

CO₂ Emisyonunu Etkileyen Göstergeler: Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler Analizi

Mefule Fındıkçı Erdoğan¹

Özet

Sürdürülebilir bir kalkınma stratejisi oluşturulurken, ekonomik büyüme ve çevre koruma arasındaki denge kritik bir öneme sahiptir. Bu dengenin sağlana bilmesi için çevre ve ekonomik kalkınma ilişkisinin yön ve şeklinin belirlenmesi gerekmektedir. Çevresel faktörler ekonomik, sosyal ve demografik göstergelerin bir yan etkisi olarak oluştuğu gibi bu göstergeleri de etkilemektedir. Özellikle son dönemlerde ortaya çıkan çevre kirliliği ve iklim değişikliğinin ekonomik, finansal, sosyal, demografik etkilerinin bireysel, kurumsal ve toplumsal sonuçları izlenmeden kaliteli gelişme ve kalkınma sürecinin tasarlanması mümkün gözükmemektedir. Bu bağlamda çevresel faktörleri etkileme ve etkilenme şeklinin belirlenmesi oluşturulacak politika kararları açısından yol gösterici bir niteliğe sahip olacaktır. Çalışmada, çevre kirliliğini etkileyen faktörlerin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bağlamında incelenmesi amaçlanmıştır. Çevre kirliliği göstergesi olarak literatürde sıklıkla ele alınan CO₂ emisyonu kullanılmıştır. Çalışmada 2009-2020 dönemi için seçilmiş gelişmiş ve gelişmekte olan 62 ülkenin verileri kullanılarak CO₂ emisyonunu etkileyen göstergeler dinamik panel veri analizi yöntemi ile irdelenmiştir. Çalışmada kişi başına milli gelir, enerji yoğunluğu, yüksek teknoloji ihracatı ve nüfus göstergeleri ele alınırken ayrıca çalışmada küresel ekonomik faaliyetlerin sekteye uğradığı COVID-19 dönemi kukla değişken olarak modele dahil edilmiş ve dönemin CO₂ emisyonuna etkisi incelenmiştir. Çalışmada, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler açısından CO₂ emisyonunun göstergelerden etkilenme yönünün farklılaştığı belirlenmiştir.

1. Giriş

21. yüzyıl ekonomileri benzeri görülmemiş farklı krizler ve kırılğanlıklarla sınanmakta ve bunun sonucu olarak yeni normal arayışları bağlamında

1 Dr., İstanbul Ticaret Üniversitesi, Düşünce ve Proje Akademisi, mfindikci@ticaret.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-0150-0990

ulusal/uluslararası dönüşüm/değişim süreçleri geçirmektedir. Bu krizlerin/kırılganlıkların önemli konu başlıklarından biri olarak da iklim değişikliği ve çevresel sürdürülebilirlik ortaya çıkmaktadır. Uluslararası kurum/kuruluşlar, son yıllarda iklim değişikliği sorununun üstesinden gelmek için çeşitli çevre koruma protokolleri ve anlaşmalar geliştirerek ülkeleri, çevresel sorunlar yaratan faaliyetlerin gözden geçirilmesi ve geliştirilen politikalar çerçevesinde çevre dostu dönüşümün sağlanması noktasında teşvik etmektedir. Ancak, teknoloji hamleleri ile hızla kalkınma ve büyümeye odaklanmış ekonomiler, üretim, tüketim ve pazar arayışları içerisinde enerji ihtiyaçları ile yüzleşirken ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirlik arasında denge sağlama konusunda zorluklar yaşamaktadır.

Gelişmiş ve yükselen ekonomilerin, 21.yüzyıl ulusal makroekonomik yapı ve ilişkiler sisteminin kalitesini daha da artıracak düşünülen yüksek teknolojik gelişmelere önem verdiği ve ülkelerin uluslararası ekonomik ilişkilerini daha sıkı bağlar ile gerçekleştirdiği yeni ve farklı yapı ve ilişkiler ağının oluşturulduğu görülmektedir. Nitekim bu ilişkiler ağı doğrultusunda, ülkelerin ileri teknolojinin etkisi ile üretim sürecini gerçekleştirmesi sonucunda sürdürülebilir bir kalkınma olanağı oluşacaktır. 21. yüzyıl ekonomisinde sürdürülebilir kalkınma için ise çevresel, sosyal ve ekonomik faktörlerin ortak bir paydada hareket edebilmesi oldukça önemlidir. Bu doğrultuda ülkeler makroekonomik yapı ve ilişkiler sistemini kurgularken ekonomi politikaları, teknoloji ve beşerî ilişkileri doğrultusunda yeniden şekillendirilmeli ve bu sürece önemli bir faktör olarak çevresel etkiler eklenmelidir. Çevresel faktörlerin göz ardı edildiği bir yaklaşımda ise beşerî sermayeye yönelik yatırımların göz ardı edilebilmesiyle yüksek teknoloji çalışmalarının ulusal kalkınmaya muhtemel olumlu katkısı, sürdürülebilirlikten uzak ve kısa dönemli olabilecektir. Kısa dönemli ve dalgalı ekonomik etkiler ise ekonomik yapı ve ilişkiler sisteminde istikrarsızlığı ve öngörülemez politikaları da beraberinde getireceği için diğer makroekonomik göstergelerde de kırılganlıkların oluşmasına veya var olan kırılgan alanların uzun dönemde derinleşmesine neden olabilecektir. Yüksek teknoloji çalışmaları, sosyal, siyasal, kültürel, çevresel ve ekonomik birçok boyuttaki değişkenler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmesi durumunda sürdürülebilir büyümeye olumlu katkılar sunacaktır. Bu minvalde ekonomi politikaları geliştirilirken çevresel faktörlerin etkilerinin analiz edilmesi ülkelerin kalkınma serüveninde önemli bir rol oynarken çevre politikalarının da eş güdümlü olarak ele alınmasına olanak sağlayacaktır. Bu nedenle, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için ulusal koşulları ve gereksinimleri dikkate alarak stratejiler geliştirmek kritik öneme sahiptir.

Bu bağlamda çalışmada, çevre kirliliğini etkileyen faktörlerin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bağlamında incelenmesi amaçlanmıştır. Çevre kirliliği

göstergesi olarak literatürde sıklıkla ele alınan CO2 emisyonu kullanılmıştır. Çalışmada 2009-2020 dönemi için seçilmiş gelişmiş ve gelişmekte olan 62 ülkenin verileri kullanılarak CO2 emisyonunu etkileyen göstergeler dinamik panel veri analizi yöntemi ile irdelenmiştir. Çalışmada kişi başına milli gelir, enerji yoğunluğu, yüksek teknoloji ihracatı ve nüfus göstergeleri ele alınırken ayrıca çalışmada küresel ekonomik faaliyetlerin sekteye uğradığı COVID-19 dönemi kukla değişken olarak modele dahil edilmiş ve dönemin CO2 emisyonuna etkisi incelenmiştir.

2. Literatür

Ekonomik büyümenin temel itici güçleri olan sanayileşme ve kalkınmanın, fayda/maliyet ekseninde önemli bir yansıması çevresel etkiler olarak ortaya çıkmaktadır. Ar-Ge harcamaları, inovasyon, enerji geçişi ve ekonomik büyüme gibi faktörlerin, çevreyi olumlu/olumsuz şekilde etkileyebileceği ve bu etkilerin yön/şeklinin ülkelerin yapısına göre farklılık gösterebileceği literatürde tartışılmaktadır. Çevre kirliliği ile kişi başına düşen gelir arasındaki ters U şeklindeki ilişkinin Grossman ve Kreuger (1991) tarafından ileri sürülmesinden bu yana hızla gelişen literatürde nüfus, enerji yoğunluğu, ticaret, yüksek teknoloji, krizler vb. birçok faktörün çevre kirliliğini etkisi incelenmiştir. Stern (2002), 1973-1990 dönemi için 63 ülke grubuna ait verileri kullanarak kükürt emisyonlarının kişi başına milli gelir ile ilişkisini incelemiştir. Bulgular ekonomik büyümenin düşük gelir düzeylerinde çevrenin durumunu kötüleştirdiğini, yüksek gelir düzeylerinde ise iyileştirdiğini desteklemiştir. Grimes ve Kentor (2003), çalışmalarında 66 az gelişmiş ülkenin 1980 -1996 dönemi verilerini kullanarak yabancı yatırımların karbon emisyonuna etkilerini incelemiştir. Bu bağlamda elde edilen bulgular yabancı sabit yatırım girişi ile karbon emisyonu arasında pozitif yönlü ilişki varlığını göstermiştir. Frankl ve Rose (2005), çalışmalarında ticaretin çevre üzerindeki etkisini irdlemiştir. Bulgular ticari faaliyet düzeyinin artmasının daha fazla üretime ve sonuçta kirliliğin artmasına yol açtığını göstermiştir. Ayrıca çalışma, demokrasi derecesi ve nüfus yoğunluğu gibi çevreyi etkileyen önemli dışsal faktörlerin de olduğunu vurgulamaktadır. Apergis ve Payne (2009), 6 Orta Amerika ülkesinde 1971-2004 dönemi için CO2 emisyonları, enerji tüketimi ve üretim arasındaki ilişkileri incelemiştir. Uzun vadede enerji tüketiminden çıktıya doğru tek yönlü, enerji tüketimi ile reel çıktı arasında çift yönlü, uzun vadede ise enerji tüketimi ile emisyonlar arasında çift yönlü bir nedensellik olduğu belirlenmiştir.

Pao ve Tsai (2011), çalışmalarında BRIC ülkelerinde karbondioksit emisyonları, enerji tüketimi, doğrudan yabancı yatırım ile ekonomik büyüme nedenselliği incelemiştir. Çalışmada uzun vadeli dengede

enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını artıran bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Sharma (2011), gelişmiş ve gelişmekte olan 69 ülke için 1985-2005 döneminde karbon emisyonunun ekonomik ve sosyal belirleyicilerini incelemiştir. Çalışma, ticari açıklık derecesi, kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasıla ve enerji tüketimi ile karbondioksit gazı üretimi arasında olumlu bir bağlantı olduğunu göstermiştir. Ayrıca farklı gelir düzeyine sahip tüm ülkelerde kentleşme derecesiyle CO₂ emisyonu arasında da ters yönlü bir ilişki olduğu ortaya çıkarılmıştır. Piaggio ve Padilla (2012), çalışmalarında 1950-2006 dönemi için 31 ülkenin CO₂ emisyonları ile ekonomik faaliyetleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bulgular, hava kirliliği ile ekonomik faaliyet arasındaki ilişki incelenirken ülkeler arasındaki farklılıkların dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Knight ve Schor (2014), çalışmalarında yüksek gelir grubuna dahil 29 ülkenin 1991-2008 dönemi verilerini kullanarak ekonomik büyümenin karbon salınımı ile ilişkili olduğuna yönelik sonuçlar sunmuşlardır. Aye ve Edoja (2017) ise çalışmalarında 31 gelişmekte olan ülkede GSYH ile CO₂ emisyonu arasında negatif yönlü bir ilişki olduğunu göstermişlerdir.

Ahmad vd. (2020) çalışmalarında, gelişmekte olan ekonomilerde, doğal kaynaklar, teknolojik yenilikler, ekonomik büyüme ve bunların sonucunda ortaya çıkan ekolojik ayak izi arasındaki bağlantıları 1984-2016 dönemindeki verileri kullanarak ikinci nesil panel eşbütünleşme metodlarıyla analiz sürecini gerçekleştirmektedir. Eşbütünleşme sonuçlarıyla ekolojik ayak izi, doğal kaynaklar, teknolojik yenilikler ile ekonomik büyüme arasında istikrarlı ve uzun dönemli bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Uzun vadede, doğal kaynaklar ve ekonomik büyüme ekolojik ayak izini artırıp genişletirken, teknolojik yenilikler bu olgunun bir sonucu olarak meydana gelen çevresel bozulmayı azaltmada yardımcı olmaktadır.

Çil (2021) çalışmasında 1971-2013 dönemi BRICS ülkelerinde enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişkinin yanı sıra Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini eşbütünleşme yöntemi ile incelemiştir. Bulgular, değişkenler arasında bir eşbütünleşme ilişkisi olduğunu ortaya koymakta, uzun dönemli katsayılar enerji tüketimindeki ve ekonomik büyümedeki artışın CO₂ emisyonlarını artırdığını göstermektedir. Ayrıca ekonomik büyüme ile karbondioksit emisyonları arasında ters U şeklinde bir ilişki doğrulanmıştır.

Xu, Wang ve Guo (2022) çalışmalarında, IMF tarafından yapılan sıralamaya göre dünyanın beş büyük ekonomisi (B5) (ABD, Çin, İngiltere, Almanya ve Japonya) dikkate alınarak yenilenebilir enerji adaptasyonu, finansal kalkınma ve küreselleşmenin çevresel kalite ve ekonomik ilerleme

üzerindeki rolünün yeniden araştırılmasını amaçlamışlardır. Bu çalışmada, panel birim kök testi, Pedroni eşbütünleşme analizi, panel FMOLS ve panel DOLS dahil olmak üzere veri analizi için panel teknikleri uygulanmaktadır. Sonuçlar, yenilenebilir enerji adaptasyonunun B5 ülkelerinde çevresel kaliteyi iyileştirmek ve ekonomik ilerlemeyi güçlendirmek için çevresel etkiyi azalttığını ortaya koymaktadır. Finansal gelişme, sermaye oluşumu, doğal kaynaklar ve küreselleşme ekonomik ilerlemeyi artırır da bu faktörlerin çevre kalitesi için olumsuz sonuçlar yarattığı da gözlenmektedir. Ek olarak bunun ekonomi ve çevre arasında bir değiş tokuş olduğu düşünülmektedir. Ayrıca ticaretin rolü, B5 ekonomilerinde çevresel kalite ve ekonomik ilerleme için yapıcı olarak tespit edilmiştir.

Celik ve Alola (2023) çalışmalarında, gelişmiş ekonomilerin teknolojik gelişimi ve iklim değişikliğini azaltma planı dikkate alınarak 2000-2018 döneminde teknolojiye en çok yatırım yapan seçilmiş ülkelerin panel verisi için çevresel bozulmayı azaltmada yenilikler, yüksek teknoloji ihracatı, işgücü verimliliği, sermaye stoku, araştırma ve geliştirme, bilgi ve iletişim teknolojisi, sermaye stoku ve enerji kullanımı gibi sürdürülebilir kalkınma unsurlarının rolünü incelemektedir. Çalışmanın bulgularına sermaye stokunun çevresel etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Aynı zamanda, işgücü verimliliği, inovasyon, Ar-Ge, bilgi ve iletişim teknolojisi ve enerji, incelenen ülkelerdeki ekolojik kaliteyi daha da engellemektedir.

Razzaq vd.'nin (2023) çalışmalarında, 1990-2018 dönemi verileriyle ABD'de geri dönüşüm, iklim teknolojileri, ticaret ve tüketime dayalı karbon emisyonları arasındaki asimetrik bağlantılar incelenmektedir. Çalışmanın analiz sürecinde asimetrik uzun dönem eşbütünleşme ve nedenselliği keşfetmek için kantil otoregresif dağıtıcı gecikme (QARDL) ve Granger kantiller arası nedensellik kullanılmaktadır. Uzun vadeli sonuçlar, geri dönüşüm ve iklim teknolojilerin uzun vadede, özellikle sırasıyla düşük-yüksek (0,05-0,70) ve düşük-yüksek (0,05-0,95) emisyon miktarlarında karbon emisyonunu önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Ticarete dayalı ortak değişkenler, ithalatın üst-orta ila en yüksek (0,70-0,95) emisyon miktar dilimlerinde karbon emisyonuna önemli ölçüde katkıda bulunduğunu, ihracatın ise en düşük ila en yüksek (0,05-0,95) emisyon miktar dilimlerinde karbon emisyonunu önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Kısa dönemli esneklikler ise benzer bir yöne sahip olmaktadır ancak büyüklükleri ve anlamlılıkları nicelikler arasında farklılık göstermektedir.

Hong ve Zhang (2023) çalışmalarında, ekonometrik analiz yöntemlerini kullanarak 2013-2020 yılları arasında Bitcoin ticareti yapan ilk 20 yükselen piyasada ekonomisinde Bitcoin ticareti, ekonomik büyüme ve enerji kullanımının

CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini ampirik olarak test etmekte ve panel verilerinde yatay kesit bağımlılığı, eğim heterojenliği ve birim köklerin varlığına ilişkin sonuçları ele almaktadır. Sonuçlara göre Bitcoin ticareti, ekonomik büyüme ve enerji kullanımı, uzun vadeli bir perspektifte ele alındığında CO₂ emisyonları üzerinde önemli ölçüde pozitif bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca CO₂ emisyonlarının, her üç belirleyici ile çift yönlü nedensel bir korelasyona sahip olduğu da görülmektedir. Çalışma, yüksek teknolojik gelişmelerin yaşandığı 21. yüzyılda gelişmekte olan piyasa ekonomilerine yönelik Bitcoin ticareti için çevre dostu teknolojiler sunmaları, mevcut kapsamlı ekonomik büyüme modunu değiştirmeleri ve sürdürülemez enerji tüketimine karşı koruma sağlamaları yönünde tavsiyede bulunmaktadır.

Xing vd. (2023) çalışmalarında, 1990-2019 yılları arasında Asya ekonomilerine ait panel veri regresyonu kullanılarak Çevresel Kuznets Eğrisi ve nüfus, refah ve teknolojiye göre stokastik etkiler yapısı birlikte uygulanmıştır. Bu çalışmada, dinamik panel veri yöntemlerinden panel otomatik regresif dağıtılmış gecikme (ARDL) ve havuzlanmış ortalama grup yaklaşımları kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, kişi başına düşen ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ters U şeklindeki ilişkinin desteklenmediğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu çalışma, yeniliklerin daha düşük büyüme seviyelerinde Çevresel Kuznets Eğrisine ulaşılmasını kolaylaştırabileceğini bulmaktadır. Bu çalışma, ters U şeklindeki ilişkinin araştırılmasına yönelik metodolojik anlayışa katkıda bulunmakta ve Çevresel Kuznets Eğrisi modelinin işleyişini açıklamaktadır. Çalışmada sunulan ampirik kanıtlar Çevresel Kuznets Eğrisinin varlığına meydan okumakta ve inovasyonu Asya ekonomilerinin sürdürülebilir kalkınmaya ulaşması için uygulanabilir bir yaklaşım olarak önermektedir.

Tiwari vd. (2023) çalışmalarında, 1997-2020 dönemi için enerji geçişi, iklim politikası sıklığı, sanayileşme ve tedarik zinciri baskısının rolü dikkate alınarak döngüsel ekonominin CO₂ emisyonu büyümesi üzerindeki etkisini panel kantil Otoresif Dağıtılmış Gecikmeler (QARDL) ve panel PMG analiz yöntemleri kullanarak inceleme gerçekleştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışma, döngüsel ekonomi ve iklim politikası sıklığının karbon emisyonlarını önemli ölçüde olumsuz etkilediğini göstermektedir. Ayrıca enerji dönüşümü, sanayileşme ve tedarik zinciri baskılarının kısa ve uzun vadede CO₂ emisyonlarının belirlenmesinde önemli olduğuna da dikkat çekilmektedir. Bu çalışmanın ampirik sonuçları, gelişmiş ekonomilerdeki ve gelişmekte olan piyasalardaki politik otoritelere yönelik ekonomik büyümeyi ve sürdürülebilir kalkınmayı durdurmadan CO₂ emisyonlarını azaltmak için

döngüsel ekonomi, enerji geçişi, çevre politikası sıklığı ve tedarik zinciri baskısı arasındaki dengelyi korumalarına yönelik öneri seti sunmaktadır.

3. Veri ve Yöntem

3.1. Veri

Çalışmada, CO2 emisyonuna kişi başına milli gelir, nüfus, enerji yoğunluğu, yüksek teknoloji ihracatı göstergelerinin etkisi 62 gelişmiş ve gelişmekte olan ülkenin 2009-2020 dönemini kapsayan verileri kullanılarak dinamik panel veri analizi ile incelenmiştir. Ayrıca çalışmada 2020 yılı COVID-19 dönemi olarak ele alınmış ve kukla değişken olarak modele eklenmiştir. Çalışmanın amacına yönelik olarak CO2 emisyonu üzerine ilgili göstergelerin etkisi hem bütüncül bir yaklaşımla hem de gelir gruplarına göre ayrıştırılarak incelenmiştir. Gelir gruplarına göre ülke tasnifi IMF ülke kategorilerinden yararlanılarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler olarak ayrıştırılmıştır.²

Tablo 1. Göstergeler

Kod	Tanım	Kaynak
$CO2_{it}$	CO2 emisyonu (kt)	World Bank
$GSYH_{it}$	Gayrisafi Yurt İçi Hasıla, (Kişi Başına (\$))	
Pop_{it}	Nüfus, (Bin kişi)	
HTE_{it}	Yüksek Teknoloji İhracatı (Bin \$)	
EN_{it}	Birincil Enerjinin Enerji Yoğunluğu Düzeyi (MJ/2017 \$ SAGP GSYH)	
$COVID_t$	$COVID_t = \begin{cases} 1, & \text{COVID - 19 dönemi} \\ 0, & \text{diğer dönemler} \end{cases}$	

Tüm ülkeleri kapsayan Model 1, gelişmiş ülkeleri kapsayan Model 2 ve gelişmekte olan ülkeleri kapsayan Model 3 tahmin edilmiştir.

2 Gelişmiş ülkeler: Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada, Danimarka, Fransa, Almanya, İrlanda, İsrail, İtalya, Japonya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Hollanda, Yeni Zelanda, Norveç, Portekiz, Singapur, Slovakya, Slovenya, İsveç, İsviçre, İngiltere, ABD, İspanya, Hırvatistan, Çekya, Kore, Finlandiya, Yunanistan.
Gelişmekte olan ülkeler: Arjantin, Ermenistan, Azerbaycan, Belarus, Bosna Hersek, Brezilya, Bulgaristan, Şili, Çin, Kolombiya, Mısır, Estonya, Macaristan, Hindistan, Endonezya, Kazakistan, Kırgızistan, Mauritius, Meksika, Pakistan, Paraguay, Peru, Polonya, Romanya, Rusya, Güney Afrika, Tayland, Tunus, Türkiye, Uruguay, Vietnam

Model 1:

$$lCO2_{it} = \beta_1 lCO2_{it-1} + \beta_2 lGSYH_{it} + \beta_3 lPop_{it} + \beta_4 lHTE_{it} + \beta_5 lEN_{it} + \beta_6 COVID_t + u_{1it}$$

Model 2:

$$lCO2_{it} = \beta_1 lCO2_{it-1} + \beta_2 lGSYH_{it} + \beta_3 lPop_{it} + \beta_4 lHTE_{it} + \beta_5 COVID_t + u_{1it}$$

Model 3:

$$lCO2_{it} = \beta_1 lCO2_{it-1} + \beta_2 lGSYH_{it} + \beta_3 lPop_{it} + \beta_4 lHTE_{it} + \beta_5 lEN_{it} + \beta_6 COVID_t + u_{1it}$$

3.2. Yöntem

Çalışmada CO₂ emisyonun geçmiş dönem etkilerini de incelemek amacıyla dinamik panel veri modellerinden biri olan Arellano ve Bond (1991) genelleştirilmiş momentler (GMM) tahmincisi kullanılmıştır. Bu yöntem, birinci fark modelinin hata terimlerindeki negatif otokorelasyonu kontrol etmek için kullanılmakta ve birinci fark modeli araç değişken matrisi kullanılarak dönüştürüldükten sonra genelleştirilmiş EKK yöntemiyle tahminler gerçekleştirilmektedir. Bağımlı değişkenin gecikmeli değişkeni bağımsız değişken olarak ele alınan en basit model dinamik model yapısı şu şekildedir:

$$y_{it} = \alpha y_{i(t-1)} + \eta_i + v_{it}$$

N ayrı zaman serisinin (y_{i1}, \dots, y_{it}) rassal bir örneğinin mevcut olduğunu varsayılmaktadır. v_{it} değerinin sonlu momentlere sahip olduğu ve özellikle $t \neq s$ için $E(v_{it}) = E(v_{it}v_{is}) = 0$ olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayımlarla, iki veya daha fazla dönem gecikmeli y değerleri birinci farklardaki denklemlerde geçerli araçlardır. Modele (k - 1) bağımsız açıklayıcı değişkenler dâhil edilerek genişletildiğinde model yapısı şu şekilde oluşacaktır:

$$y_{it} = \alpha y_{i(t-1)} + \beta' x_{it}^* + \eta_i + v_{it} = \delta x_{it} + \eta_i + v_{it}$$

Burada $x_{it} = (y_{i(t-1)} x_{it}^*)'$ kx1 ve v_{it} korelasyonlu değildir. Başlangıçta x_{it}^* 'lerin tamamının η_i ile ilişkili olduğu varsayılmaktadır. Bu bağlamda, araç değişkenlerin optimal matrisinin biçimi, x_{it}^* 'in önceden belirlenmiş mi yoksa tamamen dışsal değişkenler mi olduğuna bağlıdır. İkinci dereceden otokorelasyon varlığını sınamak amacıyla Arellano ve Bond (1991) tarafından dinamik panel veri modelleri için otokorelasyon testi önerilmiştir. Kullanılan modelde ikinci dereceden otokorelasyon olmaması GMM tahmincisinin etkin olması için gerekli bir koşuldur (Yerdelen Tatoğlu, 2018). Birinci farklar eşitliğindeki kalıntılara dayanan testin temel hipotezi $H_0: E(v_{i,t} v_{i,t-2}) = 0$ şeklinde tanımlanmaktadır.

$$m_2 = \frac{\hat{v}_* \hat{v}'_{-2}}{\hat{v}^{1/2}}$$

$E(v_{i,t} v_{i,t-2}) = 0$ varsayımı altında \hat{v} ;

$$\hat{v} = \sum_{i=1}^N v'_{i(-2)} \hat{v}_* v'_i \hat{v}_{i(-2)} - 2\hat{v}_{-2} X_* (\bar{X}' Z A_N Z' \bar{X})^{-1} X' Z A_N \left(\sum_{i=1}^N Z'_i \hat{v}_i \hat{v}'_{i*} \hat{v}_{i(-2)} \right) + \hat{v}_{i(-2)} X_* a v \hat{a} r(\hat{\delta}) X'_i \hat{v}_{-2}$$

tanımlanmaktadır. Sadece $T_i \geq 5$ durumunda m_2 testine ilişkin sonuçlar elde edilebilmektedir.

Dinamik panel veri analizi modellerinin doğruluğu, kullanılan araç değişkenlerin dışsal olduğu varsayımına dayanmaktadır. Sargan (1958) testinin Hansen (1982) tarafından genelleştirilmiş momentler tahmin yöntemine uyarlanması ile elde edilen Sargan test istatistiği şu şekilde verilmiştir:

$$\text{Sargan test istatistiği} = \Delta \hat{u}' Z \left(\sum_{i=1}^N (Z'_i \Delta \hat{v}_i \Delta \hat{v}'_i Z_i)^{-1} \right) Z' \Delta \hat{v}$$

Test sonucunun p-k serbestlik dereceli ki-kare dağılımına uygunluk göstermesi gerekmektedir. Burada p, Z araç değişken matrisinin sütun sayısını ve k tahmin edilen parametre sayısını ifade etmektedir. Ayrıca $p > k$ koşulunun sağlanması beklenmekte ancak bu testin güvenilirlik derecesi araç değişken sayısının artması ile artmaktadır (Blundell, Bond, & Windmeijer, 2001).

4. Bulgular

4.1. Tanımlayıcı İstatistikler

Çalışmada kullanılan göstergelere ilişkin tanımlayıcı istatistikler tüm ülkeler ve gelir gruplarına göre ayrıştırılarak Tablo 2'de verilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, karbon emisyonunun gelişmekte olan ülkelerde gelişmiş ülkelere göre daha yüksek seviyelerde olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca incelenen ülkeler arasında en yüksek ve en düşük karbon emisyonu seviyesinin de gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Çin ve Mauritius olduğu görülmektedir. Karbon emisyonlarının gelişmişlik düzeyine göre farklılık göstermesi çeşitli faktörlere dayanabilmektedir. Birincisi, gelişmekte olan ülkeler genellikle daha fazla endüstrileşme ve kalkınma aşamasındadır ve bu da daha fazla enerji talebi anlamına gelebilmektedir. Daha fazla enerji kullanımı, fosil yakıtların daha fazla tüketilmesine ve dolayısıyla CO2 emisyonlarının artmasına neden olabilmektedir. Öte yandan, gelişmekte olan ülkeler arasında

en yüksek ve en düşük karbon emisyonu seviyelerinin farklılığı, bu ülkelerin ekonomik büyüme hızları, endüstriyel yapıları ve enerji kaynaklarının farklılığına bağlı olabilmektedir. Örneğin, Çin gibi büyük bir gelişmekte olan ülkenin endüstriyel üretimi yüksektir ve bu da yüksek CO₂ emisyonlarına yol açabilmektedir. Mauritius gibi daha küçük bir gelişmekte olan ülke ise endüstriyel üretimde daha küçük bir etkiye sahip olduğu ifade edilebilmektedir.

Kişi başına milli gelir seviyesi yüksek olan gelişmiş ülkeler aynı zamanda yüksek teknoloji ihracatı bakımından da ortalama olarak gelişmekte olan ülkelere göre daha yüksek bir seviyeye sahiptir. Ancak ilgili dönemde en yüksek teknoloji ihracatı seviyesi gelişmekte olan ülkelere göre biri olan Çin'e aittir. Kişi başına milli gelir seviyesi yüksek olan gelişmiş ülkelerin, daha yüksek teknoloji ihracatı seviyelerine sahip olmaları, genellikle daha gelişmiş teknoloji altyapısına ve endüstriyel kapasiteye sahip olduklarını göstermektedir. Ancak Çin gibi gelişmekte olan ülkeler, büyük nüfusları ve hızlı endüstriyel büyümeleri sayesinde yüksek teknoloji ihracatı seviyelerine ulaşabilme potansiyeline sahiptir. Gelişmekte olan ülkelerin gelişmiş ülkelere nazaran daha fazla birincil enerji yoğunluk düzeyine sahip olduğu görülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerin daha fazla birincil enerji yoğunluk düzeyine sahip olmaları, genellikle enerji verimliliği eksikliği, daha eski ve az gelişmiş enerji altyapısı ve daha fazla enerji yoğun endüstrilerle ilişkilendirilebilmektedir. Bu da daha fazla enerji tüketimine ve dolayısıyla daha yüksek CO₂ emisyonlarına neden olmaktadır.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

	Değişken	Ortalama	Std. Sapma	Min	Max
Toplam	CO ₂	459258	1388159	3423	10900000
	Pop	85800	239000	498	1410000
	GSYH	25855	24254	871	123679
	HTE	35000	87600	0.36	757000
	EN	4.06	1.49	1.22	8.95
Gelişmiş Ülkeler	CO ₂	346558	886796	6928	5392109
	Pop	32900	60000	497.783	332000
	GSYH	43743	22674	11421	123679
	HTE	42300	55500	375.9225	216000
	EN	3.68	1.20	1.22	7.34
Gelişmekte Olan Ülkeler	CO ₂	571957	1745648	3423	10900000
	Pop	139000	324000	1247	1410000
	GSYH	7968	4725	871	23595
	HTE	27700	110000	0	757000
	EN	4.44	1.65	2.13	8.95

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki karbon emisyonlarını azaltma çabalarının her iki grup için de benzersiz zorlukları ve fırsatları olduğu bilinmektedir. Gelişmiş ülkeler, teknoloji ve kaynaklara daha fazla erişime sahipken, gelişmekte olan ülkeler ekonomik büyüme ihtiyaçlarına odaklanmak zorundadır. Bu nedenle, küresel iş birliği ve sürdürülebilir kalkınma çabaları her iki grup için de oldukça önemlidir.

4.2. Dinamik Panel Veri Analizi Bulguları

Bu çalışmada, Arellano ve Bond tek aşamalı GMM, Arellano ve Bond İki Aşamalı GMM ve Arellano ve Bond İki Aşamalı GMM Dirençli Standart Hata tahmincisi kullanılarak CO₂ emisyonunu etkileyen faktörler incelenmiştir. İlk aşamada ülkelerin gelir yapısı göz ardı edilerek ilgili değişkenlerin CO₂ emisyonuna etkileri tüm ülkeler için irdelenmiş daha sonra ülkeler gelir gruplarına göre gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler olarak ayrıştırılmış ve CO₂ emisyonu açıklayan değişkenlerin önemi yeniden analiz edilmiştir.

Model 1, Model 2 ve Model 3 ilişkin bulgular incelendiğinde, üç modelde de tek aşamalı GMM sonuçlarında açıklayıcı değişkenler olarak ele alınan göstergelerin birlikte bağımlı değişkeni açıklamada istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (Wald Testi $p < 0.05$). Ancak tek aşamalı GMM tahmincisinde çalışmada kullanılan araç değişkenler için içsellik testi incelendiğinde Sargan Testi sonuçlarına göre ($p < 0.05$), araç değişkenlerin içsellik sorunu taşıdığı görülmüştür. Ayrıca tek aşamalı GMM tahmincisi kullanılan modellerde Arellano ve Bond otokorelasyon testi sonuçlarına göre ise modellerde %5 istatistiksel anlamlılık düzeyinde AR(1) ve AR(2) için otokorelasyon varlığı tespit edilmiştir. Bu nedenle Model 1 Model 2 ve Model 3, Arellano ve Bond İki Aşamalı GMM tahmincisi ile tekrar analiz edilmiştir. İki aşamalı GMM tahmincisi modellerinde yer alan tüm değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Başka bir ifade ile açıklayıcı değişkenlerin birlikte bağımlı değişkeni açıklamada anlamlı olduğu (Wald testi $p < 0.05$) görülmüştür. Ayrıca araç değişkenlerin içsellik sorunu taşımadığı (dışsal oldukları) (Sargan Testi $p > 0.05$) ve modelde ikinci dereceden otokorelasyon probleminin çözüldüğü görülmüştür.

İki aşamalı GMM sonuçları, içsellik ve otokorelasyon sorununun çözülmesine olanak sağlamıştır. Ancak iki aşamalı GMM tahmincisi elde edilen standart hatalar aşağı doğru sapmalı olması nedeniyle dirençli hataların düzeltilmesi gerekmektedir. Bu durumda Windmeijer (2005) dirençli standart hatalar kullanılarak Model 1, Model 2 ve Model 3 yeniden tahminlenmiştir. İki aşamalı GMM ile dirençli hatalar tahmini katsayıları aynı sonuçları sunmakla beraber standart hatalar yerine WC dirençli standart

hatalar kullanıldığından dolayı katsayıların istatistiksel anlamlılık dereceleri de farklılık gösterebilmektedir. Dirençli hatalar ile elde edilen bulgular, CO₂ emisyonunun bağımlı değişkenler olarak ele alınan göstergeler tarafından açıklamada anlamlı olduğunu, Arellano ve Bond otokorelasyon testine göre ikinci dereceden otokorelasyon olmadığını göstermektedir. Çalışmada modellere ilişkin gerekli koşullar sağlandığı için katsayılar üzerinden değerlendirme yapılırken dirençli hatalar tahmincisine ilişkin sonuçlar dikkate alınmaktadır.

Tablo 3. Model 1 –Arellano ve Bond GMM Tahmincisi

	Tek Aşamalı GMM		İki Aşamalı GMM		Dirençli Hatalar İki Aşamalı GMM	
	β	Std. Hata	β	Std. Hata	β	WC Dirençli Std. Hata
<i>lCO_{2it-1}</i>	0.404***	0.049	0.404***	0.007	0.404***	0.119
<i>lGSYH_{it}</i>	0.062***	0.021	0.056***	0.006	0.056**	0.030
<i>lPop_{it}</i>	0.935***	0.089	0.880***	0.048	0.880***	0.193
<i>lHTE_{it}</i>	0.022***	0.007	0.022***	0.004	0.022*	0.013
<i>lEN_{it}</i>	0.498***	0.030	0.476***	0.011	0.476***	0.074
<i>COVID_t</i>	-0.067***	0.005	-0.065***	0.001	-0.065***	0.008
N/T	62/10		62/10		62/10	
Wald Testi (X ²)	929.820	0.000	4123.620	0.000	178.760	0.000
İçsellik Testi						
Sargan Testi	268.064	0.000	55.593	0.415		
Arellano-Bond test						
AR(1)	-2.660	0.008	-2.649	0.008	-1.953	0.051
AR(2)	-2.037	0.042	-1.598	0.110	-0.780	0.435

*Not: *p<0.10; **p<0.05; ***p<0.01 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı temsil etmektedir.*

Çalışmada ele alınan gelişmiş ve gelişmekte olan 62 ülkenin bir arada kullanıldığı Model 1 bulgularına göre, karbon emisyonunun bir dönem gecikmeli değişkeninin, kişi başına milli gelirin, nüfusun, yüksek teknoloji ihracatının

ve enerji yoğunluğunun karbon emisyonunu arttırdığı belirlenmiştir. Çalışmada CO2 emisyonunun geçmiş dönem etkilerinin incelenmesi karbon emisyonlarının potansiyel bir geçmiş eylemlerden etkilenme süreci olduğunun göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Kişi başına milli gelirin yükselmesi, daha yüksek yaşam standartlarına işaret ederken, kişi başına milli gelirdeki artışın beraberinde daha fazla enerji tüketimi ve karbon emisyonları anlamına geldiğini göstermektedir. Nüfus artışı, doğal kaynakların ve enerjinin daha fazla talep görmesine yol açarak karbon emisyonlarını artırıcı bir faktör olarak rol oynamaktadır. Öte yandan yüksek teknoloji ihracatının artması da daha fazla enerji ve kaynak tüketimini gerektireceği için karbon emisyonlarını yükseltebilmektedir. Ekonominin ne kadar enerji tükettiğini yansıtan bir gösterge olan enerji yoğunluğunun yükselmesi ise enerji tüketimine bağlı olarak karbon emisyonlarını arttırabilmektedir. Ayrıca COVID-19 pandemisinin karbon emisyonlarını azalttığı gözlemlenmiştir. Bulgular, ülkelerin farklı özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmediği için karbon emisyonlarına yönelik geliştirilecek politikalar için yeterli bir bilgi sunmamaktadır. Bu nedenle çalışmada ülkelerin gelir grupları başka bir ifade ile gelişmişlik düzeyi dikkate alınarak CO2 emisyonu üzerinde göstergelerin etkileri yeniden incelenmiştir.

Gelişmiş ülkeler bağlamında elde edilen Model 2 bulgularına göre, karbon emisyonunun bir dönem gecikmeli değişkeni ve nüfus karbon emisyonunu arttırmaktadır. Kişi başına milli gelir ve yüksek teknoloji ihracatı göstergelerinin ise karbon emisyonunu azaltıcı etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Öte yandan gelişmiş ülkeler için enerji yoğunluğu göstergesi istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç sağlamadığı için modelden çıkarılmıştır. COVID-19 pandemisinin karbon emisyonlarını azaltıcı bir etkisi olduğu görülmüştür, bu da pandeminin çevresel etkilere sahip olduğunu işaret etmektedir.

Tablo 4. Model 2 –Arellano ve Bond GMM Tahmincisi

	Tek Aşamalı GMM		İki Aşamalı GMM		Dirençli Hatalar İki Aşamalı GMM	
	β	Std. Hata	β	Std. Hata	β	WC Dirençli Std. Hata
$lCO2_{it-1}$	0.756***	0.064	0.732***	0.045	0.732***	0.120
$lGSYH_{it}$	-0.126***	0.042	-0.119***	0.018	-0.119**	0.055
$lPop_{it}$	0.313***	0.122	0.281***	0.085	0.281*	0.168
$lHTE_{it}$	-0.072***	0.024	-0.079***	0.010	-0.079**	0.033
$COVID_t$	-0.081***	0.008	-0.0787***	0.002	-0.0787***	0.009
N/T						
	31/10		31/10		31/10	
Wald Testi (X ²)	929.820	0.000	7011.690	0.000	194.980	0.000
İçsellik Testi						
Sargan Testi	122.855	0.000	29.543	0.997		
Arellano-Bond Otokorelasyon Testi						
AR(1)	-5.349	0.000	-3.337	0.001	-2.884	0.004
AR(2)	-0.897	0.370	-1.473	0.141	-1.460	0.144

Not: * $p < 0.10$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$ düzeyinde istatistiksel anlamlılığı temsil etmektedir.

Gelişmekte olan ülkeler için oluşturulan Model 3 bulgularına göre, bir dönem gecikmeli değişken, kişi başına milli gelir, nüfus, yüksek teknoloji ihracatı ve enerji yoğunluğu, karbon emisyonlarını arttırmaktadır. Yani, önceki dönemlerdeki eylemler, kişi başına milli gelir, nüfus artışı, yüksek teknoloji ihracatı ve enerji yoğunluğu, karbon emisyonlarını artırıcı etkilere sahiptir. COVID-19 pandemisinin karbon emisyonlarını azaltıcı bir etkisi olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Model 3–Arellano ve Bond GMM Tahmincisi

	Tek Aşamalı GMM		İki Aşamalı GMM		Dirençli Hatalar İki Aşamalı GMM	
	β	Std. Hata	β	Std. Hata	β	WC Dirençli Std. Hata
$lCO2_{it-1}$	0.568***	0.109	0.555***	0.046	0.555***	0.091
$lGSYH_{it}$	0.130***	0.033	0.121***	0.017	0.121***	0.029
$lPop_{it}$	0.967***	0.204	0.770***	0.197	0.770**	0.355
$lHTE_{it}$	0.010**	0.005	0.004**	0.002	0.004*	0.002
lEN_{it}	0.504***	0.053	0.416***	0.043	0.416***	0.148
$COVID_t$	-0.056***	0.009	-0.057***	0.006	-0.057***	0.013
N/T						
	31/10		31/10		31/10	
Wald Testi (X^2)	464.000	0.000	967.930	0.000	219.840	0.000
İçsellik Testi						
Sargan Testi	66.642	0.000	16.886	0.531		
Arellano-Bond Otokorelasyon Testi						
AR(1)	-2.740	0.006	-2.557	0.011	-1.766	0.078
AR(2)	-2.707	0.007	-1.680	0.093	-1.626	0.104

Not: * $p < 0.10$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$ düzeyinde istatistiksel anlamlılığı temsil etmektedir.

4.3. Bulguların Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler Bağlamında Tartışılması

Çalışmada ele alınan göstergelerin CO2 emisyonu üzerindeki etkisinin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bağlamında ayrıştığı görülmektedir. Ülkelerin gelir yapısı gibi önemli kendilerine özgü yapılarının analizlere dahil edilmesinin farklılıkları ortaya çıkarma ve elde edilen bilgi deseninin doğru değerlendirilmesi açısından önemi yüksektir. Bu bağlamda bulguların gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için göstergeler bazında ayrı ayrı ele alınması politika oluşum sürecinde önemli bir yol haritası ortaya çıkarılmasına olanak sağlayacaktır.

Tablo 6. Göstergelerin CO₂ Emisyonunu Etkileme Yönü

	Tüm Ülkeler	Gelişmiş Ülkeler	Gelişmekte Olan Ülkeler
$CO2_{it-1}$	+	+	+
$GSYH_{it}$	+	-	+
Pop_{it}	+	+	+
HTE_{it}	+	-	+
EN_{it}	+		+
$COVID_t$	-	-	-

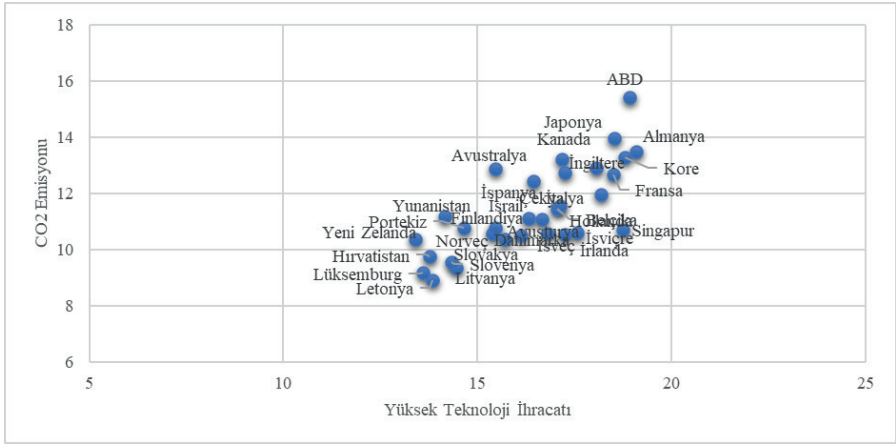
Gelişmiş ülkelerde kişi başına milli gelir ve yüksek teknoloji ihracatının, karbon emisyonlarını azaltıcı etkileri söz konusu iken gelişmekte olan ülkelerde ilgili göstergelerin CO₂ emisyonunu artırıcı bir faktör olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında ekonomik yapı, milli gelir seviyeleri ve endüstriyel gelişim düzeyi gibi önemli farklılıklar bulunmaktadır. Nitekim bu farklılıklar, karbon emisyonlarını etkileyen faktörlerin veya etki şeklinin değişmesinde rol oynamaktadır. Bulgular literatürde yer alan özellikle gelir düzeyi olmak üzere ülkeler arası farklılıklara işaret eden çalışmalarla uyumludur (Stern, 2002; Sharma, 2011; Piaggio & Padilla, 2012; Aye & Edoja, 2017). Çevresel Kuznets Eğrisine göre ekonomik büyüme, ölçek etkisinden dolayı ekonomik kalkınmanın erken safhalarında CO₂ emisyonlarına ve dolayısıyla çevresel sorunlara neden olabilmektedir. Ancak ekonomiler daha yüksek gelir seviyelerine ulaştıkça kompozisyon etkisinden dolayı emisyonlar azalacağı için çevre kalitesi artacaktır (Grossman & Krueger, 1991). Başka bir ifade ile ekonomik büyümenin ilk aşamalarında çevre kirliliği artma eğiliminde olacak ancak kişi başına gelir belirli bir düzeye ulaştığında bu eğilim tersine dönerek gelir düzeyi arttıkça çevre kirliliği azalacaktır (Stern, 2002).

Yüksek teknoloji ihracatı açısından bu durum ele alındığında özellikle gelişmekte olan ülkelerin sürdürülebilir kalkınma stratejilerine ekonomik büyüme ve yüksek teknoloji odaklı yaklaşımları dahil etmeleri gerektiğini göstermektedir. Yüksek teknoloji ihracatı ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişki, küresel ekonomik ve çevresel bağlamda büyük bir öneme sahiptir. Yüksek teknoloji ürünleri, modern toplumların temel taşlarıdır ve gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında büyük bir dış ticaret hacmi oluşturmaktadır.

Bilgisayarlar, akıllı telefonlar, veri depolama ve işleme cihazları gibi ürünler, dünya genelinde büyük talep görmektedir. Ancak, bu talebi karşılamak için ürünlerin üretimi, lojistik/taşımacılık süreçleri ve kullanımı beraberinde enerji tüketimini ve CO2 emisyonlarını arttırmaktadır.

Bu bağlamda Şekil 1 ve Şekil 2'de yüksek teknoloji ihracatı ve karbon emisyonu gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için incelendiğinde ortaya çıkan görünüm farklılaşmaktadır. Bu farklılaşmanın Paris İklim Anlaşması'nı imzalayan ve imzalamayan ülkeler arasındaki farklılıkla benzer özellikler taşıdığı söylenebilmektedir. Gelişmiş ülkelerin yüksek teknoloji ihracatı ve CO2 emisyonu ilişki bağlamında orta noktada yoğunlaştığı görülmektedir. ABD, Almanya, Japonya, Kanada, Kore, İngiltere ve Fransa gibi yüksek teknoloji ihracatı fazla olan ülkelerin gelişmiş yüksek teknoloji ihracatı ile karbon emisyonunun benzer eğilim izlediği görülmektedir. Bu ülkeler arasından ABD'nin hem karbon salınımı hem de teknoloji ihracatında ayrıştığı görülmektedir. Lüksemburg, Letonya gibi küçük ülkelerin karbon emisyonu salınımı düşürmek konusunda gelişmiş ülkeler grubuna önemli katkılar sunduğu görülmektedir.

Şekil 1. Gelişmiş Ülkelerde Yüksek Teknoloji İhracatı ve CO2 Emisyonu İlişkisi

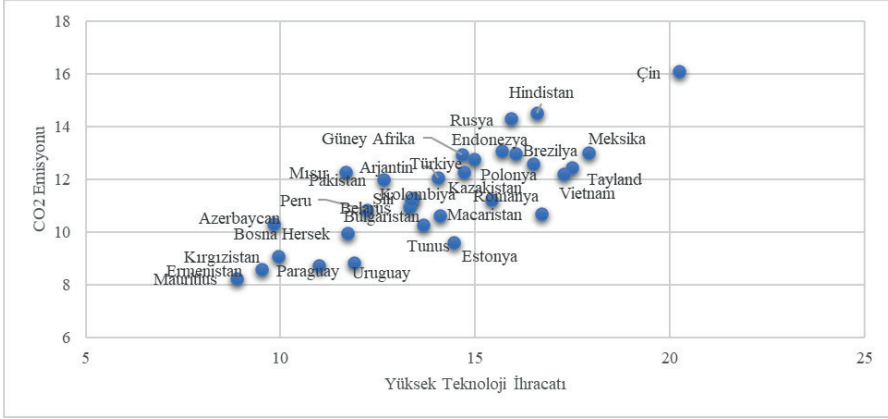


Not: 2009-2020 dönemi ortalamaları logaritmik veriler kullanılmıştır.

Gelişmekte olan ülkeler bağlamında ise ülkelerin birbirinden ayrıştığı ve yüksek büyüme, nüfus oranlarına sahip olan ülkelerin üst sıralarda yer aldığı görülmektedir. Örneğin yüksek teknoloji ihracatı hususunda dünyada önemli bir role sahip olan Çin karbon emisyonu hususunda da ilk sıralarda yer almaktadır. Kalkınma odaklı yüksek teknoloji hamlelerinin maliyeti

olarak çevresel sorunların ortaya çıktığı ifade edilebilmektedir. Öte yandan Çin'i Hindistan, Rusya ve Meksika gibi yükselen piyasalar takip etmektedir. Ayrıca doğalgaz rezervine sahip Kırgızistan, Azerbaycan gibi ülkelerin daha düşük karbon emisyonu seviyelerine sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 2. Gelişmekte Olan Ülkelerde Yüksek Teknoloji İhracatı ve CO₂ Emisyonu İlişkisi



Not: 2009-2020 dönemi ortalamaları logaritmik veriler kullanılmıştır.

Nüfus artışı ve CO₂ emisyonunun geçmiş dönem değerlerinin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde karbon emisyonlarını artırdığı belirlenmiştir. Nüfus büyüklüğü, toplam enerji tüketimi ve dolayısıyla CO₂ emisyonları üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Daha fazla nüfusa sahip olan ülkelerde, genellikle dayanıklı mal üretimi ve kullanımı yüksek olduğu için daha fazla enerji tüketimi söz konusu olacaktır. Ayrıca literatürle uyumlu olarak çalışmada elde edilen bulgular gelişmekte olan ülkelerde nüfus etkisinin gelir etkisinden daha fazla olduğuna işaret etmektedir (Wang vd., 2013; Hashmi & Alam, 2019). Çalışmada nüfus bir gösterge olarak ele alınmış olmakla beraber ilerleyen çalışmalarda çevresel faktörlere, cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi, kentleşme, gelir dağılımı bozukluğu gibi demografik özelliklerin etkilerinin irdelenmesi farklı bilgileri değerlendirme kabiliyeti sunarak ülkelerin politika üretme kapasitesini geliştirecek öneme sahiptir. Nitekim, yaş yapısı, ekonomik faaliyet düzeylerini doğrudan etkileyebilmekte ve enerji talebini yüksek emisyonlu bir yapıya dönüştürebilmektedir (Cole & Neumayer, 2004; Yang & Wang, 2020). Bu minvalde çevresel faktörlerle demografik yapı arasındaki bağlantının yön/şeklinin belirlenmesi hızla artan dünya nüfusu dikkate alındığında giderek önem kazanmaktadır.

Çalışmada birincil enerji yoğunluğuna ilişkin göstergenin gelişmekte olan ülkeler için karbon emisyonunu artırıcı bir rolü söz konusu iken gelişmekte olan ülkeler için bu gösterge istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç vermemiştir. Literatürde enerji tüketimi ve yoğunluğuna vurgu yapılan çalışmalarla benzer sonuçlar elde edildiği ortaya çıkarılmıştır (Apergis & Payne, 2009; Xu vd., 2022; Celik & Alola, 2023). Gelişmekte olan ülkelerde birincil enerji kullanımının çevresel faktörler açısından daha fazla önem taşıdığını ve gelişmiş ekonomilerde temiz enerji çabalarının daha öne çıktığını göstermektedir. Bu iki farklı perspektif, ülkelerin ekonomik gelişim seviyeleri, enerji kaynaklarına erişim ve sürdürülebilirlik çabaları gibi faktörlere dayanmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler genellikle enerji ihtiyaçlarını karşılamak ve ekonomik büyümeyi desteklemek için daha fazla birincil enerji kaynağına bağımlıdır. Bu durum, fosil yakıtlar gibi yüksek karbon emisyonlu enerji kaynaklarının kullanımına yol açabilmektedir. Bu nedenle, bu ülkelerde birincil enerji yoğunluğunun çevresel faktörler üzerinde daha büyük bir etkisi üretimin bir yan etkisi olarak ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, gelişmiş ekonomiler, temiz enerjiye daha fazla yatırım yapabilecek kaynak imkanına sahip oldukları için enerji verimliliği kapasitelerini artırma eğilimindedirler. Bu nedenle, bu ülkelerde birincil enerji kullanımının azaltılması ve temiz enerji kaynaklarına geçiş, sürdürülebilirlik çabalarının bir vurgusu haline gelebilmektedir.

Bulgular ayrıca COVID-19 pandemisinin karbon emisyonlarını azaltıcı bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bu durum, beklenmedik krizlerin çevresel faktörlere nasıl etki edebileceğini vurgulamaktadır. Benzer krizlere karşı hazırlıklı olma ve sürdürülebilirlik ilkelerine daha fazla odaklanma gerekliliğini göstermektedir. Ekonomik krizler, genellikle ekonomik aktivitenin düşmesine yol açmakta ve bu da CO2 emisyonlarının geçici olarak azalmasına neden olabilmektedir. Ancak, bu krizler sırasında çevresel politikaların ihmal edilmesi veya çevre yatırımlarının azalması gibi olumsuz etkiler de görülebilmektedir. Örneğin COVID-19 döneminde karbon ayak izi, yeşil dönüşüm gibi faaliyetlerin planlanmaması krizin fırsata dönüştürülmesi noktasında eksiklikler olarak ifade edilebilmektedir.

Sonuç

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde ekonomik ilerlemenin hızla artmasıyla beraber çok büyük bir çevresel maliyet ortaya çıkmıştır. Daha önceki dönemlerde yaşanan sanayileşmenin maliyetleri ile yüzleşebilmek ve buradan gerekli dersleri çıkarmak çevre koruması açısından önemli bir nokta olarak ortaya çıkmıştır. Bu maliyetlerin en aza indirilmesi ve çevresel tahribatın önüne geçilebilmesi açısından çevre kirliliğini etkileyen ekonomik, sosyal ve demografik faktörlerin irdelenmesi sürdürülebilir bir

kalkınma stratejisi açısından da oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada çevre kirliliğini etkileyen faktörler gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bağlamında incelenmiştir. Çevre kirliliği göstergesi olarak literatürde sıklıkla ele alınan CO₂ emisyonu kullanılmıştır. Çalışmada 2009-2020 dönemi için seçilmiş gelişmiş ve gelişmekte olan 62 ülkenin verileri kullanılarak CO₂ emisyonunu etkileyen göstergeler dinamik panel veri analizi yöntemi ile irdelenmiştir. Çalışmada kişi başına milli gelir, enerji yoğunluğu, yüksek teknoloji ihracatı ve nüfus göstergeleri ele alınırken ayrıca çalışmada küresel ekonomik faaliyetlerin durma noktasına geldiği COVID-19 dönemi kukla değişken olarak modele dahil edilerek dönemin karbon emisyonuna etkisi belirlenmiştir.

Bulgular, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında karbon emisyonlarına etki eden faktörlerde farklılıklar olduğunu göstermektedir. Çevre kirliliğinin oluşum süreci ile çevreyi korumaya yönelik değişim sürecinin ülkeler arasındaki iş bölümü ve koordinasyona bağlı bir özellik taşıdığı görülmektedir. Gelişmiş ülkeler bağlamında, kişi başına milli gelir ve yüksek teknoloji ihracatı göstergeleri karbon emisyonlarını azaltırken, nüfus artışı karbon emisyonlarını arttırmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler bağlamında ise kişi başına milli gelir, nüfus, yüksek teknoloji ihracatı ve enerji yoğunluğu, karbon emisyonlarını artıran faktörler olarak belirlenmiştir. Ayrıca, COVID-19 pandemisinin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki karbon emisyonlarını azaltıcı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Ülkelerin ekonomik ve sosyal kapasite/performansı gelişmişlik düzeyleri arasındaki farkı belirleyen temel faktördür. Çevre kirliliği böyle bir sonucu üretecek kapasite ve performansa sahip ülkeler tarafından gerçekleştirilmiş olmakla beraber çözümü de bu ülkelerin imkân ve kaynakları tarafından oluşturulacak bir özellik taşımaktadır. Dolayısıyla karbon ayak izinin neden ve sonuçları önümüzdeki dönemde küresel ekonomi politik açıdan önemli gündem maddelerinden biri olmaya adaydır. Diğer bir ifade ile karbon emisyonu sadece politik kurumların değil ekonomik kurumlarında politikalarını şekillendirmede önemli bir değişken olacaktır. Ayrıca temel makro ekonomik göstergelerin bu açıdan da izlenmesi ve değerlendirilmesi kritik öneme sahiptir.

Kaynakça

- Ahmad, M., Jiang, P., Majeed, A., Umar, M., Khan, Z., & Muhammad, S. (2020). The dynamic impact of natural resources, technological innovations and economic growth on ecological footprint: An advanced panel data estimation. *Resources Policy*, 69, 101817.
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2009). CO2 emissions, energy usage, and output in Central America. *Energy Policy*, 37(8), 3282-3286.
- Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *The review of economic studies*, 58(2), 277-297.
- Aye, G. C., & Edoja, P. E. (2017). Effect of economic growth on CO2 emission in developing countries: Evidence from a dynamic panel threshold model. *Cogent Economics & Finance*, 5(1), 1379239.
- Blundell, R., Bond, S., & Windmeijer, F. (2001). Estimation in dynamic panel data models: improving on the performance of the standard GMM estimator. *Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels*, 53-91.
- Celik, A., & Alola, A. A. (2023). Capital stock, energy, and innovation-related aspects as drivers of environmental quality in high-tech investing economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(13), 37004-37016.
- Cole, M. A., & Neumayer, E. (2004). Examining the impact of demographic factors on air pollution. *Population and Environment*, 26(1), 5-21.
- Çil, N. (2021). CO2 Emission, Energy Consumption And Economic Growth in BRICS Countries: Evidence From Cross-Section Dependence and Structural Breaks. N. Çil içinde, *Current Methods and Applications in Econometrics* (s. 109-134). Istanbul: Istanbul University Press.
- Frankel, J. A., & Rose, A. K. (2005). Is trade good or bad for the environment? Sorting out the causality. *Review of Economics and Statistics*, 87(1), 85-91.
- Grimes, P., & Kentor, J. (2003). Exporting the greenhouse: Foreign capital penetration and CO₂ Emissions 1980-1996. *Journal of World-Systems Research*, 9(2), 261-275.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. *NBER Working Papers Series* (3914).
- Hashmi, R., & Alam, K. (2019). Dynamic relationship among environmental regulation, innovation, CO2 emissions, population, and economic growth in OECD countries: A panel investigation. *Journal of cleaner production*, 231, 1100-1109.
- Hong, H., & Zhang, C. (2023). Bitcoin trading, economic growth, energy use, and CO2 emissions: An advanced panel study of emerging market economies. *International Review of Economics & Finance*, 89, 519-531.

- Knight, K. W., & Schor, J. B. (2014). Economic growth and climate change: a cross-national analysis of territorial and consumption-based carbon emissions in high-income countries. *Sustainability*, 6(6), 3722-3731.
- Pao, H.-T., & Tsai, C.-M. (2011). Modeling and forecasting the CO₂ emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil. 36(5), 2450-2458.
- Piaggio, M., & Padilla, E. (2012). CO₂ emissions and economic activity: Heterogeneity across countries and non-stationary series. *Energy Policy*, 46, 370-381.
- Razzaq, A., Sharif, A., Afshan, S., & Li, C. J. (2023). Do climate technologies and recycling asymmetrically mitigate consumption-based carbon emissions in the United States? New insights from Quantile ARDL. *Technological Forecasting and Social Change* 186, 122138.
- Sharma, S. S. (2011). Determinants of carbon dioxide emissions: empirical evidence from 69 countries. *Applied Energy*, 88(1), 376-382.
- Stern, D. I. (2002). Explaining changes in global sulfur emissions: an econometric decomposition approach. *Ecological Economics*, 42(1-2), 201-220.
- Tiwari, S., Mohammed, K. S., Mentel, G., Majewsk, S., & Shahzadi, I. (2023). Role of circular economy, energy transition, environmental policy stringency, and supply chain pressure on CO₂ emissions in emerging economies. *Geoscience Frontiers*, 101682.
- Wang, Y., Zhao, H., Li, L., Liu, Z., & Liang, S. (2013). Carbon dioxide emission drivers for a typical metropolis using input-output structural decomposition analysis. *Energy Policy*, 58, 312-318 .
- Xing, L., Khan, Y. A., Arshed, N., & Iqbal, M. (2023). Investigating the impact of economic growth on environment degradation in developing economies through STIRPAT model approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 182, 113365.
- Xu, L., Wang, X., & Guo, W. (2022). Does renewable energy adaptation, globalization, and financial development matter for environmental quality and economic progress? Evidence from panel of big five (B5) economies. *Renewable Energy*, 192, 631-640.
- Yang, T., & Wang, Q. (2020). The nonlinear effect of population aging on carbon emission-Empirical analysis of ten selected provinces in China. *Science of the Total Environment*, 740, 140057.
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2018). *İleri panel veri analizi*. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım.