



**Yazar/Author**

Seyhat BAYRAK GEZDİM\*

**Makale Adı/Article Name**

**Yükselen Piyasa Ekonomilerinde Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin Çevresel Kalite Üzerindeki Etkisi: Heterojen Panel Tahmin Modellerinden Kanıtlar**

*The Impact of Information and Communication Technologies on Environmental Quality for Emerging Market Economies: Evidence from Heterogeneous Panel Estimations Models*

**ÖZ**

İnsan ve toplumların sosyoekonomik gelişiminde önemli rol oynayan bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) çevresel kalite üzerinde de potansiyel etkileri mevcuttur. Bu çalışmada 1995-2018 yılları arasında yükselen piyasa ekonomilerinde BİT, enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve küreselleşmenin çevresel kalite üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkilerin araştırılması için yatay kesit ve eğitim heterojenliğine dayanıklı panel tahmin modelleri kullanılmıştır. Çevresel kalitenin bir göstergesi olarak kabul edilen CO<sub>2</sub> emisyonlarının ülkeler arasında farklılaşması nedeniyle ülkelerin emisyon düzeyleri veriye dayalı algoritma aracılığıyla sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflandırma çerçevesinde, yükselen piyasa ekonomilerinin iki alt kulüp altında toplandığı bulgusu elde edilmiştir. Kulüp 1 için BİT ve küreselleşmenin CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olduğu; buna karşın Kulüp 2 ve panelin tamamında ise çevresel bozulmalara neden olduğu sonucu elde edilmiştir. Bununla birlikte hem kulüpler hem de panelin tamamında ekonomik büyüme ve enerji tüketiminin emisyonları arttığı bulgusuna ulaşılmıştır. Panel nedensellik bulgularına göre, her bir alt kulüp ve panelin tamamında farklı nedensellik ilişkileri olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** BİT, Çevresel kalite, İçsel ülke sınıflandırması, Panel tahmin modelleri, Yükselen Piyasa Ekonomileri

**ABSTRACT**

Information and communication technologies (ICTs), which play a critical role in the socio-economic development of individuals and societies, also have potential impacts on environmental quality. This study examines the impact of ICT, energy consumption, economic growth, and globalization on the quality of the environment in emerging market economies between 1995 and 2018. The study has employed panel estimations techniques, which are robust for cross-sectional dependence and slope heterogeneity, to investigate the linkages between the variables. Since CO<sub>2</sub> emissions, which it has accepted as an indicator of environmental quality, differ between countries, it has been classified the emission levels of countries by using a data-based algorithm. The classification shows that emerging market economies fall into two sub-clubs. For Club 1, ICT and globalization help to reduce CO<sub>2</sub> emissions, while Club 2 and the whole panel have caused environmental degradation. In addition, economic growth and energy consumption increase emissions for both the clubs and the overall. According to the panel causality results, there are different causality relationships in each sub-clubs and the whole panel.

**Keywords:** ICT, Environmental quality, Endogenous country classification, Panel estimations techniques, Emerging market economies

## Extended Abstract

In the digital age which we live in, the world is in a remarkable transformation. In recent years advances in science and technology have played an essential role in the improvement and practicability of information and communication technologies (ICTs). While the ICT sector is an indispensable part of the transition to a knowledge-based economy and society, it accepts as the driving force of change for a more equitable, inclusive, sustainable, and competitive economy and society. The ICT industry has affected the economy as a whole, with a sectoral perspective such as trade, foreign direct investment, manufacturing, industry, services, transport, education, and the health sector. In addition, its impact on environmental quality is among the topics frequently discussed in the current literature recently. Among researchers and environmentalists, questions arise about whether the utilization of ICT causes environmental degradation with intense energy consumption and emits toxicants or whether it reduces or not emissions with the usage of energy-efficient technologies. Looking at the studies in the literature, while some researchers accept ICT as a possible solution tool in the prevention of environmental degradation, others argue that ICT has a significant role in the deterioration of environmental quality.

Environmental degradation, which has a fundamental impact on the development and prosperity of countries, is becoming a global problem, and it is essential to reduce CO<sub>2</sub> emissions to prevent this problem. Identifying the factors that cause CO<sub>2</sub> emissions helps in the development of effective policies for the protection of the environment and human health.

This study has examined the impact of ICT, economic growth, energy consumption, and globalization on environmental quality in emerging economies between 1995 and 2018. CO<sub>2</sub> emission is considered an indicator of environmental quality. With the help of principal component analysis to reveal the net effect of the ICT industry on environmental quality, the ICT index composes using four different ICT indicators. Methodologically, firstly, emerging market economies with different emission levels are classified through the data algorithm of the club convergence approach. As a consequence of classification, it indicates that emerging market economies gather under two clubs. This study deduces cross-sectional dependence and slope heterogeneity in both the sub-clubs and the whole panel. To acquire efficient and reliable coefficient estimates, it uses panel unit root tests, cointegration tests, long-run parameter estimators, and panel causality tests that take account of cross-sectional dependence and slope heterogeneity. The findings of the panel unit root tests show that the interested variables are first-order integrated series. The existence of the long-run relationship between the variables has been examined with the help of the LM bootstrap cointegration test. After testing the cointegration, the long-run parameter estimations are obtained through the AMG and CCEMG estimators.

In the context of countries, which are in Club 1, it concludes that ICT and globalization are effective in reducing emissions. This finding indicates that ICT provides energy saving and efficiency with its substitution effect. Besides, with globalization, production is shifted from raw material-based production to a knowledge-based service industry; thus, economic development models, which are more efficient and less damaging to the environment, are supported. Also, the environmental quality is affected adversely by economic growth and energy consumption. This finding points out that countries need more energy to develop and that this energy comes from fossil fuels. According to the results of the causality analysis, they show unidirectional causal relationships from energy consumption to ICT, from ICT to emissions, and from emissions to energy consumption. This result indicates that there is a cyclical relationship between these variables. For Club 1, there is a bidirectional causality relationship between economic growth and CO<sub>2</sub> emissions. This result shows that increasing economic growth can lead to environmental degradation through increased emissions. On the other hand, there is a unidirectional causality relationship from globalization to economic growth and from economic growth to energy consumption; there is also a two-way causality relationship between globalization and energy consumption.

The study finds that ICT, economic growth, energy consumption, and globalization play a role in increasing emissions for both Club 2 and the whole panel. In both Club 2 and the panel sample, the increase in the use of ICT leads to more CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere. This finding indicates that the production, use, and disposal of ICT products cause to increase in energy demand. The increase in energy demand increases

energy consumption. This situation causes an increase in emissions and environmental degradation. Especially for the countries in Club 2, ICT does not play a role as a possible solution tool for solving environmental problems. According to causality results, there is a one-way causality from ICT to emissions and energy consumption to emissions besides a bidirectional relationship between ICT and energy consumption in Club 2. This finding shows that emissions are increasing both directly and indirectly through ICT. Nevertheless, while there is a one-way causality from economic growth to globalization and globalization to energy consumption, there is a bidirectional causality relationship between economic growth and energy consumption. There is unidirectional causality from ICT and other determinants of emission to CO<sub>2</sub> emission in the whole panel. This finding shows that ICT usage, economic growth, energy consumption, and globalization cause deterioration in environmental quality. On the other side, there is a one-way causality from economic growth to both globalization and ICT. This obtained finding indicates that economic growth is a significant factor in ICT usage and globalization. When evaluated in the general framework, it points out that the results differ in the perspective of both sub-clubs and the whole panel.

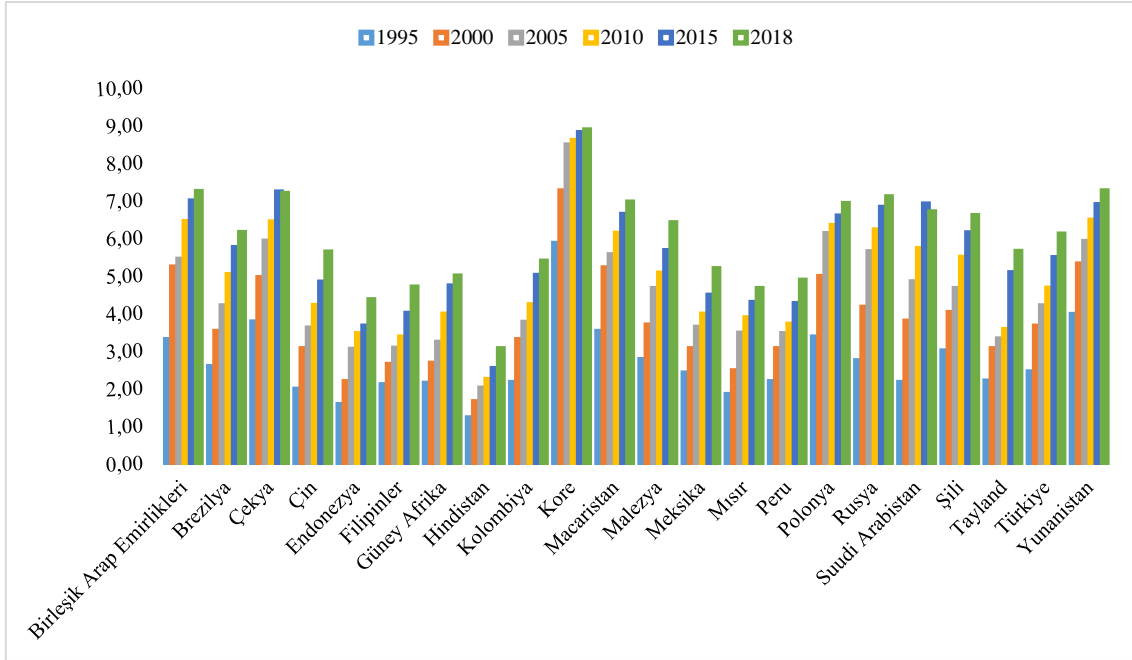
## Giriş

Dünya genelinde hızlı nüfus artışı, sanayileşme, teknolojik ilerlemeler ve küreselleşmeyle birlikte ülkeler ekonomik faaliyetlerini genişletmeye yönelmişlerdir. Ekonomik büyüme, bir ülkenin gelişiminde tehdit oluşturmazken; sürdürülemeyen ekonomik kalkınma doğal kaynaklar üzerinde büyük bir baskı oluşturarak çevresel kalitenin bozulmasına neden olabilmektedir. Doğal kaynakların aşırı tüketimi küresel ölçekte atık ve kirlilik düzeyinin artmasında etkili olmakta bunun yanı sıra iklim değişikliği ve küresel ısınma sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu sorunların ortaya çıkmasındaki en temel etmen, üretim ve tüketim için gereken enerjinin fosil yakıt tüketiminden elde edilmesidir (Ullah vd., 2018: 13938; Godil vd., 2020: 24190). Fosil yakıtların yaygın kullanılması atmosferde sera gazlarının yoğunluğunu arttırmakta ve sera gazı emisyonlarının yaklaşık %85'ini karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonları oluşturmaktadır (Li & Yang, 2016: 1). Dolayısıyla artan karbon ve diğer sera gazları emisyonları deniz seviyesinin yükselmesi, hava koşullarının değişmesi, kuraklık, sağlık sorunları gibi dünyanın geleceği için ciddi tehditler yaratmakta (Usman vd., 2021: 1; He vd., 2021: 947) ve çevresel kalitenin bozulmasına neden olmaktadır.

Ülkelerin gelişimi ve refahı üzerinde önemli bir etkisi olan çevresel bozulmalar, küresel bir sorun haline gelmektedir. Bu sorunun önlenmesi amacıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması önem arz etmektedir. Dolayısıyla yüksek CO<sub>2</sub> emisyonlarından sorumlu faktörlerin belirlenmesi, politika yapıcılarının çevrenin ve insan sağlığının korunmasına yönelik etkin politikalar geliştirmelerine yardımcı olacaktır. Literatürde yer alan çalışmalarda CO<sub>2</sub> emisyonlarının belirleyici faktörleri geniş çapta tartışılmaktadır. Bununla birlikte en kritik faktörler arasında ekonomik büyüme, yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarının tüketimi, küreselleşme, doğrudan yabancı yatırımlar, şehirleşme düzeyi, uluslararası ticaret, sanayileşme, ticari açıklık, AR-GE, demokrasi, gelir eşitsizliği, finansal gelişim, uluslararası turizm, vb. yer almaktadır (Liu vd., 2020: 2). Bu faktörlerin yanı sıra bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) çevresel kalite üzerindeki etkisi de mevcut literatürde çok tartışılan bir konu haline gelmiştir.

Son yıllarda bilim ve teknoloji alanlarındaki ilerlemeler BİT'in gelişiminde ve uygulanabilirliğinde önemli bir paya sahiptir. İçinde bulunduğumuz dijital çağda BİT sektörü bilgi tabanlı ekonomi ve topluma geçişin vazgeçilmez bir parçası (Klimova vd., 2016: 224) olmakla birlikte daha eşitlikçi, kapsayıcı, sürdürülebilir ve rekabetçi bir ekonomi ve toplum yaratılmasında önemli rol oynamaktadır (Gouvea vd., 2018: 39). Bir ülkenin bilgi toplumu olma

yolunda kaydettiği ilerlemenin zaman içerisindeki değişimi Şekil 1’de verilmektedir. Küresel perspektifte değerlendirildiğinde BİT’lerin ekonomik büyümeye katkı sağladığı; aynı zamanda bilgi maliyetlerinin ve bilgi asimetrisinin azaltılmasına da yardımcı olduğu dikkat çekmektedir (Maji and Waziri, 2020: 39). Bunların yanı sıra özellikle gelişmekte olan ve yükselen ekonomilerde yoksulluğun azaltılmasına, üretkenlik ve enerji verimliliğinin artırılmasına, küresel ticaretin teşvik edilmesine ve ekonominin farklı sektörlerinin canlandırılmasına yönelik yapısal değişimleri de beraberinde getirmektedir (N’dri vd., 2021: 1). Küreselleşmenin gelişiminde de önemli bir paya sahip olan BİT, serbest piyasa nedeniyle rekabetin yanı sıra maliyet ve ekonomi ölçeğinin öneminin giderek artmasında büyük rol oynadığı dikkat çekmektedir (Latif, vd., 2018: 319). Dolayısıyla küreselleşme, serbest ticaret ve insan hareketliliği aracılığıyla ulusal engelleri kaldırarak ekonomik büyümenin daha etkin bir şekilde ivme kazanmasına destek olmaktadır. Bununla birlikte, küreselleşen dünyada ticaret ve yatırımın nispeten daha kolay olmasından ve ülkelerin teknoloji aracılığıyla entegre edilmesinden dolayı BİT sektörünün geliştirilmesi teşvik edilmektedir (Ulucak vd., 2020: 857).



Şekil 1. Yükselen Piyasa Ekonomilerinde BİT Gelişmişlik Endeksi

Şekil 1’deki her bir yükselen piyasa ekonomisinin BİT’e erişimi, BİT kullanımı ve becerilerini dikkate alarak oluşturulan BİT gelişmişlik endeksi verileri incelendiğinde, Kore’nin BİT gelişiminde üst sıralarda Hindistan’ın ise alt sıralarda yer aldığı görülmektedir. Bununla birlikte ele alınan zaman periyodu içerisinde diğer yükselen piyasa ekonomilerinde de BİT’te sürekli bir artış gözlemlendiği izlenmektedir.

BİT’in ekonomik ve toplumsal gelişime ait olumlu yanları olmasına rağmen çevresel kalite üzerindeki etkisine yönelik bulguların net ve yeterli olmaması tartışmaya açık bir konu olduğuna işaret etmektedir (Ulucak vd., 2020: 858). BİT’in çevre üzerinde kullanım etkisi, ikame etkisi ve maliyet etkisi olmak üzere üç farklı etkisi mevcuttur (N’dri vd., 2021: 3; Shabani ve Shahnazi, 2019: 1065). *Kullanım etkisi* çerçevesinde BİT cihazlarının üretimi, işlenmesi, dağıtımı ve

kurulumu enerji tüketimini ve e-atık üretimini artırmakta ve bunun sonucunda atmosfere CO<sub>2</sub> emisyon salınımına neden olabilmektedir (Higón vd., 2017: 85). BİT kullanımına bağlı küresel enerji tüketimi 2007 yılında %3 iken; bu oran 2012 yılında %4.7'ye yükselmiştir. Son yıllarda ise ivme kazanarak %7'ye yükselmesiyle dikkat çekmektedir (Usman vd., 2021: 1). Bununla birlikte dünya genelinde BİT kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımı, toplam CO<sub>2</sub> salınımının %2'sini oluştururken; artan ve yaygınlaşan BİT kullanımı ile bu rakamın ileriki yıllarda daha da artacağı öngörülmektedir (POST, 2008: 1). Geleneksel ürünler tarafından sağlanan hizmetlerin BİT hizmetleriyle yer değiştirmesini ifade eden *ikame etkisi* üretim süreçlerinin düzenlenmesi ile ilgilidir. Yani bu etki fiziksel ürünlerin sanal ürünlerle yer değiştirmesini ifade etmekte ve kaydılaştırmeyi (*dematerialization*), karbonsuzlaştırmayı ve demobilizasyonu bünyesinde barındırmaktadır. Başka bir deyişle, ikame etkisi, yüksek karbonlu ürün ve aktivitelerin düşük karbonlu alternatifleriyle yer değiştirmesine olanak sağlamaktadır: mektup yerine e-posta, basılı kitap yerine e-kitap bunun yanı sıra e-bankacılık, e-ticaret işlemleri, sanal eğitim ve sanal toplantı gibi (Lahouel vd., 2021: 4). İkame etkisi sayesinde üretim verimliliği artırılırken; maddi malların kullanımı azaltılmaktadır. Bunun sonucunda daha temiz ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin yaratılmasıyla CO<sub>2</sub> emisyon salınımının azaltılmasına ve çevresel kalite üzerinde pozitif etkinin oluşturulmasına yardımcı olabilmektedir. BİT'in gelişimiyle üretim giderek daha ucuz hale gelmekte ve fiyatlardaki düşüşler mal ve hizmetlere olan talebi artırmaktadır. Artan talebin neden olduğu *maliyet etkisi* enerji tüketimini ve beraberinde CO<sub>2</sub> emisyonunu artırmakta; bunun sonucunda çevresel bozulmalara yol açmaktadır. Bu etki özellikle tarım, sanayi, hizmetler ve ulaşım sektörlerinde görülmektedir (Shabani ve Shahnazi, 2019: 1065).

BİT'in çevresel kalite üzerindeki etkisinin incelendiği bu çalışmada mevcut literatüre aşağıda belirtilen açılardan katkı sağlaması beklenmektedir. (i) BİT'in çevresel kalite üzerindeki etkilerine yönelik çalışmalar incelendiğinde gelişmiş ülkelerin yanı sıra gelişmekte olan ülke ekonomileri kapsamında ASEAN, Sahra-altı Afrika gibi ülke gruplarının incelendiği; buna karşın, yükselen ekonomiler kapsamında ise BRICS ve Next-11 gibi ülke grupları üzerinde araştırmaların yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmada ise özel bir ülke grubu seçilmeksizin yükselen piyasa ekonomileri bağlamında BİT'in çevresel kalite üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. (ii) Yükselen piyasa ekonomilerinin ele alındığı örneklemde BİT - çevresel kalite ilişkisinde küreselleşme değişkeni modele dahil edilerek küreselleşmenin emisyon üzerindeki etkisi irdelenmektedir. (iii) İncelenen çalışmaların birçoğunda genellikle BİT, tek bir boyut (internet veya cep telefonu kullanımı) altında ele alınmaktadır. Tek bir boyutun ele alınması ile BİT'in diğer boyutları hakkında genelleme yapılması mümkün değildir. Dolayısıyla bu çalışmada tek bir boyut veya ayrı ayrı tüm boyutların ele alınması yerine temel bileşenler analizi yardımıyla BİT'in tüm alt göstergeleri dikkate alınarak BİT indeksi oluşturulmaktadır. Oluşturulan indeks aracılığıyla BİT'in çevresel kalite üzerindeki etkisi incelenmektedir. (iv) Çalışmada incelenen yükselen piyasa ekonomilerinin CO<sub>2</sub> düzeyleri birbirinden farklıdır. Farklı emisyon düzeylerine sahip ülkelerde BİT'in etkisinin net bir şekilde ortaya konulabilmesi için emisyon düzeylerine göre ülkelerin ayrıştırılması önem arz etmektedir. Bu bağlamda Phillips ve Sul (2007, 2009) tarafından geliştirilen veriye dayalı algoritma yardımıyla emisyon düzeyleri bakımından birbirine yakınsayan ülkeler alt kulüplere ayrılmaktadır. Bu çalışmada hem panelin tamamı hem de birbirine yakınsayan ülkelerin oluşturduğu alt kulüpler göz önünde bulundurulurken CO<sub>2</sub> emisyonunun belirleyicileri ve BİT'in çevresel kalite üzerindeki etkilerine yönelik bulgular tartışılmaktadır.

## 1. Literatür Taraması

BİT'in gelişimine yönelik yapılan yatırımların ekonomik ve toplumsal etkilerinin yanı sıra çevresel kalite üzerinde de önemli rol oynadığına yönelik çalışmalar mevcuttur. BİT'in çevresel kalite üzerindeki etkisi iki başlık altında incelenmiştir. Birinci grupta çevresel kalite üzerinde göstermiş olduğu olumlu etkisine, ikinci grupta ise olumsuz etkisine ait güncel çalışmalara yer verilmiştir.

BİT'in iklim değişikliği ve küresel ısınmanın azaltılmasındaki rolü iki yönlüdür. Birincisi, enerji verimliliğini artırma ve yenilenebilir enerji maliyetlerini azaltma yeteneği aracılığıyla sektörlerin emisyonlarının azaltılmasına yöneliktir. İkincisi ise ekonomik büyüme üzerindeki olumlu etkisiyle genişleyen ekonomilerde emisyon azaltımında rol oynayabilecek fırsatlar yaratma potansiyeline sahip olmasıdır. Zhang ve Liu (2015) çalışmasında, STIRPAT modeli yardımıyla Çin'in farklı bölgelerinde iller düzeyinde BİT'in CO2 emisyonları üzerindeki etkisini araştırmıştır. BİT endüstrisinin emisyonların azaltılmasında önemli bir payı olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Özellikle Çin'in merkez bölgesinde BİT'in emisyonların azaltmadaki etkisinin doğu bölgesine göre daha yüksek olduğu; buna karşın batı bölgesinde ise önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Al-Mulali vd. (2015), 2000-2013 dönemleri arasında gelişmiş ve gelişmekte olan 77 ülke örnekleminin ele alındığı çalışmada BİT'in göstergesi olarak modele dahil edilen internet kullanımının gelişmiş ülkelerde emisyonlar üzerinde negatif etkisi olmasına rağmen gelişmekte olan ülkelerde emisyonun azaltılmasında önemli bir rolü olmadığı bulgusu elde edilmiştir. Benzer şekilde Higón vd. (2017), çevresel Kuznets eğrisi (ÇKE) hipotezi çerçevesinde küresel ölçekte BİT'in CO2 emisyonları üzerindeki etkisini 26 gelişmiş ve 116 gelişmekte olan ülke verisiyle incelemiştir. Gelişmişlik düzeyi bakımından her iki grupta da BİT eşik düzeyine ulaştığında emisyonların azaltılmasında önemli rol üstlendiği bulgusu elde edilmiştir. Asongu (2018), 44 Sahra-altı Afrika ülkesinde küreselleşme perspektifinde BİT'in emisyonlar üzerindeki etkisini genelleştirilmiş momentler yöntemiyle incelemiştir. BİT göstergesi olarak internet kullanımı ve cep telefonu abonelikleri ele alınmıştır. CO2 emisyonlarının artmasına neden olabilecek küreselleşme faaliyetleriyle ilgili maliyet ve kısıtlamaların BİT aracılığıyla indirgenerek çevresel bozulmalar üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, BİT ekipmanlarının bilgi paylaşım mekanizması görevi üstlenerek küreselleşmeyle birlikte ortaya çıkan bilgi asimetrisinin azaltılmasında önemli rol oynadığı bulgusu elde edilmiştir. Majeed (2018), gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere ilişkin bir panel veri setinin ele alındığı çalışmada, gelişmiş ülkelerde BİT'in çevresel bozulmaları azalttığı; gelişmekte olan ülkelere ise ya çevreye zarar verdiği ya da etkisinin önemsiz olduğu sonucunu elde etmiştir. Danish (2019), Kuşak ve Yol ülkeleri perspektifinde BİT ve BİT'in ticaret ile etkileşim etkisinin emisyon salınımını negatif yönde etkilediği bulgusuna ulaşmıştır. BİT'in emisyonların azaltılmasında sadece doğrudan değil, aynı zamanda ticaret ve doğrudan yabancı yatırımlar aracılığıyla dolaylı bir rol üstlendiğini belirtmiştir. Danish vd. (2019), BİT'in CO2 emisyonları üzerindeki uzun ve kısa dönemli ilişkileri dinamik en küçük kareler (DOLS), tamamen değiştirilmiş en küçük kareler (FMOLS) ve Driscoll-Kraay panel tahmin yöntemleri aracılığıyla incelemiştir. Küresel ölçek bağlamında yüksek ve orta gelirli ülkelerde BİT emisyonların azaltılmasında etkili iken; düşük gelirli ülkelerde ise emisyonun artmasında etkili olduğu bulgusu elde edilmiştir. Bununla birlikte tüm gelir gruplarında enerji tüketiminin emisyonların artmasında önemli bir paya sahip olduğu bulunmuştur. BİT aracılığıyla yüksek ve orta gelirli ülkelerde ÇKE hipotezinin geçerli olduğu ve dolayısıyla ülkelerin çevresel sürdürülebilirlik düzeyine ulaştığını; buna karşın düşük gelirli ülkelerde ise ÇKE hipotezinin

geçerli olmadığı sonucu elde edilmiştir. Benzer şekilde, ÇKE hipotezi çerçevesinde Faisal vd. (2020) hızlı gelişen ülke ekonomilerinde BİT ile CO<sub>2</sub> arasında ters U şeklinde ilişki olduğunu; Ulucak vd. (2020) BRICS ülkelerinde küreselleşme emisyonlarının artmasında etkili iken BİT aracılığıyla emisyonların azaltılarak çevresel kalitenin desteklendiğini; Ahmed ve Le (2021) ASEAN ülkelerinde BİT ve ticaretin küreselleşmesinin emisyonların azaltılmasında ve çevresel kalitenin iyileştirilmesinde etkili olduğunu savunmuştur. Dolayısıyla BİT kullanımının çevre kirliliğini azaltmadaki rolü desteklenmiştir. Shabani ve Shahnazi (2019) BİT'in İran ekonomisinin farklı sektörleri üzerindeki etkisinin incelediği çalışmada hizmet ve ulaşım sektörlerinde BİT'in emisyonları azalttığı; sanayi sektöründe ise emisyonları arttırdığı sonucuna ulaşmıştır. Godil vd. (2020), 1995-2018 dönemlerine ait çeyrek yıllık verilerle Pakistan için BİT, gelir, kurumsal kalite ve finansal gelişimin emisyon üzerindeki etkileri kantil otoregresif dağıtılmış gecikmeli model (QARDL) kullanılarak araştırmıştır. Ülkenin emisyon düzeyi düşük iken gelir ve kurumsal kalitenin emisyonlar üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı; yüksek emisyon düzeyinde ise emisyonların artmasında etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Finansal gelişimin bütün kantillerde, BİT'in ise düşük ve yüksek kantillerde emisyonun azaltılmasında rol oynadığı vurgulanmıştır. Chien vd. (2021) BRICS ülkelerinde sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin ortaya konulmasına yönelik ÇKE hipotezi kapsamında BİT ve diğer emisyon belirleyicilerinin emisyon üzerindeki etkisini momentler kantil regresyon yöntemi ile incelemiştir. Gelir ve enerji tüketimindeki artışın emisyonların artmasında etkili olduğu; BİT kullanımının ise düşük ve orta kantillerde çevresel bozulmalar üzerinde negatif bir etkisi olduğu bulunmuştur. Bu bulgu BİT'in enerji verimliliği teknolojileri aracılığıyla düşük ve orta emisyon düzeylerinde emisyonu azalttığına vurgu yapılmıştır. Haldar ve Sethi (2022) çalışmasında 2000-2018 dönemleri arasında 16 yükselen piyasa ekonomisini ele almıştır. BİT'in çevresel kalite üzerindeki doğrudan etkisinin yanı sıra ticari açıklık, inovasyon, yenilenebilir enerji ve finansal gelişim aracılığıyla dolaylı etkilerini incelemiştir. BİT kapsamında ele alınan internet kullanımı ve mobil hücresel kullanım artışının yanı sıra artan yenilenebilir enerji tüketimi ve ticaretin emisyonu azalttığı bulgusu elde edilmiştir.

BİT'in daha erişilebilir ve uygun fiyatlı hale gelmesiyle kullanımı giderek artmaktadır. Dolayısıyla artan BİT kullanımı daha fazla enerji tüketimine yol açmakta ve bu durum emisyonların artmasına neden olabilmektedir. Lee ve Brahmarsene (2014), 1991-2009 yıllık verilerle 9 Güneydoğu Asya ülkesi için BİT, ekonomik büyüme ve CO<sub>2</sub> emisyonları arasında uzun dönemli ilişkinin geçerli olup olmadığını araştırmıştır. FMOLS tahminlerine göre, BİT'in yalnızca ekonomik büyümeyi desteklemekle kalmayıp; aynı zamanda emisyonlar üzerinde de istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkisinin olduğu sonucunu elde etmiştir. Benzer şekilde, Salahuddin vd. (2016) BİT'in OECD ülkelerinde hem ekonomik büyümeyi hem de emisyonları arttırdığını belirtmiştir. Çalışmada ayrıca BİT'in ticari açıklığı teşvik ettiği; buna karşın gelirin emisyonlar üzerinde önemli bir etkisi olmadığı vurgulanmıştır. Afzal ve Gow (2016), 1990-2014 yılları arasında Next-11 ülkeleri için BİT kullanımının elektrik tüketimi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmada farklı BİT göstergeleri kullanılarak artan BİT kullanımının elektrik tüketimini arttırdığı ve dolayısıyla artan enerji tüketiminin de emisyonların artmasına neden olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Benzer şekilde Park vd. (2018) AB ülkeleri arasından seçilmiş 23 ülke verisi aracılığıyla BİT ve finansal gelişimin çevresel kalite üzerindeki etkisini panel ortalama grup, FMOLS ve DOLS tahmin yöntemleri yardımıyla incelemiştir. Finansal gelişim, ticari açıklık ve ekonomik büyümenin emisyonlar üzerinde negatif etki gösterdiği; BİT kullanımı ve elektrik tüketiminin ise emisyonların artmasına neden olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen

bulgular doğrultusunda, örneklemedeki ülkelerin enerji verimli BİT araçlarına ihtiyaç duyulduğunun altı çizilmiştir. Danish vd. (2018) Next-11 ülkeleri için BİT, finansal gelişme, BİT ile finansal gelişmenin etkileşim etkisinin yanı sıra ekonomik büyümenin çevresel kaliteyi kötüleştirdiği; Haseeb vd. (2019) BRICS ülkeleri için BİT, küreselleşme ve elektrik tüketiminin çevresel bozulmalara neden olduğunu öne sürmüştür. Avom vd. (2020) Sahra-altı Afrika bölgesinin ele alındığı çalışmada BİT'in hem doğrudan hem de enerji tüketimi aracılığıyla dolaylı olarak emisyonları arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Raheem vd. (2020) 1990-2014 dönemi için G7 ülkeleri kapsamında BİT ve finansal gelişmenin hem CO2 emisyonları hem de ekonomik büyüme üzerindeki etkisini araştırmıştır. Uzun dönemde finansal gelişimin CO2 emisyonları üzerinde zayıf fakat artırıcı bir rol üstlendiği; bunun yanı sıra internet kullanımı ve mobil hücresel abonelikler yardımıyla BİT'in emisyonların artmasında önemli payı olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca bahsi geçen değişkenlerin büyüme üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı bulunmuştur. Su vd. (2021) sürdürülebilir kalkınma için BRICS ülkelerinde BİT'in emisyonlar üzerinde azaltıcı bir rol üstlenip üstlenmediğini ÇKE hipotezi çerçevesinde incelemiştir. BİT göstergesi olarak ele alınan sabit telefon ve geniş bant aboneliklerinin CO2 emisyonları üzerinde pozitif bir etkisi; mobil hücresel aboneliklerin ise negatif bir etkisi olduğu bulgusu elde edilmiştir. Charfeddine ve Kahia (2021) çevresel kalitenin göstergesi olarak CO2 emisyonlarını ele aldığı çalışmada BİT ve yenilenebilir enerji tüketiminin emisyonlar üzerindeki etkisini panel-VAR tekniği aracılığıyla incelemiştir. Çalışmada 1997-2019 dönemleri arasında MENA ülkeleri iki grup altında ele alınmıştır. Tahmin sonuçlarına göre, BİT göstergelerinin her iki grup için de çevresel kalite üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu sonucu elde edilmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımının artmasının emisyonları azalttığı ve dolayısıyla çevresel kaliteyi iyileştirdiği vurgulanmıştır. Modelde yer alan diğer kontrol değişkenler çerçevesinde ise ticaret ve ekonomik büyümenin çevresel bozulmalara yol açabileceği ortaya konulmuştur. Usman vd. (2021) gelişmekte olan ve yükselen 9 Asya ekonomisi için BİT ve CO2 arasındaki simetrik ve asimetrik ilişkinin araştırıldığı çalışmada 9 ülkeden 6'sında BİT'in emisyonların artmasına neden olduğundan dolayı BİT endüstrisinin çevre dostu olmadığı sonucu elde edilmiştir. Alataş (2021), 1995-2016 dönemleri arasında farklı emisyon düzeylerine sahip 93 gelişmiş ve gelişmekte olan ülke ekonomilerini yüksek, orta ve düşük emisyon salınımı yapan ülkeler şeklinde sınıflandırarak STIRPAT modeli çerçevesinde BİT'in emisyonlar üzerindeki etkisini araştırmıştır. BİT göstergeleri olarak internet kullanımı, mobil hücresel ve sabit telefon abonelikleri ele alınmıştır. Ülkeler farklı emisyon düzeylerine sahip olsalar dahi artan BİT kullanımının çevresel bozulmalara yol açtığı bulgusuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra yüksek ve orta düzeyde emisyon salınımı yapan ülkelere küreselleşmenin çevresel kaliteyi iyileştirdiği; buna karşın gelirdeki artışın tüm emisyon düzeylerinde CO2 emisyonlarını arttırdığı belirtilmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, BİT'in çevresel kalite üzerindeki etkisi konusunda henüz bir fikir birliğine varılmadığı görülmektedir. Çalışmalarda seçilen ülke veya ülke grupları, zaman periyodunun farklılığı ve kullanılan ekonometrik teknikler gibi etmenlerden dolayı bulguların farklılaştığı dikkat çekmektedir.



## 2. Veri ve Metodoloji

### 2.1. Veri ve Model

Bu çalışmada 1995-2018 dönemi arasında yükselen piyasa ekonomilerinden<sup>1</sup> oluşan bir panel veri seti için BİT'in çevresel kalite üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çevresel kalitenin bir ölçüsü olarak CO<sub>2</sub> emisyonu kullanılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde çevresel kalite üzerinde en önemli etkiye sahip olan değişkenler arasında ekonomik büyüme, enerji tüketimi değişkenleri ilk sıralarda yer almaktadır (Fakher, vd. 2018: 448). Bunun yanı sıra küreselleşmenin de çevresel kalite üzerinde önemli etkilerinin olduğunu gösteren çok sayıda çalışma mevcuttur (Bilgili vd., 2020: 1089). Bu çalışmada BİT'in yanı sıra çevresel kalite üzerinde önemli etkilere sahip olan ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve küreselleşmenin CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkilerini incelemek için aşağıdaki ekonometrik model tahmin edilmiştir:

$$CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 ICT_{it} + \beta_3 EC_{it} + \beta_4 GLOB_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

burada  $i = 1, 2, \dots, N$  ve  $t = 1, 2, \dots, T$  ülkeyi ve zaman dilimini ifade etmektedir.  $CO_{2it}$ , kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonunu,  $GDP_{it}$  ekonomik büyümenin göstergesi olarak kişi başına düşen GSYİH'yi,  $EC_{it}$  kişi başına düşen enerji tüketim miktarını,  $GLOB_{it}$  küreselleşmeyi ve  $ICT_{it}$  bilgi ve iletişim teknolojilerini temsil etmektedir. Küreselleşmenin çevresel kalite üzerindeki etkisini kontrol etmek için ticari açıklık gibi tekil bir gösterge yerine; Dreher (2006) tarafından geliştirilen ve Gygli vd. (2019) tarafından revize edilen küreselleşme indeksi kullanılmıştır. Dünyadaki her bir ülkenin ekonomik, sosyal ve politik boyutlarını dikkate alarak oluşturulan KOF küreselleşme indeksi, literatürde küreselleşmenin bir göstergesi olarak tercih edilmektedir (Liu vd., 2020: 2; Ulucak vd., 2020: 860; Alataş, 2021: 5). Çalışmanın temel bağımsız değişkenlerinden biri olan bilgi ve iletişim teknolojileri dört alt bileşenden oluşmaktadır. Bunlar internet kullanıcıları yüzdesi, mobil hücresel abonelikler, sabit telefon abonelikleri ve sabit geniş bant abonelikleridir. Aynı yapının bileşenlerini temsil eden değişkenlerin aynı denklem içerisinde modellemeye dahil edilmesi durumunda, özellikle bu değişkenler arasında yüksek derecede korelasyon mevcutsa, çoklu doğrusal bağlantı sorunuyla karşı karşıya kalınabilir. Bu sorunu önlemek için temel bileşenler analizi yardımıyla BİT'in dört alt bileşeni kullanılarak BİT indeksi oluşturulmuştur. İndeks kullanmanın en temel avantajı, farklı BİT göstergelerinin orijinal veri kümesindeki özelliklerin çoğunu temsil eden tek bir bileşene indirgenmesine olanak sağlamasıdır. Çalışmada BİT ve küreselleşme indeksleri hariç bütün değişkenlerin logaritmik formları tahmin modelinde kullanılmıştır. Tablo 1'de ekonometrik tahminlerde kullanılan değişkenlerin tanımlamaları ve veri kaynakları belirtilmektedir.

| Değişkenler     | Tanım   | Kaynak        |
|-----------------|---|---------------|
| CO <sub>2</sub> | Kişi başına düşen CO <sub>2</sub> emisyonu (metrik ton) | Dünya Bankası |
| GDP             | Kişi başına düşen GSYİH (2015 baz yılı, US\$ cinsinden) | Dünya Bankası |
| INTERNET        | İnternet kullanan bireyler (nüfusun yüzdesi)            | Dünya Bankası |
| MOBILE          | Mobil hat aboneliği (100 kişi başına)                   | Dünya Bankası |

<sup>1</sup> Gelişmekte olan ülkeler, MSCI'de listelenen ülkeler arasından 22 ülke verisi ele alınmaktadır. (Katar, Kuveyt ve Tayvan örneklem dönemine ait veri mevcudiyetinin eksikliği bakımından veri setine dahil edilmemiştir.) (Ayrıntılar için bakınız: <https://www.msci.com/our-solutions/indexes/market-classification>).

|                      |  |                   |
|----------------------|--|-------------------|
| F_PHONE              | Sabit hat aboneliği (100 kişi başına)                      | Dünya Bankası     |
| F_BROAD              | Sabit geniş bant internet aboneliği (100 kişi başına)      | Dünya Bankası     |
| EC                   | Kişi başına düşen birincil enerji tüketimi (kilowatt saat) | BP İstatistikleri |
| GLOB                 | Genel küreselleşme indeksi (indeks)                        | KOF               |
| ICT <sub>index</sub> | BİT indeksi  |                   |

**Tablo 1.** Değişkenlere Ait Tanımlamalar ve Veri Kaynakları

Temel bileşenler analizi (TBA), veri kümesinin boyutsallığının azaltılıp yorumlanabilirliğini arttıran aynı zamanda bilgi kaybını en aza indirgeyen istatistiksel bir tekniktir. Verilerdeki varyasyonun maksimum düzeyde tutularak birbiriyle ilişkisiz yeni değişkenlerin yaratılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Değişkenler arasında doğrusal ilişkilerin olduğu ve standartlaştırılmış varyansın her bir bileşen tarafından ne dereceye kadar açıklandığını gösteren veri kovaryans matrisinin öz değerlerinin ayrıştırılması varsayımlarına dayanmaktadır. Bahsi geçen teknik literatürde BİT'e ait indeks oluşturulmasında uygun bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Dabbous, 2018: 73; Khan vd., 2020: 36723; Akande vd. 2019: 587). Bu çalışmada TBA'nın uygulanmasına geçilmeden önce tekniğe ait varsayımların veri seti bakımından uygunluğu incelenmiştir. Buna yönelik önce değişkenler arasındaki doğrusal ilişki Pearson korelasyon katsayıları kullanılarak test edilmiş; daha sonra ana bileşenin tanımlanması için öz vektör ve öz değerlerin hesaplanarak değişken kümesine ait öz değeri birden büyük olan bileşen sayısı kadar veri indirgemesi yapılmıştır. Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örneklem uygunluk testi ve Bartlett'in küresellik testi yardımıyla elde edilen bulguların geçerliliği değerlendirilmiştir. KMO örneklem uygunluk testi, ele alınan verilerin TBA'ya uygun olup olmadığının yanı sıra değişkenler arasındaki ilişkilerin önemli olup olmadığını ölçmektedir. KMO örneklem uygunluk ölçüsü, 0 ile 1 arasında değer almakta ve bu değer uygunluğun derecesi hakkında bilgi vermektedir. KMO ölçüsüne göre, 0.50-0.59 arası zayıf; 0.60-0.69 arası orta; 0.70-0.79 arası iyi; 0.80-0.89 arası çok iyi ve 0.90-1 arası mükemmel uygunluk olarak kabul edilmektedir. Verilerin indirgemesinin uygunluğu ise Bartlett'in küresellik testi yardımıyla incelenmektedir (Ekinci-Hamamcı ve Şahinoğlu, 2020: 736-737). Tablo 2'de çalışmada kullanılan değişkenlere ait betimsel istatistikler ve korelasyon matrisi; Tablo 3'te ise dört BİT göstergesi için hesaplanan öz değerlere, KMO örneklem uygunluk ölçüsüne ve Bartlett'in küresellik testine ait bulgular verilmiştir.

| <i>Değişkenler</i>      | <i>Ort.</i> | <i>S.S.</i> | <i>Min.</i> | <i>Max.</i> |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>lnCO<sub>2</sub></i> | 1.447       | 0.894       | -0.263      | 3.417       |
| <i>lnGDP</i>            | 8.881       | 0.878       | 6.427       | 11.039      |
| <i>lnEC</i>             | 9.899       | 0.927       | 8.026       | 12.209      |
| <i>lnGLOB</i>           | 4.182       | 0.143       | 3.671       | 4.445       |
| <i>Internet</i>         | 30.320      | 27.577      | 0.005       | 98.45       |
| <i>Mobile</i>           | 70.185      | 53.593      | 0           | 212.64      |
| <i>F_Phone</i>          | 19.416      | 13.308      | 1.243       | 60.249      |
| <i>F_Broad</i>          | 8.585       | 9.773       | 0.0003      | 41.597      |

|                         | (1) | (2)    | (3)    | (4)    | (5)    | (6)    | (7)    | (8)    |
|-------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <i>lnCO<sub>2</sub></i> | (1) | 1      |        |        |        |        |        |        |
| <i>lnGDP</i>            | (2) | 0.8956 | 1      |        |        |        |        |        |
| <i>lnEC</i>             | (3) | 0.9761 | 0.9306 | 1      |        |        |        |        |
| <i>lnGLOB</i>           | (4) | 0.5022 | 0.3254 | 0.2325 | 1      |        |        |        |
| <i>Internet</i>         | (5) | 0.3222 | 0.3957 | 0.3146 | 0.7106 | 1      |        |        |
| <i>Mobile</i>           | (6) | 0.2948 | 0.3015 | 0.2790 | 0.6653 | 0.8483 | 1      |        |
| <i>F_Phone</i>          | (7) | 0.4442 | 0.5393 | 0.3871 | 0.5242 | 0.8391 | 0.7905 | 1      |
| <i>F_Broad</i>          | (8) | 0.2467 | 0.3589 | 0.2298 | 0.6189 | 0.8534 | 0.7307 | 0.8683 |

**Tablo 2.** Betimsel İstatistikler ve Korelasyon Matrisi

Tablo 2’deki değişkenlerin betimsel istatistikleri incelendiğinde, BİT’in dört göstergesi arasında yüksek dereceden korelasyon ilişkisi mevcuttur. Bahsi geçen dört göstergelyi ayrı ayrı modelleme sürecine dahil etmek yerine TBA yardımıyla bir bileşik indeks elde edilmesi yaklaşımına başvurulmuştur.

| <i>Bileşenler</i>                                  | <i>Özdeğer</i>   | <i>Fark</i>      | <i>Varyans</i>   | <i>Kümülatif</i> |                     |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| <i>Bileşen 1</i>                                   | 2.65935          | 1.73447          | 0.7648           | 0.7648           |                     |
| <i>Bileşen 2</i>                                   | .924875          | .608539          | 0.1312           | 0.8960           |                     |
| <i>Bileşen 3</i>                                   | .316336          | .216894          | 0.0791           | 0.9651           |                     |
| <i>Bileşen 4</i>                                   | .099442          | ---              | 0.0249           | 1.0000           |                     |
| <i>Değişkenler</i>                                 | <i>Bileşen 1</i> | <i>Bileşen 2</i> | <i>Bileşen 3</i> | <i>Bileşen 4</i> | <i>Açıklanmayan</i> |
| <i>Internet</i>                                    | 0.5798           | -0.1962          | -0.1951          | -0.7663          | 0                   |
| <i>Mobile</i>                                      | 0.4784           | -0.5335          | 0.6068           | 0.3440           | 0                   |
| <i>F_Phone</i>                                     | 0.3500           | 0.8082           | 0.4696           | -0.0617          | 0                   |
| <i>F_Broad</i>                                     | 0.5590           | 0.1540           | -0.6109          | 0.5391           | 0                   |
| <i>Korelasyon matrisinin determinanı</i>           |                  |                  |                  |                  |                     |
| Determinant  |                  |                  |                  |                  | 0.051               |
| <i>Bartlett Küresellik testi</i>                   |                  |                  |                  |                  |                     |
| $\chi^2$ (serbestlik derecesi=6)                   |                  |                  |                  |                  | 1557.773            |
| p- değeri  |                  |                  |                  |                  | 0.000               |
| <i>Kaiser-Meyer-Olkin örneklem uygunluk ölçüsü</i> |                  |                  |                  |                  |                     |
| KMO  |                  |                  |                  |                  | 0.723               |

**Tablo 3.** Temel Bileşenler Analizi, KMO ve Barlett Küresellik Testi Sonuçları

Tablo 3'te yer alan öz değer hesaplamaları sonucunda değişken kümesinin bir bileşene indirgendiği bulgusuna ulaşılmıştır. KMO örneklem uygunluk ölçüsünün değeri 0.723 olarak bulunmuş ve bu değer verilerin analiz için iyi uygunluk gösterdiği ortaya konulmuştur. Bartlett'in küresellik testi sonucuna göre, korelasyon matrisinin birim matrise eşit olduğunu ifade eden sıfır hipotezi %1 anlamlılık düzeyinde reddedilmiş ve korelasyon matrisinin birim matristen farklı olduğu bulunmuştur. Elde edilen bulgular, TBA'nın değişken kümesinin indirgenmesi için uygun bir teknik olduğunu aynı zamanda güvenilir ve tutarlı sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

## 2.2. Metodoloji

Çalışmanın ampirik adımları şu şekilde sıralanmaktadır: kulüp yakınsama yaklaşımıyla ülkelerin sınıflandırılması, yatay kesit bağımlılık testleri ve eğim katsayılarının homojenlik durumu, panel birim kök testleri, eşbütünleşme analizi, uzun dönem parametre tahminleri ve nedensellik ilişkisi.

### 2.2.1. Kulüp Yakınsama

Phillips ve Sul (2007) veriye dayalı algoritma aracılığıyla kümeleme yöntemini kullanarak ülkeleri veri matrisindeki benzerliklerine göre sınıflandıran ve her bir kulüp/grup içerisinde yakınsamanın geçerli olup olmadığını test eden kulüp yakınsama yaklaşımını önermektedir. Kulüp yakınsaması, ampirik büyüme literatüründe gelirdeki yakınsamayı test etmek için yaygın olarak kullanılan tekniklerden biridir (Du, 2017: 882). Beta, sigma ve stokastik yakınsama gibi diğer yakınsama yaklaşımlarından en temel farkı çoklu dengeler sağlamasıdır. Kulüp yakınsaması teknoloji, tercihler, politik sistem gibi benzer yapısal özelliklere ve koşullara sahip ülkelerin aynı kararlı duruma yakınsama eğilimi göstereceğini ifade etmektedir. (Morales-Lage vd., 2019: 2). Bu teknikte ülkeler arasındaki kararlı durum (steady-state) düzeyi önemli ölçüde farklılıklar gösterebileceğinden dolayı çalışmadaki kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyon miktarı değişkeni bakımından benzer davranış eğilimi sergileyen ülke kulüpleri tanımlanmaktadır. Dolayısıyla ampirik analize bu yeni yaklaşım kullanılarak ülkelerin sınıflandırılmasıyla başlanmaktadır.

Kulüp yakınsama yaklaşımında ele alınan değişken zamanla değişen iki bileşene ayrıştırılmaktadır:

$$y_{it} = \delta_{it}\mu_t \quad (2)$$

burada  $y_{it}$  kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonunun logaritmasını ifade etmektedir.  $\mu_t$  paneldeki ülkeler arasındaki ortak faktördür ve  $y_{it}$ 'nin toplamsal ortak etkisini göstermektedir.  $\delta_{it}$  ise kendine özgü bileşendir ve  $\mu_t$  ortak faktör ile  $y_{it}$ 'nin sistematik kısmı arasındaki kendine özgü uzaklığı ölçen birim geçiş faktörlerini temsil etmektedir (Phillips & Sul, 2007: 1775). Yakınsama hipotezine göre her bir ülke için  $\delta_{it}$ 'nin kısıtlı(sınırlı) bir  $\delta_i$  değerine yakınsadığı ve  $\delta_{it}$  ile  $\delta_i$  arasındaki ortalama farkın  $\alpha \geq 0$  ve  $\delta_i = \delta$  için  $1/(t^\alpha \log(t+1))$  oranında azalacağı varsayılmaktadır. Bu süreç,  $\delta_{it}$  faktör yüklerinin yakınsak olup olmadığını test ederek yakınsamanın belirlenmesini sağlamaktadır (Ulucak ve Apergis, 2018: 24). Her bir serinin logaritmasının yatay kesit ortalamasına oranlanarak  $h_{it}$  geçiş yolu hesaplanmaktadır:

$$h_{it} = \frac{X_{it}}{N^{-1} \sum_{i=1}^N X_{it}} = \frac{\delta_{it}}{N^{-1} \sum_{i=1}^N \delta_{it}} \quad (3)$$

Denklem (3) kullanılarak yatay kesit varyasyon oranı ( $H_1/H_t$ ) aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır:

$$H_{it} = N^{-1} \sum_{i=1}^N (h_{it} - 1)^2 \quad (4)$$

Panelin ortak sınıra olan uzaklığını gösteren Denklem (4) aracılığıyla her bir yatay kesitin varyansı hesaplanmaktadır. Ele alınan panel veri setinde yakınsamanın varlığını ifade eden sıfır hipotezi  $H_0: \delta_i = \delta_t$  and  $\alpha \geq 0$  iken; alternatif hipotez  $H_1: \delta_i \neq \delta_t$  and  $\alpha < 0$  şekilde

kurulmaktadır. Denklem (5)'teki log-t regresyon modeli kullanılarak yukarıdaki hipotezler istatistiksel olarak test edilmektedir:

$$\log(H_1/H_t) - 2\log(\log t) = \alpha + \beta \log t + u_t, \quad \text{for } t = [\tau T], [\tau T] + 1, \dots, T\tau > 0 \quad (5)$$

burada  $\tau$  örneklemden çıkarılan kısmı sembolize etmekte ve Monte Carlo simülasyonları sonuçlarına göre küçük örneklemler için  $\tau = 0.3$ , büyük örneklemler için  $\tau = 0.2$  alınması önerilmektedir (Phillips & Sul, 2007: 1789; Phillips & Sul, 2009: 1168). Kalıntıların uzun dönemli varyansı için değişen varyans ve otokorelasyonun tutarlı tahmincisi kullanılarak standart hatalar hesaplanmaktadır. Yakınsama olduğunu ifade eden sıfır hipotezinin test edilmesi için %5 anlamlılık düzeyinde tek taraflı t testi kullanılmaktadır. Eğer  $\hat{\beta}$ 'nin test istatistiği kritik değer olarak ele alınan -1,65'ten küçük ise nispi/koşullu yakınsamayı ifade eden sıfır hipotezi reddedilmektedir. Bu, paneldeki bütün ülkelerin tekil/eşsiz (unique) kararlı durum düzeyine sahip olmadığını; başka bir deyişle örneklemin tamamında yakınsama olmadığını ifade etmektedir. Panelin tamamında yakınsama olmadığı takdirde kümeleme yöntemi yardımıyla alt gruplar/kulüpler içerisinde yakınsamanın incelenmesi önerilmektedir. (Phillips ve Sul, 2007: 1794). Alt gruplar/kulüpler belirlenmesinin ardından Phillips ve Sul (2009) tarafından geliştirilen beş aşamalı veriye dayalı kümeleme algoritması yardımıyla başlangıç kulüplerin birleşip yeni kulüpler oluşturup oluşturmadıkları incelenmektedir.

### 2.2.2. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Eğim Heterojenliği

Model tahmininde yatay kesit bağımlılığının göz ardı edilmesi tahminde etkinlik kaybına neden olabilmekte ve hatalı sonuçlara yol açabilmektedir. Bu bağlamda, ülkeler ekonomik durumları ve karbon emisyon seviyeleri bakımından farklı özelliklere sahip olduğundan dolayı yatay kesit bağımlılığının olup olmadığını araştırılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada yatay kesit bağımlılığının varlığının araştırılmasına yönelik Breusch ve Pagan (1980) LM testi, Pesaran (2004) CD testi ve Pesaran vd. (2008) tarafından geliştirilen LMadj testi kullanılmıştır. Yatay kesit heterojenliği varlığında, eğim katsayılarının homojen olduğunun varsayılması yanıltıcı tahminlere neden olabilmekte ve dolayısıyla katsayıların homojenliğinin sınanması önem arz etmektedir (Shahbaz et al., 2018, p:1483). Bu amaçla eğim katsayılarının homojenlik sınamaları için aşağıda verilen Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilmiş delta test istatistikleri kullanılmaktadır:

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

$$\tilde{\Delta}_{adj} = \sqrt{N} \left( \frac{N^{-1}\tilde{\xi} - E(\tilde{z}_{it})}{\sqrt{\text{var}(\tilde{z}_{it})}} \right) \quad (7)$$

Denklem (6) ve (7)'de verilen eşitliklerde  $\tilde{\xi}$  genişletilen Swamy test istatistiğine, k bağımsız değişken sayısına ve N yatay kesit sayısına karşılık gelmektedir.  $E(\tilde{z}_{it}) = k$  ve  $\text{var}(\tilde{z}_{it}) = (2k(T - k - 1))/(T + 1)$ 'ye eşittir (Pesaran ve Yamagata, 2008: 57).

### 2.2.3. Panel Birim Kök Testleri

Eşbütünleşme ilişkisini test etmeden önce sahte regresyon sorunlarından kaçınmak amacıyla değişkenlerin birim kök özelliklerinin incelenmesi bir ön koşuldur. Serilerin durağanlığının araştırılmasında yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliğinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu çalışmada Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CADF ve CIPS ikinci nesil birim kök testleri kullanılmıştır. CADF testinin regresyon modeli Denklem (8)'de verilmektedir:

$$\Delta y_{i,t} = \alpha_i + \rho_i y_{i,t-1} + c_i \bar{y}_{t-1} + d_i \Delta \bar{y}_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

burada  $\bar{y}_{t-1} = N^{-1} \sum_{i=1}^N y_{i,t-1}$  ve  $\Delta \bar{y}_t = N^{-1} \sum_{i=1}^N \Delta y_{i,t}$ 'ye eşittir. Standart ADF regresyon denkleminin bireysel serilerin ilk farkları ve gecikmeli yatay kesit ortalamalarıyla genişletilmesiyle elde edilmektedir (Pesaran, 2007: 269). Panele ait hesaplanan CADF testlerinin aritmetik ortalamasıyla CIPS test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$CIPS = N^{-1} \sum_{i=1}^N CADF_i \quad (9)$$

burada  $CADF_i$  Denklem (8)'deki  $i$ 'inci yatay kesitine ait CADF test istatistiğine karşılık gelmektedir (Pesaran, 2007: 275).

#### 2.2.4. Panel Eşbütünleşme Testi

Eşbütünleşme testleri, aynı dereceden entegre seriler olması durumunda uzun dönem ilişkinin varlığının incelenmesinde başvurulmaktadır. Bu çalışmada, değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisinin incelenmesine yönelik Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen Lagrange çarpımı (LM) bootstrap eşbütünleşme testi kullanılmıştır. Yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliğini dikkate alan LM bootstrap eşbütünleşme testi, küçük örneklerde de etkin sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır (Westerlund ve Edgerton, 2007: 185). Test istatistiği aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$LM_N^+ = \frac{1}{NT^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{\omega}_i^{-2} S_{it}^2 \quad (10)$$

burada  $S_{it}^2$  hata teriminin kısmi toplamını,  $\hat{\omega}_i^{-2}$  hata terimlerinin uzun dönem varyanslarını temsil etmektedir. Testin sıfır hipotezi, tüm yatay kesitler için değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin var olduğunu ifade etmektedir (Westerlund ve Edgerton, 2007: 187).

#### 2.2.5. Uzun Dönem Parametre Tahminleri

Geleneksel uzun dönemli panel tahmin modelleri, eğim heterojenliği ve yatay kesit bağımlılığını hesaba katmadığında sahte ve yanlış tahminler üretebilme durumuyla karşıya karşıyadır (Pesaran ve Smith, 1995: 102). Bu çalışmada, eğim heterojenliği ve yatay kesit bağımlılığı varlığında güvenilir ve etkin tahmin sonuçlarının elde edilmesi amacıyla genişletilmiş ortalama grup (AMG) ve ortak ilişkili etkiler ortalama grup (CCEMG) panel tahmincileri kullanılmıştır.

Pesaran (2006) tarafından öne sürülen ve Kapetanios vd. (2011) tarafından geliştirilen CCEMG tahmincisi, bağımsız değişkenler ve gözlemlenemeyen ortak etkilerin yatay kesit ortalamalarının doğrusal kombinasyonlarını kullanmaktadır (Pesaran 2006: 969, Kapetanios vd., 2011: 327). CCEMG tahmincisi aşağıdaki gibi tahmin edilmektedir:

$$y_{it} = \alpha_{1i} + \beta_i x_{it} + \varphi_i f_t + \delta_i \bar{y}_{it} + \theta_i \bar{x}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

burada  $y_{it}$  ve  $x_{it}$  bağımlı ve bağımsız değişkenler,  $\beta_i$  bağımsız değişkenin ülkeye özgü eğim katsayısı,  $f_t$  heterojenlik altında gözlemlenemeyen ortak faktör,  $\alpha_i$  sabit terim ve  $\varepsilon_{it}$  hata terimini temsil etmektedir. Buna göre, her bireysel regresyon için CCEMG tahmincisi istatistikleri Denklem (11)'deki  $\hat{\beta}_i$ 'nin ortalamasıyla aşağıda belirtildiği gibi hesaplanmaktadır (Kapetanios vd., 2011: 328):

$$\hat{\beta}_{CCEMG} = N^{-1} \sum_{i=1}^N \hat{\beta}_i \quad (12)$$

CCEMG tahmincisi, bağımsız değişkenler ve gözlemlenemeyen ortak etkilerin dışsal ve durağan olduğunu varsaymaktadır. Değişkenler ve ortak etkiler durağan ya da aynı dereceden eşbütünleşik olduğunda tutarlı sonuçlar elde edilmektedir (Kapetanios vd., 2011: 329).

Eberhardt ve Bond (2009) ile Eberhardt ve Teal (2010) tarafından geliştirilen AMG tahmincisi, yatay kesit bağımlılığı ve heterojenlik olması durumunda bireysel katsayılarla birlikte panelin geneline ait sonuç veren ve ortalama grup etkisini hesaplayan tahmincidir. Bu tahminci iki

aşamalı bir prosedür ile elde edilmektedir (Eberhardt ve Bond, 2009: 3; Eberhardt ve Teal, 2010: 6-7):

$$\begin{aligned} \text{AMG – aşama 1} \quad \Delta y_{i,t} &= \beta' \Delta x_{i,t} + \sum_{t=2}^T c_t \Delta D_t + \varepsilon_{i,t} \\ &\Rightarrow \hat{c}_t \equiv \hat{\mu}_t \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{AMG – aşama 2} \quad y_{i,t} &= \alpha_i + \beta_i' \Delta x_{i,t} + c_i t + d_i \hat{\mu}_t + \varepsilon_{i,t} \\ \hat{\beta}_{AMG} &= N^{-1} \sum_{i=1}^N \hat{\beta}_i \end{aligned} \quad (14)$$

burada  $\Delta$  birinci fark operatörünü,  $c_t$  zaman kuklalarının katsayısını göstermekte ve ortak dinamik süreç olarak adlandırılmaktadır. İlk aşamada,  $T-1$  yıllık kukla değişkenlerle ilk farkı alınmış EKK denklemi tahmin edilmekte ve yıllık kukla değişken katsayıları  $\hat{\mu}_t$  olarak yeniden isimlendirilmektedir. İkinci aşamada, bu değişkenin yanı sıra doğrusal zaman trendini içeren model tahmin edilerek her bireysel regresyon için AMG tahmincisi istatistikleri elde edilmektedir.  $\hat{\beta}_{AMG}$ , AMG tahmincisi için ortalama grup tahmincisini göstermektedir. Denklem (14)'teki diğer parametreler Denklem (11)'de yer alan parametrelerle benzerdir (Eberhardt ve Bond, 2009: 3).

### 2.2.6. Panel Nedensellik Testi

Uzun dönemli parametre tahminleri değişkenler arasındaki ilişki hakkında bilgi sağlarken; ilişkinin yönü hakkında bilgi vermemektedir. Nedenselliğin yönünün ortaya konulması, politika yapıcılarının sürdürülebilir çevre ve ekonomik büyüme için ilgili politikaların uygulamaya konulmasında etkili olmaktadır. Bu çalışmada, çevresel kalite, BİT ve CO<sub>2</sub> emisyonunun belirleyicileri arasındaki nedensel ilişkinin tespit edilmesi amacıyla Dumitrescu ve Hurlin (2012) tarafından geliştirilen panel nedensellik yaklaşımına başvurulmuştur. Standart Granger nedensellik yaklaşımından farklı olarak bu testte, tüm katsayıların yatay kesitler arasında değiştiği varsayılmaktadır. Buna ek olarak, Monte Carlo simülasyonu kullanılarak, testin yatay kesit bağımlılığı olduğunda bile sağlıklı sonuçlar ürettiği belirtilmektedir (Dumitrescu and Hurlin, 2012: 1451). Dumitrescu-Hurlin (DH) panel nedensellik testi iki değişkenli lineer heterojen modele dayandırılarak aşağıdaki şekilde yazılmaktadır:

$$y_{i,t} = \alpha_i + \sum_{i=1}^K \gamma_i^{(k)} y_{i,t-k} + \sum_{i=1}^K \beta_i^{(k)} x_{i,t-k} + \varepsilon_{i,t} \quad (15)$$

burada  $K \in N^*$  ve  $\beta_i = (\beta_i^{(1)}, \dots, \beta_i^{(K)})'$  dir.  $\alpha_i$ ,  $\gamma_i^{(k)}$  ve  $\beta_i^{(k)}$  sırasıyla birim etkileri, otoregresif katsayıyı ve regresyonun eğim katsayısını göstermektedir.  $K$  gecikme derecelerinin panelin tüm kesit birimleri için aynı olduğu ve dengeli panelle tahmin yapıldığı varsayılmaktadır. Teste ait sıfır ve alternatif hipotez ise şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned} H_0: \beta_i &= 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \\ H_1: \begin{cases} \beta_i = 0 & \forall i = 1, 2, \dots, N_1 \\ \beta_i \neq 0 & \forall i = N_1 + 1, N_1 + 2, \dots, N \end{cases} \end{aligned}$$

Sıfır hipotezi tüm kesit birimleri için homojen Granger nedenselliğin olmadığını; alternatif hipotez ise en az bir birimde nedensel ilişkinin olduğunu belirtmektedir. DH panel nedensellik testinde  $W$  istatistiği ve  $Z$  istatistiği olmak üzere iki test istatistiği ile hesaplanmaktadır:

$$W_{N,T}^{HNC} = N^{-1} \sum_{i=1}^N W_{i,t} \quad (16)$$

$$Z_{N,T}^{HNC} = \frac{\frac{1}{\sqrt{N}} [\sum_{i=1}^N W_{i,t} - \sum_{i=1}^N E(W_{i,t})]}{\sqrt{N^{-1} \sum_{i=1}^N \text{Var}(W_{i,t})}} \quad (17)$$

burada  $W_{i,t}$  yatay kesitler için Wald istatistiğini,  $E(W_{i,t})$  ve  $\text{Var}(W_{i,t})$  sırasıyla Wald test istatistiğinin beklenen değeri ve varyansını sembolize etmektedir. Bahsi geçen nedensellik

yaklaşımı hem  $N > T$  hem de  $T > N$  durumunda olan heterojen panellerde kullanılabilirdiğinden dolayı esnek özelliklere sahiptir (Dumitrescu and Hurlin, 2012: 1459).

### 3. Ampirik Bulgular

#### 3.1. Kulüp Yakınsama Sonuçları

Küreselleşme süreciyle birlikte çevresel sorunlar uluslararası boyutlara ulaşmakta ve özellikle politika yapıcılar açısından emisyonların bölgeler arasındaki dağılımı ve zaman içindeki değişimi dikkat çeken konular arasında yer almaktadır. Çalışmanın örneklemini oluşturan yükselen piyasa ekonomileri farklı düzeylerde CO<sub>2</sub> emisyon seviyelerine sahiptir. Emisyon düzeyleri bakımından farklılık gösteren ülkelerin tek bir panel altında incelenmesi ele alınan değişkenlerin CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkilerinin net bir şekilde ortaya konulabilmesinde sorun yaratabilmektedir. Bu sorunun ortadan kaldırılabilmesi için emisyon düzeyleri bakımından birbirine yakın ülkelerin alt kulüpler altında incelenmesi daha güvenilir parametre tahminlerinin elde edilebilmesini sağlamaktadır. Bu amaçla Phillips ve Sul (2007, 2009) tarafından önerilen kulüp yakınsama yaklaşımı aracılığıyla farklı düzeylerde karbon emisyon salınımı yapan yükselen piyasa ekonomilerinin birbirine yakınsayan alt kulüpler altında toplanıp toplanmadığı araştırılmış ve sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

|                           |  | $\hat{\beta}$ | $\log - t$ |
|---------------------------|--|---------------|------------|
| <b>Panelin tamamı</b>     | Yükselen piyasa ekonomileri  | -0.887        | -95.763**  |
| <b>Başlangıç kulüpler</b> |  |               |            |
| Kulüp 1                   | Çin, Hindistan, Rusya, Malezya, Birleşik Arap Emirlikleri  | 0.932         | 9.018      |
| Kulüp 2                   | Kore, Suudi Arabistan  | -0.493        | -1.029     |
| Kulüp 3                   | Brezilya, Şili, Kolombiya, Çekya, Mısır, Yunanistan, Macaristan, Endonezya, Meksika, Peru, Filipinler, Polonya, Güney Afrika, Tayland, Türkiye | 0.359         | 1.426      |
| <b>Birleştirme testi</b>  |  |               |            |
| Kulüp 1 + Kulüp 2         |  | -0.311        | -0.676     |
| Kulüp 2 + Kulüp 3         |  | -1.115        | -9.075**   |
| <b>Nihai kulüpler</b>     |  |               |            |
| Kulüp 1                   | Çin, Hindistan, Kore, Malezya, Rusya, Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikleri   | -0.311        | -0.676     |
| Kulüp 2                   | Brezilya, Şili, Kolombiya, Çekya, Mısır, Yunanistan, Macaristan, Endonezya, Meksika, Peru, Filipinler, Polonya, Güney Afrika, Tayland, Türkiye | 0.359         | 1.426      |

*Not: \*\*, %5 anlamlılık düzeyinde yakınsamanın varlığını ifade eden sıfır hipotezinin reddedilmesini simgelemektedir.*



**Tablo 4.** Kişi Başına Düşen CO<sub>2</sub> Emisyonlarının Kulüp Yakınsama Sonuçları

Tablo 4'teki bulgular incelendiğinde, yükselen piyasa ekonomilerine ilişkin panelin tamamına ait *log-t* test istatistiği (-95.763), kritik tablo değerinden (-1.65) küçük olduğu için panelin tamamında yakınsama olduğunu ifade eden sıfır hipotezi reddedilmiştir. Bu bulgu, örnekleme ülkelerin aynı kararlı durum düzeyine sahip olmadığını ve farklı karar durum düzeylerinin tanımlanması gerektiğini ifade etmektedir. Panel içerisinde birbirine yakınsayan alt kulüplerin belirlenmesi amacıyla Phillips ve Sul (2007) tarafından geliştirilen kümeleme algoritması kullanılmış ve farklı emisyon düzeylerine sahip yükselen piyasa ekonomilerinin başlangıçta üç alt kulüp altında toplandığı bulgusu elde edilmiştir.

Kulüp yakınsama metodolojisinde elde edilen kulüp sayısının olması gerektiğinden fazla tahmin edilmesinin sorun yarattığı ve bu durumda mevcut kulüplerin diğer kulüplerle birleşip birleşmeyeceğinin araştırılması gerektiği vurgulanmaktadır (Phillips ve Sul, 2009: 1171). Bu amaçla, Phillips ve Sul (2009) algoritması yardımıyla yapılan birleştirme testi bulgularına göre, Kulüp 1 ve Kulüp 2'nin birbirine yakınsadığına ilişkin test istatistiği (-0.676) kritik tablo değerinden (-1.65) büyük olduğundan kulüpler arası yakınsamanın olduğunu ifade eden sıfır hipotezi reddedilememiş ve başlangıç kulüplerinden Kulüp 1 ve Kulüp 2'nin birbiriyle birleştiği sonucu elde edilmiştir. Buna karşın, Kulüp 2 ve Kulüp 3'ün birbirine yakınsadığına ilişkin test istatistiği (-9.075) kritik tablo değerinden küçük olduğu için yakınsamanın olduğunu ifade eden sıfır hipotezi reddedilmiştir. Elde edilen birleştirme testine ait sonuçlar incelendiğinde nihai kulüp sayısının ikiye indirildiği görülmüştür. Kulüp yakınsama yaklaşımı sonucunda elde edilen nihai kulüpler incelendiğinde, küresel CO<sub>2</sub> emisyon salımında öncü ülkeler ile orta sıralarda yer alan ülkelerin (Ritchie, 2019) sırasıyla in Kulüp 1 ve Kulüp 2 altında toplandığı bulgusuna ulaşılmıştır.

### 3.2. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Eğim Heterojenliği Sonuçları

Ticari anlaşmalar, ortak sınır, aynı etnik köken veya kültür ve diğer sosyo-ekonomik etmenler nedeniyle ülkeler birbirleriyle ilişkili olabilir (Batoool vd., 2022: 35029; Li vd., 2021: 826). Kesitler arasındaki korelasyon ilişkisinin ihmal edilmesi yanlış ve tutarsız bulgular elde edilmesine neden olabilmektedir. Kulüp yakınsaması yaklaşımı ile kulüplerin belirlenmesinin ardından, aynı kümede gruplandırılmış ülkeler ve örneklemin tamamına ilişkin yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliğinin bulguları Tablo 5'te verilmiştir.

|                       | Yatay kesit bağımlılığı testi |          |                   | Eğim homojenliği testi |                        |
|-----------------------|-------------------------------|----------|-------------------|------------------------|------------------------|
|                       | LM                            | CD       | LM <sub>adj</sub> | $\tilde{\Delta}$       | $\tilde{\Delta}_{adj}$ |
| <i>Kulüp 1</i>        | 27.845**                      | 2.711**  | 9.009***          | 4.683***               | 5.048***               |
| <i>Kulüp 2</i>        | 193.301***                    | 3.597**  | 8.073***          | 12.295***              | 14.197***              |
| <i>Panelin tamamı</i> | 325.822***                    | 5.559*** | 12.335***         | 16.440***              | 18.983***              |

Not: \*\*\* ve \*\* sırasıyla %1 ve %5 istatistiksel anlamlılık düzeylerini belirtmektedir.

**Tablo 5.** Yatay Kesit Bağımlılığı ve Eğim Homojenliği Testi Sonuçları

Tablo 5'te verilen Breusch-Pagan LM, Pesaran CD ve Pesaran LM<sub>adj</sub> test bulguları doğrultusunda hem örneklemin tamamı hem de ülke kulüpleri için yatay kesit bağımsızlığını ifade eden sıfır hipotezi reddedilmiştir. Bu bulgu, modelden elde edilen kalıntılar bakımından yatay kesit birimleri arasında güçlü bir bağımlılık olduğunu göstermektedir. Eğim katsayılarının homojen

olup olmadığına değerlendirilmesi için Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen  $\tilde{\Delta}$  ve  $\tilde{\Delta}_{adj}$  testleri kullanılmıştır. Tablodaki bulgular doğrultusunda eğim katsayılarının homojen olduğunu ifade eden sıfır hipotezi %1 anlamlılık düzeyinde reddedilmiştir. Bu bulgu, değişkenler arasındaki nedensel ilişkilerin yanı sıra esneklik katsayı tahminlerinin hem belirlenen külelerde hem de panelin tamamında ülkeler arasında heterojen olduğunu göstermektedir.

### 3.3. Panel Birim Kök ve Eşbütünleşme Testleri Sonuçları

Yatay kesit bağımlılığı ve heterojenlik varlığında serilerin durağanlık durumlarının incelenmesine yönelik Pesaran (2007)'nin geliştirdiği CADF ve CIPS testleri kullanılmıştır. Çalışmada, olası gözlemlenemeyen etkilerin yakalanması amacıyla serilerin birim kök içerip içermediği sabit ve trendli modeller kullanılarak araştırılmış ve test bulguları Tablo 6'da verilmiştir.

| Değişkenler                | Düzy   | CADF                  |        | CIPS                  |      | Karar |
|----------------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|------|-------|
|                            |        | Birinci fark          | Düzy   | Birinci fark          | Düzy |       |
| <b>Kulüp 1</b>             |        |                       |        |                       |      |       |
| <i>lnCO<sub>2</sub></i>    | -1.212 | -3.962 <sup>***</sup> | -0.992 | -4.336 <sup>***</sup> |      | I(1)  |
| <i>lnGDP</i>               | -1.430 | -2.765 <sup>**</sup>  | -1.135 | -2.678 <sup>**</sup>  |      | I(1)  |
| <i>ICT<sub>index</sub></i> | 0.029  | -2.820 <sup>**</sup>  | 0.620  | -2.839 <sup>***</sup> |      | I(1)  |
| <i>lnENC</i>               | -0.057 | -2.663 <sup>*</sup>   | -0.063 | -2.655 <sup>**</sup>  |      | I(1)  |
| <i>lnGLOB</i>              | -0.572 | -4.586 <sup>***</sup> | 0.586  | -6.588 <sup>***</sup> |      | I(1)  |
| <b>Kulüp 2</b>             |        |                       |        |                       |      |       |
| <i>lnCO<sub>2</sub></i>    | -1.171 | -3.848 <sup>***</sup> | -1.063 | -9.183 <sup>***</sup> |      | I(1)  |
| <i>lnGDP</i>               | 0.247  | -2.843 <sup>**</sup>  | 0.263  | -2.851 <sup>***</sup> |      | I(1)  |
| <i>ICT<sub>index</sub></i> | -0.903 | -4.353 <sup>***</sup> | -0.353 | -5.530 <sup>***</sup> |      | I(1)  |
| <i>lnENC</i>               | -1.527 | -5.973 <sup>***</sup> | -1.663 | -8.746 <sup>***</sup> |      | I(1)  |
| <i>lnGLOB</i>              | 0.803  | -3.657 <sup>***</sup> | 0.657  | -9.371 <sup>***</sup> |      | I(1)  |
| <b>Panelin tamamı</b>      |        |                       |        |                       |      |       |
| <i>lnCO<sub>2</sub></i>    | -1.792 | -4.835 <sup>***</sup> | -1.637 | -9.082 <sup>***</sup> |      | I(1)  |
| <i>lnGDP</i>               | -2.122 | -3.243 <sup>**</sup>  | -9.243 | -5.155 <sup>***</sup> |      | I(1)  |
| <i>ICT<sub>index</sub></i> | -0.850 | -4.110 <sup>***</sup> | -1.110 | -7.083 <sup>***</sup> |      | I(1)  |
| <i>lnENC</i>               | -1.122 | -5.634 <sup>***</sup> | -1.634 | -8.909 <sup>***</sup> |      | I(1)  |
| <i>lnGLOB</i>              | 0.746  | -3.756 <sup>***</sup> | 0.756  | -4.137 <sup>***</sup> |      | I(1)  |

Not: \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 istatistiksel anlamlılık düzeylerini belirtmektedir. CADF testine ait kritik değerler: %1 için (-2.882), %5 için (-2.721) ve %10 için (-2.634). CIPS testine ait kritik değerler: %1 için (-2.812), %5 için (-2.663) ve %10 için (-2.584).

**Tablo 6.** CADF ve CIPS Panel Birim Kök Testi Sonuçları

Tablo 6’da elde edilen bulgular incelendiğinde, her iki kulüp ve panelin tamamında serilerin düzeyde durağan olmadığına ilişkin sıfır hipotezi reddedilememiştir. Serilerin birinci farkları alındığında ise serilerin durağan olduğu bulunmuştur. Birinci dereceden bütünleşik olan CO<sub>2</sub> emisyonu ile belirleyicileri arasındaki uzun dönemli ilişkinin varlığına ait bulgular Tablo 7’de sunulmuştur.

|          | <i>Kulüp 1</i> |          | <i>Kulüp 2</i> |          | <i>Panelin tamamı</i> |          |
|----------|----------------|----------|----------------|----------|-----------------------|----------|
|          | LM testi       | p-değeri | LM testi       | p-değeri | LM testi              | p-değeri |
| $LM_N^+$ | 18.0674        | 0.846    | 23.097         | 0.654    | 44.987                | 0.498    |

Not: p-değeri bootstrap olasılık değerini göstermekte olup 1000 tekrarlı dağılıma göre elde edilmiştir.

**Tablo 7.** LM Bootstrap Eşbütünleşme Testi Sonuçları

Tablo 7’de verilen eşbütünleşme testi bulguları hem yatay kesit bağımlılığı hem de eğim heterojenliği durumunda tutarlı ve güvenilir sonuçlar vermektedir. İlgili eşbütünleşme testi, test denkleminde değişen varyans ve otokorelasyona izin vermekte; bununla birlikte küçük örneklerde etkin sonuçlar üretmektedir. Ampirik bulgular sonucunda, her iki kulüp ve panelin tamamı için eşbütünleşme ilişkisinin varlığını ifade eden sıfır hipotezi reddedilememiştir. Bu durum, çevresel kalitenin göstergesi olan CO<sub>2</sub> emisyonu ile BİT ve diğer belirleyiciler arasında uzun dönemli ilişki olduğuna işaret etmektedir.

### 3.4. Uzun Dönem Parametre Tahminleri ve Nedensellik Sonuçları

Değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin geçerliliğinin tespitinin ardından, Denklem (1)’de verilen modele ilişkin panelin tamamı ve iki alt kulüp için uzun dönem esneklik katsayıları AMG ve CCEMG tahminicileri yardımıyla bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 8’de verilmiştir.

| Bağımlı değişken: $\ln CO_2$ |                |            |                |           |                       |           |
|------------------------------|----------------|------------|----------------|-----------|-----------------------|-----------|
|                              | <i>Kulüp 1</i> |            | <i>Kulüp 2</i> |           | <i>Panelin tamamı</i> |           |
|                              | AMG            | CCEMG      | AMG            | CCEMG     | AMG                   | CCEMG     |
| $ICT_{index}$                | -0.0332**      | -0.0116**  | 0.0946**       | 0.0776    | 0.1675***             | 0.1264*** |
| $\ln GDP$                    | 0.4822***      | 0.3639**   | 0.3193**       | 0.2548**  | 0.4704**              | 0.4277*   |
| $\ln ENC$                    | 0.8395***      | 0.7530***  | 0.8211***      | 0.7735*** | 0.8534***             | 0.8391*** |
| $\ln GLOB$                   | -0.0094**      | -0.0046*** | 0.1806**       | 0.1609*** | 0.2392*               | 0.1885*   |
| Wald $\chi^2$                | 115.893        | 198.465    | 143.084        | 156.987   | 226.098               | 287.442   |
|                              | (0.000)        | (0.000)    | (0.000)        | (0.000)   | (0.000)               | (0.000)   |
| RMSE                         | 0.0182         | 0.0276     | 0.0223         | 0.0298    | 0.0161                | 0.0211    |

Not: \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 istatistiksel anlamlılık düzeylerini belirtmektedir. Wald  $\chi^2$  test istatistiklerinin olasılık değerleri parantez içinde gösterilmektedir.

**Tablo 8.** AMG ve CCEMG Tahmin Sonuçları

AMG tahmincisinden elde edilen bulgular incelendiğinde diğer değişkenler sabit tutulduğunda BİT kullanımını gösteren indekste meydana gelen bir değişim Kulüp 1 için CO<sub>2</sub> emisyonlarında yaklaşık olarak %0.03’lük azalışa neden olmaktadır. Artan BİT kullanımının emisyonların

azaltılmasına yönelik küçük bir etkisi olmasına rağmen, çevresel kalitenin iyileştirilmesi bağlamında olumlu rol üstlenmektedir. Dolayısıyla BİT kullanımının yaygın hale gelmesi ekonomilerdeki geleneksel ve verimsiz teknolojilerin yerlerini yeşil BİT'i içeren ileri teknolojilere bıraktığından bahsedilmektedir (N'dri vd., 2021: 9). Bu durum, BİT kapsamında akıllı şehirler, ulaşım sistemleri, elektrik şebekeleri ve endüstriyel süreçlere yönelik yapılan yatırımlar ile emisyonların azaltılmasının yanı sıra enerji verimli üretim ve tüketim kalıplarının oluşmasına katkı sağlamaktadır. Elde edilen bu bulgu, BİT'in ikame etkisiyle enerji tasarrufu ve enerji verimliliği sağladığına bunun yanı sıra BİT kullanımının ülkelerin sürdürülebilir kalkınmalarına katkıda bulunduğuna işaret etmektedir. Emisyonların azaltılmasına yönelik BİT'in üstlendiği bu rol Özcan ve Apergis (2018)'in yükselen piyasa ekonomileri için; Ulucak vd. (2020)'nin BRICS ülkeleri için; Danish vd. (2019)'nin farklı gelir düzeylerindeki ülkeler için; Zhang vd. (2022)'nin gelişmekte olan ülkeler için yapılan çalışmalarıyla örtüşmektedir. Buna karşın Kulüp 2 ve panelin tamamında ise BİT'deki değişim emisyonlar üzerinde yaklaşık olarak %0.095 ve %0.168'lik artışa yol açmaktadır. Bu durum BİT kullanımındaki artışın atmosfere daha fazla CO<sub>2</sub> emisyon salınımına neden olduğuna ve dolayısıyla çevresel kaliteyi bozduğuna işaret etmektedir. Bu bulgu, yükselen piyasa ekonomileri için BİT'lerin çevresel sorunlarla mücadele etmede olası bir çözüm aracı olarak ele alınamadığını göstermektedir. Elde edilen bulgular literatürde yer alan Lee ve Brahmasrene (2014)'nin ASEAN ülkeleri için; Danish vd. (2018)'nin Next-11 ülkeleri için; Tsaurai ve Chimbo (2019)'nun yükselen piyasalar için; Altınöz vd. (2021)'nin 10 yükselen piyasa ekonomisi için yapılan çalışmalarıyla tutarlıdır. BİT'in çevresel kalite üzerinde olumsuz rol oynamasında enerji verimliliği olmayan çok sayıda BİT araç-gereç kullanımına bağlı yüksek enerji tüketiminden, ürün yaşam döngüsünün kısa olmasından ve e-atık uygulamalarından kaynaklı olduğu söylenebilir. BİT ürünlerinin üretimi, kullanımı ve elden çıkarılmasının enerji talebini arttırdığına ve bunun sonucunda emisyonların artmasına dolayısıyla çevresel bozulmaların ortaya çıktığına dikkat çekilmektedir (Majeed, 2018: 759; Bieser ve Hilty, 2018: 11). BİT'in emisyonlar üzerindeki etkisine ait AMG ve CCEMG sonuçlarının Kulüp 2 hariç birbiriyle paralel olduğu görülmektedir. Kulüp 2'ye ait CCEMG bulgusu incelendiğinde, BİT indeksinin çevresel bozulmalar üzerinde pozitif fakat istatistiksel olarak anlamsız bir etkisi olduğu bulunmuştur.

Özellikle Sanayi Devrimi'nden sonra ülkelerin ekonomik büyümelerinin vazgeçilmez bir kaynağı olan enerji, fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Uzun dönem parametre tahminlerine göre, hem kulüpler hem de panelin tamamında ekonomik büyüme ve enerji tüketiminin emisyonlar üzerindeki etkisi pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Ekonomik büyümedeki %1'lik artış emisyonlar üzerinde yaklaşık olarak sırasıyla %0.48, %0.32 ve %0.47 artışa; bununla birlikte enerji tüketimindeki %1'lik değişim ise %0.84, %0.82 ve %0.85'lik artışa neden olmaktadır. AMG ve CCEMG tahminci bulgularının birbiriyle tutarlı olduğu görülmektedir. Bu bulgular, ekonomik büyüme ve enerji tüketiminin emisyonların artmasında önemli rol oynadığını gösteren Zhu vd. (2016)'nin ASEAN-5 ülkeleri için; Ito (2017)'nin 42 gelişmekte olan ülke ekonomisi için; Bhat (2018)'in BRICS ülkeleri için yapılan çalışmalarını desteklemektedir. Çalışmada ele alınan yükselen piyasa ekonomileri gelişimlerini sağlayabilme adına daha fazla enerjiye ihtiyaç duymakta; gelişimleri için gereken enerji üretimi verimsiz enerji kaynağı olarak kabul edilen fosil yakıtlar gibi temiz olmayan yenilemez enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Dolayısıyla ekonomik büyümedeki artışın daha fazla mal ve enerji tüketimine yol açtığına, bunun sonucunda ise çevresel kalitenin bozulmasının tetiklendiğine dikkat çekilmektedir. Bu nedenle ülkelerin yüksek enerji tüketim profillerinin ortaya konulmasında ekonomik boyutlarının, sanayileşme

yapılarının hem iç pazar hem de ihracat için yük taşımacılığına ait mesafelerinin yanı sıra elektrik üretmek için kömüre bağımlılığının dikkate alınması oldukça önemlidir (Leal et al., 2019: 13).

Küreselleşen ekonomik ortamla birlikte yüksek gelirli ülkeler üretim çıktılarını arttırmak için düşük ve orta gelirli ülkelere daha düşük ücretlerle işgücü istihdam edebilirler. Bunun yanı sıra, gelişmekte olan ülkeler gelişmiş ülkelere enerji tasarrufu sağlayan ileri teknolojilere kolayca erişerek küreselleşmenin çevresel faydalarına ulaşabilirler. Son zamanlardaki önemli yapısal değişiklikler ve küreselleşme sadece ülke ekonomilerinin ekonomik performanslarında hayati rol oynamakla kalmayıp aynı zamanda ekonomik küreselleşme ve enerji tüketimi arasındaki ilişkinin doğasının da dönüşmesinde etkili olabilmektedir. Kulüp 1 için küreselleşmenin çevresel kalite üzerindeki etkisi incelendiğinde AMG ve CCEMG tahminlerine göre küreselleşmede meydana gelen %1'lik değişim sırasıyla emisyonlar üzerinde yaklaşık olarak %0.0009 ve %0.0005'lik azalmaya neden olmaktadır. Küreselleşmenin emisyonlar üzerindeki etkisi negatif ve istatistiksel olarak anlamlı fakat oldukça düşüktür. Elde edilen bulgu, küreselleşmenin gelir etkisi, ölçek etkisi ve teknik etki yoluyla emisyonların azaltılmasında etkili olduğunu göstermektedir. Küreselleşmenin bir sonucu olarak ülkelerin üretimlerini hammadde bazlı üretim yerine bilgi tabanlı hizmet endüstrisine kaydırmaları hem çevreye daha az zarar veren hem de daha verimli ekonomik gelişme modellerinin benimsenmesine olanak sağlayabilir. Bu durum, daha temiz teknolojilerin benimsenmesi ve yayılmasını da teşvik edebilir. Küreselleşmenin çevresel kalite üzerindeki iyileştirici etkisi Shahbaz vd. (2017)'nin Çin için; Haseeb vd. (2019)'nin BRICS ülkelerinden Brezilya ve Çin için; Ahmed ve Le (2021)'nin ASEAN ülkeleri için yaptığı çalışmalarıyla örtüşmektedir. Buna karşın Kulüp 2'ye ait AMG ve CCEMG tahmin bulguları incelendiğinde, küreselleşmede meydana gelen %1'lik artış CO<sub>2</sub> emisyonlarında yaklaşık olarak %0.18 ve %0.16'lük; panelin tamamında ise %0.24 ve %0.19'lük artışa yol açmaktadır. Elde edilen bu bulgu, küreselleşmenin ticari engelleri azaltma ve ekonomik faaliyetleri kolaylaştırmadaki rolü sonucunda sera gazlarını arttırdığına ve dolayısıyla çevresel kalitenin bozulduğuna işaret etmektedir. Bununla birlikte, artan küreselleşmenin hem Kulüp 2 hem de panelin tamamındaki ülkelerin ekolojik yüklerine katkıda bulunduğunu göstermektedir. Bulgular, Ulucak vd. (2020)'nin BRICS ülkeleri için; Le and Öztürk (2020)'ün 47 yükselen ve gelişmekte olan ülke ekonomisi için; Xia vd. (2022)'nin 67 gelişmiş ve gelişmekte olan ülke ekonomileri için yapılan çalışmalarıyla uyumludur. Uluslararası ticaretin genişlemesinde, mal ve hizmet üretim-tüketimine yönelik enerji-yoğun teknolojilerin kullanılmasında ve ulaşım hizmetlerin artmasında rol oynayan küreselleşme, ölçek etkisi aracılığıyla ekonomik faaliyetleri tetiklemektedir. Çevresel maliyetlerin ortaya çıkmasına neden bu faaliyetler çevresel bozulmaları da beraberinde getirmektedir. Özellikle yükselen piyasa ekonomilerinde küreselleşmenin ticari engelleri azaltarak ekonomik faaliyetleri kolaylaştırdığı bunun yanı sıra beraberinde getirdiği teknoloji ve yatırım transferlerinin çevre dostu olmadığı sonucuna varılabilir. Dolayısıyla küreselleşmenin ekonomik büyümeyi teşvik ettiği buna karşın çevre kalitesine de zarar verebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Değişkenler arasındaki nedensel ilişkinin yönünün belirlenmesinde DH panel nedensellik testi kullanılmış ve bulgular Tablo 9'da sunulmuştur. Nedensellik testinin sonuçlarının kulüpler ve panelin tamamında farklılaştığı dikkat çekmektedir.

| Nedensellik ilişkisi | Kulüp 1   |       | Kulüp 2    |       | Panelin tamamı |       |
|----------------------|-----------|-------|------------|-------|----------------|-------|
|                      | W-stat    | Prob. | W-stat     | Prob. | W-stat         | Prob. |
| CO <sub>2</sub> ⇌ EG | 9.3525*** | 0.007 | 10.6176*** | 0.001 | 2.5251         | 0.432 |

|                         |                   |       |                  |       |                   |       |
|-------------------------|-------------------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|
| $EG \Rightarrow CO_2$   | <b>12.9029***</b> | 0.000 | <b>8.2835**</b>  | 0.017 | <b>8.2927***</b>  | 0.000 |
| $CO_2 \Rightarrow ICT$  | 2.4215            | 0.443 | 1.8416           | 0.665 | 1.9725            | 0.665 |
| $ICT \Rightarrow CO_2$  | <b>4.9878**</b>   | 0.039 | <b>5.6567**</b>  | 0.044 | <b>4.8372**</b>   | 0.024 |
| $CO_2 \Rightarrow EC$   | <b>6.2469*</b>    | 0.075 | 3.2038           | 0.885 | 3.3724            | 0.369 |
| $EC \Rightarrow CO_2$   | 4.9566            | 0.109 | <b>6.0094*</b>   | 0.062 | <b>7.3428**</b>   | 0.016 |
| $CO_2 \Rightarrow GLOB$ | 1.5829            | 0.776 | 3.3610           | 0.116 | 3.7672            | 0.807 |
| $GLOB \Rightarrow CO_2$ | 1.8414            | 0.834 | 2.9670           | 0.244 | <b>9.6050***</b>  | 0.001 |
| $EG \Rightarrow ICT$    | <b>5.1380**</b>   | 0.032 | 5.1842           | 0.131 | <b>14.5743***</b> | 0.000 |
| $ICT \Rightarrow EG$    | 3.4088            | 0.334 | <b>7.1399**</b>  | 0.028 | 6.2360            | 0.112 |
| $EG \Rightarrow EC$     | <b>5.1555*</b>    | 0.072 | <b>7.7491**</b>  | 0.039 | 1.876             | 0.438 |
| $EC \Rightarrow EG$     | 3.0264            | 0.427 | <b>7.5736*</b>   | 0.066 | 3.6587            | 0.142 |
| $EG \Rightarrow GLOB$   | 1.1646            | 0.764 | <b>9.9960**</b>  | 0.022 | <b>5.2631*</b>    | 0.067 |
| $GLOB \Rightarrow EG$   | <b>9.6619***</b>  | 0.003 | 3.1131           | 0.339 | 4.0150            | 0.554 |
| $ICT \Rightarrow EC$    | 3.3945            | 0.334 | <b>8.1266**</b>  | 0.036 | <b>10.3961***</b> | 0.000 |
| $EC \Rightarrow ICT$    | <b>8.9166**</b>   | 0.022 | <b>8.6969**</b>  | 0.028 | 3.1050            | 0.871 |
| $ICT \Rightarrow GLOB$  | 3.4239            | 0.492 | 2.4315           | 0.885 | <b>8.8522**</b>   | 0.043 |
| $GLOB \Rightarrow ICT$  | <b>5.4098*</b>    | 0.088 | <b>7.0544*</b>   | 0.076 | 6.9413            | 0.029 |
| $EC \Rightarrow GLOB$   | <b>5.3891**</b>   | 0.013 | 2.9498           | 0.753 | 5.5316            | 0.165 |
| $GLOB \Rightarrow EC$   | <b>4.9391*</b>    | 0.091 | <b>8.1918***</b> | 0.003 | 4.3594            | 0.661 |

Not: \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 istatistiksel anlamlılık düzeylerini belirtmektedir. prob., olasılık değerini göstermektedir.

**Table 9.** DH Panel Nedensellik Testi Sonuçları

Tablo 9'a ait bulgular incelendiğinde Kulüp 1 için ekonomik büyüme ve CO<sub>2</sub> emisyonları arasında iki yönlü nedensellik ilişkisi mevcuttur. Bu bulgu ekonomik büyümedeki artışın emisyonları artırarak çevresel bozulmaların ortaya çıkmasına neden olabileceğini göstermektedir. Çevresel kalitenin bozulması insan sağlığının olumsuz yönde etkilenmesine, ekonomide negatif dışsallıkların ortaya çıkmasına ve dolayısıyla uzun dönemde üretkenliğin azalmasına yol açabilmektedir. Bununla birlikte enerji tüketiminden BİT'e, BİT'ten emisyonlara ve emisyonlardan enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Bu bulgu, enerji tüketimi, BİT ve emisyonlar arasında bir döngüsel bir ilişki olduğuna işaret etmektedir. Yani, artan enerji tüketimi olası BİT kullanımını artıracak ve bu da emisyonların azaltılmasını sağlayacaktır. Diğer taraftan, küreselleşmeden ekonomik büyümeye ve ekonomik büyümeden enerji tüketimine doğru tek yönlü; küreselleşme ve enerji tüketimi arasında ise iki yönlü nedensellik ilişkisi mevcuttur. Küreselleşmeyle birlikte artan ticari serbestleşme ve sermaye akışı ekonomik faaliyetleri arttırmakta ve bu durum enerji tüketiminin artmasını teşvik etmektedir.

Bunun sonucunda ise küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunlarla mücadele etmek zorunda kalınmaktadır.

Kulüp 2'ye ait bulgular incelendiğinde, ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi; enerji tüketiminden emisyonlara doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi mevcuttur. Enerji, sadece insan yaşamının sürdürülmesinde değil; aynı zamanda ekonomik faaliyetlerin yürütülmesinde de gerekli ve önemli bir faktördür. Dolayısıyla bu kümedeki ülkelerin büyümeleri için enerjiye bağımlı oldukları, büyüyen ekonomileriyle birlikte enerji tüketimlerinin de arttığı söylenebilir. Büyüme için ihtiyaç duyulan enerjinin temiz olmayan enerji kaynaklarından sağlanması da emisyonların artmasına ve çevresel kalitenin kötüleşmesine neden olabilmektedir. Ekonomik büyümeden küreselleşmeye, küreselleşmeden enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Ekonomik büyüme sürecinde ülkeler küresel piyasalarla entegrasyon halindedir. Küreselleşme ölçek etkisi aracılığıyla pazarlara kolayca erişim imkânı sunmakta ve bunun sonucunda üretim düzeyindeki kademeli artış dolaylı olarak enerji tüketimini arttırmaktadır. Bunun yanı sıra, BİT'ten ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi ise BİT'in gelir etkisine karşılık gelmektedir. BİT araçlarının yoğun kullanımı ekonomik büyüme üzerinde olumlu etki göstermekte ve dolayısıyla enerji tüketimi üzerinde de etkisi olmaktadır. BİT'ten CO<sub>2</sub> emisyonlarına doğru tek yönlü; BİT ile enerji tüketimi arasında ise iki yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Bu durum, BİT'in emisyonlar üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı etkisi olduğunu; artan BİT kullanımının enerji talebini artırdığını ve enerji tüketiminin de emisyonların artmasına neden olduğunu göstermektedir.

Panelin tamamına ait nedensellik sonuçlarına göre, BİT ve emisyonun diğer belirleyicilerinden CO<sub>2</sub> emisyonlarına doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi mevcuttur. Artan BİT kullanımının yanı sıra ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve küreselleşmenin çevresel kalitenin bozulmasına neden olduğu söylenebilir. BİT'ten enerji tüketimi ve küreselleşmeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Bu durum, BİT araçları kullanımının enerji tüketimini artırdığına işaret etmektedir. Bununla birlikte, büyümeden küreselleşme ve BİT'e doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi mevcuttur. Elde edilen bu bulgu, ekonomik büyümenin hem BİT kullanımı hem de küreselleşme için önemli bir aktör olduğunu göstermektedir.

## Sonuç

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelerle birlikte dünya büyük bir dönüşümün içerisinde. Dünyanın dönüşümünde önemli bir rol üstlenen BİT endüstrisi ticaret, doğrudan yabancı yatırımlar, imalat, sanayi, hizmet, ulaşım, eğitim, sağlık sektörü gibi sektörel perspektifle birlikte ekonomiyi bir bütün olarak etkilemektedir. Bunun yanı sıra BİT'in çevresel kalite üzerindeki etkisi de son zamanlarda literatürde sıklıkla tartışılan konular arasında yer almaktadır. Araştırmacılar ve çevre bilimciler arasında BİT kullanımının yoğun enerji tüketimi ve toksik maddeler yaymasıyla çevresel bozulmalara neden olup olmadığı veya enerji verimli teknolojilerin kullanımıyla emisyonları azaltıp azaltmadığı tartışmaları mevcuttur. Dolayısıyla BİT endüstrisinin sadece ülkelerin sosyo-ekonomik gelişimleri üzerinde değil, aynı zamanda çevresel kalite üzerinde de etkisinin olduğu aşikardır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde bazı araştırmacılar BİT'in çevresel bozulmaların önlenmesinde olası bir çözüm aracı olduğunu düşünürken; bazıları ise çevresel kalitenin bozulmasına neden olduğunu vurgulamaktadır. Bu nedenle, BİT'in çevresel kalite üzerindeki etkisine yönelik net bir fikir birliğine varılamamıştır.

Bu çalışmada, 1995-2018 dönemleri arasında yükselen piyasa ekonomilerinde BİT'in yanı sıra ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve küreselleşmenin çevresel kalite üzerindeki etkisi araştırılmıştır. BİT endüstrisinin çevresel kalite üzerindeki etkisinin ortaya konulabilmesine yönelik TBA yardımıyla dört farklı BİT göstergesi kullanılarak BİT indeksi oluşturulmuştur. Metodolojik olarak öncelikle farklı emisyon düzeylerine sahip yükselen piyasa ekonomileri kulüp yakınsama yaklaşımına ait veri algoritması aracılığıyla sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflandırma sonucunda yükselen piyasa ekonomileri iki kulüp altında toplanmıştır. Hem kulüpler hem de panelin tamamında yatay kesit bağımlılığı ve eğitim katsayılarının heterojenliğini dikkate alan birim kök, eşbütünleşme testleri ve uzun dönem parametre tahmincileri kullanılmıştır. Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi aracılığıyla değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi incelenmiştir.

Kulüp 1'de yer alan ülkeler için BİT'in emisyonları azalttığı bulgusu elde edilmiştir. İkame etkisiyle verimsiz ve geleneksel teknolojilerin yerlerini yeşil BİT'leri içeren ileri teknolojilere bıraktığı, yeşil BİT kullanımının ise çevresel kalitenin iyileştirilmesinde ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında önemli bir rol oynadığı söylenebilir. Küresel e-Sürdürülebilirlik Girişimi'nin (GeSI) #SMARTer2030 raporunda da BİT aracılığıyla, küresel CO<sub>2</sub> emisyonları 2015 yılı seviyelerinde tutularak 2030 yılına kadar emisyonların %20'sini azaltma potansiyeline sahip olduğu vurgulanmaktadır (GeSI, 2015: 8). Bunun yanı sıra emisyonların azaltılmasında küreselleşmenin de etkili olduğu fakat etkisinin oldukça düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Küreselleşme aracılığıyla gelişmiş ülkelerdeki çevresel olarak verimli teknolojiler, bilgi ve çevresel yönetim uygulamalarının gelişmekte olan ülkelere doğru transferleri ve yayılımı sağlanmaktadır. Dolayısıyla ülkelerin endüstriyel yapılarının daha gelişmiş ve temiz teknolojilere dönüştürülmesi çevresel kalitenin artmasında önemli rol oynamaktadır. Buna karşın enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin ise CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu; her iki faktörün de emisyon seviyelerini arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Nedensellik bulguları incelendiğinde enerji tüketiminden BİT'e, BİT'ten emisyonlara ve emisyonlardan enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Artan enerji tüketiminin BİT kullanımını arttırdığı ve dolayısıyla artan BİT kullanımının da emisyonların azaltılmasında rol oynadığı bulgusu elde edilmiştir. Kulüp 1'de yer alan ülkelerin emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilir kalkınmanın artırılmasına ilişkin politika yapıcılarına mevcut yeşil BİT teknoloji uygulamalarının desteklenmesi ve BİT alt yapısına ait yatırımların artırılarak dijitalleşmenin teşvik edilmesi önerilebilir.

Kulüp 2'de yer alan ülkeler ve panelin tamamına ait uzun dönem parametre tahminlerinin birbirine paralel olduğu görülmektedir. BİT'in yanı sıra diğer unsurlar da emisyonları artırarak çevresel kalite üzerinde olumsuz rol oynamaktadır. Kulüp 2'ye ait nedensellik bulguları incelendiğinde BİT'ten CO<sub>2</sub> emisyonlarına doğru tek yönlü; BİT ile enerji tüketimi arasında ise iki yönlü nedensellik ilişkisi mevcuttur. Bunun yanı sıra enerji tüketimi ile büyüme, büyüme ile emisyonlar arasında da iki yönlü nedensellik ilişkisi mevcuttur. Bu kulübe ait olan ülkelere BİT kullanımının hem doğrudan hem de dolaylı olarak emisyonları arttırdığı dikkat çekmektedir. Dolayısıyla enerji tüketim kalıplarının yenilenebilir enerjilerle, geleneksel ve verimsiz teknolojilerin yeşil BİT'i içeren ileri teknolojilerle yer değiştirilmesinin teşvik edilmesi emisyonların azaltılmasına yönelik atılacak adımlar arasında yer almaktadır. Bu bağlamda çevrimiçi alışveriş, e-konferans kültürünün geliştirilmesi ve dijital ekonominin hayata geçirilmesi sağlanmalı; özellikle fosil yakıttan kaynaklı enerji kullanımını en aza indirilmesine yönelik politikalar benimsenmelidir. Ayrıca, insan sağlığı ve çevresini tehdit edebilecek e-atıklara yönelik



karbon fiyatlandırma uygulamasıyla atıkların kontrolü sağlanmalıdır. Panelin tamamına ait nedensellik bulguları incelendiğinde ise BİT ve emisyonun diğer belirleyicilerinden CO<sub>2</sub> emisyonlarına doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi mevcuttur. Enerji, ulaşım, inşaat, tarım gibi sera gazı salımının yoğun olduğu sektörlerde yeşil BİT uygulamalarının desteklenmesi teşvik edilmelidir. Bununla birlikte kirli endüstrilere yüksek vergiler konularak temiz enerji kökenli teknolojilerin kullanılması sağlanmalıdır. Dolayısıyla bu uygulamaların hayata geçirilmesi enerji verimliliğini artırarak kirliliğin azaltılmasında ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında önemli rol oynayacaktır.

Genel olarak bakıldığında elde edilen bulguların alt kulüpler ve panelin tamamında farklılıklar gösterdiği dikkat çekmektedir. Dolayısıyla örneklemin tamamı yerine alt kulüpler perspektifinde değerlendirilme yapılmasının sağlıklı ve güvenilir bulgular elde edilmesine katkı sağladığı düşünülmektedir.

### Kaynakça

- Afzal, M. N. I. ve Gow, J. (2016). Electricity consumption and information and communication technology in the next eleven emerging economies. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 6(3), 381-388.
- Ahmed, Z. ve Le, H.P. (2021). Linking information communication technology, trade globalization index, and CO<sub>2</sub> emissions: Evidence from advanced panel techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 8770–8781.
- Akande, A., Cabral, P. ve Casteleyn, S. (2019). Assessing the gap between technology and the environmental sustainability of European cities. *Information Systems Frontiers*, 21, 581–604.
- Alataş, S. (2021). The role of information and communication technologies for environmental sustainability: evidence from a large panel data analysis. *Journal of Environmental Management*, 293: 112889, 1-13.
- Al-Mulali, U., Sheau-Ting, L. ve Öztürk, İ. (2015). The global move toward Internet shopping and its influence on pollution: An empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 9717–9727.
- Altınöz, B., Vasbieva, D. ve Kalugina, O. (2021). The effect of information and communication technologies and total factor productivity on CO<sub>2</sub> emissions in top 10 emerging market economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 63784–63793.
- Asongu, S. A. (2018). ICT, openness and CO<sub>2</sub> emissions in Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 9351–9359.
- Avom, D., Nkengfack, H., Fotio H.K. ve Totouom, A. (2020). ICT and environmental quality in Sub-Saharan Africa: Effects and transmission channels. *Technological Forecasting & Social Change*, 155:120028, 1-12.
- Batool, Z., Raza, S. M. F., Ali, S. ve Ul Abidin, S. Z. (2020). ICT, renewable energy, financial development, and CO<sub>2</sub> emissions in developing countries of East and South Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 35025–35035.
- Bhat, J. A. (2018). Renewable and non-renewable energy consumption—impact on economic growth and CO<sub>2</sub> emissions in five emerging market economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 35515–35530.

- Bieser, J. C. T., Hilty, L. M. (2018). Assessing indirect environmental effects of information and communication technology (ICT): A systematic literature review. *Sustainability*, 10(8), 1-19.
- Bilgili, F., Ulucak, R., Koçak, E. ve İlkay, S.Ç. (2020). Does globalization matter for environmental sustainability? Empirical investigation for Turkey by Markov regime switching models. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 1087–1100.
- Breusch, T. ve Pagan, A. (1980). The LM test and its application to model specification in econometrics. *Review of Economic Studies*, 47(1), 239–253.
- Charfeddine, L. ve Kahia, M. (2021). Do information and communication technology and renewable energy use matter for carbon dioxide emissions reduction? Evidence from the Middle East and North Africa region. *Journal of Cleaner Production*, 327: 129410, 1-17.
- Chien, F., Anwar, A., Hsu, C.-C., Sharif, A., Razzaq, A. ve Sinha, A. (2021). The role of information and communication technology in encountering environmental degradation: Proposing an SDG framework for the BRICS countries. *Technology in Society*, 65, 101587, 1-10.
- Dabbous, A. (2018). The Impact of information and communication technology and financial development on energy consumption: A dynamic heterogeneous panel analysis for MENA countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(4), 70-76.
- Danish, Khan, N., Baloch, M.A., Saud, S. ve Fatima, T. (2018). The effect of ICT on CO<sub>2</sub> emissions in emerging economies: Does the level of income matters. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 22850–22860.
- Danish (2019). Effects of information and communication technology real income, and CO<sub>2</sub> emissions: The experience of countries along Belt and Road. *Telematics and Informatics*, 45: 101300, 1-10.
- Danish, Zhang, J., Wang, B. ve Latif, Z. (2019). Towards cross-regional sustainable development: The nexus between information and communication technology, energy consumption, and CO<sub>2</sub> emissions. *Sustainable Development*, 27(5), 1-11.
- Dreher, A. (2006). Does globalization affect growth? Evidence from a new index of globalization. *Applied Economics*, 38(10), 1091–1110.
- Du, K. (2017). Econometric convergence test and club clustering using Stata. *The Stata Journal*, 17(4), 882–900.
- Dumitrescu, E.-I. ve Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450-1460.
- Eberhardt, M. ve Bond, S. (October, 2009). *Cross-section dependence in nonstationary panel models: a novel estimator*. (MPRA Working Paper No: 17692). <https://library.unimelb.edu.au/recite/referencing-styles/apa7/working-papers>
- Eberhardt, M. ve Teal, F. (November, 2010). *Productivity analysis in global manufacturing production*. (University of Oxford Number 515). <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:f9d91b40-d8b7-402d-95eb-75a9cbdc000>
- Ekinci-Hamamcı, E. D. ve Şahinoğlu, T. (2020). Temel bileşenler analiziyle yükselen piyasa ekonomilerinin makroekonomik performansı. *Journal of Yasar University*, 15(60), 728-745.

- Faisal, F., Azizullah, Tursoy, T. ve Pervaiz, R. (2020). Does ICT lessen CO<sub>2</sub> emissions for fast-emerging economies? An application of the heterogeneous panel estimations. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 10778–10789.
- Fakher, H. A., Ahmadian, M., Abedi, Z. ve Shaygani, B. (2018). Bayesian econometrics approach in determining of effecting factors on pollution in developing countries (based on Environmental Performance Index). *Pollution*, 4(3), 447-457.
- GeSI. (2015). #SMARTer2030 - ICT Solutions for 21st Century Challenges. [https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full\\_report.pdf](https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf)
- Godil, D. I., Sharif, A., Agha, H. ve Jermisittiparsert, K. (2020). The dynamic nonlinear influence of ICT, financial development, and institutional quality on CO<sub>2</sub> emission in Pakistan: New insights from QARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 24190–24200.
- Gouvea, R., Kapelianis, D. ve Kassicieh, S. (2018). Assessing the nexus of sustainability and information & communications technology. *Technological Forecasting & Social Change*, 130, 39–44.
- Gygli, S., Haelg, F., Potrafke, N. ve Sturm, J.-E. (2019). The KOF globalisation index – revisited. *The Review of International Organizations*, 14, 543–574.
- Haldar, A. ve Sethi, N. (2022). Environmental effects of information and communication technology-exploring the roles of renewable energy, innovation, trade and financial development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153: 111754, 1-14.
- Haseeb, A., Xia, E., Saud, S., Ahmad, A. ve Khurshid, H. (2019). Does information and communication technologies improve environmental quality in the era of globalization? An empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 8594–8608.
- He, X., Adebayo, T. S., Kirikkaleli, D. ve Umar, M. (2021). Consumption-based carbon emissions in Mexico: An analysis using the dual adjustment approach. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 947–957.
- Higón, D. A., Gholami, R. ve Shirazi, F. (2017). ICT and environmental sustainability: A global perspective. *Telematics and Informatics*, 34(4), 85–95.
- Ito, K. (2017). CO<sub>2</sub> emissions, renewable and non-renewable energy consumption, and economic growth: Evidence from panel data for developing countries. *International Economics*, 151, 1-6.
- Kapetanios, G., Pesaran, M. H. ve Yamagata, T. (2011). Panels with non-stationary multifactor error structures. *Journal of Econometrics*, 160(2), 326-348.
- Khan, F. N., Sana, A. ve Arif, U. (2020). Information and communication technology (ICT) and environmental sustainability: a panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 36718–36731.
- Klimova, A., Rondeau, E., Andersson, K., Porras, J., Rybin, A. ve Zaslavsky, A. (2016). An international Master's program in green ICT as a contribution to sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 135, 223-239.
- Lahouel, B. B., Taleb, L., Zaied, Y.B. ve Managi, S. (2021). Does ICT change the relationship between total factor productivity and CO<sub>2</sub> emissions? Evidence based on a nonlinear model. *Energy Economics*, 101: 105406: 1-15.
- Latif, Z., Mengke, Y., Danish, Latif, S., Ximeia, L., Pathana, Z.H. ... Jianqiu, Z. (2018). The dynamics of ICT, foreign direct investment, globalization and economic growth: Panel

- estimation robust to heterogeneity and cross-sectional dependence. *Telematics and Informatics*, 35(2), 318–328.
- Leal, P. A., Marques A. C. ve Fuinhas, J. A. (2019). Decoupling economic growth from GHG emissions: Decomposition analysis by sectoral factors for Australia. *Economic Analysis and Policy*, 62, 12-26.
- Le, H. P. ve Öztürk, İ. (2020). The impacts of globalization, financial development, government expenditures, and institutional quality on CO<sub>2</sub> emissions in the presence of environmental Kuznets curve. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 22680–22697.
- Lee, J. W. ve Brahmaşrene, T. (2014). ICT, CO<sub>2</sub> emissions and economic growth: Evidence from a panel of ASEAN. *Global Economic Review*, 43(2), 93-109.
- Li, D. ve Yang, D. (2016). Does non-fossil energy usage lower CO<sub>2</sub> emissions? Empirical evidence from China. *Sustainability*, 8(9), 1-11.
- Li, K., Hu, E., Xu, C., Musah, M., Kong, Y., Mensah, I.A. ... Su, Y. (2021). A heterogeneous analysis of the nexus between energy consumption, economic growth and carbon emissions: Evidence from the Group of Twenty (G20) countries. *Energy Exploration & Exploitation*, 39(3), 815–837.
- Liu, M., Ren, X. Cheng, C. ve Wang, Z. (2020). The role of globalization in CO<sub>2</sub> emissions: A semi-parametric panel data analysis for G7. *Science of the Total Environment*, 718: 137379, 1-10.
- Majeed, M. T. (2018). Information and communication technology (ICT) and environmental sustainability in developed and developing countries. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences*, 12(3), 758-783.
- Maji, I. K. ve Waziri, S. I. (2020). Improving ICT and renewable energy for environmental sustainability in sub-Saharan Africa. *Journal of Research in Emerging Markets*, 2(3), 82-90.
- Morales-Lage, R., Bengochea-Morancho, A., Camarero M. ve Martínez-Zarzoso, I. (2019). Club convergence of sectoral CO<sub>2</sub> emissions in the European Union. *Energy Policy*, 135: 111019, 1-13.
- N'dri, L. M., Islam, M. ve Kakinaka, M. (2021). ICT and environmental sustainability: Any differences in developing countries?. *Journal of Cleaner Production*, 297: 126642, 1-15.
- Özcan, B. ve Apergis, N. (2018). The impact of internet use on air pollution: Evidence from emerging countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 4174–4189.
- Park, Y., Meng, F. ve Baloch, M. A. (2018). The effect of ICT, financial development, growth, and trade openness on CO<sub>2</sub> emissions: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 30708–30719.
- Pesaran, M. H. ve Smith, R. (1995). Estimating long-run relationships from dynamic heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 68(1), 79-113.
- Pesaran, M. H. (August, 2004). *General Diagnostic tests for cross-section dependence in panels*. (IZA Discussion Paper No: 1240). <https://docs.iza.org/dp1240.pdf>
- Pesaran, M. H. (2006). Estimation and inference in large heterogeneous panels with a multifactor error structure. *Econometrica*, 74(4), 967–1012.
- 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., Ullah, A. ve Yamagata, T. (2008). A bias-adjusted LM test of error cross-section independence. *The Econometrics Journal*, 11(1), 105-127.
- Pesaran, M. H. ve Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50–93.
- Phillips, P. C. B. ve Sul D. (2007). Transition modeling and econometric convergence tests. *Econometrica*, 75(6), 1771–1855.
- Phillips, P. C. B. ve Sul D. (2009). Economic transition and growth. *Journal of Applied Econometrics*, 24(7), 1153–1185.
- POST - Parliamentary Office of Science and Technology. (December, 2008). *ICT and CO<sub>2</sub> Emissions*. (Postnote Number: 319). <https://post.parliament.uk/research-briefings/post-pn-319/>
- Raheem, I. D., Tiwari, A. K. ve Balsalobre-Lorente, D. (2020). The role of ICT and financial development in CO<sub>2</sub> emissions and economic growth. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 1912–1922.
- Ritchie, H. (2019). Who has contributed most to global CO<sub>2</sub> emissions?. <https://ourworldindata.org/contributed-most-global-co2> adresinden 10.04.2024 tarihinde alınmıştır.
- Salahuddin, M., Alam, K. ve Öztürk, İ. (2016). The effects of Internet usage and economic growth on CO<sub>2</sub> emissions in OECD countries: A panel investigation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1226-1235.
- Shabani, Z. D. ve Shahnazi, R. (2019). Energy consumption, carbon dioxide emissions, information and communications technology, and gross domestic product in Iranian economic sectors: A panel causality analysis. *Energy*, 169, 1064-1078.
- Shahbaz, M., Khan, S., Ali, A. ve Bhattacharya, M. (2017). The impact of globalization on CO<sub>2</sub> emissions in China. *The Singapore Economic Review*, 62(3), 929–957.
- Shahbaz, M., Shahzad, S. J. H., Mahalik, M. K. ve Sadorsky, P. (2018). How strong is the causal relationship between globalization and energy consumption in developed economies? A country-specific time-series and panel analysis. *Applied Economics*, 50(13), 1479-1494.
- Su, C.-W., Xie, Y., Shahab, S., Faisal, C. M. N., Hafeez, M. ve Qamri, G. M. (2021). Towards achieving sustainable development: Role of technology innovation, technology adoption and CO<sub>2</sub> emission for BRICS. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(277), 1-13.
- Tsaurai, K. ve Chimbo, B. (2019). The impact of information and communication technology on carbon emissions in emerging markets. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(4), 320-326.
- Ullah, A., Khan, D., Khan, I. ve Zheng, S. (2018). Does agricultural ecosystem cause environmental pollution in Pakistan? Promise and menace. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 13938–13955.
- Ulucak, R ve Apergis, N. (2018). Does convergence really matter for the environment? An application based on club convergence and on the ecological footprint concept for the EU countries. *Environmental Science & Policy*, 80, 21-27.
- Ulucak, R., Danish ve Khan, S. U-D. (2020). Does information and communication technology affect CO<sub>2</sub> mitigation under the pathway of sustainable development during the mode of globalization?. *Sustainable Development*, 28(4), 857-867.

- Usman, A., Ozturk, I., Ullah, S. ve Hassan, A. (2021). Does ICT have symmetric or asymmetric effects on CO<sub>2</sub> emissions? Evidence from selected Asian economies. *Technology in Society*, 67:101692, 1-9.
- Westerlund, J. ve Edgerton, D. L. (2007). A panel bootstrap cointegration test. *Economic Letters*, 97(3), 185-190.
- Xia, W., Apergis, N., Bashir, M. F., Ghosh, S., Doğan, B. ve Shahzad, U. (2022). Investigating the role of globalization, and energy consumption for environmental externalities: Empirical evidence from developed and developing economies. *Renewable Energy*, 183, 219-228.
- Zhang, C. ve Liu, C. (2015). The impact of ICT industry on CO<sub>2</sub> emissions: A regional analysis in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 12–19.
- Zhang, C., Khan, I., Dagar, V., Saeed, A. ve Zafar, M. W. (2022). Environmental impact of information and communication technology: Unveiling the role of education in developing countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 178: 121570, 1-11.
- 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.

#### **Çatışma Beyanı**

Makalenin yazarı, bu çalışma ile ilgili taraf olabilecek herhangi bir kişi ya da finansal kuruluş ile ilişkileri bulunmadığını dolayısıyla herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

#### **Destek ve teşekkür**

Çalışmada herhangi bir kurum ya da kuruluştan destek alınmamıştır.