

Çevre Vergilerinin Çevresel Tahribat Üzerindeki Etkisine Yönelik Ampirik Bir Değerlendirme

Muhammet Aktuğ¹

Hüseyin Ünal²

Özet

Bu çalışma 1995-2023 döneminde Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde çevre vergilerinin çevresel tahribat üzerindeki etkisini incelemektedir. Çalışmada, çevre vergilerinin ekolojik baskıların hafifletilmesinde etkili bir çevre politikası aracı mı yoksa esas olarak kamuya gelir sağlamayı hedefleyen mali araçlar olarak mı hizmet ettikleri araştırılmaktadır. Açıklayıcı değişken olarak, çevre vergilerinin (ET) yanında ekonomik büyüme (GDP), yenilenebilir enerji tüketimi (REC) ve enerji verimliliği (EE) de kullanılmış, böylece çevresel tahribat üzerindeki ölçek, ikame ve verimlilik etkilerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bağımlı değişken olarak, çevresel tahribatın en kapsamlı göstergelerinden biri kabul edilen ekolojik ayak izi (EFP) tercih edilmiş; bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki kısa ve uzun vadeli ilişkilerin tespiti için, AB ülkeleri arasındaki yapısal farklılıklar da hesaba katılarak, kümeleme analizi ve CS-ARDL modelinden faydalanılmıştır. Teorik varsayımlara göre, ET'nin negatif dışsalılıkları içselleştirmesi, temiz enerji kullanımını teşvik etmesi ve ekolojik yükleri azaltması gerekmektedir. Ancak geçmiş çalışmalarda genellikle vergilerin tasarım ve uygulanmasındaki eksiklikler, yeşil paradoks ve rebound etkisi gibi faktörlere bağlı olarak karmaşık sonuçlara işaret edilmektedir. Bu çalışma kapsamındaki model sonuçları ise tüm örneklemde ET'nin EFP üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını, buna karşılık GDP'nin çevresel baskıyı artırma, EE'nin ise bu baskıyı azaltma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kümeleme analizi sonuçları, farklı kümeler için farklı etkiler ortaya koymaktadır. Buna göre, ET Küme 1'de anlamlı bir etkiye sahip değil iken Küme 2'de çevresel tahribatı daha da artırmakta, Küme 3'te ise

- 1 Dr. Öğr. Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Maliye Bölümü, maktug@ktu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8106-365X.
- 2 Dr. Öğr. Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ekonometri Bölümü, huseyin.unal@ktu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6323-1322.

EFP'yi önemli ölçüde azaltmaktadır. Elde edilen bulgular, çevre vergilerinin ekolojik etkilerinin ülkelerin yapısal özellikleri, politik çerçevesi ve enerji kaynakları gibi hususlara bağlı olarak değişeceği şeklinde yorumlanmaktadır. Bu sebeple, çalışmada AB genelinde çevresel tahrifatın azaltılması ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması için ülkelere özgü ve iyi tasarlanmış çevre vergisi politikalarına ihtiyaç olduğunun altı çizilmektedir.

1. Giriş

Günümüzde insan kaynaklı çevre sorunları daha önce eşi görülmemiş seviyelere ulaşmıştır. Çevre üzerinde iklim değişikliğinden biyoçeşitlilik kaybına, arazilerin kullanım amaçlarındaki değişimden doğal kaynakların tükenmesine kadar uzanan boyutlarda giderek artan bir baskı mevcuttur. Bu baskıyı ve çevresel tahrifatı ifade etmek için kullanılan en kapsamlı göstergelerden biri ekolojik ayak izi (ecological footprint, EFP)'dir. Ekolojik ayak izi kavramına arz ve talep olmak üzere iki farklı açıdan bakmak mümkündür. Talep tarafından bakıldığında belirli bir bölgede yaşayan insanların ne kadar doğal kaynak tükettikleri ve bu tüketim neticesinde ne kadar atık ortaya çıktığı dikkate alınmaktadır. Arz tarafından bakıldığında ise insanların ürettiği atıkların çevre tarafından ne kadar sürede emileceği ve tüketilen doğal kaynakların yerine yeni kaynakların ne kadar sürede oluşacağı hesaba katılmaktadır (Ünal ve Aktuğ, 2022).

Ekolojik ayak izi ile dünyanın sahip olduğu biyolojik olarak verimli kaynakları ifade eden biyokapasite arasındaki fark ise ekolojik açık olarak tanımlanmaktadır. Global Footprint Network'e göre günümüzde dünya nüfusunun %80'inden fazlası ekolojik açığı bulunan bölgelerde yaşamaktadır (GFN, 2025). Bu durum, insanların doğal kaynaklara olan talebinin, ekosistemin kendini yenileme hızından çok daha fazla olduğu ve eğer önlem alınmazsa bu kaynakların yok olma tehlikesiyle karşı karşıya bulunduğu anlamına gelmektedir. Bir bölgede EFP'nin yükselmesi ekonomideki üretim ve tüketim kalıpları ile atık yönetimindeki sürdürülemez gidişatı yansıtmaktadır. Karbon emisyonlarının artması, arazi yapılarının bozulması, su kıtlığı ve gıda arz güvenliğinin tehlikeye girmesi gibi tehditleri de beraberinde getiren bu tür aşırılıklar, sürdürülebilir ekonomik büyüme ve kalkınma açısından büyük bir risk oluşturmaktadır. Nitekim söz konusu riskler Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri 12, 13, 14 ve 15 çerçevesinde de ele alınmaktadır.

Gelinen noktada ekonomik büyüme, enerji kullanımı ve çevresel tahrifat arasındaki ilişki sosyo-ekonomik çalışmaların temel konularından biri haline gelmiştir. Bu bağlamda ekonomik büyüme ile çevresel stresin genellikle paralel bir seyir izlediği değerlendirilmektedir. Üretim ölçeğinin artmasıyla birlikte

doğal kaynak kullanımı ve fosil yakıt tüketiminin de artması ve daha fazla atık üretilmesi şeklindeki silsile, çevre üzerindeki baskının yoğunlaşmasıyla sonuçlanmaktadır. Ekonomik büyüme, beraberinde getirdiğı bu olumsuz etkilerin yanında elbette bazı olumlu gelişmelere de zemin hazırlamaktadır. Bu doğrultuda yapısal dönüşüm, çevre dostu teknolojiler, yeşil bütçe ve ekonomi politikaları gibi unsurlar iktisadi büyüme ve kalkınma ile çevresel tahribat arasındaki bağlantıyı kesmeyi amaçlamaktadır. Ancak bu hususta tam bir başarı elde edildiğini söylemek mümkün değildir. Nitekim çevresel teknolojideki ilerlemelere ve birçok alandaki verimlilik artışına rağmen ekolojik açığın kapanması bakımından küresel ölçekte bir ilerleme kaydedilememiştir.

Yukarıda ifade edilen gelişmeler neticesinde, çevresel tahribatın önlenmesi ve ekonomik büyümenin gelecek nesillerin refahını garanti altına alacak şekilde sürdürülebilir bir temele oturtulması, kamu politikalarının öncelikli hedeflerinden birine dönüşmüştür. Bu bağlam içerisinde çevre vergileri aracılığıyla fosil yakıt tüketiminin azaltılıp yenilebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uygulamalar, sürdürülebilirlik politikalarının merkezine yerleşmiştir. Bu müdahalelerle çevresel dışsallıkların içselleştirilmesi, üretim ve tüketim tercihlerinin çevre dostu alternatiflere yönlendirilmesi ve böylece çevre üzerindeki baskının hafifletilmesi amaçlanmaktadır.

2. Teorik Çerçeve

Sanayi Devrimi'nden bugüne sürekli artan fosil yakıt tüketimi ve doğal kaynakların aşırı kullanımı, çevresel tahribatı çok boyutlu küresel bir sorun haline getirmiştir. Sera gazı emisyonlarının giderek ivme kazanan yoğunluğu dünyanın ortalama sıcaklığının artması, şiddetli hava olayları, buzulların erimesi ve deniz seviyelerinin yükselmesi gibi olumsuz sonuçlar doğurmaktadır (Akhmиеva vd., 2024; Mirametova vd., 2024). Ayrıca arazilerin kullanım amacının doğal dengeyi gözetmeksizin değiştirilmesi ormansızlaşmaya, biyoçeşitlilik kaybına, kirlilik artışına, su kaynaklarının kurumasına ve toprak erozyonuna yol açmaktadır (Staudt vd., 2013; Kumar vd., 2025). Doğal dengeyi tehdit eden bu gelişmeler ekonomik ve sosyal açıdan önemli maliyetler ortaya çıkarmaktadır. Örneğın, çevresel stresi konu alan en önemli çalışmalardan biri olarak gösterilen 'Stern Review' iklim değişikliğinin küresel GDP'de yıllık minimum %5'lik bir kayba sebep olabileceğini ve daha geniş riskler de hesaba katıldığında bu oranın %20'lere ulaşabileceğini öne sürmektedir (Stern, 2007).

Global Footprint Network tarafından hesaplanan EFP, çevresel tahribatı tüm yönleriyle ölçmeye çalışmakta, bu kapsamda insan hayatının devamı için ihtiyaç duyulan biyolojik olarak verimli alanlar ile çevrenin atıkları absorbe etme kapasitesi tek bir metrik içerisinde gösterilmektedir. Veriler incelendiğinde ülkelerin çok büyük bir kısmının ekolojik açığa sahip oldukları ve bu bakımdan ekosistemlerinin yenilenme kapasitesinin çok üzerinde doğal kaynak tükettikleri görülmektedir. Ampirik bulgular ekonomik büyüme ve fosil yakıtlara dayalı enerji tüketimini yüksek EFP'nin ve ekolojik açığın en önemli sebepleri arasında göstermektedir (Chen vd., 2010; Neagu, 2020; Aldegheishem, 2024).

Çevre üzerindeki baskının azaltılması ve ekolojik açığın kapatılması için öne çıkan araçlardan biri de çevre vergileridir. Literatürde 'yeşil' ya da 'ekolojik' vergiler gibi isimlerle de anılan çevre vergileri, çevreye kirlilik yayan faaliyetler, davranışlar ya da girdiler üzerinden alınan vergileri ifade etmektedir. Fiyatlandırılmamış dışsallıklar olarak bilinen piyasa başarısızlıklarının içselleştirilmesi ve çevresel tahribata yol açan davranış ve faaliyetlerin çevre dostu alternatiflere yönlendirilmesini amaçlayan bu vergiler, uygulama alanına göre karbon vergileri, enerji vergileri, kirlilik ve kaynak vergileri gibi alt gruplara ayrılabilir. Teorik perspektiften bakıldığında çevre vergilerinin zararlı faaliyetlerin maliyetini artırmak suretiyle çevre dostu alternatif kaynaklar için teşvik edici bir rol oynaması beklenmektedir. Çevre vergilerinin bir taraftan çevre politikaları ve mali hedefler için kaynak oluşturacağı, diğer taraftan kirlletici faaliyetleri çevrenin taşıma kapasitesinin altına indireceği öne sürülmektedir. Ayrıca bu vergilerin çevresel tahribatı azaltmak yanında çeşitli iktisadi ve sosyal hedeflere ulaşmak için de kullanılabileceği, böylece 'çifte kazanç' ve "üçlü kazanç" hipotezi yaklaşımlarının gerçekleşebileceğini öne süren görüşler de mevcuttur.

Çevre vergilerinin arkasında yatan teorik mantığa göre bu vergilerin fosil yakıt tüketimini azaltması, üretim faaliyetlerinde daha dengeli ve verimli doğal kaynak kullanımını teşvik etmesi ve buna bağlı olarak ekolojik ayak izinin küçülmesi beklenmektedir. Nitekim yapılan çalışmalar neticesinde bu yaklaşımı destekleyen birçok bulguya ulaşılmıştır (Chen vd., 2022; Bozatlı ve Akca, 2023; Javed vd., 2023; Shayanmehr vd., 2023). Ancak çevre vergilerinin çevresel tahribatın azaltılması noktasındaki etkinliğine karşı çıkan ve bu alanda aksi yönde argümanlar öne süren yaklaşımlar da mevcuttur. Örneğin 'yeşil paradoks' argümanı yeni çevre vergilerinin uygulanacağını önceden bilinmesi durumunda iktisadi ajanların yüksek emisyon yayacak faaliyet ve davranışlara hız verebileceklerine ve vergilerden beklenen çevresel amaçların gerçekleşmeyebileceğine dikkat çekmektedir (Gronwald vd., 2010; Schneider, 2023).

Çevre vergilerinin etkinliğini belirleyen bir başka ölçüt ise tasarım ve idari uygulamadaki başarıdır. Tasarım açısından vergi tabanının dar tutulması, kanuni vergi oranlarının düşük olması veya istisna ve muafiyetlerin kapsamının geniş bırakılması suretiyle efektif vergi oranının aşağı çekilmesi veya idari uygulama bakımından zafiyet gösterilmesi vergilerin etkinliğini sınırlandıracaktır. Çünkü bu gibi etkenler kirletici faaliyetleri ortadan kaldırmaktan ziyade verginin kapsamının erişemeyeceği alanlara kaymasına sebep olacaktır. Diğer taraftan çevre vergilerinin, çevre üzerindeki baskıyı azaltmak bir yana istenemeyen çeşitli sosyo-ekonomik problemler ortaya çıkarması da mümkündür. Buna örnek olarak regresif etkilerin artması, hükümetlerin mali amacı çevresel amacın önüne koyması, çevre kalitesinin artmasına yönelik yapısal dönüşümlerden ziyade hasılatı artırmaya yönelik politikalar takip edilmesi gösterilebilir. Bu doğrultuda çevre vergilerinin çevresel tahribatın azaltılması bakımından uzun vadeli bir etkisinin olmadığını öne süren çalışmalar da bulunmaktadır (Bashir vd., 2022; Telatar ve Birinci, 2022).

Özetle, çevre vergileri çevresel stresin hafifletilmesi açısından teorik bir cazibeye ve bir miktar ampirik desteğe sahip olsa da uygulama sonuçları genellikle istikrarlı değildir. Çevre vergilerinin gerçek performansı tasarım, idari uygulama ve yapısal ilave düzenlemeler gibi tamamlayıcı politikalara bağlıdır. Bu sebeple çevre vergilerinin özellikle AB gibi ortak ekonomi ve vergi politikalarına sahip bölgelerdeki etkisinin farklı sosyo-ekonomik değişkenlerle desteklenerek araştırılması yol gösterici olacaktır.

Ekolojik ayak izi çevresel tahribatın en kapsamlı göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu yönüyle makroekonomik göstergeler ile enerjiyle ilgili değişkenlerin ekolojik ayak izi ile bağlantısının anlaşılması sürdürülebilirliğe yönelik değerlendirmeler için kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada makroekonomik gösterge olarak GDP, enerji değişkeni olarak ise yenilenebilir enerji kullanımı (REC) ve enerji verimliliği (EE) tercih edilmiştir.

Ekonomik büyümenin üretim ve tüketim faaliyetleri ile doğal kaynak kullanımını artırdığı bir gerçektir. En basit ifadesiyle ölçek etkisi olarak ifade edilen bu durumun doğal bir sonucu olarak yüksek GDP genellikle daha yüksek EFP'ye yol açmaktadır. Diğer taraftan büyümeye bağlı olarak refah seviyesi arttıkça ortaya çıkan değişiklikler ve teknolojik ilerlemeler neticesinde çevre üzerinde olumlu bazı etkiler de ortaya çıkabilmektedir. Ekonomide ağır sanayiden hizmet sektörüne geçiş, çevre dostu teknoloji ve temiz enerji kullanımı, çevresel regülasyonlar vb. gibi gelişmeler GDP artışı ile paralel

hareket etmekte ve bu husus Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezinin esasını teşkil etmektedir.

Bu çerçevede literatürde her iki yaklaşımı da destekleyen bulgular mevcuttur. Birçok çalışma GDP'nin EFP'yi artırmak suretiyle çevresel tahribata yol açtığını bildirmekte (Majeed ve Mazhar, 2019; Sarwar vd., 2024), bu durum gelişmekte olan veya sanayileşen ekonomilerde ölçek etkisinin ağır bastığını göstermektedir. Ancak yüksek gelir seviyelerinde EKC etkisi devreye girmekte ve çevresel tahribatta ilk olarak plato etkisi ve ardından gerileme yaşanmaktadır (Pincheira ve Zuniga, 2021; Ünal ve Aktuğ, 2022; Naveed vd., 2022).

Teorik açıdan bakıldığında rüzgar, güneş ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının, fosil yakıtlara nispetle daha düşük emisyon oranına sahip oldukları için ekolojik yükü hafifletecekleri düşünülmektedir. Yenilenebilir enerji kullanımı karbon yoğunluğun azaltılması ve doğal kaynak kullanımının sınırlandırılması bakımından işlevseldir. Bu sebeple yenilenebilir enerji kullanımının toplam enerji tüketimi içindeki payının artması sürdürülebilir ekonomik büyüme ve kalkınmanın sağlanmasına yardımca olacaktır (Chovancová ve Vavrek, 2020; Wang vd., 2022; Yurtkuran vd., 2025).

Enerji verimliliği, enerji yoğunluğunu azaltarak çevresel performansı iyileştirmekte ve böylece yakıt tüketimini, emisyon miktarını ve genel olarak ekolojik talebi düşürmektedir. Enerji verimliliğinin artırılması, çevresel tahribat üzerindeki enerji kaynaklı etkiyi doğrudan azaltır. Bunun yanında enerji verimliliği için gerekli olan teknolojik gelişmeler, ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki bağlantının kesilmesine de katkı sağlar (Haberl vd., 2020; Chen vd., 2024; Abbas, 2025). Nitekim ampirik çalışmalardan elde edilen bulgular enerji verimliliğinin gerek EFP'nin azaltılması gerekse de ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ayrıştırma etkisinin gerçekleştirilmesi açısından olumlu sonuçlar verdiğini göstermektedir (Hassan vd., 2022; Luo ve Sun, 2024).

Bu çalışmada açıklayıcı değişkenler olarak kullanılan çevre vergileri, ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği çevresel sonuçları şekillendiren bir sistem içerisinde hareket etmektedir. Bu doğrultuda, çevre vergileri çevresel tahribatın azaltılmasında devlet müdahalesinin rolünü ve etkinliğini yansıtmaktadır. Benzer şekilde ekonomik büyüme ölçek etkisini, yenilenebilir enerji alternatif kaynakların ikame etkisini, enerji verimliliği ise verimlilik etkisini temsil etmektedir. Tüm bu değişkenlerin etkileşimi, ekonomik büyümenin renginin 'kahverengi' (yüksek EFP) mi yoksa 'yeşil' (düşük EFP) mi olacağını tayin etmektedir. Çevresel amacı ön planda tutan iyi tasarımı çevre vergilerine sahip ve yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji

verimliliği bakımından güçlü ekonomiler yüksek GDP ve düşük EFP ile kalkınmayı süründürülebilir bir yola koyabilmektedirler. Fosil yakıtlara ve verimsiz teknolojilere dayalı, zayıf çevre vergilerine sahip ekonomilerde ise GDP artışı yüksek EFP ile paralel hareket etmekte, çevresel stresi artırmakta ve sürdürülebilirliği tehlikeye atmaktadır.

3. Veri Seti ve Yöntem

Bu çalışma, 1995-2023 döneminde çevre vergilerinin AB ülkelerinde çevre kalitesi üzerinde bir etkisi olup olmadığını CS-ARDL modeli ile araştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, ilk olarak AB ülkelerinde çevre vergilerinin çevre kalitesinin en kapsamlı göstergesi olan ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini analiz etmektedir. Ardından, AB ülkelerinin yapısal açıdan homojen bir özellik göstermediği varsayımından hareketle, benzer özelliklere sahip ülke gruplarını belirlemek amacıyla bu ülkelere kümeleme analizi uygulanmıştır. Kümeleme analizi, birey veya nesneleri kendi içlerinde mümkün olduğunca benzer ve birbirlerinden mümkün olduğunca farklı olacak şekilde gruplara ayırmayı amaçlayan çok değişkenli bir istatistiksel yöntemdir. Gözlemler arasındaki benzerlik veya farklılığı belirlemek için uzaklık ölçütlerini kullanan bu yöntemin farklı teknikleri mevcuttur. Bu çalışmada Ward tekniği tercih edilmiş olup, söz konusu yaklaşım kareli Öklid uzaklığı temelinde işlem yapmakta ve kümeler arasında homojen büyüklüklerin oluşmasını sağlamaktadır. Son olarak, oluşturulan homojen ülke gruplarında çevre vergilerinin çevre kalitesi üzerindeki etkisi CS-ARDL modeli ile analiz edilmiştir. Bu bakış açısıyla, çalışmada ele alınan değişkenler ve açıklamaları Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Değişkenlerin Kısaltma ve Tanımlamaları

Değişken	Tanım	Ölçü birimi	Veri kaynağı
EFP	Kişi başına ekolojik ayak izi	Küresel hektar (gha)	GFN (2025)
ET	Çevre vergileri	GDP’nin yüzdesi	Eurostat (2025)
GDP	Kişi başına gelir	Sabit 2015 ABD \$	(WDI) (2025)
REC	Yenilenebilir enerji tüketimi	Toplam enerji tüketiminin yüzdesi	(WDI) (2025)
EE	Enerji başına düşen gelir	2021 SGP \$/koe	(WDI) (2025)

SGP: satın alma gücü paritesi, koe: petrol eşdeğeri kilogram.

AB ülkelerinde çevre vergilerinin çevre kalitesi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla, Tablo 1'de verilen değişkenlerin doğal logaritmaları alınmış ve aşağıdaki panel doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur.

$$\ln EFP_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln ET_{it} + \gamma_2 \ln GDP_{it} + \gamma_3 \ln EE_{it} + \gamma_4 \ln REC_{it} + \mu_{it} \quad (1)$$

Burada t , 1995-2023 dönemini ve i , AB ülkelerini³ göstermektedir. γ_k ($k=1,2,3,4$), sırası ile ET , GDP , EE ve REC değişkenlerinin EFP üzerindeki etkilerini gösteren esneklik katsayılarını ifade etmektedir. γ_0 , sabit terimi ve μ_{it} hata terimini temsil etmektedir.

3.1. Yatay Kesit Bağımlılığı

Panel veri modelleri tahmininde yatay kesit bağımlılığının (Cross-Sectional Dependence - CD) test edilmesi büyük önem taşımaktadır. CD'nin dikkate alınması, tahmin edicilerin tarafsız ve tutarlı olmasını temin etmektedir (Pesaran, 2004; Breusch ve Pagan, 1980). Bu nedenle, panel verilerde CD tespit edilmesi kritik bir rol oynamaktadır. Breusch ve Pagan (1980) tarafından geliştirilen LM testi, yatay kesit boyutun (N) zaman boyutundan (T) küçük olduğu durumlarda uygulanmaktadır. LM test istatistiği ise şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$LM = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N T_{ij} \hat{\rho}_{ij}^2 \sim \chi^2 \frac{N(N-1)}{2} \quad (2)$$

Eşitlik (2)'de $\hat{\rho}_{ij}$, korelasyon katsayılarını göstermekte ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\hat{\rho}_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^T e_{it} e_{jt}}{\left(\sum_{t=1}^T e_{it}^2 \right)^{1/2} \left(\sum_{t=1}^T e_{jt}^2 \right)^{1/2}} \quad (3)$$

LM testi için hipotezler, $H_0 : \hat{\rho}_{ij} = Cov(e_{it}, e_{jt}) = 0$ (yatay kesit birimler bağımsızdır) ve $H_1 : \hat{\rho}_{ij} = Cov(e_{it}, e_{jt}) \neq 0$ (yatay kesit birimler bağımlıdır) şeklinde kurulmaktadır.

3 Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İrlanda, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya ve İsveç

3.2. Panel Birim Kök Testi

Mevcut literatürde panel birim kök testleri, CD'nin varlığına göre birinci ve ikinci nesil olarak sınıflandırılmaktadır. Yatay kesit bağımlılığının bulunmadığı durumlarda birinci nesil birim kök testleri kullanılabilirken, CD'nin varlığında ikinci nesil testler güvenilir ve tutarlı sonuçlar vermektedir (Pesaran, 2007; Phillips ve Sul, 2003). Bu çalışmada, serilerin durağanlığını incelemek için ikinci nesil birim kök testlerinden CADF (cross-sectionally augmented ADF) testi kullanılmaktadır (Pesaran, 2007). CADF regresyonu, denklem 4 ile tanımlanmıştır.

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i + \beta_i Y_{it-1} + \delta_0 \bar{Y}_{t-1} + \delta_1 \Delta \bar{Y}_t + \epsilon_{it} \quad (4)$$

Burada CADF istatistikleri, panel verideki her bir yatay kesit için β_i katsayılarının istatistikleri oranları kullanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan CADF istatistik değerleri, Pesaran'ın Monte Carlo simülasyonlarından elde edilen tablo kritik değerlerle karşılaştırılmaktadır. Söz konusu istatistikler tablo kritik değerinden küçükse, birim kök varlığına ilişkin sıfır hipotezi kabul edilmektedir. Aksi takdirde, sıfır hipotez ret edilmekte ve serilerin durağan olduğu sonucuna varılmaktadır (Pesaran, 2007).

3.3. Eğim Homojenliği Testi

Panel verilerde CD mevcut olduğunda, birimler arasındaki etkileşim nedeniyle eğim homojenliğinin test edilmesi gerekmektedir. Eğim homojenliğinin kontrol edilmesi, güvenilir tahmin sonuçlarının elde edilmesinde önem arz etmektedir (Breitung, 2005). Panel verilerde heterojenlik üzerine gerçekleştirilen ilk çalışmalardan biri Swamy (1970) tarafından ele alınmıştır. Daha sonra, Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından standartlaştırılmış dağılım istatistiği (Δ) ile bunun yanı sıra karşı düzeltilmiş hali olan (Δ_{adj}) istatistiği geliştirilmiştir. Bu istatistikler, $E(\bar{z}_{it}) = k$ ve

$var(\bar{z}_{it}) = \frac{2k(T-k-1)}{T+1}$ olmak üzere aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\Delta = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \tilde{S} - k}{\sqrt{2k}} \right) \sim \chi_k^2 \quad (5)$$

$$\Delta_{adj} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \tilde{S} - E(\bar{z}_{it})}{\sqrt{var(\bar{z}_{it})}} \right) \sim N(0,1) \quad (6)$$

Eşitliklerde yer alan $\tilde{S}$ Swamy test istatistiğini göstermektedir. Homojenlik testinde, eğim katsayılarının homojen olduğu sıfır hipotezi, eğim katsayılarının heterojen olduğu alternatif hipoteze karşı test edilmektedir.

3.4. CS-ARDL Modeli

Yatay kesit bağımlılığa karşı düzeltilmiş ARDL (CS-ARDL) modeli, ortak faktör modelleme yaklaşımı ile yatay kesit bağımlılığı sorununa çözüm sunmak amacıyla Chudik ve Pesaran (2015) tarafından geliştirilmiştir. Hem bağımlı hem de bağımsız değişkenlerin yatay kesit ortalamalarını modele dahil eden CS-ARDL yöntemi, geleneksel ARDL yaklaşımını genişletmekte ve yatay kesit birimler arasında bağımlılığa yol açabilecek gözlemlenmeyen ortak faktörleri dikkate almaktadır. Söz konusu model, değişkenler arasındaki kısa ve uzun dönem ilişkilerinin yanı sıra değişkenlerle ilgili hata düzeltme terimlerini de analiz etmektedir. Yatay kesit bağımlılığı ve heterojenliği dikkate alan bu yaklaşım, değişkenlerin $I(0)$ veya $I(1)$ olması durumunda tutarlı sonuçlar vermektedir. Bu çerçevede, çalışmada kullanılan CS-ARDL modeli aşağıdaki regresyon denklemi ile tanımlanmaktadır (Chudik ve Pesaran, 2015: 393-395).

$$y_{i,t} = \alpha_i + \sum_{l=1}^p \lambda_{l,i} y_{i,t-l} + \sum_{l=0}^q \beta_{l,i} x_{i,t-l} + \sum_{l=0}^r \gamma'_{i,l} \bar{z}_{t-l} + \mu_{i,t} \quad (7)$$

Burada $\bar{z}_{t-l} = (\bar{y}_{i,t-l}, \bar{x}_{i,t-l})$, gecikmeli yatay kesit ortalamaları; $y_{i,t}$, bağımlı değişkeni; $x_{i,t}$, bağımsız değişkenleri; r , modele dahil edilecek yatay kesit ortalamaların gecikme sayısını, p ve q ise her bir değişken için gecikme uzunluğunu ifade etmektedir. CS-ARDL yönteminde uzun dönem katsayıları aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\hat{\theta}_{CS-ARDL,i} = \frac{\sum_{l=1}^q \beta_{l,i}}{1 - \sum_{l=1}^p \lambda_{l,i}}; \quad \hat{\theta}_{MG} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{\theta}_i \quad (8)$$

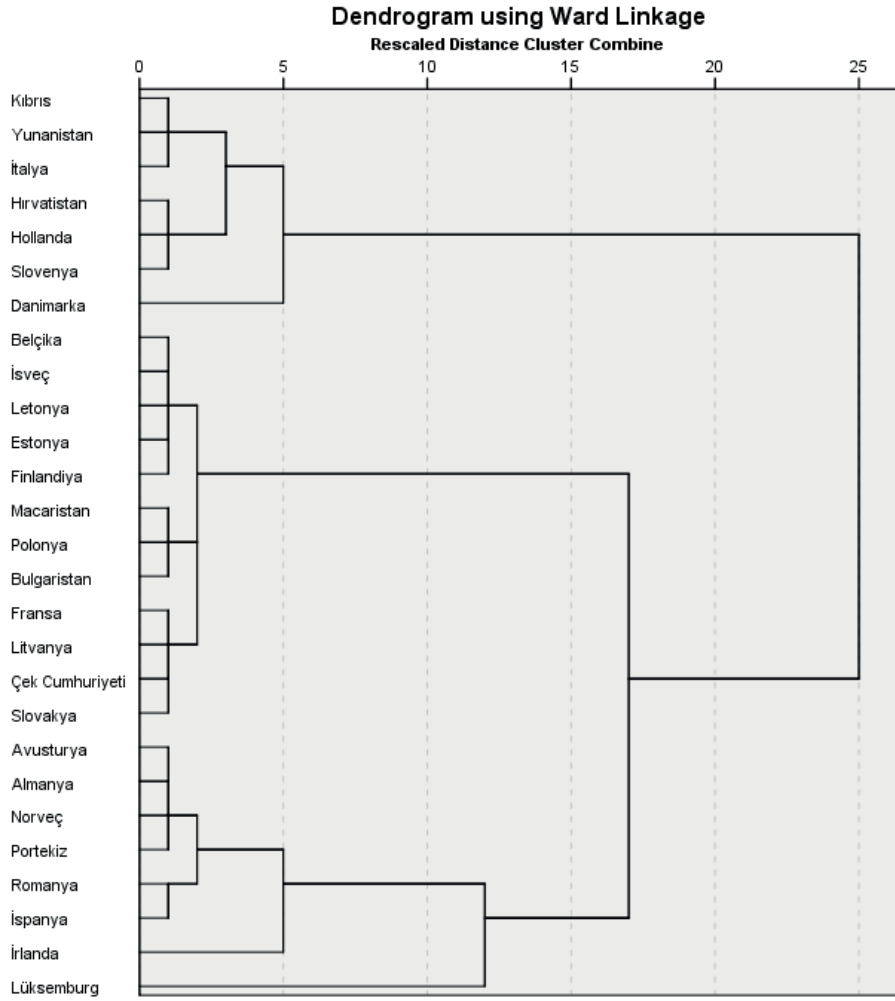
Eşitlik (8)'de, her bir yatay kesit birim için tahminler $\hat{\theta}_i$ ile gösterilmektedir. Uzun dönem ilişkisinin ardından, hata düzeltme modeli (ECM) ise aşağıdaki şekilde formüle edilmektedir.

$$\Delta y_{i,t} = \phi_i \left[y_{i,t-1} - \hat{\theta}_i x_{i,t} \right] - \alpha_i + \sum_{l=1}^{p-1} \lambda_{l,i} \Delta_l y_{i,t-l} + \sum_{l=0}^q \beta_{l,i} \Delta_l x_{i,t-l} + \sum_{l=0}^r \gamma'_{i,l} \Delta_l \bar{z}_{t-l} + \varepsilon_{i,t} \quad (9)$$

ECM modelinde ϕ_i , hata düzeltme terimi (ECT) katsayısını temsil etmektedir. Bu katsayının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olması beklenmektedir (Chudik ve Pesaran, 2015).

4. Ampirik Bulgular

Bu çalışma, AB ülkelerinde 1995-2023 dönemini kapsayan çevre vergilerinin çevre kalitesi üzerindeki etkisini analiz etmektedir. AB ülkelerinin yapısal açıdan heterojen olduğu varsayımıyla, benzer niteliklere sahip ülke gruplarını belirlemek için bu ülkelere kümeleme analizi uygulanmıştır. Kümeleme analizi için AB ülkelerinin çevre vergileri ile çevre kalitesi benzerliğini yansıtmak amacıyla enerji verimliliği, ekolojik ayak izi ve çevre vergileri değişkenlerinin 1995-2023 dönemine ait ortalama değerleri kullanılmıştır. Bu değişkenler bazında AB ülkeleri için Ward tekniği ile yapılan kümeleme analizi sonucunda elde edilen kümelerin dendrogram grafiği Şekil 1 ile görselleştirilmiştir.



Şekil 1. Dendrogram Grafiği

Dendrogram grafiği incelendiğinde, AB ülkeleri için yapılan kümeleme analizi sonucunda uygun küme sayısının 3 olduğu belirlenmiş ve kümelerde yer alan ülkeler Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Ward Tekniği ile Oluşturulan Kümeler

Küme Sayısı	Kümelerde yer alan AB ülkeleri
Küme 1	Belçika, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Estonya, Finlandiya, Fransa, İsveç, Letonya, Litvanya, Macaristan, Polonya, Slovakya
Küme 2	Almanya, Avusturya, İrlanda, İspanya, Lüksemburg, Norveç, Portekiz, Romanya
Küme 3	Danimarka, Hırvatistan, Hollanda, İtalya, Güney Kıbrıs, Slovenya, Yunanistan

AB ülkeleri ve kümeleme analizi sonucunda elde edilen homojen ülke grupları için çevre vergisinin çevre kalitesi üzerindeki etkisi incelemek amacıyla kurulan ampirik modelde yer alan değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. Kullanılan Değişkenlere Ait Tanımlayıcı Değerler

		EFP	ET	GDP	EE	REC
AB Ülkeleri	Ortalama	5,780	2,686	30478,1	13,211	19,062
	Maksimum	17,942	5,600	112417,9	47,910	62,780
	Minimum	2,519	0,810	3537,3	3,794	1,100
Küme 1 Ülkeleri	Ortalama	5,536	2,445	21538,9	10,043	19,785
	Maksimum	9,296	4,760	54878,3	19,725	58,100
	Minimum	3,004	0,810	3537,3	3,794	1,100
Küme 2 Ülkeleri	Ortalama	6,326	2,345	45071,4	16,473	21,361
	Maksimum	17,942	3,850	112417,9	47,910	62,780
	Minimum	2,519	0,850	4453,8	7,234	1,300
Küme 3 Ülkeleri	Ortalama	5,573	3,489	29124,4	14,913	15,195
	Maksimum	9,446	5,600	61296,0	28,776	42,720
	Minimum	2,603	2,050	7304,5	8,006	1,200

Tablo 3 incelendiğinde; ilgilenilen dönemde Avrupa ülkelerinde ortalama, kişi başına EFP 5,780 gha ve kişi başına GDP 30478,1 ABD doları olarak gerçekleştiği görülmektedir. Çevresel vergilerin ve yenilenebilir enerji tüketiminin GDP içindeki payları sırası ile ortalama 2,686 ve 19,062 oranında gerçekleşmiştir. Enerji verimliliği değişkeninin değerleri incelendiğinde, enerji kullanım birimi başına elde edilen ortalama GDP 13,211 ABD doları olarak kaydedilmiştir. Kümeleme analizi sonucunda oluşturulan homojen grupların değişken bazında tanımlayıcı değerlerine bakıldığında; Küme 2'nin özellikle ortalama EFP değeri açısından, Küme 3'ün ise ortalama çevre vergileri açısından diğer gruplardan farklılaştığı görülmektedir. Küme 1'in

ise AB ülkeleri ile benzer özellikler taşıdığı dikkat çekmektedir. Tanımlayıcı istatistiklerden sonra serilerin yatay kesit bağımlılığı Breusch-Pagan LM (1980) testi ile incelenmiş ve test sonuçları Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4. Breusch-Pagan LM Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

		lnEFP	lnET	lnGDP	lnEE	lnREC
AB Ülkeleri	İstatistik	2781,49***	2324,36***	7822,58***	8865,11***	7033,79***
	Olasılık	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Küme 1 Ülkeleri	İstatistik	410,22***	412,62***	1759,89***	1753,13***	1551,49
	Olasılık	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Küme 2 Ülkeleri	İstatistik	197,45***	239,27***	638,34***	712,66***	415,78***
	Olasılık	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Küme 3 Ülkeleri	İstatistik	235,18***	117,80***	357,86***	542,31***	417,83***
	Olasılık	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Not: *** , %1 önem düzeyini göstermektedir.

Tablo 4'te görüldüğü üzere Breusch ve Pagan (1980) test sonuçları, hem AB ülkelerinde hem de oluşturulan homojen gruplarda birimleri arası yatay kesit bağımlılığın varlığını ortaya koymaktadır. Yatay kesit bağımlılığının varlığında, değişkenlerin durağanlığı CADF testi kullanılarak sınanmış olup, test sonuçları Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5. Panel Birim Kök Test Sonuçları (CADF Test İstatistikleri)

	Değişkenler	AB ülkeleri	Küme 1 Ülkeleri	Küme 2 Ülkeleri	Küme 3 Ülkeleri
Düzye Değerleri	lnEFP	-1.934	-2,318**	-1,898	-1,231
	lnET	-1.823	-1,823	-1,572	-1,165
	lnGDP	-2.400***	-3,309***	-1,943	-1,272
	lnEE	-2.103**	-2,539***	-2,110	-2,941***
	lnREC	-2.261***	-2,594***	-2,089	-1,477
Birinci fark değerleri	lnEFP	-5.611***	-6,004***	-5,187***	-5,347***
	lnET	-4.410***	-5,125***	-4,767***	-4,359***
	lnGDP	-3.090***	-3,329***	-3,034***	-3,806***
	lnEE	-5.140***	-5,236***	-4,907***	-5,870***
	lnREC	-5.184***	-5,401***	-5,215***	-4,976***

Not: ** ve *** sırası ile %5 ve %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

CADF test sonuçları incelendiğinde; lnEFP değişkeninin sadece Küme 1 ülke grubunda durağan olduğu, diğer gruplarda ise birinci farkında durağan hale geldiği görülmektedir. lnEE değişkeni, Küme 2 ülke grubu dışındaki bütün gruplarda durağan olduğu, Küme 2 ülke grubu için birinci farkında durağan hale geldiği anlaşılmaktadır. lnGDP ve lnREC değişkenleri ise AB ülkeleri ve Küme 1 ülkeleri için seviyesinde durağan diğer gruplarda ise birinci farkında durağan hale geldiği tespit edilmiştir. Son olarak lnET değişkeninin bütün gruplarda seviyesinde birim kök içerdiği, ancak birinci farkında durağan hale geldiği görülmektedir. Bu durum, ilgilenilen dönemde AB ülkelerinde lnGDP, lnEE ve lnREC değişkenlerinin seviyelerinde önemli bir değişim olmadığını göstermektedir. Durağanlık analizinin ardından, yatay kesit birimlerin eğim homojenliği Pesaran ve Yamagata (2008) testi kullanılarak incelenmiş ve test sonuçları Tablo 6 aracılığıyla ifade edilmiştir.

Tablo 6. Eğim Homojenliği Test Sonuçları

	Δ İstatistiği	Olasılık	Δ_{adj} İstatistiği	Olasılık
AB Ülkeleri	17,864***	0,000	20,059***	0,000
Küme 1 Ülkeleri	7,853***	0,000	8,818***	0,000
Küme 2 Ülkeleri	9,791***	0,000	10,994***	0,000
Küme 3 Ülkeleri	8,287***	0,000	9,306***	0,000

Not: ***, %1 önem seviyesini göstermektedir.

Tablo 6'da görüldüğü üzere, bütün ülke grupları için hem standartlaştırılmış dağılım istatistikleri (Δ) hem de düzeltilmiş istatistikler (Δ_{adj}) %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sonuçlar, çalışmada kullanılan panel veri setlerinde eğim heterojenliğinin varlığını göstermektedir. Yatay kesit birimler arasında eğim heterojenliği ve CD'nin varlığı, Chudik ve Pesaran (2015) tarafından geliştirilen CS-ARDL modelinin kullanımını gerektirmektedir. Değişkenlerin I(0) ve I(1) düzeyinde bütünleşik olmaları göz önünde bulundurularak, hem AB ülkeleri hem de oluşturulan homojen ülke grupları için modelin kısa ve uzun dönem parametreleri CS-ARDL yöntemiyle tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 7 - Tablo 10'da özetlenmiştir.

Tablo 7. AB Ülkeleri İçin CS-ARDL Modeli Tahmin Sonuçları

	Katsayı	Std. hata	z-istatistiği	Olasılık
Kısa dönem				
$\Delta \ln \text{EFP}(-1)$	-0,0068	0,047	-0,15	0,884
$\Delta \ln \text{ET}$	0,0385	0,061	0,63	0,526
$\Delta \ln \text{GDP}$	1,0588***	0,137	7,70	0,000
$\Delta \ln \text{EE}$	-0,3065***	0,111	-2,77	0,006
$\Delta \ln \text{REC}$	-0,0217	0,046	-0,48	0,634
Düzeltilme terimi				
ECT	-1,0068***	0,047	-21,49	0,000
Uzun dönem				
$\ln \text{ET}$	0,0573	0,071	0,81	0,419
$\ln \text{GDP}$	1,1025***	0,155	7,10	0,000
$\ln \text{EE}$	-0,3077**	0,146	-2,11	0,035
$\ln \text{REC}$	0,0021	0,051	0,04	0,967
Tanısal testler				
F-istatistiği	1,62***			0,000
R-kare	0,49			
RMSE	0,05			
CD istatistik	-1,37			0,712

Not: ** ve *** , sırası ile %5 ve %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 7 ile verilen test sonuçlarına göre, modellerin bir bütün olarak geçerliliğini test eden F istatistik değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Tahmin edilen katsayılar incelendiğinde, $\ln \text{GDP}$ değişkeninin hem uzun hem de kısa dönemde $\ln \text{EFP}$ üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Kısa dönem katsayı (1,0588) ve uzun dönem katsayı (1,1025) değerlerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum GDP değişkeninde meydana gelecek %1'lik bir artışın EFP değerini yaklaşık olarak kısa dönemde % 1,05 ve uzun dönemde % 1,10 arttıracak olduğunu göstermektedir. Aynı model için $\ln \text{EE}$ değişkeninin $\ln \text{EFP}$ üzerinde negatif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu değişkenin kısa ve uzun dönem katsayılarının, $\ln \text{GDP}$ değişkeninde olduğu gibi birbirine oldukça yakın değerler aldığı ortaya konmuştur. Bu bulgu, EE değişkenindeki %1'lik bir artışın, EFP değişkenini hem kısa hem de uzun dönemde yaklaşık %0,30 oranında düşüreceğini ifade etmektedir. Söz konusu model için $\ln \text{ET}$ ve $\ln \text{REC}$ değişkenlerinin ilgilenilen dönemde $\ln \text{EFP}$ üzerinde anlamlı bir etki yaratmadığı tespit edilmiştir. Modelin ECT teriminin katsayısı beklenildiği gibi negatif (-1,0068) ve istatistiksel olarak anlamlıdır. ECT teriminin katsayısının -1 ile -2 aralığında yer alması, Narayan ve Smyth (2006) çalışmasına göre kısa dönemde meydana gelecek

dengeden sapmaların uzun dönem denge seviyesine dalgalı bir biçimde yaklaşacağı anlamına gelmektedir.

Tablo 8. Küme 1 Ülkeleri İçin CS-ARDL Modeli Tahmin Sonuçları

	Katsayı	Std. hata	z-istatistiği	Olasılık
Kısa dönem				
$\Delta \ln EFP(-1)$	-0,2384**	0,103	-2,31	0,021
$\Delta \ln ET$	0,1188	0,157	0,76	0,450
$\Delta \ln GDP$	1,4758***	0,464	3,18	0,001
$\Delta \ln EE$	-0,0350	0,181	-0,19	0,847
$\Delta \ln REC$	-0,0041	0,075	-0,06	0,956
Düzeltilme terimi				
ECT	-1,2384***	0,103	-11,99	0,000
Uzun dönem				
$\ln ET$	0,0798	0,102	0,78	0,436
$\ln GDP$	1,2207***	0,361	3,38	0,001
$\ln EE$	0,0063	0,150	0,04	0,967
$\ln REC$	-0,0105	0,065	-0,16	0,872
Tanısal testler				
F-istatistiği	2,54***			0,000
R-kare	0,58			
RMSE	0,04			
CD istatistik	-1,24			0,213

Not: ** ve *** , sırası ile %5 ve %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 8 ile verilen Küme 1 ülkelerine ait bulgular analiz edildiğinde, F istatistik değerinin anlamlı olduğu ve modelin yatay kesit bağımlılığı sorunu olmadığı anlaşılmaktadır. Elde edilen katsayılar incelendiğinde, sadece $\ln GDP$ değişkeninin hem uzun hem de kısa dönemde $\ln EFP$ üzerinde pozitif ve anlamlı bir etki oluşturduğu görülmektedir. Bu durum kişi başına gelirden meydana gelecek %1 oranındaki bir artışın ekolojik ayak izi üzerinde yaklaşık olarak kısa dönemde %1,48 ve uzun dönemde %1,22 oranında bir artışa neden olacağını göstermektedir. Küme 1 ülkeleri için diğer değişkenlerin EFP üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. AB ülkeleri için tahmin edilen modelde olduğu gibi bu modelde de ECT teriminin katsayısı negatif (-1,2384) ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu ise kısa dönemdeki dengeden sapmaların uzun dönem denge seviyesine dalgalı bir biçimde yaklaşacağına işaret etmektedir.

Tablo 9. Kime 2 Ülkeleri İçin CS-ARDL Modeli Tahmin Sonuçları

	Katsayı	Std. hata	z-istatistiği	Olasılık
Kısa dönem				
$\Delta \ln \text{EFP}(-1)$	0,0560	0,064	0,87	0,384
$\Delta \ln \text{ET}$	0,2847***	0,105	2,72	0,007
$\Delta \ln \text{GDP}$	1,0881***	0,235	4,62	0,000
$\Delta \ln \text{EE}$	-0,4240**	0,208	-2,04	0,041
$\Delta \ln \text{REC}$	-0,1018	0,069	-1,47	0,142
Düzeltilme terimi				
ECT	-0,9440***	0,064	-14,66	0,000
Uzun dönem				
$\ln \text{ET}$	0,3246**	0,132	2,46	0,014
$\ln \text{GDP}$	1,1617***	0,249	4,67	0,000
$\ln \text{EE}$	-0,5159**	0,236	-2,19	0,029
$\ln \text{REC}$	-0,1045	0,074	-1,41	0,159
Tanısal testler				
F-istatistiği	1,96***			0,000
R-kare	0,44			
RMSE	0,05			
CD istatistik	-1,75			0,081

Not: ** ve *** , sırası ile %5 ve %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 9'daki CS-ARDL modeli sonuçlarına göre kurulan modelin anlamlı olduğu ve modelin yatay kesit bağımlılığı sorununun olmadığı görülmektedir. Katsayı bulguları değerlendirildiğinde; $\ln \text{GDP}$ ve $\ln \text{ET}$ değişkenlerinin $\ln \text{EFP}$ üzerinde hem kısa dönemde hem de uzun dönemde pozitif etki oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bu durum kişi başına gelir ve çevre vergilerinde meydana gelecek %1 oranındaki bir artışın, uzun dönemde yaklaşık olarak sırası ile %1,16 ve %0,32 oranında ekolojik ayak izinin bir artışına yol açacaktır. Benzer şekilde bu değişkenlerin kısa dönemdeki katsayıları da çevre kalitesine zarar verdiği anlaşılmaktadır. Modelde yer alan $\ln \text{EE}$ değişkeninin katsayısı negatif ve istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. Bu ise enerji verimliğindeki %1'lik bir artış, yaklaşık olarak kısa dönemde %0,42 ve uzun dönemde %0,52 oranında ekolojik ayak izinin azalmasına neden olması anlamına gelmektedir. Hata terimi katsayısının negatif ve anlamlı olması ise kısa dönemde meydana gelecek dengeden sapmaların %94,40'ının bir dönemde düzeleceğini göstermektedir.

Tablo 10. Küme 3 Ülkeleri İçin CS-ARDL Modeli Tahmin Sonuçları

	Katsayı	Std. hata	z-istatistiği	Olasılık
Kısa dönem				
$\Delta \ln \text{EFP}(-1)$	0,0645	0,079	0,81	0,417
$\Delta \ln \text{ET}$	-0,1089***	0,016	-6,99	0,000
$\Delta \ln \text{GDP}$	0,7076	0,484	1,46	0,144
$\Delta \ln \text{EE}$	-0,4790*	0,256	-1,87	0,061
$\Delta \ln \text{REC}$	-0,0441	0,111	-0,40	0,691
Düzeltilme terimi				
ECT	-0,9355***	0,079	-11,77	0,000
Uzun dönem				
$\ln \text{ET}$	-0,1270***	0,025	-5,17	0,000
$\ln \text{GDP}$	0,7039	0,628	1,12	0,263
$\ln \text{EE}$	-0,5259*	0,316	-1,66	0,096
$\ln \text{REC}$	-0,0426	0,137	-0,31	0,755
Tanısal testler				
F-istatistiği	1,47**			0,030
R-kare	0,51			
RMSE	0,04			
CD istatistik	-1,00			0,319

Not: *, ** ve *** , sırası ile %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 10'da verilen sonuçlar değerlendirildiğinde, Küme 3 için tahmin edilen modelin bir bütün olarak anlamlı olduğu görülmektedir. CS-ARDL modeli ile belirlenen katsayılar incelendiğinde, $\ln \text{ET}$ ve $\ln \text{EE}$ değişkenlerinin $\ln \text{EFP}$ üzerinde hem kısa dönemde hem de uzun dönemde negatif ve anlamlı bir etki oluşturduğu anlaşılmaktadır. Kısa ve uzun dönem katsayılarının birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, çevre vergileri ve enerji verimliliğinde meydana gelecek %1'lik bir artışın, uzun dönemde yaklaşık olarak sırasıyla %0,13 ve %0,53 oranında ekolojik ayak izinde bir azalmaya yol açacağını göstermektedir. Modelin ECT teriminin katsayısı (-0,9355) negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunması, kısa dönem dengeden sapmalarının yaklaşık %93,55'nin bir dönemde düzeleceği anlamını taşımaktadır.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada, 1995-2023 dönemi için AB ülkelerinde çevre vergilerinin çevresel tahribat üzerindeki etkisinin analiz edilmesi amacıyla ampirik bir model kurulmuştur. Bu amaç doğrultusunda çevresel tahribatı temsilen EFP bağımlı değişken olarak alınmış; ET açıklayıcı değişken, GDP, EE ve REC ise kontrol değişkenleri olarak modele dâhil edilmiştir. Çalışmada ilk

olarak AB ülkelerinin yapısal açıdan heterojen olduğu varsayımıyla, benzer niteliklere sahip ülke gruplarını belirlemek için EFP, ET ve EE değişkenleri üzerinden kümeleme analizi yapılmıştır. Ardından hem tüm AB ülkeleri hem de kümeleme analizi sonucunda ortaya çıkan homojen gruplar için oluşturulan ekonometrik model analiz edilmiştir. Ekonometrik modelde kullanılan değişkenler öncelikle yatay kesit bağımlılığı testine ve buna bağlı olarak panel birim kök testlerine tabi tutulmuştur. Breusch ve Pagan (1980) yatay kesit bağımlılığı test sonuçları, her bir değişken için birimlerin bağımlı olduğunu göstermektedir. Yatay kesit bağımlılığının varlığında değişkenlerin durağanlığı CADF testi ile incelenmiş ve serilerin $I(0)$ ve $I(1)$ seviyesinde durağan olduğu tespit edilmiştir. Serilerin yatay kesit bağımlı ve farklı derecelerde durağan olması CS-ARDL modelini kullanmayı gerektirmiştir. Kısa ve uzun dönem dinamikleri birlikte inceleyen CS-ARDL modeli kullanılarak AB ülkeleri ve oluşturulan homojen ülke grupları için ekonometrik model tahmin edilmiştir.

CS-ARDL modeli tahmin sonuçları, AB ülkelerinde çevre vergilerinin yenilenebilir enerji tüketiminin EFP üzerinde anlamlı bir etki yaratmadığını; buna karşın, kişi başına gelirin pozitif, enerji verimliliğinin ise negatif bir etki oluşturduğunu göstermektedir. Bu durum ilgilenilen dönemde AB ülkelerinde kişi başına gelirdeki artışın çevre tahrifatına yol açtığı, enerji verimliliğindeki artışın ise beklenildiği gibi çevre tahrifatını azalttığı anlamına gelmektedir. Kümeleme analizi sonucunda elde edilen homojen gruplardan biri olan Küme 1'e ilişkin analiz sonuçları, yalnızca kişi başına gelirin EFP üzerinde pozitif bir etki yaratarak çevreye zarar verdiğini göstermektedir. Bu ülke grubunda, diğer değişkenlerin EFP üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı anlaşılmaktadır. Küme 2 için tahmin edilen model sonuçlarına göre, çevre vergileri ve kişi başına gelirin EFP üzerinde pozitif, enerji verimliliğinin ise negatif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu grupta yer alan ülkeler için elde edilen bulgular, çevre vergilerinin çevresel tahrifatın azaltılmasına beklenen düzeyde katkı sağlamadığı; hatta çevresel sürdürülebilirlik açısından olumsuz sonuçlar doğurabileceğini ortaya koymaktadır. Küme 3 ülkeleri için yapılan analiz sonucunda, çevre vergilerinin EFP üzerinde negatif ve anlamlı bir etki yarattığı, diğer değişkenlerin ise EFP'yi etkilemediği tespit edilmiştir.

Kümeleme analizi sonuçları, AB ülkelerinde çevre vergilerinin çevresel tahrifat üzerindeki etkilerinin ülke grupları arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Küme 1 ülke grubunda çevre vergilerinin çevre üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmazken, Küme 2 ülkelerinde bu vergilerin çevresel sürdürülebilirlik açısından olumsuz sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık, Küme 3 ülkelerinde çevre vergileri ekolojik ayak

izini istatistiksel olarak anlamlı biçimde azaltarak çevre tahribatı üzerinde hafifletici bir rol oynamaktadır. Elde edilen sonuçlar, çevre vergilerinin etkinliğinin ülkelerin ekonomik ve yapısal farklılıklarına bağı olduğunu ve bu nedenle AB ülkelerinin bir bütün olarak değil, homojen gruplar hâlinde incelenmesinin daha sağlıklı sonuçlar sağlayacağını göstermektedir. Son olarak kurulan modellerdeki ECT terimlerinin katsayısının negatif ve anlamlı olması, kısa dönemdeki dengeden sapmaların uzun dönem denge seviyesine yakınsadığını ortaya koymaktadır.

Kaynakça

- Abbas, A. (2025). Decoupling economic growth from energy consumption: Review of global trends and policy implications. *Habitable Planet* [this journal has moved to new platform at: <https://www.sciltp.com/journals/hp>], 1(1&2), 157-170.
- Akhmиеva, R., Vagapova, A., & Gumaev, I. (2024). Assessing the impact: escalating greenhouse gas emissions and their effects. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 537, p. 03014). EDP Sciences.
- Aldegheishem, A. (2024). Factors affecting ecological footprint in Saudi Arabia: a panel data analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1384451.
- Bashir, M. F., Ma, B., Bashir, M. A., Radulescu, M., & Shahzad, U. (2022). Investigating the role of environmental taxes and regulations for renewable energy consumption: evidence from developed economies. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 35(1), 1262-1284.
- 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.
- Breitung, J. (2005). A parametric approach to the estimation of cointegration vectors in panel data. *Econometric Reviews*, 24 (2), 151-173.
- 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), 239-253.
- Chen, C. Z., Lin, Z. S., & Zhang, X. Q. (2010). A study on driving forces of per capital ecological footprint at multiple timescales in China during the period 1953–2007. *Resour. Sci*, 32, 2003-2009.
- Chen, M., Jiandong, W., & Saleem, H. (2022). The role of environmental taxes and stringent environmental policies in attaining the environmental quality: Evidence from OECD and non-OECD countries. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 972354.
- Chen, W., Alharthi, M., Zhang, J., & Khan, I. (2024). The need for energy efficiency and economic prosperity in a sustainable environment. *Gondwana Research*, 127, 22-35.
- Chovancová, J., & Vavrek, R. (2020). (De) coupling analysis with focus on energy consumption in EU countries and its spatial evaluation. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(3).
- Chudik, A., & Pesaran, M.H. (2015). Common correlated effects estimation of heterogeneous dynamic panel data models with weakly exogenous regressors. *Journal of Econometrics* 188(2), 393–420.

- Eurostat (2025). Environmental taxes. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> (Erişim: 29.11.2025).
- GFN (2025). Global footprint network. <https://www.footprintnetwork.org/re-sources/data/> (Erişim: 29.11.2025).
- Gronwald, M., Jus, D., & Zimmer, M. (2010). The green paradox and the choice of capacity. <https://ecomod.net/sites/default/files/document-conference/ecomod2010/1384.pdf>, (Erişim: 25.11.2025).
- Haberl, H., Wiedenhofer, D., Virág, D., Kalt, G., Plank, B., Brockway, P., ... & Creutzig, F. (2020). A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: Synthesizing the insights. *Environmental Research Letters*, 15(6), 065003.
- Hassan, T., Song, H., Khan, Y., & Kirikkaleli, D. (2022). Energy efficiency a source of low carbon energy sources? Evidence from 16 high-income OECD economies. *Energy*, 243, 123063.
- 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.
- Kumar, A., Ahuja, D., Sharma, C., Thakur, S., & Chopra, J. (2025). Environmental degradation and its consequences on global biodiversity. *International Journal of Environmental Sciences*, 3470-3477.
- Luo, H., & Sun, Y. (2024). The impact of energy efficiency on ecological footprint in the presence of EKC: Evidence from G20 countries. *Energy*, 304, 132081.
- Majeed, M. T., & Mazhar, M. (2019). Financial development and ecological footprint: a global panel data analysis. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences (PJCSS)*, 13(2), 487-514.
- Mirametova, N., Kurbanazarova, A., Sapaeva, R., & Kurbanbaeva, Z. (2024). Pollution and its ecological consequences: Strategies for mitigating environmental damage. *American Journal of Biomedical Science & Pharmaceutical Innovation*, 4(10), 17-35.
- Narayan, P.K., & Smyth, R. (2006). What determines migration flows from low income to high-income countries? An empirical investigation of Fiji-US migration 1972-2001, *Contemporary Economic Policy*, 24(2), 332-342.
- Naveed, A., Ahmad, N., Aghdam, R. F., & Menegaki, A. N. (2022). What have we learned from Environmental Kuznets Curve hypothesis? A citation-based systematic literature review and content analysis. *Energy Strategy Reviews*, 44, 100946.

- Neagu, O. (2020). Economic complexity and ecological footprint: evidence from the most complex economies in the world. *Sustainability*, 12(21), 9031.
- Pesaran, M.H. (2004), General diagnostic tests for cross-sectional dependence in panels. *University of Cambridge, Cambridge Working Papers in Economics*, Discussion Paper No. 1240.
- Pesaran, M.H. (2007), A simple panel unit root test in presence of crosssection dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22, 265–312.
- Pesaran, M.H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93.
- Phillips, P.C., Sul, D. (2003). Dynamic panel estimation and homogeneity testing under cross section dependence. *The Econometrics Journal*, 6 (1), 217-259.
- Pincheira, R., & Zuniga, F. (2021). Environmental Kuznets curve bibliographic map: a systematic literature review. *Accounting & Finance*, 61, 1931-1956.
- Sarwar, N., Junaid, A., & Alvi, S. (2024). Impact of urbanization and human development on ecological footprints in OECD and non-OECD countries. *Heliyon*, 10(19).
- Schneider, N. (2023). Climate policy, resource owners' anticipations and the green paradox: Model set-up and empirical considerations. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 12(1), 33-43.
- Shayanmehr, S., Radmehr, R., Ali, E. B., Ofori, E. K., Adebayo, T. S., & Gyamfi, B. A. (2023). How do environmental tax and renewable energy contribute to ecological sustainability? New evidence from top renewable energy countries. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 30(6), 650-670.
- Staudt, A., Leidner, A. K., Howard, J., Brauman, K. A., Dukes, J. S., Hansen, L. J., ... & Solórzano, L. A. (2013). The added complications of climate change: understanding and managing biodiversity and ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(9), 494-501.
- Stern, N. H. (2007). The economics of climate change: the Stern review. Cambridge University Press.
- Swamy, P.A. (1970). Efficient inference in a random coefficient regression model. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 38(2), 311-323.
- Telatar, O. M., & Birinci, N. (2022). The effects of environmental tax on ecological footprint and carbon dioxide emissions: A nonlinear cointegration analysis on Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(29), 44335-44347.

- Ünal, H., & Aktuğ, M. (2022). Çevresel Kuznets eğrisi hipotezi kapsamında Türkiye’de çevre kalitesinin değerlendirilmesi. *İnsan ve Toplum*, 12(1), 113-136.
- Wang, Q., Zhang, F., Li, R., & Li, L. (2022). The impact of renewable energy on decoupling economic growth from ecological footprint—an empirical analysis of 166 countries. *Journal of Cleaner Production*, 354, 131706.
- World Development Indicator (WDI) (2025). World Bank Development Indicators database (online). <https://data.worldbank.org/> (Erişim Tarihi: 10. 06.2025).
- Yurtkuran, S., Ahlat, A., & Yıkıcı, A. (2025). The role of clean energy, energy security risk and financial development on LCF and EF: Testing the EKC and LCC hypothesis for USA. *Energy and Buildings*, 116279.

