



TÜRKİYE'DE KÜRESELLEŞME VE ENERJİ TÜKETİMİNİN KARBON EKOLOJİK AYAK İZİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERSPEKTİFİ

Musa NASIRLI^{1*}
Sema BEHDİOĞLU²

Öz

Yeni milenyumdaki çevresel sürdürülebilirlik bakış açısıyla yenilenebilir enerjiye geçişin, karbon ekolojik ayak izi üzerindeki baskıyı hafifletme potansiyelini göz önünde bulundurarak bu çalışma Türkiye'de küreselleşme ve enerji tüketiminin karbon ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini sürdürülebilirlik perspektifinden analiz etmektedir. Araştırmada, sosyoekonomik etkileri de kapsayacak şekilde STIRPAT model yapısı kullanılmış ve 1981-2022 dönemine ait veriler ARDL sınır testi ile incelenmiştir. Tanımlayıcı istatistikler ve zaman serisi grafikleri incelenmiş; bu grafiklerde bazı kırılmalar gözlemlenmiş ve değişkenlerin trend yapıları analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, modelde yer alan değişkenler arasında uzun dönemli anlamlı ilişkiler olduğunu ortaya koymuş; kısa dönem ilişkiler de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ve modelin 0.58 yıl sonra uzun dönem denge ilişkisine ulaşacağı öngörülmüştür. Granger nedensellik testi sonuçları ise %95 güven düzeyinde GSYH ile RE, P ile RE ve P ile EE değişkenleri arasında nedensel ilişkiler olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, bulgular küreselleşme ve enerji tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki kısa ve uzun vadeli sosyoekonomik ve sürdürülebilirlik etkileri tespit edilmiş ve bu doğrultuda politika önerilerinin geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik ayak izi, Çevresel etkiler, Zaman serisi analizi, ARDL sınır testi, İklim değişimi

JEL Kodları: C3, E2, O44

THE EFFECTS OF GLOBALIZATION AND ENERGY CONSUMPTION ON THE CARBON ECOLOGICAL FOOTPRINT IN TURKEY: AN ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY PERSPECTIVE

Abstract

This study analyzes the impact of globalization and energy consumption on the carbon ecological footprint in Turkey from a sustainability perspective, taking into account the potential of transitioning to renewable energy to alleviate pressure on the carbon ecological footprint from an environmental sustainability viewpoint. The research employs the STIRPAT model structure, which includes socioeconomic impacts, and examines data from the period 1981–2022 using the ARDL bounds test approach. Descriptive statistics and time series graphs were analyzed, revealing certain structural breaks and examining the trend structures of the variables. The findings demonstrate significant long-term relationships among the variables in the model, while short-term relationships were also found to be statistically significant, with the model projected to reach a long-term equilibrium relationship after approximately 0.58 years. Granger causality test results at a 95% confidence level indicate causal relationships between GDP and RE, P and RE, and P and EE variables. In conclusion, the findings reveal both the short- and long-term socioeconomic and sustainability impacts of globalization and energy consumption on the ecological footprint, underscoring the necessity of developing policy recommendations accordingly.

Keywords: Ecological footprint, Environmental impacts, Time series analysis, ARDL bounds test, Climate change

JEL Codes: C3, E2, O44

¹ ORCID: 0009-0007-5230-0776

* **Sorumlu Yazar** (Corresponding Author): nasirlimusa@gmail.com

² Prof. Dr., Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, ORCID: 0000-0002-4759-2088

Başvuru Tarihi (Received): 21.11.2024 **Kabul Tarihi** (Accepted): 18.04.2025

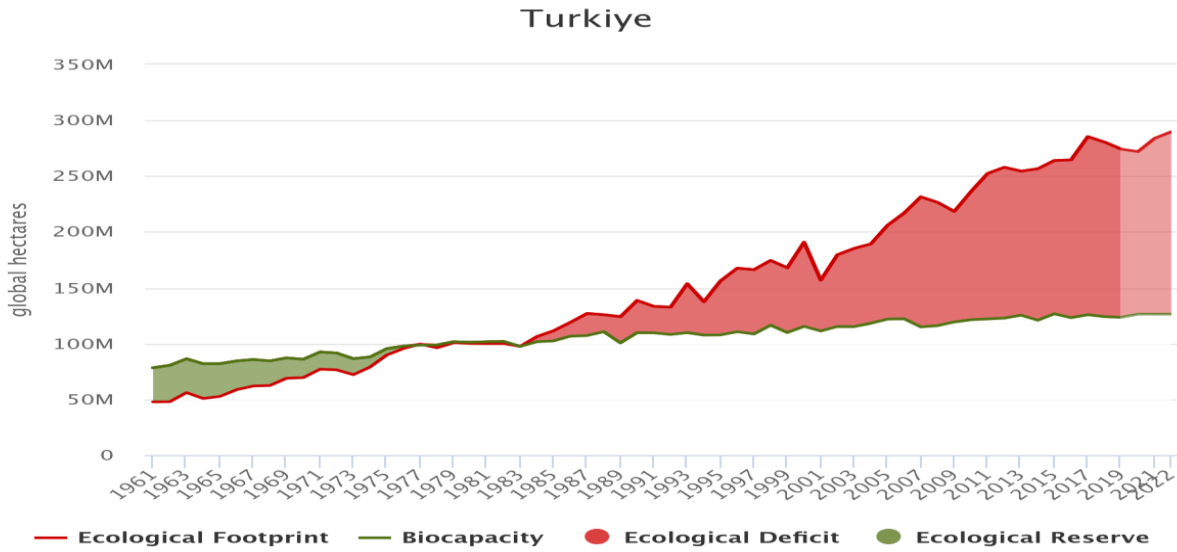
Giriş

Küresel ısınma, iklim değişikliği, habitat kaybı ve çevresel sürdürülebilirlik, günümüzün en acil küresel sorunları arasında yer almakta ve ülkelerin çevre politikalarının merkezine yerleşmektedir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki ilişki, çevresel sürdürülebilirlik hedefleri açısından büyük bir önem taşımaktadır. Özellikle fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi endüstriyel Rönesans'tan bu yana sürekli artış eğiliminde devam etmektedir. Fosil yakıt tüketimi ekonomik kalkınmanın önemli bir parçası olurken, diğer yandan da sera gazı emisyonları aracılığıyla ekolojik ayak izi üzerindeki baskıyı artırmakta ve ciddi çevresel sorunların kaynağı haline gelmektedir. Çevre ile ilgili yapılan pek çok çalışmada fosil enerjiye bağlılığın sürdürülebilirlik açısından uzun vadede tükenebilirliğini vurgulamış ve bunun yanı sıra çevresel bozulmanın bir parçası olduğunu belirtmişlerdir (Bekhet ve Othman 2018; Zafar ve diğerleri, 2022; Çağlar ve diğerleri, 2022; Mert ve diğerleri, 2019). Bu doğrultuda, enerji tüketiminin karbon ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin anlaşılması, çevre dostu politikaların geliştirilmesi ve uygulanması hayati önem taşımaktadır.

Ekolojik ayak izi terimi, insan faaliyetleri sonucunda çevre ve doğa üzerinde oluşan tahribatın bıraktığı iz olarak tanımlanmaktadır. Bu terim, 1990'lı yıllarda Mathis Wackernagel ve William Rees tarafından ekolojik etkileri ölçmek amacıyla literatüre kazandırılmıştır. Günümüzde, insanoğlunun doğal kaynaklar üzerindeki yıkıcı etkisi giderek artmaktadır. Bu bağlamda, doğal karbon yutakları atmosferdeki sera gazlarını absorbe etme kapasitesine sahiptir. Ancak sulak alanların kirliliği, ormansızlaşma, küresel ısınma ve kuraklık gibi güncel çevresel sorunlar, bu yutakların kapasitesinin giderek azalmasını yanı sıra biyoçeşitlilik kaybına da neden olmaktadır.

Biyoçeşitlilik, karada, suda, denizde, havadaki tüm canlılar ve onların arasındaki etkileşimleri kapsayan genetik, tür ve ekosistemin çeşitliliğini ifade etmektedir. İnsan refahı için kritik olan ormanlar, sulak alanlar, okyanus ekosistemi benzeri ekosistemler gıda, enerji ve ilaç bakımından önemlidir (Alkemade ve diğerleri, 2022). Günümüzde bir milyon canlı yaşamı türünün yok olma tehlikesi altında olduğu bilinmektedir. Sıcak su mercanlarının %50 kayıp olmuş ve küresel ısınma 1.5° dereceye ulaştığında bu oran %70 ila %90'lara ulaşacağı, 2° dereceye ulaştığındaysa %99 yok olacağı öngörülmektedir. World Wildlife Fund(WWF- Dünya Doğayı Koruma Vakfı)'un Türkiye 2012 raporunda Akdeniz Havzası'nda EAİ ile Biyolojik kapasite arasındaki oransızlık giderek daha fazla hale geldiği belirtilmektedir. Bölgedeki kişi başına düşen EAİ tüketimi 1961-2007 yılları aralığında %36 artış göstererek 2,4 hHa'dan(Küresel hektar) 3.3 kHa'ya yükselmiştir. Aynı dönem için biyolojik kapasite 2.1 kHa 'dan 1,3 kHa'ya gerilemiştir. Bu durum sayesinde son 50 yılda ekolojik ayak izinde 8 kat artış olmuş ve 1,9 kHa'ya ulaşan limit artışı gerçekleşmiş bu değer dünya ortalamasının üstündedir. WWF Türkiye 2012 raporunda Türkiye'nin 2007 yılına ait Ekolojik Ayak İzi 2.7 kHa ile dünya ortalamasıyla eşit bir şekilde ilerlerken Akdeniz ülkeleri ortalaması bakımından düşük seviyededir. Diğer yandan, kişi başına düşen ulusal biyolojik kapasitenin 1.3 kHa olmasıyla dünya ortalamasının altındadır. Bu durum ülkemizin ekolojik açıdan borçlu tarafta yer almasına sebep olmaktadır. Yani Türkiye için kişi başına düşen tüketim miktarı küresel biyolojik kapasitesinin %50 fazlası olup sürdürülemeyen bir yaşamı temsil etmektedir (Almond ve diğerleri, 2022).

Şekil 1: *Ekolojik Ayak İzi Tablosu*



Kaynak: <https://data.footprintnetwork.org>, Erişim tarihi 20.11.2024

Şekil 1'de gösterildiği üzere, 1983 yılı kırılma noktası olarak kabul edildiğinde, ekolojik rezerv ile biyolojik kapasite arasındaki açıklığın günümüze kadar sürekli olarak arttığını söylemek mümkün.

Sürekli artış trendinde olan nüfus, Ülkemizin ekolojik ve biyolojik açıdan kapasite fazlası konumuna itmektedir. 1961 den 2007 yılına kadar kişi başına EAI sabitken, toplam tüketimin EAI %150 artış göstermiştir. Bunun nedenleri aynı dönem için nüfusta artıştır (Almond ve diğerleri, 2022).

Türkiye'nin enerji tüketimi son yıllarda hızlı bir artış göstermekte ve bu artış, ülkenin ekonomik büyümesi ile doğrudan ilişkilendirilmektedir. Ancak bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının yeterince kullanılmaması ve fosil yakıtlara bağımlılığın devam etmesi nedeniyle çevresel sorunları derinleştirmektedir. Türkiye, karbon nötrlüğü hedefleri doğrultusunda çevre dostu politikalar geliştirme sürecinde olsa da, enerji tüketimi ve karbon emisyonları arasındaki dinamik ilişkilerin yeterince anlaşılmaması, bu politikaların etkinliğini sınırlamaktadır. Bu bağlamda, küreselleşme ile enerji tüketimi ve karbon ekolojik ayak izi arasındaki etkileşimlerin kapsamlı bir şekilde incelenmesi, sürdürülebilir çevre politikalarının oluşturulmasında önemli katkılar sağlayacaktır.

Küreselleşmenin beraberinde getirdiği önemli sorunlardan biri olan iklim değişikliğiyle mücadele bağlamında Türkiye, 2015 yılında Paris İklim Anlaşması'nı imzalamış ve 2021 yılında onaylayarak bu sorunun önemine olan bağlılığını vurgulamıştır. Aynı zamanda, 2053 yılı için net sıfır emisyon hedefini açıklamıştır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, Paris Anlaşması).

1. Literatür İncelemesi

Bu bölümün amacı, küreselleşme, enerji tüketimi ve karbon ekolojik ayak izi arasındaki ilişkileri inceleyen önceki literatürü taramak ve kapsamlı bir şekilde değerlendirmektir. Son yıllarda çevresel etkilerin analizine yönelik çalışmalar önemli ölçüde artış göstermiştir. Bu alanda yaygın olarak kullanılan STIRPAT modeli, karbon emisyonları üzerinde nüfus, kişi başına düşen gelir, enerji kullanımı ve çevresel etki gibi değişkenlerin etkilerini çeşitli yöntemlerle incelemektedir. Ancak, literatürde karbon emisyonları yerine karbon ayak izini kullanarak yapılan analizlere rastlanmamıştır. Özellikle karbon ayak izi üzerinden nedensellik analizinin gerçekleştirildiği bir çalışmaya rastlanamamıştır.

Bu çalışma, karbon ayak izini esas alarak daha yenilikçi bir yaklaşım sunmakla kalmayıp, modele eklenen sosyoekonomik katkılar sayesinde çevre üzerindeki baskıyı arz ve talep yönlerinden birlikte değerlendirmeyi sağlamaktadır. Ayrıca, çevresel ve biyolojik etkinin yanı sıra sosyal ve ekonomik faktörler de analiz kapsamında dikkate alınmaktadır. Bu doğrultuda, küreselleşmenin ve enerji tüketim düzeylerinin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini analiz eden teorik ve ampirik araştırmalar dikkate alınarak, konuya dair literatürde öne çıkan yaklaşımlar, bulgular ve tartışmalar derinlemesine bir perspektifte ele alınmaktadır. Amaç, bu ilişkileri anlamak için konu ile ilgili bilgi birikimi genişletmek ve literatürdeki boşlukları tespit ederek bütüncül bir bakış açısıyla irdelemektir.

1.1. Küreselleşme, Enerji Tüketimi ve Karbon Ekolojik Ayak İzi (KEAİ)'ne İlişkin Literatür

KEAİ kapsamında literatürde ekolojik ayak izi üzerine yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. (Solarin ve diğerleri, 2021; Sun ve diğerleri, 2023; Hassan ve diğerleri, 2023 ve Nathaniel ve diğerleri, 2024) benzeri yürütülen araştırmalarda, küreselleşme enerji tüketiminin ekolojik ayak izi arasında ilişkilerin olduğunu ortaya koymuştur.

1.2. Küreselleşme, Enerji Tüketimi ve CO₂ Literatürü

Sürekli artış gösteren nüfus, beraberinde küreselleşme ve enerji ihtiyacını artırmakta, bu durumun CO₂ emisyonları üzerindeki baskıyı arttırdığı bilinmektedir. Bu bağlamda, literatürde konuya ilişkin kapsamlı çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, (Xie ve Bul, 2024; Lu ve diğerleri, 2024; Zheng ve diğerleri, 2024; Khan ve diğerleri, 2019) ile Destek ve Pata (2023) gibi çalışmalar, farklı ekonomilere ve gruplara yönelik bazı yöntemlerle uygulamalar gerçekleştirmiş ve sonuçlarını raporlamışlardır. Bu çalışmaların ortak bulguları, küreselleşme ve enerji tüketiminin CO₂ emisyonları üzerinde belirgin etkiler yarattığını göstermektedir. Araştırmalar, özellikle fosil enerji tüketiminin yüksek olduğu ekonomilerde CO₂'nin artış eğilimi gösterdiğini ve küreselleşmenin bu süreçte eşlik edebileceğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda temiz enerjinin önemi ve çevre dostu politikaların önemi vurgulanmaktadır.

2. Veri ve Yöntem

Bu çalışma, Türkiye’de sürdürülebilirlik bakış açısıyla küreselleşme ve enerji tüketiminin karbon ekolojik ayak izi (KEAİ) üzerindeki etkilerini, ekonometrik analiz yöntemleri ile incelemeğe odaklanmaktadır. Modelin KEAİ üzerine olan etkilerini araştırırken aynı zamanda STIRPAT model yapısı ile detaylandırılarak sosyoekonomik etkiler de analiz edilmektedir.

Çalışmada analiz edilen veriler, Our World In Data (Our world in data), DataBank (WDI- World Development Indicators) ve footprintnetwork (GFN)’nin ücretsiz açık kaynak erişimli veri setlerinden elde edilmiştir. Veri setine ilişkin tanım ve detaylar Tablo 1’de yer almaktadır. Analiz edilecek ekonometrik modelde, bağımlı değişken olarak karbon ekolojik ayak izi (KEAİ) belirlenmiş; bağımsız değişkenler olarak ise nüfus (P- Population), gayri safi yurt içi hâsıla (GSYH), enerji tüketimi (EE- Exhaustible Energy) ve yenilenebilir enerji tüketimi (RE- Renewable Energy) seçilmiştir. Model yapısı, (Ayad 2023; Ayad ve diğerleri, 2024; Çağlar ve Uluğ 2022) benzer çalışmalardaki yaklaşımlar takip edilerek oluşturulmuştur. Yapılacak analizde sosyoekonomik değişkenlerin de modele dahil edilmesi planlandığından, değişkenlerin entegrasyonu amacıyla Thomas Dietz ve E. A. Rosa (1997) tarafından önerilen STIRPAT modelinin kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, modelin yapısı Denklem 1’de verilen şekilde ifade edilmektedir.

$$I_i = \alpha P_i^b A_i^c T_i^d \varepsilon_i \quad (1)$$

Denklem (1) I çevresel göstergesi, bağımlı değişkeni temsil eder ve eşitliğin sol tarafında yer almaktadır. P, A ve T ise sırasıyla nüfus, refah ve teknolojiyi temsilen eşitliğin sağ tarafında ve bağımsız değişkenleri ifade eder. Modelde yer alan “i” birim sayısını, “a” ölçeklendirilebilir sabit terimi, “b,c ve d” ise modelin esnekliklerini belirtmektedir. Son olarak ε_i Hata terimini temsil etmektedir. Bu yaklaşım, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda KEAİ etkileyen faktörleri kapsayıcı bir şekilde değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

Daha önce de belirtildiği üzere burada I bağımlı değişkeni KEAİ, P değişkeni nüfusu P, A değişkeni refahı GSYH ve son olarak T değişkeni teknolojiyi yani yenilenebilir enerji tüketimi RE ve enerji tüketimini (Fosil kaynaklardan) EE olarak değiştirilmektedir. Bu durumda, logaritması alınmış değişkenlerin ekonometrik düzenlemesi Denklem 2’de sunulmaktadır.

$$\ln KEAİ_{it} = a + b1(\ln P_{it}) + c1(GSYH_{it}) + d1(ee_{it}) + d2(re_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Tablo 1: Değişkenler ve Kısaltmalar

Değişkenler	Kısaltmalar	Tanımlar	Kaynak	Beklentiler
Karbon Ekolojik Ayak İzi	KEAİ	Küresel Hektar GHA	GFN (2024)	/
Nüfus (Population)	P	Toplam Nüfus	WDİ	Negatif
Kişi Başına Gayri Safi Yurt İçi Hasıla	GSYH	Kişi başına GSYH (2015 sabit ABD doları)	WDİ	Pozitif
Enerji tüketimi(Exhaustible Energy)	EE	Kişi başına yenilenemeyen enerji kWh/kişi	Our w in d	Negatif
Yenilenebilir enerji Tüketimi(Renewable Energy)	RE	Kişi başına yenilenebilir enerji kullanımı KWh/kişi	Our w in d	Pozitif

Bu çalışma, zaman serisi verisinin erişilebilirliği doğrultusunda 1981 ile 2022 yılları arasındaki dönemi kapsamaktadır ve analizler EViews 13 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Değişkenlere ilişkin beklentiler, daha önce yapılan çalışmaların bulguları doğrultusunda belirlenmiştir. KEAİ değişkeni (Ekolojik Ayak İzi), insan faaliyetleri sonucu meydana gelen çevresel tahribatı ifade ettiğinden, bu değişkenin çevresel etkisinin olumsuz yönde olması beklenmektedir. GSYH değişkeni (Gayrisafi Yurt İçi Hasıla), ekonomik geliri temsil etmektedir ve literatürde yapılan birçok çalışma, gelir ile çevre arasındaki ilişkinin genellikle olumlu yönde olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun temel nedeni, artan gelir seviyesinin hükümetleri çevre dostu politikalara daha fazla yatırım yapmaya teşvik etmesidir (Frodyma ve diğerleri, 2022). P değişkeni (Nüfus), toplam nüfusu ifade etmektedir. Nüfus artışı, sonucu insan ihtiyaçları artarak doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı arttırmakta ve ucuz enerji kaynaklarının kullanımına teşvik etmektedir. Bu süreç, çevresel bozulmaya katkıda bulunmaktadır (Li & Ullah, 2022; Wang ve diğerleri, 2017). EE değişkeni (Tükenebilir Enerji), fosil yakıtlar gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Bu kaynakların atmosfere zararlı gazlar salması ve sınırlı miktarda bulunması nedeniyle çevresel etkisinin olumsuz olması beklenmektedir. RE değişkeni (Yenilenebilir Enerji), güneş, rüzgâr ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından oluştuğundan, çevresel sürdürülebilirliği destekleyici bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, RE değişkenine ilişkin beklentinin olumlu yönde gerçekleşmesi öngörülmektedir (Ayad, 2023).

Kurulacak ekonometrik modelde I bağımlı değişken yerine KEAİ, P değişkeni Nüfusu P, A değişkeni refahı GSYH ve son olarak T değişkeni teknolojiyi yani yenilenebilir enerji tüketimi RE ve enerji tüketimini (Fosil kaynaklardan) EE olarak değiştirilmektedir. Bu durumda logaritması alınmış değişkenlerin ekonometrik dizimi denklem 3’ deki gibidir.

$$\ln KEAİ_{it} = a + b1(\ln P_{it}) + c1(GSYH_{it}) + d1(EE_{it}) + d2(RE_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Ekonometrik metodoloji açısından, bu çalışmada kullanılan yöntem zaman serisi analizlerinde sıklıkla tercih edilen ARDL (Autoregressive Distributed Lag) yöntemidir. Alternatif olarak FARDL ve NARDL gibi yöntemler analize uyarlanmaya çalışılmış, ancak değişkenlerin veri yapısının tümleşik dereceleri ve simetriklik varsayımları gereken koşulları sağlamadığı tespit edildiğinden analiz, geleneksel ARDL yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Bu testin tercih edilmesinin nedeni, yalnızca uzun vadeli ve kısa vadeli etkileri birlikte değerlendirme olanağı sunmakla kalmayıp, farklı tümleşik derecelerde (I(0) I(1)) de sağlam sonuçlar vermesidir. ARDL sınır testi uygulanmadan önce, modelin durağanlığını değerlendirmek amacıyla birim kök

testi süreci gerçekleştirilmektedir. Bu süreç, veri setinin durağanlık derecesinin analizin yönünü belirlemesi nedeniyle kritik bir adım olarak kabul edilmektedir.

2.1. Birim Kök Testleri

Birim kök testleri araştırmacı yazarlar tarafından durağanlığın anlaşılması açısından sıklıkla tercih edilmektedir. Bunun sebebi testlerin hatayı doğru işleme olasılığı ve doğru hipotezi kabul veya reddetme olasılığıdır. Doğru birim kök testlerinin tercih edilmesi ile ilgili çeşitli araştırmacılar ve yazarlar tarafından sunulan yöntemler mevcuttur (Gujarati & Porter, 2012). Bu makalede, değişkenlerin durağanlık analizinde "çoğunluğa uyma" yöntemi esas alınarak değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu yöntem, farklı birim kök testlerinin sonuçlarının çoğunluk eğilimlerine göre değerlendirmesine ve daha sağlam bir karar alınmasını amaçlamaktadır. Ayrıca, değişkenlerin zaman serisi grafiklerinde trend yapısının belirgin olduğu gözlemlendiğinden, yalnızca düzey değerlerinin analiz edilmesi yanıltıcı olabilir. Bu nedenle, analiz sırasında hem düzey hem de trend bileşenleri bir arada değerlendirilerek, daha kapsamlı bir inceleme yapılmaktadır. Bu yaklaşım, trendin etkisini göz ardı etmeden daha güvenilir bir durağanlık analizi yapılmasına olanak tanıyacaktır. Bu doğrultuda uygulanacak başlıca birim kök testleri arasında ADF (Augmented Dickey-Fuller), PP (Phillips-Perron), KPSS (Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin), FADF (Fourier-Augmented Dickey-Fuller) ve ZA (Zivot-Andrews) testleri bulunur. Bu testler, farklı modelleme varsayımlarına dayalı olarak durağanlık derecesi hakkında daha kapsamlı bir değerlendirme yapılabilmesini sağlar.

ADF (The Augmented Dickey Fuller Test) geleneksel birim kök testi 1979 yılında Dickey ve Fuller tarafından literatüre kazandırılmıştır. Standart DF testi yüksek dereceli korelasyon içeren serilerde hatanın temiz dizi olma özelliğini kaybedeceğinden ADF testi tanıtılmıştır. ADF testi DF testinin geliştirilmiş bir sürümüdür. Burada durum DF testi AR(1) sürecinden yararlanırken ADF testinde p gecikmeli fark terimlerini modele dâhil ederek AR(p) sürecinden yararlanmaktadır. Bu model için yukarıda da belirtildiği üzere trend görünümü izlendiğinde sabitli trendli modelin denklemi 4'deki gibi olmaktadır.

$$\Delta KEA_t = \mu + \beta_t + \delta KEA_{t-1} + \beta_1 \Delta P_{t-1} + \beta_2 \Delta GSYH_{t-1} + \beta_3 \Delta EE_{t-1} + \beta_4 \Delta RE_{t-1} \quad (4)$$

Denklem 4'te yer alan işlemde Δ farkı alınmış seriyi, β_t trendi, μ sabit terimi ($E(y_t) = \mu$), δ KEA'nin gecikmeli değerine ilişkin katsayısı, $\beta_{1,2,3,4}$ farkı alınmış zaman serisinin ait parametreler ve son olarak ε_t hata terimini ifade etmektedir. Denklem için kurulacak hipotez $H_0: \delta = 0$ birim kök var seri durağan dışıdır olarak ifade edilmektedir.

Phillips ve Perron (PP) testi 1988 yılında yaptıkları ufuk açan çalışmalarında, birim kök analizlerinde serisel korelasyonu kontrol altında tutabilecek bir yöntem önermişlerdir. PP testi yanlış olan hipotezi red etme olasılığı ile ölçüldüğünden DF testlerinden daha güçlüdür. DF testiyle benzer olarak, şoklar oto korelasyonun olmadığı ve sabit varyanslı olduğu varsayımına dayanarak analiz edilmekte (Tarı, 2015, 400). Bu durumda, sabit ve trend içeren model için PP test istatistiği Denklem 5'te sunulmaktadır.

$$KEA_t = \beta_0 + KEA_{t-1} + \beta_2 GSYH(t-T/2) + \beta_3 EE(t-T/2) + \beta_4 RE(t-T/2) + \varepsilon_t \quad (5)$$

Denklem 5'te T Gözlem sayısını, ε_t Hata teriminin dağılımını göstermekte olup bağımsız ve özdeş dağılımlı iken, beklenen ortalaması da sıfıra eşittir ($E(\varepsilon_t) = 0$). PP testi istatistiği, ardışık ilişkileri dikkate alabilmek için parametrik olmayan istatistiksel yöntemler kullanmaktadır (Gujarati & Porter, 2012, s. 758).

Kwiatkowski, Phillips, Schmidt ve Shin (KPSS) testi, 1988 yılında geliştirilmiş olup, ekonometrik analizlerde durağanlık sınamalarına yönelik önemli bir istatistiksel yöntem olarak literatüre kazandırılmıştır. Diğer birim kök testlerinden farklı olarak durağanlığı test ederken sıfır hipotezi "Durağanlık vardır." (H_0 : Seri durağandır) olarak belirlenmektedir. Tersine hipotez

belirlendiğinden diğer birim kök testleri ile kullanımı yaygındır. Çünkü diğer testler ile karşılaştırılıp durağanlık süreci ile ilgili daha net karar verebilmeyi sağlamakta. KPSS testi LM testi ile benzer olarak ilerlemektedir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010, 363). Bu durumda LM testinde sıfır hipotezi, rassal yürüyüş sıfırken deterministik trend, rassal yürüyüş ve durağan hatalı için model denklem 6’daki gibi sunulmaktadır.

$$Y_t = \beta t + w_t + e_t \quad (6)$$

$$w_t = w_{t-1} + u_t$$

Eşitlikte w_t rassal yürüyüşü, t deterministik trendi, ε_t ise durağan hataları göstermektedir. Ayrıca $u_t \sim IID(0, \sigma_u^2)$ ’dur. Hipotez u_t ’nin varyansının sıfır olduğunu varsayar ($\sigma_u^2 = 0$). e_t için ise durum, durağan ve $e_t \sim IIDN(0, \sigma_\varepsilon^2)$ olduğudur. KPSS test istatistiği için eşitlik denklem 7’de gösterilmektedir.

$$KPSS \hat{\eta}_\mu = T^{-2} \sum_{t=1}^T S_t^2 / S^2(l) \quad (7)$$

Burada, $s^2(l) = T^{-1} \sum_{t=1}^T \varepsilon_t^2 + 2T^{-1} \sum_{s=1}^T w(s, l) \sum_{t=s+1}^T \varepsilon_t \varepsilon_{t-1}$ ve $w(s, l) = 1 - s/(l+1)$ opsiyonel ağırlaştırılmış fonksiyondur, T^{-2} kalıntıların normalize edilmiş halini, S_t elde edilen kalıntıların kısmi kalıntı toplamı $t=1,2,3,,T$ iken $S_t = \sum_{t=1}^T e_t$ ile hesaplanır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010, s. 364).

FADF Testi, ADF (Augmented Dickey-Fuller) denkleminin çalışma prensibini üzerine, Fourier terimleri ekleyerek geliştirilmiştir. Bu sayede, düzey ve trend yapısı içinde daha kapsamlı zaman serisi bileşenlerin varlığı incelenebilmekte. Fourier terimlerinin modele eklenerek, birim kök varlığını, dönemsel ya da periyodik şokların etkisini analiz edilmesine ve yanlış sonuçlardan kaçınılmasına olanak tanımaktadır.

FADF testi, ADF testinin Fourier denklem terimleri eklenmesi yolu ile genişletilmiş bir halidir. Denkelemki fourier terimler topluca sıfıra eşitlenerek istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde etmek amaçlanmaktadır. Bu yolla, teste tabi tutulan denklem yokluk hipotezine karşı test edilir ve anlamlı olup olmadıklarına karar verilir. Fourier eşitlik istatistiksel olarak anlamlı değil ise ADF sonuçlarına güvenilmesi tavsiye edilmektedir. Bu yöntemle ADF testine göre daha esnek ve dönemsel etkileri dikkate alan bir analiz sağlanır. Bizim model için kurulacak FADF denklemini denklem 8’deki gibi sunulmaktadır (Mert ve Çağlar, 2023, s. 186).

$$\Delta y_t = \rho y_{t-1} + c_1 + c_2 t + \sum_{k=1}^n \alpha_k \sin \left(\frac{2\pi kt}{T} \right) + \sum_{k=1}^n \beta_k \cos \left(\frac{2\pi kt}{T} \right) \quad (8)$$

Burada c_1 sabiti modelin sabit terimini, $c_2 t$ zaman trendini, α_k ve β_k ise sıfıra eşitlenerek modelin anlamlı sonuçlar üretmesini amaçlayan Fourier terimlerini temsil etmektedir. T ifadesi ise toplam gözlem sayısını ifade etmektedir.

Denklem sıfır hipotezi seri durağandır şeklinde kurulur ve alternatif hipoteze karşı test edilir. Fourier terimlerinin anlamlı sonuçlar vermesi, modelde zaman içinde gerçekleşen kırılmaların durağanlığı etkilediğini göstermektedir (Enders ve Lee, 2012).

Zivot-Andrews (ZA) 1992 yılında yaptıkları ufuk açan çalışmalarıyla Perron (1989) çalışmasındaki kırılmanın tek bir noktada gerçekleştiği varsayımını genişleterek, kırılmanın bilinmediği varsayımı ile süreci tekrardan ele almıştır. Yani ZA yaklaşımında kırılmalar ondejen (içsel) olarak tahmin edilmektedir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010, s. 431).

ZA yaklaşımı iki farklılık ile ayrılmaktadır.

Birincisi, Perron (1989) çalışmasında, kayan rassal yürüyüş sürecinin sıfır hipotezi altında yapısal kırılma bulunmadığından, kukla değişkenin Model A ve Model C’de yer almasına gerek duyulmamıştır. İkincisi, literatürde Model B ve Model C’nin daha fazla tercih edildiği görülmektedir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010, s. 401).

İlki, Perron (1989)'da kayan rassal yürüyüş sürecinin sıfır hipotezi altında, yapısal kırılma olmadığından, kukla değişkeninin model A ve model C'de yer almasına gerek kalmamıştır. İkinci olarak model B,C daha araştırmacılar tarafından daha fazla tercih edilmektedir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010, 401). Bu durumda ADF testi kullanılarak durağan dışılığın kırılmalarından kaynaklanıp kaynaklanmadığı analiz edile bilmektedir (Mert ve Çağlar, 2023, 143). Toplamsal sapmalı ADF (IO-ADF) testi izlenerek, Model A ve Model C'ye ilişkin denklemler Denklem (9) ve Denklem (10)'da sunulmaktadır.

$$\Delta Y_t = \mu + \beta t + \delta Y_{t-1} + \gamma_2 DVU_t(\hat{\lambda}) + \sum_{j=1}^p \delta_j \Delta Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (9)$$

$$\Delta Y_t = \mu + \beta t + \delta Y_{t-1} + \gamma_2 DVU_t(\hat{\lambda}) + \gamma_3 DVT_t^*(\hat{\lambda}) \sum_{j=1}^p \delta_j \Delta Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (10)$$

Denklem 9 ve denklem 10'da verilen denklemlerde kukla değişken $t > T\lambda$ olduğundan $DVU_t(\hat{\lambda})=1$ değeriyken, $t \leq T\lambda$ olduğunda $DVU_t(\hat{\lambda})=0$ ile sonuçlanmaktadır. Modelde yer almış olan diğer kukla değişken ise $DVT_t^*(\hat{\lambda})$ 'dur. Burada da durum $t > T\lambda$ iken $DVT_t^*(\hat{\lambda}) = t - T\lambda$ değeriyle sonuçlanırken, $t \leq T\lambda$ iken $DVT_t^*(\hat{\lambda}) = 0$ değeri ile sonuçlanmaktadır.

2.2. ARDL Sınır Testi ve Granger Nedensellik Analizi

ARDL sınır testi, Pesaran, Shin ve Smith'in (2001) yılında ortaya koyduğu ufuk açıcı çalışmalarının ardından, araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan güvenilir analiz yöntemlerindendir. ARDL sınır testi 5 modelden oluşmaktadır. Bizim model için uygun model 3 olarak seçilmektedir (Mert ve Çağlar, 2023). Bu durumda koşullu hata düzeltme modeli için (CEC) uygulanacak denklem 11'de gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} \Delta KEAI_t = & a_0 + b_0 KEAI_{t-1} + b_1 P_{t-1} + b_2 GSYH_{t-1} + b_3 EE_{t-1} + b_4 RE_{t-1} + \\ & \sum_{i=1}^{p-1} c_{0,i} \Delta y KEAI_{t-i} + \sum_{j=1}^{q_1-1} c_j \Delta P_{t-j} + \sum_{j=1}^{q_2-1} c_j \Delta GSYH_{t-j} + \sum_{j=1}^{q_3-1} c_j \Delta EE_{t-j} + \\ & \sum_{j=1}^{q_4-1} c_j \Delta RE_{t-j} + d_1 \Delta P_t + d_2 \Delta GDP_t + d_3 \Delta EE_t + d_4 \Delta RE_t \end{aligned} \quad (11)$$

Denklem 11'de yer alan işlemde Δ serinin farkının alındığını, a_0 sabit terim arası eş bütünleşmenin olup olmadığını $H_0: b_0=b_1=0, \forall j$ hipotezini red veya kabul ederek karar vermeyi sağlamaktadır.

Model 3 için kurulacak olan ARDL modeli denklem 11'deki gibi kolayca ifade edilebilmektedir.

$$\begin{aligned} KEAI_t = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \psi_i KEAI_{t-i} + \sum_{i=0}^{q_1} \beta_{i1} P_{t-j} + \sum_{i=0}^{q_2} \beta_{i1} GSYH_{t-j} + \sum_{i=0}^{q_3} \beta_{i1} EE_{t-j} + \\ & \sum_{j=0}^{q_4} \beta_{2j} RE_{t-j} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (12)$$

Denklem 12'de verilen p, q_1, q_2, q_3 ve q_4 ARDL modelinin gecikme sayılarını göstermektedir. Gecikmelere karar verilirken AIC, SIC, HQ yada R^2 ye bakılarak karar verilmektedir.

Granger (1969) nedensellik testi, değişkenlerin birbirlerinin nedeni olup olmadığını analiz ederken gecikmeli değerlerden yararlandığı için tercih edilmektedir. Bu yaklaşım, bir değişkenin geçmiş değerlerinin diğer bir değişken üzerindeki etkisini ölçmeye olanak tanır ve nedensellik ilişkisinin varlığı hakkında bilgi sağlar. Ayrıca, Granger nedensellik testi, nedensellik ilişkilerinin yönünü belirleme konusunda analistler tarafından yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde, değişkenler arasındaki etkileşimlerin hangi yönde ilerlediği ve hangi değişkenin diğerine yol açtığı istatistiksel olarak test edilebilmektedir. Kullanılacak denklemler denklem 13 ve denklem 14'te sunulmaktadır.

$$y_t + \alpha_0 x_t = \delta_1 + \sum_{i=1}^n \alpha_i x_{t-i} + \sum_{k=1}^m \theta_k y_{t-k} + \varepsilon_{yt} \quad (13)$$

$$y_t + \vartheta_0 y_t = \delta_1 + \sum_{i=1}^n \gamma_i x_{t-i} + \sum_{k=1}^m \vartheta_k y_{t-k} + \varepsilon_{xt} \quad (14)$$

Burada, yokluk ön savı $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 0$ için “ x_t, y_t ‘nin nedeni değildir” olarak, alternatif önsavı içinse durum $\sum_{i=1}^n \alpha_i \neq 0$ iken “ x_t, y_t ‘nin nedenidir” olarak önsavı sınaması yapıla bilmektedir. Bu durumda test istatistikleri kontrol edilerek %1 ve %5 güven düzeyinde nedeni olup olmadığı sonucu yorumlana bilmektedir.

3. Ampirik Bulgular

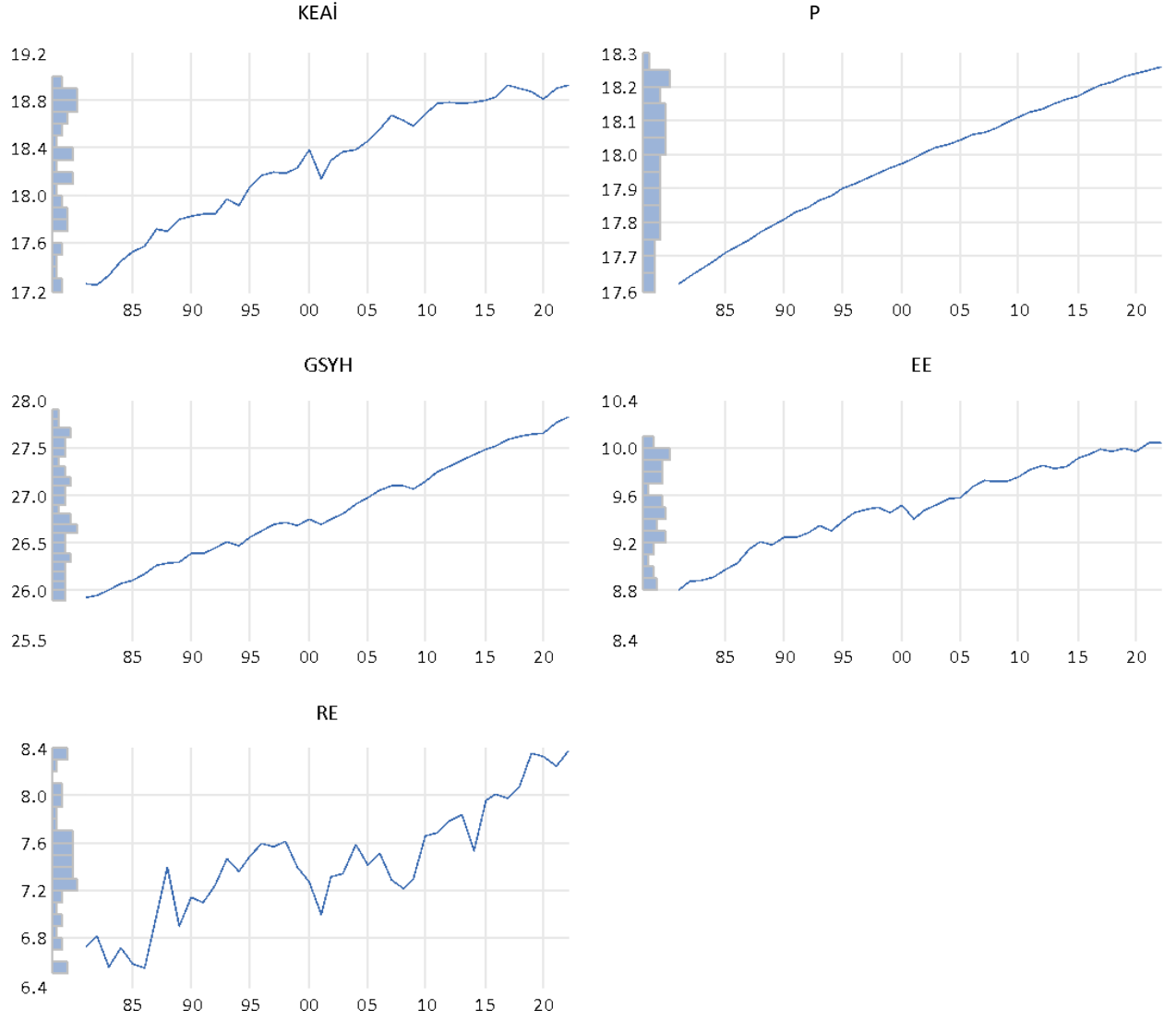
Bu bölümde ampirik sonuçlara ilişkin sonuçlar yer almaktadır. Tablo 2’de yer alan sonuçlar verilerimize ilişkin tanımlayıcı istatistiklerin sunumudur. Bu sonuçlar normallik varsayımı, esneklik, ortalama benzeri istatistikleri yorumlamaya olanak tanımaktadır.

Tablo 2: *Tanımlayıcı İstatistikler*

	KEAİ	P	GSYH	EE	RE
Ortalama	18.26383	17.97749	26.84238	9.513085	7.434073
Median	18.33609	17.998	26.750342	9.504686	7.407862
Max	18.92743	18.25793	27.808665	10.03557	8.366657
Min	17.24875	17.62177	25.925909	8.809235	6.553187
Std. Dev.	0.516132	0.186648	0.5463553	0.356597	0.48412
Skewness	-0.40813	-0.25862	0.1044161	-0.27822	0.080283
Kurtosis	1.960481	1.938601	1.891578	2.076671	2.489035
Jarque-Bera	3.05703	2.439681	2.2263679	2.033774	0.502017
Probability	0.216857	0.295277	0.3285113	0.361719	0.778016

Burada, KEAİ için ortalama 18.26 iken bu değer 17.25 ile 18.93 arasında değişmektedir. Çarpıklık (Skewness) değeri $-0.40 < 0$, basıklık (Kurtosis) değeri ise $1.96 < 3$ ’tür yani seri sola doğru çarpık ve basık bir eğri izlediği yorumu yapıla bilir (Şahinler ve Uşak, 2015, 110). Seriyeye ilişkin standart hata 0.51’dir. JB test istatistiği 0.05 ten büyük olduğundan yokluk hipotezini red edemiyoruz yani seri normal dağılıma uymaktadır. Diğer bir değişken olan P değişkeninin ortalaması 17.98, standart hatası 0.19, çarpıklık ve basıklık -0.26 ile 1.94 yani seri sola doğru çarpık ve basık bir eğri izlenmekte ve $0.29 > 0.05$ olduğundan normal dağılıma uymaktadır. GSYH değişkeninin için ortalama 26.84, standart hatası 0.54, çarpıklık ve basıklık 0.10 ile 1.89 yani seri sağa doğru çarpık ve basık bir eğri izlenmekte ve $0.32 > 0.05$ olduğundan normal dağılıma uymaktadır. EE değişkenine ilişkin ortalama 9.51, standart hatası 0.36, çarpıklık ve basıklık -0.28 ile 2.08 yani seri sola doğru çarpık ve basık bir eğri izlenmekte ve $0.36 > 0.05$ olduğundan normal dağılıma izlenmektedir. Son olarak EE değişkeni için ortalama 7.43, standart hatası 0.48, çarpıklık ve basıklık 0.08 ile 2.48 yani sağa doğru çarpık ve basık bir eğri izlenmekte ve $0.77 > 0.05$ olduğundan seri normal dağılımlıdır yorumu yapılabilir.

Şekil 2: Değişkenlerin Zaman Serisi Grafikleri



Değişkenlerin tamamında pozitif trend görünümü izlemektedir. P değişkeni hariç diğerlerinde zaman içinde ani kırılmalar olduğu izlenmektedir. RE değişkeni en çok kırılmaların gerçekleştiği değişken olmasına rağmen şoklar bir süre sonra etkisini kaybetmiş ve seri trend görünümünü tekrar kazanmıştır.

Tablo 3: Ortak Birimkök Sonuçları

	KEAİ	P	GSYH	EE	RE
ADF	I(1)	I(*)	I(1)	I(1)	I(1)
PP	I(1)	I(0)	I(1)	I(1)	I(1)
KPSS	I(1)	I(0)%5	I(0)%10	I(0)%10	I(*)
ZA	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)
FADF	I(*)	I(*)	I(*)	I(*)	I(*)
Sonuç	I(1)	I(0)	I(1)	I(1)	I(1)

Not: I(*) tümleşme derecesinin bulunamadığını, I(1,0) tümleşme derecesini ifade etmektedir.

Tablo 3’te sunulan ortak birim kök testi sonuçları sabitli ve trendli modele ilişkin sonuçlardır. Bunun sebebini şekil 1’de değişkenlere ilişkin zaman serisi grafiklerinde trend görünümü bütün değişkenlerde izlenmektedir. O nedenle, sadece düzey değerleri dikkate alınacak olursa trend göz ardı edilebileceğinden yanıltıcı sonuçlar doğura bilmektedir. Böyle bir durumla karşılaşmak istenmeyeceğinden hem düzey hem trend birlikte değerlendirilmektedir. Tablo 3’e dönecek olursak FADF birim kök testi sonuçları bütün değişkenler için anlamsız sonuçlar vermiştir. Yani ADF birim kök testini sonuçlarına güvenmek daha doğru olacaktır. ZA birim kök testi sonuçları tüm değişkenler için tümleşme derecesinin I(1) olduğudur. KPSS testi sonuçları incelendiğinde RE için tümleşme derecesi bulunamamakta ve P %5’te anlamlı iken GSYH ile EE %10’da anlamlı sonuçlar üretmiştir. PP test istatistiği P değişkeni hariç tümleşme derecesi I(1)’dir. ADF birimkök testinde P değişkeni hariç anlamlı ve I(1) olarak bulunmuştur.

Tablo 4: ARDL Sınır Testi Sonuçları

ARDL modeli	k	İstatistik		Sonuç
Model C(21304)	4	F=14.71***	Narayan (2005)	Eşbütünleşme var
		t=-6.93***	Peseran ve ark. (2001)	Eşbütünleşme var
Not: ***, %1, %5’de anlamlılığı, k Bağımsız değişkenlerin sayını ifade etmektedir.				
		F testi Narayan (2005)	T testi Peseran vd. (2001)	
n=35	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
1%	4.257	6.04	-2.57	-3.86
5%	0.37	4.443	-2.86	-4.19
10%	2.508	3.763	-3.43	-4.79

Not: (***) %1, (**) %5 ve (*) %10’u ifade etmektedir. k bağımsız değişkenlerin sayını ifade etmektedir.

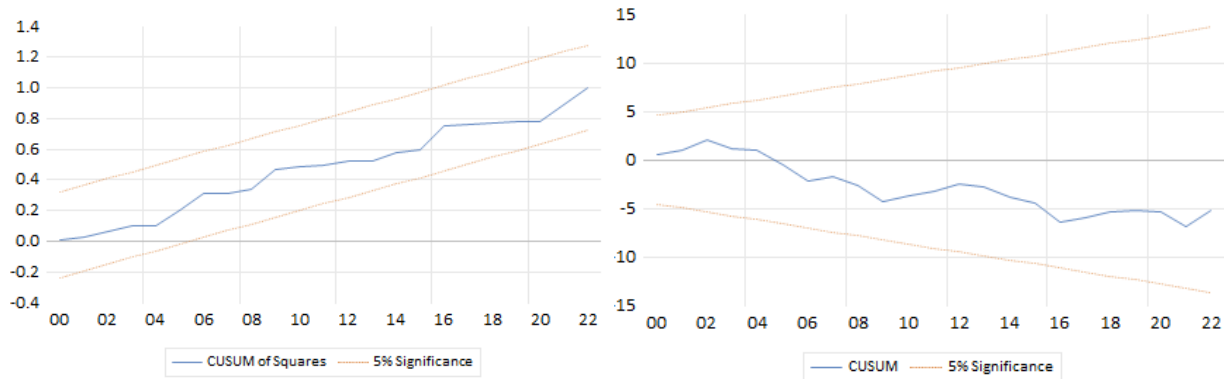
Bu çalışmada değişkenler arasındaki uzun ve kısa dönem ilişkileri analiz edebilmek adına ARDL sınır testi yaklaşımı kullanılmış ve sonuçları tablo 4’te sunulmuştur. AIC bilgi kriterine uygun ARDL yapısı Model C(21304) olarak bulunmuştur. Model için hesaplanan F istatistiği 14.71 ve t istatistiği 6.93 bulunarak, hem Peseran ve diğerleri (2001) hesapladığı F tablo değerlerine göre hem de Narayan (2005) t tablo değerine göre %1 anlamlılıktaki sonuç üretilmiştir. Bu durumda, değişkenler arasında uzun ve kısa dönemli bir ilişkinin bulunduğu söylene bilmektedir.

Tablo 5: Teşhis Testleri

Teşhis Testleri		ist.	olasılık
Seri korelasyon	Breusch-Godfrey serial LM test	0.45	0.64
Değişen varyans	Breusch-Godfrey serial LM test	0.67	0.77
Spesifikasyon testi	Ramsey RESET	0.14	0.91
Normallik testi	Histogram normallik testi JB istatistiği	0.95	0.61
Parametre Kararlılığı	CUSUM	istikrarlı	
	CUSUM ²	istikrarlı	

ARDL sınır testi sonuçlarının güvenilirliğini arttırmak oldukça önemli. Bu nedenle tablo 5'te teşhis testleri sonuçları sunulmaktadır. Modelde korelasyonun olup olmadığını test etmek adına Breusch-Godfrey serial LM test istatistiği kullanılmış ve olasılık değeri $0.64 > 0.05$ olduğundan, oto korelasyon yoktur şeklinde yorumlanabilmektedir. Değişen varyans sorunun olup olmadığını teşhis edebilmek adına Breusch-Godfrey serial LM testi kullanılmakta ve $0.77 > 0.05$ olduğundan değişen varyans sorunu yoktur yorumu yapılabilmektedir. Modelin spesifikasyon hatasının olup olmadığını teşhisi için Ramsey RESET testi kullanılmakta sonuç $0.91 > 0.05$ olduğundan modelde spesifikasyon sorunu yoktur yorumu yapılabilmektedir. Normal dağılıma uyup uymadığını test edebilmek adına, Histogram normallik testi JB istatistiği kullanılmakta ve $0.61 > 0.05$ olduğundan normal dağılıma uygundur yorumu yapılabilmektedir.

Şekil 3: Cusum ve Cusum² sonuçları



Şekil 3'de gösterildiği üzere mavi ile gösterilen bölüm parametre kırımları şeritler ise %95 güven sınırlarıdır. Bu durumda parametre kararlı ve güven sınırları içindedir şeklinde yorum yapılabilmektedir.

Tablo 6: Uzun Dönem Tahmini Sonuçları

BAĞIMLI DEĞİŞKEN: KEAİ	Katsayı Değerleri	Std. Hata	t-Stat.	Olasılık
P(-1)	2.21208423	0.3057564	7.234792015	0.000
GSYH(-1)	-0.556374661	0.0825986	-6.735887058	0.000
EE	1.464315557	0.1562517	9.371520113	0.000
RE(-1)	-0.186554991	0.0302193	-6.173374417	0.000

Tablo 6'da modelin uzun dönem ilişkisi sunulmaktadır. Bu sonuca dayanarak P ve EE değişkeni negatif ve %1'de anlamlı, GSYH ve RE değişkeni pozitif ve %1'de anlamlı sonuçlar vermiştir bu da modelin uzun dönem denge ilişkisi içinde olduğunu göstermektedir. Uzun dönemde diğer

değişkenler sabitken(COSTANT) nüfus değişkeninin aldığı 2,21 artış göstermektedir. Diğer değişkenler sabitken GSYH de meydana gelebilecek %1’lik artış, karbon ekolojik ayak izi üzerinde 0,56 azalışa neden olmaktadır. Diğer değişkenler sabitken enerji tüketiminde (Fosil yakıtlar) meydana gelebilecek %1’lik artış karbon ekolojik aya izi üzerinde 1.46 artışa neden olmaktadır. Son olarak yenilenebilir enerji kullanımında meydana gelebilecek %1’lik artış karbon ekolojik ayak izini 0.18 düşürmektedir.

Tablo 7: Kısa Dönem Tahmini

Bağımlı Değişken: D(KEAI)	Katsayı Değerleri	Std. Hata	t-Stat.	olasılık
EC _{t-1} *	-1.171439349	0.1260566	-9.292961258	0.000
D(CO ₂ (-1))	0.275645074	0.1019969	2.702485408	0.012
D(P)	10.65206092	1.6386283	6.500596264	0.000
D(GSYH)	0.199876204	0.1839265	1.086717969	0.286
D(GSYH(-1))	-0.116752416	0.1785248	-0.653984277	0.519
D(GSYH(-2))	0.550633217	0.1400169	3.932618408	0.000
D(RE)	-0.268220301	0.0328423	-8.166919202	0.000
D(RE(-1))	0.028402766	0.0260004	1.09239684	0.284
D(RE(-2))	-0.049255394	0.0272196	-1.809559187	0.081
D(RE(-3))	0.065201969	0.0242575	2.687909648	0.012
C	-22.59903205	2.4243365	-9.321739145	0.000

Tablo 7’de, modelin kısa dönem tahmin sonuçları sunulmaktadır. Bu analizde, geçmiş dönem verileri ve gecikmeler kullanılarak modelin gelecekteki değerleri tahmin edilmektedir. Hata düzeltme modelinin çalışabilmesi için hata düzeltme teriminin negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olması gerekmektedir. Analiz sonucuna göre hata düzeltme terimi, EC_{t-1}*=-1.71 olarak hesaplanmış ve negatif olduğu gibi anlamlı da bulunmuştur. Bu durum, modelin kısa dönemde dengeye dönme hızının yüksek olduğunu ve hata düzeltme mekanizmasının sağlıklı çalıştığını göstermektedir. Modelde oluşan kısa dönem sapmaları $1/1.71 = 0.58$ yıl sonra uzun dönem dengesine ulaşabilmektedir.

Tablo 8: *Granger Nedensellik Analizi Sonuçları*

H0: Granger nedeni değildir. H1: Granger nedendir.	F-Statistic	Olasılık	Sonuç	N=40, G=2 Bilgi kriteri=AIC
P => KEAİ	2.85	0.07		
KEAİ => P	0.43	0.65		
GSYH => KEAİ	0.35	0.71		
KEAİ => GSYH	0.25	0.78		
EE => KEAİ	0.09	0.92		
KEAİ => EE	0.29	0.75		
RE => KEAİ	0.06	0.95		
KEAİ => RE	1.97	0.15		
GSYH => P	1.95	0.16		
P => GSYH	1.12	0.34		
EE => P	0.96	0.39		
P => EE	3.94	0.03	var %5	
RE => P	0.41	0.67		
P => RE	5.14	0.01	var %5	
EE => GSYH	0.93	0.40		
GSYH => EE	1.36	0.26		
RE => GSYH	0.26	0.77		
GSYH => RE	3.17	0.05	var %5	
RE => EE	0.63	0.54		
EE => RE	2.70	0.08		

Not: N gözlem sayısı, G gecikmeyi ifade etmektedir. AIC bilgi kriterine göre hesaplanmıştır.

Değişkenler arasında nedensel bir ilişkinin olup olmadığını görüntüleye bilmek adına Granger nedensellik analizi sonuçlarını Tablo 8’de sunulmaktadır. Bu analiz, bir değişkenin geçmiş değerlerinin diğer bir değişken üzerinde etkili olup olmadığını test ederek "birinin diğerinin Granger nedeni değildir" hipotezini kabul veya reddetmektedir. Modelimizde, %5 önem düzeyinde GSYH ile RE arasında anlamlı bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Aynı şekilde, %5 önem düzeyinde P ile RE arasında da nedensel bir ilişki bulunmaktadır. Ek olarak, P ile EE arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir nedensellik ilişkisi olduğu saptanmıştır. Bu bulgular, ilgili değişkenler arasındaki dinamik bağlantıları ve etkileri ortaya koymaktadır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, Türkiye’de küreselleşme ve enerji tüketiminin karbon ekolojik ayak izi üzerindeki etkileri sürdürülebilirlik perspektifinden analiz edilmektedir. Araştırmada, sosyoekonomik

etkileri de kapsayan bir inceleme sağlamak amacıyla STIRPAT model yapısı eklenmiştir. Model, 1981-2022 yıllarını kapsamakta olup, analiz sürecinde ARDL sınır testi kullanılmaktadır. Model ile ilgili tanımlayıcı istatistikler açıklandıktan sonra zaman serisi grafikleri sunulmuş ve bu grafikler incelendiğinde, kırılmaların varlığı gözlemlenmiştir. Zaman zaman trendin yönü değişse de, tüm değişkenlerde trend yapısının genel olarak sabit kaldığı tespit edilmiştir. Devamında, geleneksel kırılmalı ve Fourier birim kök testleri uygulanarak ortak entegrasyon derecesi belirlenmiştir. Fourier ARDL ve NARDL gibi yöntemler modele uyarlanmış, ancak varsayım ihlalleri nedeniyle geleneksel ARDL yöntemi ile analiz sürdürülmüştür. ARDL sonuçlarına göre, gelir ve yenilenebilir enerji artışı karbon ekolojik ayak izi üzerinde hafifletici etkiye sahipken, nüfus ve fosil yakıt tüketimi baskıyı arttırmaktadır. Modelde yer alan tüm değişkenler için uzun dönem ilişkileri de anlamlı bulunmuştur. Kısa dönem ilişkileri ise istatistiksel olarak anlamlı olup, modelin 0.58 yıl sonra uzun dönem denge ilişkisine ulaşacağı öngörülmüştür. ARDL sınır testi, çeşitli teşhis testlerine tabi tutulmuş ve istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar verdiği kabul edilmiştir. Ekonometrik model için belirlenen beklentilerin karşılandığı ifade edilebilir. Ayrıca, modelde Granger nedensellik testi uygulanmış ve değişkenler arasındaki nedensel ilişkiler incelenmiştir. İkili olarak kurulan modellerin çoğunda anlamlı sonuç elde edilememiştir; ancak %95 güven düzeyinde GSYH ile RE, P ile RE ve P ile EE arasında nedensel ilişki bulunmuştur.

Çalışmanın genel sonucuna göre, küreselleşme ve enerji tüketiminin ekolojik ayak izi üzerinde sosyoekonomik ve sürdürülebilirlik boyutunda uzun ve kısa vadede etkiler yarattığı ortaya konmuştur. Bu bağlamda, analiz sonuçlarına bakılarak politika önerilerinin geliştirilmesi önem taşımaktadır. Gelecekteki çalışmalarda iller arasındaki heterojenlik, asimmetrik ve doğrusal olmayan etkiler analiz edilerek çalışma bölgesel olarak genişletilebilir.

Yazar Katkı Oranı (Authorship Contributions): Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır.

Kaynakça

- Ayad, H. (2023, 10 Ekim). Investigating the fishing grounds load capacity curve in G7 nations: Evaluating the influence of human capital and renewable energy use. *Marine Pollution Bulletin*, 194, 115413.
- Bekhet, H.A., & Othman, N.S. (2018). The role of renewable energy to validate dynamic interaction between CO₂ emissions and GDP toward sustainable development in Malaysia. *Energy Economics*, 72, 47-61.
- Çaglar, A. E., & Ulug, M. (2022). The role of government spending on energy efficiency R&D budgets in the green transformation process: insight from the top-five countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(50), 76-67
- Çaglar, A.E., Yavuz, E., Mert, M., & Kilic, E. (2022). The ecological footprint facing asymmetric natural resources challenges: Evidence from the USA. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(7), 10521-10534.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American statistical Association*, 74(366a), 427-431.
- Dietz, T., & Rosa, E.A. (1997). Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(1), 175-179.
- Enders, W., & Lee, J. (2012). The flexible Fourier form and Dickey–Fuller type unit root tests. *Economics Letters*, 117(1), 196-199.

- Granger, C. W. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, 37(3), 424-438.
- Gujarati, D.N., & Porter, D.C. (2012). *Temel ekonometri* (H. Şenesen, G. Günlük Şenesen, Çev.). İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Hassan, S. T., Batool, B., Wang, P., Zhu, B. & Sadiq, M. (2023). Impact of economic complexity index, globalization, and nuclear energy consumption on ecological footprint: first insights in OECD context. *Energy*, 263, 125628.
- Khan, M.K., Teng, J.Z., Khan, M.I., & Khan, M. O. (2019). Impact of globalization, economic factors and energy consumption on CO₂ emissions in Pakistan. *Science of the Total Environment*, 688, 424-436.
- 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.
- Lu, R., Yang, Y., Liu, J., & Ayub, A. (2024). Exploring the impact of financial globalization, good governance and renewable energy consumption on environmental pollution: Evidence from BRICS-T countries. *Heliyon*, 10(13), 1-15.
- Li, X., & Ullah, S. (2022). Caring for the environment: how CO₂ emissions respond to human capital in BRICS economies?. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(12), 18036-18046.
- Mert, M., ve Çağlar, A. E. (2023). *Eviews ve Gauss uygulamalı zaman serileri analizi*. Ankara: Detay Yayıncılık.
- Mert, M., Bölük, G., Çağlar, A. E. (2019). Interrelationships among foreign direct investments, renewable energy, and CO₂ emissions for different European country groups: A panel ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 21495-21510.
- Narayan, P.K. (2005). The saving and investment nexus for China: Evidence from cointegration tests. *Applied Economics*, 37(17), 1979-1990.
- Nathaniel, S.P., Ahmed, Z., Shamansurova, Z., & Fakher, H.A. (2024). Linking clean energy consumption, globalization, and financial development to the ecological footprint in a developing country: Insights from the novel dynamic ARDL simulation techniques. *Heliyon*, 10(5), e27095.
- Öztok, D., ve Tapan, D. (Ed.). (2012). *Türkiye'nin ekolojik ayak izi raporu*. İstanbul: WWF Yayınevi.
- Pesaran, M.H., Shin, Y., & Smith, R.J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326.
- Phillips, P.C., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346.
- Frodyma, K., Papież, M., & Śmiech, S. (2022). Revisiting the environmental Kuznets curve in the European Union countries. *Energy*, 241, 122899.
- Solarin, S.A., Nathaniel, S.P., Bekun, F.V., Okunola, A.M., & Alhassan, A. (2021). Towards achieving environmental sustainability: Environmental quality versus economic growth in a developing economy on ecological footprint via dynamic simulations of ARDL. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 17942-17959.

- Sun, Q., Ma, R., Xi, Z., Wang, H., Jiang, C., & Chen, H. (2023). Nonlinear impacts of energy consumption and globalization on ecological footprint: empirical research from BRICS countries. *Journal of Cleaner Production*, 396, 136488.
- Şeviktekin, M., ve Nargeleçenler, M. (2010). *Eviews uygulamalı ekonomertik zaman serileri kitabı*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- T.C. Dışişleri Bakanlığı (2024). *Paris anlaşması*. Erişim adresi: <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>.
- WWF (2022). *Yaşayan gezegen raporu 2022 – Doğa ile uyumlu bir toplum inşa etmek* (Almond, R.E.A., Grooten, M., Juffe Bignoli, D. & Petersen, T. Eds). İsviçre:Gland.
- Wang, Y., Kang, Y., Wang, J., & Xu, L. (2017). Panel estimation for the impacts of population-related factors on CO2 emissions: A regional analysis in China. *Ecological Indicators*, 78, 322-330.
- Xie, H., & Bui, W. K. T. (2024). Impact of globalization and energy consumption on CO2 emissions in China: Implications for energy transition. *Finance Research Letters*, 67, 105939.
- Zafar, M. W., Saleem, M. M., Destek, M. A., & Caglar, A. E. (2022). The dynamic linkage between remittances, export diversification, education, renewable energy consumption, economic growth, and CO₂ emissions in top remittance-receiving countries. *Sustainable Development*, 30(1), 165-175.
- Zheng, Y., Tarczyński, W., Jamróz, P., Raza, S.A., & Tiwari, S. (2024). Impacts of mineral resources, economic growth and energy consumption on environmental sustainability: Novel findings from global south region. *Resources Policy*, 92, 105019.
- Zivot, E., & Andrews, D.W.K. (1992). Further evidence on the great crash, the oil-price shock and the unit-root hypothesis. *Journal of Business & Economic Statistics*, 10, 251-270.