



# FOURIER-BASED CONNECTION BETWEEN RENEWABLE ENERGY AND GREEN TECHNOLOGIES AND SUSTAINABLE ENVIRONMENT IN AUSTRALIA

Meral ÇABAŞ\*

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

Received Date: 09.01.2024 Revised Date: 15.02.2024 Accepted Date: 04.03.2024

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

Carbon emissions and greenhouse gas emissions caused by fossil fuels are of deep concern due to their ecological destruction and global warming threats. Renewable energy undoubtedly acts as a catalyst in the global environmental struggle. Studies on the ecological impacts of renewable energy have become critical for environmental policies. The study was motivated by the fact that Australia ranks eighth in the world in terms of natural resource reserves and also has the highest ecological footprint. In this study, the ecological impacts of renewable energy and green technologies for Australia are tested with smooth transition Fourier transforms. While the unit root tests of the variables are performed with the FKPSS test, the long-run relationships are tested with the FADL cointegration test. Using annual data for the period 1990-2020, the study reveals the environmental impacts of economic growth and urbanization. The empirical findings show that renewable energy consumption and green technologies significantly reduce the ecological footprint and improve the environment in Australia. In addition, economic growth and urbanization increase the ecological footprint in the long run and cause environmental damage. In light of the findings, policymakers' increasing green technological investments can directly reduce the ecological footprint and indirectly improve the environment by supporting renewable energy consumption.

**Keywords:** Renewable energy, Green technologies, Ecological footprint, Fourier Approach

## AVUSTRALYA'DA YENİLENEBİLİR ENERJİ VE YEŞİL TEKNOLOJİLER İLE SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE ARASINDAKİ FOURIER TABANLI BAĞLANTI

### ÖZET

Fosil yakıtların neden olduğu karbon emisyonları ve sera gazı emisyonları yerkürede neden oldukları ekolojik tahribat ve küresel ısınma tehditleriyle derin bir kaygı yaratmaktadır. Küresel çevre mücadelesinde yenilenebilir enerji şüphesiz katalizör görevi görmektedir. Yenilenebilir enerjinin ekolojik etkilerine yönelik çalışmalar çevre politikaları için kritik önemli hale gelmiştir. Avustralya'nın doğal kaynak rezervi bakımından ve aynı zamanda en yüksek ekolojik ayak izi sıralamasında dünyada sekizinci sırada olması çalışmanın motivasyonunu oluşturmuştur. Bu çalışmada Avustralya için yenilenebilir enerji ve yeşil teknolojilerin ekolojik etkileri yumuşak geçişli Fourier dönüşümleriyle test edilmiştir. Değişkenlerin birim kök sınamaları FKPSS testiyle yapılırken uzun dönem ilişkileri FADL eşbütünleşme testiyle test edilmiştir. 1990-2020 dönemi yıllık verilerden yararlanılan çalışma, ekonomik büyüme ve kentleşmenin de çevresel etkilerini ortaya koymaktadır. Elde edilen ampirik bulgular Avustralya'da yenilenebilir enerji tüketiminin ve çevreci yeşil teknolojilerin ekolojik ayak izini anlamlı bir şekilde düşürerek çevreyi iyileştirdiğini göstermiştir. Ayrıca ekonomik büyüme ve kentleşme uzun dönemde ekolojik ayak izini artırarak çevre tahribatı yapmaktadır. Bulgular ışığında, politika yapımcıların yeşil teknolojik yatırımları artırmaları direkt ekolojik ayak izini azaltabileceği gibi yenilenebilir enerji tüketimini destekleyerek dolaylı olarak da çevreyi iyileştirebilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir enerji, Yeşil teknolojiler, Ekolojik ayak izi, Fourier Yaklaşımı



## 1.GİRİŞ

Yaklaşık yarım asırdır günden güne artan küresel enerji talebi CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırarak gezegenin çevresel tahribatına yol açmıştır. Çevre tahribatına en yüksek etkiyi de kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan çıkan CO<sub>2</sub> emisyonları vermektedir (Ahmed vd., 2019). Artan CO<sub>2</sub> emisyonlarının neden olduğu küresel ısınma zamanla iklim krizine dönüşmüştür (Huang vd., 2024). Toplumların sosyal ve ekonomik faaliyetleri bu çevre tahribatına her gün yenilerini eklemektedir. Acilen bu gidişata dur denilmezse çevre tükenerek dünya ekolojik felakete doğru sürüklenecektir. Çevresel tahribat, insan faaliyetlerinin atmosfere yaydığı CO<sub>2</sub> emisyonları ve sera gazı emisyonlarının üstünde bir olgudur. Bunlara ek olarak yerleşim alanları, ekilebilir tarım alanları, ormanlık alanlar, balıkçılık alanları ve otlak alanları da zaman içerisinde tahrip olmakta ekolojik kaygı yaratmaktadır. Tüm bu bileşenleri aynı anda hesaba katan en kapsamlı çevre göstergelerinden biri ekolojik ayak izidir (Ahmed ve Wang, 2019; Destek ve Sarkodie, 2019; Kongbuamai vd., 2020). Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşabilmenin başlıca yolu ekolojik ayak izini düşürmek ve iklim değişikliğiyle mücadele etmektir. Bu hedef doğrultusunda 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarının hemen hemen yarıya düşürülmesi ve 2050 yılına kadar da net sifıra ulaşılması gerekli görülmektedir. Sera gazı emisyonlarının düşürülmesi ise sürdürülebilir enerji, temiz enerji ve yeşil enerji olarak da nitelendirilen yenilenebilir enerji ile ilgilidir. Bu nedenle hızlı ekonomik büyüme ve gelişmeyi yakalamaya çalışan ve gelişmiş ekonomiler sıfır karbon emisyonu hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerjiye yönelmiş durumdadır. Yenilenebilir enerji, atmosfere salınan karbon emisyon miktarını ciddi anlamda azaltabilmesiyle iklim kriziyle mücadelenin en önemli bileşenlerinden biridir (Ashraf vd., 2024). Alternatif yenilenebilir enerji kaynak arayışı ekonomileri çevreyle ilgili geliştirilen yeşil teknolojilere itmiştir. Yeşil teknolojiler tasarruflu enerji tüketimini sağlayarak kaynakların verimli kullanılmasını desteklemektedir. İleri teknik uygulamalara sahip bu çevreci teknolojiler direkt ve yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirerek ekolojik açıkları kapatabilmektedir (Costantini vd., 2017). Ekolojik tehditlerin bir diğer faktörü de modern dünyayla paralel olarak hızla artan kentleşme trendidir. Hızlı kentleşmeyle birlikte sulak alanlar ve yerleşim alanları baskılanarak biyoçeşitliliğe zarar verilebilmektedir (Kassouri, 2021).

Bu çalışmada dünyada en yüksek doğal kaynak rezervine sahip sekizinci ülke olan Avustralya'ya odaklanılmıştır. Avustralya'nın toplam enerji arzı içerisinde kömür (%33.7), petrol (%31.7) ve doğal gaz (%25.7) gibi fosil yakıtlar toplam %91.1'lik paya sahipken rüzgâr, güneş, hidroelektrik ve nükleer enerji gibi yenilenebilir enerji arzı %4.4'lük bir paya sahiptir (IEA, 2023). Kömür üretimi 2000 yılından itibaren günümüze kadar %66 oranında artış gösterirken doğal gaz üretimi %361 oranında artışa sahiptir. Avustralya'da CO<sub>2</sub> emisyonları 2000 yılından itibaren %8 oranında artış kaydederek günümüz küresel emisyonlarının %1.08'ini oluşturmaktadır (IEA, 2023). Ayrıca Avustralya dünyada ekolojik ayak izi en yüksek sekizinci ülkedir. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda adeta fosil yakıt cenneti olan Avustralya için yeşil enerjiye



dönüşüm bağlamında yenilenebilir enerji ve yeşil teknolojilerin ekolojik etkilerini ampirik olarak ortaya koymak kritik öneme sahiptir.

Çalışmada yenilenebilir enerjinin ekolojik etkileri yeşil teknolojiler perspektifinde analiz edilmiş olup kişi başı gelirin ve kent nüfusunun ekolojik bağlantıları da elde edilmiştir. Çalışmanın, kömür üretiminde dünyada 5. sırada, kömür rezervi bakımından 3. ve kömür ihracatçısı 2. büyük ekonomi (IEA, 2023) olan Avustralya için yenilenebilir enerjinin ve yeşil teknolojilerin ekolojik tahribata etkilerini araştırması literatürdeki boşluğu dolduracak niteliktedir. Ayrıca ekonometrik analizlerin yavaş gerçekleşen yapısal değişimler çerçevesinde gerçekleştirilmesi de çalışmanın özgün tarafını oluşturmaktadır.

Çalışmada giriş kısmını takip eden ikinci bölümde konu ile ilgili alan yazını incelenmiştir. Üçüncü bölümde ekonometrik modelde kullanılan veri seti tanıtilerek metodoloji anlatılmıştır. Analizlerden elde edilen bulguların raporları ile sonuçlara yönelik tartışmaya dördüncü bölümde yer verilmiştir. Sonuç kısmında analizlerden ortaya çıkan çıkarımlar ve politika önerilerinden bahsedilerek çalışma sonlandırılmıştır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH) 2023 Raporu'nda dünya ekonomileri iki kat çabaya davet edilirken ekonomilerin güçlü siyasi irade, mevcut teknolojiler ve bilgi yardımıyla kaynak kullanımının muazzam potansiyellerine vurgu yapılmıştır. Kovid-19 salgınının kalıcı etkileri, küresel ekonominin zayıflaması ve Ukrayna'daki savaş SKH'ye doğru ilerlemeyi engelse de küresel ekonomilerin SKH'ye ulaşma yolunda ilerlemeyi yeniden ateşleyebileceklerine çağrı yapılmıştır. Küresel olarak sürdürülebilir kalkınmanın önündeki en büyük engellerden hızla artan sosyo-ekonomik faaliyetlerle birlikte atmosfere saçılan karbon ve sera gazı emisyonlarıdır. Ancak, çevresel sürdürülebilirlik sadece karbon ve sera gazı emisyonları ile sınırlı değildir. Yukarıda belirtildiği gibi, yerleşim alanları, ekilebilir tarım alanları, ormanlık alanlar, balıkçılık alanları ve otlak alanlarının da korunarak gelecek nesillere aktarılması gerekmektedir. Geleceğe ne kadar korunaklı bir çevre bırakacağımızın göstergesi olan ekolojik ayak izine etki eden faktörler üzerine yapılan çalışmalar günden güne artmaktadır. Çalışmada yenilenebilir enerji, yeşil teknolojiler, ekonomik büyüme ve kentleşmenin çevresel sürdürülebilirliğe etkileri analiz edilmiş ve konu ile ilgili gerek zaman serisi gerek panel veri çalışmaları raporlanarak Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Yenilenebilir Enerji ve Yeşil Teknolojilerin Çevreye Etkilerini İnceleyen Çalışmalar

Yazar(lar)	Ülkeler/Örnek Grubu	Dönem	Ekonometrik Yöntem	Bulgular
Álvarez-Herránz vd. (2017)	28 OECD Ülkesi	1990-2014	V-gecikme dağıtım modeli	Yeşil teknoloji yenilikleri CO <sub>2</sub> emisyonlarını ve çevre kirliliğini azaltmaktadır.
Mensah vd. (2018)	28 OECD Ülkesi	1990-2014	STIRPAT modeli	Yenilenebilir enerji tüketimi CO <sub>2</sub> emisyonlarını düşürürken ekonomik büyüme çoğu ülkede artırmaktadır.



Adams ve Acheampong (2019)	46 Sahraaltı Afrika Ülkesi	1980-2015	FE, RE, D-FE ve IV-GMM yöntemleri	Yenilenebilir enerji tüketimi hem düşük gelirli hem de yüksek gelirli ülkelerde CO <sub>2</sub> emisyonlarını düşürmektedir.
Ahmad vd. (2020)	22 gelişmekte olan ülke	1984-2016	CS-ARDL yöntemi	Teknolojik yenilikler ekolojik ayak izini düşürürken ekonomik büyüme artırmaktadır.
Omojolaibi ve Nathaniel (2020)	12 MENA Ülkesi	1980-2016	İkinci nesil panel yöntemler	Ekonomik büyüme ekolojik ayak izini artırmaktadır.
Sharif vd. (2020)	Türkiye	1965Q <sub>1</sub> -2017Q <sub>4</sub>	Q-ARDL yöntemi	Yenilenebilir enerji tüketimi her çeyrekte ekolojik ayak izini azaltmaktadır.
Akalın ve Erdoğan (2021)	26 OECD Ülkesi	1990-2015	AMG katsayı tahmincisi	Yenilenebilir enerji tüketimi ve kentleşme ekolojik ayak izini düşürürken ekonomik büyüme artırmaktadır.
Shao vd. (2021)	N-11 Ülkeleri	1980-2018	CS-ARDL yöntemi	Yeşil teknoloji yeniliği ve yenilenebilir enerji tüketimi uzun dönemde CO <sub>2</sub> emisyonlarını düşürmektedir.
Adebayo vd. (2022)	Portekiz	1980-2019	Wavelet (dalgacık) analizi	Yenilenebilir enerji tüketimi CO <sub>2</sub> emisyonlarını düşürürken ekonomik büyüme ve teknolojik yenilik artırmaktadır.
Ahmed vd. (2022a)	G-7 Ülkeleri	1985-2017	İkinci nesil panel yöntemler	Yenilenebilir enerji tüketimi ekolojik ayak izini düşürmektedir.
Ahmed vd. (2022b)	Hindistan	1970-2017	A-ARDL yöntemi	Enerji yoğunluğu ve ekonomik büyüme ekolojik ayak izini artırmaktadır.
Wang vd. (2022)	N-11 Ülkeleri	1990-2018	CS-ARDL yöntemi	Yenilenebilir enerji ekolojik ayak izini düşürürken ekonomik büyüme artırmaktadır.
Yuan vd. (2022)	Çin	2005-2017	STIRPAT modeli	Yeşil inovasyon CO <sub>2</sub> emisyonlarını güçlü bir şekilde azaltmaktadır.
Zhao vd. (2022)	Çin	1990-2019	STIRPAT modeli	Yeşil teknolojiler ekolojik ayak izini düşürürken, kentleşme ve ekonomik büyüme artırmaktadır.
Aziz ve Sarwar (2023)	MENA Ülkeleri	1996-2020	Momentler Kantil Regresyon	Ekonomik büyüme ve kentleşme ekolojik ayak izini artırırken yeşil teknolojiler ve yenilenebilir enerji azaltmaktadır.
Javed vd. (2023)	İtalya	1994-2019	Dinamik ARDL yöntemi	Yeşil teknolojiler ve yenilenebilir enerji tüketimi ekolojik ayak izini azaltmakta ekonomik büyüme artırmaktadır.
Ulah vd. (2023)	Türkiye	1970-2018	ARDL yöntemi	Ekonomik büyüme ekolojik ayak izini artırırken kentleşme azaltmaktadır.
Wei vd. (2023)	Brezilya	1990-2018	Dinamik ARDL yöntemi	Yeşil teknolojiler ve yenilenebilir enerji tüketimi ekolojik ayak izini



				azaltmakta ekonomik büyüme artırmaktadır.
Ali ve Kırıkkaleli (2024)	Almanya	1994-2021	FADL eşbütünleşme	Yenilenebilir enerji tüketimi ekolojik ayak izini düşürmektedir.
Ashraf vd. (2024)	En yüksek CO <sub>2</sub> emisyonu yapan ilk 10 ülke	2001-2021	İkinci nesil panel yöntemler	Yeşil teknolojiler ve yenilenebilir enerji tüketimi ekolojik ayak izini düşürürken ekonomik büyüme artırmaktadır.
Nuřa vd. (2024)	Avrupa(8) ve Asya(7) gelişmekte olan ülkeleri	1995-2019	FGLS ve PCSE yöntemleri	Yenilenebilir enerji tüketimi CO <sub>2</sub> emisyonlarını düşürürken ekonomik büyüme artırmaktadır.

### 3. VERİ SETİ VE METODOLOJİ

#### 3.1. Veri Seti

Bu çalışmada Avustralya ekonomisinin 1990-2020 dönemi yıllık verileri yardımıyla yenilenebilir enerji kullanımının (RE) yeşil teknoloji (ETEC) kanalıyla ekolojik (EFP) etkileri analiz edilmiştir. Ayrıca kişi başı gelir (GDPP) ve kentleşmenin (URB) de çevreyle ilgili bağlantılarına güçlü kanıtlar elde edilmiştir. Modeli oluşturan tüm serilerin doğal logaritmaları alınmıştır. Değişkenlerin tanımları ve faydalanılan kaynaklar Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Değişkenlerin Açıklamaları

Değişkenler	Değişkenlerin Açıklaması	Kaynak
EFP	Kişi başı ekolojik ayak izi (kha)	Global Ayak İzi Ağı
RE	Yenilenebilir enerji tüketimi (toplam enerji tüketimi %)	Dünya Kalkınma Göstergeleri
ETEC	Gelişmiş çevre teknolojileri (tüm teknoloji %)	OECD data
GDPP	Kişi başı gayri safi yurtiçi hasıla (sabit 2015\$)	Dünya Kalkınma Göstergeleri
URB	Kentsel nüfus büyümesi (yıllık % )	Dünya Kalkınma Göstergeleri

Çalışmada kullanılan ekonometrik model eşitlik 1'de gösterilmektedir.

$$EFP_t = f(RE_t, ETEC_t, GDPP_t, URB_t) \quad (1)$$

**Tablo 3.** Değişkenlere Ait Tanımlayıcı İstatistikler

	EFP	ETEC	RE	URB	GDPP
Ortalama	7.567742	10.06516	8.385806	1.391419	48883.21
Std. Sapma	0.8565	1.388138	1.053084	0.398905	7664.840
Maksimum	8.8	13.13	10.89	2.202006	59000.74



Minimum	5.6	7.9	6.68	0.739338	36030.49
Gözlem Sayısı	31	31	31	31	31

Tablo 3'ü incelediğimizde; Avustralya'da 1990-2020 yılları arasında EFP en düşük 5.6 kha değer alırken en yüksek 8.8 kha değer almıştır. Yeşil teknolojilerin tüm teknolojiler içindeki payının en yüksek yüzde 13.13 ve en düşük yüzde 7.9 olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerji yüzdesi maksimum %10.89 ve minimum %6.68 değerini alırken kentsel nüfus büyümesi en yüksek %2.20 ve en düşük %0.73 değerini almıştır. Analiz dönemi boyunca Avustralya'da kişi başı gelir en yüksek 59000.74\$ ve en düşük 36030.49\$ olmuştur.

### 3.2. Metodoloji

Ekonometrik analizlere başlamadan önce değişkenlerin maruz kalabileceği şokların değişkenler üzerinde bırakacağı etkilerin kalıcı olup olmadığını anlamak için birim kök testlerinden yararlanılmaktadır. Serilerin incelenen dönemde birim kök içermesi maruz kaldıkları şoklardan kalıcı olarak etkilendiği anlamına gelmektedir. Çalışmada doğrusal olmayan trendlerde güçlü çıkarımlara sahip, sayı zaman ve yapısının belli olmadığı yapısal kırılmaları hesaba katan Fourier KPSS (FKPSS) durağanlık testi kullanılmıştır. Bu test Becker vd. (2006) tarafından KPSS (Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin) testine Fourier fonksiyonlarının (trigonometrik terimler) eklenmesiyle oluşturulmuştur. Testin veri yaratma sürecini eşitlik 2, trigonometrik terimlerin olduğu vektörü eşitlik 3 ve Fourier fonksiyonunu eşitlik 4 göstermektedir.

$$y_t = X_t' \alpha + Z_t' \beta + r_t + \varepsilon_t ; r_t = r_{t-1} + u_t \quad (2)$$

$$Z_t = [\sin(2\pi kt/T), \cos(2\pi kt/T)]' \quad (3)$$

$$\alpha(t) = \beta_0 + \beta_1 \sin(2\pi kt/T) + \beta_2 \cos(2\pi kt/T) \quad (4)$$

FKPSS testine ait model eşitlik 4'ün eşitlik 5'te yerine yazılmasıyla elde edilmekte ve eşitlik 6'da gösterilmektedir.

$$y_t = \alpha(t) + f_t + e_t \quad (5)$$

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 \sin(2\pi kt/T) + \beta_2 \cos(2\pi kt/T) + e_t \quad (6)$$

FKPSS test istatistiğine ait matematiksel ifade eşitlik 7'de ve trigonometrik terimlerin anlamlılığını sınanan Ftest istatistiğinin matematiksel ifadesi de eşitlik 8'de gösterilmektedir (Becker vd., 2006).

$$\tau_\mu(k) = [1/T^2 (\sum_{t=1}^T S_t(k)^2)] / \sigma^2 \quad (7)$$

$$F_i(k) = [(KKT_0 - KKT_1(k))/2] / [KKT_1(k)/(T-q)] \quad (8)$$

Değişkenler arasındaki uzun dönem ilişki, yine Fourier yaklaşımına dayanan ve Banarjee vd. (2017) tarafından geliştirilen Fourier ADL (FADL) eşbütünleşme testiyle sınanmıştır. Eşbütünleşme testine gecikmesi dağıtılmış model (ADL) yaklaşımı ilk kez Banarjee vd. (1998) tarafından önerilmiş ve sonrasında teste yavaş gerçekleşen yapısal değişimleri yakalayabilen trigonometrik fonksiyonlar eklenerek FADL testine dönüştürülmüştür. FADL eşbütünleşme testine ait model eşitlik 9'da gösterilmektedir.



$$\Delta y_t = \beta_0 + \beta_1 \sin(2\pi kt/T) + \beta_2 \cos(2\pi kt/T) + \beta_3 y_{t-1} + \beta_4 X_{t-1} + \beta_5 \Delta X_t + u_t \quad (9)$$

Değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişki  $\beta_3$ 'ün anlamlılığı t anlamlılık testi ile sınanmaktadır. FADL test istatistiğinin (t) matematiksel ifadesi eşitlik 10'da verilmiştir.

$$t_{ADL}^F(\hat{k}) = \frac{\hat{\beta}_3}{se(\hat{\beta}_3)} \quad (10)$$

Bu test istatistiği ile;  $H_0: \beta_3=0$  (Eşbütünleşme ilişkisi yoktur.) şeklindeki yokluk hipotezine karşın  $H_1: \beta_3 < 0$  (Eşbütünleşme ilişkisi vardır.) şeklindeki alternatif hipotezi sınanmaktadır.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölüm analizlerin bulgularına yönelik raporları içermektedir. Raporlar konu ile ilgili çalışmalarla kıyaslanarak tartışılmıştır. Analiz raporlarını sunmadan önce değişkenler arasındaki ilişki korelasyon matrisiyle belirlenmiş ve Tablo 4'te sunulmuştur.

**Tablo 4.** Korelasyon Matrisi

	LEFP	LRE	LETEC	LGDP	LURB
LEFP	1				
LRE	-0.708082	1			
LETEC	-0.212296	-0.104587	1		
LGDP	0.1622777	0.215354	0.166703	1	
LURB	0.033558	-0.086231	0.308588	0.763611	1

Korelasyon katsayılarının incelediğimizde; yenilenebilir enerji ve yeşil teknolojilerin negatif ve ekonomik büyüme ile kentleşmeye ait katsayıların pozitif olduğu görülmektedir. Bu Avustralya'da yenilenebilir enerji ile yeşil teknolojilerin ekolojik ayak izi arasında ters ilişkinin olduğunu göstermektedir. Bir başka ifade ile RE ve ETEC arttığında EFP azalarak çevreyi iyileştirmektedir. Ayrıca ekonomik büyüme ve kentleşme ekolojik ayak iziyle doğrusal ilişkiye sahiptir. GDP ve URB artışı EFP'yi artırarak çevreye zarar vermektedir. Değişkenlerin birim kök sınamaları Fourier tabanlı FKPSS birim kök testiyle yapılmış ve elde edilen bulgular Tablo 5'te sunulmuştur.

**Tablo 5.** FKPSS Birim Kök Testi Bulguları

Değişken	Frekans(k)	MinKKT	FKPSS	KPSS	F Test İst.
LEFP	1	0.141174	0.357875 (8)		27.13137
LRE	1	0.249641	0.228817(4)		13.07516
LETEC	2	0.371398	0.529772 (3)		7.16628
LGDP	1	0.28051	0.339822 (4)		26.25721
LURB	1	0.493836	0.202633(10)		61.52794
DLEFP	5	0.166585	0.248824(2)	0.262287(2)	1.551943
DLRE	1	0.110863	0.056500(2)	0.2582061(2)	1.783298
DLETEC	2	0.269938	0.239166(11)		9.583561
DLGDP	1	0.003564	0.081355(4)		7.698452
DLURB	5	0.451131	0.171120(3)	0.146949(8)	3.679509

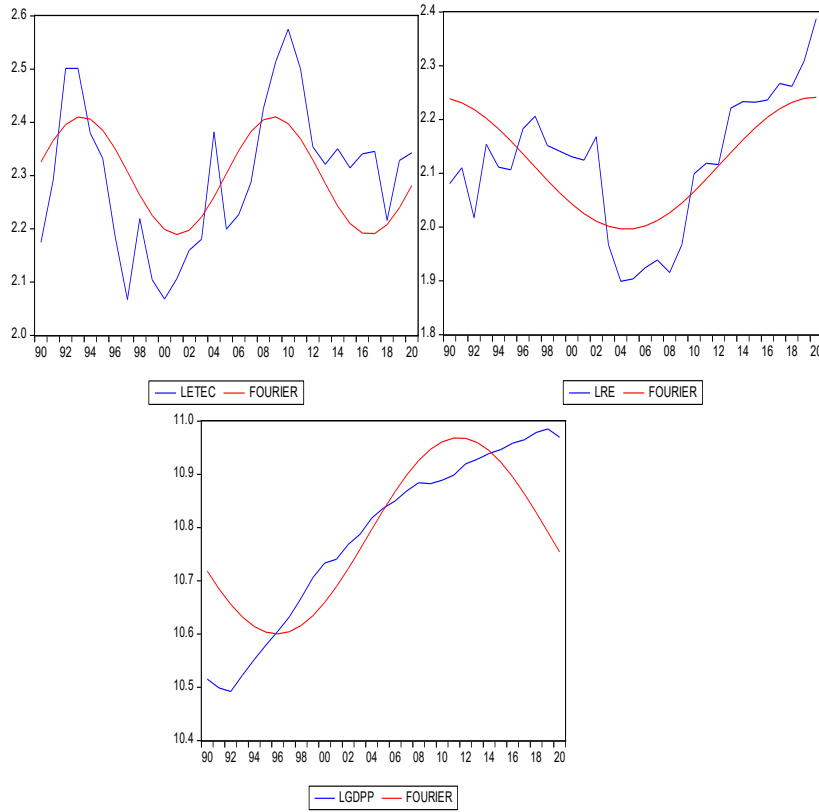
Not: ( ) içleri bant genişliğini ifade eder. Newey-West yöntemi ile otomatik olarak bulunmuştur.

FKPSS test bulgularına baktığımızda; LETEC hariç diğer değişkenlerin frekanslarının 1 olduğu gözlenmiştir. FKPSS testinde ilk olarak F test istatistiği ile trigonometrik terimlerin anlamlı olup olmadıkları sınanmaktadır. Trigonometrik

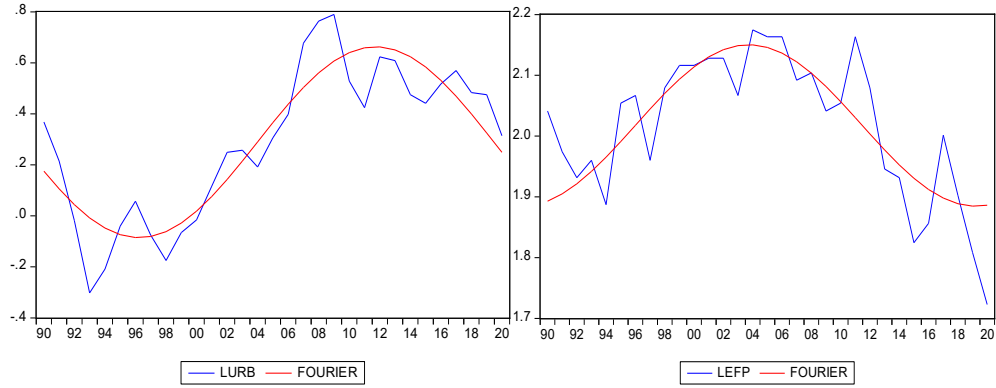


terimlerin anlamlı olması değişkenlerin doğrusal olmayan trendde olduğunu göstermektedir. Bu da doğrusal olmayan Fourier yöntemin kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Tablo 5 tüm değişkenlerin düzeyde F test istatistiklerinin anlamlı olduğunu yani Avustralya’da EFP, RE, ETEC, GDP ve URB serilerinin doğrusal trendde olmadığını göstermektedir. Düzeyde değişkenlerin hesaplanan FKPSS istatistiklerinin Becker vd. (2006) makalesindeki tablo değerlerinden büyük bulunması serilerin birim kök içerdiği anlamına gelmektedir. Bir başka ifadeyle Avustralya’da yaşanan şoklar modelde yer alan değişkenler üzerinde kalıcı etkilere sahiptir. Değişkenlerin ilk farkları alınmış ve “D” önekiyle tablonun alt kısmında tekrar F test istatistikleri hesaplanmıştır. Fark değişkenlerden DLETEC ve DLGDPP serilerine ait trigonometrik terimler anlamlı yani FKPSS kullanılırken diğerlerinin anlamsızdır. DLRE, DLEFP ve DLURN değişkenleri için standart KPSS hesaplanmıştır. Sonuç olarak tüm değişkenler birinci farklarında I(1) dereceden durağan hale gelmiştir. FKPSS birim kök testi çıktıları arasında değişkenlerin analiz dönemi boyunca Fourier fonksiyonları ile birlikte seyrine ait grafikler de yer almaktadır. Bu grafikler Şekil 1’de sunulmuştur.

**Şekil 1.** Değişkenlerin Fourier Fonksiyonlarıyla Birlikte Zaman Yolu Grafikleri







Şekil 1’de Fourier fonksiyonlarının değişkenlerin analiz dönemindeki seyirleriyle birlikte hareket ettikleri gözlenmektedir. Dolayısıyla F test istatistikleriyle anlamlılığını sınavığımız Fourier fonksiyonlarının anlamlı olduğunu grafikler de desteklemektedir. Avustralya’da kişi başı gelir (GDPP) 1992 yılından itibaren 2019 yılına sürekli bir artış kaydederek Kovid-19 küresel salgınında aşağı yönlü kırılma yaşamıştır. Kentleşme serisi (URB) en düşük değerini 1993 yılında almış 2008 küresel krizine kadar maksimum seviyeye ulaşmış ve sonrasında dalgalı bir seyirle yaklaşık yarı değerine düşmüştür. Yenilenebilir enerji tüketimi (RE) 2004 yılında minimum düzeydeyken 2008 küresel krizinden itibaren sürekli artış göstermiştir. Çevre ile ilgili yeşil teknolojiler (ETEC)2010 yılında en yüksek değerini almış ve o tarihten itibaren dalgalı olarak düşüş kaydetmiştir. Ekolojik ayak izinin (EFP) dönem boyunca seyrine baktığımızda 2010 yılından itibaren RE’deki artışlarla paralel olarak azaldığı görülmektedir. FKPSS birim kök testiyle I(1) dereceden durağan olarak belirlenen değişkenler arasındaki uzun dönem ilişki Fourier ADL (FADL) ebütünleşme testiyle test edilmiştir. Elde edilen ampirik bulgular Tablo 6’da raporlanmıştır.

**Tablo 6.** FADL Eşbütünleşme Testi Bulguları

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişkenler	Fre k(k)	Min-AIC	FADL Test İst.
LEFP(1)	LRE(1) LETEC(1) LGDPP(1) LURRB(1)	1	-2.560959	-5.83139

Not: k=1 ve n=4 için tablo kritik değerleri %1, %5 ve %10 için sırasıyla; -5.383, -4.698 ve -4.333’dür.

FADL test istatistiğinin mutlak değerce kritik değerden büyük olması “Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi yoktur.” şeklindeki yokluk hipotezini reddetmektedir. Dolayısıyla değişkenler uzun dönemde eşbütünleşik olarak hareket etmektedirler. Bu ilişkiye ait katsayılar DOLS (Dinamik en küçük kareler) katsayı tahmincisi ile tahmin edilmiş ve bulgular Tablo 7’de raporlanmıştır.

**Tablo 7.** DOLS Katsayı Tahminleri

Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-İstatistiği	Olasılık Değeri
LRE	-0.843711	0.240120	-0.371693	0.0000***
LETEC	-0.283765	0.185727	-1.527858	0.0009***
LGDPP	0.205145	0.006160	0.333043	0.0000***
LURB	0.285516	1.561007	1.188444	0.0510**
C	10.03086	3.700421	2.710736	0.0000***



CC	-0.900386	0.296082	-3.041001	0.0000***
SS	0.840598	0.420888	1.997202	0.0769*

Not: \*\*\*,\*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılığı ifade eder.

DOLS uzun dönem katsayılarını incelediğimizde; LRE ve LETEC değişkenlerine ait katsayıların negatif ve %1 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı olduklarını görmekteyiz. LRE değişkeninde uzun dönemde %1'lik artış LEFP'yi %0.843 oranında düşürmektedir. Yine uzun dönemde LETEC de yaşanacak %1'lik artış LEFP'yi %0.283 oranında düşürmektedir. Bir başka ifadeyle Avustralya'da yenilenebilir enerji tüketimi ve yeşil teknolojiler arttığında kişi başı ekolojik ayak izi azalarak çevre iyileşmektedir. Literatürde birçok çalışmada yenilenebilir enerji tüketiminin artışı ekolojik ayak izini düşürerek çevreyi iyileştirmektedir (Sharif vd., 2020; Akalın ve Erdoğan, 2021; Ahmed vd., 2022a; Wang vd., 2022; Aziz ve Sarwar, 2023; Javed vd., 2023; Wei vd., 2023; Ali ve Kırıkkaleli, 2024; Ashraf vd., 2024). Ayrıca yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonlarını düşürdüğüne dair de çalışmalar mevcuttur (Mensah vd., 2018; Adams ve Acheampong, 2019; Shao vd., 2021; Adebayo vd., 2022; Nuță vd., 2024). Yeşil teknolojilerdeki artışın çevreyi iyileştirdiğine dair elde edilen sonuç; Álvarez-Herranz vd. (2017), Ahmad vd. (2020), Shao vd. (2021), Yuan vd. (2022), Zhao vd. (2022), Aziz ve Sarwar (2023), Javed vd. (2023), Wei vd. (2023) ve Ashraf vd. (2024) çalışmalarıyla tutarlı olarak bulunmuştur. LGDPP değişkeninin katsayısının pozitif ve %1 seviyesinde anlamlı olması Avustralya'da artan gelirin ekolojik ayak izini artırarak çevreyi kirlettiğini ifade etmektedir. Uzun dönemde gelirin %1 oranında artması çevreye %0.205 oranında zarar vermektedir. Ekolojik kaygıya etki eden bir diğer faktör de kentleşmedir. Kentleşme değişkenine ait katsayı da pozitif ve anlamlı olarak bulunmuştur. Uzun dönemde kentleşme oranında yaşanacak %1'lik artış çevreyi %0.285 oranında kirletmektedir. Ekonomik büyüme ve kentleşmeye dair elde ettiğimiz sonuçlar; Zhao vd. (2022) ve Aziz ve Sarwar, (2023) çalışmalarlarıyla paralellik göstermektedir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada Avustralya'da yenilenebilir enerji (RE), yeşil teknolojiler (ETEC), ekonomik büyüme (GDPP) ve kentleşmenin (URB) sürdürülebilir çevreye (EFP) etkisi analiz edilmiştir. Çevrenin ekolojik ayak iziyle temsil edildiği ekonometrik modelde 1990-2020 arası yıllık verilerden yararlanılmıştır. Analizlerde ekonomilerin yavaş gerçekleşen yapısal değişimlerini de hesaba katan Fourier yaklaşımı benimsenmiştir. Değişkenlerin durağanlık sınamaları FKPSS birim kök test ile yapılmış ve aralarındaki uzun dönem denge ilişkileri FADL eşbütünleşme yaklaşımıyla test edilmiştir. Bu testten elde edilen bulgular Avustralya'da yenilenebilir enerji tüketimi, yeşil teknolojiler, ekonomik büyüme ve kentleşme oranlarının uzun dönemde ekolojik ayak iziyle birlikte hareket ettiklerini doğrulamıştır. Bu ilişkiye yönelik eğim katsayıları, FADL eşbütünleşme denkleminde hareketle DOLS tahmincisi ile tahmin edilmiştir. Yenilenebilir enerji tüketimi ve yeşil teknolojilere ait katsayıların negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunması bu değişkenlerin Avustralya'da çevre tahribatının etkilerini azaltarak ortadan kaldırdığını göstermektedir. Ekonomik büyüme ve kentleşmeye ait eğim katsayılarının pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olması ise gelirin ve kent nüfuslarının artmasının çevre tahribatına yol açtığı anlamına gelmektedir.



Ampirik bulgular ışığında Avustralya'da sürdürülebilir bir çevre için yenilenebilir enerji kullanımı ve yeşil teknolojiler artırılmalıdır. Politika yapıcılar çevreci yenilenebilir enerji tüketimine teşvik konusunda yasal, teknik ve finansal düzenlemeleri hayata geçirmelidir. Yeşil teknoloji gelişimi adına Ar-Ge harcamaları artırılmalı ve doğrudan yabancı yatırımlar kanalıyla dışarıdan teknoloji transferine kolaylık sağlayan düzenlemeler yapılmalıdır. İklim kriziyle mücadele konusunda hem üreticilerin hem de tüketicilerin farkındalıkları artırılmalıdır. Karar alıcılar kentleşmenin yoğun yaşandığı bölgelerde çevre tahribatını engelleyici tedbirler olarak ciddiyle kontrolünü sağlamalıdır. Hanehalkları yeşil enerji kullanımına teşvik edilmelidir.

Bu çalışma, Avustralya'nın 31 yıllık zaman serisi verileriyle gerçekleştirilmiştir. Gelecek çalışmalar farklı ülke ya da ülkeler için çevreye etki eden diğer faktörlere odaklanabilir. Farklı ekonometrik yaklaşımlar yardımıyla daha derin öneriler sunulabilir.

### REFERENCES

- Adams, S., & Acheampong, A.O. (2019). Reducing carbon emissions: the role of renewable energy and democracy. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118–245.
- Adebayo, T.S., Oladipupo, S.D., Adeshola, I., & Rjoub, H. (2022). Wavelet analysis of impact of renewable energy consumption and technological innovation on CO<sub>2</sub> emissions: evidence from Portugal. *Environmental Science Pollution Research*, 29 (16), 23887–23904.
- Ahmad, M., Jiang, P., Majeed, A., Umar, M., Khan, Z., & Muhammad, S. (2020). The dynamic impact of natural resources, technological innovations and economic growth on ecological footprint: an advanced panel data estimation. *Resources Policy*, 69, 101817.
- Ahmed, Z., & Wang, Z. (2019). Investigating the impact of human capital on the ecological footprint in India: An empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 26782-26796.
- Ahmed, Z., Wang, Z., & Ali, S. (2019). Investigating the non-linear relationship between urbanization and CO<sub>2</sub> emissions: An empirical analysis. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12, 945-953.
- Ahmed, Z., Ahmad, M., Rjoub, H., Kalugina, O. A., & Hussain, N. (2022a). 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.
- Ahmed, Z., Can, M., Sinha, A., Ahmad, M., Alvarado, R., & Rjoub, H. (2022b). Investigating the role of economic complexity in sustainable development and environmental sustainability. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 29(8), 771-783.
- Akalin, G., & Erdogan, S. (2021). Does democracy help reduce environmental degradation?. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(6), 7226-7235.
- Ali, M., & Kirikkaleli, D. (2024). Environmental tax, renewable energy and environmental sustainability in Germany: Evidence from wavelet and Fourier-



based approaches. *Management of Environmental Quality: An International Journal*. <https://doi.org/10.1108/MEQ-09-2023-0310>

- Álvarez-Herránz, A., Balsalobre, D., Cantos, J.M., & Shahbaz, M. (2017). Energy innovations-GHG emissions nexus: Fresh empirical evidence from OECD countries. *Energy Policy*, 101, 90-100.
- Ashraf, M.Z., Wei, W., Usman, M., & Mushtaq, S. (2024). How can natural resource dependence, environmental-related technologies and digital trade protect the environment: Redesigning SDGs policies for sustainable environment?. *Resources Policy*, 88, 104456.
- Alvarez-Herranz, A., Balsalobre, D., Cantos, J.M., & Shahbaz, M. (2017). Energy innovations-GHG emissions nexus: fresh empirical evidence from OECD countries. *Energy Policy*, 101, 90–100.
- Aziz, G., & Sarwar, S. (2023). Empirical evidence of environmental technologies, renewable energy and tourism to minimize the environmental damages: Implication of advanced panel analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 5118.
- Banerje, P., Arcabic, V., & Lee, H. (2017). Fourier ADL cointegration test to approximate smooth breaks with new evidence from crude oil market. *Econometric Modelling*, 67, 114-124.
- 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.
- Costantini, V., Crespi, F., Marin, G., & Pagliarlunga, E. (2017). Eco-innovation, sustainable supply chains and environmental performance in European industries. *Journal of Cleaner Production*, 155, 141-154.
- Destek, M.A., & Sarkodie, S.A. (2019). Investigation of environmental Kuznets curve for ecological footprint: the role of energy and financial development. *Science of the Total Environment*, 650, 2483-2489.
- Huang, Z., & Ren, X. (2024). Impact of natural resources, resilient economic growth, and energy consumption on CO2 emissions. *Resources Policy*, 90, 104714.
- IEA 50, (2024). Energy System of Australia. <https://www.iea.org/countries/australia>
- Javed, A., Rapposelli, A., Khan, F., & Javed, A. (2023). The impact of green technology innovation, environmental taxes, and renewable energy consumption on ecological footprint in Italy: Fresh evidence from novel dynamic ARDL simulations. *Technological Forecasting and Social Change*, 191, 122534.
- 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.
- Kongbuamai, N., Bui, Q., Yousaf, H.M.A.U., & Liu, Y. (2020). The impact of tourism and natural resources on the ecological footprint: a case study of ASEAN



countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(16), 19251–19264. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08582-x>.

- Kwiatkowski, D., Phillips, P.C., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root?. *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159-178.
- Mensah, C.N., Long, X., Boamah, K.B., Bediako, I.A., Dauda, L., & Salman, M. (2018). The effect of innovation on CO2 emissions of OCED countries from 1990 to 2014. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 29678–29698.
- Nuță, F. M., Sharafat, A., Abban, O. J., Khan, I., Irfan, M., Nuță, A. C., ... & Asghar, M. (2024). The relationship among urbanization, economic growth, renewable energy consumption, and environmental degradation: A comparative view of European and Asian emerging economies. *Gondwana Research*, 128, 325-339.
- Omojolaibi, J.A., & Nathaniel, S.P. (2022). Assessing the potency of environmental regulation in maintaining environmental sustainability in MENA countries: An advanced panel data estimation. *Journal of Public Affairs*, 22(3), e2526.
- Shao, X., Zhong, Y., Liu, W., & Li, R.Y.M. (2021). Modeling the effect of green technology innovation and renewable energy on carbon neutrality in N-11 countries? Evidence from advance panel estimations. *Journal of Environmental Management*, 296, 113189.
- Sharif, A., Baris-Tuzemen, O., Uzuner, G., Ozturk, I., & Sinha, A. (2020). Revisiting the role of renewable and non-renewable energy consumption on Turkey's ecological footprint: Evidence from Quantile ARDL approach. *Sustainable Cities and Society*, 57, 102138.
- Sustainable Development Goals. (2024). The Sustainable Development Goal Report 2023. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023.pdf>
- Wang, J., You, S., Agyekum, E.B., Matasane, C., & Uhunamure, S.E. (2022). Exploring the impacts of renewable energy, environmental regulations, and democracy on ecological footprints in the next eleven nations. *Sustainability*, 14(19), 11909.
- Wei, S., Wei, W., & Umut, A. (2023). Do renewable energy consumption, technological innovation, and international integration enhance environmental sustainability in Brazil?. *Renewable Energy*, 202, 172-183.
- Yuan, B., Li, C., Yin, H., & Zeng, M. (2022). Green innovation and China's CO2 emissions—the moderating effect of institutional quality. *Journal of Environmental Planning and Management*, 65, 877–906.
- Zhao, H., Li, Y., Hao, F., & Ajaz, T. (2022). Role of green energy technology on ecological footprint in China: Evidence from Beijing-Tianjin-Hebei region. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 965679.