

# G7 Ülkelerinde Karbon Emisyonu ile Ekonomik Büyüme İlişkisinin İncelenmesi

Ömer Fazıl Emek<sup>1</sup>

Melike Atay Polat<sup>2</sup>

## Özet

Küresel problemlerin başında gelen küresel ısınma ve iklim felaketlerinin karbon emisyon hacmini artırması ve bunun da ekonomik büyüme ile herhangi bir ilişkisinin olup olmadığı literatürde tartışılan konular arasındadır. Bu çalışmanın amacı, 1991 ile 2021 yılları arası gelişmiş 7 ülke (G7) için karbon emisyonu ile ekonomik büyüme arasındaki uzun dönem ilişkisini incelemektir. Değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisi Durbin-Hausman panel eşbütünleşme testi ile belirlenmiştir. Eşbütünleşme testi doğrultusunda, kişi başı karbon emisyon miktarı ile kişi başı GSYH değişkenleri arasında eşbütünleşik ilişkinin varlığı saptanmıştır. Daha sonra uzun dönem katsayı tahmini için tam düzeltilmiş en küçük kareler (FMOLS) ve dinamik en küçük kareler (DOLS) tahmincileri kullanılmış ve elde edilen bulgulara göre değişkenler arasındaki ilişkinin negatif yönlü olduğu tespit edilmiştir. Bunun anlamı, G7 ülkelerinde ekonomik büyümenin karbon emisyon miktarını azalttığıdır. Bu sonuçlardan G7 ülkelerinde ekonomik büyümenin çevresel politikaların belirlenmesine engel olmayacağı anlaşılmaktadır. Ancak geleneksel ekonomik büyümenin yerine daha temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı bir ekonomik model oluşturmanın önemine vurgu yapmak gerekir.

## 1. Giriş

Son birkaç yüzyıldır tarımdan sanayi uygarlığına geçişteki hızlı değişim; teknolojik ilerleme ve insan hayatındaki refahın yükselmesi gibi faydalara yol açsa da buna bağlı olarak artan enerji tüketimi çevresel bozulmanın temel

1 Dr. Öğr. Üyesi, Mardin Artuklu Üniversitesi, Nusaybin MYO, Dış Ticaret Bölümü, omerfazilemek@artuklu.edu.tr, 0000-0003-4429-8892

2 Doç. Dr., Mardin Artuklu Üniversitesi, İİBF, İktisat Bölümü, matay@artuklu.edu.tr, 0000-0001-9507-5942

belirleyicisi olmuştur (Karaaslan & Çamkaya, 2022). Dünyanın son yıllarda maruz kaldığı nüfus, kentleşme ve enerji tüketimindeki sürekli artış, ekolojik düzeni keskin bir şekilde bozarak dünya sıcaklık ortalamasının yükselmesine dolayısıyla küresel ısınmaya sebebiyet vermiştir (Adom vd., 2012).

Bundan dolayı Zhang ve Cheng (2009), küresel ısınmanın çağımızın en önemli çevre sorunu olduğunu, sera gazı etkisinde en büyük pay sahibi olan karbondioksit miktarının giderek daha fazla artmasının bu sorunu ağırlaştırdığını ifade etmektedir. Karbondioksit hacminin genişlemesi ise petrol, kömür, gaz gibi fosil kaynaklı enerji kaynaklarının kullanılmasına bağlanmakta bu da atmosferin yapısını değiştirerek sıcaklıkların artmasına neden olmaktadır. Herhangi bir önlem alınmadığı taktirde önümüzdeki on yıllarda Paris antlaşması gereği ortalama yüzey sıcaklığındaki artışın 1,5 dereceyi aşma olasılığı güçlüdür. Aynı şekilde sera gazındaki artış hızının devam etmesi halinde küresel sıcaklığın bu yüzyılın sonuna doğru ortalama 5 ile 6 derece arasında artacağı tahmin edilmektedir. Sıcak hava dalgalarının yanında seller, kuraklıklar ve aşırı yağışlar da değişen iklimlerin ve küresel ısınmanın belirtileridir (Jebabli vd., 2023).

Sanayileşme öncesi dönemlere kıyaslandığında dünya sıcaklık ortalamasının artışında insan faktörünün olduğu açıktır. Bu tür felaketlerin önlenmesi için bir dizi uluslararası adımlar atılmaktadır. Ülke nezdinde yapılan anlaşmalar çerçevesinde mutabık kalınan temel amaç da karbon emisyon hacmini azaltarak hedef aralık olarak belirlenen ortalama sıcaklık düzeyini düşürmektir. Soytaş ve Sari (2009) de benzer şekilde küresel ısınmanın günümüzün en ciddi problemi olduğunu, artan karbon emisyonlarının bu sorunu yoğunlaştırdığını; bu emisyonların çoğunlukla fosil kaynaklı yakıtların kullanımından kaynaklandığını öne sürmektedir.

Bahsi geçen bu problemlerin nedenlerine yönelik yaklaşımlara ek olarak Waheed vd. (2019), sera gazlarının insan ve çevre yaşamı üzerinde olumsuz etkiler doğurduğunu ancak bunun ana nedenlerini araştırmanın ve bu kritik sorunu ortadan kaldırmak için bazı çözüm arayışlarına girmenin önemine değinmektedir. Bu doğrultuda karbon emisyonunun temelinde enerji tüketimi, ulaşım, konut, ekonomik ve sosyal koşullardaki değişiklikler gibi faktörler rol alsın da bunların da belirleyicisi olan ekonomik büyüme unsuruna özellikle vurgu yapılmalıdır.

İleri sürülen bu yaklaşımlar bağlamında küresel anlamda karşılaşılan olumsuzlukları etkileyen unsurların başında ekonomik büyümenin var olup olmadığı merak uyandırmış, bu sorunu aydınlatmak için çevresel sorunlar ile ekonomik büyüme ilişkisine dair çeşitli araştırmaların yapıldığı görülmüştür. Konu hakkında şekillenen literatür ise Kuznets (1955) tarafından iddia edilen

çevresel Kuznets hipotezi'ne dayandırılmaktadır. Mirza ve Kanwal'ın (2017) ifadesiyle, “ekonomik aktivite ile çevresel bozulma arasındaki ilişki ilk olarak çevresel Kuznets hipotezi ile açıklanmaya çalışılmaktadır.”

Bu hipoteze göre ekonomik büyüme ve kalkınmanın erken aşamalarında artan sanayileşme ile çevresel kirlenmenin bekleneceğini ancak belirli bir seviyeden sonra ekonomik büyüme sürecinin çevresel kirlenmeyle negatif korelasyona gireceği belirtilmektedir. İddia edilen bu yaklaşımın doğruluğu pek çok çalışma ile kanıtlanmıştır. Ancak farklı bulgu ve tezlerin olduğuna da dikkat çekilmelidir. Öncelikle çevresel Kuznets hipotezinin klasik ekonomik büyüme savunucuları tarafından benimsendiği ve desteklendiği bilinmektedir. Bu destekçilere göre her ne olursa olsun ekonomik büyümenin gerçekleşmesi kaçınılmazdır. Aksi yönde görüş beyan edenler ise ekonomik büyümenin küresel ısınma ve kötü iklim koşullarının baş müsebbibi olduğunu yüksek sesle dile getirmektedirler.

Yapılan bu değerlendirmelerden yola çıkarak ekonomik büyüme ile çevresel kirlenme ilişkisinin popüler bir araştırma sorunsalı olmaya devam ettiğini söylemek yanlış bir değerlendirme olmayacaktır. Bunun için bu çalışmada, ekonomik büyümenin çevresel kirlenmede önemli bir etken olup olmadığı meselesi irdelenmiştir. Çevresel Kuznets hipotezinde açıklanan, ekonominin ileri safhalarında ekonomik büyümenin çevresel kirlenme ile negatif yönlü bir seyir izleyeceği varsayımı, gelişmiş 7 (G7) ülke örneğinde test edilmiştir. Bu ülkeler için 1991-2021 yılları arası ekonomik büyümeyi temsilen kişi başına GSYH ile çevresel kirlenmeyi temsilen kişi başı karbon emisyon miktarı verileri temin edilmiştir. Bu nedenle çevresel Kuznets hipotezi eğrisinin tahminlemesinde ele alınan değişkenler üzerine model kurgulanmıştır.

Nitekim Narayan vd. (2016), tipik olarak literatürün çevresel bozulmanın içsel, gelirin ise dışsal olarak ele alındığı bir regresyon çerçevesine dayandığını ifade etmektedir. Yöntem olarak Durbin-Hausman panel eşbütünleşme testi, tam düzeltilmiş en küçük kareler (FMOLS) ve dinamik en küçük kareler (DOLS) tahminicileri kullanılmıştır. Bu çalışmanın giriş bölümü; teorik arka plana, çalışmanın önemi, amacı, kapsamı ve yöntemine ayrılmıştır. Daha sonra konu hakkındaki çalışmalar derlenmiş ve analiz kısmına geçilmiştir. Sonuç bölümünde ise analiz bulguları yorumlanarak bu bulguların literatüre uygunluğu karşılaştırılmıştır.

## 2. Literatür Değerlendirmesi

Karbon emisyonları ile ekonomik büyüme ilişkisine dair yapılan ampirik araştırmaların çoğunlukla çevresel Kuznets hipotezinin geçerliliği üzerine

odaklandığı görülmektedir. Elde edilen bulgularda bazı çalışmalar, hipotezin geçerliliğini doğrularken kimi çalışmalar ise bu hipotezin tartışmalı sonuçlar verdiğini ileri sürmektedir. Zhang ve Cheng (2009), çevresel Kuznets hipotezinde gelirin dışsal bir faktör varsayılmasından kaynaklanan hatalı bir modelin oluşturulduğunu ve bu nedenle ortaya çıkan sonuçların eleştirildiğini ifade etmektedir.

Narayan vd. (2016), konu ile ilgili şimdiki kadarki yapılan çalışmaların iki özelliğiyle dikkat çektiğini; ilk çalışmaların tek ülkeli ve zaman serisi modelleri ile daha sonra çok ülkeli ve panel veri modelleri ile değerlendirildiğini belirtmektedir. Son dönemdeki çalışmaların büyük çoğunluğu ise bu iki değişkenle ilintili olabilecek diğer etkenler üzerinde durmaktadır. Karbon emisyonlarının artışına neden olabilecek enerji tüketimi bunlardan biridir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda enerji tüketiminin etkisinin incelendiğine sıklıkla rastlanılmaktadır. Son dönemdeki çalışmalarda, enerji tüketiminin değişken olarak ele alındığı ancak konumuz gereği yalnızca karbon emisyonları ile ekonomik büyüme bağlantısına odaklanıldığından yalnızca bu iki değişken arasındaki sonuçlara yer verildiğine özellikle vurgulamak gerekir.

Bunlardan tek ülkeli ve zaman serilerine dayalı çalışmalar arasında Zhang ve Cheng (2009), 1960-2007 yılları arası Çin'de karbon emisyonları ile ekonomik büyüme ilişkisini incelemişlerdir. Granger nedensellik testine göre karbon emisyonu ile ekonomik büyüme arasında herhangi bir nedensellik ilişkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle Çin hükümetinin uzun vadede ekonomik büyümeyi engellemeden karbon emisyonlarını azaltma politikası izleyebileceği önerilmektedir.

Mirza ve Kanwal (2017), Pakistan'da 1971-2009 yılları arası karbon emisyonu ile ekonomik büyüme ilişkisini incelemişlerdir. Gecikmesi dağıtılmış otoregresif (ARDL) yönteminden elde edilen bulgulara göre karbon emisyonu ile ekonomik büyüme arasında uzun dönemde ilişki olduğu; Granger nedensellik testine göre ise karbon emisyonu ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedenselliğin varlığı belirlenmiştir. Karbon emisyon azaltım faaliyetlerinin Pakistan'daki enerji ve çevre politikalarının ana gündeminde yer alması gerektiği tavsiye edilmektedir.

Adebayo vd. (2021), 1990-2018 yılları arası Brezilya'da tüketime dayalı karbon emisyonlarının belirleyicilerini tespit etmek amacıyla yaptıkları bir çalışmadır. Gecikmesi dağıtılmış otoregresif (ARDL) ve dinamik en küçük kareler (DOLS) yöntemlerine göre ekonomik büyüme karbon emisyonunu etkileyen faktörlerdendir. Fourier Toda-Yamamoto nedensellik testine göre ekonomik büyüme ile karbon emisyonu arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi

vardır. Alternatif ve temiz enerji tüketimine yönelik AR-GE faaliyetlerinin teşvik edilmesi ve daha fazla enerji yoğun ürünlerin karbon emisyon değerlerinin belirli seviyelere çekilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Türkiye örneğinde yapılan araştırmalar arasında ise Soytas ve Sari (2009), 1960-2000 yılları arası Türkiye’de karbon emisyonları ile ekonomik büyüme ilişkisini incelemiştir. Granger nedensellik test sonuçları karbon emisyonu ile ekonomik büyüme arasında herhangi bir nedensellik bağının olmadığını göstermektedir. Bu doğrultuda karbon emisyonlarını düşürmek için ekonomik büyümeden vazgeçmenin doğru olmadığı ifade edilmektedir.

Emek ve Çelebi (2021), Türkiye’de 1960-2015 yılları arası karbon emisyonu ile ekonomik büyüme ilişkisini incelemiştir. Gecikmesi dağıtılmış otoregresif (ARDL) yöntemi ile elde edilen bulgulara göre karbon emisyonu ile ekonomik büyüme arasındaki bağlantı negatiftir. Toda Yamamoto nedensellik testi, ekonomik büyümeden karbon emisyonuna doğru tek yönlü nedenselliğin varlığını göstermiş, Hatemi-J asimetrik nedensellik testine göre ise bu değişkenler arasında herhangi bir asimetrik nedensellik ilişkisi belirlenmemiştir.

Karaaslan ve Çamkaya (2022), Türkiye’de 1980-2016 yılları arası karbon emisyonu ile ekonomik büyüme ilişkisini incelemiştir. Gecikmesi dağıtılmış otoregresif (ARDL) yönteminden elde edilen bulgulara göre karbon emisyonu ile ekonomik büyümenin uzun ve kısa vadede ilişkili olduğu; Toda Yamamoto nedensellik testine göre ise ekonomik büyümeden karbon emisyonlarına doğru tek yönlü nedenselliğin varlığı tespit edilmiştir. Yenilenebilir kaynakların kullanımı yoluyla ekonomik büyüme odaklı politikalar izlenmesi; çevre kirliliğiyle mücadele için sağlık ve yenilenebilir enerji projelerine daha fazla yatırım yapılması gerektiği belirtilmektedir.

Birden fazla ülke örneğinde yapılan çalışmalar arasında ise Adom vd. (2012), 1971-2007 yılları arası Gana, Senegal ve Fas ülkeleri için karbon emisyonu ile ekonomik büyüme ilişkisini incelemiştir. Gecikmesi dağıtılmış otoregresif (ARDL) yöntemi ile elde edilen bulgulara göre bu ülkelerde karbon emisyonu ile ekonomik büyümenin ilişkili olduğu; Toda-Yamamoto nedensellik testine göre Gana ve Fas için çift yönlü, Senegal’de ise ekonomik büyümeden karbon emisyonlarına doğru tek yönlü nedenselliğin varlığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, verimli bir enerji sistemi geliştirilmesinin çevre üzerinde olumlu etkiler göstereceğini kanıtlamaktadır.

Kais ve Sami (2016), 1990-2012 yılları arası Avrupa ve Kuzey Asya, Latin Amerika ve Karayipler, Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Sahraaltı olmak üzere üç bölgeden 58 ülkenin karbon emisyonu ile ekonomik büyüme ilişkisini

incelemişlerdir. Dinamik panel veri yöntemleri ile elde edilen bulgulara göre tüm bölgelerde karbon emisyonu ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki pozitifdir. Enerji kullanımı arttıkça karbon emisyonlarının da artma eğiliminde olduğu, enerji israfıyla mücadele etmek, karbon emisyonlarını azaltmak ve ekonomik kalkınmaya zarar vermeden güvenli ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için 58 ülkenin karbon emisyonlarını azaltmaya, enerji ve karbon yönetimini güçlendirmeye yönelik çaba gösterilmesi gerektiği önerilmektedir.

Jebabli vd. (2023) de 1820-2021 yılları arası G7 ülkelerinde karbon emisyonları ile ekonomik büyüme arasındaki asimetrik ilişkiyi incelemişlerdir. Kantil vektör otoregresyon (Q-VAR) yöntemi ile elde edilen bulgular, karbon emisyonları ile ekonomik büyüme arasında asimetrik bir ilişkinin olduğunu doğrulamaktadır. Gelişmiş ülkeler, özellikle de G7 ülkelerinin yeşil ve düşük karbonlu bir büyüme modeline geçişinde gerek duyduğu teknolojik yatırımların ve mali desteğin sağlanması; ayrıca endüstriler için belirli bir emisyon standardının belirlenmesi ve emisyon izleme stratejilerinin uygulamaya konması gerektiği ifade edilmiştir.

Birden fazla ülke örneğinde Çevresel Kuznets hipotezinin geçerliliğini inceleyen çalışmalar arasında ise Narayan vd. (2016), 1960-2008 yılları arası beş gelir grubuna ayrılan 181 ülke için karbon emisyonları ile ekonomik büyüme ilişkisini incelemişlerdir. Çapraz korelasyona dayalı bir tahminleme modeli geliştirilmiştir. Bu modele göre eğer mevcut gelir düzeyi ile geçmiş karbon emisyon düzeyi arasında pozitif bir çapraz korelasyon; mevcut gelir düzeyi ile gelecekteki karbon emisyonları arasında negatif bir çapraz korelasyon varsa o zaman karbon emisyonlarının daha yüksek bir oranda azalması beklenmektedir. Bu doğrultuda elde edilen bulgulara göre beş gelir grubuna ayrılan ülkeler arasında yüksek gelirli ülkelerin %42'si çevresel Kuznets hipotezini doğrulamaktadır. Başta yüksek gelirli olmak üzere tüm ülkelerin yaklaşık %27'sinde kişi başına gelirin artması gelecekte karbon emisyonlarının azalacağını işaret etmektedir.

Olubusoye ve Musa (2020), 1980-2016 yılları arası üç gelir grubuna ait 43 ülke için çevresel Kuznets hipotezinin geçerliliğini sınamışlardır. Panel ARDL, ortalama grup (MG) ve havuzlanmış ortalama grup (PMG) ile elde edilen bulgulara göre bu ülkelerin %79'unda ekonomik büyüme ile karbon emisyonları arasındaki ilişkinin pozitif yönlü olduğu, ekonomik büyümenin yalnızca birkaç ülkede (%21) daha düşük karbon emisyonlarına yol açtığı görülmektedir. Ekonomik büyümedeki artış Afrika'nın çoğu ülkesinde daha yüksek karbon emisyonuna neden olmaktadır. Bu ülkelerde yenilenebilir enerjinin geniş çapta yaygınlaştırılması, karbon vergisi politikası ve karbon

emisyondaki artışı engellemek için karbon emisyonu ticaret planı gibi olası tüm politika eylemlerinin gerçekleştirilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Ayrıca konu ile ilgili yapılan diğer çalışmalar Tablo 1’de sunulmuştur.

*Tablo 1. Karbon Emisyonu ile Ekonomik Büyüme İlişkisine Dair Ampirik Literatür Özeti*

Yazar ve Çalışma Yılı	Ülke(ler)	Dönem Periyodu	Kullanılan Yöntemler	Değişkenler	Bulgu(lar)
Alam vd. (2016)	Brezilya, Çin, Hindistan ve Endonezya	1970-2012	ARDL Sınır Testi	Kişi başı GSYH, kişi başı karbon emisyon miktarı, kişi başı enerji tüketimi, nüfus artış hızı ve ticari açıklık	Brezilya, Çin ve Endonezya’da gelir arttıkça karbon emisyon miktarı da azalmaktadır. Hindistan’da ise tersi bir etkiye sahiptir.
Ghosh (2010)	Hindistan	1971-2006	ARDL Sınır Testi ve Granger Nedensellik Analizi	Reel GSYH, kişi başı karbon emisyon miktarı ve enerji tüketimi	Ekonomik büyüme ile karbon emisyonu arasında uzun dönemli, ayrıca kısa dönemde çift yönlü nedensellik ilişkisi vardır.
Lee ve Brahmaşre (2013)	22 Avrupa Birliği (AB) ülkesi	1988-2009	Panel Eşbütünleşme Testi ve Sabit Etkiler Modeli	GSYH, karbondioksit miktarı, doğrudan yabancı yatırımlar ve turizm geliri	Ekonomik büyüme ile karbon emisyonu arasında pozitif yönlü ilişki vardır.
Salman vd. (2019)	Endonezya, Güney Kore ve Tayland	1990-2016	Düzeltilmesi Yapılmış En Küçük Kareler (FMOLS), Dinamik En Küçük Kareler Yöntemi (DOLS) ve VECM Granger Nedensellik Analizi	Kişi başı GSYH, kişi başı karbon emisyon miktarı, ticari açıklık ve kurumsal kalite	Ekonomik büyüme ile karbon emisyonu arasında uzun dönemli, ayrıca uzun ve kısa dönemde çift yönlü nedensellik ilişkisi vardır.



Nguyen vd. (2020)	13 G-20 ülkesi	2000-2014	Düzeltilmesi Yapılmış En Küçük Kareler (FMOLS), Panel Veri Analizi Sabit Etkiler ve Panel Kantil Regresyon Analizi	Kişi başı GSYH, kişi başı karbon emisyon miktarı, ticari açıklık, inovasyon ithalat ve ihracat	Ekonomik büyüme ile karbon emisyonu arasındaki ilişki çevresel Kuznets hipotezini doğrulamaktadır.
Saidi ve Omri (2020)	Yenilenebilir enerji tüketen 15 ülke	1990-2014	Düzeltilmesi Yapılmış En Küçük Kareler (FMOLS), Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM) ve Granger Nedensellik Analizi	Kişi başı GSYH, kişi başı karbon emisyon miktarı, yenilenebilir enerji ve ticari açıklık	Ekonomik büyüme ile karbon emisyonları arasında hem kısa hem de uzun dönemde çift yönlü ilişki vardır.

*Kaynak: Çalışma ile ilgili kaynaklardan derlenerek hazırlanmıştır.*

### 3. Ampirik Analiz

Bu çalışmada G7 ülkelerinin 1991-2021 yıllarına ait ekonomik büyüme ile karbon emisyonu ilişkisi araştırılmıştır. Dolayısıyla bu bölümün konusunu ampirik analizlerde kullanılacak değişkenlere ait açıklamalar, model, ampirik yöntem ve bulgular oluşturmaktadır.

#### 3.1 Veri Seti ve Model

G7 ülkelerinde ekonomik büyüme ve çevresel kirlilik arasındaki ilişkiyi ele alan bu çalışmada değişkenlerin açıklamaları Tablo 2’de sunulmuştur.

*Tablo 2. Değişkenler ve Açıklamaları*

Değişkenin Kısaltması	Değişkenin Açıklaması	Kaynak
lnCO <sub>2</sub>	Kişi başı karbon emisyon miktarı	WDI
lnGDP	Kişi başı GSYH (cari ABD doları)	WDI

Çalışmada kirlilik göstergesi ve bağımlı değişken olarak kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu verisi alınmıştır. Bağımsız değişken ise ekonomik büyüme göstergesi olarak kişi başı GSYH verisidir. Her iki verinin elde edilmesinde World Bank Indicator (WDI) veri tabanından yararlanılmıştır. Analizlerde



değişkenlerin logaritmik formları dikkate alınmış ve aşağıdaki model (1) denkleminde yararlanılarak uygulamalar yapılmıştır.

$$\ln CO_{2it} = \sigma_{0i} + \sigma_1 \ln GDP_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Model 1'de t, zamanı; i, birimi ve  $\varepsilon_{it}$  hata terimini simgelemektedir. Bununla birlikte,  $\sigma_1$  bağımsız değişkenin katsayısını ifade etmektedir.

### 3.2 Yöntem ve Bulgular

Çalışmada kullanılan analizlerin sıralaması şu şekildedir: (1) Yatay kesit bağımlılığı, (2) CIPS panel birim kök testi, (3) Durbin-Hausman panel eşbütünlük testi ve (4) Düzeltmesi Yapılmış En Küçük Kareler (FMOLS) ve Dinamik En Küçük Kareler Yöntemi (DOLS) tahmincileridir. Yatay kesit bağımlılığının sınanmasında Breusch ve Pagan (1980)  $CD_{LM1}$ , Pesaran (2004)  $CD_{LM2}$ , Pesaran (2004) CD ve Pesaran vd. (2008)'ne ait testlere başvurulmuştur.

Breusch ve Pagan (1980) tarafından geliştirilen  $CD_{LM1}$  testine ilişkin (2) numaralı denklem aşağıda verilmiştir:

$$CD_{LM1} = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij}^2 \quad (2)$$

(3) numaralı denklem Pesaran (2004) tarafından geliştirilen  $CD_{LM2}$  testine ilişkindir:

$$CD_{LM2} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}} \left[ \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N T \hat{\rho}_{ij} \right] \quad (3)$$

Pesaran (2004) tarafından geliştirilen  $CD_{LM}$  testi ile ilgili (4) numaralı denkleme aşağıdaki gibidir:

$$CD_{LM} = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \left[ \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \right] \quad (4)$$

Son olarak, (5) numaralı denklem Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen  $CD_{LM1adj}$  testine aittir:

$$CD_{LM1adj} = \frac{1}{CD_{LM1}} \left[ \frac{(T-k) \rho_{ij}^2 \mu T_{ij}}{\sqrt{V_{ij}^2}} \right] \quad (5)$$

( $T > N$ ) durumunda  $CD_{LM1}$  ve  $CD_{LM2}$  testlerinden yararlanılmakta, ( $N > T$ ) durumunda ise  $CD_{LM}$  testi başvurulabilmektedir. Bu testlere ilişkin  $H_0$  hipotezi yatay kesitler arasında ilişkinin olmadığı yönünde bilgi sunmaktadır. Bu testlere ilişkin  $H_1$  hipotezi ise yatay kesitler arasında ilişkinin olduğu yönünde bilgi sağlar.

Tablo 3'te  $\ln CO_2$  ve  $\ln GDP$  için yatay kesit bağımlılığı test bulguları paylaşılmıştır.

*Tablo 3. Yatay Kesit Bağımlılığı İçin Bulgular*

Değişkenler	CD Testleri	$CD_{LM1}$	$CD_{LM2}$	CD	$LM_{adj}$
$\ln CO_2$	Test İst.	154.025	19.4461	19.3254	8.625994
	P- Değeri	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***
$\ln GDP$	Test İst.	200.9898	26.69291	26.57222	12.58728
	P-Değeri	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***

*Not: \*\*\*, %1 düzeyinde anlamlılığı ifade eder.*

Yatay kesit bağımlılığı testi bulguları %5 anlamlılık düzeyinde yatay kesit bağımlılığının var olduğunu ifade eden alternatif hipotezin kabul edildiğini göstermektedir. Yani, G7 ülkeleri arasında yatay kesit bağımlılığı söz konusudur. Yatay kesit bağımlılığının varlığı durumunda, değişkenlerin birim kök sınaması yapılırken ikinci nesil testlerin kullanılması gereklidir. Bu durumda çalışmada CIPS panel birim kök testinden yararlanılarak  $\ln CO_2$  ve  $\ln GDP$  için durağanlık sınaması yapılmıştır.

İkinci kuşak birim kök testinden biri olan CIPS testi, tüm serilerin durağanlığını hesaplayabilmektedir. Bu test için test istatistiği (6) numaralı denklemde yer almaktadır:

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CADF_i \quad (6)$$

CIPS testine göre paneli oluşturan tüm yatay kesit birimlerinde  $H_0$  hipotezi, birim kökün varlığını ortaya koymaktadır. Bu teste ilişkin  $H_1$  hipotezi ise paneli oluşturan tüm birimlerinde birim kökün olmadığını, diğer bir ifadeyle durağan olduğunu ifade etmektedir. Serilerin durağan olup olmadığına karar verilirken CIPS istatistik değeri ile Pesaran (2007) kritik tablo değerleri karşılaştırması yapılmaktadır. Kritik tablo değerlerinin CIPS test istatistiği değerlerinden büyük olması durumunda  $H_0$  hipotezi

reddedilmektedir. Dolayısıyla, panel serilerinin bütün olarak birim kök içermediği sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 4, bu testin bulgularını vermek amacıyla oluşturulmuştur.

*Tablo 4. CIPS Testi İçin Bulgular*

Değişkenler	Düzyey Değeri	1. Fark Değeri
lnCO <sub>2</sub>	-2.30	-4.66*
lnGDP	-2.27	-3.47*

*Not: Gecikme uzunluğu 2 olarak belirlenmiştir. Test modeli sabit terim içermektedir. Sabitte kritik değerler -2.38(%1) ve -2.33 (%5)'tir. Kritik değer hesaplamaları Pesaran (2007) çalışmasından elde edilmiştir. \*\*\*, %1 düzeyinde anlamlılığı ifade eder.*

Tablo 4'te yer alan CIPS testi bulgularından hareketle, lnCO<sub>2</sub> ve lnGDP değişkenleri birinci fark değerinde %1 anlamlılık düzeyinde durağandır. Pesaran ve Yamagata'nın (2008) geliştirmiş olduğu delta testi ile eğitim katsayılarının homojen ya da heterojen bir özelliğe sahip olduğu araştırılabilir. Tablo 4, bu testin bulgularını içermektedir.

*Tablo 4. Delta Testi İçin Bulgular*

Test istatistiği	Test ist.	P- Değeri
Delta_tilde	9.265	0.000***
Düzeltilmiş Delta_tilde	9.748	0.000***

*Not: \*\*\*, %1 düzeyinde anlamlılığı ifade eder.*

Elde edilen bulgular ışığında, değişkenlerin heterojen özellik sergilediği alternatif hipotezin kabul edilmesi neticesinde ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, değişkenler arasındaki ilişkiler analiz edilirken grup istatistiklerine bakılmalıdır. Değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişki Durbin-Hausman panel eşbütünleşme testi ile belirlenmiştir. Bu testin bulguları Tablo 5'teki gibidir.

*Tablo 5. Durbin-Hausman Eşbütünleşme Testi İçin Bulgular*

Test ist.	Test ist.	P-Değeri
Durbin-H Grup İst.	1.915	0.028**
Durbin-H Panel İst.	6.866	0.000***

*Not: \*\* ve \*\*\*, sırasıyla %5 ve %1 anlamlılık düzeyinde değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin bulunduğunu ifade etmektedir.*

Eşbütünleşme testi doğrultusunda elde edilen bulgular  $\ln\text{CO}_2$  ve  $\ln\text{GDP}$  değişkenleri arasında eşbütünleşik ilişkinin varlığını ortaya koymuştur. Son aşamada ise, uzun dönem katsayı tahmini yapılırken Philips ve Hansen (1990)'in geliştirdiği FMOLS ve Stock ve Watson (1993) tarafından geliştirilen DOLS tekniklerinden yararlanılmıştır. Bu testlerin bulguları Tablo 6'daki gibidir.

*Tablo 6. FMOLS ve DOLS Teknikleri İçin Bulgular*

Bağımlı Değişken: $\ln\text{CO}_2$		
	FMOLS	DOLS
LnGDP	-1.103*** (0.000)	-1.076*** (0.000)
R <sup>2</sup>	0.72	0.81

*Not: \*\*\*, %1 düzeyinde anlamlılığı ifade eder. Olasılık değerleri parantez içinde verilmiştir.*

Tablo 6,  $\ln\text{CO}_2$  ve  $\ln\text{GDP}$  arasında hem FMOLS hem de DOLS tekniklerine göre negatif yönlü bir ilişkinin olduğunu göstermiştir. Yani, ekonomik büyüme çevresel kirliliği G7 ülkelerinde azaltmaktadır.

## Sonuç

Son on yılda elde edilen kanıtlar, dünyanın karşılaştığı en önemli küresel sorunlardan bazılarının küresel ısınma ve iklim değişikliğinden kaynaklandığını göstermektedir (Adebayo vd., 2021). Bu dönem zarfında daha belirgin hale gelen küresel iklim değişikliğini açıklamak ve tahmin etmek için yoğun çaba sarf edilmektedir. Çeşitli araştırma ve raporlarda, küresel karbon emisyonuna neden olan en büyük etkenin fosil kaynaklı yakıtlar olduğu bildirilmektedir. Paris antlaşması gereği önümüzdeki on yıllarda ortalama yüzey sıcaklık artışının 1,5 dereceyi aşacağı beklentisine karşın tarafların acil ve hızlı önlemler alması hayatidir. Aksi taktirde hedef sınır olan 1,5 hatta 2 dereceyi aşması uzak bir ihtimal değildir. İklimle ilgili risklerdeki kademeli artış, ülkeleri mevcut ekonomik büyüme ve kalkınma yöntemlerini düşük karbonlu bir yöne kaydırmaya ve Paris antlaşmasının hedeflerini ilerletmeye yönelik stratejiler geliştirmeye sevk etmektedir (Adom vd., 2012).

Küresel anlamda bu denli olumsuz koşulların ortaya çıkmasına yol açan unsurun ekonomik büyüme olduğu gösterilse de çevresel Kuznets hipotezine göre çevresel kirlenme ile ekonomik büyüme ilişkisindeki seyirin bir müddet sonra olumlu yöne evrildiği öne sürülmektedir (belirli bir eşik seviyeden

sonra aralarındaki ilişkinin negatif işaretli olacağı beklenmektedir). Ancak literatürde, çevresel Kuznets hipotezinde belirtilen çevresel sorunların belirli bir ekonomik büyüme ve kalkınmadaki gelişimin ardından tersine döneceği görüşü tartışılmakta ve sorgulanmaktadır. Konu ile ilgili yapılan araştırmalarda odaklanılan hususun ise insan yaşamındaki pozitif değişikliklerin ekonomik büyüme olgusuna bağlanıldığı ve bunun da çevresel kirlenme pahasına gerçekleştirildiğidir. Bu doğrultuda dünyadaki yaşanabilirliği tehdit eden unsurların içinde ekonomik büyüme etkisinin var olup olmadığı, varsa nasıl ve ne yönde etkilediğini inceleyen pek çok çalışmaya rastlanılmaktadır.

Değerlendirmesi yapılan bu açıklamalar bağlamında, 1991 ile 2021 yılları arası gelişmiş 7 ülke (G7) için karbon emisyonu ile ekonomik büyüme arasındaki uzun dönem ilişkisi test edilmiş ve incelenmiştir. Çevresel Kuznets hipotezi baz alındığında, kalkınmanın çeşitli safhalarını tamamlayan bu ülkelerde ekonomik büyümenin çevresel kirlenme ile negatif yönlü korelasyona gireceği düşünülmektedir. Değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisi Durbin-Hausman panel eşbütünleşme testi ile belirlenmiştir. Eşbütünleşme testi doğrultusunda, kişi başı karbon emisyon miktarı ile kişi başı GSYH değişkenleri arasında eşbütünleşik ilişkinin varlığı ortaya konulmuştur. Daha sonra uzun dönem katsayı tahmini için tam düzeltilmiş en küçük kareler (FMOLS) ve dinamik en küçük kareler (DOLS) tahminicileri kullanılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre değişkenler arasındaki ilişki negatif yönlüdür. Yani G7 ülkelerinde ekonomik büyüme karbon emisyon miktarını azaltmaktadır. Bu sonuç, çevresel Kuznets hipotezinde iddia edilen ekonomik büyüme ve kalkınmanın belirli bir safhasından sonra çevresel kirlenmeyi olumsuz etkilemeyeceği bilakis kirlenmeyi azaltacağı iddiası ile kısmen tutarlıdır. Ancak yapılan bu çalışmada değişkenler arasındaki ilişki doğrusal bir model üzerinde incelenmiştir. Kuznets hipotezinde belirtilen “*ters-U*” ilişkisinin tespiti için doğrusal olmayan modellerin uygulanması önerilmektedir.

Bu bulgulara göre G7 ülkelerinde ekonomik büyüme, çevresel politikaların belirlenmesine engel teşkil eden bir unsur değildir. Ancak fosil kaynaklı enerji tüketiminin karbon emisyonunu artırdığına yönelik kanıtlardan dolayı geleneksel ekonomik büyüme modeli yerine daha temiz, çevreci ve sürdürülebilir bir ekonomik büyüme anlayışının geliştirilmesi gerekmektedir. Bunun için alternatif enerji kaynaklarının ağırlıklı kullanımına dayalı teknolojilere yatırım yapılması, dünyanın en fazla karbon emisyon salınımı yapan ülkelerinden biri olan ABD’nin Paris antlaşması yükümlülüklerini yerine getirmesi; başta gelişmiş ülkeler üzere dünyanın geri kalan ülkelerine de olumlu etki oluşturmaları bakımından önemli ve elzemdir.

## Kaynaklar

- Adebayo, T. S., Adedoyin, F. F., & Kirikkaleli, D. (2021). Toward a Sustainable Environment: Nexus between Consumption-Based Carbon Emissions, Economic Growth, Renewable Energy and Technological Innovation in Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 52272–52282.
- Adom, P. K., Bekoe, W., Amuakwa-Mensah, F., Mensah, J., & Botchway, E. (2021). Carbon Dioxide Emissions, Economic Growth, Industrial Structure, and Technical Efficiency: Empirical Evidence from Ghana, Senegal, and Morocco on the Causal Dynamics. *Energy*, 47, 314-325.
- Alam, M. M., Murad, M., Noman, A., & 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.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. (1980). The Lagrange Multiplier Test and its Applications to Model Specification in Econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239-253.
- Emek, Ö. F., & Özçelebi, O. (2021). Türkiye’de Çevresel Kuznets Hipotezinin Geçerliliği Bağlamında Karbon Emisyonu (CO<sub>2</sub>) ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Hatemi-J ve Zamanla Değişen Nedenlilik. *Bilgi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(2), 364-386.
- Ghosh, S. (2010). Examining Carbon Emissions Economic Growth Nexus for India: A Multivariate Cointegration Approach. *Energy Policy*, 38, 3008–3014.
- Jebabli, I., Lahiani, A., & Mefteh-Wali, S. (2023). Quantile Connectedness between CO<sub>2</sub> Emissions and Economic Growth in G7 Countries. *Resources Policy*, 81, 1-23.
- Kais, S., & Sami, H. (2016). An Econometric Study of the Impact of Economic Growth and Energy Use on Carbon Emissions: Panel Data Evidence from Fifty Eight Countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1101–1110.
- Karaaslan, A., & Çamkaya, S. (2022). The Relationship between CO<sub>2</sub> Emissions, Economic Growth, Health Expenditure, and Renewable and Non-Renewable Energy Consumption: Empirical Evidence from Turkey. *Renewable Energy*, 190, 457-466.
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 1-28.
- Lee, J. W., & Brahmasrene, T. (2013). Investigating the Influence of Tourism on Economic Growth and Carbon Emissions: Evidence from Panel Analysis of the European Union. *Tourism Management*, 38, 69-76.

- Mirza, F. M., & Kanwal, A. (2017). Energy Consumption, Carbon Emissions and Economic Growth in Pakistan: Dynamic Causality Analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1233–1240.
- Narayan, P. K., Saboori, B., & Soleymani, A. (2016). Economic Growth and Carbon Emissions. *Economic Modelling*, 53, 388–397.
- Nguyen, T. T., Pham, T., & Tram, H. (2020). Role of Information and Communication Technologies and Innovation in Driving Carbon Emissions and Economic Growth in Selected G-20 Countries. *Journal of Environmental Management*, 261, 1-10.
- Olubusoye, O. E., & Musa, D. (2020). Carbon Emissions and Economic Growth in Africa: Are They Related? *Cogent Economics & Finance*, 8(1), 1-21.
- Pesaran, M. H. (2004). *General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels*. Munich: Center for Economic Studies and ifo Institute (CESifo) Working Paper, No. 1229.
- Pesaran, M. H. (2007). A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross-Section Dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22, 265–312.
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing Slope Homogeneity in Large Panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93.
- Phillips, P. C., & Hansen, B. (1990). Statistical Inference in Instrumental Variables Regression with I(1) Processes . *The Review of Economic Studies*, 57(1), 99-125.
- Saidi, K., & Omri, A. (2020). The Impact of Renewable Energy on Carbon Emissions and Economic Growth in 15 Major Renewable Energy-Consuming Countries. *Environmental Research*, 186, 1-11.
- Salman, M., Long, X., Dauda, L., & Mensah, C. (2019). The Impact of Institutional Quality on Economic Growth and Carbon Emissions: Evidence from Indonesia, South Korea and Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 241, 1-14.
- Soytas, U., & Sari, R. (2009). Energy Consumption, Economic Growth, and Carbon Emissions: Challenges Faced by an EU Candidate Member. *Ecological Economics*, 68, 1667-1675.
- Waheed, R., Sarwar, S., & Wei, C. (2009). The Survey of Economic Growth, Energy Consumption and Carbon Emission. *Energy Reports*, 5, 1103–1115.
- Westerlund, J. (2008). Panel Cointegration Tests of the Fisher Effect. *Journal of Applied Econometrics*, 23, 193–233.
- Zhang, X.-P., & Cheng, X.-M. (2009). Energy Consumption, Carbon Emissions, and Economic Growth in China. *Ecological Economics*, 68, 2706–2712.