



Araştırma Makalesi / Research Article

## G20 Ülkelerinde Karbon Salınımının Sosyo-Ekonomik ve Ekolojik Dinamikleri: Panel AMG Yöntemi ile Ampirik Bir İnceleme

Alper Demirkol<sup>1</sup>

Öz

Bu çalışma, 1990-2023 dönemine ilişkin yıllık panel veriler kullanılarak G20 ülkelerinde karbon salınımının sosyoekonomik ve ekolojik dinamiklerini incelemektedir. Çalışma kapsamında heterojenlik ve yatay kesit bağımlılığı dikkate alınarak Panel Genişletilmiş Ortalama Grup (AMG) tahmincisi kullanılmış, uzun dönemli ilişkiler Westerlund (2008) Durbin-Hausman eşbütünleşme testiyle sınanmış, nedensellik ilişkileri ise Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel Granger yöntemiyle analiz edilmiştir. Westerlund (2008) eşbütünleşme analizi sonucunda değişkenler arasında uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisinin varlığına ulaşılmıştır. AMG tahminci sonuçları incelendiğinde, kişi başına gelir, fosil yakıt tüketimi ve dış ticaret hacminin karbon emisyonlarını artırıcı etkisini ortaya koyarken; yenilenebilir enerji ve enerji verimliliğinin bazı ülkelerde azaltıcı etki yarattığını göstermektedir. Kentleşmenin ise genellikle pozitif ve anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Granger nedensellik analizi ise, enerji yoğunluğu ve dış ticaret ile karbon emisyonları arasında çift yönlü, karbon emisyonları ile kişi başına gelir, kentsel nüfus ve nüfus yoğunluğuna doğru ise tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koymuştur. Bulgular, karbon emisyonlarının çok boyutlu dinamiklerle şekillendiğini ve politika önerilerinin ülke özelinde farklılaştırılması gerektiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Karbondioksit Emisyonu, Sosyo-Ekonomik Faktörler, Enerji Temelli Faktörler, Panel Genişletilmiş Ortalama Grup (AMG) Tahminci.

## Socio-Economic and Ecological Dynamics of Carbon Emissions in G20 Countries: An Empirical Analysis Using the Panel AMG Method

Abstract

This study investigates the socio-economic and ecological determinants of carbon emissions in G20 countries using annual panel data for the period 1990–2023. To account for cross-sectional dependence and heterogeneity, the Panel Augmented Mean Group (AMG) estimator is employed. Long-run relationships among the variables are examined using the Durbin-Hausman cointegration test proposed by Westerlund (2008), while causal linkages are analyzed through the panel Granger causality approach developed by Dumitrescu and Hurlin (2012). The results of the cointegration analysis indicate the existence of a long-term equilibrium relationship among the variables. Findings from the AMG estimator indicate that per capita income, fossil fuel consumption, and trade volume contribute to higher carbon emissions, whereas renewable energy use and energy intensity mitigate emissions in some countries. Urbanization is generally found to have a positive and statistically significant impact on emissions. Furthermore, the Granger causality analysis indicates a bidirectional relationship among energy consumption, trade, and carbon emissions, while unidirectional causality runs from carbon emissions to per capita income, urban population, and population density. Overall, the findings highlight that carbon emissions are shaped by multidimensional dynamics and underscore the need for country-specific policy interventions.

**Keywords:** Carbon Dioxide Emissions, Socio-Economic Factors, Energy-Based Factors, Augmented Mean Group (AMG) Estimator.

<sup>1</sup> MSc, Ekonometri, alperdemirkol@gmail.com, Manisa – Türkiye, <https://orcid.org/0009-0009-0891-5890>

**Atıf/Cite as:** Demirkol, A. (2026). G20 ülkelerinde karbon salınımının sosyo-ekonomik ve ekolojik dinamikleri: Panel AMG yöntemi ile ampirik bir inceleme, *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2026, 44 (2), 340-372.

©2026 Hacettepe Üniversitesi.

## EXTENDED SUMMARY

Climate change has become one of the most critical challenges facing the global economy and society. Since the Industrial Revolution, rapid industrialization, urbanization, and economic expansion have significantly increased energy demand, resulting in a substantial rise in fossil fuel consumption and greenhouse gas emissions. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions, which account for the largest share of anthropogenic greenhouse gases, have emerged as a primary driver of global warming and environmental degradation. Consequently, understanding the factors that influence carbon emissions has become a central concern for policymakers, researchers, and international organizations seeking to achieve sustainable development and climate neutrality goals. The relationship between economic development and environmental quality has been extensively examined within the framework of the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis. According to this perspective, environmental degradation initially increases in the early stages of economic development but then declines once a certain income threshold is reached. However, empirical evidence remains inconclusive, particularly across countries with different levels of development, institutional structures, and energy systems. Moreover, carbon emissions are not determined solely by economic growth. Energy intensity, fossil fuel dependency, renewable energy adoption, trade openness, urbanization, and demographic dynamics also play significant roles in shaping environmental outcomes. Existing studies frequently focus on a limited number of explanatory variables and often neglect cross-country heterogeneity and cross-sectional dependence. Given the increasing interconnectedness of national economies through globalization, trade integration, and international energy markets, environmental shocks and policy changes in one country may generate spillover effects across others. Therefore, empirical analyses that adequately account for these structural characteristics are essential for producing reliable and policy-relevant findings.

Against this background, the present study investigates the socio-economic and ecological determinants of carbon emissions in G20 countries over the period 1990–2023. Unlike many previous studies, this research adopts a multidimensional analytical framework that simultaneously incorporates economic, demographic, energy-related, and structural factors. Furthermore, the study employs advanced panel econometric techniques that explicitly account for cross-sectional dependence and slope heterogeneity, thereby providing more robust estimates of long-run relationships among variables. The findings are expected to contribute to the growing literature on environmental sustainability while offering practical policy implications for both developed and developing economies.

The empirical analysis is conducted using annual data for G20 countries from 1990 to 2023. Due to missing observations for Argentina in the final years of the sample period, the analysis includes 18 G20 economies. The dependent variable is per capita carbon dioxide emissions, while the explanatory variables consist of per capita gross domestic product (GDPpc), energy intensity (EC), fossil fuel consumption (FFC), renewable energy share (RE), trade openness (TRD), urban population ratio (URBpop), and population density (PopDens). These variables were selected to capture multiple dimensions of carbon emission dynamics, including economic scale effects, energy structure, external integration, and demographic transformations. The methodological framework follows several sequential stages. First, cross-sectional dependence is examined using the Breusch–Pagan LM, Pesaran Scaled LM, and Pesaran CD tests. The results indicate significant cross-sectional dependence among countries, suggesting that environmental and economic developments in one country may influence those in others. Second, slope homogeneity is tested using the Pesaran and Yamagata (2008) Delta test. The findings reject the null hypothesis of homogeneous slopes, confirming the presence of heterogeneous effects across countries. These results justify the use of second-generation panel econometric techniques that explicitly account for both cross-sectional dependence and heterogeneity. To determine the stationarity properties of the variables, the Cross-sectionally Augmented IPS (CIPS) unit root test developed by Pesaran (2007) is employed. The results reveal a mixed order of integration among variables, with some series being stationary at levels and others becoming stationary after first differencing. Given this structure, conventional estimation methods may generate biased results. Therefore, long-run relationships are investigated using the Westerlund (2008) Durbin–Hausman panel cointegration test, which is suitable for heterogeneous panels characterized by cross-sectional dependence. The test results confirm the existence of a stable long-run equilibrium relationship among the variables. To estimate long-run coefficients, the Augmented Mean Group (AMG) estimator, developed by Eberhardt and Bond, is employed as the primary estimator. The AMG estimator is particularly appropriate because it accommodates heterogeneous slope coefficients, unobserved common factors, and cross-sectional dependence. In addition, Common Correlated Effects Mean Group (CCEMG) and Dynamic Common Correlated Effects (DCCE) estimators are utilized as robustness checks to verify the consistency of the findings. Finally, causal relationships among variables are investigated through the Dumitrescu and Hurlin (2012) heterogeneous panel Granger causality test. The cointegration analysis provides strong evidence of a long-run equilibrium relationship among carbon emissions and the explanatory variables, indicating that socio-economic and ecological factors jointly shape environmental outcomes in G20 countries over time. The AMG estimation results reveal several important findings. First, per capita income exerts a positive and statistically significant effect on carbon emissions in many countries, including Türkiye, the United States, Germany, France, India, Italy, China, Indonesia, South Africa,

and Saudi Arabia. This finding suggests that economic expansion continues to generate environmental pressures, particularly in countries where growth remains heavily dependent on energy-intensive production processes. Although economic development may facilitate technological progress and environmental awareness, the scale effect of increased production appears to dominate in many G20 economies. Second, fossil fuel consumption is one of the most important determinants of carbon emissions. Positive and significant effects are observed in several countries, confirming that fossil fuel dependency remains a major obstacle to environmental sustainability. These results support the argument that energy transition policies are essential for reducing carbon emissions and achieving long-term climate objectives. Third, trade openness generally contributes to higher carbon emissions in countries such as Türkiye, Brazil, China, India, and Saudi Arabia. This finding is consistent with the Pollution Haven Hypothesis, which suggests that increased economic integration may encourage environmentally intensive production activities. However, the effect of trade openness varies considerably across countries, reflecting differences in production structures, environmental regulations, and technological capabilities. Fourth, renewable energy exhibits heterogeneous effects across countries. In Germany, France, and Japan, the adoption of renewable energy significantly reduces carbon emissions, indicating the effectiveness of clean energy policies and technological transformation. In contrast, positive relationships are observed in certain countries, suggesting that renewable energy expansion alone may not immediately reduce emissions when fossil fuels continue to dominate the overall energy mix. These findings highlight the importance of considering country-specific energy structures when designing environmental policies. Fifth, energy intensity generally displays a negative relationship with carbon emissions in several countries. Since the energy intensity indicator used in this study reflects energy use per unit of economic output, lower values imply higher energy efficiency. The results, therefore, suggest that improvements in energy efficiency contribute significantly to emission reduction efforts. This finding emphasizes the importance of technological innovation, energy-saving investments, and efficiency-enhancing policies in achieving sustainable development objectives. Urbanization also emerges as a significant determinant of environmental degradation. In many countries, higher urban population shares are associated with increased carbon emissions, reflecting the environmental consequences of expanding transportation networks, infrastructure development, and rising energy demand in urban areas. Nevertheless, the magnitude and significance of urbanization effects vary considerably across countries, indicating that urban planning strategies and infrastructure quality play crucial roles in determining environmental outcomes. The Granger causality analysis provides additional insights into the dynamic relationships among variables. The results reveal bidirectional causal relationships between carbon emissions and both trade openness and energy intensity. This suggests the existence of feedback mechanisms through which environmental conditions and economic structures mutually influence each other. Furthermore, unidirectional causality is identified from carbon emissions to per capita income, urban population, and population density. These findings imply that environmental degradation may itself influence economic and demographic dynamics over time. This study demonstrates that carbon emissions in G20 countries are shaped by a complex interaction of economic, demographic, and energy-related factors. The results reveal substantial heterogeneity across countries, indicating that the determinants of environmental degradation differ according to national economic structures, energy systems, technological capacities, and demographic characteristics. Consequently, uniform environmental policies are unlikely to generate equally effective outcomes across all G20 members. The findings suggest several policy implications. First, reducing dependence on fossil fuels should remain a central priority for climate policy. Second, investments in renewable energy and energy-efficient technologies should be accelerated to facilitate the transition toward low-carbon economies. Third, environmental considerations should be integrated into trade and industrial policies to minimize the carbon-intensive effects of economic globalization. Fourth, sustainable urban planning strategies should be promoted to mitigate the environmental pressures associated with rapid urbanization. Finally, policymakers should recognize the heterogeneous nature of carbon emission determinants and design country-specific strategies rather than relying on standardized policy frameworks.

Overall, the study contributes to the environmental economics literature by adopting a multidimensional perspective on carbon emissions and employing advanced panel econometric techniques that account for heterogeneity and cross-sectional dependence. The results provide robust empirical evidence that effective climate policies must simultaneously address economic growth patterns, energy structures, trade dynamics, and demographic transformations if long-term environmental sustainability is to be achieved.

## GİRİŞ

Sanayi Devrimi'nin 1760'lı yıllarda başlamasıyla birlikte, üretim biçimlerinde köklü değişiklikler yaşanmış; insan gücüne dayalı üretim süreçlerinin yerini buhar gücüyle çalışan makineler almıştır. Bu dönüşüm, zamanla teknolojik gelişmelerin sanayi sektörlerinde hızla yayılmasına ve ekonomik büyümenin temel hedef hâline gelmesine yol açmıştır. Her ne kadar 20. yüzyılın başında yaşanan savaşlar bu süreci sekteye uğratmış olsa da II. Dünya Savaşı sonrasında ekonomik büyüme yeniden öncelikli bir kalkınma hedefi hâline gelmiştir (Bruvold ve Medin, 2003). Ancak bu büyüme süreci, yalnızca ekonomik ve toplumsal alanlarda olumlu sonuçlar doğurmamış; aynı zamanda çevresel etkiler açısından ciddi sorunları beraberinde getirmiştir. Özellikle 1960'lı yıllardan itibaren sanayi üretimindeki artışa paralel olarak tarımsal alanlar daralmış, kentleşme hız kazanmış ve sanayi faaliyetlerinin çevresel zararları daha görünür hâle gelmiştir (Canpolat ve Fendoğlu, 2018). Sanayileşmeyle birlikte birçok ülkede üretim hacminin hızla artması, enerji talebini de önemli ölçüde artırmış; bu talep ise büyük oranda petrol, kömür ve doğalgaz gibi karbon temelli fosil yakıtlarla karşılanmıştır (Gülmez, 2015). Fosil yakıtların yoğun biçimde kullanımı, karbondioksit (CO<sub>2</sub>) salınımını artırarak çevresel sürdürülebilirliği tehdit eden iklim değişikliği sorununu derinleştirmiştir. Bu bağlamda, ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişki, özellikle Sanayi Devrimi sonrası dönemde daha karmaşık ve belirleyici bir yapı kazanmıştır (Arı ve Zeren, 2011).

İklim sisteminde gözlemlenen değişimlerin doğal döngülerin ötesine geçerek insan kaynaklı sera gazı emisyonları nedeniyle hız kazanması, iklim değişikliğini günümüzde yalnızca çevresel bir sorun olmaktan çıkarıp, ekonomik ve toplumsal boyutlarıyla birlikte küresel ölçekte çok yönlü bir kriz hâline getirmiştir (Eker, 2020). Bu kriz bağlamında, başta fosil yakıt tüketimi, sanayi faaliyetleri ve enerji üretimi gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanan karbondioksit (CO<sub>2</sub>), en baskın sera gazı türü olarak öne çıkmakta ve toplam küresel emisyonların yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır (Climate Watch, 2022). Artan üretim ve tüketim faaliyetleri, doğa üzerindeki baskıyı giderek artırmakta; çevresel sorunların ekonomik sistemler üzerindeki yıkıcı etkileri ise sürdürülebilir kalkınma anlayışının benimsenmesini kaçınılmaz kılmaktadır (Martínez-Zarzoso ve Maruotti, 2011).

Karbon salınımının temel belirleyicilerinden biri olan ekonomik büyüme, üretimdeki artış yoluyla enerji tüketimini tetiklemekte; bu da fosil yakıtlara olan bağımlılığı ve dolayısıyla sera gazı salınımını artırmaktadır (Dinler, 1997; Shoaib vd. 2020). Kaynakların verimsiz kullanımı, çevresel maliyetlerin içselleştirilmemesi ve çevre dostu teknolojilerin yeterince yaygınlaşmaması, bu etkinin şiddetini daha da artırmaktadır (Barsbay, 2019). Ancak sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda çevresel verimliliğin artırılması ve yeşil teknolojilerin desteklenmesi yoluyla bu olumsuz etkiler azaltılabilir (Acheampong, 2018). Bu noktada, karbon salınımını etkileyen sosyo-ekonomik ve ekolojik faktörlerin doğru biçimde analiz edilmesi, etkili çevre politikalarının oluşturulması açısından büyük önem taşımaktadır (Haug ve Ucal, 2019). Çevre sorunlarının küresel gündeme taşınması ise ilk kez 1968 yılında kurulan Roma Kulübü aracılığıyla gerçekleşmiştir. Kulüp tarafından yayımlanan Büyümenin Sınırları adlı çalışmada, sınırlı kaynaklarla sürekli büyüme hedefinin sürdürülebilir olmadığı ve küresel sistemin bu yönde çözülebileceği uyarısında bulunulmuştur (Bruvold ve Medin, 2003). 1976 tarihli bir diğer raporda ise, enerji verimliliğinin artırılması hâlinde çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğin mümkün olabileceği belirtilmiştir (Sencar, 2007). Bu süreci izleyen dönemde çevre ve büyüme ilişkisine dair en önemli uluslararası adımlardan biri, 1997 yılında imzalanıp 2005'te yürürlüğe giren Kyoto Protokolü olmuştur. Protokolün temel amacı, sera gazı salınımlarının sınırlandırılması ve iklim değişikliğiyle mücadelede uluslararası iş birliğinin sağlanmasıdır (Bayramoğlu ve Yurtkur, 2016).

Akademik yazında çevre ve büyüme ilişkisini açıklamak için en yaygın kullanılan kuramsal çerçeve, Çevresel Kuznets Eğrisi (Environmental Kuznets Curve, EKC) hipotezidir. Simon Kuznets'in gelir dağılımı ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi ifade eden orijinal ters-U hipotezi, daha sonra çevresel değişkenleri de kapsayacak şekilde uyarlanmış ve ekonomik büyümenin başlangıçta çevreyi olumsuz etkileyebileceği, ancak belirli bir gelir düzeyinden sonra bu etkinin azalacağı öne sürülmüştür. Bu görüşe göre, gelişmiş ülkeler çevresel performanslarını zamanla iyileştirirken, gelişmekte olan ülkelerde bu dönüşüm daha yavaş ve riskli bir şekilde ilerlemektedir. Bununla birlikte, sanayileşmeye paralel olarak artan kentleşme oranları da karbon salınımını etkileyen bir diğer önemli faktör olarak öne çıkmaktadır. Endüstrileşme süreciyle birlikte kırsal alanlardan kentlere yönelen nüfus hareketleri, yerleşim yapısını, üretim ilişkilerini ve enerji tüketim kalıplarını yeniden şekillendirmiştir (Keleş, 2000). Hızlı ve plansız kentleşme, doğal kaynak tüketiminin artmasına, arazi kullanımında bozulmalara ve çevresel dışsallıkların yoğunlaşmasına neden olmaktadır (Liang ve Yang, 2019). Kentleşme ile büyüme arasında çift yönlü bir etkileşim olduğu, bu sürecin hem üretkenliği artırdığı hem de çevresel sürdürülebilirlik üzerinde baskı oluşturduğu çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur (Black ve Henderson, 1999). Öte yandan, küreselleşme ve artan ticari açıklık da karbon emisyonlarını etkileyen yapısal dinamikler arasında yer almaktadır. Bu noktada Kirlilik Sığınağı Hipotezi (Pollution Haven Hypothesis) ve Kirlilik Sığınağı Etkisi (Pollution Haven Effect) gibi yaklaşımlar, çevresel regülasyonların zayıf olduğu ülkelerin kirli sektörleri çekme eğiliminde olduğunu savunmaktadır (Duan, Ji ve Yu, 2020). Grossman ve Krueger (1991) ise ticaretin çevre üzerindeki etkilerini ölçek, kompozisyon ve teknik etki olmak üzere üç temel başlık altında incelemiştir. Buna göre, ticaretin serbestleşmesi kısa vadede emisyonları artırabilirken, uzun vadede teknik gelişmeler ve çevre dostu üretim yöntemleri bu etkinin yönünü tersine çevirebilir (Antweiler vd. 2001; Mutascu, 2018).

Sonuç olarak, Sanayi Devrimi'nden itibaren ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve çevresel bozulma arasındaki ilişkinin giderek daha karmaşık ve çok boyutlu bir nitelik kazandığı görülmektedir. Özellikle fosil yakıt temelli üretim süreçlerinin yaygınlaşması, sera gazı salınımlarında kayda değer artışlara neden olmuş ve bu durum, iklim değişikliğini küresel düzeyde öncelikli bir sorun hâline getirmiştir. Bu bağlamda, karbon emisyonlarını etkileyen sosyo-ekonomik, demografik ve ekolojik faktörlerin bütüncül bir yaklaşımla analiz edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. G20 ülkeleri, küresel ekonomik faaliyetler içerisindeki yüksek payları, enerji yoğunlukları ve sanayileşme düzeyleri nedeniyle toplam karbon salınımına en fazla katkı yapan ülke gruplarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu çerçevede, söz konusu ülkeler özelinde gerçekleştirilecek ampirik analizlerin, yalnızca çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına değil, aynı zamanda uzun vadeli kalkınma stratejilerinin etkin biçimde tasarlanmasına da katkı sunacağı öngörülmektedir. Bu yönüyle, elde edilecek bulguların hem ulusal hem de uluslararası düzeyde politika yapıcılara yön gösterici nitelikte olması beklenmektedir. Çalışmada bu doğrultuda, G20 ülkelerinde sosyo-ekonomik ve ekolojik faktörlerin karbon emisyonları üzerindeki etkileri bütüncül bir yaklaşımla incelenmektedir. Bu kapsamda, söz konusu değişkenlerin emisyonlar üzerindeki etkisinin düzeyi ve yönü, zaman içerisindeki değişimi ile birlikte ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre farklılaşp farklılaşmadığı analiz edilirken çevresel sürdürülebilirliğe ulaşmak için hangi politika araçlarının daha etkili olabileceği sorusuna yanıt aranmakta ve elde edilen bulgular doğrultusunda G20 ülkeleri arasında yapısal ayrışmaların varlığı da değerlendirilmektedir. Panel veri analizine dayalı olarak ulaşılan sonuçların, iklim değişikliğiyle mücadele ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine yönelik politika geliştirme süreçlerine katkı sağlaması beklenmektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde, araştırma konusu çerçevesinde ilgili ampirik çalışmalar kapsamlı bir biçimde ele alınmıştır. İkinci bölümde, analiz sürecinde başvurulan ekonometrik

metodoloji açıklanmıştır. Üçüncü bölümde ise elde edilen ampirik bulgular sistematik biçimde sunulmuş ve iktisadi bağlamda değerlendirilmiştir. Çalışmanın dördüncü ve son bölümünde, ulaşılan bulgular doğrultusunda genel bir değerlendirme yapılmış; çalışmanın temel sonuçları ile politika ve araştırma önerilerine yer verilmiştir.

## 1. LİTERATÜR ÖZETİ

İklim değişikliğinin temel belirleyicilerinden biri olan karbon emisyonları, son yıllarda çeşitli ülkeler özelinde birçok ampirik çalışmanın odağında yer almaktadır. Literatürde özellikle ekonomik büyüme, kişi başına düşen gayri safi milli hasıla (GSYİH), enerji tüketimi, dış ticaret, kentleşme, fosil yakıt kullanımı, yenilenebilir enerji kullanımı ve demografik faktörler gibi değişkenlerin karbon salınımı üzerindeki etkileri ayrıntılı biçimde incelenmektedir. Bu bağlamda elde edilen bulgular, karbon emisyonlarının çok boyutlu bir yapıya sahip olduğunu ve ülkelerin sosyal, ekonomik ve çevresel dinamiklerine bağlı olarak farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

İklim değişikliği literatürü, karbon emisyonlarını etkileyen faktörleri çok boyutlu bir yaklaşımla ele almakta ve ekonomik, demografik, enerji temelli ve yapısal değişkenlerin çevresel etkilerini analiz etmektedir. Bu kapsamda Richmond ve Kaufmann (2006), 1973–1997 döneminde 20 OECD üyesi ve 16 OECD üyesi olmayan ülkeyi kapsayan çalışmalarında POLS yöntemiyle enerji tüketimi, gelir düzeyi ve karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemiş; özellikle OECD ülkelerinde enerji tüketimi ve gelir düzeyinin emisyonlar üzerinde belirleyici bir rol oynadığını tespit etmiştir. Benzer şekilde Keskin (2019), 1990–2018 dönemine ait panel verilerle Avrupa Birliği ülkelerinde kişi başına gelir, nüfus artışı ve orman alanlarının CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkilerini analiz etmiş; gelir ve nüfus artışının emisyonları artırdığını, ormanlık alanların ise azaltıcı bir etki yarattığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, kalkınma sürecinin çevresel maliyetlerinin doğal kaynaklar aracılığıyla kısmen dengelenebileceğine işaret etmektedir.

Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ekseninde yapılan çalışmalar da literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Saboori vd. (2013), 1971–2008 döneminde beş ASEAN ülkesi için ARDL sınır testi ve Granger nedensellik analizleri uygulamış; ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve karbon emisyonları arasında kısa ve uzun dönemde pozitif ve anlamlı ilişkiler tespit etmiştir. Ayrıca, değişkenler arasında uzun dönemde çift yönlü nedensellik ilişkilerinin varlığı ortaya konmuştur. Issaoui vd. (2016) ise Ortadoğu ve Kuzey Afrika ülkeleri için FMOLS ve DOLS yöntemlerini kullanarak yaptıkları analizde, kişi başına gelir ve enerji tüketiminin kısa dönemde CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinde anlamlı etkiler yarattığını belirlemiştir. Rahman (2017) da 11 Asya ülkesine ilişkin çalışmada enerji tüketimi, ekonomik büyümenin ve ihracatın emisyonlar üzerindeki etkilerinin hem kısa hem de uzun dönemde anlamlı olduğunu göstermiştir.

Dış ticaret ve finansal yapıların çevresel etkilerine odaklanan çalışmalar, emisyon dinamiklerinin küresel boyutunu ortaya koymaktadır. Bu kapsamda Bento ve Moutinho (2016), İtalya için 1960–2011 döneminde ARDL sınır testi yaklaşımını kullanarak enerji yapısı, ekonomik büyüme ve dış ticaretin karbon emisyonları üzerindeki etkilerini incelemiş; yenilenebilir enerji tüketiminin emisyonları azaltıcı, dış ticaretin ise uzun dönemde artırıcı etkiye sahip olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca çalışmada Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezinin İtalya için geçerli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bekhet vd. (2017), Körfez İş birliği Konseyi ülkelerinde karbon emisyonları, finansal gelişme, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkileri analiz etmiş ve Birleşik Arap Emirlikleri dışındaki ülkelerde uzun dönemli eşbütünleşme ilişkilerinin varlığını ortaya koymuştur. Khan vd. (2021) ise gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri kapsayan çalışmada ticari dışa açıklık ve doğrudan yabancı yatırımların çevresel etkilerinin ülke gruplarına göre farklılaştığını göstermiştir.

Türkiye özelinde yapılan çalışmalar da karbon emisyonlarının belirleyicilerine ilişkin önemli bulgular sunmaktadır. Halicioğlu (2009), 1960–2005 dönemi verileriyle gelir düzeyinin emisyonlar üzerindeki en güçlü belirleyici olduğunu ortaya koyarken; Koç vd. (2022), reel hasıla, dışa açıklık ve kentleşmenin uzun dönemde CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırdığını tespit etmiştir. Cetin, Ecevit ve Yücel (2018) ise ekonomik büyüme, enerji tüketimi, dışa açıklık ve finansal gelişmeden karbon emisyonlarına doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi saptamıştır. Bu bulgular, çevresel bozulmanın Türkiye’de ekonomik yapı ve kalkınma dinamikleriyle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Karbon emisyonları ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki, literatürde sıklıkla Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi çerçevesinde ele alınmaktadır. Jalil ve Mahmud (2009) Çin için ters U şeklinde bir ilişki tespit ederken; Berke ve Huyugüzel Kışla (2023) Avrupa Birliği ülkelerinde mekânsal analizle ÇKE hipotezini destekleyen sonuçlara ulaşmıştır. Türkiye özelinde Bozkurt ve Okumuş (2015) ile Varoğlu (2021) da benzer şekilde ekonomik büyümenin belirli bir eşikten sonra çevresel bozulmayı azalttığını ortaya koymuştur.

Kentleşme, nüfus artışı ve çevresel sürdürülebilirlik arasındaki ilişkiler de literatürde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Adebayo vd. (2020), MINT ülkelerinde kentleşme ve enerji tüketiminin emisyonları artırdığını tespit ederken; Yang ve Khan (2022), IEA üyesi 30 ülkede kentleşme, ekonomik büyüme ve nüfus artışının uzun dönemde çevresel sürdürülebilirliği olumsuz etkilediğini göstermiştir. Bu sonuçlar, çevre politikalarının yalnızca ekonomik değil, demografik ve yapısal boyutlarıyla da ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Son olarak, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliğine odaklanan çalışmalar, karbon emisyonlarının azaltılmasında sürdürülebilir enerji politikalarının önemini vurgulamaktadır. Shafiei ve Salim (2014), yenilenebilir enerjinin emisyonları azalttığını gösterirken; Kasap (2025), Türkiye için enerji verimliliğinden karbon emisyonlarına doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit etmiştir. Demir (2025) ve Akın (2025) ise yenilenebilir enerji tüketiminin farklı ülke gruplarında CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı etkisini doğrulamıştır.

Bu kapsamlı bulgular, karbon emisyonlarının farklı coğrafyalarda benzer yapısal dinamiklerle şekillendiğini, ancak ülkelere özgü farklılıkların da dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, enerji kaynaklarının niteliği, ekonomik yapılar, demografik baskılar ve dış ticaret politikaları, ülkelerin çevresel sürdürülebilirlik performanslarını doğrudan etkilemektedir. Bu çerçevede, karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik politika tasarımlarının tek tip uygulamalardan ziyade, ülke bazlı farklılıkları gözeten esnek ve çok katmanlı stratejilerle ele alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

## **2. METODOLOJİ VE YÖNTEM**

### **2.1. Veri Seti**

Bu çalışma, karbon salımının sosyo-ekonomik ve ekolojik dinamiklerini 1990-2023 yılları arası yıllık veriler kullanılarak G20<sup>1</sup> ülkeleri<sup>2</sup> özelinde analiz incelemektedir. Bu çalışma da iklim değişikliğinin belirleyicilerine ilişkin literatüre hem teorik hem de metodolojik düzeyde anlamlı katkılar sunmayı amaçlamaktadır. Literatürde karbon emisyonları çoğu zaman sınırlı sayıda ekonomik gösterge üzerinden açıklanmaktadır. Bu çalışmada ise karbon salımını çok boyutlu bir analitik çerçevede ele alınmıştır. Bu kapsamda kişi başına gelir, enerji yoğunluğu, fosil yakıt tüketimi, yenilenebilir enerji payı, ticaret açıklığı, kentleşme oranı (URBpop) ve nüfus yoğunluğu (PopDens) değişkenleri modele dâhil edilmiştir. Böylece karbon emisyonlarının ekonomik ölçek, enerji yapısı, dışa açıklık ve demografik dönüşüm kanalları üzerinden şekillenen belirleyicileri birlikte değerlendirilmektedir. Modelde yer alan enerji kullanımı (EC) değişkeni, toplam enerji tüketimini değil, 2021 yılı sabit satın alma gücü paritesine göre 1.000 ABD doları başına kilogram

petrol eşdeğeri cinsinden ölçülen enerji yoğunluğunu ifade etmektedir. Bu değişken ekonomik çıktı başına düşen enerji kullanımını gösterdiğinden, üretim sürecinin enerji verimliliği boyutunu temsil etmektedir. Dolayısıyla EC değişkeni, enerji talebinin mutlak büyüklüğünden ziyade ekonominin enerji kullanım etkinliğini yansıtmaktadır. Fosil yakıt tüketimideğişkeni, toplam enerji tüketimi içerisinde fosil kaynakların payını göstermektedir. Bu değişken enerji bileşiminin karbon yoğunluğu boyutunu temsil etmekte ve enerji sisteminin yapısal niteliğine ilişkin bilgi sunmaktadır. Yenilenebilir enerji payı ise hidroelektrik hariç yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriğin toplam elektrik üretimi içindeki oranını ifade etmektedir ve enerji dönüşüm sürecinin kompozisyonel boyutunu yansıtmaktadır. Bu iki değişken birlikte ele alındığında enerji yapısının niceliksel ve niteliksel yönleri ayrıştırılabilmektedir. Kişi başına gelir, ekonomik faaliyet düzeyini ve üretim ölçeğini temsil eden temel makroekonomik göstergedir. Bu değişken ölçek, bileşim ve teknik etki kanalları çerçevesinde çevresel göstergelerle ilişkilendirilmektedir. Ticaret açıklığı ise ekonominin dışa entegrasyon derecesini göstermekte ve üretim yapısı, teknoloji transferi ve sektörel uzmanlaşma kanallarıyla bağlantılı bir değişken olarak modele dâhil edilmektedir.

Kentleşme oranı, toplam nüfus içinde kentsel nüfusun payını ifade etmekte ve mekânsal yoğunlaşma ile altyapının kullanım biçimlerini yansıtmaktadır. Nüfus yoğunluğu , kilometrekare başına düşen kişi sayısını göstermekte olup, yerleşim yapısının ve mekânsal organizasyonun çevresel sonuçları açısından analitik bir gösterge sunmaktadır. Bu çerçevede model, karbon emisyonlarını yalnızca enerji hacmi üzerinden değil; enerji yoğunluğu, enerji bileşimi, ekonomik ölçek, dışa açıklık ve demografik yapı unsurlarını birlikte dikkate alan bütüncül bir yaklaşım doğrultusunda ele almaktadır.

Çalışmanın G20 ülkelerini odağa alması, küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %75'inden sorumlu bu ülkelere ilişkin elde edilen bulguların, uluslararası düzeyde politika yapımcılar açısından daha yüksek genellenebilirlik sunmasına olanak tanımaktadır. Analiz kapsamında kullanılan veri setindeki değişkenler, farklı ölçüm birimlerine sahip olmaları nedeniyle karşılaştırılabilirliği artırmak ve ölçek farklılıklarının katsayı büyüklükleri üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak amacıyla sıfır ortalama ve birim standart sapmaya sahip olacak şekilde standartlaştırılmıştır. Bu işlem değişkenleri ortak ve tek tip bir ölçeğe taşımakta; doğrusal ve pozitif bir dönüşüm niteliğinde olduğundan katsayıların işaretini etkilememekte, yalnızca büyüklüklerinin standart sapma cinsinden yorumlanmasını sağlamaktadır. Ampirik analizler E-views 12 ve Stata 15 paket programları aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Analizde yer alan değişkenlerin tanımları ve veri kaynaklarına ilişkin ayrıntılı bilgiler Tablo 1'de sunulmaktadır. Bu çerçevede çalışma, karbon emisyonlarının tekil ve doğrusal ilişkilerden ziyade, çok katmanlı ve etkileşimli belirleyiciler tarafından şekillendiğini ampirik olarak ortaya koymayı hedeflemektedir.

**Tablo1: Değişken Tanımları ve Kaynakları**

Değişken Kodu	Değişken Tanımları
CO2	Arazi kullanımı ve ormancılık hariç, kişi başına düşen karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) emisyonu (ton/kişi)
GDPPC	Kişi başına Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (ABD doları)
TRD	Ticaret (Dışa Açıklık Düzeyi) (%GSYİH)
FFC	Fosil yakıt enerjisi tüketimi (toplam enerji tüketiminin %'si)
RE	Yenilenebilir kaynaklardan, hidroelektrik hariç, elektrik üretimi (% olarak toplam üretim içinde)
EC	Enerji kullanımı (2021 yılı sabit satın alma gücü paritesine göre 1.000 ABD doları başına kilogram petrol eşdeğeri)
URBPOP	Kentsel Nüfus Oranı (% toplam nüfus)
POPDENS	Nüfus yoğunluğu (kilometrekare başına düşen kişi sayısı)

Kaynak: Dünya Bankası, World Development Indicators (WDI), <https://data.worldbank.org>

## 2.2. Ekonometrik Metodoloji

Panel veri analizlerinde uzun dönemli ilişkilerin güvenilir biçimde tahmin edilebilmesi amacıyla, değişkenlerin durağanlık düzeylerindeki farklılıklar, yatay kesit bağımlılığı ve birimsel heterojenlik gibi yapısal sorunları dikkate alan yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde ekonomik sistemlerin giderek daha fazla bütünleşmesiyle birlikte, herhangi bir ülkede ortaya çıkan makroekonomik bir şokun diğer ülkeler üzerinde etkili olma olasılığı artış göstermektedir. Bu durum, ülkeler arası karşılıklı bağımlılığın yalnızca teorik değil, aynı zamanda ampirik analizlerde de dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, panel veri yapılarında söz konusu dışsalıkların etkili bir biçimde analiz edilebilmesi için, öncelikle yatay kesit bağımlılığı olgusunun varlığının test edilmesi büyük önem arz etmektedir. Çünkü kesit birimleri arasında eşzamanlı ilişkilerin bulunması hâlinde, analizde tercih edilecek yöntemlerin bu bağımlılığı dikkate alacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, elde edilen sonuçlar yanıltıcı olabileceği gibi, istatistiksel olarak da geçerliliğini yitirebilmektedir. Bu noktada, panel veri setinde yer alan değişkenler arasında yatay kesit bağımlılığının varlığı, veri setindeki zaman boyutu (T) ile yatay kesit boyutu (N) arasındaki ilişki göz önünde bulundurularak, Breusch-Pagan LM (1980), Pesaran Scaled LM ve Pesaran CD (2004) testleri aracılığıyla analiz edilmiştir. Böylece, birimler arası olası korelasyonların varlığı dikkate alınarak panel veri analizlerinin temellendirilmesinde gerekli metodolojik sağlamlık sağlanmıştır. Yatay kesit bağımlılığı/bağımsızlığı durumunun tespit edilmesinden sonra, bu durum birim kök testleri aşamasında da dikkate alınır. Literatürde panel birim kök testleri, yatay kesit bağımlılığını dikkate almayan birinci nesil testler (Harris ve Tzavalis, 1999; Levin, Lin ve Chu, 2002; Im vd., 2003) ile bu bağımlılığı içeren ikinci nesil testler (Bai ve Ng, 2001; Moon ve Perron, 2004; Pesaran, 2007) olarak iki grupta sınıflandırılmaktadır. Özellikle yatay kesitler arası bağımlılığın varlığına bağlı olarak, daha güvenilir sonuçlar elde edebilmek için bu çalışmada Pesaran (2007) tarafından geliştirilen ve yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil CIPS (Cross-sectionally Augmented IPS) birim kök testi kullanılmıştır. Bu test, her bir kesit için hesaplanan CADF istatistiklerinin ortalamasına dayanmaktadır ve panel veri yapısında daha tutarlı sonuçlar sunmaktadır. Panel veri analizlerinin bir diğer önemli boyutu ise, bireysel birimlere ait eğim katsayılarının homojen olup olmadığının sınanmasıdır. Bu sınamada, modelin yapısal özelliklerinin doğru şekilde belirlenebilmesi açısından

kritik bir adımdır. Bu amaçla, Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen delta testleri kullanılarak, panel veri setinde eğim heterojenliğinin varlığı araştırılmaktadır. Söz konusu testler, Swamy (1970) tarafından önerilen klasik heterojenlik testinin panel veri yapısına uyarlanmış versiyonu olup, her bir panel biriminin kendine özgü şoklara maruz kalıp kalmadığını ortaya koymaktadır. Bu sayede izleyen analiz sürecinde tercih edilecek ekonometrik yöntemlerin belirlenmesine metodolojik bir temel oluşturulmaktadır. Durağanlık ve heterojenlik analizlerinden sonra, değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkilerin varlığını sınamak amacıyla panel eşbütünleşme testlerine geçilmiştir. Literatürde yaygın kullanılan Pedroni (1999) ve Kao (1999) testleri yatay kesit bağımsızlığı varsayımına dayanmakta, ancak günümüzde panel veri yapısında birimler arası karşılıklı etkileşimlerin yaygın olması nedeniyle bu varsayım çoğu durumda geçerliliğini yitirmektedir. Bu eksikliği gidermek üzere, Westerlund (2008) tarafından geliştirilen Durbin-Hausman temelli panel eşbütünleşme testi tercih edilmiştir. Westerlund testi, yatay kesitler arası bağımlılığı dikkate alan yapıyla hem homojen hem de heterojen panel yapılarında esnek biçimde uygulanabilmekte ve daha yüksek test gücü sunmaktadır (Topuz, 2021). Bu çalışmada da veri yapısında gözlemlenen kesit bağımlılığı ve parametre heterojenliği dikkate alınarak, uzun dönemli ilişkilerin analizi bu test ile gerçekleştirilmiştir.

Uzun dönemli ilişkilerin tahmininde, panel veri setinin heterojen yapısı ve ortak dinamik etkileri dikkate alınarak Genişletilmiş Ortalama Grup (AMG) tahmincisi esas alınmıştır. AMG yöntemi, birim düzeyinde elde edilen uzun dönem katsayılarını temel alarak panel geneline ilişkin tutarlı tahminler sunmaktadır. Elde edilen bulguların sağlamlığını ve güvenilirliğini sınamak amacıyla, yatay kesit bağımlılığı ve gözlemlenemeyen ortak faktörleri farklı biçimlerde ele alan CCEMG ve DCCE tahmincileri de ilave analizler olarak uygulanmıştır. Uzun dönem katsayılarının yorumlanmasında AMG sonuçları temel alınırken, diğer tahminciler karşılaştırmalı bir kontrol mekanizması olarak kullanılmıştır. Ayrıca, değişkenler arasındaki nedensellik ilişkileri, heterojenlik ve yatay kesit bağımlılığını dikkate alan Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel nedensellik testi aracılığıyla incelenmiş ve ampirik bölüm tamamlanmıştır.

### 2.2.1. Model

Bu çalışma kapsamında, bağımlı değişken ile açıklayıcı değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkiyi incelemek amacıyla aşağıdaki panel veri modeli oluşturulmuştur. Model, hem ülkeler arası heterojenliği hem de zaman boyutunu dikkate alan genel bir fonksiyonel yapıya sahiptir. Bu çerçevede ampirik model aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$CO_{2it} = \alpha_0 + \beta_2 GDP_{PCit} + \beta_3 TRD_{it} + \beta_4 FFC_{it} + \beta_5 RE_{it} + \beta_6 EC_{it} + \beta_7 URB_{POPit} + \beta_8 POP_{DENSit} + \delta_{it} + \mu_{it}$$

Modelde yer alan  $\alpha_0$  parametresi ülkeye özgü sabit etkileri temsil ederken,  $\beta$  katsayıları her bir bağımsız değişkenin karbon emisyonları üzerindeki uzun dönemli marjinal etkisini göstermektedir. AMG yaklaşımı, bu katsayıların ülkeler arasında farklılaşmasına izin vererek heterojen uzun dönem ilişkilerini ortaya koymaktadır.  $\delta_{it}$  terimi gözlemlenemeyen ortak şokları ve zamana bağlı yapısal dönüşümleri kontrol ederken,  $\mu_{it}$  hata terimi modele dahil edilmeyen rassal etkileri temsil etmektedir.

Yukarıda sunulan model denklemi çerçevesinde tahmin edilen Augmented Mean Group (AMG) sonuçları Tablo 7 ve Tablo 8'de sunulmaktadır. Tablo 7'de yer alan katsayılar, panel geneli sonuçları ifade ederken; Tablo 8'de yer alan katsayılar, her bir ülke için ayrı ayrı tahmin edilen uzun dönem parametrelerin basit ortalamasını yansıtmakta olup, ülkeler arası heterojenliğin ve gözlemlenemeyen ortak dinamiklerin etkisi kontrol edilerek elde edilmiştir. Çalışma kapsamında

ele alınan Genişletilmiş Ortalama Grup (Augmented Mean Group – AMG) Tahminci Yöntemi Bölüm 2.2.2’de detaylı bir biçimde açıklanmaktadır.

### 2.2.2. Genişletilmiş Ortalama Grup (Augmented Mean Group – AMG) Tahminci Yöntemi

Genişletilmiş Ortalama Grup (Augmented Mean Group – AMG) tahmincisi, panel veri analizlerinde uzun dönemli ilişkilerin tahmininde ortaya çıkan temel ekonometrik sorunlara çözüm getirmek amacıyla geliştirilmiş ileri bir yöntemdir. Özellikle yatay kesitler arasında bağımlılık, katsayıların birimler arasında farklılaşması, değişkenlerin entegrasyon derecelerindeki uyumsuzluk ve hata teriminde olası içsellik gibi problemlerin yaygın olduğu panel yapılarında, geleneksel tahmin yaklaşımlarının yetersiz kaldığı durumlarda etkin bir alternatif sunmaktadır. Bu yöntem, Eberhardt ve Bond (2009) ile Eberhardt ve Teal (2010) tarafından literatüre kazandırılmış ve heterojen panellerde güvenilir uzun dönem katsayıların elde edilmesine imkân tanımıştır. AMG yaklaşımının temel çıkış noktası, paneli oluşturan birimlerin zaman içerisinde maruz kaldığı ve doğrudan gözlemlenemeyen ortak şokların veya ortak dinamik süreçlerin modele açık biçimde dâhil edilmesidir. Bu kapsamda, üretim fonksiyonu benzeri yapılar çerçevesinde, birimler arası ortak hareketliliğin arkasında yatan Toplam Faktör Verimliliği (TFP) benzeri dinamiklerin etkileri kontrol altına alınmaktadır. Yöntemin ilk aşamasında, veriler birinci fark alınarak sabit etkiler içermeyen bir regresyon tahmin edilmekte ve modele  $T-1$  adet zaman kukla değişkeni eklenmektedir. Bu kukla değişkenler aracılığıyla, panel genelinde tüm birimleri eşanlı biçimde etkileyen zamansal şoklar yakalanmakta ve bu bileşen “ortak dinamik süreç” olarak tanımlanmaktadır (Tatoğlu, 2020). İkinci aşamada, tahmin edilen bu ortak dinamik süreç her bir yatay kesit birimi için kurulan bireysel regresyonlara eklenerek genişletilmiş birim bazlı modeller elde edilmektedir. Bu yapı, hem gözlemlenebilir değişkenlerin hem de doğrudan ölçülemeyen ortak faktörlerin birimler üzerindeki farklı etkilerinin ayrıştırılmasına olanak tanır. Böylece katsayı heterojenliği açık biçimde dikkate alınmakta ve birimler arası yapısal farklılıklar korunmaktadır. Son aşamada ise, her bir birim için elde edilen uzun dönem katsayılarının basit aritmetik ortalaması alınarak panel geneline ilişkin temsil gücü yüksek uzun dönem tahminleri elde edilmektedir. AMG tahmincisinin önemli üstünlüklerinden biri, değişkenlerin entegrasyon derecelerinin aynı olmasını zorunlu kılmamasıdır. Başka bir ifadeyle, hem  $I(0)$  hem de  $I(1)$  düzeyinde durağan olan değişkenlerin birlikte yer aldığı karma entegrasyon yapılarında da geçerli ve tutarlı sonuçlar üretebilmektedir. Bunun yanı sıra, dengesiz panel veri setlerinde uygulanabilir olması ve hata teriminde içsellik içeren yapılar da dahi tahmin tutarlılığını koruması, yöntemin ampirik çalışmalar açısından sağladığı esnekliği artırmaktadır (Eberhardt ve Bond, 2009; Eberhardt ve Teal, 2010).

Sonuç olarak AMG tahmincisi, uzun dönemli eşbütünleşme ilişkilerinin analizinde, panelin heterojen doğasını göz ardı etmeden ortak şokları modele entegre eden yapısıyla hem teorik hem de ekonometrik açıdan güçlü bir çerçeve sunmaktadır. Bu çalışmada da panel verinin sahip olduğu yatay kesit bağımlılığı, yapısal farklılıklar ve birimler arası heterojenlik dikkate alınarak uzun dönem katsayıların güvenilir biçimde tahmin edilebilmesi amacıyla AMG yöntemi tercih edilmiştir. Bu çerçevede, AMG tahmincisinin teorik yapısını oluşturan temel denklemler aşağıda sunulmaktadır.

$i = 1, 2, \dots, N$  (Ülke/kesit boyutu)

$t = 1, 2, \dots, T$  (Zaman boyutu)

$$f_{it} = s_{it}p_i + \epsilon_{it} \quad (1)$$

$$x_{it} = \phi_{2i} + \phi_{1i}f_t + \beta_i g_t + \rho_{it} \quad (2)$$

$$\mu_{it} = \phi_{1i} + \phi_{1i}f_t + u_{it} \quad (3)$$

Denklemlerde yer alan  $s_{it}$  ile  $f_{it}$  değişkenleri gözlemlenebilir niteliklerde olup,  $p_i$  parametresi ülkelere özgü gözlenebilir eğimleri göstermektedir. Denklemden yer alan  $\epsilon_{it}$  parametresi ise ülkelere özgü gözlemlenemeyen bileşenleri,  $u_{it}$  ise hata terimini ifade etmektedir.

Denklemin (3)'te tanımlanan gözlemlenemeyen bileşenler, ülkeler arasında zamana göre sabit kalan farklılıkları temsil eden grup sabit etkiler  $\phi_{1i}$  ile ifade edilirken, zamanla değişebilen heterojenliği ve yatay kesit bağımlılığını yansıtan faktörler  $\phi_i$  parametresi ile ifade edilmektedir. Denklemden gözlemlenemeyen ortak faktör  $f_t$  olarak yer almaktadır. Model yapısı, söz konusu faktörlerin yalnızca doğrusal bir zaman trendi izlemesiyle sınırlı olmayıp, aynı zamanda eşbütünleşme çerçevesinde ortaya çıkabilecek durağan ve doğrusal olmayan dinamikleri de kapsayacak şekilde kurgulanmıştır. Regresörlerin gözlemlenebilir değişkenlerin yanı sıra ortak faktörler tarafından da belirlenmesi, tahmin sürecinde ilave metodolojik sorunlara yol açabilmektedir. Bununla birlikte, Denklem (2) ve (3)'te yer alan  $\rho_{it}$  ve  $u_{it}$  parametreleri ile hata terimlerinin beyaz gürültü sürecine sahip olduğu varsayılmaktadır.

Ortalama Grup (Mean Group) yaklaşımı, panel veri yapısında birimler arası heterojenliği esas alan iki aşamalı bir tahmin mantığına dayanmaktadır. Bu çerçevede öncelikle her bir birim için bağımsız regresyon denklemleri kurularak uzun dönem katsayıları ayrı ayrı elde edilmekte, ardından bu bireysel tahminler yatay kesitler boyunca ortalanarak panel geneline ilişkin sonuçlara ulaşılmaktadır.

AMG tahmincisinde ise söz konusu süreç, birimler arasında var olabilecek yatay kesit bağımlılığını dikkate alacak şekilde genişletilmektedir. Bu amaçla, birimlere özgü regresyonlara ortak dinamikleri temsil eden bileşenler dâhil edilmekte ve ilk aşamada değişkenlerin birinci farkları kullanılarak havuzlanmış regresyon çerçevesinde zamana özgü gölge değişken katsayıları tahmin edilmektedir (Tatoğlu, 2020: 82).

$$\Delta f_{it} = b' \Delta s_{it} + \sum_{t=2}^T p_t \Delta D_t u_{it} \rightarrow \hat{c}_t \equiv \epsilon_t \quad (4)$$

$$f_{it} = \phi_i + b' s_{it} + p_i t d_i \hat{c}_t + u_{it} \quad (5)$$

İkinci aşamada, daha önce elde edilen ortak dinamik bileşenler her bir birime ait regresyon denklemlerine entegre edilmekte ve tahminler bu genişletilmiş model yapısı üzerinden gerçekleştirilmektedir.

$$\hat{b}_{AMG} = N^{-1} \sum_i \hat{b}_i \quad (6)$$

Üçüncü aşamada ise, ortak dinamik bileşenlerin yer aldığı ve yer almadığı model spesifikasyonları için Genişletilmiş Ortalama Grup (AMG) katsayıları, Pesaran ve Smith (1995) tarafından ortaya konulan Ortalama Grup metodolojisi esas alınarak hesaplanmaktadır.

### 3. AMPİRİK ANALİZLER

#### 3.1. Ön Testler

Ampirik analiz sürecine geçmeden önce, veri setinin temel özelliklerini ortaya koymak amacıyla betimleyici istatistikler ve korelasyon analizi yapılmıştır. Ayrıca panel veri yapısına özgü özelliklerin belirlenebilmesi için yatay kesit bağımlılığı, homojenlik ve birim kök testleri uygulanmıştır. Söz konusu analiz ve testlerin bulguları sırasıyla Tablo 2'den Tablo 6'ya kadar sunulmaktadır.

**Tablo 2: Betimleyici İstatistikler**

	Gözlem Sayısı	Ortalama	Standart Hata	Maximum Değer	Minimum Değer
CO2	612	8.880	5.66	21.01	0.69
GDPPC	612	21041.34	17565.86	82769.41	302.88
TRD	612	49.68	17.77	110.57	15.15
FFC	612	81.45	12.64	100.00	46.47
RE	612	4.732	7.16	41.16	-1.31
EC	612	113.81	52.44	467.67	40.91
URBPOP	612	70.98	15.92	92.04	25.54
POPDENS	612	143.21	145.98	531.10	2.22

Tablo 2’de veri setine ilişkin betimleyici istatistikler incelendiğinde, değişkenler arasında önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Karbon emisyonu, kişi başına gelir, enerji yoğunluğu ve nüfus yoğunluğu gibi değişkenlerde minimum ve maksimum değerler arasındaki geniş aralıklar, ülkeler arası sosyo-ekonomik ve çevresel koşulların oldukça farklı olduğunu göstermektedir. Özellikle fosil yakıt tüketiminin yüksek, yenilenebilir enerji payının ise düşük düzeyde olması, enerji yapısında fosil kaynakların baskın olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca kentleşme oranı genel olarak yüksek olup, dışa açıklık ve gelir düzeyi bakımından ülkeler arasında belirgin farkların olduğu görülmektedir.

**Tablo 3: Korelasyon Matrisi**

	GPC	TRD	FFC	RE	EC	URBPOP	POPDENS
GDPPC	1.00						
TRD	0.055	1.00					
FFC	0.022	0.180	1.00				
RE	0.375	0.141	-0.174	1.00			
EC	-0.297	-0.003	0.190	-0.468	1.00		
URBPOP	0.560	0.173	0.148	0.139	-0.272	1.00	
POPDENS	0.042	0.092	-0.086	0.072	-0.164	-0.188	1.00

Tablo 3’teki korelasyon matrisi incelendiğinde, bağımsız değişkenler arasında yüksek düzeyde doğrusal bir ilişkinin bulunmadığını göstermektedir. Bu durum, modelde çoklu doğrusal bağlantı (multicollinearity) sorununun düşük düzeyde olduğunu ve regresyon tahminlerinin güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemeyeceğini göstermektedir. Değişkenler arasındaki düşük korelasyon düzeyleri, her bir değişkenin modele bağımsız bilgi katkısı sağladığını ifade etmektedir.

**Tablo 4: Yatay Kesit Bağımsızlığı Testi Sonuçları**

	Breuch Pagan LM		Pesaran Scaled LM		Pesaran CD	
	Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
<b>CO2</b>	2899.75	0.000	157.02	0.000	3.760	0.000
<b>GDPPC</b>	2754.79	0.000	148.73	0.000	20.141	0.000
<b>TRD</b>	1655.94	0.000	85.917	0.000	20.392	0.000
<b>FFC</b>	3520.38	0.000	192.50	0.000	0.227	0.718
<b>RE</b>	3910.56	0.000	214.86	0.000	48.22	0.000
<b>EC</b>	337.32	0.000	10.537	0.000	8.743	0.000
<b>URBPOP</b>	4719.23	0.000	261.03	0.000	4.801	0.000
<b>POPDENS</b>	4477.76	0.000	247.61	0.000	2.217	0.000

Tablo 4'teki yatay kesit bağımlılığı testi analiz sonuçları incelendiğinde, panelde yer alan ülkeler arasında %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir eşanlık ilişkisi bulunduğunu göstermektedir. Bu durum, bir ülkede ortaya çıkan makroekonomik bir şokun, diğer ülkeleri de etkileyebileceğine işaret etmektedir. Panel veri analizlerinde yatay kesit bağımlılığının göz ardı edilmesi, ülkelerin dışsal şoklara benzer tepkiler verdiği varsayımına dayalı kısıtlayıcı bir yaklaşım beraberinde getirmektedir. Bu, model sonuçlarının güvenilirliğini ve geçerliliğini azaltabilir. Bu çerçevede, ülkeler arası etkileşimlerin ve ortak şokların varlığı dikkate alınarak, durağanlık analizlerinin ikinci nesil panel birim kök testleri aracılığıyla gerçekleştirilmesi, metodolojik açıdan daha uygun bir tercih olacaktır (Nazlıoğlu, 2010).

**Tablo 5: Homojenlik Testi Sonuçları**

	$\Delta$	$\Delta$ -Adj	$\Delta$ -Hac	$\Delta$ (Hac-Adj)	$\Delta$ (Comparehac)	$\Delta$ (Comparehac-Adj)
<b>İstatistik Değeri</b>	13.384	16.142	-3.412	-4.115	-3.127	-3.771
<b>Olasılık Değeri</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000

Tablo 5'te sunulan Delta homojenlik testi sonuçları incelendiğinde, katsayıların homojen olduğu varsayımını savunan sıfır hipotezinin %1 anlamlılık düzeyinde reddedildiğini göstermektedir. Bu bulgu, modelde yer alan değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerinin ülkeler arasında farklılık gösterdiğini, yani katsayıların heterojen olduğunu göstermektedir.

Panel veri setinde yatay kesit bağımlılığı ve heterojen yapı tespit edilmesi nedeniyle, geleneksel (birinci nesil) panel birim kök testleri yerine, bu özellikleri dikkate alan ikinci nesil testlerin kullanılması uygun görülmüştür. Bu çerçevede, birim kök sürecinin varlığını incelemek amacıyla Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CIPS (Cross-sectionally Augmented IPS) birim kök testi uygulanmıştır. CIPS testi sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6: CIPS (Cross-Sectionally Augmented IPS) Birim Kök Testi Sonuçları

	Düzy			
	Sabitli		Sabitli ve Trendli	
	Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
CO2	-0.88	>0.10	-2.19	>0.10
GDPPC	-1.67	>0.10	-1.99	>0.10
TRD	-2.25**	<0.05	-2.65*	<0.10
FFC	-1.45	>0.10	-2.10	>0.10
RE	-1.75	>0.10	-2.53	>0.10
EC	-2.16*	<0.10	-2.47	>0.10
URBPOP	-2.24**	<0.05	-2.71**	<0.05
POPDENS	-1.91	>0.10	-1.92	>0.10

	1.Fark			
	Sabitli		Sabitli ve Trendli	
	Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
CO2	-4.61***	<0.01	-5.02***	<0.01
GDPPC	-4.52***	<0.01	-4.64***	<0.01
TRD	-4.00***	<0.01	-3.94***	<0.01
FFC	-5.02***	<0.01	-5.29***	<0.01
RE	-5.33***	<0.01	-5.36***	<0.01
EC	-5.04***	<0.01	-5.21***	<0.01
URBPOP	-4.59***	<0.01	-4.68***	<0.01
POPDENS	-3.52***	<0.01	-3.64***	<0.01

Not: CIPS testi kritik değerleri sabitli olarak bakılan sırasıyla -2.11, -2.2, -2.36; Sabitli ve trendli olarak bakılan analiz sonuçlarında ise sırasıyla -2.63, 2.71 ve -2.85'dir.

Tablo 6'daki Pesaran (2007) CIPS birim kök testi sonuçları incelendiğinde, TRD, EC ve URB<sub>POP</sub> değişkenleri düzey seviyesinde durağanlık göstermiştir. Diğer değişkenler ise düzeyde durağan olmayıp, birinci farkları alındığında %1 anlamlılık düzeyinde durağan hale gelmiştir. Bu doğrultuda, analizlerde düzeyde durağan olan TRD, EC ve URB<sub>POP</sub> değişkenleri düzey I(0) değerleriyle; I(1) sürecine sahip diğer değişkenler ise fark serileri üzerinden modele dâhil edilmiştir. Bu yaklaşım, durağan olmayan serilerin regresyon analizlerinde neden olabileceği sapmaları önlemek ve geçerli tahminler elde etmek açısından ekonometrik açıdan önem arz etmektedir.

### 3.2. Genişletilmiş Ortalama Grup (AMG), Ortak Korelasyonlu Etkiler Ortalama Grup (CEMG) ve Dinamik Ortak Korelasyonlu Etkiler (DCCE) Tahmin Sonuçları

Uzun dönem ilişkilerin belirlenmesinde AMG tahmincisinden yararlanılmış, elde edilen bulguların sağlamlığını sınamak amacıyla ise CCEMG ve DCCE tahminçileri uygulanmıştır. Bu yöntemler, panel

veri setlerinde karşılaşılabilecek gözlemlenemeyen ortak faktörler ve yatay kesit bağımlılığı problemlerini dikkate alarak daha güvenilir katsayı tahminleri elde edilmesine olanak sağlamaktadır. İlgili tahmin sonuçları Tablo 7'de sunulmaktadır.

Tablo 7: Panelin Geneli için AMG, CCEMG ve DCCE Tahminci Sonuçları

	AMG			CCEMG			DCCE		
	Test İstatistiği	Standart Hata	P>[z]	Test İstatistiği	Standart Hata	P>[z]	Test İstatistiği	Standart Hata	P>[z]
<b>C</b>	-0.007	0.747	0.925	-0.219	0.208	0.292			
<b>GDPPC</b>	0.296***	0.112	0.009	0.108*	0.065	0.099	0.145*	0.082	0.077
<b>TRD</b>	0.026**	0.011	0.023	0.039*	0.021	0.089	0.061*	0.034	0.074
<b>FFC</b>	-0.584	1.039	0.574	-1.023	1.335	0.443	1.105	0.715	0.122
<b>RE</b>	-1.610	1.751	0.358	-1.866	2.025	0.357	-1.74	1.687	0.300
<b>EC</b>	-0.091**	0.043	0.033	-0.155**	0.065	0.018	-0.183**	0.092	0.048
<b>URBPOP</b>	0.206	0.128	0.107	0.395	0.307	0.199	-0.170	0.350	0.626
<b>POPDENS</b>	-0.125	0.106	0.240	-1.105	1.600	0.490	-4.425	4.613	0.337
<b>L.Co2</b>							-0.11***	0.419	0.006

Not: \*, \*\* ve \*\*\* sırasıyla %10, %5 ve %1 için istatistiksel olarak anlamlılık düzeylerini göstermektedir. Çalışma Kapsamında AMG Tahminci sonuçları baz alınmaktadır. CCEMG ve DCCE analizleri AMG analizlerinden elde edilen sonuçların güvenilirliğini ve sağlamlığını test etmek için uygulanmıştır.

Tablo 7’de raporlanan AMG, CCEMG ve DCEE tahmin sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, panel genelinde kişi başına gelir ve ticaret açıklığının karbon emisyonlarını artırıcı yönde ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık enerji yoğunluğu değişkeninin karbon emisyonları üzerindeki etkisinin negatif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, kişi başına gelir ve ticaret açıklığındaki artışın karbon emisyonlarını yükselttiğini göstermektedir. Buna karşılık enerji yoğunluğunun negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunması, enerji verimliliğindeki artışın emisyonları azaltıcı yönde etkide bulunabileceğine işaret etmektedir. Buna karşılık, fosil yakıt tüketimi, yenilenebilir enerji üretimi, kentsel nüfus oranı ve nüfus yoğunluğu değişkenleri çoğu tahminci altında istatistiksel olarak anlamsız bulunmuş olup, bu durum söz konusu değişkenlerin panel genelinde karbon emisyonları üzerinde homojen ve doğrudan bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Bu sonuç, ülkeler arasında enerji dönüşüm süreçleri ve demografik yapıların farklılaşmasının etkilerin istatistiksel olarak ayırt edilmesini güçleştirdiğine işaret etmektedir.

DCEE tahmin sonuçlarında gecikmeli karbon emisyonu değişkeninin ( $L.CO_2$ ) negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunması, karbon emisyonlarının uzun dönemde kendi denge seviyesine doğru düzeltici (mean-reverting) bir dinamik sergilediğini göstermektedir. Ekonometrik açıdan bu bulgu, ortak küresel şoklar ve gözlenemeyen faktörler kontrol edildikten sonra emisyonlardaki artışların zaman içerisinde politika tepkileri, teknolojik uyum ve yapısal dönüşümler yoluyla kısmen telafi edildiğine işaret etmektedir. İktisadi açıdan ise sonuç, karbon emisyonlarının patlayıcı bir süreç izlemediğini; aksine, düzenleyici mekanizmalar, çevre politikaları ve enerji dönüşümü dinamikleri aracılığıyla istikrarlı bir uyum süreci içinde hareket ettiğini ortaya koymaktadır. AMG ve CCEMG tahminlerinde elde edilen uzun dönem katsayıların yönü ve anlamlılığı birlikte değerlendirildiğinde, DCEE’de negatif  $L.CO_2$  katsayısı kısa dönem ayarlama sürecini yansıtmakta olup uzun dönem ilişkilerle çelişmemektedir. Üç farklı tahminciye elde edilen bulguların genel olarak örtüşmesi, sonuçların birimler arası bağımlılık, heterojenlik ve dinamik yapı dikkate alındığında, ekonometrik açıdan sağlam ve güvenilir olduğunu teyit etmektedir. Bu sonuçlar ile birlikte AMG analizinin ülkeler özelinde incelenen uzun dönemli analiz sonuçları Tablo 8’de detaylı bir şekilde raporlanmakta ve tartışılmaktadır.

Tablo 8: Genişletilmiş Ortalama Grup (AMG) Tahminci Testi Sonuçları

	C	GDPPC	TRD	FFC	RE	EC	URBPOP	POPSENS
Türkiye	2.56***	0.664**	0.071*	-0.52***	-0.336	-0.392*	0.800***	0.318**
	7.02	[2.32]	[-1.74]	[3.14]	-4.25	-1.66	6.29	1.92
	(0.000)	(0.020)	(0.084)	(0.002)	(0.000)	(0.098)	(0.000)	(0.056)
ABD	0.752	0.505***	0.098	1.413***	0.016	-0.297**	-1.003*	-0.066
	1.53	4.95	1.11	[3.90]	[0.14]	[-1.93]	-1.88	-1.25
	(0.126)	(0.000)	(0.268)	(0.000)	(0.889)	(0.054)	(0.060)	(0.210)
Almanya	1.31***	0.110***	0.031	0.424***	-0.104***	-0.169	0.640***	0.080***
	4.92	[2.48]	1.12	[3.36]	[-3.58]	[-1.56]	[2.51]	[3.01]
	(0.000)	(0.013)	(0.261)	(0.001)	(0.000)	(0.119)	(0.012)	(0.003)
Avustralya	0.699*	0.068**	0.038	0.703***	-0.044	-0.060	0.076	-0.081
	1.69	1.78	0.46	5.84	-0.98	-0.55	0.24	-0.14
	0.090	(0.076)	(0.647)	(0.000)	(0.327)	(0.580)	0.814	(0.892)
Brezilya	0.13***	0.016***	0.017**	0.097***	0.017	-0.15***	0.045***	-0.003
	3.46	4.89	1.99	9.03	1.32	[-2.87]	[2.86]	-0.24
	(0.001)	(0.000)	(0.047)	(0.000)	(0.188)	(0.004)	(0.004)	(0.814)
Çin	0.010	0.557***	0.02***	0.513***	0.046	0.017***	0.048	-0.095
	0.06	2.86	[2.55]	[9.25]	0.99	[2.71]	1.50	[-1.18]
	(0.955)	(0.004)	(0.011)	(0.000)	(0.323)	(0.007)	(0.134)	(0.238)
Endonezya	0.068	0.753***	0.007	0.014	-0.017	-0.042*	-0.004	-0.024
	[0.91]	12.24	1.58	0.63	-1.27	-1.88	-0.27	-0.49
	(0.364)	(0.000)	(0.114)	(0.527)	(0.204)	(0.061)	(0.790)	(0.621)
Fransa	1.03***	0.115***	-0.020	0.283***	-0.160***	-0.17***	0.399***	0.073
	6.15	4.23	-0.96	4.89	-2.66	-2.56	3.61	1.35
	(0.000)	(0.000)	(0.337)	(0.000)	(0.008)	(0.010)	(0.000)	(0.176)
Güney Afrika	0.50***	0.852***	0.14***	0.075	-0.020	-0.055	-0.162*	-0.007
	2.59	3.41	3.77	[0.48]	-0.10	-1.15	-1.91	-0.40
	(0.010)	(0.001)	(0.000)	(0.628)	(0.919)	(0.250)	0.056	0.690

	0.513	0.282***	-0.003	0.455***	-0.147	0.002	0.244**	-0.008
<b>Güney Kore</b>	1.32	2.49	-0.16	[3.97]	-0.83	[0.03]	2.20	-0.23
	(0.187)	(0.013)	(0.871)	(0.000)	(0.407)	(0.979)	(0.028)	(0.821)
	0.004	1.22***	0.007**	0.094***	0.003	0.032**	0.055**	-0.006*
<b>Hindistan</b>	0.09	12.15	2.29	4.01	0.44	2.30	2.17	-1.73
	(0.927)	(0.000)	(0.022)	(0.000)	0.658	(0.021)	(0.030)	(0.084)
	0.80***	0.064	0.033	0.299***	-0.043	-0.069	0.244	0.047
<b>İngiltere</b>	2.92	1.46	0.82	2.46	-1.45	-1.14	1.29	0.67
	0.003	(0.144)	(0.414)	0.014	(0.147)	(0.253)	(0.197)	(0.500)
	0.71***	0.126***	0.028	0.537***	-0.006	0.280	0.700	-0.050
<b>İtalya</b>	3.32	[2.74]	0.98	4.42	-0.15	1.31	3.01	-1.02
	0.001	(0.006)	(0.327)	(0.000)	0.881	(0.189)	0.001	0.309
	2.09***	0.075	0.061	0.157	-0.596***	-0.38***	0.225*	0.021
<b>Japonya</b>	5.49	0.91	0.58	1.63	-4.70	[-2.77]	1.74	0.51
	(0.000)	(0.362)	(0.559)	(0.104)	(0.004)	(0.006)	(0.082)	(0.608)
	-0.207	0.454***	0.051	0.314	1.265***	0.169	-0.022	-0.207
<b>Kanada</b>	-0.40	5.03	0.78	1.40	2.88	1.05	1.22	-0.40
	(0.692)	(0.000)	(0.432)	(0.160)	(0.004)	(0.293)	(0.223)	(0.692)
	1.505**	-1.08***	-0.030	0.690	2.899***	-0.363	0.705	-0.259
<b>Meksika</b>	2.15	-3.76	-0.32	1.46	-4.83	-1.14	1.17	-0.75
	(0.032)	(0.000)	(0.751)	(0.143)	(0.000)	(0.254)	(0.242)	(0.452)
	-0.830	-0.070	-0.007	1.079***	2.899	0.028	-0.664	-1.416
<b>Rusya</b>	-1.41	0.32	-0.36	[2.77]	1.56	0.59	-0.68	-0.38
	(0.159)	(0.751)	(0.719)	(0.006)	(0.118)	(0.556)	(0.499)	(0.159)
	2.14***	0.380***	0.065**	-18.20**	-31.22**	-0.038	1.387***	-1.186
<b>Suudi Arabistan</b>	[3.18]	3.24	[2.35]	-2.30	-1.93	-0.37	2.63	-1.08
	(0.001)	(0.001)	(0.019)	(0.022)	(0.054)	(0.711)	(0.009)	(0.282)

Not: \*,\*\* ve \*\*\* sırasıyla %10, %5 ve %1 için istatistiksel olarak anlamlılık düzeylerini göstermektedir. ( ) içi değerler katsayıların anlamlılık durumlarını gösteren "prob" değerlerini [ ] içi değerler ise "z" istatistik değerlerini ifade etmektedir.

Tablo 8'de raporlanan Genişletilmiş Ortalama Grup (AMG) tahminci sonuçları, karbon emisyonlarının belirleyicilerinin ülkeler arasında anlamlı farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Kişi başına düşen gelir değişkeni, Türkiye, ABD, Almanya, Fransa, Hindistan, İtalya, Çin, Endonezya, Güney Afrika ve Suudi Arabistan gibi birçok ülkede istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkiye sahiptir. Bu durum, ekonomik büyümenin çevresel baskıları artırdığına işaret etmektedir. Bununla birlikte, Meksika'da gelir değişkeninin anlamlı ve negatif etkisi dikkat çekmekte olup, bu ülkede farklı ekonomik dinamiklerin rol oynadığı söylenebilir. Dışa açıklık yani ticaret hacmi, Türkiye, Brezilya, Çin, Hindistan ve Suudi Arabistan'da karbon emisyonlarını artıran anlamlı bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Diğer ülkelerde ise bu değişkenin etkisi genel olarak anlamsız bulunmuştur. Fosil yakıt tüketimi ise Türkiye, ABD, Almanya, Fransa, Çin, Hindistan ve İtalya'da pozitif ve anlamlıdır; yalnızca Suudi Arabistan'da beklenmedik biçimde negatif ve anlamlı bir ilişki gözlenmiştir. Bu bulgular, fosil yakıt kullanımının karbon salınımı üzerindeki temel belirleyicilerden biri olduğunu doğrulamaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımı değişkeni, Almanya, Fransa ve Japonya'da anlamlı ve negatif etki gösterirken, Türkiye ve Suudi Arabistan'da anlamlı fakat pozitif etkilerle dikkat çekmiştir. Diğer ülkelerde bu değişkenin etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu durum, yenilenebilir enerji politikalarının etkinliği ve yaygınlığının ülkelere göre farklılık arz ettiğini göstermektedir. Enerji yoğunluğu ise Fransa, Japonya ve Brezilya'da anlamlı ve negatif etkiler sergilemiş; ABD'de ise düşük düzeyde anlamlı negatif bir ilişki tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, enerji verimliliği ve düşük karbonlu enerji kullanımı uygulamalarının etkili olabileceğine işaret etmektedir. Kentleşme oranı ise Türkiye, Almanya, Fransa, Hindistan ve İtalya'da pozitif ve anlamlı bulunarak, kentleşmenin enerji talebini ve dolayısıyla karbon emisyonlarını artırdığına işaret etmektedir. Ancak bazı ülkelerde kentleşme etkisi negatif veya anlamsız çıkmış, bu da ülkeler arası yapısal farklılıkları yansıtmaktadır. Nüfus yoğunluğu değişkeninin karbon emisyonları üzerindeki etkisi ise genel olarak anlamsızdır; yalnızca Almanya'da pozitif ve anlamlı bir ilişki gözlenmiştir. Bu da nüfus yoğunluğunun emisyonlar üzerindeki etkisinin ülke bazında doğrudan ve tutarlı olmadığını göstermektedir.

Sonuç olarak, modelde yer alan faktörlerin karbon emisyonları üzerindeki etkilerinin ülkeden ülkeye değişkenlik gösterdiği ve bazı durumlarda anlamlı etkilerin gözlenmediği anlaşılmaktadır. Bu farklılıklar, ülkelerin ekonomik yapıları, enerji kaynakları, çevre politikaları ve kentleşme dinamikleri gibi özgün özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, karbon emisyonlarının azaltılması için geliştirilecek politikaların, her ülkenin kendine özgü koşullarını dikkate alarak tasarlanması gerekmektedir. AMG analizleri kapsamında çalışmaya dahil edilen parametrelerin anlamlılık özetleri anlaşılması ve incelenmesi açısından daha basite indirgenerek Tablo 10'da sunulmuştur.

### 3.3. Westerlund (2008) Durbin-Hausman EşBütünleşme Testi

Tablo 9: Durbin-Hausman EşBütünleşme Testi Sonuçları

Bağımlı Değişken: CO2	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri	Karar Aşaması
DH İstatistiği	-1.603**	0.0545	Eş Bütünleşme Var

Not: \*,\*\* ve \*\*\* sırasıyla %10, %5 ve %1 için istatistiksel olarak anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir.

Tablo 9'da sunulan Westerlund (2008) Durbin-Hausman panel eşbütünleşme testi sonuçları incelendiğinde, panel genelinde %5 anlamlılık seviyesinde "eşbütünleşmenin olmadığı" yönündeki sıfır hipotezinin reddedildiği görülmektedir. Bu sonuç, bağımlı değişken Karbon emisyonu ile

modele dahil edilen değişkenler arasında uzun dönemli dengeli bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir.

### 3.4. Dumitrescu ve Hurlin (2012) Panel Granger Nedensellik Testi

Tablo 10: Dumitrescu ve Hurlin (2012) Granger Nedensellik Testi Sonuçları

H0 Hipotezi	W İstatistiği	Z (Bar)	Z (Bar-Tilde)	Karar Aşaması
CO2, GDPPC nedeni değildir	1.571	1.713*	1.898*	CO2 →GDPPC
GDPPC ,CO2 nedeni değildir	1.406	1.219	0.888	
CO2, TRD nedeni değildir	2.036***	3.110***	2.559***	CO2↔TRD
TRD,CO2 nedeni değildir	2.028***	3.085***	2.537***	
CO2, FFC nedeni değildir	1.667	2.003**	1.581	CO2 X FFC
FFC, CO2nedeni değildir	1.309	0.929	0.632	FFC X CO2
CO2, RE nedeni değildir	0.483	-1.549	-1.559	CO2 X RE
RE, CO2 nedeni değildir	1.335	-1.005	0.699	RE X CO_2
CO2, EC nedeni değildir	2.955***	5.867***	4.995***	CO2↔EC
EC, CO2 nedeni değildir	4.646***	10.93***	9.478***	
CO2, URBPOPnedeni değildir	2.630***	4.891***	4.133***	CO2→URBPOP
URBPOP, CO2 nedeni değildir	0.815	-0.553	-0.678	
CO2, POPDENS nedeni değildir	1313.76***	3938.30***	3480.24***	CO2→POPDENS
POPDENS, CO2 nedeni değildir	1.6276	1.8829**	1.474	

Not: \*,\*\* ve \*\*\* sırasıyla %10, %5 ve %1 için istatistiksel olarak anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir. Tablonun karar sütununda yer alan “→” ifadesi tek yönlü nedensellik ilişkisini, “↔” ifadesi çift yönlü nedensellik ilişkisini, “X” ifadesi ise tek ta da çift yönlü olarak nedensellik ilişkisinin bulunmadığını ifade etmektedir.

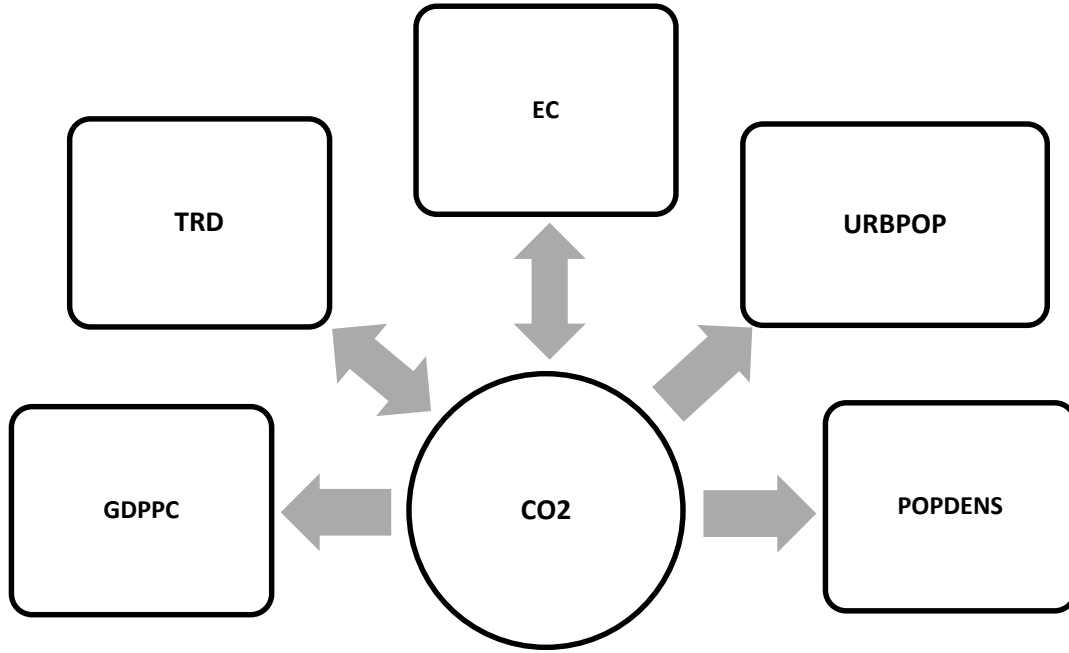
Tablo 10’daki Dumitrescu ve Hurlin (2012) granger nedensellik testi sonuçlarına göre, karbon emisyonları (CO<sub>2</sub>) ile kişi başı gelir (GDP PC), kentleşme (UrbanPop) ve nüfus yoğunluğu (PopDENS) arasında tek yönlü nedensellik mevcuttur; CO<sub>2</sub> bu değişkenleri etkilemektedir. Bu bulgu, çevresel bozulmanın ekonomik faaliyetlerin yapısını, kentsel gelişim dinamiklerini ve nüfusun mekânsal dağılımını etkileyebileceğini öne süren çevresel geri besleme mekanizmalarıyla uyumludur. Özellikle artan karbon emisyonlarının üretim yapıları, yaşam kalitesi ve yerleşim tercihleri üzerinde dolaylı etkiler yaratabileceği düşünülmektedir. Ticaret açıklığı (TRD) ve enerji yoğunluğu (EC) ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasında tespit edilen çift yönlü nedensellik ilişkisi, ekonomik entegrasyon düzeyi ile enerji kullanım yapısının karbon emisyonlarını etkilediğini; aynı zamanda artan emisyonların da enerji talebi ve ticaret kompozisyonu üzerinden söz konusu değişkenler üzerinde geri besleme mekanizmaları oluşturduğunu göstermektedir. Bu durum, enerji ve ticaret politikalarının çevresel

sonuçlarının göz ardı edilmemesi gerektiğine işaret etmektedir. Fosil yakıt tüketimi (FFC) ve yenilenebilir enerji (RE) ile CO<sub>2</sub> arasında anlamlı bir nedensellik ilişkisinin bulunmaması ise, söz konusu enerji türlerinin emisyonlar üzerindeki etkilerinin daha çok uzun dönemli ve dolaylı kanallar aracılığıyla ortaya çıkabileceğini düşündürmektedir.

Bu bağlamda elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, karbon emisyonları ile ilgili değişkenler arasında istatistiksel olarak anlamlı nedensellik ilişkilerinin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel Granger nedensellik testinin yapısal bir neden-sonuç mekanizmasını doğrudan kanıtlamadığı da göz önünde bulundurulmalıdır. Söz konusu yöntem, değişkenler arasındaki zamansal öncül-ardıl ilişkileri ve öngörü gücünü tespit etmeye imkân tanımaktadır. Dolayısıyla sonuçlar, değişkenler arasında dinamik bir etkileşim bulunduğunu güçlü biçimde işaret etmekle birlikte, bulguların yöntemin kapsamı ve sınırlılıkları çerçevesinde değerlendirilmesinde fayda bulunmaktadır.

Karbon emisyonu ile ilgili bağımsız değişkenler arasındaki nedensellik yönü şeması Şekil 1’de sunulmuştur.

**Şekil 1: Karbon Emisyonu ile İlgili Değişkenler Arasında Nedensellik Yönü Şeması**



Tablo 10: AMG Tahminci Testi Katsayı Anlamlılık Özetleri Tablosu

	GDPPC	TRD	FFC	RE	EC	URBPOP	POPENS
Türkiye	+	+	-	-	-	+	+
ABD	×	+	+	×	-	-	×
Almanya	+	+	+	-	×	+	+
Avustralya	+	+	+	×	×	×	×
Brezilya	+	+	+	×	-	+	×
Çin	×	+	+	×	+	×	×
Endonezya	×	+	×	×	-	×	×
Fransa	+	+	+	-	-	+	×
Güney Afrika	+	+	×	×	×	-	×
Güney Kore	×	+	+	×	×	+	×
Hindistan	×	+	+	×	+	+	-
İngiltere	×	×	+	×	×	×	×
İtalya	+	+	+	×	×	×	×
Japonya	×	×	×	-	-	+	×
Kanada	×	+	×	+	×	×	×
Meksika	+	-	×	+	×	×	×
Rusya	×	×	+	×	×	×	×
Suudi Arabistan	+	+	-	-	×	+	×

Not: Tabloda yer alan AMG analizi kapsamında çalışmaya dahil edilen ülkelerin katsayı anlamlılık özetleri sunulmaktadır. Tabloda yer alan + sembolü katsayıların pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, - sembolü negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, × sembolü ise katsayıların anlamsız olduğunu göstermektedir.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, 1990–2023 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak G20 ülkelerinde karbon emisyonlarını etkileyen temel sosyo-ekonomik ve enerji temelli dinamikler incelenmiştir. Analizde Panel Genişletilmiş Ortalama Grup tahmincisi temel yöntem olarak benimsenmiş; Westerlund (2008) Durbin-Hausman eşbütünleşme testi ile Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel Granger nedensellik testi uygulanmıştır. AMG tahmin sonuçlarının sağlamlığını ve güvenilirliğini artırmak amacıyla Ortak Korelasyonlu Etkiler Ortalama Grup ve Dinamik Ortak Korelasyonlu Etkiler tahmincileri ile ek analizler gerçekleştirilmiş; değerlendirmelerde esas olarak AMG tahmincisi sonuçları dikkate alınmıştır. Araştırma kapsamında iki temel araştırma sorusu ele alınmış ve bu sorulara yanıt aranarak çalışmanın ileride yapılacak ampirik araştırmalar için bir ön çalışma niteliği taşıması amaçlanmıştır. Bu bağlamda araştırma şu sorulara odaklanmaktadır: (i) karbon emisyonlarının azaltılmasında tek tip çevre politikaları mı daha etkilidir, yoksa ülkelerin ekonomik yapıları, enerji karmaları ve kurumsal kapasiteleri dikkate alınarak tasarlanan farklılaştırılmış ve

hedeye yönelik politika uygulamaları mı daha başarılı sonuçlar üretmektedir? (ii) karbon emisyonlarının belirleyicileri yalnızca çevresel faktörler çerçevesinde mi açıklanmalıdır, yoksa ekonomik ve demografik dinamikleri de içeren bütüncül bir yaklaşım emisyonların analizinde daha güçlü ve kapsayıcı bir çerçeve sunmakta mıdır?

İlgili araştırma sorularına yanıt bulmak ve politika önerileri sunabilmek amacıyla elde edilen bulgular değerlendirildiğinde; panel geneli için uzun dönemli AMG tahmin sonuçları incelendiğinde, kişi başı GSYH ve dışa açıklık değişkenlerinde meydana gelen artışların karbon emisyonları üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkilere sahip olduğu, enerji yoğunluğu değişkenindeki artışın ise karbon emisyonları üzerinde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığı tespit edilmiştir. Sonuçların güvenilirliğini sınamak amacıyla uygulanan CCEMG ve DCCE analizleri neticesinde de benzer bulgular elde edilmiş; bu doğrultuda AMG tahmincisi kullanılarak ülke düzeyinde gerçekleştirilen analiz sonuçlarının yorumlanmasına karar verilmiştir. AMG analizinin ülkeler özelinde incelenen uzun dönemli analiz sonuçları incelendiğinde, Kişi başına gelir düzeyi ( $GDP_{PC}$ ) ile karbon emisyonları arasındaki ilişki, bazı ülkelerde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Türkiye, Almanya, Avustralya, Brezilya, Fransa, Güney Afrika, İtalya, Meksika ve Suudi Arabistan'da ekonomik büyümenin karbon emisyonlarını artırıcı yönde etkilediği görülmektedir. Bu bulgu, söz konusu ülkelerde ekonomik genişlemenin hâlen enerji yoğun ve karbon ağırlıklı üretim süreçleriyle birlikte ilerlediğine işaret etmektedir. Buna karşılık ABD, Çin, Hindistan, Japonya, Kanada, İngiltere ve Rusya gibi ülkelerde kişi başına gelir değişkeninin istatistiksel olarak anlamlı olmaması, ekonomik büyüme ile emisyonlar arasındaki ilişkinin doğrusal ve evrensel olmadığını göstermektedir. Ticari açıklık değişkeni, incelenen ülkelerin büyük çoğunluğunda karbon emisyonlarını pozitif yönde etkilemektedir. Türkiye, ABD, Almanya, Avustralya, Brezilya, Çin, Endonezya, Fransa, Güney Afrika, Güney Kore, Hindistan, İtalya, Kanada ve Suudi Arabistan'da ticari açıklığın emisyonlar üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu durum, uluslararası ticaretin özellikle karbon yoğun üretim, lojistik ve ara malı bağımlılığı üzerinden emisyonları artırıcı bir kanal oluşturduğunu düşündürmektedir. Buna karşın İngiltere, Japonya ve Rusya'da ticari açıklığın etkisinin anlamsız olması, bu ülkelerde ticaret yapısının daha düşük karbon yoğunluğuna sahip olabileceğine işaret etmektedir. Fosil yakıt tüketimi değişkenine ilişkin bulgular, karbon emisyonları üzerindeki etkilerin ülkeler arasında belirgin biçimde farklılaştığını ortaya koymaktadır. AMG tahmin sonuçlarına göre ABD, Almanya, Avustralya, Brezilya, Çin, Fransa, Güney Kore, Hindistan, İtalya ve Rusya'da fosil yakıt kullanımının karbon emisyonlarını artırıcı yönde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık Endonezya, Japonya, Kanada ve Meksika'da fosil yakıt kullanımı ile karbon emisyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir. Bu bulgu, fosil yakıt kullanımının karbon emisyonları üzerindeki etkisinin, ülkelerin enerji karması, teknolojik altyapısı ve enerji verimliliği düzeyine bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir. Fosil yakıtların enerji üretimi ve sanayi süreçlerinde hâlen baskın olduğu ülkelerde karbon emisyonları üzerindeki artırıcı etkinin daha belirgin olduğu; buna karşılık yenilenebilir enerji kullanımının görece daha yüksek olduğu ya da enerji dönüşüm sürecinde olan ülkelerde bu etkinin zayıfladığı ya da istatistiksel olarak anlamsızlaştığı değerlendirilmektedir. Yenilenebilir enerji kullanımı değişkeninin, Türkiye, Almanya, Fransa, Japonya ve Suudi Arabistan'da karbon emisyonları üzerinde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı etkilere sahip olduğu; Meksika ve Kanada'da ise pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkiler yarattığı tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen diğer ülkelerde ise söz konusu değişkenin karbon emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisine rastlanmamıştır. Bu farklılaşmanın, ülkelerin yenilenebilir enerji yatırımlarının ölçeği, enerji üretiminde fosil yakıtların tamamlayıcı rolü, teknolojik dönüşüm düzeyi ve enerji talebindeki yapısal artışlardan kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Toplam enerji yoğunluğu değişkeninin, özellikle Çin ve Hindistan'da karbon

emisyolları üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkilere sahip olduğu görülürken; Türkiye, ABD, Brezilya, Fransa, Endonezya ve Japonya'da söz konusu değişkenin karbon emisyonları üzerinde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı etkileri olduğu tespit edilmiştir. Bu bulguların, ülkeler arasında enerji yoğunluğunun kaynak bileşimi, enerji verimliliği düzeyi, teknolojik gelişmişlik ve düşük karbonlu enerji politikalarının uygulanma etkinliğindeki farklılıklardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Demografik değişkenler incelendiğinde, kentsel nüfus oranının Türkiye, Almanya, Brezilya, Fransa, Güney Kore, Hindistan, Japonya ve Suudi Arabistan'da karbon emisyonlarını artırdığı görülmektedir. Nüfus yoğunluğu ise yalnızca Türkiye ve Almanya'da pozitif ve anlamlı bir etkiye sahiptir. Bu sonuçlar, kentleşme dinamiklerinin karbon emisyonları üzerindeki etkisinin, şehirleşme bişimi, ulaşım altyapısı ve enerji kullanım alışkanlıklarıyla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca Westerlund (2008) Durbin-Hausman panel eşbütünleşme testi sonuçları karbon emisyonu ile modele dahil edilen değişkenler arasında uzun dönemli dengeli bir ilişkinin varlığına işaret ederken, Dumitrescu ve Hurlin (2012) granger nedensellik testi sonuçları ise karbon emisyonu ile kişi başi gelir, kentleşme ve nüfus yoğunluğu arasında tek yönlü nedensellik mevcuttur; karbon emisyonunu değişkenleri etkilemektedir. Ticaret aēıklığı ve enerji yoğunluğu ile karbon emisyonarasında ise çift yönlü nedensellik bulunmuştur, yani karşılıklı etkileşim söz konusudur. Fosil yakıt tüketimi ve yenilenebilir enerji ile karbon emisyonarasında ise anlamlı nedensellik ilişkisi olduğunu göstermektedir.

AMG tahminlerinden elde edilen bulgular, karbon emisyonlarının ekonomik ve enerji temelli dinamikler çerçevesinde literatürde vurgulanan ekonomik büyüme, enerji kullanımı ve ticaret dinamikleriyle ne ölçüde örtüştüğü aşağıda değerlendirilmektedir.

Kişi başına düşen gelirin birçk ülkede karbon emisyonları üzerindeki pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkisi, ekonomik büyümenin enerji talebi ve sanayileşme kanalıyla çevresel baskıları artırdığına işaret etmekte olup, Keskin (2019), Rahman (2017), Karaaslan vd. (2017), Halicioğlu (2009), Çetin vd. (2018) ve Koç vd. (2022) ile uyumludur. Buna karşılıklı, bazı ülkelerde gelir değişkeninin emisyonlar üzerindeki negatif etkisi, Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi çerçevesinde Jalil ve Mahmud (2009), Bozkurt ve Okumuş (2015), Varoğlu (2021) ve Berke ve Huyugüzel Kışla (2023) bulgularını desteklemektedir. Dışa aēıklığın bazı ülkelerde emisyonları artırıcı etkisi, Rahman (2017), Halicioğlu (2009) ve Koç vd. (2022)'nin vurguladığı enerji yoğun üretim ve ihracat yapısıyla örtüşürken; ticaretin emisyonları azaltıcı veya anlamsız etkisi teknoloji transferi ve çevresel standartlar kanalıyla Adebayo vd. (2020) ve Ayla (2022) ile paralellik göstermektedir. Fosil yakıt tüketiminin karbon emisyonlarını artırıcı etkisi Shafiei ve Salim (2014), Karaaslan vd. (2017) ve Anser vd. (2021) tarafından ortaya konan ortak bulgularla tutarlıdır. Yenilenebilir enerji kullanımının gelişmiş ülkelerde emisyonları azaltıcı etkisi Shafiei ve Salim (2014), Zoundi (2017), Dong vd. (2018) ve Yu vd. (2020) ile örtüşürken; bazı gelişmekte olan ülkelerde pozitif etki göstermesi Paramati vd. (2016) ve Karaaslan vd. (2017)'nin vurguladığı geçiş maliyetleriyle aēıklanabilir. Kentleşmenin emisyonları artırıcı etkisi Koç vd. (2022), Rahman (2017) ve Adebayo vd. (2020) ile tutarlı olup, nüfus yoğunluğunun sınırlı veya anlamsız etkisi Keskin (2019) ve Rahman (2017)'nin bulgularını desteklemektedir. Genel olarak çalışma, karbon emisyonlarının ekonomik büyüme, enerji politikaları ve ticaret yapısının ülkeye özgü bileşimleriyle şekillendiğini ortaya koyarak mevcut ampirik literatürle güçlü biçimde örtüşmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen bulgular, karbon emisyonlarının belirleyicilerinin ülkeler arasında önemli ölçüde farklılaştığını ve bu nedenle tek tip çevre politikalarının etkili sonuçlar üretme kapasitesinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. AMG ve Dumitrescu ve Hurlin (2012) granger nedensellik testi tahmin sonuçları; ekonomik büyüme, ticari aēıklık, finansal gelişme, enerji yoğunluğu ve demografik dinamiklerin karbon emisyonları üzerindeki etkilerinin, ülkelerin

ekonomik yapısı, enerji karması ve kurumsal özelliklerine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Bu bulgular, karbon emisyonlarının yalnızca çevresel faktörler üzerinden değil, ekonomik ve demografik boyutları da içeren bütüncül bir çerçevede ele alınması gerektiğine işaret etmektedir. Çalışma kapsamında G20 ülkelerine ilişkin analiz bulguları, ülkeler arasında katsayı büyüklükleri ve etki yönleri bakımından belirgin bir heterojenliğe işaret etmektedir. Bu durum, tüm G20 ülkeleri için tek tip ve homojen politika önerilerinin geliştirilmesini metodolojik ve iktisadi açıdan sınırlı kılmaktadır. G20 ülkeleri, Uluslararası Para Fonu (IMF) sınıflandırması esas alınarak gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomiler olarak ikiye ayrılmıştır. Bununla birlikte, ülke bazında ayrı ayrı politika önerileri geliştirmek, çalışmanın kapsamını aşacak ölçüde ayrıntılı ve parçalı bir tartışma gerektirdiğinden, politika değerlendirmesi iki ana ülke grubu temelinde yapılandırılmıştır. Bu yaklaşım, ülkelerin ekonomik yapı, üretim kompozisyonu, enerji yoğunluğu ve çevresel düzenleme kapasitesi gibi yapısal özelliklerindeki benzerlikleri dikkate alarak, bulguların daha tutarlı, karşılaştırılabilir ve genellenebilir politika çıkarımlarına dönüştürülmesine olanak sağlamaktadır.

Gelişmiş ülkelerde karbon emisyonlarının belirleyicilerinin ülke bazında önemli ölçüde farklılaştığını ve tek tip bir mekanizmayla açıklanamayacağını göstermektedir. AMG tahminlerine göre, kişi başı gelir ve ticaret hacmi) bazı gelişmiş ülkelerde (Almanya, Fransa, İtalya) karbon emisyonlarını artırıcı yönde ve istatistiksel olarak anlamlı iken, ABD, İngiltere, Japonya ve Kanada gibi ülkelerde bu değişkenlerin etkisinin zayıf ya da anlamsız olduğu görülmektedir. Benzer biçimde, fosil yakıt temelli finansal ve enerji değişkenlerinin emisyonlar üzerindeki etkisi gelişmiş ülkeler arasında homojen olmadığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, söz konusu ülkelerde karbon emisyonlarının yalnızca ekonomik büyüklük ya da ticaret hacmiyle değil, enerji teknolojileri, üretim yapısı ve çevresel düzenleme çerçevesiyle de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çerçevede gelişmiş ülkeler için politika önceliği, büyüme sürecinin karbon yoğunluğundan ayrıştırılmasından ziyade, mevcut düşük emisyonlu üretim yapısının korunması ve enerji–finans bağlantısının çevresel hedeflerle uyumlu hâle getirilmesi olmalıdır. Özellikle ticaret ve finansal genişlemenin emisyon artırıcı etki gösterdiği ülkelerde, karbon fiyatlandırma mekanizmalarının sektör bazında farklılaştırılması ve enerji yoğun sektörlerde daha sıkı çevresel standartların uygulanması önem taşımaktadır. Buna ek olarak, finansal kaynakların fosil yakıt ağırlıklı faaliyetlerden yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği yatırımlarına yönlendirilmesini teşvik eden yeşil finansman araçlarının güçlendirilmesi, gelişmiş ülkelerde emisyon kontrolünün temel politika bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

Gelişmekte olan ülkelerde karbon emisyonlarının belirleyicilerinin, kentleşme ve demografik baskılardan ziyade enerji üretim yapısı, ticaret ilişkileri ve fosil yakıt temelli ekonomik faaliyetler üzerinden çeşitlendiği görülmektedir. AMG tahmin sonuçları, ticaret hacmi ve fosil yakıt kullanımını yansıtan değişkenlerin birçok gelişmekte olan ülkede (Brezilya, Türkiye, Hindistan, Endonezya, Güney Afrika) karbon emisyonlarını artırıcı yönde ve istatistiksel olarak anlamlı etkiler yarattığını ortaya koyarken; nüfus yoğunluğu değişkeninin ülkelerin büyük bir kısmında anlamlı bir belirleyici olmadığına işaret etmektedir. Bu bulgu, emisyon artışının demografik büyüklükten çok, üretim ve enerji kullanım biçimleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede politika tasarımlarının, nüfus artışı veya yoğunluğu gibi doğrudan kontrolü sınırlı unsurlara odaklanmak yerine, enerji yapısının dönüştürülmesi ve ticaret–enerji bağlantısının çevresel hedeflerle uyumlu hâle getirilmesini merkeze alması gerekmektedir. Fosil yakıt ağırlıklı enerji üretiminin baskın olduğu gelişmekte olan ülkelerde, yenilenebilir enerji yatırımlarını teşvik eden doğrudan kamu destekleri, vergi indirimleri ve teknoloji transfer mekanizmalarının güçlendirilmesi emisyon kontrolü açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, dış ticaretin emisyon artırıcı etkisini sınırlamak amacıyla enerji yoğun sektörlerde temiz üretim teknolojilerinin benimsenmesini teşvik eden düzenlemeler ve ihracata

yönelik yeşil üretim standartlarının yaygınlaştırılması, sürdürülebilir büyüme-emisyon dengesinin sağlanmasına katkı sağlayacaktır.

Türkiye'ye ilişkin bulgular ayrıca değerlendirildiğinde, karbon emisyonlarının kişi başı gelir, ticaret açıklığı, kentleşme ve nüfus yoğunluğu ile istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif ilişkiler sergilediğini göstermektedir. Bu sonuçlar, Türkiye'de emisyon artışının hem büyüme modeli hem de kentleşme dinamikleri üzerinden şekillendiğine işaret etmektedir. Bu doğrultuda, sanayi ve ticaret politikalarının karbon yoğunluğunu azaltacak biçimde yeniden tasarlanması; özellikle ihracata yönelik sektörlerde enerji verimliliği, temiz üretim ve düşük karbon standartlarının teşvik edilmesi gerekmektedir. Kentleşmenin emisyon üzerindeki etkisini sınırlandırmak amacıyla enerji verimli şehirleşme politikaları, toplu taşıma yatırımları ve yerel ölçekte yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması önem taşımaktadır. Ayrıca, fosil yakıt temelli büyüme patikasından çıkışı hızlandırmak için enerji dönüşümünü destekleyen mali ve düzenleyici araçların eşgüdüm içinde uygulanması, Türkiye'nin uzun vadeli çevresel sürdürülebilirliği açısından kritik bir politika alanı olarak öne çıkmaktadır.

Bu bağlamda çalışma, araştırma sorularına ampirik bulgular ışığında açık ve tutarlı yanıtlar sunmaktadır. İlk olarak, AMG tahmin sonuçları ülkeler arasında karbon emisyonlarının belirleyicilerinin anlamlı biçimde farklılaştığını ortaya koyarak, tek tip çevre politikalarının emisyon azaltımında sınırlı bir etkililiğe sahip olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, ülkelerin ekonomik yapısı, enerji karması, ticaret ve finansal entegrasyon düzeyi ile kurumsal kapasitelerini dikkate alan farklılaştırılmış ve hedefe yönelik politika yaklaşımlarının karbon emisyonlarının azaltılmasında daha etkili olduğu ampirik olarak doğrulanmaktadır. Bu sonuca, ülke bazında heterojen katsayılar üreten AMG yöntemi aracılığıyla, aynı değişkenlerin farklı ülkelerde farklı yön ve büyüklükte etkiler doğurduğunun tespit edilmesi yoluyla ulaşılmıştır. İkinci olarak, elde edilen bulgular karbon emisyonlarının yalnızca çevresel faktörler üzerinden açıklanmasının yetersiz kaldığını; ekonomik büyüme, ticari açıklık, finansal gelişme ve demografik dinamikleri içeren bütüncül bir analitik yaklaşımın, emisyonların belirleyicilerini açıklamada daha güçlü ve kapsayıcı bir çerçeve sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, çevresel değişkenlerin yanı sıra ekonomik ve demografik faktörlerin modele birlikte dâhil edilmesi ve bu değişkenlerin ülke bazında istatistiksel olarak anlamlı ve farklı etkiler sergilemesi yoluyla elde edilmiştir. Dolayısıyla çalışma, karbon emisyonlarının analizinde tek boyutlu yaklaşımlar yerine, çok boyutlu ve ülkeye özgü politika tasarımlarının gerekliliğini ampirik olarak teyit etmektedir.

## NOTLAR

<sup>1</sup> Türkiye, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Avustralya, Brezilya, Çin Halk Cumhuriyeti, Endonezya, Fransa, Güney Afrika, Güney Kore, Hindistan, İngiltere, İtalya, Japonya, Kanada, Meksika, Rusya, Suudi Arabistan.

<sup>2</sup> Veri setine dahil edilen tüm değişkenlerde Arjantin'e 2021, 2022, 2023 yıllarına ait gözlemlerin olmaması nedeniyle, söz konusu ülke analizler kapsamında değerlendirilen G20 ülkeleri arasına dahil edilmemiştir.

---

#### YAZAR BEYANI

##### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Bu çalışma bilimsel araştırma ve yayın etiği kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır.

##### Etik Kurul Onayı

Bu çalışma etik kurul izni gerektiren analizleri kapsamadığından etik kurul onayı gerektirmemektedir.

##### Yazar Katkıları

Yazar çalışmayı tümüyle tek başına gerçekleştirmiştir.

##### Çıkar Çatışması

Yazar açısından ya da üçüncü taraflar açısından çalışmadan kaynaklı çıkar çatışması bulunmamaktadır.

---

#### KAYNAKÇA

- Acheampong, A. O. (2018). Economic growth, CO2 emissions and energy consumption: What causes what and where? *Energy Economics*, 74, 677–692.
- Adebayo, T. S., Awosusi, A. A., & Adeshola, I. (2020). Determinants of CO2 emissions in emerging markets: An empirical evidence from MINT economies. *International Journal of Renewable Energy Development*, 9(3), 411.
- Akın, F., 2025, Karbon Emisyonlarını Azaltmada Yenilenebilir Enerjinin Rolü: Çevresel Performans Endeksinde Başarılı Olan 10 Ülkeden Kanıtlar, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 60(2), 1525-154.
- Akram, R., Chen, F., Khalid, F., Ye, Z., & Majeed, M. T. (2020). Heterogeneous effects of energy efficiency and renewable energy on carbon emissions: Evidence from developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 119122. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119122>
- Arı, A., & Zeren, F. (2011). CO2 emisyonu ve ekonomik büyüme: Panel veri analizi. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 18(2), 37-47.
- Ang, J. B. (2007). CO2 emissions, energy consumption and output in France. *Energy Policy*, 35, 4772–4778.
- Anser, M. K., Syed, Q. R., & Apergis, N. (2021). Does geopolitical risk escalate CO2 emissions? Evidence from the BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(35), 48011–48021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14032-z>
- Antweiler, W., Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2001). Is free trade good for the environment? *The American Economic Review*, 91(4), 877–908.
- Ayla, D. (2022). MINT ülkelerinde CO<sub>2</sub> emisyonu üzerine bir inceleme: Panel eşbütünleşme ve DOLS/SMG analizi. *Alanya Akademik Bakış*, 6(3), 2869–2884.

- Ayşe, A. R. I., & Zeren, F. (2011). CO2 emisyonu ve ekonomik büyüme: Panel veri analizi. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İİBF Dergisi*, 18(2), 37–47.
- Bai, J., & Ng, S. (2001). A PANIC attack on unit roots and cointegration. Mimeo, Boston College, Department of Economics.
- Barsbay, M. Ç. (t.y.). Sağlık sektöründe düşük karbon ekonomisi: Tezat mı, mümkün mü? *Verimlilik Dergisi*, 4, 113–134.
- Bayramoğlu, A. T., & Yurtkur, A. K. (2016). Türkiye’de karbon emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisi: Doğrusal olmayan eş bütünleşme analizi. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(4), 31–46.
- Bekhet, H. A., Matar, A. & Yasmin, T. (2017). CO2 Emissions, Energy Consumption, Economic Growth, and Financial Development in Gcc Countries: Dynamic Simultaneous Equation Models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 117-132.
- Bento, J. P. C. & Moutinho, V. (2016). “CO2 Emissions, Non-Renewable and Renewable Electricity Production, Economic Growth, and International Trade in Italy”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 142 155.
- Berke, B., & Huyugüzel Kışla, G. (2023). Karbon emisyonlarının belirleyicileri: Seçilmiş Avrupa Birliği ülkeleri için mekânsal bulgular. *Hacettepe Üniversitesi İİBF Dergisi*, 41(3), 388–409.
- Black, D., & Henderson, V. (1999). A theory of urban growth. *Journal of Political Economy*, 107(2), 252–284.
- Bozkurt, C., & Okumuş, İ. (2015). Türkiye’de ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ticari serbestleşme ve nüfus yoğunluğunun CO2 emisyonu üzerindeki etkileri: Yapısal kırılmalı eşbütünleşme analizi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12(32), 23–35.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). A Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *Review of Economic Studies*, 47(1), 239–253.
- Bruvoll, A., & Medin, H. (2003). Factors behind the Environmental Kuznets Curve: A decomposition of the changes in air pollution. *Environmental and Resource Economics*, 24(1), 27–48.
- Canpolat, E., & Fendoğlu, E. (2018). Hava kirliliği ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin ekonometrik analizi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (21), 309–324.
- Cetin, M., Ecevit, E., & Yucel, A. G. (2018). The impact of economic growth, energy consumption, trade openness, and financial development on carbon emissions: Empirical evidence from Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(36), 36589–36603.
- Chen, W., & Lei, Y. (2018). The impacts of renewable energy and technological innovation on environment-energy-growth nexus: New evidence from a panel quantile regression. *Renewable Energy*, 123, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.026>
- Cheng, Y., Zhang, N., Kirschen, D. S., Huang, W., & Kang, C. (2020). Planning multiple energy systems for low-carbon districts with high penetration of renewable energy: An empirical study in China. *Applied Energy*, 261, 114390. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114390>.
- Climate Watch. (2022). *Historical greenhouse gas emissions*. World Resources Institute. Erişim adresi: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions> (Erişim Tarihi: 20.06.2025).

- Dang, H. A. H., & Serajuddin, U. (2020). Tracking the sustainable development goals: Emerging measurement challenges and further reflections. *World Development*, 127, 104570.
- Demir, M. A. (2025). Ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonları üzerine etkilerinin çok boyutlu panel veri modelleri ile analizi. *Fiscaoeconomia*, 9(1), 731-748. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1555319>
- Dinler, Z. (1997). İktisada giriş (3. basım). Bursa: Ekin Kitabevi Yayınları.
- Dong, K., Sun, R., Jiang, H., & Zeng, X. (2018). CO2 emissions, economic growth, and the environmental Kuznets curve in China: What roles can nuclear energy and renewable energy play? *Journal of Cleaner Production*, 196, 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.271>
- Duan, Y., Ji, T., & Yu, T. (2020). Reassessing pollution haven effect in global value chains. *Journal of Cleaner Production*, 284, 1–10.
- Dumitrescu, E. I., & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450–1460.
- Eberhardt, M., & Bond, S. (2009). Cross-section dependence in nonstationary panel models: A novel estimator. MPRA Paper, No. 17870.
- Eberhardt, M., & Teal, F. (2010). Productivity analysis in global manufacturing production. Discussion Paper 515. University of Oxford. <http://www.economics.ox.ac.uk/research/WP/pdf/paper515.pdf>
- Eker, E. E. (2020). Determinants of household greenhouse gas emissions in the European Union countries (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. NBER Working Papers Series, No. 3914.
- Gülmez, A. (2015). OECD ülkelerinde ekonomik büyüme ve hava kirliliği ilişkisi: Panel veri analizi. *Kastamonu Üniversitesi İİBF Dergisi*, 9(3), 18–30.
- Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1156–1164. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.009>
- Harris, R. D. F., & Tzavalis, E. (1999). Inference for unit roots in dynamic panels where the time dimension is fixed. *Journal of Econometrics*, 91, 201–226.
- Haug, A. A., & Ucal, M. (2019). The role of trade and FDI for CO2 emissions in Turkey: Nonlinear relationships. *Energy Economics*, 81, 297–307.
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115, 53–74.
- Issaoui, F., Toumi, H., & Touili, W. (2016). “The effects of carbon dioxide emissions on economic growth, urbanization and welfare: Application to countries in the middle east and north Africa”, *The Journal of Energy and Development*, 1/2(41), 223- 252.

- Jalil, A., & Mahmud, S. F. (2009). Environment Kuznets Curve for CO2 emissions: A cointegration analysis for China. *Energy Policy*, 37(12), 5167–5172. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.044>
- Kasap, A (2025). Enerji Verimliliği, Yenilenebilir Enerji ve Çevresel Sürdürülebilirlik: Türkiye Üzerine Bir Analiz Energy Efficiency, Renewable Energy and Environmental Sustainability: An Analysis on Türkiye.
- Kao, C. (1999). Spurious regression and residual-based tests for cointegration in panel data. *Journal of Econometrics*, 90(1), 1–14. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00023-2)
- Karaaslan, A., Abar, H., & Çamkaya, S. (2017). CO2 salınımı üzerinde etkili olan faktörlerin araştırılması: OECD ülkeleri üzerine ekonometrik bir araştırma. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(4), 1297–1310.
- Keleş, R. (2000). Kentleşme politikası. Ankara: İmge Kitabevi.
- Keskin, A. (2019). CO2 emisyonunu etkileyen faktörler: Avrupa Birliği örneği. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(5), 361–370.
- Khan, H., Weili, L., Khan, I., & Khamphengxay, S. (2021). “Renewable Energy Consumption, Trade Openness and Environmental Degradation: A Panel Data Analysis of Developing and Developed Countries”, *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 1-13.
- Koç, N., Saraç, T. B., & Koç, Ö. E. (2022). Türkiye’de çevre kirliliğinin belirleyicileri üzerine ekonometrik bir analiz. *Anadolu Üniversitesi İİBF Dergisi*, 23(4), 204–225.
- Levin, A., Lin, C. F., & Chu, C. S. J. (2002). Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, 108, 1–24.
- Liang, W., & Yang, M. (2018). Urbanization, economic growth and environmental pollution: Evidence from China. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 21, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2018.11.007>
- Liu, L., Wang, Z., Wang, Y., Wang, J., Chang, R., He, G., Tang, W., Gao, Z., Li, J., Liu, C., & Zhao, L. (2020). Optimising wind/solar combinations at finer scales to mitigate renewable energy variability in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 110151. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110151>
- Martínez-Zarzoso, I., & Maruotti, A. (2011). The impact of urbanization on CO2 emissions: Evidence from developing countries. *Ecological Economics*, 70(7), 1344–1353. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.02.009>
- Moon, H. R., & Perron, B. (2004). Testing for a unit root in panels with dynamic factors. *Journal of Econometrics*, 122, 81–126.
- Mutascu, M. (2018). A time-frequency analysis of trade openness and CO2 emissions in France. *Energy Policy*, 115, 443–455. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.034>
- Nazlıoğlu, Ş. (2010). Makro iktisat politikalarının tarım sektörü üzerindeki etkileri: Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için bir karşılaştırma (Yayımlanmamış doktora tezi). Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri.
- Paramati, S. R., Ummalla, M., & Apergis, N. (2016). The effect of foreign direct investment and stock market growth on clean energy use across a panel of emerging market economies. *Energy Economics*, 56, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.02.008>

- Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 653–670.
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. Cambridge Working Papers in Economics, 0435.
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50–93.
- Rahman, M. M. (2017). Do population density, economic growth, energy use and exports adversely affect environmental quality in Asian populous countries? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 506–514.
- Richmond, A. K., & Kaufmann, R.K. (2006). “Is There a turning point in The Relationship Between Income and Energy Use and/or Carbon Emissions?”, *Ecological Economics*, 56(2): 176-189.
- Saboori, B., Sulaiman, J. ve Mohd, S. (2012).” Economic Growth and CO2 Emissions in Malaysia: a Cointegration Analysis of the Environmental Kuznets curve”. *Energy Policy*, 51, 184-191.
- Satı, B. Y. (2019). The nexus between electricity consumption, economic growth and environmental pollution: Evidence from Nigeria (Master’s thesis). Near East University, Nicosia.
- Sencar, P. (2007). Türkiye’de çevre koruma ve ekonomik büyüme ilişkisi (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Edirne.
- Shafiei, S., & Salim, R. A. (2014). Non-renewable and renewable energy consumption and CO2 emissions in OECD countries: A comparative analysis. *Energy Policy*, 66, 547–556. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.064>
- Shoab, H. M., Rafique, M. Z., Nadeem, A. M., & Huang, S. (2020). Impact of financial development on CO2 emissions: A comparative analysis of developing countries (D8) and developed countries (G8). *Environmental Science and Pollution Research*, 27(11), 12461–12475.
- Swamy, P. A. V. B. (1970). Efficient inference in a random coefficient regression model. *Econometrica*, 38(2), 311–323. <https://doi.org/10.2307/1913012>
- Tatoğlu, F. Y. (2020). İleri panel veri analizi (4. baskı). İstanbul: Beta Yayım.
- Topuz, S. G. (2021). Gelişmekte olan ülkelerde finansal gelişmenin vergi gelirleri üzerindeki etkisi. *Balkan & Near Eastern Journal of Social Sciences (BNEJSS)*, 7(1).
- Varoğlu, N. (2022). Kişi başına gelir ve fosil yakıt tüketiminin CO2 emisyonu üzerindeki etkisi: Türkiye için eşbütünleşme analizi. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 7(4), 15–23.
- Yang, X., & Khan, I. (2022). “Dynamics among economic growth, urbanization, and environmental sustainability in IEA Countries: The role of industry value-added”, *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 4116-4127.
- Yu, S., Hu, X., Li, L., & Chen, H. (2020). Does the development of renewable energy promote carbon reduction? Evidence from Chinese provinces. *Journal of Environmental Management*, 268, 110634. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110634>
- Westerlund, J. (2008). Panel cointegration tests of the Fisher effect. *Journal of Applied Econometrics*, 23(2), 193-233.
- Zoundi, Z. (2017). CO2 emissions, renewable energy and the environmental Kuznets Curve: A panel cointegration approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1067–1075. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.018>