

**ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE EKONOMİK BÜYÜMENİN ÇEVRESEL
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: AVRUPA BİRLİĞİNE
ÜYE VE ADAY ÜLKELER ÜZERİNE BİR ANALİZ¹**

*THE IMPACT OF ENERGY EFFICIENCY AND ECONOMIC GROWTH ON
ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY: AN ANALYSIS OF EUROPEAN UNION
MEMBER AND CANDIDATE COUNTRIES*

Sevilay KONYA*

*Geliş Tarihi: 15.07.2024
(Received)*

*Kabul Tarihi: 26.12.2024
(Accepted)*

ÖZ: Bu çalışmanın amacı, Avrupa Birliği'ne üye ve aday 29 ülkede 2000-2020 dönemi için enerji verimliliği, ekonomik büyüme ve globalleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini incelemektir. Bu nedenle çalışmamızda enerji verimliliği, ekonomik büyüme, globalleşme ve ekolojik ayak izi arasındaki eşbütünleşme bağlantısı Pedroni ve Westerlund eş bütünleşme testleri ile araştırılmıştır. Eşbütünleşme testlerinin ardından genişletilmiş ortalama grup (AMG) ve ortak bağıntılı etkiler ortalama grup (CCEMG) tahmincileri ile katsayı tahmini yapılmıştır. Nedensellik ilişkisi için Dumitrescu ve Hurlin nedensellik testi uygulanmıştır. Eşbütünleşme testlerinin sonucunda ise değişkenlerin eşbütünleşik olduğu bulunmuştur. Tahmincilerin sonucunda ise ekolojik ayak izini enerji verimliliğinin azalttığı, ekonomik büyümenin ise artırdığı belirlenmiştir. Globalleşmenin enerji verimliliği üzerindeki etkisinin pozitif ancak anlamsız olduğu tespit edilmiştir. Dumitrescu ve Hurlin nedensellik testi sonucunda, enerji verimliliği ve ekolojik ayak izi arasında çift yönlü pozitif nedensellik ilişkisi ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda analize konu olan ülkeler için politika yapıcılar enerji verimliliği ve çevre temelini göz önüne alan ekonomi politikaları izlemelidir.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, Ekolojik Ayak İzi, Ekonomik Büyüme ve Çevresel Sürdürülebilirlik

ABSTRACT: This study's purpose is to research the effect of energy efficiency, economic growth and globalization on the ecological footprint for the period 2000-2020 in 29 member and candidate countries of the European Union. Therefore, in our study, the cointegration link among energy efficiency, economic growth, globalization and ecological footprint was investigated with Pedroni and Westerlund cointegration tests. Following cointegration tests, coefficient estimation was made with the extended mean group (AMG) and common correlated effects mean group (CCEMG) estimators. For causality relationships, Dumitrescu and Hurlin causality tests were applied. As a result of cointegration tests, it was found that the variables were cointegrated. As a result of the estimators, it was determined that energy efficiency reduces the ecological footprint and economic growth increases it. It has been

¹ Bu makale, IERFM2024 Kongresinde sunulan bildirinin gözden geçirilmiş ve düzenlenmiş hâlidir.

* Doç. Dr., Selçuk Üniversitesi, Taşkent Meslek Yüksekokulu, sevilaykonya@selcuk.edu.tr, ORCID:0000-0002-0483-4139.



OPEN ACCESS

© Copyright 2025 Konya

specified that the impact of globalization on energy efficiency is positive but insignificant. In consequence of the Dumitrescu and Hurlin causality test, a bidirectional positive causality relationship emerged between energy efficiency and ecological footprint. In this regard, policymakers for the countries subject to analysis should follow economic policies that take energy efficiency and environmental basis into consideration.

Key Words: Energy efficiency, Ecological Footprint, Economic growth and Environmental sustainability

EXTENDED ABSTRACT

Our study aims to analyze the impact of energy efficiency, economic growth and globalization on the ecological footprint for the period 2000-2020 in 29 member and candidate countries of the European Union.

The possible contributions of the study to the literature are as follows.: 1- Taking the ecological footprint as an indicator of environmental sustainability, the relationship between ecological footprint, energy efficiency, economic growth and globalization is investigated. To the best of our knowledge, this is the first study addressing these variables in the domestic economic literature. 2- Country-based results were obtained and reported with the methods used in the study. However, important results have been obtained for policy recommendations for both European Union countries and candidate countries.

In this study, the impact of energy efficiency and economic growth on environmental sustainability was investigated in 26 European Union member countries and 3 European Union candidate countries.

The model and variables used in the research were adapted from Liu et al. (2023), Kırıkkaleli (2023), Aydin and Erdem (2024) as a reference. The model used in the study is as follows:

$$LNEF = f(LNEP, LNGDP, LNGLO)$$

$$LNEF_{it} = \beta_{i0} + \beta_1 LNEP_{it} + \beta_2 LNGDP_{it} + \beta_3 LNGLO_{it} + \varepsilon_{it}$$

The subscript *i* in the model indicates each of the 29 European Union member and candidate countries, and *t* indicates the time. In our study, ecological footprint was used as the dependent variable and energy efficiency was used as the independent variable. Globalization and economic growth indicators were added to the model as explanatory variables. Variables and abbreviations are: Ecological Footprint (LNEF), Energy Efficiency (LNEP), Economic Growth (LNGDP), Globalization (LNGLO)

In this study, the impact of energy efficiency on environmental sustainability is searched by cross-sectional dependence test, homogeneity test, CIPS unit root test, Westerlund and Pedroni cointegration tests, AMG (Augmented Mean Group), CCEMG (Common Correlated Effects Mean Group) and Dumitrescu and Hurlin causality test.

In the analysis section of our study, it was first determined whether there was panel cross-section dependence and homogeneity. Consequently, it was concluded that the panel has both cross-sectional dependency and slope coefficients that are heterogeneous.

Pesaran's (2007) CIPS unit root test shows that all variables except LNGDP are constant at the 5% level and stationary at the level in the model with constant and trend. When the first difference of the LNGDP series was taken, stationarity was achieved in the series.

After determining the stationarity levels of the series, Westerlund (2007) and Pedroni (2004) cointegration tests were conducted to determine the cointegration relationship. In conclusion,

according to Westerlund (2007) and Pedroni (2004) cointegration tests, a cointegration relationship was determined between the LNEF, LNEP, LNGDP and LNGLO variables.

Following the appear of a cointegration relationship between the variables, long-term coefficient estimation was performed using the Eberhardt and Teal (2010) and Eberhardt and Bond (2009) proposed by AMG and Pesaran (2006) proposed by CCEMG estimators which can be used under the assumptions of cross-sectional dependence and heterogeneity. Regarding energy efficiency, according to AMG and CCEMG estimators, a 1% increase in energy efficiency creates a decrease of 0.171 and 0.207 in the ecological footprint, respectively. The effect is negative and significant. This shows that the ecological footprint decreases if there is no difference in other indicators. In this context, increasing energy efficiency in the basic and sub-sectors of the economy will prevent environmental pollution. It has been determined that GDP has an increasing effect on the ecological footprint. A rise in GDP decreases the ecological footprint to 0.839 according to the AMG estimator; according to the CCEMG estimator, it increases by 1.080. These results are consistent with Addai and Kirikkaleli (2023), and Liu et al. (2023) support the findings of their study. Moreover, the effect of globalization on the ecological footprint is insignificant.

In our study, country-based long-term estimation results were found with the AMG estimator, since the slope coefficients were heterogeneous. The results of the country-based AMG estimator are as follows:

- i) LNEP affects LNEF negatively in Bulgaria, Croatia, Cyprus, Denmark, France, Germany, Greece, Italy, Romania, Slovakia and Slovenia, and positively in Latvia and Lithuania.
- ii) Impact of LNGDP on LNEF in Austria, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Estonia, Finland, Germany, Greece, Hungary, Italy, Lithuania, Netherlands, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain and Türkiye is positive and significant.
- iii) The impact of LNGLO on LNEF is significant and positive in Croatia, France, Slovakia, Albania, North Macedonia and Türkiye, while it is negative and significant in Estonia, Lithuania, Romania and Spain.

The direction of the causality relationship plays an important role in recommending economic policies. For this reason, Dumitrescu and Hurlin (2012) causality test was run in our study. Dumitrescu and Hurlin (2012) causality test evidence exposed a bidirectional causality relationship between ecological footprint and energy efficiency. In other words, there is a mutual interaction between energy efficiency and ecological footprint. Additionally, a unilateral causality relationship between globalization and economic growth to ecological footprint was determined. This impact on the ecological footprint can be expressed as an important tool for estimating the ecological footprint in European Union member and candidate countries.

The limitations of our study are as follows: First of all, developing the study's data set with a different sample group will provide significant gains. At the same time, using CO2 emissions or loading capacity factor variables as environmental sustainability indicators in the study will improve the energy efficiency environmental sustainability literature and provide comparison opportunities. Additionally, adding different explanatory variables to the model will reveal the explanatory power of the variables.

Policymakers in the countries subject to analysis should encourage green industries that will reduce environmental pollution and develop policies that will ensure a green economy. In

addition, efficient technologies should be used to produce energy that will increase energy efficiency. Measures should be taken to improve the energy-saving system and awareness of energy use should be provided.

1. GİRİŞ

Çevresel sürdürülebilirlik kavramı ekolojik dengenin göz önünde tutulması ile çevresel kirliliği en aza indirecek ve çevresel tahribatı engelleyecek kalkınma politikalarının temelinde çevre politikalarını dikkate alan uygulamalar bütünüdür (Oğuz, 2019: 2). Çevresel sürdürülebilirliğin ölçülmesi için önemli göstergeler mevcut olmak ile birlikte son dönemlerde en çok kullanılan ekolojik ayak izidir (Özsoy ve Dinç, 2016: 35). Çevre ve ekonomi ilişkisini inceleyen çalışmalarda çevre temeline dayalı politika önermeleri gelişmektedir. Tablo 1’de ülke gruplarında kişi başına ekolojik ayak izi değişkeninin toplam ve bileşen değerleri gösterilmektedir.

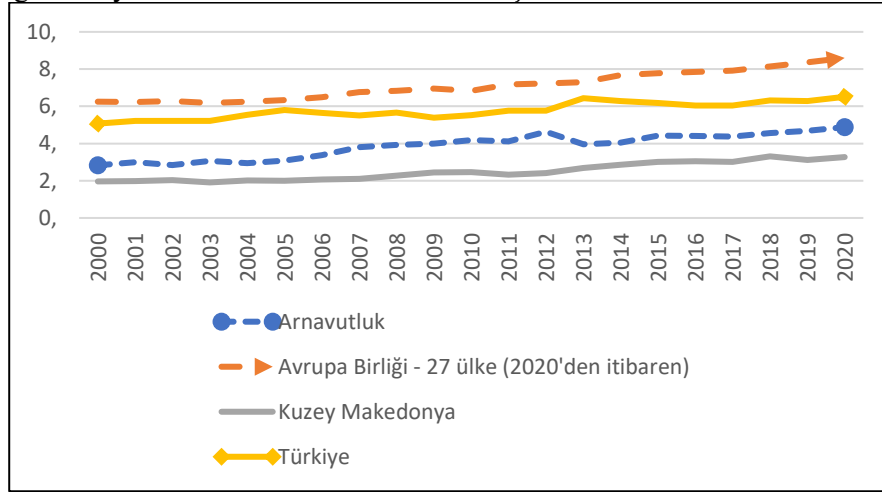
Tablo 1: Ekolojik Ayak İzi (Kişi başına gha, 2000,2020)

2000							
Ülke Grubu	Yerleşim Alanı	Karbon	Tarım Alanı	Balıkçılık Alanları	Orman Ürünleri	Otlak Alanı	Toplam
Dünya	0,051	1,478	0,491	0,102	0,311	0,171	2,604
Avrupa	0,128	3,331	1,042	0,219	0,580	0,252	5,551
Afrika	0,036	0,274	0,352	0,061	0,359	0,202	1,285
Asya	0,068	0,846	0,320	0,085	0,165	0,076	1,559
Kuzey Amerika	0,047	7,588	1,348	0,127	1,316	0,358	10,783
Güney Amerika	0,123	0,820	0,500	0,112	0,460	0,881	2,896
2020							
Ülke Grubu	Yerleşim Alanı	Karbon	Tarım Alanı	Balıkçılık Alanları	Orman Ürünleri	Otlak Alanı	Toplam
Dünya	0,063	1,430	0,493	0,085	0,268	0,127	2,466
Avrupa	0,112	2,407	1,009	0,177	0,587	0,202	4,494
Afrika	0,048	0,282	0,342	0,046	0,260	0,164	1,142
Asya	0,081	1,394	0,389	0,073	0,173	0,072	2,180
Kuzey Amerika	0,050	4,392	1,337	0,114	0,868	0,297	7,058
Güney Amerika	0,161	0,745	0,569	0,089	0,319	0,624	2,507

Kaynak: Küresel Ayak İzi Ağı, <https://data.footprintnetwork.org/#/countryTrends?cn=5001&type=BCtot,EFCtot> (Erişim Tarihi: 01.04.2024)

Tablo 1’de ekolojik ayak izinde 2000 yılında Afrika ve Güney Amerika dışında en önemli bileşeni karbonun oluşturduğu görülmektedir. Güney Amerika’da 2000 yılında en büyük paya sahip bileşen otlak alanıdır. 2020 yılında 2000 yılına kıyasla toplam ekolojik ayak izinde (kişi başına gha) Asya ülke grubu dışında azalma olduğu izlenmektedir. Asya ülke grubunda toplam ekolojik ayak izi (kişi başına gha) 2000 yılında 1,559281 iken 2020 yılında 2,180421 olarak gerçekleşmiştir.

Bununla birlikte çevre ekonomi ilişkisini temel alan çalışmalarda enerji değişkeninin eklenmesi önemli bir boyut oluşturmaktadır. Bu aşamada ise enerji verimliliği iklim değişikliğinin önüne geçilebilmesi için önemli bir bileşen olarak görülmektedir (Eyüboğlu vd., 2021: 30). Enerji verimliliği kavramını iklim değişikliğinin etkilerini azaltarak sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında yenilik olarak tanımlanabilir (Liu vd., 2023: 117). Bu kapsamda çalışmada enerji verimliliği ve ekonomik büyümenin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. 2000-2020 dönemi için 26 Avrupa Birliği üyesi ülke ve 3 Avrupa Birliğine aday ülke örneklem olarak belirlenmiştir.



Şekil 1: AB-27 ve 3 Avrupa Birliğine aday ülke (Arnavutluk, Kuzey Makedonya ve Türkiye)'de enerji verimliliğinin değişimi (2000-2020)

Kaynak: EUROSTAT verileri derlenerek yazar tarafından oluşturulmuştur.

Çalışmada kullanılan enerji verimliliği serisine ilişkin değişim şekil 1'de gösterilmektedir. Enerji verimliliği değişiminin gösterildiği şekil 1'de enerji verimliliğinde AB-27 ülke grubunda en yüksek değere sahip olduğu görülürken, AB-27 ülke grubunu sırasıyla Türkiye, Arnavutluk ve Kuzey Makedonya izlemektedir.

Çalışmanın literatüre muhtemel şu konularda katkılarının olması beklenilmektedir: 1- Ekolojik ayak izi çevresel sürdürülebilirlik göstergesi alınarak, ekolojik ayak izi, enerji verimliliği, ekonomik büyüme ve küreselleşme arasındaki ilişki araştırılmaktadır. Bildiğimiz kadarıyla yerli iktisat literatüründe bu değişkenleri ele alan ilk çalışmadır. 2- Çalışmada kullanılan yöntemler ile ülke bazlı sonuçlar elde edilmiş ve raporlanmıştır. Bununla birlikte hem Avrupa birliği ülkelerinde hem de aday ülkeler için politika önermeleri için önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmanın temel yapısı şu şekildedir. Çalışmanın birinci bölümünü giriş bölümü oluşturmaktadır. Bu bölümü takiben konu ile ilgili literatür taraması ikinci

bölümde yapılmış ve bu bölümde listelenmiştir. Üçüncü bölümde veri kaynakları tartışılmıştır. Dördüncü bölümde ampirik model ve analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Çalışmamızın son bölümü olan beşinci bölümde ise genel olarak ulaşılan sonuçlar ve politika önerileri özetlenmiştir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Son dönemlerde çevresel faktörlerin ekonomideki etkisi araştırmalara konu olmaktadır. Bazı araştırmacılar çevre ekonomi enerji ilişkisini irdelerken zaman serisi analizi ile tek ülkeli çalışmalara odaklanırken, bazı çalışmalarda panel veri analizi ile çok ülkeli çalışmalar irdelenmektedir. Bu çalışmada enerji verimliliği ve ekolojik ayak izi arasındaki ilişki incelenirken, 2000-2020 dönemi için ekonomik büyüme ve küreselleşmenin çevresel sürdürülebilirlik açısından etkisi olup olmadığı da araştırılmıştır. Bu bölümde enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik ilişkisini analiz eden son dönemde yapılmış çalışmalar özetlenmektedir.

Addai vd. (2023), üretim bazlı CO2 emisyonları, ekonomik büyüme, toplam enerji tüketimi, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji tüketimi ilişkisini Hollanda için 1990Q1'den 2019Q4 arasındaki dönemde analiz etmişlerdir. Çalışmalarında Fourier ARDL (otoregresif dağıtılmış gecikme) ve Fourier Toda-Yamamoto nedensellik testini kullanmışlardır. Uzun vadeli Fourier ARDL tahminleri sonucunda, enerji verimliliğinin Hollanda'da karbondioksit emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olduğunu ortaya koymuşlardır. Fourier Toda Yamamoto Nedensellik analizi sonucunda ise enerji verimliliği, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin CO2 emisyonları üzerinde tek yönlü bir nedensel etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır.

Addai ve Kirikkaleli (2023), ekonomik büyüme, küreselleşme, enerji verimliliği, birincil enerji tüketimi ve CO2 emisyonları arasındaki ilişkiyi Polonya'da 1990Q1'den 2019Q4'e kadar olan dönem için Fourier tabanlı ARDL yaklaşımı ile incelemiştir. Uzun dönemde enerji verimliliğinin CO2 emisyonlarını olumsuz etkilediğini, ekonomik büyüme, küreselleşme ve birincil enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi olumlu etkilediğini bulmuşlardır.

Kirikkaleli vd. (2023a), karbondioksit emisyonları, ticari açıklık, enerji verimliliği, finansal gelişme ve ekonomik büyüme arasındaki bağıntıyı 1990Q1-2019Q4 dönemi için İsveç'te araştırmışlardır. Doğrusal olmayan ARDL yaklaşımı uyguladıkları çalışmaları enerji verimliliğinin CO2 emisyonlarını azaltıcı etkisi, ekonomik büyümenin ise CO2 emisyonlarını artırıcı etkisi olduğunu bulmuşlardır.

Kirikkaleli vd. (2023b), 1990Q1-2020Q4 dönemi için İrlanda'da karbon emisyonları, enerji verimliliği, ekonomik büyüme, temel enerji tüketimi, finansal gelişme arasındaki ilgiyi doğrusal olmayan ARDL yaklaşımı ile analiz etmiştir. Enerji verimliliğinin CO2 emisyonlarını düşürdüğü sonucuna ulaşmışlardır.

Liu vd. (2023), 1990-2018 dönemi için Güney Avrupa ülkelerinde (Kıbrıs, İspanya, Portekiz, İtalya, Yunanistan ve Malta) enerji verimliliği, ekonomik büyüme

ve küreselleşmenin CO2 emisyonlarına etkisini analiz etmişlerdir. Çalışmalarında CCEMG ve AMG tahmincileri ile katsayı tahmini yapmışlar ve Dumitrescu-Hurlin nedensellik testi ile nedensel bağ olup olmadığını incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda ekonomik büyüme ve küreselleşmenin CO2 emisyonlarını arttırırken, enerji verimliliğinin CO2 emisyonlarını azalttığını belirlemişlerdir.

Sowah vd. (2023), 1990Q1-2020Q4 dönemi için Portekiz’de CO2 emisyonları, enerji verimliliği, toplam enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve ticari açıklık arasındaki bağı incelemişlerdir. NARDL yaklaşımı kullandıkları çalışmalarının sonucunda enerji verimliliğinin CO2 emisyonlarını azalttığı sonucuna varmışlardır.

Zhang vd. (2023a), Fas için 1990-2020 yıllık zaman serisi verilerini kullanarak CO2 emisyonu, enerji yoğunluğu, doğal kaynak kiralari, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji arasındaki ilişkiyi ARDL yaklaşımı ile araştırmışlardır. Enerji verimliliğinin CO2 emisyonlarını hem kısa hem de uzun dönemde azalttığını bulmuşlardır.

Zhang vd. (2023b), iklim değişikliğini hafifletme teknolojileri, enerji verimliliği, doğal kaynak kirası, yenilenebilir enerji tüketimi ve CO2 emisyonlarına ilişkin çevreyle ilgili vergi arasındaki ilişkiyi 30 OECD ekonomisi için 1990-2020 dönemi için irdelemişlerdir. AMG, CCEMG ve CS-ARDL yöntemlerini uyguladıkları çalışmalarının sonucunda enerji verimliliğinin CO2 emisyonları üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu göstermişlerdir.

Aydin ve Erdem (2024), yük kapasitesi faktörü, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme, enerji verimliliği ve kaynak verimliliği ilişkisini 2000-2019 dönemi için Avrupa ülkeleri örneğinde araştırmışlardır. Ekonomik büyümenin yük kapasitesi faktörünü azalttığını tespit etmişlerdir.

Kirikkaleli ve Ali (2024), Almanya’da 1995Q1-2020Q4 dönemi için tüketim bazlı CO2 emisyonları, enerji verimliliği, ekonomik büyüme, küreselleşme endeksi ve kaynak etkinliği arasındaki bağlantıyı incelemişlerdir. Doğrusal olmayan ARDL yöntemi sonucunda enerji verimliliğinin çevresel kirlilik üzerindeki etkisinin olumsuz olduğu sonucuna varmışlardır.

Literatür bulguları genel olarak değerlendirildiğinde enerji verimliliğinin çevre göstergesi olan değişkenler üzerindeki etkisinin negatif olduğu görülmektedir. Ekonomik büyüme değişkeninin ise çevresel sürdürülebilirlik değişkeni üzerindeki etkisinin olumlu olduğu izlenmektedir.

3. VERİLER VE KAYNAKLARI

Bu çalışmada 2000-2020 dönemi için 26 Avrupa Birliği üyesi ülke (Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İrlanda, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Hollanda, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç) ve 3 Avrupa Birliğine aday ülke (Arnavutluk, Kuzey

Makedonya ve Türkiye)'de enerji verimliliği ve ekonomik büyümenin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Analizde kullanılan verilerin doğal logaritması kullanılmış olup, veriler, tanımlar ve kısaltmaları tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2: Veriler, Kaynaklar, Tanımlar ve Kısaltmalar

Veri	Tanım	Kaynak
Ekolojik Ayak İzi (LNEF)	Ekolojik Ayak İzi (Kişi başına gha)	Küresel Ayak İzi Ağı
Enerji Verimliliği (LNEP)	Petrol eşdeğerinin kilogramı başına satın alma gücü standardı (PPS)	Eurostat
Ekonomik Büyüme (LNGDP)	Kişi başına düşen GSYİH (sabit 2015 ABD Doları)	Dünya Bankası
Küreselleşme (LNGLO)	KOF Küreselleşme Endeksi	KOF

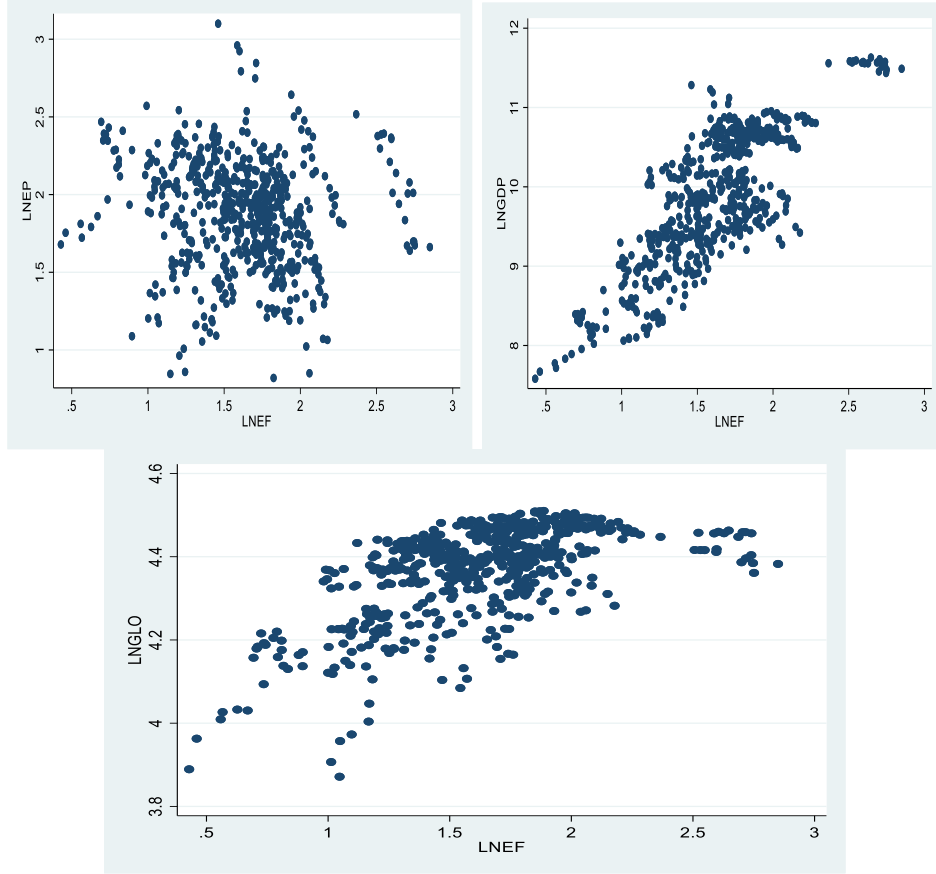
Tablo 3'de modele konu olan değişkenlere ait tanımlayıcı bilgilere yer verilmiştir. Tablo 2'den izleneceği üzere, modelde kullanılan dört değişkenin ortalaması 1.618 ile 9.891 arasında değişiklik göstermektedir.

Tablo 3: Verilere ait Tanımlayıcı İstatistikler ve Korelasyon Matrisi

	LNEF	LNEP	LNGDP	LNGLO
Ortalama	1.618100	1.877038	9.891182	4.369627
Medyan	1.648367	1.909543	9.899604	4.396107
Maksimum Değer	2.849711	3.100092	11.62998	4.510083
Minimum Değer	0.428836	0.819780	7.581150	3.871385
Standart Sapma	0.380357	0.348765	0.830680	0.109106
Basıklık	3.959652	3.257667	2.580029	5.438903
Çarpıklık	0.098733	-0.203719	-0.314723	-1.455645
Jarque-Bera	24.35811	5.897098	14.52914	366.0055
Probabilite	0.000005	0.052416	0.000700	0.000000
Gözlem Sayısı	609	609	609	609

Korelasyon Matrisi				
	LNEF	LNEP	LNGDP	LNGLO
LNEF	1.000000			
LNEP	-0.110472	1.000000		
	0.0064	-----		
LNGDP	0.801763	0.267501	1.000000	
	0.0000	0.0000	-----	
LNGLO	0.599462	0.268859	0.814083	1.000000
	0.0000	0.0000	0.0000	-----

En yüksek maksimum değer (11.629) LNGDP serisinde görülmektedir. En düşük minimum değer (0.4288) LNEF değişkenidir. LNEP, LNGDP ve LNGLO değişkenlerinde negatif çarpıklık, LNEF değişkeninde pozitif çarpıklık olduğu izlenmektedir. Aynı zamanda modele konu olan değişkenler ile ekolojik ayak izi arasındaki etkileşim Şekil 2'deki saçılım grafikleri ile gösterilmektedir.



Şekil 2: Saçılım Grafikleri (Bağımlı Değişken (LNEF) ve Bağımsız Değişkenler (LNEP, LNGDP ve LNGLO))

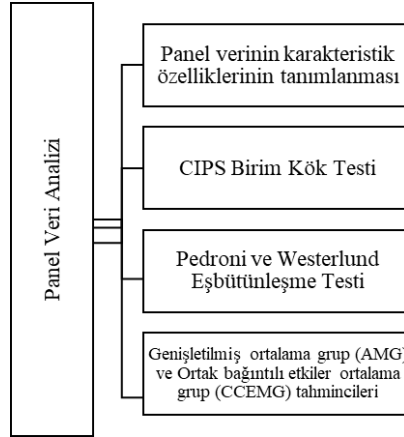
4. AMPİRİK MODEL VE SONUÇLAR

Araştırmada kullanılan model ve değişkenler Liu vd. (2023), Kırıkkaleli (2023), Aydın ve Erdem (2024)'ün çalışmaları referans alınarak oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan model aşağıdaki gibidir:

$$LNEF = f(LNEP, LNGDP, LNGLO)$$

$$LNEF_{it} = \beta_{i0} + \beta_1 LNEP_{it} + \beta_2 LNGDP_{it} + \beta_3 LNGLO_{it} + \varepsilon_{it}$$

Modelde yer alan *i* alt indisi 29 Avrupa Birliğine üye ve aday ülkelerin her birini ve *t* ise zamanı belirtmektedir. Çalışmamızda bağımlı değişken olarak ekolojik ayak izi, bağımsız değişken olarak enerji verimliliği kullanılmıştır. Modele açıklayıcı değişken olarak küreselleşme ve ekonomik büyüme göstergeleri eklenmiştir. Araştırmada kullanılan testlerin metodolojik tasarımı aşağıdaki şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3: Metodolojik Tasarım

4.1. Panel Spesifikasyon Testleri

Çalışmamızın analiz bölümünde ilk olarak panel yatay kesit bağımlılık ve homojenlik olup olmadığı belirlenmiştir. Tablo 3'te Pesaran (2015, 2021) CD, Juodis ve Reese (2021) CD_w , Fan vd. (2015) CD_{w+} ve Pesaran ve Xie (2021)'in 4 faktörlü CD testi olarak ifade ettikleri CD^* sonuçları raporlanmaktadır. Bu yatay kesit bağımlılık testlerinde temel hipotez (H_0) zayıf kesit bağımlılığına, alternatif hipotez (H_1) güçlü yatay kesit bağımlılığı şeklinde kurulmaktadır.

Tablo 4: Panel Spesifikasyon Testi Sonuçları

Değişkenler	Yatay kesit bağımlılık testleri			
	CD	CD_w	CD_{w+}	CD^*
LNEF	25.72 (0.000) ***	3.05 (0.002) ***	868.85 (0.000) ***	4.47 (0.000) ***
LNBP	88.70 (0.000) ***	-2.22 (0.026) **	1784.93 (0.000) ***	-1.08 (0.281)
LNGDP	63.84 (0.000) ***	4.06 (0.000) ***	1456.36 (0.000) ***	-0.93 (0.354)
LNGLO	83.08 (0.000) ***	-2.00 (0.045) **	1672.04 (0.000) ***	1.89 (0.059) *
Model Hataları	14.35 (0.000) ***	0.85 (0.395)	629.01 (0.000) ***	0.94 (0.348)
Eğim Homojenlik Testi Sonuçları				
Testler	İstatistikler		p-değeri	
$\bar{\Delta}_{CSA}$	15.675		0.000***	
$\bar{\Delta}_{CSA-adj}$	17.958		0.000***	

Notlar: 1- CD: Pesaran (2015, 2021), CD_w : Juodis ve Reese (2021), CD_{w+} : Fan vd (2015)'den güç geliştirme özelliğine sahip CD_w , CD^* : Pesaran ve Xie (2021) ile 4 faktörlü CD testi

2- Bersvendsen ve Ditzén (2020) $\bar{\Delta}_{CSA}$ ve $\bar{\Delta}_{CSA-adj}$ eğim homojenlik testi sonuçları

3- *** %1, **%5 ve *%10

Tablo 4'ten izleneceği üzere Pesaran (2015, 2021) CD, Juodis ve Reese (2021) CD_w ve Fan vd. (2015) CD_{w+} testlerine göre yatay kesit bağımsızlığının temel hipotezi tüm değişkenler için reddedilmekte ve bu testler LNEF, LNEP, LNGDP ve LNGLO değişkenleri için güçlü yatay kesit bağımlılık olduğuna işaret etmektedir. Pesaran ve Xie (2021) CD^* yatay kesit bağımlılık testine göre ise LNEP ve LNGDP değişkenleri zayıf yatay kesit bağımlılığına sahiptir. Regresyon denklemi sonucunda oluşan model hatalarında ise CD ve CD_{w+} testlerine göre güçlü yatay kesit bağımlılık, CD_w ve CD^* testlerine göre ise zayıf kesit bağımlılık olduğu ortaya çıkmıştır. Ek olarak, Bersvendsen ve Ditzgen (2020) $\bar{\Delta}_{CSA}$ ve $\bar{\Delta}_{CSA-adj}$ homojenlik testleri sonucunda %1 anlamlılık düzeyinde eğim katsayılarının homojen olduğuna dair kurulan temel hipotez reddedilmiş, eğim katsayılarının heterojen olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak panelin hem yatay kesit bağımlılık taşıdığı hem de eğim katsayılarının heterojen olduğu sonucuna varılmıştır.

4.2. Panel Birim Kök Testi

Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisini tahmin etmeden önce serilerin durağanlığını kontrol etmek için panel birim kök testi uygulanmıştır. Tablo 4 tüm serilerin yatay kesit bağımlılığı sergilediğini göstermektedir. Bu nedenle panel verilerdeki durağanlığı test etmek için ülkeler arasındaki yatay kesit bağımlılığı göz önünde bulunduran Pesaran (2007)'in kesitsel artırılmış IPS (CIPS) birim kök testi kullanılmıştır. Tablo 5'te her bir değişkenin seviye model ve birinci fark serisi için CIPS birim kök testinden elde edilen sonuçlar raporlanmaktadır.

Tablo 5: Pesaran (2007) CIPS Birim Kök Testi

Değişkenler	Pesaran (2007) CIPS Birim Kök Testi			
	Sabit		Sabit & Trend	
	Düzye	Birinci Fark	Düzye	Birinci Fark
LNEF	-2.277***		-3.221***	
LNEP	-2.266***		-2.742 **	
LNGDP	-1.871	-2.881***	-1.970	-2.939 ***
LNGLO	-2.247***		-2.767**	
Kritik Değerler: % 10: -2.07 %5: -2.15 %1: -2.3			% 10: -2.58 %5: -2.66 %1: -2.81	

*** %1, **%5 ve *%10

Pesaran'ın (2007) CIPS birim kök testi %5 düzeyinde LNGDP dışındaki tüm değişkenler sabit ve sabit&trend içeren modelde düzeyde durağandır. LNGDP serisinin birinci farkı alındığında seride durağanlık sağlanmıştır.

4.3. Panel Eşbütünleşme Testi

Serilerin durağanlık derecelerinin belirlenmesinin ardından eşbütünleşme ilişkisini belirlemek için Westerlund (2007) ve Pedroni (2004) eşbütünleşme testleri yapılmıştır. Modelde yatay kesit bağımlılığının olduğu panel veri setinde kullanılan Westerlund eşbütünleşme testine ilişkin sonuçlar Tablo 6'da sunulmaktadır.

Tablo 6: Westerlund Eşbütünlüşme Testi

Westerlund Eşbütünlüşme Testi							
İstatistik	Sabit				Sabit & Trend		
	Value	Z-value	Robust value	p-	Value	Z-value	Robust value
Gt	-2.280	-0.265	0.060*		-2.914	0.097	0.020**
Ga	-6.015	3.790	0.310		-6.265	6.207	0.530
Pt	-11.588	-1.178	0.010**		-13.767	-0.533	0.040**
Pa	-6.233	1.008	0.040**		-7.302	3.440	0.110

*** %1, **%5 ve *%10

Tablo 6'dan izleneceği üzere sabit modelde Gt, Pt ve Pa istatistiklerine göre, sabit ve trend içeren modelde Gt ve Pt istatistiklerine göre Ho hipotezi reddedilmekte, LNEF, LNEP, LNGDP ve LNGLO değişkenleri arasında eşbütünlüşme ilişkisi olduğu sonucuna varılmaktadır. Çalışmamızda Westerlund (2007) eşbütünlüşme testinin yanında Pedroni (2004) eşbütünlüşme testi uygulanmıştır. Ulaşılan sonuçlar Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7: Pedroni Eşbütünlüşme Testi

Pedroni Eşbütünlüşme Testi				
Alternatif hipotez: ortak AR katsayıları. (Boyut içi)				
İstatistik	Sabit		Sabit & Trend	
	Prob.	Ağırlıklıklı İstatistik	Prob.	Ağırlıklıklı İstatistik
Panel v-Statistic	2.847580	0.0022***	0.160657	0.4362
Panel rho-Statistic	-3.543471	0.0002***	-3.130029	0.0009***
Panel PP-Statistic	-10.74740	0.0000***	-9.082185	0.0000***
Panel ADF-Statistic	-11.11145	0.0000***	-8.948603	0.0000***
Alternatif hipotez: bireysel AR katsayıları. (Boyutlar arası)				
Group rho-Statistic	-0.624533	0.2661		
Group PP-Statistic	-11.82239	0.0000***		
Group ADF-Statistic	-9.597172	0.0000***		
Sabit & Trend				
İstatistik	Prob.	Ağırlıklıklı İstatistik	Prob.	Ağırlıklıklı İstatistik
Panel v-Statistic	1.358609	0.0871*	-1.739310	0.9590
Panel rho-Statistic	-2.341368	0.0096***	-1.639442	0.0506*
Panel PP-Statistic	-15.21938	0.0000***	-12.36447	0.0000***
Panel ADF-Statistic	-13.92483	0.0000***	-11.76391	0.0000***
Alternatif hipotez: bireysel AR katsayıları. (Boyutlar arası)				
Group rho-Statistic	0.929750	0.8237		
Group PP-Statistic	-16.59542	0.0000***		
Group ADF-Statistic	-12.80899	0.0000***		

*** %1, **%5 ve *%10

Pedroni eş bütünleşme testinde sıfır hipotezi eşbütünleşme yok şeklinde kurulmaktadır. Hem sabit hem de sabit ve trend içeren modelde 11 testten 9’unda eşbütünleşme olmadığına dair kurulan sıfır hipotez reddedilmiştir. Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi olduğuna dair kurulan alternatif hipotez kabul edilmiştir.

Sonuç olarak Westerlund (2007) ve Pedroni (2004) eşbütünleşme testlerine göre LNEF, LNEP, LNGDP ve LNGLO değişkenleri arasında eşbütünleşme ilişkisi belirlenmiştir.

4.4. Panel Katsayı Tahminçileri

Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin varlığının ardından yatay kesit bağımlılık ve heterojenlik varsayımları altında kullanılabilen Eberhardt ve Teal (2010) ile Eberhardt ve Bond (2009) tarafından önerilen AMG ile Pesaran (2006) CCEMG tahminçileri ile uzun dönem katsayı tahmini yapılmıştır. İlgili testlerden ulaşılan bulgular Tablo 8’de gösterilmektedir.

Tablo 8: AMG (Genişletilmiş Ortalama Grup) ve CCEMG (Ortak Bağıntılı Etkiler Ortalama Grup) Tahminçileri

Genişletilmiş Ortalama Grup Tahminçisi						
	Katsayı	Standart Hata	z	P>z	[95% Conf. Interval]	
LNEP	-.1716349**	.0666198	-2.58	0.010	-.3022073	-.0410624
LNGDP	.8396538***	.089448	9.39	0.000	.664339	1.014969
LNGLO	-.1220063	.2634196	-0.46	0.643	-.6382993	.3942866
C	-5.697728***	1.139611	-5.00	0.000	-7.931324	-3.464133
Ortak Bağıntılı Etkiler Ortalama Grup Tahminçisi						
	Katsayı	Standart Hata	z	P>z	[95% Conf. Interval]	
LNEP	-.2077489**	.083839	-2.48	0.013	-.3720704	-.0434275
LNGDP	1.080696***	.1693723	6.38	0.000	.7487328	1.41266
LNGLO	.0363918	.3400079	0.11	0.915	-.6300114	.7027949
C	.3004804	2.008075	0.15	0.881	-3.635275	4.236236

*** %1, ** 5 ve *10

Tablo 8’de gösterildiği gibi enerji verimliliği ile ilgili olarak AMG ve CCEMG tahminçilerine göre enerji verimliliğinde %1’lik artışın ekolojik ayak izinde sırası ile 0.171 ve 0.207’lik bir azalış oluşturmaktadır. Ortaya çıkan etki negatif ve anlamlıdır. Bu durum diğer göstergelerde bir farklılık oluşmaması durumunda ekolojik ayak izinin azaldığını göstermektedir. Bu kapsamda ekonominin temel ve alt sektörlerinde enerjide verimliliğin artırılması çevresel kirliliğin önüne geçecektir. GSYİH’ nın ekolojik ayak izi üzerinde artırıcı etkide

bulunduğu belirlenmiştir. GSYİH' da meydana gelen bir artış ekolojik ayak izini AMG tahmincisine göre 0.839; CCEMG tahmincisine göre ise 1.080 artırmaktadır. Bu sonuçlar Addai ve Kirikkaleli (2023), Liu vd. (2023)'nin çalışmalarının bulgularını desteklemektedir. Ayrıca küreselleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi Tablo 8'de görüleceği gibi anlamsızdır.

Çalışmamızda aynı zamanda eğim katsayıları heterojen olduğu için AMG tahmincisi ile ülke bazlı uzun dönem tahmin sonuçları bulunmuş ve Tablo 9'da raporlanmıştır.

Tablo 9: Ülke Bazlı Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi (AMG) sonuçları

Avusturya			Belçika		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri
LNEP	.0102949	0.893	LNEP	.0177063	0.756
LNGDP	.9568614	0.001***	LNGDP	.1151267	0.621
LNGLO	1.405159	0.176	LNGLO	.4881097	0.567
Sabit	-14.57768	0.000***	Sabit	-1.256994	0.680
Bulgaristan			Hırvatistan		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri
LNEP	-.6417291	0.004***	LNEP	-.1841024	0.040**
LNGDP	1.329567	0.000***	LNGDP	.6145898	0.007***
LNGLO	-.0544194	0.943	LNGLO	1.02402	0.028**
Sabit	-9.019745	0.003***	Sabit	-8.35811	0.000***
Kıbrıs			Çek Cumhuriyeti		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri
LNEP	-.8964672	0.000***	LNEP	-.2233798	0.117
LNGDP	1.522935	0.000***	LNGDP	.5833034	0.073*
LNGLO	.1687814	0.525	LNGLO	.4945946	0.654
Sabit	-12.82319	0.000***	Sabit	-5.568184	0.097*
Danimarka			Estonya		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri
LNEP	-.0729911	0.049**	LNEP	.2433191	0.261
LNGDP	.2480033	0.289	LNGDP	.7610144	0.026**
LNGLO	-.5036207	0.521	LNGLO	-2.695906	0.019**
Sabit	1.9551	0.550	Sabit	6.180417	0.147
Finlandiya			Fransa		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri

LNEP	-1.106071	0.435	LNEP	-2714538	0.000***
LNGDP	1.261098	0.000***	LNGDP	.3824774	0.288
LNGLO	-2.268136	0.126	LNGLO	1.134999	0.063*
Sabit	-1.252706	0.826	Sabit	-6.726165	0.028**
Almanya			Yunanistan		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri
LNEP	-.373998	0.000***	LNEP	-.5871181	0.004***
LNGDP	1.201683	0.000***	LNGDP	.7977164	0.000***
LNGLO	.7315	0.176	LNGLO	1.271101	0.114
Sabit	-13.40817	0.000***	Sabit	-10.51552	0.006***
Macaristan			İrlanda		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri
LNEP	-.2093617	0.318	LNEP	-.2787912	0.258
LNGDP	1.171438	0.000***	LNGDP	.4102956	0.162
LNGLO	-1.269319	0.163	LNGLO	-.7884242	0.704
Sabit	-3.510746	0.441	Sabit	1.580062	0.890
İtalya			Letonya		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri
LNEP	-.2088881	0.050*	LNEP	.9861526	0.002***
LNGDP	.9263266	0.000***	LNGDP	.2930668	0.432
LNGLO	.1431835	0.827	LNGLO	-1.027568	0.253
Sabit	-8.049637	0.006***	Sabit	1.710542	0.527
Litvanya			Lüksemburg		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri
LNEP	.4375986	0.000***	LNEP	-.0376707	0.524
LNGDP	.7632419	0.004***	LNGDP	.3584559	0.447
LNGLO	-2.057118	0.061*	LNGLO	-.4460442	0.474
Sabit	2.700768	0.324	Sabit	.6788661	0.867
Hollanda			Polonya		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri
LNEP	-.0898519	0.450	LNEP	-.1872018	0.207
LNGDP	.8543128	0.005***	LNGDP	.6061081	0.000***
LNGLO	.9186004	0.332	LNGLO	.1948702	0.444
Sabit	-11.04971	0.014**	Sabit	-4.48584	0.005

Portekiz			Romanya		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri
LNEP	-.2562669	0.091*	LNEP	-.4316336	0.000***
LNGDP	1.300624	0.000***	LNGDP	1.521613	0.000***
LNGLO	.698861	0.431	LNGLO	-1.068965	0.043**
Sabit	-13.79809	0.000***	Sabit	-6.97358	0.001***
Slovakya			Slovenya		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri
LNEP	-.3121201	0.076*	LNEP	-.6156033	0.000***
LNGDP	.6178811	0.012**	LNGDP	1.995635	0.000***
LNGLO	1.145133	0.004***	LNGLO	-.823769	0.208
Sabit	-8.749874	0.000***	Sabit	-13.27276	0.000***
İspanya			İsveç		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri
LNEP	.0935242	0.667	LNEP	-.3675414	0.238
LNGDP	1.562205	0.000***	LNGDP	1.026994	0.206
LNGLO	-4.517608	0.002***	LNGLO	.8720627	0.856
Sabit	5.584973	0.407	Sabit	-12.42754	0.499
Arnavutluk			Kuzey Makedonya		
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri	Değişken	Katsayı	Olasılık değeri
LNEP	.2474257	0.241	LNEP	-.3465559	0.027**
LNGDP	.1340471	0.566	LNGDP	.3760217	0.300
LNGLO	.8957466	0.004***	LNGLO	1.041235	0.000***
Sabit	-4.472541	0.002***	Sabit	-5.577281	0.009***
Türkiye					
Değişken	Katsayı	Olasılık değeri			
LNEP	-.3100997	0.297			
LNGDP	.6573187	0.000***			
LNGLO	1.354756	0.038**			
Sabit	-9.75078	0.000***			

Not: *** %1, ** 5 ve *10 olasılık değerlerini göstermektedir.

Ülke bazlı AMG tahmincisinin sonuçları şu şekildedir:

i) LNEP LNEF' yi Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs, Danimarka, Fransa, Almanya, Yunanistan, İtalya, Romanya, Slovakya ve Slovenya'da olumsuz yönde, Letonya ve Litvanya'yı olumlu yönde etkilemektedir.

ii) Avusturya, Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs, Çek Cumhuriyeti, Estonya, Finlandiya, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İtalya, Litvanya, Hollanda, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya ve Türkiye'de LNGDP' nin LNEF üzerindeki etkisi pozitif ve anlamlıdır.

iii) LNGLO' nun LNEF üzerindeki etkisi Hırvatistan, Fransa, Slovakya, Arnavutluk, Kuzey Makedonya ve Türkiye'de önemli ve olumlu iken, Estonya, Litvanya, Romanya ve İspanya'da olumsuz ve önemlidir.

4.5. Nedensellik Testi

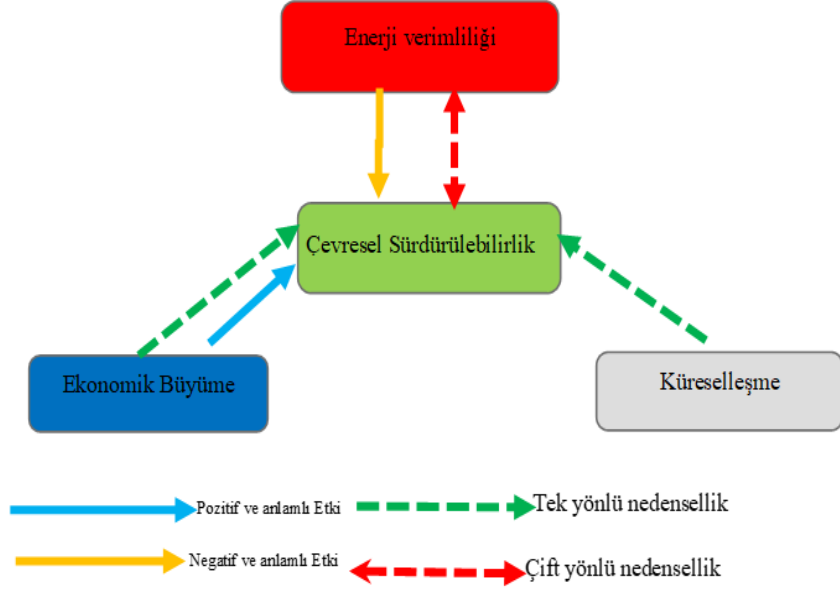
Nedensellik ilişkisinin yönü ekonomi politikalarının önerilmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle çalışmamızda Dumitrescu ve Hurlin (2012) nedensellik testi kullanılmıştır. Tablo 10'da Dumitrescu ve Hurlin nedensellik testinin sonuçlarının bir özeti gösterilmektedir.

Tablo 10: Dumitrescu ve Hurlin (2012) Nedensellik Testi

H_0	W-bar	Z-bar	Z-bar tilde
LNEP, LNEF'nin Granger nedeni değildir.	5.7816	10.1824 (0.0000)	6.7261*** (0.0000)
LNEF, LNEP'nin Granger nedeni değildir.	4.4941	6.7157 (0.0000)	4.2148*** (0.0000)
LNGDP, LNEF'nin Granger nedeni değildir.	5.0449	8.1985 (0.0000)	5.2890*** (0.0000)
LNEF, LGDP'nin Granger nedeni değildir.	2.0472	0.1270 (0.8989)	-0.5582 (0.5767)
LNGLO, LNEF'nin Granger nedeni değildir.	5.7437	10.0802 (0.0000)	6.6521*** (0.0000)
LNEF, LNGLO'nin Granger nedeni değildir.	2.2109	0.5678 (0.5702)	-0.2388 (0.8112)

Not: *** %1, ** 5 ve *10. Parantez içerisindeki değerler olasılık değerlerini göstermektedir. Gecikme uzunluğu 2 olarak alınmıştır.

Dumitrescu ve Hurlin (2012) nedensellik testi bulguları ekolojik ayak izi ve enerji verimliliği arasında çift taraflı nedensellik ilişkisini ortaya çıkarmıştır. Yani enerji verimliliği ile ekolojik ayak izi arasında karşılıklı etkileşim bulunmaktadır. Ayrıca, ekonomik büyüme ve küreselleşmeden ekolojik ayak izine doğru tek taraflı nedensellik ilişkisi belirlenmiştir. Ekolojik ayak izine doğru ortaya çıkan bu etki Avrupa Birliğine üye ve aday ülkelerde ekolojik ayak izinin tahmin edilmesine önemli araç olarak ifade edilebilir.



Şekil 4: Ampirik Sonuçlar

Sonuçta enerji verimliliğinin artırılması çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması noktası önem taşımaktadır. Şekil 4 ulaşılan ampirik sonuçları sunmaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, 2000-2020 dönemi için 26 Avrupa Birliği üyesi ülke ve 3 Avrupa Birliğine aday ülkede enerji verimliliğinin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisi yatay kesit bağımlılığı testi, homojenlik testi, CIPS birim kök testi, Westerlund ve Pedroni eşbütünleşme testleri, AMG (Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi), CCEMG (Ortak Bağıntılı Etkiler Ortalama Grup Tahmincisi) ve Dumitrescu ve Hurlin nedensellik testi ile araştırılmaktadır.

Çalışmanın ampirik sonuçlarının neticesinde seriler arasında uzun vadeli bir eşbütünleşme ilişkisinin olduğu sonucuna varılmıştır. Avrupa Birliğine üye ve aday 29 ülkede enerji verimliliğinin ekolojik ayak izini azaltıcı etkide bulunduğunu ortaya çıkarmıştır. Çalışmaya açıklayıcı değişken olarak eklenen ekonomik büyüme değişkeninin ekolojik izi üzerinde pozitif etkide bulunduğu belirlenmiştir. Modele bir diğer açıklayıcı değişken olarak eklenen küreselleşmenin ise ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi anlamsızdır. Dumitrescu ve Hurlin nedensellik analizinin sonucunda ise enerji verimliliği ve ekolojik ayak izi arasında karşılıklı nedensellik bağı tespit edilmiştir. Bu ilişki iki değişken arasında karşılıklı kuvvetli etkileşim olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızın bazı kısıtlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle çalışmanın veri setinin farklı örneklem grubu ile geliştirilmesi önemli kazanımlar sağlayacaktır. Aynı zamanda çalışmada çevresel sürdürülebilirlik göstergesi olarak CO2 emisyonları ya da yükleme kapasitesi faktörü değişkenlerinin kullanılması enerji verimliliği çevresel sürdürülebilirlik literatürünü geliştirecek ve karşılaştırma olanağı doğacaktır. Ayrıca modele farklı açıklayıcı değişkenlerin eklenmesi de değişkenlerin açıklama gücünü ortaya çıkaracaktır.

Avrupa Yeşil Mutabakatı, Avrupa Birliğinde 2050 yılına kadar net sera gazı emisyonunun olmadığı dünyanın ilk iklim nötr kıtası yapmayı hedefleyen bir büyüme yaklaşımı benimsemektedir. Bu doğrultuda Avrupa Komisyonu 1990'lı yıllar ile karşılaştırıldığında 2030 yılına kadar net sera gazı emisyonlarını en az %55 azalmasını sağlamak için bir dizi politika geliştirmiştir. Enerji sisteminin daha çok karbondan arındırılması, 2030 ve 2050 iklim hedeflerine ulaşmak için büyük önem arz etmektedir. Ekonomik sektörlerde enerji kullanımı ve üretimi, Avrupa Birliği'nin sera gazı emisyonlarının %75'inden çoğunu oluşturmaktadır. Bu noktada ise enerji verimliliğine önem verilmesi gerekmektedir. Enerji verimliliğinin, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve diğer sürdürülebilir faktörlerin sektörler arasındaki birleşimi, karbon emisyonlarından azaltılmanın mümkün olan en düşük maliyetle gerçekleştirilmesine katkı sağlayacaktır (The European Green Deal,2019).

Bu noktada analize konu olan ülkelerde politika yapıcılar çevresel kirliliği azaltacak yeşil endüstrileri özendirmeli ve yeşil ekonomiyi sağlayacak politikalar geliştirmelidir. Bununla birlikte enerji verimliliğini artıracak enerji üretilmesi noktasında verimli teknolojiler kullanılmalıdır. Enerji tasarrufu sistemini geliştirecek önlemler almalı, enerji kullanımında bilinç sağlanmalıdır.

Etik Beyan

Bu çalışmada “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında belirtilen tüm kurallara uyulduğu beyan edilmiştir.

Etik Kurul Onayı

Araştırmanın etik kurul izni gerektirmeyen araştırmalardan olduğu beyan edilmiştir.

Çıkar Çatışması ve Finansal Katkı Beyanı

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. Kongreye katılımda TÜBİTAK BİDED 2224-B Yurt İçi Bilimsel Etkinliklere Katılımı Destekleme Programı desteğinden yararlanılmıştır.

KAYNAKÇA

Addai, Kwaku, Kirikkaleli, Dervis, Altuntaş, Mehmet, “Energy productivity and environmental degradation in the Netherlands: evidence from the novel Fourier-based estimators”, Environmental Science and Pollution Research, 30, 2023, s. 75943–75956.

- Addai, Kwaku, Kirikkaleli, Dervis, “Insights from Poland on the long-run effect of energy productivity on environmental degradation: a Fourier ARDL-based approach”, *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 2023, s.63453–63463.
- Aydin, Mücahit, Erdem, Azad, “Analyzing the Impact of Resource Productivity, Energy Productivity, and Renewable Energy Consumption on Environmental Quality in EU Countries: The Moderating Role of Productivity”, *Resources Policy*, 89, 2024, 104613.
- Bersvendsen, Tore, Ditzen, Jan, “xthst: testing for slope homogeneity in Stata”, *The Stata Journal*, 21(1), 2020, s. 51-80.
- Dumitrescu, Elena-Ivona, Hurlin, Christophe, “Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels”, *Economic Modelling*, 29 (4), 2012, s.1450–1460.
- Dünya Bankası, <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>, (01.04.2024).
- Eberhardt, Markus, Bond, Stephen, “Cross-section dependence in nonstationary panel models: A novel estimator”, MPRA Paper 17692, 2009.
- Eberhardt, Markus, Teal, Francis, “Productivity analysis in global manufacturing production” Discussion Paper 515, 2010.
- Eurostat, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_30/default/table?lang=en, (01.04.2024).
- Eyüboğlu, Kemal, Akdađ, Saffet, Özçelik, Musa, “Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Verimliliği, Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme Etkileşiminin Test Edilmesi”, *Tarsus Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(1), 2021, s. 29-36.
- Fan, Jianqing, Liao, Yuan, Yao, Jiawei, “Power enhancement in high-dimensional cross-sectional tests”, *Econometrica* 83 (4), 2015, s.1497–1541.
- Juodis, Arturas, Reese, Simon, “The incidental parameters problem in testing for remaining cross-section correlation”, *Journal of Business & Economic Statistics*. 40 (3), 2022, s. 1191–1203.
- Kirikkaleli, Dervis, “Resource efficiency, energy productivity, and environmental quality in Japan”, *Volume 85, Part B, August 2023*, 104006.
- Küresel Ayak İzi Ağı, <https://data.footprintnetwork.org/#/countryTrends?cn=5001&type=BCtot,EF Ctot>, (01.04.2024)
- Kirikkaleli, Dervis, Sowah, James Karmoh, Jr., Addai, Kwaku, Altuntaş, Mehmet, “Energy productivity and environmental quality in Sweden: Evidence from Fourier and non-linear based approaches”, *Geological Journal*, 58(9), 2023a, s.3452–3465.

- Kirikkaleli, Dervis, Karmoh Sowah, James Karmoh, Jr., Addai, Kwaku, “The asymmetric and long-run effect of energy productivity on environmental quality in Ireland”, *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 2023b, s.37691–37705.
- Kirikkaleli, Dervis, Ali, Minhaj, “Resource efficiency, energy productivity, and environmental sustainability in Germany”, *Environment, Development and Sustainability*, 26, 2024, s. 13139–13158.
- KOF (2023). KOF Globalisation Index_2023, <https://kof.ethz.ch/en/forecasts-and-indicators/indicators/kof-globalisation-index.html> (02.04.2024).
- Liu, Min, Chen, Zhonglu, Sowah, James Karmoh, Jr., Ahmed, Zahoor, Kirikkaleli, Dervis, “The dynamic impact of energy productivity and economic growth on environmental sustainability in South European countries”, *Gondwana Res*, 115, 2023, s. 116–127.
- Oğuz, İbrahim Halil, “Politik İstikrar ve Çevresel Sürdürülebilirlik”, *Uluslararası İşletme ve Ekonomi Çalışmaları Dergisi*, 1(1), s. 1-11.
- Özsoy, Ceyda Erden, Dinç, Ahmet, “Sürdürülebilir Kalkınma ve Ekolojik Ayak İzi”, *Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar*, 53(619), s. 35-55.
- Pedroni, Peter, “Panel cointegration: asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests with an application to the PPP hypothesis”, *Econometric Theory*. 20 (3), 2004, s. 597–625.
- Pesaran, Hashem M., “Estimation and inference in large heterogeneous panels with a multifactor error structure”, *Econometrica*, 74(4), 2006, s. 967–1012.
- Pesaran, Hashem M., “A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence”, *Journal of Applied Econometrics*, 22 (2), 2007, s. 265–312.
- Pesaran, Hashem M., “Testing weak cross-sectional dependence in large panels”, *Econometric Review*, 34 (6–10), 2015, s. 1089–1117.
- Pesaran, Hashem M., “General diagnostic tests for cross-sectional dependence in panels”, *Empirical Economics*, 60 (1), 2021, s.13–50.
- Pesaran, Hashem M., Xie, Yimeng, “A Bias-Corrected Cd Test for Error Cross-Sectional Dependence in Panel Data Models with Latent Factors”, *CESifo Working Paper Series 9234*, 2021, CESifo.
- Sowah, James Karmoh, Jr. Genc, Sema Yılmaz, Castanho, Rui Alexandre, Couto, Gualter, Altuntas, Mehmet, Kirikkaleli, Dervis, “The Asymmetric and Symmetric Effect of Energy Productivity on Environmental Quality in the Era of Industry 4.0: Empirical Evidence from Portugal”, *Sustainability*, 2023, 15, 4096.
- The European Green Deal, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF, 2019.

- Westerlund, Joakim, "Testing for error correction in panel data", *Oxford Bulletin Of Economics And Statistics*. 69 (6), 2007, s.709–748.
- Zhang, Xiuqin, Shi, Xudong, Khan, Yasir, Khan, Majid, Naz, Saba, Hassan, Taimoor, Wu, Chenchen, Rahman, Tahir, "The Impact of Energy Intensity, Energy Productivity and Natural Resource Rents on Carbon Emissions in Morocco", *Sustainability*, 15, 2023a, 6720.
- Zhang, Xiuqin, Shi, Xudong, Khan, Yasir, Hassan, Taimoor, Marie, Mohamed, "Carbon Neutrality Challenge: Analyse the Role of Energy Productivity, Renewable Energy, and Collaboration in Climate Mitigation Technology in OECD Economies", *Sustainability*, 15, 2023b,3447.