

Karbon vergisi karbon emisyonunu azaltabilir mi? Bir panel ARDL analizi bulguları

Emine Örs  ¹ Dilek Sürekçi Yamaçlı  ²

Özet

Amaç – Bu çalışmanın amacı, küresel iklim değişikliğiyle mücadele politikalarından biri olan karbon vergisinin, karbon emisyonları üzerindeki etkisini ampirik olarak incelemektir. Bu bağlamda, 1995-2021 döneminde karbon vergisi uygulayan 21 ülkenin verileri kullanılarak verginin çevresel etkinliği analiz edilmiştir.

Metodoloji – Çalışmada, dinamik panel veri analiz yöntemlerinden Panel ARDL (Otoregresif Dağıtılmış Gecikme) modeli kullanılmıştır. Analiz, kişi başına karbon emisyonunu bağımlı değişken olarak ele alırken, açıklayıcı değişkenler olarak çevresel vergi gelirleri, kişi başına GSYH, yenilenebilir enerji tüketimi, kişi başına enerji kullanımı ve ekolojik ayak izini içermektedir. Bu yöntem, değişkenler arasındaki hem kısa hem de uzun dönemli ilişkileri modellemeye olanak tanımıştır.

Bulgular – Panel ARDL analizine göre, karbon vergisinin uzun dönemde emisyonlar üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Ancak enerji tüketimi, emisyonları artıran en önemli faktör olarak öne çıkmaktadır. Öte yandan, ekolojik ayak izi, emisyonları anlamlı ve negatif yönde etkileyerek sürdürülebilir kaynak kullanımının önemine işaret etmektedir. Kısa dönem bulguları ise, enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve gecikmeli karbon emisyonlarının emisyonları pozitif ve anlamlı yönde etkilediğini göstermektedir.

Özgünlük – Bu çalışma, karbon vergisi uygulayan geniş bir ülke grubu ve güncel bir veri setini kullanarak literatüre katkı sağlamaktadır. Analiz bulguları, karbon vergisi politikalarının etkinliğinin tek başına yeterli olmadığını, bu politikaların daha iyi tasarlanması ve yenilenebilir enerji yatırımları gibi tamamlayıcı araçlarla desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu yönüyle çalışma, gelecekteki politika yapım süreçlerine yönelik somut öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler karbon vergisi, karbon emisyonu, panel ardl

Tür Araştırma Makalesi

Received: 01.07.2025

Accepted: 06.09.2025

Published: 01.12.2025

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, İzmir Demokrasi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye, eors443@gmail.com  0009-0003-3274-1532

² Prof. Dr., İzmir Demokrasi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye, dsurekci@gmail.com  0000-0002-8224-1144

Can carbon tax reduce carbon emission? Findings of a panel ARDL analysis

Abstract

Purpose – The purpose of this study is to empirically analyze the effect of carbon tax, a key policy tool in the fight against global climate change, on carbon emissions. In this context, the environmental effectiveness of the tax was examined using a panel dataset of 21 countries that implemented a carbon tax between 1995 and 2021.

Methodology– The study utilizes the Panel ARDL (Autoregressive Distributed Lag) model, a dynamic panel data analysis method. The analysis treats per capita carbon emissions as the dependent variable, while including environmental tax revenues, per capita GDP, renewable energy consumption, per capita energy use, and ecological footprint as explanatory variables. This methodology allows for the modeling of both short-term and long-term relationships between the variables.

Findings – According to the Panel ARDL analysis, the carbon tax does not have a statistically significant long-term effect on emissions. However, energy consumption emerges as a significant factor that increases emissions. On the other hand, the ecological footprint shows a significant negative effect on emissions, highlighting the importance of sustainable resource use. The short-term findings indicate that energy consumption, economic growth, and the lagged value of carbon emissions also have significant and positive effects on emissions.

Originality/value – This study contributes to the literature by using a broad group of countries and an up-to-date dataset to analyze the relationship between carbon tax and carbon emissions. The analysis findings emphasize that carbon tax policies alone are not sufficient, and that they need to be better designed and supported by complementary tools such as renewable energy investments. This provides a concrete basis for future policymaking processes.

Keywords carbon tax, carbon emission, panel ardl

Paper type Research paper

Beyannameler

Etik Kurul Onayı ve Katılımcı Onamı: Bu çalışma etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Yayın İzni: Bu çalışma yayın izni gerektirmemektedir.

Veri ve Materyallerin Mevcudiyeti: Bu çalışmada paylaşıma açık veri veya materyal bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması: Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan eder.

Finansman Beyanı: Bu çalışma herhangi bir fon sağlayıcı kuruluş tarafından desteklenmemiştir.

Yazar Katkı Beyanı: Bu çalışmada yazarlar eşit oranda katkıda bulunmuştur.

Teşekkür: Teşekkür edilecek herhangi bir kişi veya kurum bulunmamaktadır.

Yayın Etiği Beyanı: Bu çalışmada "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması belirtilen kurallara uyulmuştur. Makalede yer alan görüş ve bulgular yalnızca yazar(lar)a aittir.

Bu makale benzerlik tespit yazılımlarıyla taranmıştır.

1. Giriş

Günümüzde küresel ısınma, iklim değişikliği ve çevre kirliliği sorunları, yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik, sosyal ve politik boyutlarıyla çok yönlü kriz alanları olarak ele alınmaktadır. Artan doğal afetler, gıda ve su güvenliğindeki tehditler, ekosistem hizmetlerinin azalması ve enerji arz güvenliğindeki kırılganlıklar, iklim değişikliğinin çevresel boyutların ötesinde çok boyutlu bir sorun olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, çevre ve ekonomi arasındaki etkileşim, çağdaş ekonomi politığın merkezinde yer alan önemli bir inceleme alanı hâline gelmiştir. Özellikle sanayi devrimi sonrası dönemde hızla artan fosil yakıt tüketimi, enerji üretimi ve ulaşım sektörlerinde karbon yoğun süreçlerin yaygınlaşmasına yol açmış, bu durum iklim sistemindeki bozulmayı hızlandırmıştır. Günümüzde hâlâ birçok ülkenin enerji sistemi büyük ölçüde kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynaklara dayanmaktadır; bu durum ise küresel emisyonların azaltılmasını güçleştiren önemli bir engel olarak kabul edilmektedir.

Bu çerçevede, iklim değişikliğiyle mücadele ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma amacıyla ülkeler farklı ölçeklerde katkılar sunmakta, çeşitli politika araçları geliştirmekte ve uygulamaktadır. Bu araçlar arasında, çevresel maliyetlerin içselleştirilmesini sağlayan piyasa temelli bir mekanizma olan karbon vergisi önemli bir yer tutmaktadır. Karbon vergisi, “kirleten öder” ilkesine dayanarak kirletici faaliyetlere doğrudan maliyet yükleyerek, üretici ve tüketicileri çevreye duyarlı tercihler yapmaya teşvik etmektedir. Ayrıca, karbon vergisi sadece bir çevre politikası aracı olmakla kalmayıp, kamu gelirlerini artırmakta ve bu gelirlerin çevresel iyileştirme projelerine aktarılmasıyla yapısal dönüşümü destekleyen maliye politikası işlevi de görmektedir ([Hayrulloğlu, 2012, ss. 4-5](#)). Karbon vergisinin etkinliği ve sonuçları, verginin kapsamı, uygulandığı ülkenin ekonomik yapısı, sektörel dağılımı, muafiyetler ve vergi gelirlerinin kullanım biçimine göre farklılık gösterebilmektedir. Bazı ülkelerde yalnızca enerji sektörüne uygulanırken, bazılarında ulaşımdan sanayiye kadar geniş alanları kapsamaktadır. Vergi düzeyi, zamansal artış oranı ve karbon yoğun teknolojilerden uzaklaşmayı teşvik eden destek mekanizmaları, verginin başarısında belirleyici unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

1990'lı yıllardan itibaren birçok ülkede uygulanmaya başlayan karbon vergisi, özellikle Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ile Uluslararası Para Fonu (IMF) gibi uluslararası kuruluşlar tarafından iklim hedeflerine ulaşmada etkili bir maliye politikası aracı olarak önerilmektedir ([OECD, 2023, s.13](#)). Bu durum, karbon vergisinin hem teorik hem de pratik düzeyde güçlü bir çevre politikası aracı olduğunu ortaya koymaktadır. Ulusal ve uluslararası düzeyde gerçekleştirilen pek çok çalışma, karbon vergisinin çevresel performansı artırdığı ve sera gazı emisyonlarını azaltmada etkili olduğu yönünde ampirik kanıtlar sunmaktadır. Bu kapsamda, karbon vergisinin yalnızca çevresel göstergeler üzerindeki etkilerinin değil, aynı zamanda ekonomik büyüme, kişi başına gelir, enerji kullanımı gibi temel makroekonomik göstergelerle olan çok boyutlu ilişkilerinin de incelenmesi önem arz etmektedir. Söz konusu ilişkilerin doğru analiz edilmesi, ülkelerin daha etkin, hedef odaklı ve uyumlu karbon vergisi politikaları geliştirmelerine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma, karbon vergisinin ekonomik ve çevresel göstergelerle olan ilişkisini, 1995–2021 döneminde karbon vergisi uygulayan 21 Avrupa ülkesine ait geniş panel veri seti kullanarak ampirik olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Analizlerde Panel ARDL (Otoregresif Dağıtılmış Gecikme) modeli tercih edilmiştir; zira bu yöntem hem kısa dönem hem de uzun dönem ilişkilerin

eş zamanlı değerlendirilmesine ve değişkenler arasındaki dinamik etkileşimlerin açıklığa kavuşturulmasına imkân tanımaktadır.

Çalışmanın literatüre katkısı, veri seti kapsamı, analitik çerçevesi ve metodolojik yaklaşımı açısından özgün özellikler taşımaktadır. Öncelikle, uzun dönemli ve geniş ülke örneklemeine dayalı olarak karbon vergisinin etkileri çok yönlü biçimde analiz edilmiş, böylece literatürde yaygın olan kısa dönemli ve sınırlı ülke çalışmalarının ötesine geçilmiştir. Ayrıca, analizler yalnızca karbon emisyonlarıyla sınırlı kalmayıp, kişi başına düşen gelir, enerji kullanımı, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekolojik ayak izi gibi temel çevresel ve ekonomik değişkenlerin de modele dâhil edilmesiyle karbon vergisinin doğrudan ve dolaylı etkileri bütüncül biçimde ele alınmıştır. Son olarak, Panel ARDL yöntemiyle kısa ve uzun dönemli etkiler eş zamanlı incelenerek, karbon vergisinin zamana yayılmış dinamik etkileri hakkında derinlemesine ve güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Bu çerçevede çalışma, mevcut literatüre önemli bir katkı sağlamakta ve politika yapıcılar için sağlam bir ampirik temel oluşturmaktadır.

Çalışma, giriş bölümünün ardından sırasıyla karbon vergisi uygulamalarına genel bakış, ilgili literatür taraması, veri seti tanıtımı, model ve yöntem açıklaması, ampirik bulgular ve sonuç bölümlerinden oluşmaktadır.

2. Dünya Geneline Karbon Vergisi Uygulamaları

Karbon vergisinin mantığı, zararlı faaliyetler sonucu ortaya çıkan çevresel maliyetleri fiyatlara yansıtarak, bireyleri ve üreticileri daha sürdürülebilir tercihler yapmaya teşvik etmektir. Karbon vergisi, bu bağlamda en bilinen çevre vergisi türü olarak öne çıkmakta olup, doğrudan sera gazı emisyonlarının miktarına ya da fosil yakıtların karbon içeriğine uygulanmaktadır. Karbon fiyatlandırma mekanizmaları genel olarak üç ana gruba ayrılmaktadır: doğrudan karbon fiyatlandırma, dolaylı karbon fiyatlandırma ve kurum içi karbon fiyatlandırma. Doğrudan fiyatlandırma araçları arasında karbon vergileri, emisyon ticaret sistemleri (ETS) ve karbon kredilendirme sistemleri yer almaktadır. Karbon vergileri, belirli birim emisyon başına sabit bir vergi uygulayarak emisyonları azaltmayı hedeflemektedir. ETS'ler ise toplam emisyon miktarına üst sınır (tavan) belirlemekte ve şirketlerin bu sınır dahilinde emisyon haklarını alıp satabilmelerine olanak sağlamaktadır. Karbon kredilendirme mekanizmaları ise gönüllü temelli olup, sera gazı emisyonlarını azaltan projelere belirli miktarda karbon kredisi tahsis edilmesini ve bu kredilerin ulusal ya da uluslararası piyasalarda alınıp satılabilmesini içermektedir.

İkinci grupta yer alan dolaylı karbon fiyatlandırma araçları, doğrudan karbon içeriğine dayanmasa da emisyonlar üzerinde dolaylı etki yaratan yakıt vergileri, enerji sübvansiyonlarının kaldırılması gibi politikaları içermektedir. Bu tür mekanizmalar genellikle başka çevresel ya da ekonomik hedeflere odaklanmakla birlikte, karbon salımını da dolaylı biçimde etkilemektedir.

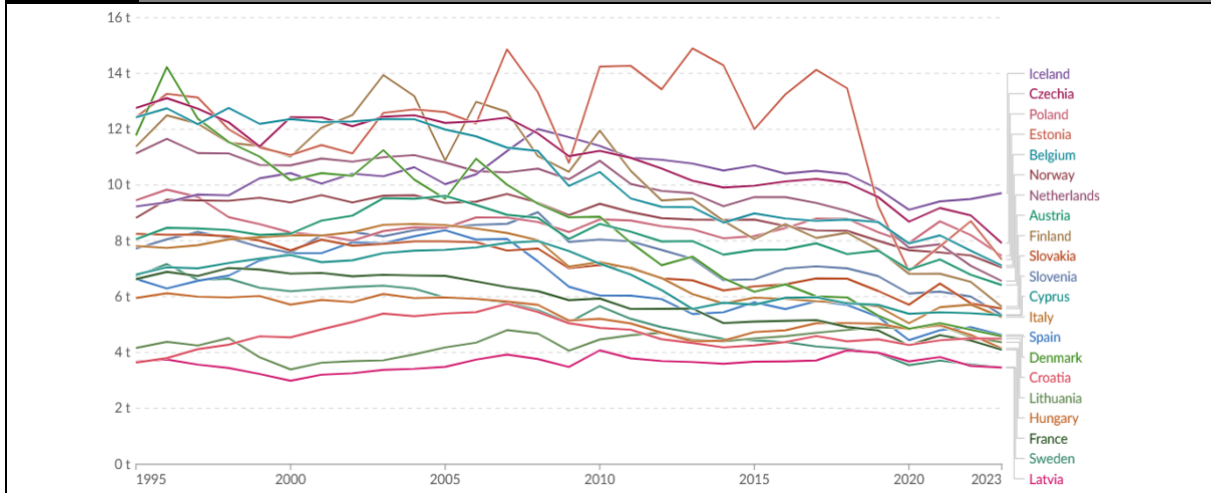
Üçüncü grup olan kurum içi karbon fiyatlandırması ise özel sektör bünyesinde uygulanan kurumsal politikalara dayanmaktadır. Bu kapsamda işletmeler, örneğin “gölge fiyatlandırma” (shadow pricing) gibi yöntemler aracılığıyla karbon salımlarına varsayımsal bir maliyet yüklemekte ve yatırım kararlarını bu maliyetler doğrultusunda şekillendirmektedir ([World Bank, 2023](#)).

Günümüzde İsveç, Norveç, Danimarka, Finlandiya ve İzlanda gibi Nordik ülkeler, karbon vergisini en erken uygulayan ve bu alanda başarılı sonuçlar elde eden ülkeler arasında yer almaktadır. Ayrıca Almanya, Fransa, Kanada ve Yeni Zelanda gibi ülkelerde de karbon fiyatlandırma

mekanizmaları çeşitli biçimlerde hayata geçirilmiştir. 2023 itibarıyla dünya genelinde 40'tan fazla ülke ve 20'den fazla bölge karbon fiyatlandırma sistemlerini yürürlüğe koymuş olup, bu sistemler küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %13'ünü kapsamaktadır (World Bank, 2023). 2024 yılı itibarıyla Arjantin, Şili, Kolombiya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Macaristan, İzlanda, İrlanda, Japonya, Letonya, Lihtenştayn, Lüksemburg, Meksika, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Singapur, Slovenya, Güney Afrika, İsveç, İsviçre, Ukrayna, Birleşik Krallık ve Uruguay doğrudan karbon vergisi uygulayan ülkeler arasında yer almaktadır. Kanada ise karbon vergisini yalnızca bazı eyaletlerde, yani bölgesel düzeyde uygulamaktadır. Bu ülkelerin büyük çoğunluğu, sera gazı emisyonlarını azaltmak, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak ve düşük karbonlu ekonomiye geçişi desteklemek amacıyla bu politikayı yürürlüğe koymuştur. Bu çeşitlilik, karbon vergisinin küresel ölçekte giderek daha fazla benimsenen ve yaygınlaşan bir çevre politikası aracı hâline geldiğini göstermektedir (Ritchie ve Rosado, 2022).

Türkiye'de ise hâlihazırda doğrudan bir karbon vergisi uygulaması bulunmamaktadır. Çevresel vergilendirme mekanizmaları genel bütçe kapsamında yer almakta ve çoğunlukla dolaylı vergi biçiminde (örneğin motorlu taşıtlar vergisi, enerji tüketim vergileri vb.) uygulanmaktadır. Ancak bu vergiler karbon emisyonlarını azaltma amacı gütmemekte, bu nedenle doğrudan karbon fiyatlandırma araçları arasında değerlendirilememektedir. Türkiye'nin 2053 yılı net sıfır emisyon hedefini beyan etmesine rağmen, karbon fiyatlandırma mekanizmalarının yasal ve kurumsal altyapısı henüz oluşturulmamıştır. Bu durum, Türkiye'nin iklim değişikliğiyle mücadelede piyasa temelli araçlardan yararlanma düzeyini sınırlamakta ve karbon vergisi konusundaki politika eksikliğine işaret etmektedir.

Şekil 1. Ülke Bazlı Kişi Başına Düşen Karbon Emisyonu (1995-2023)



Şekil 1, 1995–2023 yılları arasında çevresel vergi uygulayan 21 Avrupa ülkesine ait kişi başına düşen karbon emisyon miktarlarını göstermektedir. Bu ülkelerden Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Macaristan, İzlanda, Letonya, Hollanda, Norveç, Polonya, Slovenya ve İsveç doğrudan karbon vergisi uygulamaktadır. Öte yandan Belçika, Çekya, İspanya, Hırvatistan, İtalya, Kıbrıs, Litvanya, Avusturya ve Slovakya'da doğrudan karbon vergisi bulunmamasıyla birlikte, bu ülkeler Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemi (EU ETS) kapsamında karbon fiyatlandırmasına tabi tutulmaktadır. Ayrıca bu ülkelerde, fosil yakıtlar ve enerji tüketimi üzerinden alınan çeşitli çevresel vergiler yoluyla dolaylı karbon maliyetleri oluşmaktadır. Bu çerçevede, karbon fiyatlandırması bazı

ülkelerde doğrudan vergilendirme yerine piyasa temelli mekanizmalarla veya dolaylı vergi araçlarıyla sağlanmaktadır. Şekil incelendiğinde, 1995–2023 dönemi boyunca genel olarak kişi başına düşen karbon emisyonlarında azalan bir eğilim gözlenmektedir. Özellikle Nordik ülkeler (İsveç, Norveç, Danimarka, Finlandiya ve İzlanda), bu süreçte düzenli ve istikrarlı bir azalma eğilimi sergilemiştir. Buna karşın Slovakya’da emisyon seviyelerinde belirgin dalgalanmalar yaşanmış; Polonya ve Çekya gibi ülkelerde ise uzun yıllar boyunca yüksek karbon emisyon seviyeleri korunmuştur. Dikkat çeken bir diğer durum ise Hırvatistan ve Letonya’nın görece düşük seviyelerde seyreden karbon salınımlarıdır. Ayrıca birçok ülke açısından 2020 yılı önemli bir kırılma noktası olarak öne çıkmaktadır. Bu yıldaki ani düşüşler ve takip eden artışlar, COVID-19 pandemisinin ekonomik faaliyetler üzerindeki etkisiyle ilişkilendirilebilir. Öte yandan bazı ülkelerde gözlenen daha yatay ve istikrarlı seyir, enerji dönüşüm sürecinin daha yavaş ve kademeli şekilde ilerlediğine işaret etmektedir.

3. Kavramsal Arkaplan

Son yıllarda ülkelerde uygulanan karbon vergisi politikası birçok çalışmaya yön vermiştir. Literatürde karbon vergisinin ekonomik, sosyal ve çevresel etkilerine araştıran çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan İsveç ve bazı OECD ülkelerini kapsayan bir çalışmada karbon vergisinin taşımacılık faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonu %11 oranında azalttığı sonucuna ulaşılmıştır (Anderson vd., 2006). İrlanda’da yapılan bir diğer çalışmada karbon vergisinin düşük gelir gruplarını olumsuz etkilediği, ancak bu etkinin gelecek gelirleri olumlu etkileyeceğinden hareketle telafi edilebileceğini ileri sürmüştür (Callan vd., 2009). Avustralya’da bu alanda yapılan bir çalışmada, gelir geri dönüşümünün sağlandığı varsayımı altında, karbon vergisinin hane halkları üzerindeki olumsuz etkisinin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır (Meng vd., 2012). Güney Afrika’da yapılan bir çalışmada potansiyel bir karbon vergisi uygulaması ile ekonomik refahın %1,2 oranında azalabileceği, istihdamda %0,6’lık bir daralma yaşanabileceği ileri sürülmektedir (Alton vd., 2014). Endonezya’da kırsal bölgede yaşayan düşük gelirli hane halkları üzerinde karbon vergisinin olumlu etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu araştırmada karbon vergisinin sadece farklı gelir grupları arasında değil, kır ve kent nüfusu arasında da farklı etkilere sahip olabileceğini ortaya koymaktadır (Yusuf ve Resosudarmo, 2014). ABD’de yapılan bir çalışmada karbon vergisinden elde edilen gelirlerin sosyal dengeyi koruyacak şekilde geri dönüşümünün sağlanması halinde adil ve sürdürülebilir bir vergi sistemi oluşturulabileceği belirlenmiştir (Fremstad ve Paul, 2019). Bunun yanı sıra Çin için geliştirilen üç senaryolu bir modellemeye hem ETS (karbon ticaret sistemi) hem de karbon vergisi uygulamalarının emisyon oranlarını azaltmada etkili olduğu sonucuna ulaşılmış, ancak sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için kapsamlı bir stratejinin gerekliliği vurgulanmıştır (Jia ve Lin, 2020). Kanada’da yapılan bir araştırmada vergi tasarımının yetersiz ve uzun vadede zayıf kalmasının, karbon vergisinin emisyon üzerindeki olumlu etkisini zayıflatacağı sonucuna ulaşılmıştır (Pretis, 2022). Uluslararası literatüre genel olarak bakıldığında karbon vergisinin emisyon hacmini azaltmada başarılı olduğu konusunda görüş birliği bulunmaktadır. Öte yandan bu verginin başarılı ve amacına uygun bir şekilde kullanılabilmesi için şeffaf ve etkin bir şekilde vergi sistemine entegre edilmesi önerildiği belirtilebilir (Timilsina, 2022).

Karbon vergisi Türkiye’de henüz uygulanmamakla birlikte, konuya dair sınırlı sayıda çalışma literatürde yer almaktadır. Bunlardan bazılarında vergilendirme maliyetinin tüketiciye yansıtılması durumunda bu verginin gelir dağılımına olumsuz etkide bulunacağı ileri sürülmektedir (Yerlikaya, 2003). Bazı çalışmalarda ise karbon vergisinin konusunda uygulanacak politikaların; vergi türü

farklılaştırılması, tüketim esnasında alınması ve nötr vergi olarak uygulanması şeklinde ilkeler içermesi gerektiği vurgulanmaktadır (Balı ve Yaylı, 2019). Ayrıca mevcut motorlu taşıtlar vergisinin (MTV), karbon temelli bir hale getirilmesi diğer öneriler arasındadır (Orkunoğlu Şahin ve Çiftçi, 2021). Karbon yoğun mallara kademeli olarak uygulanan bir verginin hem ekonomik hem de gelir dağılımı açısından daha etkin olabileceği vurgulayan çalışmalar bulunmaktadır (Sapmaz, 2022). Bazı çalışmalarda, Nordik ülkelerde uygulanan karbon vergisinden yola çıkılarak Türkiye için örtük karbon vergisi uygulanabileceği ve ek vergilerle kapsamının genişletilebileceği de tartışılmaktadır (Ercoşkun ve Kovancılar, 2023).

Karbon vergisinin teorik çerçevesi ve ülkeler özelindeki etkileri hakkında yapılan çalışmalar, vergilendirmenin ekonomik büyüme, gelir dağılımı ve çevresel sürdürülebilirlik gibi çok boyutlu sonuçlar doğurduğunu ortaya koymaktadır. Bu alanda farklı yöntem ve veri setleriyle yürütülen araştırmalar, karbon vergisinin tasarımı ve uygulama biçiminin başarısını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Aşağıda yer alan tablo, çeşitli ülkelerde ve farklı dönemlerde yürütülmüş önemli çalışmaların bulgularını sistematik biçimde özetleyerek literatürdeki yaklaşım çeşitliliğini ve temel eğilimleri ortaya koymaktadır.

Tablo 1.	Literatür Özeti	
Yazar (Yıl)	Kapsam	Bulgular
Baranzini vd. (2000)	Bu çalışmada, karbon vergisinin gelir eşitsizliği üzerindeki etkisi ve vergi gelirlerinin çevresel yatırımlara yönlendirilmesinin önemi vurgulanmaktadır.	Yeşil yatırım ve sosyal geri dönüşüm mekanizmaları etkin şekilde tasarlanırsa karbon vergisi hem çevresel hem ekonomik anlamda başarılı olabilir.
Ekins ve Barker (2001)	Karbon vergisinin sosyal yönleri üzerine yapılan teorik çalışmada, gelir grupları arasındaki dağılım etkisi tartışılmaktadır.	Vergi sisteminin sosyal adalet ilkesine uygun biçimde kurgulanması uzun vadeli başarının ön koşuludur.
Yerlikaya (2003)	Teorik bir değerlendirme sunan çalışmada, karbon vergisinin Pigouvian niteliği ve “kirleten öder” ilkesine dayansa da uygulamada maliyetin tüketiciye yansması nedeniyle adalet sorunu yarattığı belirtilmektedir.	Karbon vergisinin doğrudan üreticiye değil, tüketiciye yansması verginin caydırıcılığını azaltmakta ve adil bir dağılım sorununa yol açmaktadır.
Anderson (2006)	İsveç'te 1960-2005 dönemi için taşımacılık sektörünü kapsayan Sentetik Kontrol Yöntemi (SCM-Synthetic Control Method) kullanılan çalışmada, vergi sonrası emisyonlar analiz edilmektedir.	Karbon vergisi taşımacılık kaynaklı emisyonları %11 azaltmıştır; tüketiciler benzin fiyatından üç kat daha fazla tepki göstermiştir.
Callan vd. (2009)	İrlanda'da 2004-2005 yılları kapsamında SWITCH mikro-simülasyon modeli ile karbon vergisinin gelir dağılımı üzerindeki etkileri analiz edilmektedir.	€20/tCO ₂ düzeyindeki karbon vergisi düşük gelirli haneleri orantısız etkilemiş; sosyal transferlerle bu etki azaltılabilir.
Meng vd. (2012)	Avustralya'da 2004-2005 yılları için uygulanan A\$23/ton karbon vergisinin kısa vadeli ekonomik etkileri Sosyal Hesaplar Matrisi (SAM) ile kalibresi sağlanan ORANI-G temelli Hesaplanabilir Genel Denge Modeli (CGE-Computable General Equilibrium Model) ile analiz edilmektedir.	Karbon vergisi emisyonları azaltmıştır ancak enerji yoğun sektörlerde işgücü kaybı yaşanmış; gelir dağılımı geri dönüşümle dengelenmiştir.
Alton vd. (2014)	Güney Afrika için Hesaplanabilir Genel Denge Modeli (CGE-Computable General Equilibrium Model) modeliyle yürütülen çalışmada, 2022-2025 yılına kadar uygulanacak kademeli karbon vergisinin	Ton başına 30 USD vergi ile 2025 hedeflerine ulaşılabilir; fakat %1.2 ekonomik daralma ve %0.6 istihdam kaybı beklenmektedir. BCA gibi önlemler önerilmiştir.

	ekonomik büyüme ve istihdam üzerindeki etkileri analiz edilmektedir.	
Yusuf ve Resosudarmo (2014)	Endonezya'da 2003 yılı için Sosyal Hesaplar Matrisi (SAM) ile kalibresi sağlanan ORANI-G temelli Hesaplanabilir Genel Denge Modeli (CGE- Computable General Equilibrium Model) verileriyle kırsal/kentsel haneler üzerinde karbon vergisinin etkileri incelenmektedir	Kırsal alanlarda vergi progresif etki göstermektedir; düşük gelirli haneler açısından daha adil sonuçlar doğurmaktadır.
Carattini vd. (2018)	Küresel düzeyde kamuoyu algısı ve sosyal kabul üzerine yapılan çalışmada, karbon vergisinin başarısında iletişim stratejilerinin önemi incelenmektedir.	Kademeli geçiş, çevresel fonlar ve doğrudan nakit transferleri ile kamuoyu desteği artırılabilir; bilgi asimetrisi giderilmelidir.
Fremstad ve Paul (2019)	ABD'de 2005-2014 yılları arası Girdi-Çıktı Tabloları (IO-Input Output Model) ve Tüketici Harcama Anketi (CEX) verileri kullanılarak karbon vergisinin farklı gelir grupları üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir.	Sabit oranlı vergi sisteminde düşük gelir grupları daha fazla etkilenebilmektedir; vergi oranları değişken yapıda olmalı ve geri dönüşüm adil olmalıdır.
Balı ve Yaylı (2019)	Türkiye için 1992–2023 dönemine ait verilerle karbon vergisinin uygulanabilirliği değerlendirilmektedir.	Kısa vadede maliyetli olsa da uzun vadede çevresel sürdürülebilirlik adına etkili bir araç olabilir.
Jia ve Lin (2020)	Çin için 2012-2030 yılları arası için geliştirilen Hesaplanabilir Genel Denge Modeli (CGE- Computable General Equilibrium Model) yöntemi ile karbon vergisi, ETS ve politikasız senaryolar karşılaştırılmaktadır.	Karbon vergisi ve ETS sistemlerinin kapsamlı ve iyi tasarlanmış stratejilerle birlikte uygulanması emisyon azaltımında etkili sonuçlar vermektedir.
Orkunoğlu Şahin ve Çiftçi (2021)	Türkiye'de doğrudan karbon vergisi yerine dolaylı vergilerin oranı ve ETS ile bütünleşme potansiyeli tartışılmaktadır.	MTV'nin karbon temelli hale getirilmesi ve ETS ile entegre uygulamaların adil sistem kurulmasında rol oynayabileceği vurgulanmaktadır.
Timilsina (2022)	Küresel düzeyde piyasa temelli sistemler üzerine yapılan analizde karbon vergisinin farklı gelir grupları üzerindeki etkileri ve küresel karbon fiyatlandırmasının önemi ele alınmaktadır.	Etkinlik, vergiden elde edilen gelirlerin geri dönüşümüne ve gelir eşitsizliğini giderecek yapıda olmasına bağlıdır.
Pretis (2022)	Kanada'nın British Columbia bölgesinde uygulanan karbon vergisinin ulaşım sektörü ve genel emisyonlar üzerindeki etkisi ulusal düzeyde 1990-2016 ve mekânsal olarak 1970-2012 yılları için Farklılaştırılmış Farklar Yöntemi (DiD-Difference-in Differences), Sentetik Kontrol Yöntemi (SCM-Synthetic Control Method) ve Makine Öğrenmesi Tabanlı Kırılma Tespiti (ML-Based Break Detection) ile değerlendirilmektedir.	Karbon vergisi ulaşım kaynaklı emisyonları azaltmış olsa da toplam karbon emisyonları üzerinde sınırlı bir etki yaratmış; bu durum vergi tasarımının yetersizliğine bağlanmıştır.
Sapmaz (2022)	Türkiye için yapılan politika analizinde karbon yoğun mallara yönelik kademeli vergi önerisi ele alınmaktadır.	Enerjide dışa bağımlılığı azaltmak ve çevresel yatırımları teşvik etmek adına karbon yoğun mallara yönelik vergi uygulanmalıdır.
Ercoşkun ve Kovancılar (2023)	1990'lı yıllardan itibaren Nordik ülkelerde uygulamaya konan karbon vergilerinin küresel düzeyde yaygınlaşmamasının nedenlerini inceleyen çalışmada, ekonomik ve politik uyumsuzluklara dikkat çekilmektedir.	Karbon vergisinin küresel bir ortaklığa dönüşmemesinde ülkeler arası uzlaşma eksikliği, piyasaya dayalı çözümlerin yetersizliği ve ekonomik yapılar arasındaki eşitsizliklerin rol oynadığı vurgulanmıştır;

işbirlikçi bir yaklaşımın zorunlu olduğu belirtilmiştir.

Literatür incelemesi sonucunda ulusal ve uluslararası çalışmaların karbon vergisini farklı perspektiflerden ele aldıkları görülmektedir. Ulusal çalışmalarda, Türkiye’de mevcut bir karbon vergisi bulunmaması nedeniyle bu verginin potansiyel etkileri ve uygulanabilirliği incelenirken; uluslararası çalışmalarda optimal vergi oranı, farklı gelir grupları üzerindeki etkileri, emisyon oranlarını azaltmada sürdürülebilirliğinin sağlanması ve uzun vadede ekonomik büyüme üzerindeki etkileri incelenmektedir. Çalışmaların sonuçları farklı ekonomik, sosyal ve çevresel etkiler gözlemlenmekle birlikte, karbon vergisinin emisyon oranlarını azalttığını ortaya koymuştur. Mevcut çalışmalarda kamuoyu algısı, sosyal eşitlik ve gelir geri dönüşümündeki belirsizlikler nedeniyle, karbon vergisinin tek başına etkin olamayabileceği ve ek stratejilerle desteklenmesi gerektiği de vurgulanmıştır.

4. Araştırma Yöntemi

4.1 Veri Seti ve Model

Çalışmada, 1995-2021 dönemi için 21 ülkeye³ ait karbon vergisi, karbon emisyonu, kişi başına düşen gelir, yenilenebilir enerji tüketimi, toplam enerji kullanımı ve ekolojik ayak izi göstergeleri arasındaki ilişkiler incelenecektir. Çalışmanın literatüre katkısı öncelikle karbon vergisinin karbon emisyonuna etkilerini belirlemek, daha sonra diğer politika araçlarının (alternatif enerji tüketimi/kullanımı, gelir, ekolojik ayak izi) karbon emisyonuna etkileri ile karbon vergisi etkilerini mukayese edebilmektir. Bu kapsamda, karbon vergisi değişkeni çevresel vergiler altında yer alan “kirlilik ve doğal kaynak vergileri” (pollution and resources taxes) kategorisi üzerinden temsil edilmiştir. Bu kategori; çevreyi kirleten faaliyetler ile doğal kaynak tüketimine yönelik uygulanan vergileri içermekte olup, doğrudan karbon vergisini yansıtan en uygun gösterge olarak değerlendirilmiştir. Genel çevresel vergi gelirlerinden farklı olarak bu değişken, enerji ya da ulaşım ile ilgili dolaylı vergileri kapsamamaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmada kullanılan değişken, karbon emisyonlarını azaltmayı hedefleyen vergilendirme uygulamalarını daha doğrudan yansıtmaktadır. Çalışmanın literatüre katkısı öncelikle karbon vergisinin karbon emisyonuna etkilerini belirlemek, daha sonra diğer politika araçlarının (alternatif enerji tüketimi/kullanımı, gelir, ekolojik ayak izi) karbon emisyonuna etkileri ile karbon vergisi etkilerini mukayese edebilmektir. Belirtilen göstergelere ait bilgiler ve elde edildikleri kaynaklar Tablo 2’de sunulmaktadır.

Değişken	Tanım	Kaynak
Inco2	Kişi başına düşen karbondioksit (CO ₂) emisyonlarının logaritması (LULUCF hariç, ton CO ₂ eşdeğeri/kişi)	World Bank
Intax	Kirlilik ve doğal kaynak vergileri oranı logaritması (GSYH'ye oranla)	Eurostat
Ingdp	Kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasıla logaritması (cari ABD doları cinsinden)	World Bank

³ Belçika, Çekya, Danimarka, Estonya, İspanya, Fransa, Hırvatistan, İtalya, Kıbrıs, Letonya, Litvanya, Macaristan, Hollanda, Avusturya, Polonya, Slovenya, Slovakya, Finlandiya, İsveç, İzlanda ve Norveç.

Inren	Yenilenebilir enerji tüketimi logaritması (toplam nihai enerji tüketiminin yüzdesi)	World Bank
Inen	Kişi başına enerji kullanımı logaritması (petrol eşdeğeri kilogram cinsinden)	World Bank
Ineco	Kişi başına düşen ekolojik ayak izi logaritması	Global Footprint Network

İktisadi beklentiler ve literatürde yer alan çalışmalar gözetilerek çalışmada kullanılan modele ait denklem aşağıda sunulmaktadır.

$$\ln co2_{it} = a + \beta_1 \ln tax_{it} + \beta_2 \ln gdp_{it} + \beta_3 \ln ren_{it} + \beta_4 \ln en_{it} + \beta_5 \ln eco_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Denklem 1’de yer alan ve bağımlı değişken olan $\ln co2_{it}$ karbon emisyon oranını ifade etmektedir. Bağımsız değişkenler ise sırasıyla $\ln tax_{it}$ çevresel vergi gelirleri, $\ln gdp_{it}$ kişi başına düşen gelir, $\ln ren_{it}$ yenilenebilir enerji tüketimi, $\ln en_{it}$ kişi başına düşen enerji kullanımı ve $\ln eco_{it}$ kişi başına düşen ekolojik ayak izidir. Denklem 1’de yer alan β , bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini gösteren elastikiyet katsayısıdır. Bunun yanı sıra ε hata terimini, a sabit katsayıyı ve it ifadesi ise i birimi için t zamanındaki bağımlı değişkenin değerini temsil etmektedir.

4.2 Yöntem

Çalışmada hem zaman hem de kesit boyutunun dikkate alındığı panel veri modellemesine ihtiyaç duyulmuştur. Ayrıca uygulanan birim kök testi sonuçlarına göre değişkenlerin $I(0)$ ve $I(1)$ seviyelerde durağan olması nedeniyle, Panel Otoregresif Gecikmesi Dağıtılmış (Panel Autoregressive Distributed Lag, Panel ARDL) modelinin uygun bir yöntem olduğu belirlenmiştir (Pesaran vd., 1999, ss. 4-5). Denklem 2’de Panel ARDL modelinin denklemi sunulmaktadır.

$$Y_{it} = \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} Y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^p \delta'_{ij} X_{i,t-j} + \mu_j + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$\Delta Y_{it} = \phi_i(Y_{it} - \phi' X_{it}) + \sum_{j=1}^{p-1} \lambda_{ij}^* + \Delta Y_{it-j} + \sum_{j=0}^{p-1} \delta^*_{ij} + \Delta X_{it-j} + \mu_j + \varepsilon_i \quad (3)$$

Denklem 2’de, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin hem kendi hem de gecikmeli değerleri aracılığıyla uzun dönem ilişkisi temsil edilmektedir. Denklemde yer alan λ_{ij} ve δ_{ij} katsayıları, değişkenlerin geçmiş değerlerinin mevcut dönem üzerindeki etkisini yansıtırken, sabit terim μ_j ve hata terimi ε_i ise modeli denge harici sapmalara karşı esnek hale getirmektedir. Modelin hem kısa dönem dinamikleri hem de uzun dönemde dengeye dönüş ilişkisi ve hata düzeltme biçimi Denklem 3’te ifade edilmektedir. Hata düzeltme terimi, sistemin uzun dönem denge ilişkisinden sapma durumlarında bu sapmanın ne hızla giderildiğini gösteren katsayı ile çarpılarak ifade edilmektedir. Model ayrıca, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin gecikmeli birinci farklarını içeren terimler aracılığıyla kısa dönem dinamikleri üzerinde de detaylı analiz imkânı sunmaktadır.

4.3 Analizler ve Bulgular

Çalışmada kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 3’te sunulmuştur. Değişkenler analiz öncesinde logaritmik forma dönüştürülmüş ve üssel düzeltme yöntemiyle mevsimsel etkilerden arındırılmıştır.

Tablo 3. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	Gözlem	Ort.	Std. Sapma	Minimum	Maximum
co2	567	2.0156	0.368	1.0064	2.8557
tax	567	-2.212	1.0454	-4.6052	-0.0619
gdp	567	10.0047	0.802	7.6883	11.5479
ren	567	2.7658	0.9183	0.0953	4.4418
en	567	8.2007	0.4555	7.3893	9.8099
eco	567	33.6588	0.8175	27.3896	34.5182

Değişkenlerin durağanlık yapıları Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CIPS (Cross-Sectionally Augmented IPS) testi ile incelenecektir.

$$\Delta y_{it} = a_i + b y_{it-1} + a_i + c_i \bar{y}_{t-1} + d_i \bar{y}_t + e_{it} \quad (4)$$

$$\Delta y_{it} = a_i + \rho_i y_{it-1} + d_0 \bar{y}_{t-1} + \sum_{j=0}^p d_{j+1} \Delta \bar{y}_{t-j} + \sum_{k=1}^p c_k \Delta y_{i,t-k} + e_{it} \quad (5)$$

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CADF_i \quad (6)$$

Geleneksel birim kök testleri, birimlerin kendi aralarında bağımsız dağıldığı varsayımına dayanmaktadır. Ancak pratikte bu varsayım, ortak şoklar ve küresel yapılar nedeniyle gerçeklikten uzak bir yaklaşım sergilemektedir. Yukarıda verilmiş olan denklemlerde testin temelini oluşturan CADF (Cross-sectionally Augmented Dickey-Fuller) regresyonları ve CIPS istatistiği tanımlanmaktadır. CIPS testi klasik birim kök testlerinden farklı olarak yatay kesit bağımlılığını da dikkate almakta ve daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (Pesaran, 2007, ss. 269-276). Basitleştirilmiş CADF regresyonu Denklem 4'te ve genişletilmiş hali ise Denklem 5'te ifade edilmektedir. Elde edilen CADF istatistikleri, her panel birimi için ayrı ayrı hesaplandıktan sonra ortalaması alınarak Denklem 6'da yer verilen CIPS istatistiği elde edilmektedir. Bu değer sayesinde tüm panelin durağanlık seviyesi, kritik değerlerle karşılaştırılarak belirlenmektedir. Tablo 4'te değişkenlerin hem düzey hem de birinci farklarına ilişkin birim kök testi sonuçları yer almaktadır. Birinci farkı alınan değişkenler Δ simgesiyle gösterilmiştir. Buna göre bazı değişkenler düzeyde ($I(0)$) durağanlaşırken, bazıları farkı alındıktan sonra ($I(1)$) durağan hale gelmektedir.

Tablo 4. Birim Kök Testleri Sonuçları

Değişkenler						Model
co2	tax	gdp	ren	en	eco	
1.62	-2.31**	-2.06	-2.06	-1.48	-4.71***	Sabit
-2.07	-2.93***	-3.27***	-2.43	-2.77**	-5.44***	Sabit + Trend
Δ co2	Δ tax	Δ gdp	Δ ren	Δ en	Δ eco	
-4.71***	-4.64***	-4.36***	-4.99***	-4.79***	-7.47***	Sabit
-4.68***	-4.68***	-4.35***	-4.89***	-5.13***	-7.29***	Sabit + Trend

Not: Sadece sabit içeren model için %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerinde sırasıyla -2.38, -2.20 ve -2.10; sabit ve trend içeren model için ise -2.89, -2.72 ve -2.63'tür. Test istatistiği bu eşik değerlerden daha küçük (daha negatif) olduğunda, birim kökün reddedildiği ve serinin durağan olduğu kabul edilir. Anlamlılık düzeyleri sırasıyla *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$ ve * $p < 0.10$ olarak gösterilmiştir. Modelde kullanılacak optimal gecikme uzunluğu, en düşük Akaike Bilgi Kriteri (AIC) değerine sahip olan model esas alınarak 2 olarak seçilmiştir.

Elde edilen sonuçlar panel ARDL modelinin uygulanabilirliğini göstermektedir. Analizlerde değişkenler arası yüksek korelasyonun bulunması, modelin güvenilirliğini azaltan önemli sorunlardan biridir (Gujarati, 2015, s. 70). Bu nedenle, bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı (multicollinearity) olup olmadığını tespit etmek amacıyla Varyans Şişirme Faktörü (Variance Inflation Factor – VIF) testi uygulanmıştır. Kullanılan VIF formülü denklem 7'de gösterilmektedir.

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2} \quad (7)$$

VIF testi, her bir bağımsız değişkenin diğer bağımsız değişkenlerle olan doğrusal ilişkisini ölçerek modeldeki potansiyel çoklu doğrusal bağlantı problemini ortaya koymaktadır. VIF değeri 1 ile 5 arasında ise kabul edilebilir düzeyde korelasyon olduğu; 5 ile 10 arasında ise dikkat edilmesi gerektiği; 10'un üzerindeki değerlerde ise ciddi bir çoklu doğrusal bağlantı problemi olduğu kabul edilmektedir (Montgomery vd., 2012, ss. 296-297).

Tablo 5. VIF Testi Sonuçları

Değişkenler				
tax	gdp	en	ren	eco
1.0272	1.4850	1.4932	1.1260	1.0169

Tablo 5'te bağımsız değişkenler arasındaki çoklu doğrusal bağlantı düzeyini incelemek amacıyla uygulanan VIF testi sonuçları verilmektedir. Tüm değişkenlerin VIF değerleri 2'nin oldukça altında olup, 1 ile 1.5 arasında değişmektedir. Bu durum, bağımsız değişkenler arasında yüksek düzeyde bir doğrusal ilişkinin bulunmadığını ve modelde çoklu doğrusal bağlantı (multicollinearity) probleminin olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla belirtilen değişkenlerin modele dâhil edilmesinde istatistiksel anlamda bir problem bulunmamaktadır. Bağımsız değişkenlerde çoklu doğrusal bağlantı probleminin bulunmadığı tespit edildikten sonra, bağımsız değişkenlerin toplu anlamlılıklarının tespit edilmesi amacıyla denklem 8'de ifade edilen Wald testi uygulanmıştır.

$$W = \sum_{i=1}^N \frac{(\hat{\sigma}_i^2 - \sigma^2)^2}{v_i} \quad (8)$$

Wald testi, birimler arası hata varyanslarının eşitliğinin sınanması amacıyla kullanılmaktadır. Buna göre denklem 8'de yer alan $\hat{\sigma}_i^2$ her birim için tahmin edilen hata varyansını, σ^2 ortak hata varyansını ve elde edilen W değeri ise kritik değere göre varyansların eşitliğinin karşılaştırılarak değerlendirilmesini sağlamaktadır (Wald, 1943, s. 462).

Tablo 6. Wald Testi Sonuçları

Test Türü	Test İstatistiği	P-değeri	Anlamlılık Durumu
F-İstatistiği	114.3962	0.0000***	Anlamlı (H0 reddedilir)
Ki-Kare Testi	571.9812	0.0000***	Anlamlı (H0 reddedilir)
Not: *** ifadesi %1 önem düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade eder.			

Tablo 6'da görüldüğü üzere, Wald testinin p-değeri 0.0000 olarak bulunmuş ve bu değer %1 anlamlılık düzeyinin oldukça altında kalmıştır. Bu sonuç, modelde yer alan katsayıların topluca istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Modelin genel anlamlılığı belirlendikten sonra, kısa ve uzun dönemli ilişkilerin detaylı olarak incelenmesi önem arz etmektedir. Panel veri setindeki kesit birimleri arasında yatay kesit bağımlılığı olup olmadığı Pesaran CD (2004) testi ve Breusch-Pagan LM (1980) testi ile incelenmiştir.

$$CD_{LM} = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij}^2 \quad (9)$$

Breusch Pagan LM (1980) istatistiği, panel veri analizlerinde birimler arasındaki hata terimlerinin birbirlerine bağımlı olup olmadığını kontrol etmektedir. Özellikle zaman boyutunun (T) büyük, birim sayısının (N) küçük olduğu paneller için uygundur. Ancak her panel veri yapısına uygun olmadığından sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu nedenle geliştirilmiş bir alternatifi olan Pesaran CD testi gibi alternatifler ile desteklenmesi gerekmektedir (Breusch ve Pagan, 1980, ss. 239-253).

$$LM_{scaled} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T\hat{\rho}_{ij}^2 - 1) \quad (10)$$

$$LM_{adj} = \sqrt{\frac{2}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{(T-k)\hat{\rho}_{ij}^2 - \mu_{Tij}}{\theta_{Tij}} \quad (11)$$

$$LM_{adj} - dN(0,1) \quad (12)$$

Pesaran (2004) tarafından geliştirilen CD (Cross-sectional Dependence) testi, panel veri modellerinde kesitler arasındaki hata terimlerinin korelasyon içerip içermediğini incelemek amacıyla kullanılmaktadır. Breusch-Pagan LM testinin bir alternatifidir ve küçük örneklemelerde de daha güvenilir sonuçlar verebilir. CD testinin geliştirilmiş versiyonlarında ortalama ve varyans düzeltmeleri içeren düzeltilmiş LM_{adj} istatistiği, asimptotik olarak standart normal dağılıma $N(0,1)$ yaklaşır. Test istatistiği standart normal dağılıma göre değerlendirilerek yatay kesit bağımlılığı olup olmadığına karar verilir (Pesaran, 2004, ss. 4-9).

Tablo 7. Pesaran CD Testi Sonuçları

Test	İstatistik Değeri	d.f	p-değeri
Breusch-Pagan LM	311.2632	210	0.0000***
Pesaran CD	7.221651		0.0000***
Not: *** ifadesi %1 önem düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade eder.			

Tablo 7’de yer alan sonuçlara göre p-değerlerinin kritik seviye olan 0.05’ten küçük oldukları tespit edilmiştir. Bu durumda yatay kesit bağımlılığının bulunmadığını ifade eden H0 hipotezi reddedilmektedir ve yatay kesit bağımlılığı vardır şeklindeki H1 hipotezi kabul edilmiştir. Elde edilen sonuç birimler arası ortak şoklar veya etkileşimlerin bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 8. PMG/ARDL Sonuçları				
Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	p-değeri
Uzun Dönem Katsayıları				
tax	0.0113	0.0177	0.6408	0.5220
en	1.2167	0.1140	10.6652	0.0000***
gdp	-0.2051	0.0245	-8.3423	0.0000***
ren	-0.0145	0.0179	-0.8134	0.4164
eco	-0.0226	0.0065	-3.4479	0.0006***
Kısa Dönem Katsayıları				
COINTEQ01	-0.0586	0.0286	-2.0475	0.0413**
d(co2(-1))	-0.0762	0.0345	-2.2064	0.0279**
d(eco)	0.0060	0.0034	1.7301	0.0844*
d(en)	0.7737	0.0895	8.6435	0.0000***
d(gdp)	0.0409	0.0140	2.9284	0.0036***
d(ren)	-0.2390	0.0539	-4.4325	0.0000***
d(tax)	0.0106	0.0165	0.6431	0.5205
C	-0.2944	0.1459	-2.0174	0.0443**
Not: Katsayılara ait anlamlılık seviyeleri, p-değerlerine göre belirlenmiştir. ***, %1; **, %5 ve *, %10 istatistiksel anlamlılık düzeylerini göstermektedir.				

Değişkenler arasındaki kısa dönem ve uzun dönem sonuçlarını ortaya koyan Panel ARDL sonuçları Tablo 8’de sunulmaktadır. Tablo 8’de yer alan PMG/ARDL modeli sonuçlarına göre uzun dönemde enerji tüketimi ile karbon emisyonları arasında pozitif ve yüksek derecede anlamlı bir ilişki mevcuttur. Bu bulgu, enerji tüketimindeki artışların yapısal olarak emisyon seviyelerini artırdığını göstermektedir ve enerji politikalarının karbon yoğunluğunu azaltacak şekilde yeniden yapılandırılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Tabloda uzun dönem katsayıları incelendiğinde, kişi başına düşen gelir değişkeni uzun dönemde karbon emisyonlarını anlamlı biçimde azaltıcı etkiye sahiptir. Bu sonuç, çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezini destekleyerek, gelir düzeyi yükseldikçe çevreye duyarlılığın ve temiz teknolojilerin kullanımının arttığını belirtmektedir. Ekolojik ayak izi ile karbon emisyonları arasında negatif ve anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Bu bulgu, ülkelerin daha düşük ekolojik ayak izine sahip olması durumunda karbon emisyonlarında da azalma yaşandığını göstermektedir. Dolayısıyla, çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak kullanımı konusunda atılan adımların uzun vadede emisyonlar üzerinde sınırlayıcı etkisi olduğu söylenebilir. Buna karşılık, yenilenebilir enerji tüketimi ile karbon emisyonları arasındaki ilişki negatif olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu durum, yenilenebilir enerji kullanımının henüz uzun vadede emisyonları azaltacak düzeyde yaygınlaşmadığını ya da etkisinin zamana yayıldığını düşündürmektedir. Karbon vergisi değişkeninin uzun dönem katsayısı

pozitif olmakla birlikte, istatistiksel olarak anlamsızdır. Bu, mevcut karbon vergisi uygulamalarının uzun vadede emisyon azaltımında etkin olmadığını, muhtemelen vergi oranlarının düşük ya da sektör kapsamının dar olduğunu göstermektedir. Kısa dönem bulgularına bakıldığında, hata düzeltme katsayısı negatif ve anlamlıdır, bu da sistemin her dönem yaklaşık %5.9 oranında uzun dönem dengesine döndüğünü göstermektedir. Bu bulgu, modeldeki uzun dönem ilişkilerinin geçerli olduğunu ve kısa dönem sapmaların zamanla düzeldiğini teyit etmektedir. Kısa dönemde, önceki dönem karbon emisyonu, cari dönem emisyonlarını azaltıcı yönde ve %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki göstermektedir. Bu, düzeltici politika uygulamalarının ya da emisyon regülasyonlarının etkili olduğunu gösterebilir. Ekolojik ayak izi ise kısa vadede pozitif ve %10 düzeyinde anlamlı bir etkiye sahiptir. Bu bulgu, kısa vadede kaynak kullanımındaki artışın, ekolojik dengeyi zorlayarak emisyonları artırabileceğine işaret etmektedir. Enerji tüketimi, kısa dönemde de emisyonları güçlü biçimde artırmaktadır. Bu, enerji talebinin anlık çevresel etkilerinin oldukça yüksek olduğunu ve kısa vadeli enerji tüketimi kontrolünün politika açısından kritik olduğunu vurgular. Ekonomik büyüme, kısa vadede karbon emisyonlarını anlamlı biçimde artırmaktadır. Bu durum, EKC hipotezinin kısa vadede geçerli olmadığını ve büyümenin ilk aşamasında çevresel maliyetlerin arttığını göstermektedir. Yenilenebilir enerji tüketimi ise kısa vadede karbon emisyonlarını azaltıcı ve anlamlı bir etkiye sahiptir. Bu, kısa vadeli teşvik ve dönüşüm politikalarının etkili olabileceğini ve yenilenebilir enerjinin potansiyelini göstermektedir. Bunun yanı sıra kısa vadede karbon vergisi değişkeni yine anlamlı değildir. Bu, vergi düzeylerinin ya da uygulama etkinliğinin kısa vadeli piyasa davranışlarını değiştirmeye yeterli olmadığını göstermektedir. Son olarak, sabit terim negatif ve anlamlıdır. Bu, modelde yer almayan yapısal faktörlerin de karbon emisyonlarını azaltıcı bir etki taşıdığını göstermektedir.

Değişken	Katsayı	Anlamlılık	Anlamlılık Düzeyi	Yorum
Uzun Dönem Katsayısı				
tax	0.0113	0.5220	Anlamsız	Vergi artışı ile CO ₂ emisyonu arasında pozitif ancak istatistiksel olarak anlamlı olmayan bir ilişki mevcuttur.
en	1.2167	0.0000***	%1'de anlamlı	Enerji tüketimindeki artış, uzun vadede CO ₂ emisyonunu anlamlı ve güçlü bir şekilde artırmaktadır.
gdp	-0.2051	0.0000***	%1'de anlamlı	Kişi başı gelirdeki artış, uzun vadede CO ₂ emisyonlarını istatistiksel olarak anlamlı biçimde azaltmaktadır.
ren	-0.0145	0.4164	Anlamsız	Yenilenebilir enerji payı arttıkça CO ₂ emisyonu azalma eğilimi göstermektedir ancak ilişki anlamlı değildir.
eco	-0.0226	0.0006***	%1'de anlamlı	Ekonomik özgürlük düzeyi arttıkça CO ₂ emisyonları uzun vadede anlamlı şekilde azalmaktadır.
Kısa Dönem Katsayısı				

COINTEQ01	-0.0586	0.0413**	%5'te anlamlı	Sistemdeki kısa dönem sapmalar uzun dönemde dengelenmektedir; uzun dönem ilişkisinin varlığını desteklemektedir.
d(co2(-1))	-0.0762	0.0279**	%5'te anlamlı	CO ₂ emisyonunun bir önceki dönemdeki seviyesi, mevcut dönemde emisyonları istatistiksel olarak anlamlı şekilde azaltmaktadır.
d(eco)	0.0060	0.0844*	%10'da anlamlı	Kısa dönemde ekolojik ayak izi artışı CO ₂ emisyonunu zayıf bir düzeyde artırmaktadır.
d(en)	0.7737	0.0000***	%1'de anlamlı	Enerji tüketimi artışı, kısa vadede CO ₂ emisyonunu güçlü ve anlamlı şekilde artırmaktadır.
d(gdp)	0.0409	0.0036***	%1'de anlamlı	Kısa dönemde kişi başı gelirdeki artış, emisyonlarda anlamlı bir artışa neden olmaktadır.
d(ren)	-0.2390	0.0000***	%1'de anlamlı	Yenilenebilir enerji kullanımındaki artış, kısa vadede CO ₂ emisyonunu anlamlı şekilde azaltmaktadır.
d(tax)	0.0106	0.5205	Anlamsız	Vergi değişimlerinin kısa vadede CO ₂ emisyonu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır.
C	-0.2944	0.0443**	%5'te anlamlı	Sabit terim negatiftir ve modelin genel düzeyini istatistiksel olarak anlamlı şekilde açıklamaktadır.
Not: Katsayılara ait anlamlılık seviyeleri, p-değerlerine göre belirlenmiştir. ***, %1; **, %5 ve *, %10 istatistiksel anlamlılık düzeylerini göstermektedir.				

Tablo 9'daki PMG/ARDL model sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik politikaların hem uzun hem de kısa vadede farklı dinamiklere sahip olduğunu göstermektedir. Uzun vadede, ekonomik kalkınma süreciyle çevre kalitesi arasında bir denge olduğu görülmektedir. Bulgulara göre, kişi başına düşen gelir ve ekonomik açıklık arttıkça emisyonlar azalmaktadır. Bu durum, ülkelerin ekonomik gelişimle birlikte daha temiz teknolojilere ve üretim yöntemlerine geçiş yaptığını işaret etmektedir. Ancak bu uzun vadeli olumlu etki, sürdürülebilir bir büyüme için tek başına yeterli değildir.

Kısa vadede ise tablo biraz daha farklıdır. Anlık ekonomik değişimler (kısa vadeli kişi başına düşen gelir artışı) ve enerji tüketimindeki yükseliş, emisyonları artırmaktadır. Bu, hızlı büyüme dönemlerinde çevresel baskının arttığını göstermektedir. Ne var ki, yenilenebilir enerji yatırımlarının kısa vadede emisyonları önemli ölçüde azalttığı bulgusu, acil çevresel hedeflere ulaşmak için bu alandaki politikaların kritik önem taşıdığını ortaya koymaktadır.

Çalışmanın en dikkat çekici bulgusu, hem kısa hem de uzun vadede uygulanan karbon vergisinin emisyonlar üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmamasıdır. Bu sonuç, mevcut vergi

politikalarının çevresel hedeflere ulaşmada yeterince etkin olmadığını veya yeterli düzeyde uygulanmadığını göstermektedir’.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, karbon vergisinin karbon emisyonları üzerindeki etkisi 1995–2021 dönemi için 21 karbon vergisi uygulayan ülkeyi kapsayan panel veri setiyle PMG/ARDL yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Model sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, incelenen 21 Avrupa ülkesinde, enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin hem kısa hem de uzun vadede karbon emisyonlarını artırıcı etkiye bulunduğu; buna karşılık yenilenebilir enerji kullanımının ve ekolojik farkındalığın özellikle kısa vadede emisyonları azaltmada etkili olduğu görülmektedir. Karbon vergisinin ise ne kısa ne de uzun vadede anlamlı bir etkisinin bulunmaması, mevcut vergi yapılarının Avrupa genelinde hedeflenen çevresel dönüşümü desteklemede yetersiz kaldığını ortaya koymakta ve politika düzeyinde yapısal reform gerekliliğine işaret etmektedir. Bu çerçevede, önerilecek politikalar genellenmiş ifadelerden öteye geçerek, ülke gruplarına ve sektörler öze olarak detaylandırılmalıdır. Örnekleme yer alan ülkeler arasında ekonomik gelişmişlik düzeyleri, sanayi yapıları ve enerji politikaları bakımından önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle karbon vergisinin etkili bir araç haline gelebilmesi için farklı ülke gruplarına göre farklılaşan uygulamalara ihtiyaç vardır.

Gelişmiş ülkeler (örneğin Norveç, İsveç, Hollanda, Avusturya, Danimarka gibi), yüksek karbon yoğunluklu sektörlerde daha sıkı vergilendirme mekanizmaları benimseyebilir; bu ülkelerde karbon vergisi gelirlerinin düşük karbonlu teknolojilere yönlendirilmesi ve yeşil inovasyonu teşvik edecek Ar-Ge desteklerine entegre edilmesi beklenen çevresel kazanımları artıracaktır. Ayrıca sınırda karbon düzenlemesi ve karbon kaçacağını önleyici politikalar bu ülke grubunda özel önem taşımaktadır. Bu ülkelerde fosil yakıt teşviklerinin kademeli olarak kaldırılması, karbon yoğun sanayiler için dönüşüm fonlarının oluşturulması ve karbon fiyatlandırmasının sektörel olarak farklılaştırılması etkili olacaktır.

Gelişmekte olan ülkeler (örneğin Letonya, Litvanya, Hırvatistan, Slovakya, Macaristan gibi) içinse karbon vergisi uygulamaları daha dikkatli ve kademeli bir biçimde hayata geçirilmelidir. Bu ülkelerde sosyal eşitsizliklerin ve enerji yoksulluğunun yaygın olması, karbon vergisinin toplumsal maliyetlerini artırmaktadır. Dolayısıyla karbon vergilerinden elde edilen gelirlerin düşük gelirli gruplara geri transferlerle yönlendirilmesi ve adil geçiş politikalarının tasarlanması gereklidir. Ayrıca bu ülkelerin karbon nötr teknolojilere erişimlerini kolaylaştıracak şekilde AB düzeyinde teknik yardım ve mali destek mekanizmalarının artırılması önerilmektedir.

Sektörel düzeyde ise, enerji sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim ve dağıtım altyapısının güçlendirilmesi, yatırım teşviklerinin sadeleştirilerek artırılması ve izleme-denetim mekanizmalarının şeffaştırılması gerekmektedir. Ulaşım sektöründe fosil yakıt tüketiminin azaltılması amacıyla elektrikli araçlar için vergi indirimleri, şehir içi ulaşım toplu taşıma sistemlerinin yaygınlaştırılması ve karbon ayak izi yüksek olan taşıma biçimlerine ek maliyet yükleri getirilmesi ön plana çıkmaktadır. Sanayi sektöründe enerji verimliliği yüksek teknolojilere geçiş için düşük faizli krediler, vergi ertelemeleri ve temiz üretim belgelerinin yaygınlaştırılması gibi destekler sunulmalıdır. Tarım sektöründe ise özellikle sera gazı salımı yüksek olan faaliyetler için sürdürülebilir üretim tekniklerinin benimsenmesi, karbon saklama kapasitesi yüksek toprak

yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılması ve çiftçilere teknik eğitim verilmesi çevresel etkinliği artıracaktır.

Son olarak, bütün bu politikaların etkili şekilde uygulanabilmesi, yalnızca ekonomik ve teknolojik araçlarla değil, aynı zamanda toplumsal kabul ve katılımın sağlanmasıyla mümkün olacaktır. Bu nedenle ekolojik dönüşüm süreci, sadece devletin değil, özel sektörün, sivil toplumun ve bireylerin birlikte hareket ettiği bir yapıya kavuşturulmalıdır. Ekolojik farkındalığın artırılması, çevre eğitiminin yaygınlaştırılması ve karbon ayak izi konusunda kamuoyunun bilinçlendirilmesi, önerilen politika setinin etkinliğini artıracaktır.

Kaynakça

- Alton, T., Arndt, C., Davies, R., Hartley, F., Makrelov, K., Thurlow, J., & Ubogu, D. (2014). Introducing carbon taxes in South Africa. *Applied Energy*, 116, 344–354. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.11.034>
- Anderson, R., Qian, H., & Rasche, H. R. (2006). Analysis of panel vector error correction models using maximum likelihood, the bootstrap, and canonical-correlation estimators (*Research Paper No. 47*). Federal Reserve Bank of St. Louis, Research Division.
- Balı, S., & Yaylı, G. (2019). Karbon vergisinin Türkiye’de uygulanabilirliği. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 54(1), 302–319. <https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.19.03.1104>
- Baranzini, A., Goldemberg, J., & Speck, S. (2000). A future for carbon taxes. *Ecological Economics*, 32(3), 395–412. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00122-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00122-6)
- 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. <https://doi.org/10.2307/2297111>
- Callan, T., Lyons, S., Scott, S., & Tol, R. S. (2009). The distributional implications of a carbon tax in Ireland. *Energy Policy*, 37(2), 407–412. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.08.034>
- Carattini, S., Carvalho, M., & Fankhauser, S. (2018). Overcoming public resistance to carbon taxes. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 9(2), <https://doi.org/10.1002/wcc.531>
- Çelikkaya, A. (2024). Türkiye’nin karbon fiyatlandırma politikasının yeniden gözden geçirilmesi. *Maliye Çalışmaları Dergisi* (71), 15-27. <https://doi.org/10.26650/mcd2023-1453538>
- Ekins, P., & Barker, T. (2001). Carbon taxes and carbon emissions trading. *Journal of Economic Surveys*, 15(3), 325–376. <https://doi.org/10.1111/1467-6419.00142>
- Ercoşkun, S., & Kovancılar, B. (2023). Nordik ülkelerinde karbon vergisi. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 30(3), 611–631. <https://doi.org/10.18657/yonveek.628802>
- Fremstad, A., & Paul, M. (2019). The impact of a carbon tax on inequality. *Ecological Economics*, 166, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.04.016>
- Gujarati, D. N. (2015). *Econometrics by example (2nd ed.)*. Palgrave Macmillan.
- Hayrulloğlu, B. (2012). Çevresel sorunlarla mücadelede karbon vergisi. *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1–11.
- Jia, Z., & Lin, B. (2020). Rethinking the choice of carbon tax and carbon trading in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 159, 120187. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120187>
- Meng, S., Siriwardana, M., & McNeill, J. (2012). The environmental and economic impact of the carbon tax in Australia. *Environmental and Resource Economics*, 54, 313–332. <https://doi.org/10.1007/s10640-012-9600-4>
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis (5th ed.)*. Wiley.

- OECD. (2023). Effective carbon rates 2023: *Pricing carbon emissions through taxes and emissions trading*. OECD Publishing.
- Orkunoğlu Şahin, I. F., & Çiftçi, T. E. (2021). İklim değişikliği ile mücadelede Türkiye için karbon vergisi önerisi. *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 16(2), 254–269. <https://doi.org/10.48145/gopsbad.100507>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. P. (1999). Pooled mean group estimation of dynamic heterogeneous panels. *Journal of the American Statistical Association*, 94(446), 621–634. <https://doi.org/10.2307/2670182>
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross-section dependence in panels (*IZA Discussion Paper No. 1240*). Institute of Labor Economics (IZA). <https://docs.iza.org/dp1240.pdf>
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22, 265–312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Pretis, F. (2022). Does a carbon tax reduce CO₂ emissions? Evidence from british columbia. *Environmental and Resource Economics*, 83, 115–144. <https://doi.org/10.1007/s10640-022-00679>
- Ritchie, H., & Rosado, P. (2022). *Which countries have put a price on carbon?* OurWorldinData.org. <https://ourworldindata.org/carbon-pricing>
- Sapmaz, H. (2022). Karbon vergisinin Türkiye'de uygulanabilirliği. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 8(3), 1–10.
- Tatoğlu, F. Y. (2012). *Panel veri ekonometrisi*. Beta Yayıncılık.
- Timilsina, G. R. (2022). Carbon taxes. *Journal of Economic Literature*, 60(4), 1456–1502.
- Yerlikaya, G. K. (2003). Karbon vergisi. *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 1(2), 685–700.
- Yusuf, A. A., & Resosudarmo, B. P. (2014). On the distributional impact of a carbon tax in developing countries: The case of Indonesia. *Environmental Economics and Policy Studies*, 17, 131–156. <https://doi.org/10.1007/s10018-014-0093>
- Wald, A. (1943). Tests of statistical hypotheses concerning several parameters when the number of observations is large. *Transactions of the American Mathematical Society*, 54(3), 426–482. <https://doi.org/10.2307/1990256>
- World Bank. (2023). *State and trends of carbon pricing dashboard*. <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/about>.

Extended Abstract

Background & Purpose: This study investigates whether carbon taxes can effectively reduce carbon dioxide (CO₂) emissions in countries that have adopted such policies. In recent decades, global climate change has become a pressing issue with environmental, social, and economic consequences. In response, various policy instruments have been developed to mitigate greenhouse gas emissions, among which carbon taxation stands out as one of the most prominent and widely debated tools. Carbon taxes aim to internalize the environmental costs of carbon emissions and encourage both producers and consumers to adopt cleaner alternatives. Despite its theoretical advantages, the practical effectiveness of carbon taxes remains contested, largely depending on the design, coverage, and enforcement mechanisms of the tax in question. This research aims to assess the long- and short-term effects of carbon taxation on CO₂ emissions. By focusing on 21 countries that have implemented either direct carbon taxes or are part of the European Union's Emission Trading Scheme (EU-ETS), the study contributes to the ongoing policy discussions about the environmental effectiveness of carbon pricing instruments. Given the urgency of climate change and the centrality of carbon emissions in global warming, the evaluation

of carbon tax performance has critical implications for the design of sustainable economic and environmental policies. The study also offers insights for countries like Turkey, where carbon taxes have not yet been introduced, by identifying both the limitations and potential of such mechanisms under varying economic and policy conditions.

Research Method: To empirically assess the impact of carbon taxes, the study utilizes a panel dataset of 21 countries spanning the period from 1995 to 2021. These countries either directly implement carbon taxation or indirectly price carbon through the EU-ETS. The dependent variable is per capita CO₂ emissions, while the key explanatory variables include environmental tax revenue as a share of GDP, per capita GDP, renewable energy consumption, per capita energy use, and ecological footprint. Before conducting regression analyses, several preliminary tests are employed to ensure data validity. Unit root tests using the Cross-sectionally Augmented IPS (CIPS) method address cross-sectional dependence and confirm the stationarity of the panel variables. The Variance Inflation Factor (VIF) test is applied to detect multicollinearity, and Wald tests are conducted to examine the joint significance of regressors. The primary estimation technique is the Panel Autoregressive Distributed Lag (Panel ARDL) model, specifically utilizing the Pooled Mean Group (PMG) estimator. This approach allows for short-run heterogeneity across countries while assuming a common long-run relationship. The Panel ARDL model is particularly suitable for small samples with variables that are integrated of different orders ($I(0)$ and $I(1)$) and provides a robust framework to distinguish between long-run equilibrium and short-run dynamics. The findings reveal that the long-run coefficient of carbon tax is negative, aligning with theoretical expectations, but statistically insignificant. This suggests that, in their current form, carbon taxes may not be implemented at a scale sufficient to generate meaningful reductions in emissions. Potential reasons include low tax rates, limited sectoral scope, and numerous exemptions that dilute the intended market signals. In contrast, energy consumption is consistently and significantly associated with increased emissions in both the short and long term. Per capita GDP shows a significant negative impact on emissions in the long term, supporting the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis. The ecological footprint also presents a significant and negative long-run relationship with emissions, indicating the relevance of consumption patterns and resource use. Renewable energy consumption shows a statistically significant negative effect in the short term but not in the long term. The error correction term (ECT), which measures the speed of adjustment back to long-term equilibrium after a shock, is negative and statistically significant, suggesting that deviations from the long-run path are corrected over time—approximately at a rate of 5.9% per period.

Conclusion: The empirical results of this study carry several important implications. First, the limited effectiveness of carbon taxes in reducing emissions, as shown by their statistical insignificance, points to the necessity of revisiting their design and implementation. Successful carbon tax regimes require adequate pricing levels, broad sectoral application, minimal exemptions, and credible long-term commitments. In addition, social acceptance plays a key role. As evidenced in countries like Ireland and Sweden, public support can be enhanced when carbon tax revenues are transparently reinvested into green projects and redistributed to offset regressive effects. Furthermore, the consistent role of energy consumption as a driver of CO₂ emissions reinforces the need for structural reforms in national energy systems. Policies promoting energy efficiency, cleaner production technologies, and shifts to renewable sources should complement carbon pricing instruments. The observed significance of ecological footprint emphasizes the impact of lifestyle, consumption, and land use behaviors on environmental outcomes. While carbon taxes are a theoretically sound instrument, they are not a panacea. Their effectiveness is conditional on supportive policy environments, institutional capacity, and public trust. Countries such as Turkey can benefit from the experiences of early adopters by designing socially inclusive, transparent, and performance-based carbon tax systems. The study makes a valuable contribution to literature by employing a dynamic panel econometric model over a long-time span

and offering cross-country comparative evidence. Nonetheless, some limitations must be acknowledged. The carbon tax variable, represented as a share of environmental tax revenue to GDP, may not fully capture the variations in tax design and enforcement across countries. The study also does not explore sectoral differences or distributional effects across income groups. Future research should aim to disaggregate the effects of carbon taxes across sectors (e.g., industry, transportation, agriculture) and assess the potential risks of carbon leakage. It may also examine how revenue recycling mechanisms, institutional quality, and political economy considerations shape the outcomes of carbon tax policies. By incorporating micro-level data and qualitative assessments, subsequent studies could provide a more comprehensive understanding of how carbon taxes operate within broader climate governance frameworks.