

Ekonomik Büyüme ve Çevre Kalitesi Paradoksunda Karbon Vergisinin Rolü: ARDL Yaklaşımı ile Finlandiya Üzerine Bir Uygulama

Caner DİLBER¹

Öz

Küresel ısınma ve iklim krizi, çevre kalitesi ile ilgili önlemlerin artırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Ekonomik büyüme için gerekli enerji tüketimi arttıkça çevreye verdiği zarar da telafi edilemeyecek boyutlara ulaşabilmektedir. İklim değişikliği ve karbondioksit (CO₂) emisyonunun azaltılması ile ilgili uygulanabilecek en etkin politikalardan biri de karbon vergisidir. Bu çalışmada, Finlandiya'da uygulanan karbon vergisinin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi Çevresel Kuznets Eğrisi çerçevesinde incelenmiştir. Analizler için 1991-2022 yılları arasındaki veriler düzenlenerek Otoresif Dağıtılmış Gecikmeli Model (ARDL) yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmanın bulguları, karbon vergisi uygulamasının kısa dönemde sağlam olmasa da, uzun dönemde CO₂ emisyonlarını azaltmada oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Büyüme, Çevre Kalitesi, Karbon Vergisi, CO₂ Emisyonları.

JEL Codes: O44, Q54, Q52, H23.

The Role of Carbon Tax in the Paradox of Environmental Quality and Economic Growth: An Application on Finland With the ARDL Approach

Abstract

Global warming and climate crisis have made it necessary to increase measures regarding environmental quality. As the energy consumption required for economic growth increases, the damage to the environment may reach irreversible levels. In the broader discourse on climate change and the reduction of CO₂ emissions, the policy of carbon taxation has proven to be highly effective. In the present study, the impact of the carbon tax on CO₂ emissions in Finland is analyzed within the framework of the Environmental Kuznets Curve. For the analysis, the Autoregressive Distributed Lagged Model (ARDL) model was used by adjusting the data between 1991-2022. The results of the study show that carbon tax implementation, although not robust in the short run, is highly effective in reducing CO₂ emissions in the long run.

Keywords: Economic Growth, Environmental Quality, Carbon Tax, CO₂ Emissions.

JEL Codes: O44, Q54, Q52, H23

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, İİBF, Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Bölümü, canerdilber@karatekin.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2648-925X

<https://doi.org/10.33203/mfy.1709946>

Extended Summary

It is clear that economic growth constitutes a significant social objective. However, the effect of economic growth on the environment must be given careful consideration. Carbon dioxide emissions, which are widely regarded as a marker of environmental quality, have been observed to increase annually in conjunction with the rise in energy consumption necessitated by economic growth. This phenomenon has the potential to jeopardize environmental quality. In particular, the Kyoto Protocol (1997), seated within the content of the ‘‘United Nations Framework Convention on Climate Change’’ has obliged numerous states to make efforts to reduce CO₂ emissions. The global climate change crisis is characterized by its multifaceted nature, necessitating urgent attention from both environmental and economic standpoints. The increment in CO₂ is a remarkable conducting factor to this problem. In this context, the relationship between the environmental impacts of economic growth and sustainable development strategies has been a subject of discussion in the environmental economics literature for some time.

The carbon tax is a form of taxation accrued to the carbon content of fossil fuels, with the objective of internalizing the costs of emissions. This approach has the potential to influence the behavior of both producers and consumers, encouraging the adoption of more sustainable practices by ensuring that environmental damages are taken into account in economic decision making processes

In this study we used the Environmental Kuznets Curve framework to interpret the effect of the carbon tax on CO₂ emissions. The rationale behind the utilization of the EKC, hypothesis in the present study is to substantiate the impact of the carbon tax. This objective is pursued through the re-testing of the aforementioned hypothesis, a concept that has been widely accepted within the extant literature concerning developed countries. The aim objective of this study is to ascertain the effect of a carbon price policy on environmental quality in a developed country that has been implementing such a policy for many years, and thereby provide a model for developing countries. The originality of the study lies in its examination of the impact of a carbon prices on CO₂ emissions for Finland in the context of the Environmental Kuznets Curve hypothesis, the econometric model employed for the application, and the time period. For the analyses, the Autoregressive Distributed Lagged Model (ARDL) model was used by adjusting the data between of 1991-2022. The results of the study show that the carbon tax implementation, although not robust in the short run, is highly effective in reducing CO₂ emissions in the long run.

The findings from the Finland example demonstrate that carbon taxation can serve as an effective policy instrument in reducing CO₂ emissions, a matter of particular significance for developing countries. In order for carbon taxation practices to be effective in developing countries, it is of great importance that the tax is designed in a gradual and predictable manner. Hereby, sudden cost shocks can be mitigated by affording economic

actors a period of adjustment. Moreover, the redistribution of revenues from carbon taxes through the provision of energy support for low-income households, investments in clean technology and the implementation of green infrastructure projects is likely to engender an increase in social acceptance and reinforce environmental efficiency

1. Giriş

Ekonomik büyümenin önemli bir sosyal hedef teşkil ettiği açıktır. Ekonomik büyümenin gerçekleşmesi için üretim süreçlerinde kullanılan enerji kaynakları bir taraftan çevre kirliliğine sebep olabilirken diğer taraftan ise tükenme riski taşımaktadır. Bu sebeple ekonomik büyümenin çevre üzerindeki etkisi dikkatle değerlendirilmelidir. Çevre kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilen karbondioksit emisyonlarının, ekonomik büyümenin gerektirdiği enerji tüketimindeki artışla birlikte her yıl arttığı gözlemlenmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2025 tarihli *Global Energy Review* raporuna göre, 2024 yılında küresel ekonomik büyüme, enerji talebinde belirgin bir artışı beraberinde getirmiştir. Artan enerji tüketimi, büyük ölçüde fosil yakıtlara dayandığından, enerji kaynaklı küresel karbondioksit (CO₂) emisyonları bir önceki yıla kıyasla %0,8 artarak 37,8 gigaton (Gt) ile tarihi zirveye ulaşmıştır (IEA, 2025). Bu olgu, çevre kalitesini tehlikeye atma potansiyeline sahiptir. Özellikle, “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi” kapsamında yer alan Kyoto Protokolü (1997), çok sayıda devleti CO₂ emisyonlarını azaltmak için çaba göstermeye mecbur etmiştir. Küresel iklim değişikliği krizi, çok yönlü yapısıyla karakterize olup hem çevresel hem de ekonomik açılardan üzerinde durulması gereken önemli bir sorundur. Özellikle CO₂ miktarındaki artış, bu soruna yol açan dikkate değer bir etkidir. Bu bağlamda, ekonomik büyümenin çevresel etkileri ile sürdürülebilir kalkınma stratejileri arasındaki ilişki, bir süredir çevre ekonomisi literatüründe tartışma konusu olurken, Feng vd. (2024) ve Fu vd. (2024) gibi araştırmacılar yapmış oldukları çalışmalarında ekonomik büyümenin çevresel zararlarının azaltılarak optimum bir denge noktasında sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma yollarını analiz etmişlerdir. Bu tartışmalarda merkezi olarak tanımlanan yaklaşımlardan en fazla test edileni Kuznets'in (1955) geliştirdiği hipotezdir. Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi, çevresel bozulmanın ekonomik büyümenin başlangıç aşamalarında arttığını, diğer bir deyişle kişi başına gelirdeki artışların ilk dönemlerde çevresel bozulmalara yol açtığını varsayar. Ancak, belirli bir gelir düzeyine ulaşıldıktan sonra, ekonomik büyümeyle birlikte çevre göstergelerinde bir iyileşme görülür yani ekonomik büyüme ile çevresel kalitesi arasında ters U şeklinde bir ilişkinin varlığı iddia edilir (Grossman ve Krueger, 1995). Bu teorik çerçeve, CO₂ emisyonları ile ekonomik büyüme arasındaki etkileşimi anlamak için değerli bir mercek sağlar. Bu noktada, karbon vergisi, ekonomik verimliliği korurken aynı zamanda çevresel bozulmayı azaltma potansiyeline sahip piyasa tabanlı bir araç olarak öne çıkabilir.

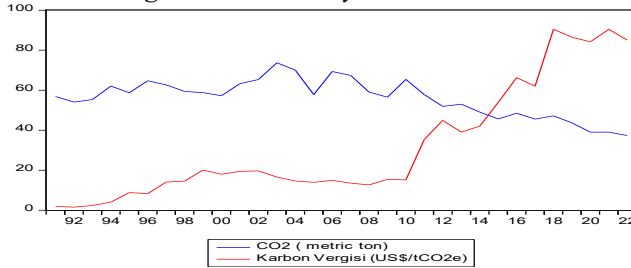
Karbon vergisi, emisyon maliyetlerini içselleştirmeyi amaçlayan, fosil yakıtların karbon içeriğine göre tahakkuk eden bir vergilendirme biçimidir. Bu yaklaşım, hem üreticilerin hem de tüketicilerin davranışlarını etkileme potansiyeline sahiptir ve ekonomik karar alma süreçlerinde çevresel zararların hesaba katılmasını sağlayarak daha sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesini teşvik eder (Metcalf ve Stock, 2023). Ancak, karbon vergisinin etkinliği, uygulama kapsamı, vergi oranı, sektöre dayalı muafiyetler ve gelirlerin kullanımı dâhil olmak üzere çok sayıda faktöre bağlıdır. Ayrıca, optimum vergi oranını belirlemek, bunun üzerinde sıkı bir kontrol uygulamak ve üretimi

engelleyebilecek yüksek vergi oranlarının uygulanmasından kaçınmak zorunludur. Hatalı ve yüksek vergi oranlarının maliyetler üzerinde önemli bir baskı oluşturacağı açıktır. Bu gibi durumlarda, endüstriyel şirketler üretimlerini iç pazar yerine daha düşük vergilere sahip ülkelere yönlendirecektir.

Finlandiya bu konuda dikkate değer bir örnektir. 1990 yılında dünyada karbon vergisi uygulayan ilk ülke olan Finlandiya, bu konuda karbon fiyatlandırma politikalarının öncüsüdür. Başlangıçta sınırlı alanlara uygulanan bu vergi, zamanla kapsamı genişleterek neredeyse tüm fosil yakıtları kapsayacak şekilde genişleme sürecine girmiştir (OECD, 2023). Finlandiya, karbon vergisini kararlılıkla uygulayan ve metrik ton başına fiyatları önemli ölçüde arttıran bir ülke olmasına rağmen, kişi başına gayri safi yurtiçi hâsıla ve ekonomik refah açısından oldukça gelişmiş bir ülke statüsünü korumayı başarmıştır. Bu çalışmanın konusu, Finlandiya'da 1991 yılında uygulamaya konulan karbon vergilendirme politikasının, CO₂ emisyonlarının azaltılmasında etkin bir araç olup olmadığına incelenmesidir. Söz konusu politika sürecinin çevre kalitesi üzerindeki etkileri, çalışmanın temel araştırma sorusunu teşkil etmektedir. Finlandiya'nın 1991-2022 yılları arasında uyguladığı karbon vergisi fiyatlandırması, çevre politikaları ve ekonomik stratejilerle paralel olarak dört ana dönemde değerlendirilebilir.

Şekil 1

Karbon Vergisi ve CO₂ Emisyonları



Kaynak: Yazar hesaplamaları

Grafik 1 incelendiğinde 1991-2000 yılları arasındaki başlangıç dönemi, nispeten mütevazı bir seviyede uygulanan karbon fiyatlarını karakterize etmektedir. 1995'ten sonra vergi, durgunluk durumuna ulaşmadan önce kademeli olarak artmaktadır. 2000-2010 yılları arasındaki dönem, enerji tüketimindeki ve ekonomik büyümedeki artışa rağmen durgun fiyatlar ve vergilerle karşımıza çıkmaktadır. 2010 yılında çevre politikalarının sıkılaştırılmasıyla birlikte karbon fiyatlarında ani bir tırmanış gözlemlenmektedir. Bu artış, özellikle 2015'ten sonra ivme kazanmış ve 2018-2019'da büyük sıçramalar görülmüştür. CO₂ emisyonlarındaki aşağı yönlü eğilim özellikle 2010 ve 2015'te belirgindir. Fiyatlar nihayet 90 ABD dolarına 2020-2022'de ulaşmıştır. Finlandiya'nın karbon vergisi politikaları, iklim değişikliğiyle mücadeleye açık bir bağlılık göstermektedir. Üstelik bu politikaların temiz enerjiye geçişi desteklediği görülmektedir.

Finlandiya'da karbon vergisi uygulamasının özellikle sanayi, ulaştırma ve konut

sektörlerinde önemli değişikliklere yol açtığı tespit edilmiştir. 2010 yılından itibaren, fosil yakıt kullanımının azaltılması amacıyla biyoyakıt yatırımları ve kullanımı Finlandiya'da sürekli bir artış göstermiştir. Diğer bir deyişle, karbon vergilerinin yükseltilmeye başlandığı 2010 yılı ile paralel olarak enerji tüketiminde kapsamlı bir dönüşüm süreci başlamıştır. Finlandiya'da biyoyakıt uygulamalarının güncel durumu ve gelişimini yansıtan *Implementation of Bioenergy in Finland – 2024 Update* raporu, biyoyakıtların ülkenin toplam enerji tüketimindeki önemini vurgulamaktadır. 2010 yılından itibaren karbon vergisi politikaları ve yenilenebilir enerji teşviklerinin etkisiyle biyoyakıt yatırımları ve kullanımı özellikle ulaşım, sanayi ve ısıtma sektörlerinde düzenli bir artış göstermiştir. Teknolojik ilerlemeler, biyokütleden biyoyakıt dönüşüm süreçlerinin verimliliğini artırarak ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemiştir. Ayrıca, sürdürülebilir hammadde temini ve çevresel standartlar doğrultusunda geliştirilen politika ve düzenlemeler, biyoyakıt sektörünün büyümesini optimize etmektedir. Finlandiya, biyoyakıtların enerji portföyündeki payını artırmayı hedefleyerek, iklim hedeflerine ulaşmada özellikle ulaşım sektöründe fosil yakıt bağımlılığını azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmektedir. Bu kapsamda, biyoyakıtların enerji dönüşümündeki rolü ve karbon emisyonlarının azaltılmasındaki katkısı giderek daha kritik bir hal almaktadır (IEA, 2024). Ayrıca, vergi gelirlerinin çevresel olarak sürdürülebilir yatırımlara tahsis edildiği belgelenmiştir. Ancak, Avrupa ortalamasının üzerinde uygulanan verginin Finlandiya'daki ekonomik büyüme üzerinde olumsuz sayılabilecek bir etkiye sahip olduğu da tespit edilmiştir (Khastar vd. 2020). Başlangıçta karbon vergisi, ton başına 1,12 avro oranında uygulanmış ve hesaplama yalnızca yakıtın karbon içeriğine dayandırılmıştır. Ancak 1994 yılında gerçekleştirilen mevzuat değişiklikleri, vergilendirme mekanizmasının enerji içeriğini de kapsayacak biçimde yeniden düzenlenmesini sağlamıştır (UNFCCC, 1994). Karbon vergisinin ölçeği ve yoğunluğu, 1997 ve 2011'de uygulanan yapısal reformlarla önemli ölçüde artırıldı. 2011 reformu, karbon vergisi ve enerji vergilerini birleştiren daha kapsamlı bir çevre vergilendirme sisteminin kurulmasını beraberinde getirdi (Luo, 2013). 2024 yılına gelindiğinde, Finlandiya'daki karbon vergisi ulaştırma sektörü için ton başına 77 avroya ve ısıtma sektörü için ton başına 53 avroya ulaşmıştır (Direction générale du Trésor, 2024). Finlandiya'da yaklaşık %70 oranında sera gazı emisyonları karbon fiyatlandırma politikalarına tabi tutulmaktadır. Bu kapsamın %36,1'i "Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemi" (AB ETS) ve karbon vergileri aracılığıyla, %39,5'i ise yakıt tüketim vergileri aracılığıyla fiyatlandırılmaktadır (OECD, 2024). Araştırmalar, Finlandiya'da karbon fiyatlarının uygulanmasının CO₂ emisyonlarında önemli bir azalmaya yol açtığını göstermiştir. Örneğin, 1995'te emisyonlarda %16, 2000'de %25 ve 2004'te %30 azalma gözlemlenmiştir (Khastar vd. 2020). Finlandiya'nın da içinde bulunduğu yakın tarihli bir çalışmada, karbon vergilerinde ton CO₂ başına 10 dolarlık bir artışın kişi başına CO₂ emisyonunu kısa vadede %1,3, uzun vadede ise %4,6 oranında azalttığı tespit edilmiştir (Kohlscheen vd. 2024). Yine de Finlandiya'nın karbon vergisi politikaları bir dizi eleştiriye maruz kalmıştır. Bu eleştiriler çeşitli akademik çalışmalara konu olmuştur.

Özellikle enerji yoğun sektörlere sağlanan muafiyetler ve istisnalar, verginin etkinliğini sınırlayan faktörler arasındadır (Luo, 2013). Ayrıca Pauku (2023) Finlandiya'nın karbon fiyatlandırma yaklaşımını değerlendirmiş ve bu tür muafiyetlerin çevresel verimliliği azalttığı ancak politika hedefleri ile ekonomik denge arasında bir uzlaşmaya varmak için kaçınılmaz olduğu sonucuna varmıştır. Finlandiya'nın karbon vergisi politikası uygulamasının, uzun vadeli emisyon azaltımları ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi açısından önemli kazanımlar sağladığı açıktır. Bununla birlikte, politikanın etkinliğini artırmak amacıyla, verginin içeriğinin ek sektörleri kapsayacak şekilde genişletilmesi ve vergi gelirlerinin çevresel olarak sürdürülebilir teknolojilere tahsis edilmesi zorunludur.

Karbon fiyatlarının emisyonlar üzerindeki etkisine ilişkin mevcut literatür belirsizdir. Örneğin, Kuzey Avrupa ülkeleri için bir çalışma yapan Lin ve Li (2011), karbon vergilerinin belirli durumlarda kişi başına düşen emisyonlarda önemli azalmalara yol açtığını keşfetmiştir. Rafaty vd. (2025) mevcut karbon fiyatlarının emisyonların büyümesini sınırlama potansiyeline sahip olduğunu; ancak küresel ölçekte belirlenen hedeflere ulaşmada yetersiz olduğunu ileri sürmüştür. Yazarlar ayrıca, 175 USD/tCO₂'yi aşan bir verginin uygulanmasının, emisyonlarda gerekli azalmaları kolaylaştıracağını ve böylece Paris Anlaşması'nda özetlenen hükümlere uyulmasını sağlayacağını ileri sürmektedir.

Bu çalışmada karbon vergisi fiyatlama politikasının CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini yorumlamak için Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi kullanılmıştır. Mevcut çalışmada EKC hipotezinin kullanılmasının ardındaki mantık, karbon vergisinin etkisini daha net bir şekilde kanıtlamaktır. Gelişmiş ülkelerle ilgili mevcut literatürde yaygın olarak kabul görmüş bir kavram olan EKC hipotezinin yeniden test edilmesi yoluyla, karbon vergisi ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişki güvenilir bir şekilde takip edilebilecektir. Bu çalışmanın amacı, uzun yıllardır karbon vergisi politikasını istikrarla uygulayan gelişmiş bir ülkede karbon fiyatlandırma politikasının çevre kalitesi üzerindeki etkisini tespit etmek ve böylece gelişmekte olan ülkeler için bir model sağlamaktır. Çalışmanın özgünlüğü, karbon vergisi ile CO₂ emisyonları arasındaki etkileşimin EKC hipotezi çerçevesinde Finlandiya için ilk defa uygulanması ve kullanılan veri setinde yatmaktadır.

2. Literatür Taraması

Karbon vergisinin çevre üzerindeki etkisine değinmeden önce, CO₂ emisyonları ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin son yıllarda akademik literatürde yoğun biçimde incelendiği ve farklı ülke örneklerinde yapılan çalışmaların bu ilişkinin çoğunlukla pozitif olduğunu ortaya koyduğunu vurgulamak gerekmektedir. Onofrei vd. (2022) çalışmasında ortaya konulduğu üzere, Avrupa Birliği'nde (AB) Gayri Safi Yurt İçi Hasıla'daki (GSYİH) %1'lik bir değişim, CO₂ emisyonlarında %0,072 oranında eş zamanlı bir değişim ile ilişkilidir. Güneydoğu Avrupa ülkelerini kapsayan bir çalışma da ekonomik büyüme ile emisyonlar arasında önemli bir ilişki tespit etmiştir (Mitić vd. 2023). Çin'de

yürütülen bir çalışma, ekonomik büyümenin enerji tüketiminin bir sonucu olan artan CO2 emisyonlarıyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Ancak, uygulanan enerji verimliliği politikaları ve yenilenebilir enerji kullanımının bu etkiyi hafiflettiği gösterilmiştir (Wang vd. 2022). Konuyu EKC hipotezi çerçevesinde değerlendiren Latin Amerika ülkelerinin analizleri, EKC hipotezinin bazı ülkelerde (Meksika, Kosta Rika, El Salvador ve Ekvador) uygulanabilir olduğunu, ekonomik büyümenin başlangıçta çevreye zarar verdiğini ancak gelir seviyesinin belirli bir büyüklüğe ulaşması ile bu etkinin azaldığını göstermektedir (Seri ve Fernandez, 2021). Orta gelir grubunda yer alan 106 ülkeyi kapsayan geniş ölçekli bir panel veri analizi, enerji kullanımının CO2 emisyonlarının başlıca belirleyicisi olduğunu, ekonomik büyümenin ise ikincil düzeyde bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. (Al Mamun vd. 2025). Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) yürütülen araştırmalar, yapay zekadaki ilerlemelerin emisyonları azaltma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Ancak bu etki enerji tüketimi ve reel üretim artışları ile dengelenmektedir (Chowdhury vd. 2024). İran, Cezayir, Çek Cumhuriyeti ve İsrail de dahil olmak üzere bir dizi ülke üzerinde yürütülen araştırmalar da ekonomik büyüme ile CO2 emisyonlarındaki artış arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermiştir (Yousefi-Sahzabi vd. 2011; Magazzino, 2015; Bouznit ve Pablo-Romero, 2016; Lešáková ve Dobeš, 2018). BRICS ülkeleri üzerinde yapılan bir araştırma, Brezilya ve Çin'de CO2 emisyonlarında uzun vadeli bir artışın gözlemlendiğini bu artışın sebebinin de ekonomik büyüme kaynaklı ortaya çıktığını belirtmektedir (Li vd. 2022).

Ito (2017), 42 gelişmekte olan ülkeyi kapsayan bir çalışma yürütmüş ve bulguları, ekonomik büyüme için kullanılan enerji tüketiminin özellikle yenilenemeyen enerjinin CO2 emisyonlarını etkilerken uzun dönemli ekonomik büyümeye de olumsuz etkileri olduğunu göstermektedir. Toplam 52 Afrika ülkesi için yapılan başka bir çalışma, EKC hipotezini desteklerken, çalışma CO2 emisyonlarının reel üretim artışı, nüfus büyüklüğü ve enerji tüketimi ile orantılı olarak arttığı sonucuna varmıştır (Teklie ve Yağmur, 2024). OECD ülkeleri için yapılan benzer bir çalışmada, yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji tüketiminin CO2 emisyonları ile etkileşimi araştırılmış ve yenilenemeyen enerjinin istenmeyen çevresel bozulmaların en büyük nedeni olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca çalışmada EKC'nin geçerliliği kanıtlanmıştır (Shafiei ve Salim, 2014). Görüldüğü üzere, çeşitli ulusal ve bölgesel çalışmalardan elde edilen hakim bakış açısı, reel üretim artışlarının ilk dönemlerinde CO2 emisyonlarının artışında pozitif ve yukarı yönlü bir değişim olduğunu ileri sürmektedir. CO2 emisyonlarını azaltmak için uygulanabilecek en önemli politikalar, yenilenebilir enerji tüketiminin genişletilmesi ve bu çalışmanın konusu olan karbon vergisidir. Bugüne kadar yapılan araştırmalar, bu iki politika aracının CO2 emisyonlarının aşağı yönlü bir trend izlemesinde etkin olduklarını göstermektedir (Green, 2021; Xuan, 2025; Bennaceur vd. 2025). Bununla birlikte, az sayıda çalışma çelişkili sonuçlar üretmiştir (Pretis, 2022).

Yenilenebilir enerji politikalarının CO2 emisyonları üzerindeki etkisini inceleyen

çalışmalarda değerlendirildiğinde, Szetela vd. (2022), yenilenebilir enerji kullanımının CO2 emisyonları üzerindeki etkisine ilişkin kapsamlı bir analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada, yenilenebilir enerji tüketiminde %1'lik bir artışın kişi başına düşen CO2 emisyonlarında %1,25'lik bir düşüğe neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca daha yüksek seviyelerde yenilenebilir enerji tüketiminin azalan emisyonlarla ilişkili olduğu ileri sürülmüştür. Doğan ve Şeker (2016), AB ülkeleri için oldukça benzer sonuçlara ulaşmış ve çalışmalarında yenilenebilir enerjinin CO2 emisyonlarını azalttığına ve EKC hipotezinin geçerli olduğuna dair kanıtlar bulmuştur. Yenilenebilir enerji yatırımlarının türlerine göre CO2 emisyonları üzerindeki etkisini incelemek için yapılan bir çalışma, rüzgar enerjisine dayalı yatırımların artırılmasının karbondioksit emisyonlarını azaltabileceği sonucuna varmıştır. Ancak, güneş enerjisi ve biyoenerjiye dayalı yatırımların artırılmasının CO2 emisyonlarını yükseltebileceği, hidroelektrik enerjisine dayalı yatırımların artırılmasının ise etkin olmadığı sonucuna varmıştır. (Yang vd. 2022). G7 ülkeleri için yapılan bir çalışmada CO2 emisyonlarının azaltılmasında yenilenebilir enerji kullanımından ziyade enerji kullanımında verimliliğin artırılması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmanın bulguları enerji verimliliğinin artırılmasının CO2 emisyonlarında düşüğe yol açtığını fakat beklenenin aksine yenilenebilir enerji kaynaklarının benimsenmesinin ise emisyonlarda artışa neden olduğunu göstermektedir (Altın, 2024). Jie ve Rabnawaz (2024) çalışmalarında özellikle gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji tüketiminin belirli bir kapasitenin üzerine çıkmasının CO2 emisyonlarında artışa neden olduğuna dair kanıtlar sunmuşlardır. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerin enerji tüketiminin çevresel etkilerini azaltacak teknolojilere sahip olmak için Ar-Ge yatırımlarını artırmaları gerektiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmanın odak noktası olan karbon fiyatlamasının CO2 emisyonları ile olan etkileşimini inceleyen çalışmalarda genel görüş olumlu yönde olsa da farklı değerlendirmelerde bulunmaktadır. Konu ile ilgili ilk çalışma sayılabilecek bir araştırma Finlandiya, İsveç, Danimarka, Norveç ve Hollanda ülkelerini kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular verginin sadece Finlandiya'da emisyonları azalttığını ancak çeşitli nedenlerle başka yerlerde etkisiz olduğunu rapor etmektedir (Lin ve Li, 2011).

Davis ve Kilian (2011), benzine uygulanan vergilerde galon başına 10 sentlik bir artışın ABD'de araçlardan kaynaklanan karbon emisyonlarını %1,5 oranında düşürdüğü sonucuna ulaşmıştır. Anderson (2019), İsveç'te karbon vergilerinin emisyonlar üzerindeki etkisine dikkat çekerek, benzin üzerindeki karbon vergisinin esnekliğinin benzin fiyatlarının esnekliğinden üç kat daha büyük olduğunu ve karbon vergilerinin CO2 emisyonlarını azaltmadaki önemini vurgulamıştır. Rafaty vd. (2025), karbon vergisi uygulamasının CO₂ emisyonlarındaki artış oranını sınırladığını öne sürmekte; ayrıca, karbon vergilerinin toplam CO₂ emisyonlarının yıllık büyüme oranında %1'lik bir azalmaya yol açtığını ve en belirgin düşüşlerin elektrik ile ısıtma sektörlerinde gerçekleştiğini tespit etmişlerdir.

Metcalf ve Stoct (2023), Avrupa'da belirlenmiş coğrafi alanlarda ve belirli tüketim seviyelerinde uygulanan karbon vergilerinin, ekonomik büyüme ve istihdam gibi göstergeler üzerinde bozucu bir etki oluşturmadan, CO2 emisyonlarını azaltmada etkili olduğunu ileri sürmüştür. Green (2021), karbon fiyatlama ile CO2 emisyonları arasındaki etkileşimi inceleyen çalışmaların çoğunun Avrupa'ya yoğunlaştığını ve sektörel farklılıklarla karbon vergilerinin CO2 emisyonları üzerinde sınırlı azaltıcı etkilere sahip olduğunu belirtmiştir. 142 ülkeyi kapsayan karşılaştırmalı bir çalışma, karbon vergisi uygulayan ülkelerdeki CO2 emisyonlarının ortalama büyüme oranının, karbon vergisi uygulamayan ülkelere göre %2 daha düşük olduğunu bulmuştur. Ayrıca, karbon fiyatında ton başına ek bir avroluk artış, diğer her şey sabit olduğunda, sonraki yıllık emisyon büyüme oranında yaklaşık 0,3 puanlık bir azalmayla sonuçlandığını rapor etmektedir (Best vd. 2020).

121 ülkeyi kapsayan bir araştırmada, ton başına 10 dolara denk gelen karbon vergilerindeki artışın, kişi başına CO2 emisyonlarında kısa vadede %1,3, uzun vadede ise %4,6 azalmaya yol açtığı bulunmuştur (Kohlscheen vd. 2024). İsveç'in imalat sektörü üzerine yapılan bir araştırma, karbon vergisinin olmamasının 2015 yılında CO2 emisyonlarında %30'luk bir artışa yol açacağını tahmin etmiştir. Başka bir deyişle, uygulanan karbon vergisi, imalat firmaları için 2015 yılında CO2 emisyonlarında %30'luk bir azalmaya yol açmıştır (Martinsson vd. 2024).

Bu çalışmada karbon vergilerinin CO2 emisyonları üzerindeki etkisi Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi çerçevesinde Finlandiya özelinde değerlendirilmiştir. Çalışma geçmiş literatürden farklı olarak ekonomik büyüme ile emisyon ilişkisini ve karbon vergisinin uzun ve kısa dönemli etkilerini eş zamanlı olarak analiz etmesi bakımından literatüre katkı sunmakta; politika yapıcılar açısından ülkeye özgü, ampirik temelli çıkarımlar sağlamaktadır.

3. Yöntem, Değişkenler ve Veriler

3.1. Yöntem

CO2 emisyonları ile reel üretim artışı arasındaki uzun vadeli ilişkiyi ikinci dereceden bir çerçeve içinde analiz etmek için kullanılan belirgin bir hipotez Çevresel Kuznets Eğrisi'dir (EKC). Bu çalışmada, karbon vergisinin etkisini ölçmek için ton başına ABD doları cinsinden ifade edilen karbon vergisi fiyatı modele entegre edilmiş ve EKC'nin geçerliliği de değerlendirilmiştir. Analizler için ARDL modeli ile eşbütünleşme kısa/uzun dönem tahminleri yapılmıştır. Aşağıdaki denklem, EKC hipotezinin geçerliliğini titizlikle değerlendirmek ve karbon vergisinin bu analitik bağlamdaki etkisini araştırmak için kullanılmıştır.

$$CO_{2t} = \beta_0 + \beta_1 GDP_t + \beta_2 GDP_t^2 + \beta_3 CTAX_t + \mu_t \quad (1)$$

Denklem (1)'de CO2, sera gazı emisyonlarını temsilen, karbondioksit emisyonlarını (metrik ton cinsinden ölçülen), GDP ekonomik büyümeyi (kişi başına

GSYİH (cari ABD\$)), GDP2 GSYİH'nin karesini, CTAX karbon vergisi fiyatını (ABD\$/tCO₂e) ve μ_t hata terimini göstermektedir. Veriler World Development Indicators WDI çevrimiçi veri tabanından alınmıştır. Karbon vergisinin hesaplanmasında devletin ton başına yıllık ilan ettiği bir vergi tutarı bulunmaktadır. Finlandiya'da CO₂ emisyonlarının hesaplanması, uluslararası standartlara uyumlu bir metodoloji çerçevesinde yürütülmekte olup emisyon faktörü belirleme süreci; yakıtın veya sürecin kimyasal analizi, yerel istatistikler, IPCC kılavuzları ve sürekli ölçüm sistemleri verilerinin bir kombinasyonudur. Finlandiya çoğu sektörde yerel ölçüm + IPCC yöntemi karışımı kullanır ve ulusal emisyon envanterinde bu faktörler her yıl güncellenir. Vergiler atmosfere salınan CO₂ emisyon miktarı tespitinden sonra ilan edilen o yılıki metrik ton başına fiyatlar üzerinden hesaplanmaktadır.

Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi bağlamında, β_1 katsayısının pozitif bir işaret göstermesi beklenirken, β_2 katsayısının negatif bir işaret göstermesi beklenir. Pozitif bir β_1 katsayısı, ekonomik büyümedeki artışın daha yüksek karbon emisyonlarıyla ilişkili olduğu anlamına gelir. Tersine, istatistiksel olarak anlamlı ve negatif bir β_2 katsayısı, eğride daha fazla ekonomik büyümenin karbon emisyonlarında bir azalma ile ilişkilendirildiği bir dönüm noktasının varlığını göstermektedir (Bölük ve Mert, 2015). Diğer açıklayıcı değişken olan CTAX'ın beklenen işareti ise negatiftir; çünkü karbon vergilerinin karbon emisyonlarını azaltma yönündeki istenen etkiyi sağlayacağı öngörülmektedir.

Eşbütünleşme teknikleri, zaman serileri arasındaki uzun vadeli ilişkileri açıklamak için kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlardan biri, ARDL tekniğidir ve Paseran vd. (2001), tarafından geliştirilmiştir. Bu teknik, serilerin seviyede I (0) ve birinci farkta I (1) durağan olması durumunda dahi tutarlı sonuçlar verebilme kapasitesi nedeniyle çok sayıda çalışmada sıklıkla kullanılmıştır. Bu çalışmada araştırılan model (Denklem 2), ARDL eşbütünleşme testi için aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir.

$$\Delta CO_{2t} = \alpha + \beta_1 CO_{2t-1} + \beta_2 GDP_{t-1} + \beta_3 GDP_{t-1}^2 + \beta_4 CTAX_{t-1} + \sum_{i=1}^m \beta_{1i} \Delta CO_{2t-i} + \sum_{i=0}^m \beta_{2i} \Delta GDP_{t-i} + \sum_{i=0}^m \beta_{3i} \Delta GDP_{t-i}^2 + \sum_{i=0}^m \beta_{4i} \Delta CTAX_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkinin varlığı sınır testi ile belirlenir. Teste göre, eşbütünleşmenin olmadığı sıfır hipotezi $H_0: \beta_1=\beta_2=\beta_3=\beta_4=0$ iken, alternatif hipotez $H_1: \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq \beta_4 \neq 0$ 'dır. Hesaplanan F istatistiği üst sınır kritik değerinden yüksekse, sıfır hipotezi reddedilir ve değişkenlerin eşbütünleşik olduğu anlaşılır (Paseran vd. 2001). Denklem 2'deki m optimal gecikmeyi gösterir. Öncelikle VAR modeli kurularak optimal gecikme belirlenmiştir. Tüm bilgi kriterlerine göre 1 gecikmenin uygun olduğu görülmüştür. Bu aşamadan sonra gecikme uzunlukları serbest bırakılarak model yeniden tahmin edilir. ARDL sürecinde bir sonraki adım olan uzun dönemli ARDL

denklemini aşağıdaki biçimde yazılmıştır;

$$CO_{2t} = \beta_0 + \sum_{i=0}^p \beta_{1i} CO_{2t-i} + \sum_{i=1}^s \beta_{2i} GDP_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta_{3i} GDP_{t-i}^2 + \sum_{i=0}^r \beta_{4i} CTAX_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Denklem (3)'teki gecikme değerleri p, s, q ve r'nin seçimi, AIC, SIC ve H-Q bilgi kriterleri ve ayarlanmış R² gibi model seçim kriterleri kullanılarak elde edilir. Optimum model, minimum bilgi kriterine veya maksimum R-kare değerine sahip model olarak belirlenir. Son olarak, hata düzeltme modeli olarak da adlandırılan kısa vadeli ARDL modelinin tahmini, aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir.

$$CO_{2t} = \delta_0 + \sum_{i=0}^p \delta_{1i} \Delta CO_{2t-i} + \sum_{i=1}^s \delta_{2i} \Delta GDP_{t-i} + \sum_{i=0}^q \delta_{3i} \Delta GDP_{t-i}^2 + \sum_{i=0}^r \delta_{4i} \Delta CTAX_{t-i} + \theta ECM_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Denklem (4)'teki θ , hata düzeltme teriminin (ECM) katsayısıdır ve dengeden uzaklaşma durumunda uzun vadeli dengeye kaç periyot sonra ulaşıldığını gösterir. Katsayının negatif ve anlamlı olması beklenir.

3.2. Değişkenler ve Veriler

Modelde kullanılan değişkenler ve tanımlayıcı istatistikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1

Tanımlayıcı İstatistikler.

Değişkenler	Ortalama	Medyan	Maximum	Minimum	Std. Sap.
CO ₂ (metric ton)	56.109	57.514	73.741	37.324	9.426
GDP p. capita (current US\$)	38089.480	41887.180	53769.470	17588.680	11806.010
CTAX (US\$/tCO ₂ e)	32.183	17.265	90.500	1.560	29.258

Kaynak: World Development Indicators ve yazar hesaplamaları

Yıllık frekansta 1991-2022 yılları arasındaki zaman dilimini kapsayacak şekilde elde edilen zaman serisi verileri, Finlandiya için Dünya Kalkınma Göstergeleri (World Development Indicators (WDI)) çevrimiçi veri tabanından alınmıştır. Karbon emisyonları (CO₂), kişi başına düşen gayri safi yurt içi hasıla (GDP) ve karbon vergisi (CTAX) düzeyleri yakından incelendiğinde iki dikkat çekici özellik ortaya çıkmaktadır. Birincisi, belirgin bir periyodik değişkenlik bulunmaktadır. İkincisi, önemli dağılımsal farklılıklar bulunmaktadır. CO₂ emisyonlarının ortalama değeri 56,11 metrik ton, medyan değeri ise 57,51 metrik tondur. Maksimum ve minimum değerler sırasıyla 73,74 ve 37,32 metrik ton ve arasındaki önemli farklılık, emisyon düzeylerinin belirli dönemlerde önemli dalgalanmalara maruz kalabileceğini göstermektedir. Maksimum değer olan 73,74 metrik ton CO₂ emisyonu 2003 yılına ait iken, minimum değer olan 37,32 metrik ton 2022 yılında gerçekleşmiştir. Finlandiya, 2000'li yılların başlarında enerji ihtiyacının yaklaşık

%50'sini fosil yakıt kaynaklarından karşılamaktayken, 2010 yılından itibaren yenilenebilir enerji kullanımının artması ve karbon vergilerinin sıkılaştırılmasıyla birlikte biyoyakıt tüketimindeki yükseliş, toplam karbon emisyonlarının önemli ölçüde azalmasına katkı sağlamıştır. Kişi başına düşen GSYİH ortalama 38.089 ABD doları olarak kaydedilirken, medyan değer 41.887 ABD dolarıdır. 11.806 ABD doları olarak ölçülen standart sapma, ekonomik büyüme düzeyinde önemli farklılıklara işaret etmektedir. Buna karşılık, karbon vergisinin (CTAX) ortalama değeri 32,18 ABD doları, medyan değeri ise 17,27 ABD dolarıdır. Ancak, 90,50\$'lık maksimum değer ile 1,56\$'lık minimum değer arasındaki önemli fark, karbon fiyatlandırmasında uygulanan politikaların ilerleyen yıllar içinde oldukça büyük değişime uğradığını göstermektedir. Karbon vergilendirme sisteminin uygulamaya konulduğu 1991 yılında ton başına 1,56 ABD doları seviyesinde olan vergi oranı, 2018 yılında 90,50 ABD doları düzeyine ulaşmıştır. 2018 sonrasında karbon vergisi oranlarında sınırlı ve aşağı yönlü dalgalanmalar gözlemlenmiş olsa da söz konusu oranlar Avrupa ortalamasının üzerinde seyretmeye devam etmiştir.

4. Bulgular, Analiz ve Değerlendirmeler

4.1. Birim Kök Testleri

Bu çalışmada, ilk olarak serinin durağanlığını değerlendirmek amacıyla KPSS durağanlık testi, PP, ADF, Fourier ADF ve Fourier KPSS birim kök testleri kullanılmıştır.

Tablo 2

KPSS Birim Kök Testi Sonuçları.

Değişkenler	KPSS (H ₀ : Değişkenler durağandır) ^a				
	Test İstatistikleri			Asimptotik Kritik Değerler	
	Sabit	Trend+ Sab.	P.	Sabit	Trend+ Sab.
CO ₂ (Seviye)	0,48*	0,13*			
CO ₂ (1. Fark)	0,31***	0,13**			
GDP (Seviye)	0,65*	0,11***			
GDP (1. Fark)	0,08***	0,08***	1% level	0,73	0,21
GDP ² (Seviye)	0,65*	0,10***	5% level	0,46	0,14
GDP ² (1. Fark)	0,07***	0,07***	10% level	0,34	0,11
CTAX (Seviye)	0,63*	0,16*			
CTAX (1. Fark)	0,22***	0,08***			

Not: a Bandwidth: (Newey-West automatic) using Bartlett kernel

Kaynak: Yazar hesaplamaları

Serilerin durağanlık düzeylerini değerlendirmek amacıyla KPSS (Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin) birim kök testi sonuçları incelenmiştir. Test bulguları, karbondioksit emisyonları, kişi başına düşen GSYİH, kişi başına düşen GSYİH karesi ve karbon vergisi değişkenlerinin düzeyde durağan olduğunu göstermektedir. Özellikle, CO₂ emisyonları ve karbon vergisinin hem sabitli hem de trend+sabitli modellerde %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerinde durağan olduğu bulunmuştur. Ancak, kişi başına düşen GSYİH ve GSYİH karesi sabit terim altında düzeyde durağan iken, trend dahil edildiğinde durağanlık daha sağlam bir şekilde ortaya konmaktadır (Kwiatkowski vd.

1992).

Tablo 3

ADF ve PP Birim Kök Test Sonuçları.

		ADF ^a				PP ^a			
Seviye		CO ₂	GDP	GDP ²	CTAX	CO ₂	GDP	GDP ²	CTAX
Sabit	t-istatistik	0.460	-0.852	-0.949	0.123	-0.456	-0.888	-0.944	0.274
	Prob.	0.982	0.789	0.758	0.962	0.886	0.778	0.760	0.973
Trend+Sab.	t-istatistik	-2.196	-1.954	-2.204	-1.551	-1.875	-2.027	-2.273	-1.519
	Prob.	0.474	0.602	0.470	0.788	0.643	0.563	0.435	0.800
Birinci Fark		CO ₂	GDP	GDP ²	CTAX	CO ₂	GDP	GDP ²	CTAX
Sabit	t-istatistik	-5.964	-4.970	-5.462	-6.210	-6.708	-4.970	-5.462	-6.183
	Prob.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Trend+Sab.	t-istatistik	-7.030	-4.866	-5.383	-6.340	-10.447	-4.855	-5.340	-6.372
	Prob.	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000

Not: a Schwarz information criterion.

Kaynak: Yazar hesaplamaları

Tablo 3'te sunulan her iki testin de 'sıfır' hipotezi, serinin bir birim kök içerdiği, yani durağan olmadığıdır. Seviye testleri, CO₂, GDPp, GDPp² ve CTAX değişkenlerinin sabit terim veya trend+ sabit terim modellerinde durağan olmadığını göstermektedir. Elde edilen t istatistikleri her iki testte de kritik değerlerin üzerinde kalmış ve olasılık değerleri %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerinin oldukça üzerindedir. Bu bulgular, serinin bu düzeyde bir birim kök içerdiğini ve bu nedenle durağan olmadığını açıkça göstermektedir. Ancak serinin birinci farkları alındığında, tüm değişkenler ADF ve PP testleri için istatistiksel olarak anlamlı hale gelmiştir (p <0,01). Bu sonuçlar, serinin birinci farkı alındığında, I (1) düzeyinde entegre edildiğinde durağan hale geldiğini göstermektedir. Bu nedenle, seriler düzeyde durağan değilken, birinci farkları alındığında durağandır (Enders, 2015).

Tablo 4

Fourier ADF Birim Kök Test Sonuçları.

Fourier ADF												
t-istatistik		Kritik Değer					t-istatistik		Kritik Değer			
	Seviye	k	p	%1	%5	%10	Fark	k	p	%1	%5	%10
CO ₂	-4,801**	1	0	-4,95	-4,35	-4,05	-7,857***	4	1	-4,29	-3,65	-3,29
GDP	-0,199	2	2	-4,69	-4,05	-3,71	-7,551***	2	1	-4,69	-4,05	-3,71
GDP ²	-2,830	2	0	-4,69	-4,05	-3,71	-7,176***	2	1	-4,69	-4,05	-3,71
CTAX	-3,32	1	0	-4,95	-4,35	-4,05	-7,025***	2	0	-4,69	-4,05	-3,71

Not: *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 düzeylerinde anlamlılığı ifade etmektedir. Tablodaki k ve p değerleri sırası ile referans ve optimum gecikme uzunluğunu ifade etmektedir. Gecikme uzunluğu Akaike Bilgi Kriteri kullanılarak belirlenmiştir. Kritik değerler Enders ve Lee (2012)'nin makalesinden elde edilmiştir.

Kaynak: Yazar hesaplamaları

Tablo incelendiğinde, CO₂ değişkeninin seviye değerinde %5 anlamlılık düzeyinde durağan olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, serilerin birinci farkları alındığında, tüm

değişkenlerin %1 anlamlılık düzeyinde durağanlık gösterdiği tespit edilmiştir (Enders ve Lee 2012).

Tablo 5

Fourier KPSS Birim Kök Test Sonuçları.

Fourier KPSS												
t-istatistik			Kritik Değer			t-istatistik			Kritik Değer			
Seviye	k	p	%1	%5	%10	Fark	k	p	%1	%5	%10	
CO ₂	0,043	1	3	0.071	0.054	0.047	0.086***	4	2	0.015	0.013	0.012
GDP	0,057**	1	3	0.071	0.054	0.047	0.068**	1	2	0.071	0.054	0.047
GDP ²	0,190**	2	3	0.039	0.031	0.028	0.101***	2	2	0.039	0.031	0.028
CTAX	0,056**	1	3	0.071	0.054	0.047	0.065***	2	2	0.039	0.031	0.028

Not: *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 düzeylerinde anlamlılığı ifade etmektedir. Tablodaki k ve p değerleri sırası ile referans ve optimum gecikme uzunluğunu ifade etmektedir. Gecikme uzunluğu Bartlett kernel kullanılarak belirlenmiştir. Kritik değerler Becker vd. (2006)'nin makalesinden elde edilmiştir.

Kaynak: Yazar hesaplamaları

Tablo incelendiğinde, GDP, GDP2 ve CTAX değişkenlerinin seviye değerinde %5 anlamlılık düzeyinde durağan olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, serilerin birinci farkları alındığında, tüm değişkenlerin durağanlık gösterdiği tespit edilmiştir (Becker vd. 2006).

Birim kök testleri değişkenlerin durağanlık özellikleriyle ilgili farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu gibi durumlarda test istatistiklerinin çoğunluğunun hangi yöne işaret ettiği dikkate alınmalıdır. Çalışmamızda değişkenlerin birinci farkta durağan olduğunu varsaymak daha kararlı tahminler yapılmasına imkân sağlayacaktır.

4.2. ARDL Sınır Testi

Değişkenler arasındaki uzun dönemli eşbütünlüşmeyi tespit etmek amacıyla yapılan ARDL sınır testi sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6

ARDL Sınır Testi Sonuçları.

			Gözlem:n=30		
p	k	F-istatistik	Sig.	I(0)	I(1)
1	3	5.593	10%	2.676	3.586
			5%	3.272	4.306
			1%	4.614	5.966
Tanılama Testleri					
		X ² _{Norm}	1.515[0.469]		
		X ² _{LM}	1.372[0.275]		
		X ² _{BPG}	1.445[0.235]		

Kaynak: Yazar hesaplamaları

ARDL sınır testi sonuçları, model içerisinde uzun dönemli bir eşbütünlüşme ilişkisinin varlığını göstermektedir. Elde edilen F-istatistik değeri (5.593), %10 (3.586) ve %5 (4.306) anlamlılık düzeylerinde üst sınır değerlerinin üzerinde olmakla birlikte, %1 (5.966) sınırının altında kalmaktadır. Bu durum, modeldeki bağımlı ve bağımsız

değişkenler arasında %10 ve %5 anlamlılık düzeylerinde uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığını göstermektedir. Ayrıca, modelin tahmin performansını değerlendirmek için uygulanan tanı testleri incelendiğinde, Jarque-Bera normallik testi ($X^2_{Norm}=1.515$; $p=0.469$) hata terimlerinin normal dağıldığını ortaya koymaktadır. Breusch-Godfrey otokorelasyon testi sonuçları ($X^2_{LM}=1.372$; $p=0.275$) modelde otokorelasyon sorununun olmadığını göstermektedir. Breusch-Pagan-Godfrey heteroskedastisite testi sonuçları ($X^2_{BPG}=1.445$; $p=0.235$), modelin sabit varyans gösterdiğini göstermektedir. Sonuç olarak, ARDL sınır testi ve tanı testlerinin bulguları, tahmin edilen model değerlerinin geçerliliğini ve güvenilirliğini desteklemektedir. Tabloda, "p" uygun gecikme uzunluğunu ve "k" modeldeki değişken sayısını göstermektedir. Değişkenler arasındaki uzun vadeli ilişkinin sınır testi kullanılarak belirlenmesinin ardından gecikme uzunlukları serbest bırakılarak model yeniden tahmin edilmiştir. Denklem 3 için tahmin sonuçları Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7*ARDL (1,0,1,0) Model Sonuçları.*

Bağımlı Değişken: CO ₂	Katsayı	Std. Hata	t-istatistik	Prob.*
CO _{2t-1}	0.093	0.187	0.499	0.621
GDP	0.002	0.000	3.151	0.004
GDP ²	-2.35E	9.30E	-2.526	0.018
GDP ² _{t-1}	-8.46E	2.84E	-2.983	0.006
CTAX	-0.239	0.062	-3.834	0.000
Sabit	20.418	11.609	1.758	0.090

R²:0,82 F-statistic:30.241 (Prop:0,000) DW:2.07**Tanımlama Testleri**

X ² _{Norm}	1.322[0,516]
X ² _{LM}	1.585[0,226]
X ² _{BPG}	1.559[0,207]
Ramsey RESET	0.249[0,621]

Kaynak: Yazar hesaplamaları

Tahmini ARDL (1,0,1,0) modeli, bağımlı değişken olan CO₂ emisyonları ile ekonomik büyüme ve karbon vergisi arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Model yüksek derecede açıklayıcı güce sahiptir (R² = 0,82) ve F istatistiği (30,241; $p<0,01$) istatistiksel anlamlılığı göstermektedir. GDP'nin pozitif ve anlamlı katsayısı ($p=0,004$), ekonomik büyümenin kısa vadede emisyonları artırdığını gösterirken, GDP²'nin negatif ve anlamlı katsayısı ($p=0,018$), büyümenin belirli bir gelir düzeyinden sonra çevresel iyileşmeye katkıda bulunduğunu göstermektedir. Karbon vergisi değişkeni negatif ve oldukça anlamlıdır ($p=0,000$). Bu da karbon vergisinin CO₂ emisyonlarını azaltmada etkili bir politika aracı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, tanımlama testleri, hata terimlerinin normal dağıldığını, otokorelasyon olmadığını ve sabit varyans varsayımının gerçekleştiğini doğrularken, Ramsey RESET testi sonuçları modelde spesifikasyon hatası olmadığını göstermektedir. Bulgular, kurulan modelin hem istatistiksel olarak güvenilir hem de politika yapımcılar için değerli bir rehberlik kaynağı olduğunu göstermektedir. Modele ilişkin uzun ve kısa dönem sonuçları aşağıda

sunulmuştur.

Tablo 8

Uzun Dönem Tahmin Sonuçları

Bağımlı Değişken: CO ₂	Katsayı	Std. Hata	t-istatistik	Prob.*
GDP**	0.002	0.000	3.698	0.001
GDP2**	-3.53E	9.59E	-3.676	0.001
CTAX**	-0.263	0.036	-7.169	0.000
Sabit*	22.523	11.545	1.950	0.062

Not:*10% ve **1% anlamlılık düzeyini gösterir.

Kaynak: Yazar hesaplamaları

Uzun dönem tahmin sonuçları Tablo 8'de gösterilmiştir. Tüm katsayıların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve beklenen işaretleri gösterdiği açıktır. GDP değişkeninin katsayısının pozitif, GDP2 katsayısının ise negatif olduğu saptanmıştır. Bu, CO2 emisyonlarındaki başlangıçtaki artışın artan gelirle ilişkili olduğunu, ardından belirli bir gelir düzeyine ulaşıldıktan sonra bir düşüş olduğunu gösterir. Bu gözlem, Finlandiya bağlamında EKC hipotezinin geçerliliğine güvenilirlik kazandırır.

Ek olarak, tahmini model sonuçları karbon vergisinin (CTAX) CO2 emisyonları üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak oldukça anlamlı ve negatif olduğunu göstermektedir ($\beta = -0.263654$; $p < 0.0001$). Bu bulgu, karbon vergisinin emisyonları azaltmada etkili bir çevre politikası aracı olduğu hipotezini önemli ölçüde desteklemektedir. Vergi oranındaki artış ile CO2 emisyonlarındaki düşüş arasındaki ilişki, karbon yoğun faaliyetleri caydırmada piyasa temelli çevre politikalarının etkinliğini vurgulamaya ve fiyatlandırma mekanizmalarının içselleştirme işlevleri olduğu kavramını doğrulamaya hizmet etmektedir; bu kavram mevcut literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır. Karbon vergisinin uygulanması hem üreticilerin hem de tüketicilerin davranışlarını etkileyerek daha sürdürülebilir tercihlere doğru bir kaymaya neden olabilir. Bu da ancak, çevreye zararlı ekonomik faaliyetlerin maliyetini arttırarak ve böylece uzun vadeli karbon azaltma hedeflerine ulaşılmasına katkıda bulunarak elde edilir. Bu bağlamda karbon vergisinin çevresel etkileri azaltmada etkili ve uygulanabilir bir politika aracı olduğuna ilişkin teorik beklentiler ampirik bulgularla da doğrulanmıştır.

Tablo 9

Kısa Dönem ve Hata Düzeltme Modeli Sonuçları

Bağımlı Değişken: CO ₂	Katsayı	Std. Hata	t-istatistik	Prob.*
GDP**	0.002	0.000	3.403	0.002
GDP2**	-2.68E	8.99E	-2.976	0.007
CTAX*	-0.171	0.088	-1.945	0.087
Sabit**	24.089	4.496	5.357	0.000
ECM _{t-1} **	-0.937	0.163	-5.729	0.000

R²:0,52 F-istatistik:8.150 (Prop:0,000) DW:2.04

Not: *10% ve **1% anlamlılık düzeyini gösterir.

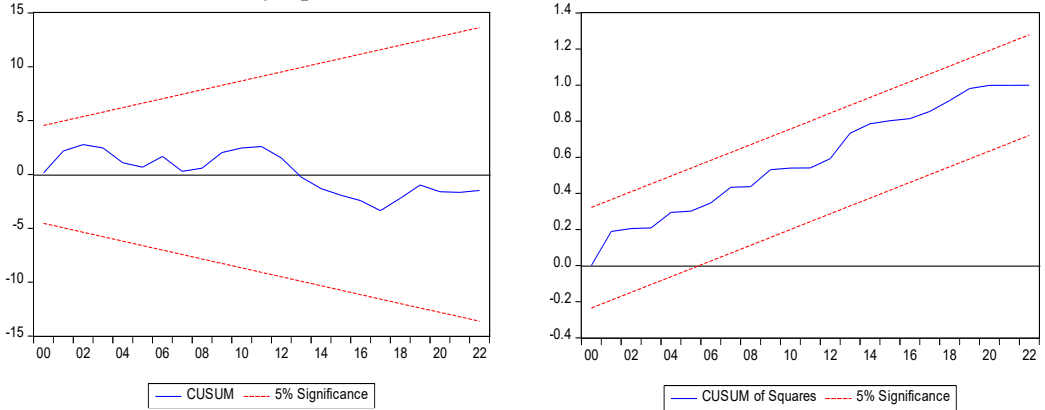
Kaynak: Yazar hesaplamaları

Kısa dönem ve hata düzeltme modeli tahmin sonuçları Tablo 9'da gösterilmiştir.

Hata düzeltme teriminin katsayısı, geçerli beklentilere uygun olarak negatif ve anlamlıdır. CO2 emisyonları denge seviyelerinden uzak olduğunda, başlangıç periyodunda (yıl) yaklaşık %92'lik bir düzeltme gözlemlenecektir. Dengeye ulaşmak yaklaşık 1,07'ye varan bir periyot (yıl) gerektirecektir. Herhangi bir bozulma olması durumunda, denge seviyelerine ulaşma oranı hızlı ve önemlidir. Ayrıca, karbon vergisi (CTAX) değişkeninin %10 anlamlılık düzeyinde negatif ($\beta=-0.171$) ve anlamlı ($p=0.087$) olduğu bulunmuştur. Bu bulgu, karbon vergisinin CO2 emisyonlarını azaltmadaki etkisinin kısa vadede açıkça belirgin olmadığını göstermektedir.

Şekil 2

CUSUM ve CUSUM of Squares



Şekil 2’de CUSUM ve CUSUM-Q grafikleri sunulmuştur. Parametre değerleri belirtilen süre boyunca tutarlı ve değişmezdir ve bu durum tahminlerin istikrarlı olduğunu göstermektedir.

5. Sonuç

Gıda, su ve hava kalitesinin insan sağlığını tehlikeye atmayacak şekilde korunması ve bu amaçla sürdürülebilir politikaların uygulanması, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için en acil hedeflerden birini oluşturmaktadır. Çevre kalitesini etkileyen önemli bir faktör, geri dönüşü olmayan zararlara yol açma potansiyeline sahip olan CO2 emisyonlarının düzeyidir. Yüksek karbon emisyonları iklim değişikliğine neden olacak ve mevsimsel döngülerde bozulmalara yol açacaktır. Bu durum, yaşam alanlarının kaybolmasına, ormansızlaşmaya ve tarımsal üretimin azalmasına neden olacaktır. Bu nedenle karbon emisyonları yalnızca hava kirliliğiyle ilişkilendirilmemelidir. İklim değişikliği ve küresel ısınmadan kaynaklanan ek zararlar hesaba katıldığında, oluşabilecek çevresel zarar daha da büyük olacaktır.

Başlangıçta, sürdürülebilir çevre uygulamaları, atık ayrıştırma ve geri dönüşümün teşvik edilmesi ile doğada uzun süre parçalanmayan maddelerin kullanımına getirilen sınırlamalar ve ücretlendirme üzerine yoğunlaşmıştır. Son zamanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını da kapsayacak şekilde gelişmiştir. Yenilenebilir enerji

tüketimindeki artışla CO₂ emisyonlarında azalma potansiyelini belirleyen araştırmalar (Doğan ve Şeker 2016; Szetela vd. 2022), yenilenebilir enerjinin çevre kalitesini korumadaki temel rolünü vurgulamaktadır. Buna karşılık, bazı çalışmalar yenilenebilir enerji kullanımının CO₂ emisyonlarının azaltılmasında sektörel düzeyde etkili olduğunu ortaya koymuştur (Yang vd. 2022). Diğer taraftan, yenilenebilir enerji kullanımının CO₂ emisyonları üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığını, hatta emisyonları artırabileceğini ileri süren araştırmalar da mevcuttur (Jie ve Rabnawaz, 2024; Altın, 2024). Gelişmiş ülkelerde son otuz yıldır uygulanan bir politika olan karbon vergisi, yenilenebilir enerji kullanımı gibi CO₂ emisyonlarını azaltmayı amaçlamaktadır. Başlangıçta düşük fiyatlarla ve belirli sektörlerle uygulanan bu vergi, zamanla fiyat artışlarına ve kapsamın genişletilmesine tabi tutulmuştur. Birçok ülke, özellikle Paris Anlaşması kapsamında, CO₂ emisyonlarıyla mücadele etmek için karbon vergileri uygulamıştır.

Bu çalışmada, Finlandiya’da 1991-2022 dönemi verileri kullanılarak ARDL modeli çerçevesinde karbon vergilerinin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi test edilerek modele karbon vergisi değişkeni eklenmiştir. Analizde bağımlı değişken olarak CO₂ emisyonları, bağımsız değişkenler olarak ise kişi başına düşen reel hasıla, kişi başına düşen reel hasılanın karesi ve karbon vergisi değişkenleri kullanılmıştır. Çalışmanın bulguları, karbon vergisinin kısa vadede istenen etkinliğe ulaşmadığını; ancak uzun vadede CO₂ emisyonlarını azaltmada oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, karbon vergisinin CO₂ emisyonlarını azaltmada etkili bir strateji olduğunu gösteren diğer çalışmaların bulgularıyla tutarlıdır (Davis ve Kilian, 2011; Lin ve Li, 2011; Anderson, 2019; Best vd. 2020; Green, 2021; Metcalf ve Stoct, 2023; Kohlscheen vd. 2024; Martinsson vd. 2024; Rafaty vd. 2025). Finlandiya örneğinden elde edilen bu bulgular, karbon vergilendirmenin CO₂ emisyonlarını azaltmada etkili bir politika aracı olarak hizmet edebileceğini gösterirken gelişmekte olan ülkeler için örnek teşkil edebilir.

Karbon vergilendirme uygulamalarının gelişmekte olan ülkelerde etkili olabilmesi için, verginin kademeli ve öngörülebilir bir şekilde tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Bu sayede, ekonomik aktörlere bir uyum süreci sağlanarak ani maliyet şokları hafifletilebilir. Dahası, düşük gelirli hanelere enerji desteği sağlanması, temiz teknolojiye yatırım yapılması ve yeşil altyapı projelerinin uygulanması yoluyla karbon vergilerinden elde edilen gelirlerin yeniden dağıtılması gibi uygulamaların, toplumsal kabulü artırma ve çevresel verimliliği güçlendirme ihtimali yüksektir. Ayrıca, tasarruf bilincinin geliştirilmesi ve aşırı tüketime yönelik eğilimlerin azaltılmasına katkı sağlayacak eğitimler ile sosyal politika programlarının oluşturulması, sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesinde önemli bir rol üstlenebilir.

Özellikle, düzgün planlanmamış karbon vergisi uygulamaları, ani maliyet şokları nedeniyle üretimi azaltma ve enflasyonu artırma etkisine sahip olabilir. Enerji yoğun sektörler için geçici muafiyetler veya düşük vergi oranları, bu sektörlerin rekabet gücünü

korumanın bir yoludur ancak, bu tür uygulamaların dönüşüm planlarıyla koordine edilmesi ve geçici olması önemlidir. Karbon vergisinin etkisini en üst düzeye çıkarmak için, toplu taşıma, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği gibi alanlarda tamamlayıcı politikalar uygulanmalıdır. Bu süreçlerin başarılı bir şekilde yürütülmesi, sağlam bir kurumsal çerçevenin varlığına, izleme ve raporlama sistemlerinin etkinliğine ve yeterli teknik kapasitenin varlığına bağlıdır. Ayrıca, eğitim sistemlerinde çevre kalitesinin önemi konusunda farkındalık oluşturmak, toplumsal mutabakat için temeldir.

Son olarak, gelişmekte olan ülkelerin bu süreçte finansal ve teknolojik desteğe erişimlerini kolaylaştırmak için uluslararası iş birliği mekanizmaları kurmaları zorunludur. Bu iş birliği, gelir kaybını telafi etmek ve asgari düzeyde çevresel hasara yol açan üretim teknolojilerinin koşulsuz paylaşımı için organize edilmelidir. Çünkü, bazı durumlarda, gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyümenin çevresel kaliteden daha öncelikli hale getirilmesi düşünülebilir. Bu kapsamlı politika çerçevesiyle, karbon vergilerinin gelişmekte olan ülkelerde çevresel sürdürülebilirliği desteklemek için etkili bir araç olarak kullanılabilmesini sağlama sorumluluğu gelişmiş ülkeleri de bağlamaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda gelişmekte olan ülkeler için veri elde edilerek, uygulanan karbon vergisinin CO₂ emisyonları üzerindeki beklenen azaltıcı etkisini sağlamlarken ekonomik büyüme ve enflasyon üzerinde nasıl bir etkisi olduğu ayrıca değerlendirilebilir. Bu çalışmalar için panel nedensellik testleri FMOLS veya DOLS gibi tahmincilerle dikkat çekici sonuçlara ulaşılabilir.

Yazarlık Beyanı: Yazar makalenin son halini gözden geçirerek onaylamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı: Yazar, araştırma, yazarlık ve yayınlama süreçlerinde herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan eder.

Finansman: Yazar, bu çalışmaya herhangi bir mali destek veya finansman sağlanmadığını beyan eder.

Etik Beyanı: Yazar, bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğunu ve kullanılan tüm kaynakların düzgün bir şekilde alıntılandığını beyan eder.

Kaynaklar

- Al Mamun, T. G., Hassan, M. S., Amin, M. B. & Oláh, J. (2025). Has the Paris Agreement Shaped Emission Trends? A Panel VECM Analysis of Energy, Growth, and CO₂ in 106 Middle-Income Countries. *arXiv.preprint*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.14946>.
- Altın, H. (2024). The impact of energy efficiency and renewable energy consumption on carbon emissions in G7 countries. *International Journal of Sustainable Engineering*, 17(1), 134-142. <https://doi.org/10.1080/19397038.2024.2319648>
- Andersson, J. J. (2019). Carbon taxes and CO₂ emissions: Sweden as a case study. *American Economic Journal: Economic Policy*, 11(4), 1-30. <https://doi.org/10.1257/pol.20170144>.
- Becker, R., Enders, W., & Lee, J. (2006). A stationarity test in the presence of an unknown number of smooth breaks. *Journal of Time Series Analysis*, 27(3), 381-409. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.2006.00478.x>.
- Bennaceur, M. Y., Abid, M., ElShaabany, M. M., Taha, T. K., & Reda, Z. (2025). How does ICT diffusion

- and renewable energy consumption affect CO₂ emissions?. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 15(1), 131-142. <https://doi.org/10.32479/ijeep.17617>.
- Best, R., Burke, P. J. & Jotzo, F. (2020). Carbon pricing efficacy: Cross-country evidence. *Environmental and Resource Economics*, 77(1), 69-94. <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00436-x>.
- Bouznit, M. & Pablo-Romero, M. D. (2016). CO₂ emission and economic growth in Algeria. *Energy Policy*, 96, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.05.036>.
- Bölük, G., & Mert, M. (2015). The renewable energy, growth and environmental Kuznets curve in Turkey: an ARDL approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 587-595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.138>.
- Chowdhury, A. A. A., Rafi, A. H., Sultana, A. & Noman, A. A. (2024). Enhancing green economy with artificial intelligence: Role of energy use and FDI in the United States. *Journal of Environmental and Energy Economics*, 3 (2), 55-76. <https://doi.org/10.56946/jeeec.v3i2.536>.
- Davis, L. W. & Kilian, L. (2011). Estimating the effect of a gasoline tax on carbon emissions. *Journal of Applied Econometrics*, 26(7), 1187-1214. <https://doi.org/10.1002/jae.1156>.
- Direction générale du Trésor. (2024). *Carbon pricing in Nordic countries*. <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/be819667-5da9-4563-8fe0-bcdf7db1e038/files/c9f7ad0a-aa03-404c-bc9f-d0e8b4e5bec>.
- Dogan, E. & Seker, F. (2016). Determinants of CO₂ emissions in the European Union: the role of renewable and non-renewable energy. *Renewable Energy*, 94, 429-439. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.078>.
- Enders, W., & Lee, J. (2012). The flexible Fourier form and Dickey–Fuller type unit root tests. *Economics Letters*, 117(1), 196-199. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2012.04.081>.
- Enders, W. (2015). *Applied econometric time series* (4th Edition). New York (US): University of Alabama, 30.
- Feng, S., Shafei, M. W. M., Ng, T. F., Ren, J., & Jiang, Y. (2024). The intersection of economic growth and environmental sustainability in China: Pathways to achieving SDG. *Energy Strategy Reviews*, 55, 101530. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101530>
- Fu, M., Ban, K., Jin, L., & Wu, D. (2024). Balancing economic growth, carbon emissions, and sequestration: A multi-objective spatial optimization in Zhengzhou metropolitan area in China. *Land*, 13(9), 1526. <https://doi.org/10.3390/land13091526>
- Green, J. F. (2021). Does carbon pricing reduce emissions? A review of ex-post analyses. *Environmental Research Letters*, 16(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abdae9>.
- Grossman, G. M. & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110 (2), 353–377. <https://doi.org/10.2307/2118443>.
- IEA (2024). *Implementation of bioenergy in Finland – 2024 update*. https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2024/12/CountryReport2024_Finland_final.pdf
- IEA (2025). *Global Energy Review*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025/co2-emissions>
- Ito, K. (2017). CO₂ emissions, renewable and non-renewable energy consumption, and economic growth: Evidence from panel data for developing countries. *International Economics*, 151, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2017.02.001>.
- Jie, W. & Rabnawaz, K. (2024). Renewable energy and CO₂ emissions in developing and developed nations: A panel estimate approach. *Frontiers in Environmental Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1405001>.
- Khastar, M., Aslani, A., Nejati, M., Bekhrad, K. & Naaranoja, M. (2020). Evaluation of the carbon tax effects on the structure of Finnish industries: A computable general equilibrium analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42, 100873. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100611>.
- Kohlscheen, E., Moessner, R. & Takats, E. (2024). Effects of carbon pricing and other climate policies on CO₂ emissions. *arXiv preprint*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.03800>

- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P. & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root?. *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159–178. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y).
- Lešáková, P. & Dobeš, O. *Economic Growth and CO2 Emissions in the Czech Republic*. International Business Information Management Association-IBIMA, 2019-05-22T07:59:55Z. Dostupné takéž: <https://hdl.handle.net/10195/72460>.
- Li, F., Chang, T., Wang, M. C. & Zhou, J. (2022). The relationship between health expenditure, CO 2 emissions, and economic growth in the BRICS countries—based on the Fourier ARDL model. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17900-w>.
- Lin, B., & Li, X. (2011). The effect of carbon tax on per capita CO₂ emissions. *Energy Policy*, 39(9), 5137–5146. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.050>.
- Luo, R. (2013). *Finland's carbon tax system*. University of British Columbia. <https://blogs.ubc.ca/rosonluo/2013/02/07/finlands-carbon-tax-system>.
- Magazzino, C. (2015). Economic growth, CO₂ emissions and energy use in Israel. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 22(1), 89-97. <https://doi.org/10.1080/13504509.2014.991365>.
- Martinsson, G., Sajtos, L., Strömberg, P. & Thomann, C. (2024). The effect of carbon pricing on firm emissions: Evidence from the Swedish CO₂ tax. *The Review of Financial Studies*, 37(6), 1848-1886. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhad097>.
- Metcalf, G. E. & Stock, J. H. (2023). The macroeconomic impact of Europe's carbon taxes. *American Economic Journal: Economic Policy*, 12(1), 62–91. <https://doi.org/10.1257/mac.20210052>.
- Mitić, P., Fedajev, A. & Radulescu, M. (2023). The relationship between CO₂ emissions, economic growth, available energy, and employment in SEE countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(35), 52813–52830. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23356-3>
- OECD. (2023). *Effective Carbon Rates 2023: Pricing Greenhouse Gas Emissions through Taxes and Emissions Trading*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b84d5b36-en>.
- OECD. (2024). *Key findings for carbon pricing in Finland*. <https://www.oecd.org/tax/tax-policy/carbon-pricing-finland.pdf>.
- Onofrei, M., Vatamanu, A. F. & Cigu, E. (2022). The relationship between economic growth and CO₂ emissions in EU countries: A cointegration analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 10, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.934885>.
- Pauku, E. (2023). Carbon pricing in Finland: Balancing policy goals. *Nordic Tax Journal*, 1, 76–95. <https://doi.org/10.2478/ntaxj-2023-0006>.
- Pesaran, M. H., Shin, Y. & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>.
- Pretis, F. (2022). Does a carbon tax reduce CO₂ emissions? Evidence from British Columbia. *Environmental and Resource Economics*, 83(1), 115-144. <https://doi.org/10.1007/s10640-022-00679-w>.
- Rafaty, R., Dolphin, G. & Pretis, F. (2025). Carbon pricing and the elasticity of CO₂ emissions. *Energy Economics*, 144, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108298>
- Seri, C. & Fernandez, A. (2021). *The relationship between economic growth and environment: Testing the EKC hypothesis for Latin American countries*. [Preprint]. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.11405>.
- Shafiei, S. & Salim, R. A. (2014). Non-renewable and renewable energy consumption and CO₂ emissions in OECD countries: a comparative analysis. *Energy policy*, 66, 547-556. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.064>.
- Szetela, B., Majewska, A., Jamroz, P., Djalilov, B. & Salahodjaev, R. (2022). Renewable energy and CO₂ emissions in top natural resource rents depending countries: the role of governance. *Frontiers in*

Energy Research, 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.872941>.

- Teklie, D. K. & Yağmur, M. H. (2024). Effect of economic growth on CO₂ emission in Africa: do financial development and globalization matter?. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(1), 121-140. <http://hdl.handle.net/11159/653295>.
- UNFCCC. (1994). *Finland: First National Communication under the UN Framework Convention on Climate Change*. <https://unfccc.int/resource/docs/natc/finnc1.pdf>.
- Wang, Y., Zhang, X. & Zhang, Y. (2022). Energy use greenization, carbon dioxide emissions, and economic growth: Evidence from China. *Frontiers in Environmental Science*, 10, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.871001>.
- Xuan, V. N. (2025). Toward a sustainable future: Determinants of renewable energy utilisation in Canada. *Energy Reports*, 13, 1308-1320. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2025.01.014>
- Yang, Z., Zhang, M., Liu, L. & Zhou, D. (2022). Can renewable energy investment reduce carbon dioxide emissions? Evidence from scale and structure. *Energy Economics*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106181>.
- Yousefi-Sahzabi, A., Sasaki, K., Yousefi, H. & Sugai, Y. (2011). CO₂ emission and economic growth of Iran. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16, 63-82.