

## Yeşil İnovasyonun Enerji Verimliliğine Etkisi Üzerine Bir Panel Veri Analizi

Araştırma Makalesi /Research Article

Nazan ŞAHBAZ KILINÇ<sup>1</sup>

Efe Can KILINÇ<sup>2</sup>

**ÖZ:** Çıktı üretiminde daha az enerji kullanımını ifade eden enerji verimliliği; ülkelerin enerji bağımlılığını düşürmekte, daha yüksek refah seviyelerine ulaşmalarını mümkün kılmakta ve çevreyi daha az kirletici mekanizmaların devreye alınmasını sağlayarak çevre üzerindeki tahribatı azaltmaktadır. Enerji verimliliğinin ülkeler için öneminden yol çıkılarak bu çalışmada; OECD ülkeleri özelinde, 1995-2019 dönemi kapsamında, yeşil inovasyonun enerji verimliliği üzerindeki etkisi panel veri yöntemleri (ortalama grup tahmincisi) kullanılarak test edilmiştir. Elde edilen bulgular, yeşil inovasyonun göstergesi olarak belirlenen çevre ile ilgili alınan patentlerin sayısı, yenilenebilir enerji tüketimi ve kişi başına düşe gelir düzeyi arttıkça enerji verimliliğinin artacağını, buna karşın fosil yakıt tüketimi arttıkça enerji verimliliğinin azalacağını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeşil inovasyon, enerji verimliliği, panel veri analizi

**Jel Kodları:** Q43, Q50, C23

## A Panel Data Analysis on the Impact of Green Innovation on Energy Efficiency

**ABSTRACT:** Energy efficiency, which means less energy use in output production reduces the energy dependency of countries, enables them to reach higher levels of welfare, and decreases the damage on the environment by enabling less polluting mechanisms to be put into use. Based on the matter of energy efficiency for countries, in this study; the effect of green innovation on energy efficiency was tested using panel data methods (mean group estimator) in OECD countries for the period 1995-2019. The findings showed that energy efficiency will increase as green innovation, renewable energy consumption and per capita income level increase. On the other hand, it has been determined that as fossil fuel consumption increases, energy efficiency will decrease.

**Keywords:** Green innovation, energy efficiency, panel data analysis

**JEL Codes:** Q43, Q50, C23

Geliş Tarihi / Received: 05/05/2023

Kabul Tarihi / Accepted: 25/10/2023

<sup>1</sup> Doç. Dr., Kırıkkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü nkilinc@kku.edu.tr, orcid.org/0000-0003-1956-3965.

<sup>2</sup> Doç. Dr., Kırıkkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü efecankilinc@kku.edu.tr, orcid.org/0000-0002-3139-0684.

## 1. Giriş

Enerji verimliliği; enerji güvenliğini sağlayan, ekonomik gelişmeyi uyararak ve sera gazı emisyonlarını azaltarak önemli bir politika stratejisi olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle ülkeler kendi enerji politika ve programlarını oluştururken enerji verimliliğini sağlayacak mekanizmalara üst sıralarda yer vermektedir. Ülkeler ayrıca enerji verimliliği ile ilgili hedeflerine ulaşabilme konusunda yeşil teknoloji yatırımlarını geliştirebilmek için büyük ölçekli yatırımlara yönelmektedir (Sun, vd., 2019).

Birim enerji tüketimi başına ekonomik çıktı olarak ölçülen enerji verimliliğinin sağlanması, hem aynı miktar çıktı için daha az enerji harcamak hem de genelde enerji-yoğun büyümeden inovasyon odaklı kalkınmaya doğru bir ekonomik geçişi gösteren daha fazla çıktı için aynı miktar enerjiyi kullanmak ile mümkün olmaktadır (Yu, vd., 2022). Enerji verimliliğini sağlamanın yollarından birisi yeşil enerji dönüşümünü gerçekleştirmektir. Bu dönüşüm ise özellikle ekonomik büyüme nedeniyle ortaya çıkan; küresel ısınma, asit yağmurları ve çevre kirliliği gibi çevresel sorunların azaltılması için bir zorunluluk olarak görülmektedir. Bu dönüşümde yeşil teknolojik inovasyonlar önemli bir rol üstlenmektedir. Yeşil teknolojik inovasyon hem yeşil toplam faktör verimliliğine katkıda bulunmakta hem de çevre üzerindeki negatif etkileri baskılamaktadır (Wang, vd., 2021).

Enerji verimliliği çalışmaları Parker ve Liddle, (2017)'de ifade edildiği gibi, yüksek enerji verimliliğine yol açan bir teknolojik gelişme olup-olmadığını anlamak, hedeflenen enerji politikalarının belirlenen rotada olup-olmadığını belirlemek, enerji tüketimi ile ilgili ülkeler arası yakınsama sürecini enerji anlaşmaları bağlamında analiz etmek gibi konularda fikir edinmeyi sağlamaktadır. Bu doğrultuda bu çalışmada enerji verimliliğinin artırılmasında çevre ile ilgili teknolojik gelişmelerin (yeşil inovasyonun) etkisi ele alınmaktadır. Çalışmanın bu açıdan ilgili yazına katkısı; konu, yöntem ve kullanılan değişkenler itibarıyla şu şekilde ifade edilebilir: Yapılan yazın araştırmasında, yeşil inovasyonun enerji verimliliği üzerindeki etkisinin ekonometrik yöntemler kullanılarak test edildiği çalışma sayısının sınırlı olduğu görülmüştür. İkincisi, çalışmada kullanılan ekonometrik yöntem olan Eberhardt & Bond (2009) ile Eberhardt & Teal (2010) tarafından geliştirilen AMG tahmincisi; yatay-kesit bağımlılığı, eğim homojenliği, yapısal kırılma ve farklı seviyelerde durağan değişkenlerin olduğu durumlarda kullanılabilir ve bu yönüyle etkin sonuçlar verebilmektedir. Üçüncüsü, oluşturulan modellerde yeşil inovasyonun yanı sıra yazın araştırmalarından tespit edilmiş ve enerji verimliliği üzerinde etkili olduğu düşünülen; kişi başına düşen gelir, yenilenebilir enerji tüketimi, fosil yakıt tüketimi, doğrudan yabancı sermaye yatırımları, sabit sermaye yatırımları ve beşeri sermaye endeksi açıklayıcı değişken olarak yer almıştır. Bu bağlamda çalışma beş kısımdan oluşacak şekilde organize edilmiştir. İkinci kısımda enerji verimliliği ile yeşil inovasyon arasındaki ilişkiye, üçüncü kısımda bu ilişkiyi ekonometrik yöntemler kullanarak analiz eden çalışmaların özetine, dördüncü kısımda ise yeşil inovasyonun enerji verimliliği

üzerindeki etkisini test eden panel veri analizlerine yer verilmektedir. Son kısımda ise sonuç ve değerlendirme bulunmaktadır.

## 2. Enerji Verimliliği ve Yeşil İnovasyon

Enerji verimliliğinde artışın sağlanması endüstriyel yeniden yapılanma (geleneksel endüstrilerden yeni endüstrilere geçiş) ve teknolojik gelişme sayesinde mümkün olmaktadır. Ancak endüstriyel yeniden yapılanma yoluyla enerji verimliliğinin artırılması güç olabilmektedir. Bu nedenle, endüstriyel gelişimde yüksek enerji tüketimi ve yüksek kirlilik sorunlarını çözebilmek için daha gelişmiş teknolojilere ihtiyaç vardır. Bu noktada enerji yoğunluğunu azaltmanın, dolayısıyla enerji verimliliğini arttırmanın en güvenilir yollarından bir tanesi inovasyon-güdümlü kalkınma stratejileridir. Bu stratejilerin başarıya ulaşmasında teknolojik inovasyon yeteneği<sup>3</sup> ve enerji verimliliği ise önemli göstergelerdir (Wang ve Wang, 2020: 1-2).

Teknolojik gelişme; petrol, doğalgaz ve diğer enerji kaynaklarının arzını iyileştirmekte ve kömür kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmakta, yeni enerjinin üretimini ve gelişimini kolaylaştırmakta, fosil yakıt tüketimini düşürebilme konusunda yeni temiz enerjinin sürekli olarak araştırılmasını desteklemekte ve enerji işleme verimliliğini arttırarak enerji kullanımını optimize etmektedir. Teknolojik inovasyon yoluyla enerji türlerinin farklı bileşimleri optimize edilebilmekte ve enerji kaynakları optimal şekilde üretim sürecine dahil edilebilmektedir. Teknolojik inovasyon ayrıca; yeni enerji teknolojisi, akıllı imalat teknolojisi, enformasyon teknolojisi ve yapay zekâ gibi düşük karbonlu yeşil endüstrilerin gelişimini sağlayarak endüstriyel yapıların iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır (Ma ve Cao, 2021)<sup>4</sup>.

Yeşil teknoloji inovasyonları etkileri bakımından; enerji tasarrufu, emisyon azaltımı ve çevre kalitesini geliştirme olmak üzere üç grupta incelenebilir. Kaynak verimliliğini sağlayan bu inovasyonlar; yakıt kaybını azaltarak, yakıt ve oksijeni yoğun bir şekilde karıştırarak ve katkı maddelerinin etkinliğini arttırarak aynı miktarda enerji girdisiyle daha fazla enerji üretirler ve bu sayede enerji tasarrufu

<sup>3</sup> Teknolojik inovasyon yeteneği, ihtiyaçların karşılanması noktasında beklenmeyen teknolojik değişime ayak uydurma, yeni ürünler geliştirme ve yeni teknolojik süreçleri kullanma konularındaki yetenekleri ifade etmektedir (Ince, vd., 2016: 765). Bir firmanın teknolojik inovasyon yeteneği; AR-GE, öğrenme, stratejik planlama, inovasyon yapma ve pazarlama yetenekleri bağlamında ele alınmaktadır (Bil & Özdemir, 2021: 362).

<sup>4</sup> Teknolojik inovasyonun özellikle yeni temiz enerji üretimine katkı sağladığı tezine ilişkin somut örnekler verilebilir. Solarin vd. (2022) tarafından BRICS ülkelerinde 1993-2018 dönemi kapsamında teknoloji inovasyonlarının yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkilerini panel veri yöntemleri (kantil regresyon) kullanılarak yapılan çalışmada, yenilenebilir enerji inovasyonları arttıkça yenilenebilir enerji üretiminin de arttığı gözlenmiştir. Benzer bir şekilde, Khan ve Su (2023) tarafından G10 ülkelerinde teknolojik inovasyonun yenilenebilir enerji geçişi üzerindeki etkilerinin panel veri yöntemleri (ARDL) kullanılarak araştırıldığı çalışmada da teknolojik inovasyonun yenilenebilir enerji geçişine katkı sağladığı yönünde kanıtlar elde edilmiştir.

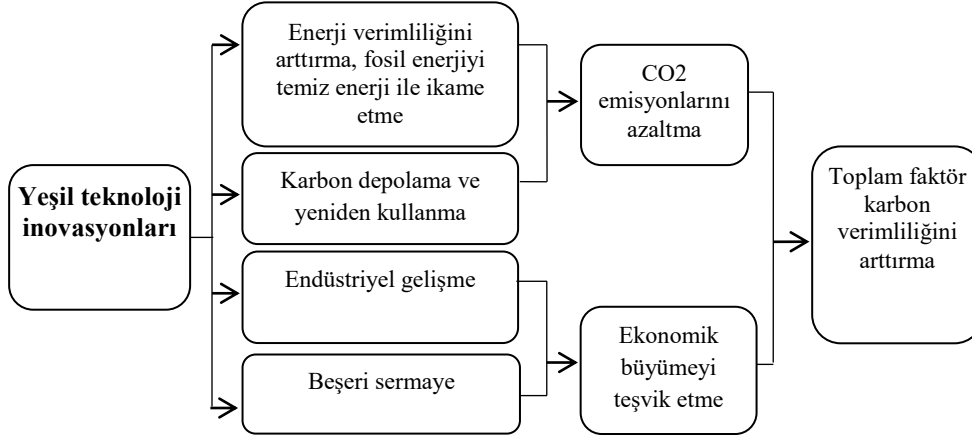
sağlarlar. Fosil yakıtlara alternatif olarak geliştirilen yenilenebilir enerji teknolojileri emisyonun azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca yeşil teknoloji inovasyonları su arıtma ve hava temizleme işlemlerinde etkinliği arttırmak suretiyle doğrudan çevre kalitesini iyileştirebilmektedir (Fei, vd., 2016: 166-167). Yeşil teknoloji inovasyonlarının en önemli faydası, maliyeti daha düşük ve daha performanslı teknolojilerin geliştirilmesi suretiyle CO<sub>2</sub> emisyonlarını düşürmenin maliyetini azaltmaya yardımcı olmasıdır<sup>5</sup> (Du ve Li, 2019: 240-241).

Yeşil teknoloji inovasyonları enerji verimliliğini uyarmakta, enerji verimliliğinin uyarılmasıyla fosil yakıt tüketimi ithalatı ve karbon emisyonları azalmakta, bir başka ifadeyle karbon verimliliği artmaktadır (Safi, vd., 2022: 5 ; Wahab, vd., 2021: 1887-1888). Belirli bir dönemdeki GSYH düzeyinin aynı dönemdeki karbon emisyonlarına oranı olan karbon verimliliği, ekonomik büyüme ile karbon azaltımı arasındaki koordinasyon düzeyini yansıtmaktadır. Bir bölgenin karbon verimliliğinin yüksek olması, o bölgenin ekonomik ve sosyal kalkınma açısından rekabet avantajına sahip olduğu anlamına gelmektedir (Cui, vd., 2023: 15952). Toplam Faktör Karbon Verimliliği (TFKV) ise enerji tasarrufu ve karbon emisyonu azaltımı kısıtları altındaki toplam faktör verimliliğini göstermektedir. TFKV, bir bölgenin iklim değişikliğiyle başa çıkma konusundaki çabalarını ve etkinliğini ölçmek için kullanılmaktadır. TFKV'nin artırılması ile mümkün olduğunca karbon emisyonları azalmakta, faktör girdisindeki azalma (enerji verimliliğinin artması) sonucunda beklenen çıktı düzeyi yükselmektedir. TFKV, karbon emisyonunun azaltılması kısıtı altında toplam faktör üretimi fonksiyonuna bağlı olarak ölçülmektedir (Li ve Lui, 2022: 3; Du ve Li, 2019: 241). Bu fonksiyon şu şekilde formüle edilebilir:  $D(K, L, Y, C) = \sup\{\theta: K, L, Y, C/\theta\} \in P$ . Denklemden K sermayeyi, L emeği, Y reel GSYH düzeyini, C karbon emisyonunu ve P ise üretim teknolojisini temsil etmektedir (Du ve Li, 2019: 242-243).

Şekil 1'de yeşil teknoloji inovasyonlarının TFKV'ni sağlamada üstlendiği roller gösterilmektedir. Yeşil teknoloji inovasyonları; enerji kullanım verimliliğini arttırmakta, üretimde fosil yakıt yerine yeşil enerji kullanımını sağlamakta ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını düşürmektedir. Bu inovasyonlar karbon yakalama ve yeniden kullanım gibi teknikleri geliştirerek karbon emisyonlarını azaltıcı etki oluşturmaktadır. Üçüncü olarak yeşil teknoloji inovasyonları ekonomik büyümeyi teşvik eden düşük katma değerli endüstrilerden yüksek katma değerli endüstrilere geçişi temin ederek endüstriyel gelişimi sağlayabilmektedir. Son olarak bu inovasyonlar ekonomik büyümenin itici güçlerinden olan beşeri sermayeyi geliştirebilmektedir (Du ve Li, 2019: 241).

<sup>5</sup> Örneğin, Jiang, vd. (2022) tarafından BRICS ülkeleri için çevre ile ilgili teknolojilerin (yeşil inovasyonun) tüketim kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkilerinin panel veri yöntemleri (Driscoll ve Kraay tahmincisi ile Dinamik Ortak Korelasyonlu Etkiler tahmincisi) kullanılarak test edildiği çalışmada yeşil inovasyonun CO<sub>2</sub> emisyonunu azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Şekil 1:** Yeşil Teknoloji İnovasyonlarının Toplam Faktör Karbon Verimliliği Üzerindeki Potansiyel Etki Kanalları



**Kaynak:** Du ve Li, 2019: 241.

### 3. Yazın İncelemesi

Enerji verimliliği sayesinde birim çıktı başına daha az enerji kullanıldığından çevre kirliliğinin azalması mümkün olabilmektedir. Enerji verimliliğinin sağlanmasında ise yeşil inovasyonun önemi her geçen gün artmaktadır. Bu durumu konu edinen çalışmalar-Yasmeen, vd., (2023), Khan, vd., (2023), Wu, vd. (2022), Yassin vd., (2022), Chakraborty ve Mazzanti (2020), Wurlod ve Noailly (2018), Chen, vd. (2016)- incelendiğinde, genel olarak bir ülkedeki veya bölgedeki yeşil inovasyon düzeyinin yükselmesiyle enerji verimliliğinin artırılabilirliği (enerji yoğunluğunun azaltılabileceği) yönünde bulguların ortaya konduğu görülmüştür. Teknolojik inovasyonların enerji verimliliği (enerji yoğunluğu) üzerindeki etkilerine yönelik yapılmış çalışmalarda -Santra (2017), Koilo, vd. (2022), Sun, vd., (2019)- benzer bulgulara erişilmiştir. Diğer taraftan, yeşil inovasyon ile toplam enerji ve toplam faktör karbon verimliliği ilişkisi üzerine çalışmalar-Du ve Li (2019), Wang ve Wang (2020), Zhang ve Vigne (2021)- yapıldığı da gözlemlenmiştir. Bu çalışmalarda gerek yeşil gerekse teknolojik inovasyonların enerji verimliliğini arttırdığı belirlenmiştir. Yeşil inovasyonun enerji verimliliği arttırdığına ilişkin kanıtların ortaya konduğu bu çalışmaların yanında Margues (2021) tarafından yapılmış çalışmada, eko-inovasyonun enerji verimliliğini azalttığı yönünde bulgular elde edildiği görülmüştür. Aşağıda bu çalışmaların özeti sunulmuştur.

Chen, vd. (2016), Çin’de bulunun 29 bölge için yeşil teknoloji inovasyonunun enerji yoğunluğu üzerindeki etkilerini 1999-2010 dönemi kapsamında panel eşbütünleşme ve nedensellik yöntemleri kullanılarak test etmişler, yeşil teknoloji inovasyonunun enerji yoğunluğu üzerinde negatif etkili olduğunu ve yeşil teknoloji inovasyonu ile enerji yoğunluğu arasında iki yönlü nedensellik ilişkisi olduğunu belirlemişlerdir.

Santra (2017), BRICS ülkelerinde 2005-2012 dönemi için teknolojik inovasyonun enerji verimliliği ile CO<sub>2</sub> emisyonu verimliliği üzerindeki etkilerini Panel Havuzlanmış Enküçük Kareler yöntemini kullanarak analiz etmiştir. Bulgular, enerji verimliliği üzerinde çevre ile ilgili inovasyonun ve yenilenebilir enerjinin, CO<sub>2</sub> enerji verimliliği üzerinde ise bunlara ilave olarak kişi başına reel GSYH'nin pozitif etkili olduğunu göstermiştir.

Wurlod ve Noailly (2018), OECD'ye üye 17 ülkeye ait 14 adet alt endüstriyel sektörde yeşil inovasyonun enerji yoğunluğu üzerindeki etkilerini translog maliyet fonksiyonu kullanarak tahmin etmişlerdir. Bulgular, yeşil inovasyonun endüstriyel sektörlerin büyük bir kısmında enerji yoğunluğunu azalttığını ortaya koymuştur.

Du ve Li (2019), 71 ülke kapsamında 1992-2012 dönemi için yeşil teknoloji inovasyonlarının toplam-faktör karbon verimliliği üzerindeki etkilerini Panel Sabit Etkili Stokastik Sınır Modeli'ni kullanarak test etmişlerdir. Bulgular bu ülkelerin tamamında ele alınan dönemde toplam faktör karbon verimliliğinin arttığını ve yeşil teknoloji inovasyonlarının sadece yüksek gelir seviyesine sahip ülke grubunda bu verimliliğinin artırılmasında pozitif etkili olduğunu göstermiştir.

Sun, vd. (2019), 71 gelişmiş ve gelişmekte olan ülke için 1990-2014 dönemine ait verilerden yola çıkarak, kurumsal kalitenin ve yeşil inovasyonun enerji verimliliği üzerindeki etkisini parametrik stokastik sınır yaklaşımı ile test etmişlerdir. Analizleri sonucunda hem kurumsal kalite hem de yeşil inovasyonun enerji verimliliğini pozitif etkilediği gözlemlenmiştir.

Sun, vd., (2021), inovasyon kapasitesi yüksek 24 ülke için 1994-2013 dönemi kapsamında, bilgi taşmaları ve teknolojik inovasyonun enerji verimliliği üzerindeki etkisini Panel Stokastik Sınır Analizi yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Bulgular, bilgi taşmaları ve teknolojik inovasyon göstergelerinin enerji verimliliği üzerinde pozitif etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Wang ve Wang (2020), Çin'de bulunan 284 şehir özelinde teknolojik inovasyonun toplam faktör enerji verimliliği üzerindeki etkisini statik ve dinamik panel veri yöntemleri (Sabit ve Rassal Etkiler Modeli, Sistem Genelleştirilmiş Momentler Metodu-GMM) kullanarak test etmişlerdir. Analizleri neticesinde teknolojik inovasyonun, endüstriyel yapının (ikincil endüstrinin katma değeri), ulaşım altyapısının ve ticari açıklığın toplam faktör enerji verimliliği üzerinde pozitif, reel kişi başına GSYH ve devlet müdahalesinin ise negatif etki bıraktığını tespit etmişlerdir.

Chakraborty ve Mazzanti (2020), OECD ülkeleri arasından seçili gelişmiş (sanayileşmiş) ülkeler özelinde, 1975-2014 dönemi kapsamında yeşil enerji inovasyonu ile enerji yoğunluğu arasındaki ilişkiyi panel veri yöntemleri (statik ve dinamik tahminciler ile Dumitrescu-Hurlin nedensellik testi) kullanarak test etmişlerdir. Bulgular enerji yoğunluğu ile yeşil enerji inovasyonu arasında negatif

bir ilişki olduğunu, ancak iki değişken arasında herhangi bir nedensellik ilişkisinin olmadığını göstermiştir.

Marques (2021), Avrupa Birliği (AB) ülkeleri özelinde, 1995-2016 döneminde, eko-inovasyonun enerji verimliliği ve CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkilerini panel ARDL modeli kullanarak test etmiş, analizleri sonucunda Güney bölgesi dışındaki AB bölgelerinde eko inovasyonun hem enerji hem de karbon verimliliği üzerinde negatif etkili olduğunu tespit etmiştir.

Pan, vd. (2021), Çin’de bulunan 30 bölge özelinde 2000-2016 dönemi için yeşil teknoloji taşmalarının enerji yoğunluğu üzerindeki etkilerini yumuşak geçişli panel regresyon modelini kullanarak analiz etmişlerdir. Analizler neticesinde bölgeler arasındaki yeşil teknoloji taşmalarının artmasıyla enerji yoğunluğunun azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca eşik değer analizlerinden yola çıkarak teknoloji benimseme düzeyi yüksek olan bölgelerde bu etkinin daha fazla olduğunu belirlemişlerdir.

Zhang ve Vigne (2021), Çin’de imalat sanayinde faaliyet gösteren firmalar özelinde 2000-2012 dönemi çerçevesinde inovasyon verimliliğinin yeşil verimlilik (toplam faktör karbon verimliliği) üzerindeki etkisini dinamik panel veri yöntemi (Sistem GMM) kullanarak test etmişlerdir. Analizleri sonucunda inovasyon verimliliği ve patent değişkenlerinin yeşil verimliliği pozitif etkilediğini gözlemlemişlerdir.

Koilo, vd. (2022), enerji verimliliği, teknolojik inovasyon ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi 2012-2020 dönemi kapsamında Avrupa’da bulunan 30 ülke için panel regresyon modeli kullanarak test etmişler, analizleri sonucunda teknolojik inovasyon düzeyinde meydana gelen artışların enerji verimliliğini arttırdığını tespit etmişlerdir.

Wu, vd. (2022), G7 ülkeleri kapsamında yeşil finansmanın ve eko-inovasyonun enerji yoğunluğu üzerindeki etkileri 1990-2020 dönemi için panel veri yöntemleri kullanılarak test etmişler, eko-inovasyon ile yeşil finansın seçili kantillerde enerji yoğunluğunu azalttığını gözlemlemişlerdir.

Yassin vd., (2022), yükselen piyasa ekonomileri örneğinde, yeşil inovasyon ile tarımsal üretimin çevresel performansının enerji yoğunluğu üzerindeki etkisini 2000-2018 dönemi verileri için panel veri yöntemleri (Dinamik Ortak Korelasyon Etkiler-DCCE) kullanarak incelemişlerdir. Analizleri sonucunda yeşil inovasyonun ve tarımsal üretimin çevresel performansının enerji yoğunluğu üzerinde negatif etkili olduğunu saptamışlardır.

Lin, vd. (2023), Çin’de bulunan 249 il düzeyinde 2011-2016 dönemi kapsamında panel regresyon modelini kullandıkları çalışmalarında yeşil teknolojik çeşitliliğinin ve yeşil teknolojilerin aktarımının enerji yoğunluğu üzerinde negatif etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Khan vd., (2023), Malezya örneğinde, 2004-2020 dönemi çerçevesinde, farklı finansal ürün ve hizmetlerin varlığı, erişilebilirliği ve kullanımının bir göstergesi olan finansal içerme (financial inclusion) düzeyi ile yeşil inovasyon ve beşeri sermayenin enerji verimliliği üzerindeki etkilerini kantil regresyon yöntemini kullanarak test etmişlerdir. Bulgular, finansal içerme düzeyi, yeşil inovasyon ve beşeri sermayenin enerji verimliliği üzerinde pozitif etki yaptığını göstermiştir.

Yasmeen vd., (2023), OECD ülkeleri kapsamında yeşil teknolojinin, çevresel vergilerin ve doğal kaynak kullanımı üzerindeki kiraların enerji verimliliği üzerindeki etkilerini Sistem GMM kullanarak analiz etmişlerdir. Analizleri sonucunda, enerji verimliliği üzerinde yeşil teknoloji ve çevresel verilerin pozitif, doğal kaynak kiralarının ise negatif etkili olduğunu gözlemlemişlerdir.

Literatür incelendiğinde, yeşil inovasyonun enerji verimliliği üzerindeki etkilerini test eden çalışmaların özellikle son dönemlerde yoğunlaştığı, OECD ülkeleri özelinde yapılan çalışmaların ise sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. Araştırma sonucunda, yeşil inovasyonun enerji verimliliği üzerindeki etkisi test edilirken kontrol değişkenlerinin bütünlük arz edecek bir araya getirilmesine ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda, yenilenebilir enerji tüketiminin yanında, fosil yakıt tüketimi, beşeri sermaye endeksi ve doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının enerji verimliliği üzerindeki etkilerinin de analiz edilmesine karar verilmiştir.

#### 4. Veri Seti, Model, Yöntem ve Bulgular

Bu kısımda, OECD ülkelerinde, 1995-2019 dönemi için yeşil inovasyonun ve yenilenebilir enerji kullanımının enerji verimliliğine olan etkisine yönelik yapılan panel veri analizlerine yer verilmektedir.

##### 4.1. Veri Seti ve Model

OECD ülkelerinde<sup>6</sup> yeşil inovasyonun enerji verimliliği üzerindeki etkisinin analiz edilmesinde kullanılan değişkenler Tablo 1'de sunulmuştur. Enerji verimliliği (LNEVER) bağımlı değişken, yeşil inovasyon (LNYINOV), kişi başına düşen gelir (LNKKBG), fosil yakıt tüketimi (FOSYT), yenilenebilir enerji tüketimi (YENT), doğrudan yabancı sermaye girişleri (DYY), beşeri sermaye endeksi (BSE) ve sabit sermaye oluşumu (SSO) değişkenleri ise açıklayıcı değişkenler olarak belirlenmiştir. Yeşil inovasyonu temsilen; Santra (2017), Wang vd. (2021), Marques (2021), Koilo vd. (2022), Wu, vd. (2022), Yassin (2022), Khan, vd. (2023), Yasmeen, vd., (2023) çalışmalarında olduğu gibi çevre ile ilgili alınan patent sayıları kullanılmıştır. Diğer açıklayıcı değişkenlerin seçiminde; Santra (2017), Sun, vd. (2019), Yılmaz ve Taşdemir (2020), Sun vd. (2021),

<sup>6</sup> Bu ülkeler; Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada, Şili, Kolombiya, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İzlanda, İrlanda, İsrail, İtalya, Japonya, Güney Kore, Lüksemburg, Meksika, Hollanda, Yeni Zelanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Slovak Cumhuriyeti, Slovenya, İspanya, İsveç, İsviçre, Türkiye, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri, Kosta Rika, Letonya ve Litvanya veri eksikliği nedeniyle analiz dışında bırakılmıştır.



Marques (2021), Wu, vd. (2022) ile Khan, vd. (2023) çalışmalarından yararlanılmıştır. Diğer yandan, Zhang ve Fu (2022)'yi takiben, yeşil teknolojik inovasyonların enerji verimliliği üzerindeki dolaylı etkilerini ortaya koyabilmek için DYY girişleri açıklayıcı değişkenlerden birisi olarak kullanılmıştır.

**Tablo 1:** Veri Seti

Değişken	Kısaltma	Tanım
Enerji Verimliliği	<i>LNEVER</i>	Enerji verimliliği, kullanılan enerji birimi başına üretilen GSYH cinsinden ekonomik çıktı olarak tanımlanmaktadır. Enerji yoğunluğunun tersi olan enerji verimliliği, toplam birincil enerji arzı birimi başına GSYH olarak hesaplanmaktadır. Enerji verimliliği, yapısal ve iklimsel faktörlere ilave olarak karbon ve diğer atmosferik emisyonları azaltma çabalarını göstermektedir (OECD, 2017: 144). Doğal logaritması kullanılmıştır.
Yeşil İnovasyon	<i>LNINOV</i>	Yeşil inovasyonu temsilen çevresel teknolojiler ile ilgili alınan patent sayıları kullanılmıştır. Doğal logaritması kullanılmıştır.
Kişi Başına Düşen Gelir	<i>LNKBG</i>	2015 yılı sabit fiyatlarıyla (dolar cinsinden) hesaplanmış GSYH'nin yıl ortası nüfusa oranıdır. Doğal logaritması kullanılmıştır.
Sabit Sermaye Oluşumu	<i>SSO</i>	Gayri safi sabit sermaye oluşumu, ekonominin sabit varlıklarına yapılan ek harcamalar ve stok seviyesindeki net değişikliklerin toplamından oluşmaktadır. GSYH'ye oranlanmıştır.
Beşeri Sermaye Endeksi	<i>BSE</i>	Okullaşma süresi ve eğitim getirisine dayalı olarak hesaplanan kişi başına düşen beşeri sermayedir. Endeks değeri arttıkça kişi başına düşen beşeri sermaye düzeyi de artmaktadır.
Yenilenebilir Enerji Tüketimi	<i>YENT</i>	Yenilenebilir enerji tüketimi, toplam enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin payını temsil etmektedir.
Fosil Yakıt Tüketimi	<i>FOSYT</i>	Fosil yakıtlardan kaynaklanan birincil enerji tüketiminin payıdır.
Doğrudan Yabancı Sermaye Girişleri	<i>DYY</i>	DYY, yatırımcının faaliyet gösterdiği ülkenin dışında bir ülkede faaliyet gösteren işletmede kalıcı bir yönetim payı elde etmek için yapmış olduğu net yatırım girişini temsil etmektedir. Bu gösterge ödemeler dengesinde gösterildiği gibi, özsermaye, kısa ve uzun vadeli sermaye ile kazançların yeniden yatırımının toplamından oluşmaktadır. GSYH'ye oranlanmıştır.

**Kaynak:** 1. World Bank Databank, World Development Indicators, 2. OECD, OECDstat, 3. Penn World Table Version 10.0.

Yeşil inovasyonun enerji verimliliği üzerindeki etkisinin test edilmesinde kullanılan panel veri modelleri Sun vd. (2019) referans alınarak şu şekilde oluşturulmuştur:

Model 1:

$$LNEVER_{it} = \beta_0 + \beta_1 LNINOV_{it} + \beta_2 LNKBG_{it} + \beta_3 SSO_{it} + \beta_4 BSE_{it} + \beta_5 FOSYT_{it} + u_{it}$$

Model 2:

$$LNEVER_{it} = \beta_0 + \beta_1 LNINOV_{it} + \beta_2 LNKBG_{it} + \beta_3 DYY_{it} + \beta_4 BSE_{it} + \beta_5 FOSYT_{it} + u_{it}$$

Model 3:

$$LNEVER_{it} = \beta_0 + \beta_1 LNYINOV_{it} + \beta_2 LNKBG_{it} + \beta_3 SSO_{it} + \beta_4 BSE_{it} + \beta_5 YENT_{it} + u_{it}$$

Model 4:

$$LNEVER_{it} = \beta_0 + \beta_1 LNYINOV_{it} + \beta_2 LNKBG_{it} + \beta_3 DYY_{it} + \beta_4 BSE_{it} + \beta_5 YENT_{it} + u_{it}$$

Model 5:

$$LNEVER_{it} = \beta_0 + \beta_1 LNYINOV_{it} + \beta_2 LNKBG_{it} + \beta_3 SSO_{it} + \beta_4 BSE_{it} + u_{it}$$

Modeller oluşturulurken dikkate alınan hususlar şu şekilde ifade edilebilir: Doğrudan yabancı sermaye yatırımları hem sabit sermaye yatırımlarını finanse etmek hem de bir şirketteki açığı kapatmak veya borcu ödemek için kullanılabilir. Bu nedenle doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının her zaman sabit sermaye oluşumuna dâhil olmadığı ifade edilmektedir (World Bank, 2023). Dolayısıyla doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının sabit sermaye oluşumuna dahil edilip-edilmediği tam olarak bilinemediğinden bu iki değişkenin ayrı modellerde kullanılmasına karar verilmiştir. Diğer taraftan, ülkeler enerji bileşimlerinde fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarını ikame ettiğinden (York, 2012: 441), bir başka ifadeyle yenilenebilir enerji tüketimi artarken fosil yakıt tüketimi azaldığından (vice-versa), ayrı modellerde yer almaları sağlanmıştır.

#### 4.2. Yöntem

Yatay kesit bağımsızlığı, eğitim homojenliği ve durağanlığa ilişkin sıfır hipotezi reddedildiğinde uzun dönemli etkilerin tahmin edilmesinde en iyi yöntemler, Pesaran (2006) tarafından geliştirilen Ortak İlişkili Etkiler-Ortalama Grup (Common Correlated Effects Mean Group-CCEMG) ile Eberhardt ve Teal (2010) tarafından geliştirilen Genişletilmiş Ortalama Grup (Augmented Mean Group-AMG) tahmincileridir. CCEMG tahmincisi, panel birimleri arasında heterojen etki ile birlikte yatay kesit bağımlılığına ve zamanla değişen gözlenemeyen faktörlere izin vermektedir. Bu tahminci, her bir birime EKK yöntemini uygularken bağımlı ve bağımsız değişkenlerin yatay kesit ortalamalarını ilave açıklayıcı değişkenler olarak kullanmaktadır. Kısa-dönem dinamiklerine karşı dirençli bir tahminci olan CCEMG; olası yapısal kırılmaları, birim kök sürecini, eşbütünleşik olmayan ortak faktörleri ve belirli ardışık bağıntıyı dikkate almaktadır (Lee, vd., 2020: 31).

CCEMG tahmincisi, bağımlı ve açıklayıcı değişkenlerin yanında gözlenen ortak faktörlerin yatay kesitsel ortalamalarının doğrusal bileşimini kullanmakta, ardından her bir birime ait katsayı EKK yardımıyla tahmin edilmektedir. AMG tahmincisi ise gözlenemeyen ortak dinamik faktörü tahmin etmek için iki aşamalı bir yöntem uygulamakta ve ortak dinamik etki parametresini kullanarak yatay kesit bağımlılığına izin vermektedir (Atasoy, 2017: 737). Dolayısıyla AMG tahmincisi, ortak dinamik sürece göre ayarlanmış birimlere ait katsayı üretme yeteneği sayesinde CCEMG tahmincisine göre daha esnek bir yapıya sahiptir.

Ayrıca, sıkıcı/bezdirici/istenmeyen parametreler (nuisance parameters)<sup>7</sup> üreten CCEMG tahmincine göre AMG tahmincisinin üstün yanı, panel kapsamında yer alan gözlenemeyen faktörlere ilişkin anlamlı ekonomik yorumlar sağlamasıdır (Badmus, vd., 2022: 5). CCEMG tahmincisi gibi yatay kesit bağımlılığı ve eğitim heterojenliğine karşı dirençli sonuçlar üreten AMG tahmincisinin (Le ve Bao, 2020: 245) ayrıca Monte Carlo simülasyonlarında farklı yatay kesit (N) ve zaman boyutu (T) durumlarında da etkin ve sapmasız olduğu gösterilmiştir (Le, 2020: 5).

Pesaran (2006) CCEMG tahmincisine alternatif olarak geliştirilen AMG tahmincisi, bir makro üretim fonksiyonu tahminine dayanmaktadır. CCEMG tahmincisinde bir sorun olarak görülen gözlenemeyen ortak faktör, ampirik analizlerde hesaba katılması gereken bir unsurdur. Ancak, ülkeler arası üretim fonksiyonlarında gözlenemeyen faktörler Toplam Faktör Verimliliği (TFV)'ni temsil etmektedir (Eberhardt, 2012: 64).

AMG tahmincisi üç adımda uygulanmaktadır:

1. Yıllara ait yapay değişkenler kullanılarak genişletilen havuzlanmış bir regresyon modeli birinci fark  $(T - 1)$  En küçük Kareler Tahmincisi (EKK) kullanılarak tahmin edilmekte, akabinde farklı alınmış yıllara ait yapay değişkenler  $(\Delta D_t)$  üzerindeki katsayılar  $(\hat{\mu}_t)$  toplanmaktadır. Bu yapay değişkenler, gözlemlenemeyen TFV'nin zaman içindeki gelişiminin tahmini bir gruplar arası ortalamasını göstermektedir. Buna ortak dinamik süreç denilmektedir:

$$\Delta y_{it} = b' \Delta \psi_{it} + \sum_{t=2}^T c_t \Delta D_t + e_{it} \quad \Rightarrow \hat{c}_t = \hat{\mu}_t$$

2. Gruba-ait regresyon modeli TFV süreci ile genişletilmektedir. Bu süreç açık bir değişken olarak veya bağımlı değişkenden tahmin edilen sürecin çıkartılıp, birim katsayılı her grup birimine uygulanması yoluyla sağlanmaktadır. Ortalama Grup (MG) tahmincisi örneğinde olduğu gibi, her bir regresyon modelinin zamanla değişmeyen sabit etkileri (TFV düzeylerini) yakalayan kendi sabit terimi vardır:

$$y_{it} = a_i + b_i' \psi_{it} + c_i t + d_i \hat{\mu}_t + e_{it} \quad \Rightarrow \hat{b}_{AMG} = N^{-1} \sum_i \hat{b}_i$$

3. MG ve CCEMG tahmincilerinde olduğu gibi, gruba-özgü model parametrelerinin panel boyunca ortalaması alınmaktadır (Bond ve Eberhardt: 2013: 2-3; Eberhardt, 2012: 64). Bu çalışmada, CCEMG tahmincisine göre daha fazla avantaja sahip olduğundan, analiz yöntemi olarak AMG tahmincisi kullanılmıştır.

<sup>7</sup> Modele ilave edilmesi gereken, ancak analizlerin amacı ile ilgili veya anlamlı olmayan bu parametreler, modelle doğrudan ilgili parametrelerin sonuçlarını etkileyebilmektedir. Bu parametrelerin analizin odağı haline gelmesi durumunda ise kendileri de ilgi parametrelerine dönüşebilmektedirler (Şen ve Kaya, 2019: 81).

### 4.3. Bulgular

Bu kısımda, OECD ülkelerinde 1995-2019 dönemi için yeşil inovasyonun enerji verimliliği üzerindeki etkisine yönelik gerçekleştirilen ekonometrik analizlerin sonuçları sunulmaktadır.

Tablo 2’de değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler gösterilmektedir. Değişkenlerin normal dağılım özelliklerini yansıtan çarpıklık ve basıklık değerlerine bakıldığında; LNEVER, LNKBG, FOSYT ve BSE değişkenlerinin çarpıklık değerleri negatif olduğundan dağılımlarının negatif yönde sola, LNYINOV, SSO, YENT ve DYY değişkenlerinin çarpıklık değerleri pozitif olduğundan dağılımlarının pozitif yönde sağa çarpık olduğu görülmektedir. Basıklık değerlerine göre LNYINOV ve LNKBG değişkenlerinin basıklık değeri 3’ten küçük olduğundan dağılımları normal dağılıma göre basık, diğer değişkenlerin basıklık değerleri ise 3’ten büyük olduğundan dağılımları normal dağılıma göre sivridir.

**Tablo 2:** Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	LNEVER	LNYINOV	LNKBG	SSO	FOSYT	BSE	YENT	DYY
Ortalama	9,16	4,55	10,21	23,59	76,94	3,18	17,54	4,78
Medyan	9,20	4,65	10,42	23,17	81,99	3,27	12,25	2,59
Maksimum	10,32	9,26	11,63	54,70	99,97	3,89	81,07	86,48
Minimum	7,83	-1,77	8,27	11,89	16,46	1,85	0,44	-57,53
Std, Sapma	0,38	2,18	0,72	4,30	19,14	0,41	15,55	9,95
Çarpıklık	-0,47	0,05	-0,57	0,90	-1,12	-0,92	1,60	2,95
Basıklık	3,61	2,61	2,66	6,87	3,69	3,35	5,70	24,12
Jarque-Bera	45,34	5,86	51,36	651,73	198,61	125,28	631,41	17259,22
Olasılık	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gözlem	861	861	861	861	861	861	861	861

Ekonometrik analizlerde değişkenlerin durağanlık özellikleri ile ilgili farklı panel birim kök testleri uygulanmaktadır. Bu testler, panel birimlerinin korelasyonlu olup-olmama durumlarına yönelik farklı varsayımlara sahiptir. Bu nedenle panel birim kök testleri ile serilerin durağan olup-olmadıklarını incelemeyen önce panel birimleri arasındaki olası korelasyonlar, Pesaran (2004) tarafından geliştirilen ölçeklendirilmiş LM ve CD testleri kullanılarak araştırılmaktadır (Ağazade, 2021: 415).

OECD ülkeleri arasında ticaret ve bütünleşmiş finansal sistemler yoluyla bir bağlantı olduğundan, ortak şoklardan kaynaklanan eşzamanlı kaynak etkisinin ortaya çıkması beklenmektedir. Bu ortak şoklar, etkileri yatay-kesit birimleri içinde tutarlı olmasa dahi panel birimleri arasında bağımlılığa neden olabilmektedir (Ahmad, vd., 2021: 7531). Bu nedenle bu çalışmada yatay kesit birimleri arasındaki bağımlılık araştırılmış ve elde edilen bulgular Tablo 3’te verilmiştir. Yatay kesit bağımlılık testlerinin sıfır hipotezi “yatay kesitsel bağımlılık yoktur” şeklinde kurulmaktadır. Buna göre analizlerde kullanılan değişkenlerin tümü için kullanılan yatay kesit bağımlılık testleri %1 önem

düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu nedenle yatay kesit birimleri arasında bağımlılık olmadığını öne süren sıfır hipotezi reddedilmekte, tüm değişkenler için yatay kesit birimleri arasında bağımlılık olduğu kabul edilmektedir.

**Tablo 3:** Yatay Kesit Bağımlılığı (CD) Testleri

Değişken	Breusch-Pagan LM	Pesaran ölçeklendirilmiş LM	Sapması Düzeltilmiş LM	Pesaran (2004) CD
LNEVER	11293,37***	310,1302***	309,401***	96,64034***
LNINOV	10030,67***	273,5265***	272,7974***	98,28968***
LNKBG	11607,51***	319,2366***	318,5075***	104,5084***
YENT	8599,030***	232,0252***	231,2961***	57,10367***
DYY	1206,520***	17,72707***	16,99790***	16,14719***
SSO	2766,701***	62,95447***	62,22531***	20,20116***
FOSYT	5811,134***	151,2082***	150,4790***	49,89983***
BSE	10453.37***	285.7800***	285.0508***	94.70839***

**Not:** H<sub>0</sub> hipotezi: Yatay kesitsel bağımlılık yoktur. \*\*\*: Katsayı %1 düzeyinde anlamlıdır.

Eğim katsayılarının homojen olup-olmadığı Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen Delta testi kullanılarak incelenmiş ve sonuçlar Tablo 4’te sunulmuştur. Delta testi sonuçlarına göre tüm modellerde gerek küçük gerekse de büyük örnekleme ait delta testi istatistikleri anlamlıdır. Bu nedenle modellerin tamamında eğim katsayılarının homojen olduğunu gösteren sıfır hipotezi reddedilmiş ve eğim katsayılarının heterojen olduğuna karar verilmiştir.

**Tablo 4:** Pesaran ve Yamagata (2008) Katsayı Homojenliği Testi

Model	Örneklem	Delta test ist.	Olasılık
<b>Model 1</b>	Delta_tilde: Büyük örneklem	22,665	0,000
	Delta_tilde_adj: Küçük örneklem	26,754	0,000
<b>Model 2</b>	Delta_tilde: Büyük örneklem	18,909	0,000
	Delta_tilde_adj: Küçük örneklem	22,355	0,000
<b>Model 3</b>	Delta_tilde: Büyük örneklem	25,856	0,000
	Delta_tilde_adj: Küçük örneklem	30,519	0,000
<b>Model 4</b>	Delta_tilde: Büyük örneklem	19,610	0,000
	Delta_tilde_adj: Küçük örneklem	23,184	0,000
<b>Model 5</b>	Delta_tilde: Büyük örneklem	24,147	0,000
	Delta_tilde_adj: Küçük örneklem	27,734	0,000

**Not:** H<sub>0</sub>: Eğim katsayıları homojendir.

Değişkenlerin eşbütünlük mertebelerini belirlemek üzere hem yatay kesit bağımlılığını hem de katsayı heterojenliğini dikkate alan (bu durumlarda birinci nesil testler doğru olmayan sonuçlar verebilmektedir) ve Pesaran (2007) CIPS (Cross-Sectionally Augmented- Im, Pesaran, Shin) birim kök testi kullanılmıştır (Amin, vd., 2022: 39243).

**Tablo 5:** Pesaran (2007) CIPS testi

<b>Değişken (Düzy)</b>	<b>Sabitli</b>	<b>Sabitli &amp; Trendli</b>
LNEVER	-2,16649**	-2,20383
LNINOV	-2,55809***	-2,84411**
LNKBG	-2,42883***	-2,80590**
YENT	-2,16072**	-2,88577***
DYY	-2,94707***	-2,75652**
SSO	-2,08288*	-2,48221
FOSYT	-2.42906***	-2.59599*
BSE	-2.00204	-2.23977
<b>Değişken (Birinci Farklar)</b>	<b>Sabitli</b>	<b>Sabitli &amp; Trendli</b>
DLNEVER	-4,13844***	-4,33963***
DSSO	-3,59048***	-4,08435***
DBSE	-1.70385	-2.61422*
<b>Değişken (İkinci Farklar)</b>	<b>Sabitli</b>	<b>Sabitli &amp; Trendli</b>
DDBSE	-4.59115***	-4.37491***

**Not:** Maksimum gecikme uzunluğu 3 olarak alınmıştır. \*\*\*: Katsayı %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. \*\*: Katsayı %5 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. \*: Katsayı %10 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır.

**Tablo 6:** AMG Tahmircisi Bulguları

<b>Model Değişken</b>	<b>(1) LNEVER</b>	<b>(2) LNEVER</b>	<b>(3) LNEVER</b>	<b>(4) LNEVER</b>	<b>(5) LNEVER</b>
LNINOV	0.0192*** (0.00615)	0.0165** (0.00753)	0.0104* (0.00594)	0.0113* (0.00643)	0.0174*** (0.00588)
LNKBG	0.510*** (0.102)	0.500*** (0.0772)	0.547*** (0.102)	0.572*** (0.0800)	0.451*** (0.102)
BSE	0.0538 (0.213)	0.0525 (0.195)	0.0629 (0.200)	0.0323 (0.150)	0.325* (0.176)
SSO	3.71e-05 (0.00133)		0.000226 (0.00118)		0.000518 (0.00140)
FOSYT	-0.00463** (0.00205)	-0.00548*** (0.00163)			
DYY		8.56e-05 (0.000408)		0.000176 (0.000591)	
YENT			0.00502** (0.00243)	0.00551** (0.00240)	
Sabit (C)	2.679* (1.573)	3.085*** (1.060)	1.700 (1.759)	1.394 (1.498)	2.964** (1.413)
Wald	39.64***	58.25***	36.29***	59.56***	31.60***
RMSE	0.0232	0.0228	0.0242	0.0233	0.0265
Gözlem	868	861	868	861	868
Yatay Kesit Sayısı	35	35	35	35	35

**Not:** RMSE: Ortalama kök kare hataları göstermektedir. \*\*\*: Katsayı %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. \*\*: Katsayı %5 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır.

Çalışmada, ülkeler arasında yatay kesit bağımlılığının olması ve eğim katsayılarının heterojen olması nedeniyle hem bu durumları hem de yapısal kırılmaları dikkate alan Eberhardt & Bond (2009) ile Eberhardt & Teal (2010) tarafından geliştirilen AMG tahmincisi kullanılmıştır. Yeşil inovasyonun ve yenilenebilir enerji tüketiminin enerji verimliliği üzerindeki etkisine yönelik kullanılan bu tahminciye ait sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur. Buna göre; yeşil inovasyon (LNYINOV), kişi başına düşen gelir (LNKKBG) ve yenilenebilir enerji tüketimi (YENT) değişkenleri pozitif, fosil yakıt tüketimi (FOSYT) değişkeni ise negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Beşeri sermaye endeksi (BSE), sabit sermaye yatırımları (SSO) ve doğrudan yabancı sermaye (DYY) değişkenleri ise istatistiksel olarak anlamsızdır.

Tahmin sonuçlarına göre, çevre ile ilgili alınan patentlerin sayısında, kişi başına düşen gelirden ve yenilenebilir enerji tüketim oranlarında meydana gelecek artışlar enerji verimliliğini arttırırken, fosil yakıt tüketiminde meydana gelecek artışlar ise enerji verimliliğini düşürmektedir.

## 5. Sonuç ve Değerlendirme

Birim enerji tüketimi başına ekonomik çıktı olarak hesaplanan enerji verimliliği sürdürülebilir ekonomik kalkınma hedefi için büyük önem arz etmektedir. Enerji verimliliği sayesinde daha az enerji tüketerek çıktı elde etmek mümkün hale gelmekte, bu sayede çevre üzerindeki baskı da hafifletilmektedir. Çünkü daha az enerji tüketildiğinde çevre daha az kirletilmektedir. Ne var ki Sanayi Devrimi'nden günümüze kadar olan dönemde ekonomik büyüme pahasına çevre genelde göz ardı edilmiş, buna mukabil başta küresel ısınma olmak üzere birçok çevresel sorun (ormansızlaşma, asit yağmurları, biyo-çeşitliliğin azalması vb.) ortaya çıkmıştır. Bu sorunların minimize edilebilmesi için gerek ülkeler gerekse de uluslararası kuruluşlar nezdinde hem yenilenemeyen hem de yenilenebilir enerji ile ilgili politikalar oluşturulmuş, stratejiler geliştirilmiş ve inisiyatifler (İklim Değişimi Çerçeve Sözleşmesi, Kyoto Protokolü, Paris Antlaşması gibi) alınmıştır. Çevresel tehditlerin azaltılması konusunda son dönemlerde popüler hale gelen yaklaşımlardan birisi de yeşil inovasyon faaliyetleri olmuştur. Yeşil inovasyon sayesinde hem enerji ve karbon verimliliği sağlanabilmekte hem de sera gazı salınımları azaltılabilmektedir. Bu durumun bilincinde olan ülkelerde özellikle çevre ile ilgili konularda inovasyon-temelli faaliyetlerin yürütülmesine yönelik çabaların düzeyinde artışlar gözlenmektedir.

Bu çalışmada, OECD ülkelerinde yeşil inovasyonun (çevre ile ilgili alınan patentlerin) enerji verimliliği üzerindeki etkisi panel veri yöntemleri kullanılarak test edilmiştir. Bu amaçla kurulan ekonometrik modeldeki değişkenler için yatay kesit bağımlılığı araştırılmış ve tüm değişkenlerin yatay kesit bağımlılığına sahip olduğu görülmüştür. Sonrasında yatay kesit bağımlılığını dikkate alan birim kök testi ile değişkenlerin durağan olup-olmadığı test edilmiştir. Ayrıca katsayı homojenliği de test edilmiş, kurulan modellerde eğim katsayıların heterojen olduğu gözlenmiştir. Bu tespitlerin üzerine hem yatay kesit bağımlılığını hem de

katsayı homojenliğini dikkate alan, yapısal kırılmaların varlığında ve örneklem boyutu küçük olduğunda dahi etkin sonuçlar üreten AMG tahmincisi kullanılarak tahminler yapılmıştır. Bulgular; yeşil inovasyonun, kişi başına düşen gelirin ve yenilenebilir enerji tüketiminin pozitif, fosil yakıt tüketiminin ise negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir.

Dolayısıyla bu çalışmada OECD ülkelerinde enerji verimliliğinin artırılmasında; yeşil inovasyonun, ekonomik gelişmişliğin ve yenilenebilir enerji tüketiminin önemli olduğu ampirik olarak ortaya konulmuştur. Çalışmanın diğer önemli bir bulgusu da fosil yakıt tüketiminin enerji verimliliğini düşürmesi olmuştur. Yeşil inovasyonun enerji verimliliği üzerinde pozitif etki yaptığı yönünde elde edilen bulgu, Santra (2017), Khan vd., (2023), Yasmeen vd., (2023), Yassin vd., (2022), Wu, vd. (2022) ve Koilo, vd. (2022) çalışmalarından elde edilen bulgular ile örtüşmekte, Marques (2021) çalışmasındaki bulgulardan farklılık göstermektedir. Marques (2021) tarafından Avrupa Birliği'nde yer alan bölgeler için eko-inovasyonun enerji verimliliği üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada, kısa dönemde eko-inovasyonun (çevre teknolojileri ile ilgili alınan patentlerin) enerji verimliliği üzerinde negatif bir etki yaptığı tespit edilmiştir. Bu sonucun analiz edilen ülke gruplarıyla ilgili olduğu, Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde çevre ile ilgili alınan patentlerin enerji tüketimini değil, daha çok karbon emisyonunu azaltmaya dönük olduklarından böyle bir sonuçla karşılaşıldığı ifade edilmiştir.

Kişi başına gelirin enerji verimliliği üzerinde pozitif etkiye sahip olduğu yönünde elde edilen sonuçlar; Santra (2017), Sun, vd. (2019), Sun, vd. (2021), Lin, vd. (2023), Yassin (2022) ve Marques (2021) çalışmalarına ait sonuçlar ile aynı yöndedir. Diğer taraftan Wang ve Wang (2020) tarafından yapılan Çin'de bulunan 284 şehir için teknolojik inovasyonun enerji verimliliği üzerindeki etkilerine yönelik yapılan çalışmada ise kişi başına düşen gelirin enerji verimliliğini negatif etkilediği tespit edilmiştir. Ekonomik gelişmenin sanayileşme ve şehirleşmenin gelişimini hızlandırmak suretiyle enerji tüketimini teşvik ettiği, bunun da enerji arz ve talebinde dengesizliklere, istikrarsız enerji fiyatlarına ve makul olmayan bir enerji tüketim yapısına yol açtığı için, böyle bir sonucun ortaya çıkmış olabileceği belirtilmiştir.

Yenilenebilir enerji tüketiminin enerji verimliliğini arttırdığı gözlemlenmiştir. Santra (2017) ve Yılmaz ve Daşdemir (2020) çalışmalarında benzer bulgulara ulaşılmıştır.

Fosil yakıt tüketimi arttıkça enerji verimliliğinin azalacağı yönünde elde edilen bulgu, Yılmaz ve Daşdemir (2020) çalışmasındaki bulgular ile örtüşmektedir. Yenilenebilir enerjinin yanında fosil yakıtların da enerji verimliliği üzerindeki etkisin de ele alındığı sözkonusu çalışmada, fosil yakıtlar; petrol, kömür ve doğalgaz gibi alt bileşenlere ayrılmıştır. Analizler sonucunda bu kaynaklardan elde edilen elektriğin enerji verimliliğini negatif etkilediği gözlemlenmiştir.



Çalışmanın bulgularının gösterdiği gibi, enerji verimliliğini arttırmak isteyen ülkelerin yeşil teknoloji inovasyonlarına daha fazla ağırlık vermesi ve bu inovasyonların ortaya çıkışını kolaylaştırmak için fikri mülkiyeti koruyacak yasaları ve tedbirleri alması gerektiği söylenebilir.

Yeşil inovasyonlar ile ilgili olarak ayrıca;

- Ülke yönetimleri tarafından çevre ve ekonomik büyümeden ödün vermeksizin yeşil yatırımların artırılması konusunda; sübvansiyonlar, indirimler, tarife garantileri ve teşvikler gibi politika araçlarının kullanılması (Li, vd., 2022: 47815),
- Yeşil çevresel inovasyon üzerindeki kamusal harcamaların payının artırılması (Li, vd., 2022: 47815),
- Kentsel alanlarda yeşil dönüşümü teşvik eden çevresel düzenlemeleri etkin bir şekilde tasarımıyarak yeşil inovasyonun desteklenmesi (Zhang, vd., 2020: 7),
- Firmaların, yeşil AR-GE faaliyetlerini destekleyen çevresel yönetim sistemlerini benimsemeleri için teşvik edilmesi (Yan ve Zhang, 2020: 35877),
- Tedarik zinciri ve AR-GE faaliyetleri iş birlikleri yoluyla yeşil inovasyon teknolojisine ait bilgilerin farklı ülkeler veya bölgeler arasında yayılımının sağlanması (Long, vd., 2022: 1257) önerilebilir.

Ülkelerin enerji verimliliğini arttırmaları sağlayacak yollardan birisi de, bu çalışmanın bulgularının işaret ettiği gibi, yenilenebilir enerji tüketiminin enerji bileşimindeki payının artırılması, yani fosil yakıt tüketiminin payının düşürülmesidir. Çevre dostu olması, doğal kaynak zengini olmayan ülkelerin enerjiye olan bağımlılıklarını azaltması ve var olan stoklarının zamanla azalma göstermemesi nedeniyle ülkelerin enerji stratejilerini ve politikalarını şekillendiren yenilenebilir enerji tüketimi, aynı zamanda birim çıktı başına daha az enerji kullanımını mümkün hale getirerek ülke ekonomilerine önemli katkılar sağlamaktadır. Bu nedenle enerji verimliliğini arttırmak isteyen ülkelerin, yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla yatırım yapması ve bu kaynaklara yönelik teşvikleri artırması gerektiği söylenebilir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, yeşil inovasyonun toplam faktör enerji ve toplam faktör karbon verimliliği üzerindeki etkisi ele alınabilir. Bu doğrultuda önce toplam faktör enerji verimlilik düzeylerinin<sup>8</sup> hesaplanması, ardından yeşil inovasyonun verimlilik düzeyleri üzerindeki etkisi kontrol değişkenleri ile birlikte dinamik panel veri yöntemleri kullanılarak test edilebilir.

<sup>8</sup> Toplam faktör enerji verimliliğiyle ilgili detaylı bilgi için Ma ve Cao (2021) çalışmasına bakılabilir.

**Kaynakça**

Ağazade, Ş. (2021) Energy Productivity Convergence in Eastern European Countries: A Panel Data Approach, *Eastern European Economics*, 59(5), 407-422.

Ahmad, M., Shabir, M., Naheed, R., ve Shehzad, K. (2022). How Do Environmental Innovations and Energy Productivity Affect The Environment? Analyzing the Role of Economic Globalization. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(8), 7527-7538.

Amin, M., Zhou, S., ve Safi, A. (2022). The Nexus between Consumption-Based Carbon Emissions, Trade, Eco-Innovation, and Energy Productivity: Empirical Evidence From N-11 Economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(26), 39239-39248.

Atasoy, B. S. (2017). Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis Across The Us: Evidence From Panel Mean Group Estimators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7, 731-747.

Badmus, J. O., Bisiriyu, S. O., ve Alawode, O. S. (2022). Does COVID-19 Shock Endanger The Flows of FDI in OECD? Empirical Evidence Based on AMG Panel Estimator. *Future Business Journal*, 8(1), 1-14.

Bil, E. ve Özdemir, E. (2021). The Effect of Technological Innovation Capabilities on Companies' Innovation and Marketing Performance: A Field Study on Technopark Companies in Turkey. *Journal of Life Economics*, 8(3), 361-378.

Bond, S., ve Eberhardt, M. (2013). Accounting for Unobserved Heterogeneity in Panel Time Series Models. *University of Oxford*, 1-11.

Chakraborty, S. K., ve Mazzanti, M. (2020). Energy Intensity and Green Energy Innovation: Checking Heterogeneous Country Effects in the OECD. *Structural Change and Economic Dynamics*, 52, 328-343.

Chen, Y., Han, B., ve Liu, W. (2016). Green Technology Innovation and Energy Intensity in China. *Natural Hazards*, 84, 317-332.

Cui, S., Wang, Y., Xu, P. (2023). The Evolutionary Characteristics and Influencing Factors of Total Carbon Productivity: Evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 15951–15963.

Du, K., ve Li, J. (2019). Towards a Green World: How Do Green Technology Innovations Affect Total-Factor Carbon Productivity. *Energy Policy*, 131, 240-250.

Eberhardt, M. (2012). Estimating Panel Time-Series Models with Heterogeneous Slopes, *Stata Journal*, 12, 61–71.

Eberhardt, M., ve Bond, S., (2009). Cross-Section Dependence in Nonstationary Panel Models: A Novel Estimator. Nordic Econometrics Conference, Lund, October 29-31.

Eberhardt, M., ve Teal, F., (2010). Productivity Analysis in Global Manufacturing Production. Discussion Paper 515. <http://www.economics.ox.ac.uk/research/WP/pdf/paper515.pdf> (Erişim: 03.05.2023).

Fei, J., Wang, Y., Yang, Y., Chen, S., ve Zhi, Q. (2016). Towards Eco-City: The Role of Green Innovation. *Energy Procedia*, 104, 165-170.

Ince, H., Imamoglu, S. Z., ve Turkcan, H. (2016). The Effect of Technological Innovation Capabilities and Absorptive Capacity on Firm Innovativeness: A Conceptual Framework. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 235, 764-770.

Jiang, Q., Rahman, Z. U., Zhang, X., ve Islam, M. S. (2022). An Assessment of The Effect of Green Innovation, Income, and Energy Use on Consumption-Based CO2 Emissions: Empirical Evidence from Emerging Nations BRICS, *Journal of Cleaner Production*, 365, 1-7.

Khan, K., ve Su, C. W. (2023). Does Technology Innovation Complement The Renewable Energy Transition?. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(11), 30144-30154.

Khan, Z., Badeeb, R. A., Zhang, C., ve Dong, K. (2023). Financial Inclusion and Energy Efficiency: Role of Green Innovation and Human Capital for Malaysia. *Applied Economics*, 1-16.

Koilo, V., Honningdal G. O., ve Emblemşvag, J. (2022). The Interplay between Technological Innovation, Energy Efficiency, and Economic Growth: Evidence from 30 European Countries. *Problems and Perspectives in Management*, 20(3), 448-464.

Le, H. P. (2020). The Energy-Growth Nexus Revisited: The Role of Financial Development, Institutions, Government Expenditure and Trade Openness. *Heliyon*, 6(7), e04369.

Le, P. H., ve Bao, H. H. G. (2020). Renewable and Nonrenewable Energy Consumption, Government Expenditure, Institution Quality, Financial Development, Trade Openness, and Sustainable Development in Latin America and Caribbean Emerging Market and Developing Economies. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10 (1), 242-248.

Lee, C. C., Olasehinde-Williams, G., ve Akadiri, S. S. (2021). Geopolitical Risk and Tourism: Evidence from Dynamic Heterogeneous Panel Models. *International Journal of Tourism Research*, 23(1), 26-38.

Li, Y., Zhang, C., Li, S., ve Usman, A. (2022). Energy Efficiency and Green Innovation and Its Asymmetric Impact on CO<sub>2</sub> Emission in China: A New Perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-8.

Li, J., ve Liu, A. (2022). Impact of Urbanization on Total Factor Carbon Productivity in Central Asia. *Sustainability*, 14(22), 15379.

Lin, S., Long, X., Huang, J., ve Gao, R. (2023). Green Technology Diversification, Technology Vertical Spillovers, and Energy Intensity in Chinese Cities. *Energy for Sustainable Development*, 76, 101281.

Long, X., Sun, C., Wu, C., Chen, B., ve Boateng, K. A. (2020). Green Innovation Efficiency across China's 30 Provinces: Estimate, Comparison, and Convergence. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 25(7), 1243-1260.

Ma, T., ve Cao, X. (2021). FDI, Technological Progress, and Green Total Factor Energy Productivity: Evidence from 281 Prefecture Cities in China. *Environment, Development and Sustainability*, 1-31.

Marques, R. (2021). *Eco-Innovation Impact on CO<sub>2</sub> Emissions and Energy Productivity in EU Countries* (Doctoral dissertation, ISCTE-Instituto Universitario de Lisboa (Portugal)).

Pan, X., Wei, Z., Han, B., ve Shahbaz, M. (2021). The Heterogeneous Impacts of Interregional Green Technology Spillover on Energy Intensity in China. *Energy Economics*, 96, 105133.

Parker, S., ve Liddle, B. (2017). Analysing Energy Productivity Dynamics in the OECD Manufacturing Sector. *Energy Economics*, 67, 91-97.

Pesaran, M., (2007), A Simple Panel Unit Root Test in The Presence of Cross-Section Dependence. *J. Appl. Econ.* 22, 265–312.

Pesaran, M. H., ve Yamagata, T. (2008), Testing Slope Homogeneity in Large Panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93.

Safi, A., Chen, Y., ve Zheng, L. (2022). The Impact of Energy Productivity and Eco-Innovation on Sustainable Environment in Emerging Seven (E-7) Countries: Does Institutional Quality Matter?. *Frontiers in Public Health*, 10, 878243.

Santra, S. (2017) The Effect of Technological Innovation on Production-Based Energy and CO<sub>2</sub> Emission Productivity: Evidence from BRICS Countries, *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 9(5), 503-512.

Solarin, S. A., Bello, M. O., ve Tiwari, A. K. (2022). The Impact of Technological Innovation on Renewable Energy Production: Accounting for the Roles of Economic and Environmental Factors Using a Method of Moments Quantile Regression. *Heliyon*, 8(7).

Sun, H., Edziah, B. K., Sun, C., ve Kporsu, A. K. (2019). Institutional Quality, Green Innovation and Energy Efficiency. *Energy policy*, 135, 111002.

Sun, H., Edziah, B. K., Kporsu, A. K., Sarkodie, S. A., ve Taghizadeh-Hesary, F. (2021). Energy Efficiency: The Role of Technological Innovation and Knowledge Spillover. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120659.

Şen, H., ve Kaya, A. (2019). Alternatif Göstergeler Bazında Türkiye’de Optimal Kamu Kesimi Büyüklüğünün Tahmini. *Bankacılar Dergisi*, 109, 49-81.

Wahab, S., Zhang, X., Safi, A., Wahab, Z., ve Amin, M. (2021). Does Energy Productivity and Technological Innovation Limit Trade-Adjusted Carbon Emissions?. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 34(1), 1896-1912.

Wang, H., ve Wang, M. (2020). Effects of Technological Innovation on Energy Efficiency in China: Evidence from Dynamic Panel of 284 Cities. *Science of the Total Environment*, 709, 136172.

Wang, H., Cui, H., ve Zhao, Q. (2021). Effect of Green Technology Innovation on Green Total Factor Productivity in China: Evidence from Spatial Durbin Model Analysis. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125624.

World Bank (2023), Is Foreign Direct Investment (FDI) Included in Gross Fixed Capital Formation?, <https://datahelpdesk.worldbank.org/> (Erişim: 28.08.2023).

Wu, H., Fareed, Z., Wolanin, E., Rozkrut, D., ve Hajduk-Stelmachowicz, M. (2022). Role of Green Financing and Eco-Innovation for Energy Efficiency in Developed Countries: Contextual Evidence for Pre-and Post-COVID-19 Era. *Frontiers in Energy Research*, 10, 947901.

Wurlod, J. D., ve Noailly, J. (2018). The Impact of Green Innovation on Energy Intensity: An Empirical Analysis for 14 Industrial Sectors in OECD Countries. *Energy Economics*, 71, 47-61.

Yan, X., ve Zhang, Y. (2021). The Effects of Green Innovation and Environmental Management on the Environmental Performance and Value of a Firm: an Empirical Study of Energy-Intensive Listed Companies in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 35870–35879.

Yasmeen, R., Zhang, X., Tao, R., ve Shah, W. U. H. (2023). The Impact of Green Technology, Environmental Tax and Natural Resources on Energy Efficiency and Productivity: Perspective of OECD Rule of Law. *Energy Reports*, 9, 1308-1319.

Yassin, J., Yun, W. S., ve Jalim, R. A. B. (2022). Green Innovation, Agro-Environmental and Energy Intensity: Evidence from Emerging Economies. In *International Conference on Technology and Innovation Management (ICTIM 2022)* (pp. 18-30). Atlantis Press.

Yılmaz, G., ve Daşdemir, E. (2020). Renewable Energy Use and Energy Productivity: A Panel Data Analysis. *Journal of Sustainable Economics and Management Studies*, 1(1), 73-82.

York, R. (2012), Do Alternative Energy Sources Displace Fossil Fuels? *Nature Climate Change*, 2, 441-443.

Yu, Y., Chen, X., ve Zhang, N. (2022). Innovation and Energy Productivity: An Empirical Study of the Innovative City Pilot Policy in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 176, 121430.

Zhang, J., Kang, L., Li, H., Ballesteros-Pérez, P., Skitmore, M., ve Zuo, J. (2020). The Impact of Environmental Regulations on Urban Green Innovation Efficiency: The Case of Xi'an. *Sustainable Cities and Society*, 57, 102123.

Zhang, D., ve Vigne, S. A. (2021). How Does Innovation Efficiency Contribute to Green Productivity? A Financial Constraint Perspective. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124000.

Zhang, R., ve Fu, Y. (2022). Technological Progress Effects on Energy Efficiency from the Perspective of Technological Innovation and Technology Introduction: An Empirical Study of Guangdong, China. *Energy Reports*, 8, 425-437.