Pamukkale Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi
Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute
ISSN 1308-2922 E-ISSN 2147-6985

Article Info/Makale Bilgisi
√Received/Geliş:01.10.2025 **√Accepted/Kabul:**22.12.2025
DOİ:https://doi.org/10.30794/pausbed.1794936
Research Article/Araştırma Makalesi

Yöyen, H. T. (2025). "Ekonomik Karmaşıklık ve Karbondioksit Emisyonu Arasındaki İlişki: Yüksek Emisyonlu Ülkelerden Ampirik Bulgular" *Pamukkale Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Sayı:71 EYS'25 Özel Sayısı, ö93-ö110.

EKONOMİK KARMAŞIKLIK VE KARBONDİOKSİT EMİSYONU ARASINDAKİ İLİŞKİ: YÜKSEK EMİSYONLU ÜLKELERDEN AMPİRİK BULGULAR*

Hasan Tahsin YÖYEN**

Öz

Yüksek emisyona sahip ülkelerin ekonomik yapılarının çevresel etkilerinin doğru anlaşılması, küresel ısınmanın çözümüne yönelik politikalar için büyük önem taşır. Bu çalışma, 2023 yılında en yüksek CO2 emisyonuna sahip on ülke örnekleminde ekonomik karmaşıklık ve fosil yakıt tüketimi ile CO2 emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemektedir. 1995-2022 döneminin ele alındığı panel veri analizinde, yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliği bulguları dikkate alınarak Pesaran'ın (2007) geliştirdiği yatay kesit bağımlılığını dikkate alan panel birim kök testi uygulanmış ve serilerin birinci farkta durağanlaştığı (I(1)) tespit edilmiştir. Bu doğrultuda gerçekleştirilen Westerlund (2007) eşbütünleşme testine göre değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki yoktur. Bai (2009) tarafından geliştirilen ve gözlemlenemeyen ortak faktörleri hesaba katan İnteraktif Sabit Etkiler tahmincisinden elde edilen bulgular ise kısa vadede ekonomik karmaşıklığın, CO2 emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Analizde fosil yakıt tüketiminin emisyonları arttırıcı etkisi doğrulanmıştır. Dolayısıyla çalışma, yenilenebilir enerji yatırımlarının arttırılması görüşünü desteklemektedir. Politika yapıcılar karmaşık sektörlerde enerji verimliliğini arttırma ve enerji dönüşümünü hızlandırmaya odaklanmalıdır.

Anahtar kelimeler: *Ekonomik karmaşıklık, Karbondioksit emisyonu, Panel veri analizi.*

THE RELATIONSHIP BETWEEN ECONOMIC COMPLEXITY AND CARBON DIOXIDE EMISSIONS: EMPIRICIAL FINDINGS FROM HIGH-EMISSION COUNTRIES

Abstract

A precise understanding of the environmental impacts of the economic structures of high-emission countries is of great importance for policies aimed at addressing global warming. This study examines the relationship between economic complexity, fossil fuel consumption, and CO2 emissions in a sample of the ten countries with the highest CO2 emissions in 2023. In the panel data analysis covering the period 1995-2022, the panel unit root test developed by Pesaran (2007), which accounts for cross-sectional dependence, was applied, considering the findings of cross-sectional dependence and slope heterogeneity, and it was determined that the series were stationary in the first difference (I(1)). According to the Westerlund (2007) cointegration test, there is no long-term relationship between the variables. The findings obtained from the Interactive Fixed Effects estimator developed by Bai (2009), which accounts for unobservable common factors, indicate that economic complexity has a statistically significant and positive effect on CO_2 emissions in the short run. The analysis also confirms the emissions-increasing effect of fossil fuel consumption. Therefore, the study supports the view that investments in renewable energy should be expanded. Policymakers should prioritize improving energy efficiency and accelerating the energy transition in highly complex sectors.

Keywords: *Economic complexity, Carbon dioxide emissions, Panel data analysis.*

*Bu çalışma, EYS'25 Ekonometri modülünde yer alan İleri Panel Veri Analizi dersi kapsamında öğretilen teknikler kullanılarak hazırlanmıştır.

**Dr. Öğr. Üyesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kazım Karabekir Meslek Yüksekokulu, KARAMAN.
e-posta: htahsinyoyen@gmail.com, (https://orcid.org/0000-0003-1019-0453)

1. GİRİŞ

Küresel ısınma problemi uzun yıllardır uluslararası politika gündeminin merkezinde yer almaktadır. Bu sorunun temelinde ise sera gazı emisyonları bulunur. Sanayi Devrimi'nden sonra artan üretim – tüketim faaliyetleri ve kent nüfusuyla birlikte fosil yakıt tüketimi de hızla artmış, sera gazı emisyonlarının dramatik bir şekilde yükselmesine neden olmuştur (Liu & Liu, 2023: 25). Küresel ölçekte çevre kirliliği konusunun ele alınması 1972 yılında düzenlenen Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı'na kadar uzanır (United Nations[UN], t.y.-a). Sonrasında emisyonları düşürmeyi ve çevreyi korumayı hedefleyen pek çok adım arasında en önemlileri olarak Paris Anlaşması ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları sayılabilir (UN, t.y.-b; UN, t.y.-c). Bahsedilen hedeflere ulaşmada ekonomilerin içinde bulundukları yapının ve üretim – tüketim biçimlerinin çevresel etkilerinin doğru anlaşılması önem arz eder.

Hidalgo ve Hausmann (2009) tarafından ortaya atılan ekonomik karmaşıklık (EK) kavramı, bir ekonominin üretim kapasitesinin çeşitliliğini ve gelişmişlik seviyesini gösterir. Böylece ekonominin yapısal özelliklerine dair fikir veren EK, temelde ülkelerin ürettikleri ve ihraç ettikleri ürünlerin çeşitliliğini ölçerek bu ürünlerin ne derece yaygın olduğunu dikkate alır. Ürün çeşitliliği fazla olan ve ileri düzey ürün üretebilen ekonomilerin daha güçlü ve istikrarlı oldukları kabul edilir (Doğan vd., 2021: 2; Lybbert & Xu, 2021: 444). EK'nin temelde iki boyutu olduğu söylenebilir: çeşitlilik ve yaygınlık. İlki o ekonominin üretebildiği farklı ürünlerin sayısını, ikincisi ise söz konusu ürünlerin başka hangi ülkelerde üretilebildiğini gösterir (Hausmann vd., 2013: 20). EK için ihracat önemli bir kalemdir. Çünkü ihracat çeşitliliği o ülkenin üretme yeteneğinin çeşitliliği hakkında fikir verir. Hausmann vd. (2013) bu durumu tıbbi görüntüleme cihazı ve işlenmemiş elmas üzerinden örneklendirmiştir. Tıbbi görüntüleme cihazı üreten ülke sayısı kısıtlıdır. Bu ülkeler arasında yer alan Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) aynı zamanda çok sayıda farklı ürün ihracatı da yapmaktadır. Böylece tıbbi görüntüleme cihazlarının karmaşık olduğu söylenebilir. Zira hem az sayıda ülke tarafından üretilebilmektedir hem de bu cihazı üreten ülkeler üretimde çeşitliliğe sahiptir. Diğer taraftan işlenmemiş elmas çok az sayıda ülke tarafından ihraç ediliyor olsa da karmaşık bir ürün değildir. Bunun sebebi elmas ihraç eden ülkelerin ileri düzey bir çeşitliliğe sahip olmamalarıdır. Elmas karmaşık bir ürün olsaydı, ihracatını yapan ülkeler bunun için çok farklı yeteneklere sahip olacaklarından ürün çeşitlilikleri de fazla olurdu. Ancak Sierra Leone ve Botsvana gibi elmas ihraç eden ülkeler için böyle bir durum geçerli değildir.

EK endeksi, ülkeler arasındaki bu farklılıkları dikkate alan matematiksel yaklaşım ile hesaplanır. Endeksin sabit bir alt – üst sınırı yoktur. Pratikte ise "-2" ile "+2" değerleri arasında yoğunlaştığı görülmektedir. Burada yüksek değer alan ülkeler daha çok sayıda ve nadir ürün ihraç eden, yani daha fazla bilgi ve beceriye sahip ekonomilerdir. Bu sebeple EK endeksi yüksek olan ülkelerin teknolojik yeniliğe daha yatkın oldukları kabul edilir. EK'nin sağladığı avantajlar ekonomik büyüme ve daha güçlü bir ekonomik yapıyla sınırlı değildir. Bu ülkeler aynı zamanda çevre dostu üretim yöntemlerine de geçiş yapabilmektedir. Bu durum araştırmacıların EK'nin emisyonlar üzerindeki etkisine odaklanmalarını sağlamıştır. Bu noktada iki farklı görüş mevcuttur: karmaşıklığın daha fazla enerji ve kaynak kullanımını getireceğinden hareketle çevresel bozulmayı arttıracağını öne sürenler ve bilgi ve teknoloji yoğun üretim sayesinde verimliliğin artmasıyla emisyonların azalacağını iddia edenler. Buna paralel şekilde literatürdeki çalışmaların bulgularının net bir uzlaşı içinde olmadığı görülmektedir.

Bu çalışmada küresel çapta en fazla CO_2 salımı yapan on ülke 1995-2022 dönemi yıllık verileri üzerinden ele alınmıştır. Araştırmanın temel amacı EK ile CO_2 emisyonları arasındaki ilişkiyi analiz etmektir. Bu analize Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezinin test edilmesi de dahildir. ÇKE hipotezi, kişi başına gelir ile çevresel bozulma arasında ters-U şeklinde bir ilişki olduğunu öne sürmektedir. İlk zamanlar kişi başına gelirdeki artışlar çevresel bozulmayı arttırırken, belli bir gelir eşiği aşıldıktan sonra tersi etki göstererek çevresel bozulmayı azaltır (Kuznets, 1955; Rothman & De Bruyn, 1998). Analizde kişi başına gelir değişkeni yerine EK endeksi kullanılarak, EK ile emisyonlar arasında ters-U biçiminde bir ilişkinin varlığını test etmek amaçlanmıştır.

Tablo 1: Örneklemde Yer Alan Ülkelere Dair Bilgiler

Ülke	CO_2 Emisyonu* (Milyon Ton)	Nüfus** (Bin Kişi)	Milli Gelir** (2015 Sabit Fiyatlarıyla Milyar ABD doları)
Çin	13259.64	1410710	17612
ABD	4682.04	336806	22063
Hindistan	2955.18	1438070	3266
Rusya	2069.50	143826	1545
Japonya	944.76	124517	4601
İran	778.80	90609	513
Endonezya	674.54	281190	1179
Suudi Arabistan	622.91	33703	864
Almanya	582.95	83902	3692
Kanada	575.01	40083	1806

Kaynak: *European Commission Joint Research Center, 2024. **World Bank, 2025.

Çalışma küresel emisyonların büyük bir kısmından sorumlu ülkeleri ele alması ve kullanılan yöntem itibarıyla literatürdeki diğer çalışmalardan ayrışmaktadır. Yüksek emisyon değerlerine sahip bu ülkeler aynı zamanda nüfus büyüklüğü ve ekonomik hacimleri bakımından küresel ölçekte önemli bir ağırlığa sahiptirler. Bu durum bu on ülkedeki ekonomik dönüşümlerin diğer ülkelere kıyasla daha büyük küresel etkiler yaratacağı anlamına gelir. Yukarıdaki Tablo 1'de yer alan bilgilere göre söz konusu on ülke, küresel CO_2 emisyonlarının yaklaşık %70'inden sorumludur. Dolayısıyla bu ülkeler küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadelede belirleyici bir role sahiptir. Literatürde EK ile CO_2 emisyonları arasındaki ilişkiyi doğrudan yüksek emisyonlu ülkeler bazında inceleyen çalışmaya rastlanmamıştır. Mevcut çalışmalarda çoğunlukla belirli ülke grupları, en yüksek EK endeks değerine sahip ülkeler veya gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler ele alınmıştır. Yüksek emisyon değerlerine sahip ülkelerdeki olumlu dönüşümlerin küresel düzeyde daha hızlı çevresel iyileşmeler yaratabileceği öngörülmektedir. Bu doğrultuda araştırmanın mevcut literatüre, EK'nin çevresel etkilerini yüksek emisyonlu ülkeler bağlamında değerlendiren özgün bir katkı sunması beklenmektedir.

2. LİTERATÜR

Mevcut literatür EK ve çevre göstergeleri arasındaki ilişkiye odaklanan çok sayıda çalışmayı içermektedir. Özellikle son yıllarda artan ilgiyle farklı ülkeler, farklı dönemler ve farklı yöntemler kullanılarak EK'nin çevre üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bazı çalışmaların EK üzerinden ÇKE hipotezini de test ettiği ve incelenen çalışmaların tamamının EK'yi "EK endeksi" üzerinden ele aldığı görülmektedir. Diğer taraftan çevre göstergesi olarak CO_2 emisyonu veya ekolojik ayak izi (EA) kullanılmıştır. Literatürde dikkate alınan çalışmaların önemli bir kısmı EK'nin CO_2 emisyonunu arttırdığı bulgusuna erişmişken, benzer sayıda çalışma ise tersine EK'deki artışların emisyonları azalttığını ortaya koymuştur. ÇKE hipotezini test eden çalışmaların çoğunluğu EK ile CO_2 arasında ters-U şeklindeki ilişkiyi doğrulamaktadır.

Aşağıdaki Tablo 2'de görülen farklı bulguların temelinde kullanılan yöntemler, ülkelerin gelir grupları ve dönem koşulları gibi sebepler yatmaktadır. Örneğin düşük gelir grubunda yer alan ülkeler için EK'deki artışlar CO_2 emisyonlarını arttıran bir unsurken yüksek gelir grubundaki ülkelerde EK'nin azaltıcı etkisinden bahsedilir (Aluko vd., 2022; Arslan vd., 2023; Laverde-Rojas & Correa, 2021). Veyahut ilk kantillerde EK'nin negatif etkisinden bahsedilirken son kantillerde pozitif etki görülebilmektedir (Shah vd., 2023). Diğer taraftan mekânsal panel veri yöntemlerini kullanan az sayıda çalışmanın bulguları da dikkat çekicidir. EK sadece ilgili ülkenin değil komşu ülkelerin emisyonları üzerinde de bir etkiye sahiptir (Ren vd., 2024). Ayrıca ülkelerin küreselleşme sürecine ne seviyede dahil oldukları da emisyonlar üzerinde etkilidir (Nan vd., 2022). Bu bulgular EK'nin küresel CO_2 salınımları üzerindeki etkisine işaret etmektedir. Dolayısıyla sürdürülebilir kalkınma hedeflerine erişmede EK'nin etkilerinin doğru anlaşılması kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda bu çalışma, yüksek CO_2 emisyonlarına sahip ülkeler örnekleminde İnteraktif Sabit Etkiler (Interactive Fixed Effects, IFE) (Bai, 2009) tahmincisini kullanarak elde ettiği bulgularla EK'nin çevresel etkilerinin daha kapsamlı bir şekilde ele alınmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Literatürde ayrıca fosil yakıt tüketiminin emisyonlar üzerindeki belirleyici rolü de çok sayıda araştırma tarafından vurgulanmıştır. Bu nedenle modele kontrol değişkeni olarak dahil edilen fosil yakıt tüketimi değişkenini içeren çalışmalardan bazılarına da Tablo 2'de yer verilmiştir. Literatürdeki çalışmaların fosil yakıt kullanımının CO_2 emisyonlarını arttırdığı sonucunda uzlaşı içinde olduğu görülmektedir.

Tablo 2: Literatür Özeti

Yazar(lar)	Ülke-Dönem	Değişkenler	Yöntem	Bulgular
Neagu & Teodoru (2019)	25 AB ülkesi 1995 – 2016	Sera gazı emisyonları, EK, enerji tüketimi	Panel eşbütünleşme, FMOLS ve DMOLS tahmincileri, Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi	Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır. EK uzun vadede sera gazı emisyonlarını arttırmaktadır.
Neagu (2019)	25 AB ülkesi 1995 – 2017	CO_2 emisyonu, EK, enerji yoğunluğu	Panel eşbütünleşme, FMOLS ve DOLS tahmincileri	Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır. ÇKE hipotezi geçerlidir. EK'deki artışlar önce CO_2 emisyonlarını arttırsa da bir dönüm noktasından sonra emisyonları azaltmaktadır.
Akiş & Soyyiğit (2020)	ASEAN-5 ülkeleri 1990 – 2014	CO_2 emisyonu, EK	Panel eşbütünleşme, CCE tahmincisi	Değişkenler arasında uzun dönemli ilişki vardır. Endonezya, Filipinler ve Tayland'da uzun dönemde EK'deki artışlar CO_2 emisyonunu azaltmaktadır.
Neagu (2020)	EK endeksi en yüksek 48 ülke 1995 – 2014	EA, EK, kişi başına GSYH, fosil enerji tüketimi	Panel eşbütünleşme, FMOLS ve DOLS tahmincileri	Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki vardır. EK, EA'yı arttırmaktadır.
Romero & Gramkow (2020)	67 ülke 1976 – 2012	Sera gazı emisyonu yoğunluğu, EK, kentleşme, dış ticaret açıklığı, elektrik tüketimi, kişi başına GSYH, nüfus, eğitim, tarım payı, imalat sanayii payı	POLS, FE ve sistem GMM tahmincileri	EK'deki artışlar sera gazı emisyonlarını düşürmektedir.
Yılancı & Pata (2020)	Çin 1965 – 2016	EA, EK, kişi başına GSYH, enerji tüketimi	Fourier ARDL modeli	Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır. EK hem kısa hem de uzun vadede EA'yı arttırmaktadır.
Abbasi vd. (2021)	En yüksek EK endeksine sahip 18 ülke 1990 – 2019	CO_2 emisyonu, EK, turizm, GSYH, kişi başına GSYH, enerji fiyatları endeksi	Panel eşbütünleşme, CS-ARDL modeli, AMG tahmincisi, Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi	EK ile CO_2 emisyonları eşbütünleşiktir. EK, hem kısa hem de uzun vadede emisyonları arttırmaktadır. Ayrıca EK ile CO_2 emisyonu arasında çift yönlü nedensellik vardır.
Boleti vd. (2021)	88 gelişmiş ve gelişmekte olan ülke 2002 – 2012	CO_2 emisyonu, EK, kişi başına GSYH dahil 37 değişken	POLS, FE tahmincileri	EK, genel çevresel performansı iyileştirirken hava kalitesinde kötüleşmeye yol açar. Artan EK, CO_2 emisyonlarını arttırmaktadır.
Bucak (2021)	AB15 ülkeleri ve Türkiye 1995 – 2014	CO_2 Emisyonu, EK, İnsani Gelişmişlik	Panel eşbütünleşme, Granger nedensellik	Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır. EK, kişi başına CO_2 emisyonunun Granger nedenidir.
Chu (2021)	118 ülke 2002 – 2014	CO_2 emisyonu, EK, yenilenebilir enerji, kişi başına GSYH, sanayi katma değeri, brüt sabit sermaye oluşumu, kurumsal kalite	Sistem GMM tahmincisi	ÇKE hipotezi geçerlidir. EK ile CO_2 emisyonu arasında ters-U şeklinde bir ilişki vardır.

Doğan vd. (2021)	28 OECD ülkesi 1990 – 2014	CO_2 emisyonu, EK, yenilenebilir enerji tüketimi, toplam nüfus, GSYH	AMG, FMOLS ve DOLS tahmincileri, ARDL modeli	EK, CO_2 emisyonlarını azaltan bir etkiye sahiptir.
He vd. (2021)	Seçilmiş 10 ülke 1990 – 2018	CO_2 emisyonu, EK, yenilenebilir enerji, küreselleşme, kişi başına GSYH	Panel eşbütünleşme, CS-ARDL modeli ve CCEMG tahmincisi	Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki vardır. EK, CO_2 emisyonlarını düşürmektedir.
Leitao vd. (2021)	BRICS ülkeleri 1990 – 2015	CO_2 emisyonu, EK, kişi başına GSYH	Panel eşbütünleşme, FMOLS, DOLS, FE ve MMQR tahmincileri	Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır. EK'deki artışlar CO_2 emisyonlarını azaltmaktadır.
Martins vd. (2021)	En yüksek EK'ye sahip 7 ülke 1993 – 2018	CO_2 emisyonu, EK, küreselleşme, yenilenebilir enerji tüketimi, kişi başına GSYH	Panel eşbütünleşme, CS-ARDL ve CCEMG tahmincileri, Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi	Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır. Ekonomik büyüme ve EK, CO_2 emisyonlarını arttırmaktadır. Ayrıca EK, emisyonların Granger nedenidir.
Martins vd. (2021)	G7 ülkeleri 1965-2018	CO_2 emisyonu, Kömür, doğalgaz ve petrol tüketimi	ARDL modeli, ECM	Fosil yakıt tüketimi CO_2 emisyonlarını arttırmaktadır. Uzun dönemde petrol, kömür ve doğalgaz tüketimindeki 1 puanlık artışlar emisyonları sırasıyla %0,492, %0,269 ve %0,182 oranında arttırır.
Romero & Gramkow (2021)	67 ülke 1976 – 2012	Kişi başına sera gazı emisyonu, sera gazı emisyon yoğunluğu, EK, kentleşme, dış ticaret açıklığı, elektrik tüketimi, kişi başına GSYH, nüfus, eğitim, tarım payı, imalat sanayii payı, teknoloji	POLS, FE ve sistem GMM tahmincileri	EK, sera gazı emisyonlarının azaltılmasında etkilidir. EK'deki 0.1birimlik bir artış sera gazı emisyonlarını %2 azaltmaktadır.
Adebayo vd. (2022a)	MINT ülkeleri 1990 – 2018	CO_2 emisyonu, EK, enerji tüketimi, finansal gelişme, kişi başına GSYH	Panel eşbütünleşme, FMOLS, DOLS, FE-OLS ve MMQR tahmincileri	EK tüm kantillerde emisyonları arttırmaktadır. Ayrıca EK, CO_2 emisyonlarının Granger nedenidir.
Adebayo vd. (2022b)	Japonya, İsviçre, Güney Kore, Almanya, Singapur, Avusturya ve Çekya 1993 – 2018	CO_2 emisyonu, EK, teknolojik yenilikler, yenilenebilir enerji, yenilenemeyen enerji, kişi başına GSYH	Panel eşbütünleşme, FMOLS, DOLS, FE-OLS ve MMQR tahmincileri, Dumitrescu – Hurlin panel nedensellik testi	Değişkenler arasında uzun dönemli ilişki vardır. EK, CO_2 emisyonlarını arttırmaktadır. MMQR tahmin sonuçlarına göre tüm kantillerde EK, emisyonları yükseltir. Ayrıca EK, CO_2 emisyonunun Granger nedenidir.
Aluko vd. (2022)	35 OECD ülkesi 1998 – 2017	EA, CO_2 emisyonu, N_2O emisyonu, sera	FE ve MMQR tahmincileri	Yüksek gelir düzeylerinde EK, çevresel bozulmayı azaltmaktadır. Bu sonuç EK'nin

		gazı emisyonu, EK, nüfus, teknoloji, dış ticaret açıklığı, gelir endeksi		tüm kantillerde çevresel bozulmayı azalttığı bulgusuyla desteklenmiştir.
Balsalobre-Lorente vd. (2022)	PIIGS ülkeleri 1990 – 2019	CO_2 emisyonu, EK, doğrudan yabancı yatırım, kentleşme, yenilenebilir enerji	Panel eşbütünleşme, DOLS tahmincisi, Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi	Değişkenler eşbütünleşiktir. EK ile CO_2 emisyonu arasında ters-U ve N şeklinde bir ilişki vardır. Ayrıca EK ile CO_2 emisyonu arasında çift yönlü nedensellik vardır.
Bucak (2022)	G8 ülkeleri ve Türkiye 1995-2017	EA, EK	Toda-Yamamoto nedensellik testi	Değişkenler arasında Türkiye için bir nedensellik ilişkisi yokken diğer ülkelerde tek yönlü veya çift yönlü nedensellik tespit edilmiştir.
Çağlar vd. (2022)	BRICS ülkeleri 1990 – 2018	CO_2 emisyonu, EK, doğal kayak rantı, dış ticaret açıklığı, kişi başına enerji yatırımı, GSYH	Panel eşbütünleşme, CUP-FM ve CUP-BC tahmincileri, Dumitrescu – Hurlin panel nedensellik testi	Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır. Dış ticaret açıklığı ve EK'deki artışlar CO_2 emisyonlarını azaltmaktadır. Ayrıca EK ve CO_2 emisyonları arasında çift yönlü nedensellik mevcuttur.
Çoban vd. (2022)	Arktik Konseyi ülkeleri 2000 – 2018	CO_2 emisyonu, EK, ekonomik büyüme, doğal kaynak rantı, nüfus artış hızı, kentleşme oranı	Driscoll – Kraay hata düzeltmesi	EK artışları CO_2 emisyonlarını arttırmaktadır.
Demiral & Akça (2022)	22 AB ülkesi 1995 – 2018	CO_2 üretkenliği, CO_2 yoğunluğu, EK, kişi başına GSYH, enerji verimliliği, sanayisizleşme, çevre vergileri	Panel eşbütünleşme, AMG tahmincisi, Emirmahmutoğlu ve Köse nedensellik testi	Daha yüksek EK, CO_2 yoğunluğunu arttırmaktadır. EK ile CO_2 yoğunluğu arasında çift yönlü nedensellik vardır.
Ersungur vd. (2022)	Almanya, İsveç, Japonya, Türkiye 1970 – 2016	EA, EK, kişi başına GSYH, yenilenebilir enerji tüketimi, yenilenemeyen enerji tüketimi	Toda-Yamamoto nedensellik testi	Almanya ve Japonya'da EK'den EA'ya tek yönlü nedensellik vardır. İsveç ve Türkiye'de ise EK ile EA arasında nedensel ilişki yoktur.
Khezri vd. (2022)	29 Asya-Pasifik ülkesi 2000 – 2018	CO_2 emisyonu, EK, kişi başına GSYH, yenilenebilir enerji üretimi, kentleşme, dış ticaret açıklığı, enerji yoğunluğu	Panel eşbütünleşme, FE ve FMOLS tahmincileri	EK, üretim ölçeğini ve enerji talebini arttırarak CO_2 emisyonlarında artışa neden olur. Yenilenebilir enerjinin CO_2 emisyonları üzerindeki etkisinin belirlenmesinde EK önemli bir faktördür.
Nan vd. (2022)	111 Ülke 1983 – 2017	CO_2 emisyonu, EK, küreselleşme, kişi başına GSYH, kentleşme, nüfus yoğunluğu, sanayileşme	Mekânsal panel modeli	EK nihayetinde CO_2 emisyonlarını azaltıcı etkide bulunur. Ülkenin EK'si çok düşük kalmadığı sürece küreselleşme sürecine ne kadar fazla dahil olursa CO_2 emisyonu da o kadar azalır.

Nguyen & Doytch (2022)	95 ülke 1995 – 2013	EA, EK, kişi başına GSYH, enerji yoğunluğu, finansal gelişme, ticaret, doğrudan yabancı yatırımlar	Panel eşbütünleşme, sistem GMM, SELPDM, CCR, FGLS ve PCSE tahmincileri	ÇKE hipotezi geçerlidir. EK önce EA'yı arttırır ancak belli bir seviyeden sonra etkisi negatiftir.
Özbek & Naimoğlu (2022)	Türkiye 1964 – 2018	EA, EK, kişi başına GSYH, kişi başına enerji tüketimi	Fourier ADL ile eşbütünleşme, FMOLS tahmincisi	Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki vardır. EK, kısa dönemde EA'yı arttırırken uzun dönemde azaltmaktadır. ÇKE hipotezi geçerlidir.
Peng vd. (2022)	BRICS ülkeleri 1992 – 2018	CO_2 emisyonu, EK, teknoloji, kişi başına GSYH, nüfus yoğunluğu	Panel eşbütünleşme, CUP-FM tahmincisi, Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi	ÇKE hipotezi geçerlidir. Düşük düzeyde EK emisyonları arttırırken yüksek EK emisyonları azaltmaktadır. Ayrıca EK, CO_2 emisyonlarının Granger nedenidir.
Taghvaee vd. (2022)	OECD ülkeleri 1971 – 2016	CO_2 emisyonu, EK, tarım sektörü katma değeri, sanayi sektörü katma değeri, hizmet sektörü katma değeri	Panel eşbütünleşme, PMG ve MG tahmincileri	ÇKE hipotezi geçerlidir. Düşük düzeyde EK emisyonları arttırırken yüksek EK emisyonları azaltmaktadır.
Yu vd. (2022)	N11 ülkeleri 1980 – 2020	CO_2 emisyonu, EK, teknolojik yenilikler, yenilenemez enerji, GSYH	Panel eşbütünleşme, CS-ARDL modeli, Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi	Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki vardır. EK, emisyonları azaltmaktadır. Ayrıca EK ile CO_2 emisyonu arasında çift yönlü nedensellik vardır.
Ali & Seraj (2022)	En çok yenilenebilir enerji kullanan 10 ülke ve En çok fosil yakıt tüketimi yapan 10 ülke 1991-2020	CO_2 emisyonu, fosil yakıt tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, dış ticaret açıklığı, sabit sermaye yatırımları, ekonomik büyüme, yaşam beklentisi, nüfus artışı	Panel eşbütünleşme, CS-ARDL modeli	Hem kısa hem de uzun dönemde fosil yakıt tüketimi emisyonları arttırmaktadır.
Arslan vd. (2023)	102 ülke 1994 – 2018	CO_2 emisyonu, EK, enerji tüketimi, doğal kaynaklar, GSYH, hava taşımacılığı	POLS, FE, RE ve sistem GMM tahmincileri	EK, yüksek gelir grubunda yer alan ülkelerde CO_2 emisyonlarını azaltırken düşük gelir grubundaki ülkelerde arttırmaktadır.
Balsalobre-Lorente vd. (2023)	BRICS ülkeleri 1995 – 2020	CO_2 emisyonu, EK, yenilenebilir enerji, doğrudan yabancı yatırımlar	Panel eşbütünleşme, FMOLS ve DOLS tahmincileri	ÇKE hipotezi geçerlidir. EK, kısa vadede CO_2 emisyonlarını arttırsa da uzun vadede etki tersine döner.

Karimzadeh vd. (2023)	Seçilmiş 7 Şangay İş birliği Örgütü üye ülke 2000 – 2020	CO_2 emisyonu, EK, sanayileşme, ekonomik büyüme oranı, dış ticaret açıklığı, beşerî sermaye, enerji tüketimi, nüfus artış oranı	Panel eşbütünleşme, GMM tahmincisi	Değişkenler arasında uzun dönemli ilişki vardır. EK, uzun vadede CO_2 emisyonlarını azaltmaktadır. EK'deki 1 birimlik artış söz konusu ülkelerde CO_2 emisyonlarını 0.88 birim düşürür.
Shah vd. (2023)	Japonya 1970Q1 – 2019Q4	CO_2 emisyonu, EK, yenilenebilir enerji, doğrudan yabancı yatırımlar, ticaret, kişi başına GSYH	QARDL modeli	EK ile CO_2 emisyonları arasında uzun dönemli bir ilişki vardır. İlk kantillerde etki negatifken, son birkaç kantilde pozitiftir. Artan EK, emisyonları arttırmaktadır.
Tekbaş & Tutumlu (2023)	Türkiye 1995 – 2019	CO_2 emisyonu, EK, ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi	ARDL modeli	Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır. EK hem kısa hem de uzun vadede CO_2 emisyonunu arttırmaktadır.
Uğur vd. (2023)	Hindistan 1980Q1-2021Q3	CO_2 emisyonu, Kömür, doğalgaz ve petrol tüketimi, ekonomik büyüme	Eşbütünleşme, TVP-VAR modeli	Kömür ve petrol tüketimi emisyonları arttırmaktadır. Doğalgaz tüketimi de emisyonlar üzerinde pozitif ancak görece düşük etkiye sahiptir.
Al-Ayouty (2024)	MENA ülkeleri ve Türkiye 1990 – 2020	CO_2 emisyonu, EK, kişi başına GSYH, nüfus yoğunluğu, yenilenebilir enerji tüketimi, fosil enerji tüketimi	Panel eşbütünleşme, FMOLS tahmincisi, Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi	EK, emisyonları azaltmaktadır. EK, CO_2 emisyonunun Granger nedenidir.
Durusoy (2024)	40 gelişmiş ve 37 gelişmekte olan ülke 2003 – 2022	CO_2 emisyonu, EK, kişi başına GSYH, nüfus	Panel eşbütünleşme, Driscoll – Kraay hata düzeltmesi	Hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde artan EK, CO_2 emisyonlarını azaltmaktadır.
Laverde-Rojas & Correa (2024)	86 ülke 1971 – 2014	CO_2 emisyonu, EK, Kişi başına GSYH, nüfus, enerji tüketimi	ANFIS modeli, SLM testi, sistem GMM tahmincisi	ÇKE hipotezi geçersizdir. Yalnızca gelişmiş ülkelerde EK arttıkça CO_2 emisyonları azalmaktadır.
Naimoğlu & Akal (2021)	Enerji ithalatçısı 12 gelişmekte olan ülke 1996 – 2020	CO_2 emisyonu, EK, yenilenebilir enerji, yenilenemeyen enerji, küreselleşme	ARDL modeli, PMG, MG ve DFE tahmincileri	ÇKE hipotezi geçerlidir. EK belli bir seviyeye kadar emisyonları arttırırken sonrasında negatif etki yapmaktadır.
Osinubi (2024)	N11 ülkeleri 1995 – 2019	CO_2 emisyonu, EK, kişi başına GSYH, kent nüfusu, yenilenebilir enerji tüketimi	PCSE ve FGLS tahmincileri	ÇKE hipotezi geçersizdir. EK arttıkça CO_2 emisyonları da artmaktadır.
Ren vd. (2024)	82 ülke 2001 – 2019	CO_2 emisyonu, EK, nüfus, enerji yapısı,	Mekânsal panel modeli	EK, yerel CO_2 emisyonlarını arttırmaktadır. Bu etki yüksek EK'ye sahip ülkelerde daha güçlüdür. Diğer taraftan EK, komşu ülkelerin

		enerji verimliliği, dış ticaret açıklığı, GSYH		enerji verimliliğini arttırma yoluyla CO_2 emisyonlarını azaltır.
Sajid vd. (2024)	Çin ve Pakistan 1996 – 2021	CO_2 emisyonu, EK, kurumsal kalite, dış ticaret açıklığı	ARDL modeli	ÇKE hipotezi geçersizdir. EK, CO_2 emisyonlarını arttırmaktadır.
Tabash vd. (2024)	N11 ülkeleri 1995 – 2019	CO_2 emisyonu, EK, kişi başına GSYH, enerji ithalatı, finansal gelişme	Panel eşbütünleşme, FMOLS ve DOLS tahmincileri	EK ile emisyonlar arasında uzun vadeli ve negatif bir ilişki vardır.
Yağış (2024)	ASEAN-5 ülkeleri 1998 – 2018	EA, EK	Emirmahmutoğlu ve Köse nedensellik testi	EK ve EA arasında çift yönlü nedensellik vardır.
Zengin Taşdemir & Topçu (2024)	AB ülkeleri 1998 – 2020	CO_2 emisyonu, EK, kişi başına GSYH, birincil enerji tüketimi	Driscoll – Kraay hata düzeltmesi	EK'deki artışlar CO_2 emisyonunu arttırmaktadır.
Atılgan (2025)	MENA ülkeleri 1998 – 2020	CO_2 emisyonu, EK, Doğal kaynak rantı, Ekonomik büyüme	Panel eşbütünleşme (LM), CCE tahmincisi	Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır. Ancak EK'nin CO_2 emisyonu üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamsızdır. Ülke bazında sonuçlar ise değişkenlik göstermekedir.
Türköz (2025)	Türkiye 1998Q1 – 2020Q4	CO_2 Emisyonu, EK, İnsani Gelişmişlik, Enerji Yoğunluğu	QARDL modeli	EK'deki artışlar uzun dönemde CO_2 emisyonunu arttırmaktadır. EK'nin kısa dönemdeki etkisi ise daha düşüktür.

Not: Tabloda yer alan kısaltmaların açılımları şu şekildedir:
FMOLS: Fully Modified Ordinary Least Squares, DMOLS: Dynamic Modified Ordinary Least Squares, GSYH: Gayrisafi Yurt İçi Hasıla, DOLS: Dynamic Ordinary Least Squares, CCE: Common Correlated Effects, FE: Fixed Effects, GMM: Generalized Method of Moments, ARDL: Autoregressive Distributed Lag, CS-ARDL: Cross-Sectionally ARDL, AMG: Augmented Mean Group, POLS: Pooled Ordinary Least Squares, OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development, CCEMG: CCE Mean Group, MMQR: Method of Moments Quantile Regression, ECM: Error Correction Model, FE-OLS: FE-Ordinary Least Squares, CUP-FM: Continuously Updated Fully Modified, CUP-BC: CUP-Bias Corrected, SELPDM: Spatial Error Linear Panel Data Model, CCR: Canonical Cointegrating Regression, FGLS: Feasible Generilazed Least Squares, PCSE: Panel-Corrected Standard Errors, Fourier ADL: Fourier Autoregressive Distributed Lag, PMG: Pooled Mean Group, MG: Mean Group, RE: Random Effects, QARDL: Quantile ARDL, TVP-VAR: Time Varying Parameter Vector Autoregression, ANIFS: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, SLM: Spatial Lag Model, DFE: Dynamic Fixed Effects, LM: Lagrange Multiplier.

EK, üretim yapısındaki bilgi ve teknoloji yoğun çeşitliliği yansıttığı için çevresel etkileri iki yönlü olabilir. Üretim yapısının daha karmaşık bir hale geldiği sürecin başında enerji talebi ve dolayısıyla fosil yakıt tüketimi artarak emisyonları yükseltebilir. Fakat zamanla bilgi yoğunluğu ve yenilik kapasitesindeki artış, kaynak verimliliğini ve temiz teknolojilerin yaygınlığını arttırarak emisyonları azaltabilir. Bu çerçevede çalışma aşağıdaki hipotezleri geliştirmiştir:

H_1: EK, CO_2 emisyonları üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir.

H_2: EK'nin karesi, CO_2 emisyonları üzerinde negatif bir etkiye sahiptir.

H_3: Fosil yakı tüketimi, CO_2 emisyonları üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir.

3. VERİ

Ekonometrik analiz 1995-2022 dönemi ikincil yıllık verilerle yürütülmüştür. Kullanılan veriler ve değişkenlere dair bilgiler aşağıdaki tabloda yer almaktadır. Analizde ele alınan ülkeler Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi (European Commission Joint Research Center, 2024) tarafından yayınlanan sera gazı emisyonları raporuna göre 2023 yılında dünyada en çok CO_2 emisyonuna sahip olan 10 ülkedir. Bu ülkeler sırasıyla Çin, ABD, Hindistan, Rusya, Japonya, İran, Endonezya, Suudi Arabistan, Almanya ve Kanada'dan oluşmaktadır.

Tablo 3: Verilere Dair Bilgiler

Değişken	Tanım	Kaynak
CO2	Kişi başına CO_2 emisyonu	World Development Indicators https://databank.worldbank.org
ECI	Ekonomik Karmaşıklık Endeksi	The Atlas of Economic Complexity https://atlas.hks.harvard.edu
ECI_SQ	Ekonomik Karmaşıklık Endeksinin karesi	Yazar tarafından hesaplanmıştır.
FOSSIL	Toplam enerji tüketimi içinde fosil yakıt tüketiminin payı	World Development Indicators https://databank.worldbank.org

Çalışmanın ekonometrik analizi için kurulan model aşağıdaki gibidir:

$$CO2_{it}=\alpha_i+\beta_1 ECI_{it}+\beta_2 ECI_SQ_{it}+\beta_3 FOSSIL_{it}+\varepsilon_{it}$$

Yukarıdaki denklemde yer alan "i" kesit boyutunu (ülkeleri), "t" zaman boyutunu (yılları), "α" ülkeye özgü sabit etkileri, "β_1", "β_2" ve "β_3" bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken olan CO_2 üzerindeki etkisini gösteren katsayıları, "ε" ise hata terimini temsil etmektedir. Ayrıca bağımsız değişken ECI ve onun karesini ifade eden ECI_SQ arasındaki olası yüksek korelasyon, çoklu doğrusal bağlantı (multicollinearity) sorununa yol açabileceğinden (Wooldridge, 2010: 577), bu değişkenler merkezleme (mean-centering) işleminin ardından modele dahil edilmişlerdir (Irwin & McClelland, 2001: 109).

4. YÖNTEM

Analizde kullanılan testlerden ilki, yatay kesit bağımlılığının sınanabilmesi için, Breusch-Pagan (1980) Lagrange Çarpanı testidir. Zira panel veri analizinde hata terimlerinin birbirinden bağımsız olduğu varsayımı çoğu zaman geçersizdir. Küreselleşme, ticari faaliyetler veya uluslararası sermaye hareketleri gibi etkenler ülkeler arasında bağımlılık yaratmaktadır. Yatay kesit bağımlılığını sınamada literatürde sıkça başvurulan Pesaran'nın (2004) geliştirdiği Yatay Kesit Bağımlılığı Testi, küçük N büyük T durumlarında yanıltıcı sonuçlar verebileceğinden, büyük T küçük N durumu için elverişli olan Lagrange Çarpanı (Lagrange Multiplier, LM) testi uygulanmıştır. LM testinde hata terimleri arasındaki tüm ikili korelasyonların karelerinin toplamı esas alınır ve boş hipotezin reddi yatay kesit bağımlılığının varlığına işaret eder.

Panelde, yatay kesit bağımlılığının yanı sıra eğim homojenliği de test edilmiştir. Ülkeler arasındaki yapısal farkların sonucu katsayılar heterojen olabilir. Dolayısıyla homojen/heterojen bilgisi, tıpkı yatay kesit bağımlılığı gibi analizde kullanılacak yöntemlerin seçimi ve sonuçların yorumlanması açısından önem arz eder. Bu doğrultuda Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından ortaya atılan delta testleri uygulanmıştır. Swamy (1970) istatistiğini temel alan bu test delta ve düzeltilmiş delta istatistiklerini hesaplar ve boş hipotezin reddi katsayıların heterojen olduğunu gösterir. Testin matematiksel gösterimi aşağıda yer almaktadır. Hesaplanan test istatistiği, asimptotik olarak standart normal dağılıma uymaktadır. Anlamlı delta değeri boş hipotezin reddedilmesini sağlar.

$$\tilde{\Delta}=\sqrt{N}\left(\frac{N^{-1}\tilde{S}-k}{\sqrt{2k}}\right)\sim N(0,1)$$

$$\tilde{S}=\sum_{i=1}^{N}\left(\hat{\beta}_i-\tilde{\beta}_{WFE}\right)'\frac{X_{i.}'M_T X_{i.}}{\tilde{\sigma}_i^2}\left(\hat{\beta}_i-\tilde{\beta}_{WFE}\right)$$

$$\tilde{\beta}_{WFE}=\left(\sum_{i=1}^{N}\frac{X_{i.}'M_T X_{i.}}{\tilde{\sigma}_i^2}\right)^{-1}\sum_{i=1}^{N}\frac{X_{i.}'M_T y_{i.}}{\tilde{\sigma}_i^2}$$

Serilerin durağanlık özelliklerini belirlemek için, yatay kesit bağımlılığı ve eğim homojenliği testlerinin sonuçlarını da dikkate alarak, Pesaran (2007) tarafından geliştirilen Yatay Kesit Etkisiyle Genişletilmiş Dickey-Fuller Testi (Cross-sectionally Augmented Dickey-Fuller, CADF) ve Yatay Kesit Etkisiyle Genişletilmiş IPS Testi (Cross-sectionally Augmented IPS, CIPS) uygulanmıştır. Bu testler, geleneksel IPS testinin (Im, Pesaran & Shin, 2003) yatay kesit bağımlılığını dikkate alan genişletilmiş versiyonudur. Testte, her bir birim için ADF regresyonu kurulur ve hata terimleri arasındaki olası korelasyon kontrol edilir. Bu sayede hem yatay kesit bağımlılığı hem de eğim heterojenliği dikkate alınmaktadır.

Geleneksel ADF denklemine serilerin panel ortalaması eklenerek aşağıdaki CADF regresyonu oluşturulur:

$$\Delta y_{it}=\alpha_i+\beta_i y_{i,t-1}+\gamma_i \bar{y}_{t-1}+\sum_{j=1}^{p_i}\theta_{ij}\Delta y_{i,t-j}+\sum_{j=0}^{p}\delta_{ij}\Delta \bar{y}_{t-j}+\varepsilon_{it}$$

Boş hipotez serinin birim köke sahip olduğunu, alternatif hipotez serinin durağan olduğunu ifade eder. CADF istatistiği, her bir birim için β_i'nin t-istatistiğidir. Panelin genel birim kök yapısını değerlendirmek için ise bireysel CADF istatistiklerinin ortalaması alınarak aşağıdaki CIPS istatistiği tanımlanır ve aynı şekilde boş hipotez serilerin birim köke sahip olduğunu, alternatif hipotez ise serilerin durağan olduğunu ifade eder:

$$CIPS(N,T)=t\text{-}bar=N^{-1}\sum_{i=1}^{N}t_i(N,T)$$

Analizin sonraki aşamasında Westerlund (2007) tarafından geliştirilen eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Bu yaklaşım seriler arasındaki uzun dönemli ilişkinin varlığını kısa dönem dinamikleri dikkate alarak test etmektedir. Önerdiği dört farklı test istatistiği hem bireysel birimleri (Gt ve Ga) hem de panelin genelini (Pt ve Pa) kapsar. Test hem yatay kesit bağımlılığını hem de heterojenliği dikkate alır. Ayrıca bootstrap yöntemiyle elde edilen robust olasılık değerleri küçük örneklemlerde dahi güvenilir sonuçlar üretmektedir.

Analizin son aşamasında ise değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla Bai (2009) tarafından geliştirilen IFE tahmincisi kullanılmıştır. IFE tahmincisi, hata terimlerine gözlenemeyen ortak faktörler ekleyerek ülkeler üzerinde etkili olan ortak şokları modele dahil eder ve yatay kesit bağımlılığını kontrol altına alır. Ayrıca küçük N büyük T panellerde tutarlı sonuçlar üretmesi IFE tahmincisinin tercih edilmesinin bir diğer sebebidir. Bununla birlikte katsayıların tüm ülkeler için ortak kabul edilmesi, yani eğim heterojenliğinin doğrudan dikkate alınmaması göz önünde bulundurularak bulgular panel genelini yansıtan sonuçlar olarak ele alınmalıdır.

Böylece model denklemi aşağıdaki biçimi almıştır. Burada "f_t" zamanla değişen gözlenemeyen ortak faktörleri, "λ_i" bu faktörlere karşı ülkelerin duyarlılıklarını gösteren faktör yüklerini, "u_{it}" ise idiyosinkratik hatayı temsil eder. Modelin bu hali ülkeler arasında yaygın etkiye sahip, finansal krizler gibi, küresel şokları modele dahil eder ve yatay kesit bağımlılığını kontrol altına alır.

$$CO2_{it}=\alpha_i+\lambda_i' f_t+\beta_1 ECI_{it}+\beta_2 ECI_SQ_{it}+\beta_3 FOSSIL_{it}+u_{it}$$

5.BULGULAR

Bu bölüm ekonometrik analizde uygulanan her bir testin çıktılarını içermektedir. Ancak öncesinde muhtemel çoklu doğrusal bağlantı sorununun ortadan kaldırıldığını gösteren sonuçlara yer verilmiştir. Tablo 4'te ECI ve ECI_SQ değişkenleri arasında yüksek korelasyon (r=0.909) olduğu görülmektedir. Keza varyans şişirme faktörü (variance inflation factor, VIF) sonuçlarında da söz konusu iki değişkenin değerleri 5'in üzerindedir. Bu durumda ECI ve ECI_SQ değişkenleri arasındaki yüksek korelasyondan kaynaklı çoklu doğrusal bağlantı riskinin mevcut olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 4: Merkezleme Öncesi Korelasyon Katsayıları ve VIF Sonuçları

Değişken	ECI	ECI_SQ	FOSSIL	VIF	1/VIF
ECI	1.000			6.67	0.149
ECI_SQ	0.909	1.000		6.26	0.159
FOSSIL	-0.294	-0.160	1.000	1.18	0.846
				Ortalama VIF	4.70

Bu doğrultuda gerçekleştirilen merkezleme işleminin ardından korelasyon katsayıları ve VIF değerleri aşağıdaki halini almıştır. Tablo 5'te yer alan değerler, merkezleme işleminin çoklu doğrusal bağlantı sorununu ortadan kaldırdığını göstermektedir. Hem ECI ve ECI_SQ arasındaki korelasyon değeri hem de VIF değerleri değişkenlerin birbirinden neredeyse tamamen bağımsız olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 5: Merkezleme Sonrası Korelasyon Katsayıları ve VIF Sonuçları

Değişken	ECI	ECI_SQ	FOSSIL	VIF	1/VIF
ECI	1.000			1.22	0.820
ECI_SQ	0.247	1.000		1.18	0.846
FOSSIL	-0.294	-0.178	1.000	1.15	0.869
				Ortalama VIF	1.18

Çoklu doğrusal bağlantı sorununun ortadan kaldırılmasıyla analize, yatay kesit bağımlılığı ve eğim homojenliği testlerinin gerçekleştirilmesiyle başlanmıştır. Tablo 6'da yer alan Breusch-Pagan LM testi sonuçlarına göre "panel

hata terimleri arasında yatay kesit bağımlılığı yoktur" şeklindeki boş hipotezin reddedildiği görülmektedir. Küresel şoklar veya dış ticaret gibi faktörlerin etkisiyle hata terimlerinde korelasyon bulunabilir. Ele aldığımız paneldeki ülkeler arasında hata terimlerinin bağımsız olmadığı, güçlü bir yatay kesit bağımlılığının söz konusu olduğu görülmüştür. Dolayısıyla analizde bu sonucu dikkate alan yöntemlerin tercih edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Tablo 6: Breusch-Pagan LM Testi Sonuçları

Değişken	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
CO2	786.493	0.000*
ECI	447.525	0.000*
ECI_SQ	326.806	0.000*
FOSSIL	465.988	0.000*
Model	22.112	0.000*

*%1 anlamlılık düzeyi.

Eğim homojenliği testi sonuçları Tablo 7'de yer almaktadır. Görüldüğü gibi hem delta hem de düzeltilmiş delta testinin çıktıları boş hipotezi güçlü bir şekilde reddetmektedir. Dolayısıyla "paneldeki eğim katsayıları heterojendir" şeklindeki alternatif hipotez kabul edilir. Bu sonuç ülkelerden en az birinin katsayısının farklı olduğu anlamına gelir. Panel birim kök testi seçiminde ve tahminci sonuçlarının yorumlanmasında eğim heterojenliği dikkate alınmalıdır.

Tablo 7: Pesaran-Yamagata Eğim Homojenliği Testi Sonuçları

Test	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
Δ (delta)	17.070	0.000*
Δ adj. (düzeltilmiş delta)	18.834	0.000*

*%1 anlamlılık düzeyi.

Serilerin durağanlık dereceleri bilgisine ulaşabileceğimiz panel birim kök testi bulguları Tablo 8'de sıralanmıştır. Yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliği bulgularından hareketle tercih edilen Pesaran (2007) CADF ve CIPS testlerinin bulguları tüm değişkenlerin düzey değerlerinde durağan olmadığını ancak birinci farkı alındığında durağanlaştığını göstermektedir. Zira boş hipotez "paneldeki tüm seriler birim kök içerir" şeklindedir. Tabloya göre birinci farkı alınan tüm değişkenlerde boş hipotez reddedilmiştir. Seviyedeki test istatistikleri, kritik değerlerden mutlak değerce küçüktür. ECI ve ECI_SQ değişkenlerinde sabitli-trendli modelde boş hipotezin reddedildiği görülse de ülke bazında yapılan grafik incelemelerinde belirgin bir trend gözlenmemiştir. Dolayısıyla sahte trend etkisinden kaçınmak amacıyla sabitli model esas alınarak serilerin düzeyde birim kök içerdiği, birinci farkları alındığında durağanlaştığı kabul edilmiştir. Böylece tüm serilerin I(1) bütünleşme derecesine sahip olduğu sonucuna erişilmektedir.

Tablo 8: Pesaran Panel Birim Kök Testleri Sonuçları

	Sabit		Sabit + Trend	
Değişken	**Test İstatistiği (CADF)**	**Test İstatistiği (CIPS)**	**Test İstatistiği (CADF)**	**Test İstatistiği (CIPS)**
C02	-0.774	-0.882	-2.621	-2.325
D_CO2	-3.495*	-4.207*	-3.342*	-4.275*
ECI	-1.202	-1.692	-3.682*	-3.840*
D_ECI	-5.275*	-5.984*	-5.380*	-6.103*
ECI_SQ	-1.450	-1.874	-3.047*	-2.949**
D_ECI_SQ	-3.950*	-5.844*	-4.118*	-5.988*
FOSSIL	-1.406	-1.194	-1.625	-1.420
D_FOSSIL	-3.101*	-4.044*	-3.559*	-4.414*

*%1, **%5 anlamlılık düzeyi.

Panel birim kök testlerinden elde edilen sonuçlar, değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisinin test edilmesine imkân vermiştir. Ancak aşağıdaki Tablo 9'da yer alan sonuçlara göre hem klasik hem de robust olasılık değerleri 0.05'ten oldukça büyüktür. Bu değerler modelde yer alan değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin bulunmadığını göstermektedir. Bu durum söz konusu ülkeler için ÇKE hipotezinin test edilemeyeceği anlamına gelir. EK ile emisyonlar arasında ters-U şeklinde bir ilişkinin varlığı veya yokluğundan bahsetmek mümkün değildir. Zira değişkenlerin uzun vadede birlikte hareket ettiği varsayımı geçersizdir.

Tablo 9: Westerlund (2007) Eşbütünleşme Testi

	Test Değeri	Z-Değeri	Olasılık Değeri	Robust Olasılık Değeri
Gt	-1.845	1.304	0.904	0.695
Ga	-4.919	2.718	0.997	0.775
Pt	-2.422	3.456	1.000	0.975
Pa	-1.078	3.078	0.999	0.990

Bu doğrultuda birinci farkı alınan değişkenler üzerinden IFE tahmini gerçekleştirilmiştir. Tablo 10'da yer alan sonuçlara göre D_ECI ile D_CO2 arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki vardır. D_ECI katsayısı, EK'deki bir birimlik artışın, gözlenemeyen ortak faktörler kontrol edildiğinde, panel genelinde CO_2 emisyonlarının beklenen değerinde 0.39 birimlik bir artışa neden olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan D_ECI_SQ katsayısı pozitif olmanın beraberinde istatistiki olarak anlamsızdır. Fosil yakıt tüketimindeki artışların CO_2 emisyonlarına etkisi ise beklendiği gibi pozitif ve anlamlıdır.

Tablo 10: IFE Tahmin Sonuçları

Değişken	Katsayı	Standart Hata	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
D_ECI	0.385	0.185	2.08	0.038**
D_ECI_SQ	0.105	0.068	1.55	0.123
D_FOSSIL	0.097	0.019	5.08	0.000*
SABİT	0.972	0.304	3.20	0.002*

Faktör Boyutu	Prob > F	Root MSE
1	0.000	0.304

*, ** %1 ve %5 anlamlılık düzeyi.

Tabloda yer alan sonuçlardan, modelde tek ortak faktörle paneldeki ortak şokların kontrol altına alındığı anlaşılmakta ve genel anlamlılığın (Prob> F=0.000) yüksek olduğu görülmektedir. Ek olarak modelin tahmin performansını yansıtan kök ortalama karesel hata değerinin bağımlı değişken olan D_CO2'nin ortalamasından (0.323) ve standart sapmasından (0.397) düşük bir değer alması IFE tahmincisinin veri setine uyumlu olduğunu göstermektedir.

Son olarak Tablo 11'de IFE tahmininin ardından hata terimlerine uygulanan yatay kesit bağımlılığı testinin sonuçları yer almaktadır. 0.05'in üzerindeki olasılık değeri boş hipotezin reddedilemediğini, hata terimleri arasında yatay kesit bağımlılığının bulunmadığını gösterir. Böylece IFE tahmincisinin modele dahil ettiği gözlenemeyen ortak faktör ile paneldeki yatay kesit bağımlılığını kontrol altına aldığı ve güvenilir sonuçları desteklediği teyit edilmiştir.

Tablo 11: Hata Terimleri İçin Pesaran CD Testi Sonuçları

Test İstatistiği	Olasılık Değeri
-1.09	0.274

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 2023 yılında en yüksek CO_2 emisyonuna sahip on ülke için EK, fosil yakıt tüketimi ve CO_2 emisyonları arasındaki ilişki panel veri analizi yöntemleriyle incelenmiştir. Eşbütünleşme testinin bulguları CO_2 emisyonları ile EK arasında uzun dönemli bir ilişki olmadığını göstermektedir. Tahmin bulgularına göre ise EK, CO_2 emisyonları üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkiye sahiptir. Fosil yakıt tüketimi beklendiği gibi emisyonları arttırmaktadır. Değişkenler eşbütünleşik olmadığından tahmin sonuçları kısa vadeli etkileri yansıtmaktadır. Çalışmada ortaya atılan "EK, CO_2 emisyonları üzerinde pozitif etkiye sahiptir" şeklindeki H_1 hipotezi kısa vade için doğrulanırken "EK'nin karesi, CO_2 emisyonları üzerinde negatif etkiye sahiptir" H_2 hipotezi ise reddedilmiştir. Diğer taraftan "Fosil yakıt tüketimi CO_2 emisyonlarını arttırır" şeklindeki H_3 hipotezi de kısa vade için doğrulanmıştır.

Elde edilen bulgular literatürde EK'nin kısa vadede çevresel bozulmayı arttırdığı yönündeki çalışmaları desteklemektedir. Bu doğrultuda analiz bulguları, Abbasi vd. (2021), Çoban vd. (2022), Tekbaş ve Tutumlu (2023) ve Zengin-Taşdemir ve Topçu (2024) çalışmalarında raporlanan EK'nin kısa dönemde CO_2 emisyonlarını arttırdığı sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Çalışmanın bulguları ÇKE hipotezini doğrulayan Neagu (2019), Chu (2021), Nguyen ve Doytch (2022) ve Peng vd. (2022) çalışmalarının kısa dönem sonuçlarıyla da uyumludur. Ancak sayılan çalışmalardaki eşbütünleşme sonuçlarının aksine, analizde elde edilen değişkenlerin eşbütünleşik olmadığı bulgusu, ÇKE hipotezinin test edilmesine imkân vermemiştir. Söz konusu on ülkenin sahip olduğu enerji politikaları, üretim yapıları ve sanayileşme düzeyleri itibarıyla birbirinden farklı konumlarda bulunmaları

değişkenlerin uzun vadede birlikte hareket etmediği sonucunun nedeni olabilir. Ülkeler arasındaki bu yapısal farklılıklardan dolayı, EK ile emisyonlar arasındaki ilişki ülkeye göre değişebilir. Ayrıca yenilenebilir enerji üretimindeki ilerlemeler devam ediyor olsa da dünyanın en büyük ekonomileri arasında yer alan bu ülkelerde hala yüksek düzeyde fosil yakıt tüketimi söz konusudur. Bu durum EK ile emisyonlar arasındaki ilişkiyi etkileyebilir.

Bu çalışmanın sonuçları iki temel noktaya işaret etmektedir. İlk olarak fosil yakıt tüketiminin emisyonları arttırdığı doğrulanmıştır (Martins vd., 2021; Ali & Seraj, 2022; Uğur vd., 2023). Dolayısıyla politika yapıcıların yenilenebilir enerji kullanımını sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir bileşeni olarak görmeleri gerektiği vurgulanmalıdır. Yenilenebilir enerji yatırımlarının desteklenmesi, bu alandaki teknolojik ilerlemelerle maliyetlerin düşmesi ve verimliliğin artması fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak çevresel iyileşmeye önemli katkılar sağlayacaktır. Diğer taraftan çalışmamızın temel bulgusu olan EK'nin emisyonlar üzerindeki pozitif etkisi, üretim çeşitliliğinin ve bilgi yoğun sektörlerin gelişiminin kısa vadede çevresel bozulmayı arttırabileceğini ortaya koymaktadır. Bu sonuç, teknolojik uyumun henüz gerçekleşmemesi ve yüksek katma değer üreten karmaşık sektörlerde enerji talebinin yüksek olmasından kaynaklanıyor olabilir. Dolayısıyla bu etkinin uzun dönemde teknolojik ilerleme ve enerji dönüşümüyle tersine çevrilmesi mümkün olabilir.

Başka bir deyişle EK başlangıçta daha fazla enerji ve kaynak kullanımına neden olabilir ancak bilgi ve teknoloji yoğun üretimle yaşanacak verimlilik artışı emisyonların düşmesini sağlayabilir. Bu süreçte yenilenebilir enerjiye geçişin kritik bir role sahip olduğu söylenebilir. Ele alınan paneldeki ülkelerin nüfusu ve ekonomik büyüklükleri, CO_2 emisyonlarına paralel şekilde küresel ölçekte önemli bir ağırlığa sahiptir. Bu sebeple araştırmanın bulguları sadece söz konusu on ülke için değil, küresel politika tartışmaları için de önemlidir. Daha karmaşık ekonomilere geçişin çevre üzerinde yarattığı baskı sürdürülebilir kalkınma politikalarında enerji dönüşümünün büyük önem taşıdığını göstermektedir.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları vardır. Analiz, veri erişilebilirliği göz önünde bulundurularak, 1995-2022 dönemi ve on ülke ile sınırlı tutulmuştur. Dolayısıyla elde edilen bulgular farklı bir dönem aralığında veya farklı bir ülke grubunda geçerli olmayabilir. Bağımlı değişken CO_2 emisyonlarını, kişi başına değerler temsil ettiğinden sektöre dayalı veya üretim temelli farklar ihmal edilmiş olabilir. Bağımsız değişken olarak kullanılan EK endeksi ise ülkelerdeki inovasyon düzeyini ve yeşil teknoloji kapasitesini tam olarak yansıtmayabilir. Gelecek araştırmalar bu sınırlılıkları dikkate alıp finansal gelişme, dış ticaret açıklığı ve yenilenebilir enerji gibi değişkenleri de modele dahil ederek daha kapsamlı analizler gerçekleştirebilir. Bu sayede EK'nin çevresel etkileri daha ayrıntılı ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilir.

Beyan ve Açıklamalar (Disclosure Statements)

1. Bu çalışmanın yazarları, araştırma ve yayın etiği ilkelerine uyduklarını kabul etmektedirler (The authosr of this article confirm that their work complies with the principles of research and publication ethics).

2. Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir (No potential conflict of interest was reported by the authors).

3. Bu çalışma, intihal tarama programı kullanılarak intihal taramasından geçirilmiştir (This article was screened for potential plagiarism using a plagiarism screening program).

KAYNAKÇA

Abbasi, K. R., Lv, K., Radulescu, M., ve Shaikh, P. A. (2021). Economic complexity, tourism, energy prices, and environmental degradation in the top economic complexity countries: Fresh panel evidence. Environmental Science and Pollution Research, 28(48), 68717–68731. https://doi.org/10.1007/s11356-021-15312-4

Adebayo, T. S., Altuntaş, M., Goyibnazarov, S., Agyekum, E. B., Zawbaa, H. M., ve Kamel, S. (2022). Dynamic effect of disintegrated energy consumption and economic complexity on environmental degradation in top economic complexity economies. Energy Reports, 8, 12832–12842. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.161

Adebayo, T. S., Rjoub, H., Akadiri, S. S., Oladipupo, S. D., Sharif, A., ve Adeshola, I. (2021). The role of economic complexity in the environmental Kuznets curve of MINT economies: Evidence from method of moments quantile regression. Environmental Science and Pollution Research, 29(16), 24248–24260. https://doi.org/10.1007/s11356-021-17524-0

Akiş, E., ve Soyyiğit, S. (2020). Ekonomik karmaşıklık düzeyi ve CO2 emisyonu arasındaki ilişkinin analizi: ASEAN ülkeleri örneği. Yönetim Bilimleri Dergisi, 18(38), 865–885. https://doi.org/10.35408/comuybd.688354

Al-Ayouty, I. (2024). Economic complexity and renewable energy effects on carbon dioxide emissions: A panel data analysis of Middle East and North Africa countries. Journal of the Knowledge Economy, 15(3), 12006–12025. https://doi.org/10.1007/s13132-023-01540-1

Ali, M., ve Seraj, M. (2022). Nexus between energy consumption and carbon dioxide emission: evidence from 10 highest fossil fuel and 10 highest renewable energy-using economies. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(58), 87901–87922. https://doi.org/10.1007/s11356-022-21900-9

Aluko, O. A., Opoku, E. E. O., ve Acheampong, A. O. (2022). Economic complexity and environmental degradation: Evidence from OECD countries. Business Strategy and the Environment, 32(6), 2767–2788. https://doi.org/10.1002/bse.3269

Arslan, A., Qayyum, A., Tabash, M. I., Nair, K., AsadUllah, M., ve Daniel, L. N. (2023). The impact of economic complexity, usage of energy, tourism, and economic growth on carbon emissions: Empirical evidence of 102 countries. International Journal of Energy Economics and Policy, 13(5), 315–324. https://doi.org/10.32479/ijeep.14746

Atılgan, D. (2025). Doğal kaynak rantı, ekonomik karmaşıklık ve ekonomik büyümenin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisi. Yönetim ve Ekonomi Dergisi, 32(2), 207–224. https://doi.org/10.18657/yonveek.1538023

Bai, J. (2009). Panel data models with interactive fixed effects. *Econometrica*, *77*(4), 1229–1279. https://doi.org/10.3982/ecta6135

Balsalobre-Lorente, D., Ibáñez-Luzón, L., Usman, M., ve Shahbaz, M. (2022). The environmental Kuznets curve, based on the economic complexity, and the pollution haven hypothesis in PIIGS countries. Renewable Energy, 185, 1441–1455. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.059

Balsalobre-Lorente, D., Parente, C. C. D. S., Leitão, N. C., ve Cantos-Cantos, J. M. (2023). The influence of economic complexity processes and renewable energy on CO2 emissions of BRICS. What about industry 4.0? Resources Policy, 82, 103547. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103547

Boleti, E., Garas, A., Kyriakou, A., ve Lapatinas, A. (2021). Economic complexity and environmental performance: evidence from a world sample. Environmental Modeling & Assessment, 26(3), 251–270. https://doi.org/10.1007/s10666-021-09750-0

Breusch, T. S., ve Pagan, A. R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and its Applications to Model Specification in Econometrics. *The Review of Economic Studies*, *47*(1), 239. https://doi.org/10.2307/2297111

Bucak, Ç. (2021). AB15 ülkelerinde ve Türkiye'de ekonomik karmaşıklık endeksi, insani gelişme endeksi ve karbon emisyonu: Panel veri analizi. Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi, 12(1), 71–88. https://doi.org/10.18354/esam.763411

Bucak, Ç. (2022). The relationship between economic complexity and ecological footprint in G8 countries and Turkey: Toda-Yamamoto causality test analysis. Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 22(1), 1–16. https://doi.org/10.30976/susead.999109

Chu, L. K. (2021). Economic structure and environmental Kuznets curve hypothesis: New evidence from economic complexity. Applied Economics Letters, 28(7), 612–616. https://doi.org/10.1080/13504851.2020.1767280

Çağlar, A. E., Zafar, M. W., Bekun, F. V., ve Mert, M. (2022). Determinants of CO2 emissions in the BRICS economies: The role of partnerships investment in energy and economic complexity. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 51, 101907. https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101907

Çoban, M. N., Yeter, F., ve Kangal, N. (2022). Ekonomik kompleksite ve çevresel bozulma ilişkisi: Arktik Konseyi ülkeleri üzerine ekonometrik bir analiz. Uluslararası Batı Karadeniz Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi, 6(2), 264–279. https://doi.org/10.46452/baksoder.1208045

Demiral, M., ve Akça, E. E. (2022). Economic complexity–carbonization nexus in the European Union: A heterogeneous panel data analysis. Energy Sources Part B: Economics Planning and Policy, 17(1). https://doi.org/10.1080/15567249.2022.2046210

Doğan, B., Driha, O. M., Lorente, D. B., ve Shahzad, U. (2021). The mitigating effects of economic complexity and renewable energy on carbon emissions in developed countries. Sustainable Development, 29(1), 1–12. https://doi.org/10.1002/sd.2125

Durusoy, Ö. T. (2024). Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde ekonomik karmaşıklık (complexity) İle çevresel bozulma arasındaki İlişki: 2003-2023 yılları için panel veri analizi. Politik Ekonomik Kuram. https://doi.org/10.30586/pek.1503635

Ersungur, Ş. M., Tığtepe, E., ve Kılıç, F. (2022). Ekonomik karmaşıklık ve ekolojik ayak izi ilişkisi: Toda-Yamamoto nedensellik analizi. İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 5(2), 271–294. https://doi.org/10.33416/baybem.1118496

European Commission Joint Research Center. (2024). GHG emissions of all world countries – 2024. *Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)*. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2024

Hausmann, R., Hidalgo, C. A., Bustos, S., Coscia, M., Simoes, A., ve Yıldırım, M. A. (2013). *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity*. MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/9647.001.0001

He, K., Ramzan, M., Awosusi, A. A., Ahmed, Z., Ahmad, M., ve Altuntaş, M. (2021). Does globalization moderate the effect of economic complexity on CO2 emissions? Evidence from the Top 10 energy transition economies. Frontiers in Environmental Science, 9. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.778088

Hidalgo, C. A., ve Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity, Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), 106(26), 10570–10575. https://doi.org/10.1073/pnas.0900943106

https://www.jstor.org/stable/j.ctt5hhcfr

Im, K. S., Pesaran, M. H., ve Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, *115*(1), 53–74. https://doi.org/10.1016/s0304-4076(03)00092-7

Irwin, J. R., ve McClelland, G. H. (2001). Misleading heuristics and moderated multiple regression models. *Journal of Marketing Research, 38*(1), 100-109.

Karimzadeh, M., Delgarm, A., Sasouli, M. R., ve Eidouzehi, E. T. (2023). Effect of economic complexity on CO2 emission: A selection of Shanghai Cooperation Organization member countries. Polish Journal of Environmental Studies. https://doi.org/10.15244/pjoes/168428

Khezri, M., Heshmati, A., ve Khodaei, M. (2022). Environmental implications of economic complexity and its role in determining how renewable energies affect CO2 emissions. Applied Energy, 306, 117948. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117948

Kuznets, S. (1955). "Economic growth and income inequality", The American Economic Review, 45(1), 1–28. https://www.jstor.org/stable/1811581

Laverde-Rojas, H., ve Correa, J. C. (2021). Economic complexity, economic growth, and CO2 emissions: A panel data analysis. International Economic Journal, 35(4), 411–433. https://doi.org/10.1080/10168737.2021.1975303

Leitão, N. C., Balsalobre-Lorente, D., ve Cantos-Cantos, J. M. (2021). The impact of renewable energy and economic complexity on carbon emissions in BRICS countries under the EKC scheme. *Energies,* 14(16), 4908. https://doi.org/10.3390/en14164908

Liu, C., ve Liu, T. (2023). Fossil fuel, greenhouse gas and global warming. *Global Journal of Science Frontier Research*, 23(4). https://doi.org/10.34257/gjsfrhvol23is4pg21

Lybbert, T., ve Xu, M. (2021). "Innovation-adjusted economic complexity and growth: do patent flows reveal enhanced economic capabilities?", Review of Development Economics, 26(1), 442-483. https://doi.org/10.1111/rode.12816

Martins, J. M., Adebayo, T. S., Mata, M. N., Oladipupo, S. D., Adeshola, I., Ahmed, Z., ve Correia, A. B. (2021). Modeling the relationship between economic complexity and environmental degradation: Evidence from Top seven economic complexity countries. *Frontiers in Environmental Science*, 9. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.744781

Martins, T., Barreto, A. C., Souza, F. M., ve Souza, A. M. (2021). Fossil fuels consumption and carbon dioxide emissions in G7 countries: Empirical evidence from ARDL bounds testing approach. *Environmental Pollution*, *291*, 118093. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118093

Naimoğlu, M., ve Akal, M. (2024). Relationship between economic complexity, globalization, energy sources and environmental sustainability. Politická Ekonomie, 72(6), 985–1013. https://doi.org/10.18267/j.polek.1446

Nan, S., Huo, Y., You, W., ve Guo, Y. (2022). Globalization spatial spillover effects and carbon emissions: What is the role of economic complexity? Energy Economics, 112, 106184. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106184

Neagu, O. (2019). The link between economic complexity and carbon emissions in the European Union countries: A model based on the Environmental Kuznets Curve (EKC) approach. Sustainability, 11(17), 4753. https://doi.org/10.3390/su11174753

Neagu, O. (2020). Economic complexity and ecological footprint: Evidence from the most complex economies in the world. Sustainability, 12(21), 9031. https://doi.org/10.3390/su12219031

Neagu, O., ve Teodoru, M. C. (2019). The relationship between economic complexity, energy consumption structure and greenhouse gas emission: Heterogeneous panel evidence from the EU countries. Sustainability, 11(2), 497. https://doi.org/10.3390/su11020497

Nguyen, C. P., ve Doytch, N. (2022). Does knowledge matter for the environment? Global evidence of economic complexity and ecological footprints. Environmental Science and Pollution Research, 29(54), 82122–82139. https://doi.org/10.1007/s11356-022-21547-6

Osinubi, T. T. (2024). Does economic complexity influence carbon emissions? Evidence from Next Eleven countries. Economics and Culture, 21(1), 64–76. https://doi.org/10.2478/jec-2024-0005

Özbek, S., ve Naimoğlu, M. (2022). Çevre kalitesi-ekonomik karmaşıklık Iilişkisi: Türkiye Ekonomisi üzerine Fourier eşbütünleşme analizi. Istanbul Journal of Economics / İstanbul İktisat Dergisi, 72(1), 407–431. https://doi.org/10.26650/istjecon2022-1061837

Peng, G., Meng, F., Ahmed, Z., Ahmad, M., ve Kurbonov, K. (2022). Economic growth, technology, and CO2 emissions in BRICS: Investigating the non-linear impacts of economic complexity. Environmental Science and Pollution Research, 29(45), 68051–68062. https://doi.org/10.1007/s11356-022-20647-7

Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.572504

Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, *22*(2), 265–312. https://doi.org/10.1002/jae.951

Pesaran, M. H., ve Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, *142*(1), 50–93. https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.010

Ren, Y., Mo, Y., ve You, W. (2024). Economic complexity, CO 2 emissions, and the mediating roles of energy structure and energy efficiency: a spatial panel analysis. Applied Economics, 1–15. https://doi.org/10.1080/00036846.2024.2302930

Romero, J. P., ve Gramkow, C. (2020). Economic complexity and greenhouse gas emission intensity. Cambridge Centre for Economic and Public Policy. https://www.landecon.cam.ac.uk/sites/default/files/2023-03/cceppwp032020.pdf

Romero, J. P., ve Gramkow, C. (2021). Economic complexity and greenhouse gas emissions. World Development, 139, 105317. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105317

Rothman, D. S., ve De Bruyn, S. M. (1998). "Probing into the environmental Kuznets curve hypothesis", Ecological Economics, 25(2), 143-145. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00183-3

Sajid, S., Abas, A., Hassan, S. S. U., ve Arooj, M. (2024). The interaction of institutional quality, economic complexity, and carbon dioxide emission: an empirical examination for China and Pakistan. Sustainable Futures, 7, 100222. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100222

Shah, M. H., De Chun, H., Wang, Y., Ullah, I., Hassan, S. T., ve Fareed, Z. (2023). Analyzing nexus between economic complexity, renewable energy, and environmental quality in Japan: A new evidence from QARDL approach. International Journal of Energy Research, 2023, 1–14. https://doi.org/10.1155/2023/1683231

Swamy, P. a. V. B. (1970). Efficient inference in a random coefficient regression model. *Econometrica*, *38*(2), 311. https://doi.org/10.2307/1913012

Tabash, M. I., Farooq, U., Aljughaiman, A. A., Wong, W., ve AsadUllah, M. (2024). Does economic complexity help in achieving environmental sustainability? New empirical evidence from N-11 countries. Heliyon, 10(11), e31794. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31794

Taghvaee, V. M., Nodehi, M., ve Saboori, B. (2022). Economic complexity and CO2 emissions in OECD countries: sector-wise Environmental Kuznets Curve hypothesis. Environmental Science and Pollution Research, 29(53), 80860–80870. https://doi.org/10.1007/s11356-022-21491-5

Tekbaş, M., ve Tutumlu, H. (2023). Ekonomik büyüme, ekonomik karmaşıklık, yenilenebilir enerji tüketimi ve CO2 emisyonu ilişkisi: Türkiye örneği.Siyaset Ekonomi ve Yönteim Araştırmaları Dergisi. https://doi.org/10.54429/seyad.1311540

Türköz, K. (2025). Türkiye'de ekonomik karmaşıklık, insani gelişme ve çevresel bozulma arasındaki bağlantı: QARDL yaklaşımından yeni kanıtlar. İzmir İktisat Dergisi, 40(1), 132–150. https://doi.org/10.24988/ije.1491716

Ugur, M. S., Çatık, A. N., Sigeze, C., ve Balli, E. (2023). Time-varying impact of income and fossil fuel consumption on CO2 emissions in India. *Environmental Science and Pollution Research,* 30(58), 121960–121982. https://doi.org/10.1007/s11356-023-30806-z

United Nations. (t.y.-a). United Nations Conference on the Human Environment (Stockholm, 1972). https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972

United Nations. (t.y.-b). The Paris Agreement.https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement

United Nations. (t.y.-c). United Nations Summit on Sustainable Development, New York, 25–27 September 2015. https://www.un.org/en/conferences/environment/newyork2015

Westerlund, J. (2007). Testing for error correction in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69(6), 709–748. https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2007.00477.x

Wooldridge, J. M. (2010*). Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*, second edition. MIT Press.

World Bank. (2025). World Development Indicators.
https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators

Yağış, O. (2024). Ekonomik karmaşıklığın ekolojik ayak izine etkisi var mı? ASEAN 5 ülkelerinden yeni kanıtlar. *Iğdır ÜNiversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. https://doi.org/10.54600/igdirsosbilder.1384348

Yılancı, V., ve Pata, U. K. (2020). Investigating the EKC hypothesis for China: the role of economic complexity on ecological footprint. *Environmental Science and Pollution Research, 27*(26), 32683–32694. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09434-4

Yu, J., Ju, F., Wahab, M., Agyekum, E. B., Matasane, C., ve Uhunamure, S. E. (2022). Estimating the effects of economic complexity and technological innovations on CO2 emissions: Policy instruments for N-11 countries. *Sustainability, 14*(24), 16856. https://doi.org/10.3390/su142416856

Zengin Taşdemir, S., ve Topcu, E. (2024). Ekonomik karmaşıklık ve çevre: AB ülkeleri örneği. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14(*28), 627-641.