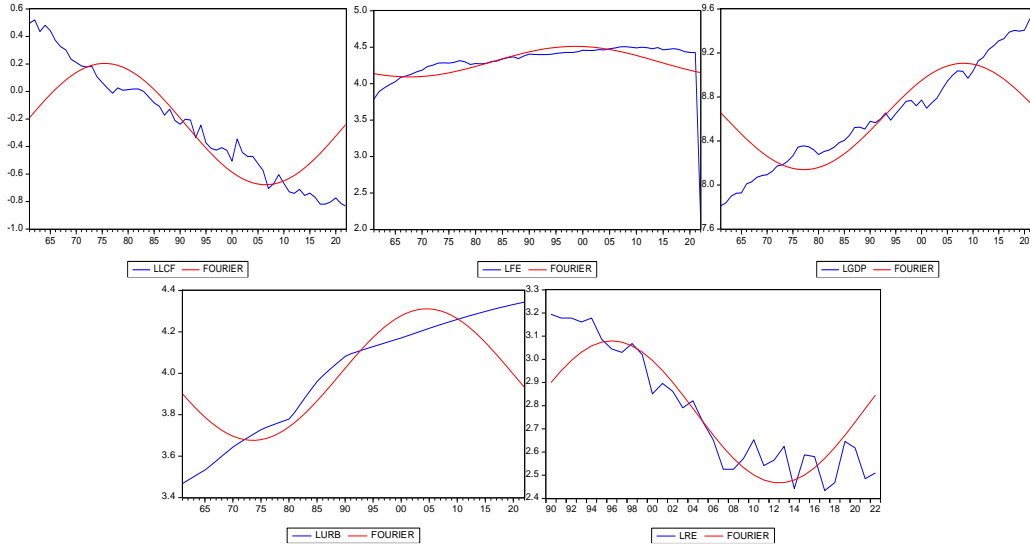
Seri	Frekans(k)	MinKKT	FKPSS	KPSS	F Test İst.
LLCF	1	4.068925	0.428473 (6)		43.72862
LFE	1	5.108132	0.073873 (2)		7.863112
LRE	1	0.581441	0.364884 (4)		40.01321
LGDP	1	6.352102	0.436762 (6)		33.66201
LURB	1	1.601397	0.435921 (6)		57.57315
$\Delta$ LLCF	3	0.156020	0.139234 (8)	0.113636 (4)	0.696884
$\Delta$ LRE	1	0.213244	0.410701 (20)	0.186334 (3)	0.585431
$\Delta$ LGDP	1	0.084484	0.051250 (6)	0.125734 (3)	1.128401
$\Delta$ LURB	1	0.002502	0.051806 (5)		24.44485

**Not:** ( ) içleri Newey-West yöntemi ile otomatik olarak bulunan bant genişliğini, L: Logaritmik dönüşümü,  $\Delta$ : Birinci farkı ifade etmektedir.

Değişkenlerin düzey değerlerine ait FKPSS testinin çıktıları arasındaki F test istatistikleri Becker vd. (2006) çalışmasındaki kritik değerlerden büyük olduğu için tüm seriler için trigonometrik terimlerin anlamlı olduğu, dolayısıyla doğrusal olmayan trendde oldukları gözlenmektedir. FKPSS test istatistiklerini incelediğimizde sadece LFE değişkenine ait istatistiğin kritik değerlerden küçük olması birim kök içermediğini ifade etmektedir. Diğer değişkenlerin düzey değerleri birim kök içermektedir. Birim köklü değişkenlerden sadece LURB değişkeninin birinci farkında trigonometrik terimler anlamlı olduğu için FKPSS sonucuna bakılırken diğerlerine standart KPSS testi uygulanmış ve hepsinin  $I(1)$  derecede durağanlaştıkları gözlenmiştir. Sonuç olarak bağımsız değişkenler  $I(0)$  ve  $I(1)$  dereceden durağan oldukları için bu duruma en uygun eşbütünlük testi olan bootstrap FARDL testiyle analize devam edilerek uzun dönemli ilişkiler belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 4a ve Tablo 4b'de gösterilmiştir. Öncesinde serilerin yapısal değişimlerle beraber analiz dönemi boyunca hareketleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** LCF ve Bağımsız Değişkenlerin Fourier Fonksiyonuyla Görselleri



Şekil 1'i incelediğimizde analiz dönemi boyunca Türkiye'de ekonomik büyümenin sürekli artan bir trend yakaladığı, kentleşmenin 1980 ve 2000 yılları arasında daha yüksek oranlarda büyüdüğü 2000'den sonra büyüme hızının yavaşladığı görülmektedir. Fosil yakıt enerji kullanımının yıllar itibariyle arttığı ancak 2019'da başlayan ve tüm dünyada etkileri hissedilen Kovid-19 küresel pandemisinden sonra sosyal kısıtlamalar nedeniyle keskin bir şekilde düşüş sergilediği görülmektedir. Yenilenebilir enerji tüketiminin toplam enerji tüketimi içerisindeki payının sürekli düşmesi; gelişmekte olan Türkiye'nin özellikle 2000'li yıllardan itibaren hızlı büyüme trendiyle beraber fosil yakıt enerji tüketiminin de sürekli artmasıyla açıklanabilmektedir. Yük kapasitesi faktörünün yıllar itibariyle seyrine baktığımızda Türkiye'de balıkçılık alanları, ormanlık alanlar, ekili alanlar, su ve toprağın sürekli olarak tükendiğini ekolojik tahribatı tolere edemediğini görmekteyiz. Fourier fonksiyonların değişkenlerle birlikte hareketi değişkenlerin doğrusal olmayan trendlerini doğrular niteliktedir.

**Tablo 4a.** Bootstrap FARDL Eşbütünleşme Test Sonuçları (Model 1)

FARDL Modeli 1: (2 0 1 0)		MIN AIC: -3.925613		Optimal Frekans: 0.8	
		Bootstrap Kritik Değerler			
Test İstatistiği		0.90	0.95	0.99	
$F_A$	7.645702**	5.255202	6.221764	8.315137	
t	-4.889382**	-3.805150	-4.196494	-4.921660	
$F_B$	6.097819**	3.804631	4.849593	7.441521	

**Not:** \*\*\*0.01, \*\*0.05, \*0.10 anlamlılığı gösterir.

Model 1 için bootstrap FARDL eşbütünleşme test sonuçlarına baktığımızda; her 3 test istatistiğinin de 5000 bootstrap simülasyon ile elde edilen kritik değerlerden büyük olduğu görülmektedir. Bu durum eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını savunan sıfır hipotezini reddetmektedir. Türkiye'de fosil yakıt kullanımı, kentleşme ve ekonomik büyüme uzun vadede yük kapasitesi faktörü ile ilişkilidir ve birlikte hareket etmektedirler. Halicioğlu (2009), Oztürk ve Acaravci (2013), Cetin vd. (2018), Kirikkaleli ve Kalmaz (2020) da çalışmalarında enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve kentleşmenin Türkiye için çevresel belirleyiciler olduğunu tespit etmişlerdir.



**Tablo 4b.** Bootstrap FARDL Eşbütünleşme Test Sonuçları (Model 2)

FARDL Modeli 2: (1 1 2 2)		MIN AIC: -4.265447		Optimal Frekans: 4.5	
		Bootstrap Kritik Değerler			
Test İstatistiği		0.90	0.95	0.99	
F <sub>A</sub>	4.117587*	3.415833	4.374947	6.600741	
t	-2.706703**	-1.590283	-2.175511	-2.966389	
F <sub>B</sub>	3.496715*	3.486533	4.586395	7.080240	

**Not:** \*\*\*0.01, \*\*0.05, \*0.10 anlamlılığı gösterir.

Yenilenebilir enerji tüketimi verilerinin 1990 yılı itibariyle elde edilmesi nedeniyle oluşturulan Model 2 için aynı test 5000 bootstrap simülasyon ile gerçekleştirilmiş ve yenilenebilir enerjinin de uzun dönemde bahsi geçen diğer değişkenlerle birlikte hareket ettiği ve etkileşimli oldukları doğrulanmıştır.  $I(0)$  ve  $I(1)$  dereceden durağan değişkenler arasındaki uzun dönem eşbütünleşme ilişkisi bu karma için en etkin sonuçlara sahip FARDL testiyle belirlenmiş ve ilişkiye dair katsayılar tam olarak değiştirilmiş sıradan en küçük kareler (FMOLS) ve dinamik sıradan en küçük kareler (DOLS) tahmincileri ile tahmin edilmiştir. FMOLS tahmincisi içsellikle mücadele edebilme ve otokorelasyonu kontrol altında tutabilme yeteneğine sahip non-parametrik bir prosedürdür. Ayrıca asimptotik sapma ve dışsallık varsayımları ile en küçük kareler yönteminin optimal tahmin yetersizliğini giderebilmektedir (Chen ve Huang, 2013). DOLS tahmincisinde yer alan dinamik etkenler statik denklemlerde meydana gelen sapmalarla mücadele edebilmektedir. DOLS prosedürü Monte Carlo simülasyonlarıyla birlikte küçük örneklemlemler ile heterojen özellikteki modellerin etkin sonuçlarına sahiptir (Mark ve Sul, 2003). FMOLS ve DOLS tahmincilerinden elde edilen sonuçlar Tablo 5 ve Tablo 6'da gösterilmiştir.

**Tablo 5.** FMOLS Katsayı Tahmin Sonuçları

Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-İst.	Olasılık
LFE	-0.838854	0.021137	-1.838241	0.0314**
LGDP	-0.984148	0.108005	-9.112022	0.0000***
LURB	-0.570693	0.247935	-2.301783	0.0052***
LRE	0.340874	0.060127	5.355101	0.0000***
C	6.170732	0.308420	20.00754	0.0000***
CC	0.194617	0.042203	4.611454	0.0000***
SS	0.015447	0.016887	0.914724	0.0643*
R <sup>2</sup>	0.992182			
Adj. R <sup>2</sup>	0.991471			

**Not:** \*\*\*0.01, \*\*0.05, \*0.10 anlamlılığı gösterir.

FMOLS tahmincisiyle elde edilen uzun dönem katsayılarını incelediğimizde; LFE'ye ait katsayının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı ( $p < 0.05$ ) olması, Türkiye'de fosil yakıt kullanımının çevreyi olumsuz etkileyerek yük kapasitesi faktörünü azalttığını göstermektedir. Uzun vadede fosil yakıt kullanımındaki %1'lik artış %0.83 oranında çevresel tahribata neden olmaktadır. LGDP ve LURB katsayılarının da negatif ve anlamlı ( $p < 0.01$ ) bulunması ekonomik büyüme ve kentleşmenin yük kapasitesi faktörünü azaltarak ekolojik tehdit yarattıklarını göstermektedir. Pata ve Balsalobre-Lorente (2022) çalışmalarında Türkiye için enerji tüketimi



ve gelirin LCF'yi azaltıcı etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ekonomik büyüme ve kentleşmenin uzun dönemde %1 oranında artması LCF'yi sırasıyla %0.98 ve %0.57 oranında olumsuz etkilemektedir. Modeli oluşturan açıklayıcı değişkenler arasında sadece LRE katsayısı pozitif ve anlamlı bulunmuştur. LRE'de meydana gelecek %1'lik artış LLCF'yi %0.34 oranında artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımı uzun vadede yük kapasitesi faktörünü artırarak çevreyi iyileştirmektedir. Elde edilen bu sonuç; Fareed vd. (2021) Endonezya, Pata (2021) ABD, Shang vd. (2022) ASEAN ülkeleri, Alola vd. (2023) Hindistan, Guloglu vd. (2023) 26 OECD ülkesi, Pata ve Samour (2023) 27 OECD ülkesi Zhao vd. (2023) BRICS-T ülkeleri, Hakkak vd. (2023) Rusya, Khan vd. (2022) G7 ve E7 ülkeleri ve Raihan vd. (2023) Meksika için buldukları sonuçlarla tutarlı olarak bulunmuştur.

**Tablo 6.** DOLS Katsayı Tahmin Sonuçları

Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-İst.	Olasılık
LFE	-0.595294	0.181102	-3.287069	0.0023***
LGDP	-0.664213	0.233339	-2.846558	0.0073***
LURB	-0.302436	0.439187	-0.688627	0.0055***
LRE	0.706619	0.127713	5.531141	0.0002***
C	6.843415	0.843575	8.112393	0.0000***
CC	0.100280	0.076465	1.311448	0.0080***
SS	0.080429	0.034023	2.364000	0.0236**
R <sup>2</sup>	0.996024			
Adj. R <sup>2</sup>	0.993815			

**Not:** \*\*\*0.01, \*\*0.05, \*0.10 anlamlılığı gösterir.

DOLS katsayı tahminlerinin de FMOLS tahminleri ile uyumlu olarak bulunması, elde edilen uzun dönem katsayılarının sağlamlığını doğrulamaktadır. Her iki tahminci için elde edilen R<sup>2</sup> ve düzeltilmiş R<sup>2</sup> değerlerinin 0.99 seviyesinde olması kurulan regresyon modelinin verilerle son derece uyumlu olduğunu işaret etmektedir. Modelde bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni %99 oranında açıklama gücüne sahiptir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

SKH-13 ve COP'28'in odağındaki iklim kriziyle mücadele, 2050 yılına kadar enerji sektörünün net sıfır emisyonu ulaşması, fosil yakıt kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılması küresel bir vizyondur. Bu vizyon çerçevesinde ekolojik kaygıyı minimize ederek gelecek nesillere sürdürülebilir bir çevre bırakma temel hedeftir. Ekonomiler küresel büyümeye ayak uydurmaya çalışırken ekonomik gelişme ve kentleşmeyle birlikte enerji talepleri günden güne artmıştır. Büyük bir kısmı fosil yakıt enerjisiyle karşılanan bu talep sadece ekonomik gelişme yaratmakla kalmamış aynı zamanda çevreye karbon ve sera gazı emisyonlarını salarak ekolojik tahribata neden olmuştur. Bu anlamda OECD ve G20 üyesi ve son yirmi yılda hızla devam eden ekonomik büyümesiyle dünyanın 17. büyük ekonomisi olmuş Türkiye çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Ayrıca çalışma, sürdürülebilir çevre çalışmalarında sıklıkla kullanılan ekolojik ayak izinin yanında çevrenin arz tarafı olan biyokapasitenin davranışlarına da yer vererek kapsamlı bir ekolojik denge analizi sunmaktadır. Fosil yakıt kullanımı, ekonomik büyüme ve kentleşmenin ekolojik etkileri yenilenebilir enerji kullanımının düzenleyici etkisi çerçevesinde son ekonometrik tekniklerle Türkiye'nin ekolojik fotoğrafına ışık tutmaktadır. 1961-2022 ve 1990-2022 dönemi yıllık verilerin kullanıldığı



analizlerde ilk olarak serilerin durağanlığı Fourier prosedürünü benimseyen FKPSS birim kök testiyle sınıandı.  $I(0)$  ve  $I(1)$  dereceden durağan oldukları anlaşılan değişkenler arasındaki uzun dönem bağlantılar yine Fourier prosedürüne dayanan FARDL eşbütünleşme testiyle test edildi ve değişkenlerin uzun dönem eşbütünleşik oldukları tespit edildi. Bu uzun dönem etkileşimlere ait katsayılar FMOLS yöntemiyle tahmin edilmiş ve sağlamlık kontrolleri DOLS yöntemiyle yapılmıştır.

Elde edilen bulgular; Türkiye’de fosil yakıt kullanımı, ekonomik büyüme ve kentleşmenin yük kapasitesi faktörünü azaltırken yenilenebilir enerji kullanımının yük kapasitesi faktörünü artırarak çevreyi iyileştirdiğini göstermektedir. Bu bulgulara göre; Türkiye ekonomisinde politika yapıcılar öncelikli olarak fosil yakıt tüketimini ve bağımlılığını azaltacak politikalara odaklanmalıdır. Temiz enerji kaynaklarının kullanımı artırılmalı ve bu konuda kararlı adımlar atılmalıdır. Yenilenebilir enerjinin üretime ve kentsel yaşama entegrasyonu kolaylaştırılmalı, yeşil yatırımlara devlet tarafından kolaylaştırıcı tarifeler uygulanmalıdır. Toplumun ve işletmelerin yeşil enerji kullanımı konusundaki farkındalıkları artırılmalıdır. Yeşil teknolojilerin artırılarak yaygınlaşması için Ar-Ge yatırımları desteklenmeli, doğrudan yabancı yatırım kanalıyla gelişmiş teknolojinin ülkeye girmesi sağlanmalıdır. Tüm bu yaklaşımlar enerji verimliliği, atık yönetimi ve sıfır karbon teknolojisi gibi tedbirlerle ekolojik ayak izini azaltırken doğanın kendini yenileme sürecine (biyokapasite) de katkıda bulunarak yük kapasitesi faktörünü sürdürülebilirlik sınırının üzerine taşıyabilecektir.

Bu çalışmada, fosil yakıt kullanımı, ekonomik büyüme ve kentleşme gibi çevre belirleyicilerinin yenilenebilir enerjinin düzenleyici rolüyle sürdürülebilirliği analiz edildi. Gelecekteki çalışmalarda daha farklı çevre belirleyicileri irdelenerek önerilerde bulunulabilir. Çalışmada değişkenler arasındaki nedensel ilişkiler gelecek çalışmalara boşluk oluşturacak şekilde analiz dışında kaldı. Gelecek çalışmalar farklı ülke veya ülke grupları için farklı ekonometrik teknikler yardımıyla ve daha güncel verilerle gerçekleştirilebilir.

## REFERENCES

- Ahmed, Z., Wang, Z., & Ali, S. (2019). Investigating the non-linear relationship between urbanization and CO2 emissions: An empirical analysis. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12, 945-953.
- Alola, A.A., Özkan, O., & Usman, O. (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, 2847.
- Balsalobre-Lorente, D., dos Santos Parente, C.C., Leitão, N.C., & Cantos-Cantos, J.M. (2023). The influence of economic complexity processes and renewable energy on CO2 emissions of BRICS. What about industry 4.0?. *Resources Policy*, 82, 103547.
- Becker, R., Enders, W., & Lee, J. (2006). A stationary test in the presence of an unknown number of smooth breaks. *Journal of Time Series Analysis*, 27(3), 381-409.
- Caglar, A.E., Mert, M., & Boluk, G. (2021). Testing the role of information and communication technologies and renewable energy consumption in ecological footprint quality: Evidence from world top 10 pollutant footprint countries. *J. Clean. Prod.*, 298, 126784.



- Cetin, M., Ecevit, E., & Yucel, A.G. (2018). Structural breaks, urbanization and CO2 emissions: evidence from Turkey. *J Appl Econ Bus Res.*, 8(2), 122–139.
- Chen, J.H., & Huang, Y.F. (2013). The study of the relationship between carbon dioxide (CO2) emission and economic growth. *Journal of International and Global Economic Studies*, 6(2), 45-61.
- Çabaş, M. (2024). Avustralya'da yenilenebilir enerji ve yeşil teknolojiler ile sürdürülebilir çevre arasındaki Fourier tabanlı bağlantı. *Eurasian Academy of Sciences Social Sciences Journal*, (53), 38-50.
- Çabaş, M., & Beşer, N.Ö. (2023). Türkiye'de insani gelişme ve karbon salınımı arasındaki ilişki: Fourier eşbütünlük testinden kanıtlar. Balkan 9th International Conference on Social Sciences, October 6-8, Edirne.
- Danish, Ulucak, R., & Khan, S.U.D. (2020). Determinants of the ecological footprint: Role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101996.
- Energy Institute (2024). [https://www.energyinst.org/\\_data/assets/pdf\\_file/0004/1055542/EI\\_Stat\\_Review\\_PD\\_F\\_single\\_3.pdf](https://www.energyinst.org/_data/assets/pdf_file/0004/1055542/EI_Stat_Review_PD_F_single_3.pdf).
- Fareed, Z., Salem, S., Adebayo, T.S., Pata, U.K., & Shahzad, F. (2021). Role of export diversification and renewable energy on the load capacity factor in Indonesia: A Fourier quantile causality approach. *Front. Environ. Sci.*, 9, 770152.
- Guloglu, B., Caglar, A.E., & Pata, U.K. (2023). Analyzing the determinants of the load capacity factor in OECD countries: evidence from advanced quantile panel data methods. *Gondwana Research*, 118, 92-104.
- Hakkak, M., Altıntaş, N., & Hakkak, S. (2023). Exploring the relationship between nuclear and renewable energy usage, ecological footprint and load capacity factor: A study of the Russian Federation testing the EKC and LCC hypothesis. *Renewable Energy Focus*, 46, 356–366.
- Halicioğlu, F. (2009). An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1156–1164.
- Huang, Y., Villanthenkodath, M.A., & Haseeb, M. (2023). The nexus between eco-friendly technology and environmental degradation in India: Does the N or inverted N-shape load capacity curve (LCC) hypothesis hold? *Nat. Resour. Forum*, 47, 276–297.
- International Energy Agency (2024). <https://www.iea.org/news/countries-can-transform-the-global-energy-sector-by-fully-implementing-the-2030-goals-they-agreed-at-cop28>.
- International Monetary Fund (2024). <https://www.imf.org/en/Data>.
- Kassouri, Y. (2021). Monitoring the spatial spillover effects of urbanization on water, built-up land and ecological footprints in sub-Saharan Africa. *Journal of Environmental Management*, 300, 113690.
- Khan, U., Khan, A.M., Khan, M.S., Ahmed, P., Haque, A., Parvin, R.A. (2022). Are the impacts of renewable energy use on load capacity factors homogeneous for developed and developing nations? Evidence from the G7 and E7 nations. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 30, 24629–24640.



- Kirikkaleli, D., & Kalmaz, D.B. (2020). Testing the moderating role of urbanization on the environmental Kuznets curve: empirical evidence from an emerging market. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(30), 38169-38180.
- Kirikkaleli, D., & Adebayo, T.S. (2021). Do renewable energy consumption and financial development matter for environmental sustainability? New global evidence. *Sustainable Development*, 29(4), 583-594.
- Mark, N.C., & Sul, D. (2003). Cointegration vector estimation by panel DOLS and long-run money demand. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 65(5), 655-680.
- Martins, T., Barreto, A. C., Souza, F. M., & Souza, A. M. (2021). Fossil fuels consumption and carbon dioxide emissions in G7 countries: Empirical evidence from ARDL bounds testing approach. *Environmental Pollution*, 291, 118093.
- Nathaniel, S.P. (2021). Ecological footprint, energy use, trade, and urbanization linkage in Indonesia. *GeoJournal*, 86, 2057–2070.
- Ozturk I, & Acaravci, A. (2013). The long-run and causal analysis of energy, growth, openness and financial development on carbon emissions in Turkey. *Energy Econ.*, 36, 262–267.
- Pata U.K. (2018). Renewable energy consumption, urbanization, financial development, income and CO2 emissions in Turkey: testing EKC hypothesis with structural breaks. *J Clean Prod.*, 187,770–779. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.236>.
- Pata, U.K. (2021). Do renewable energy and health expenditures improve load capacity factor in the USA and Japan? A new approach to environmental issues. *Eur. J. Health Econ.*, 22, 1427–1439.
- 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. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 28, 846–861.
- Pata, U.K., & Balsalobre-Lorente, D. (2022). Exploring the impact of tourism and energy consumption on the load capacity factor in Turkey: A novel dynamic ARDL approach. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 29, 13491–13503.
- Pata, U.K., & Isik, C. (2021). Determinants of the load capacity factor in China: A novel dynamic ARDL approach for ecological footprint accounting. *Resources Policy*, 74, 102313.
- Pata, U.K., & Samour, A. (2023). Assessing the role of the insurance market and renewable energy in the load capacity factor of OECD countries. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 30, 48604–48616.
- Rafique, M.Z., Nadeem, A.M., Xia, W., Ikram, M., Shoaib, H.M., & Shahzad, U. (2022). Does economic complexity matter for environmental sustainability? Using ecological footprint as an indicator. *Environ. Dev. Sustain.*, 24, 4623–4640.
- Raihan, A., Muhtasim, D.A., Pavel, M.I., Faruk, O., & Rahman, M. (2022). An econometric analysis of the potential emission reduction components in Indonesia. *Cleaner Production Letters*, 3, 100008.
- Raihan, A., & Tuspekova, A. (2022). Towards sustainability: Dynamic nexus between carbon emission and its determining factors in Mexico. *Energy Nexus.*, 8, 100148.
- Raihan, A., Rashid, M., Voumik, L.C., Akter, S., & Esquivias, M.A. (2023). The dynamic impacts of economic growth, financial globalization, fossil fuel, renewable



energy, and urbanization on load capacity factor in Mexico. *Sustainability*, 15(18), 13462.

- Shang, Y., Razzaq, A., Chupradit, S., Binh An, N., & Abdul-Samad, Z. (2022). The role of renewable energy consumption and health expenditures in improving load capacity factor in ASEAN countries: Exploring new paradigm using advance panel models. *Renewable Energy*, 191, 715–722.
- Siche, R., Pereira, L., Agostinho, F., & Ortega, E. (2010). Convergence of ecological footprint and emergy analysis as a sustainability indicator of countries: Peru as case study. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 15(10), 3182-3192.
- Xu, D., Salem, S., Awosusi, A.A., Abdurakhmanova, G., Altuntaş, M., Oluwajana, D., Kirikkaleli, D., & Ojekemi, O. (2022). Load capacity factor and financial globalization in Brazil: The role of renewable energy and urbanization. *Front. Environ. Sci.*, 9, 823185.
- Voumik, L.C., Mimi, M.B., & Raihan, A. (2023). Nexus between urbanization, industrialization, natural resources rent, and anthropogenic carbon emissions in South Asia: CS-ARDL approach. *Anthr. Sci.*, 2, 48–61.
- Yilanci, V., Bozoklu, S., & Gorus, M.S. (2020). Are BRICS countries pollution havens? Evidence from a Bootstrap ARDL Bounds testing approach with a Fourier function. *Sustain. Cities Soc.*, 55, 102035. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102035>.
- Zhang, J., Ullah, S., & Khan, K. (2023). The prominence of fossil energy resources in ecological sustainability of BRICS: the key role of institutional worth. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1084314.
- Zhao, W.X., Samour, A., Yi, K., & Al-Faryan, M.A.S. (2023). Do technological innovation, natural resources and stock market development promote environmental sustainability? Novel evidence based on the load capacity factor. *Resources Policy*, 82, 103397.