

Kümeleme ve kantil yaklaşımıyla CO₂ emisyonlarının belirleyicileri: Seçilmiş ülkeler uygulaması

Determinants of CO₂ emissions with clustering and quantile approach: An application on selected countries

Tuğba Özyıldız¹ 

Selen Utlu Koçdemir² 

Okan Güleç³ 

¹ Öğr. Gör. Dr., Gaziantep Üniversitesi,
Gaziantep, Türkiye,

tyesilyurt@gantep.edu.tr

ORCID: 0000-0002-2101-2954

² Öğr. Gör. Dr., Gaziantep Üniversitesi,
Gaziantep, Türkiye, selenu@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8660-1568

³ Arş. Gör., Gaziantep Üniversitesi,
Gaziantep, Türkiye, ogulec@gantep.edu.tr

ORCID: 0009-0000-5936-4720

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:

Okan Güleç,

Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye

ogulec@gantep.edu.tr

Başvuru/Submitted: 19/05/2025

Revizyon/ Revised: 28/08/2025

Kabul/Accepted: 5/09/2025

Yayın/Online Published: 25/09/2025

Atıf/Citation: Özyıldız, T. & Utlu

Koçdemir, S. & Güleç, O., Kümeleme ve

kantil yaklaşımıyla CO₂ emisyonlarının

belirleyicileri: Seçilmiş ülkeler uygulaması,

bmij (2025) 13 (3): 941-965 doi:

<https://doi.org/10.15295/bmij.v13i3.2586>

Öz

Çevresel kalite, küresel ölçekte sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, CO₂ emisyonlarının belirleyicilerini ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji kullanımı, kentleşme, ticaret açıklığı ve doğrudan yabancı yatırımlar çerçevesinde incelemektedir. Yöntem olarak, k-ortalama kümeleme ile panel kantil regresyonun birlikte kullanılmıştır, böylelikle mevcut literatüre özgün bir katkı sağlamaktadır. Bu yaklaşım sayesinde, farklı emisyon düzeylerine sahip ülke gruplarında bağımsız değişkenlerin heterojen etkileri ayrıntılı biçimde analiz edilmekte ve yalnızca ortalama etkilerin ötesine daha derinlemesine bulgular elde edilmektedir. Panel kantil regresyon sonuçları, her bir bağımsız değişkenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin, ülkelerin benzerliklerine göre oluşturulmuş kümeler arasında anlamlı farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bulgular, CO₂ emisyonlarının azaltılmasına yönelik enerji politikaları ve sürdürülebilir kalkınma stratejilerinin önemini vurgulamakta ve politika yapıcılara yeni bir perspektif sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, CO₂ Emisyonları, Kantil Regresyon, Kümeleme

Jel Kodları: C22, E61, S18, S43

Abstract

Environmental quality stands out as a critical factor in achieving sustainable development goals on a global scale. This study examines the determinants of CO₂ emissions within the framework of economic growth, renewable energy use, urbanisation, trade openness, and foreign direct investment. As a method, k-means clustering and panel quantile regression are employed in conjunction, thereby making an original contribution to the existing literature. Through this approach, the heterogeneous effects of the independent variables across country groups with different emission levels are analysed in detail, yielding deeper findings that extend beyond merely average effects. The results of the panel quantile regression reveal that the impact of each independent variable on CO₂ emissions exhibits significant differences among the clusters formed based on the similarities among countries. The findings emphasise the importance of energy policies and sustainable development strategies for reducing CO₂ emissions, providing policymakers with a new perspective.

Keywords: Renewable Energy, CO₂ Emissions, Quantile Regression, Clustering

Jel Codes: C22, E61, S18, S43

Extended Abstract

Determinants of CO₂ emissions with clustering and quantile approach: An application on selected countries

Literature

Churchill, Inekwe, Ivanovski and Smyth (2018) show, in their study covering the period 1870-2014 in OECD countries, that the long-term impact of growth on emissions varies depending on a country's level of development. Although environmental technologies and energy efficiency have improved, the increase in consumption and production brought about by growth, especially in the highest emission brackets, outpaces the implementation of emission-reducing measures. Most studies indicate that economic growth increases CO₂ emissions. Still, in some countries, the Environmental Kuznets Curve (EKC) dynamics take effect, resulting in reduced emissions after a certain threshold of high income is reached. (Sadorsky, 2014; Yao, Kou, Shao, Li, Wang and Zhang, 2018; Li and Haneklaus, 2021; Jeon, 2022). Since urban population growth is associated with higher energy demand, transport intensity and industrialisation, it is often identified as a driver of CO₂ emissions in the literature (Maiti and Agrawal 2005; Sharma, 2011; Bargaoui, Liouane and Nouri, 2014; Arvin, Pradhan and Norman, 2015; Akbar, Gul, Sohail, Hedvicakova, Haider, Ahmad and Iqbal, 2024). However, the effect size is found to vary depending on income level and energy mix; in some high-income cases or after threshold crossings, the effect can be neutral/negative (Sadorsky, 2014; Li and Haneklaus, 2021; Zafar, Mirza, Zaidi and Hou, 2019). Renewable energy consumption generally reduces CO₂ (Adebayo, Oladipupo, Adeshola and Rjoub, 2022; Mahmood, Wang and Hassan, 2019; Raihan and Tuspekova, 2022; Karaaslan and Çamkaya, 2022; Idroes, Hardi, Rahman, Afjal, Noviandy and Idroes, 2024). However, in short-term or low-threshold cases, the effect is found to be weak or with an opposite sign (Inglesi-Lotz and Dogan, 2018; Zafar et al., 2019; Murshed, Saboori, Madaleno, Wang and Doğan, 2022). The results of the trade openness variable on CO₂ emissions are heterogeneous: If technical-composition effects are strong, openness is emission-reducing (Destek, Balli and Manga, 2016; Inglesi-Lotz and Dogan 2018), whereas it is emission-increasing if scale effects are dominant (Chen, Jiang and Kitila, 2021; Zafar et al., 2019; Adebayo et al., 2022).

Research subject

The subject of this study is to comprehensively analyse the multidimensional determinants of CO₂ emissions and provide policy recommendations in line with the findings.

Research purpose and importance

This study aims to analyse the effects of economic growth, renewable energy use, urbanisation, trade openness, and foreign direct investment, which are considered the main dynamics shaping CO₂ emissions, in countries with different emission levels using the quantile regression method.

Contribution of the article to the literature

Overall, the results of the quantile regression analysis provide policymakers with valuable information. Strategies to reduce carbon emissions for different groups of countries should vary. The heterogeneous results reveal the distributional dimension of the impact of energy and international economic policies on carbon emissions. They also suggest focusing on different points of the emissions distribution rather than on a uniform average effect would be more useful.

Design and method

In this study, the k-means clustering method and panel quantile regression method are used.

Research type

This study is empirical research based on panel data analysis. Methodologically, it employs an applied approach, utilising k-means clustering and panel quantile regression techniques.

Research problems

Factors affecting CO₂ emissions in different countries (economic growth, renewable energy use, urbanisation, trade openness, foreign direct investments, etc.) vary according to development and emission levels, making uniform policy approaches inadequate.

Findings and discussion

The quantile regression analysis results of the study reveal that the effects of independent variables on CO₂ emissions differ according to the emission levels of countries. The correlation between economic growth and emissions becomes less pronounced or even negative as the level of development rises. The utilisation of renewable energy has been shown to lead to a collective reduction in emissions across all clusters. However, it is noteworthy that the efficacy of this phenomenon may be subject to limitations within specific groups. Urbanisation is a significant factor in the increase of emissions, particularly in developing countries. The impact of trade openness exhibits contextual variability, manifesting as positive effects in certain nations and adverse effects in others. Conversely, the impact of foreign direct investment on emissions is characterised by a contrasting pattern. In low- and medium-emission countries, foreign direct investment exerts a substantial reduction in emissions. However, in high-emission countries, the impact of foreign direct investment on emissions is not significant. This finding suggests that foreign investments may have differential effects on reducing emissions through technology transfer and the implementation of environmental standards.

Conclusion, recommendation and limitations

The findings show that the determinants of CO₂ emissions differ according to the socioeconomic structures and emission levels of countries. Moreover, high quantile analyses indicate that the effects of these factors become more pronounced in the most unfavourable scenarios, highlighting the need to consider these situations in risk management and sustainable development strategies. The fact that the effect of economic growth on emissions varies depending on the level of development highlights the need to adapt sustainable development policies to country-specific conditions. Considering the risks at different quantile levels presented by quantile regression analysis, sustainable development strategies should be planned to cover worst-case scenarios.

Results of the article

This study examined the five main determinants of CO₂ emissions – per capita GDP growth rate (Gdp), share of renewable energy (Rew), urbanization rate (Urb), trade openness (Top), and foreign direct investment (Fdi) – across three different emission clusters (Cluster 1: low CO₂, Cluster 2: medium CO₂, Cluster 3: high CO₂) by means of the panel quantile regression method. Through flexible analytical techniques such as quantile regression, it is possible to mitigate the effects of outliers and data heterogeneity. The results of the quantile regression analysis reveal that the impact of the independent variables on CO₂ emissions differs significantly across the clusters formed based on the similarities between countries. The study's findings highlight that these factors have different effects depending on the emission levels of countries, underscoring the need for targeted and country-specific environmental policies. Thus, the article's results are of great importance both for scientifically understanding the determinants of CO₂ emissions and for enabling policymakers to develop sustainable ecological management strategies.

Suggestions based on results

The differentiation of the findings obtained from the analysis emphasises that policymakers should evaluate the impact of each variable according to the specific conditions of each country group. In particular, higher quantile analyses demonstrate how strongly the relevant factors may exert influence in the most adverse scenarios, making it crucial to consider these high-risk situations in sustainable development strategies. The results can inform the design of environmental policies tailored to different development clusters at both global and regional levels. In this way, it becomes possible to develop effective and targeted strategies for emission reduction.

Giriş

Sanayi Devrimi ile birlikte elle üretimden makine ile üretime geçiş ve buna paralel olarak üretim ölçeklerinin hızla artış, 1970’li yıllarda birtakım yeni sorunların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu sorunlar; üretime ve tüketime bağlı olarak doğal kaynakların tükenmesi, çevre kirliliğinin artması ve küresel ısınma şeklinde öne çıkmıştır. Söz konusu problemlerin geri dönülemez kayıplara yol açabileceği öngörüsüyle, uluslararası düzeyde çözüm arayışlarına başlanmıştır. Bu bağlamda, çevre kirliliği, üretim ve sanayileşme arasındaki ilişkinin sonuçlarının tartışılmaya başlandığı ve günümüze kadar sürdürülen; sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi adına yapılması gerekenlerin ele alındığı uluslararası iş birlikleri ve anlaşmalar olarak 1972 yılında Stockholm Konferansı, 1987 Brundtland Raporu, 1992 Rio de Janeiro Zirvesi, 1997 Kyoto Protokolü ve 2015 Paris Antlaşması karşımıza çıkmaktadır.

Çevre kirliliğinin küresel bir sorun haline gelmesi, ekonomi-çevre ilişkisinin iktisatçıların inceleme alanına girmesini sağlamıştır. Ekonomi ve çevre ilişkisini açıklamada kullanılan en önemli yaklaşımlardan biri Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC)’dir. Bu eğri, Simon Kuznets’in (1955), gelir dağılımı ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi gösteren Kuznets Eğrisinden, Grossman ve Krueger (1991) tarafından uyarlanmıştır (Ginevičius, Lapinskienė ve Peleckis 2017: 96). Kuznets’in ekonomik büyüme arttıkça gelir dağılımı adaletsizliğinin artacağı belirli bir noktadan sonra bu adaletsizliğin azalacağını öne süren hipotezi, ekonomi-çevre ilişkisine uyarlanmıştır. Ekonomik büyümenin ilk aşamalarında kişi başına gelirden meydana gelen artış çevre kirliliğini artıracak fakat belirli bir eşik değerinden sonra bu durum tersine dönecektir. Gelir artmaya devam ettikçe çevre kirliliği azalacak ve geometrik olarak ‘U’ şeklinde bir eğri elde edilecektir (Stern, 2004: 1419). Zenginleşme ile birlikte teknoloji düzeyinin, çevre bilincinin ve çevre yasalarının gelişmesinin, çevre üzerinde olumlu etkileri olabileceği ifade edilmektedir. EKC’nin şekli her ülke için aynı olmadığı gibi bir ülkenin farklı dönemlerinde de farklılık gösterebilmektedir. Gelir düzeyi farkları, enerji kullanım yoğunluğu, kentleşme oranı, çevre politikalarının etkinliği, çevresel ve sosyal koşullar, her ülkenin kendine özgü çevre-ekonomi ilişkisi gibi sebepler bu farklılıklara yol açmaktadır (Koop ve Tole, 1999: 243; Azam ve Qayyum Khan, 2016: 564). EKC genel bir hipoteze dayanarak ortaya çıktığı ve her ülkenin kendi dinamiklerine göre farklı eğrilere sahip olabileceği söylenebilir. EKC’nin U-form, ters U-form, M-Form, N-Form ve monotonik artış gibi farklı formları yapılan birçok çalışmada ampirik bulgularla gösterilmiştir (Li, Yang ve Li, 2019: 1192). Çevre kirliliğinin önce azalıp sonra artması U-form, önce artıp sonra azalması ters U-form, önce artıp azaldıktan sonra tekrar artması N-form, bir artış bir azalış şeklinde dalgalanması M-form ve gelir seviyesi yükseldikçe çevresel bozulmanın sürekli artışı, monotonik artış olarak tanımlanmıştır (Dinda, 2004: 435-436; Al Sayed ve Sek, 2013: 1082-1085).

Bu çalışma ile 33 ülkeyi kapsayan bir panel veri seti kullanılarak CO₂ emisyonlarının belirleyicileri incelenmektedir. Ülkeler, CO₂ emisyon düzeylerine göre k-ortalama kümeleme yöntemiyle düşük, orta ve yüksek emisyonlu olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Analizde, insan faaliyetlerinin çevresel etkilerini anlamak için kullanılan STIRPAT modelinin genişletilmiş hali kullanılarak ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji kullanımı, kentleşme oranı, ticaret açıklığı ve doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonları üzerindeki etkileri panel kantil regresyon yöntemiyle farklı emisyon seviyelerinde analiz edilmiş ve çalışmada bölümler şu şekilde düzenlenmiştir: 1. bölümde STRIPAT modeli çerçevesinde CO₂ emisyonlarının dinamikleri sunulmaktadır. 2. bölümde Literatür taraması ile CO₂ emisyonlarına yönelik ampirik uygulamalar incelenirken 3. bölümde çalışmada kullanılacak veriler ve yöntem açıklanmaktadır. 4. bölümde ise çalışmaya ait tahmin sonuçları ile bulgular tartışılmakta ve son bölümde sonuçlar ve politika önerileri yer almaktadır.

Teorik ve kavramsal çerçeve

Ekonomi-çevre ilişkisini açıklayan ve iktisat literatüründe yaygın olarak kabul gören modellerden olan IPAT (Impact, Population, Affluence, Technology) modeli ve onun geliştirilmiş versiyonu olan STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology) modeli, bu çalışmanın temel teorik çerçevesini oluşturmaktadır. IPAT modeli, 1970’te Ehrlich ve Holdren’in modeli oluşturan göstergeler arasındaki eşitliği ve Commoner’in 1971’de modelin matematiksel gösterimini ve veri analizindeki uygulamasını ele almasıyla ortaya çıkmıştır (York, Rosa ve Dietz 2003: 352). Ehrlich ve Holdren’in ilk yaklaşıma göre IPAT modeli eşitlik (1)’deki gibi gösterilmiş, bu formülde çevresel etkiyi ifade edenler, nüfus ve nüfusun fonksiyonu olan değişkenler gibi gösterilmiş ve bu düşünce nüfus artışını refaha tehdit olarak gören Robert Malthus’un görüşlerine paralel olarak ele alınmıştır (Fischer-Kowalski ve Amann, 2001: 9-10):

$$I = P \cdot f(P) \quad (1)$$

Commoner, Ehrlich ve Holdren'in çalışmalarını referans alarak onların ortaya attığı bu eşitliğin eksikleri olduğunu düşünmüş, önerdikleri ilişkiyi daha da işlevselleştirmek için modele bazı değişkenlerin eklenmesi gerektiğini öne sürmüş ve yaptıkları çalışmalarla modelin eşitlik (2)'deki halinin ortaya çıkmasına büyük katkılar sağlamışlardır (Chertow, 2000: 17). I, çevresel etkiyi (impact); P, nüfusu (population); T, teknolojiyi (technology) ifade etmektedir.

$$I = P \cdot A \cdot T \quad (2)$$

IPAT modeli, sabit katsayılardan oluşması, istatistiksel olarak test edilebilirliğinin olmaması, esnek olmaması ve ampirik analizlerde logaritmik dönüşüme uygun olacağı için eşitlik (3)'teki haliyle STRIPAT (stochastic impacts by regression on population, affluence, and technology) adıyla tekrardan formüle edilmiştir (Dietz ve Rosa, 1994: 284). a, sabit katsayıyı; b, c, d, değişkenlerin katsayılarını; e, hata terimini ifade etmektedir.

$$I = a \cdot P^b A^c T^d \cdot e \quad (3)$$

Çevre ile ekonomi arasındaki ilişkiyi araştıran literatürde en çok kullanılan değişkenlerin başında gelen ekonomik büyüme, doğal kaynak ve enerji kullanım miktarına paralel olarak karbon emisyon miktarını artıran önemli bir değişken olarak karşımıza çıkmaktadır. Klasik iktisadın doğuşuyla birlikte Adam Smith'ten itibaren tüm iktisadi ekollerin yoğun ilgisine tabi olan ekonomik büyüme, ham madde ve kaynakların bol bulunmasının yarattığı bir fırsat olarak yorumlanmıştır (Dale, 2014: 870). Çevresel sorunların giderek artması ve çevresel sürdürülebilirlik açısından duyulan endişeler büyüme kavramını yeni bir boyuta taşıyarak yeşil büyüme kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Yeşil büyüme, ekonomik büyümeyi ve toplumsal refahı teşvik ederken, çevresel etkileri, ekolojik sorunları ve doğal afetleri göz önüne alan, doğal kaynak kullanımının sürdürülebilirliğini ihmal etmeden yürütülmesi gereken büyüme kavramı olarak tanımlanmaktadır (Hickel ve Kallis, 2019: 470). Yeşil büyüme kavramının klasik büyüme çerçevesini değiştirmesi ve büyüme kavramını doğrudan işaret etmesi, çevresel sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir. Çalışmanın teorik zeminini oluşturan Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi, çevre ve ekonomik büyüme arasında önemli bir ilişki olduğunu öne sürmektedir. Ekonomik büyüme ve çevre ilişkisini araştıran çalışmaların ampirik altyapılarının ilk zamanlarda zaman serisi analizleri ile desteklendiği, fakat güncel literatür incelendiğinde son dönemde yapılan çalışmaların ampirik boyutunun panel veri analizleriyle ele alındığı görülmektedir (Narayan, Saboori ve Soleymani, 2016: 388-389). Ekonomik büyüme ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi araştırmada çevreyle ilişkili farklı değişkenlerin analize dahil edilmesi elde edilen ampirik sonuçların güvenilirliğini arttırmaktadır.

Çevre-ekonomi ilişkisi ele alınırken birçok farklı veri ampirik analizlere dahil edilmektedir. Bunların başında çevresel kirliliğin temel kaynaklarından biri olarak kabul edilen CO₂ emisyonları gelmektedir. CO₂ emisyonları, petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtların yanması ile havaya salınmakta, endüstriyel süreçlerde özellikle çimento gibi hammaddelerin üretiminde CaCO₃ (kalsiyum karbonat) ve MgCO₃ (magnezyum karbonat) gibi bileşiklerin ayrışması sonucu ortaya çıkan karbon emisyonlarının en büyük kısmını oluşturmaktadır (Andrew, 2020: 1438). Ekonomik yapıların dönüşümü ile ilgili öne sürülen önemli hipotezlerden biri ise "karbon kilitlenmesi" kavramıdır. Kurumların ve teknolojik sistemlerin fosil yakıt temelli yapılara dönüşmesi, yerleşik hale gelmesi, ekonomi ve çevre için düşük karbonlu teknolojilere dönüşümün engellenmesi ve dolayısıyla karbon emisyonlarını azaltmak için gerekli olan politikaların yavaşlaması karbon kilitlenmesi olarak tanımlanmıştır (Unruh, 2000: 818). Karbon kilitlenmesi kavramı ile düşük karbonlu üretim sistemlerine geçişin ve iklimsel bozulmaların önlenmesinin geciktiği vurgulanmaktadır. Karbon emisyonlarını azaltmanın en önemli yolu olan yenilenebilir enerji kaynakları, çevre kirliliğinin önemli boyutlara ulaştığı dönemde, yenilenemeyen enerji kaynaklarına alternatif olarak önem kazanmıştır. Doğada kendiliğinden bulunan ve yenilenme özelliği olan, insan kullanımına uygun, atık üretmeyen ve çevreyi kirliletmeyen enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları olarak ifade edilmektedir (Talaat, Farahat ve Elkholy, 2019: 668-669). Güneş, hidroelektrik, rüzgâr, jeotermal, biyokütle gibi enerji kaynakları, başlıca yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almaktadır.

Çevre-ekonomi ilişkisinde bir diğer önemli etken ise kentleşmedir. Kentleşme, kırsal nüfusun şehirlere göç etmesiyle başlayan, ekonominin yapısal dönüşümünün etkin olduğu, kişi başı gelir artışının etkisiyle tarım sektöründeki istihdamın özellikle sanayi ve hizmetler sektörüne yönelmesi ve bu etkenlere bağlı olarak şehir nüfuslarının artması ile ortaya çıkan bir olgudur (Gollin, Jedwab ve Vollrath 2015: 36-37). Bu yönleriyle kentleşme kavramı, nüfusun kentlere göç etmesi dışında karmaşık ve uzun bir süreç olarak yorumlanmıştır. Kentleşme olgusunu yalnızca yapısal dönüşümlerle sınırlı tutmak yerine, fiziksel boyutuyla da tanımlamak mümkündür. Şehir sayılarının artması, şehirlerin alan olarak genişlemesi buna bağlı olarak altyapıların gelişmesi ve genişlemesi, üretim biçimlerinin ve pazarlanan

hizmetlerin çeşitlenmesi, kentleşme olgusunun fiziki boyutunu ifade etmektedir (Uttara, Bhuvandas ve Aggarwal, 2012: 1637). Kentleşme hem yapısal hem de fiziki yönleriyle ele alındığında, çevre ile ilişkisinin güçlü olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle nüfusun hızla artması ve kentlere yerleşmesi beraberinde getirdiği süreçlerle çevresel bozulmaya neden olmaktadır.

Ekonominin çevreye etkileri ele alınırken incelenen önemli konulardan biri doğrudan yabancı yatırımlardır. Doğrudan yabancı yatırımlar, literatürdeki bazı çalışmalarda Kirlilik Cenneti (Pollution Haven) Hipotezi ile ilişkilendirilmiştir. Kirlilik Cenneti Hipotezi, uluslararası iktisat ve çevre ekonomisi literatüründe önemli bir yer tutmaktadır. Bu hipoteze göre, katı çevre mevzuatına ve etkin çevre politikalarına sahip gelişmiş ülkelerde faaliyet gösteren çok uluslu şirketler, üretim maliyetlerini düşürmek ve daha esnek üretim koşulları elde etmek amacıyla yatırımlarını çevre düzenlemelerinin daha gevşek ve çevre vergilerinin daha düşük olduğu ülkelere kaydırmaktadırlar. Bu durum, çevre standartları düşük olan ülkelerin bir nevi "Kirlilik Cenneti" haline gelmesine yol açabilmektedir (Bashir, 2022: 48210-48211). Bu durum, gelişmiş ülkelerin çevre sorunlarını azaltırken, ekonomik sübvansiyonlarla ülkeye çekilen çevreci olmayan yatırımlar sebebiyle gelişmekte olan ülkelerin çevre sorununu arttırmaktadır. Çevre sorunlarının küresel boyutlara ulaştığı düşünüldüğünde, ortaya çıkan durum çevre sorununa olumsuz olarak yansımaktadır. Kirlilik Cenneti Hipotezinin, doğrudan yabancı yatırımların gelişmekte olan ülkelere çevre kirliliğini arttıracak görüşlerinin yanında, Kirlilik Halesi (Pollution Halo) Hipotezi, olumlu etkileri de olabileceğini öne sürmektedir. Kirlilik Halesi (Pollution Halo) Hipotezi, çok uluslu şirketlerin, ana ülkelerindeki sıkı çevre düzenlemelerine uyum sağlamak amacıyla geliştirdikleri yüksek teknolojiye sahip ve düşük emisyonlu üretim yöntemlerini, doğrudan yabancı yatırımlar aracılığıyla gelişmekte olan ülkelere transfer etmeleri durumunda, bu ülkelerdeki çevre kirliliğinin potansiyel olarak azalabileceğini öne sürmektedir. Bu hipotez, çok uluslu şirketlerin sadece kirliliği daha az düzenlenmiş bölgelere kaydırmak yerine, aynı zamanda daha temiz üretim pratiklerini de yaygınlaştırabileceği fikrine dayanmaktadır (Abbasi, Nosheen ve Rahman, 2023: 49273). Her iki hipotez göz önüne alındığında, doğrudan yabancı yatırımların etkisinin hangi yönde olacağı, yatırımı yapan çok uluslu şirketlerin hangi amaç doğrultusunda yapacağı ile ilgili olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışmanın CO₂ emisyonları ile ilişkisini ölçtüğümüz bir diğer değişken ise ticari açıklıktır. Ticari açıklık, bir ülkenin dış ticaret hacminin GSYİH'ye oranıyla gösterilen $(X+M)/GDP$; X: ihracat, M: ithalat, GDP: GSYİH), ülkenin küresel ekonomik entegrasyonunu ölçen makroekonomik bir gösterge olarak ifade edilmektedir (Squalli ve Wilson, 2011: 1745; Fujii, 2019: 868). Küreselleşmenin artmasıyla birlikte büyüyen ticaret hacimleri, ülkelerin ekonomik performansını artırırken; bu durumun arka planında hızla gelişen üretim ve sanayileşme, enerji talebini yükseltmekte ve karbon emisyonlarının artmasına neden olmaktadır (Shahbaz, Nasreen, Ahmed ve Hammoudeh, 2017: 221-222). Ticari açıklığın, ekonomik büyüme üzerinde yarattığı olumlu, çevre üzerinde yarattığı olumsuz etki ekonomi-çevre ilişkisi açısından bir çelişki yaratmaktadır. Ekonomi-çevre arasındaki çelişkinin ortadan kalkması için ülkeler, ekonomik büyüme performanslarını etkileyen dış ticaret hacmi artışlarıyla küresel ekonomiye entegrasyonlarını arttırırken bir diğer yandan da çevresel bozulmalara neden olmayacak çevre dostu tekniklerle üretim miktarlarını arttıracakları ticaret politikaları geliştirmelidirler.

Çalışmanın kavramsal çerçevesini oluşturan unsurlar, çevre-ekonomi ilişkisinin farklı boyutlarını ortaya koymaktadır. Kavramlara ilişkin yapılan açıklamalar ile ampirik analizdeki ilişkinin teorik altyapısının desteklenmesi amaçlanmıştır.

Literatür taraması

Halıcıoğlu (2009), Türkiye için 1960-2005 dönemini zaman serisi kullanarak karbon emisyonları, enerji tüketimi, gelir ve dış ticaret arasındaki ilişki açısından incelemiştir. Ampirik sonuçlar, Türkiye'de CO₂ emisyonlarını açıklamada gelirin en önemli değişken olduğunu ve Granger nedensellik testine göre hem kısa hem uzun vadede iki yönlü ilişkinin olduğunu göstermiştir. Ayrıca çalışmadan çıkan bir diğer sonuçta dış ticaretin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin oldukça düşük olduğu yönündedir. Hossain (2011) çalışmasında, 1971-2007 dönemine ait verileri kullanarak sanayileşmesini yeni tamamlamış ülkelerde CO₂ emisyonları ile kentleşme, ekonomik büyüme, ticari açıklık arasındaki ilişkileri ampirik olarak incelemiştir. Testin sonuçları, ilişkilendirilen değişkenlerin uzun vadeli nedensellik ilişkisine dair bir kanıt bulamamış, ancak ekonomik büyüme ile ticari açıklıktan CO₂ emisyonlarına doğru tek yönlü kısa vadeli nedensellik ilişkisini tespit etmiştir. Sharma (2011), 69 ülkeyi gelir seviyelerine göre ayırıştırarak 1985-2005 yılların ait verileri kullanmış ve CO₂ emisyonlarının belirleyicilerini analiz etmiştir. Çalışmanın sonunda ticaret açıklığının, kişi başına düşen GSYİH'nin ve kentleşmenin CO₂ emisyonları üzerinde olumsuz bir etkisi olduğuna ulaşmıştır. Sadorsky (2014), Gelişmekte olan 16 ülkede kentleşmenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini panel regresyon tekniği ile araştırmıştır. Çalışma sonuçları, enerji yoğunluğunun artmasının ve artan refah seviyesinin CO₂ emisyonlarını

arttırdığını göstermektedir. Ayrıca kentleşmenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi belirsiz olmakla birlikte, bu etkinin istatistiksel olarak da önemsiz olduğunu gözlemlemiştir. Bargaoui ve diğerleri (2014), STIRPAT modelini kullanarak 1980-2010 yılları arasında farklı gelir seviyelerine sahip 214 ülkeyi analiz etmişlerdir. Çalışmanın sonuçları, ekonomik büyümenin, kentleşme seviyesinin ve Kyoto Protokolünün CO₂ emisyonları üzerinde önemli etkisi olduğunu ve CO₂ emisyonlarını artırdığını ortaya koymuştur. Ren, Yuan, Ma ve Chen (2014), Çin'deki 19 sanayi sektörünün 2001-2011 yıllarına ait verilerini kullanarak panel regresyon tekniği uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre doğrudan yabancı yatırımlar ve ticaretteki karşılaştırmalı avantajlar karbon emisyonlarını arttıran iki unsur olarak görülmektedir. Ayrıca elde edilen sonuçlar, ticari açıklığın CO₂ emisyonlarındaki büyümeyi azaltıcı etki yaratacağını ifade etmektedir. Shafiei ve Selim (2014), OECD ülkeleri için 1980-2011 dönemine ait verileri kullanarak STIRPAT Modeli uygulamışlardır. Çalışmanın sonuçları, CO₂ emisyonları üzerinde kişi başına düşen GSYİH ve kentleşmenin pozitif ve anlamlı etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Bulgular, OECD ülkelerinde uzun vadede kentleşme ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişki için EKC hipotezini destekleyen kanıtlar sunmaktadır. Ampirik kanıtlar ise yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Wen, Cao ve Weng (2015), CO₂ emisyonlarının etki faktörlerini STIRPAT modeli ile incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçları dış ticaret derecesinin, kişi başına düşen GSYİH'nin, sermaye yatırımlarının, CO₂ emisyonlarını arttırdığını ortaya koymaktadır. Zakarya, Mostefa, Abbes ve Seghir (2015), 1990-2012 verilerini kullanarak yapmış oldukları çalışmada BRICS ülkelerinde doğrudan yabancı yatırımların, ekonomik büyümenin, CO₂ emisyonu üzerinde yaratacağı etkileşimleri eş-bütünleşme testleri ve panel Granger nedenselliğini kullanarak analiz etmektedirler. Sonuçlar, CO₂ emisyonlarıyla ekonomik büyüme arasında önemli bir eş-bütünleşme ilişkisi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, CO₂ emisyonlarından doğrudan yabancı yatırımlara doğru tek yönlü bir nedenselliğin varlığı da tespit edilmiştir. Shahbaz, Loganathan, Muzaffar, Ahmed ve Jabran (2016), çalışmalarında STIRPAT modeli uygulayarak Malezya için 1970Q1-2011Q4 dönemini araştırmışlardır. Çalışma sonuçları ekonomik büyümenin CO₂ emisyonlarını önemli oranda arttırdığını göstermektedir. Ayrıca refaha yol açan ticari açıklık, CO₂ emisyonlarının yükselmesine neden olmaktadır. Kentleşmenin başlangıçta CO₂ emisyonlarını azalttığı fakat belli bir eşik seviyesini geçtikten sonra emisyon hacmini yükselttiği görülmektedir. Destek ve diğerleri (2016), 10 Orta ve Doğu Avrupa Ülkesi (Makedonya, Hırvatistan, Arnavutluk, Polonya, Slovakya, Bulgaristan, Macaristan, Romanya, Çek Cumhuriyeti, Slovenya) için 1991-2011 dönemi verilerini kullanarak CO₂ emisyonu ile reel GSYİH, kentleşme, ticari açıklık ilişkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucu, analizde kullanılan değişkenlerin uzun dönemde eş bütünleşik olduğunu göstermektedir ve ticari açıklıkta meydana gelen artışın CO₂ emisyonlarını azalttığını işaret etmektedir. Ayrıca test sonuçları, CO₂ emisyonlarıyla reel GSYİH arasında çift yönlü nedensellik olduğunu da ortaya koymaktadır. Doğan ve Türkecul (2016) çalışmalarında, ABD için 1960-2010 dönem verileri kullanarak CO₂ emisyonlarının reel GSYİH, ticaret açıklık, kentleşme ve finansal gelişme arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışma sonuçları, CO₂ emisyonları ile GSYİH ve kentleşme arasında çift yönlü nedensellik olduğunu, CO₂ emisyonları ile ticaret açıklığı ve finansal gelişme arasında ise nedensellik bulunmadığını göstermiştir. Ayrıca uzun vadede, kentleşme çevresel bozulmayı artırırken, finansal gelişmenin çevresel bozulma üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ticaretin çevresel iyileşmelere yol açtığı ise çalışmadan elde edilen bir diğer sonuçtur. Narayan ve diğerlerinin (2016), 181 ülke ile 1960-2008 dönemini kapsayan çalışmalarında ekonomik büyüme karbon emisyonu ilişkisini araştırmışlardır. Sonuçlar ülkelerin %27'sinde (49 ülke) gelir artışının CO₂ emisyonlarını azaltacağını göstermiştir. Bhattacharya, Churchill ve Paramati (2017), 1991-2012 yıllarına ait verileri kullanarak, 85 gelişmiş ve gelişmekte olan ülke üzerinde kişi başına GSYİH ve yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, artan kişi başına GSYİH'nin ve yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını düşürmede önemli etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Lin ve Xu (2018), yıllık ortalama CO₂ emisyonlarına göre Çin'in 30 ilini 6 kantil sınıfa ayırmışlardır. Bu ülke grubu için yüksek, orta ve düşük emisyon seviyelerinde CO₂ emisyonlarının itici güçlerini kantil regresyon yöntemini kullanarak araştırmışlardır. Finansal kapasite, kentleşme ve ekonomik büyümenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin diğer gruplara göre üst kantil grubunda daha etkili olduğu görülmektedir. Yao ve diğerleri (2018), 1980-2011 yılları zaman aralığında 170 ülkenin dahil edildiği çalışmada kentleşme, ekonomik büyüme ve birincil enerji tüketimi ile CO₂ emisyonları arasındaki bağlantıyı panel tekniği kullanarak araştırmışlardır. Sonuçlar, çoğu ülkede CO₂ emisyonlarının enerji kaynaklı olduğunu göstermektedir. Ayrıca hem yüksek hem de düşük gelirli ülkelerde ekonomik büyümenin, CO₂ emisyonlarını arttırmada en önemli faktör olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Üst-orta gelir düzeyine sahip ülkeler ile alt-orta gelir seviyesine sahip ülkelerde, enerji tüketimi ve kentleşmenin CO₂ emisyonlarını artırdığı da elde edilen panel sonuçları arasında yer almaktadır. İnglesi-Lotz ve Dogan (2018), Sahra Altı Afrika'daki en büyük elektrik üreticisi 10 ülke için 1980-2011 dönemine ait verileri kullanarak CO₂ emisyonlarının

yenilenebilir enerji, gelir ve ticari açıklık ile ilişkisini araştırmışlardır. Analiz sonuçlarına göre yenilenebilir enerji ve ticari açıklığın karbon emisyonlarını azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sonuçlar CO₂ emisyonlarının, reel gelirin, yenilenebilir enerjinin ve ticaret açıklığının eş bütünleşik olduğunu doğrulamıştır. Pata (2018), Türkiye için 1971-2014 dönemine ait verileri kullanarak yapmış olduğu çalışmada ekonomik büyümenin, finansal gelişmenin, ithalatın ve kentleşmenin CO₂ emisyonlarını pozitif etkilediğini, ihracat ve karbonhidrat dışı enerji tüketiminin ise uzun vadede CO₂ emisyonlarını azalttığını ifade etmiştir. Pata ayrıca kişi başına düşen gelir ile CO₂ emisyonları arasında ters U şeklinde bir ilişki olduğunu öne süren EKC hipotezini de desteklemiştir. Lau, Choong, Ng, Liew ve Ching (2019) çalışmalarında, 18 OECD ülkesine ait 1995-2015 dönemi verileriyle nükleer enerji tüketimi, ticari açıklık ve karbon emisyonları ilişkisini araştırmışlardır. Çalışmanın sonuçları, yenilenebilir enerji kullanımının CO₂ emisyonlarını azalttığını ve ticaret açıklığı ile CO₂ emisyonları arasında negatif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Mahmood ve diğerleri (2019), yapmış oldukları çalışmada 1980-2014 yılı Pakistan verileri ile ekonomik büyüme, ticari açıklık ve yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre yenilenebilir enerji tüketiminin kirlilik seviyesini azaltarak CO₂ emisyonlarını azaltmada etkili olduğu, ticari açıklığın CO₂ emisyonlarını artırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca ekonomik büyümenin yaratacağı düzenleyici etki de CO₂ emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Zafar ve diğerleri (2019), Morgan Stanley Capital International'ın (MSCI's) sınıflandırmasına göre gelişmekte olan ekonomileri 1990-2015 dönemi için incelemişler ve enerji tüketimini yenilenebilir ve yenilemez olarak ayırmışlardır. EKC hipotezinin çerçevesini kullanarak, ticari açıklık ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışmanın sonuçları yenilenebilir enerjinin, ekonomik büyümenin ve ticari açıklığın CO₂ emisyonlarını arttırdığı şeklindedir. Jebli, Farhani ve Guesmi (2020), farklı gelir düzeylerine sahip ülkelerde yenilenebilir enerjinin CO₂ emisyonlarına etkisini inceledikleri çalışmada 102 ülkeye ait 1990-2015 yıllarına ait verileri kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçları alt-orta gelirli ülkeler hariç, yenilenebilir enerji tüketiminin tüm ülkelerde CO₂ emisyonlarını azalttığını ortaya koymuştur. Aydoğan ve Vardar (2020), E7 ülkeleri için 1990-2014 dönemini kapsayan analizinde CO₂ emisyonlarının ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji arasındaki dinamik ilişkisini incelemişlerdir. Elde edilen ampirik sonuçlar, CO₂ emisyonları ile reel GSYİH'nin arasındaki ilişkinin pozitif olduğunu, CO₂ emisyonları ile yenilenebilir enerji arasındaki ilişkinin ise negatif olduğunu göstermektedir. Fu, Álvarez-Otero, Sial, Comite, Zheng, Samad ve Oláh (2021), BRICS ülkeleri için kişi başına GSYİH ve yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonu ile olan ilişkisini araştırmışlardır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, kişi başına düşen GSYİH'deki artışla birlikte, CO₂ emisyonlarının da artma eğiliminde olduğunu ve dolayısıyla önemli bir pozitif ilişkinin varlığını temsil ettiğini göstermektedir. Ayrıca çalışma sonuçları, yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını azaltacağını da ifade etmektedir. Namahoro, Wu, Zhou ve Xue (2021), 1980'den 2018'e kadar olan zaman aralığını kullanarak 50 Afrika ülkesinde yenilenebilir enerji ile ekonomik büyümenin karbon emisyonlarıyla ilişkisini araştırmışlardır. Çalışma sonuçları, ekonomik büyümenin Afrika ülkelerindeki CO₂ emisyonlarını olumsuz yönde etkilediğini, yenilenebilir enerji tüketiminin de CO₂ emisyonlarını azalttığını göstermektedir. Li ve Haneklaus (2021), 1990-2020 dönemini kapsayan veriler ışığında Çin'deki kentleşmenin yenilenebilir enerji tüketiminin ve ekonomik büyümenin CO₂ emisyonları üzerinde oluşturduğu etkinin yönünü araştırmışlardır. Bulgular hem uzun hem de kısa vadede CO₂ emisyonlarının kişi başına GSYİH ile ters U şeklinde bir ilişkisi olduğunu güçlü bir şekilde desteklemektedir. Ayrıca kişi başına yenilenebilir enerji tüketiminin kısa vadede Çin'deki CO₂ emisyonlarını arttırdığı görülmektedir. Yenilenebilir enerji kullanımının karbon emisyonları üzerindeki olumsuz etkisinin uzun vadede daha da doğrulanabildiği gözlemlenmektedir. Li ve Haneklaus ayrıca kentleşme oranında meydana gelecek artışların, kişi başına düşen CO₂ emisyonlarının kontrol edilmesinde olumlu yönde etkiler yarattığına işaret etmektedirler. Abbasi Adedoyin, Abbas ve Hussain (2021), 1980-2018 dönemine ait verileri kullanarak Tayland için CO₂ emisyonları üzerinde, yenilenebilir enerji tüketiminin ve GSYİH'nin etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonuçları yenilenebilir enerjinin kısa vadede CO₂ emisyonları üzerinde olumsuz ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğunu gösterirken, GSYİH'nin, kısa ve uzun vadede CO₂ emisyonları üzerinde olumlu ve istatistiksel olarak önemli etkileri olduğunu göstermektedir. Yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını azaltmada katkısı olduğu elde edilen sonuçlar arasında yer almaktadır. Ayrıca çalışma sonuçları karbon emisyonları ile GSYİH arasında çift yönlü nedensellik ilişkisini de doğrulamaktadır. Shahnazi ve Shabani (2021), Avrupa Birliği ülkeleri için 2000-2017 yıllarına ait verileri kullanarak, CO₂ emisyonu ile yenilenebilir enerji arasındaki ilişkiyi EKC hipotezi çerçevesinde ele almışlardır. Çalışma sonuçlarına göre, Avrupa Birliği ülkelerinin kişi başına düşen GSYİH'si, CO₂ emisyonlarını başlangıçta arttırırken, daha sonra azalttığı görülmektedir. Çalışmadan elde edilen diğer bir sonuca göre ise yenilenebilir enerji tüketiminin Avrupa Birliği ülkelerinde CO₂ emisyonlarını olumsuz bir şekilde etkilediği de görülmektedir. Acheampong, Dzator ve Savage (2021), 1960-2017 dönemine ait yıllık verileri kullanarak 45 Sahra Altı Afrika ülkesi için CO₂ emisyonları ile yenilenebilir

enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmadan çıkan ampirik sonuçlar, ekonomik büyümenin karbon emisyonlarını artırdığını gösterirken, karbon emisyonları ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında nedensellik ilişkisi tespit edilmemiştir. Nathaniel, Alam, Murshed, Mahmood ve Ahmad (2021), yapmış olduğu çalışmada G7 ülkelerinde CO₂ emisyonunun azaltılması açısından nükleer enerji ile yenilenebilir enerji kullanımının yaratacağı etkileri araştırmışlardır. Çalışmada 1993-2017 dönemine ait CO₂ emisyonları, nükleer enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme verilerini kullanmışlardır. Ampirik bulgular, yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyon seviyelerindeki değişimi istatistiksel olarak açıklayamadığını göstermektedir. Ayrıca ekonomik büyüme, CO₂ emisyonlarını artırdığı için EKG hipotezi G7 ülkeleri için geçerli olmamaktadır. Chen ve diğerleri (2021), 64 ülkeye ait 2001-2019 dönem verileri ile ticari açıklığın CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini araştırmışlar ve ticari açıklıktaki iyileşmenin CO₂ emisyonları üzerinde önemli ölçüde pozitif bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Rahman, Alam ve Velayutham (2022), gelişmiş 22 ülke için 1990-2018 dönemine ait verileri kullanarak CO₂ emisyonları ile GSYİH, yenilenebilir enerji arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar yenilenebilir enerjinin ve GSYİH'nin CO₂ emisyonlarını azalttığını göstermektedir. Karaaslan ve Çamkaya (2022), 1980-2016 yıllarına ait verileri kullanarak Türkiye için GSYİH'nin ve yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonları üzerindeki uzun ve kısa vadeli etkilerini ARDL yöntemi ile araştırmışlardır. Karaaslan ve Çamkaya, uzun vadede GSYİH'nin ve yenilenebilir enerjinin CO₂ emisyonları üzerinde etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Uzun vadede yenilenebilir enerjinin karbon emisyonlarını azalttığı gözlemlenirken, kısa vadede yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonlarını artırdığı görülmektedir. Çalışma sonuçlarına göre hem uzun hem de kısa vadede GSYİH, CO₂ emisyonlarını artırmıştır. GSYİH'nin kısa vadede yarattığı CO₂ emisyon artışının uzun vadede daha az olduğu çalışma sonuçları arasında yer almaktadır. Jeon (2022), 48 ABD eyaleti için 1997-2017 yıllarına ait verileri kullanarak, CO₂ emisyonlarının ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketimiyle olan ilişkilerini araştırmıştır. Çalışmadan elde edilen temel sonuçlar, CO₂ emisyonu ve ekonomik büyüme arasında EKC hipotezini destekleyen ters U şeklinde, yenilenebilir enerji tüketimi ile CO₂ emisyonları arasında ise negatif bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Chen, Pinar ve Stengos (2022), 97 ülkenin 1995-2015 yıllarına ait verilerinin yer aldığı panel eşik modeli yöntemiyle yenilenebilir enerji tüketimi, kişi başına gelir, ticari açıklık ve kentleşmenin CO₂ emisyonlarıyla ilişkisini araştırmışlardır. Çalışmadan elde edilen bulgular, ülkelerin belirli bir yenilenebilir enerji eşikini geçmesi durumunda CO₂ emisyonlarının üzerinde yaratacağı etkinin negatif ve anlamlı olduğunu göstermektedir. Yüksek gelirli ülkelerde kişi başına düşen CO₂ emisyonlarının nispeten daha az büyüme gösterdiğini ve ticari açıklığın CO₂ emisyonlarında artışa neden olduğunu göstermektedir. Kentleşme ise belirlenen dönem ve seçilen ülke grubu için CO₂ değişkenini açıklamada anlamlılık göstermemektedir. Murshed ve diğerleri (2022), 1995-2016 verileri ile G7 ülkeleri kısıtında yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümeyi karbon emisyonları ile ilişkilendirerek çevresel etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonuçları, G7 ülkeleri için yenilenebilir enerjinin çevreyi bozduğunu ve ekonomik büyümenin çevre için zararlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca sonuçlar yenilenebilir enerji kullanımının ve ekonomik büyümenin CO₂ emisyonlarını artırdığına işaret etmektedir. Adebayo ve diğerleri (2022), Portekiz için 1980-2019 yıllarına ait veri setinden yararlanarak CO₂ emisyonu ile ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji kullanımı ve ticari açıklık arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, yenilenebilir enerji tüketimi CO₂'yi azaltırken, ticari açıklık ve ekonomik büyüme ise CO₂'yi arttırmaktadır. Ayrıca sonuçlar, yenilenebilir enerji tüketiminin Portekiz'de orta ve uzun vadede CO₂'yi azalttığını da göstermektedir. Li ve Haneklaus (2022), yapmış oldukları çalışmada 1979-2019 yılları için G7 ekonomilerinde GSYİH, yenilenebilir enerji, ticari açıklık, kentleşme ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışmanın ampirik bulgularının EKC hipotezini desteklediği görülmektedir. Çalışmanın sonuçları yenilenebilir enerjinin ve kentleşmenin CO₂ emisyonlarını azalttığını, GSYİH ve ticari açıklığın ise CO₂ emisyonlarını artırdığını göstermektedir. Awan, Abbasi, Rej, Bandyopadhyay ve Lv (2022), yapmış oldukları çalışmada, 1996-2015 yıllarını kapsayan 10 gelişmekte olan ülkeye ait verileri kullanarak yenilenebilir enerji tüketiminin, doğrudan yabancı yatırımların ve kentleşmenin çevresel bozulma ile ilişkisini analiz etmişlerdir. Çalışmadan elde edilen bulgular, yenilenebilir enerji ve GSYİH'nin CO₂'yi azaltmada etkili olduğu, doğrudan yabancı yatırımların ve kentleşmenin CO₂'yi artırdığı yönündedir. Raihan ve Tuspekova (2022), 1990'dan 2018'e kadar olan zaman serisi verilerini kullanarak Peru'daki ekonomik büyümenin ve yenilenebilir enerji kullanımının CO₂ emisyonları üzerindeki dinamik etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonuçları, ekonomik büyüme ile CO₂ emisyonları arasında pozitif ve anlamlı ilişkiye işaret ederken, yenilenebilir enerji ile CO₂ emisyonları arasında ise negatif ve anlamlı ilişkinin olduğunu göstermektedir. Ampirik bulgular, ekonomik büyümenin CO₂ emisyonlarını artırdığını, artan yenilenebilir enerji kullanımının ise Peru'da CO₂ emisyonlarını azaltarak çevre kalitesini iyileştirdiğini ortaya koymaktadır. Bekun (2022), Hindistan ekonomisi için 1990-2016 verilerini kullanarak yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin

CO₂ emisyonu ile olan ilişkisini araştırmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, yenilenebilir enerji ile CO₂ emisyonu arasında negatif ilişki görülürken, GSYİH ile CO₂ emisyonu arasında pozitif ilişkinin varlığına rastlanmıştır. Iqbal, Tang ve Rasool (2023), 2000-2018 yılları için BRICS ülke grubunda CO₂ emisyonlarının, yenilenebilir enerji tüketiminin, doğrudan yabancı yatırımların ve ihracatın ekonomik büyüme üzerinde yaratacağı etkileri panel tekniği ile araştırmışlardır. Çalışmadan elde edilen bulgular, Dumitrescu Hurlin panel nedensellik sonuçlarına göre karbon emisyonları ve ekonomik büyümenin arasında çift yönlü nedenselliğin varlığını göstermektedir. Raihan (2023), Filipinler'de ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji kullanımı ve kentleşme ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi 1990'dan 2020'ye kadar olan verileri kullanarak incelemiştir. Ampirik sonuçlara göre, Filipinler'de ekonomik büyüme ve kentleşmede yaşanan %1'lik bir artış CO₂ emisyonlarında sırasıyla %0,16, %1,25 oranında artışa neden olurken, yenilenebilir enerji tüketiminde meydana gelen %1'lik bir artış CO₂ emisyonlarında %1,50 oranında azalışa neden olduğu görülmektedir. Pata, Dam ve Kaya (2023) çalışmalarında, 6 ASEAN ülkesine ait 1995-2018 dönemi verileriyle ARDL tahmincisini ve Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testini kullanarak çevresel EKC hipotezi altında CO₂ emisyonlarının belirleyicilerini analiz etmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonuçlarına göre, yenilenebilir enerjin karbon emisyonlarını yalnızca kısa vadede azalttığı, uzun vadede çevre kalitesi üzerinde hiçbir etkisinin bulunmadığı görülmüştür. Ampirik sonuçlar, ticari açıklık ve reel gelirin CO₂ emisyonlarını azalttığını gösterirken, doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonlarını artırdığını göstermektedir. Alam ve Hossain (2024), 1990-2019 yıllarını kapsayan veri seti ile Çin'deki ekonomik büyümenin ve yenilenebilir enerji kullanımının CO₂ emisyonlarını nasıl etkilediğini Panel ARDL yöntemi ile araştırmışlardır. Bulgular, yüksek bir ekonomik büyümenin karbon emisyonlarını artırarak çevresel bozulmaya neden olduğu yönündedir. Çalışmadan çıkan bir diğer sonuç ise, yenilenebilir enerji kullanımının CO₂ emisyonlarını uzun vadede azaltacak olmasıdır. Işık, Bulut, Ongan, İslam ve Irfan (2024), 27 OECD ülkesi için 2001-2020 dönem verileri ile yenilenebilir enerji tüketiminin ve ekonomik büyümenin CO₂ emisyonu ile ilişkisini araştırmışlardır. Bulgular, ekonomik büyümenin CO₂ emisyonlarını artırdığı yönündedir. Yenilenebilir enerji tüketimi ve CO₂ emisyonları için analizden çıkan sonuçlar ise negatif ilişkilidir. Kısacası yenilenebilir enerji tüketiminin daha düşük CO₂ emisyonlarına sebep olacağı, çalışmadan çıkartılabilecek sonuçlar arasında yer almaktadır. Idroes ve diğerleri (2024) Endonezya'ya ait 1965-2022 verilerini kullanarak, CO₂ emisyonları ile reel GSYİH ve yenilenebilir enerji tüketimi ilişkisini araştırmışlardır. Çalışma sonuçları, yenilenebilir enerji kullanımının CO₂ emisyonlarını azaltma yönünde eğilim gösterdiğini, ekonomik büyümenin ise karbon emisyonlarında artışa neden olduğunu ifade etmektedir. You, Li ve Waqas (2024), 2000-2021 dönemi için toplam CO₂ emisyonları açısından en üst sırada yer alan ekonomileri kapsayan panel verilerini kullanarak, yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyümenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Araştırmacılar, CO₂ emisyonlarıyla ekonomik büyüme arasında tek yönlü nedensel bağlantı bulmuşlardır. Ekonomik büyümede meydana gelecek değişiklikler CO₂ emisyonlarını etkilerken, CO₂ emisyonlarında meydana gelecek değişikliklerin ekonomik büyümeyi karşılıklı olarak etkilemediğine işaret etmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarında, yenilenebilir enerjinin araştırılan dönemde CO₂ emisyonlarında bir azalmaya yol açtığını da ifade etmektedirler. Akbar ve diğerleri (2024), SAARC ülkelerindeki karbon emisyonlarını araştırmak amacıyla 1971-2020 dönemini kapsayan panel veri kümelerini kullanmışlardır. Kentleşme, yenilenebilir enerji, ekonomik kalkınma ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi panel tekniği ile araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, yenilenebilir enerji tüketimi CO₂ emisyonlarını azaltırken, kentleşme ve ekonomik büyümede meydana gelen artışlar CO₂ emisyonlarının yükselmesine neden olmaktadır.

Veri seti ve yöntem

Bu bölümde ekonometrik analiz için gerekli değişkenlerin tanımları ile birlikte mevcut çalışmada kullanılan metodoloji açıklanmaktadır.

Bu çalışmanın örnekleminde, bölgesel politikalar ile farklı enerji ve ekonomik yapıların etkilerini derinlemesine inceleyebilmek için Dünya Bankası'nın gelir sınıflandırması temel alınmış ve üst-orta ile yüksek gelir gruplarını temsil eden, kıtalar arasında dengeli dağılıma sahip 33 ülke seçilmiştir. Böylece farklı gelir düzeylerine, coğrafi konumlara ve kalkınma aşamalarına sahip ekonomilerin sürdürülebilir kalkınma, enerji verimliliği ve çevre politikalarına yönelik dinamikleri bütüncül bir bakış açısıyla analiz edilebilmektedir. Veri erişilebilirliği ile eksik gözlemler göz önünde bulundurularak oluşturulan panel veri seti, 2000-2022 dönemini kapsamaktadır.

Bu araştırmada, çevresel bozulma kişi başına karbondioksit (CO₂) emisyonları ile temsil edilirken, refah düzeyi kişi başına düşen gayri safi yurt içi hasılanın büyüme oranı (Gdp) aracılığıyla ölçülmektedir. Yenilenebilir enerji (Rew) ise toplam nihai enerji tüketimine oranı olarak refahın bir diğer göstergesi olarak ele alınmaktadır. Orijinal STIRPAT modelinde yer alan toplam nüfus değişkeninin aksine, bu

analizde literatürde sıklıkla tercih edildiği üzere kentleşme oranı (Urb) değişkeni kullanılmıştır. Bu seçimin temel gerekçesi, incelenen ülkelerdeki demografik yapıyı daha hassas bir şekilde yansıtabilmektir. Ayrıca, literatürdeki çalışmalara paralel olarak, ticaret açıklığı (Top) ve doğrudan yabancı yatırımlar (Fdi) gibi ek değişkenler modele dahil edilerek analiz kapsamı genişletilmiştir. Bunun nedeni, Vo, Ho ve Vo (2023) çalışmasında da belirttiği üzere söz konusu değişkenlerin yalnızca CO₂ emisyonları için önemli faktörler olması değil, aynı zamanda teknoloji gelişimini yönlendirmede de önemli bir rol oynamasıdır. Bu nedenle, STIRPAT modelinin genişletilmiş bir versiyonu aşağıdaki gibidir. Kullanılan model şu şekilde ifade edilmektedir:

$$(\ln CO_{2it}) = f(Gdp_{it} + \ln Rew_{it} + Urb_{it} + Top_{it} + \ln Fdi_{it}) \quad (4)$$

Regresyon formu şu şekildedir:

$$\ln CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 Gdp_{it} + \beta_2 \ln Rew_{it} + \beta_3 Urb_{it} + \beta_4 Top_{it} + \beta_5 \ln Fdi_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

Burada t dönemi, i ülkeyi temsil etmektedir.

Tablo 1’de değişkenlerin kısaltması ve tanımını ile ölçüm metodu verilmektedir. Değişkenlere ait veriler Dünya Bankası’nın veri tabanı olan Dünya Kalkınma Göstergelerinden alınmıştır.

Tablo 1: Değişkenlere Ait Tanımlamalar

Değişken	Açıklama
lnCO ₂	CO ₂ emisyonları (kişi başına metrik ton)
Gdp	Kişi başına GSYİH büyüme oranı
lnRew	Yenilenebilir enerji (Toplam enerji kullanımında yenilenebilir enerjinin payı)
Urb	Kentleşme oranı
Top	Mal ve hizmet ihracat ve ithalatının GSYİH içindeki payı
lnFdi	Net doğrudan yabancı yatırımlar

CO₂’nin ülke gruplarında belirleyicilerini analiz etmeden önce ülke gruplarını oluşturabilmek için CO₂ emisyonlarına dayalı K-ortalama yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu ülkeler, emisyon oranları ile orantılı olarak düşük, orta ve yüksek olacak şekilde 3 kümeye ayrılmış ve kümeleme analizi gerçekleştirilmiştir. Oluşan her küme için bağımsız değişkenlerin farklı noktalarda emisyonlara etkisi kantil regresyon ile araştırılmış ve çalışmada Stata 17 yazılımı kullanılmıştır.

K-ortalama kümeleme

Kümeleme, verilerdeki kümeler olarak adlandırılan benzerlik gruplarını bulmaya yönelik bir tekniktir. MacQueen (1967) tarafından geliştirilen K-ortalama kümeleme yöntemi, veri kümelerini kümelere ayırmak için yaygın olarak kullanılan en popüler ve etkili kümeleme tekniklerinden biridir.

K-ortalamlar kümelemesi yapılarak aynı alt gruptaki (kümedeki) veri noktalarının birbirine çok benzemesini, veri noktalarının ise her kümede farklı olması sağlanabilmektedir (Zuhroh, Rofik ve Echchabi, 2021: 3). Başka bir deyişle, veri noktalarının her kümede bir benzerlik ölçüsüne göre mümkün olduğunca yakın olması için veriler içinde homojen alt gruplar oluşturulmaya çalışılmaktadır.

Karesel hata kriterini kullanan k-ortalamlar kümelemesinin kullandığı algoritma ile verileri, merkezleri veya ortalamaları ile temsil edilen ve önceden belirlenen k kümeye ($c_1, c_2, \dots, c_k$) ayırmak mümkündür. Bunu yaparken, nesnelerin kümelere yeni atamaları yapılamayana kadar nesnelerin en yakın mevcut küme ortalamasına atanmasını ayarlamaya devam eder Buradaki amaç, küme içi benzerliği maksimize etmek, küme dışı benzerliği ise minimize etmektir. (Popat ve Emmanuel, 2014: 806, Jain, 2010: 653-654). Kullanılan algoritma adımları aşağıdaki gibidir (Basel, Gopakumar ve Rao, 2021: 3922):

1- k adet küme merkezi seçilir.

2- Her veri noktası, en yakın merkez olan kümeye atanır: $x_i \in C_j \leftrightarrow \|x_i - \mu_j\|^2 \leq \|x_i - \mu_l\|^2 \forall l \in C_j$ ifadesi küme merkezi yani ağırlıklı ortalamayı ifade ederken, $\|x_i - \mu_j\|^2$ ifadesi ise veri noktası ile küme merkezi arasındaki öklidyen mesafenin karesidir.

3- Her küme için merkez yeniden hesaplanır:

$$\mu_j = \frac{1}{|C_j|} \sum_{x_i \in C_j} x_i$$

4- Kümeler sabitlemeye kadar 2. ve 3. adımlar tekrarlanır.

Kantil regresyon

Koenker ve Bassett'in (1978) öncü çalışmasıyla temelleri atılan kantil regresyonu, geleneksel ortalama temelli regresyon analizlerinden farklılaşarak, bağımlı değişkenin koşullu dağılımının çeşitli noktalarındaki açıklayıcı değişkenlerin etkilerini tahmin etmeye olanak tanıyan bir ekonometrik yöntemdir (Lamarche, 2021: 2). Başka bir deyişle, bu yöntem, bağımsız değişkenlerin etkilerinin yalnızca bağımlı değişkenin ortalaması üzerindeki etkisini değil, aynı zamanda medyan, yüzdelikler (kantiller) ve genel olarak dağılımın farklı kesimleri üzerindeki değişimlerini de inceleme imkanı sunmaktadır (Şimşek ve Bulut, 2024: 395).

Ayrıca birçok çalışma ile bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenin koşullu dağılımındaki farklı noktalarda değişen etkilere sahip olduğunu dağılımındaki farklı kantil regresyon analizlerinin kullanıldığını göstermektedir. Bu heterojen etkilerin, sıradan en küçük kareler yöntemi gibi ortalama regresyon teknikleriyle bulunamayan yararlı bilgiler sağladığı kanıtlanmıştır (Albulesc, Tiwari, Yoon ve Kang, 2019: 3).

Kantil regresyon modelleri, araştırmacının gözlemlenemeyen heterojenliği ve heterojen yardımcı değişken etkilerini hesaba katmasına olanak tanırken, panel verilerinin kullanılabilirliği, araştırmacının bazı gözlemlenemeyen yardımcı değişkenleri kontrol etmek için sabit etkileri dahil etmesine olanak tanımaktadır (Canay, 2011: 368).

Geleneksel en küçük kareler regresyonu karesel hataların toplamını minimize ederken, kantil regresyonunda medyan regresyon tahmincisi mutlak hataların toplamını minimize etmektedir. Mutlak hataların asimetrik olarak ağırlıklandırılmış bir toplamı en aza indirilerek, kalan koşullu kantil fonksiyonları tahmin edilir. Kantil regresyonunun formülü şu şekildedir (Xu ve Lin, 2023: 3);

$$y_i = x_i' \beta_\theta + \mu_{\theta i}, 0 < \theta < 1 \quad (6)$$

$$Quant_\theta(y_i|x_i) = x_i' \beta_\theta \quad (7)$$

Burada Quant kantil regresyonunu, θ ise kantil noktasını temsil etmektedir. " x " açıklayıcı değişken vektörünü, y ise bağımlı değişken vektörünü ifade etmektedir.

Çalışmada eş zamanlı panel kantil regresyonu kullanılmıştır. Kantil regresyonu genel bir biçimde şu şekilde ifade edilmektedir:

$$Q_t \left(\frac{\ln CO_{2it}}{x_{it}} \right) = \alpha_\theta + \beta_\theta x_{it} + \epsilon_{it} \quad (8)$$

Burada CO₂ emisyonları için lnCO₂ sonuç değişkenidir. Kişi başına ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji, kentleşme, ticari açıklık ve doğrudan yabancı yatırımları içeren bağımsız değişkenlerin vektörü X sembolü ile gösterilmektedir. Artık hataların minimize edilmesi, eşitlik (8)'de belirtilen kantil regresyonundaki parametrelerin tahmin edilmesiyle elde edilecektir.

CO₂ verileri bazı ülkelerde daha fazla emisyon yayarken bazılarında daha az yaymaktadır. Bu da CO₂ verisinin çarpık ve heterojen özelliklerde olduğunu göstermektedir. Kantil regresyonu CO₂'nin tüm koşullu dağılımını analiz etme imkânı sunmaktadır. Bu sayede, bağımsız değişkenlerin emisyonun farklı kantilleri (örneğin, alt, orta ve üst dilimleri) üzerindeki heterojen etkileri incelenebilir, bu da emisyonların davranışının daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını mümkün kılmaktadır.

Ampirik bulgular

Araştırmaya konu olan 33 ülkenin CO₂ emisyonlarını üç kategoride (yüksek, orta, düşük) kümelemek ve sınıflandırmak için k-ortalamalar kümeleme algoritması kullanılmıştır. Ölçek farklılıklarının kümeleme sonuçlarını etkilemesini önlemek amacıyla, K-ortalama analizi öncesinde tüm değişkenler, yaygın bir standartlaştırma yöntemi olan Z-skorlarına dönüştürülerek analizler gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçlarına göre ülkelerin bulunduğu kümeler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: K-Ortalamalar Kullanılarak Ülkelerin CO₂ Emisyonlarına Göre Sınıflandırılması

Küme	Ülkeler
1	Brezilya, Şili, Kolombiya, Kosta Rika, Yeni Zelanda, Peru, İsveç
2	Bulgaristan, Çin, Hindistan, Endonezya, Kazakistan, Malezya, Hollanda, Polonya, Romanya, Tayland
3	Arjantin, Avustralya, Kanada, Mısır, Fransa, Almanya, Japonya, Kore, Meksika, Suudi Arabistan, Güney Afrika, İspanya, Tunus, Türkiye, ABD

Burada 1. Küme en düşük CO₂ emisyonları ortalamasına sahip grupken 3. Küme ise en yüksek CO₂ emisyonları ortalamasına sahip grubu ifade etmektedir. Oluşturulan 3 kümenin özelliklerini analiz etmeden önce kümeler arasında anlamlı bir fark olup olmadığını görmek için tek yönlü ANOVA analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: K-ortalama Kümeleme Analizi ANOVA Sonuçları

Değişken	Kareler Toplamı	sd	Ortalama Kare	F-İstatistiği	p-Olasılık
CO ₂	129,95	2	64,9	78,95	0,0000
Gdp	77,63	2	38,8	43,36	0,0000
Rew	403,60	2	20,8	53,96	0,0000
Urb	272,90	2	36,4	21,22	0,0000
Top	175,07	2	87,53	15,09	0,0000
Fdi	41,56	2	20,78	21,99	0,0000

Not: Değişkenlerin standartlaştırılmış değerleri hesaplanarak oluşturulmuştur. Sadeleştirme açısından logaritması alınan değişkenlerden ln ifadesi kaldırılmıştır

Tek yönlü ANOVA analizi sonucunda elde edilen yüksek F-istatistikleri ve istatistiksel anlamlılığı gösteren düşük p-olasılık değerleri, oluşturulan kümeler arasında incelenen değişkenler açısından belirgin farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, CO₂ emisyonları, ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji kullanımı, kentleşme, ticari açıklığı ve yabancı yatırımların, kümelenen ülkeler arasında önemli ölçüde ayrışma yarattığını göstermektedir. Diğer bir ifade ile CO₂ emisyonlarının kümeler göre farklılaştığı ve bağımsız değişkenlerin tamamıyla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak elde edilen K-ortalama ile kümeleme analizi ile her kümedeki ülkelerin CO₂ emisyonları başta olmak üzere, ekonomik ve çevresel göstergeler açısından belirgin ve tutarlı farklılıklar sergilediği anlaşılmaktadır. Analize konu olan ülkelerin oluşturduğu kümelerin ortalama değerleri ve Jarque-Bera testi ile yapılan normallik testi Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4: Özet İstatistikler

Değişken	Küme 1 (Düşük CO ₂)	Küme 2 (Orta CO ₂)	Küme 3 (Yüksek CO ₂)
CO ₂	3,46	6,27	8,47
Gdp	2,14	4,02	1,32
Top	55,96	90,86	55,60
Rew	35,45	16,57	10,58
Urb	81,32	57,46	75,46
Fdi	3,88	5,31	2,07
Çarpıklık (Kurtosis)	2,58	2,62	2,54
J-B İstatistiği	24,13** (0,001)	7,47** (0,024)	37,56** (0,001)
Obs	154	220	352

Not: () içindeki değer Jarque-Bera istatistiğinin olasılık değerini göstermektedir. ** %5 anlamlılığı ifade eder

Tablo 4'e göre 1. Küme düşük CO₂ emisyonları, yüksek yenilenebilir enerji kullanımı ve yüksek kentleşme, 2. Küme orta düzey CO₂ emisyonları, yüksek ticaret açıklığı ile yüksek büyüme oranı ve 3. Küme ise yüksek CO₂ emisyonları ve düşük yenilenebilir enerji kullanımının olduğu görülmektedir. Söz konusu üç küme içinde Jarque-Bera istatistiği %5 anlamlılık seviyesinde normallik varsayımı reddedilmektedir. Normal dağılımdan sapma olduğundan dolayı daha güvenilir sonuçlar elde edebilmek için modelin tahmin edilmesinde panel kantil regresyon yöntemi kullanılmaktadır.

Bu sonuçlarla çalışmada elde edilen 3 kümenin özellikleri, panel kantil regresyon yöntemiyle incelenmiştir. 1. Kümede yer alan ve ortalama olarak düşük CO₂ emisyonu ile yüksek yenilenebilir enerji payına sahip ülkelerde farklı kantil düzeylerinde söz konusu değişkenlerin emisyon üzerindeki etkilerinde önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu küme için CO₂ emisyonu üzerindeki belirleyici faktörlerin, farklı kantil değerlerindeki regresyon katsayıları aşağıdaki Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5: 1. Küme için CO₂ Emisyonu Kantil Regresyon Sonuçları

Değişken	0,10Q	0,25Q	0,50Q	0,75Q	0,90Q
Gdp	-0,005 (0,856)	-0,050 **** (0,055)	-0,056 (0,334)	-0,020 (0,697)	0,064 (0,112)
Rew	-0,022** (0,049)	-0,024** (0,016)	-0,04** (0,034)	-0,108* (0,000)	-0,188* (0,000)
Urb	0,169* (0,000)	0,163* (0,000)	0,177* (0,000)	0,250* (0,000)	0,264* (0,000)
Top	0,025* (0,000)	0,034* (0,000)	0,046* (0,000)	0,071* (0,000)	0,054* (0,000)
Fdi	0,0165 (0,671)	-0,058*** (0,094)	-0,152** (0,049)	-0,330* (0,000)	-0,067 (0,200)
Cons	-12,34* (0,000)	-11,485* (0,000)	-11,525* (0,000)	-14,727* (0,000)	-12,60* (0,000)
R ²	0,31	0,36	0,47	0,56	0,60

Not: Her bir hücredeki ilk satır tahmin edilen katsayıları () içinde gösterilen ikinci satır ilgili katsayıların olasılık değerlerini göstermektedir. *, **, *** ve **** sırasıyla %1, %5 ve %10'luk anlamlılığı gösterir.

Gdp değişkeninin katsayısı 1. kümede düşük kantillerde negatifken, en üst kantilde ise pozitifte dönmektedir. Bu durum, söz konusu ülkelerde ekonomik büyümenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin kantile göre yön değiştirebildiğini ve sadece 0,25'lik kantilde, düşük emisyonlu ülkelerde kişi başına büyümenin emisyonları bir miktar azaltabildiğini göstermektedir. Diğer kantillerde etkiler istatistiki olarak anlamsızdır. Rew değişkeninin katsayıları ise tüm kantillerde negatif ve istatistiki olarak anlamlıdır. Yüksek emisyon düzeylerinde yenilenebilir enerjideki artışın emisyonları azaltıcı etkisinin daha güçlü olduğu görülmektedir. Bu bulgu, yenilenebilir enerji kullanımının özellikle yüksek emisyonlu dönem ve ülkelerde karbon emisyonunu düşürmede kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Urb değişkeni kantillerin tamamında CO₂ emisyonlarını artıran bir faktör olarak ortaya çıkmakta ve kentleşmenin emisyonları artırıcı etkisi üst kantillere güçlenmektedir. Top değişkeninin, CO₂ üzerindeki etkisi tüm kantillerde pozitif ve istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. Top arttıkça CO₂ emisyonları da artma eğilimindedir, özellikle 0,75'lik kantilde bu etki en yüksek düzeydedir. Bu kümedeki ülkeler için ticari açıklık oranının artması, ekonomik faaliyetleri ve dolayısıyla enerji kullanımını artırarak, karbon emisyonlarını yükseltmektedir. Fdi değişkeninin CO₂ üzerindeki etkisi 0,25, 0,50 ve 0,75'lik kantiller de negatif ve istatistiki olarak anlamlı olduğu gözlemlenmiştir. 0,75'lik kantilde doğrudan yabancı yatırımların emisyonları en güçlü azaltıcı etki seviyesine ulaşılmıştır. Bu sonuçlara göre doğrudan yabancı yatırımların yüksek olduğu durumlarda CO₂ emisyonları belirgin biçimde daha düşüktür. 1. küme genelinde, modelin R² değerleri %31- %60 aralığında değişmektedir. Bu durum bağımsız değişkenlerin CO₂ varyansının anlamlı bir kısmının açıklanabildiğini göstermektedir. Sonuç olarak, 1. kümede Rew ve Fdi değişkenleri CO₂ emisyonlarını düşürücü, Urb ve Top değişkenleri ise arttırıcı etkiler yaparken, Gdp etkisi net bir yön sergilememektedir. Bu etkilerin büyüklüğü emisyon dağılımının alt veya üst dilimlerinde önemli farklılıklar göstermektedir.

2. küme, CO₂ emisyonları orta düzeyde olmasına rağmen güçlü büyüme hızlarına ve yüksek ticari açıklık ile doğrudan yabancı yatırım oranlarına sahip ülkelerden oluşmaktadır. 2. küme için CO₂ emisyonu üzerindeki belirleyici faktörlerin, farklı kantil değerlerindeki regresyon katsayıları aşağıdaki Tablo 6'da gösterilmektedir:

Tablo 6: 2. Küme için CO₂ Emisyonu Kantil Regresyon Sonuçları

Değişken	0,10Q	0,25Q	0,50Q	0,75Q	0,90Q
Gdp	0,067 (0,196)	0,008 (0,794)	-0,047 (0,164)	-0,059 (0,173)	0,024 (0,772)
Rew	-0,136* (0,000)	-0,165* (0,000)	-0,188* (0,000)	-0,215* (0,000)	-0,296* (0,000)
Urb	0,043** (0,014)	0,050* (0,000)	0,068* (0,000)	0,066* (0,000)	0,047*** (0,063)
Top	0,001 (0,940)	-0,010** (0,001)	-0,019* (0,000)	-0,027* (0,000)	-0,036* (0,000)
Fdi	0,042** (0,017)	0,030** (0,006)	0,019 (0,102)	0,006 (0,665)	0,009 (0,973)
Cons	3,814** (0,004)	5,937* (0,000)	7,227* (0,000)	9,478* (0,000)	12,953* (0,000)
R ²	0,54	0,62	0,63	0,58	0,56

Not: Her bir hücredeki ilk satır tahmin edilen katsayıları () içinde gösterilen ikinci satır ilgili katsayıların olasılık değerlerini göstermektedir. *, **, *** ve **** sırasıyla %1, %5 ve %10'luk anlamlılığı gösterir.

Bu kümede, Gdp'nin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi tüm kantillerde istatistiksel olarak anlamsız olarak bulunmuştur. Dolayısıyla büyümenin emisyonlara etkisinin tutarlı bir yönü olmadığı görülmektedir. Rew oranı her kantilde CO₂ emisyonlarını güçlü biçimde azaltıcı bir etkiye sahiptir.

Katsayılar oldukça yüksek negatif seviyelerde başlayıp kantiller yükseldikçe etkininde büyüdüğü görülmektedir. Örneğin 0,90 'lık kantilde yenilenebilir enerji kullanımındaki %1'lik artış yaklaşık %0,29 oranında CO₂ azalmasına yol açmaktadır. Bu sonuç, Rew değişkeninin 2. Kümede CO₂ emisyonlarını belirleyen en güçlü faktör olduğunu işaret etmektedir. Urb değişkeni bu kümede tüm kantiller de pozitif ve anlamlı bir değişken olarak görülmektedir. Urb'nin etkisi medyan kantilde (0,50) 0,068 ile en yüksek değeri alırken, en yüksek kantilde (0,90) 0,047 ile bir miktar düştüğü görülmektedir. Urb değişkeni, kentleşme oranları artarken ekonomik yapıyı ve enerji talebini dönüştürerek CO₂ emisyonlarını yükselttiğini göstermektedir. Top değişkeni ise 1. Kümenin aksine negatif bir etki ortaya çıkardığı görülmektedir. Top değişkeninin medyan kantilde -0,197 ile en yüksek değeri almıştır. Ticari açıklık oranında %1'lik bir artış %0,19'luk CO₂ emisyonlarında bir azalmaya yol açmaktadır. Bu durum, dış ticaretin teknoloji transferi ve daha temiz üretim biçimlerini teşvik ederek emisyonları azaltıcı bir rol oynayabileceğini işaret etmektedir. Fdi değişkeninin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi düşük kantillerde (0,10 ve 0,25) pozitif ve istatistiki olarak anlamlı iken yüksek kantillerde anlamsızdır. Bu da doğrudan yabancı yatırımların ilk aşamada sanayileşme ve yatırımları teşvik ederek emisyonları artırabileceğini fakat yüksek kantillerde etkinin kaybolacağını göstermektedir. Model uyumu, özellikle medyan kantilde R² = 0,63 ile en yüksek değeri alarak, bağımsız değişkenlerin CO₂ emisyonlarındaki varyasyonun önemli bir bölümünü açıkladığını ortaya koymaktadır.

En yüksek CO₂ emisyon düzeylerini gösteren 3. küme için CO₂ emisyonu üzerindeki belirleyici faktörlerin, farklı kantil değerlerindeki regresyon katsayıları Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7: 3. Küme için CO₂ Emisyonu Kantil Regresyon Sonuçları

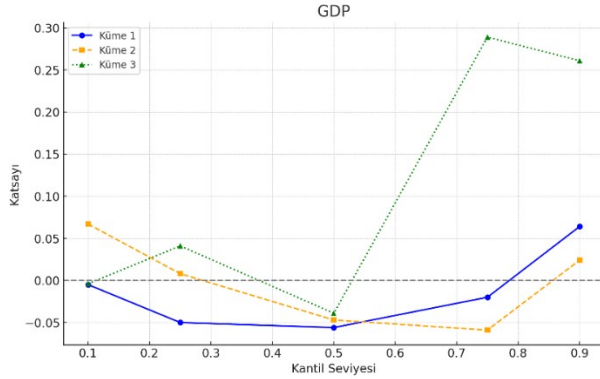
Değişken	0,10Q	0,25Q	0,50Q	0,75Q	0,90Q
Gdp	-0,004 (0,873)	0,041 (0,549)	-0,039 (0,741)	0,289** (0,010)	0,261** (0,001)
Rew	-0,097* (0,000)	-0,227* (0,000)	-0,245** (0,003)	0,054*** (0,056)	0,098*** (0,064)
Urb	0,047* (0,000)	0,139* (0,000)	0,184* (0,000)	0,320* (0,000)	0,364* (0,000)
Top	0,013* (0,000)	-0,023** (0,069)	0,002 (0,896)	-0,094* (0,000)	-0,101* (0,000)
Fdi	0,008 (0,915)	-0,008 (0,948)	0,000 (0,998)	0,316 (0,160)	0,362** (0,017)
Cons	0,045 (0,930)	-1,410 (0,437)	-4,145 (0,182)	-7,940 (0,007)	-9,905 (0,000)
R ²	0,14	0,13	0,15	0,24	0,32

Not: Her bir hücredeki ilk satır tahmin edilen katsayıları () içinde gösterilen ikinci satır ilgili katsayıların olasılık değerlerini göstermektedir. *, **, *** ve **** sırasıyla %1, %5 ve %10'luk anlamlılığı gösterir.

3. kümede Gdp, yüksek kantillerde CO₂ emisyonunu artıran önemli bir faktör haline gelmektedir. Yüksek emisyon dilimlerinde, ekonomik büyüme hızlandığında CO₂ emisyonlarında ciddi artışlar görülmektedir. Bu grupta yer alan ülkelerin, büyüme dönemlerinde enerji tüketimi ve sanayi üretiminin artması ile emisyonların da belirgin şekilde yükseldiği söylenebilir. Düşük ve orta emisyon dilimlerinde ise Gdp'nin etkisi istatistiksel olarak saptanamamıştır. Rew değişkeninin emisyonları azaltıcı etkisi alt kantillerde ve medyan kantilde görülürken üst kantillerde emisyonu artıran etkileri gözlenmektedir. Bu durum, 3. Kümede yer alan ülkelerde yenilenebilir enerji kullanımının belli bir eşiğe kadar emisyonları azalttığı, ancak emisyonun çok yüksek olduğu dilimlerde bu etkinin ortadan kalktığını göstermektedir. Urb değişkeni ise tüm kantillerde güçlü pozitif bir etkiye sahiptir. Urb'nin emisyonları üzerindeki etkisi kantiller yükseldikçe artmaktadır. En üst kantilde diğer iki kümeye göre etki en yüksek seviyeye ulaşmıştır. 3. Kümedeki yüksek kentleşme oranları, altyapı, ulaşım ve tüketim faaliyetlerini yoğunlaştırarak CO₂ emisyonlarını ciddi ölçüde artırdığı ifade edilebilmektedir. Top değişkeninin bu kümedeki etkisi kantillere göre değişken olmakla birlikte genelde negatif bir etkisi olduğu görülmektedir. En alt 0,10 'luk kantilde emisyonları artırıcı bir etki gösterirken üst kantillerde CO₂ emisyonlarını azaltıcı etkisi ortaya çıkmaktadır. Medyan kantildeki etkisi ise 0,002 ile istatistiki olarak anlamsızdır. Bu kümede yüksek emisyon dilimlerinde ticari açıklığın artmasının CO₂ emisyonlarını azaltmaya yardımcı olduğunu söylenebilmektedir. Fdi değişkeninin CO₂ emisyonlarına etkisi sadece en üst kantilde pozitif ve istatistiki olarak anlamlıdır. 3. Kümede, yabancı yatırımlardaki artış özellikle en yüksek emisyon diliminde, CO₂'yi artırıcı yönde bir faktör olarak ortaya çıkmıştır. Bu sonuç, sermaye akışlarının serbest olduğu ortamlarda (özellikle gelişmiş ekonomilerde), dönemsel veya konjonktürel olarak karbon yoğun yatırımların artabileceğini düşündürmektedir. Modelin açıklayıcılık düzeyinin ise üst kantiller de daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile en yüksek emisyon değerlerinde bağımsız değişkenlerin açıklama gücü daha yüksektir.

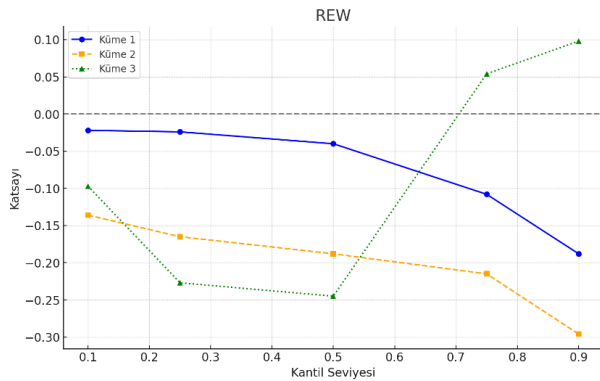
Tartışma

CO₂ emisyonlarının beş temel belirleyicisini (kişi başına GSYİH büyüme oranı, yenilenebilir enerji payı, kentleşme, ticari açıklık ve doğrudan yabancı yatırımlar) üç farklı ülke kümesi üzerinden kantil-regresyon yöntemiyle incelemiştir. Bulgular, emisyon belirleyicilerinin hem ülke grubuna hem de emisyon dağılımındaki kantile göre belirgin biçimde heterojen olduğunu göstermektedir.



Şekil 1: Gdp'nin Kantil Regresyon Katsayılarının Kümelere Göre Dağılımı

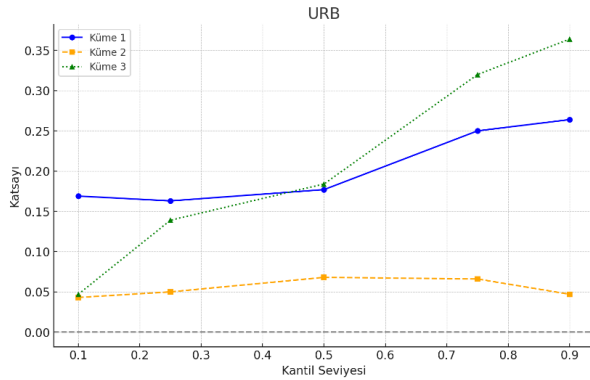
Şekil 1'de kişi başına büyüme oranı katsayılarının her üç küme için kantillere göre değişimi görülmektedir. 1. Küme için büyüme katsayısı tüm kantillerde sıfıra yakın seyretmekte ve sadece 0,25'lik kantilde istatistiki olarak anlamlıdır. 2. Küme için hafif bir U-şekilli desen görülmekle birlikte katsayılar istatistiksel olarak anlamlı değildir ve tüm kantillerde küçük değerlerde kalmaktadır. Bu, 2. Küme'de ekonomik büyümenin emisyonları etkileme düzeyinin sınırlı olduğunu göstermektedir. En çarpıcı durum ise 3. Kümede ortaya çıkmaktadır. Bu grupta farklı gelir ve gelişmişlik düzeyindeki ülkeler bulunmaktadır. Orta kantillere kadar etkisiz kalan büyüme, yüksek kantillerde anlamlı biçimde pozitifleşmekte ve EKC hipotezine kısmen ters düşmektedir. Elde edilen bulgu, You vd. (2024) yüksek CO₂ emisyonlarına sahip ülkeler için yapmış oldukları çalışmayı desteklemektedir. EKC'ye göre zengin ülkelerde büyümenin çevresel etkisi nötr veya hatta negatif (iyileştirici) olmalıdır. Ancak bizim analiz dönemimiz (2000-2022) itibarıyla bu ülkelerde henüz tam bir ayrışma gerçekleşmediği, büyümenin özellikle yüksek emisyon dönemlerinde hala fosil yakıt tüketimini artırdığı söylenebilir. Nitekim, Jardón vd. (2017) çalışmalarında ekonomik büyüme ve CO₂ ilişkisinin her zaman basit bir ters-U şeklinde olmadığını vurgulamışlardır. 1. ve 2. küme ülkelerinde büyüme katsayılarının düşük çıkması, bu ülkelerde emisyonların daha çok enerji karışımı ve teknoloji gibi faktörlere bağlı olabileceğini, büyümenin etkisinin ise diğer değişkenler sabitken çok belirgin olmadığını düşündürmektedir. Bu noktada, literatürde de kurumsal ve teknolojik faktörlerin büyüme-emisyon ilişkisindeki belirleyici rolüne dikkat çekilmektedir. Churchill vd. (2018), OECD ülkelerinde 1870-2014 dönemi için yaptıkları çalışmada, uzun vadede büyümenin emisyon üzerindeki etkisinin ülkenin bulunduğu gelişme düzeyine göre değiştiğini göstermiştir. Çevresel teknolojiler ve enerji verimliliği artmış olsa da özellikle en yüksek emisyon dilimlerinde büyümenin getirdiği tüketim ve üretim artışının emisyon azaltıcı tedbirleri geride bıraktığını göstermektedir. Sonuç olarak, büyüme-emisyon ilişkisinin yönü ve şiddeti, her bir kümenin kalkınma düzeyi ve ekonomik yapısına göre değişmektedir. Bizim bulgularımız da benzer şekilde, ekonomik büyümenin çevresel sonuçlarının tek tip olmadığını, ülkenin gelişmişlik ve emisyon seviyesine göre farklılaştığını ortaya koymaktadır.



Şekil 2: Rew'in Kantil Regresyon Katsayılarının Kümelere Göre Dağılımı

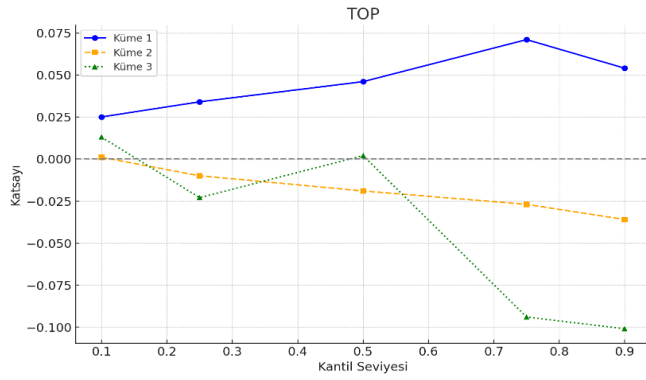
Yenilenebilir enerji kullanımının CO₂ emisyonlarına etkisi, farklı kantillerde ve kümelere çarpıcı bir biçimde değiştiği Şekil 2'de görülebilmektedir. Küme 1 ve Küme 2'de tüm kantillerde negatif ve giderek

artan mutlak değere sahiptir, bu da yenilenebilir kapasitenin fosil yakıt ikamesini özellikle yüksek emisyon dilimlerinde güçlendirdiğini göstermektedir. Başka bir deyişle, emisyon düzeyi yükseldikçe yenilenebilir enerjinin marjinal faydası artmaktadır. Küme 3'te ise medyana kadar negatif kalan katsayılar, üst kantillerde pozitif dönmektedir, toplam enerji talebinin fosil bağımlılığı sürdürdüğü anlaşılmaktadır. Bu, düşük ve orta emisyon seviyelerinde yenilenebilir enerji payının artmasının emisyonları azalttığını gösterir ve diğer kümelerle tutarlıdır. Üst kantillerde ise yüksek emisyon dilimlerinde yenilenebilir enerji kullanımındaki artışın emisyonları artırıcı yönde bir etki yaptığı görülmektedir. Bu durum, bu ülkelerde yenilenebilir enerji kullanımının artmasına rağmen toplam enerji tüketiminin çok büyük olması ve fosil yakıt tüketiminin de hala yüksek paya sahip olması ile açıklanabilir. Diğer bir ifade ile yüksek emisyon dönemlerinde fosil yakıt kullanımının baskınlığı veya toplam enerji talebinin çok yüksek olması nedeniyle, yenilenebilir kaynaklardaki artış toplam emisyonu düşürmeye yetmemektedir. Kimi çalışmalar altyapı eksiklikleri veya eşzamanlı ekonomik büyüme nedeniyle yenilenebilir enerjinin tek başına karbon emisyonlarını düşüremeyeceğini belirterek, toplam enerji politikalarının ve fosil yakıt kullanımındaki mutlak azalmanın önemini vurgulamaktadır (Murshed vd. 2022, Aydoğan ve Vardar 2020, Mahmood vd. 2019, Zafar vd., 2019). Genel olarak, bulgular çoğu ülke grubunda yenilenebilir enerjinin artışının CO₂'yi azalttığı yönündeki kanı ile uyumludur (Işık vd. 2024; Adebayo vd. 2022; Chen vd. 2022).



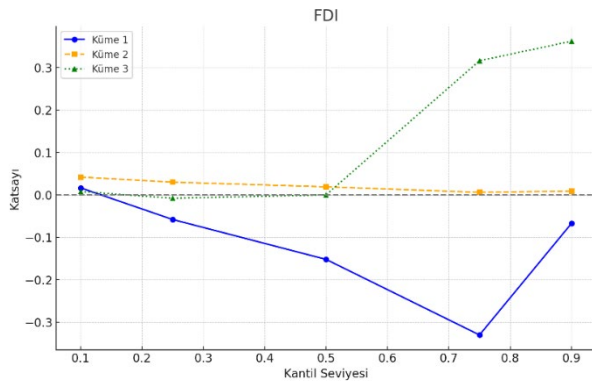
Şekil 3: Urb'nin Kantil Regresyon Katsayılarının Kümelere Göre Dağılımı

Şekil 3'te gösterilen Urb değişkeninin CO₂ emisyonlarına etkisi incelenen tüm kümelerde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı ancak etkisinin şiddeti kantile ve kümeye göre değişmektedir. 1. Kümede kentsel nüfus oranının artması, alt ve orta emisyon dilimlerinde bile belirgin bir CO₂ artışı yaratırken, en yüksek emisyon diliminde bu etki daha da güçlü hale gelmektedir. Fakat 1. kümede genel katsayı seviyesinin 0,2-0,3 bandı arasında seyretmesi, bu etkinin makul düzeylerde olduğunu göstermektedir. Bu sebeple bu kümeye ait ülkelerde kentleşmenin belirli bir doygunluğa ulaştığını veya daha temiz kent teknolojileri sayesinde en yüksek düzeyde bile sınırlı bir etki yarattığı söylenebilir. 2. Kümede kentleşmenin emisyonları artırıcı etkisinin görece zayıf olduğu, kantiller arasında ciddi bir fark olmadığı görülmektedir. Sonuç itibarıyla, 2. Kümede kentleşme-emisyon ilişkisi pozitif olmakla beraber, bu ilişkinin şiddeti 1. ve 3. Kümelere kıyasla oldukça ılımlıdır. 3. Kümede ise kentleşme kantillerde sürekli ve güçlü bir artış göstermektedir. Bu durum kentleşmenin düşük emisyon dilimlerinde dahi emisyonları artırdığı, en yüksek emisyon dilimlerinde ise bu etkinin çok kuvvetlendiği anlamına gelmektedir. Kentsel nüfus artışı, daha fazla enerji talebi, ulaşım yoğunluğu ve sanayileşme ile ilişkili olduğundan, literatürde genellikle CO₂ emisyonlarını yükseltici bir faktör olarak tanımlanmaktadır (Arvin vd. 2015, Maiti ve Agrawal, 2005). Özetle, Urb değişkeninin katsayı analizine göre tüm kümelerde kentleşme emisyonları artırmaktadır, ancak etkisinin şiddeti 3. Kümede en yüksek, 1. kümede orta, 2. kümede ise en düşüktür. Bu da kümelerin muhtemel sosyoekonomik ve altyapısal farklılıklarını yansıtmaktadır. Ma ve Ogata (2024) çalışmasında kentleşme oranının CO₂ emisyonlarını genel olarak azalttığını, ancak etkinin OECD dışı ülkelerde belirgin, OECD içinde ise istatistiksel olarak önemsiz kaldığını bulmuşlardır. Bu bulgu sonuçların bölgesel enerji karışımına duyarlı olduğunu ifade ettiğinden çalışmamızı desteklemektedir. Politik olarak, özellikle 3. Küme ülkelerinde sürdürülebilir şehir planlaması ve temiz ulaşım-enerji çözümleri hayati önem taşımaktadır. Ayrıca literatürde bazı araştırmalarda, daha yüksek kentleşme ile birlikte teknolojik yenilikler ve daha verimli enerji kullanımı sayesinde uzun vadede kentleşmenin emisyon artışını yavaşlatabileceği veya tersine döndürebileceği ifade edilmiştir. 2. Küme de yüksek kantilde gözlemlenen nispi düşüş, böyle bir tersine dönme göstergesi olarak yorumlanabilir (Martínez-Zarzoso ve Maruotti, 2011; Yao vd., 2018; Gieraltowska, Asyngier, Nakonieczny ve Salahodjaev (2022); Ma ve Ogata 2024).



Şekil 4: Top'un Kantil Regresyon Katsayılarının Kümelere Göre Dağılımı

Şekil 4 ile Top değişkeninin CO₂ emisyonlarına etkisinin üç kümede kantil düzeylerine göre seyrini gösterilmiş olup her kümede farklı etkiler gözlenmiştir. 1. Küme de tüm kantillerde ticari açıklık arttıkça CO₂ emisyonları da artış göstermektedir. Artan ticaretin, bu ülkelerdeki potansiyel olarak karbon yoğun sektörlerde üretimi, taşımacılığı ve uzmanlaşmayı artırarak daha yüksek karbon emisyonlarını ortaya çıkarmış olduğu söylenebilir. 2. kümede ise bütün kantillerde negatif etki göstermektedir. Bu kümede bulunan ülkelerin küresel ekonomik entegrasyon yoluyla daha temiz teknolojilere erişim sağlaması enerji verimliliğini artırmış olabilir. Ticari açıklık teknik etkileri dolayısıyla diğer bir ifade ile temiz teknoloji ithalatı ve verimlilik kazanımları yoluyla emisyonu düşürebilmektedir. Yüksek emisyonlu kantillerde ticari açıklığın karbon emisyonlarını azaltıcı etkisi daha güçlüdür. Başka bir ifadeyle, ülkeler dışa açıldıkça "kirlilik halesi" oluşur; çevresel performans zamanla iyileşir ve karbon ayak izi daralmaktadır (Destek vd., 2016; İnglesi-Lotz ve Doğan, 2018; Lau vd., 2019; Aydoğan ve Vardar, 2020). 3. Kümede ticari açıklığın karbon emisyonları üzerindeki etkisi değişkendir. Düşük kantil seviyelerinde ticari açıklık emisyonları azaltırken, orta kantillerde bu etki negatife dönmektedir. Kısaca ticari açıklığın CO₂ emisyonlarına etkisi incelendiğinde 2. Kümede tek yönlü sürekli negatif etki görülürken, 1. ve 3. kümede net olmayan bir ilişki söz konusudur. Ticaret artışı sanayileşmeyi ve dolayısıyla emisyonları artırırken (Chen vd., 2021; Li ve Haneklaus, 2022), günümüzde yüksek emisyon seviyelerinde ticari açıklık, emisyonları azaltıcı bir rolle ilişkilidir. Özellikle gelişmiş ekonomiler, karbon yoğun ürünleri ithal edip kendi ülkelerindeki emisyonları düşürebilmektedir (Zhou, Guan ve He 2025: 3). Dolayısıyla ticaret-politika etkileşimlerinin ülke gruplarına göre farklı mekanizmalarla işlediği söylenebilmektedir.



Şekil 5: Fdi'in Kantil Regresyon Katsayılarının Kümelere Göre Dağılımı

Şekil 5'e göre Fdi değişkeninin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi, her kümede farklı yön ve büyüklükte gözlemlenmektedir. 1. Küme için Fdi katsayıları, düşük kantilde nötr iken 0,25'lik kantilden itibaren negatif değerlere yönelmekte ve 0,75 kantil civarında en yüksek mutlak değere ulaşırken en üst kantilde etkisi azalmıştır. 1. Küme için doğrudan yabancı yatırımların artmasının orta-yüksek emisyon dilimlerinde emisyonları azaltıcı etkisi olduğu görülmektedir. Başka bir ifadeyle, yabancı yatırım girişleri bu ülkelerdeki temiz teknoloji kullanımına veya üretimde verimli alanlara yönelerek emisyonların azaltılmasına katkı sağlamıştır. 2. Küme için Fdi katsayıları düşük kantillerde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıyken kantiller yükseldikçe etkisi giderek küçülmeğe ve istatistiksel olarak anlamsız hale gelmektedir. Bu sonuç, sanayileşme süreçlerinin başında olan ülkelerde yabancı yatırım girişlerinin genellikle imalat sanayi ve altyapı projelerine yönelerek emisyonları artırmış olduğu söylenebilir. Diğer bir ifade ile doğrudan yabancı yatırımlar başlangıçta daha kirlenici faaliyetleri çekip emisyonları artırmıştır. 3. Küme için Fdi etkisi genellikle pozitif ve en yüksek kantilde belirgin hale

gelmektedir. Düşük ve orta kantillerde katsayılar çok küçük ve istatistiki olarak anlamsız olmakla birlikte 0,90'lık kantilde Fdi katsayısı en yüksek değerindedir. Bu durum genel olarak yabancı yatırımların emisyon üzerinde bir etkisi olmadığını, fakat en üst emisyonda Fdi'nin fosil yakıt kullanımını artırabileceğini göstermektedir. Söz konusu küme ülkelerinin kendi teknolojik üstünlüğüyle emisyonlarını kontrol edebildiğini fakat bazı kırılma dönemlerinde yabancı sermayeyi çevreye duyarlı yatırımlara kanalize etmede nispeten zorlandığını ifade edebiliriz. Sonuç itibarıyla doğrudan yabancı yatırımın emisyonlara etkisini, ülkelerin yatırım kompozisyonuna, yatırımları düzenleyici çerçevesine ve içinde bulunduğu kalkınma aşamasına göre değiştiğini ifade edebiliriz. Çin sanayi sektörlerinde Ren vd. (2014), Fdi'nin emisyonu artırdığını ortaya koyarak "pollution-haven" etkisini desteklemiştir. BRICS ülkelerinde Zakarya vd. (2015) da benzer pozitif ilişki bulmuştur. Öte yandan 10 gelişmekte ülkeye yönelik kantil analizi yapan Awan vd. (2022), üst kantillerde kirletici, alt kantillerde nötr veya temizleyici sonuçlara ulaşarak bulgularımızı desteklemektedir.

Sonuç ve öneriler

Bu çalışma, CO₂ emisyonlarının beş temel belirleyicisini—kişi başına GSYİH büyüme oranı (Gdp), yenilenebilir enerji payı (Rew), kentleşme oranı (Urb), ticari açıklık (Top) ve doğrudan yabancı yatırımlar (Fdi)—üç farklı emisyon kümesi üzerinden (Küme 1: düşük CO₂, Küme 2: orta CO₂, Küme 3: yüksek CO₂) panel kantil-regresyon yöntemiyle incelemiştir. Kantil regresyon gibi esnek analiz yöntemleri ile aykırı değerlerin ve veri heterojenliğinin etkilerini azaltmak mümkün olabilmektedir. Kantil regresyon analizinin sonuçları, CO₂ emisyonları üzerindeki bağımsız değişken etkilerinin, ülkelerin benzerliklerine göre oluşturulan kümelerde önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Çalışmadaki bulgular, bu faktörlerin ülkelerin emisyon seviyelerine göre farklı etkilerinin olduğunu ortaya koyarak, hedefe yönelik ve ülke koşullarına uygun çevre politikalarının gerekliliğini vurgulamaktadır. Böylece, makale sonuçları hem bilimsel anlamda CO₂ emisyonlarının belirleyicilerini anlamak hem de politika yapıcılar için sürdürülebilir çevre yönetimi geliştirebilmek açısından büyük önem arz etmektedir.

Büyüme-CO₂ dinamiği incelendiğinde, büyümenin çevresel maliyeti kantile ve ülke kümesine göre keskin biçimde farklılaştığı görülmektedir. Emisyon seviyesi arttıkça ölçek etkisinin baskın hâle geldiğini doğrulamaktadır. Özellikle 3. Kümede yüksek emisyon dilimlerinde dahi büyümenin CO₂'yi artırması, bu grupta ölçek etkisinin enerji verimliliği kazanımlarını gölgede bıraktığını göstermektedir. Yüksek emisyon kümesinde büyümenin karbon yoğunluğunu sınırlamak için, fosil yakıt kullanımına yönelik karbon fiyatlandırması ve yenilik teşvikleri eş zamanlı uygulanmalıdır. Yenilenebilir enerji, CO₂ ilişkisine baktığımızda Küme 1 ve 2'deki tutarlı negatiflik, yenilenebilir enerjinin etkili bir dekarbonizasyon aracı olduğunu teyit ederken; Küme 3'teki işaret değişimi, yüksek emisyon bağlamlarında yalnızca kapasite artışının yetmediğini vurgulamaktadır. Kısacası yenilenebilir enerji CO₂'yi genelde azaltırken, yüksek emisyon kantillerinde tamamlayıcı altyapı eksikliği ters yönde etki doğurabilir. Yüksek emisyonlu ülkeler için öncelik, kömür ve petrol gibi fosil yakıtları kademeli olarak devreden çıkarmak, her ton karbona ekonomik bir bedel yükleyen bir sistemin kurulması gerekebilir. Ayrıca politika yapıcılar yenilenebilir enerji, elektrikli ulaşım ağı ile enerji verimli binaları içeren geniş kapsamlı yeşil altyapı yatırımlarını hızla uygulamayı düşünebilirler. Kentleşme-CO₂ ilişkisi ise bütün kümelerde pozitif; kırsaldan kente nüfus akışı enerji tüketimini artırmaktadır. Özellikle yüksek emisyon dilimlerinde kentsel enerji dönüşümünün aciliyet kazandığı görülmektedir. Özellikle yüksek emisyonlu ülkelerde kent içi ulaşımında yenilenebilir tabanlı bölgesel enerji ağları kullanımı artırılmalıdır. Büyüyen kentlerin karbon ayak izini sınırlamak için kompakt şehir planlaması ve bina verimliliği teşvikleri kritik görünmektedir. Ticari açıklığın CO₂ üzerindeki etkisi hem ülke kümelerine hem de emisyon dağılımının konumuna bağlı olarak yön değiştirdiği için ortalama bir katsayı kullanmak bu karmaşık dinamiği gizleyebilir. Küme 1'de her kantilde CO₂'yi artırırken, Küme 2'de tutarlı biçimde negatif olup kirlilik halesi mekanizmasını işaret etmektedir. Küme 3'te ise etkiler düşük kantillerde negatif, orta kantillerde pozitif, üst kantillerde yeniden negatifleşmiştir; bu, emisyon-yoğun ticaret desenlerinin teknolojik ithalatla dengelenebileceğini göstermektedir. Kısaca, ticari açıklığın çevresel sonuçları, emisyon yoğunluğunun belirleyici olduğu ölçek ve teknoloji etkilerinin dinamik etkileşimi ile farklılaşmaktadır. Politika yapıcılar, temiz üretim standartlarını içeren ticaret anlaşmalarını, özellikle orta-yüksek emisyon kantillerinde karbon azaltımını destekleyecek biçimde tasarlamalıdır.

Doğrudan yabancı yatırımlar- CO₂ ilişkisinde ise Küme 1'de orta-yüksek kantillerde negatif katsayılar, temiz teknoloji transferi olasılığını desteklemektedir. Küme 2'de kantillerinde pozitif, üst kantillerde önemsizdir diğer bir ifade ile kirletici yatırımların zamanla azaldığı izlenimini vermektedir. Küme 3'te ise üst kantilde güçlü pozitif katsayı, kirlilik cenneti riskini açığa çıkarmaktadır. Bulgular küme ve kantil duyarlı politikaların gerekliliğini vurgulamaktadır: düşük emisyon kümeleri için yenilenebilir enerji

yatırımları ve temiz kentleşme öncelikli iken; orta emisyon kümelerinde ticaret ve Fdi kanalları yoluyla teknoloji ithali etkin olmaktadır; yüksek emisyon kümelerinde ise fosil faz çıkışı, karbon fiyatlandırması ve kapsamlı yeşil altyapı yatırımları aciliyet taşımaktadır. İlişkinin yönü ve şiddeti hem ülke kümesine hem de emisyon kantiline bağlıdır. Temiz teknoloji aktarımıyla kirlilik halesi oluşturmak mümkünken, düzenleyici zafiyetler kirlilik cennetine dönüşme riskini beraberinde getirir. Yüksek emisyonlu ülkelerde yabancı yatırımlar, yeşil projeler ve karbon-düşük teknolojilere yönlendirilmek üzere düzenleyici teşvikler ve zorunlu çevresel standartlarla koşullandırılmalıdır.

Analiz sonucunda elde edilen bulguların farklılaşması, politika yapıcılarının her bir değişkenin etkisini ülke gruplarının özgün koşullarına göre değerlendirmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Özellikle yüksek kantil analizleri, en olumsuz senaryolarda ilgili faktörlerin ne kadar güçlü etkiler yaratabileceğini gösterdiği için, sürdürülebilir kalkınma stratejilerinde bu riskli durumların dikkate alınması önemlidir. Sonuçlar hem küresel hem de bölgesel düzeyde farklı kalkınma kümelerine özgü çevre politikalarının tasarlanmasına rehberlik edebilir. Böylece, emisyon azaltımında etkili ve hedefe yönelik stratejilerin geliştirilmesi mümkün olacaktır.

Hakem Değerlendirmesi / Peer-review:

Dış bağımsız

Externally peer-reviewed

Çıkar Çatışması / Conflict of interests:

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

The authors have no conflict of interest to declare.

Finansal Destek / Grant Support:

Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

The authors declared that this study has received no financial support.

Yazar Katkıları / Author Contributions:

Fikir/Kavram/Tasarım - *Idea/Concept/ Design*: S.U.K., T.Ö., O.G., Veri Toplama ve/veya İşleme - *Data Collection and/or Processing*: S.U.K., Analiz ve/veya Yorum - *Analysis and/or Interpretation*: S.U.K. Kaynak Taraması - *Literature Review*: T.Ö., Makalenin Yazımı - *Writing the Article*: S.U.K., T.Ö., O.G., Eleştirel İnceleme - *Critical Review*: S.U.K., O.G., Giriş ve Teorik Çerçeve - *Introduction and Theoretical Framework*: O.G., Onay - *Approval*: S.U.K., T.Ö., O.G.,

Kaynakça / References

- Abbasi, M. A., Nosheen, M. & Rahman, U. H. (2023). An approach to the pollution haven and pollution halo hypotheses in Asian countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 49270–49289. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25548-x>
- Abbasi, K. R., Adedoyin, F. F., Abbas, J., & Hussain, K. (2021). The impact of energy depletion and renewable energy on CO₂ emissions in Thailand: Fresh evidence from the novel dynamic ARDL simulation. *Renewable Energy*, 180, 1439-1450.
- Acheampong, A. O., Dzator, J., & Savage, D. A. (2021). Renewable energy, CO₂ emissions and economic growth in sub-Saharan Africa: Does institutional quality matter? *Journal of Policy Modeling*, 43(5), 1070-1093.
- Adebayo, T. S., Oladipupo, S. D., Adeshola, I., & Rjoub, H. (2022). Wavelet analysis of impact of renewable energy consumption and technological innovation on CO₂ emissions: Evidence from Portugal. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(16), 23887-23904.
- Akbar, A., Gul, A., Sohail, M., Hedvicakova, M., Haider, S.A., Ahmad, S. & Iqbal, S. (2024). Yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi: SAARC'tan ampirik kanıtlar. *Uluslararası Enerji Ekonomisi ve Politikası Dergisi*, 14 (1), 141-149.

- Alam, M.B. & Hossain, M.S. (2024). Çin'in ekonomik büyümesi, yenilenebilir enerji kullanımı ve CO₂ emisyonlarıyla ilgili araştırma ve geliştirme arasındaki bağlantıları araştırmak: Bir ARDL Sınır Testi Yaklaşımı. *Teknolojik Tahmin ve Sosyal Değişim*, 201, 123220
- Albulescu, C. T., Tiwari, A. K., Yoon, S. M., & Kang, S. H. (2019). FDI, income, and environmental pollution in Latin America: Replication and extension using panel quantiles regression analysis. *Energy Economics*, 84, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104504>
- Al Sayed, A. R. & Sek, S. K. (2013). Environmental Kuznets curve: Evidences from developed and developing economies. *Applied Mathematical Sciences*, 7(22), 1081-1092.
- Andrew, R. M. (2020). A comparison of estimates of global carbon dioxide emissions from fossil carbon sources. *Earth System Science Data*, 12(2), 1437-1465. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1437-2020>
- Arvin, M. B., Pradhan, R. P., & Norman, N. R. (2015). Transportation intensity, urbanization, economic growth, and CO₂ emissions in the G-20 countries. *Utilities Policy*, 35, 50-66. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.07.003>
- Awan, A., Abbasi, K. R., Rej, S., Bandyopadhyay, A. & Lv, K. (2022). The impact of renewable energy, internet use and foreign direct investment on carbon dioxide emissions: A method of moments quantile analysis. *Renewable Energy*, 189, 454-466.
- Aydoğan, B. & Vardar, G. (2020). Evaluating the role of renewable energy, economic growth and agriculture on CO₂ emission in E7 countries. *International Journal of Sustainable Energy*, 39(4), 335-348.
- Azam, M. & Qayyum Khan, A. (2016). Testing the Environmental Kuznets Curve hypothesis: A comparative empirical study for low, lower middle, upper middle and high income countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 556-567. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.052>
- Bargaoui, S. A., Liouane, N. & Nouri, F. Z. (2014). Environmental impact determinants: An empirical analysis based on the STIRPAT model. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 109, 449-458.
- Basel, S., Gopakumar, K. U. & Rao, R. P. (2021). Classification of countries based on development indices by using K-means and grey relational analysis. *GeoJournal*, 3915-3933. <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10479-2>
- Bashir, M. F. (2022). Discovering the evolution of Pollution Haven Hypothesis: A literature review and future research agenda. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 48210-48232. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20782-1>
- Bekun, F. V. (2022). Mitigating emissions in India: accounting for the role of real income, renewable energy consumption and investment in energy. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(1), 188-192
- Bhattacharya, M., Churchill, S. A. & Paramati, S. R. (2017). The dynamic impact of renewable energy and institutions on economic output and CO₂ emissions across regions. *Renewable Energy*, 111, 157-167.
- Canay, I. A. (2011). A simple approach to quantile regression for panel data. *The Econometrics Journal*, 14(3), 368-386. <https://doi.org/10.1111/j.1368-423X.2011.00349.x>
- Chen, C., Pinar, M. & Stengos, T. (2022). Renewable energy and CO₂ emissions: New evidence with the panel threshold model. *Renewable Energy*, 194, 117-128.
- Chen, F., Jiang, G. & Kitila, G. M. (2021). Trade openness and CO₂ emissions: The heterogeneous and mediating effects for the belt and road countries. *Sustainability*, 13(4), 1958. <https://doi.org/10.3390/su13041958>
- Chertow, M. R. (2000). The IPAT Equation and its variants. *Journal of Industrial Ecology*, 4(4), 13-27, <https://doi.org/10.1162/10881980052541927>
- Churchill, S. A., Inekwe, J., Ivanovski, K. & Smyth, R. (2018). The environmental Kuznets curve in the OECD: 1870-2014. *Energy economics*, 75, 389-399. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.09.004>
- Dale, G. (2014). Adam Smith's Green Thumb and Malthus's Three Horsemen: Cautionary Tales from Classical Political Economy. *Journal of Economic Issues*, 46(4), 859-879. <https://doi.org/10.1080/13563467.2019.1598964>

- Destek, M. A., Balli, E. & Manga, M. (2016). The relationship between CO₂ emission, energy consumption, urbanization and trade openness for selected CEECs. *Research in World Economy*, 7(1), 52-58. <https://doi.org/10.5430/rwe.v7n1p52>
- Dietz, T. & Rosa, E. A. (1994). Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology. *Human Ecology Review*, 1(2), 277-300.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431-455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Doğan, E. & Türkekel, B. (2016). CO₂ emissions, real output, energy consumption, trade, urbanization and financial development: testing the EKC hypothesis for the USA. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 1203-1213.
- Fischer-Kowalski, M. & Amann, C. (2001). Beyond IPAT and Kuznets Curves: Globalization as a vital factor in analysing the environmental impact of socio-economic metabolism. *Population and Environment*, 23, 7-47. <https://doi.org/10.1023/A:1017560208742>
- Fu, Q., Álvarez-Otero, S., Sial, M. S., Comite, U., Zheng, P., Samad, S., & Oláh, J. (2021). Impact of renewable energy on economic growth and CO₂ emissions—evidence from BRICS countries. *Processes*, 9(8), 1281.
- Fujii, E. (2019). What does trade openness measure? *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 81(4), 868-888. <https://doi.org/10.1111/obes.12275>
- Gierałtowska, U., Asyngier, R., Nakonieczny, J. & Salahodjaev, R. (2022). Renewable energy, urbanization, and CO₂ emissions: A global test. *Energies*, 15(9), 3390. <https://doi.org/10.3390/en15093390>
- Ginevičius, R., Lapinskienė, G. & Peleckis, K. (2017). The Evolution of the environmental Kuznets curve concept: The Review of the research. *Panoeconomicus*, 64(1), 93,112. <https://doi.org/10.2298/PAN150423012G>
- Gollin, D., Jedwab, R. & Vollrath, D. (2015). Urbanization with and without industrialization. *Journal of Economic Growth*, 21, 35-70. DOI 10.1007/s10887-015-9121-4
- Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO₂ emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1156-1164.
- Hickel, J. & Kallis, G. (2019). Is green growth possible? *New Political Economy*, 25(4), 469-486. <https://doi.org/10.1080/13563467.2019.1598964>
- Hossain, M. S. (2011). Panel estimation for CO₂ emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries. *Energy Policy*, 39(11), 6991-6999.
- Idroes, G. M., Hardi, I., Rahman, M. H., Afjal, M., Noviandy, T. R., & Idroes, R. (2024). The dynamic impact of non-renewable and renewable energy on carbon dioxide emissions and ecological footprint in Indonesia. *Carbon Research*, 3(1), 35.
- Inglesi-Lotz, R., & Dogan, E. (2018). The role of renewable versus non-renewable energy to the level of CO₂ emissions a panel analysis of sub-Saharan Africa's Big 10 electricity generators. *Renewable Energy*, 123, 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.041>
- Iqbal, A., Tang, X., & Rasool, S. F. (2023). Investigating the nexus between CO₂ emissions, renewable energy consumption, FDI, exports and economic growth: evidence from BRICS countries. *Environment. Development and Sustainability*, 25(3), 2234-2263.
- Işık, C., Bulut, U., Ongan, S., Islam, H. ve Irfan, M. (2024). Ekonomik büyümenin, yenilenebilir enerjinin, internet kullanımının ve mineral kiralalarının CO₂ emisyonlarını nasıl etkilediğini araştırmak: 27 OECD ülkesi için bir panel kantil regresyon analizi. *Kaynaklar Politikası*, 92, 105025.
- Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 651-666. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.011>
- Jardón, A., Kuik, O., & Tol, R. S. (2017). Economic growth and carbon dioxide emissions: An analysis of Latin America and the Caribbean. *Atmósfera*, 30(2), 87-100. <https://doi.org/10.20937/atm.2017.30.02.02>

- Jebli, M. B., Farhani, S., & Guesmi, K. (2020). Renewable energy, CO₂ emissions and value added: Empirical evidence from countries with different income levels. *Structural Change and Economic Dynamics*, 53, 402-410.
- Jeon, H. (2022). CO₂ emissions, renewable energy and economic growth in the US. *The Electricity Journal*, 35(7), 107170.
- Karaaslan, A., & Çamkaya, S. (2022). The relationship between CO₂ emissions, economic growth, health expenditure, and renewable and non-renewable energy consumption: Empirical evidence from Turkey. *Renewable Energy*, 190, 457-466
- Koop, G. & Tole L. (1999). Is there an environmental Kuznets curve for deforestation? *Journal of Development Economics*, 58(1), 231-244. [https://doi.org/10.1016/S0304-3878\(98\)00110-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3878(98)00110-2)
- Lamarche, C. (2021). Quantile regression for panel data and factor models. In *Oxford Research Encyclopedia of Economics and Finance*. Erişim Adresi: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190625979.013.669>
- Lau, L. S., Choong, C. K., Ng, C. F., Liew, F. M., & Ching, S. L. (2019). Is nuclear energy clean? Revisit of Environmental Kuznets Curve hypothesis in OECD countries. *Economic Modelling*, 77, 12-20.
- Li, B., & Haneklaus, N. (2021). The role of renewable energy, fossil fuel consumption, urbanization and economic growth on CO₂ emissions in China. *Energy Reports*, 7, 783-791.
- Li, B., & Haneklaus, N. (2022). Reducing CO₂ emissions in G7 countries: The role of clean energy consumption, trade openness and urbanization. *Energy Reports*, 8, 704-713.
- Li, W., Yang, G. & Li, X. (2019). Modeling the evolutionary nexus between carbon dioxide emissions and economic growth. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1191-1202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.100>
- Lin, B., & Xu, B. (2018). Factors affecting CO₂ emissions in China's agriculture sector: A quantile regression. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 15-27.
- Ma, B., & Ogata, S. (2024). Impact of urbanization on carbon dioxide emissions—evidence from 136 countries and regions. *Sustainability*, 16(18), 7878. <https://doi.org/10.3390/su16187878>
- Mahmood, N., Wang, Z., & Hassan, S. T. (2019). Renewable energy, economic growth, human capital, and CO₂ emission: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 20619-20630.
- Maiti, S., & Agrawal, P. K. (2005). Environmental degradation in the context of growing urbanization: a focus on the metropolitan cities of India. *Journal of Human Ecology*, 17(4), 277-287.
- Martínez-Zarzoso, I., & Maruotti, A. (2011). The impact of urbanization on CO₂ emissions: evidence from developing countries. *Ecological Economics*, 70(7), 1344-1353. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.02.009>
- Murshed, M., Saboori, B., Madaleno, M., Wang, H., & Doğan, B. (2022). Exploring the nexuses between nuclear energy, renewable energy, and carbon dioxide emissions: the role of economic complexity in the G7 countries. *Renewable Energy*, 190, 664-674.
- Namahoro, J. P., Wu, Q., Zhou, N., & Xue, S. (2021). Impact of energy intensity, renewable energy, and economic growth on CO₂ emissions: Evidence from Africa across regions and income levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 111233.
- Narayan, P. K., Saboori, B., & Soleymani, A. (2016). Economic growth and carbon emissions. *Economic Modelling*, 53, 388-397.
- Nathaniel, S. P., Alam, M. S., Murshed, M., Mahmood, H., & Ahmad, P. (2021). The roles of nuclear energy, renewable energy, and economic growth in the abatement of carbon dioxide emissions in the G7 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(35), 47957-47972.
- Pata, U. K. (2018). The influence of coal and noncarbohydrate energy consumption on CO₂ emissions: revisiting the environmental Kuznets curve hypothesis for Turkey. *Energy*, 160, 1115-1123.
- Pata, U. K., Dam, M. M., & Kaya, F. (2023). How effective are renewable energy, tourism, trade openness, and foreign direct investment on CO₂ emissions? An EKC analysis for ASEAN countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 14821-14837.

- Popat, S. K., & Emmanuel, M. (2014). Review and comparative study of clustering techniques. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(1), 805-812.
- Rahman, M. M., Alam, K., & Velayutham, E. (2022). Reduction of CO₂ emissions: The role of renewable energy, technological innovation and export quality. *Energy Reports*, 8, 2793-2805.
- Raihan, A. (2023). The dynamic nexus between economic growth, renewable energy use, urbanization, industrialization, tourism, agricultural productivity, forest area, and carbon dioxide emissions in the Philippines. *Energy Nexus*, 9, 100180.
- Raihan, A., & Tuspekova, A. (2022). The nexus between economic growth, renewable energy use, agricultural land expansion, and carbon emissions: New insights from Peru. *Energy Nexus*, 6, 100067.
- Ren, S., Yuan, B., Ma, X., & Chen, X. (2014). The impact of international trade on China's industrial carbon emissions since its entry into WTO. *Energy Policy*, 69, 624-634.
- Sadorsky, P. (2014). The effect of urbanization on CO₂ emissions in emerging economies. *Energy economics*, 41, 147-153.
- Shahbaz, M., Loganathan, N., Muzaffar, A. T., Ahmed, K., & Jabran, M. A. (2016). How urbanization affects CO₂ emissions in Malaysia? The application of STIRPAT model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 83-93.
- Shahbaz, M., Nasreen, S., Ahmed, K. & Hammoudeh, S. (2017). Trade openness-carbon emissions nexus: The importance of turning points of trade openness for country panels. *Energy Economics*, 61, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.11.008>
- Sharma, S. S. (2011). Determinants of carbon dioxide emissions: Empirical evidence from 69 countries. *Applied Energy*, 88(1), 376-382.
- 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.
- Shahnazi, R. & Shabani, Z. D. (2021). The effects of renewable energy, spatial spillover of CO₂ emissions and economic freedom on CO₂ emissions in the EU. *Renewable Energy*, 169, 293-307.
- Squalli, J. & Wilson, K. (2011). A new measure of trade openness. *The World Economy*, 34(10), 1745-1770. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9701.2011.01404.x>
- Stern, D. I. (2004). The Rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development*, 32(8), 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Şimşek, A. İ., & Bulut, E. (2024). Nonlinear relationships between the participation index and key financial assets: A quantile regression analysis. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(3), 390-401.
- Talaat, M., Farahat, M. A. & Elkholy, M. H. (2019). Renewable power integration: Experimental and simulation study to investigate the ability of integrating wave, solar and wind energies. *Energy*, 170, 668-682. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.171>
- Unruh, G. C. (2000). Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 28(12), 817-830. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00070-7)
- Uttara, S., Bhuvandas, N. & Aggarwal, V. (2012). Impacts of urbanization on environment. *IJREAS*, 2(2), 1637-1645.
- Vo, D. H., Ho, C. M., & Vo, A. T. (2023). Trade openness, financial development, and urbanization in the renewable energy-growth-environment nexus. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 18(1), 2240784. <https://doi.org/10.1080/15567249.2023.2240784>
- Wen, L., Cao, Y., & Weng, J. (2015). Factor decomposition analysis of China's energy-related CO₂ emissions using extended STIRPAT Model. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(5).
- Xu, B., & Lin, B. (2023). Assessing the green energy development in China and its carbon reduction effect: using a quantile approach. *Energy Economics*, 126, 106967. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106967>
- Yao, X., Kou, D., Shao, S., Li, X., Wang, W., & Zhang, C. (2018). Can urbanization process and carbon emission abatement be harmonious? New evidence from China. *Environmental Impact Assessment Review*, 71, 70-83. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.04.005>

- York, R., Rosa, E. A. & Dietz, T. (2003). STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 46(3), 351-365. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)
- You, Z., Li, L., & Waqas, M. (2024). How do information and communication technology, human capital and renewable energy affect CO₂ emission; new insights from BRI countries. *Heliyon*, 10(4).
- Zafar, M. W., Mirza, F. M., Zaidi, S. A. H., & Hou, F. (2019). The nexus of renewable and nonrenewable energy consumption, trade openness, and CO₂ emissions in the framework of EKC: evidence from emerging economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 15162-15173.
- Zakarya, G. Y., Mostefa, B., Abbès, S. M., & Seghir, G. M. (2015). Factors affecting CO₂ emissions in the BRICS countries: A panel data analysis. *Procedia Economics and Finance*, 26, 114-125. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00890-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00890-4)
- Zhou, R., Guan, S., & He, B. (2025). The Impact of trade openness on carbon emissions: Empirical evidence from emerging countries. *Energies*, 18(3), 697. <https://doi.org/10.3390/en18030697>
- Zuhroh, I., Rofik, M., & Echchabi, A. (2021). Banking stock price movement and macroeconomic indicators: k-means clustering approach. *Cogent Business & Management*, 8(1), 1980247. *Finance*, 26, 114-125. <https://doi.org/10.1080/23311975.2021.1980247>