

Araştırma Makalesi / Research Article

## GSYİH, YENİLENEBİLİR ENERJİ, TARIM VE EKOLOJİK AYAK İZİ İLİŞKİSİ: ENDONEZYA İÇİN AMPİRİK ANALİZ

Havanur ERGÜN TATAR<sup>1</sup> 

### ÖZET

Endonezya için enerji-çevre bağlantısı ve tarım ekolojik bozulmanın analiz edilmesi noktasında önemli bir yere sahiptir. Yenilenebilir enerji tüketimi ve doğru tarım uygulamaları çevresel sürdürülebilirliğe olumlu katkı sunmaktadır. Özellikle büyüyen nüfus için önemli olan tarımın dayandığı enerji çok önemlidir. Yani tarımın kaynağını, yenilenemeyen enerjiden almaya sebep olacaktır. Bu noktada, tarım ve yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izine etkisi ele alınması gereken önemli bir konudur. Bu amaçla önemli tarım ülkelerinden biri olan Endonezya'da, yenilenebilir enerji tüketimi ve tarımın ekolojik ayak izine etkisi analiz edilmiştir. Söz konusu ilişki 1991-2021 dönemini verileri kullanılarak, kesirli fourier yaklaşımlarıyla analiz edilmiştir. Kesirli Frekanslı Fourier ADF Birim Kök Testi ve Kesirli Frekanslı Fourier-ADL Eşbütünleşme Testi ile analizler yapılmıştır. Birim kök incelemesi neticesinde değişkenlerin fark itibarıyla durağan olduğu ortaya konulmuştur. Sonrasında ise eşbütünleşme ilişkisinin varlığı tespit edilmiştir. Katsayı tahmincisi olarak FMOLS ve DOLS uygulanmıştır. Analiz sonucunda, tarımın ekolojik ayak izini artırdığı buna karşın yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir Enerji, Tarım, GSYİH, Ekolojik Ayak İzi

**JEL Sınıflandırması:** Q10, Q57, C22

## THE RELATIONSHIP BETWEEN GDP, RENEWABLE ENERGY, AGRICULTURE AND ECOLOGICAL FOOTPRINT: AN EMPIRICAL ANALYSIS FOR INDONESIA

### ABSTRACT

For Indonesia, the energy-environment nexus and agriculture have an important place in terms of analyzing ecological degradation. Renewable energy consumption and correct agricultural practices contribute positively to environmental sustainability. The energy that agriculture, which is important especially for the growing population, is based on is very important. In other words, agriculture's source from non-renewable energy will cause environmental degradation. At this point, the effect of agriculture and renewable energy consumption on the ecological footprint is an important issue that needs to be addressed. For this purpose, in Indonesia, one of the important agricultural countries, the effect of

<sup>1</sup> Doç. Dr., Bartın Üniversitesi, İİBF, Bartın, Türkiye, [havanurergun@gmail.com](mailto:havanurergun@gmail.com)

**Bu makaleye yapılacak atıf:** Ergün Tatar, H. (2026). GSYİH, yenilenebilir enerji, tarım ve ekolojik ayak izi ilişkisi: Endonezya için ampirik analiz. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 22(2), 1000-1017. <https://doi.org/10.17130/ijmeb.1702701>

ISSN:2147-9208 E-ISSN:2147-9194

<http://dx.doi.org/10.17130/ijmeb.1702701>

Başvuru Tarihi: 20.05.2025, Yayına Kabul Tarihi: 21.07.2025



*renewable energy consumption and agriculture on the ecological footprint is analyzed. The relationship in question is analyzed using the data for the period 1991-2021 with fractional fourier approaches. Analyses are made with Fractional Frequency Fourier ADF Unit Root Test and Fractional Frequency Fourier-ADL Cointegration Test. As a result of the unit root examination, it is revealed that the variables are stationary in terms of difference. Then, the existence of a cointegration relationship is determined. FMOLS and DOLS are applied as coefficient estimators. As a result of the analysis, it is concluded that agriculture increases the ecological footprint, whereas renewable energy consumption reduces the ecological footprint.*

**Keywords:** Renewable Energy, Agriculture, GDP, Ecological Footprint

**JEL Classification Codes:** Q10, Q57, C22

## EXTENDED SUMMARY

### Research Questions & Purpose

The purpose of this study is to analyze the relationship between GDP, renewable energy, agriculture and ecological footprint. For this purpose, Indonesia, one of the major agricultural countries, is examined in the study. Considering the importance of reducing the ecological footprint for all countries in the world, it is very important to address the factors that determine it.

### Literature Review

Many studies have examined the impact of renewable energy on the environment. In most of these studies, carbon emissions are considered as an indicator. However, the ecological footprint expresses environmental degradation in a broader perspective (Ansari, 2022: 12). Although there are very limited studies in the literature examining the relationship between renewable energy and ecological footprint in Indonesia, there are relatively more studies on various country groups (CIVETS, ASEAN, etc.) that Indonesia is a part of. Some of the studies in question are as follows: Ansari (2022); Çağlar et al., (2021); Kurniawan et al., (2024); Li et al., (2023); Nathaniel et al., (2020); Salari et al., (2021); Zeraibi et al., (2021). There is no extensive literature addressing the relationship between agriculture and ecological development for Indonesia. At this point, some of the studies that can be considered are: Santaso et al., (2017), Andunnur (2020); Kumaran et al., (2024); Dom (2024).

### Methodology

In this study, the impact of GDP, renewable energy and agriculture on the ecological footprint is examined using data from 1991-2021. A model is created for Indonesia, one of the major agricultural countries. In the study, firstly, stationarity is tested using both the traditional unit root test (ADF) and Fourier ADF Test. Cointegration analysis is performed with the Fractional Frequency Fourier-ADL Cointegration Test. After the existence of the long-term cointegration relationship is determined in the study, a model estimate including trigonometric terms is made. At this point, FMOLS and DOLS estimators are used.

## Results and Conclusion

The findings of the study reveal that agriculture and GDP positively affect the ecological footprint. It has been determined that renewable energy consumption causes a decrease in the ecological footprint. The conversion of forests to agricultural land poses a serious threat to the environment. In particular, the rapid expansion of palm oil plantations in Indonesia is considered an important threat. Therefore, the result achieved is theoretically and empirically consistent. At this point, the findings obtained support the results of the studies of Sarkodie and Owusu (2016) and Pata (2021). Substituting renewable energy sources (geothermal, solar, wind, biomass, hydro, etc.) instead of fossil fuel use positively affects environmental quality. In other words, the consumption of renewable energy sources eliminates environmental pressure. Therefore, the result achieved is theoretically and empirically consistent. At this point, the findings obtained support the results of the studies of Ansari (2022), Li et al., (2023) and Kurniawan et al., (2024). It is extremely important to use clean inputs in agriculture, to increase environmental awareness in agriculture, to use production techniques that do not rely on fossil fuels in agriculture, to ensure energy transformation with appropriate policies, to establish sustainable development on renewable energy sources and to review energy policies. Therefore, with the right policies to be implemented, it is possible to reduce the ecological footprint in the long term.

### 1. Giriş

Çevre bozulması ve kaynakların sürdürülebilirliği konuları özellikle son dönemde, dünya çapında büyük kaygıya neden olmaktadır. Çevresel sorunlarının küresel ölçekte ele alındığı Kyoto Protokolü ve Paris İklim Anlaşması, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi tarafından bir politika eylemi olarak uygulanmıştır. Atılan bu küresel adımlar, dünya çapında karbondioksit emisyonlarını azaltma açısından önemli taşımaktadır. Öte yandan, çevre kalitesi ile sürdürülebilir ekonomik kalkınma arasındaki dengenin korunması öncelikli amaç haline gelmiştir.

Ülkelerde çevre kalitesinin sürdürülmesi noktasında, yenilenebilir enerji kullanımı son derece önemlidir. Fosil yakıt kullanımı yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının (jeotermal, güneş, rüzgar, biyokütle, hidro v.b.) ikame edilmesi, çevresel bozulmasının önüne geçmektedir. Benzer şekilde, tarımda uygun yöntemler ve doğru politikaların izlenmesi, çevre sorunlarını azaltma noktasında önemli katkı sunmaktadır.

Çalışma, Endonezya’da yenilenebilir enerji, tarım ve ekolojik ayak izi ilişkisini ele aldığı için özgün niteliktedir. Çünkü literatürde sıklıkla karbon emisyonu ve yenilenebilir enerji ilişkisi ele alınmıştır. Bununla birlikte, Endonezya özelinde sınırlı sayıda çalışmada ekolojik ayak izi ve yenilenebilir enerji ilişkisi veya ekolojik ayak izi ve tarım ilişkisi incelenmiştir. Bu çalışmada konu, kesirli fourier analiz yöntemleriyle analiz edilmiştir. Çalışmanın ampirik literatüre katkı sunması beklenmektedir. Bu bağlamda, bu çalışma, Endonezya’da yenilenebilir enerji, GSYİH ve tarımın ekolojik ayak izine etkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Çalışmada Endonezya’nın ele alınmasının sebebi, tarımsal katma değer açısından önemli bir ülke konumunda olmasıdır. Özellikle Asya’daki ülkelerin (Endonezya, Çin, Hindistan, Pakistan ve Bangladeş) tarımsal katma değeri, 2021 yılı itibarıyla dünya tarımsal üretiminin

%49,6'sına eşdeğerdir. Bununla birlikte, Asya'daki hızlı nüfus artışı, artan karbondioksit emisyonlarına ve tükenen doğal kaynaklara sebep olmaktadır (Li vd., 2023).

Güneydoğu Asya ülkeleri içinde özellikle Endonezya'da büyüme petrol, kömür ve gaz gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Bu durum, bir yandan CO2 emisyonlarının artmasına sebep olurken, diğer yandan ekolojik ayak izinin kötüleşmesine neden olmaktadır. (Idroes vd., 2024). Bu noktada, Endonezya dünyadaki en yüksek ekolojik ayak izine sahip ülkelerden biri haline gelmiştir.

Biyolojik kapasiteyi ekolojik ayak izinin gölgelediği bir ülke olan Endonezya'da, ekolojik ayak izini etkileyen tarım ve yenilenebilir enerjinin etkilerinin detaylı incelendiği çalışma gerekliliği doğmaktadır. Mevcut literatürdeki boşluk, Endonezya bağlamında konunun araştırılmasını teşvik etmektedir.

Çalışmada ekolojik ayak izi bağımlı değişken olarak, yenilenebilir enerji ve tarım bağımsız değişkenler olarak ele alınmıştır. Çalışmada 1991-2021 dönemini verileri incelenmiştir. Çalışmada öncelikle geleneksel ADF ve Fourier ADF Testi ile durağanlık analizi yapılmış, ardından eşbütünlük testi yapılmıştır. Çalışmada uzun dönemli eşbütünlük ilişkisinin varlığı tespit edildikten sonra trigonometrik terimleri de içeren model tahmini yapılmıştır.

Çalışmada ilk olarak, konuya dair teorik ve kavramsal çerçeve hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra Endonezya özelinde konuya ait literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Son olarak ampirik analiz kısmında ise model, veri setleri ve ampirik yöntem açıklaması yapıldıktan sonra analiz sonuçları yorumlanmıştır. Sonuç kısmında ise, ampirik bulgular ışığında değerlendirme yapılarak, politika önerileri sunulmuştur.

## **2. Teorik Çerçeve**

Çevre ve kalkınma ilişkisi üzerinde durulması önemli bir konu olmakla birlikte, temel dayanak noktasını Çevresel Kuznets Eğrisinden almaktadır. Grossman & Krueger (1995) tarafından geliştirilen Çevresel Kuznets Eğrisi, kişisel gelir artışının uzun dönemde çevre iyileştirici etkisini ortaya koymaktadır. Yani Alola vd. (2021) çalışmalarında vurguladığı gibi, çevre kalitesi kısa vadede olumsuz etkilenirken, uzun vadede olumlu etkilenmektedir.

1970'li yılların sonunda kalkınma olgusunun yalnızca ekonomik boyutu değil; insan ve çevre botunun da önemli olduğu gerçeği ön plana çıkmıştır (Karaçay Çakmak, 2003: 55). Bu süreçte, sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik modernizasyon söylemleri yeni çevre politikası paradigmatları olarak önemli bir yer tutmaktadır. İki yaklaşımın da birbirlerine yakın söylemleri olmasına rağmen, çıkış noktaları ve temel varsayımları birbirinden farklıdır. Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı ekolojik modernizasyonu yaklaşımına göre daha fazla konuyu kapsamaktadır. Ekolojik modernizasyon sanayileşmiş batılı ülke deneyimlerine odaklanmaktadır. Buna karşın, sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı yoksulluk kavramı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde işbirliğinin sağlanmasını ön planda tutmaktadır. Bununla birlikte, sürdürülebilir kalkınmada daha fazla çevre korumasını ön plana alan ilerlemeci bir bakış açısı bulunmaktadır (Orhan, 2004).

Çevre ve kalkınma ilişkisinde yeşil büyüme kavramı da önemli yer tutmaktadır. Yeşil büyüme kavramı, ülkelerin değişen çevresel ve coğrafi şartlarına göre uyum sağlayan, risklerin en az olduğu ve çevresel tahribatin olmadığı büyüme sürecini tanımlamaktadır (Yılmaz, 2017).

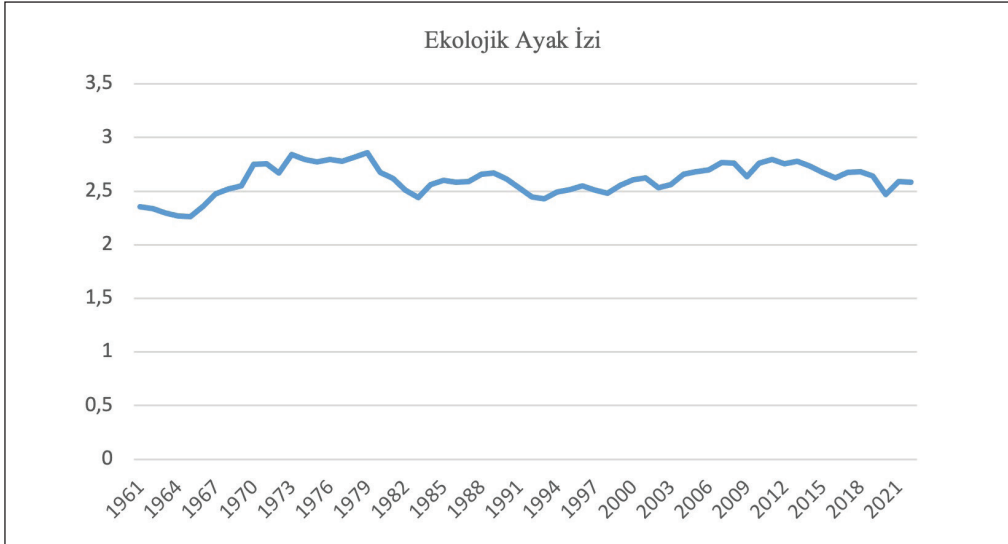
Hükümetlerin uyguladığı politikaların yetersiz kalması, yeşil büyüme kavramının ön plana çıkmasına sebep olmuştur.

Çevresel sürdürülebilirliğin önemli göstergesi kabul edilen ekolojik ayak izi kavramı, öncelikle Rees (1992) tarafından ele alınmış; Wackernagel & Rees (1996) çalışmalarında ise sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik ayak izi ilişkisi incelenmiştir. Çevresel göstergeleri simgeleyen bu ölçüt, küresel hektar olarak hesaplanmaktadır (Wackernagel vd., 2005: 4). Biyolojik doğal kaynakların tüketimini ölçen bu ölçüt, belirli bir varlığın mallarını tedarik etmek ve atıklarını işlemek için gereken üretken arazi alanı olarak ifade edilmektedir. Ekolojik ayak izi, ürünler, kuruluşlar ve bölgeler için hesaplanabilir. Ancak en yaygın olarak, ulusal ayak izi hesaplarında ulusların ekolojik ayak izini tahmin etmek için kullanılmaktadır (Ewing vd., 2008; Mattila, 2012). Çevresel bozulmayı diğer göstergelere nazaran daha kapsamlı bir şekilde ele alma imkanı tanınması, bu ölçütün en önemli avantajıdır.

Ulusal ayak izi hesapları, ülkenin ekolojik sınırlarını aşır aştığını (sürdürülebilir şekilde üretilebilecekten daha fazla yenilenebilir mal tüketip tüketmediğini) belirlemek için belirli bir ülke için mevcut arazi alanı (biyolojik kapasite) ile karşılaştırılabilir. Küresel olarak ekolojik ayak izi, 1980'lerin başında mevcut biyolojik kapasiteyi aşmıştır (Ewing vd., 2008; Mattila, 2012). Günümüzde ise ekolojik açık önemli bir sorun olarak devam etmektedir. Öyle ki, dünya nüfusunun önemli bölümü ekolojik açık olan ülkelerde yaşamaktadır.

Şekil 1'de Dünya'da ekolojik ayak izi ölçüm izi sonuçları yer almaktadır. Buna göre, ekolojik ayak izi en yüksek değerine 1979 ulaşmıştır. Bununla birlikte, 2008 küresel krizi ve 2020 Covid-19 salgının etkisiyle düşüş yaşansa da ekolojik açığın yıllar itibarıyla yükseldiği söylenebilir.

**Şekil 1: Dünya'da Ekolojik Ayak İzi (1961-2022)**

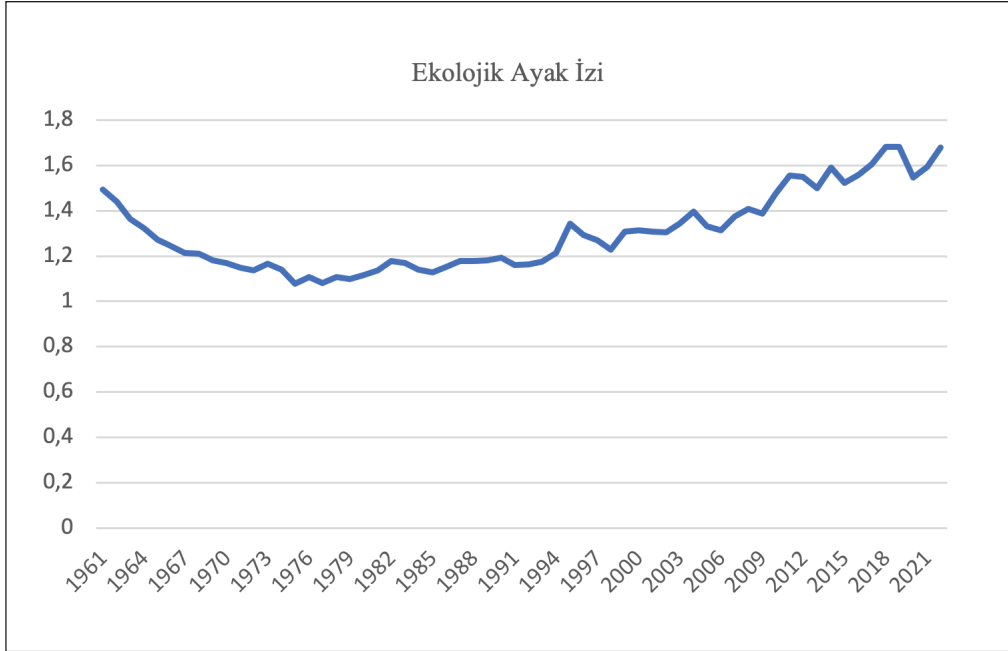


**Not:** Atlas Media veri tabanından ulaşılan verilerle yazar tarafından oluşturulmuştur.

Güneydoğu Asya'nın en büyük ekonomilerinden biri olan Endonezya'da, 1990-2014 yılları arasında büyüme eğilimi, biyolojik çeşitlilikle uyumlu bir seyir izliyordu. Yaşayan Gezegen Raporu (LPR) 2014, Endonezya'nın 2010 yılında dünya'nın toplam biyolojik kapasitesinin %60'ından fazlasını oluşturduğunu ortaya koymuştur. Ancak ilerleyen süreçte, ekonomik büyümeyi ve kişi başına düşen geliri artırma baskıları ciddi çevresel zararlara sebep olmuştur (Van Tran vd., 2024). Endonezya'nın ekolojik ayak izi 1961'de 1,49'dan 2022'de 1,68'e yükselmiştir. Bu yükselme, enerji tüketiminin artmasının çevreye giderek zarar verdiğini ifade etmektedir. Bu durum ise, özellikle fosil yakıtlar şeklinde yenilenemeyen enerji tüketiminin kullanımında uygun politikaları uygulanması gerekli kılmaktadır (Kurniawan vd., 2024:1131).

Şekil 2'de Endonezya'da ekolojik ayak izi trendi yer almaktadır. Buna göre, ekolojik ayak izinin 1994 yılı sonrasında artış trendine girdiği görülmektedir. Genel olarak, 1961-2022 yılları arası dönemde iniş çıkışlı bir trend olduğu görülmektedir.

**Şekil 2: Endonezya'da Ekolojik Ayak İzi (1961-2022)**



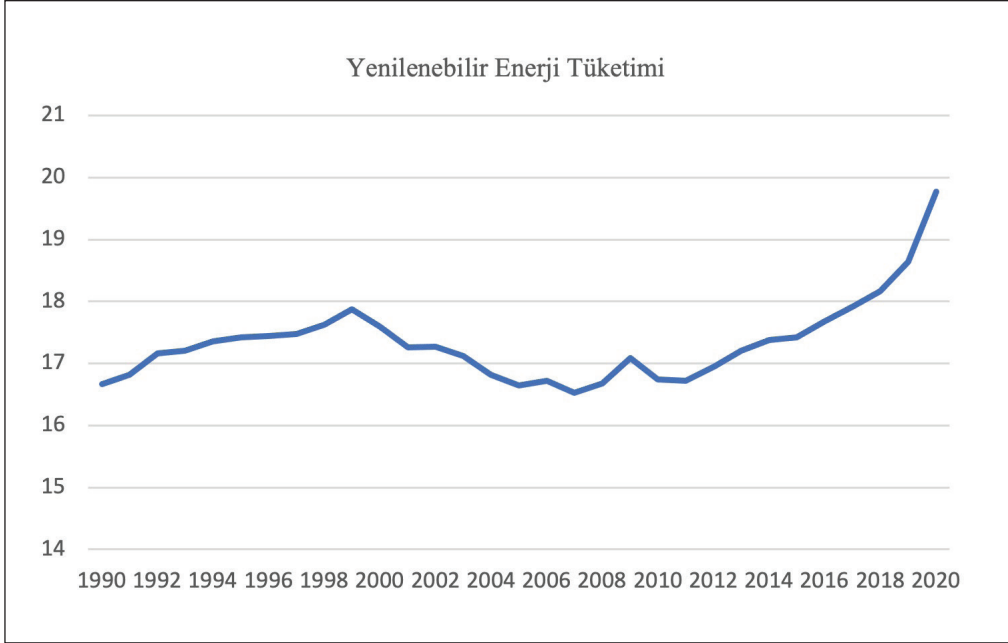
**Not:** Atlas Media veri tabanından ulaşılan verilerle yazar tarafından oluşturulmuştur.

Endonezya, çoğunlukla güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyoenerji, deniz ve jeotermal enerji olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir. Ancak Endonezya'nın birincil enerji karışımının hala yaklaşık %90'ını fosil enerjiden oluşmaktadır. Bu noktada, enerji dönüşümü mevcut küresel iklim durumunda kritik öneme sahiptir (IRENA, 2022). Endonezya'nın birincil enerji kaynakları için 2025'te %23 ve 2050'de %31 oranında yenilenebilir enerji kullanma hedefi vardır (AEDS, 2025).

Endonezya’da ekonomik gelişim süreci yenilenebilir enerji kaynakları yerine, yenilenemeyen kaynaklara odaklanmıştır. Bu durum ise, enerji kaynaklarına dair doğru politika uygulanmasını zaruri kılmaktadır. Öyle ki, yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru gerekli dönüşümün sağlanmaması durumunda, 2046 yılında Endonezya’da enerji açığının oluşması muhtemeldir (Jaelani vd., 2017). Endonezya için yayınlanan enerji raporunda, ham enerji rezervleri 30 yıl içinde, gaz ve kömür ise 59 yıl ve 82 yıl içinde tükeneceği beklenmektedir. Rapor, ayrıca artan nüfus nedeniyle enerji kaynaklarının tüketiminin yıldan yıla arttığına da vurgu yapmaktadır (Purwanto vd., 2021:561).

Şekil 3’de Endonezya’da 1990-2020 dönemi yenilenebilir enerji tüketimi trendi görülmektedir. Buna göre, 1999-2007 arası dönemde yenilenebilir enerji tüketiminde ciddi düşüş yaşanmıştır. Ancak 2011 yılı sonrasında artış trendinin olduğu görülmektedir.

**Şekil 3: Endonezya’da Yenilenebilir Enerji Tüketimi (1990-2020)**



**Not:** Dünya Bankası veri tabanından ulaşılan verilerle yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tarımsal faaliyetler ve çevre sürdürülebilirliği arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Tarımsal faaliyetler metan, azot oksit ve karbondioksit seviyelerini artırarak çevresel bozulmayı şiddetlendirmektedir. Bununla birlikte, toprak bozulması, sentetik gübre kullanımı, tarımsal taşımacılıkta ve çiftlik makinelerinde fosil yakıt kullanımı, sulama ve böcek ilaçları tarımın çevresel bozulma etkisini arttırmaktadır (Agboola & Bekun, 2019; Muoneke vd., 2022; NaderiMahdei vd., 2015)

Tarımsal verimliliği artırma noktasında, uygulanan sulama sistemleri ve makine kullanımını çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca, ormanların tahrip edilmesi, tarımda anızların yakılması gibi yapılan uygulamalar sera gazı emisyonlarının artmasına neden olmaktadır (Özkan & Miçooğulları, 2024:4; Raihan vd., 2024). Tarımda kullanılan makine aletlerde yenilenebilir enerjinin kullanılması, çevreye verilecek zararı azaltma noktasında önem arz etmektedir (Qiao vd., 2019).

Endonezya'da kısa vadeli kazanç noktasında tarımsal kalkınmayı artırmak amacıyla, çeşitli ekonomik politikalar izlenmiştir. Bu noktada, yasa ve yönetmeliklerin etkisizliği ile birlikte yüksek ormansızlaşma oranları, biyolojik çeşitliliğin kaybı ve toprak erozyonu ciddi sorunlara neden olmuştur. Ayrıca palmiye yağı plantasyonlarının hızla genişlemesi, Endonezya'nın tropikal yağmur ormanlarının büyük alanlarının yok olmasına, karbondioksit emisyonlarının artmasına ve birçok türün yaşam alanlarının yok olmasına sebep olmuştur (Van Tran vd., 2024). Söz konusu durumlar, Endonezya'da çevre sorunlarının önemli boyutlara ulaşmasına neden olmuştur. Hava kirliliği, tarımsal sorunlar, su kalitesinin endişe verici boyutlara ulaşması çözümlenmesi gereken acil konular haline gelmiştir. Dolayısıyla Endonezya'nın şu anki temel problemi, ekonomik kalkınma amacını çevreyi koruma ihtiyacıyla dengelemektir.

### 3. Literatür

Literatürde yenilenebilir enerjinin çevre üzerine etkisini ele alan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük bölümünde, gösterge olarak karbon emisyonları ele alınmıştır. Söz konusu inceleme hem zaman serisi hem de panel veri kapsamında farklı çalışmalarda detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu noktada, Endonezya'nın ele alındığı söz konusu çalışmalardan bazıları şunlardır: Pata (2021), Saqib (2022), Adebayo vd. (2023), Fajriyah vd. (2024), Kurniawan vd. (2024), Bekun vd. (2024).

Literatürde karbon emisyonları genel kirliliğin bir kısmını temsil etmektedir. Oysa ekolojik ayak izi çevresel bozulmayı daha geniş perspektifte ifade etmektedir (Ansari, 2022: 12). Ekolojik ayak izi metriği, Wackernagel & Rees (1998) tarafından ortaya konulmuş olup, son dönem çevre çalışmalarında sıklıkla ele alınan değişken haline gelmiştir.

Literatürde Endonezya'da yenilenebilir enerji ve ekolojik ayak izi ilişkisini inceleyen oldukça sınırlı çalışma bulunmasına rağmen, Endonezya'nın içinde olduğu çeşitli ülke gruplarına (CIVETS, ASEAN v.b) dair çalışmalar nispeten daha fazladır. Söz konusu çalışmalardan bazıları şu şunlardır: Ansari (2022); Çağlar vd. (2021); Kurniawan vd., (2024); Li vd., (2023); Nathaniel vd., (2020); Salari vd., (2021); Zeraibi vd., (2021).

Endonezya'da yenilenebilir enerji ve ekolojik ayak izini inceleyen daha sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarında büyük bölümünün son yıllarda yoğunlaştığı görülmektedir. Söz konusu çalışmalardan bazıları şu şekildedir: Nathaniel (2021) çalışmasında, ekolojik ayak izi üzerinden simgelenen çevre üzerindeki enerji kullanımı, kentleşme, ticaret ve ekonomik büyüme ilişkisini araştırmışlardır. 1971-2014 döneminin ele alındığı çalışmada, ARDL yöntemi kullanılmıştır. Araştırma sonuçları, kentleşmenin, ekonomik büyümenin ve enerji tüketiminin çevresel bozulmayı artırdığını, ticaretin ise uzun vadede çevresel bozulmayı kötüleştirdiğini göstermiştir. Idroes vd. (2024) çalışmalarında, yenilenemeyen enerjinin (kömür, gaz ve petrol), yenilenebilir enerjinin, ekonomik büyümenin ve sermaye oluşumunun

Endonezya’da karbon emisyonları (CO2) ve ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 1965-2022 dönemi verilerin ele alındığı çalışmada, FMOLS, DOLS ve CCR teknikleri kullanılmıştır. Çalışma neticesinde, yenilenebilir enerjideki artış hem CO2 emisyonlarını hem de ekolojik ayak izlerini azalttığı tespit edilmiştir. Raihan vd. (2024) çalışmalarında, yenilenebilir enerji kullanımı, ekonomik büyüme, finansal gelişme, ticaret küreselleşmesi ve teknolojik yeniliklerin Endonezya’nın ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada 1990-2020 dönemi veriler ele alınmıştır. Yöntem olarak ARDL yaklaşımının kullanıldığı çalışmada, çevresel ayak izi ve ele alınan faktörler arasındaki kısa ve uzun vadeli korelasyonları incelemiştir. Araştırma neticesinde, yenilenebilir enerji tüketimi, ticaret küreselleşmesi ve teknik gelişmelerin ekolojik ayak izinde azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir. Idroes vd. (2025) çalışmalarında, Endonezya’daki çevre kalitesinin (CO2 emisyonları ve ekolojik ayak izi) doğal afetler, fosil yakıtlar, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve sermaye oluşumundan nasıl etkilendiğini araştırmışlardır. 1965-2022 döneminin ele alındığı çalışmada, ARDL modeli ve Granger nedensellik testi uygulanmıştır. Araştırma neticesinde, kısa vadede fosil yakıtların CO2 emisyonlarını artırdığı, yenilenebilir enerjinin ise CO2 emisyonlarını azalttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, doğal afetlerin ekolojik ayak izini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Tarım, ekolojik ayak izini etkileyen diğer bir önemli değişkendir. Bu noktada, tarım ve ekolojik ayak izi ilişkisini Endonezya için ele alan sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Söz konusu çalışmaların büyük bölümü son dönemde yoğunlaşmıştır. Söz konusu çalışmalardan bazıları şu şekildedir: Santaso vd. (2017) çalışmalarında, bölgesel gelişmede ekolojik ayak izinin etkisini araştırmışlardır. Kümeleme analizinin yapıldığı çalışma neticesinde, ekolojik taşıma kapasitesi azalan alanlardaki yerleşim ve sanayi alanlarının gelişiminin kontrol altına alınmasının, bölgedeki nüfus yoğunluğunu ve karbon emisyonlarını azaltmadaki önemi vurgulanmıştır. Andunnur (2020) çalışmasında, Endonezya’da balıkçılık, tarım, kentleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini araştırmıştır. 1980-2017 döneminin incelendiği çalışmada, ARDL yöntemini kullanılmıştır. Yapılan analiz neticesinde, tarım ve balıkçılık üretiminin kısa vadede ekolojik ayak izini olumsuz etkilediği ancak uzun vadede olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Kumaran vd. (2024) çalışmalarında, gelir eşitsizliğinin, ormanlık alanın ve teknoloji yeniliklerinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 1990-2020 dönemi verilerinin incelendiği çalışmada, ARDL ve ML yaklaşımları kullanılmıştır. Araştırma neticesinde, teknolojik ilerlemeler ve orman genişlemesinin ayak izini azaltarak çevreye fayda sağladığı tespit edilmiştir. Dom (2024) çalışmasında, ekolojik ayak izinin mekansal planlamaya entegre edilmesi perspektifinde Endonezya’da arazi kullanımının, gıda güvenliğinin ve sürdürülebilirlik konularını araştırmışlardır. İkincil verilerin kullanıldığı çalışmada neticesinde, bölgesel mekansal planların %50’sinden fazlasının tarım için yetersiz arazi tahsis ettiği tespit edilmiştir. Bu durumun ise, biyolojik çeşitliliğin azalmasına, ulaşımdan kaynaklanan karbon emisyonlarının artmasına ve gıda güvenliğinde artan kırılganlığa neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada ise, Endonezya’da tarım ve yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak üzerindeki etkisi birlikte ele alınmıştır. Söz konusu inceleme güncel fourier yöntemleriyle yapılmıştır. Literatürde Endonezya için sınırlı çalışma alanı bulunan bu ilişkinin analiz edilmesinin, literatürün genişlemesine katkı sunması beklenmektedir.

## 4. Yöntem ve Ampirik Bulgular

Bu başlık altında model ve veri seti hakkında detaylı bilgi verildikten sonra, çalışmada uygulanan testlerin başlık altında teorik açıklamalarına ve analiz sonuçlarına yer verilecektir.

### 4.1. Veri Seti ve Model

Bu çalışmada Endonezya’da yenilenebilir enerji tüketimi ve tarımın, ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Bu amaçla çalışmada kullanılan veriler 1991-2021 dönemini kapsamakta olup yıllık frekanstadır. Çalışmada kullanılan her değişkenin logaritması alınmıştır. Değişkenler ve veri kaynaklarına ait detaylı açıklamalar Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1: Analizde Kullanılan Değişkenlere Ait Kısaltmalar ve Veri Kaynakları**

Değişkenlere İlişkin Kısaltmalar	Değişkenler	Veri Kaynağı
EF	Ekolojik ayak izi	Global Footprint Network
A	Tarım, ormancılık ve balıkçılık katma değeri (% GSYH)	World Bank
Y	GSYH (sabit 2015 ABD\$)	World Bank
R	Yenilenebilir enerji tüketimi (% toplam nihai enerji tüketimi)	World Bank

Modelin oluşturulması sürecinde ele alınan değişkenler, literatürdeki çeşitli çalışmalar dikkate alınarak seçilmiştir. Büyüme değişkeni için Al-Mulali vd. (2015), Mrabet & Alsamara (2017) ile Georgescu & Kinnunen (2024) çalışmalardan faydalanılmıştır. Yenilenebilir enerji değişkeni için, Alola vd. (2019), Danish vd. (2020) ile Javed vd. (2023) çalışmalarından yararlanılmıştır. Son olarak tarım değişkeni için, Sarkodie & Owusu (2016), Pata (2021) ile Valencia & Zhang (2022) çalışmaları dikkate alınmıştır.

Çalışmada kullanılan logaritmik dönüşümlü model şu şekildedir:

$$\ln eEF_{2t} = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_t + \beta_2 \ln R_t + \beta_3 \ln A_t \varepsilon_t \quad (1)$$

Yukarıda yer alan modelde ekonomik gelişmenin daha fazla ekolojik ayak izine neden olduğu varsayılmaktadır. Bu noktada, değişkene ait katsayısının pozitif olması beklenmektedir. Yenilenebilir enerji tüketiminin artmasının, ekolojik ayak izini azaltması beklenmektedir. Bu nedenle, değişkene ilişkin katsayının negatif olması beklenmektedir. Son olarak tarımsal faaliyetlerde yaygın olarak fosil yakıtlar kullanıldığı için katsayının işaretinin pozitif olması beklenmektedir.

### 4.2. Kesirli Frekanslı Fourier ADF Test

Fourier ADF birim kök testi, yapısal kırılmaları dikkate alan bir testtir (Becker vd., 2006). Bu noktada, geleneksel ADF testinin yapısal kırılmaları dikkate almaması önemli eksiklik oluşturmaktadır. Fourier ADF testi için aşağıda yer alan modelin tahmini yapılmaktadır:

$$\Delta y_t = \beta_0 + \beta_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_3 y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \alpha_i \Delta y_{t-1} + e_t \quad (2)$$

Yukarıda yer alan denklemde  $\pi$ ,  $k$ ,  $t$ ,  $T$  pi katsayısı, frekans değeri, trend terimi ve örneklem büyüklüğünü ifade etmektedir. Optimum  $k$  değeri, kalıntı kareler toplamını minimum yapan değer olarak ifade edilmiştir. Frekans değeri kesirli ve tam sayılı değerler almaktadır. Bu noktada, Christopoulos & Leon-Ledesma (2011) çalışmalarında kesirli frekans değerlerine vurgu yaparken, Omay (2015) çalışmasında  $k$  değerinin 0,1'lik artışlarla değerler alabileceğini ortaya koymuştur. Bozoklu vd. (2020) ise çalışmalarında,  $k$ 'nın değerini [0,1, 0,2,..., 5] aralığında tablolastırmıştır. Fourier ADF değeri ile tablo değeri karşılaştırılmadan önce trigonometrik terimlerin anlamlılığın sınanması önem arz etmektedir.

Ekonometrik analiz sırasında ilk olarak, birim kök incelemesi yapılmıştır. Değişkenlere ait birim kök incelemesi için, ADF ve Kesirli frekanslı Fourier ADF testleri kullanılmıştır. Yapılan birim kök incelemesi neticesinde, değişkenlerin I(1) olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3'de gösterilmektedir.

**Tablo 2: Fourier ADF Birim Kök Testi Analiz Sonuçları**

Indonesia					
Değişkenler	Kesirli Frekans	Min KKT	F Testi	Uygun Gecikme	FADF Test İstatistik Değerleri
EF	0.3	0.031	4.242	4	-2.548
Y	0.6	0.030	5.312	7	-0.822
R	0.1	0.051	5.972	1	-3.289
A	0.5	0.080	5.719	1	-4.046

**Not:** \*, \*\* ve \*\*\* %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı göstermektedir. F testinin frekanslar için kritik değerler %1, %5 ve %10 seviyeleri için, sırasıyla 10,35, 7,58 ve 6,35'dir. FADF testinin tüm frekanslar için kritik değerleri Bozoklu vd. (2020) çalışmalarından elde edilmiştir.

**Tablo 3: ADF Birim Kök Testi Analiz Sonuçları**

Indonesia		
Değişkenler	I(0)	I(1)
EF	-1.195 (0.663)	-5.323 (0.000)
Y	-0.278 (0.916)	-4.087 (0.003)
R	0.607 (0.987)	-6.013 (0.000)
A	-1.978 (0.294)	-5.490 (0.000)

### 4.3. Kesirli Frekanslı Fourier-ADL Eşbütünleşme Testi

Granger (1981) ve Engle-Granger'ın (1987) eşbütünleşme testi çalışmaları literatürde önemli yer tutmaktadır. Değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin tespit edilmesi noktasında, literatürde çeşitli testler geliştirilmiştir. Söz konusu testlerin bazıları yapısal değişiklikleri yakalayabilirken, bazıları söz konusu değişiklikleri yakalayamamaktadır. Banerjee vd. (2017) tarafından önerilen eşbütünleşme testinde kırılmaların formu, sayısı ve zamanını dair önsel bir varsayım gerekliliği bulunmamaktadır.

Banerjee vd. (2017) tarafından önerilen modelin formülleştirilmiş hali şu şekildedir:

$$\Delta y_{1t} = d(t) + \delta_1 y_{1,t-1} + \gamma' y_{2,t-1} + \mu \Delta y_{2t} + e_t \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemde  $\gamma$ ,  $\mu$ ,  $y_{2t}$   $n \times 1$  boyutlu parametre vektörlerini ve açıklayıcı değişkenleri simgelemektedir. Modelde  $\Delta$  birinci farkı ifade etmektedir. Denklem (3)'de ifade edilen  $d(t)$  deterministik terim aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$d(t) = \gamma_0 + \gamma_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \gamma_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \quad (4)$$

Banerjee vd. (2017) çalışmalarında tam sayı frekans değerleri önermişlerdir. İlkay vd. (2021) ise çalışmalarında, tam sayı değerleri yerine kesirli frekans değerleri önermişlerdir. Böylece, Christopoulos & Leon-Ledesma'nın (2011) da çalışmaların önerdikleri frekans değeri  $[1, 2, \dots, 5]$  aralığı yerine,  $[0.1, 0.2, \dots, 5]$  aralığı dikkate alınmıştır.

Değişkenlerin fark itibarıyla durağanlığı tespit edildikten sonra eşbütünleşme ilişkisi incelenmiştir. Kesirli frekanslı Fourier ADL testi sonuçları Tablo 4'de sunulmuştur. Tablo 4'deki sonuçlara göre, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin bulunduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 4: Eşbütünleşme Analiz Sonuçları**

Model	$t_{ADL}^F(\hat{k})$	$\hat{k}$	1%	5%	10%	Eşbütünleşme İlişkisi.
lnEF= f (lnY, lnR, lnA)	-14.996***	0.5	-5.223	-4.562	-4.220	✓

**Not:** \*, \*\* ve \*\*\* değerlerin %10, %5 ve %1'e anlamlılıklarını belirtmektedir. Tablo değerlerinin elde edilmesinde İlkay vd. (2021) çalışmalarından alınmıştır.

### 4.4. Model Tahmini

Ilkay vd. (2021) çalışmalarına dayandırılan eşbütünleşme incelemesi sonucunda, değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin varlığını ortaya konulmuştur. Buna göre, trigonometrik terimlerin eklendiği model tahmini aşamasına geçilmiştir. Bu noktada, FMOLS ve DOLS tahminicileri kullanılmıştır. FMOLS ve DOLS uzun dönem katsayı tahminlerine ilişkin sonuçlar Tablo 5'de gösterilmektedir.

**Tablo 5: FMOLS ve DOLS Katsayı Tahminleri**

	FMOLS	DOLS
Intercept	12.203*** (0.000)	11.504*** (0.010)
<i>LY</i>	0.299*** (0.000)	0.332** (0.025)
<i>LR</i>	-0.300*** (0.000)	-0.501*** (0.000)
<i>LA</i>	0.097* (0.092)	0.268** (0.019)
sin	0.141*** (0.000)	0.198*** (0.000)
cos	-0.0025 (0.444)	0.058 (0.295)

Not: \*, \*\* ve \*\*\* değerlerin %10, %5 ve %1'e anlamlılıklarını ifade etmektedir.

Uzun dönem katsayı tahmin sonuçlarına göre, modelde yer alan tüm değişkenler istatistiksel olarak anlamlıdır. Bununla birlikte her iki tahmin sonucuna göre, tarım ve GSYİH ekolojik ayak izini pozitif yönde etkilemektedir. Yenilenebilir enerji tüketimi ise, ekolojik ayak izinin azalmasına sebep olmaktadır.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada yenilenebilir enerji, GSYİH, tarım ve ekolojik ayak izi ilişkisi ele alınmıştır. 1991-2021 dönemi verilerin ele alındığı Kesirli Fourier yaklaşımları kullanılmıştır. Çalışmada verimli toprakları ve tarım sektörünün ülke ekonomisindeki önemli yeri sebebiyle Endonezya incelenmiştir. Ayrıca Endonezya'da, yenilenebilir enerji, gsyih, tarım ve ekolojik ayak izi ilişkisini inceleyen çalışma sayısı oldukça sınırlı olması, bu ülkenin ele incelenmesinde etkili olmuştur. Çalışmada konunun farklı yöntemlerle alınmasının, ampirik literatürün genişlemesine önemli katkı sunacağı düşünülmektedir.

Çalışmada analiz yöntemi olarak Kesirli Frekanslı Fourier ADF birim kök testi ve Kesirli Frekanslı Fourier-ADL Eşbütünleşme Testi kullanılmıştır. Çalışmada uzun dönem ilişkisi incelemesi yapılmadan önce, değişkenlere ait birim kök incelemesi yapılmıştır. Birim kök incelemesinde trigonometrik terimlerin anlamlılığını ifade eden F istatistik değerinin tablo kritik değerlerinden büyük olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda, ADF birim kök incelemesi yapılmıştır. Daha sonra eşbütünleşme ilişkinin varlığı analiz edilmiştir. Değişkenler arasında uzun dönemli ilişki ortaya konulduktan sonra trigonometrik terimlerin de eklendiği model tahmini yapılmıştır. Yapılan tahmin sonucunda, GSYİH ve tarımın ekolojik ayak izini arttırdığı tespit edilmiştir. Buna karşın, yenilenebilir enerji tüketiminin ise ekolojik ayak izini azalttığı ortaya konulmuştur.

Tarım, ormancılık ve balıkçılık katma değeri, ekolojik ayak izini etkileyen önemli bileşenlerden biri olarak kabul edilebilir. Bu noktada, ormanların tarım arazisine dönüştürülmesi çevre açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Özellikle Endonezya'da palmye yağı plan-

tasyonlarının hızla genişlemesi önemli bir tehdit unsuru olarak kabul edilmektedir. Çünkü bu durum, Endonezya'nın tropikal yağmur ormanlarının büyük alanlarının yok olmasına, karbon-dioksit emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır.

Tarımsal katma değer ve çevre ilişkisi literatürde çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır. Valencia vd. (2022) ve Ullah vd. (2023) çalışmalarından söz konusu çalışmalardan bazılarıdır. Ancak bu çalışmada, daha kapsamlı bir gösterge olan tarım, ormancılık ve balıkçılık katma değerinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar teorik beklenti noktasında doğrulanmıştır. Ayrıca çalışma sonuçları, Sarkodie & Owusu (2016) ile Pata (2021) çalışma sonuçlarını destekler niteliktedir.

Yenilenebilir enerji ve çevre ilişki literatürde sıklıkla çalışılan bir konudur. Bu noktada, çalışmaların büyük bölümünde yenilenebilir enerji kullanımının çevre baskısını ortadan kaldıracığı vurgulanmaktadır. Bu çalışmada ise, daha kapsamlı bir çevre göstergesi olan ekolojik ayak izi ilişkisi araştırılmıştır. Özellikle Endonezya'da 2050 yılında %31 oranında yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının hedeflendiği düşünüldüğü fosil yakıt tüketiminin azaltılması öncelikli bir konu olarak ön plana çıkmaktadır. Çalışma sonuçları, Ansari (2022), Li vd. (2023) ve Kurniawan vd. (2024) çalışma sonuçlarıyla desteklenmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalarda incelenen örneklem çok çeşitli olmakla birlikte, analiz sonuçları sosyo-ekonomik yapıları ve çevresel dinamiklerine göre değişmektedir. Örneğin Bello vd. (2018) Malezya'da, Pata (2021) BRICS ülkelerinde, Acevedo-Ramos vd. (2023) Kolombiya'da & Ansari (2022) ASEAN ülkelerinde CO2 emisyonları ve ekolojik ayak izi konularını incelemişlerdir. Söz konusu çalışmalarda farklı coğrafyalar ele alınmakla birlikte, CO2 emisyonları ve ekolojik ayak izi etkileri birlikte incelenmiştir. Dolayısıyla çevresel etkileri bir bütün halinde ele alınmıştır. Literatürde yer alan çalışmaların büyük bölümünde ise, tarımın ekolojik ayak izini arttırdığı, yenilenebilir enerji kullanımının ise ekolojik ayak izini azalttığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada da, konu Endonezya özelinde ve ekolojik ayak izi perspektifinde ele alınmış ve diğer çalışmalarda elde edilen sonuçları destekler kanıtlara ulaşılmıştır.

Verimli çiftçilik uygulamalarıyla tarım sektörünü sürdürülebilir hale getirmek, tarımda temiz girdi kullanmak, tarım sektörlerine maksimum fırsatlar sağlanarak yenilenebilir enerji kullanımındaki eşitsizlikleri ortadan kaldırmak öncelikli hedeflerden olmalıdır. Bununla birlikte yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izini azaltması, yeşil enerji geçişlerinin çevresel faydasını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla sürdürülebilir kalkınma hedefi noktasında ekonomi, enerji ve tarım üçgeninde bütünlüklü bir yöntemin anlayışı son derece önemlidir.

Endonezya'da ekolojik ayak izine önemli ölçüde katkıda bulunan kömür, petrol ve gaz gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarına olan bağımlılığın azaltılması son derece önemlidir. Bu noktada, enerji verimliliğinin artırılması ve fosil yakıtlar için verilen sübvansiyonların kaldırılması gerekmektedir. Sübvansiyonlar, vergi indirimleri yenilenebilir enerji kaynakları için yeniden gözden geçirilmelidir. Endonezya'da çevresel maliyetlerin içselleştirilmesi noktasında ise, çevre vergileri ve karbon fiyatlandırması uygulanmalıdır.

#### **Katkı Oranı Beyanı**

Makale tek yazalı olup, çalışmanın tamamı yazar tarafından hazırlanmıştır.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Çalışmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan ederim.

## Kaynakça

- Abdunnur, A. (2020). Nexus of fisheries and agriculture production and urbanization on ecological footprint: New evidence from Indonesian economy. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(3), 190-195.
- Acevedo-Ramos J.A., Valencia, C.F., & Valencia, C.D. (2023). The Environmental Kuznets curve hypothesis for Colombia: Impact of economic development on greenhouse gas emissions and ecological footprint. *Sustainability*, 15, 3738.
- Adebayo, T. S., Kartal, M. T., Ağa, M., & Al-Faryan, M. A. S. (2023). Role of country risks and renewable energy consumption on environmental quality: Evidence from MINT countries. *Journal of Environmental Management*, 327, 116884.
- AEDS. (2025). Renewable energy target of Indonesia, <https://aseanenergy.org/policy/renewable-energy-target-of-indonesia/> sayfasından erişilmiştir. Erişim Tarihi: 18.02.2025.
- Agboola, M. O., & Bekun, F. V. (2019). Does agricultural value added induce environmental degradation? Empirical evidence from an agrarian country. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(27), 27660-27676.
- Al-Mulali, U., Weng-Wai, C., Sheau-Ting, L., & Mohammed, A. H. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis by utilizing the ecological footprint as an indicator of environmental degradation. *Ecological indicators*, 48, 315-323.
- Alola, A. A., Akadiri, S. S., & Usman, O. (2021). Domestic material consumption and greenhouse gas emissions in the EU-28 countries: Implications for environmental sustainability targets. *Sustainable Development*, 29, 388-397.
- Alola, A. A., Bekun, F. V., & Sarkodie, S. A. (2019). Dynamic impact of trade policy, economic growth, fertility rate, renewable and non-renewable energy consumption on ecological footprint in Europe. *Science of the Total Environment*, 685, 702-709.
- Ansari, M. A. (2022). Re-visiting the Environmental Kuznets curve for ASEAN: A comparison between ecological footprint and carbon dioxide emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112867.
- 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.
- 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.
- Bekun, F. V., Uzuner, G., Meo, M. S., & Yadav, A. (2024). Another look at energy consumption and environmental sustainability target through the lens of the load capacity factor: Accessing evidence from MINT economies. *In Natural Resources Forum*, 1-18.
- Bello M.O., Solarin S. A., & Yen, YY (2018). The impact of electricity consumption on CO2 emission, carbon footprint, water footprint and ecological footprint: The role of hydropower in an emerging economy. *J Environ Manage*, 219, 218-230.
- Bozoklu, S., Yilanci, V., & Gorus, M.S. (2020). Persistence in per capita energy consumption: A Fractional Integration approach with a Fourier Function. *Energy Economics*, 91, 104926.
- Caglar, A. E., Mert, M., & Boluk, G. (2021). Testing the role of information and communication technologies and renewable energy consumption in ecological footprint quality: Evidence from world top 10 pollutant footprint countries. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126784.
- Christopoulos, D.K., & Leon-Ledesma, M.A. (2011). International output convergence, breaks, and asymmetric adjustment. *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*. 15(3).

- Danish, Ulucak, R., & Khan, S.U.D. (2020). Determinants of the ecological footprint: role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101996.
- Dom, G. E. (2024). Integrating ecological footprint in spatial planning: assessing land use, food security, and sustainability in Indonesia. *Spatial Planning & Management Science*, 1(2), 82-88.
- Engle, R. F & Granger, C.W.J. (1987). Cointegration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276.
- Ewing, B., Goldfinger, S., Wackernagel, M., Stechbart, M., Rizk, S.M., Reed, A., & Kitzes, J. (2008). The Ecological Footprint Atlas. *Global Footprint Network*.
- Fajriyah, L., Kuntjoro, Y. D., Murtiana, S., & Millatie, P. A. (2024). The carbon footprint of fossil power plants and potential opportunities for renewable energy (palm oil biodiesel) to reduce carbon emissions in Indonesia. *International Journal Of Humanities Education And Social Sciences*, 3(4), 1962-1967.
- Georgescu, I., & Kinnunen, J. (2024). Effects of FDI, GDP and energy use on ecological footprint in Finland: An ARDL approach. *World Development Sustainability*, 4, 100157.
- GFN (2025). Ecological Footprint, <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/> sayfasından erişilmiştir. Erişim Tarihi: 18.01.2025.
- Granger, C. W. (1981). Some properties of time series data and their use in econometric model specification. *Journal of Econometrics*, 16, 121-130.
- Grossman, G.M., & A.B. Krueger (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377.
- Idroes, G. M., Hardi, I., Rahman, M. H., Afjal, M., Noviandy, T. R., & Idroes, R. (2024). The dynamic impact of non-renewable and renewable energy on carbon dioxide emissions and ecological footprint in Indonesia. *Carbon Research*, 3(1), 35.
- Idroes, G. M., Hilal, I. S., Hafizah, I., Hamaguchi, Y., de Bruyn, C., Agustina, M., ... & Stancu, S. (2025). do natural disasters, fossil fuels, and renewable energy affect CO2 emissions and the ecological footprint?. *Ekonomikalia Journal of Economics*, 3(1), 47-63.
- Ilkay, S. C., Yılanca, V., Ulucak, R., & Jones, K. (2021). Technology spillovers and sustainable environment: Evidence from time-series analyses with Fourier extension. *Journal of Environmental Management*, 294, 113033.
- IRENA. (2022). Indonesia Energy Transition Outlook. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Oct/IRENA\\_Indonesia\\_energy\\_transition\\_outlook\\_2022.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Oct/IRENA_Indonesia_energy_transition_outlook_2022.pdf) sayfasından erişilmiştir. Erişim Tarihi: 17.01.2025.
- Jaelani, A., Firdaus, S., & Jumena, J. (2017). Renewable energy policy in Indonesia: The Qur'anic scientific signals in Islamic economics perspective. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(4), 193-204.
- 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.
- Karaçay Çakmak, H. (2003). Kalkınma iktisadı literatüründe gelişme kavramının evrimi. *Hacettepe Üniversitesi İİBF Dergisi*, 21(2), 49-68.
- Kumaran, V. V., Ridzuan, A. R., Senadjki, A., Kanaan, A. M. J., & Esquivias, M. A. (2024). The impacts of income inequality, forest area, and technology innovations on ecological footprint in Indonesia: ARDL and ML approach. *Discover Sustainability*, 5(1), 373.

- Kurniawan, R., Kusuma, A. C., Sumargo, B., Gio, P. U., Wongsonadi, S. K., & Sasmita, K. (2024). The role of renewable energy and foreign direct investment toward environmental degradation convergence to achieve sustainability: evidence from ASEAN countries. *International Journal of Energy Sector Management*, 18(6), 2312-2335.
- Kurniawan, R., Nugroho, N. A. A., Fudholi, A., Purwanto, A., Sumargo, B., Gio, P. U., & Wongsonadi, S. K. (2024). The ecological footprint of industrial value added and energy consumption in Indonesia. *International Journal of Energy Sector Management*, 18(5), 1127-1153.
- Li, L., Ali, A., Li, S., & Zhang, T. (2023). A dynamic relationship between renewable energy, agriculture, globalization, and ecological footprint of the five most populous countries in Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14.
- Mattila, T. (2012). Any sustainable decoupling in the Finnish economy? A comparison of the pathways and sensitivities of GDP and ecological footprint 2002–2005. *Ecological Indicators*, 16, 128-134.
- Mrabet, Z., & Alsamara, M. (2017). Testing the Kuznets Curve hypothesis for Qatar: A comparison between carbon dioxide and ecological footprint. *Renewable and sustainable energy reviews*, 70, 1366-1375.
- Muoneke, O. B., Okere, K. I., & Nwaeze, C. N. (2022). Agriculture, globalization, and ecological footprint: the role of agriculture beyond the tipping point in the Philippines. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(36), 54652-54676.
- NaderiMahdei, K., Bahrami, A., Aazami, M., & Sheklabadi, M. (2015). Assessment of agricultural farming systems sustainability in Hamedan province: Using ecological footprint analysis (case study: irrigated wheat). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17, 1409-1420.
- Nathaniel, S. P. (2021). Ecological footprint, energy use, trade, and urbanization linkage in Indonesia. *GeoJournal*, 86(5), 2057-2070.
- Nathaniel, S., Nwodo, O., Sharma, G., & Shah, M. (2020). Renewable energy, urbanization, and ecological footprint linkage in CIVETS. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 19616-19629.
- Omay, T. (2015). Fractional frequency flexible fourier form to approximate smooth breaks in unit root testing. *Econ. Letters*, 134, 123–126.
- Orhan, G. (2004). Sürdürülebilir kalkınma, ekolojik modernizasyon ve Türkiye çevre politikası. *Çevre Bilim & Teknoloji*, 2(1), 13-28.
- Özkan, Ş., & Miçooğulları, S. A. (2024). *Türkiye’de çevresel sürdürülebilirlik: Ekonomik büyüme, tarım, yenilenebilir enerji ve ticaretin rolleri*. İçinde E. Karapınar Kocağ & M. İnce Yenilmez (Ed.). Güncel Mikro İktisat Uygulamaları. Gaziantep.
- Pata, U. K. (2021). Linking renewable energy, globalization, agriculture, CO2 emissions and ecological footprint in BRIC countries: A sustainability perspective. *Renewable Energy*, 173, 197-208.
- Purwanto, S. K., Sinaga, O., & Sidik, M. H. J. (2021). Culprits of increased non-renewable energy consumption in Indonesia: Role of inflation, poverty and debts. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(6), 560-566.
- Qiao, H., Zheng, F., Jiang, H., & Dong, K. (2019). The greenhouse effect of the agriculture-economic growth-renewable energy nexus: Evidence from G20 countries. *Science of the Total Environment*, 671, 722-731.
- Raihan, A., Tanchangya, T., Rahman, J., & Ridwan, M. (2024). The influence of agriculture, renewable energy, international trade, and economic growth on India’s environmental sustainability. *Journal of Environmental and Energy Economics*, 3(1), 37-53.

- Raihan, A., Voumik, L. C., Ridwan, M., Akter, S., Ridzuan, A. R., Wahjoedi, ... & Ismail, N. A. (2024). Indonesia's path to sustainability: exploring the intersections of ecological footprint, technology, global trade, financial development and renewable energy. *In Opportunities and Risks in AI for Business Development, 1*, (1-13).
- Rees, W.E. (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. *Environment and Urbanization, 4*, 121–130.
- Salari, T. E., Roumiani, A., & Kazemzadeh, E. (2021). Globalization, renewable energy consumption, and agricultural production impacts on ecological footprint in emerging countries: Using quantile regression approach. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(36), 49627-49641.
- Santoso, E., Aulia, B., Siswanto, V., & Ilma, A. (2017). Ecological footprint analysis for regional development in Mojokerto Regency, East Java Province-Indonesia. *Sepuluh Nopember Institute of Technology*. 368.
- Saqib, N. (2022). Nexus between the renewable and nonrenewable energy consumption and carbon footprints: Evidence from Asian emerging economies. *Environmental Science and Pollution Research, 29*(38), 58326-58340.
- Sarkodie, S.A., & Owusu, P.A. (2016). The relationship between carbon dioxide and agriculture in Ghana: A comparison of VECM and ARDL model. *Environmental Science and Pollution Research, 23*, 10968-10982.
- Ullah, A.; Tekbaş, M., & Doğan, M. (2023). The impact of economic growth, natural resources, urbanization and biocapacity on the EF: The case of Turkey. *Sustainability, 15*, 12855.
- Valencia, Y., & Zhang, E. S. (2022). Assessing the Impact of GDP, agriculture, forestry, and fishing value added, and livestock production index on CO2 emissions in the Philippines. *Journal of Economics, Finance and Accounting Studies, 4*(1), 516-535.
- Van Tran, H., Tran, A. V., Bui Hoang, N., & Mai, T. N. H. (2024). Asymmetric effects of foreign direct investment and globalization on ecological footprint in Indonesia. *Plos one, 19*(1), e0297046.
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). *Our ecological footprint*. Gabriola Island, BC: New Society Publishers.
- Wackernagel, M., Monfreda, C., Moran, D., Wermer, P., Goldfinger, S., Deumling, D. & Murray, M. (2005). National footprint and biocapacity accounts 2005: The underlying calculation method, *Global Footprint Network Advancing The Sciences of Sustainability, 1-33*.
- Worldbank (2023). World Development Indicators. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> sayfasından erişilmiştir. Erişim Tarihi: 16.11.2024.
- Yılmaz, V. (2017). *Yeşil büyüme ve Türkiye'de uygulanabilirliği* (Yayımlanmamış Doktora Tezi) Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Zeraibi, A., Balsalobre-Lorente, D., & Murshed, M. (2021). The influences of renewable electricity generation, technological innovation, financial development, and economic growth on ecological footprints in ASEAN-5 countries. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(37), 51003-51021.