

## Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Belirleyicileri: G7 Ülkeleri ve Türkiye Örneğinde Çevresel Teknolojik İnovasyon, Ekonomik Büyüme, Karbon Emisyonlarının Rolü

Ayşe Eryer<sup>1</sup>

### Özet

Bu çalışmada G7-Türkiye örneğinde 2000-2021 dönemine ait verilerle çevresel teknolojik inovasyon, ekonomik büyüme, karbon emisyonu ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişki panel veri analizi yöntemiyle incelenmiştir. Panel genelinde, çevresel teknolojik inovasyon ekonomik büyüme ve karbon emisyonunun yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı, doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi ise istatistiksel olarak anlamsız elde edilmiştir. Ülke bazlı bakıldığında ise, katsayı ve anlamlılık düzeylerinde farklı bulgular bulunmuştur. Bu bağlamda, G7 ülkeleri ve Türkiye örneğinde yenilenebilir enerji tüketiminin artırılmasında çevresel teknolojik inovasyon ve ekonomik büyümenin belirleyici bir rol oynadığı, buna karşılık karbon emisyonlarındaki artışın yenilenebilir enerji kullanımını olumsuz yönde etkilediği ve doğrudan yabancı sermaye yatırımların bu süreçte anlamlı bir katkı sağlamadığı anlaşılmaktadır.

### 1. Giriş

İklim değişikliği, çevresel bozulma, karbon emisyonlarındaki artış ve enerji arz güvenliğine ilişkin sorunlar, ekonomik büyümenin niteliğinin yeniden tartışılmasına yol açmaktadır. Özellikle fosil yakıtlara dayalı üretim ve tüketim yapısının çevresel maliyetlerinin giderek daha görünür hâle gelmesi, ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye ve daha çevre dostu bir büyüme patikası izlemeye zorlamaktadır. Bu bağlamda yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme, karbon emisyonu ve çevresel teknolojik inovasyon arasındaki

1 Dr. Bağımsız Araştırmacı, ayse\_zabun46@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6556-1605>

ilişki, sürdürülebilir kalkınma tartışmalarının merkezinde yer almaktadır. Nitekim enerji tüketiminin büyüme süreciyle yakın biçimde bağlantılı olduğu ve bu ilişkinin ülke gruplarına göre farklılaşabildiği vurgulanmaktadır (Bozkaya & Aytekin, 2023).

Geleneksel yaklaşımlarda ekonomik büyüme çoğu zaman üretim artışı ve gelir genişlemesi üzerinden değerlendirilmiştir. Ancak günümüzde büyümenin çevresel sonuçları da en az ekonomik çıktıları kadar önem taşımaktadır. Çünkü büyüme süreci enerji talebini artırmakta; bu talebin hangi kaynaklardan karşılandığı ise çevresel kalite üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Ekonomik yapının dışı açıklık derecesi, küresel entegrasyon düzeyi ve üretim kompozisyonu bu süreci belirleyen temel unsurlar arasındadır. Bu nedenle küreselleşme ve büyüme dinamiklerinin ekonomik ve sosyal sonuçları kadar çevresel sonuçlarının da birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Çelik & Aytekin, 2023).

Ekonomik büyüme ile çevresel göstergeler arasındaki ilişkinin doğrusal olmaması, bu alanın çok boyutlu niteliğini daha da belirginleştirmektedir. Özellikle yenilenebilir enerji kullanımı, karbon emisyonları ve çevresel baskılar birlikte ele alındığında, gelir artışının her aşamada aynı çevresel sonucu doğurmadığı görülmektedir. Bu durum, büyümenin çevresel etkilerinin zamanla ve gelişmişlik düzeyine göre değişebildiğini göstermektedir. Nitekim yenilenebilir enerji kullanımının ekonomik gelişmenin belirli aşamalarında farklı yönlerde hareket edebileceği ve bu ilişkinin doğrusal olmayan bir yapı taşıyabileceği ortaya konulmuştur (Demir, 2025a). Benzer biçimde, ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonları üzerindeki etkilerinin tek boyutlu değil, çok katmanlı bir ilişki içinde şekillendiği de ifade edilmektedir (Demir, 2025c). Bu noktada çevresel teknolojik inovasyon kavramı özel önem taşımaktadır. Çevresel teknolojik inovasyon; enerji verimliliğini artıran, kaynak kullanımını optimize eden, karbon emisyonlarını azaltan ve daha temiz üretim süreçlerini teşvik eden yenilikleri ifade etmektedir. Dolayısıyla sürdürülebilir büyüme sürecinde yalnızca yenilenebilir enerji kullanımının artması değil, bu dönüşümü mümkün kılacak teknolojik kapasitenin de geliştirilmesi gerekmektedir. Çünkü üretimin niteliği, ticaretin yapısı ve teknolojik gelişme düzeyi, büyüme ile çevresel kalite arasındaki ilişkiyi doğrudan etkilemektedir. Özellikle ihracat kalitesi, büyüme ve karbon emisyonları arasındaki etkileşim, ekonomik genişlemenin çevresel sonuçlarının üretim yapısından bağımsız değerlendirilemeyeceğini göstermektedir (Özen Atabey vd., 2025). Benzer biçimde, ekonomik büyümenin toplumsal ve sektörel bileşenleri de çevresel sonuçların anlaşılmasında önem taşımaktadır. Büyümenin hangi sektörler üzerinden gerçekleştiği, istihdam yapısının nasıl şekillendiği ve gelir dağılımının bu süreçten nasıl etkilendiği, çevresel

sürdürülebilirlik tartışmalarıyla dolaylı fakat güçlü biçimde ilişkilidir. Özellikle sektörel yapının ekonomik performans üzerindeki belirleyiciliği, sürdürülebilir kalkınmanın yalnızca toplam çıktı artışıyla değil, yapısal dönüşümle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Özen Atabey & Karakuş, 2025).

Öte yandan büyüme süreçleri yalnızca enerji ve üretim yapısı üzerinden değil, aynı zamanda ekonomilerin kırılmalık düzeyi üzerinden de şekillenmektedir. Makroekonomik kırılmalıkların yüksek olduğu yapılarda büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasında daha hassas ve dengesiz ilişkiler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle çevresel kalite, enerji tüketimi ve ekonomik performans arasındaki ilişkilerin ülkeye özgü yapısal özelliklerle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Çin örneğinde makroekonomik kırılmalık ile büyüme arasında tespit edilen nedensellik ilişkisi de, ekonomik büyümenin daha geniş bir yapısal çerçeve içinde ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır (Baylan, 2020).

Yenilenebilir enerji tüketimi ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki ilişki de benzer biçimde çok boyutludur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması, karbon yoğun üretim yapısının dönüştürülmesi açısından önemli bir araçtır; ancak bu dönüşümün başarısı ülkelerin üretim yapısına, verimlilik dinamiklerine ve enerji karmasına bağlıdır. Nitekim tarımsal verimlilik, ekonomik büyüme ve karbon emisyonu arasındaki ilişkinin Türk Cumhuriyetlerinde farklı yönlerde işleyebilmesi, çevresel bozulmanın yalnızca enerji tüketimiyle değil, ekonomik faaliyetlerin niteliğiyle de bağlantılı olduğunu göstermektedir (Uçar vd., 2025a). Aynı şekilde BRICS ülkeleri üzerine yapılan bulgular da ekonomik büyüme ve enerji tüketiminin çevresel bozulma üzerindeki etkilerinin ülke gruplarına göre değişebildiğini ortaya koymaktadır (Uçar vd., 2025b).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında enerji dönüşümü ve çevresel kalite bakımından önemli yapısal farklılıklar bulunmaktadır. G7 ülkeleri yüksek gelir düzeyleri, ileri teknoloji kapasiteleri ve çevre politikaları açısından güçlü kurumsal yapılara sahipken; Türkiye gibi gelişmekte olan ekonomiler büyüme, enerji ihtiyacı ve çevresel sürdürülebilirlik arasında daha hassas bir denge kurmak zorundadır. Bu nedenle çevresel teknolojik inovasyon, ekonomik büyüme, karbon emisyonu ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkinin G7 ülkeleri ile Türkiye örneğinde birlikte incelenmesi önem taşımaktadır. Böyle bir karşılaştırma, yalnızca ülkeler arası farklılıkları göstermekle kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir büyüme ve enerji dönüşümüne ilişkin politika tercihlerinin hangi yapısal koşullarda daha etkili olabileceğine dair de önemli bulgular sunabilecektir.

Bu çalışma, çevresel teknolojik inovasyon, ekonomik büyüme, karbon emisyonu ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi G7 ülkeleri ve

Türkiye örneğinde inceleyerek, sürdürülebilir kalkınma literatürüne karşılaştırmalı ve çok boyutlu bir perspektif kazandırmayı amaçlamaktadır. Mevcut literatürde çoğu zaman ayrı eksenlerde değerlendirilen enerji, büyüme ve çevre göstergelerinin tek bir analiz çerçevesinde ele alınması, söz konusu değişkenler arasındaki etkileşimin daha kapsamlı biçimde anlaşılmasına olanak tanımaktadır. Çevresel teknolojik inovasyonun modele dâhil edilmesi, yenilenebilir enerji tüketiminin yalnızca ekonomik genişleme ve enerji talebiyle açıklanamayacağını, bu sürecin aynı zamanda teknolojik kapasite ve dönüşüm dinamikleriyle şekillendiğini göstermesi bakımından önem taşımaktadır. Ayrıca G7 ülkeleri ile Türkiye'nin birlikte incelenmesi, farklı gelişmişlik düzeylerine sahip ekonomilerde büyüme, enerji dönüşümü ve çevresel sürdürülebilirlik ilişkilerinin nasıl ayrıştığını ortaya koyarak çalışmanın analitik değerini artırmaktadır.

## **2.Literatür**

Çevresel teknolojik inovasyon, ekonomik büyüme, karbon emisyonu ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkiler, son yıllarda sürdürülebilir kalkınma literatürünün en yoğun çalışılan başlıklarından biri hâline gelmiştir. Bu kapsamda yapılan ampirik çalışmalar, farklı ülke grupları, dönemler ve ekonometrik yöntemler kullanarak söz konusu değişkenler arasındaki etkileşimi incelemekte; özellikle yeşil dönüşüm sürecinde teknolojik gelişmenin, enerji yapısının ve büyüme dinamiklerinin çevresel sonuçlar üzerindeki etkisini ortaya koymaya çalışmaktadır. Literatürde bir yandan yenilenebilir enerji kullanımının çevresel kaliteyi iyileştirdiğini gösteren bulgular öne çıkarken, diğer yandan ekonomik büyüme, dış yatırımlar ve karbon yoğun üretim yapısının bu ilişkiyi ülke gruplarına göre farklılaştırabildiği görülmektedir. Bu doğrultuda aşağıdaki tabloda, konuya ilişkin öne çıkan çalışmalar; örneklem grubu, kullanılan yöntem ve ulaşılan temel sonuçlar bakımından özetlenmiştir.

**Tablo 1. Çevresel Teknolojik İnovasyon, Ekonomik Büyüme ve Yenilenebilir Enerji İlişkisine Dair Seçilmiş Ampirik Çalışmalar**

Yazar(lar)	Ülke grubu / örneklem	Kullanılan analiz yöntemi	Sonuç
Usman & Hammar (2021)	APEC ülkeleri (1990–2017)	STIRPAT temelli panel analiz ve panel nedensellik	Çalışma, teknolojik inovasyon ve nüfus artışının uzun dönemde ekolojik ayak izini artırdığını, buna karşılık yenilenebilir enerjinin çevresel baskıyı azaltabildiğini göstermektedir. Finansal gelişme ise çevre kalitesini iyileştirici yönde yorumlanmaktadır.
Aydın & Değirmenci (2021)	Türkiye (1980–2018)	Bootstrap ARDL ve bootstrap nedensellik testi	Türkiye için Çevresel Kuznets Eğrisi geçerli bulunmamıştır. Ayrıca ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketiminden çevre kirliliğine doğru, çevre kirliliğinden de inovasyona doğru tek yönlü nedensellik saptanmıştır.
Çelik & Ertürkmen (2021)	Seçili MENA ülkeleri (1980–2016)	Yatay kesit bağımlılık testi, Delta testi, PANIC birim kök, LM Bootstrap panel eşbütünleşme, AMG tahmincisi, Emirmahmutoglu-Köse nedensellik testi	Değişkenler arasında uzun dönemli ilişki vardır. Ekonomik büyüme ve ihracatın çevresel kalite üzerindeki etkisi panel çerçevede incelenmiş ve ülkeler arasında ilişkinin yönü ile şiddetinin farklılaşabildiği gösterilmiştir.
Mohsin vd. (2022)	ECOWAS ülkeleri (1990–2018)	DEA (Data Envelopment Analysis))	Teknolojik ilerleme ve yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması yeşil ekonomik büyümeyi desteklemektedir. Özellikle Ar-Ge harcamaları ve yenilenebilir enerji yatırımları sürdürülebilir büyüme açısından olumlu bulunmuştur
Mughal vd. (2022)	Güney Asya ekonomileri	Panel veri analizi, panel eşbütünleşme ve FMOLS tahmincisi.	Teknolojik inovasyonun, enerji tüketiminin ve sürdürülebilir büyümenin çevresel kirlilikle bağlantılı olduğu; yeşil dönüşüm için teknolojik gelişmenin kritik olduğu sonucuna ulaşılmaktadır
Qoyash & Eren (2022)	Türkiye	Dinamik ARDL simülasyon yöntemi	Çalışma, teknolojik inovasyon ile yenilenebilir enerji tüketimini birlikte ele alarak çevre kirliliğini inceler. Bulgular genel olarak yenilenebilir enerji kullanımının CO <sub>2</sub> 'yi azaltıcı, teknolojik inovasyonun ise çevresel sonuçlar üzerinde önemli belirleyici olduğunu göstermektedir
Raihan & Tuspekova (2022)	Kazakistan (1996–2018)	DOLS (Dynamic Ordinary Least Squares)	Yenilenebilir enerji kullanımı ve teknolojik inovasyon çevresel sürdürülebilirliği desteklemekte, yani CO <sub>2</sub> emisyonlarını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Ekonomik büyüme ise çevre üzerinde baskı yaratabilmektedir.
Akyol & Mete (2022)	10 yükselen piyasa ekonomisi (2000–2018)	Gengenbach-Urbain-Westerlund panel eşbütünleşme ve Emirmahmutoglu-Köse panel nedensellik	Çevresel inovasyon ve ekonomik büyüme yenilenebilir enerji tüketimini azaltıcı, doğrudan yabancı yatırımlar ise artırıcı etki göstermektedir. Yani bu örnekte DYY yenilenebilir enerjiye geçişi desteklerken inovasyon ve büyüme aynı yönde çalışmamıştır.
He vd. (2023)	Asya ülkeleri	İkinci nesil panel birim kök testi, Westerlund panel eşbütünleşme testi ve AMG tahmincisi.	Temiz enerji tüketimi ile teknolojik inovasyonun ekonomik büyümeyi pozitif ve anlamlı biçimde desteklediği sonucuna ulaşılmıştır.

<b>Sharif vd. (2023)</b>	ASEAN-6 (1995–2018)	Yatay kesit bağımlılığı, üçüncü nesil birim kök, Westerlund-Edgerton eşbütünlüşme ve CS-ARDL	Ekonomik büyüme, çevre vergisi, yeşil enerji ve yeşil yatırımlar yeşil teknolojik inovasyonu artırmaktadır. Çalışma, çevre vergilerinin ve yeşil yatırım politikalarının teknoloji dönüşümünü hızlandırabileceğini göstermektedir.
<b>Yan vd. (2024)</b>	Seçili BRICS ülkeleri (1997–2019)	AMG tahmincisi ve sağlamlık için PMG	Doğal kaynaklar, yenilenebilir enerji politikaları, teknolojik inovasyon ve çevresel koruma arasında güçlü bir bağ vardır. Bulgular, uygun enerji politikaları ve teknoloji kullanımının ekonomik büyümeyi desteklerken çevresel korumayı da güçlendirebildiğini göstermektedir.
<b>Ülger vd. (2024)</b>	Çok yüksek insani gelişmişlik düzeyindeki 15 ülke (1990–2019)	Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi)	Kentleşme, yenilenebilir enerji, inovasyon, ekonomik büyüme ve ekolojik ayak izi arasında nedensellik ilişkileri vardır. Çalışma, yenilenebilir enerji ve inovasyonun çevresel ve büyüme dinamiklerinde önemli rol oynadığını göstermektedir.
<b>Ergün &amp; Atay Polat (2024)</b>	Türkiye (1995–2020)	Johansen eşbütünlüşme testi, FMOLS tahmincisi ve nedensellik testi	Yeşil inovasyon, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme, finansal gelişme ve CO <sub>2</sub> emisyonu arasındaki ilişki incelenmiştir. Temel çerçevede, yeşil inovasyonun çevresel kaliteyi iyileştirmede önemli bir araç olduğunu desteklemektedir.
<b>Alev &amp; Ersezer (2024)</b>	MINT ülkeleri: Meksika, Endonezya, Nijerya, Türkiye (2002–2020)	Panel VAR ve Panel Granger nedensellik testi	Gelir eşitsizliği, yenilenebilir enerji tüketimini pozitif ve anlamlı biçimde etkilemektedir. Ekonomik büyümenin etkisi pozitif olsa da istatistiksel olarak güçlü değildir.
<b>Mudasar vd. (2024)</b>	Anket temelli örneklem, 300 katılımcı	SPSS ile tanımlayıcı istatistik, korelasyon, regresyon ve ANOVA	Yenilenebilir enerji Ar-Ge'si ve yeşil teknoloji benimsenmesi arttıkça sürdürülebilir ekonomik büyüme ve çevresel performansın güçlendiği görülmektedir. Bu çalışma makro panelden çok algı/uygulama düzeyinde kanıt sunmaktadır.
<b>Arslan İliklerden &amp; Alev (2025)</b>	Türkiye (1990–2021)	ARDL sınır testi, ADF-PP birim kök; ayrıca Granger nedensellik	Yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik vardır. Yenilenebilir enerji tüketimi ekonomik büyümeyi doğrudan ve pozitif etkilemektedir.
<b>Ertürkmen (2025)</b>	Yükselen piyasa ekonomileri	Konya (2006) nedensellik testi, Emirmahmutoglu ve Köse (2011) nedensellik testi ve Dumitrescu ve Hurlin (2012) nedensellik testleri	Bulgular, ekonomik karmaşıklığı artıran büyümeyi desteklediğini, ancak büyümenin ekonomik karmaşıklık üzerinde doğrudan bir etki yaratmadığını göstermektedir. CO <sub>2</sub> emisyonu da bu ilişki ağının önemli bir unsurudur.
<b>Bouattour vd. (2025)</b>	Web özetinde örneklem bilgisi sınırlı	PSTAR (Panel Smooth Threshold Autoregression) modeli / eşik etkili panel veri analizi.	Yeşil teknolojik inovasyonun yeşil büyüme üzerindeki etkisi pozitif bulunmuştur. Ayrıca iki önemli eşik değeri tespit edilerek bu etkinin farklı rejimlerde değiştiği gösterilmiştir.
<b>Lu vd. (2025)</b>	Avrupa ekonomileri; ayrıca gelir gruplarına göre alt örneklem	CS-ARDL	Teknolojik inovasyon yüksek gelirli Avrupa ekonomilerinde yeşil büyümeyi anlamlı biçimde artırmaktadır. Ekonomik büyüme tüm gelir gruplarında pozitifdir; ancak inovasyonun etkisi üst ve alt-orta gelirli gruplarda daha zayıf ya da anlamsız kalabilmektedir.

<b>Demir (2025a)</b>	152 ülke ve 4 kıta (Asya, Avrupa, Amerika, Afrika),	Panel veri analizi; YEKE hipotezinin küresel ve kıtasal düzeyde test edilmesi, dönüm noktası hesaplamaları	Çalışmada genel örneklem ile Asya, Avrupa ve Amerika kıtalarında Yenilenebilir Enerji Kuznets Eğrisi (YEKE) hipotezinin geçerli ve U biçiminde olduğu bulunmuştur. Arasında yapısal farklılıklar bulunduğunu göstermektedir.
<b>Demir (2025b)</b>	KEİ üye ülkeleri	Driscoll-Kraay standart hataları içeren panel veri tahmin tekniği	Ekonomik büyüme, KEİ ülkelerinde ekolojik ayak izini artırarak çevresel bozulmayı yükseltmektedir. Buna karşılık yenilenebilir enerji kullanımı ekolojik ayak izini azaltmakta ve çevresel baskıları hafifletmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar genel olarak birlikte değerlendirildiğinde, çevresel teknolojik inovasyon ile yenilenebilir enerji kullanımının çevresel sürdürülebilirliği destekleyen temel unsurlar olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte ekonomik büyümenin çevresel etkisi her zaman tek yönlü ve homojen değildir; bazı çalışmalarda büyümenin yenilenebilir enerji kullanımını ve yeşil dönüşümü desteklediği, bazı çalışmalarda ise karbon emisyonları ve çevresel baskılar üzerinde artırıcı etkiler oluşturduğu görülmektedir. Benzer şekilde doğrudan yabancı yatırımlar, gelir eşitsizliği, çevre vergileri ve doğal kaynak yapısı gibi değişkenlerin de bu ilişkiler üzerinde belirleyici rol oynadığı dikkat çekmektedir. Dolayısıyla literatür, çevresel kalite ile büyüme ve enerji dönüşümü arasındaki ilişkinin ülke gruplarına, kurumsal yapılara ve kullanılan politika araçlarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

### 3. Veri Seti- Model, Yöntem ve Bulgular

#### 3.1. Veri Seti ve Ekonometrik Model

Bu çalışmada G7 ve Türkiye için 2000-2021 dönemi veri seti kullanılarak çevresel teknolojik inovasyon, yenilenebilir enerji, ekonomik büyüme ve karbon emisyonu etkileşimi panel veri analizi ile incelenmektedir. Panel veri analizleri ile zaman serisi ve yatay kesit verilerinin bir arada kullanılmasıyla ampirik analizlerin etkinliğinin artırıldığı vurgulanmaktadır (Baltagi, 2005). Çalışmada kullanılan değişkenlerin logaritmik formları ile çalışmıştır. Değişkenlere yönelik özellikler, açıklamaları Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Ekonometrik Analizde Kullanılan Değişkenlerin Tanımı ve Veri Kaynakları

Değişkenler	Tanımlamaları	Kaynak/Dönem
LREN	Logaritmik Yenilenebilir enerji tüketimi (toplam enerji tüketimi %)	Dünya Bankası/2000-2021
LnINO	Logaritmik Çevreye yönelik Patent Sayısı	OECD /2000-2021
LnFDI	Logaritmik Doğrudan Yabancı Sermaye Yatırımları (ABD \$)	Dünya Bankası/2000-2021
LnGSYİH	Logaritmik Kişi Başı GSYİH (2015 Sabit Fiyatlar ABD\$)	Dünya Bankası/2000-2021
LnCO	Logaritmik Kişi başı karbon emisyonu (Metrik ton)	Dünya Bankası/2000-2021

$$LnREN_{it} = \alpha_1 + \beta_1 LnINO_{it} + \beta_2 LnGSYH_{it} + \beta_3 LnCO_{it} + \beta_4 LnFDI_{it} + \nu_{it} \quad (1)$$

Model (1)'de yatay kesit boyutunu (i), zaman boyutunu (t) yansıtmaktadır. Modelde bağımlı değişken olarak yenilenebilir enerji tüketimini temsilen  $LnREN$  (Toplam Enerji Tüketimindeki Payı, %), bağımsız değişken olarak ekonomik büyümeyi temsilen  $LnGSYİH$  (Kişi Başına Sabit 2015 ABD \$),  $LnINO$  (çevreye yönelik patent sayısı),  $LnCO$  (kişi başı karbon emisyonu) ve  $LnFDI$  (doğrudan yabancı sermaye yatırımları) kullanılmaktadır.

### 3.2 Yöntem ve Bulgular

#### 3.2.1 Yöntem

Panel veri analizlerinde model oluştururken genellikle üç temel tahmin yöntemi kullanılmaktadır: Bunlar, Havuzlanmış EKK, sabit etkiler ve rassal etkiler modelleridir. Birim ve/veya zaman etkilerinin olup olmadığını tespit etmek için bir takım testler kullanılmaktadır. “Tüm birim etkiler sıfıra eşittir” biçiminde kurulan F testinde sıfır hipotez reddedildiğinde klasik modelin uygun olmadığına karar verilmektedir. Klasik modeli tesadüfi etkiler modeline karşı test etmeden kullanılan ve bu çalışmada da analiz kapsamında ele alınan bir diğer test LR testidir. “Klasik model doğrudur” şeklinde sıfır hipotez kurulmakta ve reddedilmesi durumunda da klasik modelin geçerli olmadığına karar verilmektedir (Yerdelen Tatoğlu, 2020; Ata ve Eryer,2021). Klasik modelin geçerli olmadığı durumlarda sabit etkiler ve tesadüfi etkiler tahmincisi arasında karar vermek için ise Hausman(1978) testinden yararlanılmaktadır.

Panel regresyon analizinin geçerliliğini değerlendirmek ve sapmalı sonuçlardan kaçınmak için çeşitli spesifikasyon testleri uygulanmaktadır. Otokorelasyonun varlığını incelemek için Bhargava vd. (1982) ve Baltagi-Wu (1999) testlerinden, Heteroskedastisite (değişen varyans) probleminin

belirlenmesi amacıyla da Değiştirilmiş Wald testinden yararlanılmaktadır. Ayrıca panel veri analizlerde birimler arası korelasyonun tespiti için ise Breusch-Pagan LM (1980) testi tercih edilmektedir. Yapılan testler sonucunda spesifikasyon hatalarının tespit edilmesi üzerine, bu tür problemlere karşı önerilen ve dirençli standart hatalar üreten Driscoll-Kraay tahmincisi yöntemi kullanılmaktadır (Yerdelen Tatoğlu, 2020).

### 3.2.2. Bulguların Değerlendirilmesi

Yenilenebilir enerji tüketimi, çevresel teknolojik inovasyon, ekonomik büyüme ve karbon emisyonu ilişkisinin belirlenmesi için yapılan panel veri analizinde klasik, sabit etkiler ve tesadüfi etkiler modelinin hangisinin uygun olduğunu gösteren testler Tablo 3'te gösterilmektedir.

*Tablo 3. F, LR ve Hausman Testi Bulguları*

Testler	İstatistik Değerleri
F Testi	313.60*** (0.000)
LR Testi	180.24 (0.000)***
Hausman Testi	13.24 (0.010)**

*Not: \*\*\*, \*\*, %1 ve %5 anlamlılık düzeyini, parantez içi değer ise olasılık değerini temsil etmektedir.*

Tablo 3'te görüldüğü gibi, F Testi ve LR Testi birim ve/veya zaman etkilerinin varlığını tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. F testi bulgularına göre, olasılık (p) değeri %1 anlamlılık düzeyinden küçük çıktığından dolayı temel hipotez reddedilmiştir. Elde edilen bu sonuç, modelde birim ve zaman etkilerinin anlamlı olduğunu doğrulamaktadır. Aynı şekilde LR testi bulguları da birim ve zaman etkilerinin varlığını destekler nitelikte bulgular sunmaktadır. Hausman testi, sabit etkiler modeli ile tesadüfi etkiler modelinin hangisinin analizlerde kullanılması gerektiğini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu test sonucuna göre de, olasılık değeri %5 anlamlılık düzeyinden küçük çıktığından temel hipotez reddedilmiş ve sabit etkiler tahmincisinin en uygun ve tutarlı tahminci yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, Sabit Etkiler tahmincisinin tutarlı, Tesadüfi Etkiler tahmincisinin ise tutarsız olduğu anlaşılmıştır. Bu sonuca dayanarak, kurulan panel veri modeli için en uygun yöntemin tek yönlü birim etkiyi içeren sabit etkiler tahmincisi olduğu belirlenmiştir. Sabit

etkiler yaklaşımıyla oluşturulan bu model kapsamında, otokorelasyon, heteroskedastisite ve birimler arası korelasyonun varlığını incelemek amacıyla gerçekleştirilen varsayım testlerinin sonuçları Tablo 4'te sunulmaktadır.

*Tablo 4. Varsayım Testi Sonuçları*

Testler	
Değiştirilmiş Wald Testi	147.25 (0.000)***
Durbin Watson Testi	0.2808 < 2
Baltagi-Wu LBI Testi	0.4956 < 2
Breusch Pagan LM Testi	219.91 (0.000)***

*Not: \*, %1 anlamlılık düzeyini, parantez içi değer ise olasılık değerini temsil etmektedir.*

Bu çalışma kapsamında ele alınan modelde heteroskedastisite probleminin varlığını belirlemek amacıyla, literatürde yaygın olarak kullanılan Değiştirilmiş Wald testi uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre G7 ülkeleri ve Türkiye için kurulan model değerlendirildiğinde, “heteroskedastisite yoktur” hipotezi %1 anlamlılık seviyesinde reddedilmiştir. Bu sonuç, modelde heteroskedastisite sorununun bulunduğunu göstermektedir. Durbin-Watson ve Baltagi-Wu testlerinden elde edilen sonuçlar, modelde otokorelasyon bulunduğunu göstermektedir. Otokorelasyon varlığı, bağımlı değişkenin geçmiş dönem değerleriyle ilişkili olduğunu ifade eder. Bu durum, tahmin sonuçlarının güvenilirliğini etkileyebileceğinden model üzerinde bazı düzeltmeler yapılmasını gerekli kılabilir. Son olarak, modelde birimler arası korelasyonun bulunup bulunmadığını incelemek amacıyla Breusch-Pagan LM testi uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre elde edilen olasılık değerinin %1 anlamlılık düzeyinden küçük olması, modelde birimler arası korelasyonun bulunduğunu ortaya koymuştur.

Panel veri modeline ilişkin temel varsayım testlerinin sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, modelde heteroskedastisite, otokorelasyon ve birimler arası korelasyon problemlerinin mevcut olduğu görülmektedir. Panel veri analizlerinde ortaya çıkabilen bu tür sorunlar, geleneksel tahmin yöntemlerinin güvenilirliğini azaltabilmektedir. Bu nedenle çalışmada söz konusu ekonometrik problemleri gidermek amacıyla literatürde sıkça kullanılan Driscoll-Kraay (1998) dirençli tahminci yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem, özellikle zaman boyutunun (T) yüksek olduğu panel veri setlerinde güvenilir sonuçlar sağlamaktadır (Hoechle, 2007).

Tablo 5. Panel Geneli Driscoll- Kraay Tahminci Sonuçları

Bağımlı Değişken: LREN			
	Katsayı	Driscoll Kraay Standart Hata	Olasılık Değeri
LnİNO	0.3360	0.0483	0.000***
LnGSYİH	1.1635	0.1028	0.001***
LnFDI	0..0138	0.1000	0.181
LnCO	-2.4131	0.1089	0.000***
Sabit	-5.0988	0.7441	0.005**
R <sup>2</sup> :0.79			
F <sub>ist</sub> :0.000			

Not:\*\*\*, \*\*%1, ve %5 anlamlılık düzeyi

Modelin R<sup>2</sup> değeri %79 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, analiz sonuçlarına göre modelde yer alan bağımsız değişkenlerdeki değişimlerin, G7–Türkiye örnekleminde yenilenebilir enerjide gözlenen değişimin yaklaşık %79'unu açıkladığını göstermektedir. Ayrıca F istatistiğine ait olasılık değerinin 0.000 olması, modelin genel düzeyde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Panel genelinde Driscoll- Kraay dirençli tahminci sonuçlarına göre, çevresel teknolojik inovasyon, ekonomik büyüme ve karbon emisyonunun yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı, doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi ise istatistiksel olarak anlamsız elde edilmiştir. Buna göre çevresel teknolojik inovasyonda meydana gelen %1'lik bir artış yenilenebilir enerji tüketimini %0.33 oranında, ekonomik büyümede meydana gelen %1'lik bir artış ise yenilenebilir enerji tüketimini %1.16 oranında artırmaktadır. Ayrıca bulgulara karbon emisyonunda meydana gelen %1'lik bir artış ise yenilenebilir enerji tüketimini %2.41 oranında azaltmaktadır. Elde edilen bulgular literatürde yer alan (Akyol ve Mete, 2022; Ergün & Atay Polat, 2024; Ülger vd., 2024; Arslan İliklerden & Alev (2025) çalışmalarla örtüşmektedir.

Tablo 6. Ülke Bazlı Driscoll Kraay Dirençli Tahminci Sonuçları

Bağımlı Değişken	Standart Hata	Driscoll- Kraay Standart Hata	Prob Değeri
<b>Kanada</b>			
LnINO	-0.027	0.042	0.948
LnGSYİH	0.477	0.175	0.013**
LnCO	-0.446	0.133	0.003***
LNFDI	0.075	0.022	0.005**
Sabit	0.925	2.133	0.669
<b>Fransa</b>			
LnINO	-0.025	0.112	0.982
LnGSYİH	0.235	0.924	0.801
LnCO	-1.632	0.223	0.000***
LNFDI	0.060	0.298	0.842
Sabit	2.639	9.439	0.782
<b>Almanya</b>			
LnINO	0.704	0.266	0.015**
LnGSYİH	3.338	0.636	0.000***
LnCO	-1.470	0.428	0.003***
LNFDI	-0.103	0.054	0.071*
Sabit	-29.35434	7.166365	0.001
<b>İtalya</b>			
LnINO	1.000	0.112	0.000***
LnGSYİH	0.404	0.790	0.615
LnCO	-1.692	0.157	0.000***
LNFDI	0.014	0.010	0.209
Sabit	-1.136	8.040	0.889
<b>Japonya</b>			
LnINO	0.395	0.177	0.038**
LnGSYİH	3.303	0.652	0.000***
LnCO	-1.920	0.332	0.000***
LNFDI	0.011	0.014	0.444
Sabit	-29.682	6.404	0.000***
<b>İngiltere</b>			
LnINO	1.001	0.119	0.000***
LnGSYİH	1.578	0.634	0.022**
LnCO	-2.909	0.106	0.000***
LNFDI	0.034	0.031	0.285
Sabit	-13.000	6.408	0.056**
<b>ABD</b>			
LnINO	0.174	0.057	0.006**
LnGSYİH	0.905	0.374	0.025**
LnCO	-1.305	0.187	0.000***
LNFDI	0.048	0.043	0.280
Sabit	-5.792	3.899	0.152

<b>Türkiye</b>			
LnINO	-0.056	0.083	0.493
LnGSYİH	0.507	0.148	0.003***
LnCO	-1.213	0.193	0.000***
LNFDI	-0.060	0.011	0.000***
Sabit	1.285	1.001	0.223

Ülke bazlı panel sonuçları değerlendirildiğinde katsayı, anlamlılık düzeylerinde ve büyüklüklerinde farklı bulguların elde edildiği görülmektedir. Çevresel teknolojik inovasyonun yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi Kanada, Fransa ve Türkiye’de anlamsız olarak elde edilirken, Almanya, İtalya, Japonya, İngiltere ve ABD’de pozitif, anlamlı olarak elde edilmiştir. Çevresel teknolojik inovasyon da meydana gelen %1’lik bir artış yenilenebilir enerji tüketimini Almanya, İtalya, Japonya, İngiltere ve ABD’de de sırasıyla %0.70, %1.0, %0.39, %1.0 ve %0.17 oranında artırmaktadır. Ekonomik büyümenin yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi Fransa ve İtalya dışındaki tüm ülkelerde anlamlı elde edilirken, karbon emisyonunun yenilenebilir enerji tüketimindeki etkisi ise bütün ülkelerde negatif ve anlamlı olarak elde edilmiştir. Karbon emisyonunda meydana gelen %1’lik bir artış yenilenebilir enerji tüketimini sırasıyla Kanada, Fransa Almanya, İtalya, Japonya, İngiltere, ABD ve Türkiye’de %0.44, %1.63, %1,47, %1,69, %1,92, %2,90, %1,30 ve 1,21 oranında azaltmaktadır. Bulgular arasında doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi sadece Türkiye ve Almanya’da negatif ve anlamlı olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, çevresel teknolojik inovasyon, ekonomik büyüme, karbon emisyonları ve doğrudan yabancı yatırımların yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkilerinin ülkelere göre önemli ölçüde farklılaştığını ve bu nedenle enerji politikalarının her ülkenin özgün ekonomik ve çevresel dinamikleri dikkate alınarak tasarlanması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

## SONUÇ

Bu çalışmada, G7 ülkeleri ve Türkiye örnekleminde 2000–2021 dönemi için çevresel teknolojik inovasyon, ekonomik büyüme, karbon emisyonu ve doğrudan yabancı yatırımların yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkileri panel veri analizi çerçevesinde incelenmiştir. Bulgularda panel genelinde çevresel teknolojik inovasyon, ekonomik büyüme ve karbon emisyonunun yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı, doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi ise istatistiksel olarak anlamsız elde edilmiştir. Ülke bazlı sonuçlarda ise

katsayı, büyüklükler ve anlamlılık düzeylerinde farklı bulguların elde edildiği görülmektedir.

Elde edilen bulgular, yenilenebilir enerji dönüşümünün yalnızca enerji arzı ve talebi bağlamında değerlendirilemeyecek kadar çok boyutlu bir süreç olduğunu; bu dönüşümün aynı zamanda teknolojik kapasite, üretim yapısı, çevresel baskılar ve kurumsal yönelimlerle birlikte şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bu yönüyle çalışma, enerji-büyüme-çevre ilişkisini dar bir anlam çerçevesinin ötesine taşıyarak, sürdürülebilir kalkınma perspektifinden bütüncül bir değerlendirme sunmaktadır.

Analiz sonuçları, çevresel teknolojik inovasyonun yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, çevre dostu yeniliklerin ve temiz teknoloji geliştirme kapasitesinin, yenilenebilir enerjiye geçiş sürecinin temel belirleyicileri arasında yer aldığını göstermesi bakımından önemlidir. Başka bir ifadeyle, yenilenebilir enerji kullanımındaki artış yalnızca ekonomik kaynakların mevcudiyetine bağlı olmayıp, bu kaynakların hangi teknolojik altyapı ve hangi üretim paradigması içerisinde değerlendirildiğiyle de doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla çevresel teknolojik inovasyon, yalnızca çevresel zararların sınırlandırılmasına hizmet eden bir unsur olarak değil, aynı zamanda enerji dönüşümünü hızlandıran yapısal bir unsur olarak değerlendirilmelidir.

Hem panel genelinde hem de ülke bazlı sonuçlarda ekonomik büyümenin yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki pozitif etkisi, gelir artışı ile çevresel dönüşüm arasında belirli bir tamamlayıcılık ilişkisi bulunduğu işaret etmektedir. Özellikle ekonomik büyümenin enerji altyapısının modernizasyonu, temiz enerji yatırımları ve çevresel farkındalık ile birlikte ilerlediği ekonomilerde yenilenebilir enerji tüketiminin daha güçlü biçimde desteklenebildiği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte büyümenin yenilenebilir enerji üzerindeki olumlu etkisi, kendiliğinden ve otomatik biçimde işleyen bir süreç olarak yorumlanmamalıdır. Büyümenin sektörel bileşimi, enerji karmasının yapısı, dışa bağımlılık derecesi ve çevre politikalarının etkinliği, bu ilişkinin yönünü ve yoğunluğunu belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir büyüme, yalnızca üretim ve gelir artışıyla değil, aynı zamanda düşük karbon yoğunluğu, yüksek enerji verimliliği ve güçlü teknolojik dönüşüm kapasitesiyle birlikte ele alınmalıdır.

Çalışmanın bir diğer önemli bulgusu, panel genelinde ve ülke bazlı sonuçlarda, karbon emisyonlarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki negatif etkisidir. Bu sonuç, karbon yoğun üretim yapısının baskın olduğu ekonomilerde yenilenebilir enerji dönüşümünün yeterince derinleşemediğini ve fosil yakıtı dayalı üretim kalıplarının hâlen güçlü biçimde sürdüğünü

göstermektedir. Bu çerçevede karbon emisyonlarındaki artış, yalnızca çevresel bozulmanın bir göstergesi değil, aynı zamanda ekonomideki enerji dönüşüm sürecinin sınırlılıklarını yansıtan yapısal bir gösterge niteliği de taşımaktadır. Dolayısıyla yenilenebilir enerji kullanımının artırılması, tek başına enerji arzının çeşitlendirilmesiyle sınırlı görülmemeli; karbon yoğun üretim desenini dönüştürmeye yönelik sanayi, ulaştırma ve enerji politikalarıyla desteklenmelidir. Aksi takdirde yenilenebilir enerji yatırımlarındaki artış, ekonomik yapının genel karbon yoğunluğunu dönüştürmede yetersiz kalabilecektir.

Panel genelinde ve bazı ülke bazlı sonuçlarda doğrudan yabancı yatırımların yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki göstermemesi de dikkat çekici bir bulgudur. Bu sonuç, yabancı sermaye girişlerinin her durumda çevresel dönüşümü destekleyen bir işleve sahip olmadığını ortaya koymaktadır. Nitekim doğrudan yabancı yatırımların çevresel etkisi, yatırımın yöneldiği sektörler, taşıdığı teknoloji düzeyine, üretim sürecinin niteliğine ve ev sahibi ülkenin düzenleyici kapasitesine bağlı olarak farklılaşabilmektedir. Bu bağlamda, yabancı sermayenin yenilenebilir enerji dönüşümünü destekleyebilmesi için yatırım kompozisyonunun yeşil teknoloji, enerji verimliliği ve temiz üretim altyapısı gibi alanlara yönlendirilmesi gerekmektedir. Aksi durumda, yabancı yatırımlar ekonomik büyüme üzerinde olumlu etkiler yaratmakla birlikte, enerji dönüşümünü hızlandırma bakımından sınırlı bir rol oynayabilmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu çalışmanın bulguları sürdürülebilir kalkınmanın enerji, çevre ve teknoloji politikalarının birbirinden bağımsız biçimde değil, karşılıklı etkileşim içinde tasarlanmasını zorunlu kıldığını göstermektedir. Yenilenebilir enerji tüketimindeki artış, yalnızca enerji politikalarının değil; aynı zamanda inovasyon kapasitesinin, kurumsal kalitenin, çevresel düzenlemelerin ve uzun dönemli kalkınma stratejilerinin bir sonucudur. Bu bağlamda çevresel teknolojik inovasyonun güçlendirilmesi, ekonomik büyümenin karbon yoğun niteliğinin dönüştürülmesi ve enerji altyapısının yenilenebilir kaynaklar lehine yeniden yapılandırılması, sürdürülebilir büyüme hedeflerinin temel koşulları arasında yer almaktadır. G7 ülkeleri ile Türkiye'nin birlikte değerlendirilmesi de, benzer çevresel hedeflere ulaşma sürecinde ülkelerin gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak farklı araçlara, farklı kurumsal kapasitelere ve farklı politika önceliklerine sahip olduklarını ortaya koymaktadır.

Politika düzleminde ise çalışma bulguları, yenilenebilir enerji dönüşümünün kalıcı ve etkili biçimde sağlanabilmesi için çevresel teknolojik inovasyonu merkezine alan bütüncül bir politika mimarisine ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir. Bu çerçevede, yeşil Ar-Ge harcamalarının artırılması, çevre dostu patent üretiminin teşvik edilmesi, temiz üretim teknolojilerine yönelik

vergi avantajlarının genişletilmesi ve yenilenebilir enerji yatırımlarına uzun vadeli finansman olanaklarının sağlanması önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra karbon yoğun sektörlerde emisyon azaltımını teşvik edecek düzenleyici çerçevenin güçlendirilmesi, karbon fiyatlaması ve çevre vergileri gibi piyasa temelli araçların daha etkin kullanılması ve sanayi politikalarının düşük karbonlu dönüşüm hedefleriyle uyumlu hâle getirilmesi gerekmektedir. Doğrudan yabancı yatırımların sürdürülebilir enerji dönüşümüne katkı sunabilmesi için ise yatırım teşviklerinin yeşil teknoloji, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji altyapısına yönlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ekonomiler açısından yenilenebilir enerji politikalarının yalnızca enerji arz güvenliği bağlamında değil, teknolojik dönüşüm, çevresel kalite ve sürdürülebilir büyüme hedefleriyle bütünleşik biçimde tasarlanması daha güçlü ve kalıcı sonuçlar doğuracaktır.

## Kaynakça

- Akyol, M., & Mete, E. (2022). Çevresel inovasyon, ekonomik büyüme ve doğrudan yabancı yatırımların yenilenebilir enerji tüketimi üzerine etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 48, 393–406. <https://doi.org/10.30794/pausbed.956018>
- Alev, N., & Ersezer, Ö. (2024). Gelir eşitsizliği, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: Panel VAR yaklaşımından kanıtlar. *Mecmua*, 17, 92–107. <https://doi.org/10.32579/mecmua.1421971>
- Arslan İliklerden, Ş., & Alev, N. (2025). Türkiye’de yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketiminin ekonomik büyümeye etkisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(1), 21–41.
- Ata, A. Y., & Eryer, A. (2021). Sağlık Statüsü Üzerinde Sağlık Harcamaları Ve Gelir Dağılımının Etkisi: MINT Ülkeleri Üzerine Bir İnceleme. *Karadeniz Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 32-49. <https://izlik.org/JA76BE98CE>
- Aydın, M., & Değirmenci, T. (2021). Ekonomik büyüme, inovasyon, verimlilik ve yenilenebilir enerji tüketiminin çevre kirliliği üzerine etkisi: Türkiye için Çevresel Kuznets Hipotezinin analizi. *Düzce İktisat Dergisi*, 2(2), 138–151.
- Baltagi, B. H. (2005). *Econometric analysis of panel data* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Baltagi, B.H ve Wu, P.X.(1999). Unequally spaced panel data regression with AR(1) disturbances, *The Stata Journal*, 101-104.
- Baylan, M. (2020). Makroekonomik kırılganlık ve ekonomik büyüme arasında nedensellik ilişkisi: Çin örneği. *İzmir İktisat Dergisi*, 35(4), 697–712. <https://doi.org/10.24988/ije.202035403>
- Bouattour, A., Gharbi, S., Kalai, M., & Helali, K. (2025). Relationships between green technological innovation, renewable energy, circular economy, and green growth. *Journal of Innovation & Knowledge*, 10(4), 100748. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2025.100748>
- Bozkaya, Ş., & Aytekin, İ. (2023). Enerji tüketiminin iktisadi büyüme üzerindeki etkilerinin panel veri yöntemiyle incelenmesi. *Neşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 13(1), 131–143. <https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1124363>
- Çelik, H., & Aytekin, İ. (2023). Küreselleşme ve iktisadi büyümenin gıda güvenliği üzerindeki etkisi: MIST ülkeleri için ampirik bir analiz. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 57, 189–199. <https://doi.org/10.30794/pausbed.1171163>
- Çelik, H., & Ertürkmen, G. (2021). Ekonomik büyüme ve ihracatın CO<sub>2</sub> salınımı üzerindeki etkisi: Seçili MENA ülkeleri örneği (1980–2016). *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(3), 1928–1947. <https://doi.org/10.33437/ksusbd.929324>

- Demir, M. A. (2025a). Yenilenebilir enerji Kuznets eğrisi (YEKE) hipotezinin küresel ve kıtasal düzeyde test edilmesi. *Akademik Hassasiyetler*, 12(29), 357–381. <https://doi.org/10.58884/akademik-hassasiyetler.1678971>
- Demir, M. A. (2025b). KARADENİZ EKONOMİK İŞ BİRLİĞİ ÖRGÜTÜ (KEİ) ÜYE ÜLKELERİNDE EKONOMİK BÜYÜME, KÜRESELLEŞME VE YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMININ EKOLOJİK AYAK İZİ ÜZERİNE ETKİLERİ. *Karadeniz Araştırmaları*, 22(85), 305-330. <https://doi.org/10.56694/karadearas.1579495>
- Demir, M. A. (2025c). Ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonları üzerine etkilerinin çok boyutlu panel veri modelleri ile analizi. *Fiscaoeconomia*, 9(1), 731–748. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1555319>
- Driscoll, J. C. ve Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data, *The Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549-560
- Ergün, S., & Atay Polat, M. (2024). Türkiye’de yeşil inovasyon ve çevresel kalite arasındaki ilişkinin analizi. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD)*, 16(Cumhuriyet’in 100. Yılında Türkiye’nin İktisadi ve Siyasi Gelişimi), 36–49. <https://doi.org/10.20990/kilisibfakademik.1510020>
- Ertürkmen, G. (2025). Analyzing the relationship between economic complexity, CO<sub>2</sub> emissions and economic growth in emerging market economies. *Journal of History School*, 74, 776–801. <https://doi.org/10.29228/joh.78401>
- Hausman, J.A. (1978). Specification Test in Econometrics, *Econometrica*, 46(6), 1251-1271
- He, X., Sun, S., Leong, L., Cong, P., Abu-Rumman, A., & Halteh, K. (2023). Does clean energy and technological innovation matter for economic growth? An Asian countries perspective. *Economic Analysis and Policy*, 79, 521–537. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2023.04.017>
- Hoechle, D. (2007). Robust standard errors for panel regressions with cross-section aldependence. *Stata Journal*, 7(3), 281–312
- Lu, Y., Ahmad, S., Noureen, S., & Salman, M. (2025). Green growth and sustainable energy transitions: Evaluating the critical role of technology, resource efficiency, and innovation in Europe’s low-carbon future. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-05823-7>
- Mohsin, M., Taghizadeh-Hesary, F., Iqbal, N., & Saydaliev, H. (2022). The role of technological progress and renewable energy deployment in green economic growth. *Renewable Energy*, 191, 767–778. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.076>
- Mudaser, M., Abidin, Z., Khan, S., & Khan, A. (2024). Exploring how renewable energy innovations and green technologies can drive sustainable economic

- growth. *Review of Applied Management and Social Sciences*, 7(4). <https://doi.org/10.47067/ramss.v7i4.444>
- Mughal, N., Arif, A., Jain, V., Chupradit, S., Shabbir, M., Ramos-Meza, C., & Zhanbayev, R. (2022). The role of technological innovation in environmental pollution, energy consumption and sustainable economic growth: Evidence from South Asian economies. *Energy Strategy Reviews*, 39, 100745. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100745>
- Özen Atabey, A., & Karakuş, M. (2025). The relationship between the sectoral structure of female employment and economic growth and income distribution in Türkiye: Empirical evidence from Fourier-based cointegration and causality analyses. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 10(2), 677–708. <https://doi.org/10.30784/epfad.1650858>
- Özen Atabey, A., Karakuş, M., & Gümüş Özuyar, S. E. (2025). Unpacking Türkiye's trilateral trade-off: Export quality, growth, and carbon emissions. *Researches on Multidisciplinary Approaches (ROMAYA Journal)*, 5(2), 519–531.
- Qoyash, F. K., & Eren, M. (2022). Türkiye'de teknolojik inovasyon ve yenilenebilir enerji tüketiminin çevre kirliliği üzerine etkisi. *Ardahan Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(2), 110–118.
- Raihan, A., & Tuspekova, A. (2022). Role of economic growth, renewable energy, and technological innovation to achieve environmental sustainability in Kazakhstan. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100165. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100165>
- Sharif, A., Kocak, S., Khan, H. H. A., Uzuner, G., & Tiwari, S. (2023). Demystifying the links between green technology innovation, economic growth, and environmental tax in ASEAN-6 countries: The dynamic role of green energy and green investment. *Gondwana Research*, 115, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.11.010>
- Uçar, M., Ülger, M., & Atamer, M. A. (2025b). Effects of economic growth and energy consumptions on environmental degradation within the framework of LCC hypothesis in BRICS countries. *Scientific Annals of Economics and Business*, 72(1), 1–19. <https://doi.org/10.47743/saeb-2025-0002>
- Uçar, M., Ülger, M., Atamer, M. A., & Alptürker, H. (2025a). Tarımsal verimlilik, ekonomik büyüme ve karbon emisyonu arasındaki ilişki: Türk Cumhuriyetlerinden kanıtlar. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 31(2), 389–404. <https://doi.org/10.24181/tarekoder.1686846>
- Usman, M., & Hammar, N. (2021). Dynamic relationship between technological innovations, financial development, renewable energy, and ecological footprint: Fresh insights based on the STIRPAT model for Asia Pacific Economic Cooperation countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(12), 15519–15536. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11640-z>

- Ülger, M., Uçar, M., Atamer, M. A., & Apaydın, Ş. (2024). Kentleşme, yenilenebilir enerji ve inovasyon ile ekonomik büyüme ve ekolojik ayak izi arasındaki nedensellik ilişkileri: Çok yüksek insani gelişme düzeyindeki ülkeler örneği. *Politik Ekonomik Kuram*, 8(2), 449–462. <https://doi.org/10.30586/pek.1485357>
- Yan, X., Abdalla, A., Zhu, G., Uslu, Y., Mohamed, M., Muhammad, T., & Shabbir, M. (2024). Does natural resources matter? Nexus among renewable energy policies, technological innovation, environmental protection, and economic growth. *Energy Strategy Reviews*, 49, 101272. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101272>
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2020). Panel veri ekonometrisi. Beta Yayıncılık.