

Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerde Ekonomik Karmaşıklık (Complexity) ile CO2 Emisyonları Arasındaki İlişki: 2003-2022 Yılları İçin Panel Veri Analizi

Ömer Tanju DURUSOY¹

¹ Dr. Öğretim Üyesi., Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İİBF, omer.durusoy@hbv.edu.tr, ORCID: 0009 0009 1299 5600

Öz: Çevresel değişimler, esas itibarıyla ekonomik faaliyetin artan yoğunluğunun ve karmaşıklığının bir sonucudur. Bu çalışmada literatürde IPAT ve STIRPAT olarak bilinen yaklaşımlar esas alınarak geliştirilmiş bir panel veri analizi uygulanmaktadır. Burada ekonomik karmaşıklık (complexity) ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiler hem gelişmiş ülkeler hem de Türkiye'nin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkeler örneklem kümesi için tahmin edilmektedir. Araştırma 2003 ile 2022 yılları arasında kapsamaktadır. Modelde kullanılan veriler Dünya Bankası ve Ekonomik Karmaşıklık Gözlemevi'nden elde edilmiştir. Benzer şekilde ülke örneklem kümeleri oluşturulurken Dünya Bankası'nın Databank filtresi kullanılmıştır. Buna göre Yüksek Gelir grubunda 40 ülke ve gelişmekte olan ülkeleri temsilen orta yüksek gelir grubundaki 37 IBRD ülkesi yer almaktadır. Araştırma sonuçlarına göre gelişmekte olan ülkelerde bir birim milli gelir artışı gelişmiş ülkelere nazaran daha fazla CO2 emisyonları ortaya çıkarmaktadır. Bu bulgu klasik Kuznets eğrisi yaklaşımına uygundur. Aynı zamanda sonuçlar hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde Ekonomik Karmaşıklık Endeksi (ECI)'ndeki artışların CO2 emisyonlarında düşüşe neden olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak çevresel sürdürülebilirlik açısından ülkelerin sanayileşmeleri karmaşık ürünler üreten ve ihraç eden bir yapıya evrilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Çevre Kirliliği, CO2 Emisyonları, Ekonomik Karmaşıklık, Gelişmekte Olan Ülkeler
Jel Kodları: Q56, O44, Q32

The Relationship Between Economic Complexity and CO2 Emissions in Developed and Developing Countries: Panel Data Analysis for 2003-2022

Atıf: Durusoy, Ö. T. (2024). Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerde Ekonomik Karmaşıklık (Complexity) ile CO2 Emisyonları Arasındaki İlişki: 2003-2022 Yılları İçin Panel Veri Analizi, *Politik Ekonomik Kuram*, 8(4), 922-936. <https://doi.org/10.30586/pek.1503635>

Geliş Tarihi: 24.06.2024
Kabul Tarihi: 01.10.2024



Telif Hakkı: © 2024. (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Environmental changes are essentially a result of the increasing intensity and complexity of economic activity. In this study, a panel data analysis developed based on the approaches known as IPAT and STIRPAT in the literature is applied. Here, the relationships between economic complexity and environmental degradation are estimated for both developed countries and a sample set of developing countries, including Turkey. The research covers the period between 2003 and 2022. The data used in the model were obtained from the World Bank and the Economic Complexity Observatory. Similarly, the World Bank's Databank filter was used when creating country sample sets. Accordingly, there are 40 countries in the High-Income group and 37 IBRD countries in the middle-high income group representing developing countries. According to the research results, one unit of national income increase in developing countries creates more CO2 emissions than in developed countries. This finding is consistent with the classical Kuznets curve approach. At the same time, the results show that increases in the Economic Complexity Index (ECI) lead to a decrease in CO2 emissions in both developed and developing countries. As a result, in terms of environmental sustainability, the industrialization of countries should evolve into a structure that produces and exports complex products.

Keywords: Environmental Pollution, CO2 Emissions, Economic Complexity, Developing Countries
Jel Codes: Q56, O44, Q32

1. Giriş

İmalat sanayi, tarım, madencilik, ulaştırma ve inşaat gibi iktisadi faaliyetlerin bir gereği olarak, doğal kaynakların çıkarılması ve işlenmesi, fosil yakıt tüketimi, katı atıkların ortaya çıkması ve ormanlık alanların azalması gibi sonuçlar yıllar içinde iklim değişikliğine yol açmıştır. Günümüzde artık iklim değişikliği sorunu her yerde mevcuttur ve hemen hemen tüm ülkeler iklim değişikliğinin etkileriyle karşı karşıya kalmaktadır.

Küresel ekonomiye, topluma ve insanlara yönelik en ciddi tehditler, temel olarak ekonomik faaliyetlerdeki ciddi artışlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarındaki artışa bağlı iklim değişikliği ve küresel ısınmadır (Agheli ve Taghvaei, 2022, s.1). Yaklaşık olarak %75 civarında karbondioksit (CO₂) içeren bu emisyonlar, son yıllarda küresel sıcaklığı 1,5 °C artırmıştır (You vd, 2022, s.112).

Bu ciddi çevresel gelişmelerden dolayı 1992 ve 1997 yıllarında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, 2015 yılında Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşmasını hayata geçirilmiştir. Bu anlaşmalar iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik ülkeler arasında imzalanan uluslararası anlaşmalardır. Bu anlaşmaların ortak amacı, küresel sera gazı (GHG) emisyonlarını, özellikle de büyük ölçüde iklim değişikliğine neden olan küresel karbondioksit (CO₂) emisyonlarını sınırlamaktır (Aluko vd,2023, s.2649).

Çevre açısından bakıldığında, sanayi sektörü kirliliğe önemli ölçüde neden olmaktadır, ancak aynı zamanda da teknolojik yenilikleri ve temiz üretim yöntemlerinin geliştirilmesini de sağlamaktadır (Zou ve Zhang,2022, s.2). Ekonomik kalkınma perspektifinden bakıldığında, sanayi sektörü seri üretimi teşvik edebilir ve istihdam fırsatları yaratabilir, ancak aynı zamanda gelir eşitsizliğine, kaynakların tükenmesine ve teknolojik işsizliğin artmasına da yol açabilmektedir.

Hizmetler sektörü ise inovasyonu ve girişimciliği desteklemekle beraber talep dalgalanmalarından diğer sektörler göre daha fazla etkilenebilmektedir. Ayrıca hizmetler sektörü de ekoturizmi ve sürdürülebilir ulaşımı teşvik ederken diğer taraftan sera gazı emisyonları da üretebilmektedir (Agheli ve Taghvaei, 2022, s.2).

Benzer şekilde tarım sektörü de CO₂'den daha kirletici olan metan gazı salmasının yanı sıra kimyasal ilaç ve gübrelerle toprağı ve suyu kirletmektedir. Tarım sektöründe günümüzde sığırların toprağı gübrelemek için gübre sağladığı geleneksel çiftlik yapılanmasının yerini önemli kirlenme sorunlarına yol açan kimyasal gübreler almaktadır. Bu da içme suyu ve su yollarında nitrat ve fosfat oranlarında artışa ve dolayısıyla krom ve kadmiyum gibi zararlı etkilere neden olan toksik metallerin artmasıyla toprakta verimliliğin düşmesine neden olmaktadır. Diğer taraftan tarım sektörü kırsal geçim kaynaklarını ve gıda güvenliğini desteklemesinin yanı sıra, iklim değişikliğine ve piyasa dalgalanmalarına da maruz kalabilmektedir (Carpenter 1998).

Literatürde iklim değişikliğinin çevresel bozulmanın bir sonucu olduğu konusunda ciddi bir fikir birliği vardır. Bu çerçevede iklim değişikliğini durdurmayı ve süreci geri çevirmeyi amaçlayan politikalar tasarlamak için çevresel bozulmanın ekonomik karmaşıklıkta (complexity) nasıl etkilendiğini anlamak da gittikçe daha önemli hale gelmektedir (Romero ve Gramkow, 2021, s.2). Dolayısıyla bu çalışmamızda ele alacağımız önemli bir kavram da "ekonomik karmaşıklık" (economic complexity) kavramıdır. Ekonomik karmaşıklık endeksi (ECI), Hidalgo ve Hausmann (2009) tarafından önerilmiştir. ECI ülkelerin ihracata dayalı ekonomik kalkınmasını ölçmektedir. Aynı zamanda ECI, uluslararası ticaret literatüründe teknolojik karmaşıklık düzeyini ve üretim süreci bilgisini tanımlamak için kullanılan bir terimdir (Doğan ve Türkekul, 2016). Hidalgo ve Hausmann'a (2009) göre, ekonominin yapısal değişimini yansıtmak için, bir popülasyonda biriken, birleştirilen ve aktarılan bilgi miktarını yansıtan ekonomik karmaşıklığın kullanılması daha uygun olacaktır. Başka bir deyişle, ekonomik karmaşıklık bir ülkenin üretken yapısını yansıtır (Hausmann ve Hidalgo, 2011). Bu süreç belirli bir enerji tüketimini içermektedir ve dolayısıyla da çevresel etkileri olacaktır.

Ekonomik karmaşıklık ile çevre arasındaki bağlantının mantığı, üretim faktörlerinin tamamının gelişimiyle ilgilidir. Ekonomik karmaşıklık evriminin erken aşamasında, bir ülkenin üretim ölçeği ve endüstriyel yapısı çevreyi etkilemede ana rolü oynar (Hu vd.

2020). Özellikle üretimin genişlemesi ve birincil sanayiden ikincil sanayiye geçiş, kirliliğin artmasına neden olmaktadır. Üstelik bu aşamada kirliliği kontrol etme teknikleri, kurulum maliyetinin yüksek olması ve üretim ölçeğinin küçük olması nedeniyle pratik ve etkili olmayabilir (Stern, 2004, s. 1419).

Bir ekonominin bilgisi geliştikçe, üretimde kullanılan girdi bileşimindeki önemli değişimin etkisiyle teknolojik gelişmeler ortaya çıkmaktadır. İlk olarak, çevreye daha az zarar veren girdiler, daha fazla zarar veren girdilerle ikame edilir. İkinci olarak, gelişmiş üretim teknolojileri daha çevre dostu hale gelir ve bu da daha düşük enerji tüketimi ve daha az yoğun kirli çıktılar demektir (Can ve Gozgor, 2017). Bu noktadan itibaren ise ekonomik karmaşıklık düzeyindeki artışlar, çevresel bozulmanın azalmasıyla birlikte hareket etmektedir (Neagu ve Teodoru, 2019, s.17).

Görüleceği üzere ekonomik karmaşıklık, teknolojik ve bilgiye dayalı üretim süreçleri ileriye doğru geliştikçe üretim yapısında var olan yapısal değişiklikleri ifade eder. Literatürde ekonomik karmaşıklık ile çevresel bozulmanın birbirine bağlı olduğunu ortaya koyan çalışmalar bulunmaktadır (örneğin bkz. Romero ve Gramkov 2022; Abbasi vd, 2021; Balsalobre-Lorente vd, 2022; You vd, 2022).

Bu bağlamda “ekonomik karmaşıklık” kavramı, halen devam eden küresel iklim değişikliği tartışmalarında önemli bir değişken haline gelmiştir (Aluko vd., 2023, s.2649). Birçok çalışma ürünlerin ekonomik yapısı ve karmaşıklığının, ekonomik kalkınma ve çevre kirliliği üzerinde önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmamızda bu çalışmaların bazılarının ana hatları ve bulguları ortaya konulacaktır.

Diğer taraftan bu makale ekonomik yapısal dönüşüm (ki bu dönüşümü ekonomik karmaşıklık endeksi ile ele almaktayız) ile CO2 emisyonları arasındaki ilişkiyi ölçmeye çalışmaktadır. Çevresel bozulma kavramı ise CO2 emisyonlarındaki artışlar olarak ele alınmaktadır. Önceki çalışmalardan farklı olarak ekonomilerdeki yapısal dönüşümü açıklamak için de kişi başına düşen milli gelir yerine ECI’i kullanılmaktadır.

Bu çalışmamızın 1.bölümünde konu ile ilgili literatür taraması ve çalışmamızın esin kaynağı olan sorunsalın benzer çalışmalarda nasıl ele alındığı ve ulaşılan sonuçlar ele alınmaktadır. İkinci bölümde bu çalışmanın merkezinde yer alan Ekonomik Karmaşıklık kavramı anlatılmakta ve kavramla ilgili çalışmalar özetlenmektedir. Üçüncü bölümde çevresel bozulmanın niteliği üzerinde durulmakta ve çerçevesi çizilmeye çalışılmaktadır. Dördüncü bölümde bu çalışmamızda kullanılan ekonometrik model sunulmaktadır. Beşinci bölümde modelde kullanılan yöntem ve veriler ele alınmaktadır. Altıncı bölümde ise uygulama sonuçları ve değerlendirmeler yer almaktadır.

2. Literatür

Günümüzde çevreyi yönetmek küresel bir sorun haline gelmiştir. Dünyanın her yerinden ekonomistler, enerji uzmanları ve çevre ile ilgili kamu otoriteleri, küresel olarak çevreyi korumanın yollarını bulmaya çalışmaktadırlar. Bu bağlamda ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ihraç malları kompozisyonu gibi iktisadi kavramlarla çevre kirliliği arasındaki ilişkileri göstermeye çalışan kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır.

Bu araştırmaların bazılarında ekonomik karmaşıklık endeksi (ECI) ön plana çıkmaktadır. Endeks, ekonomik büyümenin güvenilir bir göstergesi olması nedeniyle çevre ile ilgili çalışmalarda büyük ilgi görmektedir (Neagu ve Teodoru, 2019).

Ekonomik karmaşıklık ve ekonomik büyüme, sırasıyla ekonominin üretim yapısını ve gelir düzeyini göstermektedir. Hidalgo vd. (2007)’nin yayınladıkları çalışma sonrasında, ekonomik büyüme ile ekonomik karmaşıklık arasındaki ilişki hayli ilgi çekmiştir (Hausmann vd., 2014; Gao ve Zhou, 2018; Doğan vd., 2020; Ikram vd., 2021; Wang vd, 2021). Ekonomik karmaşıklık yalnızca ülkeler arasındaki gelir farkını açıklamakla kalmayıp, aynı zamanda gelecekteki ekonomik büyümeyi tahmin etmek için de kullanılabilir (Hausmann vd, 2007; Hidalgo ve Hausmann, 2009).

Ayrıca Hartmann vd. (2017), son zamanlarda karmaşık mallar ihraç eden devletlerin, basitleştirilmiş mallar ihraç eden ülkelere göre daha gelişmiş olduklarını da göstermişlerdir (Abbasi vd. 2021, s. 68718).

Bazı çalışmalar ekonomik karmaşık endeksindeki artışların ekonomik büyümeyle daha da artırabileceğini ortaya koymaktadırlar. Örneğin Gao ve Zhou (2018), ekonomik bir faktör olarak GSYH'yi kullanarak ekonomik karmaşıklığın ekonomik büyüme üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ekonomik karmaşıklık endeksindeki artışın GSYH'yi artırdığı sonucuna ulaşmaktadırlar. Doğan vd. (2020) ise, ekonomik karmaşıklık endeksindeki artışın GSYH üzerinde olumlu bir rol oynadığını ortaya koyan Avrupa ülkeleri ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Küresel ısınma, iklim değişikliğiyle birlikte yaygınlaşan bir kaygıdır. Bu da çevresel bozulma ve onu tetikleyen etmenler konusundaki farkındalığın giderek artmasına neden olmuştur. Son yıllarda karbon emisyonları ile ECI arasındaki ilişki inceleyen önemli çalışmalardan olan Can ve Gozgor (2017)'ün Fransa için yaptıkları çalışmada, çevresel Kuznets eğrisi (EKC) hipotezinin geçerliliğini ve aynı zamanda ECI'nın karbon emisyonunu azalttığını, enerji kullanımının ise çevresel bozulmayı artırdığını ortaya koymaktadırlar.

Doğan vd. (2019), Amerika Birleşik Devletleri'nin 55 eyaletinde ekonomik karmaşıklık endeksi ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çevresel Kuznets Eğrisi teorisinin yüksek gelirli ülkelerde geçerli olduğunu, ancak orta gelirli ülkelerde CO2 ile gelir düzeyi arasında U şeklinde bir bağlantının daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada ayrıca ECI'nın bu ülkelerde karbon emisyonunu artırdığını, yüksek gelirli ülkelerde ise çevresel bozulmayı engellediği yönünde bulgular ortaya koymuşlardır.

Doğan ve Türkekul (2016), 55 ülkeden oluşan bir örnekleme ekonomik karmaşıklık endeksi ile çevresel bozulma arasındaki bağlantıyı incelemiş ve EKC teorisinin gelişmiş n ülkeler için anlamlı olduğunu öne sürmüşlerdir. Ekonomik karmaşıklık endeksi gelişmiş ülkelerde iklim bozulmasını yavaşlatmaktadır. Aynı zamanda bu ülkelerde karmaşıklık endeksi ile CO2 emisyonları arasında U şeklinde bir ilişki ortaya konulmaktadır. Bu çalışmaya göre, uzun vadede enerji tüketimi ve kentleşme çevresel bozulmayı artırırken, finansal gelişmenin buna hiçbir etkisi yoktur ve ticaret ise çevre üzerinde olumlu etkilere sahiptir.

Boleti vd. (2021;251) çalışmalarında Ekonomik Karmaşıklık Endeksi'ni ve çevresel performansın bir ölçüsü olarak Çevresel Performans Endeksi'ni kullanmışlardır. Onlara göre daha yüksek düzeyde ekonomik karmaşıklığa geçmek daha iyi bir çevresel performansa yol açmaktadır.

Diğer bir çalışmada Shah vd. (2023, s. 14), 1970Q1-2019Q4 dönemi için Japonya'da ekonomik karmaşıklık, yenilenebilir enerji, doğrudan yabancı yatırım, ticaret ve çevre kalitesi arasındaki bağlantıyı araştırmışlar ve modellerinde bağımlı değişken olarak karbondioksit (CO2) emisyonlarını, açıklayıcı değişkenler olarak ise ekonomik karmaşıklık endeksinin (ECI), doğrudan yabancı yatırımları (DYY), yenilenebilir enerjiyi (RNE) ve ticareti kullanmışlardır. Çalışmanın sonucu, CO2 emisyonları üzerinde ECI, DYY, GSYH, RNE ve ticaretin uzun vadeli etkilerinin olduğunu ortaya koymaktadır.

Neagu ve Teodoru (2019) da makalelerinde ECI ile enerji kullanımını arasındaki ilişkiyi araştırmışlar ve CO2 emisyonu üzerinde tutarsız bir etki tespit etmişlerdir. Bu çalışmalarında Neagu ve Teodoru (2019), 88 ülke için EKC hipotezinin geçerliliğini ortaya koymuşlardır. Diğer taraftan 25 Avrupa ülkesinden 6'sında ECI ile CO2 emisyonu arasında ters U şeklinde bir ilişki belirlemişlerdir. Bu çalışmaya göre 25 AB ülkesinde ekonomik karmaşıklık sera gazı emisyonları üzerinde artan bir etkiye sahiptir.

Diğer bazı araştırmalar, ihracat ürün çeşitlendirmesi (Doğan vd. 2020) ve ithalat ürün çeşitlendirmesi (Hu ve diğerleri 2020) gibi üretken yapının bazı yönlerini ele almaktadırlar. İlkinde, ihracat ürünü çeşitlendirmesinin gelişmekte olan ülkelerde CO2 emisyonlarını önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. İkincinin de ise, ithal ürün çeşitlendirmesinin gelişmiş ülkelerde CO2 emisyonları üzerinde negatif ve gelişmekte olan ülkelerin CO2 emisyonları üzerinde ise pozitif etkiye sahip olduğunu ortaya konulmaktadır.

Chu (2020), çalışmasında 2002 ile 2014 yılları için 118 ülkeden oluşan bir veri seti kullanmaktadır. Bu çalışmada ECI verileri MIT Medya Laboratuvarı'nın Ekonomik Karmaşıklık Gözlemevi'nden toplanmıştır. Diğer değişkenlere ilişkin veriler ise Dünya Bankası'nın yayınladığı Dünya Kalkınma Göstergeleri ve Dünya Çapında Yönetişim Göstergelerinden alınmıştır. Bu çalışmada, ECI ile CO₂e arasında ters bir U bağlantısı olduğu ortaya konulmaktadır (Chu 2020, s. 2).

Swart ve Brinkmann (2020) ECI, gelir miktarı ve dört farklı emisyon endeksi arasındaki ilişkiyi Brezilya örneğinde incelemişlerdir. Çalışmalarında bağımlı değişken olarak gelir düzeyi ECI'ni ele almışlar ve en kirletici dört göstergelyi de bağımsız değişken olarak kullanmaktadırlar. Araştırma Brezilya'da ECI'deki artışların ormansızlaşmayı azaltırken atık oluşumunu da engellediğini ortaya koymaktadır.

Ullah vd. (2021), çalışmalarında enerji kullanımı ve CO₂ emisyonları bağlamında sürdürülebilir kalkınma ve büyümeye katkıda bulunan olası faktörleri incelemektedirler. Gelir düzeyi ve gelişmişlik düzeyi açısından bakıldığında elde ettikleri sonuçların, analiz edilen ülkeler için, tutarlı olmadığı ifade edilmektedir.

Yakın zamanda yapılan bir çalışmada ise Ikram vd. (2021), Japonya'daki ekonomik karmaşıklığın etkisini değerlendirmek için QARDL modelini kullanmışlar ve ekonomik karmaşıklık ile GSYİH arasında aşırı yüzdelik dilimlerde çift yönlü bir nedensellik olduğu sonucuna varmışlardır.

Rafiq vd. (2023), 1971-2020 yılları için 8 Asya ülkesini kapsayan çalışmalarında benzer çıkarımlarda bulunmaktadırlar. Bu çalışmada da ekonomik karmaşıklık, temel kirlilik göstergeleri, kentleşme ve enerji tüketimi arasındaki ilişki incelenmektedir. Sonuç olarak ECI ile kirlilik göstergeleri arasında ters yönlü bir ilişki olduğu ortaya konulmaktadır.

Lapatinas vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada ise, ekonomik karmaşıklık endeksindeki artışlar CO₂ emisyonlarını azaltmaktadır. Bu çalışma aynı zamanda EKC teorisinin 88 ülkede geçerli olduğunu da göstermektedir. Benzer şekilde Chin vd. (2020), 118 ülkeden oluşan bir örnekleme ekonomik karmaşıklık endeksi ile CO₂ emisyonları arasında U şeklinde bir ilişki bulmuşlardır.

3. Ekonomik Karmaşıklık (Complexity) Kavramı

Bu çalışmamızda kullandığımız "Ekonomik Karmaşıklık (Economic Complexity) kavramı, Harvard Kennedy Okulu'ndaki Harvard Büyüme Laboratuvarında, büyümenin dinamiklerini anlamak ve burada üretilen bilgileri geliştirmekte olan ülkelerde daha etkili politika yapımına dönüştürmek için geliştirilmiştir (Atlas of E.C.).

Paul Rosenstein-Rodan, Hans Singer ve Albert Hirschman gibi ekonomik kalkınmanın öncüleri, bir ülkenin üretken yapısı ile gelir üretme ve dağıtma yeteneği arasında bir bağlantı olduğunu iddia etmişlerdir. Bu iktisatçılar ayrıca çalışmalarında, ekonomilerin tarım ve madencilikten daha karmaşık hizmetler ve imalat sanayi sektörlerine doğru olan yolculuklarında gerçekleştirdikleri "yapısal dönüşümlerin" ekonomik rolünü vurgulamışlardır (Hartmann vd., 2017, s. 75).

Ancak bir ülkenin üretken yapısını ölçmenin karmaşıklığı nedeniyle bu görüşlerin test edilmesi kolay olmamıştır. Ülkelerin üretken yapılarına ilişkin bu ölçümler, ürünlerin çok yönlülüğünü hesaba katmadıkları veya endüstriyel yapılardaki farklılıkları ortaya koyamadıkları için başarılı olamamışlardır. Ancak yakın zamanda geliştirilen "ekonomik karmaşıklık" ölçümlerinin uygulamaya konması ile, bir ülkenin üretken yapısını sayısallaştırma becerisi gelişmiş ve yapısal dönüşümlerin makroekonomik rolüne olan ilgi tekrar canlanmıştır (Hartmann vd., 2017, s. 75).

Ekonomik karmaşıklıkla ilgili bu çalışmalar, ekonomik büyümeye ilişkin tahminlerde yakaladığı başarı nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Ekonomik büyüme ve ortalama gelir, ülkenin mutlak yoksulluk ve sosyal refah düzeyleriyle ilişkili olduğundan, bu aynı zamanda ekonomik karmaşıklığın bu ölçümlerinin sosyal refahla da ilişkilendirilmesine yol açmıştır (Bourguignon, 2004).

Yakın zamanda Hidalgo ve Hausmann (2009) tarafından geliştirilen Ekonomik Karmaşıklık Endeksi (ECI) ve Ürün Karmaşıklık Endeksi (PCI), sırasıyla bir ekonominin ve bir ürünün göreceli bilgi yoğunluğunun ölçüsüdür. Bu endekslerde üç çeşit endeks hesaplanmaktadır. Birincisi ticari verilere dayanılarak üretilen Ekonomik Karmaşıklık Ticaret Endeksi (ECI Trade), ikincisi patent verilerine dayanılarak üretilen Ekonomik Karmaşıklık Teknoloji Endeksi (ECI Technology) ve üçüncüsü araştırma ve yayın verilerine dayanılarak üretilen Ekonomik Karmaşıklık Araştırma Endeksi (ECI Research)'dir.

Ekonomik Karmaşıklık Endeksi, toplumdaki bilgi düzeyinin bir ölçüsüdür. Bilginin, o toplumun ürettiği ürünler cinsinden bir ifadesidir. Bir ülkenin ekonomik karmaşıklığı, bir ülkenin ürettiği ihracatın çeşitliliğine ve bu malların her yerde bulunup bulunmamasına veya bunları üretebilen ülke sayısına (ve bu ülkelerin karmaşıklık düzeyine) dayalı olarak hesaplanmaktadır (Atlas of EC).

Burada bir ülkenin ihracatının karmaşıklık düzeyinin o ülkenin mevcut gelir düzeyini büyük oranda yansıtacağı düşünülmektedir. Dolayısıyla karmaşıklık endeksi ekonomik kalkınmanın da bir ölçüsünü olarak kullanılabilir.

Ülkeler ihracat sepetlerindeki malların ne kadar çeşitli ve karmaşık olduğuna göre sıralanmaktadır. Bu yaklaşım çok çeşitli üretken teknik bilgiye sahip ve özellikle de karmaşık malların üretiminde uzmanlaşmış olan ülkelerin dolayısıyla çok çeşitli karmaşık ürünler üretebilecekleri esasına dayanmaktadır.

Bu bağlamda önemli bir kavram da "Know-how"dır. Know-how (teknik bilgi) bir ürünü üretme konusun öğrenilmiş bütün yetenekleri kapsar. Üretim yeteneği olarak da bilinen teknik bilgi, ürün yapımında kullanılan üretken bilgiyi ifade eder. Ülkeler, gittikçe daha kompleks hale gelen daha geniş çeşitlilikte ürünler üretmek için sahip oldukları üretken bilgiyi çeşitlendirmek zorundadırlar. Bu çalışmada kullandığımız Ekonomik Karmaşıklık Endeksi ülkelerin ihraç ettikleri ürünlerin içerdikleri know-how düzeyini ölçmektedir. Bu düzey yükseldikçe ekonomiler daha hızlı büyüyebileceklerdir.

4. Çevresel Bozulma Kavramı ve Niteliği

Çevresel bozulma çok geniş bir kavram olup içerisinde iklim değişikliğini, biyolojik çeşitliliğin azalmasını, ekolojik bozulmayı, sınırlı doğal kaynaklara yönelik artan talep ve kaynakların yok olmasını ve diğer karmaşık kentsel patolojileri barındırmaktadır. Ancak bu çalışmamızda çevresel bozulmayı atmosferik bozulma ile sınırlandıracağız. Atmosferik bozulmayı da CO2 emisyonlarındaki artış olarak ele alacağız.

CO2 emisyonlarının seviyesi birçok bilim adamı tarafından sürekli olarak incelenmektedir. Bunun nedeni, dünya nüfusunun ve dolayısıyla gezegenin giderek artan ekonomik gelişiminin ve enerji tüketiminin CO2 emisyonlarını sürekli artırmasıdır. Bu çalışmanın amacı, ekonomik karmaşıklık düzeyindeki artışla birlikte CO2 emisyon düzeylerinin nasıl değiştiğini incelemektir.

5. Ekonometrik Model

İncelenen çalışmalarda demografik ve iktisadi değişkenlerin çevresel etkilerinin ölçülmesi noktasında birçok farklı yaklaşım izlenmektedir. Bu yaklaşımlar içerisinde kabul gören ve ampirik çalışmalarda baz alınan yaklaşımlardan birisi de IPAT ve/veya STIRPAT olarak bilinen modelleme yaklaşımıdır.

IPAT, ilk kez Ehrlich ve Holdern tarafından 1971 yılında önerilmiştir. Bu formülasyon ile insani faaliyetler ile çevre kirliliği arasında matematiksel bir bağ kurulmaya çalışılmıştır. IPAT, çevre kirliliğinin etkenleri hakkında geniş bir anlayış sağlayan kavramsal bir çerçevedir. Bu model, insan faaliyetlerinin çevresel etkilerinin nüfusa, zenginliğe ve teknolojiye bağlı olduğunu aşağıdaki şekilde formüle etmektedir (Wang ve Taghvaei,2023).

$$I = P \cdot A \cdot T \quad (1)$$

Burada I çevresel kirliliği ('Impact-Etki' kelimesinin kısaltılması olarak) tanımlamaktadır. P nüfusu, A refah ya da zenginlik düzeyini (Affluence), T ise teknolojiyi göstermektedir.

Bu yaklaşımın öncü uygulamalarından birisi Dietz ve Rosa (1994) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada sosyal araştırma istatistiksel araçlarının I = PAT çalışmalarına uygulanmasını kolaylaştırdığını iddia ettikleri etki denkleminin (STIRPAT – Nüfus, Refah ve Teknoloji Üzerindeki Regresyonla Stokastik Etkiler) stokastik (olasılıksal) bir yeniden formülasyonunu önermişlerdir¹(Dietz ve Rosa, 1994, s. 277).

Refah ya da zenginlik (Affluence), nüfus içerisindeki her bir kişinin ortalama tüketimiyle ilgilidir. Tüketimi ölçmenin yaygın bir göstergesi kişi başına düşen GSYH'dir. Kişi başına düşen GSYH üretimi ölçerken, genellikle üretim arttığında tüketimin de arttığı varsayılmaktadır. Kişi başına düşen GSYH son birkaç yüzyılda istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Dolayısıyla I = PAT yaklaşımına göre, insanların çevre üzerindeki etkilerini de artırmaktadır. Bazı çalışmalarda A ve T'yi tahmin etmenin zorluğu nedeniyle, kişi başına düşen enerji kullanımı, bunların ikamesi olarak kullanılmaktadır.

Ekonomik faaliyetler ile karbon emisyonları arasındaki ilişkinin, (STIRPAT) benzeri bir panel regresyon ile daha anlamlı açıklanacağını düşünmekteyiz.

Temel olarak Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC), ekonomik aktivitenin çevre üzerindeki doğrusal olmayan etkisini temsil etmektedir. Bu, ekonomik faaliyetlerin başlangıçta farkında olmadan çevre ekosistem dengesini bozduğu, ancak belirli bir eşikten sonra bu faaliyetlerin çevre dostu, yenilenebilir enerji yoğun, geri dönüştürülebilir odaklı ve organik bir araç haline gelerek insanların gelecek nesilleri tarttığı anlamına gelmektedir. Öte yandan STIRPAT yaklaşımı, bazı çalışmalarda nüfus büyüklüğünün, GSYH'nin ve teknolojinin çevreyi nasıl etkilediğini analiz etmek için de kullanılmaktadır (Liu vd. 2020). Benzer şekilde ekonomik faaliyetlerin çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmek için hem EKC'yi hem de STIRPAT'ı birleştirmeyi deneyen çeşitli çalışmalar da vardır. Örneğin Li vd. (2015), Rafiq vd. (2016), Wang vd. (2017), Yuan vd. (2015), Zhao (2010), gibi çalışmalar Çevresel Kuznets eğrisi bağlamında bazı iktisadi göstergelerin çevre ile ilişkisini araştırmaktadırlar. STIRPAT yaklaşımıyla ilgili çok çeşitli çalışmalar mevcuttur (Bargaoui vd. 2014; Wang vd. 2011; Xiong vd. 2019; York vd. 2003; Zhao ve Yan 2013; Rafiq vd.2023).

Bu çalışmamızda yukarıda bahsettiğimiz I=PAT ve STIRPAT modellemelerini baz alarak çevresel bozulmayı CO2 emisyonlarındaki artış olarak sadeleştirebileceğimizi düşünüyoruz. Dolayısıyla CO2 emisyonlarını bağımlı değişken olarak ele almaktayız. CO2 emisyonlarındaki artışın da arka planında sanayileşmenin olduğunu varsayarak, sanayi üretiminde geline noktayı da ECI ile tanımlamayı düşünmekteyiz. Yukarıda bahsedildiği üzere ECI ülkelerin ihrac ürünlerinin teknolojik karmaşıklığını içermektedir. Dolayısıyla hem sanayileşmenin hem de teknolojik ilerlemenin bir göstergesi olarak ele alınabilmektedir. İkinci bir açıklayıcı değişken olarak, GDP ve/veya kişi başına düşen GDP verilerine modelde yer verilecektir. Diğer bir açıklayıcı değişkenimiz de ülkelerin nüfuslarıdır. Dolayısıyla regresyon modelimiz:

$$CO2 = ECI + GDP + POPULATION \quad (2)$$

biçimindedir. Görüleceği üzere bu model, Dietz ve Rosa (1994,1997) tarafından sunulan ve daha sonraki çalışmalarda geliştirilen modellemenin devamı niteliğindedir. Baz aldığımız model;

$$I_i = \alpha P_i^\beta A_i^\gamma T_i^\delta \varepsilon_i \quad (3)$$

Burada α sabit terim, β, γ, δ tahmin edilecek parametreler ve ε ise hata terimidir. Buradan hareketle tahmin edeceğimiz modelimiz aşağıdaki gibidir:

$$CO2_i = \alpha ECI_i^\beta GDP_i^\gamma P_i^\delta \varepsilon_i \quad (4)$$

¹ STIRPAT – Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology

6. Örneklem ve Veri Seti

Bu çalışmamızda 2003-2022 yılları arasındaki veriler kullanılmaktadır. Bu zaman dilimini seçmemizdeki en önemli etken incelenen ülkelerin bazılarında bazı verilerin daha geriye doğru üretilmemiş olmasıdır. Regresyon sonuçlarının anlamlılığını yitirmemesi için panel veri setinde boşlukların olmamasına özen gösterilmiştir. Ayrıca panel veri analizlerinde çok uzun zaman dilimleri ekonometrik olarak başka sorunlara da yol açabilmektedir.

Bu çalışmamızda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri karşılaştırmamıza izin verecek şekilde iki ülke grubuna ilişkin panel veriler hazırlanmıştır. Gelişmiş ülke örneklem kümesi Dünya Bankası Databank'ı içerisinde yer alan yüksek gelir grubu ülkeler içerisinde ayıklanmıştır. Ayıklama yapılırken yüksek gelir diliminde yer almasına rağmen birçok istatistiki verinin üretilmediği küçük ülkeler dışarda bırakılmıştır. Toplam 40 ülke örneklem kümesinde yer almaktadır². Gelişmekte olan ülkeler örneklem kümesi de aynı şekilde Dünya Bankası Databank'ı içerisinde yer alan IBRD ülkelerinin Üst-Orta Gelir grubundaki ülkelere seçilmiştir. Gelişmekte olan ülkelerin bu grup ile sınırlandırılması Türkiye'nin de bu grup içerisinde yer almasından dolayı tercih edilmiştir. Dolayısıyla ile gelişmekte olan ülkeler için varılacak sonuçlar aynı zaman da Türkiye için de geçerli açıklayıcı değerlendirmeler olacaktır. Bu örneklem kümesi 37 ülkeden oluşmaktadır³. Dolayısıyla toplam 77 ülkeden oluşan bir veri seti hazırlanmıştır.

Bu ülkelere ilişkin CO₂, GDP, Kişi Başına GDP ve Nüfus verileri Dünya Bankası Databank'ından alınmıştır (World Bank Open Data,2024). ECI verileri ise OEC gözlemevi (observatory of Economic Complexity)'nin internet sekmesinden elde edilmiştir.

7. Uygulama Sonuçları ve Değerlendirme

Dünya Bankası ve Ekonomik Karmaşıklık Gözlemevi'nden elde edilen verilerde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri temsil eden iki farklı ülke grubu için sınıflandırılmış ve STATA Programında ekonometrik tahminler elde edilmiştir. Ele alınan değişkenlere ait betimleyici temel istatistikler aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

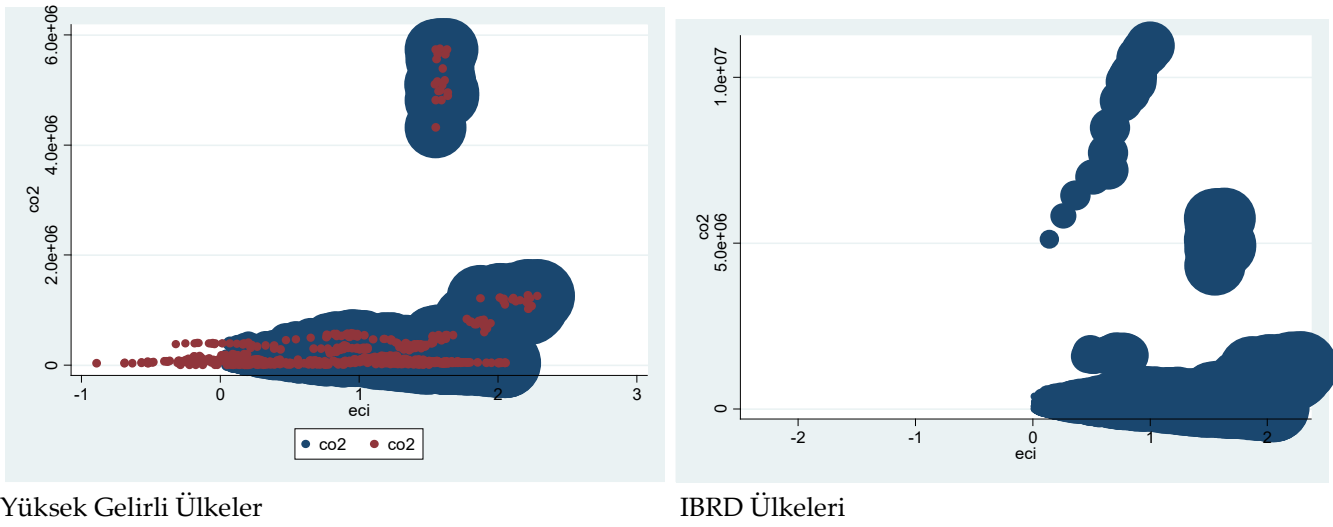
Tablo 1. Değişkenlere ait betimsel istatistikler

Değişken		Ortalama	Standart Sapma	Min	Max	Gözlem
co2	Tüm	336987	1159715	2268.8	1.09E+07	N=1368
	Arasında		1142746	3378.339	8505223	n=76
	İçinde		235182	-3743823	2776450	T=18
eci	Tüm	0.4649391	0.8291947	-2.404737	2.284067	N=1483
	Arasında		0.8188386	-1.287915	2.127834	n=77
	İçinde		0.1809997	-0.6518826	1.416185	T-bar=19.2597
pergdp	Tüm	35032.82	23154.55	5085.978	131113.2	N=1520
	Arasında		22741.71	9375.932	112802.2	n=76
	İçinde		5041.515	5336.094	82999.75	T=20
arge	Tüm	1.160849	1.030823	0.0159	5.70555	T=1185
	Arasında		0.9970915	0.0396946	4.349307	n=73
	İçinde		0.2201267	0.4696109	2.517092	T-bar=16.2329

Çalışmanın temel konusunu oluşturan gelişmişlik düzeyi ile CO₂ emisyonları arasında olduğu düşünülen pozitif ilişkinin varlığını "stilize edilmiş gerçekler" analizi ile ortaya koymak da mümkün görünmektedir.

²Bu ülkeler; Australia, Austria, Belgium, Canada, Chile, Croatia, Czechia, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hong Kong, Hungary, Ireland, Israel, Italy, Japan, Kuwait, Lithuania, Netherland, NewZeland, Norway, Oman, Panama, Poland, Portugal, Qatar, Romania, Saudi Arabia, Singapore, Slovak Rep. ,Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, United Arab Emi.,United Kingdom,United State, Uruguay.

³ Bu ülkeler; Albania, Argentina, Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bosnia, Botswana, Brazil, Bulgaria, China, Colombia, Costa Rica, Dominican Reb.Ecuador, ElSalvador, Gabon, Georgia, Guatemala, Indonesia, Iraq, Jamaica, Kazakhstan, Libya, Malaysia, Mauritius, Mexico, Moldova, Namibia, N.Macedonia, Paraguay, Peru, Russia, Serbia, S.Africa, Thailand, Türkiye, Türkmenistan



Şekil 1. Tüm Ülkelerde CO2 ile ECI arasındaki ilişki

Yukarıdaki grafiklerden de görülebileceği gibi ülkelerin ihracat ürünleri içindeki teknoloji payı arttıkça CO2 emisyonları da artmaktadır. Bununla birlikte IBRD ülkelerinde aynı teknoloji oranına sahip ülkelerin karbon ayak izi yüksek gelirli ülkelerin karbon ayak izinden daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Burada belirtilmesi gereken diğer bir konu da örneklem kümesi içinde yer alan çok gelişmiş ve büyük ülkelerin CO2 emisyonlarının çok büyük olması nedeniyle grafiklerin üst kısımlarında kümelenmişleridir. Yüksek gelirli ülkeler grubunda ABD ve Japonya, IBRD ülkelerinde ise Çin ve Rusya diğer ülkelerin çok üstünde yer almaktadırlar.

Granger ve Newbold (1974) durağan olmayan veriler ile çalışılması halinde incelenen değişkenler arasında regresyon çözümlemesinin güvenilir olamayacağını sahte regresyon (spurious regressions) probleminin ortaya çıkacağını belirtmiştir. Bu nedenle regresyon çözümlemesinden önce durağanlığın kontrol edilmesi gerekmektedir. Panel veri modellerinde birim kök sınavını öneren önde gelen çalışmalar arasında Levin ve Lin (1993, 1994), Breitung ve Meyer (1994), Quah (1994), Maddala ve Wu (1999), Hadri (2000) ve Im, Peseran ve Shin-IPS (2003) yer almaktadır (Saatçi ve Aslan 2007, s. 1). Ancak birim kök testlerini yapmadan önce modelde yatay kesit bağımlılığı olup olmadığının test edilmesi yararlı olacaktır. Zira eğer yatay kesit bağımlılığı varsa geleneksel olarak adlandırılacak birim kök testleri yanıltıcı sonuçlar da verebilecektir. Yatay kesit bağımsızlığı, paneli oluşturan birimlerden herhangi birine gelen bir şoktan tüm ülkelerin etkilenme derecelerinin aynı olması ve ülkelerin herhangi birinde ortaya çıkan bir makroekonomik şoktan paneli oluşturan diğer ülkelerin etkilenmediği varsayımına dayanmaktadır. Eğer ülkeler arasında bu anlamda bir korelasyon varsa durağanlık testlerinin daha dikkatli değerlendirilmesi gerekmektedir. Günümüzde dışa açık ekonomilerin birbirinden etkilenmesi oldukça yaygın bir durumdur. Bu nedenle yatay kesit bağımlılığı dikkate alınmadan yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar sapmalı ve tutarsız olacağından dolayı analize başlamadan önce seriler arasında yatay kesit bağımlılığı olup olmadığının test edilmesi gerekmektedir (Mercan, 2014, s.235; Menyah vd. 2014, s.389 ve Koçbulut ve Altıntaş 2016, s.146). Eğer veri setinde yatay kesit bağımlılığı mevcut ise ikinci nesil birim kök testlerinin uygulanması daha doğru sonuçlar verecektir (Baltagi, 2008, s. 284).

Analiz için oluşturulan iki farklı veri seti bulunmaktadır. İlk veri setinde gelişmiş ülkeler yer alırken ikinci veri setinde ise IBRD ülkeleri yer almaktadır. Açık ki bu ülke gruplarına göre oluşturulan panel verilerde yatay kesit bağımlılığını oluşması oldukça muhtemeldir. Ancak her iki veri seti de dengesiz panel veri seti çalışmada kullanılan veri

setleri için klasik yatay kesit bağımlılığı testleri⁴kullanılmamıştır. Yatay kesit bağımlılığı analizi için dengesiz panel veriler için de uygun olan Friedman (1937), Frees (1995 ve 2004) ve Pesaran (2004) testleri kullanılmıştır.

Friedman (1937) ve Frees (1995, 2004) tarafından önerilen iki yarı parametrik testin yanı sıra Pesaran (2004) tarafından önerilen parametrik test küçük T ve büyük N'li panel veri modellerinde yatay kesit bağımlılığı hipotezini test etmektedirler.

Aşağıdaki tabloda $co2 = f(gdp, eci)$ denklemi tahmininden elde edilen yatay kesit bağımlılığı test sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 2. Modelin Yatay Kesit Bağımlılığı Testi

Testler	Tüm Veri		Gelişmiş Ülkeler		IBRD Ülkeleri	
	İstatistik	p-Değeri	İstatistik	p-Değeri	İstatistik	p-Değeri
Friedman	106.632	0.008	70.469	0.001	28.533	0.772
Frees	24.125	alpha=0.10: 0.4127	10.892	alpha=0.10: 0.1438	7.150	alpha=0.10: 0.4127
		alpha=0.05: 0.5676		alpha=0.05: 0.1888		alpha=0.05: 0.5676
		alpha=0.01: 0.9027		alpha=0.01: 0.2763		alpha=0.01: 0.9027
Pesaran	95.092	0.000	10.237	0.000	31.356	0.000

Friedman ve Pesaran testlerinin boş hipotezi yatay kesit bağımlılığı yoktur şeklinde olduğundan p değerlerine göre modelde yatay kesit bağımlılığı mevcuttur. Frees'in testine göre de test istatistiği tablo değerlerinden daha büyük olduğundan H_0 hipotezi reddedilmektedir. Diğer bir ifade ile her üç test de göstermektedir ki modelde değişkenler arasında yatay kesit bağımlılığı bulunmaktadır.

Yatay kesit bağımlılığı nedeni ile değişkenlerin birinci nesil birim kök testleri ile durağanlıklarının araştırılması yanlıcı olacaktır. Bu nedenle değişkenlerin durağan olup olmadığı ikinci nesil birim kök testleri ile sınanmıştır.

Bilindiği üzere ikinci nesil panel birim kök testleri Pesaran (2003 ve 2007) ve Pesaran, Smith ve Yamagata (2009) çalışmaları çerçevesinde oluşturulmuştur.

Bu çerçevede Pesaran (2007) panel birim kök testi kullanılmıştır. Bu test, Pesaran (2003) çalışmasından yola çıkılarak oluşturulmuş ve yatay kesit bağımlılığına sahip heterojen paneller için geliştirilmiş t-testine dayanmaktadır. Im, Pesaran ve Shin (2003) testine paralel olarak, paneldeki her bir birimin bireysel DF (veya ADF) t-istatistiklerinin ortalamasına dayanmaktadır. Testin boş hipotezi, tüm serilerin durağan olmadığını varsayar. Çapraz bağımlılığı ortadan kaldırmak için, standart DF (veya ADF) regresyonlar, gecikmeli seviyelerin kesit ortalamaları ve bireysel serilerin birinci farkları (CADF istatistikleri) ile beraber analize dahil edilmektedir. Pesaran (2007) birim kök test sonuçları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 3. İkinci Nesil Panel Birim Kök Testi Sonuçları

	Tüm Veri		Gelişmiş Ülkeler		IBRD Ülkeleri	
	Z[t-bar]	P-değeri	Z[t-bar]	P-value	Z[t-bar]	P-value
co2	-4.360	0.000	1.654	0.951	-1.708	0.044
co2(-1)			-8.984	0.000	-11.292	0.000
gdp	-0.039	0.484	0.354	0.638	-1.280	0.100
gdp(-1)	-5.754	0.000	-12.475	0.000	-8.646	0.000
eci	-4.554	0.000	-2.508	0.006	-1.173	0.120
eci(-1)					-10.440	0.000

⁴Klasik olarak tanımlanan yatay kesit bağımlılığı testleri dengeli panel veri setleri için oluşturulmuştur ve i) Breusch ve Pagan (1980) LM testi; ii) Pesaran, Ullah ve Yamagata (2008) yanlılığı düzeltilmiş LM testi; ve iii) Pesaran (2004) CD testlerinden oluşmaktadır.

Tablodan da görülebileceği gibi tüm veri seti incelendiğinde co_2 ve eci değişkenleri $I(0)$ 'da durağan iken gdp değişkeni $I(1)$ 'de durağan olmaktadır. Gelişmiş ülkeler veri setine bakıldığında ise sadece eci değişkeni düzeyde durağan iken diğer iki veri $I(1)$ 'de durağan olmaktadır. IBRD ülkeleri veri setinde ise tüm değişkenler $I(1)$ 'de durağan olmaktadır. Veriler aynı düzeyde durağan olmadıkları için değişkenler arasındaki uzun dönem yakınsama ilişkisini gözlemleyebilmek için çalışmada eşbütünleşme analizi de yapılmıştır. Bunun için Weterlund (2007) hata düzeltme modeli bazlı eş bütünleşme testi kullanılmıştır. Bu model Persyn ve Westerlund (2008)'un çalışmasında geliştirilen dört panel eşbütünleşme testini uygulamaktadır. Bu testlerin iki tanesi grup ortalamalarına (G_t ve G_a) yönelik iken diğer iki tanesi de (P_t ve P_a) panelin tamamına ilişkin havuzlanmış test sonuçlarını göstermektedir (Demir 2019, s.91) Çalışmada elde edilen Wasterlund panel eşbütünleşme testi sonuçları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir. Modelde yatay kesit bağımlılığı söz konusu olduğundan eş bütünleşme testi dirençli (bootstrap) olasılık değerleri elde edilecek şekilde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Wasterlund Panel Eşbütünleşme Testi Sonuçları

	İstatistik	Değer	Z- Değeri	P-Değeri	Dirençli P-Değeri
Tüm Veri	G_t	-1.666	-2.322	0.010	0.000
	G_a	-4.645	1.842	0.967	0.000
	P_t	-12.681	-3.518	0.000	0.000
	P_a	-3.870	-2.390	0.008	0.000
Gelişmiş Ülkeler	G_t	-1.717	-1.997	0.023	0.000
	G_a	-4.633	1.361	0.913	0.000
	P_t	-9.987	-3.112	0.001	0.000
	P_a	-4.320	-2.320	0.010	0.000
IBRD Ülkeleri	G_t	-1.869	-2.751	0.003	0.000
	G_a	-4.673	1.245	0.893	0.000
	P_t	-8.544	-2.258	0.012	0.000
	P_a	-3.671	-1.415	0.079	0.000

Tablodan da görülebileceği gibi P_t ve P_a istatistiklerine göre değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisi mevcuttur. Çalışmada bu aşamadan sonra Pesaran Havuzlanmış ortalama grup tahmincisi kullanılarak modele ait hata terimi düzeltme katsayısı elde edilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 5. Wasterlund Panel Eşbütünleşme Kısa ve Uzun Dönem Etkiler

	Tüm Veri		Gelişmiş Ülkeler		IBRD Ülkeleri	
	Katsayı	$P > z $	Katsayı	$P > z $	Katsayı	$P > z $
ec						
gdp	0.000...	0.000	0.000...	0.000	1.04E-07	0.000
eci	-4073.905	0.000	-34735.420	0.000	227.4925	0.473
Kısa Dönem						
ec	-0.1507	0.000	-0.166	0.000	-0.31124	0.000
$gdp(-1)$	0,000...	0.000	0.000...	0.000	1.44E-07	0.000
$eci(-1)$	14779.37	0.382	-977.376	0.930	30973.41	0.164
Sabit	54276.13	0.001	84953.900	0.004	61760.76	0.066

Her üç veri setine göre de hata düzeltme katsayısı negatif, sıfırla bir arasında ve istatistiki olarak anlamlıdır. Diğer bir ifade ile değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki bulunmaktadır. Tüm veri seti için bu ilişki yaklaşık olarak 6-7 yıl içinde (1/0,15) gözlemlenirken gelişmiş ülkelerde şokun etkisi 6 yılda IBDR ülkeleri için ise sadece 3,5 yılda sönümlenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre eci ile co2 arasında tüm veri seti ve gelişmiş ekonomiler için uzun dönemde negatif yönlü bir ilişki bulunurken IBDR ülkeleri için bu ilişki pozitif yönlüdür. gdp ile co2 arasındaki ilişki her üç veri seti için de pozitif yönlü olmasına rağmen etkileşim oldukça düşük düzeyde kalmaktadır.

Son olarak çalışmada co2 ile eci arasındaki ilişki, yatay kesit bağımlılığı nedeniyle Driscoll-Kraay (1998) standart hata tahmincisi kullanılarak da ortaya konmaya çalışılmıştır. Tahmin sonuçları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 6. Driscoll-Kraay Standart Hata Tahmin Sonuçları

		Katsayı	Driscoll-Kraay Standart Hata	t	P> t
Tüm Veri	gdp	3.59E-07	9.82E-09	36.610	0.000
	eci	-149558.30	4933.14	-30.320	0.000
	Sabit	-46829.82	4751.74	-9.860	0.000
Gelişmiş Ülkeler	gdp	2.59E-07	1.50E-08	17.320	0.000
	eci	-92778.320	4510.227	-20.570	0.000
	Sabit	17112.370	4490.732	3.810	0.000
IBDR Ülkeleri	gdp	4.87E-07	2.96E-08	16.450	0.000
	eci	-162192.90	14165.15	-11.450	0.000
	Sabit	-158803.90	14924.86	-10.640	0.000

Her üç veri seti için de hem model hem de tahmin edilen parametreler istatistiki olarak anlamlıdır. Tablodan da görülebileceği gibi Driscoll-Kraay standart hata tahmin sonuçlarına göre de gdp ile co2 arasında pozitif yönlü bir ilişki olmasının yanında etkileşimi oldukça düşüktür. eci ile co2 arasındaki ilişki ise negatif yönlü ve etkileşimi yüksektir.

8. Sonuç

Ampirik sonuçlar, milli gelir ile CO2 emisyonları arasında pozitif bir ilişkinin varlığını ortaya koymaktadır. Bu da teorik beklentilerimizle uyumludur. Bu ilişki gelişmekte olan ülkelerde gelişmiş ülkelere göre güçlüdür. Yani gelişmekte olan ülkelerde bir birim milli gelir artışı için gelişmiş ülkelere nazaran daha fazla CO2 emisyonları ortaya çıkmaktadır. Bu bulgu klasik Kuznets eğrisi yaklaşımına uygundur. Buna göre gelişmenin başlangıç aşamalarında artan sanayileşme daha yüksek oranlarda çevre kirliliğine yol açacaktır. Ancak gelişmenin ileri dönemlerinde bu etki gittikçe azalacak ve hatta tersine dönecektir. Araştırma bulguları ekonomik karmaşıklık ile CO2 emisyonları arasında da güçlü bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Bu ilişki incelendiğinde hem gelişmekte olan ülkelerde hem de gelişmiş ülkelerde karmaşıklık endeksindeki artışın (yani bilgi-yoğun üretim artışının) olumlu çevresel etkilere sahip olduğu görülmektedir. Endeksteki artışlar CO2 emisyonlarını azaltmaktadır. Ancak etkilerin büyüklükleri gelişmekte olan ülkeler ve gelişmiş ülkeler için farklılık göstermektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ekonomik karmaşıklık endeksindeki artışlar CO2 emisyonlarını gelişmiş ülkelere nazaran daha fazla azaltmaktadır. Sonuçlarımız hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkelerin makul bir CO2 emisyon hedefi belirlemeleri ve bu temelde ekonomik karmaşıklık ile CO2 emisyonları arasında iyi bir denge kurmaları gerektiğini göstermektedir.

Görüleceği üzere ekonomik karmaşıklık endeksi yani ihraç ürünlerinin arka planında yer alan bilgi ve teknolojiye yaslanma oranı arttıkça, endüstriyel üretimin çevresel etkileri bütün ülke gruplarında azalmaktadır. Bu da gelişmekte olan ülkelerin sanayileşme politikalarını çevresel sürdürülebilirlik açısından yeniden gözden geçirmelerini gerektirmektedir. Bu noktada bilgi ve teknoloji içeriği yüksek ürünlerin ihracatına yönelmeler ve bunu için gerekli bilgi birikimini ve teknolojileri üretmelidirler. Dolayısıyla sanayi malları ihracatı hedefi yerine, oldukça bilgi yoğun yani karmaşık endüstriyel ürünler ihracatını hedef almalıdırlar.

Kaynakça

- Abbasi, K. R.; Lv, K.; Radulescu, M.; 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, 68717–687316, <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15312-4> /
- Agheli, L.; Taghvaei, V. M. (2022). Political stability effect on environment and weak sustainability in Asian countries. *Sustainability Analytics and Modeling*, 2, 1-6
- Aluko, O. A. ; Opoku, E. E. O. ; Acheampong, A.O.(2023). Economic complexity and environmental degradation: Evidence from OECD countries. *Business Strategy and the Environment*, 32(6), 2649-4014
- Balsalobre-Lorente, D.; Nur, T.; Topaloğlu, E. E.; Evcimen, C. (2024). The dampening effect of geopolitical risk and economic policy uncertainty in the linkage between economic complexity and environmental degradation in the G-20. *Journal of Environmental Management*, 351, 119679
- Boleti, E.; Garas, A.; Kyriakou, A.; Lapatinas, A. (2021). Economic Complexity and Environmental Performance: Evidence from A World Sample. *Environ. Model.*, 26, 251–270. <https://doi.org/10.1007/s10666-021-09750-0>.
- Bourguignon, F. (2004). The poverty-growth-inequality triangle. Indian Council for Research on International Economic Relations, *New Delhi Working Paper* No. 125. <https://ideas.repec.org/p/ind/icrier/125.html>.
- Can, M.; Gozgor, G. (2017). The impact of economic complexity on carbon emissions: evidence from France. *Environ Sci Pollut Res*, 24, 16364–16370, doi: 10.1007/s11356-017-9219-7
- Carpenter, S. R.; Caraco, N. F. ; Correll, D. L. ; Howarth, R. W. ; Sharpley, A. N. ; Smith, V. H. (1998). Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Ecological Applications*, 8, 559-905 [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0559:NPOSWW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2)
- Chokr, N. N. (2023). Ecological footprint. *Salem Press Encyclopedia*.
- Chu L.K. (2020). Economic structure and environmental Kuznets curve hypothesis: new evidence from economic complexity. *Appl Econ Lett*, 0, 1–5 <https://doi.org/10.1080/13504851.2020.1767280>
- Demir, C. (2019) “Dışa Açılma Ve Kamu Harcamaları: OECD Ülkeleri İçin Panel Veri Analizi, *Kırklareli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(2), 80-96.
- Dietz, T.; Rosa, E.A. (1994). Rethinking the environmental impacts of Population, Affluence and Technology. *Human Ecology Review*, 1(2), 277–300.
- Doğan, B.; Saboori, B.; Can, M., (2019). Does economic complexity matter for environmental degradation? An empirical analysis for different stages of development. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 31900–31912
- Doğan, E.; Türkekul, B. (2016). CO2 emissions, real output, energy consumption, trade, urbanization and financial development: testing the EKC hypothesis for the USA. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 23(2), 1203-13. doi: 10.1007/s11356-015-5323-8.
- Driscoll, J. C.; Kraay, A. C. (1998) “Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data” *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549-560.
- Grossman, G. M.; Krueger, A. B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. *National Bureau of Economic Research Working Paper* No. 3914.
- Grossman, G. M., A. B. Krueger, A. B. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. doi:10.2307/2118443.
- Gao, J.; Zhou, T. (2018). Quantifying China’s regional economic complexity. *Physica*, 492, 1591–1603. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2017.11.084>.

- Hartmann, D.; Guevara, M. R.; Jara-Figueroa, C.; Aristaran, M.; Hidalgo, C.A. (2017). Linking Economic Complexity, Institutions, and Income Inequality. *World Development*, 93, 75–93.
- Hidalgo, C. A.; Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(26), 10570-10575, 10.1073/pnas.0900943106
- Hu, G.; Can, M.; Paramati, S. R.; Doğan, B.; Fang, J. (2020). The Effect of Import Product Diversification on Carbon Emissions: New Evidence for Sustainable Economic Policies. *Economic Analysis and Policy* 65, 198–210. doi: 10.1016/j.eap.2020.01.004.
- Ikram, M. Xia, W.; Fareed, Z.; Shahzad, U.; Rafique, M.Z. (2021). Exploring the nexus between economic complexity, economic growth and ecological footprint: contextual evidence from Japan. *Sustain Energy Technol Assess* 47. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101460>
- Im, K., Pesaran, H., Shin, Y., (2003), Testing for unit roots in heterogenous panels, *Journal of Econometrics*, 115.
- Lapatinas, A.; Garas, A.; Boleti, E.; Kyriakou, A. (2019). Economic complexity and environmental performance: Evidence from a world sample. *MPRA Paper No. 92833*, <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/92833/>
- Majeed, M. T.; Mazhar, M.; Samreen, I.; Tauqir, A. (2022). Economic complexities and environmental degradation: evidence from OECD countries. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 5846–5866 <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01687-4>
- Mazzitelli, D.; Aura, F. (2019). The Reduction of Environmental Pollution in Africa: Ict and Co2 Emissions. 39th International Scientific Conference on Economic and Social Development – "Sustainability from an Economic and Social Perspective"- Lisbon, 29-30 April. pp. 75-84
- Neagu, Olimpia, and Mircea Constantin Teodoru. (2019). "The Relationship between Economic Complexity, Energy Consumption Structure and Greenhouse Gas Emission: Heterogeneous Panel Evidence from the EU Countries" *Sustainability*, 2(497), 1-30. <https://doi.org/10.3390/su11020497>
- Persyn, D.; J. Westerlund (2008) "Error Correction Based cointegration Tests for Panel Data" *Stata Journal*, 8(2), 232-241.
- Pesaran, H., (2003), A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross Section Dependence, Cambridge Working Papers in Economics 0346, Faculty of Economics (DAE), University of Cambridge
- Rafiq, M. A.; Rauf, A.; Shakir, S. S.; Abbas, A.M.A. ; Sun, H.; Abid, S. (2023). Exploring the Intertwined Nexus between Globalization, Energy Usage, Economic Complexity, and Environmental Quality in Emerging Asian Economies: A Pathway Towards a Greener Future. *Environmental Science and Pollution Research* 30:100431–100449 <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29330-x>
- Rees, W.; Wackernagel, M. (1996). Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable—And why they are a key to sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, 16(4), 223-248, [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(96\)00022-4](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(96)00022-4)
- Romero, J. P.; Gramkow, C. (2021). Economic complexity and greenhouse gas emissions. *World Development*, 139, 1-18
- OECD World (2024). The observatory of Economic Complexity. <https://oec.world/en>
- Saatçi, M.; A. Aslan (2007). Türkiye İmalat Sanayinde İthalatın Piyasayı Disipline Etme Hipotezinin Testi: Panel Veri Yaklaşımı. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 29, 1-15.
- Shah, M. H.; Chun, H. D.; Wang, Y.; Ullah, I.; Hassan, S. T.; Fareed, Z. (2023). Analyzing Nexus between Economic Complexity, Renewable Energy, and Environmental Quality in Japan: A New Evidence from QARDL Approach Hindawi. *International Journal of Energy Research*, 14. <https://doi.org/10.1155/2023/1683231>
- Stern, D. I. (2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development*, 32(8), 1419–1439. doi:10.1016/j.worlddev.2004.03.004.
- Swart, J.; Brinkmann, L. (2020). Economic complexity and the environment: evidence from Brazil. Universities and Sustainable Communities: Meeting the Goals of the Agenda 2030 p3-45. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-30306-8>
- The Atlas of Economic Complexity, Harvard Kennedy School Growth Lab., Growthlab@Hks.Harvard.Edu, <https://atlas.cid.harvard.edu/> (Erişim Tarihi: 09.06.2024)
- Tietenberg, T.; Folmer, H. (2005). The international yearbook of environmental and resource economics 2005/2006: a survey of current issues. Edward Elgar Publishing
- Ullah, A.; Ahmet, M.; Raza, S. A.; Ali, S. (2021). A threshold approach to sustainable development: Nonlinear relationship between renewable energy consumption, natural resource rent, and ecological footprint. *Journal of Environmental Management*, 295(1), 113073 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113073>
- Wang, F.; Taghvaei, V. M. (2023). Impact of technology and economic complexity on environmental pollution and economic growth in developing and developed countries: using IPAT and STIRPAT models. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 73349–73360 <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27569-y>

Wang, M.; Arshed, N.; Munir, M.; Rasool, S. F.; Lin, W. (2021). Investigation of the STIRPAT Model of Environmental Quality: A Case of Nonlinear Quantile Panel Data Analysis, *Environment Development Sustainability*, 23, 12217–12232.

Westerlund, J. (2007) "Testing for Error Correction in Panel Data" *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69(6), 709-748.

World Bank Open Data (2024). The World Bank. <https://data.worldbank.org/>

You, W.; Zhang, Y.; Lee, C.-C. (2022). The dynamic impact of economic growth and economic complexity on CO2 emissions: An advanced panel data estimation. *Economic Analysis and Policy*, 73, 112-128.

Zou, H.; Zhang, Y. (2022). Does environmental regulatory system drive the green development of China's pollution-intensive industries? *Journal of Cleaner Production* 330, 1-12 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129832>

Çıkar Çatışması: Yoktur.

Finansal Destek: Yoktur.

Etik Onay: Yoktur.

Yazar Katkısı: Ömer Tanju DURUSOY (%100)

Conflict of Interest: None.

Funding: None.

Ethical Approval: None.

Author Contributions: Ömer Tanju DURUSOY (100%)
