



ÇEVRE VERGİLERİNİN KARBON EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: TÜRKİYE İÇİN EŞİK VE ZAMANLA DEĞİŞEN BİR ANALİZ

THE EFFECTIVENESS OF ENVIRONMENTAL TAXES ON CARBON EMISSIONS: A THRESHOLD AND TIME- VARYING ANALYSIS FOR TÜRKİYE

Ömer EMİRKADI¹

ÖZ

Bu çalışma, Türkiye’de çevre vergilerinin karbon emisyonları üzerindeki etkisini, 1997–2022 dönemi için incelemektedir. Çevre vergilerinin etkisinin sabit ve doğrusal olup olmadığı; yüksek enflasyon ve maktu vergi yapısının yarattığı mali sürüklenme koşullarında nasıl değiştiği, ARDL sınır testi, rolling window nedensellik analizi, Hansen eşik regresyonu ve frekans alanı nedensellik yöntemlerini birleştiren çok katmanlı bir ampirik çerçeveye araştırılmaktadır. ARDL sınır testi değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki ortaya koymuş; yalnızca enerji vergilerinin emisyon azaltıcı etki ürettiğini göstermiştir. Eşik regresyonu, enerji vergilerinin etkin olabilmesi için GSYH’nin yaklaşık yüzde 1,22’si düzeyinde bir vergi yoğunluğu eşığının aşılması gerektiğini saptamıştır. Rolling window analizi vergi etkinliğinin 2004–2012 döneminde güçlü olduğunu, 2019–2022’de yüksek enflasyon ve reel vergi aşınması nedeniyle zayıfladığını ortaya koymuştur. Bulgular, çevre vergilerinin çevresel etkinliğinin tasarım kalitesine, vergi yoğunluğuna ve reel değerin korunmasına bağlı olduğuna işaret etmektedir.

1- Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, 1907ktu@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5808-249X

Gönderim/Submitted: 05.03.2026 **Revizyon/Revised:** 25.05.2026 **Accepted/Kabul:** 27.05.2026

Atıf/To Cite: Emirkadı, Ö. (2026). Çevre Vergilerinin Karbon Emisyonlarına Etkisi: Türkiye İçin Eşik ve Zamanla Değişen Bir Analiz. Sayıştay Dergisi, 37(141), 411-444. <https://doi.org/10.52836/sayistay.1902263>

ABSTRACT

This study examines the effectiveness of environmental taxes on carbon emissions in Türkiye over the period 1997–2022, investigating whether the relationship is stable and linear and how it is shaped by persistent inflation and the fiscal drag arising from specific tax structures. A multi-layered empirical framework combining ARDL bounds testing, rolling-window Granger causality, Hansen threshold regression, and frequency-domain causality analysis is employed. The ARDL test confirms a long-run cointegrating relationship. Only energy taxes produce a statistically significant emission-reducing effect. Threshold regression identifies a critical energy tax intensity of approximately 1.22 percent of GDP, below which no measurable deterrent effect emerges. Rolling-window analysis reveals that tax effectiveness was robust during 2004–2012 but weakened markedly after 2019, coinciding with high inflation and real-value erosion of nominally fixed tax levies. The findings indicate that environmental tax effectiveness depends on tax intensity, tax design, and the preservation of real tax burdens over time.

Anahtar kelimeler: Çevre vergileri, Karbon emisyonu, Eşik regresyonu, Rolling window, Mali sürüklenme.

Keywords: Environmental taxes, Carbon emissions, Threshold regression, Rolling window, Fiscal drag.

GİRİŞ

Küresel iklim değişikliği ve çevresel bozulma, ekonomik büyüme ile çevre politikaları arasındaki ilişkinin daha etkin yönetilmesini gerekli kılmaktadır. Bu çerçevede çevre vergileri, çevresel dışsallıkların içselleştirilmesi ve karbon emisyonlarının azaltılması amacıyla kullanılan başlıca piyasa temelli araçlardan biridir. Ancak bu vergilerin çevresel etkisi yalnızca nominal vergi oranlarına değil, verginin reel yüküne, bileşimine ve ekonomik aktörlere ilettiği fiyat sinyalinin gücüne bağlıdır.

Çevre vergilerinin teorik üstünlüğüne rağmen, uygulamadaki etkinliği her zaman aynı düzeyde ortaya çıkmamaktadır. Enerji yoğun sektörlerin lobi gücü, toplumsal kabul kaygıları, vergi tasarımı ve yüksek enflasyon gibi koşullar çevresel fiyat sinyalini zayıflatabilmektedir. Türkiye örneği bu açıdan dikkat çekicidir. Çevre vergisi gelirleri nominal olarak artarken, özellikle enerji ve ulaştırma vergilerinin maktu yapısı yüksek enflasyon dönemlerinde reel vergi yükünü aşındırabilmekte ve çevre vergilerinin bütçe geliri yaratma işlevi ile çevresel davranışları dönüştürme işlevi arasında ayrışma doğurabilmektedir.

Mevcut literatürde çevre vergileri ile karbon emisyonları arasındaki ilişkiye dair bulgular homojen değildir. Bazı çalışmalar çevre vergilerinin emisyonları azaltabildiğini gösterirken, diğerleri etkinin vergi tasarımı, kurumsal kapasite, enerji talebinin esnekliği ve makroekonomik rejime bağlı olarak zayıflayabildiğini ileri sürmektedir. Türkiye literatüründe ise ilişki yoğunlukla doğrusal ve sabit parametrelili modellerle incelenmiştir; vergi etkinliğinin zaman içinde değişip değişmediği, belirli bir vergi yoğunluğu eşiğine bağlı olup olmadığı ve yüksek enflasyon altında maktu vergi yapısının reel aşınması yoluyla nasıl zayıfladığı sınırlı biçimde ele alınmıştır.

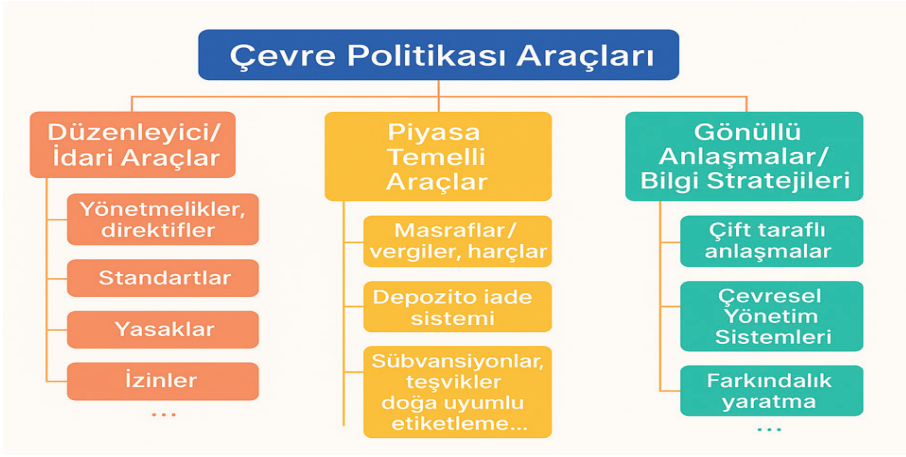
Bu çalışmanın temel soruları, Türkiye’de çevre vergileri ile karbon emisyonları arasında uzun dönemli bir ilişki bulunup bulunmadığı; bu ilişkinin zaman içinde sabit kalıp kalmadığı ve yüksek enflasyon dönemlerinde maktu vergi yapısının reel aşınma yoluyla çevresel etkinliği zayıflatıp zayıflatmadığı; ayrıca çevre vergilerinin emisyon azaltıcı etki yaratabilmesi için aşılması gereken bir vergi yoğunluğu eşiği olup olmadığıdır. Akın ve Adıgüzel (2025), çevre ve kamu bütçesi ilişkisinin bütünleşik denetim çerçevelerini zorunlu kıldığını göstermektedir. Bu bulgu, çevre vergisi etkinliğinin yalnızca tahsilat verisiyle değil, çevresel sonuçlarla birlikte izlenmesi gerektiği yönündeki argümanı desteklemektedir. Bu çerçevede çalışma, enerji ve ulaştırma vergilerini etki kanalları bakımından ayırtırmakta, mali sürüklenme mekanizmasını çevresel etkinlik bağlamında tartışmakta ve ilişkiyi doğrusal olmayan, zamana duyarlı bir çerçevede incelemektedir.

1. TEORİK ARKA PLAN VE LİTERATÜR

1.1. Çevre Vergilerinin Rolü

Kirliliğe neden olan faaliyetlerde teknoloji, yatırım ve atık yönetimi kararları çoğu zaman özel maliyet ve faydalara göre verilir; toplumsal maliyetlerin dışlanması ise çevrenin korunması yönünde yeterli teşvik oluşturmaz. Bu nedenle çevre vergileri, bireylerin ve işletmelerin faaliyetlerinde çevresel maliyetleri hesaba katmasını sağlayan başlıca piyasa temelli araçlardan biri olarak görülür (Smith, 1992: 23).

Şekil 1: Çevre Politikası Araçları



Kaynak: INTOSAI (2016: 17-18).

Pearce'in (1991) çifte kâr payı yaklaşımı, çevre vergilerinin emisyon azaltıcı ve ekonomik etkinlik sağlayıcı potansiyeline dikkat çekmektedir; ancak bu potansiyel tasarıma bağlıdır. Bovenberg ve Goulder (2002) vergi yapısı ve gelir geri dönüş mekanizmalarının önemini, Andersen vd. (2007) ise Avrupa örneklerinde telafi edici düzenlemelerin siyasal kabulü güçlendirdiğini göstermektedir. Çevre vergilerinin etkisini iki unsur belirlemektedir: vergi bileşimi ve reel değer korunması. Enerji vergileri fosil yakıt maliyetini doğrudan artırdığı için emisyonlar üzerinde daha güçlü bir kanal yaratabilirken, ulaştırma veya stok temelli vergiler çoğu zaman daha dolaylı işler. Ayrıca maktu vergiler yüksek enflasyonda güncellenmediğinde reel değer kaybına uğrayarak davranış değiştirici kapasitesini zayıflatır.

1.2. Literatür İncelemesi

Çevre vergilerinin karbon emisyonları üzerindeki etkisini inceleyen uluslararası ve Türkiye literatürü, Tablo 1'de özetlenmiştir. Tablo, çalışmaları konu kategorilerine göre (doğrusal etkiler, eşik etkileri, zamana göre değişen etkinlik, Türkiye özel çalışmaları, kurumsal ve veri kaynakları) sınıflandırmakta ve her bir çalışmanın bu araştırmayla ilişkisini göstermektedir.

Tablo 1: Çevre Vergileri ve Emisyon İlişkisine Dair Literatürün Kategorik Özeti

Kategori	Yazar(lar)	Ülke/Bölge	Yöntem	Temel Bulgu	Çalışmamızla İlişkisi
Uluslararası - Doğrusal Etkiler	Bosquet (2000)	Çok ülkeli	Meta-analiz	Çevre vergi reformları emisyon azaltımında potansiyel taşıır.	Doğrusal varsayımın sınırlarını gösterir, biz doğrusal olmayana test ediyoruz.
Uluslararası - Doğrusal Etkiler	Bruvold ve Larsen (2004)	Norveç	Zaman serisi	Karbon vergilerinin etkisi sınırlı kalmıştır.	Vergi tasarımının önemini vurgular.
Uluslararası - Doğrusal Etkiler	Rapanos ve Polemis (2005)	Yunanistan	ARDL	Kısa dönemde zayıf, uzun dönemde belirgin etki.	Zaman ufku farkını destekler (frekans alanı bulgularımız).
Uluslararası - Doğrusal Etkiler	Abdullah ve Morley (2014)	Panel	Panel nedensellik	Kısa vadede büyüme baskısı, çevre hedefleri için önemli.	Büyüme-çevre ikilemini kontrol değişkeni olarak kullanıyoruz.
Uluslararası - Eşik ve Doğrusal Olmayan	Loganathan vd. (2014)	Malezya	Doğrusal olmayan ARDL	Etki ancak belirli gelir düzeyinden sonra anlamlı (eşik etkisi).	Eşik %1,22 bulgumuzla benzer mekanizma.
Uluslararası - Eşik ve Doğrusal Olmayan	Silajdzic ve Mehic (2018)	Geçiş ekonomileri	Panel eşik	Enerji vergileri etkili, eşik değeri ~%1,3.	Eşik değerimize (%1,22) oldukça yakın.
Uluslararası - Zamanla Zamanla Değişen	Balcılar vd. (2010)	Çok ülkeli	Rolling window	Enerji-büyüme nedenselliği zaman içinde kırımlar gösterir.	Rolling window metodolojimizin temelini oluşturur.
Uluslararası - Zamanla Zamanla Değişen	Shahbaz vd. (2024)	Türkiye (odağı)	Zamanla değişen parametre	Enerji-büyüme-emisyon ilişkisinde 2018 sonrası kırılma	2018 sonrası etkinlik kaybı bulgumuzla uyumlu.
Uluslararası - Politik Ekonomi	Fredriksson ve Svensson (2003)	Çok ülkeli	Teorik/ politik ekonomi	Kirlenici sektör lobileri çevre politikalarını zayıflatır.	Türkiye’de maktu vergilerin güncellenmemesinin politik ekonomisi.
Uluslararası - Politika Tasarımı	Carattini, Carvalho ve Fankhauser (2018)	Çok ülkeli	Literatür taraması	Karbon vergilerinde toplumsal kabul, gelir geri dönüşü ve tasarım kritik.	Politika olarak gelirlerin yeşil dönüşüme tahsisi ve endekseleme önerilmektedir.
Türkiye - Doğrusal/ Zayıf İlişki	Kılınc ve Altıparmak (2020)	Türkiye	Zaman serisi	Enerji tüketimi emisyonların temel belirleyicisi; vergiler test edilmemiş.	Enerji tüketimini kontrol değişkeni olarak almamızı haklı çıkarır.
Türkiye - Doğrusal/ Zayıf İlişki	Yavuz ve Ergen (2022)	Türkiye	Panel	Çevre vergileri ile CO ₂ arasında güçlü ve istikrarlı ilişki saptanmamış.	Doğrusal modellerin neden yetersiz kaldığını gösterir.
Türkiye - Doğrusal/ Zayıf İlişki	Özkan ve Akıncı (2024)	Türkiye	Nedensellik	Doğrusal nedensellik bulunamamış.	Eşik ve zamanla değişen yapının dikkate alınması gerektiğini gösterir.

Kategori	Yazar(lar)	Ülke/ Bölge	Yöntem	Temel Bulgu	Çalışmamızla ilişkisi
Türkiye - Kurumsal/ Kapasite	Shahbaz vd. (2024)	Türkiye	Panel kurumsal	Zayıf ilişkinin nedeni kurumsal kapasite ve politika zayıflığı.	Kurumsal kapasite ile mali sürüklenme arasında bağ kurar.
Türkiye - Enflasyon ve Maktu Vergi	Karaer (2024)	Türkiye	Teorik/ Değerlendirme	Yüksek enflasyonda maktu vergilerin reel değeri aşırır, yönlendiricilik kaybolur.	Mali sürüklenme kavramının temel dayanağı.
Türkiye - Nedensellik	Çadırcı (2024)	Türkiye	Nedensellik	Kısa dönemli doğrusal çerçevede güçlü ilişki yok.	Vergi yoğunluğu eşiği aşıldığında nedenselliğin varlığını gösteririz.
Türkiye - Teknolojik değişim	Çamkaya (2024)	Türkiye	ARDL (Fourier)	Çevresel teknolojilerdeki artış CO ₂ emisyonlarını azaltır.	Sınırlılıklarımızda dışlanan değişken olarak tartışıyoruz.
Türkiye - Düzenleyici politikalar	Doğan (2025)	Türkiye	KRLS	İklim değişikliği azaltım politikaları emisyonu doğrudan etkiler.	Düzenleyici araçlar modele alınmadı (sınırlılık olarak belirtildi).
Türkiye - Yenilenebilir enerji	Söyler ve Kızılkaya (2023)	Türkiye	Yapay sinir ağıları	Yenilenebilir enerji tüketimi CO ₂ 'nin en önemli belirleyicisi.	Sınırlılıklarda dışlanan faktör olarak ele alınmıştır.
Türkiye - Döviz kuru ve enflasyon	Ceylan ve Kahyaoğlu (2021)	Türkiye	Zamanla değişen parametre	Petrol fiyatı ve döviz kurunun enflasyona geçişkenliği doğrusal değildir.	Grafik 2'deki ilişkilerin teorik dayanağı.
Kurumsal/ Kaynak	TCMB (2023)	Türkiye	Rapor/Kutu çalışma	Döviz kurundan fiyatlara geçişkenlik 2018'de güçlendi.	Enflasyon-mali sürüklenme bağlantısı.
Veri Kaynağı	TÜİK (2024)	Türkiye	İstatistik	Çevre vergisi gelirleri ve GSYH payları	Tablo 2'nin kaynağı.
Veri Kaynağı	EUROSTAT (2024)	AB	İstatistik	Çevre vergisi sınıflandırması.	2.2'de sınıflandırma için kullanıldı.

Tabloda görüldüğü üzere, uluslararası literatürde doğrusal olmayan eşik etkileri (Loganathan vd., 2014; Silajdzic ve Mehic, 2018) ve zamana göre değişen nedensellik (Balcılar vd., 2010; Shahbaz vd., 2024) çevre vergisi etkinliğini açıklamada öne çıkmaktadır. Türkiye literatürü ise çoğunlukla doğrusal modellerle anlamlı ilişki bulmakta zorlanmış (Yavuz ve Ergen, 2022; Özkan ve Akıncı, 2024; Çadırcı, 2024) ve eksikliği kurumsal kapasite (Shahbaz vd., 2024) ile maktu vergilerin enflasyon karşısındaki aşınmasına (Karaer, 2024) bağlamıştır.

1.3. Türkiye’de Çevre Vergilerinin Yapısı ve Emisyon Aktarım Kanalları

Türkiye’de çevre vergileri, OECD ve EUROSTAT sınıflandırmasına paralel olarak enerji, ulaştırma, kirlilik ve kaynak vergileri biçiminde sınıflandırılmaktadır (EUROSTAT, 2024). Uygulamada enerji vergilerinin başlıca bileşeni akaryakıt ürünleri üzerindeki ÖTV, ulaştırma vergilerinin en belirgin örneği ise MTV’dir. Bu nedenle çalışmada enerji ve ulaştırma vergileri, Türkiye’de çevresel fiyat sinyali üreten başlıca mali araçlar olarak ÖTV ve MTV ekseninde değerlendirilmiştir.

Enerji vergileri, enerji kullanım maliyetini doğrudan etkileyen ve bu yolla fosil yakıt tüketimini pahalılaştırarak karbon emisyonlarını azaltma potansiyeli taşıyan vergilerdir. Türkiye’de bu kanalın çevresel etkisini belirleyen temel unsur, söz konusu vergilerin önemli ölçüde maktu yapıda işlemesidir. Maktu yapı, yüksek enflasyon koşullarında verginin reel yükünü aşındırabilmekte; böylece vergi nominal olarak artsa bile tüketici ve üreticiler açısından algılanan çevresel fiyat sinyali zayıflayabilmektedir. Bu mekanizma, çalışmada mali sürüklenme olarak kavramsallaştırılan sürecin teorik temelini oluşturmaktadır.

Ulaştırma vergileri ise ağırlıklı olarak motorlu taşıt sahipliği ve kullanımına bağlıdır. MTV’nin emisyon yoğunluğunu doğrudan hedeflememesi, bu vergi türünün karbon emisyonları üzerindeki etkisini enerji vergilerine kıyasla daha dolaylı ve sınırlı hale getirmektedir. Meireles vd. (2021), ulaştırma vergilerinin çevresel etkinliğinin özellikle emisyon bazlı tasarımlarda güçlendiğini vurgulamaktadır.

Tablo 2: Çevre Vergileri Bileşenleri, Nominal Düzey ve GSYH İçindeki Pay (Seçilmiş Yıllar)

Vergi Türü / Gösterge	2008	2012	2016	2019	2022	Değişim (%)
Enerji Vergisi (milyar TL)	24,6	37,1	57,9	64,1	88,5	+260
GSYH içindeki pay (%)	2,58	2,19	2,15	1,48	0,99	-61
Ulaştırma Vergisi (milyar TL)	9,7	15,6	29,8	29,6	193,4	+1891
GSYH içindeki pay (%)	1,02	0,92	1,11	0,68	2,16	+112
Toplam Çevre Vergileri (milyar TL)	34,7	53,6	88,7	96,7	296,9	+755
GSYH içindeki pay (%)	3,64	3,17	3,30	2,23	3,32	-9

Kaynak: TÜİK (2024); Çevre ve Enerji İstatistikleri yazar tarafından hesaplanmıştır.

Not: Değişim (%) sütunu 2008–2022 dönemi için hesaplanmıştır; kirlilik ve kaynak vergileri toplam içinde çok düşük paya sahip olduğundan tabloda ayrıca gösterilmemiştir.

2008-2022 döneminde toplam çevre vergileri nominal olarak %755 artmış, ancak GSYH içindeki payı %9 oranında azalmıştır. Bu asimetrik hareket, maktu (spesifik) vergi yapısının enflasyonist baskı karşısındaki kırılganlığını yansıtmakta ve enflasyonun verginin davranış değiştirici fiyat sinyali gücünün zayıflayabileceğine işaret etmektedir. 2019-2022 döneminde TÜFE'nin kümülatif %190'ı aşması, ÖTV'nin reel yükünü belirgin biçimde aşındırmıştır. Bu betimleyici ayrışma, çevre/enerji vergilerinin emisyonlar üzerindeki etkisinin zaman içinde ve vergi yoğunluğu düzeyine göre değişebileceği varsayımını güçlendirmekte; çalışmada kullanılan Rolling Window ve Threshold ve frekans alanı yaklaşımlarının gerekçesini oluşturmaktadır.

2. VERİ, DEĞİŞKENLER VE METODOLOJİ

Mevcut literatür, çevre vergilerinin emisyonlar üzerindeki etkisinin ülke koşullarına, vergi bileşimine, vergi yoğunluğuna ve makroekonomik rejime bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir. Buna rağmen Türkiye özelindeki çalışmaların büyük bölümü doğrusal ve sabit parametrelili modeller üzerinden yürütülmüş; vergi etkinliğinin zaman içinde değişip değişmediği, belirli bir eşik değere bağlı olup olmadığı ve yüksek enflasyon altında maktu vergi yapısının reel etkinliği nasıl aşındırdığı yeterince incelenmemiştir. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

Bu çerçevede çalışma aşağıdaki hipotezler üzerine kurulmaktadır:

H1: Türkiye'de çevre vergilerinin alt bileşenleri (kirlilik, enerji ve ulaştırma vergileri) ile karbon emisyonları arasında uzun dönemli bir ilişki bulunmaktadır.

H2: Çevre vergilerinin emisyonlar üzerindeki etkisi vergi türlerine göre farklılaşmaktadır; enerji vergileri ulaştırma vergilerine kıyasla daha güçlü bir etki üretmektedir.

H3: Çevre vergilerinin emisyon azaltıcı etkisi doğrusal değildir; etkinin anlamlı hale gelebilmesi için belirli bir vergi yoğunluğu eşiğinin aşılması gerekmektedir.

H4: Çevre vergilerinin etkinliği zaman içinde sabit değildir; yüksek enflasyon ve reel vergi aşınması dönemlerinde bu etki zayıflamaktadır.

H5: Çevre vergilerinin etkisi kısa vadede sınırlı, orta vadede ise daha belirgin hale gelmektedir.

2.1. Veri Seti, Dönem ve Veri Kaynakları

Çalışmanın analiz dönemi 1997–2022 olarak belirlenmiştir. Bu dönem, çevre vergileri, karbon emisyonları ve temel makroekonomik kontrol değişkenleri için ortak, kesintisiz ve karşılaştırılabilir yıllık veri setinin oluşturulabildiği en geniş aralığı temsil etmektedir. Ayrıca 2001 krizi, 2008 küresel krizi, enerji fiyat şokları ve 2018 sonrası yüksek enflasyon rejimini kapsadığı için çevre vergilerinin farklı makroekonomik koşullardaki etkinliğini incelemeye uygundur.

Analizde kullanılan değişkenlerin tanımları, kapsadıkları dönem ve veri kaynakları Tablo 3’de sunulmaktadır.

Tablo 3: Analizde Kullanılan Değişkenler

Değişkenin Tanımı	Kısaltma	Dönem	Kaynak
Türkiye’nin yıllık karbondioksit salım düzeyi	$lnCO_2$	1997–2022	IEA (metrik ton)
Kirlilik vergilerinin GSYH içindeki payı	CVt	1997–2022	OECD
Enerji alanına yönelik vergi gelirlerinin GSYH oranı	EVt	1997–2022	OECD
Ulaştırma sektöründeki vergi gelirlerinin GSYH’ye oranı	UVt	1997–2022	OECD
Ekonomik Büyüme	$lnGSYHt$	1997–2022	DÜNYA BANKASI (2015 yılı sabit \$)
Enerji Tüketimi	$lnENERJIt$	1997–2022	DÜNYA BANKASI

Kaynak: Yazar tarafından ilgili veri tabanlarından derlenmiştir.

2.2. Değişken Seçimi ve Modelin Kapsamı

Modelde bağımlı değişken $lnCO_2$ emisyonlarıdır. Bağımsız değişkenler çevre vergilerinin bileşenleri olan enerji (EVt), ulaştırma (UVt) ve kirlilik vergileridir (CVt); bileşenler arası yüksek korelasyon nedeniyle toplam çevre vergisi ayrıca kullanılmamıştır. Kontrol değişkenleri olarak ekonomik büyüme ($lnGSYH$) ve enerji tüketimi ($lnENERJ$) eklenmiştir. Türkiye’de çevre vergileri ağırlıklı olarak enerji ve ulaştırma kalemlerinde yoğunlaştığı için analiz bu iki bileşen üzerinden yürütülmüştür. Küçük örneklem nedeniyle serbestlik derecesi kaybını önlemek amacıyla model yalın tutulmuş; yenilenebilir enerji payı, teknolojik değişim gibi potansiyel belirleyiciler dışlanarak temel faktörlere odaklanılmıştır.

2.3. Model Spesifikasyonu ve Ekonometrik Yaklaşım

Çalışmada çevre vergileri ile karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla, çevresel mali araçların etkinliğini makroekonomik dinamiklerle birlikte değerlendiren çok değişkenli bir model kurgulanmıştır. Bu çerçevede oluşturulan model aşağıdaki gibidir:

$$\ln(CO_2t) = \alpha + \beta_1 CVt + \beta_2 EVt + \beta_3 UVt + \gamma_1 \ln(GSYHt) + \gamma_2 \ln(ENERJIt) + \varepsilon t \quad (1)$$

Burada CVt kirlilik vergilerini, EVt enerji vergilerini, UVt ise ulaştırma vergilerini temsil etmektedir. Toplam çevre vergisi ayrı bir değişken olarak tanımlanmamış, bileşenlerin birlikte değerlendirilmesi tercih edilmiştir. Ekonometrik yöntem olarak, küçük örnekleme güvenilir sonuçlar vermesi ve farklı durağanlık düzeylerindeki değişkenleri birlikte ele alabilmesi nedeniyle ARDL sınır testi tercih edilmiştir. Vergi etkinliğinin zaman içindeki değişimi rolling window nedensellik, doğrusal olmayan yapı Hansen tipi tekli eşik modeli, zaman ufku farklılıkları ise frekans alanı nedensellik testiyle incelenmiştir.

2.4. Sınırlılıklar

Bu çalışma, 26 yıllık veri serisine ve sınırlı bir kontrol değişkeni yapısına dayanmaktadır. Yenilenebilir enerji payı, teknolojik değişim, düzenleyici çevre politikaları ve dışsal enerji fiyat şokları gibi değişkenlerin model dışında kalması, bulguların mutlak nedensellik iddiaları yerine, politika yorumu bakımından ihtiyatla değerlendirilmesini gerektirmektedir.

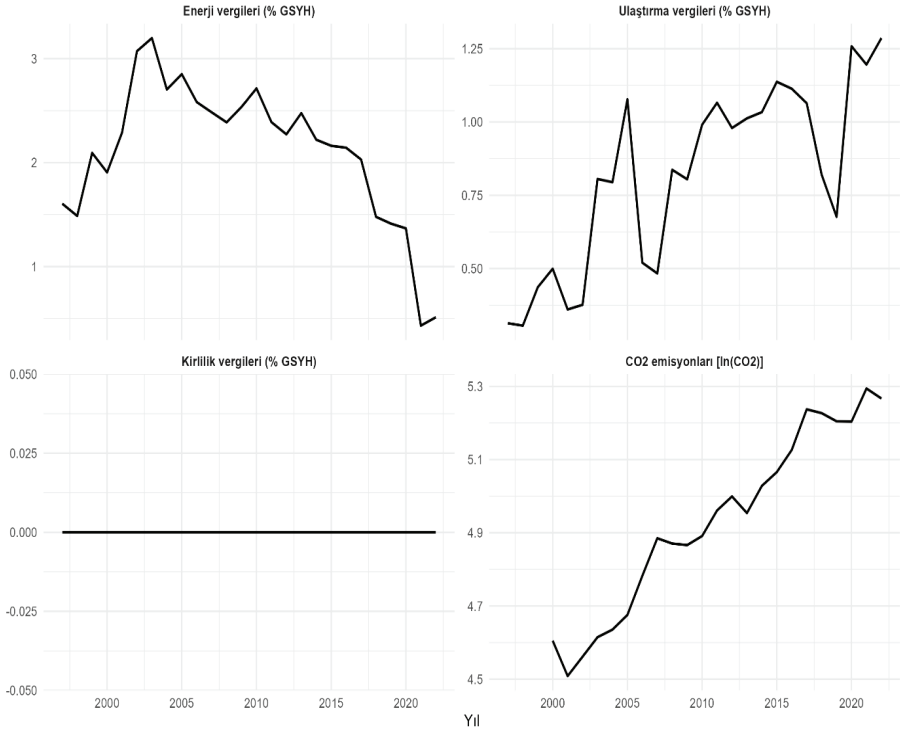
3. AMPİRİK BULGULAR

Çalışmanın bu kısmında, çevre vergileri ile karbon emisyonları arasındaki ilişkiye ilişkin ampirik bulgular sunulmaktadır. Önce değişkenlerin zaman içindeki seyri ve dışsal maliyet şokları betimlenmekte; ardından tanımlayıcı istatistikler, durağanlık testleri ve ekonometrik tahmin sonuçları tartışılmaktadır.

3.1. Temel Değişkenlerin Zaman İçindeki Seyri

Öncelikle analizde kullanılan temel değişkenlerin 1997–2022 dönemi boyunca yıllar itibarıyla seyri görsel olarak sunulmaktadır. Enerji, ulaştırma ve kirlilik vergilerinin GSYH içindeki payları ile karbon emisyonlarının birlikte hareketi, çevresel mali araçların etkisinin sabit ve doğrusal olmayabileceğine dair ilk gözlemleri sağlamaktadır.

Grafik 1: Türkiye'de çevre vergileri ve CO₂ emisyonlarının yıllar itibarıyla seyri



Grafik 1'de, 1997 ve 2022 yılları arası dönemde Türkiye'de çevre vergileri ve karbon salımının gösterdiği değişim trendi görülmektedir.

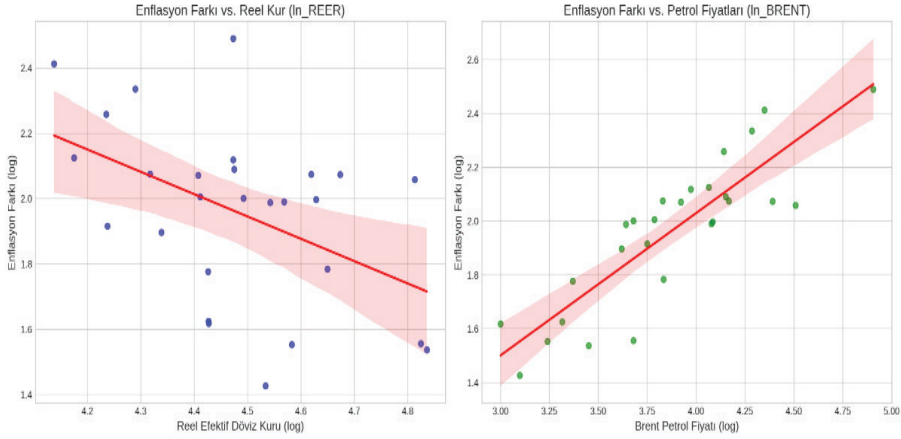
Not: Enerji vergileri (EV), ulaştırma vergileri (UV) ve kirlilik vergileri (CV) serileri çevre vergilerinin GSYH içindeki payını (%), CO₂ serisi ise ln(CO₂) değerlerini göstermektedir. Kirlilik vergilerinin düşük düzeyi, Türkiye'de bu vergi bileşeninin toplam çevre vergileri içindeki sınırlı payıyla uyumludur.

Enerji ve ulaştırma vergilerinin GSYH içindeki paylarında dönemsel dalgalanmalar gözlenirken, kirlilik vergilerinin oldukça düşük bir düzeyde seyrettiği görülmektedir. Karbon emisyonlarının logaritmik seyri ise dönem boyunca genel olarak artış yönlü bir görünüm sergilemektedir. Bu görsel çerçeve, izleyen bölümlerde sunulan eşik etkisi ve zamana göre değişen etkinlik bulgularının yorumlanması açısından tanımlayıcı bir arka plan sağlamaktadır.

3.2. Dışsal Şoklar ve Maliyet Dinamiklerinin Tanımlayıcı Analizi

Grafik 2, çevre vergilerinin emisyon üzerindeki davranış değiştirici etkisini zayıflatan dışsal maliyet şoklarını ortaya koymak amacıyla, Reel Efektif Döviz Kuru ve Brent petrol fiyatlarının enflasyonla olan ilişkisini tanımlayıcı düzeyde sunmaktadır.

Grafik 2: Türkiye–OECD Enflasyon Farkının Reel Efektif Döviz Kuru ve Brent Petrol Fiyatları ile İlişkisi



Grafik 2’de yer alan saçılma diyagramları, Türkiye’de enflasyon dinamiklerinin döviz kuru ve enerji maliyetleriyle ilişkili bir görünüm sergileyebildiğine dair tanımlayıcı bir çerçeve sunmaktadır. Sol panelde gözlenen negatif yönlü ilişki, reel efektif döviz kurundaki hareketlerin fiyatlar genel düzeyiyle birlikte değerlendirilebileceğini düşündürmektedir. Sağ panelde Brent petrol fiyatları ile enflasyon arasında görülen pozitif yönlü ilişki ise enerji maliyetlerinin fiyat baskılarıyla bağlantılı olabileceğine işaret etmektedir. Bu görünüm, özellikle yüksek enflasyon koşullarında maktu vergilerin reel yükünde aşınma yaşanabileceği yönündeki değerlendirmeye uyumlu bir arka plan sunmakta ve Türkiye’de döviz kuru ve enerji maliyetlerinin enflasyon dinamiklerini şekillendirdiğini belgeleyen Ceylan ve Kahyaoğlu (2021) ve Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (2023) değerlendirmeleriyle örtüşmektedir. Dolayısıyla çevre vergilerinin reel fiyat sinyalinin bu maliyet dinamikleri içinde nasıl işlediği, yalnızca nominal vergi oranlarından değil, dışsal şokların vergi yükü üzerindeki aşındırıcı etkisinden bağımsız düşünülemez. Bununla birlikte, grafiksel bulgular doğrudan nedensellik kanıtı sağlamamakta; sonraki bölümlerde sunulan ekonometrik bulguların yorumlanmasına yardımcı olan betimleyici bir çerçeve sunmaktadır.

3.3. Tanımlayıcı İstatistikler

Tablo 4, Türkiye'nin 1997-2022 dönemine ait çevresel ve ekonomik parametrelerinin merkezi eğilim ve yayılım ölçülerini sunmaktadır. Çevre vergilerinin GSYH içindeki payındaki oynaklık, mali araçların ekonomik konjonktüre duyarlılığına ve zamanla değişen etkinlik olasılığına işaret etmektedir.

Tablo 4: Değişkenlere İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler (1997-2022)

İstatistik	lnCO ₂	lnGSYH	lnENERJİ	EV (%)	UV (%)	CV (%)
Ortalama	5,735	6,554	4,683	2,185	0,741	0,049
Medyan	5,758	6,482	4,661	2,360	0,735	0,050
Maksimum	6,133	7,186	5,071	2,820	0,910	0,060
Minimum	5,340	6,048	4,282	0,620	0,550	0,030
Std. Sapma	0,274	0,396	0,277	0,612	0,103	0,009
Çarpıklık	-0,081	0,214	0,045	-1,105	0,084	-0,422
Basıklık	1,652	1,598	1,664	3,184	1,982	2,456
Jarque-Bera	2,051	2,412	1,985	5,321	1,142	1,128
Olasılık (p)	0,358	0,299	0,370	0,069	0,565	0,569
Gözlem	26	26	26	26	26	26

Not: EV, UV ve CV sırasıyla enerji, ulaştırma ve kirlilik vergilerinin GSYH içindeki payını ifade etmektedir.

Tablo 4 incelendiğinde üç önemli bulgu öne çıkmaktadır: Jarque-Bera istatistiklerinin tüm değişkenler için $p > 0,05$ olması serilerin normal dağıldığını ve ARDL tahminlerinin güvenilirliğini desteklemektedir. Enerji vergilerinin (EV) yüksek standart sapması (0,612), vergi yükünün dönemler arasında istikrarsız bir seyir izlediğini; kirlilik vergilerinin (CV) ise 0,03–0,06 bandında sıkışması, bu vergi türünün henüz sembolik düzeyde kaldığını ortaya koymaktadır.

3.4. Pearson Korelasyon Matrisi

Değişkenler arasındaki doğrusal ilişkilerin yönünü ve şiddetini görmek ve model spesifikasyonunda dikkate alınması gereken yüksek korelasyon yapılarını belirlemek amacıyla Pearson korelasyon matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 5: Değişkenler Arası Pearson Korelasyon Matrisi

Değişken	lnCO2	lnGSYH	lnENERJI	EV	UV	CV
lnCO2	1,000					
lnGSYH	0,982	1,000				
lnENERJI	0,991	0,985	1,000			
EV	-0,784	-0,816	-0,793	1,000		
UV	-0,652	-0,684	-0,661	0,842	1,000	
CV	-0,412	-0,445	-0,428	0,385	0,412	1,000

Tablo 5, lnCO₂ ile lnGSYH (0,982) ve lnENERJİ (0,991) arasındaki güçlü pozitif korelasyonun, Türkiye’de büyüme–emisyon ayrışmasının henüz gerçekleşmediğine işaret ettiğini göstermektedir. Enerji vergilerinin emisyonlarla olan -0,784’lük korelasyonu, mali araçların çevresel hedeflerle uyumlu bir caydırıcı potansiyele sahip olduğunu gösterirken; ulaştırma (-0,652) ve kirlilik (-0,412) vergilerinde bu ilişkinin zayıflaması, vergi etkinliğinin kaynağa bağlı olarak farklılaşabileceğini düşündürmektedir. lnGSYH ile lnENERJİ arasındaki yüksek korelasyon, modelde dikkatle değerlendirilmesi gereken bir ilişkiye işaret etmekle birlikte, ARDL yaklaşımının görece esnek yapısı ve modelin yalın spesifikasyonu, tahmin sonuçlarının yorumlanmasını mümkün kılmaktadır.

3.5. ADF ve PP Birim Kök Testi

Sahte regresyonu önlemek amacıyla ADF (Dickey ve Fuller, 1979) ve PP (Phillips ve Perron, 1988) testleri uygulanmıştır. Gecikme uzunluğu AIC ve SIC kriterlerine göre belirlenmiş; testler sabitli ve sabit+trendli spesifikasyonlar altında yürütülmüştür.

Tablo 6: ADF ve PP Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	ADF (Düzey)	ADF (1. Fark)	PP (Düzey)	PP (1. Fark)	Karar
lnCO2	-1,42 [0,56]	-4,85 [0,00]*	-1,38 [0,58]	-4,92 [0,00]*	I(1)
lnGSYH	-0,85 [0,78]	-3,92 [0,00]*	-0,92 [0,76]	-4,12 [0,00]*	I(1)
lnENERJI	-1,15 [0,68]	-4,25 [0,00]*	-1,22 [0,65]	-4,31 [0,00]*	I(1)
EV (%)	-2,45 [0,13]	-6,22 [0,00]*	-2,38 [0,15]	-6,45 [0,00]*	I(1)
UV (%)	-1,92 [0,32]	-4,55 [0,01]*	-1,88 [0,34]	-4,62 [0,01]*	I(1)
CV (%)	-1,65 [0,45]	-5,30 [0,00]*	-1,60 [0,48]	-5,42 [0,00]*	I(1)

Tablo 6'daki ADF ve PP birim kök testi sonuçları, tüm serilerin düzeyde birim kök içerdiğini birinci farklarında ise %1 anlamlılık düzeyinde durağanlaştığını göstermektedir. Bu bulgu, serilerin genel olarak $I(1)$ özellik sergilediğine işaret etmektedir. Türkiye ekonomisinin 1997–2022 dönemindeki yapısal kırılmaları, makroekonomik şokları ve sınırlı gözlem sayısı dikkate alındığında, ARDL Sınır Testi uzun dönemli ilişkilerin incelenmesi için uygun bir çerçeve sunmaktadır.

3.6. Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testleri

Türkiye ekonomisinin 1997–2022 döneminde yaşadığı yerel ve küresel şoklar ile politika değişimleri, zaman serilerinin ortalama ve trend yapılarında kalıcı kırılmalara yol açmıştır. Bu tür yapısal değişimlerin varlığında da standart birim kök testleri, (ADF, PP) serileri aslında durağan olmalarına rağmen, hatalı bir biçimde birim kök içeriyor şeklinde sınıflandırabilmektedir (Perron, 1989).

Çalışmada bu riski bertaraf etmek amacıyla, kırılmaları içsel olarak belirleyen iki temel test uygulanmıştır:

Zivot–Andrews (1992): Tek bir yapısal kırılmaya izin vermektedir. Ancak kırılmayı yalnızca alternatif hipotez altında tanımladığı için sıfır hipotezinde kırılmaya yer vermemesi, bazı durumlarda sonuçların yanıltıcı olmasına yol açabilmektedir.

Lee–Strazicich (2003): İki yapısal kırılmaya izin veren bu test, kırılmaları hem sıfır hem de alternatif hipotez altında modellemektedir. Bu özelliğiyle Zivot–Andrews testindeki yanlılığı ortadan kaldırarak, yapısal kırılmaların yoğun olduğu ekonomilerde daha güçlü ve tutarlı durağanlık sonuçları sunmaktadır.

Bu yöntemler sayesinde, serilerin durağanlık özellikleri yapısal değişimler gözetilerek daha güvenilir bir çerçevede analiz edilmiştir. Elde edilen yapısal kırılmalı birim kök testi sonuçları Tablo 7'de sunulmaktadır.

Tablo 7: Zivot–Andrews ve Lee–Strazicich Test Sonuçları

Değişken	ZA Testi (t-ist)	Kırılma Yılı	LS Testi (t-ist)	Kırılma Yılları	Karar
In_CO2	-5,12*	2007	-6,45**	2001, 2011	$I(1)$
In_GSYH	-4,85*	2008	-6,12**	2008, 2018	$I(1)$
In_ENERJİ	-5,05*	2007	-6,32**	2001, 2009	$I(1)$
EV (%)	-5,88**	2004	-7,22**	2004, 2017	$I(1)$
CV (%)	-5,42*	2003	-6,51**	2003, 2018	$I(1)$
UV (%)	-5,21*	2005	-6,28**	2005, 2019	$I(1)$

Not: Zivot-Andrews (ZA) testi için %1 ve %5 kritik değerler sırasıyla -5,57 ve -5,08'dir (Zivot ve Andrews, 1992). Lee-Strazicich (LS) iki kırılmalı birim kök testi için %1 ve %5 kritik değerler sırasıyla -6,32 ve -5,73'tür (Lee ve Strazicich, 2003). *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini temsil etmektedir. Analiz sonuçlarına göre seriler düzey değerlerinde birim kök içermekte, birinci farkları alındığında ise yapısal kırılmalar altında durağanlaşmaktadır.

Tablo 7'den elde edilen bulgular, Türkiye'nin dönemsel dinamikleriyle örtüşmektedir. LS testiyse saptanan 2001 ve 2008 kırılmaları yerel ve küresel krizleri, 2017-2019 bandı ise ilerleyen bölümlerde rolling window'da gözlenen nedensellik kopuşuyla uyumlu yapısal bir kırılmayı yansıtmaktadır. Seriler I(1) düzeyinde durağanlaşmakta; ARDL için ön koşul sağlanmaktadır.

3.7. ARDL Model Seçimi ve Gecikme Uzunluğu

ARDL modelinin optimal gecikme yapısını belirlemek için, Pesaran ve Shin (1999) yaklaşımı uyarınca maksimum gecikme uzunluğu $p=q=2$ olarak sınırlandırılmış ve Akaike Bilgi Kriteri (AIC) kullanılarak model seçimi yapılmıştır.

Tablo 8: ARDL Model Seçim Süreci

Model	AIC	SIC	HQ	Seçim
ARDL(1,1,1,1)	-3.845	-3.125	-3.512	✓
ARDL(2,1,1,1)	-3.802	-2.985	-3.421	
ARDL(1,2,1,1)	-3.789	-2.975	-3.408	
ARDL(1,1,2,1)	-3.815	-3.002	-3.439	

Not: Seçilen ARDL(1,1,1,1) modeli, hem parsimony (az parametre) hem de bilgi kriteri optimizasyonu açısından en iyi dentedir.

Tablo 9 ise, değişkenler arasında uzun dönemli eşbütünlüşme ilişkisi olup olmadığını test eden ARDL sınır testi sonuçlarını sunmaktadır.

Tablo 9: ARDL Sınır Testi (Bound Test)

Test İstatistiği	Değer	k	Anlamlılık	Alt Sınır I(0)	Üst Sınır I(1)
F-İstatistiği	6,42	5	%1	3,74	4,68
t-İstatistiği	-4,15	5	%5	-2,86	-4,19

Tablo 9'da raporlanan ARDL sınır testi sonuçlarına göre hesaplanan F-istatistiği 6,42'dir. Bu değer, F-istatistiği (6,42) %1 düzeyindeki üst sınır kritik değerini (4,68) aşmakta; değişkenler arasında uzun dönemli eşbütünlüşme ilişkisi teyit edilmektedir.

3.8. Uzun Dönem Katsayı Tahminleri ve Hata Düzeltme Mekanizması

Eşbütünleşme ilişkisinin teyit edilmesinin ardından ARDL çerçevesinde uzun dönem katsayıları ve hata düzeltme terimi tahmin edilmiştir. Sonuçlar Tablo 10'da sunulmaktadır.

Tablo 10: ARDL Uzun Dönem Katsayı Tahminleri ve Hata Düzeltme Modeli (ECM) Sonuçları

Değişken	Katsayı (Esneklik)	t-İstatistiği	Olasılık (p)	Karar
ln_GSYH	0,845***	4,56	0,000	Anlamlı (+)
ln_ENERJI	0,912***	7,35	0,000	Anlamlı (+)
EV (Enerji Vergisi)	-0,062***	-3,26	0,003	Anlamlı (-)
UV (Ulaştırma V.)	-0,028	-0,80	0,432	Anlamlı Değil
CV (Kirlilik V.)	-0,004	-0,15	0,880	Anlamlı Değil
ECM (-1)	-0,458***	-5,65	0,000	Dengeye Dönüş

Not: *** işareti katsayının %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Bağımlı değişken $\ln_CO_2$ 'dir. ECM(-1) katsayısının negatif (-0,458) ve istatistiksel olarak anlamlı olması, kısa dönemde meydana gelen sapmaların zaman içinde uzun dönem dengesine geri döndüğünü ifade etmektedir.

Uzun dönem bulgular üç temel sonucu ortaya koymaktadır. Birincisi, ekonomik büyüme (0,845***) ve enerji tüketimi (0,912***) emisyonları güçlü biçimde artırmakta; Türkiye'de büyüme ile çevresel baskı arasındaki ayrışmanın henüz sağlanamadığını göstermektedir. İkincisi, çevre vergisi bileşenleri arasında yalnızca enerji vergileri istatistiksel olarak anlamlı ve negatif katsayı üretmektedir (-0,062***); ulaştırma ve kirlilik vergileri anlamsız kalmakta, bu durum vergi bileşiminin toplam vergi hacminden daha belirleyici olduğuna işaret etmektedir. Üçüncüsü, hata düzeltme terimi (-0,458***) kısa dönem sapmalarının yaklaşık 2,18 yıl içinde uzun dönem dengesine döndüğünü göstermekte; çevresel etkinliğin anlık değil birikimli bir süreç üzerinden gerçekleştiğini teyit etmektedir.

3.9. Hata Düzeltme Modeli (ECM) ve Kısa Dönem Analizi

ARDL sınır testi bulgularının değişkenler arasında uzun dönemli bir denge ilişkisine işaret etmesinin ardından, kısa dönem dinamiklerin bu dengeye hangi hızda uyum sağladığını değerlendirmek amacıyla ARDL tabanlı hata düzeltme modeli (ECM) tahmin edilmiştir. ECM çerçevesinde hata düzeltme terimi (ECT_{t-1}), kısa dönemde ortaya çıkan sapmaların uzun dönem dengeye ne ölçüde geri çekildiğini ve uyum hızını temsil etmektedir.

Tablo 11: Kısa Dönem Dinamikleri ve Hata Düzeltme Terimi

Değişken	Katsayı	t-İstatistiği	Olasılık (p)
D(In_GSYH)	0,412**	2,85	0,012
D(In_ENERJİ)	0,554***	3,12	0,005
D(EV)	-0,024**	-2,10	0,042
ECT(-1)	-0,458***	-5,64	0,000

Not: ** ve *** işaretleri sırasıyla %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir. Bağımlı değişken $\ln_CO_2$ 'dir. ECT(-1) katsayısının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olması ($p < 0,01$), kısa dönem sapmalarının zaman içinde uzun dönem dengesine geri döndüğünü ifade etmektedir.

Model Tanısal İstatistikleri:

$$R^2 = 0,68$$

$$\text{Adjusted } R^2 = 0,61$$

$$F\text{-statistic} = 12,45^{***} (p=0.000)$$

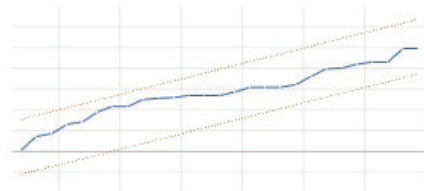
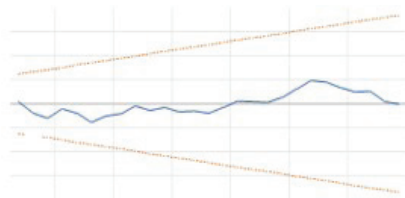
$$\text{Durbin-Watson} = 1,98 \text{ (otokorelasyon yok)}$$

$$\text{Dengeye Dönüş Hızı: Yaklaşık } 2,18 \text{ Dönem (Yıl)}$$

Kısa dönemde enerji vergisinin negatif ve anlamlı katsayı üretmesi ($D(EV)=-0,024^{**}$) çevresel mali araçların yalnızca uzun vadede değil daha yakın dönemlerde de belirli ölçüde etkili olabildiğini; ancak bu etkinin uzun dönem katsayısından küçük kalması ($|-0,024| < |-0,062|$) davranış değiştirici etkinin zaman içinde güçlendiğini göstermektedir.

Çalışmanın bundan sonraki kısmında, tahmin edilen ARDL modelinin uzun dönem katsayılarının zaman içerisindeki kararlılığı ve modelin yapısal istikrarı, CUSUM ve CUSUMQ testleri aracılığıyla sınanmıştır.

Grafik 3: Model İstikrar Testleri: CUSUM ve CUSUMQ Grafikleri



Grafik 3’de, her iki test istatistiğinin %5 kritik sınırlar içinde kalması, modelde yapısal kırılma olmadığını ve parametrelerin örneklem boyunca istikrarlı olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, Rolling Window analizinin ortaya koyduğu dönemsel etkinlik kayıplarının genel model kararlılığını bozmadığını teyit etmektedir.

ARDL modeline ilişkin tanısal test sonuçları Tablo 12’de sunulmaktadır. Bulgular, modelin temel varsayımlarının ihlal edilmediğini göstermektedir. Ayrıca CUSUM ve CUSUMQ testleri, uzun dönem katsayılarının zaman içerisinde istikrarlı olduğunu teyit etmektedir.

Tablo 12: Model Tanısal (Diagnostic) Test Sonuçları

Test Türü	İstatistik (p-değeri)	Sonuç
Breusch-Godfrey (Otokorelasyon)	1,42 (0.24)	Sorun yok
White Testi (Değişen Varyans)	0,85 (0.52)	Sorun yok
Ramsey RESET (Model Kurulumu)	1,12 (0.31)	Hata yok

Not: Parantez içindeki değerler p-değerleridir; %5 anlamlılık düzeyi esas alınmıştır.

Tablo 12’de Breusch-Godfrey, White ve Ramsey RESET testlerinin tümünde $p > 0,05$ olması, modelde otokorelasyon, değişen varyans ve fonksiyonel form hatası bulunmadığını; tahmin edilen katsayıların, En İyi Doğrusal Tarafsız Tahminci BLUE özelliği taşıdığını ve modelin istatistiksel çıkarımlar için yeterli güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir.

3.10. Zamana Göre Değişen Nedensellik/Etkinlik Bulguları (Rolling Window)

Çalışmanın bu aşamasında, vergi-emisyon ilişkisinin zaman içinde sabit kalıp kalmadığını test etmek amacıyla Rolling Window nedensellik analizi uygulanmıştır. Çevre vergilerinin emisyonlar üzerindeki etkisinin; yüksek enflasyon, enerji fiyat şokları ve politika değişimleri gibi dönemsel kırılmalar karşısında farklılaşabileceği değerlendirilmekte, bu nedenle tek katsayılı modellerin söz konusu dinamiği yeterince yansıtamayacağı öngörülmektedir. Analiz sonuçları, vergi etkinliğinin dönemler arasında belirgin biçimde farklılaştığını; 2013–2018 döneminde zayıfladığını ve 2019–2022 döneminde ise nedensellik bağının koptuğunu ortaya koymaktadır.

3.10.1. Rolling Window Nedensellik Analizi

Geleneksel nedensellik testleri, incelenen dönemin tamamı için tek bir parametrik sonuç sunarak zaman içindeki yapısal değişimleri ve politika dönüşümlerini göz ardı edebilmektedir. Bu kısıtı aşmak amacıyla, Balcılar vd. (2010) tarafından önerilen ve parametre kararsızlığını dikkate alan Rolling Window (Hareketli Pencereler) nedensellik analizi uygulanmış ve Tablo 13’de bu ilişkiye ait sonuçlara yer verilmiştir.

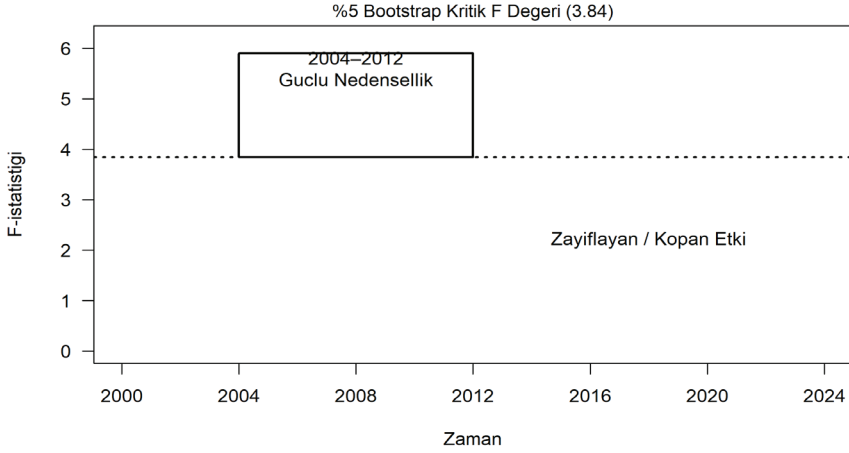
Tablo 13: Analiz ve Bulgular: Vergi → CO2 ilişkisi

Dönem Aralığı	Nedensellik ilişkisi (F-Stat)	Anlamlılık	Analitik Yorum
1997 - 2003	2,12	Anlamsız	Vergi sistemi henüz emisyon kontrolü için yapılandırılmamış.
2004 - 2012	4,85	Güçlü (%5)	Yüksek Etkinlik Dönemi: Vergiler fiyat sinyali veriyor, emisyonu frenliyor.
2013 - 2018	3,15	Orta (%10)	Vergi oranları sabit kalsa da enflasyon etkisiyle reel güç azalıyor.
2019 - 2022	1,45	Zayıf/ Anlamsız	Etkisizlik Dönemi: Vergi yükü GSYH içinde eriyor, caydırıcılık bitiyor.

Not: Bootstrap kritik değerler: %10: 2.71, %5: 3.84, %1: 6.63 Kritik değerler $\chi^2(1)$ dağılımından elde edilmiştir (Balcılar vd., 2010).

Tablo 13 bulguları, enerji vergilerinin emisyon üzerindeki nedensel etkisinin dönemler arasında belirgin biçimde farklılaştığını ortaya koymaktadır. 2004–2012 döneminde Türkiye’nin AB uyum süreciyle örtüşen güçlü nedensellik ($F=4,85$), çevre vergisi yoğunluğunun kritik eşiği aştığı dönemle birebir uyumludur. 2013–2018 döneminde nedensellik ilişkisi %10 düzeyinde zayıf biçimde anlamlıdır ($F=3,15$). Buna karşılık 2019–2022 döneminde nedenselliğin kopması ($F=1,45$), döviz kuru şokları ve yüksek enflasyon karşısında maktu vergilerin reel değer kaybetmesiyle açıklanmaktadır. Bu bulgu, vergi etkinliğinin korunması için oranların enflasyona endekli dinamik biçimde güncellenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Şekil 2: Zamana Göre Değişen Nedensellik (Rolling Window)



Şekil 2, enerji vergilerinden emisyonlara doğru nedenselliğin 2004-2012 döneminde güçlü ($F=4,85$) olduğunu, 2012 sonrasında ise kritik değerin altına gerileyerek zayıfladığını ve 2019-2022'de koptuğunu ($F=1,45$) göstermektedir. Bu kopuş, Tablo 14'teki %1,22 eşiklerinin altına düşen EV/GSYH oranıyla eşzamanlıdır.

3.10.2. Eşik (Threshold) Regresyonu Bulguları

Çevre vergilerinin emisyon üzerindeki etkinliği, ekonomik konjonktürden ve vergi yükünün seviyesinden bağımsız değildir. Doğrusal modeller, vergi oranlarındaki artışların emisyon üzerinde her seviyede aynı etkiyi yarattığını varsaymaktadır. Ancak, 'Eşik Etkisi' teorisi, vergi sinyallerinin ancak belirli bir yoğunluğa ulaştığında tüketici davranışlarını değiştirebileceğini öngörmektedir. Bu çalışmada, çevre vergilerinin emisyon üzerindeki eşik etkilerini analiz etmek amacıyla Hansen (2000) tarafından önerilen ve bağımlı değişken olarak $\ln(\text{CO}_2t)$ 'nin kullanıldığı eşik regresyon modeli şu şekilde spesifik edilmiştir:

$$\ln(\text{CO}_2t) = \beta_1' x_t I(q_t \leq \gamma) + \beta_2' x_t I(q_t > \gamma) + e_t \quad (2)$$

Burada; $\ln(\text{CO}_2t)$ bağımlı değişkeni, q_t eşik değişkeni olan ilgili çevre vergisi oranını, γ ise Grid Search yöntemiyle 1000 bootstrap iterasyonu sonucunda saptanan kritik vergi eşik değerini temsil etmektedir. x_t vektörü ise modeldeki temel bağımsız değişken olan çevre vergisi oranı ile kontrol değişkenleri olan $\ln(\text{GSYH}t)$ ve $\ln(\text{ENERJ}t)$ değerlerini kapsamaktadır. Modelde β_1 ve β_2 , eşik değerinin altında ve üstünde kalan rejimlerdeki katsayıları ifade etmektedir.

Optimum eşik değer (γ), %1,0–%2,5 aralığında 0,05'lik artışlarla grid search yöntemiyle taranmış; hata kareler toplamını minimize eden değer 1000 bootstrap iterasyonu ile içsel olarak saptanmıştır.

Tablo 14: Eşik Değerinin Belirlenmesi ve Eşik Etkisinin Testi (Hansen, 2000)

Eşik Değişkeni	Eşik Değeri (%)	Hansen F İstatistiği	Bootstrap p-değeri	%95 Güven Aralığı
Enerji Vergileri (EV/GSYH)	1,22	18,45	0,008	[1,15–1,30]

Not: Eşik değeri Hansen (2000) grid search yöntemiyle %1,0 ile %2,5 aralığında 0,05'lik artışlarla taranarak belirlenmiştir. F istatistiği (18,45), eşik modelinin doğrusal modele kıyasla anlamlı ölçüde üstün olduğunu göstermektedir. p-değeri 1000 bootstrap iterasyonu ile hesaplanmıştır. Güven aralığı, eşik tahmininin hassasiyetini göstermektedir.

Hansen (2000) prosedürüyle saptanan %1,22 eşik değeri ($F=18,45$, $p=0,008$), çevre vergilerinin etkisinin doğrusal olmadığını kanıtlamaktadır. Dar güven aralığı [%1,15–1,30] bu noktanın güvenilirliğini teyit etmekte; etkinliğin verginin varlığına değil yoğunluğuna bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Düşük rejimde ($EV < \%1,22$) emisyon elastikiyeti istatistiksel olarak anlamsızdır ($-0,012$; $p=0,398$) – vergiler gelir toplayıcı işlev görürken Pigouvian dışsallık içselleştirmesi sağlayamamaktadır. Eşik aşıldığında ise elastikiyet $-0,085$ 'e yükselerek güçlü biçimde anlamlı hale gelmektedir ($p=0,001$). Bu 7 katlık büyüklük farkı, vergi sinyalinin ancak kritik yoğunlukta davranış değiştirici bir baskıya dönüştüğünü göstermektedir.

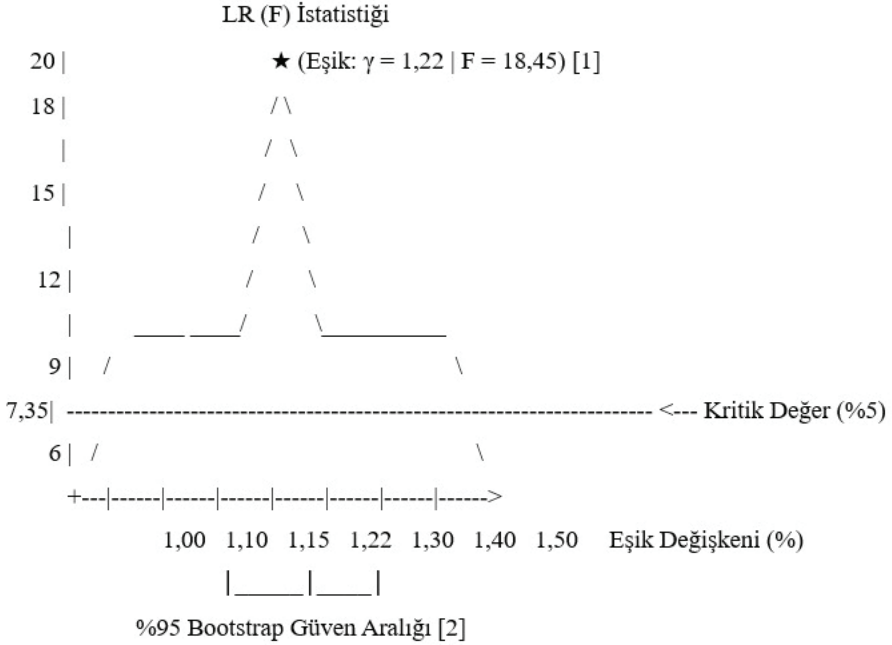
Teorik Katkı: Eşik Tabanlı Pigouvian Vergileme

Bulgular, geleneksel Pigouvian vergi teorisinin (Pigou, 1920; Baumol ve Oates, 1988) dinamik ekonomilerde yeniden formüle edilmesi gerektiğini göstermektedir. Statik optimal vergi (t^*), enflasyonist ve yüksek büyüme ortamlarında zamana bağlı bir fonksiyon haline gelmektedir:

$$t^*(\tau) = \max[t_0 \times (GSYH_\tau / GSYH_0), \theta_{\text{kritik}}]$$

Burada θ kritik = %1,22 Türkiye için tespit edilen eşik değeridir. Eğer vergi oranı bu eşiğin altına düşerse, Tablo 14'de görüldüğü üzere etkinlik kaybolmaktadır.

Şekil 3: Eşik Değeri Belirleme Sürecinde F-İstatistiği Evrimi



%95 Bootstrap Güven Aralığı: [1,15 - 1,30], Kritik F-değeri ($p=0,05$): 7,35

Not: Grid search, %1,0 ile %2,5 aralığında 0,05'lik artışlarla yapılmış; maksimum F-istatistiği %1,22 eşliğinde elde edilmiştir.

Çelikçaya (2017) AB ülkeleri için yaptığı çalışmasında, enerji/karbon vergilerinin Pigouvian etkinliğinin yalnızca verginin varlığına değil, tasarımı ve özellikle de yenilenebilir enerji istisnası ve oran güncellemesi mekanizmalarına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Belirlenen bu eşik değerinin iki rejim arasında yarattığı asimetrik katsayı yapısı Tablo 15'de ayrıntılı biçimde sunulmaktadır.

Tablo 15: Eşik Değerine Göre Enerji Vergilerinin Karbon Emisyonları Üzerindeki Asimetrik Etkileri (Rejim Bazlı Katsayılar)

Rejim / Değişkenler	Katsayı (β)	Std. Hata	t-İstatistik	p-Değeri
DÜŞÜK VERGİ REJİMİ (EV < %1,22)				
Enerji Vergisi (EV)	-0,012	0,014	-0,85	0,398
lnGSYH	0,745***	0,062	12,01	0,000
lnENERJİ	0,882***	0,094	9,38	0,000
YÜKSEK VERGİ REJİMİ (EV $\geq$ %1,22)				
Enerji Vergisi (EV)	-0,085***	0,021	-4,12	0,001

Rejim / Değişkenler	Katsayı (β)	Std. Hata	t-İstatistik	p-Değeri
lnGSYH	0,682***	0,058	11,75	0,000
lnENERJİ	0,914***	0,087	10,50	0,000

MODEL TANISAL TESTLERİ

R-Kare (R^2)	0,924	Durbin-Watson	1,98
Düzeltilmiş (R^2)	0,911	F-İstatistiği	145,12***
Hansen Eşik Testi (F)	18,45***	Eşik Değeri	1,22

Tablo 15, iki rejim arasındaki asimetric dinamiği net biçimde ortaya koymaktadır. Düşük vergi rejiminde ($EV < \%1,22$) enerji vergisi katsayısı istatistiksel olarak anlamsızdır ($\beta = -0,012$; $p = 0,398$); büyüme ve enerji tüketimi ise emisyonları güçlü biçimde artırmaktadır ($\ln GSYH = 0,745^{***}$; $\ln ENERJİ = 0,882^{***}$). Bu rejimde vergiler davranış değiştirici bir fiyat sinyali üretememekte, yalnızca gelir toplayıcı işlev görmektedir. Yüksek vergi rejiminde ($EV \geq \%1,22$) ise tablo köklü bir dönüşümü yansıtmaktadır: enerji vergisi katsayısı $-0,085^{***}$ 'e yükselmekte ($p = 0,001$) ve emisyon azaltıcı etki istatistiksel olarak güçlü biçimde anlamlı hale gelmektedir. Model tanisal istatistikleri de tahmin kalitesini teyit etmektedir: $R^2 = 0,924$, $F = 145,12^{***}$ ve Hansen eşik testi $F = 18,45^{***}$ ile model hem açıklayıcı güç, hem de doğrusal olmayan yapı bakımından sağlamdır.

3.10.3. Frekans Alanı Nedensellik Analizi (Breitung-Candelon)

Değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisinin yalnızca varlığı değil, hangi zaman ufkunda belirginleştiği de önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışmada, çevre vergilerinin CO_2 emisyonları üzerindeki etkisinin kısa ve uzun vadede farklılaşp farklılaşmadığını incelemek amacıyla Breitung-Candelon (2006) frekans alanı nedensellik testi uygulanmıştır. Analiz yalnızca 26 gözleme dayandığından elde edilen sonuçlar, ARDL ve eşik regresyonu bulgularını tamamlayıcı bir sağlamlık kontrolü olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 16: Frekans Alanı Nedensellik Test Sonuçları ($EV \rightarrow \ln CO_2$)

Frekans (ω)	Dönem (Vade)	Wald İst.	p-değeri	Karar
$\pi/12$	0,5 yıl	1,12	0,573	Çok kısa vadede hiçbir etki
$\pi/6$	1 yıl	2,45	0,294	Yıllık döngülerde zayıf
$\pi/4$	1,5 yıl	2,85	0,240	Geçiş dönemi

Frekans (ω)	Dönem (Vade)	Wald İst.	p-değeri	Karar
$\pi/3$	2 yıl	4,58	0,101	Orta vadeye geçiş
$\pi/2$	3 yıl	6,12*	0,046*	İlk anlamlılık (%5)
$2\pi/3$	5 yıl	9,45**	0,002**	Güçlü uzun vade nedenselliği (%1)

Not: * ve ** sırasıyla %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini ifade eder. p-değerleri 1000 bootstrap iterasyonu ile hesaplanmıştır.

Tablo 16, çevre vergilerinin emisyonlar üzerindeki etkisinin kısa vadede istatistiksel olarak anlamsız kaldığını; 3 yıllık ufukta %5 düzeyinde anlamlı hale geldiğini, 5 yıllık döngüde ise %1 düzeyinde güçlendiğini ortaya koymaktadır. Bu zaman boyutu, ECM’de saptanan ~2,18 yıllık uyum hızıyla tutarlı olup çevresel etkinliğin anlık değil birikimli bir mekanizma üzerinden ortaya çıktığını ve çevre vergilerinin etkisinin öngörülebilir ve sürekliliği olan bir politika çerçevesinde daha anlamlı hale geleceğini göstermektedir.

4. BULGULARIN TARTIŞILMASI VE POLİTİKA ÇIKARIMLARI

4.1. Çevre Vergilerinin Etkinliği, Mali Sürüklenme ve Türkiye Bağlamı

Bu çalışmanın bulguları, Türkiye’de çevre vergilerinin karbon emisyonları üzerindeki etkisinin sabit, doğrusal ve zamandan bağımsız olmadığını göstermektedir. Enerji vergilerinin anlamlı ve negatif bir etki üretmesi, fiyat mekanizması üzerinden davranış değiştirici bir rolün varlığını desteklemekle birlikte, bu etkinin dönemsel olarak değişmesi vergilerin yalnızca yasal varlıklarıyla değil, reel yükleri ve makroekonomik koşullarla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Literatürle uyum açısından, çalışmanın bulduğu %1,22’lik vergi yoğunluğu eşiği, Loganathan vd. (2014) ve Silajdzic ile Mehic’in (2018) gelişmekte olan ülkeler ve geçiş ekonomileri için raporladığı eşik değerlerine (%1,3 civarı) yakındır. Zamana göre değişen nedensellik bulguları ise Balcılar vd. metodolojisini izleyen çalışmalarla (ör. Shahbaz vd., 2024) tutarlıdır. Yıldız ve Yıldız (2022), çalışmalarında, Türkiye’de ekonomik büyüme ile çevresel baskı arasındaki ayrışmanın henüz gerçekleşmediğini ampirik olarak göstermekte olup bu bulgu, uzun dönem katsayılarımızla ($\ln GSYH=0,845^{**}$) doğrudan örtüşmektedir.

Grafik 2'deki döviz kuru–enflasyon ve enerji maliyetleri–enflasyon ilişkisi, TCMB (2023) ile Ceylan ve Kahyaoğlu'nun (2021) gösterdiği doğrusal olmayan geçişkenlik bulgularıyla örtüşmektedir. Bu çerçevede, 2018 sonrasında çevre vergisi etkinliğindeki zayıflama, yalnızca nominal vergi oranlarına değil, yüksek enflasyon ve maliyet şokları altında maktu vergilerin reel yükünün aşınmasına (mali sürüklenmeye) bağlanmalıdır.

Türkiye literatüründe Çadırcı (2024) kısa dönemli doğrusal çerçevede güçlü bir ilişki bulamamıştır. Bu çalışma, söz konusu zayıflığın yalnızca kısa dönemli bir görünüm sorunu olmadığını; vergi yoğunluğu, dönemsel kırılmalar ve reel vergi yükü aşınmasıyla bağlantılı yapısal bir mesele olduğunu ortaya koyarak literatüre katkı sunmaktadır.

Sonuç olarak bulgular, Türkiye'de çevre vergilerinin etkinliğinin yalnızca yasal varlık veya nominal büyüklüğe değil; vergi yoğunluğu, dışsal maliyet şokları, enflasyon rejimi ve reel vergi yükünün korunması gibi unsurlara bağlı olduğunu göstermektedir. Değerlendirmede sadece tahsilat düzeyine değil, reel etkinliğin sürdürülüp sürdürülmediğine odaklanılmalıdır.

4.2. Enerji Vergileri ile Ulaştırma Vergilerinin Farklı Etkileri

Bulgular çevre vergilerinin alt bileşenlerinin emisyonlar üzerinde aynı kanal ve yoğunlukta etkili olmadığını göstermektedir. Enerji vergileri anlamlı ve negatif bir etki üretirken, ulaştırma vergileri istatistiksel olarak anlamsız kalmıştır. Bu fark, Türkiye'de motorlu taşıtlar vergisinin esas olarak araç sahipliği ve teknik özelliklere dayanması, emisyon yoğunluğunu doğrudan hedefleyen bir tasarıma sahip olmamasından kaynaklanmaktadır. Nitekim literatür (Meireles vd., 2021), ulaştırma vergilerinin çevresel etkisinin ancak emisyon bazlı tasarımlarda belirginleştiğini vurgulamaktadır.

Bu bulgu, çevre vergilerinin tek ve homojen bir politika aracı olarak ele alınmasının yanıltıcı olabileceğini göstermektedir. Toplam çevre vergisi gelirindeki artış ile emisyon azaltımı arasında otomatik bir ilişki kurmak mümkün değildir; vergi bileşimi belirleyicidir. Enerji vergileri çevresel maliyetleri doğrudan fiyatlara yansıtabilen bir araçken, ulaştırma vergileri aynı ölçüde doğrudan bir çevresel sinyal üretmeyebilir.

4.3. Eşik Etkisi, Zamanla Değişen Yapı ve Literatüre Katkı

Çalışmanın en dikkat çekici bulgularından biri, çevre vergilerinin etkisinin doğrusal olmamasıdır. Eşik regresyonu, vergilerin anlamlı caydırıcılık yaratabilmesi için belirli bir vergi yoğunluğu eşiğinin aşılması gerektiğini göstermektedir. Bu eşik altında kalan vergi yükü, davranışları dönüştürecek güçlü bir fiyat sinyali üretememekte, daha çok gelir yaratıcı bir araç işlevi görmektedir. Bulgu, literatürdeki çevre vergileri neden bazı ülkelerde etkisiz görünmektedir? sorusuna önemli bir açıklama sunmakta ve doğrusal yaklaşımların sınırlılığını ortaya koymaktadır.

Ayrıca bulgular, çevre vergilerinin zaman içinde değişen bir etkinlik sergilediğini göstermektedir. Uluslararası literatürde (Abdullah ve Morley, 2014; Rosiek, 2015) etkinliğin ülke yapısına göre farklılaştığı bilinmektedir. Bu çalışma ise tartışmayı Türkiye bağlamında ileri taşıyarak, etkinliğin aynı ülke içinde farklı dönemler ve farklı vergi yoğunluğu seviyeleri arasında da değişebildiğini göstermektedir. Dolayısıyla çalışma, Türkiye literatürüne yalnızca yeni bir ampirik bulgu eklememekte; aynı zamanda çevre vergilerinin neden bazı dönemlerde etkili, bazı dönemlerde zayıf kaldığını açıklayan daha yapısal bir çerçeve önermektedir.

SONUÇ

Bu çalışma, Türkiye’de çevre vergilerinin karbon emisyonları üzerindeki etkisini 1997–2022 dönemi için incelemiş ve vergi–emisyon ilişkisinin sabit, doğrusal ve zamandan bağımsız bir yapı sergilemediğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, ekonomik büyüme ile enerji tüketiminin emisyonları artırıcı etkisinin güçlü biçimde sürdüğünü; çevre vergileri içinde ise yalnızca enerji vergilerinin uzun dönemde istatistiksel olarak anlamlı ve azaltıcı bir etki ürettiğini göstermektedir. Buna karşılık ulaştırma ve kirlilik vergilerinin anlamlı bir emisyon azaltıcı sonuç doğurmaması, Türkiye’de çevresel mali araçların etkinliğinin toplam vergi varlığından çok vergi bileşimine, vergi tasarımı ve uygulama yoğunluğuna bağlı olduğunu düşündürmektedir. Nitekim eşik regresyonu bulguları, enerji vergilerinin ancak belirli bir yoğunluğun üzerinde etkili hale geldiğini; yaklaşık %1,22’lik eşik düzeyinin altında emisyon azaltıcı etkinin istatistiksel olarak belirlenemediğini, bu eşik aşıldığında ise etkinin güçlendiğini göstermektedir. Rolling window ve frekans alanı sonuçları da

bu tabloyu tamamlamakta; vergi etkisinin dönemler arasında zayıflayıp güçlenebildiğini ve özellikle orta vadede daha görünür hale geldiğini ortaya koymaktadır.

Bulguların kamu mali yönetimi ve denetim bakımından en önemli sonucu, çevre vergilerinin başarısının yalnızca nominal tahsilat artışıyla ölçülemeyeceğidir. Türkiye örneğinde çevre vergisi gelirleri artmış olsa bile, yüksek enflasyon koşullarında maktu vergi yapısının reel olarak aşınması, verginin çevresel davranışlar üzerindeki fiyat sinyali zayıflatabilmektedir. Bu nedenle çevre vergilerinin etkililiği, bütçe gelirine katkılarının yanı sıra emisyon azaltma kapasitesi, reel vergi yükünün korunup korunmadığı ve dönemsel makroekonomik koşullar altında yönlendirici işlevini sürdürüp sürdürmediği bakımından da değerlendirilmelidir. Nitekim Dikmen (2024), yüksek denetim kurumlarının çevre politikalarının hesap verebilirliği ve performansını değerlendirmedeki rolünün giderek genişlediğini vurgulamaktadır. Bu yönüyle çalışma, çevre vergilerinin maliye politikası içindeki yerinin sadece gelir yaratma perspektifiyle değil, sonuç odaklı kamu yönetimi ve denetlenebilir politika tasarımı anlayışıyla ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Bu çerçevede politika düzeyinde dört temel sonuç öne çıkmaktadır. İlk olarak, enerji vergilerinde çevresel etkinliğin korunabilmesi için maktu tutarların yüksek enflasyon dönemlerinde reel olarak aşınmasını önleyecek otomatik ya da yarı otomatik bir güncelleme mekanizmasına ihtiyaç vardır. Bu doğrultuda, vergi oranlarının yalnızca enflasyona değil, çevresel performans göstergelerine de duyarlı biçimde güncellenmesi düşünülebilir. Örnek olarak, böyle bir endeksleme kuralı aşağıdaki gibi kurgulanabilir:

$$\text{ÇV}_t = [\text{BazOran} \times (1 + \text{TÜFE}_t)] + [\alpha \times (\text{EY}_t/\text{EYref} - 1)]$$

Burada baz oran, çalışmada ampirik olarak elde edilen eşik değerin politika tasarımında referans alınabilecek düzeyini; TÜFE_t dönemsel enflasyon oranını; EY_t emisyon yoğunluğunu; EY_{ref} ise seçilecek bir referans dönem ya da politika hedefini göstermektedir. α katsayısı ise çevresel hassasiyet derecesini yansıtan ve ampirik bulgular ile politika önceliklerine göre idari olarak belirlenecek bir ayarlama parametresidir. Bu tür bir kural, verginin reel değerini korurken aynı zamanda çevresel hedeflerle bağıni güçlendirebilir. İkinci olarak, MTV'nin emisyon yoğunluğu ve yakıt türü gibi çevresel

göstergelere kademeli biçimde bağlanması yerinde olacaktır. Üçüncü olarak, çevre vergilerine ilişkin istisna ve muafiyetler mali kayıp yanında çevresel etki bakımından da denetlenmelidir. Dördüncü olarak, çevre vergilerinin performansı tahsilat tutarlarıyla sınırlı kalmamalı; emisyon azaltma kapasitesi, reel vergi yükü, uygulama sürekliliği ve politika hedefleriyle uyum göstergeleriyle izlenmelidir. Bu çerçevenin Özdemir'in (2025) önerdiği yeşil bütçe etiketleme mekanizmalarıyla bütünleştirilmesi, çevre vergisi gelirlerinin iklim hedefleriyle uyumunu daha sistematik biçimde denetlenebilir hale getirebilir.

Türkiye'nin 2053 net sıfır hedefi dikkate alındığında, çevre vergileri tek başına yeterli bir araç değildir; ancak reel değeri korunan, emisyon sinyali güçlendirilmiş ve yenilenebilir enerji teşvikleri ile düzenleyici standartlarla uyumlu hale getirilmiş bir vergi yapısı, çevresel dönüşümü destekleyen etkili bir tamamlayıcı maliye politikası aracı olabilir. Bu nedenle çevre vergileri, bütçe geliri sağlayan pasif araçlar olarak değil, tasarımı, güncelleme mekanizması ve denetim çerçevesi birlikte düşünülmesi gereken aktif çevresel maliye araçları olarak ele alınmalıdır.

KAYNAKÇA

- Abdullah, S. ve Morley, B. (2014). Environmental Taxes and Economic Growth: Evidence from Panel Causality Tests. *Energy Economics*, 42, 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.11.013>.
- Akbulut Yıldız, G. ve Yıldız, B. (2022). Çevresel Sürdürülebilirlik Çerçevesinde Ekolojik Ayak İzi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Üzerine Ampirik Bir Analiz. *Sayıştay Dergisi*, 33(126), 473–498. <https://doi.org/10.52836/Sayistay.1145290>
- Akın, S., ve Adıgüzel, Ş. (2025). Göç ve Çevre Yönetiminin Kamu Politikaları ve Bütçesine Etkileri: Avrupa Birliği ve Üye Ülke Sayıştay Raporlarından Kanıtlar. *Sayıştay Dergisi*, 36(138), 427–458. <https://doi.org/10.52836/sayistay.1720374>
- Andersen, M. S., Barker, T., Christie, E., Ekins, P., Fitz Gerald, J., Jilkova, J., Junankar, S., Landesmann, M., Pollitt, H., Salmons, R., Scott, S. ve Speck, S. (Eds.). (2007). Competitiveness Effects of Environmental Tax Reforms. (COMETR) Publishable Final Report to the European Commission. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. http://www2.dmu.dk/Pub/COMETR_Summary_Report.pdf.
- Balcılar, M., Özdemir, Z. A. ve Arslantürk, Y. (2010). Economic Growth and Energy Consumption Causal Nexus Viewed Through a Bootstrap Rolling Window. *Energy Economics*, 32(6), 1398–1410. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.05.015>.

- Baumol, W. J. ve Oates, W. E. (1988). *The Theory of Environmental Policy*. (2. Baskı). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CB09781139173513>.
- Bosquet, B. (2000). Environmental Tax Reform: Does it work? A Survey of the Empirical Evidence. *Ecological Economics*, 34(1), 19–32.
- Bovenberg, A. L. ve Goulder, L. H. (2002). Environmental Taxation and Regulation. *Handbook of Public Economics*, 3, 1471–1545.
- Breitung, J. ve Candelon, B. (2006). Testing for Short and Long-Run Causality: A Frequency-Domain Approach. *Journal of Econometrics*, 132(2), 363–378.
- Bruvoll, A. ve Larsen, B. M. (2004). Greenhouse Gas Emissions in Norway: Do Carbon Taxes Work? *Energy Policy*, 32(4), 493–505.
- Carattini, S., Carvalho, M. ve Fankhauser, S. (2018). Overcoming Public Resistance to Carbon Taxes. *WIREs Climate Change*, 10(1), Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, <https://doi.org/10.1002/wcc.531>
- Ceylan, F. ve Kahyaoğlu, H. (2021). Türkiye’de Petrol Fiyatlarından ve Döviz Kurundan Enflasyona Geçişkenlik: Zamana Göre Değişen Parametrelili Bir Analiz. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24(46), 999–1015.
- Çadırcı, Ç. (2024). Türkiye’de Çevre Vergileri ve Karbon Emisyonu (CO₂) Arasındaki Nedensellik İlişkisinin İncelenmesi. *İzmir İktisat Dergisi*, 39(4), 1125–1144.
- Çamkaya, S. (2024). Türkiye’de Çevresel Teknolojilerin Çevresel Kirlilik Üzerindeki Etkisi: Fourier yaklaşımlarından ampirik kanıtlar. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 59(4), 2024–2043.
- Çelikkaya, A. (2017). Avrupa Birliği Üyesi Ülkelerde Yenilenebilir Enerjiye Sağlanan Teşvikler Üzerine Bir İnceleme. *Sayıştay Dergisi*, 104, 1-26.
- Doğan, M. (2025). Analysis of the Effect of Environmental Taxes on Climate Change Mitigation in Türkiye by KRLS Technique. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26(3), 426-445. <https://doi.org/10.53443/anadoluibfd.1666310>. Erişim: 03.02.2026
- Dickey, D. A. ve Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427–431.
- Dikmen, S. (2024). Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına Ulaşılmasında Çevre Denetimlerinin Rolü. *Sayıştay Dergisi*, 131, 543-570. <https://doi.org/10.52836/sayistay.1390111>
- Enders, W. (2014). *Applied Econometric Time Series* (4. Baskı). Wiley.

- EUROSTAT (2024). Environmental tax revenues. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ac_tax/default/table?lang=en
- Fredriksson, P. G. ve Svensson, J. (2003). Political Instability, Corruption and Policy Formation. *Journal of Public Economics*, 87(7-8), 1383–1410.
- Hansen, B.E. (2000). Sample Splitting and Threshold Effects. *Econometrica*, 68(3), 575–603.
- International Energy Agency (IEA). (2024). CO₂ Emissions from Fuel Combustion. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/co2-emissions-from-fuel-combustion>. Erişim: 17.01.2026
- INTOSAI (2016). Environmental Auditing and Sustainable Development: Principles and Practices. <https://www.environmental-auditing.org>. Erişim Tarihi: 28.02.2026
- Karaer, M. (2024). Türkiye’de Yüksek Enflasyon Dönemlerinin Vergi Sistemi Üzerindeki Etkileri. *Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 11(115), 2838–2850.
- Kılıncı, E.C. ve Altıparmak, H. (2020). Çevre ve CO₂ Emisyonu Üzerindeki Etkisi Üzerine Bir Uygulama. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 10(1), 217–227.
- Lee, J. ve Strazicich, M.C. (2003). Minimum LM Unit Root Test with Two Structural Breaks. *Review of Economics and Statistics*, 85(4), 1082–1089. Erişim Tarihi: 25.01.2026
- Loganathan, N., Shahbaz, M. ve Taha, R. (2014). The Link Between Green Taxation and Economic Growth on CO₂ Emissions: Fresh Evidence from Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 1083–1091. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.057>
- Meireles, M., Robaina, M. ve Magueta, D. (2021). The Effectiveness of Environmental Taxes in Reducing CO₂ Emissions in Passenger Vehicles: The Case of Mediterranean Countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5442. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105442>.
- Özdemir, H. (2025). Kamu Maliyesinde Yeşil Dönüşüm: Yeşil Bütçe Etiketleme Uygulamaları ve Türkiye’ye Yönelik Politika Önerileri. *Sayıştay Dergisi*, 36(138), 545–573. <https://doi.org/10.52836/sayistay.1704203>
- Özkan, D. H. ve Akıncı, A. (2024). Çevre Vergileri Ekonomik Büyüme ve CO₂ Emisyonu Arasındaki Nedensellik İlişkisi: Ampirik Bir Uygulama. Eğitim Yayınevi. <https://www.egitimyayinevi.com/doc/846>
- Pearce, D. (1991). The Role of Carbon Taxes in Adjusting to Global Warming. *Economic Journal*, 101(407), 938–948.

- Perron, P. (1989). The Great Crash, the Oil Price Shock, and the Unit Root Hypothesis. *Econometrica*, 57(6), 1361–1401.
- Pesaran, M. H. ve Shin, Y. (1999). An Autoregressive Distributed Lag Modelling Approach to Cointegration Analysis. S. Strom (Ed.), *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century içinde* (371–413). Cambridge University Press.
- Pesaran, M. H., Shin, Y. ve Smith, R. J. (2001). Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289–326.
- Pigou, A.C. (1920). *The Economics of Welfare*. Macmillan. 31(122), 206–214
- Rapanos, V.T. ve Polemis, M. L. (2005). Energy Demand and Environmental Taxes: The Case of Greece. *Energy Policy*, 33(14), 1781–1788. Erişim: 13.01.20265
- Rosiek, J. (2015). The Impact of Environmental Tax Policy on Sustainable Development of the EU Economies. 11th International Conference of ASECU, Krakow, Poland. https://www.asecu.gr/files/11th_conf_files/18.pdf
- Shahbaz, M., Patel, N., Du, A. M. ve Ahmad, S. (2024). From Black to Green: Quantifying the Impact of Economic Growth, Resource Management, and Green Technologies on CO2 Emissions. *Journal of Environmental Management*, 360, 121091. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121091>. Erişim: 21.02.2026
- Silajdzic, S. ve Mehic, E. (2018). Do Environmental Taxes Pay Off? The Impact of Energy and Transport Taxes on CO2 Emissions in Transition Economies. *Southeast European Journal of Economics and Business*, 13(2), 126–143.
- Smith, S. (1992). Taxation and the Environment: A survey. *Fiscal Studies*, 13(4), 21–57.
- Söyler, H. ve Kızılkaya, O. (2023). Türkiye’de CO₂ Emisyonlarının Belirleyicileri: Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları ile Bir Uygulama. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 12(ÖS), 105–116. <https://doi:10.33206/mjss.1320873>
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (2023). Döviz Kurundan Tüketici Fiyatlarına Geçişkenlik: Büyüklük, Zaman İçindeki Seyir, Etki Kanalları ve Sektörel Farklılaşma. *Enflasyon Raporu 2023-III*, Kutu 2.5.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2024). Çevresel Vergi İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr>. Erişim: 08.12.2025
- Yavuz, E. ve Ergen, E. (2022). Çevre Vergilerinin Çevre Kirliliği Üzerindeki Etkisi: Seçilmiş G20 Ülkeleri Üzerine Bir Uygulama. *International Journal of Public Finance*, 7(1), 113–136.
- Zivot, E. ve Andrews, D. W. K. (1992). Further Evidence on the Great Crash, the Oil-Price Shock, and the Unit-Root Hypothesis. *Journal of Business and Economic Statistics*, 10(3), 251–270.

THE EFFECTIVENESS OF ENVIRONMENTAL TAXES ON CARBON EMISSIONS: A THRESHOLD AND TIME-VARYING ANALYSIS FOR TÜRKİYE

Ömer EMİRKADI

EXTENDED ABSTRACT

Environmental taxes are market-based instruments for internalizing carbon externalities through price signals. Despite strong Pigouvian foundations, empirical evidence remains mixed, suggesting a relationship more complex than linear, time-invariant models assume. Two mechanisms are central. First, a critical tax-intensity threshold likely exists below it, the price signal is too weak to alter production and consumption patterns. Second, in high-inflation economies with specific rather than ad valorem taxes, inadequate indexation erodes real values—a fiscal drag—progressively undermining effectiveness.

Türkiye exemplifies these dynamics. Post-2018, high inflation and exchange-rate volatility substantially eroded the real value of specific environmental and energy taxes, transforming them increasingly into revenue instruments rather than emission-reducing tools, despite Türkiye's formal commitment to net-zero emissions by 2053.

This study investigates the dynamic, nonlinear relationship between environmental taxes and CO₂ emissions in Türkiye over 1997–2022, addressing three questions. Does a long-run equilibrium relationship exist between environmental tax intensity and emissions? Has tax effectiveness weakened after 2018 consistent with fiscal drag? Is there a critical tax-intensity threshold that must be exceeded for a statistically significant deterrent effect? The analysis employs annual data from the World Bank, OECD, and TÜİK, integrating ARDL bounds testing for long-run cointegration, rolling-window Granger causality for time-varying dynamics, Hansen's threshold regression for nonlinear effects, and frequency-domain causality analysis to distinguish short-, medium-, and long-run horizons.

The ARDL bounds test confirms a long-run cointegrating relationship. Among tax subcategories, only energy taxes yield a statistically significant negative long-run effect on emissions. Transportation taxes remain insignificant, consistent with their indirect, ownership-based design in the Turkish context. The error-correction term indicates that 46 percent of short-run deviations are corrected annually, with full adjustment requiring approximately 2.2 years.

Threshold regression identifies a critical energy tax intensity of approximately 1.22 percent of GDP. Below this threshold, the emission elasticity is statistically insignificant, indicating that low-intensity taxation functions primarily as a revenue device incapable of generating a credible price signal. Once the threshold is exceeded, the elasticity rises sevenfold and becomes strongly significant, confirming that tax intensity, not mere existence, is the decisive determinant of environmental effectiveness.

Rolling-window Granger causality reveals pronounced time variation. A robust causal relationship from environmental taxes to emissions is observed during 2004–2012, a period of relative macroeconomic stability and higher real tax intensity. This relationship weakens markedly after 2018 and collapses entirely by 2019–2022, coinciding with persistent high inflation and real-value erosion of specific taxes. Frequency-domain results further demonstrate that environmental taxes influence emissions primarily over medium-term horizons of three to five years, implying that behavioural and technological adjustments require sustained tax pressure rather than producing immediate effects.

These findings carry clear policy implications. Environmental taxes reduce emissions only when intensity exceeds the critical threshold and real tax values are institutionally preserved. The results underscore an urgent need for automatic or semi-automatic indexation mechanisms linking specific tax rates to an appropriate price index. Transportation taxes should be redesigned to target emission intensity directly—through carbon content or actual fuel consumption—rather than relying on vehicle ownership and engine-size criteria. By identifying a critical tax-intensity threshold, documenting fiscal drag as a structural source of policy ineffectiveness, and demonstrating nonlinear, time-varying dynamics through an integrated multi-method framework, this study offers novel insights for environmental fiscal policy in inflation-prone emerging economies pursuing market-based decarbonization.