

Araştırma Makalesi

Yenilenebilir Enerji ve Karbon Emisyonları Arasındaki Dinamik İlişki: E7 Ülkeleri Üzerine Bir Panel Veri Çalışması

The Dynamic Relationship Between Renewable Energy and Carbon Emissions: A Panel Data Study on E7 Countries

Zeliha GÜLMEZ

Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, SGDB

Çanakkale, Türkiye

zelihagulmez09@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7650-4761>

Makale Geliş Tarihi	Makale Kabul Tarihi
03.10.2026	21.05.2026

Öz

Artan fosil yakıt tüketiminin çevreye verdiği zararı azaltmak için yenilenebilir enerjiye başvurmak hızlı gelişme yolunda olan ülkeler için büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı gelişmekte olan 7 ülke (Çin, Hindistan, Brezilya, Meksika, Endonezya, Rusya ve Türkiye) için karbon emisyonları ile yenilenebilir enerji tüketimi ve elektrik enerjisi tüketimi arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktır. Bu amaçla aynı zamanda doğrudan yabancı yatırımlar, GSYİH, doğal kaynak kullanımı ve yenilenebilir elektrik üretimi arasındaki ilişkiler de incelenmiştir. Çalışmada öncelikle yatay kesit bağımlılığı ve homojenlik kontrol edilmiş, sonuçlara uygun panel birim kök testi seçilmiştir. Panel birim kök testi sonuçları çalışmadaki değişkenlerin $I(1)$ seviyesinde durağan hale geldiğini göstermiş, bu nedenle eşbütünleşme analizi kullanılmıştır. Değişkenler arasında uzun dönem eşbütünleşme ilişkisi olduğu tespit edildikten sonra kısa/uzun dönem katsayılarını belirlemek için Dinamik Ortak Korelasyonlu Etkiler Tahmincisi ve Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi kullanılmıştır. Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi sonuçlarına göre kişi başına birincil yenilenebilir enerji tüketimi karbon emisyonlarını azaltmaktadır. Doğrudan yabancı yatırımlardaki ve elektrik enerjisi tüketimindeki artış karbon emisyonlarını artırmaktadır. Dinamik Ortak İlişkili Etkiler Tahmincisi sonuçlarına göre birincil yenilenebilir enerji tüketimi artışı karbon emisyonlarını azaltmaktadır. Doğrudan yabancı yatırımlar ve elektrik enerjisi tüketimindeki artış, karbon emisyonlarını artırmaktadır. Çalışmanın sonucunda her iki tahmincide de aynı değişkenlerin karbon emisyonları üzerindeki etkileri aynı yönlü olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, CO2, Elektrik enerjisi, Ekonomik büyüme, E7.

Abstract

Applying to renewable energy to mitigate the environmental damage caused by increasing fossil fuel consumption is of great importance for countries undergoing rapid development. The aim of this study is to reveal the relationship between carbon emissions, renewable energy consumption, and electrical energy consumption for seven (China, India, Brazil, Mexico, Indonesia, Russia, and Türkiye) developing countries. For this purpose, the relationships between foreign direct investment, GDP, natural resource use, and renewable electricity output were also examined. In the study, cross-sectional dependence and homogeneity were checked, and an appropriate panel

Önerilen Atıf /Suggested Citation

Gülmez, Z., 2026, Yenilenebilir Enerji ve Karbon Emisyonları Arasındaki Dinamik İlişki: E7 Ülkeleri Üzerine Bir Panel Veri Çalışması, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 61(2), 2094-2115.

unit root test was selected for the results. The panel unit root test results indicated that the variables in the study were stationary at the I(1) level, therefore, cointegration analysis was used. After determining the long-term cointegration relationship between the variables, the Dynamic Common Correlated Effects Estimator and the Augmented Mean Group Estimator were used to determine the short- and long-term coefficients. According to the Augmented Mean Group Estimator results, per capita primary renewable energy consumption reduces carbon emissions. Increases in foreign direct investment and electrical energy consumption increase carbon emissions. According to the results of the Dynamic Common Correlated Effects Estimator, an increase in primary renewable energy consumption reduces carbon emissions. Increases in foreign direct investment and electrical energy consumption increase carbon emissions. The study concluded that both predictors found the same variables to have the same effects on carbon emissions.

Keywords: Renewable energy, CO₂, Electric energy, Economic growth, E7.

1. Giriş

Enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve çevre sorunları ilişkisi son yıllarda giderek önem kazanmaktadır. Küresel enerji tüketiminin belirlenmesi ve tüketilen enerji kaynağının yenilenebilir veya yenilenemeyen kaynaklardan olarak ayrıştırılması, enerji tüketiminin çevreye verdiği hasarı daha net ortaya koymaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalar sonuçların ülkeler ve bölgeler arasında farklılık gösterdiğini ve politika çeşitliliğinin gerekliliğini desteklemektedir.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında küresel sıcaklıkları sanayi öncesi seviyelerin 2°C üzerinde tutmak ve sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 1,5°C üzerinde sınırlamaya çalışmak Paris Anlaşması'nın temel amaçlarından biri olarak belirlenmiştir. Günümüzde küresel ölçekte sanayi öncesi ısınma seviyelerinin 1,1°C üzerinde olan küresel sıcaklık, dünyanın iklim krizinin ortasında olduğunu göstermektedir. Bu nedenle tüm ülkelerin Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkılarını (NDC'ler) yani iklim taahhütlerini güçlendirmeleri gerekmektedir. Bu sayede mevcut emisyon azaltma hedefi ile en yakın 2030 yılı hedefi arasındaki fark ancak kapatılabilecektir (United Nations Climate Change Annual Report, 2022). Diğer yandan 2015 yılında Birleşmiş Milletler tarafından küresel ölçekte yer alan sorunları azaltmak amacıyla Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri kapsamında enerji, ekonomik büyüme ve çevre sorunlarına ilişkin hedefler de belirlenmiştir. Bu hedefler uygun fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişimi garanti altına almak (SDGs-7), kapsayıcı ve sürdürülebilir ekonomik büyümeyi, tam ve üretken istihdamı ve insana yakışır işleri teşvik etmek (SDGs-8), iklim değişikliği ve etkileriyle mücadele için acilen harekete geçmek şeklindedir (SDGs-13) (sdgs.un.org/goals). Bu kapsamda temiz enerjiye erişimin sürdürülebilir olması için yenilikçi ve çevre dostu enerji yatırımlarının yapılması gerekmektedir. Ekonomik büyüme ve refah artırılmaya çalışılırken işgücünün becerilerini de artıran ve yapay zekâ teknolojileriyle beraber hızla gelişmeye devam eden teknolojik gelişmelere uygun istihdam alanlarının yaratılması önemlidir. Aynı zamanda temiz enerji ve sürdürülebilir ekonomik büyüme ile küresel refahın artırılması yönünde atılacak adımların iklim değişikliğiyle mücadele ile çatışmaması, uyumlu adımlar atılması gerekmektedir.

Karbon emisyonlarının sürekli olarak artması küresel sıcaklıkları artırarak iklim değişikliğiyle mücadeleyi zorlaştırmaktadır. Karbon emisyonları ise temelde fosil yakıt kaynakların kullanımıyla ortaya çıktığından enerji tüketimini azaltmak, emisyonları azaltmanın bir yolu olarak görülmektedir. Ancak, enerji tüketiminin doğrudan azaltılması ekonomik büyümeyi olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle doğrudan tüketimi kısmak öncelikli olarak tercih edilen bir yol değildir (Soytaş ve Sarı 2007, s.1667-1668). Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanmak, enerji verimliliğini artırmak, enerji yoğunluğunu azaltmak gibi alternatif çözümler hem karbon emisyonlarının azaltılması yoluyla iklim değişikliğiyle mücadelede faydalı olmakta hem de ekonomik büyümeden feragat edilmemektedir. Tüm bu açıklamalar doğrultusunda literatürdeki ilk çalışmalar Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin çevre kirliliği ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiye uyarlanan biçimini test etmişler, çevre kirliliği ve gelir artışı arasında ters U şeklindeki ilişki olup olmadığını araştırmışlardır. Daha sonraki çalışmalar enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi kalkınma açısından da değerlendirmiş; enerji tüketimi artışının ekonomik büyüme ile ekonomik kalkınmaya fayda sağlayıp sağlamadığı değerlendirilmiştir. Son dönem çalışmalar ise tüm bu değişkenler arasındaki ilişkileri daha yeni modeller çerçevesinde birbirleriyle etkileşimleri açısından incelemişlerdir (Acaravcı ve Öztürk 2010, s.5412-5416).

Bu çalışma karbon emisyonları, yenilenebilir enerji tüketimi ve elektrik enerjisi arasındaki dinamik ilişkileri yedi gelişmekte olan ülke (Çin, Hindistan, Brezilya, Meksika, Endonezya, Rusya ve Türkiye) için panel veri yöntemiyle incelemektedir. Çalışmada 1990-2023 yılları verileri kullanılmıştır. Elektrik enerjisi yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının tamamından elde edilebilen, birincil enerji kaynaklarının kullanılması yoluyla üretilen, ikincil enerji türüdür. Literatürdeki birçok çalışmanın enerji-emisyon ilişkisini ağırlıklı olarak birincil enerji tüketimi veya toplam enerji kullanımı üzerinden ele aldığı dikkate alındığında, bu çalışmanın temel özgünlüğü elektrik enerjisini ikincil bir enerji türü olarak çalışmaya dahil etmesidir. Elektrik enerjisinin, yenilenebilir enerji tüketimi ile birlikte ele alınması, enerji dönüşüm sürecinde nihai tüketim yapısının karbon emisyonları üzerindeki rolünü ortaya koyarak, enerji arzı odaklı yaklaşımların ötesine geçmektedir. Bu yönüyle çalışma, enerji politikalarının yalnızca üretim bileşimine değil, tüketim süreçlerine de odaklanması gerektiğini ampirik olarak göstermektedir. Çalışmada ayrıca doğrudan yabancı yatırımlar, kişi başına GSYİH, yenilenebilir elektrik üretimi ve toplam doğal kaynak kiralaları ile karbon emisyonları ilişkisi de incelenmiştir.

Bu kapsamda çalışmanın ikinci bölümünde literatür taraması yer almaktadır. Üçüncü bölümde veri seti ve metodolojiden bahsedilmiş, dördüncü bölümünde analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Sonuç ve değerlendirme kısmı ise beşinci bölümde yer almaktadır.

2. Literatür Taraması

2.1. Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonları

Enerji tüketimi ve karbon emisyonları arasındaki ilişkinin incelendiği çalışmalar, bu iki değişkenin birbirini etkileyen dinamiklerini ortaya koymaya çalışmaktadır. (Soytaş, Sarı ve Ewing 2007, s.482) ABD’de yapılan çalışmada, enerji tüketiminin karbon emisyonlarını artırıcı bir faktör olduğu, ancak gelirin emisyonlarla doğrudan bir ilişkisi olmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, (Soytaş ve Sarı 2007, s.1667) Türkiye’deki araştırmada, ekonomik büyüme ile karbon emisyonları arasında doğrudan bir ilişki bulunmazken, emisyonların enerji tüketimiyle bağlantılı olduğu ve Türkiye’nin ekonomik büyümeden feragat etmeden karbon emisyonlarını azaltabileceği ifade edilmiştir. (Halıcıoğlu, 2009, s.1156) 1960-2005 dönemi verileriyle Türkiye için karbon emisyonları, enerji tüketimi, gelir ve dış ticaret arasındaki ilişkiyi incelediği çalışmanın sonuçları, değişkenler arasında iki çeşit uzun vadeli ilişki olduğu göstermiş olup, ilk olarak karbon emisyonlarının enerji tüketimi, gelir ve dış ticaret tarafından belirlendiği; ikinci uzun vadeli ilişkide ise gelir, karbon emisyonları, enerji tüketimi ve dış ticaret tarafından belirlendiğini göstermiştir. (Zhang ve Cheng 2009, s.2706) Çin’deki çalışma ise, enerji tüketimi ile karbon emisyonları arasında tek yönlü bir ilişki olduğunu ve bu ilişkinin uzun vadede devam ettiğini göstermiştir. (Lean ve Smyth 2010, s.1858), beş ASEAN ülkesi üzerine yaptığı araştırmada, elektrik tüketimi ile karbon emisyonları arasında pozitif bir ilişki tespit etmiş ve çevresel Kuznets eğrisine dayalı doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde, (Saboori ve Sulaiman 2013, s.813) seçilmiş ASEAN ülkelerinde enerji tüketimi ile karbon emisyonları arasında çift yönlü bir nedensellik bulmuşlar, enerji tüketiminin karbon emisyonlarını artırıcı etkisini vurgulamışlardır. (Mercan ve Karakaya 2015, s.587) 1970-2011 yılları arasında 11 OECD ülkesi ve Brezilya örneğinde yapılan çalışmada, enerji tüketiminin karbon emisyonlarını olumlu yönde etkilediği, ancak GSYİH’nın olumsuz bir etki yarattığı ve bu etkinin küçük olduğunu tespit etmişlerdir.

Birçok çalışmada, enerji tüketiminin ve karbon emisyonlarının ekonomik büyüme ile olan bağlantıları irdelenmiştir. Örneğin, (Acaravcı ve Ozturk 2010, s.5412) Avrupa’daki 19 ülke üzerinde yaptıkları araştırmada, Danimarka, Almanya, Yunanistan, İzlanda, İtalya, Portekiz ve İsviçre’de enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında uzun vadeli bir ilişki bulmuş ve emisyonların artışını ekonomik büyüme ile ilişkilendirmişlerdir. (Tiwari, 2011, s.1793) Hindistan’da yenilenebilir enerji tüketiminde ortaya çıkan pozitif bir şokun GSYİH’yi artırıp karbon emisyonlarını azalttığı ve GSYİH üzerinde ortaya çıkan pozitif bir şokun karbon emisyonları üzerinde pozitif etkiye sahip olduğunu göstermiştir. (Alam, Begum, Buysse ve Van Huylenbroeck 2011, s.217) Bangladeş için enerji tüketimi, çevre kirliliği ve ekonomik büyüme arasında hem kısa hem de uzun vadede enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü; uzun vadede elektrik tüketiminden ekonomik büyümeye doğru çift yönlü nedensellik tespit etmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre enerjinin Bangladeş’te ekonomik büyümeyi sınırlayan bir faktör olarak kabul edilebileceği ve enerji tasarrufunun ekonomik teşviklere zarar verebileceği ifade edilmiştir. Benzer şekilde, (Akpan ve Akpan 2012, s.292) Nijerya üzerine yaptıkları çalışmada, elektrik

tüketiminin karbon emisyonlarını artırıcı etkisini ve ekonomik büyüme ile emisyonlar arasındaki tek yönlü nedensellik ilişkisini ortaya koymuşlardır. (Ozturk ve Salah Uddin 2012, s.752) 1971-2007 döneminde Hindistan'da enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında karşılıklı nedensellik ilişkisi tespit etmişlerdir. Yüksek düzeyde ekonomik büyümenin yüksek düzeyde enerji tüketimine yol açtığı ve bunun tersinin de geçerli olduğu tespit edilmiştir. (Acaravcı, Erdoğan ve Akalın 2015, s.1050) Türkiye'de kişi başına elektrik tüketimi, reel GSYİH, ticaret açıklığı ve kişi başına doğrudan yabancı yatırım girişleri arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında kısa ve uzun dönemde enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru nedensellik tespit etmişlerdir. (Acheampong, 2018, s.677) 1990-2014 dönemi verileriyle 116 ülke için küresel ve bölgesel düzeyde, ekonomik büyümenin enerji tüketimine neden olmadığı, Latin Amerika ve Karayipler bölgesi hariç, ekonomik büyümenin karbon emisyonu üzerinde nedensel bir etkisi bulunmadığı sonucuna ulaşmıştır. Ekonomik büyümenin Karayipler-Latin Amerika bölgesinde karbon emisyonu üzerinde olumsuz etkisi bulunmaktadır. Ayrıca karbon emisyonu ekonomik büyümeyi olumlu yönde etkilemektedir. Diğer yandan enerji tüketimi Sahra Altı Afrika'da ve küresel düzeyde ekonomik büyümeye olumlu yönde neden olurken, MENA, Asya-Pasifik ve Karayipler-Latin Amerika bölgelerinde ekonomik büyümeye olumsuz yönde neden olmaktadır. Enerji tüketimi küresel düzeyde, Orta Doğu ve Kuzey Afrika bölgesinde karbon emisyonuna pozitif, Afrika, Latin Amerika ve Karayipler bölgesinde ise negatif etki etmektedir. Etki-tepki fonksiyonu, Sahra Altı Afrika'da Çevresel Kuznets eğrisinin varlığını kanıtlamıştır. (Farabi, Abdullah ve Setianto 2019, s.338) Endonezya ve Malezya üzerine yaptıkları çalışmada her iki ülkede de toplam enerji tüketimindeki ve gelirdeki artışın karbon emisyonlarını artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca, gaz tüketiminin diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha az kirletici olduğu tespit edilmiştir. (Ben Jebli, Ben Youssef ve Apergis 2019, s.28) 1995-2010 dönemi verileriyle 22 Orta ve Güney Amerika ülkesinde yenilenebilir enerji tüketimi, turist sayısı, ticarete açıklık oranı, ekonomik büyüme, doğrudan yabancı yatırım ve karbondioksit emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda değişkenler arasında eşbütünleşme olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yenilenebilir enerjiden karbon emisyonlarına ve ticarete; turizmden ticarete ve doğrudan yabancı yatırımlara ve ekonomik büyümeden yenilenebilir enerji ve turizme doğru tek yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Uzun dönemde de yenilenebilir enerji, turizm, doğrudan yabancı yatırımlar, ticaret ve emisyonlar arasında karşılıklı nedensellik bulunmuştur. (Han, 2024a, s.136) tarafından 1990-2020 yıllık verileriyle BRICS-T ülkelerinde karbon emisyonu, yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkilerin araştırıldığı çalışmasında karbon emisyonu ile ekonomik büyüme arasında nedensellik tespit edemezken karbon emisyonlarından yenilenebilir enerjiye tek yönlü, ekonomik büyümeden yenilenebilir enerjiye tek yönlü nedensellik tespit etmiştir. Ayrıca bu ülkelerde çevre sağlığı için yenilenebilir enerji yatırımları yapmanın gerekli olduğu tespit edilmiştir. (Gershon, Asafo, Nyarko-Asomani ve Koranteng, 2024) tarafından seçilmiş on yedi Afrika ülkesi için 2000-2017 yılları arasındaki yıllık veriler kullanılarak, enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuçlar, enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi olumlu, ancak karbon emisyonlarını olumsuz etkilediğini göstermiştir. Ancak, ekonomik büyüme, enerji dönüşümü sayesinde çevre üzerindeki olumsuz etkileri hafifletmekte ve karbon emisyonlarını dolaylı olarak azaltmaktadır. Yenilenebilir enerjiye geçişin, artan enerji tüketimi ve büyümenin çevresel etkilerini azaltabileceği vurgulanmıştır. Çalışma, enerji verimliliği ve büyümeye öncelik verilmesini önerirken, gelecekteki araştırmaların daha fazla ülke üzerinde yapılması gerektiğini belirtmektedir.

Farklı bölgelerdeki enerji tüketimi ve karbon emisyonları üzerindeki etkiler farklılık göstermektedir. (Sun ve ark., 2020) Sahra Altı Afrika ülkelerinde karbon emisyonları, enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve ticaret açıklığı arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmada karbon emisyonları, enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve ticaret açıklığı arasında uzun dönemli nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. (Awodumi ve Adewuyi, 2020) 1980-2015 yılları arasında Afrika'nın petrol üreten ekonomilerinde yenilenemeyen enerji tüketiminin ekonomik büyüme ve karbon emisyonları üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmada, yenilenemeyen enerji tüketiminin ekonomik büyüme ve karbon emisyonları üzerinde asimetric etkiler yarattığını, ancak bu etkilerin ülkelere göre farklılık gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Örneğin, Nijerya'da enerji tüketimindeki artış büyümeyi engellerken emisyonları azaltmakta, Gabon'da bu artış büyümeyi desteklemekte ve çevreyi iyileştirmektedir. Çalışma, petrol ve doğal gaz kaynaklarının daha fazla tüketilmesinin karbon emisyonlarını azaltacak teknolojilerle desteklenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

2.2. Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme

Yenilenebilir enerji kullanımı ve ekonomik büyüme üzerine yapılan çalışmalar, enerjinin türünün büyüme üzerindeki etkilerini irdelemektedir. (Sadorksy 2009, s.4021) gelişmekte olan ekonomilerden oluşan panelde kişi başına reel gelirdeki artışların kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. (Salim, Hassan ve Shafiei 2014, s.350) OECD ülkelerinde yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketimi ile endüstriyel üretim ve GSYİH arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında, endüstriyel üretimin enerji tüketimine bağımlı olduğunu ve uzun dönemde bu dinamğin ekonomik büyüme üzerinde önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur. (Bozkurt ve Destek 2015, s.507) ise yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisini araştırmış, ABD ve Almanya’da bu etkinin pozitif, İtalya ve Türkiye’de ise negatif olduğunu tespit etmiştir. (Li, Ozturk, Raza Syed, Hafeez ve Sohail 2022, s.5807) 1991-2019 yılları arasında değişen veriler ile BRICST ekonomilerine yeşil çevre politikasının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmanın sonuçları ekonomik büyüme ve yenilenemeyen enerjinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymuştur. Diğer taraftan tüketici fiyat endeksi ve karbon emisyonları yenilenebilir enerji tüketimine olumsuz etki yapmaktadır. (Li, Wang ve Li, 2023) tarafından 1990-2020 yılları arasında Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika için fosil yakıt enerjisi tüketimi, yenilenebilir enerji üretimi ve sera gazı emisyonlarının etkisinin araştırıldığı çalışmada GSYİH ve fosil yakıt enerjisi tüketimi karbon emisyonlarını artırmaktadır. Diğer yandan yenilenebilir enerji üretimi ve teknik inovasyon karbon emisyonlarını azaltmaktadır. (Salem, Arshed, Anwar, Iqbal ve Sattar, 2021) 1991-2018 yılları için en fazla karbondioksit salınımı gerçekleştiren 10 ülkede yenilenebilir enerji tüketimini incelemişlerdir. Çalışmadan elde edilen bulgular toplam yenilenebilir enerji tüketimi ve hidroelektrik enerjisinin ters U, rüzgâr ve güneş enerjisi tüketiminin ise karbon emisyonları ile U şeklinde bir ilişkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. (Doğdu 2022, s.57) G7 ve E7 ülkeleri için 2000-2015 yılları verilerini kullandığı çalışmasında, yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi ile ekonomik büyüme arasında karşılıklı nedensellik tespit etmiştir. (Altın 2024, s.134) 1971-2023 verilerini kullandığı çalışmasında G7 ülkeleri için enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımının karbon emisyonları üzerindeki etkisini incelemiş ve değişkenler arasında eşbütünlük ilişkisi tespit etmiştir. Ayrıca enerji verimliliği artışının karbon emisyonları üzerinde azaltıcı etkisi olduğunu tespit etmiştir.

2.3. Çevre Kirliliği ve Ekonomik Büyüme

Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezini ele alan çalışmalarda, ekonomik büyüme ile çevre kirliliği arasındaki ilişkiler ele alınmıştır. (Hamit-Haggar 2012, s.358) Kanada’da yaptığı çalışmada, sera gazı emisyonları ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin ÇKE hipotezini doğruladığını belirtmiştir. Aynı zamanda uzun vadede enerji tüketiminin sera gazı emisyonları üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. (Ergün ve Polat 2015, s.115) OECD ülkeleri üzerine yaptıkları araştırmada elektrik tüketimi ve karbon emisyonu arasında anlamlı bir ilişki bulunurken, ÇKE hipotezini destekleyen sonuçlar elde etmişlerdir. (Zhu, Duan, Guo ve Yu 2016, s.237) Endonezya, Malezya, Filipinler, Singapur ve Tayland’da doğrudan yabancı yatırım, ekonomik büyüme ve enerji tüketiminin karbon emisyonları üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında doğrudan yabancı yatırımların karbon emisyonları üzerindeki etkisinin negatif olduğu, enerji tüketiminin ise karbon emisyonlarını artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca yüksek emisyonlu ülkeler arasında, daha yüksek ekonomik büyüme ve nüfus büyüklüğünün emisyonları azalttığı ve bu ülkelerde Kirlilik Hale Hipotezinin geçerli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. (Hasnisah, Azlina ve Taib 2019, s.135) tarafından 1980-2014 yılları verileriyle 13 gelişmekte olan Asya ülkesinde çevre kalitesi, ekonomik kalkınma, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi araştırdıkları çalışmalarında kişi başına GSYİH ve enerji tüketimindeki artışın çevre kalitesini azalttığı sonucuna ulaşılmış olup bu ülkelerde ters U şeklinde ÇKE hipotezi doğrulanmıştır. (Yuping ve ark., 2021, s.4747) tarafından Arjantin için 1970-2018 dönemi verilerinin kullanıldığı çalışmada karbondioksit emisyonları, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketimi, küreselleşme ve ekonomik büyüme arasında uzun vadeli ilişkiler tespit edilmiştir. Aynı zamanda yenilenebilir enerji tüketimi ve küreselleşmenin emisyonları azalttığı, yenilenemeyen enerji tüketiminin hem kısa hem de uzun vadede emisyonları artırdığı bulunmuştur. Ayrıca, çalışma ÇKE hipotezini de desteklemektedir. (Tebourbi, Thi Truc Nguyen, Yuan ve Huang, 2023) tarafından 1986-2017 döneminde beş gelişmekte olan ASEAN ülkesinde karbon emisyonları ile reel GSYİH arasında

doğrusal olmayan bir ilişki tespit edilerek ÇKE doğrulanmıştır. Sonuçlar enerji tüketiminin bu ülkelerde çevresel bozulmanın ana itici gücü olduğunu ve doğrudan yabancı yatırım ve kentleşmenin karbon emisyonlarını azalttığını ortaya koymuştur.

Gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalar da önem kazanmaktadır. (Aye ve Edoja, 2017) 31 gelişmekte olan ülkede ekonomik büyümenin karbon emisyonu üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında ekonomik büyümenin düşük büyüme rejiminde karbon emisyonu üzerinde olumsuz, yüksek büyüme rejiminde ise olumlu bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Enerji tüketimi ve nüfusun da karbon emisyonu üzerinde olumlu ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Karbon emisyonu, ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve finansal gelişme arasında anlamlı nedensel ilişki tespit edilmiştir. (Alam, Murad, Noman ve Ozturk 2016, s.466) Hindistan, Çin, Brezilya ve Endonezya gibi ülkelerde yaptıkları çalışmada gelir ve enerji tüketimi artışıyla birlikte karbon emisyonlarının arttığını, Brezilya, Çin ve Endonezya'da gelir arttıkça karbon emisyonlarının zamanla azalacağı sonucuna ulaşmışlardır. (Begum, Sohag, Abdullah ve Jaafar 2015, s.594) tarafından 1970-1980 yıllarında Malezya için GSYİH büyümesi, enerji tüketimi ve nüfus artışının karbon emisyonları üzerindeki dinamik etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre kişi başına karbon emisyonları, kişi başına GSYİH'nin artmasıyla azalmaktadır. Ancak 1980'den 2009'a kadar kişi başına karbon emisyonlarının, kişi başına GSYİH'nin artmasıyla keskin bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Bu nedenle Malezya'da ÇKE hipotezinin, çalışma dönemi boyunca geçerli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Sonuçlar, hem kişi başına enerji tüketiminin hem de kişi başına GSYİH'nin, kişi başına karbon emisyonları üzerinde uzun vadeli olumlu etkileri olduğunu, ancak nüfus artış hızının kişi başına karbon emisyonu üzerinde önemli bir etkisi olmadığını göstermiştir. (Hepektan ve Sertkaya 2016, s.163) tarafından Türkiye için 1980-2014 yılları verilerinin kullanıldığı çalışmanın sonucunda kişi başına GSYİH, karbon emisyonu ve petrol tüketiminden kişi başına elektrik tüketimine tek yönlü bir ilişki bulunmuştur.

2.4. Yeşil Finans, İnovasyon ve Karbon Emisyonları

Yeşil finans ve yeşil teknolojik inovasyonlar, çevresel bozulmayı azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. (Mehta ve Shah, 2024) tarafından BRICS ülkeleri için 2000-2023 yılları arasındaki verilerin kullanıldığı çalışmada enerji üretimi için yenilenebilir kaynakları tercih eden daha yüksek bir enerji karışımı oranının, karbon emisyonlarını azaltmada güçlü bir katalizör görevi gördüğü ortaya konulmuştur. Ayrıca çalışma, yeşil enerji yatırımı ve sürdürülebilir enerji tüketimini teşvik ederek finansal kalkınmanın karbon emisyonlarını azaltmada önemli olduğunu ortaya koymuştur. Bu ülkelerde dijitalleşmenin karbon emisyonlarında bir azalmaya yol açtığını tespit edilmiştir. (Wang, Wu, Miao ve Gou, 2025) tarafından yapılan çalışma Çin'de yeşil ve düşük karbonlu teknolojilerin (GTLC) karbon emisyonu yoğunluğu (CEI) üzerindeki etkisini incelemektedir. Sonuçlar, GTLC inovasyonunda %1'lik bir artışın, CEI'yi %0,67 oranında azalttığını göstermektedir. (Hailiang ve ark., 2023) tarafından 2000-2018 yılları verileriyle BRICS ekonomilerinde yenilenebilir enerji ve yeşil finansın çevre kalitesi üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada yeşil finans, yenilenebilir enerji tüketimi ve teknik yeniliklerin karbon emisyonlarını azaltarak çevreyi korumada iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. (Liu, Lei, Zhao ve Sun, 2023) 2000-2020 yılları verileriyle BRICS ekonomilerinde yenilenebilir enerji yatırımları, yeşil teknoloji ve ticaret açıklığının tüketime dayalı karbon emisyonları üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada yeşil finansman ve sürdürülebilir teknolojilerin uzun dönemde tüketime dayalı karbon emisyonlarını azalttığı, ticaret açıklığının ise emisyonlara katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. (Sibanda, Takentsi ve Gonese, 2024) 1994-2021 yılları verileriyle Güney Afrika Kalkınma Topluluğu (SADC) ülkelerinde enerji tüketimi, teknolojik inovasyon ve çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında artan karbon emisyonlarında belirginleşen enerji tüketimi ve çevresel bozulma arasında doğrudan ve pozitif bir korelasyon olduğunu tespit etmişlerdir. (Ateş, Çakan ve Kurtoglu 2025, s.149) 2000-2021 yılları verileriyle en yüksek karbon emisyonu üreten 20 ülke için yaptıkları çalışmalarında yenilenebilir enerji ve yeşil teknoloji inovasyonlarının çevresel bozulma üzerinde olumsuz etkisi olduğunu tespit etmişler; finansal gelişme, yeşil teknoloji inovasyonları ve yenilenebilir enerji kullanımından karbon emisyonlarına karşılıklı nedensellik tespit etmişlerdir. (Meng, Wang ve Wang, 2018) Çin'de karbon emisyonlarının belirleyicilerini tespit etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla GSYİH, yatırım yoğunluğu, Ar-Ge yoğunluğu, enerji yoğunluğu, Ar-Ge verimliliği, enerji yapısı ve il yapısı olmak üzere yedi ekonomik faktörü kullanmışlardır. Sonuç olarak

Ar-Ge yoğunluğu ve enerji yoğunluğunun karbon emisyonlarının artmasını engelleyen, GSYİH ve yatırım yoğunluğunun ise karbon emisyonlarının artmasına katkıda bulunan faktörler olduğu tespit edilmiştir.

2.5. Finansal Gelişme ve Karbon Emisyonları

Finansal gelişme ve kalkınma karbon emisyonları üzerinde etkiye sahiptir. (Khan, Khan ve Binh 2020, s.859) 192 ülke için yenilenebilir enerji tüketimi, karbondioksit emisyonu ve finansal gelişmenin heterojenliğinin incelendiği çalışmada, yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonu üzerinde negatif, finansal gelişmenin karbon emisyonu üzerindeki etkisi artırıcı etkisi olduğu tespit edilmiştir. Karbon emisyonu yenilenebilir enerji kullanımını azaltırken, finansal gelişme yenilenebilir enerji tüketimini olumlu etkilemekte olup karbon emisyonu ve yenilenebilir enerji tüketiminin finansal gelişme üzerinde artırıcı etkisi bulunmuştur. (Lahiani, Mefteh-Wali, Shahbaz ve Vo, 2021) 1975-2019 yılları verileriyle ABD için yaptıkları çalışmalarında finansal gelişme ölçütlerindeki olumlu ve olumsuz değişikliklerin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. (Shobande ve Ogbeifun 2022, s.153) OECD ülkelerinde karbon emisyonlarının azaltılması ve çevresel sürdürülebilirliğin teşvik edilmesi için finansal kalkınma endeksi ve enerji verimliliğinin öneminin araştırıldığı çalışmada, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması için enerji verimliliği yatırımları ve finansal kalkınmaya önem verilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. (Efeoğlu, 2022, s.2103) E7 ülkelerinde 1989-2016 verilerini kullandıkları çalışmalarında sanayileşme, yenilenebilir enerji, enerji tüketimi ve finansal gelişmenin karbon emisyonları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Elde edilen bulgular kişi başına düşen GSYİH, sanayileşme ve enerji tüketiminin bu ülkelerde karbon emisyonlarını artırdığını, kişi başına düşen GSYİH'nin karesi, yenilenebilir enerji ve finansal gelişmenin karbon emisyonlarını azalttığını göstermiştir. (Mumuni ve Lefe, 2023) 41 seçilmiş ülke için 2000-2020 yılları arasındaki verilerle Afrika'daki iklimle ilgili kalkınma finansmanlarının ve yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları iklim, uyum ve hafifletmeyle ilgili kalkınma finansmanlarının Afrika'da kısa dönemde karbonu artırıcı ve uzun dönemde karbonu azaltıcı etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Diğer taraftan yenilenebilir enerji tüketimi ve net doğrudan yabancı yatırım girişlerinin Afrika'da kısa dönemde karbon emisyonlarını artırıcı ve uzun dönemde karbon emisyonlarını azaltıcı etkileri bulunmuştur. (Yu, Nazir, Huang ve Li, 2023) tarafından 1990-2019 yılları verileriyle seçilmiş Asya ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketimi, finansal kalkınma ve yeşil teknoloji inovasyonlarının karbondioksit emisyonları üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada uzun dönemde finansal kalkınmanın karbon emisyonlarını artırdığı, yeşil inovasyon ve yenilenebilir enerji tüketiminin ise karbon emisyonları azalttığı tespit edilmiştir. (Liang ve ark., 2024) 1995-2022 dönemi verileriyle E7 ülkelerinde enerji tüketimi, finansal kalkınma ve teknoloji inovasyonunun yeşil ekonomik büyüme ve ekolojik ayak izi ve karbondioksit emisyonu gibi çevre kirliliği göstergeleri üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında E7 ülkelerinin çevresel bozulmayı azaltmak ve yeşil ekonomik büyümeyi artırmak için enerji ve teknoloji inovasyonundan yararlanan projelere yatırım yapması gerektiği ortaya koyulmuştur.

2.6. Kentleşme ve Karbon Emisyonları

Bazı çalışmalar enerji-karbon emisyonu ilişkisini kentleşme bağlamında ele almışlardır. (Adeneye, Jaaffar, Ooi ve Ooi, 2021) tarafından 42 Asya ülkesinde 2000-2014 dönemi için karbon emisyonu, kentleşme, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki dinamik ilişkilerin incelendiği çalışmada eşbütünleşme ilişkisi tespit edilmiştir. Aynı zamanda karbon vergilendirmesi ve enerji fiyatları arasında uzun vadeli ilişkiler ortaya konulmuştur. (Aftab ve ark., 2021, s.4642) Pakistan'da 1971-2019 yılları için enerji tüketimi, ekonomik büyüme, kentleşme, Ar-Ge ve orman alanının uzun vadede karbon emisyonları üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu, kısa vadede ise kentleşme ve orman alanının karbon emisyonları üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda enerji tüketimi ve karbon emisyonları arasında çift yönlü nedensellik tespit edilmiştir. (Nathaniel ve Adeleye, 2021) 1992-2016 yılları verileriyle 44 seçilmiş Afrika ülkesi için gerçekleştirdikleri çalışmalarında enerji kullanımının çevreyi bozduğu ve kentleşmenin çevre üzerinde asimetric etkileri bulunduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmanın sonucunda ayrıca kişi başına GSYİH'nin asimetric bir etkiye sahip olduğu, finansal gelişmenin çevresel bozulmayı hızlandırdığı, brüt sabit sermaye oluşumunun ise sürdürülebilir bir çevreyi güçlendirdiği tespit edilmiştir. (Zhang, Liu, Ullah ve Mehmood, 2023) dünyanın en çok karbon salan on ülkesini dikkate aldıkları çalışmalarında 1990-2019

verileri kullanılmıştır. Sonuçlar doğal kaynaklar, kentleşme ve enerji kullanımının bu ülkelerde karbon emisyonunu olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur.

2.7. Karbon Emisyonları ve Diğer Değişkenler

(Saboori, Mahdavian ve Radmehr, 2024) tarafından MENA ülkelerinde 1996-2018 yılları için GSYİH, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerjiler, ticaret, doğrudan yabancı yatırımlar ve kurumsal kalite ile karbon emisyonları arasında çift yönlü nedensellik tespit edilmiştir. (Aydın, 2024, s.1063) E7 ülkelerinde 1990-2020 yılları verileriyle enerji yoğunluğu, yenilenebilir enerji ve çevre kalitesi arasındaki ilişkiyi araştırdığı çalışmada; küreselleşmenin Brezilya ve Hindistan'da- yenilenebilir enerji geçişinin Çin, Endonezya ve panel genelinde çevre kalitesine olumlu etkisi bulunduğu- enerji yoğunluğunun Brezilya, Çin, Hindistan, Rusya, Türkiye ve panelin tamamında çevre kalitesini olumsuz etkilediği tespit etmiştir. (Gyamfi, Bein, Udemba ve Bekun 2022, s.91) tarafından E7 ülkelerinde karbon emisyonu, ekolojik ayak izi, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji, doğrudan yabancı yatırımlar ve ekonomik küreselleşme arasındaki uzun dönemli ilişkinin incelendiği çalışmada uzun dönemli denge ilişkisi tespit edilmiştir. Bu ülkeler için Kirlilik Cenneti Hipotezi doğrulanarak doğrudan yabancı yatırımların çevre kalitesi üzerinde olumsuz etkisi olduğu tespit edilmiştir. (Shang ve ark., 2023) 1975-2020 verilerini kullanarak Çin'de çevre teknolojileri, ekolojik inovasyon ve karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışmada kısa dönemde çevre teknolojileri, sanayileşme, doğal kaynakların tükenmesine yönelik pozitif şoklar ile yenilenebilir enerji kullanımına yönelik negatif şoklar ve teknik gelişmelerin karbon emisyonlarını etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca çevre teknolojileri ve finansal gelişmeye yönelik pozitif şoklar, doğal kaynakların tükenmesi ve yenilenebilir enerji tüketimine yönelik negatif şoklar ve teknik inovasyonun tümü karbon emisyonları üzerinde uzun dönemde etkilidir. (Kendir ve Yakışık, 2025, s.540) 2007-2020 yılları verileriyle BRICS-T ülkeleri için gerçekleştirdikleri çalışmalarında elektrik üretiminde yenilenebilir enerji yatırımlarının ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji yatırımlarının ekolojik ayak izini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Diğer benzer çalışmalar ise şu şekildedir: (Adams, Adedoyin, Olaniran ve Bekun 2020, s.179) tarafından 1996-2017 dönemi için yüksek jeopolitik riske sahip ülkelerde enerji tüketimi, ekonomik büyüme, jeopolitik risk, ekonomik politika belirsizliği ve karbon emisyonları arasında bir eşbütünleşme ilişkisi olduğu; enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin karbon emisyonlarına katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. (Ameer, Ali, Farooq, Ayub ve Waqas 2023, s.46178) tarafından E7 ülkelerinde 1990-2020 dönemini verileriyle çevre vergilerinin ve yenilenebilir elektrik enerjisinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada aynı zamanda ekonomik büyüme, karbon emisyonları ve çevresel inovasyon değişkenleri de kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda değişkenler arasında uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi tespit edilmiştir. (Han, 2024b, s.185) 1990-2022 yılları verileriyle 38 OECD ülkesi için yenilenebilir enerji ile karbon emisyonları, ekonomik kalkınma, uluslararası ticaret ve işsizlik arasındaki ilişkiyi araştırdığı çalışmada istihdam, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik büyümenin yenilenebilir enerjiden olumlu etkilendiği; karbon emisyonları ve yenilenebilir enerji, yenilenebilir enerji ile ekonomik kalkınma, yenilenebilir enerji ihracatı ile yenilenebilir enerji ithalatı arasında iki yönlü, işsizlik ile yenilenebilir enerji arasında tek yönlü nedensellik tespit etmiştir. (Afjal, 2023, s.1364) 1995-2020 yılları verileriyle 37 OECD ülkesinde karbon emisyonları, GSYİH, yenilenebilir enerji tüketimi ve ticaret açıklığı arasındaki ilişkileri araştırdığı çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi ve ticaret açıklığındaki gecikmelerin karbon emisyonlarını önemli ölçüde azalttığı sonucuna ulaşmıştır. (Chen, Rahman, Abdullah, Ali ve Khalid, 2024) tarafından 7 ülkede (Brezilya, Rusya, Çin, Endonezya, Hindistan, Meksika ve Türkiye) yenilenebilir enerji, kurumsal kalite, doğrudan yabancı yatırım, çevre kirliliğine bağlı ekonomik büyümenin incelendiği çalışmada değişkenler arasında kısa ve uzun vadeli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Karbon emisyonlarının dışsal değişkenlerdeki pozitif ve negatif şoklara asimetrik bir tepki gösterdiği çalışmanın bir diğer sonucudur. Doğrudan yabancı yatırımlar, GSYİH, kurumsal kalite ve yenilenebilir enerji tüketimindeki değişim karbon emisyonunu azaltmaktadır.

3. Veri Seti ve Metodoloji

3.1. Değişkenler ve Veri Seti

Bu çalışmada, 1990-2023 yılları arasında gelişmekte olan yedi ülkeye (Çin, Hindistan, Brezilya, Meksika, Endonezya, Rusya ve Türkiye) ait veriler kullanılmıştır. İncelenen göstergeler Dünya Bankası ve OECD veri tabanlarında yer almaktadır.

Tablo 1: E7 için Değişkenlerin Tanımları

Değişkenler	Kısaltma	Tanım	Dönem	Kaynak
Karbon Emisyonu	LNCO	Kişi başına düşen yıllık CO ₂ emisyonları	1990-2023	OECD
Yenilenebilir Enerji Tüketimi	LNREN	Birincil Enerji Tüketimi Yenilenebilir Enerji (TWh - eşdeğer)	1990-2023	OECD
Doğrudan Yabancı Yatırımlar	LNFD	Doğrudan yatırım yabancı, net girişler (% GSYİH)	1990-2023	DB
Kişi Başına Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla	LNGDPPC	Kişi başına düşen GSYİH (sabit 2015 ABD doları)	1990-2023	DB
Doğal Kaynaklar	LNTNR	Toplam doğal kaynak kiralaları (% GSYİH)	1990-2023	DB
Elektrik Gücü Tüketimi	LNPEC	Elektrik enerjisi tüketimi (kişi başına kWh)	1990-2023	DB
Yenilenebilir Elektrik Üretimi	LNREO	Yenilenebilir elektrik üretimi (toplam elektrik üretiminin %'si)	1990-2023	DB

Tablo 1’de değişkenlere ait tanımlamalara yer verilmiştir. Karbon emisyonları yıllık kişi başına karbon emisyonları olarak kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji tüketimini temsilen, yenilenebilir enerji kaynaklarından tüketilen birincil enerji kullanılmıştır. Doğrudan yabancı yatırımlar, net doğrudan yabancı yatırım girişlerinin GSYİH’deki payı olarak çalışmaya dâhil edilmiştir. GSYİH 2015 yılı sabit fiyatlarıyla kişi başına olarak kullanılmış, doğal kaynakları temsilen toplam doğal kaynak kiralalarının GSYİH içindeki yüzdesi kullanılmıştır. Elektrik tüketimi kişi başına kWh olarak dikkate alınmış, toplam elektrik çıktısının yüzdesi olarak yenilenebilir enerjiden elektrik çıktısı da çalışmaya dâhil edilmiştir. Çalışmada yer alan tüm değişkenler, değişkenler arasındaki ölçek farklılıklarını azaltmak, muhtemel varyans problemlerini sınırlamak ve katsayıların yorumunu kolaylaştırmak için doğal logaritmaları alınarak kullanılmıştır.

Tablo 2: Özet İstatistikler

Değişken	Gözlem Sayısı	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum
LNCO	238	1.147.469	0.761108	-0.40313	2.834.632
LNREN	238	1.222.153	1.144.309	1.001.668	1.447.801
LNFD	238	0.4082396	0.8801708	-36.036	1.818.334
LNGDPPC	238	8.430.028	0.8545515	6.276.452	9.596.525
LNTNR	238	1.121.257	1.082.005	-193.849	3.068.178
LNPEC	238	7.372.227	0.9223478	5.079.382	8.879.984
LNREO	238	3.180.393	0.5817867	2.335.964	4.558.135

Tablo 2’de değişkenlere ait ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleriyle gözlem sayısına yer verilmiştir. Tüm değişkenler için gözlem sayısının 238 olması, panel veri setinin dengeli olduğunu ve analizlerin tutarlılık açısından yeterli veriyi sahip olduğunu göstermektedir. LNCO değişkeninin ortalama değeri 1.147 olup, standart sapması 0.761’dir. Minimum ve maksimum değerler arasındaki geniş aralık, incelenen ülkeler arasında karbon emisyonları açısından belirgin bir heterojenliğe işaret etmektedir. Bu durum, gelişmekte olan ülkelerin sanayileşme düzeyleri, enerji yapıları ve çevre politikaları bakımından farklılıklar gösterebileceğini düşündürmektedir. LNREN değişkeninin ortalama değeri 1.222 iken, standart sapmasının 1.144 gibi yüksek bir seviyede olması, yenilenebilir enerji tüketiminin ülkeler ve zaman içinde önemli ölçüde değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. LNFD değişkeni ortalama olarak 0.408 değerine sahipken, yüksek standart sapma ve negatif minimum değeri, doğrudan yabancı yatırımların ülkeler arasında yüksek oynaklığa sahip olduğunu göstermektedir. LNGDPPC değişkeninin ortalama değeri 8.430 olup, standart sapmasının

görece düşük olması, kişi başına gelir düzeylerinin zaman içinde daha istikrarlı bir seyir izlediğini göstermektedir. LNTNR değişkeninin yüksek standart sapma ve geniş değer aralığı bulunmaktadır. Negatif minimum değer, bazı ülkelerde doğal kaynak gelirlerinin dönemsel olarak ekonomik katkıdan ziyade maliyet unsuru haline gelebildiğini göstermektedir. LNEPC değişkeninin ortalama değeri 7.372 olup, standart sapması 0.922'dir. Bu bulgu, elektrik enerjisi tüketiminin ülkeler arasında önemli ölçüde farklılaştığını ve sanayileşme düzeyi ile yaşam standartlarının bu farklılıkta belirleyici rol oynadığını göstermektedir. LNREO değişkeninin ortalama değeri 3.180 iken, minimum ve maksimum değerler arasındaki fark, ülkeler arasında yenilenebilir elektrik altyapısının gelişmişlik düzeyinin eşit olmadığını ortaya koymaktadır.

3.2. Modelin Tanımlanması ve Metodoloji

Karbon emisyonları, yenilenebilir enerji tüketimi ve elektrik enerjisi tüketimi arasındaki ilişkiyi incelemek için tanımlanan genel fonksiyon;

$$LNCO_{2it} = f(LNREN_{it}, LNFD_{it}, LNGDPPC_{it}, LNTNR_{it}, LNEPC_{it}, LNREO_{it}) \quad (1)$$

i ülkeleri (i = 1, ..., N), t zaman aralığını (t = 1, ..., T) ifade etmektedir.

Değişkenlerin beklenen işaretleri aşağıda yer verildiği gibidir:

Yenilenebilir enerji tüketiminin artması, fosil yakıt kullanımının ikame edilmesine ve karbon yoğunluğunun azalmasına yol açmaktadır. Beklenen işareti negatiftir. Doğrudan yabancı yatırımlar açısından çevresel düzenlemelerin görece zayıf olduğu ülkelerde kirletici sektörler için yatırımlar emisyonları artırabilir. Ancak yabancı yatırımların ileri teknoloji ve çevre dostu üretim teknikleri getirmesi emisyonları azaltabilir. Değişkenin yönü belirsizdir. Kişi başına GSYİH düşük ve orta gelir düzeylerinde büyüme emisyonları artırabilir. Yüksek gelir düzeylerinde ise teknolojik gelişme ve çevre politikaları sayesinde emisyonlar azalabilir. Değişkenin yönü belirsizdir. Toplam doğal kaynak kiralari özellikle fosil yakıt yoğun faaliyetlerin artışıyla ilişkilidir. Bu nedenle doğal kaynak kiralalarının karbon emisyonları üzerindeki etkisinin pozitif olması beklenmektedir. Elektrik enerjisi tüketimindeki artış, özellikle üretimin önemli bir kısmının fosil yakıt kaynaklı olduğu gelişmekte olan ülkelerde, karbon emisyonlarını artırmaktadır. Elektrik tüketimi nihai enerji talebini yansıttığı için karbon emisyonları üzerindeki etkisinin pozitif olması beklenmektedir. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik üretiminin artması, fosil yakıtlı elektrik üretiminin ikame edilmesine katkı sağlayarak karbon emisyonlarını azaltmaktadır.

3.3. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Homojenlik

Değişkenler arasında yatay kesit bağımlılığı bulunup bulunmadığını test etmek için (Pesaran, 2004) CD testi kullanılmaktadır. Yatay kesit bağımlılığı yoktur şeklindeki H_0 hipotezi, olasılık değeri %5'ten küçük ise reddedilmekte ve panelde kesitsel bağımlılık vardır denilmektedir.

$$H_0: \rho_{ij} = 0 \quad (2)$$

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} (\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij}) \quad (3)$$

$$\hat{\rho}_{ij} = \hat{\rho}_{ji} = \frac{\sum_{t=1}^T e_{it} e_{jt}}{(\sum_{t=1}^T e_{it}^2)^{\frac{1}{2}} (\sum_{t=1}^T e_{jt}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

şeklindedir.

$T_{ij} > 3$ ve N yeterince büyükse, bu istatistik standart normal dağılıma sahiptir.

Diğer taraftan panel veri setlerinde eğim katsayılarının ülkeden ülkeye değişip değişmediğinin tespit edilmesi için homojenlik testleri kullanılmaktadır. Bu testlerden bir tanesi (Pesaran ve Yamagata 2008, s.50-93) Delta testidir. Bu teste göre " H_0 hipotezi; eğim katsayıları homojendir." şeklindedir. Olasılık değerinin %5'ten küçük olduğu durumlarda eğim katsayılarının heterojenliğinden bahsedilmektedir.

$$H_0: \beta_i = \beta \quad (5)$$

$$\Delta = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \hat{S} - k}{\sqrt{2k}} \right) \quad (6)$$

$$\hat{S} = \sum_{i=1}^N (\hat{\beta}_i - \hat{\beta}_{WFE}) \frac{X_i' M_T X_i}{\hat{\sigma}_i^2} (\hat{\beta}_i - \hat{\beta}_{WFE}) \quad (7)$$

şeklinde dir.

Yatay kesit bağımlılığının varlığı ülkelerin/birimlerin birbirlerinden bağımsız olmadığını göstermektedir. Bu durumda küresel şoklar, finansal krizler, bölgesel entegrasyonlar, ortak politikalar gibi faktörler birimleri ortak bir şekilde etkilemektedir. Diğer yandan ülkeler/birimler arasında yapısal farklılıklar bulunduğu, tek bir katsayı varsayımı geçerli değildir. Bu durumda heterojen tahminciler birim bazlı etkileri modele dâhil etmektedir. Yatay kesit bağımlılığının varlığı ve eğim katsayılarının heterojen olması ikinci nesil ve heterojen tahmincilerin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir.

3.4. Birim Kök Testleri

Panel birim kök testlerinde serilerin durağanlığını test etmek için yatay kesit bağımlılığını dikkate alan 2. nesil panel birim kök testlerinden (Pesaran, 2007) CADF (Crosssectional Augmented Dickey Fuller) testi kullanılmıştır. Çalışmada önce sabitli, sonra sabitli-trendli olmak üzere deterministik bileşenler modele sırayla dâhil edilerek elde edilen sonuçlara Tablo 5’te yer verilmiştir.

$$CIPS(N, T) = -\bar{t} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i(N, T) = N^{-1} \sum_{i=1}^N CADF_i \quad (8)$$

$$CIPS^*(N, T) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i^*(N, T) \quad (9)$$

olarak tanımlanmaktadır.

3.5. Pedroni Eşbütünleşme Testi

(Pedroni 1999, s.653-670; Pedroni 2004, s.597-625), dördü panel ve üçü grup test istatistiği olmak üzere temel hipotezi “eşbütünleşme yoktur” şeklinde olan yedi adet panel eşbütünleşme testi önermiştir. Panel istatistikleri; panel v istatistiği, panel ρ istatistiği, panel t istatistiği (parametrik değil) ve panel t istatistiğinden (parametrik) oluşmaktadır. “H₁: Tüm birimler eşbütünleşiktir.” şeklindedir. Grup istatistikleri; grup ρ istatistiği (parametrik), grup t istatistiği (parametrik değil), grup t istatistiğinden (parametrik) oluşmaktadır. “H₁: birimlerin önemli bir kısmı eşbütünleşiktir.” şeklindedir.

$$\text{Parametrik olmayan istatistikler için; } \hat{u}_{it} = \hat{\gamma}_i \hat{u}_{it-1} + \hat{e}_{it} \quad (10)$$

regresyonu tahmin edilmektedir.

$$\text{Parametrik istatistikler için ise; } \hat{u}_{it} = \hat{\gamma} \hat{u}_{it-1} + \sum_{k=1}^{K_i} \hat{\gamma}_{ik} \Delta \hat{u}_{it-k} + \hat{e}_{it}^* \quad (11)$$

regresyonu tahmin edilmektedir. Modele yatay kesit ortalama farkları dâhil edilerek test ikinci kuşak testlere dönüştürülmektedir.

3.6. Dinamik Ortak Korelasyonlu Etkiler ve Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi

Panel verilerde birimler arası korelasyon olup olmasına göre birinci ve ikinci kuşak tahminciler, parametrelerin homojen olup olmasına bağlı olarak homojen ve heterojen tahminciler olmak üzere sınıflandırma yapılmaktadır. Bu doğrultuda çalışmada ikinci kuşak ve heterojen tahmincilerin kullanılması gerektiğinden buna uygun seçim yapılmaktadır.

DCCE tahmincisinde kesit boyutunun (N) ve zaman serisi boyutunun (T) yeterince büyük olduğu zayıf dışsal regresörlere sahip durağan heterojen paneller dikkate alınmaktadır. Ortalama katsayıların tahminine ve çıkarımına odaklanılmakta, birinci farkların yatay kesit ortalamaları modele ilave edilmektedir. Bu sayede ortak korelasyonlu etkiler ortalama grup tahmincisi elde edilmektedir (Chudik ve Pesaran, 2015). Genişletilmiş Ortalama Grup (AMG) Tahmincisi ile model T-1 adet zaman gölge değişkeni ilavesi ile birinci farklar yöntemi ile tahmin edilmekte, sonra bu tahminler her bir birim için kurulan modele eklenmektedir. Daha sonra, ortalama grup tahmincisi ile tüm panel için sonuçlar elde edilmektedir (Bond ve Eberhardt 2009; Eberhardt ve Teal 2010).

Çalışmada DCCE ve AMG tahmincilerinin birlikte raporlanmasının temel amacı, sonuçların tamamlayıcı biçimde değerlendirilmesidir. Her iki tahminci de yatay kesit bağımlılığı ve eğim katsayılarındaki heterojenliği dikkate alan ikinci kuşak yöntemlerdir. DCCE tahmincisi, gözlenemeyen ortak faktörleri yatay kesit ortalamaları aracılığıyla modele dâhil ederek kesitsel bağımlılığı kontrol ederken; AMG tahmincisi, ortak dinamik süreci zaman kuklaları yardımıyla tahmin ederek birimlere

özgü uzun dönem katsayıları elde etmektedir. Bu tahminçiler, hem N hem de T'nin orta ve büyük olduğu paneller için uygun olup, çalışmada kullanılan veri seti bu koşulları sağlamaktadır.

4. Analiz Sonuçları

Tablo 3'te yatay kesit bağımlılığı sonuçlarına yer verilmiştir. Yatay kesit bağımlılığı test sonuçlarına göre tüm değişkenlerde %1 düzeyde anlamlılık seviyesinde yatay kesit bağımlılığı vardır. Yatay kesit bağımlılığı yoktur şeklindeki H_0 hipotezi reddedilmiş, alternatif hipotez kabul edilmiştir.

Tablo 3: Yatay Kesit Bağımlılığı Sonuçları

Değişken	Katsayı	p-Değeri
LNCO	10.047	0.000***
LNREN	20.785	0.000***
LNFD	8.697	0.000***
LNGDPPC	23.659	0.000***
LNTNR	12.326	0.000***
LNEPC	23.818	0.000***
LNREO	5.05	0.000***
Not: *** $p < 0.01$; ** $p < 0.05$; * $p < 0.10$.		

Tablo 4'te yer alan (Pesaran ve Yamagata 2008, s.50-93) Delta test sonuçlarına göre eğim katsayılarının homojen olduğu yönündeki H_0 hipotezi reddedilmektedir. Bu sebeple eğim katsayıları heterojendir sonucuna karar verilmiştir. Eğim katsayılarının heterojen ve yatay kesit bağımlılığın mevcut olduğu durumlarda ikinci kuşak panel birim kök testleri kullanılmaktadır.

Tablo 4: Pesaran ve Yamagata (2008) Delta Testi Sonuçları

Test	Katsayı	p-Değeri
Delta	14.266	0.000***
Delta Adj.	16.314	0.000***
Not: *** $p < 0.01$; ** $p < 0.05$; * $p < 0.10$.		

Pesaran CADF birim kök testi sonuçları Tablo 5'te yer almaktadır. LNCO düzeyde sabitli ve sabitli-trendli modelde durağandır. LNREN düzeyde sabitli modelde durağan değilken, sabitli ve trendli modelde durağandır. LNFD düzeyde sabitli ve sabitli-trendli modelde durağandır. LNGDPPC düzeyde sabitli modelde durağan iken, sabitli ve trendli modelde durağan değildir. LNTNR düzeyde sabitli ve sabitli-trendli modelde durağan değildir. LNEPC düzeyde sabitli modelde durağan iken, sabitli ve trendli modelde durağan değildir. LNREO düzeyde sabitli ve sabitli-trendli modelde durağandır. Tüm değişkenler fark serilerinde sabitli ve sabitli-trendli modelde durağandır.

Tablo 5: Pesaran CADF Birim Kök Testi

Değişken	CIPS			
	Düzy		Fark	
	Sabit	Sabit-Trend	Sabit	Sabit-Trend
LNCO	-2.889***	-3.109***	-3.543***	-3.446***
LNREN	-2.236	-2.812*	-4.415***	-4.288***
LNFD	-2.920***	-3.654***	-4.597***	-4.797***
LNGDPPC	-2.717***	-2.521	-2.928***	-3.031***
LNTNR	-1.687	-2.550	-4.213***	-4.228***
LNEPC	-2.338**	-2.520	-3.155***	-3.288***
LNREO	-2.257*	-2.955**	-4.480***	-4.438***
Not: *** $p < 0.01$; ** $p < 0.05$; * $p < 0.10$.				

Tablo 6'da ikinci kuşak Pedroni eşbütünleşme test sonuçlarına yer verilmiştir. Pedroni eşbütünleşme testi istatistikleri, yatay kesit bağımlılığının dikkate alınabilmesi için yatay kesitlerin ortalama farkları

alınarak elde edilmiştir. Panel istatistikleri, panelin tamamı için ortak bir eşbütünleşme ilişkisi olduğu varsayımına; grup istatistikleri, eşbütünleşme katsayılarının kesitler arasında heterojen olmasına izin veren daha esnek bir alternatif hipoteze dayanmaktadır. Dört panel istatistiğinin ikisine ve üç grup istatistiğinin ikisine göre değişkenler arasında eşbütünleşme vardır. Eşbütünleşme yoktur şeklindeki H_0 hipotezi reddedilmiştir.

Tablo 6: Pedroni Eşbütünleşme Testi Sonuçları

Test	Panel	Grup
v	0.2741	-
rho	0.7081	1.487
t	-2.158**	-2.598**
adf	-2.475**	-3.172**
Not: *** $p < 0.01$; ** $p < 0.05$; * $p < 0.10$.		

Tablo 7’de Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi ve Dinamik Ortak İlişkili Etkiler Tahmincisi sonuçları yer almaktadır.

Tablo 7: Kısa-Uzun Dönem Katsayı Tahmini

Bağımlı Değişken LNCO	Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi		Dinamik Ortak İlişkili Etki Tahmincisi	
	Kısa Dönem	Uzun Dönem	Kısa Dönem	Uzun Dönem
LNREN	-0.190(0.113)	-6.950(0.027)**	-0.214(0.010)***	-0.220(0.023)**
LNFD	0.014(0.173)	41.439(0.098)*	-0.000(0.995)	0.019(0.017)***
LNGDPPC	0.072(0.758)	3.674,700(0.998)	0.081(0.743)	0.059(0.747)
LNTNR	-0.011(0.387)	108.552(0.642)	-0.007(0.563)	0.015(0.428)
LNEPC	0.715(0.000)***	1.003(0.000)***	0.730(0.000)***	0.829(0.000)***
LNREO	0.011(0.934)	8.956(0.382)	-0.011(0.879)	0.011(0.915)
Not: *** $p < 0.01$; ** $p < 0.05$; * $p < 0.10$.				

Tablo 7’de yer alan Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi sonuçlarına göre kişi başına birincil yenilenebilir enerji tüketimi karbon emisyonlarını azaltmaktadır. Yenilenebilir enerjideki 1 birim artış uzun dönemde karbon emisyonlarını -6.95 birim azaltmaktadır. Doğrudan yabancı yatırımlardaki bir birim artış uzun dönemde karbon emisyonlarını 41.43 birim artırmaktadır. Elektrik tüketimindeki bir birim artış karbon emisyonlarını kısa dönemde 0.71 birim, uzun dönemde 1 birim artırmaktadır. Dinamik Ortak İlişkili Etkiler Tahmincisi sonuçlarına göre yenilenebilir enerjideki 1 birim artış karbon emisyonlarını kısa dönemde -0.21 uzun dönemde -0.22 birim azaltmaktadır. Doğrudan yabancı yatırımlardaki bir birim artış uzun dönemde karbon emisyonlarını 0.01 birim artırmaktadır. Elektrik tüketimindeki bir birim artış karbon emisyonlarını kısa dönemde 0.73 birim, uzun dönemde 0.83 birim artırmaktadır. İki tahminde de anlamlı olan değişkenler ve bu değişkenlerin karbon emisyonları üzerindeki etkileri aynı yönlü olarak tespit edilmiştir.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Ülkelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşabilmeleri, ekonomik faktörlerle çevresel faktörlerin nasıl bir etkileşimde bulunduğu tespit edilmesini gerektirmektedir. Bu sayede enerji alt yapısının dönüştürülmesi için çevresel faktörlerin bu süreçleri nasıl etkilediği tespit edilebilir. Bu amaçla karbon emisyonları, yenilenebilir enerji tüketimi, elektrik enerjisi tüketimi, GSYİH, doğrudan yabancı yatırımlar, doğal kaynak kiralari ve yenilenebilir elektrik üretimi arasındaki ilişkinin incelendiği çalışmada gelişmekte olan yedi ülkenin (Çin, Hindistan, Brezilya, Meksika, Endonezya, Rusya ve Türkiye) 1990-2023 yılı verileri kullanılmıştır. Panel modellerle çalışılırken paneli oluşturan ülkelerin birbirlerini etkileyip etkilemedikleri ve ortak faktörlerden etkilenip etkilenmediklerini tespit etmek için yatay kesit bağımlılığının kontrol edilmesi gerekmektedir. E7 ülkeleri için yapılan yatay kesit bağımlılığı test sonuçlarına göre yatay kesit bağımlılığı bulunmaktadır. Diğer taraftan eğitim

katsayılarının homojenliği bakılması gereken bir diğer husustur. Delta Testi sonuçlarına göre ise eğim katsayıları homojen değildir.

Çalışmada eğim katsayılarının homojen olmadığı ve yatay kesit bağımlılığının varlığı söz konusu olduğu için bu sonuçlara uygun olarak Pesaran CADF Birim Kök Testi kullanılmıştır. Birim kök testi sonucunda tüm değişkenlerin $I(1)$ 'de durağan hale geldiği görülmüştür. Bu nedenle çalışmada eşbütünleşme testi kullanılmış, yatay kesit ortalama farkları modele dâhil edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre değişkenler arasından uzun dönemde eşbütünleşme ilişkisi tespit edilmiştir.

Eşbütünleşme ilişkisinin tespit edildiği durumlarda kısa ve uzun dönem katsayı tahmini için bazı testlerden yararlanılmaktadır. Çalışmanın başında yapılan testlere uygun olarak heterojen ve birimler arası korelasyon ilişkisini dikkate alan Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi ve Dinamik Ortak İlişkili Etki Tahmincisi kullanılmıştır.

Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi ve Dinamik Ortak İlişkili Etkiler Tahmincisi sonuçlarına göre kişi başına birincil yenilenebilir enerji tüketimi karbon emisyonlarını azaltmaktadır. Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisine göre yenilenebilir enerjideki 1 birim artış uzun dönemde karbon emisyonlarını -6.95 birim azaltmaktadır. Dinamik Ortak İlişkili Etkiler Tahmincisi sonuçlarına göre yenilenebilir enerjideki 1 birim artış karbon emisyonlarını kısa dönemde -0.21 uzun dönemde -0.22 birim azaltmaktadır. Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi, yatay kesit bağımlılığını ortak faktör yaklaşımıyla dikkate almakta, ülke heterojenliğine izin vermektedir. Bu nedenle uzun dönem ilişkilerini yakalamada güçlü bir tahmindir. Dinamik Ortak İlişkili Etkiler Tahmincisi de yatay kesit bağımlılığını kesit ortalamaları ve gecikmeleri ile kontrol etmektedir. İki tahminci açısından ortaya çıkan fark Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisinin ortak deterministik etkileri güçlü biçimde yakaladığı için uzun dönem etkisini daha büyük tahmin ettiğini düşündürmektedir. Dinamik Ortak İlişkili Etkiler Tahmincisi ise bu etkilerin bir kısmını kesit ortalamaları ve gecikmeler yoluyla ayrıştırdığı için Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisinden daha küçük katsayılar üretmektedir. Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisine göre doğrudan yabancı yatırımlardaki bir birim artış uzun dönemde karbon emisyonlarını 41.43 birim artırmaktadır. Dinamik Ortak İlişkili Etkiler Tahmincisi sonuçlarına göre doğrudan yabancı yatırımlardaki bir birim artış uzun dönemde karbon emisyonlarını 0.01 birim artırmaktadır. Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisine göre elektrik tüketimindeki bir birim artış karbon emisyonlarını kısa dönemde 0.71 birim, uzun dönemde 1 birim artırmaktadır. Dinamik Ortak İlişkili Etkiler Tahmincisi sonuçlarına göre elektrik tüketimindeki bir birim artış karbon emisyonlarını kısa dönemde 0.73 birim, uzun dönemde 0.83 birim artırmaktadır.

Çalışmadan elde edilen bulgular değerlendirildiğinde bu ülkelerde yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır. İki tahmin sonuçlarında da yenilenebilir enerji tüketimine yapılacak yatırımlarının çevresel hasarı azaltmaya fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Bu yatırımlar aynı zamanda enerji güvenliğine de katkı sağlayacaktır. Bu yüzden E7 ülkelerinde yenilenebilir enerji altyapısının güçlendirilmesine yönelik yatırımlara vergi indirimleri, sübvansiyonlar ve yeşil finansman gibi çeşitli destekler verilebilir. Bu projeler aynı zamanda gelişmekte olan bu ülkelerde ekonomik kalkınmayı da desteklemektedir. Fosil yakıt tüketiminden uzaklaşmak hem enerjide sınırlı miktarda yer alan kaynaklara bağımlılığı azaltacak hem de uzun dönemde ülkelerin çevresel hasarı azaltmak için verdikleri taahhütleri yerine getirmelerini sağlayacaktır.

Diğer yandan kişi başına GSYİH ile karbon emisyonları arasında, kullanılan tahminciler açısından istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Bu bulgu, ekonomik büyümenin karbon emisyonları üzerindeki etkisinin enerjinin bileşimi, ülkelerin teknolojik yapısı ve çevresel politikalar gibi aracı faktörlere bağlı olarak farklılaştığını düşündürmektedir. Toplam doğal kaynak kiralari ve yenilenebilir elektrik üretimi ile karbon emisyonları arasında kısa ve uzun dönemli ilişki bulunamamıştır. Elde edilen katsayıların istatistiksel olarak anlamsız olması, söz konusu değişkenlerin karbon emisyonları üzerindeki etkilerinin ülkeler arasında güçlü bir uzun dönem yapısal ilişki sergilemediğini göstermektedir. Doğal kaynak kiralari; petrol, doğal gaz, kömür ve maden gelirlerini kapsayan bir gösterge olduğundan, karbon emisyonları üzerindeki etkisinin kaynak türüne göre zıt yönlü olabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı artmış olsa da, fosil yakıtlı üretimin tamamen ikame edilememesi nedeniyle karbon emisyonlarını azaltıcı bir etki ortaya çıkaramadığı düşünülmektedir.

Bulgulara göre elektrik tüketimi ile karbon emisyonları arasında ortaya çıkan pozitif ilişki, E7 ülkelerinde elektrik tüketiminin geleneksel yöntemlerle elde edildiğini gösterebilir. Bu ülkeler elektrik tüketimi için elektrik üretiminde fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçişi hızlandırmalıdır. Bu sayede E7 ülkeleri uzun dönemde karbon emisyonları azaltma potansiyeline sahip olacaktır. Bunun için teknoloji transferini teşvik etmek ve yeşil teknolojilere yatırım yapmak gereklidir. Aynı zamanda enerji verimliliği de artırılmalıdır. Bu amaçla ülkeler ve özel sektör kurumları arasında iş birliği yapılmalı, çevre dostu teknolojiler için uygun finansal kaynaklar ayrılmalıdır. Aynı zamanda doğrudan yabancı yatırımların çevreye olan zararını azaltmak için yenilenebilir enerjiye yatırım yapılması sağlanmalı veya yabancı yatırımlar için çevresel etkileri de gözeten koşullar getirilmelidir.

Çalışmadan elde edilen bulgular, E7 ülkeleri arasında yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonlarını azaltıcı etkisinin her iki tahminci açısından da tutarlı biçimde ortaya çıkması, bu ilişkinin ülkeler genelinde geçerli bir eğilime işaret ettiğini düşündürmektedir. Benzer şekilde elektrik tüketiminin karbon emisyonlarını artırıcı etkisinin her iki tahminci açısından da anlamlı olması, E7 ülkelerinde elektrik üretiminde fosil yakıtların hâlen önemli bir paya sahip olduğunu gösterirken; doğal kaynak kiralaları ve yenilenebilir elektrik üretiminin istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki sergilememesi, bu değişkenlerin etkilerinin ülkeye ve kaynak bileşimine göre farklı yönlerde çalıştığını ortaya koymaktadır. Buna karşılık, yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonlarını azaltıcı etkisinin hem AMG hem de DCCCE tahmincileriyle tutarlı biçimde ortaya konulması, literatürde yenilenebilir enerji-çevre ilişkisini destekleyen bulgularla (Tiwari, 2011; Ben Jebli ve ark., 2019; Han, 2024a) örtüşmektedir. Ekonomik büyüme ile karbon emisyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmaması ise, büyümenin çevresel etkilerinin enerji bileşimi ve politika çerçevesi gibi aracı faktörlere bağlı olduğunu ortaya koyan çalışmaları (Soytaş ve Sarı, 2007; Acheampong, 2018) desteklemektedir.

Kaynakça

- Acaravci, A., ve Ozturk, I. (2010). On the Relationship Between Energy Consumption, CO2 Emissions and Economic Growth in Europe. *Energy*, 35(12), 5412-5420.
- Acaravci, A., Erdogan, S., ve Akalin, G. (2015). The Electricity Consumption, Real Income, Trade Openness and Foreign Direct Investment: The Empirical Evidence from Turkey. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 5(4), 1050-1057.
- Acheampong, A. O. (2018). Economic Growth, CO2 Emissions and Energy Consumption: What Causes What And Where?. *Energy Economics*, 74, 677-692.
- Adams, S., Adedoyin, F., Olaniran, E., ve Bekun, F. V. (2020). Energy Consumption, Economic Policy Uncertainty and Carbon Emissions; Causality Evidence from Resource Rich Economies. *Economic Analysis and Policy*, 68, 179-190.
- Adeneye, Y. B., Jaaffar, A. H., Ooi, C. A., ve Ooi, S. K. (2021). Nexus between Carbon Emissions, Energy Consumption, Urbanization and Economic Growth in Asia: Evidence from Common Correlated Effects Mean Group Estimator (CCEMG). *Frontiers in Energy Research*, 8, 610577.
- Afjal, M. (2023). The Tapestry of Green Economics: Mapping the Nexus of CO2 Emissions, Economic Growth, and Renewable Energy. *International Journal of Sustainable Energy*, 42(1), 1364-1390.
- Aftab, S., Ahmed, A., Chandio, A. A., Korankye, B. A., Ali, A., ve Fang, W. (2021). Modeling the Nexus between Carbon Emissions, Energy Consumption, and Economic Progress in Pakistan: Evidence from Cointegration and Causality Analysis. *Energy Reports*, 7, 4642-4658.
- Alam, M. J., Begum, I. A., Buysse, J., ve Van Huylenbroeck, G. (2012). Energy Consumption, Carbon Emissions and Economic Growth Nexus in Bangladesh: Cointegration and Dynamic Causality Analysis. *Energy Policy*, 45, 217-225.
- Alam, M. M., Murad, M. W., Noman, A. H. M., ve Ozturk, I. (2016). Relationships among Carbon Emissions, Economic Growth, Energy Consumption and Population Growth: Testing Environmental Kuznets Curve Hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. *Ecological Indicators*, 70, 466-479.

- Altın, H. (2024). The Impact of Energy Efficiency and Renewable Energy Consumption on Carbon Emissions in G7 Countries. *International Journal of Sustainable Engineering*, 17(1), 134-142.
- Akpan, G. E., ve Akpan, U. F. (2012). Electricity Consumption, Carbon Emissions and Economic Growth in Nigeria. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2(4), 292-306.
- Ameer, W., Ali, M. S. E., Farooq, F., Ayub, B., ve Waqas, M. (2024). Renewable Energy Electricity, Environmental Taxes, and Sustainable Development: Empirical Evidence From E7 Economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(34), 46178-46193.
- Ateş, M. H., Çakan, C. D., ve Kurtoglu, S. (2025). Finansal Gelişmenin, Yeşil Teknolojik İnovasyonların ve Yenilenebilir Enerji Kullanımının Karbon Emisyonlarının Azaltılmasındaki Rolü. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 27(IERFM 2025 Özel Sayı), 149-176.
- Awodumi, O. B., ve Adewuyi, A. O. (2020). The Role of Non-Renewable Energy Consumption in Economic Growth and Carbon Emission: Evidence From Oil Producing Economies in Africa. *Energy Strategy Reviews*, 27, 100434.
- Aydın, M. (2024). Enerji İkilemi: E7 Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Geçişi, Enerji Verimliliği ve Küreselleşmenin Çevre Kalitesi Üzerindeki Etkisi. *İzmir İktisat Dergisi*, 39(4), 1063-1078.
- Aye, G. C., ve Edoja, P. E. (2017). Effect of Economic Growth on CO2 Emission in Developing Countries: Evidence from A Dynamic Panel Threshold Model. *Cogent Economics ve Finance*, 5(1), 1379239.
- Begum, R. A., Sohag, K., Abdullah, S. M. S., ve Jaafar, M. (2015). CO2 Emissions, Energy Consumption, Economic and Population Growth in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 594-601.
- Ben Jebli, M., Ben Youssef, S., ve Apergis, N. (2019). The Dynamic Linkage between Renewable Energy, Tourism, CO2 Emissions, Economic Growth, Foreign Direct Investment, and Trade. *Lat. Am. Econ. Rev.*, 28.
- Bond S. R. ve Eberhardt M. (2009). *Cross Section Dependence in Nonstationary Panel Models: A Novel Estimator*. Nordic Econometrics Meeting, Sweden.
- Bozkurt, C., ve Destek, M. A. (2015). Renewable Energy and Sustainable Development Nexus in Selected OECD Countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 5(2), 507-514.
- Chen, X., Rahman, S. U., Abdullah, S., Ali, S., ve Khalid, S. (2024). Towards Sustainable Development: Examining Renewable Energy Consumption in E- 7 countries. *Heliyon*, 10(17).
- Chudik A. ve Pesaran M. H. (2015). Common Correlated Effects Estimation of Heterogeneous Dynamic Panel Data Models with Weakly Exogenous Regressors. *Journal of Econometrics*, 188, 393-420.
- Farabi, A., Abdullah, A., ve Setianto, R. H. (2019). Energy Consumption, Carbon Emissions and Economic Growth in Indonesia and Malaysia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(3), 338-345.
- Doğdu, A. (2022). G7 ve E7 ülkelerinde GSYİH ve Yenilenebilir Enerji Üretimi İlişkisi: Toda-Yamamoto Panel Nedensellik Analizi. *Toplum Ekonomi ve Yönetim Dergisi*, 3(2), 57-79.
- Eberhardt M. ve Teal F. (2010). Mangos in the Tundra? Spatial Heterogeneity in Agricultural Productivity Analysis. *Centre for the Study of African Economies, University of Oxford WP*.
- Efeoglu, R. (2022). Çevresel Kuznets Eğrisi Çerçevesinde Sanayileşme, Yenilenebilir Enerji, Enerji Tüketimi ve Finansal Gelişmenin CO2 Salınımı Üzerindeki Etkisi. *Alanya Akademik Bakış*, 6(2), 2103-2115.
- Ergün, S., ve Polat, M. A. (2015). OECD Ülkelerinde CO2 Emisyonu, Elektrik Tüketimi ve Büyüme İlişkisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (45), 115-141.

- Gershon, O., Asafo, J. K., Nyarko-Asomani, A., ve Koranteng, E. F. (2024). Investigating the Nexus of Energy Consumption, Economic Growth and Carbon Emissions in Selected African Countries. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101269.
- Gyamfi, B. A., Bein, M. A., Udemba, E. N., ve Bekun, F. V. (2022). Renewable Energy, Economic Globalization and Foreign Direct Investment Linkage for Sustainable Development in the E7 Economies: Revisiting the Pollution Haven Hypothesis. *International Social Science Journal*, 72(243), 91-110.
- Hailiang, Z., Iqbal, W., Yin Chau, K., Raza Shah, S. A., Ahmad, W., ve Hua, H. (2023). Green Finance, Renewable Energy Investment, and Environmental Protection: Empirical Evidence from BRICS Countries. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(2).
- Halicioglu, F. (2009). An Econometric Study of CO₂ Emissions, Energy Consumption, Income and Foreign Trade in Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1156-1164.
- Hamit-Hagggar, M. (2012). Greenhouse Gas Emissions, Energy Consumption and Economic Growth: A Panel Cointegration Analysis from Canadian Industrial Sector Perspective. *Energy Economics*, 34(1), 358-364.
- Han, A. (2024a). BRICS-T Ülkelerinde Çevresel Sürdürülebilirlik: Karbon Emisyonları, Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme İlişkileri. *Abant Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(1), 136-151.
- Han, A. (2024b). Yeşil Ekonomi Yolunda OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketimi Analizi. *Verimlilik Dergisi*, 58(2), 185-200.
- Hasnisah, A., Azlina, A. A., ve Taib, C. M. I. C. (2019). The Impact of Renewable Energy Consumption on Carbon Dioxide Emissions: Empirical Evidence from Developing Countries in Asia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(3), 135.
- Hepektan, E., ve Sertkaya, Y. (2016). Türkiye’de Elektrik Tüketimi, Kişi Başına GSYİH, CO₂ Emisyonu ve Petrol Tüketimi İlişkisi. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(12), 163-182.
- Kendir, E., ve Yakışık, H. (2025). The Impact of Renewable Energy Investments on Ecological Footprint: New Evidence From BRICS-T Region. *Journal of the Human and Social Science Researches*, 14(1), 540-557. <https://doi.org/10.15869/itobiad.1615883>.
- Khan, H., Khan, I., ve Binh, T. T. (2020). The Heterogeneity of Renewable Energy Consumption, Carbon Emission and Financial Development in The Globe: A Panel Quantile Regression Approach. *Energy Reports*, 6, 859-867.
- Lahiani, A., Mefteh-Wali, S., Shahbaz, M., ve Vo, X. V. (2021). Does Financial Development Influence Renewable Energy Consumption to Achieve Carbon Neutrality in the USA?. *Energy Policy*, 158, 112524.
- Lean, H. H., ve Smyth, R. (2010). CO₂ Emissions, Electricity Consumption and Output in ASEAN. *Applied Energy*, 87(6), 1858-1864.
- Li, X., Ozturk, I., Raza Syed, Q., Hafeez, M., ve Sohail, S. (2022). Does Green Environmental Policy Promote Renewable Energy Consumption in BRICST? Fresh Insights From Panel Quantile Regression. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 35(1), 5807-5823.
- Liu, Y., Lei, P., Zhao, Z., ve Sun, Y. (2023). Influence of Green Financing, Technology Innovation, and Trade Openness on Consumptionbased Carbon Emissions in BRICS Countries. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(2).
- Li, S., Wang, Y., ve Li, Y. (2023). Novel Research Methods for Estimating the Impact of Energy Use on Ecological Environment: Evidence from BRICS Economies. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(2).
- Liang, Y., Ur Rahman, S., Shafaqat, A., Ali, A., Ali, M. S. E., ve Khan, H. (2024). Assessing Sustainable Development in E-7 Countries: Technology Innovation, and Energy Consumption Drivers of Green Growth and Environment. *Scientific Reports*, 14(1), 28636.

- Nathaniel, S. P., ve Adeleye, N. (2021). Environmental Preservation Amidst Carbon Emissions, Energy Consumption, and Urbanization in Selected African Countries: Implication For Sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 285, 125409.
- Mehta, D., ve Shah, M. A. (2024). BRICS Carbon Emissions: Asymmetric Impact of Energy Mix, Financial Development, and Digitalization. *Sustainable Environment*, 10(1), 2418162.
- Meng, Z., Wang, H., ve Wang, B. (2018). Empirical Analysis of Carbon Emission Accounting and Influencing Factors of Energy Consumption in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 2467.
- Mercan, M., ve Karakaya, E. (2015). Energy Consumption, Economic Growth and Carbon Emission: Dynamic Panel Cointegration Analysis for Selected OECD Countries. *Procedia Economics and Finance*, 23, 587-592.
- Mumuni, S., ve Lefe, Y. D. H. (2023). Greening the Environment: Do Climate-related Development Finances and Renewable Energy Consumption Matter? An African Tale. *Carbon Management*, 14 (1).
- Ozturk, I., ve Salah Uddin, G. (2012). Causality Among Carbon Emissions, Energy Consumption and Growth in India. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 25(3), 752-775.
- Pedroni P. (1999). Critical Values for Cointegration Tests in Heterogeneous Panels with Multiple Regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61, 653-670.
- Pesaran, M.H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. *Cambridge Working Papers in Economics, Faculty of Economics. University of Cambridge*, UK.
- Pedroni P. (2004). Panel Cointegration: Asymptotic and Finite Sample Properties of Pooled Time Series Tests with Application to The PPP Hypothesis. *Econometric Theory*, 20 (3), 597-625.
- Pesaran M. H. (2007). A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross Section Dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22 (2), 265-312.
- Pesaran, M. H., ve Yamagata, T. (2008). Testing Slope Homogeneity in Large Panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93.
- Saboori, B., ve Sulaiman, J. (2013). CO2 Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) Countries: A Cointegration Approach. *Energy*, 55, 813-822.
- Saboori, B., Mahdavian, S. M., ve Radmehr, R. (2024). Assessing the Environmental Impact Of Institutional Quality at Aggregate and Disaggregate Levels: The Role of Renewable and Non-Renewable Energy Consumption And Trade in MENA Countries. *Sustainable Environment*, 10(1), 2426833.
- Sadorsky, P. (2009). Renewable Energy Consumption and Income in Emerging Economies. *Energy Policy*, 37(10), 4021–4028.
- Salim, R. A., Hassan, K., ve Shafiei, S. (2014). Renewable and Non-Renewable Energy Consumption and Economic Activities: Further Evidence from OECD Countries. *Energy Economics*, 44, 350-360.
- Salem, S., Arshed, N., Anwar, A., Iqbal, M., ve Sattar, N. (2021). Renewable Energy Consumption and Carbon Emissions Testing Nonlinearity for Highly Carbon Emitting Countries. *Sustainability*, 13(21), 11930.
- Shang, M., Ma, Z., Su, Y., Shaheen, F., Mohd Tahir, L., Khalid Anser, M., ve Zaman, K. (2023). Understanding the Importance of Sustainable Ecological Innovation in Reducing Carbon Emissions: Investigating the Green Energy Demand, Financial Development, Natural Resource Management, Industrialisation and Urbanisation Channels. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(2).

- Shobande, O. A., ve Ogbeifun, L. (2022). The Criticality of Financial Development and Energy Consumption for Environmental Sustainability in OECD Countries: Evidence from Dynamic Panel Analysis. *International Journal of Sustainable Development ve World Ecology*, 29(2), 153-163.
- Sibanda, K., Takentsi, S., ve Gonese, D. (2024). Energy Consumption, Technological Innovation, and Environmental Degradation in SADC Countries. *Cogent Social Sciences*, 10(1), 2355553.
- Soytas, U., ve Sari, R. (2007). Energy Consumption, Economic Growth, and Carbon Emissions: Challenges Faced by an EU Candidate Member. *Ecological Economics*, 68(6), 1667-1675.
- Soytas, U., Sari, R., ve Ewing, B. T. (2007). Energy Consumption, Income, and Carbon Emissions in the United States. *Ecological Economics*, 62(3-4), 482-489.
- Sun, H., Enna, L., Monney, A., Tran, D. K., Rasoulinezhad, E., ve Taghizadeh-Hesary, F. (2020). The Long-Run Effects of Trade Openness on Carbon Emissions in Sub-Saharan African Countries. *Energies*, 13(20), 5295.
- Tebourbi, I., Thi Truc Nguyen, A., Yuan, S. F., ve Huang, C. Y. (2023). How Do Social and Economic Factors Affect Carbon Emissions? New Evidence from Five ASEAN Developing Countries. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(1).
- Tiwari, A. K. (2011). A Structural VAR Analysis of Renewable Energy Consumption, Real GDP and CO2 Emissions: Evidence from India. *Economics Bulletin*, 31(2), 1793-1806.
- United Nations (2025). Department of Economic and Social Affairs, Sustainable Development. Eriřim Tarihi: 18.09.2025. <https://sdgs.un.org/>.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2022). United Nations Climate Change Annual Report. Eriřim Tarihi: 18.09.2025. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UNClimateChange_AnnualReport_2022.pdf.
- Wang, Z., Wu, G., Miao, Z., ve Guo, A. (2025). The Impact of Green And Low-Carbon Technologies on Carbon Emission Intensity: Evidence from Patent Data in China's Counties. *Journal of Cleaner Production*, 519, 145997.
- Yuping, L., Ramzan, M., Xincheng, L., Murshed, M., Awosusi, A. A., Bah, S. I., ve Adebayo, T. S. (2021). Determinants of Carbon Emissions in Argentina: The Roles of Renewable Energy Consumption and Globalization. *Energy Reports*, 7, 4747-4760.
- Yu, H., Nazir, R., Huang, J., ve Li, H. (2023). Linkages Between Renewable Energy, Financial Development, and Environmental Sustainability in Asian Countries. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(3).
- Zhang, Y. C., Liu, X. H., Ullah, A., ve Mehmood, U. (2023). Effects of Human Capital, Natural Resource, Urbanization, Energy Consumption on Carbon Emissions in the Top Ten Emitter Countries. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(3).
- Zhang, X. P., ve Cheng, X. M. (2009). Energy Consumption, Carbon Emissions, and Economic Growth in China. *Ecological Economics*, 68(10), 2706-2712.
- Zhu, H., Duan, L., Guo, Y., ve Yu, K. (2016). The Effects of FDI, Economic Growth and Energy Consumption on Carbon Emissions in ASEAN-5: Evidence from Panel Quantile Regression. *Economic Modelling*, 58, 237-248.

Research Article

Yenilenebilir Enerji ve Karbon Emisyonları Arasındaki Dinamik İlişki: E7 Ülkeleri Üzerine Bir Panel Veri Çalışması

The Dynamic Relationship Between Renewable Energy and Carbon Emissions: A Panel Data Study on E7 Countries

Zeliha GÜLMEZ

Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, SGDB

Çanakkale, Türkiye

zelihagulmez09@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7650-4761>

Extended Summary

The relationship between energy consumption, economic growth, and environmental issues has become increasingly important in recent years. Determining global energy consumption and distinguishing between renewable and non-renewable energy sources more clearly reveals the environmental damage caused by energy consumption. Studies conducted to date demonstrate that results vary across countries and regions, supporting the need for policy diversification.

As part of the United Nations Framework Convention on Climate Change, one of the core objectives of the Paris Agreement is to limit global temperatures to 2°C above pre-industrial levels and to limit temperature increases to 1.5°C above pre-industrial levels. Currently, global temperatures of 1.1°C above pre-industrial levels indicate that the world is in the midst of a climate crisis. Therefore, all countries must strengthen their Nationally Determined Contributions (NDCs), or climate commitments. This is the only way to close the gap between the current emission reduction target and the nearest 2030 target (United Nations Climate Change Annual Report, 2022). On the other hand, in 2015, the United Nations set targets related to energy, economic growth, and environmental issues within the Sustainable Development Goals to mitigate global challenges. These targets include ensuring access to affordable, reliable, sustainable, and modern energy (SDGs-7); promoting sustainable, inclusive, and sustainable economic growth, full and productive employment, and decent work (SDGs-8); and taking urgent action to combat climate change and its impacts (SDGs-13) (sdgs.un.org/goals). In this context, sustainable access to clean energy requires innovative and environmentally friendly energy investments. While striving to increase economic growth and prosperity, it is crucial to create employment opportunities suitable for technological advancements that also enhance the skills of the workforce and continue to advance rapidly, including artificial intelligence technologies. Furthermore, steps taken to increase global prosperity through clean energy and sustainable economic growth should not conflict with the fight against climate change; they should be taken in harmony. The continued rise in carbon emissions increases global temperatures, making it more difficult to combat climate change. Since carbon emissions primarily arise from the use of fossil fuel resources, reducing energy consumption is seen as a way to reduce emissions. However, directly reducing energy consumption can negatively impact economic growth. Therefore, directly reducing consumption is not a preferred approach (Soytaş ve Sarı 2007, p.1667-1668). Therefore, alternative solutions such as utilizing more renewable energy sources, increasing energy efficiency, and reducing energy intensity are beneficial in combating climate change by reducing carbon emissions while not sacrificing economic growth. In line with all these explanations, early studies in the literature tested the Environmental Kuznets Curve hypothesis adapted to the

relationship between environmental pollution and economic growth, investigating whether there was an inverted U-shaped relationship between environmental pollution and income growth. Subsequent studies also evaluated the relationship between energy consumption and economic growth from a development perspective, assessing whether increased energy consumption benefits economic growth and development. Recent studies have examined the relationships between all these variables in terms of their interactions within the framework of newer models (Acaravcı ve Öztürk 2010, p.5412-5416).

This study examines the dynamic relationships between carbon emissions, renewable energy consumption, and electricity for seven developing countries (China, India, Brazil, Mexico, Indonesia, Russia, and Türkiye) using panel data. Data from 1990 to 2023 are used in the study. Examining the impact of electricity consumption, a secondary energy type produced through the use of primary energy sources and derived from a full range of renewable and non-renewable energy sources, on carbon emissions is considered a contribution to the literature. The study also examines the relationship between carbon emissions and foreign direct investment, renewable electricity output, and total natural resource rents.

The general function defined to examine the relationship between carbon emissions, renewable energy consumption, and electricity consumption is as follows:

$$LNCO_{2it} = f(LNREN_{it}, LNFD_{it}, LNGDPPC_{it}, LNTNR_{it}, LNEPC_{it}, LNREO_{it}) \quad (1)$$

i represents countries ($i = 1, \dots, N$), t represents the time interval ($t = 1, \dots, T$).

According to the cross-sectional dependence test results, cross-sectional dependence was detected in all variables at the 1% significance level. The H_0 hypothesis, "There is no cross-sectional dependence," was rejected, and the alternative hypothesis was accepted. According to the (Pesaran ve Yamagata 2008, p.50-93) Delta test results, the H_0 hypothesis, which states that the slope coefficients are homogeneous, is rejected. Therefore, it was concluded that the slope coefficients are heterogeneous. Second-generation panel unit root tests are used in cases where the slope coefficients are heterogeneous and cross-sectional dependence is present.

According to the Pesaran CADF unit root test results, LNCO is stationary at the level, both constant and constant-trend model. LNREN is non-stationary at the level constant model, but stationary at the constant-trend model. LNFD is stationary at the level both constant and constant-trend model. LNGDPPC is stationary at the level constant model, but non-stationary at the constant-trend model. LNTNR is non-stationary at the level both constant and constant-trend model. LNEPC is stationary at the level constant model but not at the constant-trend model. LNREO is stationary at the level both constant and constant-trend model. All variables are stationary in the difference series both constant and constant-trend model.

According to the Pedroni cointegration test results, there is cointegration among the variables. The H_0 hypothesis of no cointegration is rejected. The Augmented Mean Group Estimator and the Dynamic Common Correlated Effects Estimator were used for coefficient estimation. According to the Augmented Mean Group Estimator results, per capita primary renewable energy consumption reduces carbon emissions. A 1-unit increase in renewable energy reduces carbon emissions by -6.95 units in the long run. A 1-unit increase in foreign direct investment increases carbon emissions by 41.43 units in the long run. A 1-unit increase in electricity consumption increases carbon emissions by 0.71 units in the short run and 1 unit in the long run. According to the Dynamic Common Correlated Effects Estimator results, a 1-unit increase in renewable energy reduces carbon emissions by -0.21 units in the short run and -0.22 units in the long run. A 1-unit increase in foreign direct investment increases carbon emissions by 0.01 units in the long run. A 1-unit increase in electricity consumption increases carbon emissions by 0.73 units in the short run and 0.83 units in the long run. The variables that are significant in both estimators and the effects of these variables on carbon emissions are found to be in the same direction.

An evaluation of the study's findings suggests that renewable energy investments in these countries should be increased. Both estimates suggest that investments in renewable energy consumption will help reduce environmental damage. These investments will also contribute to energy security. Therefore, investments aimed at strengthening renewable energy infrastructure in the E7 countries could benefit from various support measures, such as tax deductions, subsidies, and green financing. These projects also support economic development in these developing countries. Moving away from fossil fuel consumption will both reduce dependence on limited energy resources and enable countries to fulfill their commitments to reduce environmental damage in the long term.

According to the findings, this positive relationship between electricity consumption and carbon emissions may indicate that electricity consumption in the E7 countries is generated through traditional methods. These countries should accelerate the transition from fossil fuels to renewable energy for electricity production. This will provide the E7 countries with the potential to reduce carbon emissions in the long term. To achieve this, technology transfer and investment in green technologies are essential. Energy efficiency should also be increased. To this end, countries and private sector institutions should collaborate, and appropriate financial resources should be allocated for environmentally friendly technologies. Furthermore, investments in renewable energy should be encouraged to reduce the environmental impact of foreign direct investment, or conditions should be introduced for foreign investments that consider their environmental impact.