

Türkiye’de Ekonomik Karmaşıklık, İnsani Gelişme ve Çevresel Bozulma Arasındaki Bağlantı: QARDL Yaklaşımından Yeni Kanıtlar

Kumru TÜRKÖZ¹

Özet

İklim değişikliği sorunlarına yenilikçi çözüm arayışlarının bir sonucu olarak çevresel bozulmanın dinamikleri farklı boyutlarıyla sıklıkla tartışılmaktadır. Bu kapsamda çalışmada, 1998Q1-2020Q4 döneminde Türkiye’de ekonomik karmaşıklık, insani gelişme, enerji yoğunluğu ve çevresel bozulma arasındaki dinamik bağlantı araştırılmaktadır. Değişkenler arasındaki ilişki, asimetri ve farklı kantillerdeki kısa ve uzun vadeli dinamikleri dikkate alan kantil otoregresif dağıtılmış gecikme (QARDL) yaklaşımıyla analiz edilmektedir. Ampirik bulgular; Türkiye’de ekonomik karmaşıklık, insani gelişme ve enerji yoğunluğunun (daha düşük kantillerde) uzun dönemde çevresel bozulmayı önemli ölçüde arttırdığına işaret etmektedir. Kısa dönemde ise, ekonomik karmaşıklık çevresel bozulmayı arttırmakta ancak uzun döneme kıyasla etkisi azalmakta, insani gelişme uzun dönemin aksine kısa dönemde çevresel bozulmayı azaltmakta, enerji yoğunluğu ise çevresel bozulma üzerinde anlamlı bir etki yaratmamaktadır. Bu bulgular, karmaşık bir üretim yapısının ülkenin enerji talebini artırarak fosil yakıtların daha fazla tüketilmesine ve sonuçta emisyonların artmasına neden olabileceğine işaret etmektedir. Ayrıca insani gelişmenin kalkınmanın ilk aşamalarında çevresel iyileşmeden ziyade eğitim, sağlık ve refah düzeyinin artırılması gibi hedeflere odaklandığı söylenebilir. Bu kapsamda ülkede sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşabilmek ve küresel çevresel iyileşme çabalarına daha fazla destek verebilmek için enerji bileşiminde bir dönüşüm, enerji verimliliğinin sağlanması ve kalkınmanın ekonomik ve sosyal hedeflerinin iyileştirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Ekonomik Karmaşıklık, İnsani Gelişme, Çevresel Bozulma, QARDL.

Jel Kodu: O15, Q54, C32.

The Nexus between Economic Complexity, Human Development and Environmental Degradation in Türkiye: New Evidence from the QARDL Approach

Abstract

As a result of the search for innovative solutions to climate change problems, the dynamics of environmental degradation are frequently discussed in their different dimensions. In this context, the study investigates the dynamic nexus between economic complexity, human development, energy intensity, and environmental degradation in Türkiye in the period 1998Q1-2020Q4. The relationship between variables is analyzed with the quantile autoregressive distributed lag (QARDL) approach, which takes into account asymmetries and short and long run dynamics at different quantiles. Empirical findings indicate that economic complexity, human development, and energy intensity (at lower quantiles) significantly increase environmental degradation in the long run in Türkiye. In the short run, economic complexity increases environmental degradation, but its effect decreases compared to the long run; human development reduces environmental degradation in the short run, unlike in the long run; and energy intensity does not have a significant effect on environmental degradation. These findings indicate that a complex production structure may increase the country's energy demand, causing more consumption of fossil fuels and ultimately increasing emissions. In addition, it can be said that human development focuses on goals such as increasing the level of education, health, and welfare rather than environmental improvement in the early stages of development. In this context, it is thought that a transformation in the energy mix, ensuring energy efficiency, and improving the economic and social goals of development are necessary in order to achieve sustainable development goals and to provide more support to global environmental improvement efforts in the country.

Keywords: Economic Complexity, Human Development, Environmental Degradation, QARDL.

Jel Codes: O15, Q54, C32.

ATIF ÖNERİSİ (APA): 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. Doi: 10.24988/ije.1491716

¹Doç. Dr., Balıkesir Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Balıkesir, Türkiye

EMAIL: kumru.turkoz@balikesir.edu.tr **ORCID:** 0000-0002-0640-4212

1. GİRİŞ

Çevre kirliliği, iklim değişikliği ve karbondioksit (CO₂) emisyonları, insanlığın on yıllar boyunca karşı karşıya kaldığı büyük risklerdir. Dünya genelinde yaşanan hızlı kalkınma ve büyüme, kendisindeki artıştan daha büyük bir oranda çevresel bozulmaya yol açarak küresel ısınmaya neden olmaktadır (Shah, De Chun, Wang, Ullah, Hassan ve Fareed, 2023:1). Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development- OECD) (2012)'ne göre, 2050 yılına kadar enerji kaynaklı CO₂ emisyonlarının %70 artması nedeniyle sera gazı emisyonlarının %50'ye kadar artması öngörülmektedir. Ayrıca sera gazlarının atmosferik yoğunluğunun 2050 yılına kadar milyonda 685 birim (ppm) CO₂ eşdeğerine ulaşabileceği bu durumun ise, küresel ortalama sıcaklığın yüzyılın sonuna kadar sanayi öncesi seviyelerin 3 santigrat derece ile 6 santigrat derece üzerine çıkabileceği tahmin edilmektedir. Bu sebeple çevresel bozulmanın öncü göstergesi olarak CO₂ emisyonunun belirleyicileri literatürde farklı boyutlarıyla sıklıkla tartışılmaktadır. Özellikle ekonomik büyümenin ve enerji tüketiminin (fosil kaynaklı) emisyonların artmasında önemli bir payının bulunduğu genel bir görüş birliği ile savunulmaktadır (Wang, Zhou, Zhou ve Wang, 2011; Shahbaz, Hye, Tiwari ve Leitão 2013; Albiman, Suleiman ve Baka, 2015; Çetintaş, Bicil ve Türköz, 2016; Ehigiamusoe ve Lean, 2019; Osobajo, Otitoju, Otitoju ve Oke, 2020; Salari, Javid ve Noghanibehambari, 2021). Bunun yanı sıra doğrudan yabancı yatırımlar, finansal gelişme, ticari açıklık, kentleşme, küreselleşme, kurumsal kalite, doğal kaynak rantı ve teknolojik yenilik gibi farklı değişkenler ile CO₂ emisyonlarının kaynakları belirlenmeye çalışılmaktadır (Behera ve Dash, 2017; Zaidi, Zafar, Shahbaz ve Hou, 2019; Le ve Öztürk, 2020; Wang, Vo, Shahbaz ve Ak, 2020; Chen ve Lee, 2020; Teng, Khan, Khan, Chishti ve Khan, 2021; Abid, Mehmood, Tariq ve Haq, 2022; Wang, Zhang ve Li, 2023).

Bu değişkenlere ek olarak emisyonlar, son dönemde ekonomik kalkınmayı ölçmek için geliştirilen ekonomik karmaşıklık ve insani gelişme endeksi gibi bazı endekslerle de ilişkilendirilmektedir. Ekonomik karmaşıklık, herhangi bir ülkenin bilgi ve beceriye dayalı gelişmiş üretimini açıklamaktadır. Özellikle vasıflı işgücü, düzenlemeler, hukukun üstünlüğü, mülkiyet hakları, kurumsal yapı ve altyapı kalitesi gibi yeteneklerin dâhil edilmesi, ekonomik karmaşıklığı ekonominin ve yapısal değişimin benzersiz ve bütünsel bir göstergesi haline getirmektedir (Hidalgo, Klinger, Barabási ve Hausmann, 2007; Hidalgo ve Hausmann, 2009). Daha basit bir ifadeyle ekonomik karmaşıklık endeksi, bir ülkenin ihracat sepetinin çeşitliliğinin ve karmaşıklığının bir ifadesidir (Neagu ve Teodoru, 2019:3). Yüksek karmaşıklık ülkenin katma değeri yüksek mallar ürettiğini ortaya koyarken, düşük karmaşıklık pek çok ülke tarafından üretilen basit malların ihraç edildiğini göstermektedir (Özbek ve Naimoğlu, 2022:412). Dolayısıyla daha karmaşık bir üretken yapı, ülkelerin daha hızlı kalkınmaya yol açan yüksek üretkenlik faaliyetlerine girişmelerini sağlamaktadır. Bu nedenle, bir ülkenin üretken yapısının genel karmaşıklığı, büyüme ve kalkınmayı açıklamak için temel değişkendir. Ancak bir ülkenin üretken yapısının sera gazı emisyonlarını etkileyebileceği ve ürünlerin karmaşıklık düzeyinin kirlilik yaratarak çevreye zarar verebileceği açıktır. Bunun nedeni, üretim yapısının ve üretim faaliyetlerinin, yenilenemeyen ve fosil kaynaklı enerji tüketimini gerektirmesidir. Diğer taraftan bu durum aynı zamanda daha yeşil ürünleri ve çevre dostu teknolojileri teşvik etmeye yardımcı olabilecek bilgi ve yetenekleri, araştırma ve yenilikçiliği de bünyesinde barındırır (Felipe, Kumar, Abdon ve Bacate, 2012; Neagu ve Teodoru, 2019:3; Shahzad, Fareed, Shahzad ve Shahzad, 2021:2). Dolayısıyla ekonomik karmaşıklık ve çevresel kalite arasında incelenmesi gereken önemli bir bağlantı bulunmaktadır.

Ekonomik kalkınmanın ölçülmesinde önemli diğer bir gösterge ise insani gelişme endeksidir. İnsani gelişme endeksi; doğumda beklenen yaşam süresi, eğitim düzeyi ve kişi başına düşen gelir gibi üç farklı boyutun ortalaması olarak hesaplanmaktadır (United Nations Development Programme [UNDP], 2024). Yalnızca gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH) gibi ekonomik göstergeler ile insan refahını ölçmek mümkün değildir. Bu nedenle UNDP tarafından ilk kez 1990 yılında tanımlanan insani gelişme

endeksi; eğitilmiş, uzun ve dinç bir yaşam ve uygun yaşam ideallerinden oluşan üç özelliğe dayalı olarak insani gelişmenin değerlendirilmesinde temel ölçüyü elde etmek için giderek GSYH'nin yerini almaktadır (Hossain ve Chen, 2021:58742). Çünkü insani gelişme endeksi yalnızca ekonomilerin yükselişi ve düşüşüyle ilgilenmez, aynı zamanda insanların tercihlerindeki genişleme ve daralmayla da ilgilenir (Akbar, Hussain, Akbar ve Ullah, 2021:10472). Böylelikle insani gelişme endeksi, ülkenin sağlık ve eğitim profillerinin yanı sıra, iklimle ilgili aşırılıklara maruziyetinin ve uyum kapasitesinin önemli bir göstergesidir (Costa, Rybski ve Kropp, 2011:1). Ekonomik büyüme, insani gelişme ve sürdürülebilir kaynaklar arasındaki nedensellik ilişkisi ve insani gelişmenin gerçekleştirilmesi; çevre, barış ve insani vicdan dengesini gerektirir. Bu nedenle insani gelişme ile çevresel bozulma arasında yakın bir bağlantı bulunmaktadır (Zulham, Dawood, Farlian, Saputra, Juliansyah ve Hadi, 2021:315). Bu kapsamda sürdürülebilir kalkınma da insan refahını ve bölgesel eşitliği iyileştirirken çevresel baskının azaltılmasına vurgu yaparak insani gelişme ile çevresel-ekolojik maliyet arasında bir denge aramaktadır (Zhang ve Wu, 2022:1).

Ekonomik kalkınma göstergelerine ek olarak enerji yoğunluğu da emisyonları etkileyen diğer önemli bir bileşendir. Enerji yoğunluğu, bir birim ekonomik çıktı üretmek için ne kadar enerji kullanıldığının bir göstergesidir (World Bank, 2024a). Enerji, temel ihtiyaçların karşılanması ve ekonomik kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi için vazgeçilmez bir girdidir; ancak enerji üretiminin fosil yakıtlara bağlı olması durumunda daha yüksek enerji yoğunluğu çevre kirliliğine neden olabilir (Danish, Ulucak ve Khan, 2020:1457). Enerdata (2024) verilerine göre, küresel enerji yoğunluğu 2022'de %1,2 oranında azalarak, 2021 yılına kıyasla daha büyük bir iyileşme göstermiştir. Ancak bu azalış 2010 ile 2019 arasında %1,9 olan tarihsel trendden daha yavaş gerçekleşmiştir. Bu, iklim değişikliği hedeflerinden 2°C senaryosuna ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden enerji verimliliğine (SDG-7.3) ulaşmak için gereken yıllık %3,5'in üzerindeki emisyon azalışıyla kıyaslandığında yetersiz kalmaktadır. Artan ekonomik faaliyetlere karşılık enerji yoğunluğundaki bu düşük iyileştirmeler, CO₂ emisyonlarını artırmakta ve çevresel sürdürülebilirliğe zarar vermektedir (Amuakwa-Mensah ve Adom, 2017:17456-17457). Bu nedenle, çevre dostu teknoloji yoluyla ve/veya ulusal üretim oranında daha az enerji yoğun ürünlere yönelik değişiklikler yoluyla enerji verimliliği iyileştirmeleri, enerji yoğunluğunu azaltmak ve çevre kalitesini iyileştirmek için bir ara hedef olarak belirlenmektedir (Mahmood ve Ahmad, 2018:90).

Söz konusu bu ilişkilerden yola çıkarak bu çalışmada, Türkiye için CO₂ emisyonları ile ekonomik karmaşıklık, insani gelişme ve enerji yoğunluğu arasındaki dinamik bağlantı 1998Q1-2020Q4 dönemi boyunca araştırılmaktadır. Çalışmanın mevcut literatüre olası katkıları şu şekildedir: (i) Kalkınmanın Türkiye'nin çevresel bozulması üzerindeki etkisi hem ekonomik (ekonomik karmaşıklık) hem de sosyoekonomik (insani gelişme) boyutu dikkate alınarak aynı model içerisinde incelenmektedir. (ii) Literatürde genellikle enerji tüketimi çevre kirliliğinin temel bir nedeni olarak görülmektedir. Enerji yoğunluğu ile çevre arasındaki bağlantıya odaklanan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada birim çıktı başına düşen enerji miktarını göstermesi nedeniyle enerji yoğunluğunun emisyonlar üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. (iii) Son olarak çalışmada değişkenler arasındaki asimetrisi ortaya çıkaran ve farklı kantillerdeki kısa vadeli dinamikleri ve uzun vadeli eşbütünleşme ilişkilerini birlikte analiz etmeye olanak sağlayan yeni bir ekonometrik yöntem olan kantil otoregresif dağıtılmış gecikme (QARDL) yaklaşımından faydalanılmaktadır.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde tasarlanmıştır: Bölüm 2'de; ekonomik karmaşıklık, insani gelişme, enerji yoğunluğu ve CO₂ emisyonları arasındaki bağlantıyı araştıran ampirik literatür incelenmektedir. Bölüm 3'te; veri, yöntem ve bulgular tartışılmaktadır. Son olarak Bölüm 4'te; sonuç ve politika çıkarımları sunulmaktadır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Çevresel bozulmayı ekonomik karmaşıklık, insani gelişme ve enerji yoğunluğundaki değişimler ile açıklamaya çalışan mevcut literatürü üç ayrı grupta incelemek mümkündür:

2.1. Çevresel Bozulma ve Ekonomik Karmaşıklık Bağlantısı

Ekonomik karmaşıklık-çevre ilişkisinin araştırıldığı çalışmalardan pek çoğu ekonomik karmaşıklığın çevresel bozulmayı tetiklediğini savunmaktadır. İlk gruptaki bu çalışmalar; büyüme, yenilenebilir enerji, kentleşme, nüfus, eğitim, doğrudan yabancı yatırımlar, küreselleşme, ticaret gibi farklı açıklayıcı değişkenlerle söz konusu ilişkiyi incelemektedir. Örneğin; Doğan, Saboori ve Can (2019) çalışmalarında, 1971-2014 döneminde 55 ülkede panel kantil regresyon yöntemi aracılığıyla ekonomik karmaşıklığın düşük ve yüksek orta gelirli ülkelerde çevresel bozulmayı artırdığını gözlemlemişlerdir. Neagu ve Teodoru (2019) çalışmalarında, 1995-2016 döneminde 25 Avrupa Birliği (AB) ülkesinde panel analiz tekniğiyle ekonomik karmaşıklığın artmasının kirlilik riskini artırdığını göstermişlerdir. Shahzad ve diğerleri (2021) çalışmalarında, 1965Q1-2017Q4 döneminde Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) QARDL yaklaşımıyla ekonomik karmaşıklığın ekolojik ayak izini önemli ölçüde artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Taghvaae, Nodehi ve Saboori (2022) çalışmalarında, 1971-2016 döneminde OECD ülkelerinde ekonomik karmaşıklık ile çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi panel havuzlanmış ortalama grup tahmincisi ile incelemişler ve OECD ülkelerinin çoğunda karmaşıklık ile emisyonlar arasında pozitif bir bağlantı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Shah ve diğerleri (2023) çalışmalarında, 1970Q1-2019Q4 dönemi için Japonya'da ekonomik karmaşıklık ve çevre kalitesi arasındaki bağlantıyı araştırmışlardır. QARDL bulguları, ekonomik karmaşıklığın ülkenin CO₂ emisyonlarını artırdığına işaret etmiştir.

Buna karşılık ikinci gruptaki çalışmalar ise, ilk grupta olduğu gibi farklı kontrol değişkenleri aracılığıyla ekonomik karmaşıklığın çevresel iyileşmeyi teşvik ettiğini savunmaktadır. Örneğin; Leitao, Balsalobre-Lorente ve Cantos-Cantos (2021) çalışmalarında, 1990-2015 döneminde BRICS ülkelerinde panel kantil regresyon ile ekonomik karmaşıklığın CO₂ emisyonlarını azalttığı sonucuna ulaşmıştır. He, Ramzan, Awosusi, Ahmed, Ahmad, ve Altuntaş (2021) çalışmalarında, 1990-2018 döneminde 10 farklı enerji geçiş ekonomisinde panel veri analiziyle ekonomik karmaşıklığın CO₂ emisyonlarını azalttığı bulgusuna ulaşmışlardır. Romero ve Gramkow (2021) çalışmalarında, 1976-2012 yılları arasında 67 ülke için Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi (GMM) ile ekonomik karmaşıklığın CO₂ emisyonlarını azalttığını tespit etmişlerdir. Caglar, Zafar, Bekun ve Mert (2022) çalışmalarında, 1990-2018 döneminde BRICS ülkelerinde ikinci nesil panel yöntemleri analizi aracılığıyla ekonomik karmaşıklıkta olumlu değişikliklerin çevre kalitesini artırdığını gözlemlemişlerdir. Özbek ve Naimoğlu (2022) çalışmalarında, 1964-2018 döneminde Türkiye'de Fourier ADL analizi aracılığıyla ekonomik karmaşıklığın uzun dönemde ekolojik ayak izini azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Balsalobre-Lorente, Dos Santos Parente, Leitão ve Cantos-Cantos (2023) çalışmalarında, BRICS ülkeleri için 1995-2020 döneminde panel veri analiziyle ekonomik karmaşıklık endeksi ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemişler ve ekonomik karmaşıklığın emisyonların azaltılmasına katkıda bulunduğu bir dönüm noktası olduğuna işaret etmişlerdir.

2.2. Çevresel Bozulma ve İnsani Gelişme Bağlantısı

İnsani gelişme ve çevre bağlantısı literatürde; sağlık harcamaları, uluslararası ticaret, turizm, doğrudan yabancı yatırımlar, GSYH, yenilenebilir enerji, finansal kalkınma ve elektrik tüketimi gibi farklı kontrol değişkenleri dikkate alınarak araştırılmaktadır. Bu kapsamda az sayıda olmakla birlikte bazı çalışmalar insani gelişmenin çevresel bozulmayı artırdığını savunmaktadır. Bu çalışmalardan örneğin; Costa ve diğerleri (2011) çalışmalarında, gelişmekte olan ülkelerde insani gelişme ile CO₂ emisyonları arasında pozitif bir ilişkinin bulunduğunu ve farklı senaryolar altında 2050 yılına kadar bu ilişkinin geçerli olacağını tespit etmişlerdir. Dumor, Li, Amouzou, Ampaw, Kursah ve Akakpo (2022) çalışmalarında, 1980-2020 döneminde Doğu Afrika Topluluğundan oluşan bir veri kümesi

için dinamik otoregresif dağıtılmış gecikme (DARDL) analizi aracılığıyla insani gelişme endeksi ve CO₂ emisyonlarının pozitif yönde ilişkili olduğunu gözlemlemişlerdir.

Söz konusu literatürdeki pek çok çalışma ise insani gelişmenin çevresel iyileşmeye neden olduğunu savunmaktadır. Bu gruptaki çalışmalardan örneğin; Wang, Rasool, Asghar ve Wang (2019) çalışmalarında, 1990-2015 döneminde seçilmiş OECD ülkelerinde havuzlanmış ortalama grup panel tahmin tekniğini kullanarak insan gelişiminin çevresel iyileşmeyi teşvik ettiğini göstermiştir. Tran, Tran, Do, Dinh ve Do (2019) çalışmalarında, 1990-2014 döneminde 90 ülkede GMM yöntemi aracılığıyla artan insani gelişimin karbon emisyonlarının azalmasına yol açtığı bulgusuna ulaşmışlardır. Boonyasana ve Chinnakum (2020) çalışmalarında, 1995-2018 döneminde Tayland'da en küçük kareler analizi aracılığıyla insani gelişimin emisyonların azaltılmasına katkıda bulunduğunu tespit etmişlerdir. Manga ve Akar (2020) çalışmalarında, seçilmiş AB ülkeleri ve Türkiye'de 1998-2014 döneminde Panel ARDL yöntemi ile insani gelişmişlik endeksi ve karbon emisyonu arasında negatif yönlü bir ilişkinin bulunduğunu gözlemlemişlerdir. Pervaiz, Faisal, Rahman, Chander ve Ali (2021) çalışmalarında, Brezilya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika'da 2000Q1-2014Q4 döneminde panel analiz yaklaşımıyla insani gelişimin CO₂ emisyonlarını azalttığını tespit etmişlerdir. Sezgin, Bayar, Herta ve Gavriletea (2021) çalışmalarında, G7 ve BRICS ülkelerinde 1995-2015 döneminde panel eşbütünleşme analizi aracılığıyla insani gelişimin CO₂ emisyonlarını azaltıcı bir etkiye sahip olduğu bulgusuna ulaşmışlardır. Opoku, Dogah ve Aluko (2022) çalışmalarında, 1996-2016 döneminde OECD ülkelerinde panel kantil regresyon yöntemiyle insani gelişimin CO₂ emisyonlarını azalttığını tespit etmişlerdir. Minh ve Ly (2023) çalışmalarında, 1990-2020 döneminde Vietnam'da vektör otoregresyon (VAR) modeli ile insani gelişimin CO₂ emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunduğunu gözlemlemişlerdir. Leita (2024) çalışmasında, 1990-2019 döneminde G7 ülkelerinde panel kantil regresyonu aracılığıyla insani gelişimin emisyonları azalttığı bulgusuna ulaşmıştır.

2.3. Çevresel Bozulma ve Enerji Yoğunluğu Bağlantısı

Çevresel bozulma-enerji literatüründe genel olarak enerji tüketimi değişkeni ele alınmaktadır. Enerji yoğunluğunun dikkate alındığı sınırlı literatürde, enerji yoğunluğunun emisyonları artırarak çevresel bozulmadaki artışı tetiklediğine yönelik geniş bir fikir birliği mevcuttur. Bu çalışmalar söz konusu ilişkiyi incelerken; yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme, sanayileşme, kentleşme, uluslararası ticaret, finansal gelişme, ekonomik politika belirsizliği, araştırma ve geliştirme (Ar-Ge), doğrudan yabancı yatırım, endüstriyel geçiş ve doğal kaynak rantı gibi kontrol değişkenleri de dikkate almaktadır. Bu çalışmalardan Shahbaz, Jam, Bibi ve Loganathan (2015) çalışmalarında, 1971-2011 döneminde Portekiz'de ARDL Sınır testi yaklaşımıyla enerji yoğunluğunun CO₂ emisyonlarını artırdığını tespit etmişlerdir. Neagu (2019) çalışmasında, 1995-2017 döneminde seçilmiş 25 AB ülkesinde panel veri tahmincileriyle enerji yoğunluğundaki artışın CO₂ emisyonlarını artırdığını gözlemlemiştir. Danish ve diğerleri (2020) çalışmalarında, 1985-2017 döneminde ABD'de Dinamik ARDL yaklaşımıyla daha yüksek enerji yoğunluğunun kirliliğe katkıda bulunduğunu gözlemlemişlerdir. Namahoro, Wu, Zhou ve Xue (2021) çalışmalarında, 1980-2018 döneminde 50 Afrika ülkesinde panel tahmincileriyle enerji yoğunluğunun emisyonları artırdığı bulgusuna ulaşmışlardır. Rahman, Sultana ve Velayutham (2022) çalışmalarında, 1990-2018 döneminde dünyanın en büyük 25 gelişmekte olan ekonomisinde panel ARDL yaklaşımıyla enerji yoğunluğundaki bir birimlik artışın karbon yoğunluğunu 2.616 birim artırdığını gözlemlemişlerdir. Vitenu-Sackey ve Acheampong (2022) çalışmalarında, 2005-2018 döneminde 18 gelişmiş ülkede panel GMM ve genelleştirilmiş en küçük kareler tahmincileriyle enerji yoğunluğunun karbon emisyonlarını artırdığını tespit etmişlerdir. Yang, Cai, Lu ve Zhang (2022) çalışmalarında, 1980-2019 döneminde Çin'de ARDL yaklaşımıyla enerji yoğunluğundaki %1'lik bir artışın ülkenin CO₂ emisyonlarını ortalama %1,77 artırdığı bulgusuna ulaşmışlardır. Zhang ve diğerleri (2023) çalışmalarında, Fas'ta 1990-2020 döneminde ARDL yaklaşımıyla artan enerji yoğunluğunun karbon

emisyollarının artmasına önemli ölçüde katkıda bulunduğunu tespit etmişlerdir. İslam ve Rahaman (2023) çalışmalarında, Körfez İşbirliği Konseyi ülkelerinde 1995-2019 döneminde doğrusal olmayan havuzlanmış ortalama grup panel analiz tekniğiyle enerji yoğunluğunun karbon emisyonlarını artırdığı bulgusuna ulaşmışlardır. Haliru (2023) çalışmasında, 1990-2021 döneminde Nijerya'da ARDL yaklaşımıyla enerji yoğunluğunun emisyonları artırarak ülkenin sürdürülebilir kalkınmasını olumsuz etkilediğini tespit etmiştir.

Çevresel bozulma ve enerji yoğunluğu arasındaki aynı yönlü ilişkiye yönelik var olan görüş birliğine karşılık Appiah, Du, Yeboah ve Appiah (2019) ise çalışmalarında, 1990-2014 döneminde Uganda'da ARDL yaklaşımını kullanarak enerji yoğunluğundaki %1'lik artışın emisyonları %83,9 oranında azalttığı bulgusuna ulaşmışlardır.

3. VERİ, YÖNTEM VE BULGULAR

3.1. Veri

Çalışmada, Türkiye'de ekonomik karmaşıklık endeksi (ECI), insani gelişme endeksi (HDI) ve enerji yoğunluğu (EI)'nin CO₂ emisyonları üzerindeki uzun vadeli niceliksel etkileri araştırılmaktadır. Çevresel bozulmayı temsil eden bağımlı değişken CO₂ emisyonları; kişi başına metrik ton cinsinden, enerji yoğunluğu; megajoule cinsinden toplam birincil enerji arzının 2017 ABD doları cinsinden GSYH'ya oranı şeklinde Dünya Bankası Dünya Kalkınma Göstergeleri (World Bank-World Development Indicators) (2024b) veri tabanından temin edilmiştir. Modelde yer alan diğer değişkenlerden ekonomik karmaşıklık endeksi; The Observatory of Economic Complexity (2024) veri tabanından, insani gelişme endeksi verileri ise Our World in Data (2024) veri tabanından elde edilmiştir. 1998Q1-2020Q4 dönemini kapsayan veri seti Sharif, Baris-Tuzemen, Uzuner, Ozturk ve Sinha (2020); Shahzad ve diğerleri (2021); Godil, Sharif, Ali, Ozturk ve Usman (2021); Liu, Li, Aziz ve Raza (2023) ve Shah ve diğerleri (2023)'nin çalışmalarında olduğu gibi ikinci dereceden eşleştirme ve toplama yöntemi (quadratic matching and summation method) ile çeyreklik verilere dönüştürülmüştür. Son olarak tüm değişkenlerin doğal logaritması alınmıştır.

Tablo 1. Değişkenlere ait Tanımlayıcı İstatistikler

	CO ₂	ECI	HDI	EI
Ortalama	1.003	0.060	0.186	0.731
Medyan	1.014	0.075	0.181	0.734
Maksimum	1.312	0.150	0.210	0.853
Minimum	0.752	-0.057	0.162	0.635
Standart Sapma	0.170	0.055	0.016	0.063
Çarpıklık	0.060	-0.190	0.156	0.120
Basıklık	1.798	1.872	1.556	1.839
Jarque-Bera	5.586	5.433	8.363	5.383
Olasılık	0.061**	0.066**	0.015*	0.067**

Not: *, %1, ** ise %5 anlamlılık düzeyini temsil etmektedir.

Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikleri gösteren Tablo 1'e göre, en yüksek ortalama ve en yüksek maksimum değere CO₂ serisinin, en düşük ortalama ve en düşük maksimum değere ise ekonomik karmaşıklık endeksi serisinin sahip olduğu görülmektedir. Jarque-Bera test istatistiği sonuçları, tüm değişkenlerin normal dağıldığını göstermektedir.

3.2. Yöntem

Mevcut çalışmada ampirik analiz; Cho, Kim ve Shin (2015) tarafından geliştirilen dinamik kantil ARDL (QARDL) modeline dayanmaktadır. QARDL yaklaşımı, hem uzun vadeli (eşbütünleşme) ilişkiyi hem de tamamen parametrik bir ortamda farklı kantillerdeki (bir dizi nicelik boyunca) kısa vadeli dinamikleri eş zamanlı olarak değerlendirmek için uygun bir yöntemdir (Cho ve diğerleri, 2015:282). Bu yöntem, temel değişkenler arasındaki asimetriyi ortaya çıkarma yeteneği nedeniyle ARDL modelinden, eşbütünleşme katsayısının farklı kantiller arasında değişmesine izin vermesi nedeniyle

ise NARDL modelinden daha kapsamlıdır (Zhang ve diğerleri, 2023:76006-76007; Liu ve diğerleri, 2023:6).

Değişkenler arasındaki eşbütünleşmeyi analiz etmek için standart ARDL modeli şu şekilde ifade edilmektedir (Cho ve diğerleri, 2015):

$$CO_{2,t} = \alpha + \sum_{i=1}^p \phi_i CO_{2,t-i} + \sum_{i=0}^{q_1} \omega_i ECI_{t-i} + \sum_{i=0}^{q_2} \theta_i HDI_{t-i} + \sum_{i=0}^{q_3} \lambda_i EI_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Burada p, q_1, q_2 ve q_3 Schwarz Bilgi Kriteri (SIC) temelinde belirlenen her değişkenin ilgili gecikmelerini, ε_t ise $CO_{2,t} - E[CO_{2,t}/F_{t-1}]$ olarak tanımlanan hata terimini göstermektedir. Burada $F_{t-1}, \{ECI_t, HDI_t, EI_t, CO_{2,t-1}, ECI_{t-1}, HDI_{t-1}, EI_{t-1}, \dots\}$ tarafından oluşturulan en küçük σ alanıdır. Denklem (1)'in Cho ve diğerleri (2015) tarafından temel QARDL (p,q) modeli olarak genişletilmiş ve yeniden düzenlenmiş formu şu şekilde gösterilmektedir.

$$QCO_{2,t} = \alpha(\tau) + \sum_{i=1}^p \phi_i(\tau) CO_{2,t-i} + \sum_{i=0}^{q_1} \omega_i(\tau) ECI_{t-i} + \sum_{i=0}^{q_2} \theta_i(\tau) HDI_{t-i} + \sum_{i=0}^{q_3} \lambda_i(\tau) EI_{t-i} + \varepsilon_t(\tau) \quad (2)$$

Denklem 2'de $\varepsilon_t(\tau) = CO_{2,t} - QCO_{2,t}(\tau/F_{t-1})$ ve $QCO_{2,t}(\tau/F_{t-1})$, F_{t-1} bilgi setine bağlı $CO_{2,t}$ 'nin τ 'inci yüzdelik dilimi olarak tanımlanmaktadır. Hata terimindeki otokorelasyon olasılığı nedeniyle, QARDL'yi analiz etmek için denklem (2) aşağıdaki gibi yeniden düzenlenebilir:

$$Q\Delta CO_{2,t} = \alpha + \rho CO_{2,t-1} + \gamma_{ECI} ECI_{t-1} + \gamma_{HDI} HDI_{t-1} + \gamma_{EI} EI_{t-1} + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta CO_{2,t-i} + \sum_{i=0}^{q_1} \delta_{ECI_i} \Delta ECI_{t-i} + \sum_{i=0}^{q_2} \delta_{HDI_i} \Delta HDI_{t-i} + \sum_{i=0}^{q_3} \delta_{EI_i} \Delta EI_{t-i} + \varepsilon_t(\tau) \quad (3)$$

QARDL hata düzeltme modeli (QARDL-ECM)'ni elde etmek için denklem (3)'ün aşağıda yer verilen denklem (4)'te gösterildiği gibi yeniden formüle edilmesi gerekmektedir:

$$Q\Delta CO_{2,t} = \alpha(\tau) + \rho(\tau)(CO_{2,t-1} - \beta_{ECI}(\tau) ECI_{t-1} - \beta_{HDI}(\tau) HDI_{t-1} - \beta_{EI}(\tau) EI_{t-1}) + \sum_{i=1}^p \phi_i(\tau) \Delta CO_{2,t-i} + \sum_{i=0}^{q_1} \omega_{ECI_i}(\tau) \Delta ECI_{t-i} + \sum_{i=0}^{q_2} \theta_{HDI_i}(\tau) \Delta HDI_{t-i} + \sum_{i=0}^{q_3} \lambda_{EI_i}(\tau) \Delta EI_{t-i} + \varepsilon_t(\tau) \quad (4)$$

Önceki çevresel bozulmanın mevcut bozulma üzerindeki kümülatif kısa vadeli etkisi $\phi^* = \sum_{i=1}^p \phi_i$ ile belirlenmektedir. Benzer şekilde ECI, HDI ve EI'nın çevresel bozulma üzerindeki kısa vadeli etkileri de sırasıyla $\omega^* = \sum_{i=0}^{q_1} \omega_i$, $\theta^* = \sum_{i=0}^{q_2} \theta_i$ ve $\lambda^* = \sum_{i=0}^{q_3} \lambda_i$ şeklinde hesaplanmaktadır.

Ayrıca ECI, HDI ve EI'nın çevresel bozulma üzerindeki uzun vadeli etkisi şu şekilde ölçülmektedir:

$$\beta_{ECI}^* = -\frac{\beta_{ECI}}{\rho}, \quad \beta_{HDI}^* = -\frac{\beta_{HDI}}{\rho} \text{ ve } \beta_{EI}^* = -\frac{\beta_{EI}}{\rho} \quad (5)$$

Hata düzeltme modeli parametresi ρ anlamlı ve negatif olmalıdır. Bu aşamadan sonra ECI, HDI ve EI'nın CO₂ üzerindeki uzun ve kısa vadeli asimetric etkisini değerlendirmek için Wald testine ihtiyaç duyulmaktadır. Wald testi ayrıca, parametrelerin güvenilirliği ve her bir yüzdelikteki katsayıların zaman tutarlılığını sınamak gibi iki önemli avantaj sunmaktadır (Zhang ve diğerleri, 2023: 76006). Bu kapsamda ρ parametresi için $\rho_*(0.05) = \rho_*(0.10) \dots \dots \dots = \rho_*(0.95)$ şeklindeki sıfır hipotezi test edilmektedir. Bu hipotezler β_{ECI} , β_{HDI} ve β_{EI} ayrıca ω_{ECI} , θ_{HDI} ve λ_{EI} parametreleri için de incelenmektedir.

3.3. Bulgular

QARDL tahmin bulgularına geçmeden önce değişkenlerin durağanlık seviyelerini tespit etmek amacıyla uygulanan birim kök test bulgularına Tablo 2'de yer verilmektedir.

Tablo 2. Birim Kök Test Bulguları

Değişkenler	ADF (Seviye)	ADF (Birinci Fark)	Philips Perron (PP) (Seviye)	Philips Perron (PP) (Birinci Fark)
CO ₂	-3.338 *** (0.067)	-4.445* (0.003)	-2.906 (0.165)	-5.343* (0.000)
ECI	-3.192*** (0.096)	-3.901** (0.018)	-1.810 (0.688)	-4.527* (0.002)
HDI	-1.181 (0.907)	-4.262* (0.005)	-0.925 (0.948)	-4.201* (0.006)
EI	-3.413*** (0.056)	-3.664** (0.030)	-2.514 (0.320)	-5.050* (0.000)

Not: Tablodaki değerler sabit ve trendli model altında ADF ve PP testinin t istatistiklerini, parantez içerisindeki değerler olasılık değerlerini, *, ** ve *** ise sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini temsil etmektedir.

ADF ve PP birim kök test ortak bulgularına göre, tüm serilerin birinci farklarında durağan olduğu gözlemlenmektedir. Birim kök test bulguları, değişkenler arasındaki ilişkiyi analiz etmek için QARDL yönteminin uygulanmasına ilişkin varsayımı yerine getirmektedir.

Tablo 3. QARDL Bulguları

Kantil (τ)	Sabit $\alpha^*(\tau)$	Hata Düzeltme Terimi $\rho^*(\tau)$	Uzun Dönem Katsayılar			Kısa Dönem Katsayılar			
			$\beta_{ECI(\tau)}$	$\beta_{HDI(\tau)}$	$\beta_{EI(\tau)}$	$\phi_1(\tau)$	$\omega_0(\tau)$	$\theta_0(\tau)$	$\lambda_0(\tau)$
0.05	0.280* (0.000)	-0.303* (0.002)	-0.004 (0.815)	2.758* (0.000)	0.956* (0.001)	0.446* (0.005)	0.037* (0.000)	-1.494* (0.002)	0.095 (0.363)
0.10	0.285* (0.000)	-0.281* (0.005)	0.002 (0.906)	2.617* (0.000)	0.917* (0.003)	0.524** (0.024)	0.030* (0.001)	-1.131* (0.007)	0.154 (0.151)
0.20	0.368* (0.000)	-0.160* (0.000)	0.034** (0.038)	1.602* (0.000)	0.398 (0.133)	0.515* (0.000)	0.019* (0.000)	-0.585 (0.228)	0.254 (0.141)
0.30	0.359* (0.000)	-0.140* (0.000)	0.033* (0.009)	1.598* (0.000)	0.442*** (0.062)	0.502* (0.000)	0.020* (0.000)	-0.807*** (0.094)	0.176 (0.228)
0.40	0.362* (0.000)	-0.133* (0.001)	0.035* (0.003)	1.530* (0.000)	0.424*** (0.090)	0.472* (0.000)	0.020* (0.001)	-0.707 (0.122)	0.165 (0.320)
0.50	0.372* (0.000)	-0.148* (0.001)	0.034* (0.004)	1.549* (0.000)	0.396 (0.136)	0.529* (0.000)	0.021* (0.003)	-0.975** (0.044)	0.056 (0.771)
0.60	0.438* (0.000)	-0.115* (0.003)	0.042* (0.000)	1.331* (0.000)	0.108 (0.701)	0.546* (0.000)	0.019** (0.011)	-0.734*** (0.079)	0.046 (0.819)
0.70	0.435* (0.000)	-0.107* (0.003)	0.043* (0.000)	1.389* (0.000)	0.145 (0.659)	0.390* (0.000)	0.022* (0.001)	-0.579 (0.157)	0.036 (0.861)
0.80	0.434* (0.000)	-0.117* (0.001)	0.044* (0.000)	1.451* (0.000)	0.178 (0.608)	0.444* (0.000)	0.022* (0.000)	-0.757*** (0.065)	-0.077 (0.631)
0.90	0.336* (0.003)	-0.177* (0.000)	0.037* (0.004)	1.926* (0.000)	0.689 (0.195)	0.513* (0.000)	0.014*** (0.068)	-1.493** (0.016)	0.015 (0.953)
0.95	0.331* (0.000)	-0.140** (0.036)	0.037* (0.000)	1.944* (0.000)	0.714*** (0.077)	0.731* (0.000)	0.009 (0.787)	-0.624 (0.286)	0.433 (0.326)

Not: Parantez içerisindeki değerler olasılık değerlerini gösterirken; *, ** ve *** sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini temsil etmektedir.

Uzun vadeli QARDL tahminine göre, ayarlama hızını temsil eden ρ^* (ECT) parametresi tüm kantillerde (yüzdeler dilimlerde) (0.05-0.95) negatif ve anlamlıdır. Bu bulgu, CO₂ emisyonları ile açıklayıcı değişkenler arasında uzun vadeli dengeye bir geri dönüş olduğunu göstermektedir. Yakın zamanlarda Sharif ve diğerleri (2020), Türkiye’de enerji tüketimi ve ekolojik ayak izi üzerine yaptıkları çalışmada da benzer bulgulara ulaşmışlardır. Ekonomik karmaşıklık endeksi 0.20 ve 0.95 arasındaki tüm dilimlerde pozitif ve anlamlıdır. Buna göre ekonomik karmaşıklıkta meydana gelen artışlar uzun dönemde çevresel bozulmayı arttırmaktadır. Bu bulgu, ekonomik karmaşıklık endeksinin ve özellikle ihracat ürünlerinin karmaşıklığının çevresel bozulmanın artmasına katkıda bulunduğunu savunan Shahzad ve diğerleri (2021); Ikram, Xia, Fareed, Shahzad ve Rafique (2021) ve Shah ve diğerleri (2023)’nin çalışmalarının bulgularıyla benzerlik taşımaktadır. Bu durumun Shahzad ve diğerleri (2021)’nin çalışmalarında vurguladığı gibi ekonomik karmaşıklığı temsil eden üretken yapının enerji kullanım politikalarını etkileyerek yenilenemeyen ve fosil yakıtların daha

fazla tüketilmesine neden olması ve sonuçta emisyonları artırması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

HDI uzun dönemde tüm yüzdelerinde (0.05-0.95) pozitif ve anlamlıdır. Buna göre, insani gelişme endeksi ülkede çevresel bozulmayı arttırıcı bir etki yaratmaktadır. Bu bulgu, Costa ve diğerleri (2011) ve Dumor ve diğerleri (2022)'nin çalışmalarının bulgularıyla örtüşmektedir. Her ne kadar insani gelişmenin çevre üzerinde iyileştirici bir etki yaratması beklense de kalkınmanın ilk aşamalarında öncelik; eğitim, sağlık ve refah seviyesinin yükselmesi gibi hedeflerin karşılanmasıdır. Ülkeler ancak bu gibi temel kalkınma ihtiyaçları karşılandıktan sonra çevresel iyileşme gibi konulara odaklanmaktadır (Dumor ve diğerleri, 2022). Bu durum ülkede, insani gelişmenin emisyonlar üzerinde ilk yüzdelerinde daha yüksek bir büyüklükte olumsuz bir etki yaratması sonraki dilimlerde ise bu etkinin azalma eğiliminde olması ile doğrulanmaktadır.

EI sonuçları ise, uzun dönemde 0.05, 0.10, 0.30, 0.40 gibi daha düşük yüzdelerinde ve 0.95 yüzdelerinde pozitif ve anlamlıdır. Bu, enerji yoğunluğunun artmasının bu dilimlerde çevresel bozulmayı arttırdığına işaret etmektedir. Farklı ülke grupları için benzer bulgulara Shahbaz ve diğerleri (2015); Neagu (2019); Danish ve diğerleri (2020) ve Rahman ve diğerleri (2022)'nin çalışmalarında da ulaşılmıştır. Üretim için gerekli olan enerji eğer fosil yakıtlara bağlı ise daha yüksek enerji yoğunluğu çevre kirliliğine neden olabilir. Dünya Bankası (2024b) verilerine göre, Türkiye'de enerji yoğunluğu 2010 yılından itibaren düşüş eğiliminde olsa da enerji bileşimi halen yüksek oranda fosil yakıtlara bağımlıdır. British Petroleum (BP) (2023) verilerine göre; 2020 yılı itibarıyla Türkiye'de enerji ihtiyacının yaklaşık %81,9'u fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Dolayısıyla tam bir çevresel iyileşme için enerji yoğunluğunun azalması tek başına yeterli değildir aynı zamanda enerji bileşiminin de karbon yoğun olmayan temiz/yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru bir dönüşüm geçirmesi gerekmektedir.

Kısa vadeli bulgular, CO₂ emisyonlarının önceki veya geçmiş değerlerinin tüm yüzdelerinde mevcut CO₂ değerleri üzerinde pozitif ve anlamlı bir etki yarattığını ortaya koymaktadır. ECI'daki mevcut ve geçmiş değişimler 0.95 hariç tüm yüzdelerinde CO₂ emisyonlarındaki mevcut değişimleri anlamlı ve pozitif yönde etkilemektedir. HDI'daki mevcut ve geçmiş değişimler ise uzun dönemin aksine kısa dönemde (0.20, 0.40, 0.70 ve 0.95 hariç) genel olarak pek çok yüzdelerinde mevcut çevresel bozulmayı azaltıcı yönde bir etki yaratmaktadır. EI ise, kısa dönemde hiçbir yüzdelerinde çevresel bozulma üzerinde anlamlı bir etki yaratmamaktadır. Bu nedenle QARDL modelinin genel sonuçları, Türkiye açısından ekonomik karmaşıklık, insani gelişme ve enerji yoğunluğunun farklı yüzdelerinde çevresel bozulma üzerindeki etkilerinin uzun dönemde daha belirgin olduğunu, kısa dönemde enerji yoğunluğunun çevresel bozulma üzerindeki etkisinin tamamen ortadan kaybolduğunu, ekonomik karmaşıklığın etkisinin azalmakta olduğunu ve insani gelişmenin ise uzun dönemin aksine çevresel bozulmayı azalttığını göstermektedir.

Tablo 4. Wald Test Bulguları

Değişkenler	Wald Test (Olasılık Değeri)
$\rho * (\tau)$	11.440* (0.001)
$\beta_{ECI(\tau)}$	8.851* (0.004)
$\beta_{HDI(\tau)}$	23.755* (0.000)
$\beta_{EI(\tau)}$	2.270 (0.136)
$\phi_1(\tau)$	24.745* (0.000)
$\omega_0(\tau)$	9.416* (0.003)
$\theta_0(\tau)$	4.194** (0.044)
$\lambda_0(\tau)$	0.085 (0.771)

Not: Parantez içerisindeki değerler olasılık değerlerini gösterirken; *, ** ve *** sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini temsil etmektedir.

Tablo 4, kısa dönem ve uzun dönem için parametre bağımlılığına (sabitliğine, doğrusallığına) ilişkin Wald testi sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlara göre ayarlama hızı parametresi ρ *'nin, parametre

sabitliğine ilişkin sıfır hipotezi %1 anlamlılık seviyesinde reddedilmektedir. Uzun dönemde ECI ve HDI için değişkenler arasında doğrusal ve simetrik bir ilişki bulunduğunu savunan sıfır hipotezi reddedilmektedir yani bu değişkenler CO₂ emisyonları ile doğrusal olmayan ve asimetrik bir ilişki sergilemektedir. Oysa uzun dönemde EI için sıfır hipotezi reddedilememektedir. Diğer bir ifadeyle EI, CO₂ emisyonları ile doğrusal ve simetrik bir ilişki göstermektedir. Kısa dönem parametrelerinde bakıldığında ise, emisyonların geçmiş dönemdeki değerleri, ECI ve HDI için sıfır hipotezi reddedilirken, EI için boş hipotez reddedilememektedir. Dolayısıyla kısa dönemde birikimli emisyonlar, ECI ve HDI, CO₂ emisyonları ile doğrusal olmayan ve asimetrik bir ilişki sergilerken, EI CO₂ emisyonları ile doğrusal ve simetrik bir ilişki göstermektedir.

4. SONUÇ

Çevresel bozulmanın ortaya çıkardığı ve gelecekte ortaya çıkarması muhtemel riskleri kontrol altına alabilmek için ülkeler, sıklıkla CO₂ emisyonlarının dinamiklerini belirlemeye çalışmaktadır. Pek çok ülke için emisyonları artırdığı konusunda fikir birliği bulunan değişkenlerin (fosil yakıt tüketimi, büyüme, kentleşme, nüfus artışı gibi) yanı sıra emisyonlar üzerinde etki potansiyeli bulunan göstergeler çevre ekonomisi literatürünü sürekli genişletmektedir. Çevresel bozulma ile ilgili bu geniş literatür içerisinde son dönemlerde kalkınmanın farklı boyutları ile emisyonlar arasındaki bağlantı araştırılmaktadır. Buradan hareketle bu çalışmada, Türkiye’de 1998Q1-2020Q4 döneminde ekonomik karmaşıklık, insani gelişme, enerji yoğunluğu ve çevresel bozulma arasındaki bağlantı analiz edilmektedir. Türkiye açısından kalkınmanın ekonomik ve sosyal göstergelerinin çevresel bozulma üzerindeki etkilerinin eşzamanlı olarak ele alan çalışma sayısının sınırlı olması çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmaktadır. Ayrıca söz konusu bu ilişki, değişkenler arasındaki asimetriteri ortaya çıkaran ve farklı kantillerdeki kısa ve uzun vadeli dinamikleri analiz etmeye olanak sağlayan yeni bir analiz tekniği olan QARDL yaklaşımıyla araştırılmaktadır. Ampirik bulguları şu şekilde özetlemek mümkündür: (i) Ayarlama hızı (ρ *) parametresi tüm kantillerde negatif ve anlamlıdır. Bu bulgu, CO₂ emisyonları ile ekonomik karmaşıklık, insani gelişme ve enerji yoğunluğu arasında uzun vadeli dengeye bir geri dönüş olduğunu göstermektedir. (ii) Uzun dönemde ekonomik karmaşıklık ve insani gelişme emisyonlar üzerinde anlamlı ve çevresel bozulmayı arttırıcı bir etki yaratmaktadır. Enerji yoğunluğu ise uzun dönemde düşük yüzdeler dilimlerde çevresel bozulmayı arttırmaktadır. (iii) Kısa dönemde ise, tüm yüzdeler dilimlerde CO₂ emisyonlarının önceki veya geçmiş değerleri mevcut CO₂ değerlerini, ekonomik karmaşıklıkta mevcut ve geçmiş değişimler ise CO₂ emisyonlarındaki mevcut değişimleri anlamlı ve pozitif yönde etkilemektedir. İnsani gelişmedeki mevcut ve geçmiş değişimler ise uzun dönemin aksine kısa dönemde pek çok yüzdeler diliminde mevcut çevresel bozulmayı azaltıcı yönde bir etki yaratmaktadır. Enerji yoğunluğu ise kısa dönemde çevresel bozulma üzerinde anlamlı bir etki yaratmamaktadır. (iv) Hem uzun hem de kısa dönemde ekonomik karmaşıklık ve insani gelişme ile CO₂ emisyonları arasında doğrusal olmayan ve asimetrik bir ilişki söz konusuysa, enerji yoğunluğu ile emisyonlar arasında doğrusal ve simetrik bir ilişki bulunmaktadır. Bulguları toparlamak gerekirse; incelenen dönemde Türkiye’de ekonomik karmaşıklık, insani gelişme ve enerji yoğunluğu uzun dönemde çevresel bozulmayı arttırmaktadır. Kısa dönemde ise, ekonomik karmaşıklık çevresel bozulmayı arttırmakta ancak uzun döneme kıyasla etkisi azalmakta, insani gelişme uzun dönemin aksine kısa dönemde çevresel bozulmayı azaltmakta, enerji yoğunluğu ise çevresel bozulma üzerinde anlamlı bir etki yaratmamaktadır.

Ekonomik karmaşıklık açısından kısa ve uzun vadeli asimetrik bulgular, Türkiye’de karmaşık bir üretim sisteminin çevre kalitesine zarar verdiğini desteklemektedir. Çünkü ülkenin uluslararası pazarlarda rekabet avantajı elde etmek için spesifik bir üretken yapısına sahip olması, sera gazı emisyonları açısından çevreyi etkileyebilecek spesifik bir enerji yapısı benimsemesine neden olmaktadır. Diğer taraftan ekonomik üretkenlik geleneksel teknolojiler yoluyla sağlanıyorsa bu durumda enerji talebi ve enerji yoğunluğu artacaktır. Eğer enerji talebi Türkiye’de olduğu gibi fosil yakıt bileşimine dayanıyorsa emisyonların artması dolayısıyla çevresel bozulmanın tetiklenmesi

kaçınılmaz bir sonuçtur. Bu nedenle ülkenin yapısal değişiminde ve karmaşık üretim yapısında temiz ve ileri teknolojilerden yararlanması, enerji verimliliği sağlayan teknolojilere yatırım yapması ve üretim sürecinde ihtiyaç duyduğu enerjiyi karbon yoğun fosil yakıtlar yerine temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlaması çevresel bozulmanın önlenmesi açısından öncelikli hedefler olmalıdır.

Ampirik bulgular, kalkınmanın daha sosyal göstergeleri üzerine odaklanan insani gelişmenin, ülkede kısa dönemde emisyonları azaltsa da uzun dönemde emisyonları artırarak çevresel bozulmayı arttırdığına işaret etmektedir. Her ne kadar insani gelişme artışının çevre kalitesini artırması beklense de insani gelişmenin eğitim, sağlık ve refah düzeyi gibi bileşenlerinde tam bir iyileşme yaşanmadan çevresel kaliteyi arttırmasını beklemek gerçekçi değildir. Çünkü ancak sosyal ve ekonomik açıdan refah düzeyi yükselen ve temel kalkınma ihtiyaçları karşılanan toplumlar çevre ile ilgili endişelere odaklanabilirler. Dolayısıyla Türkiye gibi gelişmekte olan ekonomilerde insani gelişmenin gereklilikleri ve alt hedeflerin gerçekleştirilmesi açısından halen daha çok çabaya ihtiyaç olduğu açıktır.

Son olarak birim çıktı başına ihtiyaç duyulan enerji miktarını gösteren enerji yoğunluğunun kısa dönemde ülkenin emisyonları üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmasa da uzun dönemde çevresel bozulmayı tetiklediği gözlemlenmektedir. Bu durum, ülkede enerji bileşiminin yüksek oranda fosil yakıtlara bağımlı olması ve ülkenin enerji kaynaklı emisyonlarla ilgili teknolojik dönüşüme yönelik sürdürülebilir hedeflerin gerisinde kalmasıyla ilişkilidir. Bu kapsamda yapılacak olan enerji verimliliği iyileştirmeleri, fosil yakıtlara verilen teşviklerin yenilenebilir enerji kaynaklarına kaydırılması, yenilenebilir ve çağdaş enerji teknolojilerini benimseyen yatırımlara vergi indirimi ya da sübvansiyon gibi teşvikler verilmesi enerji politikalarında öncelikli hedefler olarak benimsenmelidir. Kısaca ifade etmek gerekirse, kalkınmanın ekonomik ve sosyal boyutlarındaki bu iyileştirmelerin yanı sıra ülkenin emisyonları üzerinde önemli bir belirleyici olan enerji bileşiminin yenilenebilir kaynaklara doğru dönüştürülmesiyle Türkiye'nin küresel çevresel iyileşme çabalarına daha fazla odaklanarak, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine daha hızlı ulaşabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Abid, A., Mehmood, U., Tariq, S. ve Haq, Z. U. (2022). The effect of technological innovation, fdi, and financial development on co₂ emission: Evidence from the G8 Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15993-x>
- Akbar, M., Hussain, A., Akbar, A. ve Ullah, I. (2021). The dynamic association between healthcare spending, co₂ emissions, and human development index in OECD Countries: Evidence from Panel VAR Model. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 10470-10489. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01066-5>
- Albiman, M. M., Suleiman, N. N. ve Baka, H. O. (2015). The relationship between energy consumption, co₂ emissions and economic growth in Tanzania. *International Journal of Energy Sector Management*, 9(3), 361-375. <https://doi.org/10.1108/IJESM-05-2014-0006>
- Amuakwa-Mensah, F. ve Adom, P. K. (2017). Quality of institution and the FEG (forest, energy intensity, and globalization)-environment relationships in Sub-Saharan Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 17455-17473. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9300-2>
- Appiah, K., Du, J., Yeboah, M. ve Appiah, R. (2019). Causal relationship between industrialization, energy intensity, economic growth and carbondioxide emissions: Recent evidence from Uganda. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(2), 237-245. <https://doi.org/10.32479/ijeep.7420>
- Balsalobre-Lorente, D., dos Santos Parente, C. C., 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>
- Behera, S. R. ve Dash, D. P. (2017). The effect of urbanization, energy consumption, and foreign direct investment on the carbondioxide emission in the SSEA (South and Southeast Asian) Region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 96-106. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.201>
- Boonyasana, P. ve Chinnakum, W. (2020). Linkages among tourism demand, human development, and CO₂ emissions in Thailand. *Abac Journal*, 40(3), 78-98.
- British Petroleum. (BP) (2023). Statistical Review of World Energy. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Caglar, 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>
- Chen, Y. ve Lee, C. C. (2020). Does technological innovation reduce co₂ emissions? cross-country evidence. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121550. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121550>
- Cho, J. S., Kim, T. H. ve Shin, Y. (2015). Quantile cointegration in the autoregressive distributed-lag modeling framework. *Journal of Econometrics*, 188(1), 281-300. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeconom.2015.05.003>

- Costa, L., Rybski, D. ve Kropp, J. P. (2011). A human development framework for CO₂ reductions. *PLoS One*, 6(12), e29262. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029262>
- Çetintaş, H., Bicil, İ. M. ve Türköz, K. (2016). Türkiye’de CO₂ salınımları, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi. *Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar*, (619), 57-67. <https://dergipark.org.tr/en/pub/fpeyd/issue/48025/607346>
- Danish, Ulucak, R. ve Khan, S. U. D. (2020). Relationship between energy intensity and CO₂ emissions: does economic policy matter?. *Sustainable Development*, 28(5), 1457-1464. <https://doi.org/10.1002/sd.2098>
- Dogan, B., Saboori, B. ve Can, M. (2019). Does economic complexity matter for environmental degradation? An empirical analysis for different stages of development. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(31), 31900-31912. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06333-1>
- Dumor, K., Li, Y., Amouzou, E. K., Ampaw, E. M., Kursah, M. B. ve Akakpo, K. (2022). Modeling the dynamic nexus among CO₂ emissions, fossil energy usage, and human development in East Africa: New Insight from the Novel DARDL Simulation Embeddedness. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(37), 56265-56280. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19546-8>
- Ehigiamusoe, K. U. ve Lean, H. H. (2019). Effects of energy consumption, economic growth, and financial development on carbon emissions: evidence from heterogeneous income groups. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(22), 22611-22624. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05309-5>
- Enerdata (2024). World Energy&Climate Statistics-Yearbook 2023. <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html>
- Felipe, J., Kumar, U., Abdon, A. ve Bacate, M. (2012). Product complexity and economic development. *Structural Change and Economic Dynamics*, 23(1), 36-68. doi:10.1016/j.strueco.2011.08.003
- Godil, D. I., Sharif, A., Ali, M. I., Ozturk, I. ve Usman, R. (2021). The role of financial development, R&D expenditure, globalization and institutional quality in energy consumption in India: New evidence from the QARDL approach. *Journal of Environmental Management*, 285, 112208. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112208>
- Haliru, B. (2023). Effect of energy intensity and CO₂ emissions on sustainable development in Nigeria. Available at SSRN 4479039. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4479039>
- 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, 778088. <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*, 106(26), 10570-10575. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900943106>
- Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A. L. ve Hausmann, R. (2007). The product space conditions the development of nations. *Science*, 317(5837), 482-487. <https://doi.org/10.1126/science.1144581>
- Hossain, M. A. ve Chen, S. (2021). Nexus between human development index (HDI) and CO₂ emissions in a developing country: Decoupling study evidence from Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 58742-58754. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14822-5>

- Ikram, M., Xia, W., Fareed, Z., Shahzad, U. ve Rafique, M. Z. (2021). Exploring the nexus between economic complexity, economic growth and ecological footprint: Contextual evidences from Japan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101460. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101460>
- Islam, M. S. ve Rahaman, S. H. (2023). The asymmetric effect of ict on co2 emissions in the context of an EKC framework in GCC countries: the role of energy consumption, energy intensity, trade, and financial development. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(31), 77729-77741. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27590-1>
- Le, H. P. ve Ozturk, I. (2020). The impacts of globalization, financial development, government expenditures, and institutional quality on CO₂ emissions in the presence of Environmental Kuznets Curve. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(18), 22680-22697. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08812-2>
- Leitão, N. C. (2024). The link between Human Development, Foreign Direct Investment, Renewable Energy, and Carbondioxide Emissions in G7 Economies. *Energies*, 17(5), 978. <https://doi.org/10.3390/en17050978>
- 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, S., Li, C., Aziz, N. ve Raza, A. (2023). Dynamic nexus between transportation, economic growth and environmental degradation in China: Fresh insights from the QARDL approach. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(3). <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2149590>
- Mahmood, T. ve Ahmad, E. (2018). The relationship of energy intensity with economic growth: Evidence for European economies. *Energy Strategy Reviews*, 20, 90-98. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.02.002>
- Manga, M. ve Akar, P. G. (2020). Ekonomik büyüme, karbon emisyonu ve insani gelişmişlik arasındaki ilişki: Seçilmiş Akdeniz Ülkeleri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(1), 405-419. <https://doi.org/10.33437/ksusbd.555415>
- Minh, N. H. ve Ly, D. K. (2023). Impact of human development on CO₂ emissions in Vietnam. *Hue University Journal of Science: Economics and Development*, 132(5B), 53-66. <https://doi.org/10.26459/hueunijed.v132i5B.7130>
- Namahoro, J. P., Wu, Q., Zhou, N. ve 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. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111233>
- 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. 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>
- OECD (2012). *OECD Environmental Outlook to 2050*. OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en>

- Opoku, E. E. O., Dogah, K. E. ve Aluko, O. A. (2022). The contribution of human development towards environmental sustainability. *Energy Economics*, 106, 105782. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105782>
- Osobajo, O. A., Otitoju, A., Otitoju, M. A. ve Oke, A. (2020). The impact of energy consumption and economic growth on carbondioxide emissions. *Sustainability*, 12(19), 7965. <https://doi.org/10.3390/su12197965>
- Our World in Data (2024) *Human Development Index*. <https://ourworldindata.org/grapher/human-development-index?tab=table&time=2020..latest>
- Özbek, S. ve Naimoğlu, M. (2022). Çevre kalitesi-ekonomik karmaşıklık ilişkisi: Türkiye ekonomisi üzerine Fourier eşbütünleşme analizi. *İstanbul İktisat Dergisi*, 72(1), 407-431. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2022-1061837>
- Pervaiz, R., Faisal, F., Rahman, S. U., Chander, R. ve Ali, A. (2021). Do health expenditure and human development index matter in the carbon emission function for ensuring sustainable development? Evidence from the heterogeneous panel. *Air Quality, Atmosphere&Health*, 14(11), 1773-1784. <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01052-4>
- Rahman, M. M., Sultana, N. ve Velayutham, E. (2022). Renewable energy, energy intensity and carbon reduction: Experience of large emerging economies. *Renewable Energy*, 184, 252-265. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.068>
- Romero, J. P. ve Gramkow, C. (2021). Economic complexity and greenhousegas emissions. *World Development*, 139, 105317. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105317>
- Salari, M., Javid, R. J. ve NoghaniBehambari, H. (2021). The nexus between CO₂ emissions, energy consumption, and economic growth in the US. *Economic Analysis and Policy*, 69, 182-194. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2020.12.007>
- Sezgin, F. H., Bayar, Y., Herta, L. ve Gavriletea, M. D. (2021). Do environmental stringency policies and human development reduce CO₂ emissions? Evidence from G7 and BRICS Economies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(13), 6727. <https://doi.org/10.3390/ijerph18136727>
- 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*. <https://doi.org/10.1155/2023/1683231>
- Shahbaz, M., Hye, Q. M. A., Tiwari, A. K. ve Leitão, N. C. (2013). Economic growth, energy consumption, financial development, international trade and CO₂ emissions in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 109-121. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.009>
- Shahbaz, M., Jam, F. A., Bibi, S. ve Loganathan, N. (2015). Multivariate granger causality between CO₂ emissions, energy intensity and economic growth in Portugal: evidence from cointegration and causality analysis. *Technological and Economic Development of Economy*, 22(1), 47-74. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.989932>
- Shahzad, U., Fareed, Z., Shahzad, F. ve Shahzad, K. (2021). Investigating the nexus between economic complexity, energy consumption and ecological footprint for the United States: New insights from quantile methods. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123806. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123806>
- Sharif, A., Baris-Tuzemen, O., Uzuner, G., Ozturk, I. ve Sinha, A. (2020). Revisiting the role of renewable and non-renewable energy consumption on Turkey's ecological footprint: Evidence from

- quantile ARDL approach. *Sustainable Cities and Society*, 57, 102138. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102138>
- Taghvaei, 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, 80860–80870. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21491-5>
- Teng, J. Z., Khan, M. K., Khan, M. I., Chishti, M. Z. ve Khan, M. O. (2021). Effect of foreign direct investment on CO₂ emission with the role of globalization, institutional quality with pooled mean group panel ARDL. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 5271-5282. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10823-y>
- The Observatory of Economic Complexity (2024). Complexity rankings. <https://oec.world/en/rankings/eci/hs6/hs96?tab=ranking>
- Tran, N. V., Tran, Q. V., Do, L. T. T., Dinh, L. H. ve Do, H. T. T. (2019). Trade off between environment, energy consumption and human development: Do levels of economic development matter?. *Energy*, 173, 483-493. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.042>
- United Nations Development Programme. (2024) Human Development Reports. <https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index#/indicies/HDI>
- Vitenu-Sackey, P. A. ve Acheampong, T. (2022). Impact of economic policy uncertainty, energy intensity, technological innovation and R&D on CO₂ emissions: Evidence from a panel of 18 developed economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(58), 87426-87445. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21729-2>
- Wang, L., Vo, X. V., Shahbaz, M. ve Ak, A. (2020). Globalization and carbon emissions: Is there any role of agriculture value-added, financial development, and natural resource rent in the aftermath of COP21?. *Journal of Environmental Management*, 268, 110712. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110712>
- Wang, Q., Zhang, F. ve Li, R. (2023). Revisiting the Environmental Kuznets Curve hypothesis in 208 countries: The roles of trade openness, human capital, renewable energy and natural resource rent. *Environmental Research*, 216, 114637. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114637>
- Wang, S. S., Zhou, D. Q., Zhou, P. ve Wang, Q. W. (2011). CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in China: A panel data analysis. *Energy Policy*, 39(9), 4870-4875. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.032>
- Wang, Z., Rasool, Y., Asghar, M. M. ve Wang, B. (2019). Dynamic linkages among CO₂ emissions, human development, financial development, and globalization: Empirical evidence based on PMG Long-run Panel Estimation. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 36248-36263. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06556-2>
- World Bank (2024a). Databank. Metadata Glossary. https://databank.worldbank.org/metadataglossary/sustainable-energy-for-all/series/6.1_PRIMARY.ENERGY.INTENSITY
- World Bank (2024b). World Development Indicators. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- Yang, Z., Cai, J., Lu, Y. ve Zhang, B. (2022). The impact of economic growth, industrial transition, and energy intensity on carbon dioxide emissions in China. *Sustainability*, 14(9), 4884. <https://doi.org/10.3390/su14094884>

- Zaidi, S. A. H., Zafar, M. W., Shahbaz, M. ve Hou, F. (2019). Dynamic linkages between globalization, financial development and carbon emissions: Evidence from Asia Pacific Economic Cooperation Countries. *Journal of Cleaner Production*, 228, 533-543. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.210>
- Zhang, X., Shi, X., Khan, Y., Khan, M., Naz, S., Hassan, T., ve Rahman, T. (2023). The impact of energy intensity, energy productivity and natural resource rents on carbon emissions in Morocco. *Sustainability*, 15(8), 6720. <https://doi.org/10.3390/su15086720>
- Zhang, Y. ve Wu, Z. (2022). Environmental performance and human development for sustainability: Towards to a new environmental human index. *Science of the Total Environment*, 838, 156491. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156491>
- Zulham, T., Dawood, T. C., Farlian, T., Saputra, J., Juliansyah, R. ve Hadi, F. (2021). The nexus of human development index, economic and population growth on environmental degradation in Aceh Province, Indonesia. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 17(1), 314-320. DOI: 10.37394/232015.2021.17.31



© Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

EXTENDED ABSTRACT

The Nexus between Economic Complexity, Human Development and Environmental Degradation in Türkiye: New Evidence from the QARDL Approach

1. Introduction

In order to control the possible risks of climate change, the determinants of CO₂ emissions are frequently discussed in different dimensions at the global level. In addition to factors such as growth, energy consumption, urbanization, industrialization, foreign direct investments, financial development, and technological innovation discussed in the literature, emissions are also associated with some indices such as economic complexity and the human development index, which have recently been developed to measure economic development. Economic complexity refers to the production and manufacturing structure of a country to gain a competitive advantage in international markets. However, a specific productive structure leads to a specific energy structure that can affect the environment in terms of greenhouse gas emissions, biodiversity, and ecological footprint. Therefore, economic complexity can also increase energy intensity. If energy production depends on fossil fuels, higher energy intensity may cause environmental degradation. The human development index, which takes into account more socio-economic variables in addition to economic complexity and energy intensity, is also an important factor in understanding the dynamics of environmental degradation. Because the human development index is an important indicator of a country's health and education profiles, as well as its exposure to climate-related extremes and its adaptation capacity. Based on this motivation, this study investigates the nexus between economic complexity, human development, energy intensity, and environmental degradation in Türkiye. Since the empirical results regarding economic complexity and environmental degradation are relatively innovative, the findings can be considered a contribution to the existing literature.

2. Data Set and Method

This study investigates the dynamic nexus between economic complexity, human development, energy intensity, and environmental degradation in Türkiye over the period 1998Q1-2020Q4. While examining this relationship, a new econometric method, the quantile autoregressive distributed lag (QARDL) approach, is used; this was developed by Cho et al. (2015). This approach both reveals asymmetries between variables and allows for the analysis of short run dynamics and long run cointegration relationships in different quantiles (percentiles) together.

3. Empirical Findings

The empirical findings can be summarized as follows: First, the adjustment rate (ρ^*) parameter is negative and significant in all quantiles. This finding suggests a return to long-term balance between CO₂ emissions and economic complexity, human development, and energy intensity. In the long run, while economic complexity and human development have a significant and positive impact on environmental degradation, energy intensity increases environmental degradation only in low quantiles. In the short run, previous or past values of CO₂ emissions significantly and positively affect current CO₂ values in all quantiles, and current and past changes in economic complexity significantly and positively affect current changes in CO₂ emissions. Current and past changes in human development have a reducing effect on current environmental degradation in many quantiles in the short run, as opposed to the long run. Energy intensity does not have a significant impact on environmental degradation in the short run. Finally, while there is a nonlinear and asymmetric relationship between economic complexity and human development and CO₂ emissions, there is a linear and symmetric relationship between energy intensity and emissions in both the long and short run.

4. Discussion and Conclusion

The general results of the empirical findings indicate that economic complexity, human development, and energy intensity increased environmental degradation in Türkiye in the long run. In the short run, economic complexity increases environmental degradation, but its effect decreases compared to the long run; human development reduces environmental degradation in the short run, unlike in the long run; and energy intensity does not have a significant effect on environmental degradation in both the long and short run. These findings emphasize that a complex production structure may increase the country's energy demand, causing more consumption of fossil fuels and ultimately increasing emissions. In addition, it can be said that human development focuses on goals such as increasing the level of education, health, and welfare rather than environmental improvement in the early stages of development. In this context, it is thought that a transformation in the energy mix, ensuring energy efficiency, and improving the economic and social goals of development are necessary in order to achieve sustainable development goals and to provide more support to global environmental improvement efforts in the country.