

Yayın Geliş Tarihi: 04.10.2024
Yayına Kabul Tarihi: 24.01.2025
Online Yayın Tarihi: 15.03.2025
<http://dx.doi.org/10.16953/deusosbil.1561360>

Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi
Cilt: 27, Sayı: 1, Yıl: 2025, Sayfa: 412-439
E-ISSN: 1308-0911

Araştırma Makalesi

YEŞİL ENERJİ VE YEŞİL BEŞERİ SERMAYE AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNDE ÇEVRE KALİTESİNİN GELİŞMESİNE KATKI SUNAR MI?

Melike ATAY POLAT*

Suzan ERGÜN**

Öz¹

Ekonomik büyüme temel makroekonomik hedeflerin başında gelir ve dünya çapındaki ekonomistlerin odak noktalarından birini oluşturur. Diğer yandan ekonomik büyüme için gerekli kaynakların neredeyse tamamı çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle küresel ekonominin gelişmesiyle birlikte çevre sorunları ciddi boyutlara ulaşmış ve çeşitli uluslararası kuruluşları ve ülkeleri endişelendirmiştir. Her geçen gün artan çevre kirliliği ve neden olduğu olumsuzluklar ülkeleri bu soruna çözümler bulmaya mecbur bırakmaktadır. Dolayısıyla çevre kalitesine katkı yapacak faktörlerin belirlenmesi sürdürülebilir büyüme için kritik öneme sahiptir. Bu çalışma yeşil enerji ve yeşil beşeri sermayenin çevre kalitesi üzerindeki etkilerini Avrupa Birliği örneğinde incelemiştir. Analizlerde ikinci nesil panel veri testleri kullanılmıştır. Eşbütünleşme testi bulgularına göre değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkinin belirlenmesinin ardından, eşbütünleşme katsayılarını tahmin etmek için FMOLS ve DOLS tahmincilerine başvurulmuştur. İlgili tahmincilerin bulgularına göre AB ülkelerinde yeşil beşeri sermaye ve yeşil enerji çevresel kaliteyi iyileştirirken, doğal kaynaklar çevresel kirliliği artırmaktadır. Son olarak Dumitrescu-Hurlin nedensellik bulguları değişkenler arasında çeşitli nedensellik ilişkisini doğrulamıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevre Kalitesi, Yeşil Enerji, Yeşil Beşeri Sermaye, Avrupa Birliği.

Bu makale için önerilen kaynak gösterimi (APA 6. Sürüm):

Atay Polat, M., & Ergün, S. (2025). Yeşil enerji ve yeşil beşeri sermaye Avrupa Birliği ülkelerinde çevre kalitesinin gelişmesine katkı sunar mı?. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21 (1), 412-439.

* Prof. Dr., Mardin Artuklu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat Bölümü, ORCID: 0000-0001-9507-5942, matay@artuklu.edu.tr

** Prof. Dr., İnönü Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, ORCID: 0000-0002-8447-497X, suzan.ergun@inonu.edu.tr

¹ Bu makale için etik kurul onayı gerekmemektedir.

DO GREEN ENERGY AND GREEN HUMAN CAPITAL CONTRIBUTE TO THE IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY EUROPEAN UNION COUNTRIES?

Abstract

Economic growth is one of the main macroeconomic objectives and is one of the focal points of economists around the world. On the other hand, almost all of the resources required for economic growth cause environmental pollution. Therefore, with the development of the global economy, environmental problems have reached serious dimensions and have worried various international organizations and countries. Increasing environmental pollution and the negativities it causes force countries to find solutions to this problem. Therefore, determining the factors that will contribute to environmental quality is critical for sustainable growth. This study examined the effects of green energy and green human capital on environmental quality in the case of the European Union. Second generation panel tests were used in the analyses. After determining the long-term relationship between the variables according to the cointegration test findings, FMOLS and DOLS estimators were used to estimate the cointegration coefficients. According to the findings of relevant forecasters, while green human capital and green energy improve environmental quality in EU countries, natural resources increase environmental pollution. Finally, Dumitrescu-Hurlin causality findings confirmed various causal relationships among the variables.

Keywords: *Environmental Quality, Green Energy, Green Human Capital, European Union.*

GİRİŞ

İnsanlık toplumun ve insanların refahının ekonomik yönlerden sağlanabileceğine inanarak ekonomik ve finansal konulara öncelik verirken, özellikle son yıllarda böyle bir yaklaşımın ekolojik koşulların sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkilediğinin çok daha fazla farkına varılmıştır. Doğal çevreyi ve atmosferin doğal özelliklerini değiştiren kimyasal, fiziksel veya biyolojik her türlü etken çevre kirliliğini oluşturur. Çevre kirliliğine neden olan kaynakların neredeyse tamamı kalkınma ve ekonomik büyüme için gerekli unsurlardır. Son yıllarda küresel ısınma ve iklim değişikliği dünyanın en ciddi ve üzerinde en çok düşünülen sorunlarından ikisini oluşturmuş ve bu sorunların acil müdahale gerektirdiği yönünde genel bir inanış ortaya çıkmıştır. Özellikle biyolojik çeşitliliğin azalması, artan hava kirliliği, küresel ısınma gibi birçok ciddi sorunla karşı karşıya kalınması bu farkındalığı hızlandırmış ve çevre sorunlarına kamuoyunun ilgisini arttırmıştır (Ni vd., 2023; Pata vd., 2023).

Sürdürülebilir büyümenin önündeki en büyük sorun çevresel yıkımdır. Sanayileşmenin yol açtığı hızlı ekonomik büyüme çevre üzerinde çok fazla karbon emisyonuna yol açmıştır. Karbon emisyonlarının ve diğer kirleticilerin sürekli çevreye bırakılması çok ciddi bir çevresel tehlikedir ve küresel ısınma, iklim

değişikliği gibi insan sağlığına ve çevreye ciddi tehdit oluşturan olayları tetiklemektedir. Küresel ısınma, artan sosyal ve ekonomik faaliyetler nedeniyle atmosferdeki büyük ölçekli karbon emisyonlarının bir yan ürünüdür. Karbon emisyonları nedeniyle artan sıcaklık artışı sadece gelişmekte olan ekonomiler için değil gelişmiş ekonomiler için de büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Son birkaç on yılda sanayileşme, kentleşme ve nüfustaki büyük artış nedeniyle dünyanın dört bir yanındaki ekonomilerin büyük ölçüde yenilenemeyen enerji kaynaklarına yoğunlaşması karbon salınımının ve bunun sonucunda ortaya çıkan küresel ısınmanın en önemli nedeni olarak değerlendirilmektedir. Ülkeler daha iyi bir çevre kalitesi elde etmek için karbon emisyonlarının atmosfere yayılmasını azaltacak veya engelleyecek çevresel stratejilere ve politikalara odaklanmalıdır. Üstelik bu tür çevre politikaları, insanları ekonomik faaliyetlerinde daha gelişmiş, sofistike, temiz ve yeşil teknolojileri benimsemeye teşvik ederek daha çevre dostu kalmaya teşvik edecektir (Liu vd., 2023; Wang vd., 2023; Ahakwa vd., 2023; Aqib & Zaman, 2023).

Bugün küresel ekonomi ve çevrede yaşanan gelişmeler yenilenemeyen kaynaklardan enerji tüketimi, hızlı nüfus artışı, artan ticaret gibi faktörlerin körüklediği ekonominin mevcut durumunun sürdürülemez olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır. Bu gelişmenin doğrudan bir sonucu, ekonomilerin standartların altındaki çevre pahasına büyümesidir. Böyle olunca küresel bir boyut kazanan çevre kirliliği, iklim değişikliği gibi problemler ülkeleri çevreye daha az zararlı olan ekonomik faaliyetlere yönelik teknolojiler ve yaklaşımlar kullanmaya mecbur bırakmaktadır. Özellikle iklim değişikliği insanlık ve küresel sürdürülebilir kalkınma için ciddi sorunlardan birini oluşturmaktadır ve güvenlik, refah, doğal yaşam için de büyük bir tehdittir. Bu seviyede çevresel bozulmayla sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması çok zordur ve bunun sağlanabilmesi için küresel stratejilere ve politikalara ihtiyaç duyulmaktadır (Iorember, 2021; Ni vd., 2023; Sheraz vd., 2021).

Bu kapsamda geçtiğimiz birkaç on yıl boyunca, küresel ısınma ve iklim değişikliğine ilişkin ikiz kaygılar, dünyadaki araştırmacılar, akademisyenler, politika yapıcılar, hükümetler ve özel kuruluşlar arasında tartışma ve endişe konusu haline gelmiştir (Sheraz vd., 2021). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında imzalanan Paris Anlaşması (COP21) iklim değişikliği tehdidine karşı küresel tepkiyi güçlendirmeyi, küresel ortalama sıcaklık artışını sanayi öncesi dönemlere kıyasla 2°C'nin üzerinde tutmamayı hedefliyor ve sıcaklık artışını 1,5°C dahilinde kontrol altına almaya çalışıyor (Ma vd., 2021; Ahakwa, 2024). 1,5 °C hedefine ulaşmak için hızlı ve geniş kapsamlı yapısal reformlar gerekiyor. Dünyanın önde gelen ekonomileri COP21'in küresel ısınmayı 1,5°C ile sınırlandırmaya yönelik önerilerine uygun olarak net sıfır emisyon taahhütlerinde bulundular. Ancak bu taahhütlere rağmen küresel emisyonlar artmaya devam ediyor ve dünyanın COP21 hedeflerini gerçekleştirme becerisi konusunda şüphe uyandırıyor. Glasgow İklim Paketi (COP26), ülkelerin COP21'deki taahhütlerini yeniden değerlendirdiği, mevcut çabalar arasında genişleyen uçurumun ve yıkıcı

ısınmayı önlemek için gereken daha iddialı hedeflerin farkına vardığı kritik bir dönemeç olmuştur. COP26, ulusların yalnızca küresel sıcaklık artışını sınırlandırmaya yönelik önceki hedeflerine yeniden bağlı kalmalarının değil, aynı zamanda revize edilmiş ve 2030 yılına kadar dünya çapında CO₂ emisyonlarının %45 oranında azaltılması ve yüzyılın ortasına kadar net sıfır emisyonu ulaşılması da dahil daha katı önermelerinin aciliyetini vurgulamıştır (Ahakwa, 2024). COP26 toplantısının ana hedefleri 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik daha iddialı hedefler taahhüt etmek, iklim değişikliğinin kaçınılmaz etkilerine uyum sağlamaya yönelik tedbirleri tartışmak ve özellikle gelişmekte olan ülkeler için iklim eylemi finansmanını artırmak şeklindedir (Liu vd., 2022). Ülkeler şu anda karbon emisyonlarını azaltmak için her türlü çabayı gösteriyor.

Hükümetlerin çevresel stratejilerinin başarılı olabilmesi ancak çevre ve buna bağlı sorunlar konusunda halkta farkındalık ve bilincin artırılması ile mümkün olacaktır. Yani bu çevresel hedeflere insanları eğiterek, ahlaki vaaz vererek ve toplumun çevreye yönelik normlarını ve davranışlarını değiştirerek ulaşılabilir (Liu vd., 2023). Dolayısıyla ekolojik kalitedeki bozulmanın azaltılmasında eğitimin önemli bir rol oynadığı ve bundan böyle sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada eğitimin rolünün hayati önem taşıdığı söylenebilir (Zafar vd., 2020). Eğitilmiş insanlar genellikle doğal kaynakları ve finansal hizmetleri kullanma konusunda vasıfsız ve okuma yazma bilmeyen insanlara göre daha iyidir. Yeşil eğitilmiş bireyler, çevresel bozulmanın olumsuz etkileri konusunda daha bilinçli ve çevre kalitesini artıran operasyonlara katılmaya daha isteklidirler (Ahakwa vd., 2023). İnsan sermayesinin geliştirilmesi enerji verimliliğini artırabilir ve üretim sürecindeki enerji tüketimini en aza indirebilir, dolayısıyla enerji kullanımına bağlı çevresel olumsuzluklar azaltılabilir. Beşeri sermaye aynı zamanda toplulukları çevre dostu ve enerji açısından verimli teknolojileri benimsemeye teşvik eder (Ahakwa, 2024; Ahmad vd., 2022: 300; Jahanger vd., 2023). Yani yeşil insan sermayesi çevresel kaliteyi artırmak için etkili ve üretken bir yoldur. İnsanların su tasarrufu ve su kaynaklarının etkin kullanımının yanı sıra güvenli ve hijyenik sanitasyon uygulamalarının gerekliliği konusundaki farkındalığını artırır. İnsanların evlerinde ve işyerlerinde enerji verimliliği sağlayan uygulamaları ve teknolojiyi benimsemelerine olanak tanıyarak, enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını azaltır. Enerji tasarruflu binalar ve karbon emisyonlarını azaltan ulaşım sistemleri aracılığıyla sürdürülebilir kentsel alanların gelişimini teşvik eder. Sürdürülebilir uygulamaların ve yenilikçi teknolojilerin farkındalığını ve kabulünü artırır, karbon emisyonlarını azaltır ve iklim eylemi girişimlerine katkıda bulunur (Ahakwa vd., 2023).

Diğer yandan yenilenemeyen enerji kaynaklarına artan bağımlılık iklim değişikliğinin ve küresel ısınmanın temel nedenlerinden biridir. Enerji sektörünün küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %68'ini oluşturduğu ve bu emisyonların yaklaşık %44'ünün fosil yakıtlardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Fosil enerji tüketimini yenilenebilir enerji tüketimiyle değiştirmek, karbon emisyonlarını

azaltmak için etkili bir önlemdir (Wang vd., 2023; Li vd., 2023). Yeşil enerji tüketimi, çevresel bozulmaya ve iklim değişikliğine önemli ölçüde katkı sağlayan fosil yakıtlar gibi yenilenemeyen kaynaklara olan bağımlılığı azalttığı için sürdürülebilir kalkınma açısından çok önemlidir. Yeşil enerji, olumsuz çevresel etkileri azaltırken ekonomik faaliyetleri kolaylaştırır (Ahakwa, 2024).

Avrupa Birliği (AB), emisyonları azaltmak için zorlu hedefler belirleyerek ve düşük karbonlu, sürdürülebilir bir ekonomiye doğru ilerlemek için planlar yaparak iklim eyleminin ön saflarında yer almaya devam etmektedir. AB, politika metinlerinde iklim değişikliğiyle mücadele konusunda ne kadar ciddi olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. AB tarafından 2019 yılında açıklanan Avrupa Yeşil Anlaşması (Avrupa Komisyonu) adlı kapsamlı bir plan, Avrupa'yı 2050 yılına kadar iklim açısından nötr ilk kıta yapmak için devrim niteliğinde bir vizyon ortaya koyuyor. Ekonomik ilerlemeyi CO₂ emisyonlarından ayırmanın ve çevre dostu işletmeleri ve enerji kaynaklarını ilerletmenin gerekliliğini vurgulamaktadır. Yeşil Mutabakat, sürdürülebilir kentleşmeyi ve ulaşımı teşvik etmeyi ve aynı zamanda yenilenebilir enerjinin payını artırmayı amaçlıyor (Chovancová vd., 2024). Dolayısıyla, bu çalışmanın analizi için AB ülkeleri, AB'nin küresel yönetişimde lider olması ve yeşil teknolojileri benimserken yenilenebilir enerji ve enerji verimliliğini artırmaya odaklanarak 2050 yılına kadar karbon nötr bir kıta olmaya karar vermesi nedeniyle seçilmiştir. Ayrıca, AB ülkeleri için yeşil enerji, yeşil beşeri sermaye ve çevre kalitesi hakkında ampirik kanıt eksikliği vardır (Hodžić vd., 2023).

Bu çalışmanın özgünlüğü, AB ülkelerinde CO₂ emisyonlarını etkileyen değişkenler arasındaki karşılıklı ilişkilerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesinde yatmaktadır. Bununla birlikte, AB ülkelerinde CO₂ emisyonlarını etkileyen değişkenleri araştıran bu çalışma, Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SKH'ler) ve daha geniş sürdürülebilir kalkınma bağlamına ulaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda, SKH 4 (nitelikli eğitim), SKH 7 (uygun fiyatlı ve temiz enerji) ve SKH 13 (iklim eylemi) bu araştırmayla özel olarak uyumludur.

Yeşil enerji tüketimi, ekonomik büyüme, yeşil beşeri sermaye, doğal kaynaklar ve çevre arasındaki ilişki çok önemli olmasına rağmen, çok az ilgi görmüştür. Bu çalışmanın temel amacı AB ülkelerinde CO₂ emisyonlarının (kirliliğin bir temsilcisi olarak), yeşil enerji, yeşil beşeri sermaye, doğal kaynaklar ve gelir arasındaki ilişkiyi 1995-2019 dönemi için araştırmaktır. Literatürde, AB ülkelerinde yeşil/yenilenebilir enerjinin CO₂ emisyonunu negatif etkilediği (Shahnazi & Shabani, 2021; Bekun vd., 2019; Dogan & Seker, 2016) ve doğal kaynakların CO₂ emisyonunu pozitif etkilediği (Aydin vd., 2023; Balsalobre-Lorente vd., 2021) bulgusuna ulaşan çalışmaların olduğu görülmektedir. Ancak, bildiğimiz kadarıyla, daha önceki çalışmalarda yeşil enerji, doğal kaynaklar, yeşil beşeri sermaye ve CO₂ emisyonu birlikte analiz edilmemiştir. Yukarıda belirtilen açıklamalar doğrultusunda, makalenin ana katkısı, AB ülkelerinde yeşil çevre

kavramını desteklemek için önemli olduğu düşünülen yeşil enerji, yeşil beşeri sermaye, gelir, doğal kaynaklar ve çevre arasındaki bağlantıya ilişkin literatür boşluğunu doldurmaya yönelik ilk ampirik araştırma olmasıdır. Analizlerden elde edilen bulgular, bu değişkenlerin AB-26 ülkelerinde iklim değişikliğinin azaltılması için çok önemli olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlara dayanarak, her AB ülkesinde yeşil çevre kavramının oluşturulması için politika yapıcılara önemli olabilecek tavsiyeler sunulmaktadır. İkincisi, örnek alınan ülkeler için bu değişkenlerin bir arada kullanılarak Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezinin geçerli olup olmadığı daha önce analiz edilmemiştir. Bu nedenle, AB ülkeleri için gelir ve çevre arasındaki ilişkinin incelenmesi sürdürülebilir ekonomi literatürüne kayda değer bir katkı sağlayabilir. Üçüncüsü, çok az sayıda çalışmada sermaye ek bir değişken olarak ilişkiye dahil edilmiştir. Bu çalışma aynı zamanda yeşil beşeri sermayenin bu ülke örneği için emisyonlar üzerindeki etkisi hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu aynı zamanda önceki çalışmaların karşılaştığı ihmal edilmiş değişken sorununu da çözebilir. Dördüncüsü, bildiğimiz kadarıyla, ÇKE hipotezini test ederken hem kesitsel bağımlılık hem de eğim heterojenliğini göstermeye yarayan homojenlik testi ve yatay kesit bağımlılık testlerinden yararlanan (bkz. örneğin, Dogan vd., 2020; Zhang vd., 2023; Ma vd., 2024) az sayıda panel çalışması vardır. Dolayısıyla bu çalışmanın yöntem açısından yeniliği, birinci nesil panel testleri yerine ikinci nesil panel birim kök testleri ve panel eşbütünleşme testi gibi yeni geliştirilen panel veri yöntemlerinin (CIPS birim kök testi, Durbin-Hausman eşbütünleşme testi ve Dimutrescu-Hurlin nedensellik testi) kullanılmasıdır. Ayrıca, uzun vadeli tahmin sonuçları için FMOLS ve DOLS tahmincilerine başvurulmuştur. Böylece, bu ampirik çalışmada kullanılan panel yöntemleri, güvenilir ve sağlam ampirik sonuçlar üretmek için kesitsel bağımlılığı ve heterojenliği dikkate almaktadır.

Makale şu şekilde düzenlenmiştir: Girişten sonra, ikinci bölümde önceki ampirik analizleri gözden geçiren literatür sunulmuştur. Üçüncü bölüm, veri seti, model, yöntem ve bulguları içeren ekonometrik analizi açıklamıştır. Dördüncü bölümde, sonuç ve politika önerileri tartışılmıştır.

LİTERATÜRE BAKIŞ

Bu çalışmada literatür iki kısma ayrılarak incelenmiştir. Birincisi, gelir ve çevre kirliliği ilişkisini inceleyen çalışmalardan oluşurken; ikinci olarak yeşil enerji, yeşil beşeri sermaye ve çevre kirliliği ilişkisine dayanmaktadır.

ÇKE Hipotezi

Çevre ve ekonomi arasındaki ilişki literatürde Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) kapsamında ele alınmıştır. ÇKE ilk olarak Grossman & Krueger (1991) tarafından ÇKE'nin gelir-kirlilik ilişkisini gösteren eğrinin ters U şeklinde olduğunu söylemesiyle ortaya atılmıştır. ÇKE hipotezi, gelirdeki artışın erken

aşamasında kirliliğin arttığını ancak eşik gelir düzeyinin aşılmasının kirliliği azalttığını belirtmektedir. ÇKE hipotezi, kirliliğin yoğunluğunu sanayileşme öncesi aşama, endüstriyel ekonomiler ve sanayileşme sonrası aşama gibi üç aşamada sınıflandırır. Her aşama, büyüme sürecindeki bir adımı kabul eder. Sanayileşme öncesi dönemde, kişi başına düşen gelir düştükçe çevre kirliliği artıyor, bu da kirli teknolojinin ekonomik faaliyetler için kullanılmasını ve kalkınmanın erken aşamalarında gelir ve kâr artışına öncelik verilmesini açıklıyor. Daha sonra artan gelir, sosyal göstergelerdeki iyileşme ve daha temiz teknolojiye yapılan yatırımlarla birlikte orta aşama, kirliliğin azaltılmasına yönelik dönüm noktasını simgelemektedir. Ekonomi sanayileşme aşamasını geçip sanayileşme sonrası aşamaya geçtikçe çevresel tükenmede azalma meydana gelir (Mahmood vd., 2019).

Grossman ve Krueger tarafından ÇKE kavramının kullanıldığı çevre üzerine yapılan ilk çalışmadan bu yana, ekonomik büyüme ve çevresel kalite arasındaki bağlantı pek çok çalışmada ÇKE test edilmiş ve ters U şeklinde ilişki kanıtlanmıştır (Ahakwa, 2024; Wang vd., 2023; Ahakwa vd., 2023; Sarkodie vd., 2020; Liu vd., 2022; Ahakwa & Tackie, 2024; Lin vd., 2021; Mahmood vd., 2019; Jena vd., 2022; Kahia vd., 2021). Bazı çalışmalarda da N şekilli (kübik) veya M-şekilli (kuartik) ilişki de tespit edilmiştir (Ahakwa vd., 2024).

Yukarıda belirtilen sonuçlara dayanarak, aşağıdaki hipotez kontrol edilmektedir:

H1. GSYH ve CO₂ emisyonu arasında ters-U şeklinde ilişki vardır.

Yeşil Beşeri Sermaye, Yeşil Enerji ve Çevre Kirliliği

Beşeri sermaye, bireylerin ekonomik büyümeyi ve üretkenliği destekleyen bilgi, yetenek ve becerilerini kapsar ve ekonomik büyümeyi hızlandırabilecek ve çevre kalitesini iyileştirebilecek önemli bir faktördür. Beşeri sermaye önceleri sadece bireylerle ilişkili bilgi ve becerileri ifade eden kavram iken, daha sonra sağlık durumu ve diğer sistemlerini içerecek şekilde genişletilmiştir. Günümüzde ise, çevreyi korumaya, çevre bilgisini zenginleştirmeye ve çevre bilincini artırmaya teşvik eden bir kavram haline gelmiştir (Ma vd., 2021). Grossman & Krueger (1991)'e göre eğitimden kaynaklanan çevre bilinci, politika yapıcıları çevre dostu politikalar oluşturmaya zorluyor, bu da ÇKE'nin ters U şeklinde bir form almasına neden oluyor. Dolayısıyla ekolojik kalitedeki bozulmanın azaltılmasında eğitimin önemli bir rol oynadığı ve bundan böyle Sürdürülebilir Kalkınma hedeflerine ulaşmada eğitimin rolünün hayati önem taşıdığı söylenebilir (Zafar vd., 2020).

Çevresel zorluklar dünya çapında anlamlı bir şekilde artmakta ve bu nedenle çevresel kaliteyi olası belirleyicilerle ilişkilendiren literatür her geçen gün daha da genişlemektedir. Bu kapsamda insan sermayesi ekonomik kalkınmaya hayati bir katkıda bulunan ve ekonomik ilerleme üzerinde büyük bir etkiye sahip olan bir unsur olduğu için doğal çevreyle yakından bağlantılıdır. Zira insan sermayesi araştırma ve geliştirme yoluyla yeşil teknolojinin benimsenmesini destekler, doğal çevreyi koruma yolları konusunda kamunun yeşil bilincini teşvik

eder ve aynı zamanda endüstrilerin büyümesini hızlandırmanın yanı sıra ekonomik sistem dönüşümünü de motive eder (Ganda, 2022a). Yeşil insan sermayesi ile çevresel kalite arasındaki bağlantı son yıllarda akademik ilgiyi de çekmektedir. Yeşil insan sermayesinin yeşil enerjiyi teşvik ederek ekolojik standartları iyileştirdiğine dair yaygın bir teorik görüş olmasına rağmen, yeşil insan sermayesinin enerji gerektiren cihazlara bağımlılık nedeniyle fosil yakıt tüketiminde bir artışa yol açabileceği ve potansiyel olarak çevre sağlığına zarar verebileceği de düşünülmektedir (Ahakwa vd., 2023; Ahakwa, 2024). Yeşil enerji, iklim değişikliğiyle mücadele etmek ve çevreye verilen zararı azaltmak için sürdürülebilir bir araç olarak sıklıkla zikredilmektedir. Yeşil enerji tüketimi, yenilenemeyen kaynaklara olan bağımlılığı azalttığı için sürdürülebilir kalkınma açısından çok önemlidir.

Kantil regresyon tekniği ile 1990'dan 2020'ye kadar yeşil enerji ve yeşil insan sermayesinin Gana'da arazi bozulması üzerindeki etkilerini analiz eden Ahakwa (2024) yeşil enerji ve yeşil insan sermayesinin arazi bozulmasını azalttığını ortaya koymuştur. Diğer bir çalışmada Ahakwa vd. (2024) Gana'ya ait 1980'den 2018'e kadar olan verileri kullanarak karbon dioksit emisyonlarının azaltılmasında yeşil inovasyonun, yeşil enerji tüketiminin ve yeşil insan sermayesinin rolünü yine kantil regresyon yöntemiyle araştırmış ve yeşil enerji tüketiminin, yeşil inovasyonun ve yeşil insan sermayesinin CO₂ emisyonlarını azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Ahakwa vd. (2023) 1990-2019 dönemi yıllık verilerini kullanarak Gana için yeşil beşeri sermayenin çevre kalitesi üzerindeki etkisini ARDL sınır testi ile araştırmış ve artan yeşil insan sermayesinin kısa vadede çevre kalitesini düşürdüğünü, uzun vadede çevre kalitesine fayda sağladığını ortaya koymuşlardır. Ahakwa & Tackie (2024) çevresel düzenlemelerin ve yeşil insan sermayesinin rolünü göz önünde bulundurarak ÇKE çerçevesinde Gana'da doğal kaynakların ekolojik kaliteyi 1990'dan 2019'a nasıl etkilediğini yeni dinamik ARDL simülasyon yöntemi ile araştırmışlardır. Araştırmanın bulguları yeşil insan sermayesinin ekolojik kaliteyi olumsuz yönde etkilediğini, çevre düzenlemesi ve yeşil insan sermayesinin doğal kaynakların ekolojik kalite üzerindeki etkisine dair ise kısa vadede istenmeyen etkiler, uzun vadede faydalı etkiler ortaya çıkardığını göstermiştir.

Sarkodie vd. (2020) 1961-2016 dönemi verilerini kullanarak Çin'de çevresel bozulma ve emisyonların azaltılmasında çevresel sürdürülebilirliğin, beşeri sermayenin ve yenilenebilir enerjinin rolünü incelemiş ve Çin'deki yüksek insan sermayesi ve fosil yakıt enerji tüketiminin çevresel bozulmayı ve emisyonları artırdığını, yenilenebilir enerji tüketiminin ise emisyonları negatif yönde etkilediğini ortaya koymuşlardır. Çin için yapılan bir başka çalışmada Tao vd. (2022) 2008-2021 dönemi verilerini kullanarak beşeri sermaye ve çevre düzenlemelerinin Çin'deki yeşil ekonominin büyüme verimliliğini nasıl etkilediğini incelemiş ve eğitilmiş insan sermayesinin yeşil ekonomik büyüme üzerinde engelleyici bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Lin vd. (2021) yenilikçi

insan sermayesi, ekonomik büyüme ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi 2003'ten 2017'ye kadar 30 Çin eyaletinin panel verilerini kullanarak analiz etmiş ve yenilikçi insan sermayesinin Çin'deki çevresel bozulmayı hafiflettiğini ortaya koymuşlardır. Liu vd. (2023) Çin gibi bir dijital ekonominin yeşil büyümesi üzerinde beşeri sermayenin etkisini 1991'den 2019'a kadar ARDL tekniği ile araştırmış ve farklı eğitim düzeylerinin uzun vadede Çin'in yeşil büyümesi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu, ayrıca yenilenebilir enerji tüketiminin uzun vadede yeşil büyümede genişlemeye yol açtığını göstermişlerdir. 2003-2019 dönemi için Çin'de 280 vilayet düzeyindeki şehirde beşeri sermaye seviyelerinin yeşil ekonomik verimlilik üzerindeki etkisini inceleyen Peng vd. (2023) beşeri sermaye seviyesindeki iyileşmenin il düzeyindeki yeşil ekonomik verimlilik seviyesine katkıda bulunduğu sonucuna ulaşmışlardır. Zhang vd. (2024) Çin'in petrol ve gaz sektöründe sürdürülebilir insani gelişme, yönetim kalitesi, yeşil enerji yeniliği ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi 2002-2022 dönemi için dinamik otoregresif dağıtılmış gecikme (D-ARDL) yöntemini kullanarak araştırmış ve hem kısa hem de uzun vadeli analiz sonuçları tüm değişkenlerin karbon emisyonlarının azaltılmasında etkili bir role sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Seçilen BRICS (Brezilya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) ülkeleri için 1990-2015 panel verilerini kullanarak Mahalik vd. (2021) yaptıkları analizde ilköğretim ve yenilenebilir enerji tüketiminin toplam enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve küreselleşmeyle birlikte karbon emisyonlarını arttırdığını; ortaöğretim, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketiminin ise karbon emisyonlarını azaltarak çevre kalitesini iyileştirmeye katkıda bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Nathaniel vd. (2021) 1992-2016 dönemi verilerini kullanarak BRICS ülkeleri için yaptıkları çalışmada yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izini azalttığını, insan sermayesinin ise henüz çevresel bozulmayı hafifletecek düzeyde olmadığını ortaya koymuşlardır. Ganda (2022a) Kesitsel Olarak Genişletilmiş Gecikmesi Dağıtılmış Otoregresif (CS-ARDL) yöntemini ve Dumitrescu-Hurlin nedensellik tekniğini kullanarak BRICS ülkelerinde beşeri sermayenin çevresel etkilerini 1990-2017 dönemi için incelemiş ve insan sermayesinin hem kısa hem de uzun vadede hem çevre kalitesi hem de çevresel sürdürülebilirlik ile önemli ölçüde pozitif yönde ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada Ganda (2022b) 1990'dan 2019'a kadar yeni BRICS ekonomilerinde insan sermayesinin emisyonlar üzerinde anlamlı pozitif etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur.

1991-2014 döneminde on altı Orta ve Doğu Avrupa Ülkesi (CEEC) için Chen vd. (2019) yaptıkları analizde yenilenebilir enerjinin ise ekolojik ayak izini önemli ölçüde azaltarak çevre kalitesini iyileştirdiğini, insan sermayesinin ise ekolojik ayak izi üzerindeki negatif etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Çakar vd. (2021) yirmi bir AB ülkesine ait 1994-2018 dönemine ilişkin panel verileri kullanarak farklı finansal gelişme düzeylerinde insan sermayesi ile çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi yumuşak geçişli panel regresyon (PSTR) modeli ile analiz etmişlerdir. Tahmin sonuçları beşeri sermayenin düşük büyüme rejiminde karbon emisyonunu azaltırken, yüksek büyüme rejiminde karbon emisyonunu arttırdığını

ayrıca hem finansal gelişmenin hem de beşeri sermayenin düşük rejimlerinde karbon emisyonlarını arttırdığını, yüksek rejimlerinde ise azalttığını, insan sermayesi geliştikçe çevreyi korumaya yönelik daha fazla inovasyonun olacağını ve dolayısıyla çevresel bozulmanın daha az olacağını ortaya koymuştur. On altı Avrupa ülkesi verileriyle 1990-2020 zaman dilimi içerisinde Avrupa ülkelerinin ekolojik ayak izlerini hafifletmek için doğrudan yabancı yatırım, enerji ve insan sermayesini nasıl kullandığını analiz eden Saqib vd. (2023) yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi ile negatif bir korelasyona, enerji yapısının ise ekolojik ayak izi ile pozitif bir korelasyona sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca, yenilenebilir enerji, enerji yapısı ve insan sermayesi ile ekolojik ayak izi arasında tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. 1991'den 2017'ye kadar G7 ülkeleri için CS-ARDL yöntemini kullanarak Hao vd. (2021) yaptıkları analizde insan sermayesi ve yenilenebilir enerji kullanımının CO₂ emisyonlarını azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Sheraz vd. (2021) 1986'dan 2018'e kadar G20 ülkelere ait veriler ile Dumitrescu ve Hurlin'in panel nedensellik testini kullanarak yaptıkları analizde insan sermayesinin karbon emisyonlarını azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Pata vd. (2023) 1974'ten 2018'e kadar olan yıllık verileri kullanarak ABD'de insan sermayesinin çevre kalitesini desteklediği sonucunu elde etmişlerdir. Zafar vd. (2020), 1990-2015 dönemi boyunca Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü ülkeleri için eğitim, doğal kaynak bolluğu, doğrudan yabancı yatırım ve ekonomik büyüme varlığında yenilenebilir enerjinin karbon emisyonları üzerindeki etkisini analiz etmiş ve yenilenebilir enerji tüketiminin çevre kalitesini olumlu etkilediğini, eğitimin ise karbon emisyonlarını azalttığını ortaya koymuşlardır. Dzwigol vd. (2023) çevre düzenlemelerinin, yenilenebilir enerjinin ve enerji verimliliğinin yeşil ekonomik büyüme üzerindeki etkisini 2000-2020 yılları arasında AB ülkeleri için sistem genelleştirilmiş momentler yöntemi (GMM) ile analiz etmiş ve yenilenebilir enerjinin yeşil ekonomik büyümesi üzerinde pozitif etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. G11 ülkeleri için 1984-2017 yıllık verilerini kullanarak yaptıkları incelemede Mehmood (2022) beşeri sermayenin çevre kalitesini arttırdığını ortaya koymuştur.

Mahmood vd. (2019) 1980'den 2014'e kadar Pakistan verileriyle yenilenebilir ve yenilenemez enerji, ekonomik büyüme ve CO₂ emisyonları arasındaki etkileşimi beşeri sermayeyi de dahil ederek üç aşamalı en küçük kareler ve sırt regresyon yöntemlerini kullanarak araştırmışlardır. Analiz sonuçları yenilenemeyen enerji tüketiminin yüksek CO₂ emisyonuna neden olarak çevre kalitesini kötüleştirdiğini, yenilenebilir enerji tüketiminin kirlilik düzeyini azalttığını, beşeri sermayenin kirliliğin kontrol altına alınmasına yardımcı olduğunu ortaya koymuştur. Güney Afrika'da yenilenebilir enerji kullanımı, beşeri sermaye ve ticaretin çevresel kalite üzerindeki etkisini Iorember vd. (2021) ARDL ve VECM Granger nedensellik testleri kullanarak analiz etmiş ve yenilenebilir enerji kullanımı, insan sermayesi ve ticaretteki artışın ekolojik ayak izini azaltarak çevresel kaliteyi iyileştirdiğini ortaya koymuşlardır. Kahia vd. (2021) ekonomik

büyüme, yeşil enerji ve çevre kalitesi arasındaki ilişkiyi 1990-2016 dönemi boyunca Suudi Arabistan örneğinde araştırmış ve yenilenebilir enerjinin ekonomiyi büyütme ile çevreyi korumak arasındaki boşluğu kapatmada başarısız olduğunu göstermişlerdir. Esquivias vd. (2022) 1990-2019 dönemi için gelişmekte olan Asya ekonomilerinde yenilenebilir enerji, teknoloji yeniliği, insan sermayesi ve yönetişimin çevre kalitesi üzerindeki karşılıklı bağlantısını bir panel kantil regresyon modeli ile incelemişlerdir. Sonuçlar, yüksek ekonomik büyümenin, nüfus yoğunluğunun, yenilenebilir enerjideki teknolojik yeniliklerin ve doğal kaynakların kullanılmasının gelişmekte olan Asya'daki CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde artırdığını diğer yandan daha büyük sermaye, yenilenebilir enerjinin daha fazla kullanılması, yeşil teknoloji ve insan sermayesinin geliştirilmesinin ise Asya'da çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağladığını ortaya koymuştur. 1995'ten 2018'e kadar verileri kullanan Isiksal vd. (2022) insan sermayesinin kısa ve uzun vadede CO₂ emisyonu üzerinde zıt ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Jena vd. (2022) Çin, Hindistan ve Japonya örneğinde 1980-2016 yıllarını kapsayan bir dönem için otoregresif dağıtılmış gecikme modeli (ARDL) ile yaptıkları incelemede insan sermayesi ve yenilenebilir enerjinin çevresel sürdürülebilirliği teşvik ettiğini, yenilenemeyen enerji kullanımının çevre kalitesini olumsuz etkilediğini ortaya koymuşlardır. Khan vd. (2022) 2008'den 2018'e kadar Kuşak ve Yol ülkelerinde teknoloji transferinin, insan sermayesinin ve yenilenebilir enerjinin karbondioksit emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bulgular beşeri sermaye ve yenilenebilir enerjinin karbondioksit emisyonları ile negatif fakat anlamlı bir ilişki içerisinde olduğunu göstermiştir. Wang vd. (2022) 1996'dan 2018'e kadar 31 Tek Kuşak Tek Yol ülkelerini kapsayan yıllık veri setini kullanarak beşeri sermaye ve finansal küreselleşmenin çevresel bozulma üzerindeki etkisini incelemiş ve insan sermayesinin çevreyi iyileştirdiğini ortaya koymuşlardır.

Ahmad vd. (2022) gelişmekte olan ülkelerde finansal kalkınmanın, insan sermayesinin ve kurumsal kalitenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini 1984'ten 2017'ye kadar olan panel verileri kullanarak CS-ARDL tekniğini kullanarak araştırmışlardır. Bulgular ayrıca insan sermayesinin ekolojik ayak izini azalttığını ortaya koymuştur. 1990'dan 2020'ye kadar Latin Amerika ülkelerinde doğal kaynakların ve eğitimin CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini araştıran Liu vd. (2022) doğal kaynakların çevre kalitesi üzerinde doğrusal olmayan bir etki oluşturduğunu ve doğal kaynaklar ile CO₂ emisyonları arasında U şeklinde bir ilişki olduğunu, eğitimin ise seçilen ülkelerdeki CO₂ emisyonlarını yoğunlaştırdığını ortaya koymuşlardır. Jahanger vd. (2023) 1990'dan 2016'ya kadar olan dönemde Asya, Afrika, Latin Amerika ve Karayipler'deki 78 gelişmekte olan ülkeden oluşan bir örnek için insan sermayesi ve küreselleşmenin karbondioksit emisyonları üzerindeki etkisini incelemiş ve beşeri sermaye gelişiminin CO₂ emisyonlarını azalttığını ortaya koymuşlardır. Çin, Hindistan, Rusya ve Japonya örneğinde 1991-2019 dönemi için Li vd. (2023) ARDL modelini kullanarak yaptıkları araştırmada yeşil inovasyonun, temiz enerji yatırımının ve eğitimin uzun

vadede çevresel sürdürülebilirliği iyileştirdiğini, kısa vadeli tahminlerin ise farklı olduğunu ortaya koymuşlardır. Ni vd. (2023) Pakistan, Hindistan ve Bangladeş örneğinde yeşil insan sermayesi ve çevresel düzenlemelerin yeşil inovasyon ve sürdürülebilir kalkınma için yeşil endüstrinin geliştirilmesi üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Sonuçlar, yeşil insan sermayesinin yeşil inovasyonu, yeşil endüstrinin geliştirilmesini ve sürdürülebilir kalkınmayı olumlu yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. Wang vd. (2023) 208 ülke veya bölgeden alınan yirmi dokuz yıllık (1990–2018) veri setini kullanarak Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi ve Tam Düzeltilmiş Sıradan En Küçük Kareler tahmincisi ile yaptıkları analizde yenilenebilir enerji tüketimi ve beşeri sermayenin karbon emisyonları üzerinde heterojen etkilere sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Dai vd. (2024) insan sermayesi, yeşil enerji ve çevresel kalite arasındaki ilişkiyi Güneydoğu Asya Ülkeleri Birliği (ASEAN) ülkeleri verilerini kullanarak 1986'dan 2018'e kadar olan dönem için incelemişlerdir. CS-ARDL yöntemi sonuçları beşeri sermayenin ve yeşil enerjinin çevre kalitesini arttırdığını ortaya koymuştur. Du vd. (2022) panel kantil regresyon modeli ile finansal katılımın ve beşeri sermayenin gelişmekte olan ülkelerin çevre kalitesi üzerindeki rolünü 2004'ten 2019'a kadar olan verileri kullanarak incelemiş ve insan sermayesinin çevresel bozulmaya katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur.

Literatürden hareketle çalışmanın ikinci hipotezi ve üçüncü hipotezi aşağıdaki gibidir:

H2: Yeşil beşeri sermaye çevre kirliliğini azaltır.

H3: Yeşil enerji çevre kirliliğini azaltır.

EKONOMETRİK ANALİZ

Bu çalışma temel olarak yeşil beşeri sermaye (GHC), yeşil enerji (GEC) ve doğal kaynakların (NRR) çevresel kalite (CO₂ emisyonu) üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, ters-U şeklindeki ÇKE hipotezinin geçerliliği AB ülkeleri için ekonomik büyümenin (GDP) CO₂ emisyonu üzerindeki rolü kapsamında belirlenecektir.

Veri Kaynağı ve Değişkenlerin Açıklamaları

Bu çalışma, 26 AB¹ ülkesi için verilerin mevcut olduğu 1995-2019 yılları arasındaki yıllık verileri kullanmaktadır. CO₂ emisyonu bağımlı değişken, bağımsız değişkenler ise yeşil enerji, yeşil beşeri sermaye ve doğal kaynaklardır. Çalışmada AB'de için ÇKE hipotezini test etmek amacıyla ekonomik büyüme ve ekonomik

¹ Belçika, Bulgaristan, Çekya, Danimarka, Almanya, Kıbrıs, Estonya, İrlanda, Yunanistan, İspanya, Fransa, Hırvatistan, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Macaristan, Hollanda, Avusturya, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovenya, Slovakya, Finlandiya, İsveç.

büyümenin karesi modele dahil edilmiştir. Yeşil beşeri sermaye dışında bütün değişkenlerin verileri Dünya Kalkınma Göstergelerinden (World Development Indicators-WDI) alınmıştır. Yeşil beşeri sermaye değişkeninin verisi Penn Dünya Tablolarından (Penn World Tables-PWT) elde edilmiştir. Değişkenlerin doğal logaritmik halleri analizlerde kullanılmıştır. Tablo 1, çalışmanın değişkenleri hakkında detaylı bilgileri sunmaktadır.

Tablo 1: Veri Kaynağı ve Değişkenin Açıklamaları

Değişkenler	Sembol	Değişkenlerin Açıklamaları	Kaynaklar	Değişkenleri kullanan Araştırmalar
Karbondioksit Emisyonu	CO ₂	Kişi başına metrik ton	WDI	Isiksal vd. (2022)
Ekonomik Büyüme	GDP	Kişi başına GSYH (sabit ABD doları)	WDI	Jebabli vd. (2023)
Ekonomik Büyümenin Karesi	GDP ²	GSYH'nin karesini hesaplama	Yazarlar	Barak vd. (2024)
Yeşil Beşeri Sermaye	GHC	Beşeri Sermaye Endeksi	PWT	Ahakwa (2024)
Yeşil Enerji	GEC	Nihai enerji tüketimi içinde yenilenebilir enerji tüketiminin payı (%)	WDI	Dai vd. (2024)
Doğal Kaynaklar	NRR	Toplam doğal kaynak kiralari (GSYH'nin %'si)	WDI	Adebayo vd. (2023)

Not: PWT (Penn World Tables); WDI (World Development Indicators)

Ekonometrik Model

Ters-U şeklindeki ÇKE hipotezini tahmin etmek için kurulan ekonometrik model AB ülkelerinde GDP, GHC, GEC ve NRR değişkenlerinin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin araştırılmasını gerektirmektedir. Söz konusu değişkenlerin dahil edildiği fonksiyon aşağıda verilmiştir:

$$CO_{2it} = f(GDP_{it}, GDP_{it}^2, GHC_{it}, GEC_{it}, NRR_{it}) \quad (1)$$

Analizde kullanılan değişkenler doğal logaritmaya dönüştürülmüştür. Bundan dolayı, panel çerçevesinde doğrusal logaritmik model şu şekilde sunulmaktadır:

$$\ln CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 \ln GDP_{it} + \beta_2 \ln GDP_{it}^2 + \beta_3 \ln GHC_{it} + \beta_4 \ln GEC_{it} + \beta_5 \ln NRR_{it} \quad (2)$$

Burada β_1, \dots, β_5 , GDP, GDP², GHC, GEC ve NRR ile ilgili CO₂ emisyonu esnekliklerini ifade eder. i ve t sırasıyla bireysel kesitleri ve zamanı (1995-2019) yansıtır. ÇKE hipotezine göre, $\beta_1 > 0$ ve $\beta_2 < 0$ olması beklenir. Bu nedenle, gelirdeki artışın daha düşük emisyonlara yol açtığı ters-U şeklinde bir model vardır (Kasman & Duman, 2015).

Yöntem

GDP, GHC, GEC, NRR ve CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiyi inceleyen bu çalışmada uygulanan panel veri tekniklerine ait sıralama aşağıdaki gibidir:

1. Analizin ilk aşamasında, modelde yer alan değişkenlerin yatay kesit bağımlılığının varlığı Pesaran vd. (2008) tarafından geliştirilen LM_{adj} testi ve eğim homojenliğinin varlığı Pesaran & Yamagata (2008) tarafından geliştirilen testle yapılmıştır.
2. Sonraki aşamada, ikinci nesil birim kök testi için CIPS analizi uygulanmıştır.
3. Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin varlığını belirlemek için Westerlund (2008) tarafından geliştirilen Durbin ve Hausman eşbütünleşme testine başvurulmuştur.
4. Değişkenler arasındaki uzun dönem katsayı tahmini için FMOLS tahmincisi ve DOLS tahmincisi kullanılmıştır.
5. Son aşamada, Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testine başvurularak nedensellik ilişkisi araştırılmıştır.

Panel veri analizinde yatay kesit bağımlılığının dikkate alınması gereklidir. Çünkü, küreselleşme neticesinde ülkelerin karşılıklı bağımlılığı olduğu için bir ülkede ortaya çıkan bir şok diğer ülkeleri etkileyebilmektedir (Cutcu vd., 2023). Bu çalışmada yatay kesit bağımlılığı için kullanılan testler Breusch & Pagan (1980) tarafından geliştirilen Breusch-Pagan LM testi, Pesaran (2004) tarafından geliştirilen Pesaran ölçeklendirilmiş LM (CD_{LM}) testi ve Pesaran CD testleri ve Pesaran vd. (2008) tarafından geliştirilen Sapması Düzeltilmiş LM (LM_{adj}) testi uygulanmıştır. Bu testlerde, sıfır hipotezi (H₀) reddedilir ve alternatif hipotez (H₁) kabul edilirse seriler arasında yatay kesit bağımlılığının varlığı doğrulanır. Bu dört teste ait denklemlere sırasıyla aşağıda yer verilmiştir.

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

$$CD_{LM} = \left(\frac{1}{N(N-1)} \right)^{1/2} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T \hat{\rho}_{ij}^2 - 1) \rightarrow N(0, 1) \quad (4)$$

CD test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \right)} \rightarrow N(0, 1) \quad (5)$$

LM_{adj} test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$LM_{adj} = \left(\frac{2T}{N(N-1)} \right)^{\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N T \hat{\rho}_{ij}^2 \frac{(T-k)\hat{\rho}_{ij}^2 - \hat{\mu}_{Tij}}{\vartheta_{Tij}} \rightarrow N(0,1) \quad (6)$$

(6) numaralı denklemde, $\hat{\mu}_{Tij}$ ortalamayı, ϑ_{Tij} varyansı temsil eder.

Yatay kesit bağımlılığını tespit etmek için kullanılan testlere göre; (i) zaman boyutu kesit boyutundan ($T > N$) büyük olduğunda, Breusch & Pagan (1980) CD_{LM1} testi, (ii) zaman boyutu kesit boyutuna eşit olduğunda ($T = N$), Pesaran (2004) CD_{LM2} testi, (iii) zaman boyutu kesit boyutundan küçük olduğunda ($T < N$), Pesaran (2004) CD_{LM} testi, (iv) zaman boyutu, kesit boyutundan hem küçük ($T < N$) hem de daha büyük ($T > N$) olduğunda, Pesaran vd. (2008) LM_{adj} testi sonuçlarına bakılmaktadır (Cutcu vd., 2023).

Yatay kesit bağımlılığı testinden sonra Pesaran & Yamagata (2008) tarafından geliştirilen Δ (delta) testleri kullanılarak eğim homojenliği hesaplanmıştır. Delta testi iki yolla hesaplanmaktadır:

$$\tilde{\Delta} = (N)^{\frac{1}{2}} \frac{N^{-1}S - K}{\sqrt{2K}} \quad (7)$$

$$\tilde{\Delta}_{adj} = (N)^{\frac{1}{2}} \frac{N^{-1}S - K}{\sqrt{\frac{2K(T-K-1)}{T+1}}} \quad (8)$$

$\tilde{\Delta}$ ve $\tilde{\Delta}_{adj}$ sırasıyla delta tilde ve düzeltilmiş delta tilde'yi temsil etmektedir. $\tilde{\Delta}$, küçük örnekler için delta test istatistiğini ve $\tilde{\Delta}_{adj}$, büyük örnekler için düzeltilmiş delta test istatistiğini verir. Denklemdeki N gözlem sayısını, S Swamy test istatistiğini, k açıklayıcı değişkenlerin sayısını ve $\sqrt{Var(t, k)}$ değeri standart hatayı gösterir. Homojenlik testi için sıfır hipotezi “eğim katsayıları homojendir” ve alternatif hipotez “eğim katsayıları heterojendir” şeklinde kurulmaktadır.

Yatay kesit bağımlılığının varlığında, ikinci nesil birim kök testleri kullanılmalıdır. Literatürde Pesaran (2007) tarafından geliştirilen yatay kesitler bakımından genişletilmiş Im-Pesaran-Shin (Cross-Sectionally Augmented IPS-CIPS) ve yatay kesitler bakımından genişletilmiş ADF (Cross-Sectionally Augmented ADF-CADF) panel birim kök testleri kullanılmaktadır. Gecikmeli değişkenlerin t istatistiklerinin ortalamalarının alındığı denklem (9)'da CIPS istatistiği tahmin edilmektedir. Denklem (9)'da CADF fonksiyonunda, $CADF_i$ t istatistikleridir.

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

Panel veri analizlerinde uzun dönem ilişkinin varlığı eşbütünleşme testleri kullanılarak araştırılabilir. Yatay kesit bağımlılığının varlığında, ikinci nesil eşbütünleşme testleri kullanılmalıdır. Bu çalışmada bağımlı değişken $I(1)$ olduğunda bağımsız değişkenlerin hangi düzeyde durağan olduğunun önemli olmadığı zaman kullanılabilen Westerlund (2008) tarafından geliştirilen Durbin-Hausman analizinden faydalanılmıştır. Bu analiz, Durbin-Hausman panel test istatistikleri (DH_p) ve Durbin-Hausman grup test istatistikleri (DH_g) şeklinde iki istatistik üretmektedir. Parametreler homojen ise, DH_p dikkate alınmalıdır; ancak, parametreler heterojen ise DH_g dikkate alınmalıdır (Koçak vd., 2020). Bu çalışmada, çalışmanın Delta testi sonuçlarına göre katsayıların heterojen olduğuna karar verildiği için Durbin-Hausman grup test istatistikleri dikkate alınmıştır.

Durbin-Hausman testi kullanarak, eşbütünleşme ilişkisi hem panel hem de grup boyutlarında ayrı ayrı değerlendirilebilir. Bunlardan birincisi, otoregresif parametrelerin heterojen olduğunu varsayan Durbin-Hausman grup ortalama istatistiği (DH_{grup}) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$DH_{grup} = \sum_{i=1}^N \hat{S}_i (\tilde{\varphi}_{1i} - \hat{\varphi}_{2i})^2 \sum_{t=2}^T \hat{e}_{it-1}^2 \quad (10)$$

İkincisi ise, otoregresif parametrelerin homojen olduğunu varsayan Durbin-Hausman panel istatistiği (DH_{panel}) şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$DH_{panel} = \hat{S}_n (\tilde{\varphi} - \hat{\varphi})^2 \sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T \hat{e}_{it-1}^2 \quad (11)$$

DH_g ve DH_p testleri için sıfır hipotezi reddedilirse “bazı panel birimleri arasında uzun vadeli bir bağlantı olduğu” ortaya çıkar.

Eşbütünleşme ilişkisinin tespit edilmesi, uzun dönem katsayıların tahmin edilmesine olanak sunmaktadır. Bu çalışmada Pedroni (2000) tarafından geliştirilen FMOLS ve Stock & Watson (1993) tarafından geliştirilen DOLS tahmincilerine başvurulmuştur. FMOLS tahmincisinin avantajı içsellik yanlılığını ve seri korelasyonu düzeltmesiyle ilgilidir (Ozcan, 2013). DOLS tahmincisi ise örneklem büyüklüğü küçük olduğunda ve içsellik sorununu çözerek avantajlıdır (Slathia vd., 2024).

Ekonometrik analizin son aşamasında, GDP, GHC, GEC, NRR ve CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılmıştır. Dumitrescu & Hurlin (2012) tarafından önerilen nedensellik testi, heterojen panellerde $N > T$ veya $T > N$ olduğunda ve yatay kesit bağımlılığının varlığında gerçekleştirilebilir. Bu testin “değişkenler arasında nedensellik ilişkisi yoktur” şeklindeki sıfır hipotezinin reddedilmesi durumunda değişkenler arasında nedensellik ilişkisinin olduğu kanaatine varılır (Koçak vd., 2020).

X ve Y arasındaki nedenselliği test eden doğrusal model aşağıdaki gibidir:

$$y_{i,t} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \beta_{ik} y_{i,t-k} + \sum_{k=1}^K \gamma_{i,k} X_{i,t-k} + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

Ampirik Sonuçlar

Bu bölümde CO₂, GDP, GDP², GHC, GEC ve NRR arasındaki ilişki hakkında ampirik bulgular sunulmaktadır.

Tanımlayıcı istatistikler

Tablo 2’de tanımlayıcı istatistik sonuçları görülmektedir. Tanımlayıcı istatistiklerin sunulduğu Tablo 2’ye göre en yüksek ortalama ekonomik büyümenin karesine ait iken, en düşük ortalamaya yeşil beşeri sermaye sahiptir.

Tablo 2: Tanımlayıcı İstatistikler

İstatistikler	lnCO ₂	lnGDP	lnGDP ²	lnGHC	lnGEC	lnNRR
Ortalama	1.9682	9.9795	19.9591	1.1320	2.4859	-1.3887
Medyan	1.9931	10.0056	20.0113	1.1372	2.5989	-1.1592
Maksimum	3.2430	11.6299	23.2599	1.3478	3.9678	1.7429
Minimum	1.0739	8.1720	16.3440	0.7295	0.1397	-6.5216
Sth. Hata	0.4116	0.7423	1.4846	0.1061	0.8491	1.4882
Skewness	0.2652	-0.1844	-0.1844	-0.7680	-0.5745	-0.4618
Kurtosis	3.0178	2.3957	2.3957	4.0678	2.7579	2.7605
Jarque-Bera	7.6325	13.5750	13.5750	94.7950	37.3544	24.6625
Olasılık	0.0220	0.0011	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000

Yatay kesit bağımlılığı, birim kök ve homojenlik testi sonuçları

Bu bölümde bu çalışmada kullanılan değişkenler için yatay kesit bağımlılığı, eğim homojenliği ve birim kök test sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 3 CO₂, GDP, GDP², GHC, GEC ve NRR değişkenleri için yatay kesit bağımlılığı test sonuçlarını sunar. Bütün değişkenler istatistiksel olarak anlamlı (p<0.01) bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle, “yatay kesit bağımlılığı yoktur” şeklindeki H₀ hipotezi reddedilir ve bütün seriler için yatay kesit bağımlılığının varlığı görülür.

Tablo 3: Yatay Kesit Bağımlılığı Testinin Sonuçları

Değişkenler	lnCO ₂	lnGDP	lnGDP ²	lnGHC	lnGEC	lnNRR
Breush-Pagan LM	3475.470*	6180.196*	6180.296*	7744.665*	5537.064*	1853.160*
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
Pesaran scaled LM	122.551*	228.643*	228.643*	290.003*	203.414*	58.919*
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
Bias-corrected scaled LM	122.010*	228.102*	228.102*	289.461*	202.872*	58.377*
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
Pesaran CD	43.269*	76.165*	76.165*	87.950*	72.858*	27.724*
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)

Not: p-değerleri parantez içinde verilmiştir. *, %1 seviyesinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Eğim homojenliği test sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Buna göre, eğim homojenliğinin varlığını gösteren H₀ hipotezi reddedilir. Yani, çalışmada geliştirilen model eğim heterojenliği sergilemektedir.

Tablo 4: Eğim Homojenliği Testinin Sonuçları

Bağımlı değişken= lnCO ₂		
İstatistikler	Test Değeri	P-değeri
Delta Tilde	17.791*	0.000
Delta Tilde (Adjusted)	18.965*	0.000

Not: *, %1 seviyesinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 5'te, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin durağan yapısı CADF ve CIPS testleri ile incelenmiştir. Yatay kesit bağımlılığı mevcut olduğunda CADF ve CIPS testleri kullanılmaktadır. Analiz sonuçları, GDP, GDP² ve GHC değişkenlerinin düzeyde, buna karşılık CO₂, GEC ve NRR değişkenlerinin 1. farklarda durağan olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, "serinin birim kökleri olduğunu" belirten H₀ hipotezi reddedilir.

Tablo 5: Birim Kök Testinin Sonuçları

	Sabit için CIPS test istatistiği		Sabit+Trend için CIPS test istatistiği		Entegrasyon Sırası
	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)	
lnCO ₂	-1.99	-3.35*	-2.16	-3.57*	I(1)
lnGDP	-2.94*	-	-3.20*	-	I(0)
lnGDP ²	-2.94*	-2.82**	-3.20*	-2.86*	I(0)
lnGHC	-2.02	-1.49	-2.66***	-	I(0)
lnGEC	-2.14	-3.35*	-2.30	-3.49*	I(1)
lnNRR	-2.03	-3.82*	-2.43	-3.83*	I(1)

Not: *, ** ve *** sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde serilerin durağan olduğunu göstermektedir. CIPS için %1, %5 ve %10 kritik değerler sırasıyla -2.81, -2.66 ve -2.58'dir.

Tablo 6'da değişkenlerin durağan durumları belirlendikten sonra değişkenler arasındaki uzun dönem eşbütünleşme ilişkisi ikinci nesil yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Homojenlik testinden elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde, grup istatistiklerinin kullanılmasının daha uygun olacağı belirlendiğinden Durbin-H grup istatistiklerinin sonuçları dikkate alınmıştır. Durbin-Hausman panel istatistiklerinin olasılık değerleri incelendiğinde, CO₂, GDP, GDP², GHC, GEC ve NRR arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğu gözlenmiştir.

Tablo 6: Westerlund Durbin-Hausman Testinin Sonuçları

Test	T-İstatistiği	P-değeri
Durbin-H _g	20.968*	0.000
Durbin-H _p	-2.125	0.983

Not: %1 düzeyinde önemi ifade eder.

Değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkinin belirlenmesinin ardından, eşbütünleşme katsayılarını tahmin etmek için FMOLS ve DOLS tahmincileri tahmin sonuçları Tablo 7'deki gibidir. Öncelikle hem FMOLS hem de DOLS uzun dönem tahmin sonuçlarından AB ülkelerinde ÇKE hipotezinin desteklendiği bulgusuna ulaşılmıştır. Diğer bir deyişle, gelir ve CO₂ emisyonu arasında ters-U şeklindeki ilişkinin varlığı kabul edilmektedir. GHC değişkeni %3.674 ve %1.339 değerlerini alarak CO₂ emisyonunu negatif ve istatistiksel olarak anlamlı şekilde etkilemektedir. GEC değişkeni de CO₂ emisyonunu negatif ve istatistiksel olarak anlamlı şekilde etkilemektedir. Bu değerler ise FMOLS ve DOLS tahmincilerine

göre sırasıyla -0.183 ve -0.110'dur. Son olarak, NRR değişkeninin CO₂ emisyonunu pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkilediği görülmektedir. Dolayısıyla, AB ülkelerinde yeşil beşeri sermayenin ve yeşil enerjinin çevresel kirliliği azalttığı ve doğal kaynakların çevre kalitesini bozduğuna ilişkin bilgilere ulaşılmıştır.

Tablo 7: Uzun Dönem Tahmin Sonuçları (Bağımlı değişken: CO₂)

Değişken	FMOLS		DOLS	
	Katsayı	P-değeri	Katsayı	P-değeri
lnGDP	1.327*	0.001	2.847*	0.009
lnGDP ²	-0.053**	0.016	-0.105***	0.063
lnGHC	-1.339*	0.000	-3.674*	0.003
lnGEC	-0.183*	0.000	-0.110*	0.008
lnNRR	0.017***	0.075	0.011**	0.049

Not: *, ** ve *** sırasıyla %1, %5 ve %10 istatistiksel anlamlılığı göstermektedir.

Uzun dönem esneklik katsayılarını tahmin ettikten sonra, CO₂, GDP, GHC, GEC ve NRR değişkenleri arasında nedensellik ilişkisi Tablo 8'de verilen Dumitrescu-Hurlin testi kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar, CO₂'den GDP'ye ve CO₂'den NRR'ye tek taraflı bir nedensellik olduğunu göstermektedir. Ayrıca, CO₂ ve GHC ile CO₂ ve GEC arasında iki taraflı bir nedensellik gözlenmiştir.

Tablo 8: Dumitrescu-Hurlin Panel Nedensellik Testinin Sonuçları

Sıfır Hipotezi	Z-bar ist.	Prob	Z-bar tilde ist.	Prob	Sonuç
lnCO ₂ → lnGDP	9.561*	0.000	7.744*	0.0000	CO ₂ →GDP
lnGDP↔lnCO ₂	0.815	0.415	0.383	0.702	
lnCO ₂ → lnGHC	16.455*	0.000	13.546*	0.000	CO ₂ ↔GHC
lnGHC↔ lnCO ₂	45.045*	0.000	37.609*	0.000	
lnCO ₂ → lnGEC	21.486*	0.000	17.780*	0.000	CO ₂ ↔GEC
lnGEC → lnCO ₂	8.354*	0.000	6.728*	0.000	
lnCO ₂ → lnNRR	6.355*	0.000	5.046*	0.000	CO ₂ →NRR
lnNRR → lnCO ₂	1.638	0.101	1.075	0.282	

Not: *, ** ve *** sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde değişkenler arasında nedenselliğin olduğunu göstermektedir.

SONUÇ

Yeşil bir ekonominin geliştirilmesi sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında önemli ve dönüştürücü bir rol oynayabilir. Aşırı üretim ve tüketimin çevre üzerinde önemli etkileri vardır. Küresel iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik

kaybı ve kirlilik, sürdürülemez tüketim ve üretimden kaynaklanmaktadır. Dünya genelindeki ekonomilerin sanayileşme çabalarının büyük ölçüde fosil yakıtlara bağımlı olmasının bir sonucu olarak gerçekleştirilen faaliyetler çevre kalitesinde çok ciddi olumsuzluklara neden olmaktadır. İstenmeyen çevresel bozulmaları ve iklim değişikliklerini ortak bir küresel çerçeve altında kontrol etmek için ülkeler daha bilinçli bir şekilde yeni çevre stratejileri benimsemekte, enerji tüketim modellerini değiştirmek için düzenleyici normlar oluşturmakta, yenilenebilir kaynaklardan daha çok yenilenebilir enerji kaynaklarına güvenmekte, üretim ve tüketim faaliyetlerinde daha gelişmiş yenilikçi teknolojiler kullanarak daha temiz çevre standartlarına uymaya çalışmaktadır.

Bu çalışmada yeşil enerji ve yeşil beşeri sermayesinin Avrupa Birliği ülkelerinde çevre kalitesinin gelişmesine katkısı analiz edilmiştir. Analizlerde yatay kesit bağımlılığı sonuçlarına bakılarak ikinci nesil panel testlerine başvurulmuştur. Birim kök testinin ardından, eşbütünleşme testi bulguları değişkenlerin uzun dönemli ilişkisini doğrulamıştır. Değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkinin belirlenmesinin ardından, eşbütünleşme katsayılarını tahmin etmek amacıyla kullanılan FMOLS ve DOLS tahmincileri AB ülkelerinde yeşil beşeri sermayenin ve yeşil enerjinin çevresel kirliliği azalttığını ve doğal kaynakların çevresel kirliliği artırdığını göstermiştir. Son olarak Dumitrescu-Hurlin nedensellik bulguları CO₂'den GDP'ye ve CO₂'den NRR'ye tek yönlü nedensellik ilişkisinin olduğunu; ayrıca CO₂ ve GFC ile CO₂ ve GEC arasında iki yönlü nedensellik ilişkisini göstermiştir.

Analizlerden elde edilen bulgular doğrultusunda bazı politika önerilerine yer verilebilir. Fosil yakıtlar yerine çevre kalitesini olumlu yönde etkileyen yeşil enerji tüketimi arttırılmalıdır. Bu amaçla yatırımların yeşil enerjiye doğru kaydırılması sürdürülebilir kalkınma açısından önem arz etmektedir. Çevre kalitesini iyileştirmek için yenilenebilir enerji kullanımının toplam enerji üretimi içindeki payını arttıracak politikalara ihtiyaç vardır ve yeşil yatırımları teşvik edecek bir ekonomi politikası izlenmelidir. Yetkililer fosil yakıtlar yerine yeşil enerjinin geliştirilmesiyle ilgili doğrudan yabancı yatırımları çekmeye odaklanmalıdır. Ayrıca yeşil enerjinin önemi eğitim programları ve kamu bilinci yoluyla yayılmalıdır. Bununla birlikte, ülkeler insan sermayesine yatırım yaparak çevresel zararlarını azaltabilirler. Eğitim sistemi aracılığıyla çevre bilinci artırılarak çevre kalitesi iyileştirilebilir. Bu hususta yeşil insan sermayesini arttırmak amacıyla hükümetler eğitime yönelik yatırımlarını artırma ve yeşil eğitime daha fazla harcama yapmalıdır. Yenilenebilir enerji konusunda eğitim sunan girişimler desteklenmeli ve bireyler çevre dostu enerji kaynakları kullanmanın artıları konusunda eğitilmelidir. Yatırım ve eğitim yoluyla beşeri sermayenin kalitesinin artırılması, çevre dostu teknolojilerin kullanımı konusunda farkındalık oluşturabilir.

Bu çalışmanın çevre ekonomisi literatürüne iki önemli etkisi vardır. İlk olarak, bulgular karar vericilere CO₂ emisyonlarını azaltabilecek, sürdürülebilir

kalkınmayı ilerletebilecek ve uzun vadeli iklim hedeflerini destekleyebilecek belirli politikaların nasıl oluşturulacağı konusunda kanıta dayalı tavsiyeler vermektedir. Düşük karbonlu ekonomiye geçişin önemi, Avrupa Yeşil Mutabakatı ve AB'den gelen diğer politika metinlerinde vurgulanmaktadır. İkinci olarak çalışma, AB ülkelerinde CO₂ emisyonlarını etkileyen belirli değişkenleri incelemiş olması nedeniyle bir araştırma boşluğunu doldurarak bu alandaki bilgi birikimini ilerletmektedir.

Yazar Katkı Oranı ve Çıkar Çatışması Beyanı: Yazarlar çalışmaya eşit katkı vermiştir ve yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

Adebayo, T. S., Ullah, S., Kartal, M. T., Ali, K., Pata, U. K., & Ağa, M. (2023). Endorsing sustainable development in BRICS: The role of technological innovation, renewable energy consumption, and natural resources in limiting carbon emission. *Science of the Total Environment*, 859, 160181.

Ahakwa, I., Xu, Y., & Tackie, E. A. (2023). Greening human capital towards environmental quality in Ghana: Insight from the novel dynamic ARDL simulation approach. *Energy Policy*, 176, 113514.

Ahakwa, I. (2024). Towards land degradation neutrality: Does green energy and green human capital matter?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 197, 114396.

Ahakwa, I., & Tackie, E. A. (2024). Natural resources as a double-edged sword towards ecological quality: Can environmental regulations and green human capital rectify the adverse impacts?. *Journal of Cleaner Production*, 457, 142436.

Ahakwa, I., Tackie, E. A., Tackie, F. K., Mangudhla, T., Baig, J., ul Islam, S., & Sarpong, F. A. (2024). Greening the path to carbon neutrality in the post-COP26 era: Embracing green energy, green innovation, and green human capital. *Innovation and Green Development*, 3 (3), 100134.

Ahmad, M., Ahmed, Z., Yang, X., Hussain, N., & Sinha, A. (2022). Financial development and environmental degradation: do human capital and institutional quality make a difference?. *Gondwana Research*, 105, 299-310.

Aqib, M., & Zaman, K. (2023). Greening the workforce: the power of investing in human capital. *Archives of the Social Sciences: A Journal Of Collaborative Memory*, 1 (1), 31-51.

Aydin, M., Sogut, Y., & Altundemir, M. E. (2023). Moving toward the sustainable environment of European Union countries: Investigating the effect of natural resources and green budgeting on environmental quality. *Resources Policy*, 83, 103737.

Balsalobre-Lorente, D., Sinha, A., Driha, O. M., & Mubarik, M. S. (2021). Assessing the impacts of ageing and natural resource extraction on carbon emissions: a proposed policy framework for European economies. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126470.

Barak, D., Kocoglu, M., Jahanger, A., & Tan, M. (2024). Testing the EKC hypothesis for ecological and carbon intensity of well-being: The role of forest extent. *Science of the Total Environment*, 945, 173794.

Bekun, F. V., Alola, A. A., & Sarkodie, S. A. (2019). Toward a sustainable environment: Nexus between CO₂ emissions, resource rent, renewable and nonrenewable energy in 16-EU countries. *Science of the total Environment*, 657, 1023-1029.

Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *The review of economic studies*, 47 (1), 239-253.

Chen, S., Saud, S., Saleem, N., & Bari, M. W. (2019). Nexus between financial development, energy consumption, income level, and ecological footprint in CEE countries: do human capital and biocapacity matter?. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 31856-31872.

Chovancová, J., Petruška, I., Rovňák, M., & Barlák, J. (2024). Investigating the drivers of CO₂ emissions in the EU: Advanced estimation with common correlated effects and common factors models. *Energy Reports*, 11, 937-950.

Cutcu, I., Beyaz, A., Gerlikhan, S. G., & Kilic, Y. (2023). Is ecological footprint related to foreign trade? Evidence from the top ten fastest developing countries in the global economy. *Journal of Cleaner Production*, 413, 137517.

Çakar, N. D., Gedikli, A., Erdoğan, S., & Yıldırım, D. Ç. (2021). Exploring the nexus between human capital and environmental degradation: The case of EU countries. *Journal of Environmental Management*, 295, 113057.

Dai, J., Ahmed, Z., Alvarado, R., & Ahmad, M. (2024). Assessing the nexus between human capital, green energy, and load capacity factor: policymaking for achieving sustainable development goals. *Gondwana Research*, 129, 452-464.

Dogan, E., & Seker, F. (2016). Determinants of CO₂ emissions in the European Union: the role of renewable and non-renewable energy. *Renewable Energy*, 94, 429-439.

Dogan, E., Ulucak, R., Kocak, E., & Isik, C. (2020). The use of ecological footprint in estimating the environmental Kuznets curve hypothesis for BRICST by considering cross-section dependence and heterogeneity. *Science of the total environment*, 723, 138063.

Du, Q., Wu, N., Zhang, F., Lei, Y., & Saeed, A. (2022). Impact of financial inclusion and human capital on environmental quality: evidence from emerging economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (22), 33033-33045.

Dumitrescu, E. I., & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic modelling*, 29 (4), 1450-1460.

Dzwigol, H., Kwilinski, A., Lyulyov, O., & Pimonenko, T. (2023). The role of environmental regulations, renewable energy, and energy efficiency in finding the path to green economic growth. *Energies*, 16 (7), 3090.

Esquivias, M. A., Sugiharti, L., Rohmawati, H., Rojas, O., & Sethi, N. (2022). Nexus between technological innovation, renewable energy, and human capital on the environmental sustainability in emerging Asian economies: a panel quantile regression approach. *Energies*, 15 (7), 2451.

Ganda, F. (2022a). The environmental impacts of human capital in the BRICS economies. *Journal of the Knowledge Economy*, 13 (1), 611-634.

Ganda, F. (2022b). The nexus of financial development, natural resource rents, technological innovation, foreign direct investment, energy consumption, human capital, and trade on environmental degradation in the new BRICS economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (49), 74442-74457.

Grossman, G. M. & Krueger A. B.(1991). Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement, National Bureau of Economic Research.

Hao, L. N., Umar, M., Khan, Z., & Ali, W. (2021). Green growth and low carbon emission in G7 countries: how critical the network of environmental taxes, renewable energy and human capital is?. *Science of the Total Environment*, 752, 141853.

Hodžić, S., Šikić, T. F., & Dogan, E. (2023). Green environment in the EU countries: The role of financial inclusion, natural resources and energy intensity. *Resources policy*, 82, 103476.

Iorember, P. T., Jelilov, G., Usman, O., Işık, A., & Celik, B. (2021). The influence of renewable energy use, human capital, and trade on environmental quality in South Africa: multiple structural breaks cointegration approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 13162-13174.

Isiksal, A. Z., Assi, A. F., Zhakanov, A., Rakhmetullina, S. Z., & Joof, F. (2022). Natural resources, human capital, and CO2 emissions: Missing evidence from the Central Asian States. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (51), 77333-77343.

Jahanger, A., Yang, B., Huang, W. C., Murshed, M., Usman, M., & Radulescu, M. (2023). Dynamic linkages between globalization, human capital,

and carbon dioxide emissions: empirical evidence from developing economies. *Environment, development and sustainability*, 25 (9), 9307-9335.

Jebabli, I., Lahiani, A., & Mefteh-Wali, S. (2023). Quantile connectedness between CO2 emissions and economic growth in G7 countries. *Resources Policy*, 81, 103348.

Jena, P. K., Mujtaba, A., Joshi, D. P. P., Satrovic, E., & Adeleye, B. N. (2022). Exploring the nature of EKC hypothesis in Asia's top emitters: role of human capital, renewable and non-renewable energy consumption. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (59), 88557-88576.

Kahia, M., Omri, A., & Jarraya, B. (2021). Green energy, economic growth and environmental quality nexus in Saudi Arabia. *Sustainability*, 13 (3), 1264.

Kasman, A., & Duman, Y. S. (2015). CO2 emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: a panel data analysis. *Economic modelling*, 44, 97-103.

Khan, Y., Hassan, T., Tufail, M., Marie, M., Imran, M., & Xiuqin, Z. (2022). The nexus between CO2 emissions, human capital, technology transfer, and renewable energy: evidence from Belt and Road countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (39), 59816-59834.

Koçak, E., Ulucak, R., & Ulucak, Z. Ş. (2020). The impact of tourism developments on CO2 emissions: An advanced panel data estimation. *Tourism Management Perspectives*, 33, 100611.

Li, L., Li, G., Ozturk, I., & Ullah, S. (2023). Green innovation and environmental sustainability: Do clean energy investment and education matter?. *Energy & environment*, 34 (7), 2705-2720.

Lin, X., Zhao, Y., Ahmad, M., Ahmed, Z., Rjoub, H., & Adebayo, T. S. (2021). Linking innovative human capital, economic growth, and CO2 emissions: an empirical study based on Chinese provincial panel data. *International journal of environmental research and public health*, 18 (16), 8503.

Liu, H., Alharthi, M., Atil, A., Zafar, M. W., & Khan, I. (2022). A Non-Linear Analysis of the Impacts of Natural Resources and Education on Environmental Quality: Green Energy and its Role in the Future. *Resources Policy*, 79, 102940.

Liu, D., Wang, G., Sun, C., Majeed, M. T., & Andlib, Z. (2023). An analysis of the effects of human capital on green growth: effects and transmission channels. *Environmental Science and Pollution Research*, 30 (4), 10149-10156.

Ma, Y., Chen, S. C., & Ruangkanjanases, A. (2021). Understanding the antecedents and consequences of green human capital. *Sage Open*, 11 (1), 2158244020988867.

Ma, F., Saleem, H., Ding, X., Nazir, S., & Tariq, S. (2024). Do natural resource rents, green technological innovation, and renewable energy matter for ecological sustainability? Role of green policies in testing the environmental kuznets curve hypothesis. *Resources Policy*, *91*, 104844.

Mahalik, M. K., Mallick, H., & Padhan, H. (2021). Do educational levels influence the environmental quality? The role of renewable and non-renewable energy demand in selected BRICS countries with a new policy perspective. *Renewable Energy*, *164*, 419-432.

Mahmood, N., Wang, Z., & Hassan, S. T. (2019). Renewable energy, economic growth, human capital, and CO₂ emission: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*, 20619-20630.

Mehmood, U. (2022). Environmental degradation and financial development: do institutional quality and human capital make a difference in G11 nations?. *Environmental Science and Pollution Research*, *29* (25), 38017-38025.

Nathaniel, S. P., Yalçiner, K., & Bekun, F. V. (2021). Assessing the environmental sustainability corridor: Linking natural resources, renewable energy, human capital, and ecological footprint in BRICS. *Resources Policy*, *70*, 101924.

Ni, L., Ahmad, S. F., Alshammari, T. O., Liang, H., Alsanie, G., Irshad, M., ... & Ayassrah, A. Y. B. A. (2023). The role of environmental regulation and green human capital towards sustainable development: The mediating role of green innovation and industry upgradation. *Journal of Cleaner Production*, *421*, 138497.

Ozcan, B. (2013). The nexus between carbon emissions, energy consumption and economic growth in Middle East countries: a panel data analysis. *Energy policy*, *62*, 1138-1147.

Pata, U. K., Caglar, A. E., Kartal, M. T., & Depren, S. K. (2023). Evaluation of the role of clean energy technologies, human capital, urbanization, and income on the environmental quality in the United States. *Journal of Cleaner Production*, *402*, 136802.

Pedroni, P. (2000). Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels. *Advanced in Econometrics*, *15*, 93-130.

Peng, W., Xu, J., & He, Z. (2023). The impact of human capital on green economic efficiency: evidence from 280 prefectural cities in China. *Environmental Science and Pollution Research*, *30* (28), 72415-72429.

Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. Cambridge Working Papers. *Economics*, *1240* (1), 1.

Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of applied econometrics*, *22* (2), 265-312.

Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of econometrics*, 142 (1), 50-93.

Pesaran, M. H., Ullah, A., & Yamagata, T. (2008). A bias-adjusted LM test of error cross-section independence. *The econometrics journal*, 11 (1), 105-127.

Saqib, N., Ozturk, I., Usman, M., Sharif, A., & Razzaq, A. (2023). Pollution haven or halo? How European countries leverage FDI, energy, and human capital to alleviate their ecological footprint. *Gondwana Research*, 116, 136-148.

Sarkodie, S. A., Adams, S., Owusu, P. A., Leirvik, T., & Ozturk, I. (2020). Mitigating degradation and emissions in China: the role of environmental sustainability, human capital and renewable energy. *Science of the Total Environment*, 719, 137530.

Shahnazi, R., & Shabani, Z. D. (2021). The effects of renewable energy, spatial spillover of CO2 emissions and economic freedom on CO2 emissions in the EU. *Renewable Energy*, 169, 293-307.

Sheraz, M., Deyi, X., Ahmed, J., Ullah, S., & Ullah, A. (2021). Moderating the effect of globalization on financial development, energy consumption, human capital, and carbon emissions: evidence from G20 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 35126-35144.

Slathia, P., Vashishtha, A., Jena, P. K., & Sahu, P. K. (2024). Examining the dynamic impact of carbon emissions, renewable energy and economic growth on healthcare expenditure in Asian countries. *Heliyon*, 10, e30136.

Stock, J. H., & Watson, M. W. (1993). A simple estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems. *Econometrica*, 61(4), 783-820.

Tao, H., Tao, M., & Wang, R. (2022). Do education human capital and environmental regulation drive the growth efficiency of the green economy in China?. *Sustainability*, 14 (24), 16524.

Wang, B., Yan, C., Iqbal, N., Fareed, Z., & Arslan, A. (2022). Impact of human capital and financial globalization on environmental degradation in OBOR countries: Critical role of national cultural orientations. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (25), 37327-37343.

Wang, Q., Zhang, F., & Li, R. (2023). Revisiting the environmental kuznets curve hypothesis in 208 counties: The roles of trade openness, human capital, renewable energy and natural resource rent. *Environmental Research*, 216, 114637.

Westerlund, J. (2008). Panel cointegration tests of the Fisher effect. *Journal of Applied Econometrics*, 23 (2), 193-233.

World Health Organization. (2022). Billions of people still breathe unhealthy air: new WHO data. *World Health Organization*, 4.

Zafar, M. W., Shahbaz, M., Sinha, A., Sengupta, T., & Qin, Q. (2020). How renewable energy consumption contribute to environmental quality? The role of education in OECD countries. *Journal of Cleaner Production*, 268, 122149.

Zhang, H., Chen, T., & Yu, Y. (2023). From finance to sustainability: Understanding the financial development-environment nexus with the environmental Kuznets curve in East-Asia and Pacific economies. *Borsa Istanbul Review*, 23 (6), 1448-1457.

Zhang, S., Xie, W., Sun, S., Wu, F., & Xue, Y. (2024). Nexus of green energy innovation, governance quality, and CO2 emissions in natural resource sector: The role of sustainable human development. *Resources Policy*, 88, 104493.