

# Kentleşme, Yenilenebilir Enerji ve İnovasyon ile Ekonomik Büyüme ve Ekolojik Ayak İzi Arasındaki Nedensellik İlişkileri: Çok Yüksek İnsani Gelişme Düzeyindeki Ülkeler Örneği

Mücahit ÜLGER<sup>1</sup>, Mehmet UÇAR<sup>2</sup>, Mert Anıl ATAMER<sup>3</sup>, Şükrü APAYDIN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Öğr. Gör. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mucur MYO, mucahit.ulger@ahievran.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0300-099X

<sup>2</sup> Öğr. Gör. Dr., Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Gülşehir Sosyal Bilimler MYO, mehmet.ucar@nevsehir.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6078-7536

<sup>3</sup> Öğr. Gör. Dr., Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Gülşehir Sosyal Bilimler MYO, mertatamer@nevsehir.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1238-9020

<sup>4</sup> Doç. Dr., Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, İİBF, sukrupaydin@nevsehir.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4640-8135

**Öz:** Çalışmanın temel amacı İnsani Gelişme Endeksine göre 2021 yılı sıralamasında çok yüksek insani gelişim sağlayan ülke grubunda yer alan ilk 25 ülkeden seçilen 15 ülkenin 1990-2019 yılları arasında temelde iki grupta nedensellik ilişkilerini araştırmaktır. Çalışmada yöntem olarak Dumitrescu ve Hurlin panel nedensellik testi kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı model kurgulanmıştır. İlk olarak ekonomik büyüme (GDP) ile kentleşme (URBAN), yenilenebilir enerji tüketimi (REN) ve teknolojik inovasyon (PATENT) arasındaki nedensellik ilişkisi incelenmiştir. İkincil olarak ekolojik ayak izi (ECO) ile ekonomik büyüme, kentleşme, yenilenebilir enerji tüketimi ve teknolojik inovasyon arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen bulgulara göre kentleşme ile ekonomik büyüme, teknolojik inovasyon ile ekonomik büyüme, kentleşme ile ekolojik ayak izi, teknolojik inovasyon ile ekolojik ayak izi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi mevcut iken; yenilenebilir enerji tüketiminden ekonomik büyümeye, ekonomik büyümeden ekolojik ayak izine ve ekolojik ayak izinden yenilenebilir enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlara dayanarak politika yapıcılara yönelik politika önerileri ortaya konulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kentleşme, Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Teknolojik İnovasyon, Ekonomik Büyüme, Ekolojik Ayak İzi

**Jel Kodları:** Q42, O31, O40, Q56

**Atf:** Ülger M.; Uçar M.; Atamer M. A.; Apaydın Ş. (2024).

Kentleşme, Yenilenebilir Enerji ve İnovasyon ile Ekonomik Büyüme ve Ekolojik Ayak İzi Arasındaki Nedensellik İlişkileri: Çok Yüksek İnsani Gelişme Düzeyindeki Ülkeler Örneği, *Politik Ekonomik Kuram*, 8(2), 449-462.

<https://doi.org/10.30586/pek.1485357>

Geliş Tarihi: 16.05.2024

Kabul Tarihi: 11.06.2024



**Telif Hakkı:** © 2024. (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Causality Relationships Between Urbanization, Renewable Energy, and Innovation with Economic Growth and Ecological Footprint: The Case of Very High Human Development Countries**

**Abstract:** The main objective of the study is to investigate the causal relationships between selected 15 countries from the top 25 countries in the 2021 Human Development Index ranking, which provide very high human development, in two essentially two groups between 1990 and 2019. Dumitrescu and Hurlin panel causality test is used as the method in the study. Two different models were constructed in the study. Firstly, the causal relationship between economic growth (GDP) and urbanization (URBAN), renewable energy consumption (REN), and technological innovation (PATENT) was examined. Secondly, the causal relationship between ecological footprint (ECO) and economic growth, urbanization, renewable energy consumption, and technological innovation was investigated. According to the findings obtained from the analysis results, there is a bidirectional causal relationship between urbanization and economic growth, technological innovation and economic growth, urbanization and ecological footprint, and technological innovation and ecological footprint; while there is a unidirectional causal relationship from renewable energy consumption to economic growth, from economic growth to ecological footprint, and from ecological footprint to renewable energy consumption. Based on these results, policy recommendations are proposed to policymakers.

**Keywords:** Urbanization, Renewable Energy Consumption, Technological Innovation, Economic Growth, Ecological Footprint

**Jel Codes:** Q42, O31, O40, Q56

## 1. Giriş

İlk olarak buhar, daha sonra elektrik ve günümüzde yaşanan bilgi çağına kadar üretimde ve insanların yaşam tarzlarında önemli ölçüde değişimler meydana gelmiştir. Geleneksel üretim artık yerini üretim verimliliğini artıran ve ekonomik büyümeyi hızlandıran endüstriyel ekonomilere bırakmıştır. Özellikle ekonomik büyümenin hızlı yaşandığı kentlerde işgücüne olan talep artmış ve kırsal nüfus, kentsel alanlara göç etmeye başlamıştır. Kentleşme ve ekonomik büyüme, bir ülkenin veya bölgenin modernleşme düzeyinin önemli göstergeleri haline gelmiştir (Liang ve Yang, 2019). Ayrıca insanlar daha iyi sağlık, eğitim ve istihdam fırsatları nedeniyle de kentsel alanlara göç etmeye başlamıştır. Kırdan kente göç ve kırsal bölgelerin kentsel alanlara dönüşümü ile karakterize edilebilmektedir (Poumanyong ve Kaneko, 2010). Bu yüzden dünyanın her yerindeki kentlerde, insanların daha iyi fırsat arayışıyla kentsel alanlara göç etmesiyle nüfus patlaması yaşandı. Örneğin İnsani Gelişim Endeksi'ne (İGE) göre ilk üç ülke içerisinde yer alan Norveç'te kentleşme 1975 yılında yüzde 68 iken 2022 yılı itibarıyla bu oran yüzde 83 olmuştur.

Kentleşme ile ekonomik büyüme arasındaki korelasyon iyi belgelenmiş olsa da bu ilişkinin nedenselliği hakkında henüz yeterince araştırma yapılmamıştır. Kentleşme oranları genellikle kişi başına düşen gelir düzeyinin ampirik göstergeleri olarak kullanılmıştır (Dittmar, 2011). Bununla birlikte sanayileşme ve kentleşme nedeniyle dünya son on yılda önemli bir ekonomik büyüme yaşamıştır (Dong vd., 2018). Ekonomik büyüme ve bununla ilişkili kentleşme ve sanayileşme eğilimleri, ulusal kaynak çıkarımı ve tüketimini artırarak çevresel sürdürülemezliği teşvik etmektedir (Baloch vd., 2019). Ancak kentleşme, ekonomik büyüme yoluyla çevresel baskıyı artırmaktadır (Wang vd., 2015). Kentleşme, sadece kentsel alanları artırmakla kalmayıp aynı zamanda tarımsal verimliliği azaltmanın yanı sıra atık oluşumuna ve ekolojik bozulmaya da katkıda bulunmaktadır (Ahmed vd., 2020). İklim değişikliği, gıda kıtlığı, türlerin yok olması ve aşırı hava koşulları da dahil olmak üzere insanın hayatta kalması ve gelişmesi açısından kritik zorluklar yaratmaktadır (Cramer vd., 2018).

Kentleşme süreci, zaten sınırlı kaynaklara sahip olan kentlerin nüfusunu artırmaktadır. Bu yüzden enerji, gıda, ulaşım, su, konut, ticari binalar, elektrikli aletler ve kamu hizmetlerine olan talep artar ve bu da iklim değişikliğine, kirliliğe, kaynakların aşırı çıkarılmasına ve tükenmesine yol açar (Ahmed vd., 2019). Son 50 yıldır dünyanın tüm ülkeleri insan eylemlerinden kaynaklanan olumsuz çevresel sonuçlara yönelik mücadele etmekte ve politika üretmektedirler (Ozcan vd., 2020).

Kentleşmeyle birlikte enerjiye olan talep artarken, kentler yenilenebilir enerji projeleriyle sürdürülebilirlik çabalarını destekleyerek bu talebi karşılamaya çalışmaktadırlar. Son zamanlarda, ekonomistler ve politika yapıcılar, enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi yakından izlemektedirler. Enerji tüketimi ekonomik büyümeyi destekleyen önemli bir bileşendir. Büyümenin önemli bir faktörü olan enerjiye olan talepte yüksektir (Hasanov vd., 2017). Bu yüzden REN ile GDP arasındaki nedensellik, enerji ekonomisi literatüründe araştırmacılar tarafından geniş çapta incelenmiştir (Rahman, 2017). Enerji talebi, yenilenebilir ve yenilenemeyen olmak üzere iki farklı enerji kaynağıyla karşılanmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları ham petrol, doğalgaz, kömür ve nükleer enerjidir. Buna karşılık yenilenebilir enerji kaynakları jeotermal, biyokütle, rüzgâr, hidroelektrik, güneş ve dalga enerjisidir. Yenilenemeyen enerji kaynakları, tüketim hızından daha hızlı bir şekilde tükenme eğilimindedir. Küresel ısınma ve azalan konvansiyonel enerji kaynaklarıyla birlikte artan enerji fiyatları, sürdürülebilir ekonomik kalkınma için yenilenebilir enerjinin etkin kullanımını vurgulamaktadır (Sebri ve Ben-Salha, 2014). Yenilenebilir enerji ise doğada sürekli olarak bulunan kaynaklardan üretilmektedir.

Yenilenebilir enerjinin üretimi ve tüketimi, ekonomi ve çevre açısından kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca, REN ile GDP arasındaki nedensellik ilişkisi, çevre ve enerji politikaları açısından önemlidir. Kömür yakma gibi geleneksel üretim tekniklerinin çevreye zararlı etkileri vardır. Bu sebeple, ülkeler uluslararası alanda güneş ve rüzgâr gibi

yenilenebilir kaynaklara daha çevreci üretim tekniklerine doğru yönelmektedirler (Inglesi-Lotz, 2016). Küresel ısınmanın çevresel etkileri ve sera gazı emisyonları, fosil yakıtlara duyulan endişeleri artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının temel özelliği, karbondioksit emisyonlarını azaltması ve çevrenin korunmasına yardımcı olmasıdır. Teorik olarak fosil yakıtların çok uzun bir süre boyunca kendini yenileyebileceği düşünülse de yakın gelecekte tamamen yok olma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji, daha az karbon salınımı ve daha sürdürülebilir bir enerji sistemine katkıda bulunarak, fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının olumsuz çevresel etkileri ve dalgalı enerji fiyatları gibi belirsizlikler nedeniyle daha önemli hale gelmektedir (Rahman ve Velayutham, 2020).

Yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik inovasyonu da beraberinde teşvik etmektedir. Yenilenebilir enerjiye olan talep, araştırma ve geliştirme faaliyetlerini artırarak yenilikçi çözümlerin geliştirilmesine yol açmaktadır. Fikir, bilgi ve enformasyon üretimini geliştirme kaygısı teknolojik inovasyonu yönlendiren unsurlardır. Bu, enerji verimliliğinin iyileştirilmesi için çok önemlidir (Zhou vd., 2010). Teknolojik inovasyon, sürdürülebilir ekonomik büyümenin sağlanmasında öncü alanlardan birisi olmasına rağmen ekonomik büyüme ile arasındaki bağlantı çok fazla araştırılan bir konu olmamıştır. Teknolojik inovasyona gereken ilgi ve önemin verilmesi durumunda, doğal kaynakların verimli kullanımı yoluyla sürdürülebilir büyümenin sağlanmasına yardımcı olabileceği bilinmektedir (Song vd., 2019). Bununla birlikte teknolojik inovasyon, küresel iklim değişikliğinin azaltılmasına da en önemli katkıyı sağlamaktadır (Sohag vd., 2021). Ayrıca araştırma ve geliştirme teşviklerine yapılan yatırımlardaki artış, patent sayısındaki artışı teşvik ederek daha fazla teknik ilerlemeye ve dolayısıyla ekonomik büyümeye yol açmaktadır (Zachariadis, 2003). Çalışmaya konu olan ülke grubunda toplamda teknolojik inovasyon da 1990 yılında 1,41 milyon patent başvurusu, 2019 yılında 2,64 milyon başvuruya çıkmıştır.

Fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak için teknolojik inovasyon, endüstriyel dönüşüm ve yenilenebilir enerji geliştirilmesi, sürdürülebilir kalkınma ve ekonomik-sosyal kalkınmanın sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Böylece dünya ekonomileri, çevre kalitesine daha fazla zarar vermeden, teknolojik inovasyonla değerli doğal kaynakların kıtlığının üstesinden gelebilir ve artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılayabilir. Bu bağlamda, geleneksel teknolojilerden yeniden işleme, geri dönüşüm, yenilikçi süreçlerin benimsenmesi ve doğal kaynakların yerini alan ürünlerin kullanımını içeren çevre dostu teknolojilere geçiş, ekonomik büyümenin artmasına neden olacak ve sonuçta çevresel bozulmayı azaltacaktır (Bekun vd., 2019).

İnsanların enerji, su, lif, kereste, altyapı ve diğerlerine yönelik talepleri ekolojik baskıya neden almakta ve bu da iklim değişikliğine, kirliliğe, biyolojik çeşitlilik kaybına ve toprak erozyonuna yol açmaktadır. Ekolojik ayak izi, insan kaynaklı faaliyetlerin otlama alanı, okyanus, mahsul alanları, orman ürünleri, altyapı (yerleşik arazi) ve karbon ayak izi açısından etkisini ölçmektedir. Mal üretmek ve atıkları absorbe etmek için gereken küresel hektar arazi ve su cinsinden hesaplanmaktadır (Ahmed ve Wang, 2019). Kısaca ekolojik ayak izi, doğal kaynaklara yönelik insan talebini desteklemek ve insan faaliyetleri sonucu oluşan atıkların ayrıştırılması için gereken verimli arazi ve okyanus alanını ölçmektedir (Wackernagel vd., 2002).

Tüm bahsedilen bu konulardan yola çıkarak kentsel nüfusun artması, doğal kaynak tüketimini artırarak doğal habitatları tahrip eder. Bu durum ekolojik ayak izinin artmasına neden olabilir. Ancak, yenilenebilir enerji tüketimi fosil yakıt kullanımını azaltarak doğal kaynakların korunmasına ve karbon salınımının azaltılmasına yardımcı olur. Böylece ekolojik ayak izinin azalmasına da neden olabilir. Ayrıca, teknolojik inovasyon daha verimli ve çevre dostu ürünlerin geliştirilmesine olanak tanır, bu da kaynak kullanımını azaltabilir ve atık üretimini azaltarak ekolojik ayak izini düşürebilir. Bu ilişkiler, kentleşme, yenilenebilir enerji tüketimi ve teknolojik inovasyonun ekolojik sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini vurgular. Bu faktörlerin dengeli bir şekilde yönetilmesi, daha sürdürülebilir bir gelecek için önemlidir.

Çalışmanın temel amacı İGE'ye göre 2021 yılı sıralamasında çok yüksek insani gelişim sağlayan ülke grubunda yer alan ilk 25 ülkeden seçilen 15 ülkenin (İsviçre, Norveç, Avustralya, Danimarka, İsveç, Almanya, Hollanda, Finlandiya, Belçika, Yeni Zelanda, Kanada, Birleşik Krallık, Japonya, Güney Kore, Amerika Birleşik Devletleri) 1990-2019 yılları arasında temelde iki grupta nedensellik ilişkilerini araştırmaktır. Bunun için ilk olarak GDP ile URBAN, REN ve PATENT arasındaki nedensellik ilişkisi, daha sonra ECO ile GDP, URBAN, REN ve PATENT arasındaki nedensellik ilişkisi incelenecektir. Buradan yola çıkarak çalışmanın temel hipotezi de 1990-2019 yılları arasında seçilen ülke grubunda tüm değişkenler arasında çift yönlü nedensellik ilişkisinin varlığıdır.

Çalışmanın literatüre temel katkısı GDP ile URBAN arasındaki, GDP ile REN arasındaki, GDP ile PATENT arasındaki nedensel ilişki daha önce çalışılmış olmasına rağmen, bu ilişkinin URBAN, REN ve PATENT ile birlikte incelenmesidir. Benzer şekilde ECO ile GDP arasındaki, ECO ile URBAN arasındaki, ECO ile REN arasındaki, ECO ile PATENT arasındaki ilişki daha önce araştırılmış olmasına rağmen, bu ilişkinin ECO ile GDP, URBAN, REN ve PATENT ile incelenmesidir. Böylelikle, tanımlanan değişkenlerin tümü arasındaki nedensel bağlantıları incelenmektedir. Çalışmanın literatüre diğer bir katkısı bu alanda daha önceki araştırmalarda nispeten ihmal edilen bir ülke grubunun kullanılmasıdır. Bilgimiz dahilinde seçilen ülke grubunda ve belirlenen değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisini araştıran bir çalışma bulunmamaktadır.

Çalışmada bazı sınırlar da yer almaktadır. Bunlardan ilki seçilen ülke grubuyla ilgilidir. İGE'ye göre 2021 yılı sıralamasında ilk 25'te yer alan bazı ülkelerin (İzlanda, Çin, İrlanda, Singapur, Lihtenştayn, Lüksemburg, İsrail, Malta, Slovenya, Avusturya) verilerine ulaşılamamasından dolayı analizde yer verilememiştir. Diğer bir sınırlama ise çalışma dönemi ile ilgilidir. Benzer şekilde veri eksikliğinden dolayı 1990-2019 dönemi ile sınırlı kalmıştır.

Bu makalenin geri kalanı şu şekildedir: 2. bölümde literatür incelenirken, bölüm 3'te değişkenler, veri yapısı ve örneklem seçimi açıklanmaktadır. 4. bölümde bazı politika çıkarımları sunulmaktadır. Bölüm 5'te ise sonuçlara yer verilmiştir.

## 2. Literatür

Çalışmanın literatürü iki kısımda ele alınacaktır. Literatürün ilk kısmında kentleşmenin, yenilenebilir enerji tüketiminin ve teknolojik inovasyonun ekonomik büyüme üzerindeki etkisi ele alınacak, literatürün ikinci kısmında ise kentleşmenin, yenilenebilir enerji tüketiminin ve teknolojik inovasyonun ekolojik ayak izine etkisi ele alınacaktır. Çalışmada kullanılan değişkenlerin çokluğundan dolayı literatür kısmında, son yıllardaki çalışmalardan edilen sonuçlara göre sınıflandırılarak ifade edilmiştir.

### 2.1 Kentleşmenin, Yenilenebilir Enerji Tüketiminin ve Teknolojik İnovasyonun Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi

URBAN ve GDP arasındaki ilişkiyi analiz eden çok sayıda çalışma vardır. Njoh (2003) Sahra Altı Afrika ülkeleri için korelasyon analizi ve t testi ile yaptığı analizler sonucunda; Liang ve Yang (2019) ise Çin'de 2006-2015 yılları arasında 30 bölge için yaptıkları panel veri analizleri sonucunda URBAN ve GDP arasında pozitif bir ilişkinin olduğunu tespit etmişlerdir. Şit vd. (2021) Türkiye ekonomisi için 1960-2018 yılları arasındaki verileri kullanarak Narayan ve Popp birim kök testi ve Hatemi-j nedensellik analizi yapmışlar ve URBAN ve finansal gelişmenin GDP üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

URBAN ve GDP arasındaki ilişkiyi nedensellik analizi ile inceleyen çalışmalar da mevcuttur. Zhao ve Wang (2015) 1980-2012 yılları arasında Çin için Granger nedensellik analizi yapmışlar, Sancar ve Sancar (2017) Avrupa Birliği'ne üye 13 ülke ve Türkiye için 1990-2014 yılları arasında Dumitrescu ve Hurlin panel nedensellik analizini kullanmışlar ve GDP'den URBAN'a doğru tek yönlü bir nedensellik olduğunu tespit etmişlerdir. Tandoğan (2017) 1968-2016 yılları arasında Türkiye için Toda Yamamoto nedensellik

analizi yaparak yine GDP'den URBAN'a doğru tek yönlü bir nedensellik olduğunu tespit etmiştir. Bayraktutan ve Alancioğlu (2019) ise BRICS-T ülkeleri için 1990-2017 yılları arasındaki verileri ile Dumitrescu ve Hurlin nedensellik analizini kullanarak araştırmışlar ve URBAN'dan GDP'ye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin var olduğunu tespit etmişlerdir. Bunların yanı sıra Çalışkan ve Öztürk (2019) Türkiye ekonomisi için 1960-2016 yılları arasındaki verileri kullanarak Granger nedensellik analizi ile test etmişler, bunun sonucunda GDP ve URBAN arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisinin var olduğunu belirtmişlerdir. Liddle ve Messinis (2015) de 1960-2009 yılları arasında 100 ülkeyi kapsayan verilerle yapmış oldukları panel veri analizi testleri sonucunda yine GDP ve URBAN arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisinin varlığını ortaya koymuşlardır. Chen vd. (2014) ise 226 ülke için 1980-2011 yılları arasındaki verileri CBS yöntemi aracılığıyla test etmişler ve küreselleşme düzeyinde URBAN ve GDP arasında korelasyon olmadığını ifade etmişlerdir.

REN ve GDP arasındaki ilişkiye ait literatür incelendiğinde genellikle değişkenler arasında tek yönlü veya çift yönlü nedensellik ilişkisinin var olduğu ve bazı çalışmalarda ise bu iki değişken arasında herhangi bir nedensellik ilişkisinin olmadığı görülmektedir.

Eden ve Hwang (1984) ABD için 1947-1979 dönemini, Kraft ve Kraft (1978) ise yine ABD için 1947-1974 dönemini kapsayan SIMS yöntemiyle yapılan nedensellik analizleri ile incelemiştir. Bu çalışmalarda, REN ile GDP arasında herhangi bir nedensellik ilişkisi bulunmadığı, ancak Gayrisafi Milli Hasıla (GSMH) ile enerji tüketimi arasında tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu belirtilmiştir. Şimşek ve Yiğit (2017), BRIC-T ülkeleri için 1990-2015 verilerini kullanarak Dumitrescu Hurlin panel nedensellik analizi yapmış ve GSYH'den REN'e doğru tek yönlü bir nedensellik tespit etmişlerdir. Ocal ve Aslan (2013) ise 1990-2010 dönemi Türkiye ekonomisi için yaptıkları Toda-Yamamoto nedensellik analizinde, GDP'den REN'e doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğunu belirlemişlerdir.

Hwang ve Gum (1991), Tayvan ekonomisinde 1961-1990 dönemini için bir Granger nedensellik testi gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak GDP ile REN arasında karşılıklı bir nedensellik ilişkisi belirlenmiştir. Apergis ve Payne (2010) 13 Avrasya ülkesi ekonomisi için 1992-2007 döneminde panel nedensellik analizi yapmışlar ve yenilenebilir enerji ile GDP arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisinin olduğunu belirtmişlerdir. Pao ve Fu (2013) Brezilya ekonomisi için 1980-2010 dönemini; Sebrı ve Ben-Salha (2014) BRICS ülkeleri için 1971-2010 yılları arasındaki verileri analiz etmişlerdir. Her iki çalışma da Granger nedensellik analizi yöntemini kullanmış ve yenilenebilir enerji ile GDP arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisinin olduğunu tespit edilmiştir.

REN ile GDP arasında ilişkinin bulunmadığını belirten çalışmalar da vardır. Menegaki (2011) 27 Avrupa ülkesini kapsayan ve 1997-2007 dönemindeki verileri kullandığı çalışmasında panel veri analizi ile Bélaïd ve Youssef (2017) ise Cezayir ekonomisi için 1980-2012 yılları arasındaki verileri kullanarak Granger nedensellik analizi ile yaptıkları çalışmalarında REN ve GDP arasında herhangi bir nedenselliğin olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca Köseoğlu ve Ünal (2019) Türkiye ekonomisi için 1990-2016 yıllarındaki verilerle ARDL sınır testi yapmışlar ve REN'in GDP'yi uzun dönemde pozitif etkilediği sonucuna ulaşmışlardır.

PATENT ve GDP arasındaki ilişkiyi araştıran literatür incelendiğinde teknolojik inovasyonun genellikle AR-GE harcamaları olarak kullanıldığı, bunun yanında patent sayısı ve patent başvuru sayısının da kullanıldığı görülmektedir. Literatür incelendiğinde genellikle teknolojik inovasyon ile ekonomik büyüme arasındaki pozitif ilişkinin varlığı göze çarpmaktadır.

Sylwester (2001) 1989-1996 yılları arasındaki G-7 ülkelerine ait verileri kullanarak regresyon analizi yapmış ve GDP ile AR-GE harcamaları arasında pozitif bir ilişkinin var olduğunu belirlemiştir. Hasan ve Tucci (2010) 58 ülkeyi kapsayan 1980-2003 dönemine ait verileri kullanarak yaptıkları GMM analizi sonucunda; Genç ve Atasoy (2010) 34 ülkeyi kapsayan 1997-2008 dönemine ait verilerle yaptıkları analizler sonucunda, PATENT ve GDP arasında pozitif bir ilişkinin var olduğunu belirlemişlerdir. Işık ve Kılınç (2016)

seçilmiş 13 ülke için 1990-2011 yıllarını kapsayan verilerle PMGE ve MGE tahmincilerini kullanarak yaptıkları testler sonucunda PATENT'in GDP'yi olumlu etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Yıldız (2018) 1998-2013 yılları arasında 15 Avrupa Birliği ülkesi ve Türkiye ekonomileri için panel ARDL modeli ile yaptığı analizler sonucunda PATENT etkilerinin GDP'yi pozitif yönde etkilediğini belirtmiştir. Son olarak, Goel ve Ram (1994), 1960-1985 dönemi verilerini kullanarak az gelişmiş ve gelişmekte olan 54 ülke ekonomisi için regresyon analizi gerçekleştirmiştir. Yapılan analizde, AR-GE harcamaları ile GDP arasında yüksek gelirli ülkelerde pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

## 2.2 Kentleşmenin, Yenilenebilir Enerji Tüketiminin ve Teknolojik İnovasyonun Ekolojik Ayak İzi Üzerindeki Etkisi

URBAN'ın ECO üzerindeki etkisini dikkate alan çalışmaları temel olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Kimi çalışmalar kentleşmede meydana gelen artışların ekolojik ayak izini olumlu, kimi çalışmalar ise olumsuz etkilediği sonucunu ortaya koymaktadır.

Nathaniel vd. (2019) 1965-2014 döneminde Güney Afrika için yaptıkları ARDL analizi sonucunda URBAN'ın uzun vadede ECO'yu azalttığını tespit etmişlerdir. Ulucak ve Khan (2020) BRICS ülkeleri için 1992-2016 dönemine ait verilerle en küçük kareler yöntemini kullanarak yaptıkları çalışmalarında ve Chen vd. (2022) 110 ülke ekonomisi için 1990-2016 yılları arasındaki verilerle panel veri analizi yaptıkları çalışmalarında URBAN'ın ECO'yu azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca Khan vd. (2023) 1971-2018 Hindistan için NARDL yöntemini kullanmışlar ve URBAN'ın uzun vadede ECO'yu azalttığını tespit etmişlerdir.

Ahmed vd. (2020) G7 ülkeleri için yaptıkları 1971-2014 dönemini kapsayan panel veri analizi sonucunda URBAN'ın ECO'yu artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Nathaniel (2021) Endonezya için 1971-2017 yılı arasındaki verilerle yaptığı ARDL analizi sonucunda ve Arif vd. (2023) Pakistan için 1970-2020 yılları arasındaki verilerle yaptıkları NARDL yöntemi sonucunda URBAN'ın ECO'yu artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca Ullah vd. (2023) 1970-2018 yıllarını kapsayan verilerle VECM modeli ile analiz yapmışlar ve belirlenen dönemde Türkiye için URBAN'ın ECO'yu artırdığını tespit etmişlerdir.

REN'in ECO üzerindeki etkisine bakıldığında genellikle yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izini azalttığı ve çevre kalitesini artırdığı sonucuna ulaşan çalışmalar dikkat çekmektedir.

Usman vd. (2020) ABD ekonomisi için 1985: Q1-2014: Q4 dönemi verilerle ARDL yöntemi ile; Ulucak ve Khan (2020) BRICS ülkeleri için 1992-2016 dönemine ait verilerle en küçük kareler yöntemi ile analiz etmişler ve yenilenebilir enerjinin ECO'yu azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Sahoo ve Sethi (2021) gelişmekte olan 36 ülke ekonomisi için 1990-2016 yılları arasındaki verileri AMG, MG ve DCCE teknikleri ile Sharma vd. (2021) ise Güney ve Güneydoğu Asya'nın gelişmekte olan 8 ülkesi için 1990-2015 yılları arasındaki verileri CS-ARDL yöntemi ile test etmişler ve sonucunda yenilenebilir enerjinin ECO'yu azalttığını tespit etmişlerdir. Nathaniel vd. (2021) MENA ülkeleri için 1990-2016 yılları arasındaki verileri kullanarak en küçük kareler yöntemini kullanarak analiz etmişler ve benzer sonuca ulaşmışlardır. Li vd. (2022) 1995-2014 yılları arasındaki verileri kullanarak 120 ülke için eşik panel regresyon modeli ile analizler yapmışlar ve yenilenebilir enerjinin ECO'yu azalttığı sonucunu destekleyen çıkarımlarda bulunmuşlardır.

Literatürdeki çoğu çalışmanın aksine, Nathaniel vd. (2020) MENA ülkeleri için 1990-2016 yılları arasındaki verileri panel veri analizi ile Çakmak ve Acar (2022) ise petrol üreten 8 ülke için 1999-2017 dönemini kapsayan verileri Sistem GMM yöntemi ile test etmişler. Bulgular, yenilenebilir enerjinin ECO'yu etkilemediğini ortaya koymaktadır.

PATENT'in ECO üzerindeki etkisini inceleyen literatüre bakıldığında genellikle teknolojide meydana gelen gelişmelerin ekolojik ayak izi üzerinde olumlu etkisi olduğunu tespit eden çalışmaların çoğunluğu göze çarpmaktadır. Kimi çalışmalar teknolojik inovasyonu Ar-Ge çalışmaları kapsamında değerlendirirken kimi çalışmalar da ekolojik ayak izini karbon emisyonu çerçevesinde dikkate almıştır.

Ahmad vd. (2020) gelişmekte olan 22 ülke ekonomisi için 1984-2016 dönemini kapsayan verilerle CS-ARDL yöntemini kullanarak yaptıkları analizler sonucunda PATENT'in ECO'yu azalttığını tespit etmişlerdir. Adedoyin vd. (2020) AB-16 lkeleri için 1997-2014 yıllarını kapsayan verileri en küçük kareler yöntemi ile analiz etmişler ve Ar-Ge harcamalarındaki artışın ECO'yu azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Kılınç (2021) 2002-2016 dönemlerini kapsayan verilerle OECD lkelerinde PATENT ve ECO arasındaki ilişkiyi panel veri yöntemleriyle analiz etmiş ve Ar-Ge ve demonstrasyon harcamalarındaki artışın ECO'yu azalttığını tespit etmiştir. Kihombo vd. (2021) Gelişmiş 9 lke için 1990-2017 dönemine ait verilerle STIRPAT modeli çerçevesinde analizler yapmışlar ve PATENT'deki artışın ECO'yu azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Oğul (2022) Türkiye için 1990-2018 yılları arasındaki verilerle yaptığı ARDL testi sonucunda PATENT'deki artışların kısa ve uzun dönemde ECO'yu azalttığını tespit etmiştir.

Gu vd. (2019) 2005-2016 döneminde Çin'e ait verilerle GMM yöntemi ve Dauda vd. (2021) 1990-2016 yıllarını kapsayan 9 Afrika ülkesine ait verilerle eř bütünleşme ve panel GMM yöntemlerini kullanarak analizler yapmışlar ve yapılan testler sonucunda her iki çalışmada da PATENT'le ECO arasında ters-U şeklinde bir ilişkinin varlığını tespit etmişlerdir. Bu iki çalışmada da ECO'yu ölçmede karbon emisyonunu dikkate almıştır. Bir başka çalışmada ise zarslan Doğan (2023) Türkiye'de 1985-2020 yıllarındaki verilerle PATENT'le ECO arasındaki ilişkiyi ARDL yöntemi ile analiz etmiş ve PATENT'in ECO'yu artırdığı sonucuna ulaşmıştır.

### 3. Veri ve Yöntem

Bu çalışmada temelde iki grupta nedensellik ilişkileri araştırılacaktır. İlk olarak ekonomik büyüme ile kentleşme, yenilenebilir enerji tüketimi ve teknolojik inovasyon arasındaki nedensellik ilişkisi, ikincil olarak ekolojik ayak izi ile ekonomik büyüme, kentleşme, yenilenebilir enerji tüketimi ve teknolojik inovasyon arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılacaktır. Bu amaçla Avustralya, Hollanda, Yeni Zelanda, Norveç, İşve, Belçika, Almanya, Japonya, Kanada, Danimarka, Finlandiya, Güney Kore, İşvire, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri'ne ilişkin 1990-2019 dönemi için Tablo 1'de yer alan veriler kullanarak ilgili nedensellik ilişkileri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenlere ait detaylı bilgiler Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** alışmada Kullanılan Değişkenler

Değişkenlerin Kısa Gösterimi	Açıklama	Kaynak
GDP	Kişi başi gayrisafi yurtiçi hasıla, 2015 sabit fiyatları ile ABD doları olarak	Dünya Kalkınma Göstergeleri (WDI -World Development Indicators)
URBAN	Kent nüfusunun toplam nüfusa oranı, yüzde olarak	WDI
REN	Enerji tüketimi, PJ olarak	Uluslararası Enerji Ajansı (IEA- International Energy Agency)
PATENT	Patent başvuru sayısı	WDI
ECO	Ekolojik ayak izi endeksi değerleri	Küresel Ayak Izi Ağı (GFN-Global Footprint Network)

Bu doğrultuda oluşturulan iki model aşağıda belirtilmiştir.

$$GDP_{i,t} = \beta_0 + \beta_1URBAN_{i,t} + \beta_2REN_{i,t} + \beta_3PATENT_{i,t} + \varepsilon_{1,t} \quad (1)$$

$$ECO_{i,t} = \theta_0 + \theta_1GDP_{i,t} + \theta_2URBAN_{i,t} + \theta_3REN_{i,t} + \theta_4PATENT_{i,t} + \varepsilon_{2,t} \quad (2)$$

Çalışmada belirtilen nedensellik ilişkilerinin analizi için Stata 15 programı kullanarak öncelikle Swamy (1970) Homejenlik Testi yapılarak, Dumitrescu ve Hurlin (2012) tarafından geliştirilen panel nedensellik testi kullanılmıştır. Durağanlık testi panel veri yöntemlerinde kullanılacak olan nedenellik analizlerinin belirlenmesi için gerekli olan testin yapılması uygun olabilir. Bundan ötürü, belirlenecek faktör arasındaki nedenselliğin analizinden önce erinin homojenliği sınanmalıdır (Oğuztürk ve Koç, 2023). Bu doğrultuda Swamy (1970) Homojenlik Testi uygulanmıştır. Bu testi uygulamadaki amaç, hangi nedensellik analizinin yapılacağını belirlemektedir. Bu testte sıfır hipotez kabul edilirse Granger Nedensellik Testi; sıfır hipotezin reddedilmesi durumunda ise

Dumitrescu-Hurlin Nedensellik testi seçilmelidir (Güriş, 2019). Geleneksel panel Granger nedensellik testlerinde, değişkenin bir alt grubunda nedensel bir ilişki varsa, yatay kesit bilgisinin eksikliğinden dolayı, bunun homojen boş hipotezden kaynaklandığı görülebilir. Sıfır hipotezi kesitlerde Granger nedensellik ilişkisinin olmadığı anlamına gelirken, alternatif hipotez en az bir kesit için Granger nedensellik ilişkisini ifade etmektedir. Dumitrescu-Hurlin testinde ise yatay kesit bağımlılığı ve yatay kesit bağımsızlığı durumlar tahmin edilebilmektedir (Dumitrescu ve Hurlin, 2012). Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel nedensellik testi için aşağıdaki denklemi kullanmıştır:

$$y_{i,t} = \sum_{k=1}^K \gamma_{ik} y_{i,t-k} + \sum_{k=1}^K \beta_{ik} x_{i,t-k} + \varepsilon_{i,t} ,$$

$$i=1,2,\dots,N \text{ ve } t=1,2,\dots,T \quad (3)$$

Burada  $x_{i,t-k}$  ve  $y_{i,t-k}$  i bireyi için t dönemindeki iki durağan değişkenin gözlemleridir. Burada her iki değişken için de aynı gecikme sayısı, K, kullanılmaktadır.

Modelin varsayımlarını; bireysel etkilerin sabit olması, yatay kesitte aynı gecikme uzunluğunun yanı sıra eğim katsayılarının ve gecikme parametrelerinin birimler arasında farklılık göstermesi ve özellikle Dumitrescu-Hurlin testi için bir denge panelinin gerekli olması şeklinde özetleyebiliriz. Boş ve alternatif hipotez denklemi aşağıdaki gibidir:

$$H_0: \beta_{i1} = \dots = \beta_{iK} = 0 \quad \forall i=1, \dots, N \quad (4)$$

$$H_1 = \beta_{i1} = \dots = \beta_{iK} = 0 \quad \forall i=1, \dots, N_1 \quad (5)$$

$$\beta_{i1} \neq 0 \text{ veya } \beta_{iK} \neq 0 \quad \forall i= N_1 + 1, \dots, N \quad (6)$$

Bu çerçevede boş hipotez değişkenler arasında Granger Nedensellik ilişkisinin olmadığını belirtirken, boş hipotezin reddedilmesi değişkenler arasında Granger Nedensellik ilişkisinin olduğu en az bir birimin olduğunu göstermektedir.

Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi hipotezlerinin sonucunu belirlemek için, yatay kesit birimlerinin tüm test istatistiklerinin ortalaması olan bir test istatistiği kullanılmaktadır. Bu amaçla öncelikle denklem (3)'te yer alan model tahmin edilmekte ve birimlere ilişkin Wald istatistiklerini,  $W_i$ , elde etmek için  $\beta_{i1} = \dots = \beta_{iK} = 0$  K doğrusal hipotezlerin F testleri gerçekleştirilmektedir. Sonrasında bu Wald istatistiklerinin ortalaması  $\bar{W}$  alınmaktadır.

Bu testte, T'nin N'den büyük veya küçük olmasına bağlı olarak iki farklı test istatistiği elde edilebilmektedir. Bu test istatistikleri  $\bar{W}$ 'den elde edilen  $Z_N$  ve  $Z_{N,T}$ 'dir.  $T > N$  olduğunda,  $Z_{N,T}$  istatistiğini kullanılabilirken.  $T < N$  durumunda ise  $Z_N$  istatistiklerini kullanılabilir. Bu test istatistikleri şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$Z_{N,T} = \sqrt{\frac{N}{2K}} (\bar{W} - K) \quad (5)$$

$$Z_N = \frac{\sqrt{N}(\bar{W} - N^{-1} \sum_{i=1}^N E(W_i))}{\sqrt{N^{-1} \sum_{i=1}^N Var(W_i)}} \quad (6)$$

Burada  $E(W_i)$  ve  $Var(W_i)$  bireysel Wald istatistiklerin sırasıyla beklenen değeri ve varyansdır. Gecikme sayısı (K) seçimi, Dumitrescu ve Hurlin'in (2012) rehberlik sağlamadığı ampirik bir konudur. Bu sorunun üstesinden gelmenin bir yolu, bir bilgi kriterine (AIC/BIC/HQIC) dayalı olarak gecikme sayısını seçmektir. Bu süreçte, tüm tahminlerin iç içe geçmiş ve dolayısıyla karşılaştırılabilir olması için ortak bir örneklem üzerinde yürütülmesi gerekir. Pratikte bu, tüm gecikme seçimi süreci boyunca ilk  $K_{max}$  zaman dilimlerinin ihmal edilmesi gerektiği anlamına gelir.

### 3.1 Ekonometrik Uygulama

Bu çalışmada hem ekonomik büyüme ile kentleşme, yenilenebilir enerji tüketimi ve teknolojik inovasyon arasındaki nedensellik ilişkisi, hem de ekolojik ayak izi ile ekonomik büyüme, kentleşme, yenilenebilir enerji tüketimi ve teknolojik inovasyon arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda kullanılan Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel nedensellik testi için değişkenlerin durağan olması gerekmektedir. Bu amaçla öncelikle serilerin durağanlık durumları araştırılmıştır. Panel veri modellerinde



durağanlık testleri yatay kesit bağımlılığını dikkate almayan birinci jenerasyon testleri ve yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci jenerasyon testleri olarak iki ana grupta ele alındığından, uygun birim kök testinin belirlenmesi amacıyla modellerde yatay kesit bağımlılık durumları araştırılmıştır. Çalışmada ele alınan veri setinde T ve N boyutları yeterince geniş olduğundan Pesaran vd. (2008) uyarlanmış LM testi ile yatay kesit bağımlılık testleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre:

**Tablo 2.** Yatay Kesit Bağımlılık Testleri

Model	Test İstatistiği	p-değeri
Birinci Model	58.8	0.00
İkinci Model	28.85	0.00

Tablo 2’de görüldüğü üzere çalışmada araştırılan her iki modelde de yatay kesit bağımlılığın olduğu söylenebilir. Bu nedenle serilerin birim köke sahip olup olmadıklarının incelenmesi amacıyla serilere Pesaran (2003) birim kök testi uygulanmıştır.

Tablo 3’te çalışmada ele alınan serilerden GDP, PATENT ve ECO değişkenleri düzeyde durağan bulunurken, URBAN ve REN değişkenleri birinci sıra farkları alındıktan sonra (sirasıyla D\_URBAN ve D\_REN) durağanlaşmıştır.

**Tablo 3.** Panel Birim Kök Testleri

Değişken	Sabitli		Sabitli-Trendli	
	Test İstatistiği	p-değeri	Test İstatistiği	p-değeri
GDP	-2.291	0.019	-2.735	0.042
URBAN	-0.901	1.000	-0.977	1.000
D_URBAN	-1.563	0.796	-2.916	0.007
REN	-2.058	0.125	-2.185	0.714
D_REN	-5.039	0.000	-5.066	0.000
PATENT	-1.878	0.334	-2.971	0.003
ECO	-2.663	0.000	-3.365	0.000

Serilerin durağanlaştırılması sonrasında değişkenler arasında nedensellik ilişkisi araştırılmıştır. Nedensellik ilişkisinin incelenmesinden önce uygun nedensellik testine karar verilebilmesi için Swamy (1970) Homojenlik Testi yapılmıştır.

**Tablo 4.** Swamy Homojenlik Testi

Model	Hipotezler	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
Model 1	$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta$	17326.59	0.00
Model 2	$H_0: \theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = \theta$	16807.49	0.00

Uygulanan Swamy Homojenlik Testi sonuçlarına göre her iki model için de boş hipotezler %99 güven aralığında reddedilerek birimlerin heterojen olduklarına karar verilmiştir. Dolayısıyla Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel nedensellik testinin uygulanmasına karar verilmiş ve uygun gecikme sayıları Akaike Bilgi Kriterine göre seçilmiştir.

**Tablo 5.** Panel Nedensellik Testleri

Boş Hipotez	Test İstatistiği	p-değeri
D_URBAN, GDP'nin Granger Nedeni Değildir.	6.0168	0.0000
GDP, D_URBAN'nın Granger Nedeni Değildir.	15.0170	0.0000
D_REN, GDP'nin Granger Nedeni Değildir.	9.6446	0.0000
GDP, D_REN'nin Granger Nedeni Değildir.	-0.0727	0.9420
PATENT, GDP'nin Granger Nedeni Değildir.	2.0057	0.0449
GDP, PATENT'in Granger Nedeni Değildir.	3.1449	0.0017
GDP, ECO'nun Granger Nedeni Değildir.	11.7770	0.0000
ECO, GDP'nin Granger Nedeni Değildir.	0.1227	0.9023
D_URBAN, ECO'nun Granger Nedeni Değildir.	7.5495	0.0000
ECO, D_URBAN'nın Granger Nedeni Değildir.	2.6233	0.0087
D_REN, ECO'nun Granger Nedeni Değildir.	0.9757	0.3292
ECO, D_REN'nin Granger Nedeni Değildir.	11.4011	0.0000
PATENT, ECO'nun Granger Nedeni Değildir.	9.9753	0.0000
ECO, PATENT'in Granger Nedeni Değildir.	6.5823	0.0000

Tablo 5'te belirtilen Panel Nedensellik Testleri sonuçlarına göre

- D\_URBAN ile GDP'nin karşılıklı nedensellik ilişkisine sahip olduğu
- D\_REN'den GDP'ye doğru bir nedensellik ilişkisinin olduğu
- PATENT ile GDP'nin karşılıklı nedensellik ilişkisine sahip olduğu
- GDP'den ECO'ya doğru bir nedensellik ilişkisinin olduğu
- D\_URBAN ile ECO'nun karşılıklı nedensellik ilişkisine sahip olduğu
- ECO'dan D\_REN'e doğru bir nedensellik ilişkisinin olduğu
- PATENT ile ECO'nun karşılıklı nedensellik ilişkisine sahip olduğu

söylenebilir.

#### 4. Politika Çıkarımları

Mevcut araştırma çalışması ampirik bulgulara dayanarak, politika yapıcılara yol gösterecek bazı politika çıkarımları sunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

URBAN ile GDP arasındaki çift yönlü nedensellik ilişkisi göz önüne alındığında, politika yapıcılar, ulaşım, su ve enerji gibi temel altyapı alanlarına odaklanarak ve kentlerin büyümesini destekleyerek, kentsel altyapı yatırımları ile kentlerin ekonomik büyümesini güçlendirebilirler. Ayrıca kentlerin dengeli ve sürdürülebilir büyümesini desteklemek için uygun planlama ve yönetim mekanizmaları geliştirilebilir.

PATENT ile GDP arasındaki çift yönlü nedensellik ilişkisi göz önüne alındığında, politika yapıcılar, AR-GE ve inovasyon yatırımlarının artırılması için yeni ürünlerin ve süreçlerin geliştirilmesini özendirerek ekonomik büyümeyi yakalamak için teşvikler ve destekler sağlamalıdır. Ayrıca yenilikçi girişimciliği desteklemek için girişim sermayesi yatırımları yapılmalıdır. Benzer şekilde ulusal ve uluslararası düzeyde teknoloji transferi ve iş birliği teşvik edilmelidir. Bu durum farklı ülkeler ve sektörler arasında teknoloji transferini kolaylaştırarak ekonomik büyümeyi destekleyebilir.

URBAN ile ECO arasındaki çift yönlü nedensellik ilişkisi göz önüne alındığında, politika yapıcılar, kentsel altyapı yatırımlarına yatırım yaparak çevresel etkilerin minimize edilmesine odaklanmalı ve temiz enerji kaynaklarına dayalı altyapı ile su ve enerji tüketimini azaltacak sistemlerin kurulmasını teşvik etmelidirler. Ayrıca kentsel yeşil alanların korunması ve artırılması için parklar ve bahçeler gibi doğal alanların korunması ve yeniden yeşillendirilmesini içeren politika ve uygulamalar geliştirilmelidir. Bu durum kentlerin yaşanabilirliğine ve çevresel sürdürülebilirliğine katkı sağlayabilir.

REN'den GDP'ye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunda, politika yapıcılar, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımları teşvik ederek ekonomik büyümeyi destekleyebilir. Yenilenebilir enerji projelerini desteklemek için teşvikler ve hibe programları oluşturulabilir. Örneğin vergi indirimleri gibi destekler yenilenebilir enerji üretimini teşvik ederek ekonomik büyümeyi artırabilir.

GDP'den ECO'ya doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna varıldığında, politika yapıcılar, yeşil ekonomi politikalarını benimseyerek, ekonomik büyüme ile çevresel etkiler arasındaki ilişkinin sürdürülebilir bir denge içinde olmasını sağlayabilirler. Bu kapsamda, yeşil işletmelerin teşvik edilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin benimsenmesi gibi adımlar atılabilir.

#### 5. Sonuç

Çalışmada İnsani Gelişme Endeksine göre 2021 yılı sıralamasında çok yüksek insani gelişim sağlayan ülke grubunda yer alan ilk 25 ülkeden seçilen 15 ülkenin 1990-2019 yılları arasında iki temel nedensellik ilişkisi grubu üzerinde durulmuştur. İlk olarak, GDP ile URBAN, REN ve PATENT arasındaki nedensellik ilişkisi incelenmiştir. Daha sonra ikincil olarak ECO ile GDP, URBAN, REN ve PATENT arasındaki nedensellik ilişkisi üzerinde durulmuştur. Çalışmada yöntem olarak Dumitrescu ve Hurlin panel nedensellik testi tercih edilmiştir.

Belirtilen temel hipotez çerçevesinde “1990-2019 yılları arasında seçilen ülke grubunda tüm değişkenler arasında çift yönlü nedensellik ilişkisinin varlığı” tespit edilememiştir. Kurgulanan modellerle elde edilen sonuçlara göre URBAN ve REN ile GDP; URBAN ve PATENT ile ECO arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Bununla birlikte REN’den GDP’ye, GDP’den ECO’ya ve ECO’dan REN’e doğru da tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu bulgular, sürdürülebilir kalkınma stratejileri geliştirirken kentleşme, teknolojik inovasyon ve enerji politikalarının bir arada ele alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Gelecekteki çalışmaların, bu faktörler arasındaki karmaşık ilişkileri daha derinlemesine anlamak ve çevresel sürdürülebilirlikle uyumlu politikaların geliştirilmesine katkı sağlamak için odaklanması gerekmektedir.

## Kaynakça

- Adedoyin, F. F., Alola, A. A. and Bekun, F. V. (2020). An assessment of environmental sustainability corridor: the role of economic expansion and research and development in EU countries. *Science of the Total Environment*, 713, 136726.
- Ahmad, M., Jiang, P., Majeed, A., Umar, M., Khan, Z. and Muhammad, S. (2020). The dynamic impact of natural resources, technological innovations and economic growth on ecological footprint: an advanced panel data estimation. *Resources Policy*, 69, 101817.
- Ahmed, Z. and Wang, Z. (2019). Investigating the impact of human capital on the ecological footprint in India: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 26782-26796.
- Ahmed, Z., Wang, Z. and Ali, S. (2019). Investigating the non-linear relationship between urbanization and CO2 emissions: An empirical analysis. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12, 945-953.
- Ahmed, Z., Zafar, M. W. and Ali, S. (2020). Linking urbanization, human capital, and the ecological footprint in G7 countries: an empirical analysis. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102064.
- Apergis, N. and Payne, J. E. (2010). Renewable energy consumption and growth in Eurasia. *Energy Economics*, 32(6), 1392-1397.
- Arif, M., Gill, A. R. and Ali, M. (2023). Analyzing the non-linear association between urbanization and ecological footprint: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(50), 109063-109076.
- Baloch, M. A., Mahmood, N. and Zhang, J. W. (2019). Effect of natural resources, renewable energy and economic development on CO2 emissions in BRICS countries. *Science of the Total Environment*, 678, 632-638.
- Bayraktutan, Y. ve Alancioğlu, E. (2019). Kentleşme-büyüme ilişkisi: BRICS-T için bir analiz. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(72), 1824-1831.
- Bekun, F. V., Alola, A. A. and Sarkodie, S. A. (2019). Toward a sustainable environment: Nexus between CO2 emissions, resource rent, renewable and nonrenewable energy in 16-EU countries. *Science of the Total Environment*, 657, 1023-1029.
- Bélaïd, F. and Youssef, M. (2017). Environmental degradation, renewable and non-renewable electricity consumption, and economic growth: Assessing the evidence from Algeria. *Energy policy*, 102, 277-287.
- Chen, M., Zhang, H., Liu, W. and Zhang, W. (2014). The global pattern of urbanization and economic growth: evidence from the last three decades. *PloS one*, 9(8), e103799.
- Chen, Y., Lee, C.-C. and Chen, M. (2022). Ecological footprint, human capital, and urbanization. *Energy & Environment*, 33(3), 487-510.
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.-P., Iglesias, A., Lange, M. A., Lionello, P., Llasat, M. C. and Paz, S. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8(11), 972-980.
- Çakmak, E. E. and Acar, S. (2022). The nexus between economic growth, renewable energy and ecological footprint: An empirical evidence from most oil-producing countries. *Journal of Cleaner Production*, 352, 131548.
- Çalışkan, H. & Öztürk, S. (2019). Kentleşme gelişiminin ekonomik büyüme üzerine etkisi: Türkiye örneği. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (17), 677-694.
- Dauda, L., Long, X., Mensah, C. N., Salman, M., Boamah, K. B., Ampon-Wireko, S. and Dogbe, C. S. K. (2021). Innovation, trade openness and CO2 emissions in selected countries in Africa. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125143.
- Dittmar, J. E. (2011). Information technology and economic change: the impact of the printing press. *The Quarterly Journal of Economics*, 126(3), 1133-1172.

- Dong, K., Hochman, G., Zhang, Y., Sun, R., Li, H. and Liao, H. (2018). CO2 emissions, economic and population growth, and renewable energy: empirical evidence across regions. *Energy Economics*, 75, 180-192.
- Dumitrescu, E.-I. and Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450-1460.
- Eden, S. and Hwang, B.-K. (1984). The relationship between energy and GNP: further results. *Energy Economics*, 6(3), 186-190.
- Genç, M. C. and Atasoy, Y. (2010). Ar&Ge harcamaları ve ekonomik büyüme ilişkisi: panel veri analizi. *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, 5(2).
- Goel, R. K. and Ram, R. (1994). Research and development expenditures and economic growth: A cross-country study. *Economic development and cultural change*, 42(2), 403-411.
- Gu, W., Zhao, X., Yan, X., Wang, C. and Li, Q. (2019). Energy technological progress, energy consumption, and CO2 emissions: empirical evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117666.
- Gürüş, S., Yılğör, M., & Kömürbakan, F. (2019). Üçüz Açıklar Hipotezinin Geçerliliğinin Analizi: Panel Veri Yaklaşımı. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 8(3), 91-101.
- Hasan, I. and Tucci, C. L. (2010). The innovation–economic growth nexus: Global evidence. *Research policy*, 39(10), 1264-1276.
- Hasanov, F., Bulut, C. and Suleymanov, E. (2017). Review of energy-growth nexus: A panel analysis for ten Eurasian oil exporting countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 369-386.
- Hwang, D. B. and Gum, B. (1991). The causal relationship between energy and GNP: the case of Taiwan. *The Journal of Energy and Development*, 219-226.
- Inglesi-Lotz, R. (2016). The impact of renewable energy consumption to economic growth: A panel data application. *Energy Economics*, 53, 58-63.
- Işık, N. ve Kılınç, E. C. (2016). İnovasyon-temelli ekonomi: seçilmiş ülkeler üzerine bir uygulama. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(1), 13-27.
- Khan, Y., Khan, M. A. and Zafar, S. (2023). Dynamic linkages among energy consumption, urbanization and ecological footprint: empirical evidence from NARDL approach. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 34(6), 1534-1554.
- Kihombo, S., Ahmed, Z., Chen, S., Adebayo, T. S. and Kirikkaleli, D. (2021). Linking financial development, economic growth, and ecological footprint: what is the role of technological innovation? *Environmental Science and Pollution Research*, 28(43), 61235-61245.
- Kılınç, E. C. (2021). Ekolojik ayak izi-enerji ar-ge harcamaları ilişkisi: OECD ülkeleri örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(2), 527-541.
- Köseoğlu, M. and Ünal, H. (2019). The impact of agriculture, urbanization and renewable energy on sustainable economic growth in Turkey: ARDL bounds testing approach. *Hitit University Journal of Social Sciences Institute*, 12(2), 400-415.
- Kraft, J. and Kraft, A. (1978). On the relationship between energy and GNP. *The Journal of Energy and Development*, 401-403.
- Li, R., Wang, X. and Wang, Q. (2022). Does renewable energy reduce ecological footprint at the expense of economic growth? An empirical analysis of 120 countries. *Journal of Cleaner Production*, 346, 131207.
- Liang, W. and Yang, M. (2019). Urbanization, economic growth and environmental pollution: Evidence from China. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 21, 1-9.
- Liddle, B. and Messinis, G. (2015). Which comes first—urbanization or economic growth? Evidence from heterogeneous panel causality tests. *Applied Economics Letters*, 22(5), 349-355.
- Menegaki, A. N. (2011). Growth and renewable energy in Europe: A random effect model with evidence for neutrality hypothesis. *Energy Economics*, 33(2), 257-263.
- Nathaniel, S., Anyanwu, O. and Shah, M. (2020). Renewable energy, urbanization, and ecological footprint in the Middle East and North Africa region. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 14601-14613.
- Nathaniel, S., Nwodo, O., Adediran, A., Sharma, G., Shah, M. and Adeleye, N. (2019). Ecological footprint, urbanization, and energy consumption in South Africa: including the excluded. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 27168-27179.
- Nathaniel, S. P. (2021). Ecological footprint, energy use, trade, and urbanization linkage in Indonesia. *GeoJournal*, 86, 2057-2070.
- Nathaniel, S. P., Adeleye, N. and Adedoyin, F. F. (2021). Natural resource abundance, renewable energy, and ecological footprint linkage in MENA countries. *Estudios de economía aplicada*, 39(2).
- Njoh, A. J. (2003). Urbanization and development in sub-Saharan Africa. *Cities*, 20(3), 167-174.

- Ocal, O. and Aslan, A. (2013). Renewable energy consumption–economic growth nexus in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 494-499.
- Oğul, B. (2022). Türkiye’de Çevresel Teknolojik İnovasyonlar Ekolojik Ayak İzini Azaltıyor mu? Ardl Sınır Testi Analizi. *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi (INIJOSS)*, 11(2).
- Oğuztürk, B.S. & Koç, R. (2023). Bölgesel Kalkınmada Sosyal Sermaye ve İnovasyon: TR42 Doğu Marmara Kalkınma Bölgesi Üzerine Mekansal Bir İnceleme. Bursa: Ekin Yayınevi
- Ozcan, B., Tzeremes, P. G. and Tzeremes, N. G. (2020). Energy consumption, economic growth and environmental degradation in OECD countries. *Economic Modelling*, 84, 203-213.
- Özarslan Doğan, B. (2023). Ekolojik Sürdürülebilirlikte Finansal Gelişme ve Teknolojik İnovasyon Etkisi: Türkiye’den Kanıtlar. *Akademik Hassasiyetler*, 10(23), 200-217.
- Pao, H.-T. and Fu, H.-C. (2013). Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 381-392.
- Pesaran, M. H. (2003). *Estimation and inference in large heterogenous panels with cross section dependence*.
- Pesaran, M. H., Ullah, A. and Yamagata, T. (2008). A bias-adjusted LM test of error cross-section independence. *The econometrics journal*, 11(1), 105-127.
- Poumanyong, P. and Kaneko, S. (2010). Does urbanization lead to less energy use and lower CO2 emissions? A cross-country analysis. *Ecological economics*, 70(2), 434-444.
- Rahman, M. M. (2017). Do population density, economic growth, energy use and exports adversely affect environmental quality in Asian populous countries? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 506-514.
- Rahman, M. M. and Velayutham, E. (2020). Renewable and non-renewable energy consumption-economic growth nexus: new evidence from South Asia. *Renewable Energy*, 147, 399-408.
- Sahoo, M. and Sethi, N. (2021). The intermittent effects of renewable energy on ecological footprint: evidence from developing countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(40), 56401-56417.
- Sancar, C. and Sancar, C. (2017). The Econometrical analysis of the relationship between urbanisation and economic growth (the case of EU countries and Turkey). *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi* (19), 1-24.
- Sebri, M. and Ben-Salha, O. (2014). On the causal dynamics between economic growth, renewable energy consumption, CO2 emissions and trade openness: Fresh evidence from BRICS countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 14-23.
- Sharma, R., Sinha, A. and Kautish, P. (2021). Does renewable energy consumption reduce ecological footprint? Evidence from eight developing countries of Asia. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124867.
- Sohag, K., Mariev, O. and Davidson, N. (2021). Revising environmental Kuznets curve in Russian regions: role of environmental policy stringency. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(38), 52873-52886.
- Song, M., Fisher, R. and Kwoh, Y. (2019). Technological challenges of green innovation and sustainable resource management with large scale data. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 361-368.
- Sylwester, K. (2001). R&D and economic growth. *Knowledge, Technology & Policy*, 13(4), 71-84.
- Swamy, P. A. (1970). Efficient inference in a random coefficient regression model. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 311-323.
- Şimşek, T. ve Yiğit, E. (2017). BRICT ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketimi, petrol fiyatları, CO2 emisyonu, kentleşme ve ekonomik büyüme üzerine nedensellik analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(3), 117-136.
- Şit, A., Karadağ, H. ve Şit, M. (2021). Finansal Gelişme, Kentleşme ve Ekonomik Büyüme Arasındaki Asimetrik İlişkinin Ampirik Analizi: Türkiye Örneği. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 17(2), 389-402.
- Tandoğan, D. (2017). Türkiye’de Ekonomik Büyüme, Kentleşme ve Hizmet Sektörü İlişkisi: 1968-2016 Nedensellik Yaklaşımı. ICPES (International Congress on Politic, Economic and Social Studies),
- Ullah, A., Tekbaş, M., and Doğan, M. (2023). The impact of economic growth, natural resources, urbanization and biocapacity on the ecological footprint: The case of Turkey. *Sustainability*, 15(17), 12855.
- Ulucak, R. and Khan, S. U.-D. (2020). Determinants of the ecological footprint: role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101996.

- Usman, O., Akadiri, S. S. and Adeshola, I. (2020). Role of renewable energy and globalization on ecological footprint in the USA: implications for environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(24), 30681-30693.
- Wackernagel, M., Schulz, N. B., Deumling, D., Linares, A. C., Jenkins, M., Kapos, V., Monfreda, C., Loh, J., Myers, N. and Norgaard, R. (2002). Tracking the ecological overshoot of the human economy. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 99(14), 9266-9271.
- Wang, S., Fang, C., Wang, Y., Huang, Y. and Ma, H. (2015). Quantifying the relationship between urban development intensity and carbon dioxide emissions using a panel data analysis. *Ecological Indicators*, 49, 121-131.
- Yıldız, G. (2018). Teknolojik inovasyonun ekonomik büyüme üzerindeki etkisi: Türkiye-AB (15) ülkeleri örneği. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 41-58.
- Zachariadis, M. (2003). R&D, innovation, and technological progress: a test of the Schumpeterian framework without scale effects. *Canadian Journal of Economics*, 36(3), 566-586.
- Zhao, Y. and Wang, S. (2015). The relationship between urbanization, economic growth and energy consumption in China: an econometric perspective analysis. *Sustainability*, 7(5), 5609-5627.
- Zhou, N., Levine, M. D. and Price, L. (2010). Overview of current energy-efficiency policies in China. *Energy policy*, 38(11), 6439-6452.

---

**Çıkar Çatışması:** Yoktur.

**Finansal Destek:** Yoktur.

**Etik Onay:** Yoktur.

**Yazar Katkısı:** Mücahit ÜLGER (%25), Mehmet UÇAR (%25), Mert Anıl ATAMER (%25), Şükrü APAYDIN (%25)

**Conflict of Interest:** None.

**Funding:** None.

**Ethical Approval:** None.

**Author Contributions:** Mücahit ÜLGER (25%), Mehmet UÇAR (25%), Mert Anıl ATAMER (25%), Şükrü APAYDIN (25%)

---