

TÜRKİYE'DE EKONOMİK BÜYÜME VE EKOLOJİK AYAK İZİ İLİŞKİSİ: FOURIER BOOTSTRAP TESTLERİ İLE AMPİRİK BİR İNCELEME (1961-2022)

ECONOMIC GROWTH AND ECOLOGICAL FOOTPRINT IN TURKIYE: EVIDENCE FROM FOURIER BOOTSTRAP COINTEGRATION AND CAUSALITY ANALYSES (1961-2022)

Sacit SARI¹ 

Öz

Bu araştırmanın temel amacı, 1961-2022 döneminde Türkiye ekonomisinde ekonomik faaliyetler sonucunda yaşanan ekonomik büyümenin çevre üzerindeki etkisini analiz etmektir. Çevresel kaliteyi temsilen kullanılan ekolojik ayak izi değişkeni ekosisteme dair kapsamlı bir bakış açısı olanağı sağlamaktadır. Çalışma bağlamında Fourier tabanlı bootstrap yöntemler tercih edilmiştir. Fourier Bootstrap ADF testi, Fourier Bootstrap ADL eşbütünleşme testi, Fourier Bootstrap Toda-Yamamoto nedensellik testi ve Dinamik OLS (DOLS) yöntemleri kullanılmıştır. Bulgular, değişkenler arasında uzun dönemde anlamlı ve pozitif bir eşbütünleşme ilişkisinin olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, değişkenler arasında çift yönlü bir nedensellik yapısı olduğu belirlenmiştir. DOLS analizleri ise ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini uzun vadede pozitif yönde etkilediğini göstermektedir. Bu sonuçlar, ekonomik büyümenin çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli problemler oluşturduğunu ve fosil yakıt bağımlılığı gibi faktörlerin ekolojik ayak izini artırdığını ortaya koymaktadır. Çalışmada, Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik açısından düşük karbonlu ve kaynak verimliliğini önceleyen büyüme stratejilerine yönelmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Ayrıca, çevre dostu politikaların geliştirilmesi, ayak izinin azaltılmasına ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Büyüme, Ekolojik Ayak İzi, Eşbütünleşme, Türkiye Ekonomisi

Citation: Sarı, S. Türkiye'de Ekonomik Büyüme ve Ekolojik Ayak İzi İlişkisi: Fourier Bootstrap Testleri ile Ampirik Bir İnceleme (1961-2022), İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, (2025) 8(2):96-105, DOI: 10.33416/baybem.1709304

Abstract

This study aims to investigate the relationship between per capita ecological footprint and economic growth in the Turkish economy for the period 1961-2022. The ecological footprint, utilized as a proxy for environmental quality, offers a comprehensive perspective on the ecosystem. In this context, the Fourier-based bootstrap methods have been employed in the study. To achieve this, it employs Fourier Bootstrap ADF unit root tests, Fourier Bootstrap ADL cointegration tests, Fourier Bootstrap Toda-Yamamoto causality tests, and Dynamic OLS (DOLS) estimations. The findings indicate a significant long-run cointegration relationship between the two variables. Additionally, a bidirectional causality structure between economic growth and ecological footprint is detected. The DOLS results confirm that economic growth has a positive and statistically significant long-term impact on ecological footprint. These results highlight the environmental risks associated with economic growth models in Turkey, especially the continued reliance on fossil fuels and resource-intensive production structures. The study suggests that low-carbon and resource-efficient growth strategies should be prioritized to ensure environmental sustainability. Moreover, the development and implementation of environmentally friendly policies can help reduce the ecological footprint and contribute to sustainable development goals.

Keywords: Economic Growth, Ecological Footprint, Cointegration, Turkish Economy

1. GİRİŞ

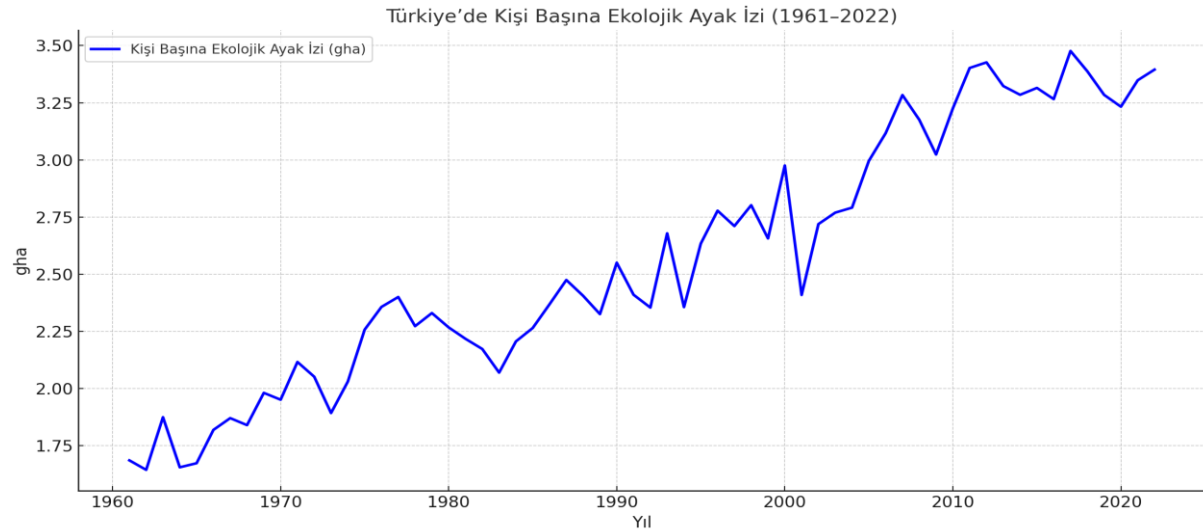
20. yüzyılın başlarına kadar ülkelerin temel önceliği, ekonomik büyümeyi sağlayarak toplumsal refah düzeyini yükseltmektir. Bu dönemde çevresel etkiler büyük ölçüde göz ardı edilmiş; doğal kaynakların sınırlılığı ve çevre gibi unsurlar ekonomik büyümenin önünde bir engel olarak değerlendirilmemiştir. Ancak 1950’li yıllardan itibaren dünya nüfusunun hızla artması, hızlı sanayileşmeyle birlikte fosil yakıt kullanımının artması sonucu bağlı karbon salınımlarının hava kalitesini olumsuz etkilemesi ve doğal kaynakların tükenmeye başlaması, çevresel sorunlara yönelik farkındalığın artmasına neden olmuştur. Bu gelişmeler, ekonomik büyümenin ve kalkınmanın çevresel sürdürülebilirlikten bağımsız ele alınamayacağını göstermiş; böylece sürdürülebilir büyüme ve kalkınma yaklaşımları küresel ölçekte önem kazanmaya başlamıştır. Ekonomik kalkınma ve aynı zamanda çevreyi koruma toplumların karşı karşıya kaldığı iki büyük zorluk olarak adlandırılmıştır. (Uddin vd., 2017; 166).

Ekonomik büyüme (EB) ile çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi açıklamaya yönelik literatürdeki ilk sistematik yaklaşım, Grossman ve Krueger (1991) tarafından ortaya konulan Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezidir. Bu hipotez, Kuznets’in (1955) kişi başına gelir ile gelir eşitsizliği arasındaki ilişkiye dair geliştirdiği ters-U biçimindeki modelin, çevresel göstergelere uyarlanmış bir versiyonu olarak değerlendirilmektedir (Uddin vd., 2017; Shahbaz vd., 2023). Buna göre, ekonomik büyümenin ilk aşamalarında çevre kirliliği artış gösterirken, belirli bir gelir seviyesinden sonra çevre kalitesinde iyileşme gözlenebileceği öngörülmektedir (Hassan vd., 2019; Yılcı vd., 2019). Erken dönem çalışmalarda EB ve kalkınma süreçlerinin çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla, genellikle sera gazı emisyonları temel alınmış; özellikle CO₂ emisyonları, CH₄ (metan), N₂O (dinitrojen oksit) ve SF₆ (sülfür hekzaflorür) gibi gazlarla birlikte en sık kullanılan göstergeler arasında yer almıştır (Solarin ve Bello, 2018; Alper vd., 2023). Bu göstergeler içinde CO₂ emisyonları, ekonomik ve insani faaliyetlerin çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmede yaygın biçimde tercih edilmekle birlikte, yalnızca hava kalitesine odaklanması nedeniyle çevresel sürdürülebilirliğin bütüncül biçimde ölçülmesinde yetersiz kalmaktadır (Çağlar vd., 2021). Oysa çevre kalitesi, sadece hava kirliliği ile sınırlı olmayıp; denizler, ormanlar, otlak ve ekili tarım arazileri gibi çeşitli doğal kaynaklar üzerindeki etkileri de içermektedir. Bu nedenle, çevresel bozulmayı daha kapsayıcı biçimde değerlendirebilecek göstergelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, ekolojik ayak izi (EAİ) gibi çok boyutlu ve bileşik göstergeler, çevresel etkilerin daha bütünsel ve tek bir veride izlenmesine olanak tanımaktadır (Uddin vd., 2017). 1990’lı yıllarda Rees (1992) ile Wackernagel ve Rees (1996) tarafından geliştirilen EAİ kavramı, insan kaynaklı üretim ve tüketim faaliyetlerinin ekosistemler üzerindeki etkilerini ölçerek bu faaliyetlerin doğadan ne kadar yenilenebilir biyolojik kapasite talep ettiğini nicel olarak ifade etmektedir (Baloch vd., 2019; Ahmed vd., 2020). EAİ göstergesinin alt bileşenleri ise, insan faaliyetlerinin çeşitli doğal kaynak kategorilerinde oluşturduğu baskıları ayrıntılı biçimde yansıtır. Söz konusu alt bileşenler arasında karbon, ekili alan, mera, balıkçılık alanı, ormanlık alan ve yerleşim (yapı) yer almaktadır (İkram vd., 2021; Sarwar vd., 2024). Bu bileşenlerin bütüncül bir bakış açısıyla hesaplanması, ekolojik ayak izini çevre kalitesini çok boyutlu olarak değerlendiren kapsamlı bir gösterge konumuna taşımaktadır.

Bu kapsamda Türkiye ekonomisinde çevre kalitesini ölçmek üzere kullanılacak olan EAİ serisinin yıllar içindeki seyri Şekil-1 aracılığıyla verilmektedir.

Şekil 1

Türkiye’de Ekolojik Ayak İzinin Seyri



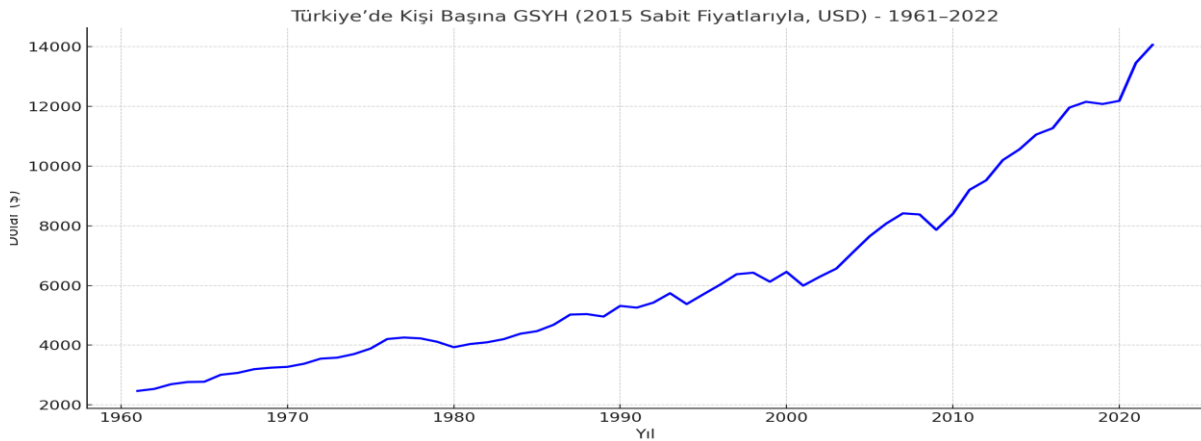
Global Footprint Network verilerine göre, kişi başına düşen EAİ 1961 yılında 1,68 küresel hektar iken, 2022 yılı itibarıyla bu değer 3,39 küresel hektara yükselmiştir. Özellikle 1990 sonrası dönemde daha belirgin

dalgalanmalarla birlikte genel olarak yükselme eğilimindedir. Bu artış, özellikle sanayi üretimindeki yoğunlaşma, enerji üretiminde kömür gibi fosil yakıtların yaygın biçimde kullanılmaya devam edilmesi, EB ve ulaşım sektöründe petrol türevlerine olan yüksek bağımlılık gibi etkenlerle ilişkilendirilmektedir (Yingjun vd., 2024). Ayrıca, kentleşme neticesinde yeni yerleşim yerlerine ihtiyaç dolayısıyla tarım arazileri ve ormanların imara açılması dolayısıyla kullanım amacı değişiklikleri ve üretim tesislerinin yetersiz atık yönetimi uygulamaları gibi faktörler de çevre üzerindeki baskıyı artırarak EAI'nin bileşenlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çerçevede, Türkiye'nin mevcut kalkınma modelinin çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi sınamalarla karşı karşıya olduğu söylenebilmektedir.

Çalışmada EAI üzerindeki etkisi incelenecek ekonomik büyümeyi temsilen seçilen reel milli hâsıla serisinin yıllar içindeki izlediği seyir Şekil-2'de gösterilmiştir.

Şekil 2

Türkiye'de Kişi Başına Reel Milli Gelir



Şekil-2'de görüleceği üzere, Türkiye, 1960'lardan günümüze kişi başı milli gelirinde önemli ölçüde artışlar yaşamıştır. Bu durum, hızla değişen bir ekonomik ve demografik yapı gibi nedenlerle gerekçelendirilebilir. 1960'lı yıllarda başlatılan kalkınma planları neticesinde sanayileşme hamleleri ve ithal ikameci politikalar, 1980 sonrası dönemde uygulanan liberalizasyon ve ihracata dayalı büyüme politikaları, şehirleşme oranını yükseltmiş ve kişi başına geliri hızla artırmıştır (Pamuk, 2022; Kepenek, 2023). Sanayi üretimindeki artış ve yaşam standartlarındaki yükseliş, Türkiye'de enerji talebinin hızla artmasına neden olmuş; bu süreçte birincil enerji arzının %80'inden fazlası fosil yakıtlar aracılığıyla karşılanır hale gelmiştir. Fosil yakıtlara dayalı bu büyüme modeli kısa vadede ekonomik faydalar sağlasa da uzun vadeli çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi riskler barındırmaktadır (Sharif vd., 2020). Fosil yakıt kullanımı, yüksek düzeyde sera gazı emisyonuna ve hava kirliliğine yol açarak çevre üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır. Dünya Bankası verilerine göre Türkiye, karbondioksit emisyonları 1980'den bu yana belirgin bir artış göstermiştir. 1980 yılında 81,81 milyon ton olan CO₂ salımı, 2022 itibarıyla 433,74 milyon tona ulaşarak çevresel yükün ne kadar büyüdüğünü gözler önüne sermektedir. Bu bağlamda, Sharif vd. (2020)'in işaret ettiği gibi, doğal kaynak kullanımına dayalı büyüme modellerinin sınırlı ve sürdürülebilirlikten uzak olduğu görüşüyle uyumlu olarak, "Büyümenin Sınırları" yaklaşımının geçerliliği bu çalışmanın temel motivasyonlarından birini oluşturmaktadır. Dolayısıyla, EB ve kalkınma süreçlerinin çevresel etkilerini en aza indirmenin sürdürülebilirlik açısından kritik önemde olduğu açıktır. Bu çalışma, Türkiye ekonomisinde EAI ile EB arasındaki uzun vadeli ilişkiyi 1961–2022 dönemi için ampirik olarak analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, zaman serisi yöntemleri kullanılarak EAI göstergesinin EB ile nasıl bir ilişki içinde olduğu incelenecektir. Bu çalışma, literatürde özellikle Türkiye ekonomisi özelinde EAI ile EB arasındaki ilişkiyi zaman serisi bağlamında ele alan sınırlı sayıda çalışmaya metodolojik ve ampirik katkılar sunmayı hedeflemektedir. Literatürde çoğunlukla geleneksel ARDL, VECM ve Granger nedensellik testleri kullanılarak analiz edilen bu ilişki, bu çalışmada Fourier tabanlı bootstrap yöntemlerle ele alınarak hem yapısal kırılmalar hem de dönemsel dalgalanmalar dikkate alınmakta, böylece sonuçların güvenilirliği artırılmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Günümüzde çevresel bozulma ve sürdürülebilir kalkınma arasındaki dengeyi sağlamak, ülkelerin en önemli politika önceliklerinden biri haline gelmiştir. Bu bağlamda, ekonomik büyümenin EAİ üzerindeki etkileri hem teorik hem de ampirik açıdan geniş bir şekilde tartışılmaktadır. EAİ, çevresel bozulmanın önemli bir göstergesi olarak kabul edilirken, EB ise refah artışı ve kaynak tüketimini simgelemektedir. Bu ikili arasındaki ilişkinin dinamik yapısı, kullanılan yöntemle, verilere ve ülke örneklemeine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Son yıllarda, zaman serisi analizlerinde yapısal kırılmaları ve dönerselliği dikkate alan Fourier tabanlı testlerin kullanımı, sonuçların güvenilirliğini artırmış ve literatürde öne çıkmıştır.

Bu konuda yapılan ilk çalışmalar ÇKE çerçevesinde incelenmiştir. Ullah vd. (2023) 1970–2018 döneminde Türkiye’de EB, doğal kaynaklar, kentleşme ve biyolojik kapasitenin EAİ üzerindeki etkileri ARDL yöntemiyle incelemişlerdir. Bulgular, EB ve biyolojik kapasitenin ekolojik ayak izini artırdığını, kentleşmenin ise azaltıcı etkisi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, ÇKE hipotezinin Türkiye için geçerli olduğu tespit edilmiştir. Nedensellik sonuçları ise ekonomik büyümeden ekolojik ayak izine, kentleşmeden ekonomik büyümeye ve biyolojik kapasiteden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkilerinin bulunduğunu göstermektedir. Gülmez vd., (2020) Türkiye ekonomisinde 1961-2016 arası dönemde EB ve enerji tüketiminin EAİ üzerindeki etkisini incelemişlerdir. ARDL sınır testi ve Granger nedensellik analizinin kullanıldığı çalışmada değişkenler arasında eşbütünlük ilişkisinin bulunduğunu, ÇKE hipotezinin Türkiye ekonomisi için geçerli olduğu, ekonomik büyümenin ilk aşamalarında EAİ’nin arttığı daha sonra azaldığı tespit edilmiştir. Koç ve Savaş (2024), ÇKE’nin geçerliliğini ticari açıklık değişkenini de dâhil ederek Türkiye ekonomisi için 1965-2022 arası dönem için ARDL sınır testi yaklaşımıyla sınamıştır. Değişkenlerin eşbütünlük olduğunu belirten yazarlar, ÇKE’nin Türkiye ekonomisi için geçerli olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmaların bulguları, ÇKE hipotezinin Türkiye ekonomisi bağlamında geçerliliğini desteklemektedir. Buna göre, çevresel bozulma ile EB arasındaki ilişki ters-U biçiminde seyretmekte; düşük gelir seviyelerinde EB çevresel tahribatı artırırken, belirli bir gelir eşiği aşıldığında çevre kalitesinde iyileşme gözlenmektedir.

Çevresel kaliteyi temsil eden EAİ ile EB arasındaki ilişkiye odaklanan araştırmaların sonuçları, genellikle bu iki değişken arasında anlamlı ilişkilerin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, Erat vd. (2023), Türkiye ekonomisi için 1961–2018 dönemini kapsayan çalışmada Granger nedensellik testlerini kullanarak, kısa dönemde EAİ ile EB arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi saptamışlardır. Ancak bu ilişkinin zaman içinde zayıfladığı ve uzun vadede yalnızca ekonomik büyümeden ekolojik ayak izine doğru tek yönlü bir nedensellik haline dönüştüğü tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Fadhila vd. (2024), Endonezya ekonomisi için 1961–2022 döneminde VECM yöntemiyle yaptıkları analizde, ekonomik büyümenin EAİ üzerinde anlamlı ve pozitif etkiler oluşturduğunu, ayrıca iki değişken arasında karşılıklı Granger nedenselliğinin bulunduğunu belirlemişlerdir. Bu bulgular, farklı ülkelerde de büyüme ve çevresel baskı arasındaki etkileşimin önemini vurgulamaktadır.

Son çalışma grubunda ise iki değişken arasındaki ilişki, modele ek değişkenlerin dâhil edilmesi yoluyla daha kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Danish vd. (2019), Pakistan için 1971–2014 dönemine ait verilerle EB, biyokapasite ve EAİ arasındaki ilişkileri ARDL modeliyle yapısal kırılmalar dikkate alınarak analiz etmişlerdir. Bulgular hem ekonomik büyümenin hem de biyokapasitenin ekolojik ayak izini artırarak çevresel bozulmayı artırdığını göstermektedir. Ancak nedensellik analizi, EB ile EAİ arasında bir nedensellik ilişkisi bulunmadığını göstermiştir. Ahmed vd. (2020) G-7 ülkelerinde 1971-2014 arası dönemde çeşitli değişkenlerle EAİ arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. EB ile EAİ arasında çift yönlü ilişkinin bulunduğunu belirten yazarlar, ekonomik büyümedeki artışların çevre üzerinde olumsuz etkiler meydana getirdiğini belirtmişlerdir. Usman vd. (2020), 1994–2017 döneminde Afrika, Asya, Avrupa ve Amerika’dan 33 üst-orta gelirli ülke için doğrudan yabancı yatırımlar, birincil ve yenilenebilir enerji kullanımı, ticaret açıklığı ve EAİ arasındaki ilişkisini incelemişlerdir. Sonuçlar, GSYH’de %1’lik bir artışın ekolojik ayak izini Asya için %0.175, Avrupa için %0.105 ve Amerika için %0.543 oranında artırdığını göstermiştir. Sharif vd. (2020), Türkiye ekonomisinde 1965-2017 arası kapsayan dönemde EAİ, EB ve enerji tüketimleri arasındaki ilişkiyi Quantile ARDL yöntemiyle araştırmışlardır. Serilerin uzun dönemde eş bütünlük olduğunu belirten yazarlar, ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini artırdığını ve iki değişken arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğunu belirtmişlerdir. Kardaşlar (2022), Türkiye ekonomisinde ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve ekonomik küreselleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini 1980-2017 arası dönem için incelemiştir. Fourier ADL test sonucu değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin olduğu, DOLS uzun dönem katsayıları ise ekonomik büyüme ve enerji tüketimi ile EAİ arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkilerin bulunduğunu belirtmektedir.

Addai vd., (2022), kentleşme, EB ve EAİ arasındaki ilişkiyi Doğu Avrupa ülkeleri için 1998:1 ile 2017:4 dönemini kapsayan ampirik bir analizle incelemişlerdir. Westerlund eşbütünlük testi sonuçları değişkenler arasında eşbütünlük ilişkisi bulunduğunu ortaya koyarken, Dumitrescu-Hurlin nedensellik testinden elde edilen bulgular, ekonomik büyümenin uzun vadede EAİ üzerinde tek yönlü bir nedensel etkisinin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, kentleşmenin EAİ üzerinde homojen bir nedensel etkisinin bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır Albayrak vd., (2022) Türkiye ekonomisinde 1980-2016 arası dönemde EB yenilenebilir ve yenilenemez enerji üretimi ile

dışa açıklığın EAİ üzerindeki etkilerini ARDL yaklaşımı yardımıyla araştırmışlardır. Serilerin uzun dönemde eşbütünleşik olduğunu belirten yazarlar, dış açıklık harici tüm değişkenlerin kısa ve uzun vadede ekolojik ayak izini artırdığı sonucuna varmışlardır. Uzar ve Eyüboğlu (2023), 1965–2017 dönemi için ABD’de gelir eşitsizliği ile EAİ arasındaki ilişkiyi modelde açıklayıcı değişken olarak EB ve enerji tüketimi de dâhil ederek Fourier ARDL ve Fourier ADL yöntemleri yardımıyla araştırmışlardır. Değişkenlerin eşbütünleşik olduğunu belirten yazarlar, EB ve enerji tüketiminin de EAİ üzerinde pozitif ve anlamlı etkilere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Shahbaz vd. (2023) aralarında Türkiye’nin de olduğu EAİ en yüksek on ülkede 1992–2017 dönemi için finansal gelişme ve ekonomik büyümenin EAİ üzerindeki etkisini, yenilenemez enerji tüketimi ve ticaret açıklığı değişkenlerini de modele ilave ederek araştırmışlardır. Westerlund ve Edgerton (2007) Panel LM bootstrap testi değişkenler arasında eşbütünleşme olduğunu, ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini artırdığını ve EB ile EAİ arasında ise çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğunu göstermiştir. Sofuoğlu ve Kırıkkaleli (2023) Türkiye’de 1975–2017 dönemi için EB enerji tüketimi ve maden tasarrufunun EAİ üzerindeki etkisini Fourier ARDL yardımıyla araştırmışlardır. Analiz sonuçları değişkenler arasında uzun dönemli ilişki olduğunu, EB ve maden tasarrufunun ekolojik ayak izini artırdığını göstermektedir. Mazlum (2024), MINT ülkelerinde insani kalkınma endeksi, kentleşme, EB ve EAİ arasındaki ilişkiyi 2003-2022 yılları arası incelemiştir. Serilerin eşbütünleşik olduğunu belirten yazar, ekonomik büyümenin EAİ üzerinde pozitif fakat nisbi olarak önemsiz bir etkisinin olduğunu ve iki değişken arasında ekonomik büyümeden ekolojik ayak izine doğru olmak üzere tek yönlü nedensellik ilişkisinin olduğu sonucuna varmıştır. Ersin vd., (2024), yüksek teknoloji ihracatı en yüksek dört ülke olan ABD, Almanya, Fransa ve Çin’de 1988-2019 arası dönemde, EAİ çevresel teknoloji patentleri, yüksek teknoloji ihracatı ve EB arasındaki ilişkiyi bu çalışmada kullanılan yöntemler olan Fourier ARDL ve Fourier Toda- Yamamoto testleriyle incelemiştir. Bu çalışmanın da konusunu oluşturan EB değişkeninin tüm ülkelerde ayak izi üzerinde negatif etkiler oluşturduğu, nedensellik ilişkisinde ise, Çin hariç tüm ülkelerde değişkenler arasında en az tek yönlü olmak üzere nedensel ilişkiler bulunduğunu göstermektedir.

Literatürde farklı veri setleri ve yöntemlerle yapılan çalışmaların çoğu, ekonomik büyümenin EAİ üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkiler yarattığını göstermektedir. Türkiye için yapılan analizler, ÇKE hipotezinin geçerliliğini doğrulamakta; kısa ve uzun dönemli ilişkilerde farklı nedensellik yönlerini ortaya koymaktadır.

3. VERİ SETİ VE METODOLOJİ

Bu çalışma bağlamında, Türkiye ekonomisinde EB ile çevresel kaliteyi (kirlilik) temsilen EAİ değişkenleri arasındaki ilişkiler, 1961-2022 arası dönem için zaman serisi yöntemleriyle incelenmiştir. Ampirik analizin aşamaları şu şekilde belirlenmiştir.

Tablo 1

Ampirik Analiz Aşamaları

Tanımlayıcı İstatistikler	Birim Kök Testleri	Eşbütünleşme Testi (Fourier Bootstrap ADL)	Nedensellik Testi (Fourier Bootstrap Toda-Yamamoto)	DOLS Dönem Katsayıların Analizi	Uzun
---------------------------	--------------------	--	---	---------------------------------	------

Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler verildikten sonra, serilerin stokastik özellikleri birim kök testleri aracılığıyla incelenecektir. Değişkenler arasındaki uzun dönemli dinamik ilişkilerin varlığı Fourier Bootstrap tabanlı eşbütünleşme ve nedensellik testleriyle analiz edildikten sonra, uzun dönemli katsayılar DOLS testi ile araştırılacaktır.

Bu çalışmada kullanılan iki temel değişkenin (EAİ ve EB) tanımlayıcı istatistikleri, her iki serinin de ortalama düzeyleri ve varyansları hakkında bilgi sunmaktadır. EAİ değişkeninin ortalama değeri 2.565, düşük standart sapması ile çevresel baskının görece istikrarlı seyrettiğini göstermektedir. EB değişkeni ise ortalama 4.78 ve yüksek standart sapma 3.92 değerleriyle, ekonomik büyümenin zaman içinde dalgalı bir seyir izlediğini ortaya koymaktadır. Jarque-Bera testi sonuçları her iki değişken için de normal dağılım varsayımını reddetmeyerek dağılımlarının normal yapıya yakın olduğunu göstermektedir.

Tablo 2

Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Tanımı	Veri Kaynağı	Ortalama	Min.	Maks.	Standart. S.	Jarque-Bera
----------	--------	--------------	----------	------	-------	--------------	-------------

							Normallik Olasılık Değeri
EAI	Kişi Başı Ekolojik Ayak İzi	Global Footprint Network	2.565199	1.644816	3.476258	0.549387	0.153074
EB	Ekonomik Büyüme	Dünya Bankası	4.781495	-5.750007	11.43938	3.928799	0.062425

Bu çalışma kapsamında uygulanan ilk birim kök testi (BKT) olan ADF testi, durağanlığa ilişkin yapısal kırılmaları göz ardı etmektedir. Enders ve Lee (2012) tarafından önerilen Fourier ADF testi, zaman serisindeki bilinmeyen sayıda yumuşak yapısal değişimi, deterministik terime eklenen Fourier serisi ile yakalamaktadır (Enders ve Lee, 2012). Bu test kapsamında test istatistiği aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmaktadır;

$$\Delta y_t = \delta y_{t-1} + \beta_1 + \beta_2 t + \beta_3 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_4 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \varepsilon_t \quad (1)$$

Bu denklemde k frekansı, π , pi sayısını, T ise gözlem sayısını belirtmektedir. Fourier bileşenleri olan β_3 ve β_4 ile model, veri içindeki bir ya da birden çok yapısal kırılmayı düşük frekanslı sinüs ve kosinüs terimleriyle yakalayabilmektedir (Enders ve Lee, 2012). Bootstrap uyarlaması ise elde edilen istatistiğin dağılımını simülasyon yoluyla belirleyerek küçük örneklemdeki sapmaları düzelterek, veri setine özgü kritik değerler yoluyla daha etkili sonuçlar vermektedir.

Serileri durağanlık özellikleri incelendikten sonra aralarındaki uzun dönemli ilişkilerin varlığı Fourier ADL testiyle sınanmıştır. Bu test Enders ve Lee (2012) tarafından geliştirilen testin eşbütünleşme versiyonudur (Banerjee vd., 2017). Yazarlar, geliştirdikleri testin, yapısal kırılmaların sayısı, şiddeti ve formu bilinmediğinde etkin sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Fourier ADL eşbütünleşme testinde model Denklem 2 aracılığıyla verilmektedir.

$$\Delta y_{1t} = \xi y_{1,t-1} + \eta y_{2,t-1} + \phi y_{2t} + d(t) + \varepsilon_t \quad (2)$$

Bu denklemde, η , ϕ ve y_{2t} parametreler ve açıklayıcı değişkenlerden oluşan $n \times 1$ boyutunda vektörleri, $d(t)$ ise deterministik terimi ifade etmektedir. Temel hipotez, seriler arasında eş bütünleşme ilişkisinin bulunmadığına karşın alternatif hipotez, eş bütünleşmenin varlığını test etmektedir (Banerjee vd., 2017, s. 117).

Bu denklemden test istatistiği ise şu formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$t_{ADL}^F = \frac{\widehat{\xi_1}}{sh(\widehat{\xi_1})} \quad (3)$$

Bu eşitlikte ξ_1 2 numaralı denklemin En küçük kareler (EKK) tahmincisini $sh(\widehat{\xi_1})$ ise 2 numaralı denklemde EKK tahmininden elde edilen standart hatayı ifade etmektedir (Banerjee vd., 2017, s. 117).

Seriler arasındaki nedensellik ilişkileri ise Nazlıoğlu vd., (2016) tarafından geliştirilen ve Toda-Yamamoto (1995) nedensellik testinin geliştirilmiş ve güncelleştirilmiş versiyonu olan Fourier Bootstrap Toda-Yamamoto testiyle incelenmiştir. Toda-Yamamoto (1995), değişkenlerin nedenselliğini test etmek için serilerin durağanlık derecesinden bağımsız bir VAR yaklaşımı önermişlerdir. Nazlıoğlu vd., (2016) ise yapısal kırılmaları modelleyebilmek için Toda-Yamamoto testini Fourier terimlerle genişletmişlerdir. Bu durumda test şu şekilde ifade edilmektedir;

$$y_t = \theta_0 + \vartheta_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \vartheta_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \delta_1 y_{t-1} + \dots + \delta_{p+d} y_{t-(p+d)} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Bu eşitlikte, k uygun frekans sayısını, p gecikme sayısını, d değişkenlerin maksimum durağanlık derecesini ifade etmektedir.

4. BULGULAR

Bu bölüm bağlamında çalışma kapsamında kullanılan ekonometrik yöntemlerin bulguları tartışılacaktır. İlk olarak serilerin stokastik özellikleri ADF BKT ile incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3

ADF BKT Sonucu

Değişken	Sabit Terimli Model	Sabit ve Trendli Model
EAI	-0.9520	-5.1318***

EB	-7.7912***	-7.7305***
-----------	------------	------------

Not: *** %1 anlam düzeyini ifade etmektedir.

ADF BKT sonuçlarına göre, EAİ değişkeni sabit terimli modelde durağan çıkmazken sabit ve trend içeren modelde ise -5.1318 değeriyle %1 anlamlılık düzeyinde durağan olduğu görülmektedir. Bu sonuç, ekolojik ayak izinin zaman içinde belirgin bir trend bileşeni içerdiğini ve trendin giderilmesiyle serinin durağan hale geldiğini göstermektedir. Öte yandan, EB hem sabit terimli hem de sabit ve trendli modellerde %1 düzeyinde durağan olarak bulunmuştur. Bu durum, EB serisinin zaman içinde ortalama etrafında dalgalandığını ve durağanlık özelliği gösterdiğini ifade etmektedir.

Tablo 4

Fourier Bootstrap ADF Sonucu

Değişken	Bootstrap test ist.	Bootstrap kritik değer %5	Uygun gecikme sayısı	Uygun frekans sayısı (k)	F istatistiği Bootstrap değeri	F istatistiği Bootstrap Kritik değeri %5
EAİ	-6.78280	-8.704685	1	2	178.40883	5.181728
EB	-6.80585	-11.520090	1	2	177.69931	5.032874

Geleneksel ADF BKT, serilerdeki ani veya yumuşak kırılmaları dikkate almadığı için yanıltıcı sonuçlar verebilir. Bu nedenle, daha esnek ve güvenilir bir analiz sağlamak amacıyla Fourier Bootstrap ADF BKT uygulanmıştır. Fourier Bootstrap ADF test sonuçlarına göre, EAİ değişkeninin test istatistiği %5 düzeyindeki bootstrap kritik değerinden büyüktür. Dolayısıyla, EAİ serisinin birim kök içerdiği sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde, EB değişkeninin de durağan olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, her iki değişkende de F-istatistikleri bootstrap kritik değerlerini oldukça aşmaktadır. Bu durum, modelde Fourier bileşenlerinin varlığının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ve serilerde yumuşak yapısal kırılmaların bulunduğunu doğrulamaktadır.

Tablo 5

Fourier Bootstrap Eşbütünleşme ve Nedensellik Test Sonucu

Fourier ADL Bootstrap test ist.	Fourier ADL Bootstrap %5 kritik değer	Uygun frekans sayısı	Sonuç
-3.31380	-3.251338	1	Seriler Eşbütünleşik
Fourier Toda-Yamamoto Bootstrap Test İstatistiği	Fourier Toda-Yamamoto Bootstrap %5 Kritik Değer	Uygun Frekans Sayısı ve VAR modeli gecikme sayısı	Nedensellik Yönü
82.63437	4.218293	1 / 3	EB ⇒ EAİ
74.03122	5.689481	1 / 3	EAİ ⇒ EB

Fourier Bootstrap ADL eşbütünleşme testi sonuçları, EAİ ile EB serilerinin uzun dönemde birbirleriyle **eşbütünleşik bir ilişki** içinde olduğunu göstermektedir. Fourier yaklaşımı, yapısal kırılmaları dikkate alarak bu uzun dönemli ilişkinin daha güvenilir şekilde belirlenmesine katkı sunmaktadır. Elde edilen bu bulgu, yöntem olarak Fourier ADL yaklaşımını kullanan Kardeşler (2022) ile Uzar ve Eyüboğlu (2023) gibi çalışmalarda ortaya konan sonuçlarla uyum içerisindedir. Ayrıca eşbütünleşme ilişkisinin varlığı, Gülmez ve arkadaşları (2020) ile Koç ve Savaş (2024) tarafından yapılan araştırmalarla da örtüşmektedir.

Fourier Bootstrap Toda-Yamamoto nedensellik testi sonuçları ise her iki yönde de istatistiksel olarak anlamlı nedensellik ilişkileri tespit etmiştir. Bu sonuç karşılıklı (çift yönlü) nedensellik ilişkilerini ortaya koymaktadır. Bu durum, EB ile EAİ arasında dinamik ve karşılıklı etkileşimin güçlü olduğunu göstermektedir. Karşılıklı nedensellik bulgusu, Erat vd., (2023) ve Fadhila vd., (2024) ile örtüşmektedir.

Tablo 6

DOLS Sonucu

Değişken	Katsayı	Standart H.	t- istatistiği	Olasılık Değeri
EB	0.053234	0.020658	2.576927	0.0132
C	1.403382	0.112805	12.44076	0.0000
Trend	0.029835	0.001408	21.19247	0.0000

Dinamik OLS (DOLS) tahminleri sonucunda, ekonomik büyüme değişkeninin katsayısı istatistiksel olarak anlamlı 0.0532 olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu, uzun dönemde ekonomik büyümenin kişi başına düşen EAI üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, sabit terim ve trend katsayısı da yüksek anlamlılık düzeylerine sahiptir. Trend teriminin yüksek anlamlılığı ise zaman içerisinde serinin artış eğiliminde olduğunu göstermektedir.

5.SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Bu çalışma, Türkiye ekonomisinde 1961-2022 dönemi için kişi başına düşen EAI ile EB arasındaki ilişkiyi zaman serisi analizleriyle ayrıntılı olarak incelemiştir. Fourier Bootstrap ADL eşbütünleşme testi, EB ve EAI serilerinin uzun dönemde eşbütünleşik olduğunu ve bu ilişkinin pozitif yönde anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca Fourier Bootstrap Toda–Yamamoto nedensellik testi, iki değişken arasında karşılıklı nedensellik ilişkisini ortaya koymuştur. DOLS tahmin sonuçları, uzun dönemde ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini artırıcı etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Ampirik bulgular ışığında, çevresel baskının temel kaynağının büyümenin niteliğiyle doğrudan ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, büyümenin enerji yoğun yapısı, fosil yakıtlara olan yüksek bağımlılık, kentleşme ve arazi kullanımı baskısı gibi faktörler, Türkiye’nin ekolojik ayak izini artırıcı yönde etki oluşturmaktadır. Bulgular, Türkiye ekonomisinin büyüme süreçlerinin çevresel açıdan sürdürülebilirlik sorunları oluşturduğunu ve ekonomik büyümenin ekolojik baskı üzerinde önemli bir rol oynadığını doğrulamaktadır. Dolayısıyla, sürdürülebilir bir büyüme modeli benimsenmediği sürece, çevresel bozulmanın giderek derinleşmesi kaçınılmaz görünmektedir. Sonuçlar, Türkiye ekonomisindeki büyüme modellerinin çevresel sürdürülebilirlik boyutunda önemli riskler barındırdığını ve “Büyümenin Sınırları” yaklaşımıyla uyumlu bir şekilde çevresel baskının arttığını göstermektedir. Politika önerileri kapsamında, öncelikle Türkiye’nin fosil yakıtlara bağımlılığını azaltarak düşük karbonlu bir ekonomik model benimsemesi gerekmektedir. Türkiye’nin enerji üretim ve tüketim yapısında köklü dönüşümler gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, yenilenebilir enerji kaynaklarına (güneş, rüzgâr, jeotermal) dayalı üretim artırılmalı, fosil yakıt sübvansiyonları azaltılmalı ve enerji verimliliği önlemleri yaygınlaştırılmalıdır. İkinci olarak, çevresel maliyetlerin ekonomik karar süreçlerine dâhil edilmesini sağlayacak piyasa temelli araçlar geliştirilmelidir. Karbon vergileri ve emisyon ticaret sistemleri gibi politikalar, ekonomik aktörlerin çevresel maliyetleri göz önünde bulundurmalarını teşvik edebilir. Ayrıca, çevresel düzenlemelerin etkin uygulanması, atık yönetimi ve geri dönüşüm gibi alanlarda kapasite geliştirilmesi gerekmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda ise, iki değişken arasındaki ilişkinin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi için makroekonomik ve finansal değişkenlerin de modele dâhil edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Addai, K., Serener, B., & Kirikkaleli, D. (2022). Empirical analysis of the relationship among urbanization, economic growth and ecological footprint: evidence from Eastern Europe. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(19), 27749-27760. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17311-x>
- Ahmed, Z., Zafar, M. W., & Ali, S. (2020). Linking urbanization, human capital, and the ecological footprint in G7 countries: an empirical analysis. *Sustainable cities and society*, 55, 102064. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102064>
- Albayrak, Ö. K., Topal, S., & Çamkaya, S. (2022). The Impact of Economic Growth, Renewable Energy, Non-renewable Energy and Trade Openness on the Ecological Footprint and Forecasting in Türkiye: an Case of the ARDL and NMGM Forecasting Model. *Alphanumeric Journal*, 10(2), 139-154. <https://doi.org/10.17093/alphanumeric.1144398>
- Alper, A. E., Alper, F. O., Cil, A. B., Iscan, E., & Eren, A. A. (2023). Stochastic convergence of ecological footprint: new insights from a unit root test based on smooth transitions and nonlinear adjustment. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(8), 22100-22114. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23763-6>
- Baloch, M. A., Zhang, J., Iqbal, K., & Iqbal, Z. (2019). The effect of financial development on ecological footprint in BRI countries: evidence from panel data estimation. *Environmental science and pollution research*, 26, 6199-6208. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3992-9>
- Banerjee, P., Arčabić, V., & Lee, H. (2017). Fourier ADL cointegration test to approximate smooth breaks with new evidence from crude oil market. *Economic Modelling*, 67, 114-124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2016.11.004>

- Çağlar, A. E., Balsalobre-Lorente, D., & Akin, C. S. (2021). Analysing the ecological footprint in EU-5 countries under a scenario of carbon neutrality: Evidence from newly developed sharp and smooth structural breaks in unit root testing. *Journal of Environmental Management*, 295, 113155. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113155>
- Danish, H. S., Baloch, M. A., Mahmood, N., & Zhang, J. W. (2019). *Linking economic growth and ecological footprint through human capital and biocapacity*. *Sustain Cities Soc* 47: 101516. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101516>
- Enders, W., & Lee, J. (2012). The flexible Fourier form and Dickey–Fuller type unit root tests. *Economics Letters*, 117(1), 196-199. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2012.04.081>
- Erat, V., Savaş, D. A., & Savaş, Y. (2023). Türkiye’de Ekonomik Büyüme ve Ekolojik Ayak İzi Arasında Nedensellik İlişkisinin Analizi: Dalgacık Yöntemi Yaklaşımı. *Journal of Mehmet Akif Ersoy University Economics and Administrative Sciences Faculty*, 10(2), 1608-1626. <https://doi.org/10.30798/makuiibf.1282249>
- Ersin, Ö. Ö., Ustabaş, A., & Usman, O. (2024). The role of environmental innovation on ecologic footprint in nations with high technology exports concentrations in international trade. *Technological Forecasting and Social Change*, 208, 123703. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123703>
- Fadhila, R., Shabri, M., & Ali, Suddin. (2024). How do Economic Growth, Population Growth, and Urbanization Affect Ecological Footprint in Indonesia. *International Journal of Social Science, Technology and Economics Management*. 2(1), 94-105. <https://doi.org/10.59781/PANY7890>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. NBER Working Paper No. w3914, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=232073>
- Gülmez, A., Altıntaş, N., & Kahraman, Ü. O. (2020). *A puzzle over ecological footprint, energy consumption and economic growth: The case of Turkey*. *Environmental Ecological Statistic* 27 (4), 753–768. <https://doi.org/10.1007/s10651-020-00465-1>
- Hassan, S. T., Xia, E., Khan, N. H., & Shah, S. M. A. (2019). Economic growth, natural resources, and ecological footprints: evidence from Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 2929-2938. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3803-3>
- Ikram, M., Xia, W., Fareed, Z., Shahzad, U., & Rafique, M. Z. (2021). Exploring the nexus between economic complexity, economic growth and ecological footprint: contextual evidences from Japan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101460. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101460>
- Kardaşlar, A. (2022). Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi ve Küreselleşme Sürecinin Ekolojik Ayak İzi Üzerindeki Etkisi: Türkiye Örneği. *Business and Economics Research Journal*, 13(3), 385–401. <https://doi.org/10.20409/berj.2022.379>
- Kepenek, Y., (2023). *Türkiye ekonomisi*, (33. Baskı). İstanbul: Remzi Kitapevi.
- Koç, S., & Savaş, Y. (2024). Ekonomik Büyüme, Ticari Açıklık ve Ekolojik Ayak İzi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Türkiye’den Kanıtlar. *Politik Ekonomik Kuram*, 8(4), 1063-1073. <https://doi.org/10.30586/pek.1496317>
- Mazlum, E. C. (2024). Linking Human Development Index, Urbanization, Economic Growth and the Ecological Footprint: The Case of MINT Countries. *Kent Akademisi*, 17(Sürdürülebilir İnsani Kalkınma ve Kent), 301-318. <https://doi.org/10.35674/kent.1516464>
- Nazlıoğlu, S., Gormus, N. A., & Soytaş, U. (2016). Oil prices and real estate investment trusts (REITs): Gradual-shift causality and volatility transmission analysis. *Energy economics*, 60, 168-175. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.09.009>
- Pamuk, Ş. (2022). *Türkiye’nin 200 Yıllık İktisadi Tarihi*. İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- Rees, W. E. (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, 4(2), 121–130. <https://doi.org/10.1177/095624789200400212>
- Sarwar, N., Junaid, A., & Alvi, S. (2024). Impact of urbanization and human development on ecological footprints in OECD and non-OECD countries. *Heliyon*, 10(19). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38058>
- Shahbaz, M., Dogan, M., Akkus, H. T., & Gursoy, S. (2023). The effect of financial development and economic growth on ecological footprint: evidence from top 10 emitter countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(29), 73518-73533. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27573-2>

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102138>
- Sofuoğlu, E., & Kirikkaleli, D. (2023). The effect of mineral saving and energy on the ecological footprint in an emerging market: Evidence from novel Fourier based approaches. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, 16(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s12076-023-00328-w>
- Solarin, S. A., & Bello, M. O. (2018). Persistence of policy shocks to an environmental degradation index: the case of ecological footprint in 128 developed and developing countries. *Ecological indicators*, 89, 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.064>
- Uddin, G. A., Salahuddin, M., Alam, K., & Gow, J. (2017). Ecological footprint and real income: panel data evidence from the 27 highest emitting countries. *Ecological Indicators*, 77, 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.003>
- Ullah, A., Tekbaş, M., & Doğan, M. (2023). The impact of economic growth, natural resources, urbanization and biocapacity on the ecological footprint: The case of Turkey. *Sustainability*, 15(17), 12855. <https://doi.org/10.3390/su151712855>
- Usman, M., Kousar, R., Yaseen, M. R., & Makhadmeh, M. S. A. (2020). An empirical nexus between economic growth, energy utilization, trade policy, and ecological footprint: a continent-wise comparison in upper-middle-income countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 38995-39018. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09772-3>
- Uzar, U., & Eyuboglu, K. (2023). Does income inequality increase the ecological footprint in the US: evidence from FARDL test?. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(4), 9514-9529. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22844-w>
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1996) *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*. The new catalyst bioregional series. New Society Publishers
- World Bank (2025). *World Development Indicators*: CO2 emissions (metric tons per capita) – Türkiye.
- Yılancı, V., Gorus, M. S., & Aydin, M. (2019). Are shocks to ecological footprint in OECD countries permanent or temporary?. *Journal of cleaner production*, 212, 270-301. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.299>
- Yingjun, Z., Jahan, S., & Qamruzzaman, M. (2024). Technological Innovation, Trade Openness, Natural Resources, and Environmental Sustainability in Egypt and Turkey: Evidence from Load Capacity Factor and Inverted Load Capacity Factor with Fourier Functions. *Sustainability (2071-1050)*, 16(19). <https://doi.org/10.3390/su16198643>