

**Arastırma Makalesi**

**Enerji Verimliliği ve Çevresel Vergiler İskandinav Ülkelerinde Ekolojik Ayak İzini Azaltmada Etkili mi? Panel Kantil Regresyon Analizi**

*Are Energy Efficiency and Environmental Taxes Effective in Reducing Ecological Footprint in Scandinavian Countries? Panel Quantile Regression Analysis*

**Aykut YAĞLIKARA**

Dr. Arş. Gör., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

İktisadi İdari Bilimler Fakültesi

[aykut.yaglikara@beun.edu.tr](mailto:aykut.yaglikara@beun.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0001-6728-2477>

Makale Geliş Tarihi	Makale Kabul Tarihi
14.01.2025	08.02.2025

**Öz**

Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla entegrasyon süreçlerinin hızlandığı ekonomik büyüme ve onun neden olduğu dış faktörlerin düzenlenmesi gerekmektedir. Çalışmada çevresel ölçüm göstergelerinden biri olan ekolojik ayak izi ile ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi, çevresel vergiler ve enerji verimliliği faktörleri ilişkisi İskandinav ülkelerinde 1994 - 2020 yılları arası için incelenmektedir. Çalışmanın analiz kısmında uygulanan diagnostik testlerden kesit bağımlılığı ve eğim homojenliği testleri sonucunda ikinci nesil birim kök testlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. İkinci nesil birim kök testi sonucunda birinci düzeyde durağan oldukları anlaşılan değişkenlere panel eşbütünleşme testi uygulanmış ve değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket ettikleri sonucuna ulaşılmıştır. Panel kantil regresyon sonuçlarına göre ise yenilenebilir enerji artışının yüksek kantil değerlerinde ekolojik ayak izini azalttığı, çevresel vergilerin ekolojik ayak izini yüksek kantil değerlerine doğru artan bir etki ile negatif etkilediği, enerji verimliliğinin orta kantillerde daha etkili bir biçimde ekolojik ayak izi üzerinde negatif etkisi olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Ayrıca kişi başına gelirin ekolojik ayak izini artırdığı sonucuna ulaşılmaktadır. Son olarak panel nedensellik sonuçlarına göre ekolojik ayak izi ile kişi başına gelir, yenilenebilir enerji tüketimi, çevresel vergiler arasında tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunurken, ekolojik ayak izi ile enerji verimliliği arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Verimliliği, Çevresel Vergiler, Ekolojik Ayak İzi, Panel Kantil Regresyon, İskandinav Ülkeleri

**Abstract**

In order to ensure environmental sustainability, it is necessary to regulate the economic growth accelerated by integration processes and the external factors it causes. The study examines the relationship between the ecological footprint, which is one of the environmental measurement indicators, and economic growth, renewable energy consumption, environmental taxes and energy efficiency factors for the period 1994 - 2020 in Scandinavian countries. As a result of the diagnostic tests applied in the analysis part of the study, it was decided to use second-generation unit root tests as a result of the cross-sectional dependence and slope homogeneity tests. As a result of the second-generation unit root test, the panel cointegration test was applied to the variables that were found to be stationary at the first level and it was concluded that the variables move together in the long term. According to the panel quantile regression results, it is concluded that the increase in renewable energy reduces the ecological footprint at high quantile values, environmental taxes negatively affect the ecological footprint with an increasing effect towards high quantile values, and energy efficiency has a more effective negative effect on the ecological footprint in the middle quantiles. In addition, it is concluded that per capita income increases the ecological footprint. Finally, according to the panel causality results, there is a one-way causality

**Önerilen Atıf /Suggested Citation**

Yağlıkara, A., 2025, Enerji Verimliliği ve Çevresel Vergiler İskandinav Ülkelerinde Ekolojik Ayak İzini Azaltmada Etkili mi? Panel Kantil Regresyon Analizi, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 60(1), 366-381.

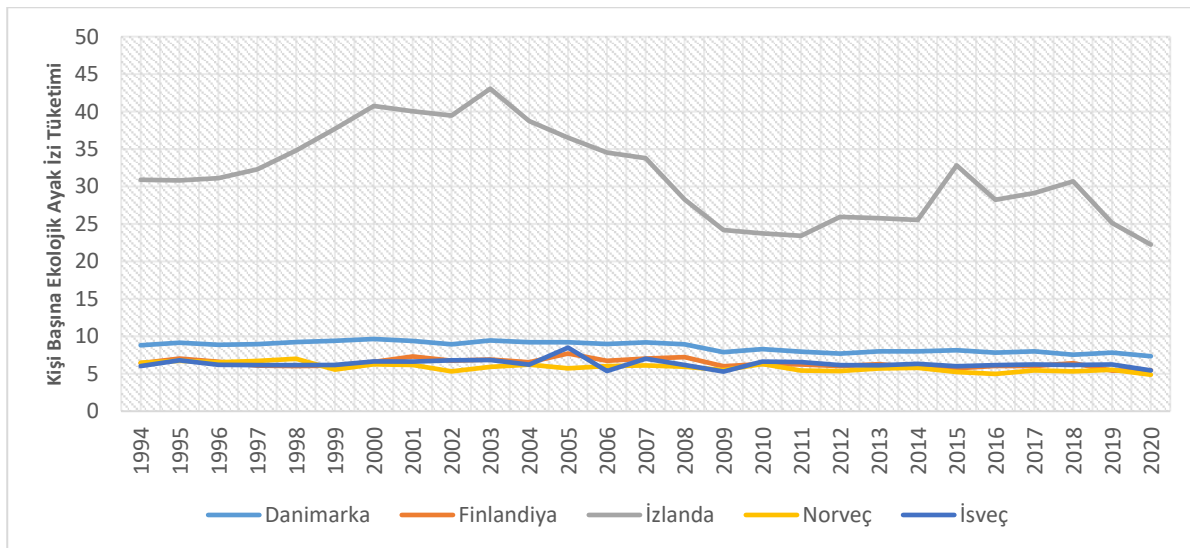
relationship between the ecological footprint and per capita income, renewable energy consumption, and environmental taxes, while there is a two-way causality relationship between the ecological footprint and energy efficiency.

**Keywords:** Energy Efficiency, Environmental Tax, Ecological Footprint, Panel Quantile Regression, Scandinavian Countries

## 1. Giriş

Birleşmiş Milletler tarafından gerçekleştirilen çok taraflı anlaşma ile ülkeler sera gazı emisyonlarının azaltılması ve çevresel bozulmanın önüne geçilmesi için bir takım ortak kararlara imza atmışlardır. Genel anlamda çevresel bozulmanın sera gazı emisyonları ile ölçülmesi, çevreyi olumsuz etkileyen faktörlerin etkilerinin daha net ve geniş kapsamlı incelenmesi için ekolojik ayak izi gibi daha kapsamlı bir göstergeye ihtiyaç duyulmaktadır (Javed, vd., 2023). Ekolojik ayak izi, insan faaliyetlerinden kaynaklanan ve belirli bir nüfus tarafından ortaya çıkarılan atıkların absorbe edilmesi ve tüketilen kaynakların yeniden üretilmesi için gerekli olan su ve kara alanlarının hesaba katılmasıyla çevresel etkinin ölçülmesi olarak kullanılmaktadır (Senbel vd., 2003; Addai vd., 2023). Aynı zamanda ekolojik ayak izi ile insanların doğaya karşı olan taleplerinin, doğadaki kaynakların tüketiminin ve insan faaliyetleri sayesinde meydana gelen atıklarının sindirimini farklı yönlerini de kapsamaktadır (Ahmed vd., 2019). Bu çalışmada ekolojik ayak izinin bağımlı değişken olarak alınması ve Gayri Safi Yurtiçi Hasıla, yenilenebilir enerji tüketimi, çevre vergileri ve enerji verimliliği ile ilişkilerinin incelenmesi istenmektedir. Bu kapsamda dünya genelinde gerçekleşen ekonomik faaliyetlerin neden olduğu kaynakların tükenmesi ve atık oluşumunun incelenmesi direkt olarak ekolojik ayak izinin ana unsurlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm bu ekonomik faaliyetlerin ölçülebilmesinin en kapsamlı ve net ölçüğü ise GSYİH olacaktır (Solarin vd., 2019; Demiral ve Demiral, 2021). Literatürde yer alan çevresel bozulma ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki genel anlamda ekonomik büyümenin ilk aşamalarında çevresel bozulmayı artırıcı nitelikte olmaktadır (Hsu, 2021). Ancak, ekonomik büyümenin devam etmesi ve ülkelerin belirli bir aşamaya gelmesinden (olgunlaşmasından) sonra uygulanan politikalar veya ekonomik faaliyetlerin meydana gelmesinde kullanılan yöntemlerin değişmesiyle birlikte çevresel bozulma ve ekonomik büyüme arasında ilişki karmaşıklaşmaktadır ("The Environmental and Resource Productivity of the Economy," 2014). Bu noktada çalışmada kullanılan diğer bir değişken olan yenilenebilir enerji tüketiminin kullanılması nedenlerden biri olmaktadır. Ekonomik büyüme isteğiyle artan üretimin enerji isteğinin fosil yakıtlardan daha çok yenilenebilir enerji tüketimine kayması gerekmektedir. Bu durum ile birlikte ekonomik büyüme ve çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi sera gazlarının emisyonunun azalması ile daha olumlu bir hale gelmektedir (Sahoo ve Sethi, 2021). Ekolojik ayak izinin en önemli bileşenlerinden biri olan karbon ayak izi de ekonomik üretimde kullanılan fosil yakıt kullanımının yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile azaltılması ile çevresel kaliteyi artırıcı etki yapacaktır (Xie ve Jamaani, 2022). Ayrıca bunlara ek olarak, yenilenebilir enerji kullanımının üretim süreçlerinde daha fazla kullanılmasıyla birlikte hem ekonomik üretim safhalarının hem de teknolojik yönden enerji sektörünün gelişmesi ile birlikte çevresel kalitenin artmasında fazladan katkı sağlayabilir (Zhou vd., 2022). Aşağıdaki Şekil 1'de İskandinav ülkelerinde ekolojik ayak izi tüketimi görülmektedir. İzlanda'nın diğer ülkelere göre çok daha yüksek ekolojik ayak izine sahip olmasına rağmen zamanla düşüş içinde olduğu anlaşılmaktadır.

**Şekil 1: İskandinav Ülkelerinde Ekolojik Ayak İzi Tüketimi**



**Kaynak:** Küresel Ayak İzi Ağı (2024)

Sektörde yer alan firmaların üretim süreçlerinde çevreyi olumsuz bir şekilde etkilemeleri çevresel bir maliyet olacak şekilde ekonomik süreçlerinde yer almaktadır. Bu süreçler içerisine çevresel vergiler şeklinde yerleştirilmesi, hem maliyet yükünün ekonomik faaliyetlere eklenmesi hem de maliyetten kurtulmak isteyen firmaların sürdürülebilir ekonomik faaliyetleri benimsemeye zorlarken, çevresel kalitenin de artmasına katkı sağlayacaktır (Freire-González, 2017). Aynı şekilde, çevresel vergiler ile eski teknolojilerin yeni (temiz) teknolojiler ile yer değiştirmesi teşvik edilir ve ekonomik faaliyetlerden kaynaklanan verimsizliğin bir noktada önüne geçilmeye çalışılmaktadır (Cui, 2024). Ancak, uygulanan çevre vergilerinin ne kadar etkili olacağı uygulayan kurumların çevre vergisini nasıl tasarladıklarına ve ne şekilde uyguladıklarına göre değişmektedir (Koçluk ve Zipperer, 2015). Son olarak, yukarıda bahsedilen şeylerden bağımsız olmayacak şekilde ekonomik büyümenin gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan enerji verimliliği konusu kaynak tüketimi ve atık üretimi konusu için önemlidir (Liu vd., 2022). Ekonomik üretim sırasında kullanılan enerji verimliliğinin artırılması, aynı üretim kapasitesinde daha az enerji ile üretimin gerçekleştirilmesini sağlayarak kaynakların tüketimini azaltır ve daha az atık üretilmesini sağlayarak çevresel kaliteyi artırıcı bir görev yapmaktadır (Chen vd., 2023). Politika yapımcıların ekonomik büyümenin sağlanmasında kullanılan enerji verimliliğinin artırılması için gerekli teknolojik inovasyonların teşvik edilmesi çevresel bozulmanın azaltılması konusunda yardımcı olacaktır (LePoire, 2014).

Bu çalışma, kişi başına gelir, yenilenebilir enerji, çevre vergisi ve enerji verimliliğinin çevresel bozulmanın ölçütlerinden biri olan ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini İskandinav (Danimarka, Finlandiya, İzlanda, Norveç ve İsveç) ülkelerinde 1994 - 2020 yılları arası için incelemektedir. İlk olarak bu çalışmada daha sonra kullanılacak testlerin belirlenmesinde yardımcı olacak yatay kesit bağımlılığı ve eğitim homojenliği testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde yatay kesit bağımlılığı ve heterojenlik durumlarında tutarlı sonuçlar veren ikinci nesil testlerden olan CIPS (Pesaran, 2006) panel birim kök, Westerlund (2007) panel eşbütünleşme, panel kantil regresyon ve Dumitrescu - Hurlin (2012) panel nedensellik testleri uygulanmıştır. Bu çalışma özelinde seçilen İskandinav ülkeleri bölgenin gelişmişlik düzeyinin yüksek olması, çevresel sürdürülebilirlik konusunda belirli aşamalara gelmiş, ekonomik politik ve teknolojik açıdan diğer bölgelerden farklı etkileşimler içinde olmasından dolayı elde edilen sonuçlarında çarpıcı olması beklenmektedir. Bu sebeple incelenen ilişki açısından seçilen ülke grubunun literatüre katkı sağlaması beklenmektedir. Ayrıca karmaşık sonuçlarla karşı karşıya kalacağımız düşünülen bu çalışmada ekonometrik yöntem olarak gelişmiş ve kapsamlı bir panel analiz yönteminin seçilmesi elde edilecek sonuçlar açısından literatüre katkı sağlaması beklenmektedir. Özellikle uzun dönem katsayı tahmincisi olarak kullanılan panel kantil regresyon analizi ile bağımsız değişkenlerin her birinin bağımlı değişken olan ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin heterojen bir şekilde farklı kantillerde görülmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca çalışmanın literatür kısmında her bir bağımsız değişkenin çevresel bozulma olan ilişkisi geniş bir şekilde yansıtılarak literatürde yer alan çevresel bozulma ve çalışma kapsamında ele alınan makro değişken ilişkilerinin sentezi oluşturulmuştur. Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde oluşmaktadır. İkinci bölüm çevre vergisi, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve kişi başına gelir çevre ilişkisini gösteren bir literatür tarama kısmından oluşmaktadır. Çalışmanın daha sonraki bölümünde analiz kısmında kullanılan yöntemlerden bahsedilmektedir. Dördüncü bölümde çalışmaya ait verilerin tanıtıldığı ve analiz sonuçlarının yer aldığı kısım bulunmaktadır. Son olarak ise çalışmaya ait sonuçların derlendiği ve elde edilen sonuçlar neticesinde ortaya sunulan politika önerileri yer almaktadır.

**2. Literatür Tarama**

Literatür tarama kısmında çevresel bozulma ve çevre vergisi, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve kişi başına gelir ilişkisi ayrı ayrı ele alınmıştır. Çevresel bozulma ve çevre vergisi, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji arasındaki ilişki genellikle literatürde negatif bir ilişkiyi yansıtmaktadır. Çevresel bozulma ve kişi başına gelir arasındaki ilişki ise genel anlamda pozitif ilişkili bir durumu göstermektedir. Literatürde bu ilişkilerin ele alındığı çalışmalar incelenerek aşağıda yer alan literatür tablosu oluşturulmuştur.

**Tablo 1: Literatür Tablosu**

Yazar	Dönem	Örnekleme	Yöntem	Bulgular
<b>Çevre Vergisi ve Çevresel Bozulma</b>				
Feng ve Li (2024)	2000 -2020	ASEAN-6	CUP-FM ve CUP-BC	ET artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.

Kartal (2024)	1995 -2020	G7 (Kanada ve İtalya hariç)	QQ, GQ, QR	ET artışı ED(LCF) artar.
Obobisa ve Ahakwa (2024)	1990 -2019	25 Avrupa Ülkesi	GMM ve Panel Kantil Regresyon	ET artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
Mehboob vd. (2024a)	1990 -2020	Çin	ARDL	ET artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
Mehboob vd. (2024b)	1990 -2021	Nükleer Enerji Kullanan 5 Ülke	CS-ARDL	ET artışı ED(EF) azalır.
Bozatlı ve Akca (2023)	1994 -2018	OECD	AMG ve CS-ARDL	ET artışı ED(EF) azalır.
Depren vd. (2023)	1994 -2020	İskandinav Ülkeleri	Panel Kantil Regresyon	ET artışı ED(CO <sub>2</sub> ) Norveç, Danimarka azalır ve Finlandiya, İsveç, İzlanda artar.
Onwe vd. (2023)	1994 -2020	G7	MMQR	ET artışı ED(EF) azalır.
Sarpong vd. (2023)	2000 -2020	E7	MMQR ve Driscoll Kraay OLS	ET artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
Hao vd. (2022)	1991 -2017	G7	CS-ARDL	ET artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
Rafique vd. (2022)	1996 -2016	29 OECD Ülkesi	DOLS ve FMOLS	ET artışı ED(EF) azalır.
Xie ve Jamaani (2022)	1990 -2020	G7	MMQR	EP artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
Chien vd. (2021a)	1970 -2015	ABD	QARDL	ET artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
Tao vd. (2021)	1995 -2018	E7	CS-ARDL	ET artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
Chien vd. (2021b)	1990 -2017	Asya Ülkeleri	CS-ARDL	ET artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
<b>Enerji Verimliliği ve Çevresel Bozulma</b>				
Aydın ve Erdem (2024)	2000 -2019	AB Ülkeleri	AMG ve CCEMG	EP artışı ED azalır.
Liu vd. (2023)	1990 -2018	Güney Avrupa Ülkeleri	AMG ve CCEMG	EP artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
Chen vd. (2023)		E7	MMQR	EP artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
Kirikaleli ve Sowah (2023)	1990 -2019	Finlandiya	NARDL	EP artışı ED azalır.
Xie ve Jamaani (2022)	1990 -2020	G7	MMQR	EP artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
<b>Yenilenebilir Enerji ve Çevresel Bozulma</b>				
Obobisa ve Ahakwa (2024)	1990 -2019	25 Avrupa Ülkesi	GMM ve Panel Kantil Regresyon	RE artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
Bozatlı ve Akca (2023)	1994 -2018	OECD Ülkeleri	AMG ve CS-ARDL	RE artışı ED(EF) azalır.
Onwe vd. (2023)	1994 -2020	G7	MMQR	RE artışı ED(EF) azalır.
Xie vd. (2022)	1985 -2019	Çin	ARDL	RE artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
Chien vd. (2021)	1990 -2017	Asya Ülkeleri	CS-ARDL	RE artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.
Adebayo vd. (2021)	1990 -2018	Şili	ARDL	RE artışı ED(CO <sub>2</sub> ) azalır.

Sinha vd. (2020)	1990 -2017	N11 Ülkeleri	Panel Regresyon	Kantil	RE artışı ED azalır.
<b>Kişi Başına GSYİH ve Çevresel Bozulma</b>					
Liu vd. (2023)	1990 -2018	Güney Avrupa Ülkeleri	AMG ve CCEMG		GDP artışı ED(CO <sub>2</sub> ) artar.
Kirikkaleli ve Sowah (2023)	1990 -2019	Finlandiya	NARDL		GDP artışı ED artar.
Sahoo ve Sethi (2021)	1990 -2016	Gelişmekte olan Ülkeler	DOLS ve FMOLS		GDP artışı ED(EF) artar.
Ahmed vd. (2019)	1971 -2014	Malezya	ARDL		GDP artışı ED(EF) artar.
Zaidi vd. (2019)	1990 -2016	APEC	CUP-BC ve CUP-FM		GDP artışı ED(CO <sub>2</sub> ) artar.
Mitic vd. (2017)	1997 -2014	17 Geçiş Ülkeleri	DOLS ve FMOLS		GDP artışı ED(CO <sub>2</sub> ) artar.
Shahbaz vd. (2017)	1970 -2014	Japonya	ARDL		GDP artışı ED artar.

**Not:** ED: Çevresel Bozulma; CO<sub>2</sub>: Karbondioksit Emisyonu; EF: Ekolojik Ayak İzi; ET: Çevre Vergisi; EP: Enerji Verimliliği; RE: Yenilenebilir Enerji; GDP: GSYİH

### 3. Yöntem

Bu çalışmada kullanılan ekonometrik yöntem ile ekolojik ayak izi üzerinde seçilen belirleyicilerin karmaşık ilişkilerinin anlaşılması amaçlanmıştır. Analiz kapsamında uygulanacak panel çalışmaya kesitsel bağımlılık testleri ve eğim homojenliği gibi diagnostik testlerle başlanmıştır. Ardından yatay kesit bağımlılığını ve eğim homojenliğini dikkate alan ikinci nesil birim kök, panel eşbütünleşme, panel kantil regresyon ve panel nedensellik testleri uygulanmıştır.

#### 3.1. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Eğim Heterojenliği Testi

Ülkeler arası artan ekonomik iş birliklerinden dolayı uygulamalarda kullanılan paneldeki ülkelerin bağımlılıklarında artış meydana gelmektedir. Bu durumu göz ardı ederek yapılan analizler sapmalı sonuçlar verecektir. Kesitler arası bağımlılığın ve heterojenliğin test edilmesi daha sonra kullanılacak olan birim kök, panel eşbütünleşme, katsayı tahminci testi ve nedensellik testlerinin belirlenmesinde gereklidir. Bu sebeple dört farklı yatay kesit bağımlılığı testine çalışmada yer verilmiştir: Breusch ve Pagan (1980) LM testi, Pesaran (2004) CDLM testi, Pesaran (2004) CD testi ve Baltagi vd. (2012) düzeltilmiş ölçekli LM testi.

Bu çalışmada kullanılan panel veri analizi kapsamında eğim homojenliğinin sınanması önemlidir. Verilerde eğim homojenliğinin testi için Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen eğim homojenliği testi kullanılmıştır. Bu test hesaplanırken her kesitin ağırlıklı eğimleri göz önünde bulundurulmaktadır. Bu durum denklem 1'de gösterilmektedir:

$$\Delta = \sqrt{N} \left( \frac{\hat{S} - (K + 1)}{\sqrt{2(K + 1)}} \right) \quad (1)$$

Burada, N kesit sayısını gösterirken K ise regresyonda yer alan değişkenlerin sayısını göstermektedir. Testin sıfır hipotezi eğim homojendir, alternatif hipotez ise eğim heterojendir şeklinde ifade edilmektedir.

#### 3.2. Birim Kök Testi

Çalışmada, analizde kullanılan değişkenlerin birim kök varlıklarının tespit edilebilmesi ve durağanlık süreçlerinin incelenbilmesi için yatay kesit ve heterojenlik durumlarında tutarlı sonuçlar verebilen ikinci nesil birim kök testlerinden olan Pesaran (2007) tarafından önerilen kesitsel artırılmış IPS testi olan CIPS testi kullanılmıştır. CIPS hesaplaması için öncelikle CADF denklemini belirtmek gerekmektedir. Bu denklem 2'de gösterilmiştir:

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \beta_i y_{i,t-1} + \gamma_{i0} \bar{y}_{t-1} + \sum_{j=0}^{p_i} \delta_{ij} \Delta y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{p_i} \lambda_{ij} \Delta \bar{y}_{t-j} + \epsilon_{it} \quad (2)$$

Burada  $\bar{y}_{t-1}$  ve  $\Delta y_{i,t-j}$  her bir kesit için serilerin gecikmeli değerini ve birinci fark değerlerini göstermektedir. CIPS hesaplaması için yukarıda gösterilen denklemin ortalamasının türetilmesi gerekmektedir. Denklem 3'te gösterilmiştir:

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CADF_i \quad (3)$$

Burada CIPS testinin sıfır hipotezi seride birim kök vardır iken, alternatif hipotez ise seride birim kök yoktur olarak ifade edilmektedir.

### 3.3. Westerlund Eşbütünlüme Testi

Çalışmada kullanılan panel kapsamında ortaya çıkan yatay kesit bağımlılığı ve heterojenlik sorunu sonucunda tutarlı sonuçlar elde edebilmek için ikinci nesil panel eşbütünlüme testlerinden olan Westerlund (2007) tarafından geliştirilen test kullanılmaktadır. Panel çalışmalarında ortak ilişkili etkiler sorununu dinamik bir modele dayandırarak hata düzeltme modeli ile çözmeye çalışılmıştır. Westerlund (2007) tarafından geliştirilen teste ait Denklem 4'te gösterilmektedir:

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i + \phi_i(Y_{i,t-1} - \beta' X_{i,t-1}) + \sum_{j=1}^p \gamma_{ij} \Delta Y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^q \delta_{ij} \Delta X_{i,t-j} + \epsilon_{it} \quad (4)$$

Bu test sonucunda Gt ve Ga olacak şekilde iki grup test istatistiği ve Pt ve Pa olacak şekilde iki panel test istatistiği sonuçları elde edilmektedir. Testlerin sıfır hipotezi eşbütünlüme yoktur, alternatif hipotezi ise eşbütünlüme vardır şeklindedir.

### 3.4. Panel Kantil Regresyon

En küçük kareler yöntemi ile elde edilen sonuçlarda normalite sorunundan dolayı sapmalı sonuçlar elde edilmektedir. Analizde kullanılan Panel Kantil Regresyon yöntemi ilk olarak Koenker ve Bassett (1978) ile geliştirilmiştir. Panel kantil regresyonunun tahmininde, herhangi bir kantil seçilerek modelin daha esnek bir biçimde kullanılarak daha tutarlı sonuçlar elde edebilmek mümkün olmaktadır. Panel kantil regresyon modeli denklem 5 ve 6'da gösterilmektedir:

$$y_i = x_i' \beta_0 + \mu_{\theta_i} \quad 0 < \theta < 1 \quad (5)$$

$$Quant_{\theta}(y_i | x_i) = x_i \beta_{\theta} \quad (6)$$

Burada  $y_i$  bağımlı değişkeni gösterirken,  $x_i$  bağımsız değişkeni temsil etmektedir.

### 3.5. Dumitrescu-Hurlin Nedensellik Testi

Panel için uzun dönem tahminlerinin ardından değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisini belirlemek için yatay kesit ve heterojenliği dikkate alan Dumitrescu ve Hurlin (2012) nedensellik testi kullanılmıştır. Bu nedensellik testine ait model Denklem 7'de gösterilmektedir.

$$Y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \beta_{i,j} Y_{i,t-k} + \sum_{k=1}^K \gamma_{i,k} X_{i,t-k} + \epsilon_{it} \quad (7)$$

Bu teste ait sıfır hipotezi değişkenler arasında nedensel bir ilişki yoktur, alternatif hipotezi ise nedensel bir ilişki vardır şeklindedir.

## 4. Veri ve Analiz Sonuçları

Bu çalışmada, beş İskandinav Ülkesinde (Danimarka, Finlandiya, İzlanda, Norveç ve İsveç) ekolojik ayak izinin azaltılmasında kişi başı gelir (GDP), yenilenebilir enerji (REN), çevre ile ilişkili vergi gelirleri (ETAX) ve enerji verimliliğinin (EPRO) etkinliği 1994-2020 dönemi için incelenmiştir. Çalışmanın dönemi, diğer değişkenler daha geniş bir veri aralığına sahip olmasına rağmen, ETAX için veri bulunabilirliğine uyması için 1994-2020 arasına ayarlanmıştır. EF, modele bağımlı değişken olarak dahil edilmiştir. EF göstergesi çevresel kirliliği temsilen kullanılmıştır. Tüm değişkenler logaritma biçiminde kullanılmıştır. Tablo 2, veri açıklamasını ve kaynaklarını göstermektedir.

**Tablo 2: Değişkenler ve Veri Kaynakları**

Değişkenler	Sembol	Birim	Kaynak
Ekolojik Ayak İzi	EF	Kişi başına toplam ekolojik ayak izi tüketimi	Global Footprint Network
GSYİH	GDP	Kişi başına GSYİH (sabit 2015 US\$)	Dünya Bankası
Yenilenebilir Enerji	REN	Yenilenebilir enerji tüketimi (% toplam nihai enerji tüketimi)	Dünya Bankası
Çevre ile İlgili Vergi Gelirleri	ETAX	GSYİH oranı (%)	OECD
Enerji Verimliliği	EPRO	ABD doları cinsinden ton başına petrol eşdeğeri (sabit fiyatlar, 2015)	OECD

Çalışmanın parametreleri tanımlayıcı bir değerlendirme kullanılarak Tablo 3'de özetlenmiştir. Gösterilen tablo çeşitli parametreler için istatistiksel ölçümleri göstermektedir. Ortalama değer en yüksek GDP değişkeninde ortaya çıkarken, ortalama için en küçük değer ise ETAX değişkeninde görülmektedir. EF'nin 0.6386 değeriyle en büyük standart sapmaya sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık, GDP ile ilişkili ölçüm 0,2328 değeriyle en düşük standart sapmayı göstermektedir. Mevcut araştırmaya dayanarak, REN'in en düşük çarpıklık seviyesini, EF faktörünün ise en yüksek oynaklığa sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, tüm parametrelerin pozitif aşırı basıklık gösterdiği görülmektedir.

**Tablo 3: Tanımlayıcı İstatistikler**

	EF	GDP	REN	ETAX	EPRO
Ortalama	2,207073	10,81442	3,677052	1,075334	8,917393
Ortanca	1,906575	10,80450	3,799974	1,054312	9,043701
En Büyük	3,762362	11,24782	4,417635	1,678964	9,888300
En Küçük	1,583094	10,26856	1,987874	0,598837	7,825561
Std. Sapma	0,638609	0,227415	0,560592	0,252080	0,507212
Çarpıklık	1,362292	0,168590	-1,292046	0,542189	-0,394862
Basıklık	3,244474	2,686555	4,392706	2,772162	2,413495
Olasılık (P)	0,000000	0,550970	0,000000	0,031646	0,065775
Gözlem (N)	135	135	135	135	135

Paneldeki ülkeler arasında coğrafi yakınlık ve karşılıklı ilişkiden dolayı bağımlılık vardır. Bu nedenle, panel verileri kesitsel bağımlılığa neden olabilir. Bu, durum mekânsal veya gözlemlenemeyen ortak faktörler nedeniyle ortaya çıkabilir. Kesitsel bağımlılığın varlığını göz ardı etmek, standart panel tahmin edicilerinin tarafsızlık ve tutarlılık özelliklerini etkileyebilir. Mevcut literatürde çeşitli kesitsel bağımlılık testleri mevcuttur. Sağlamlığı elde etmek için, mevcut çalışma, kesitsel bağımlılığı doğrulamak için Breusch ve Pagan (1980) LM, Pesaran (2007) ölçekli LM, Pesaran hata düzeltmeli ölçekli LM (2007) ve Pesaran CD (2007) testleri olmak üzere dört farklı test kullanmıştır. Tablo 4, kesitsel bağımlılık test sonuçlarını göstermektedir. Dört test istatistiğinin olasılık değerleri, kesitsel bağımsızlığın sıfır hipotezini reddeder. Çalışma sonuçları, kesitsel bağımlılığın varlığını açıkça göstermiştir. Ayrıca, Tablo 3, eğim homojenliği testinin sonuçlarını göstermektedir. Pesaran ve Yamagata'nın (2008) eğim homojenliği testi uygulanarak elde edilen sonuçlara göre, EF, GDP, REN, ETAX ve EPRO ampirik olarak %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Değişkenlerin homojen olduğunu varsayan ve bunun yerine içsel olarak heterojen olduklarını gösteren sıfır hipotezi ( $H_0$ ) reddedilmiştir.

**Tablo 4: Yatay Kesit Bağımlılığı ve Eğim Heterojenliği Testleri Sonuçları**

Değişkenler	Breusch-Pagan LM	Pesaran ölçekli LM	Hata-düzeltilmeli ölçekli LM	Pesaran CD
EF	82,14254***(0,000)	16,13156***(0,000)	16,03541***(0,000)	8,56476***(0,000)
GDP	254,7541***(0,000)	54,72867***(0,000)	54,63252***(0,000)	15,96030***(0,000)
REN	155,2244***(0,000)	32,47317***(0,000)	32,37702***(0,000)	7,83951***(0,000)
ETAX	128,3708***(0,000)	26,46851***(0,000)	26,37236***(0,000)	10,54530***(0,000)
EPRO	157,8873***(0,000)	33,06860***(0,000)	32,97245***(0,000)	4,79130***(0,000)
Heterojenlik testi	Stat.		Olasılık	
$\tilde{\Delta}$	3,653		0,000***	
$\tilde{\Delta}_{adjusted}$	4,142		0,000***	

Not: \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılık seviyesini açıklar.

Değişkenler için uygulanan birim kök testlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 5’te sunulmuştur. Değişkenlerin kesitsel bağımlılığa sahip olmalarından dolayı, birinci nesil birim kök testlerinin kullanılması yanlış sonuçlar verebileceğinden, çalışmada ikinci nesil panel birim kök testi, yani Pesaran (2007) tarafından önerilen CIPS testi kullanılmıştır. CIPS'ten elde edilen sonuçlara göre, tüm değişkenlerin birinci farkta durağan hale geldikleri görülmektedir. Bir başka deyişle EF, GDP, REN, ETAX ve EPRO birinci farkta bütünleşiktir I(1).

**Tablo 5: Birim Kök Test Sonuçları**

Değişkenler	İkinci Nesil CIPS	
	Düzy	Farklar
EF	0,335 (0,335)	-2,565*** (0,005)
GDP	-0,208 (0,418)	-2,123** (0,017)
REN	1,883 (0,970)	-2,514*** (0,006)
ETAX	0,189 (0,575)	-1,332* (0,091)
EPRO	-0,800 (0,212)	-1,791** (0,037)

Not: \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılık seviyesini açıklar.

Westerlund (2007) tarafından geliştirilen panel eşbütünleşme testinin sonuçları Tablo 6’da gösterilmektedir. Bu eşbütünleşme yöntemi, değişkenler arasında uzun vadeli ilişkilerin varlığını tespit etmek için istatistiksel analiz gerçekleştirmektedir. Test sonuçları hem grup hem de panel istatistik veri setlerinde gözlemlendiği gibi uzun vadeli ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı kanıtlarını sağlar. Özellikle, Grup  $\tau$ -istatistik ( $G\tau$ ), Grup  $a$ -istatistik ( $G_a$ ), Panel  $\tau$ -istatistik ( $P\tau$ ) ve Panel  $a$ -istatistik ( $P_a$ ), geniş aralıkta eşbütünleşmenin sağlam göstergelerini göstermektedir. Dört test istatistik değeri için de kesit bağımlılığı durumunda daha sağlıklı sonuçlar veren robust olasılık değerleri istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır ve eşbütünleşme yoktur sıfır hipotezini reddetmektedir. Bu bulgular, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığını göstermektedir.

**Tablo 6: Westerlund Panel Eşbütünleşme Sonuçları**

İstatistik	Değer	p-değeri	Robust p-değeri
CO2= GDP, REN, ETAX, EPRO			
$G\tau$	-4,576	0,000	0,020**
$G_a$	-13,120	0,154	0,030**
$P\tau$	-9,266	0,000	0,060*
$P_a$	-12,276	0,030	0,090*

Not: \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılık seviyesini açıklar.



Tablo 7’deki sonuçlar, GDP ile EF arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu ilişki özellikle orta kantillerde (3., 4., 5., 6.) belirgindir. Bu sonuç, kişi başına gelir artışının İskandinav ülkelerinde ekolojik ayak izini artırdığını göstermektedir. REN, ise yüksek kantillerde (6., 7., 8., 9.) istatistiksel olarak EF üzerindeki etkisinde anlamlı sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu sonuca göre yenilenebilir enerji kullanımının artışı ekolojik ayak izini azaltmaktadır. ETAX ise 1. Kantil hariç diğer bütün kantillerde EF ile istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç ortaya koymaktadır. Ayrıca kantil değerleri arttıkça çevresel vergilerin çevre üzerindeki etkisi artmaktadır. Bu bulguya göre, çevresel vergiler İskandinav ülkelerinde ekolojik ayak izini azaltmada etkili olmaktadır. Son olarak EPRO ve EF arasındaki ilişki 1. Kantil dışında kantillerin hepsinde istatistiksel anlamlı sonuçlar vermektedir. Bu sonuçlara göre enerji verimliliğinin artması ekolojik ayak izini azaltıcı etki yapmaktadır.

**Tablo 7: Panel Kantil Regresyon Sonuçları**

Değişkenler	Panel Kantil Tahminleri								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
GDP	0,511 (0,140)	0,915 (0,065)	1,398 (0,014)	1,466 (0,006)	1,171 (0,021)	0,995 (0,052)	0,363 (0,504)	0,338 (0,456)	0,399 (0,338)
REN	-0,230 (0,271)	-0,275 (0,148)	-0,363 (0,087)	-0,275 (0,451)	-0,126 (0,747)	-0,613 (0,027)	-0,400 (0,038)	-0,399 (0,008)	-0,485 (0,001)
ETAX	-0,520 (0,125)	-0,708 (0,054)	-0,837 (0,065)	-1,270 (0,071)	-1,718 (0,013)	-2,289 (0,000)	-1,636 (0,000)	-1,606 (0,000)	-1,702 (0,000)
EPRO	-0,502 (0,309)	-0,978 (0,095)	-1,559 (0,009)	-1,628 (0,001)	-1,366 (0,000)	-1,149 (0,000)	-1,107 (0,000)	-1,105 (0,000)	-1,098 (0,000)

Bu çalışmada, seçilmiş değişkenler arasındaki nedensellik bağlantısını incelemek için Dumitrescu-Hurlin (2012) panel nedensellik testi uygulanmıştır. Dumitrescu-Hurlin testi, paneller arasında kesitsel bağımlılık ve heterojenlik oluşturduğu için geleneksel nedensellik tekniklerine kıyasla panel veri analizi için avantajlıdır. Değişkenler arasındaki nedensel bağlantılara ilişkin panel nedensellik testi bulguları Tablo 8’de bildirilmiştir. Tablodaki sonuçlara dayanarak, GDP’den EF’ye, REN’den EF’ye ve ETAX’dan EF’ye doğru tek yönlü nedensellik olduğu görülmektedir. Yalnızca EF ve EPRO arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu bulunmuştur.

**Tablo 8: Dumitrescu Hurlin Panel Nedensellik Testi Sonuçları**

Çift	Boş Hipotez: Nedensellik Yok	İstatistikler			Karar
		W-bar	Z-bar	Olasılık	
1	EF ve GDP	5,2945	6,7902	0,000***	Tek Yönlü
	GDP ve EF	0,9457	-0,0859	0,931	
2	EF ve REN	5,2309	6,6896	0,000***	Tek Yönlü
	REN ve EF	0,6409	-0,5679	0,570	
3	EF ve ETAX	8,5259	11,8994	0,000***	Tek Yönlü
	ETAX ve EF	0,8093	-0,3015	0,763	
4	EF ve EPRO	4,0009	4,7449	0,000***	Çift Yönlü
	EPRO ve EF	2,1448	1,8101	0,070*	

Not: \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılık seviyesini açıklar.

## 5. Sonuçlar ve Politika Önerileri

Ekonomik entegrasyon ile birlikte ekonomik faaliyetlerin hızlanması, fosil kaynak tüketimi ile birlikte çevre üzerinde artan bir baskı yaratmaya başlamıştır. Bu anlamda ülkelerin çevresel sürdürülebilirliği korumak amacıyla bazı makro ekonomik faktörleri çevresel bozulmayı azaltıcı etki yapacak şekilde düzenlemeleri

gerekmektedir. Bu çalışma ile İskandinav ülkelerinde 1994 - 2020 yılları arası dönem için ekolojik ayak izi ile kişi başına gelir, çevre vergileri, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği arasındaki ilişkinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yöntem kısmında, kesit birimlerin arasında bağımlılık olup olmadığını inceleyen dört farklı yatay kesit bağımlılığı testine yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar dahilinde modelde yer alan kesitler arasında ortak şoklar veya dışsal etkilerden dolayı bağımlılık olduğu ortaya çıkmıştır. Ardından Peseran ve Yamagata (2008) eğim homojenliği testi ile regresyon katsayılarının tüm kesitlerde aynı etkiyi gösterip göstermediği araştırılmıştır. Sonuçlara göre regresyon katsayılarının heterojen olduğu ve kesitler arasında farklı etkiler gösterdiği elde edilmiştir. Daha sonra uygulanacak testlerde bu iki durum dikkate alınarak analizin devam ettirilmesi sonuçların daha tutarlı olmasına yardımcı olmuştur. Bu kapsamda uygulanan ikinci nesil birim kök test sonuçlarına göre birinci dereceden durağan oldukları anlaşılan değişkenlerin uzun dönemde ki hareketlerinin incelenmesi için Westerlund (2007) panel eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre ise serilerin uzun dönemde birlikte hareket ettikleri anlaşılmaktadır. Modelin uzun dönem katsayılarının tahmini için ise değişkenler arasındaki ilişkilerin farklı kantillerde incelenmesi ile bağımlı değişken üzerindeki heterojen etkilerin de incelenmesi sağlanmıştır. Kişi başına GSYİH ile ekolojik ayak izi arasında ilişki düşük ve orta kantillerde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkili bir sonuç ortaya koymaktadır. Mitic vd. (2017); Lui vd. (2023); Kirikkaleli ve Sowah (2023) çalışmalarında sunulan ekonomik büyümenin çevresel bozulmayı artırdığı sonuçları elde edilen sonucu desteklemektedir. Yenilenebilir enerji ve ekolojik ayak izi arasındaki ilişki ise Bozatlı ve Akca (2023); Onwe vd. (2023); Obobisa ve Ahakwa (2024) yenilenebilir enerji kullanımının çevresel bozulmayı azalttığını savunan çalışmalar ile benzer yönde bulgular sunmaktadır. Çevresel vergilerin ekolojik ayak izini azalttığı sonuçları da Mehboob vd. (2024); Hao vd. (2021) ve Doğan vd. (2022) çalışmalarının bulguları ile desteklenmektedir. Çalışmadan elde edilen enerji verimliliğinde ki artışın ekolojik ayak izini azalttığına dair bulgular Chen vd. (2023); Umar vd. (2024); Xie ve Jamaani (2022) çalışmalarından elde edilen sonuçlar tarafından da desteklenmektedir. Ayrıca analizin son kısmında uygulanan Dumitrescu-Hurlin Panel nedensellik testi sonuçlarına göre ekolojik ayak izi ve enerji verimliliği değişkeni arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi varken, diğer değişkenler ile ekolojik ayak izi arasında tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu görülmektedir.

Ekonomik faaliyetler artarken çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için ekonomik büyümenin çevre üzerindeki olumsuz etkisinden arındırılması gerekmektedir. Bu nedenle çalışma genelinde ele alınan değişkenlerden kişi başına gelir artışının çevresel bozulmayı hızlandırıcı etkisi; yenilenebilir enerji, çevre vergisi ve enerji verimliliğinin İskandinav ülkelerinde çevresel kaliteyi artırıcı etkisi politika yapıcılar için yol gösterici sonuçlar vermektedir. İlk olarak ekonomik büyümenin sağlanabilmesi için gerekli olan enerji ihtiyacının fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması bu ülkelerde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için gerekli görülmektedir. Yenilenebilir enerji yatırımlarının teşvik edilmesi ve temiz enerji finansmanının sağlanması hem çevre açısından yararlı olacak hem de enerji sektöründeki teknolojik gelişimin devamı için gereklidir. Ayrıca enerji verimliliğinde artış kaynak verimliliğini artırarak doğal kaynakların kullanımının ve atık miktarının azaltılması ile çevreye olumlu etki yaptığı planlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımı ve enerji verimliliği gibi çevre için iki olumlu faktörün yanı sıra politika yapıcılar tarafından çevresel düzenlemelerin de yürürlüğe konması çevresel kalitenin artırılmasında yardımcı olacaktır. Çevresel düzenlemelerinin en önemlilerinden olan çevre vergilerinin, çevresel maliyeti direkt olarak firmaya yüklemesi bu düzenleme türünün etkinliğini artırmaktadır. Bu nedenle optimum bir vergi seviyesi belirlenerek uygulanan düzenlemeden maksimum verim alınması hedeflenmelidir. Bu çalışmayı daha ileriye taşıyabilmek için sektörel bazda çevresel vergi uygulamaları ile çevresel bozulma arasındaki ilişki araştırılıp, uygulanacak çevresel düzenleme politikalarının daha etkin bir şekilde uygulanması sağlanabilir.

### Kaynakça

- Addai, K., Serener, B., & Kirikkaleli, D. (2023). Can Environmental Sustainability Be Decoupled from Economic Growth? Empirical Evidence from Eastern Europe Using the Common Correlated Effect Mean Group Test. *Regional Sustainability*, 4(1), 68. <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2023.03.003>.
- Adebayo, T. S., Udemba, E. N., Ahmed, Z., & Kirikkaleli, D. (2021). Determinants of Consumption-Based Carbon Emissions in Chile: An Application of Non-Linear ARDL. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(32), 43908–43922. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13830-9>.
- Ahmed, Z., Wang, Z., Mahmood, F., Hafeez, M., & Ali, N. (2019). Does Globalization Increase the Ecological Footprint? Empirical Evidence from Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research International*, 26(18), 18565–18582. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05224-9>.

- Aydin, M., & Erdem, A. (2024). 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, 104613, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104613>.
- Baltagi, B. H., Feng, Q., & Kao, C. (2012). A Lagrange Multiplier Test for Cross-Sectional Dependence In A Fixed Effects Panel Data Model. *Journal of Economics*, 170(1), 164e177.
- Bozatli, O., & Akca, H. (2023). The Effects of Environmental Taxes, Renewable Energy Consumption and Environmental Technology on the Ecological Footprint: Evidence from Advanced Panel Data Analysis, *Journal of Environmental Management*, 345, 118857, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118857>.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and Its Applications to Model Specification in Econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239e253.
- Chen, F., Wang, Q. S., Umar, M., & Zheng, L. (2023). Towards Sustainable Resource Management: The Role of Governance, Natural Resource Rent and Energy Productivity, *Resources Policy*, 85(A), 104026, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104026>.
- Chen, W., Alharthi, M., Zhang, J., & Khan, I. (2023). The Need for Energy Efficiency and Economic Prosperity in a Sustainable Environment. *Gondwana Research*, 127, 22-35. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.03.025>.
- Cheng, G., Zhao, C., Iqbal, N., Gülmez, Ö., Işik, H., & Kirikkaleli, D. (2021). Does Energy Productivity and Public-Private Investment In Energy Achieve Carbon Neutrality Target of China?, *Journal of Environmental Management*, 298, 113464. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113464>.
- Chien, F., Ananzeh, M., AbouBakar, F. M., Vu, H. M., & Ngo, T. Q. (2021). The Effects of Green Growth, Environmental-Related Tax, and Eco-Innovation towards Carbon Neutrality Target in The US Economy, *Journal of Environmental Management*, 299, 113633, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113633>.
- Chien, F., Sadiq, M., Nawaz M. A., Hussain M. S., Tran T. D., & Le Thanh, T. (2021). A Step Toward Reducing Air Pollution in Top Asian Economies: The Role of Green Energy, Eco-Innovation, and Environmental Taxes. *Journal of Environmental Management*, 297, 113420. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113420>.
- Cui, G. (2024). How Do Environmental Taxes Affect the Environmental Investment of High-Emission Enterprises: Evidence From China, *Journal of Environmental Management*, 370, 122629. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122629>.
- Demiral, M., & Demiral, Ö. (2021). Where Is the Gray Side of Green Growth? Theoretical Insights, Policy Directions, and Evidence from A Multidimensional Approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(45), 63905. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13127-x>.
- Depren, Ö., Kartal, M. T., Ayhan, F., & Depren, S. K. (2023). Heterogeneous Impact of Environmental Taxes on Environmental Quality: Tax Domain Based Evidence from The Nordic Countries by Nonparametric Quantile Approaches, *Journal of Environmental Management*, 329, 117031, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117031>.
- Doğan, B., Chu, L. K., Ghosh, S., Truong, H. H. D., & Balsalobre-Lorente, D., (2022). How Environmental Taxes and Carbon Emissions Are Related in the G7 Economies? *Renewable Energy*, 187, 645-656, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.077>.
- Dumitrescu, E. I., & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger Non-Causality in Heterogeneous Panels. *Economic Modelling*, 29, 1450-1460. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.02.014>.
- Feng, H. & Li, Y. (2024). The Role of Fintech, Natural Resources, Environmental Taxes and Urbanization on Environmental Sustainability: Evidence from the Novel Panel Data Approaches, *Resources Policy*, 92, 104970, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104970>.
- Freire-González, J. (2018). Environmental Taxation and The Double Dividend Hypothesis in CGE Modelling Literature: A Critical Review, *Journal of Policy Modelling*, 40(1), 194-223. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2017.11.002>.
- Global Footprint Network. (2024). *National footprint accounts: Ecological Footprint and Biocapacity*. <https://data.footprintnetwork.org>.

- Haider Zaidi, S. A., Zafar, M. W., Shahbaz, M., & Hou, F. (2019). Dynamic Linkages Between Globalization, Financial Development and Carbon Emissions: Evidence From Asia Pacific Economic Cooperation Countries. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.210>.
- Hao, L. N., Umar, M., Khan, Z., & Ali, W. (2021). Green Growth and Low Carbon Emission in G7 Countries: How Critical The Network of Environmental Taxes, Renewable Energy and Human Capital Is?, *Science of the Total Environment*, 752, 141853, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141853>.
- Hsu, C. C., Zhang, Y. Q., Ch, P., Aqdas, R., Chupradit, S., & Nawaz, A. (2021). A Step towards Sustainable Environment in China: The Role of Eco-Innovation Renewable Energy and Environmental Taxes, *Journal of Environmental Management*, 299, 113609, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113609>.
- Hsu, T. K. (2021). The Effect of Renewable Energy on Carbon Dioxide Emission in Taiwan: Quantile Mediation Analysis. *Science Progress*, 104(3). <https://doi.org/10.1177/00368504211058557>.
- Hu, B., Alola, A. A., Tauni, M. Z., Adebayo, T. S., & Abbas, S. (2023). Pathway to Cleaner Environment: How Effective Are Renewable Electricity and Financial Development Approaches?, *Structural Change and Economic Dynamics*, 67, 277-292, <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2023.08.003>.
- 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, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122534>.
- Kartal, M. T. (2024). Impact of Environmental Tax on Ensuring Environmental Quality: Quantile-Based Evidence from G7 Countries, *Journal of Cleaner Production*, 440, 140874, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140874>.
- Kihombo, S., Ahmed, Z., Chen, S., Adebayo, T. S., & Kirikkaleli, D. (2021). Linking Financial Development, Economic Growth, and Ecological Footprint: What is the Role of Technological Innovation? *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(43), 61235–61245. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14993-1>.
- Kirikkaleli, D., & Sowah, J.K. (2023). The Asymmetric and Long Run Effect of Energy Productivity on Quality of Environment in Finland, *Journal of Cleaner Production*, 383, 135285. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135285>.
- Kirikkaleli, D., Addai, K., & Castanho, R.A. (2023). Energy Productivity, Financial Stability, and Environmental Degradation in an Eastern European Country: Evidence from Novel Fourier Approaches, *Heliyon*, 9(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18073>.
- Koenker, R. ve Bassett, G. (1982). Robust Tests of Heteroscedasticity Based on Regression Quantiles. *Econometrica*, 50(1), 43-61.
- Koçluk, T., & Zipperer, V. (2015). Environmental Policies and Productivity Growth: A Critical Review of Empirical Findings. *Research Papers in Economics*, 2014(1), 155. <https://doi.org/10.1787/5k3w725lhgf6-en>.
- LePoire, D. (2014). Review of Potential Characterization Techniques in Approaching Energy and Sustainability. *Sustainability*, 6(3), 1489. <https://doi.org/10.3390/su6031489>.
- Li, P., Lin, Z., Du, H., Feng, T., & Zuo, J. (2021). Do Environmental Taxes Reduce Air Pollution? Evidence From Fossil-Fuel Power Plants in China, *Journal of Environmental Management*, 295, 113112, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113112>.
- Lin, B., & Jia, Z. (2018). The Energy, Environmental and Economic Impacts of Carbon Tax Rate and Taxation Industry: A CGE based Study in China, *Energy*, 159, 558-568, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.167>.
- Liu, M., Chen, Z., Sowah, J.K., Ahmed, Z. and Kirikkaleli, D. (2023). The Dynamic Impact of Energy Productivity and Economic Growth on Environmental Sustainability in South European Countries, *Gondwana Research*, 115, 116-127, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.11.012>.
- Mehboob, M. Y., Ma, B., Mehboob, M. B., & Zhang, Y. (2024a). Does Green Finance Reduce Environmental Degradation? The Role of Green Innovation, Environmental Tax, and Geopolitical Risk in China, *Journal of Cleaner Production*, 435, 140353, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140353>.

- Mehboob, M. Y., Ma, B., Sadiq, M., & Mehboob, M.B. (2024b). How Do Nuclear Energy Consumption, Environmental Taxes, and Trade Globalization Impact Ecological Footprints? Novel Policy Insight from Nuclear Power Countries, *Energy*, 313, 133661. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133661>.
- Mensah, C. N., Long, X., Boamah, K. B., Bediako, I. A., Dauda, L., & Salman, M. (2018). The Effect of Innovation on CO2 Emissions of OCED Countries From 1990 to 2014. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(29), 29678–29698. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2968-0>.
- Mitić, P., Munitlak Ivanović, O., & Zdravković, A. (2017). A Cointegration Analysis of Real GDP and CO2 Emissions in Transitional Countries. *Sustainability*, 9(4), 568. <https://doi.org/10.3390/su9040568>.
- Obobisa, E. S. & Ahakwa, I. (2024). Stimulating the Adoption of Green Technology Innovation, Clean Energy Resources, Green Finance, and Environmental Taxes: The Way to Achieve Net Zero CO2 Emissions in Europe?, *Technological Forecasting and Social Change*, 205, 123489, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123489>.
- Onwe, J. C., Bandyopadhyay, A., Hamid, I., Rej, S., & Hossain, Md. E. (2023). Environment Sustainability through Energy Transition and Globalization in G7 Countries: What Role Does Environmental Tax play?, *Renewable Energy*, 218, 119302, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119302>.
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2024). *Energy data*. <https://data.oecd.org/energy.htm>.
- Pesaran, M. H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. CESifo Working Papers No. 1233, 255e260.
- Pesaran, M. H. (2007). A Simple Panel Unit Root Test in The Presence of Cross-Section Dependence. *Journal of Applied Economics*, 22(2), 265e312.
- Pesaran, M. H. ve Yamagata, T. (2008). Testing Slope Homogeneity in Large Panels. *Journal of Econometrics*, 142, 50-93.
- Rafique, M. Z., Fareed, Z., Ferraz, D., Ikram, M., & Huang, S. (2022). Exploring The Heterogenous Impacts of Environmental Taxes on Environmental Footprints: An Empirical Assessment from Developed Economies, *Energy*, 238(A), 121753. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121753>.
- Safi, A., Chen, Y., Wahab, S., Zheng, L., & Rjoub, H. (2021). Does Environmental Taxes Achieve the Carbon Neutrality Target of G7 Economies? Evaluating The Importance of Environmental R&D, *Journal of Environmental Management*, 293, 112908, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112908>.
- Sahoo, M., & Sethi, N. (2021). The Intermittent Effects of Renewable Energy on Ecological Footprint: Evidence from Developing Countries. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(40), 56401–56417. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14600-3>.
- Sarpong, K. A., Xu, W., Gyamfi, B. A., & Ofori, E. K. (2023). A Step towards Carbon Neutrality in E7: The Role of Environmental Taxes, Structural Change, and Green Energy, *Journal of Environmental Management*, 337, 117556, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117556>.
- Senbel, M., McDaniels, T. L., & Dowlatabadi, H. (2003). The ecological footprint: a non-monetary metric of human consumption applied to North America, *Global Environmental Change*, 13(2), 83. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(03\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(03)00009-8).
- Shahbaz, M., Shahzad, S. J. H., & Mahalik, M. K. (2017). Is Globalization Detrimental to CO2 Emissions in Japan? New Threshold Analysis. *Environmental Modeling & Assessment*. doi:10.1007/s10666-017-9584-0.
- Sinha, A., Sengupta, T., & Alvarado, R. (2020). Interplay Between Technological Innovation and Environmental Quality: Formulating the SDG Policies For Next 11 Economies, *Journal of Cleaner Production*, 242, 118549, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118549>.
- Solarin, S. A., Tiwari, A. K., & Bello, M. O. (2019). A Multi-country Convergence Analysis Of Ecological Footprint And its Components, *Sustainable Cities and Societies*, 46, 101422. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101422>.



- Tao, R., Umar, M., Naseer, A., & Razi, U. (2021). The Dynamic Effect of Eco-Innovation and Environmental Taxes on Carbon Neutrality Target In Emerging Seven (E7) Economies, *Journal of Environmental Management*, 299, 113525, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113525>.
- The Environmental and Resource Productivity of the Economy. (2014). In OECD Green Growth Studies (p. 53). Organization for Economic Cooperation and Development. <https://doi.org/10.1787/9789264202030-7-en>.
- The World Bank. (2024). *World development indicators*. <https://data.worldbank.org>.
- Umar, M., Mirza, N., Umar, Z., & Sokolova, T. (2024). Green Recovery in BRICS Economies: The Role of Mineral Resources, Energy Productivity, and Green Innovation in Sustainable Development, *Resources Policy*, 98, 105353. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105353>.
- Usman, M., & Hammar, N. (2021). Dynamic Relationship between Technological Innovations, Financial Development, Renewable Energy, and Ecological Footprint: Fresh Insights Based on The STIRPAT Model for Asia Pacific Economic Cooperation Countries. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(12), 15519–15536. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11640-z>.
- Vera, S., & Sauma, E. (2015). Does A Carbon Tax Make Sense in Countries with Still a High Potential for Energy Efficiency? Comparison between the Reducing-Emissions Effects of Carbon Tax and Energy Efficiency Measures in The Chilean Case, *Energy*, 88, 2015, 478-488, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.067>.
- Westerlund, J., (2007). Testing for Error Correction in Panel Data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69, 709–748. <http://dx.doi.org/10.1002/jae.951>.
- Xie, O., Adebayo, T. S., Irfan, M., & Altuntaş, M. (2022). Race to Environmental Sustainability: Can Renewable Energy Consumption and Technological Innovation Sustain the Strides for China? *Renewable Energy*, 197, 320-330, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.138>.
- Xie, P., & Jamaani, F. (2022). Does Green Innovation, Energy Productivity and Environmental Taxes Limit Carbon Emissions in Developed Economies: Implications for Sustainable Development, *Structural Change and Economic Dynamics*, 63, 66-78, <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2022.09.002>.
- Yang, J.H., Huang, H., Sanyal, S., Khan, S., Alam, M.M., & Murshed, M. (2023). Heterogeneous Effects of Energy Productivity Improvement on Consumption-Based Carbon Footprints in Developed and Developing Countries: The Relevance of Improving Institutional Quality, *Gondwana Research*, 124, 61-76, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.06.013>.
- Zhou, X., Jia, M., Altuntaş, M., Kırıkkaleli, D., & Hussain, M. (2022). Transition to Renewable Energy and Environmental Technologies: The Role of Economic Policy Uncertainty In Top Five Polluted Economies. *Journal of Environmental Management*, 313, 115019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115019>.

**Research Article**

**Enerji Verimliliği ve Çevresel Vergiler İskandinav Ülkelerinde Ekolojik Ayak İzini Azaltmada Etkili mi? Panel Kantil Regresyon Analizi**

*Are Energy Efficiency and Environmental Taxes Effective in Reducing Ecological Footprint in Scandinavian Countries? Panel Quantile Regression Analysis*

**AYKUT YAĞLIKARA**

Dr. Arş. Gör., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

İktisadi İdari Bilimler Fakültesi

[aykut.yaglikara@beun.edu.tr](mailto:aykut.yaglikara@beun.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0001-6728-2477>

**Extensive Summary**

In general, measuring environmental degradation through greenhouse gas emissions necessitates a more comprehensive indicator, such as the ecological footprint, to more clearly and broadly examine the impacts of factors negatively affecting the environment (Javed et al., 2023). In the literature, the relationship between environmental degradation and economic growth is generally characterized by an increase in environmental degradation during the early stages of economic growth (Hsu, 2021). However, with the continuation of economic growth and the change in policies or methods used in economic activities after countries reach a certain stage (mature), the relationship between environmental degradation and economic growth becomes complex (“The Environmental and Resource Productivity of the Economy,” 2014). At this point, the use of renewable energy consumption, which is another variable used in the study, becomes one of the reasons. The shift in energy demand from fossil fuels to renewable energy consumption, driven by the desire for economic growth and increased production, makes the relationship between economic growth and environmental degradation more positive through the reduction of greenhouse gas emissions (Sahoo and Sethi, 2021). The placement of environmental taxes within the dynamic economic processes of firms in the sector, as a way to account for the negative impacts of their production processes on the environment, will not only add a cost burden to economic activities but also encourage firms seeking to avoid these costs to adopt sustainable economic practices, thereby contributing to the improvement of environmental quality (Freire-González, 2017). Increasing the efficiency of energy used during economic production reduces resource consumption by enabling production with less energy at the same production capacity and contributes to environmental quality by producing less waste (Chen et al., 2023). Encouraging the necessary technological innovations to increase the efficiency of energy used in achieving economic growth will help reduce environmental degradation (LePoire, 2014). With this study, it is aimed to examine the relationship between ecological footprint, per capita income, environmental taxes, renewable energy, and energy efficiency in Scandinavian countries for the period between 1994 - 2020.

In the literature, some studies show environmental taxes reduce environmental degradation. Feng and Li (2024) reveal the reducing effect of environmental taxes on CO<sub>2</sub> emissions for the period 2000 - 2020 using CUP-FM and CUP-BC panel data techniques for the ASEAN 6 countries. In their study, Xie and Jamaani (2022) concluded that environmental taxes significantly reduced carbon emissions in the G7 countries sample for the period 1990 - 2020 by using the moment quantile regression method (MMQR). Additionally, there is a bidirectional causality relationship between environmental taxes and carbon emissions. Bozatli and Akca (2023) used AMG and CS-ARDL panel data methods for OECD countries from 1994-2018 and concluded that environmental taxes reduce environmental degradation by reducing the ecological footprint. Additionally, studies examining the relationship between energy efficiency and environmental degradation have found that increased efficiency reduces environmental degradation. Liu et al. (2023) examine the relationship between energy efficiency and CO<sub>2</sub> emissions for Southern European countries from 1990 to 2018 using AMG and CCEMG methods. According to the results, an increase in energy efficiency is accompanied by a decrease in CO<sub>2</sub> emissions. Additionally, according to the Dumitrescu Hurlin causality results, the presence of a causality

relationship between energy efficiency to CO<sub>2</sub> emissions has been identified. Chen et al. (2023) used the moment quantile regression method (MMQR) to examine the relationship between energy efficiency and carbon emissions in seven developing countries (E7). In these countries, an increase in energy efficiency is observed alongside a reduction in carbon emissions. Kirikkaleli and Sowah (2023) examined the relationship between energy efficiency and environmental quality in Finland using quarterly data from the period 1990 - 2019 with the NARDL method. According to the obtained results, energy efficiency plays a role in improving environmental quality in the long term. Studies in the literature indicate that renewable energy consumption reduces environmental degradation. Obobisa and Ahakwa (2024) state that the use of renewable energy significantly reduces carbon emissions for a sample of 25 European countries from the period 1990 - 2019, using the Generalized Method of Moments (GMM) and quantile regression. Chien et al. (2021) analyze the relationship between renewable energy and carbon emissions in Asian economies for the period 1990 - 2017 using the CS-ARDL method. According to empirical results, it is concluded that renewable energy significantly reduces carbon emissions in both the long and short term. Xie et al. (2022) explain the relationship between renewable energy and CO<sub>2</sub> emissions in China for the years covering the period 1985 - 2019 using the ARDL approach. It has been concluded that the increase in renewable energy has reduced CO<sub>2</sub> emissions.

In the methodology section, four different cross-sectional dependence tests were conducted to examine whether there is dependence among the cross-sectional units. Based on the obtained results, it has been revealed that there is a dependency among the sections in the model due to common shocks or external effects. Then, Peseran and Yamagata (2008) conducted a slope homogeneity test to investigate whether the regression coefficients show the same effect across all sections. According to the results, it was found that the regression coefficients were heterogeneous and showed different effects between the cross-sections. In the subsequent tests, considering these two situations and continuing the analysis has helped make the results more consistent. Within this scope, the Westerlund (2007) panel cointegration test was applied to examine the long-term movements of the variables, which were found to be first-order stationary according to the results of the second-generation unit root tests. According to the test results, it is understood that the series move together in the long term. For the estimation of the long-term coefficients of the model, the relationships between the variables were examined at different quantiles, allowing for the investigation of heterogeneous effects on the dependent variable. The relationship between GDP per capita and ecological footprint shows statistically significant and positive effects in the lower and middle quantiles. As a result of the relationship between renewable energy and ecological footprint, it is found that the use of renewable energy reduces environmental degradation. The results of the panel quantile regression analysis show that environmental taxes and energy efficiency reduce the ecological footprint. Additionally, according to the results of the Dumitrescu-Hurlin Panel causality test applied in the final part of the analysis, while there is a bidirectional causality relationship between the ecological footprint and the energy efficiency variable, a unidirectional causality relationship is observed between the ecological footprint and other variables. Economic activities are influenced by the economic performance of the economy, which is influenced by the positive effects of economic growth. This leads to the development of new energy, energy efficiency, and energy efficiency in various sectors, with the quality of energy being influenced by political policies. The development of new energy sources, the efficiency of energy management, and the development of energy sector technology are also influenced by economic growth. The use of renewable energy sources and the reduction of greenhouse gas emissions are also influenced by the policy decisions made by the government. The effectiveness of energy efficiency measures is directly linked to the quality of energy, making the most optimal use of energy sources the most effective.