

Makale Bilgisi/Article Info

Geliş/Received: 06.04.2024 Kabul/Accepted: 23.05.2024

Araştırma Makalesi/Research Article, s./pp. 257-283.

YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİ ve TEKNOLOJİ: PANEL VERİ ANALİZİⁱ

Derya ALICIⁱⁱ, Nihat IŞIKⁱⁱⁱ

Öz

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı; çevresel değerleri koruyarak sürdürülebilir enerji sağlanması, enerjide dışa bağımlılığı azaltarak yerli üretimi teşvik etmesi ve enerji arz güvenliğinin sağlanması gibi nedenlerle hızla yaygınlaşmaktadır. Teknolojik gelişmeler yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin verimliliğini artırmakta, yayılımını hızlandırmakta ve yatırım maliyetlerini azaltmaktadır. Bu nedenle çalışmada; seçilmiş 15 G20 ülkesinin 2007-2020 yılları arasındaki yıllık verileri kullanılarak panel veri analizi yöntemiyle yenilenebilir kaynaklarla enerji üretimi ve teknoloji ilişkisi üç ayrı modelle incelenmiştir. Uygun model seçimi için Hausman, F ve LM testleri yapılmış, uygun modelin sabit etkiler modeli olduğu tespit edilmiştir. Otokorelasyon ve değişen varyans sorunları tespit edildiği için bu sorunları dikkate alan Driscoll-Kraay dirençli standart hatalar tahminleriyle sabit etkiler modeli tahmin edilmiştir. Sonuçta, teknolojik gelişme göstergelerini temsil eden değişkenlerin katsayılarının pozitif ve %5 anlamlılık düzeyinde istatistiki olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Üretimi, Teknolojik Gelişme, Panel Veri Analizi, Driscoll-Kraay Dirençli Standart Hatalar.

Renewable Energy Production and Technology: Panel Data Analysis

Abstract

The utilization of renewable energy sources is rapidly proliferating due to reasons such as providing sustainable energy while preserving environmental values, promoting domestic production by reducing external energy dependency, and ensuring energy supply security. Technological advancements enhance the efficiency of energy production from renewable sources, accelerate their dissemination and reduce investment costs. Therefore, in this study, the relationship between renewable energy production and technology was examined using three different models with panel data analysis method using annual data from 15 selected G20 countries between 2007 and 2020. Hausman, F, and LM tests were conducted for appropriate model selection, and it was determined that the fixed effects model is the appropriate model. Due to the detected issues of autocorrelation and heteroskedasticity, the fixed effects model was estimated using Driscoll-Kraay robust standard error estimators, which account for these problems. Consequently, it was determined that the coefficients of the variables representing technological development indicators are positive and statistically significant at the 5% significance level.

Keywords: Renewable Energy Production, Technological Development, Panel Data Analysis, Driscoll-Kraay Robust Standard Errors.

ⁱ Bu makale, Derya ALICI'nın, Prof. Dr. Nihat IŞIK danışmanlığında Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı'nda yürütmekte olduğu Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

ⁱⁱ Yüksek Lisans Öğrencisi, Kırıkkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, e-posta: deryalic.12@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8747-6754.

ⁱⁱⁱ Prof. Dr., Kırıkkale Üniversitesi, İİBF, Ekonometri Bölümü, e-posta: nihatis@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0054-5700.

Structured Abstract

The production of energy from renewable sources is rapidly gaining popularity worldwide, particularly due to the increasing environmental awareness across the globe. Generating energy with reduced carbon dioxide emissions plays a significant role in combating climate change by mitigating the release of greenhouse gases. Countries are increasingly motivated to use these resources due to their desire to reduce external dependence for meeting their energy needs and to ensure energy supply security. Technological advancements are promoting the widespread adoption of these resources, decreasing installation costs, and boosting energy production efficiency. This relationship is also significant economically, as energy is one of the driving forces of economic development. Therefore, this study examines the relationship between renewable energy production and technology.

The study used annual data from 15 selected G20 countries between 2007 and 2020. The study utilized econometric methods and conducted panel data analysis. The study examined three separate models. In all models, the dependent variable is energy production from renewable sources. The independent variables common to all models are GDP (gross domestic product), trade openness (percentage of gross domestic product), financial development index, and fossil fuel consumption. The independent variables representing technological development indicators are high-tech exports (share in total exports) in the first model, patent applications in the second model, and R&D (research and development) expenditures percentage of gross domestic product in the third model. In the models, the natural logarithm (logarithm base e) of the variables representing renewable energy production, gross domestic product, patent applications, and fossil fuel consumption was taken. The reason for examining the models with three different equations is to reveal the impact of each technological development indicator on energy production from renewable sources and to be able to compare the results obtained. The data was obtained from the World Bank, IMF (International Monetary Fund), BP Energy, and OWID (Our World in Data) energy databases. Mexico 2007 high technology export data and Italy 2015 patent data were estimated with the linear regression method and included in the analysis.

258

Within the scope of panel data analysis, a cross-sectional dependence test was first conducted. Since the sample satisfies the $N > T$ condition, the Pesaran CD test results based on this assumption were taken into account. As a result of the analysis, all variables except the patent variable were found to be cross-sectionally dependent. In the second stage, the Hsiao (1986) homogeneity test was conducted. It was determined that the variables are heterogeneous. In line with these results, the Fisher ADF test, which is a first-generation unit root test based on the cross-sectional independence and heterogeneity assumptions, was used to determine stationarity for the patent data. For the other variables, the Bai and Ng tests, which are second-generation unit root tests based on the cross-sectional dependence assumption, were used. It was determined that the patent data contains a unit root, while all other variables are stationary at level. Fixed and random effects models can provide efficient results even in the presence of a unit root in small sample groups. In some studies, in the literature, such as Ekinci, Koçak and Benli (2023), Aydınbaş and Erdiñç (2022), and Erdiñç and Aydınbaş (2022), these models were used without performing a unit root test. Since N was taken as 15 in the study, this situation was taken into account. Accordingly, since the fixed effects model was found suitable for the model containing the patent application data, the cointegration relationship was not examined and the Panel OLS results were directly presented. In the next step, Hausman, F, and LM(Breusch-Pagan) tests were conducted to select the appropriate panel data model. As a result of the tests, all three models were found to be fixed effects models. Modified Wald and Durbin-Watson tests were applied to detect heteroscedasticity and autocorrelation issues in the fixed effects model, revealing the presence of both issues. Therefore, the Driscoll and Kraay fixed effects model, which provides effective results under these assumptions, was estimated. Consequently, it was determined that the coefficients of the variables representing technological development indicators are positive and statistically significant at the 5% significance level. The technological development indicator with the greatest impact on renewable energy production is research and development expenditures, while the variable with the lowest impact is patent applications.

Giriş

Nüfus artışı ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç ve talep de artmaktadır. Bu ihtiyaç ve talep artışıyla birlikte insanların yenilenebilir enerji ya da yeşil enerji olarak adlandırılan kaynaklara da ilgisi artmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma sağlanırken doğal dengenin ve çevresel değerlerin korunması düşüncesi; jeotermal, güneş, rüzgâr, biyoyakıtlar, hidrolik, okyanus enerjisi ve hidrojen enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretiminde kullanımını artırmıştır.

Teknoloji yatırımları iktisadi faaliyetlerin sürdürülebilirliği ve ülkelerin iktisadi hedeflerine ulaşması açısından çok önemlidir. Bu amaçların gerçekleşmesinde enerji ana unsurdur. Enerji kullanımının yarattığı negatif dışsallıklar tüm dünyada yeşil enerji politikalarına ilgiyi daha da artırmıştır (Nakıpoğlu Özsoy ve Özpolat, 2020, s. 266). Bu konuyla ilgili yapılacak teknoloji analizleri ve teknolojik yeniliklerin takibi, hem ileride yapılacak çalışmalara yol gösterici olacak, hem de yapılması planlanan yatırımların daha doğru alanlara yapılmasını sağlayacaktır (Özdemir ve Yavuz, 2021, s. 139). Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)'nın 2023 yılı raporundaki verilere göre, yenilenebilir kaynaklara enerji yatırımları 2022 yılında rekor bir artışla 1,3 trilyon \$ olmuştur. Çevresel hedefleri gerçekleştirmek amacıyla daha da artırılması planlanmaktadır (IRENA, 2023).

Yenilenebilir enerji teknolojileri hem düşük maliyetli enerji üretimi için uygun bir zemin hazırlayarak hem de fiyat oynaklıklarını azaltarak ekonomik büyümeye katkı sağlamaktadır (IRENA, 2013, s. 12; Özşahin, Mucuk ve Gerçekler, 2016, s. 114). Enerji ihtiyacını ithalatla karşılayan ülkeler için bu kaynakların etkin kullanımı önemlidir. Fosil kaynaklardan yoksun olan bu ülkeler yenilenebilir enerji alanında önemli yatırımlar yapmaktadır. Bu yatırımlar ile bu ülkelerin enerji arz güvenliğinin de artması yatırımların artışında teşvik edici olmaktadır. Teknolojik ilerleme ve devletler tarafından sağlanan teşvik ve sübvansiyonlar da yenilenebilir enerji projelerinin maliyetlerini düşürmekte ve kullanımlarının yaygınlaşmasını sağlamaktadır (Karagöl ve Kavaz, 2017, s. 10; Şenoğlu, Erden Topal ve Gürsoy Haksevenler, 2022, s. 173). Gelişmekte olan ülkelerde, dış ticaret açığının ve yeşil enerji istihdamı dolayısıyla işsizliğin azaltılması gibi makroekonomik etkileri de olmaktadır. Günümüzde bunun gibi pozitif etkileri dolayısıyla toplumsal farkındalık yaratmak, politika yapıcılarına bilgi sağlamak ya da potansiyel yatırımcılara rehber olmak gibi amaçlarla birçok araştırmaya da konu olmaktadır. Bu anlamda literatüre katkı sağlayacak olması konu seçiminde etkili olmuştur.

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimine teknolojik gelişmelerin etkisi ekonometrik yöntemler kullanılarak incelenecektir. Analizde, seçilmiş 15 G20 ülkesinin 2007 – 2020 yılları arasındaki yıllık verileri kullanılmıştır. Yıl ve ülke seçiminde verilerin bulunabilirliği dikkate alınmıştır. Çalışmada üç ayrı model incelenmiştir. Bağımlı değişken yenilenebilir enerji üretimidir. Tüm modellerde yer alan bağımsız değişkenler, gayri safi yurtiçi hasıla, ticari açıklık, fosil yakıt tüketimi ve finansal gelişme endeksidir. Birinci modelde yüksek teknoloji ihracatı, ikinci modelde patent başvuruları, üçüncü modelde ise Ar-Ge harcamaları değişkenleri yer almaktadır. Panel veri analizi kapsamında; homojenlik, yatay kesit bağımlılığı,

birim kök testleri yapılmıştır. Uygun modelin belirlenmesi için F, LM (Breusch – Pagan) ve Hausman testleri yapılmış, model belirlendikten sonra otokorelasyon ve değişen varyans sorunlarının varlığı kontrol edilmiştir. Analizin son kısmında da Driscoll ve Kraay dirençli standart hatalar ile tahmin sonuçlarına yer verilmiştir. Çalışmanın sonuç bölümünde analiz sonucunda elde edilen bulgular özetlenmiş ve değerlendirilmiştir.

Literatür Taraması

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenebilir olması ve çevresel bilincin artması gibi nedenlerle yenilenebilir enerji kaynakları çok sayıda araştırmanın konusu olmuştur. Teknolojik gelişmelerin yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimindeki etkileri araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bu nedenle bu konuda yapılan çalışmalar son dönemlerde artış eğilimi göstermektedir. Bu iki değişken arasındaki ilişkiyi ekonometrik yöntemlerle analiz eden bazı çalışmalar ve bu çalışmaların sonuçları bu bölümde özetlenmiştir.

Tablo 1. Literatür Özeti

Yazar Adı - Yıl	Çalışma Dönemi ve Ülkeler	Değişkenler	Yöntem	Bulgular
Johnstone, Hascic ve Popp (2010)	1978-2003 Seçilmiş 25 OECD ülkesi	<ul style="list-style-type: none"> Patent başvuruları Politika değişkeni Ar-Ge harcamaları Elektrik tüketimindeki artış Elektrik fiyatı Toplam Avrupa patent ofisi başvuruları 	Panel Veri Analizi Maksimum Olabilirlik Yöntemi	Kamu politikalarının patent başvurularını belirleme konusunda önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Kyoto Protokolü'nün kabul edilmesinin, rüzgâr ve güneş enerjisi ile genel olarak yenilenebilir enerji patent faaliyetleri üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Gan ve Smith (2011)	1994-2003 OECD ve IEA üyesi 26 ülke	<ul style="list-style-type: none"> Kişi başına yenilenebilir enerji arzı Kişi başına bio enerji arzı Kişi başına arazi alanı Yenilenebilir veya bio enerji üretimi için hükümet Ar-Ge harcamaları Kişi başına orman alanı Enerji tüketici fiyat endeksi Enerji fiyatları Kişi başına CO₂ emisyonları Doğal kaynak varlıkları Yenilenebilir enerji alanında yürürlükte olan araştırma ve yenilik politikalarının sayısı 	Panel Veri Analizi	GSYİH'in ve pazar uygulama politikalarının yenilenebilir enerji arzında etkili olduğu saptanmıştır. Ar-Ge, CO ₂ emisyonları araştırma ve yenilik politikaları, piyasa temelli enerji politikaları ve enerji fiyatlarının ise enerji arzı üzerinde anlamlı bir etkisi bulunamamıştır.

		<ul style="list-style-type: none"> • Yenilenebilir ve bio enerji alanında yürürlükte olan pazar uygulama politikalarının sayısı • Yenilenebilir enerji alanında yürürlükte olan enerji politikaların sayısı • Kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) 		
Popp, Hascic ve Medhi (2011)	1991-2004 26 OECD üyesi ülke	<ul style="list-style-type: none"> • Yenilenebilir enerji kapasitesine yapılan kişi başına yatırım • Küresel bilgi stoku • Kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla • Elektrik tüketimindeki büyüme oranı • Elektrik endüstrisinin ülkeye özgü özellikleri • Politika değişkeni 	Panel Veri Analizi	Teknolojik ilerlemenin daha fazla yatırıma yol açtığı, ancak etkisinin küçük olduğu sonucuna ulaşmışlardır.
Aflaki, Basher ve Masini (2014)	1990-2012 15 Avrupa Birliği ülkesi	<ul style="list-style-type: none"> • Yenilenebilir enerji üretimi (yenilenebilir elektrik üretimine oranı) • Yenilenebilir enerji Ar-Ge harcamalarının toplam Ar-Ge bütçesine katkısı • Yenilenebilir enerjiyi destekleyen politikalar • Kişi başına düşen gelir politika desteği değişkenliği • Yenilenebilir enerjiyi destekleyen dışsal talep çekme politikaları 	Panel Veri Analizi	Kamu Ar-Ge yatırımlarının, yenilenebilir enerjiyi destekleyen politikaların ve kişi başına düşen gelirin yenilenebilir enerji yayılımı üzerinde olumlu, buna karşın, politika desteği değişkenliğinin ise olumsuz bir etkisi olduğu bulgusunu elde etmişlerdir.
Benson ve Magee (2014)		<ul style="list-style-type: none"> • Patent başvuruları • Güneş fotovoltaikleri • Rüzgâr türbinleri, bataryalar ve kapasitörler şeklindeki dört alan için maliyet/yatırımın yıllık iyileşme oranı 	Teorik çalışma	Yazarlar, buluşlar üzerine yapılan bu çalışmanın, farklı oranları için tartışılmaz bir nedensel ilişki kurmasalar da bu oranların neden bu kadar büyük farklılıklar gösterdiğine ve zaman içinde neden istikrarlı olabileceğine dair daha geniş bir teorik temel oluşturduğunu açıklamaktadırlar.
Geng ve Ji (2016)	1980-2010 6 Gelişmiş ülke	<ul style="list-style-type: none"> • Kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi • Kişi başına karbondioksit emisyonu 	Panel Hata Düzeltme Modeli Tamamen Modifiye Edilmiş Olağan En Küçük Kareler (FMOLS)	Panel hata düzeltme modelinden elde edilen sonuçlar, uzun dönemde yenilenebilir enerji tüketimi ile teknolojik yenilik değişkenleri arasında bulunan nedensellik ilişkisinin çift yönlü

		<ul style="list-style-type: none"> • Kişi başına gayri safi yurt içi hasıla • Uluslararası ham petrol fiyatı • Yenilenebilir enerji teknolojisi yeniliği 		olduğunu göstermektedir. Uluslararası ham petrol fiyatı, karbondioksit emisyonu (kişi başına) ve GSYİH (kişi başına) gibi diğer dış itici faktörlerden yenilenebilir enerji teknolojik yeniliklerine doğru bulunan nedensellik ilişkisinin ise tek yönlü olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Irاندoust (2016)	1975-2012 Norveç, İsveç, Finlandiya ve Danimarka	<ul style="list-style-type: none"> • Yenilenebilir enerji tüketimi • Enerji sektörüne reel Ar-Ge harcamaları • Kişi başına CO₂ emisyonları • Kişi başına reel GSYİH 	Vektör Otoregresyon (VAR) Modeli, Toda ve Yamamoto Nedensellik Testi	Elde edilen bulgular, Finlandiya ve Danimarka için yenilenebilir enerjiden karbondioksit (CO ₂) emisyonlarına doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi, Norveç ve İsveç için ise bu değişkenler arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğunu göstermektedir. Sonuçlar aynı zamanda dört İskandinav ülkesi için büyümeden yenilenebilir enerjiye ve teknolojik yenilikten yenilenebilir enerjiye doğru bulunan nedensellik ilişkisinin tek yönlü olduğunu göstermektedir. Yenilenebilir enerjiden büyümeye doğru ise nedenselliği doğrulayan herhangi bir bulguya ulaşılmamıştır.
Bamati ve Raoofi (2020)	1990-2015 Seçilmiş 10 gelişmiş, 15 gelişmekte olan ülke	<ul style="list-style-type: none"> • Yenilenebilir enerji üretimi • Yüksek teknoloji ihracatı • Petrol fiyatı • Kişi başına düşen GSYİH • Kişi başına düşen CO₂ emisyonu 	Panel Veri Analizi Genelleştirilmiş En Küçük Kareler	Sonuçlar, gelişmiş ülkelerde yenilenebilir enerji üretiminin yüksek teknoloji ihracatı tarafından önemli ölçüde belirlendiğini, gelişmekte olan ülkelerde ise yüksek teknoloji ihracatının yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını açıklamada istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ortaya koymaktadır. Petrol fiyatı her iki grupta da yenilenebilir enerji üretimi üzerinde en düşük etkiye sahiptir. Kişi başına düşen GSYİH her iki grupta da kişi başına düşen yenilenebilir enerji üretimi üzerinde pozitif bir etki yaratsa da, kişi başına düşen CO ₂ emisyonu, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde önemli ölçüde farklı etkiler göstermektedir.
Alam ve Murad (2020)	1970-2012 25 OECD Ülkesi	<ul style="list-style-type: none"> • Yenilenebilir enerji tüketimi • Teknolojik inovasyon (patent sayısı ile temsil edilmekte) • Ticari açıklık • Ekonomik büyüme 	Panel Veri Analizi Otoregresif Dağıtılmış Gecikme Modeli (ARDL), Ortalama Grup (PMG), Dinamik Sabit Etki (DFE) ve Ortalama Grup (MG), Dinamik Olağan En Küçük Kareler (DOLS)	Elde edilen sonuçlar; teknolojik ilerleme, ticari açıklık ve ekonomik büyümenin OECD ülkelerinde uzun vadede yenilenebilir enerji kullanımını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. Değişkenlerin dinamiklerinin uzun vadeli doğası 25 OECD ülkesinde benzer bulunurken, kısa vadeli dinamiklerinin doğası karışık

			ve Tamamen Modifiye Edilmiş Olağan En Küçük Kareler (FMOLS)	bulunmuştur. Bu durum, OECD ülkelerindeki farklı ticari açıklık ve teknolojik ilerleme seviyelerine bağlanmaktadır.
Dinh, Ngo ve Nguyen (2021)	1994-2015 Güney Doğu Asya Ulusal Birliği üyesi 9 ülke	<ul style="list-style-type: none"> Toplam enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin payı Toplam ihracat içindeki orta ve yüksek teknoloji ihracatının payı Enflasyon oranı Nüfus artış hızı Endüstrinin istihdam payı Kişi başına düşen GSYİH 	Driscoll-Kraay Parametrik Olmayan Kovaryans Matris Tahmincisi ve Sabit Etkiler Regresyon Modeli	Orta ve yüksek teknoloji ihracatı ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında U şeklinde yani önce azalan sonra artan yönde bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır.
Doğan ve Özarıslan (2021)	1968-2015 Türkiye	<ul style="list-style-type: none"> Yenilenebilir enerji üretimi Finansal gelişme (M2/GSYİH) İnovasyon (toplam patent sayısı) Reel GSYİH CO₂ (karbondioksit emisyonu yoğunluğu/GSYİH) Yapısal kırılma tarihlerini içeren dışsal kukla değişken 	ARDL Sınır Testi	Çalışma sonucunda, finansal gelişme, GSYİH ve inovasyonun yenilenebilir enerji üretimi üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. CO ₂ emisyonunun ise yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı, ancak negatif katsayılı olduğu tespitinde bulunulmuştur.
Çoban, Kangal, Yeter ve Eroğlu (2021)	2009-2019 21 Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency – IEA) üyesi ülke	<ul style="list-style-type: none"> Yenilenebilir enerji üretimi Küresel inovasyon endeksi Kişi başına düşen GSYİH Karbon emisyonu 	Dengeli Panel Veri Analizi	Yazarlar, analize konu ülkelerde inovasyonun yenilenebilir enerji üretimini artırdığı bulgusuna ulaşmışlardır.
Khezri, Heshmati ve Khodaei (2021)	2000-2018 31 Asya-Pasifik Ülkesi	<ul style="list-style-type: none"> Kişi başına yenilenebilir enerji kapasitesi Kişi başına düşen GSYİH Ar-Ge endeksi Finansal gelişme Ticari açıklık 	Mekânsal Durbin Modeli	Ar-Ge'nin farklı yenilenebilir enerji kaynaklarını nasıl etkilediğini inceleyerek literatürdeki boşluğu doldurmaya çalışan bu çalışmaya göre, Ar-Ge ortamı, GSYİH'nin etkilerini ve finansal piyasalar ile kurumların gelişimini belirlemede önemli bir faktördür. Ar-Ge'nin geliştirilmesi, pazar genişlemesinin hidroelektrik enerji üretimi üzerindeki etkilerini azaltmaktadır; ancak bu etkiler biyoenerji, jeotermal, güneş ve rüzgâr enerji kaynakları için artış ivmesi göstermektedir. Ar-Ge seviyesinin düşük olduğu bir ortamda, finansal gelişme hidroelektrik ile enerji

				<p>üretimi üzerinde olumlu etkide bulunurken, diğer yenilenebilir enerji türleri olumsuz etkide bulunmaktadır.</p>
Kılınç ve Şahbaz Kılınç (2021)	2003-2019 Seçilmiş Ülkeler	<ul style="list-style-type: none"> • Yenilenebilir enerji üretimi • Patent başvuruları • Yenilenebilir enerji Ar-Ge harcamaları 	Panel ARDL Emirmahmutoğlu ve Köse, 2011 Nedensellik Testi	<p>Analiz sonucunda Panel ARDL yöntemi ile ampirik bulgular elde edilmiş, uzun dönemde Ar-Ge, patent başvuru sayısında (inovasyon ve demonstrasyon harcamalarının göstergesi olarak) meydana gelecek %1'lik bir artışın yenilenebilir enerji üretimini sırasıyla %0,23 ve %0,42 oranlarında artıracığı sonucuna ulaşılmıştır. Nedensellik testi sonuçlarına göre, enerji Ar-Ge harcamalarından yenilenebilir enerji üretimine doğru nedenselliğin tespit edildiği ülkeler; ABD, Norveç, Japonya, Güney Kore, Avustralya, Portekiz, Fransa, İspanya ve Macaristan iken, patent başvurularından yenilenebilir enerji üretimine doğru nedenselliğin tespit edildiği ülkeler ise Fransa, Hollanda, Norveç, Slovakya, Finlandiya, Avusturya, İsveç, Almanya, İsviçre ve İrlanda'dır.</p>
Zheng, Yang ve Yu (2021)	2005-2017 Çin'deki 30 eyalet	<ul style="list-style-type: none"> • Yenilenebilir enerji üretimi (RPG) • Patent stoku ile temsil edilen yenilenebilir enerji teknolojik yenilik (RETI) • Kişi başına GSYİH • Enerji fiyatı • Kentleşme oranı • Bilim ve teknoloji harcamalarına yönelik mali harcamalar • Kişi başına CO₂ emisyonları • Termik enerji santralinin toplam elektrik üretimindeki payı 	Panel Veri Analizi	<p>Sonuçlara göre; belirli bir ilin RETI seviyesindeki %1'lik bir artışın, ortalama olarak, o ilde doğrudan yenilenebilir enerji üretiminde %0,411'lik bir artışa ve teknoloji yayılımı yoluyla komşu illerde yenilenebilir enerji üretiminde %3,264'lük bir artışa yol açtığını göstermektedir. Teknolojinin yayılması ve bozulmasının dikkate alınmaması durumunda, yenilenebilir enerji teknolojik yeniliğinin yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisi %12,7 oranında düşük tahmin edilmektedir. Yenilenebilir enerji teknolojik yeniliğin tahmin katsayıları bozulma ve yayılma oranlarının değerlerine yeterince duyarlı bulunmamaktadır. Mekansâl bağımlılık yenilenebilir enerji alanındaki teknolojik yeniliğin yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisini araştırmada hayati bir rol oynamaktadır. Bu etkinin mekânsal bağımlılığın dikkate alınmaması</p>

				durumunda %34,3 oranında düşük tahmin edileceği ifade edilmiştir.
Khan, Su, Rehman ve Ullah (2022)	2000-2021 Almanya	<ul style="list-style-type: none"> Yenilenebilir enerji üretimi Teknolojik inovasyon 	Granger Nedensellik Testi, VAR Modeli	Analiz sonucunda elde edilen bulgular, teknoloji yeniliklerinin yenilenebilir enerjiyi birden fazla alt örnekleme pozitif ve negatif olarak yönlendirdiğini göstermektedir. Benzer şekilde, yenilenebilir enerjinin alt örneklerde teknoloji yenilikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır; bu da yenilenebilir enerjideki ilerlemenin teknoloji yeniliği için artan harcamalara dönüştüğünü imâ etmektedir. Gelecekteki enerji arzının temelleri, iklim ve hava koşullarından kaynaklı dalgalanmalara sahip dengelenmesi gereken kaynaklardan oluşmaktadır.
Naimoğlu ve Özbek (2022)	1990-2018 İngiltere	<ul style="list-style-type: none"> Toplam enerji tüketimi Yenilenebilir enerji Ar-Ge harcamaları Fosil yakıt Ar-Ge harcamaları Nükleer enerji Ar-Ge harcamaları 	Genelleştirilmiş En Küçük Kareler (FMOLS) yöntemi	Gregory ve Hansen eşbütünleşme testi ile uzun dönem ilişkisi incelenmiş sonucunda eşbütünleşme ilişkisine rastlanmıştır. Elde edilen bulgular, İngiltere’de uzun dönemde nükleer enerji ve fosil yakıt kaynaklarından enerji üretimi alanlarında yapılan Ar-Ge harcamalarının enerji tüketim miktarını düşürdüğü, yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi alanında yapılan Ar-Ge harcamalarının ise enerji tüketim miktarını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.
Avşar (2023)	1980-2022 Türkiye	<ul style="list-style-type: none"> Yenilenebilir enerji üretimi Reel toplam Ar-Ge harcamaları Reel Gayri Safi Yurtiçi Hasıla Patent Kayıtları 	Vektör Hata Düzeltme Modeli	Uzun dönemde teknolojik gelişme ile yenilenebilir enerji arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki olduğu görülmüş, kısa dönemde ise yenilenebilir enerji üretimi ile ekonomik büyüme arasında bulunan nedensellik ilişkisinin çift yönlü olduğu sonucuna varılmıştır.

Literatür incelendiğinde; Aflaki, Basher ve Masini (2014), Bamati ve Raoofi (2020)’nin gelişmiş ülkeler bazında yaptığı çalışmaları, Alam ve Murad (2020), Doğan ve Özarlan Doğan (2021), Çoban vd., (2021), Kılınç ve Şahbaz Kılınç (2021), Naimoğlu ve Özbek (2022) ve Avşar (2023)’in çalışmaları sonucunda yenilenebilir enerji üretimi ile teknolojik gelişme arasında pozitif yönde anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Gan ve Smith (2011)’in çalışması ile Bamati ve Raoofi (2020)’nin gelişmekte olan ülkeler bazında yaptığı çalışmalarında ise teknolojik gelişme ve yenilenebilir enerji üretimi arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Geng ve Ji (2016) yenilenebilir enerji tüketimi ve teknolojik gelişme arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi bulmuştur. Irandoust (2016) ile Kılınç ve Şahbaz Kılınç (2021) ise teknolojik gelişmeden

yenilenebilir enerji üretimine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit etmiştir. Çalışma ele alınan ülke grubu ve incelenen dönem açısından diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Modeller, Veri Seti ve Ekonometrik Yöntem

Yenilenebilir enerji üretimi ve teknoloji arasındaki ilişkinin inceleneceği bu çalışmada üç farklı model kurulmuştur. Bağımlı değişken yenilenebilir enerji üretimi iken, bağımsız değişkenler; gayri safi yurt içi hasıla, ticari açıklık, finansal gelişim endeksi, fosil yakıt tüketimi, yüksek teknoloji ihracatı, patent başvuruları ve Ar-Ge harcamaları şeklindedir. Finansal gelişim endeksi ve fosil yakıt tüketimi bağımsız araç değişkenler; yüksek teknoloji ihracatı, patent başvuruları ve Ar-Ge harcamaları ise teknolojik gelişme göstergelerini temsil eden bağımsız değişkenler olarak modellerde yer almaktadır. Çalışma kapsamında kurulan modeller aşağıdaki gibidir:

$$\ln\text{REG}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln\text{GDP}_{it} + \beta_2 \text{TRD}_{it} + \beta_3 \text{FDI}_{it} + \beta_4 \ln\text{FSL}_{it} + \beta_5 \text{HTE}_{it} + u_{it} \quad (1)$$

$$\ln\text{REG}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln\text{GDP}_{it} + \alpha_2 \text{TRD}_{it} + \alpha_3 \text{FDI}_{it} + \alpha_4 \ln\text{FSL}_{it} + \alpha_5 \ln\text{PTN}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\ln\text{REG}_{it} = \theta_0 + \theta_1 \ln\text{GDP}_{it} + \theta_2 \text{TRD}_{it} + \theta_3 \text{FDI}_{it} + \theta_4 \ln\text{FSL}_{it} + \theta_5 \text{RDE}_{it} + \pi_{it} \quad (3)$$

Yukarıdaki modellerde; $\ln\text{REG}$ yenilenebilir enerji üretimi verisinin doğal logaritmasını, $\ln\text{GDP}$ gayrisafi yurtiçi hasıla verisinin doğal logaritmasını, TRD gayri safi yurt içi hasılanın yüzdesi olarak ticari açıklık verisini, FDI finansal gelişim endeksi verisini, $\ln\text{FSL}$ fosil yakıt tüketimi verisinin doğal logaritmasını, HTE ihracatın yüzdesi olarak yüksek teknoloji ihracatı verisini, $\ln\text{PTN}$ patent başvuruları verisinin doğal logaritmasını, RDE ise gayri safi yurt içi hasılanın yüzdesi olarak Ar-Ge harcamaları verisini ifade etmektedir. β_0 , α_0 , ve θ_0 sabit terimlerdir. β_1 , β_2 , β_3 , β_4 ve β_5 birinci modelin; α_1 , α_2 , α_3 , α_4 ve α_5 ikinci modelin; θ_1 , θ_2 , θ_3 , θ_4 ve θ_5 ise üçüncü modelin parametreleridir. u_{it} , ε_{it} ve π_{it} ise her bir modelin hata terimlerini göstermektedir. Modellerin üç farklı denklemlerle incelenmesinin nedeni, her bir teknolojik gelişme göstergesinin yenilenebilir enerji üretimine etkisini ortaya koymak ve elde edilecek sonuçlar arasında karşılaştırma yapabilmektir.

Bu çalışmada, seçilmiş 15 G20¹ ülkesi özelinde yenilenebilir enerji üretimi ve teknolojik gelişim arasındaki ilişki 2007-2020 yılları arasındaki yıllık panel verileri kullanılarak incelenmiştir. Yıl ve ülke seçiminde verilerin bulunabilirliği dikkate alınmıştır. Çalışmada bağımlı değişken olarak yenilenebilir enerji üretimi; bağımsız değişkenler olarak; GSYİH, ticari açıklık, finansal gelişim endeksi, fosil yakıt tüketimi, patent başvuruları, yüksek teknoloji ihracatı ve Ar-Ge harcamaları değişkenleri kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji üretimi verisi BP enerji istatistiklerinden; GSYİH, patent başvuruları, yüksek teknoloji ihracatı, Ar-Ge harcamaları ve ticari açıklık verileri Dünya Bankası veri tabanından; finansal gelişim endeksi IMF veri tabanından; fosil yakıt tüketimi OWID enerji veri tabanından alınmıştır. İtalya'nın 2015 yılı patent verisi ve Meksika'nın 2007 yılı yüksek teknoloji ihracatı verisi doğrusal trende

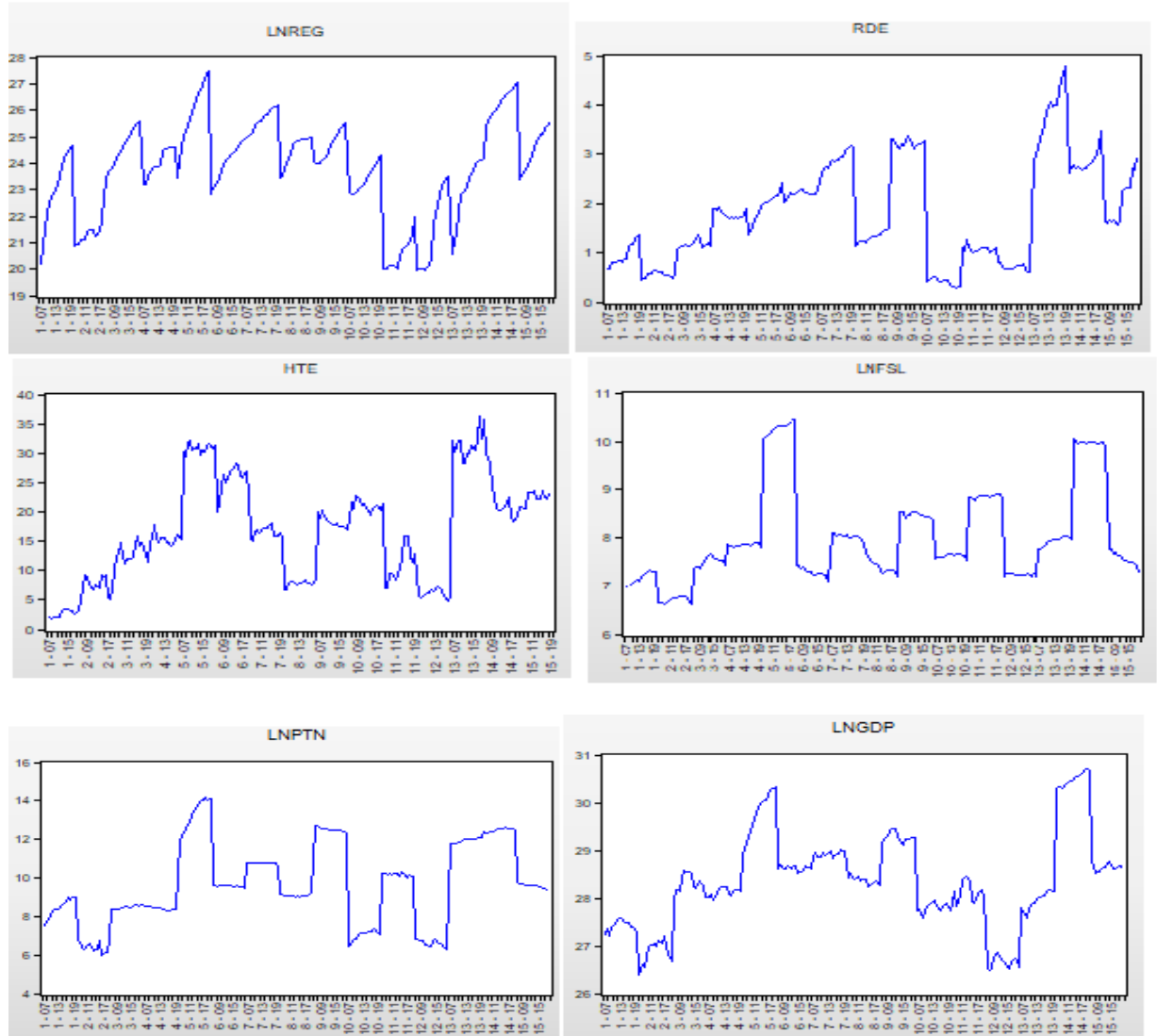
¹ Çalışmada kullanılan ülkeler: Türkiye, Arjantin, Brezilya, Kanada, Çin, Fransa, Almanya, İtalya, Japonya, Meksika, Rusya, Güney Afrika, Güney Kore, Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere şeklindedir.

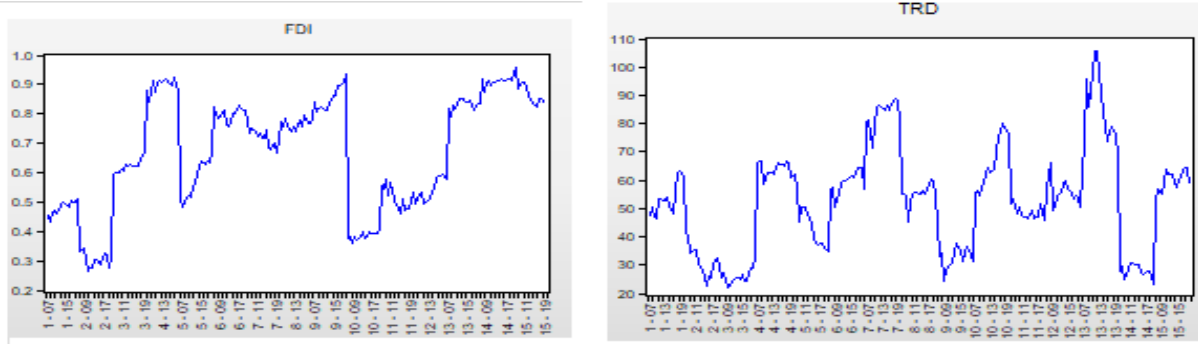
dayalı regresyon yöntemi ile tahmin edilmiştir. Tablo 2’de, çalışmada kullanılan değişkenlerin; kodu, açıklaması, dönemi ve kaynağı yer almaktadır.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan değişkenler

Kodu	Açıklama	Dönem	Kaynak
lnREG	Doğal Logaritmik Yenilenebilir Enerji Üretimi – KWh	2007-2020	BP Enerji
lnGDP	Doğal Logaritmik Gayrisafi Yurtiçi Hasıla – Amerikan Doları	2007-2020	Dünya Bankası
TRD	Ticari Açıklık – GSYİH’nin Yüzdesi	2007-2020	Dünya Bankası
FDI	Finansal Gelişme Endeksi	2007-2020	IMF
lnFSL	Doğal Logaritmik Fosil Yakıt Tüketimi – TWh	2007-2020	OWID
HTE	Yüksek Teknoloji İhracatı – İhracatın Yüzdesi	2007-2020	Dünya Bankası
lnPTN	Doğal Logaritmik Patent Başvuruları – İkamet Edenler	2007-2020	Dünya Bankası
RDE	Ar-Ge Harcamaları – GSYİH’nin Yüzdesi	2007-2020	Dünya Bankası

Modelde yer alan değişkenlerin grafikleri aşağıda verilmiştir.





Şekil 1. Analizde kullanılan değişkenlerin grafikleri

Grafikler incelendiğinde tüm değişkenlerin sabit içerdiği görülmektedir. Başlangıç noktası sıfır olan veri bulunmadığından sabitsiz birim kök testi sonuçları dikkate alınmamış, birim kök testi sonuçlarında sabitli ve hem trend hem sabitli analiz sonuçları kullanılmıştır.

Panel Veri Analizi

Panel veri, uzun kesit veya uzunlamasına veri olarak da bilinmektedir. N farklı değişkenin T farklı zamanda gözlenen verisini ifade etmektedir. Panel veri simgelenirken zaman ve birimi izlemek üzere alt indisler kullanılmaktadır. Y_{it} gibi bir kavram Y değişkeninin i'inci biriminin t'inci zaman dönemindeki değerini ifade etmektedir. Panel veride gözlemlerden birinin kayıp olup olmadığını ifade etmek adına dengeli ve dengesiz panel şeklinde iki kavram kullanılmaktadır. Dengeli panel, değişkenlerin her zaman aralığı ve birim için mevcut olduğu durumu ifade etmekte, dengesiz panel kavramı ise en az bir birimin bir zaman dönemi için bulunmadığı durumlarda kullanılmaktadır (Stock ve Watson, 2007; Saraçoğlu, 2011, s. 352, 353).

Panel veri analizinde sahte regresyon probleminin oluşmaması için serilerin durağanlığı test edilmelidir. Durağanlık panel birim kök testleriyle kontrol edilmekte, bu testlerin hangilerinin yapılacağına karar verebilmek için ise serilerin homojen olup olmadığı ve yatay kesitler arası bağımlılık olup olmadığı kontrol edilmektedir (Türkmen, Ağır ve Günay, 2019, s. 95). Yatay kesit bağımlılığı varsayımı altında panel birim kök testleri iki gruba ayrılmaktadır. Paneli oluşturan seriler yatay kesit bağımsız ise birinci nesil panel birim kök testleri, yatay kesit bağımlı ise ikinci nesil panel birim kök testleri uygulanmaktadır (Kızıltan, Golovko ve Yereli, 2019, s. 67). Seriler düzeyde durağan ise Panel OLS uygulanabilmektedir. Durağan olmayan seriler için ise, yatay kesit bağımlı değilse birinci nesil eşbütünleşme testleri, yatay kesit bağımlı ise ikinci nesil panel eşbütünleşme testleri uygulanmaktadır. Panel nedensellik testinin seçiminde ise serilerin homojen ya da heterojen olması dikkate alınmaktadır.

Homojenlik Testi

Panel veri analizinde homojenlik testi ile analize dâhil edilen ülkelerden herhangi birinde meydana gelen bir değişimden diğer ülkelerin aynı düzeyde etkilenip etkilenmediğinin tespit edilmesi mümkün olmaktadır. Bu anlamda analize konu ülkelerin iktisadi yapıları önemli bir rol oynamaktadır. Eğer bu ülkelerin ekonomik yapıları birbirinden

farklılık gösteriyorsa modeldeki katsayıların heterojen olması beklenmektedir. Ekonomik yapıları benzerlik sergileyen ülkeler için ise katsayıların homojen olacağı varsayılmaktadır (Kar ve Taban, 2018, s. 312; Turgut ve Uçan, 2019, s. 10). Panel veri tahmin yöntemleri, genellikle eğim katsayılarının birimler arasında özdeş olarak kabul edilmesi gibi nedenlerle kısıtlayıcı olabilmektedir. Bu yüzden, eğim katsayısının homojen ya da heterojen olması anlamlı sonuçlar ortaya koymak bakımından önemli bulunmaktadır (Güngör, 2021, s. 194).

Analizde homojenlik ya da heterojenlik durumunu tespit etmek için Hsiao (1986) testi kullanılmıştır. Bu test; H1, H2 ve H3 olarak üç farklı hipoteze dayanmaktadır. Bu doğrultuda H1 hipotezi eğim katsayılarının homojen olduğunu ifade ederken, hipotezin alternatifi heterojen olduğunu belirtmektedir. H2 hipotezi ise H1 hipoteziyle aynı varsayımı içermekte, homojenliği savunurken alternatifinin heterojen olduğunu varsaymaktadır. H3 hipotezi diğer iki hipotezden farklı olarak alternatifinin kısmi heterojen olduğunu öne sürmektedir (Turgut ve Uçan, 2019, s. 10).

Yatay Kesit Bağımlılığı Testi

Seriler arasında yatay kesit bağımlılığının mevcut olması ya da olmaması, elde edilecek sonuçları önemli ölçüde etkilemektedir (Breusch ve Pagan, 1980; Pesaran, 2004; Göçer, 2013, s. 5092). Bu nedenle, analizin ilk aşamasında seriler ve eş-bütünleşme denkleminde yatay kesit bağımlılığının mevcudiyetinin test edilmesi gerekmektedir. Analizin devamında gerçekleşecek birim kök ile eş-bütünleşme testleri seçilirken yatay kesit bağımlılığı göz önünde bulundurulmaktadır. Dikkate alınmazsa yapılan analiz sonuçları hatalı olabilmektedir. Yatay kesit bağımlılığının varlığında kesit ve zaman boyutları dikkate alınmaktadır (Göçer, 2013, s. 5092).

- Serilerin T ile ifade edilen zaman boyutunun N ile ifade edilen yatay kesit boyutundan büyük olması durumunda ($T > N$) Breusch-Pagan (1980) CD LM1 testiyle,
- Serilerin T ile ifade edilen zaman boyutu N ile ifade edilen yatay kesit boyutuna eşit olduğunda ($T = N$) Pesaran (2004) CD LM2 testiyle,
- Serilerin T ile ifade edilen zaman boyutu N ile ifade edilen yatay kesit boyutundan küçük olduğunda ($T < N$) Pesaran (2004) CD LM1 testiye analiz yapılmaktadır (Göçer, 2013, s. 5092).

Breusch ve Pagan (1980) CD-LM1 ile Pesaran (2004) CD-LM2 testleri grup ortalamasının sıfır, ancak birim ortalamasının sıfırdan farklı olduğu varsayımlarda sapmalı sonuçlar verebilmektedir (Yalçınkaya, 2016, s. 150).

Birim Kök Testleri

Panel veri analizinde verilerin yatay kesit ile zaman serisi boyutunun beraber kullanılması sonucu panel birim kök testleri ortaya çıkmıştır. Panel veri analizinde yatay kesit boyutuna zaman serisi boyutu da eklendiği için zaman serisinde ortaya çıkan problemler burada da ortaya çıkmaktadır. Bu gibi sorunlarla karşılaşmamak için panel birim kök testleri

geliştirilmiştir. Bu testler birinci kuşak panel birim kök testleri ve ikinci kuşak panel birim kök testleri olarak nitelendirilmektedir. Seriler arasında yatay kesit bağımlılığı yoksa birinci nesil, varsa ikinci nesil birim kök testleri kullanılmaktadır (Yazici, 2017, s. 7).

Bai ve Ng (2004), artık öge ile birlikte faktör birleşeninde de durağanlık sınavının yapıldığı ikinci nesil panel birim kök testidir. Faktörler ile artık ögenin durağanlığı ayrı ayrı test edilmektedir. Bu doğrultuda, kalıntıların durağan olup olmadığı dikkate alınmadan faktörlerin tutarlı tahminine ulaşılmaktadır (Barbieri, 2006; Yerdelen Tatoğlu, 2013, s. 222; Mola, 2019, s. 30). Serilerin zaman boyutunun küçük olduğu durumlar için testin gücü zayıflamaktadır. Bu doğrultuda havuzlanmış test istatistikleri hesaplanmaktadır. Bai ve Ng (2004), Maddala ve Wu (1999) gibi, Choi (2001) tarafından önerilen düzeltmeyi kullanmakta, Fisher tipi bir test önermektedir. Alternatif hipotez bazı birimlerin durağan olduğu varsayımına dayanırken, sıfır hipotezi asimptotik olarak sıfır ortalama ve varyansla standart normal dağılmakta, bütün birimlerin durağan olmadığını varsaymaktadır (Aydoğan, 2022, s. 26, 27).

Fisher ADF yöntemi Maddala ve Wu (1999) tarafından geliştirilmiştir. Zaman serilerindeki ADF yöntemi kullanılarak elde edilen bireysel durağanlık testlerine ilişkin olasılık değerleri Fisher (1932)'in yaklaşımıyla toplulaştırılmaktadır. Testin hipotezleri;

$H_0: |\rho| = 1$ tüm yatay kesitler için seri durağan değil, $H_1: |\rho| < 1$ tüm yatay kesitler için seri durağandır şeklinde ifade edilmektedir (Varol, 2019, s. 109).

Panel OLS Yöntemi

Panel OLS yöntemi, havuzlanmış verilerin zaman ve kesit boyutunu ihmal ederek geleneksel OLS tahmincisini kullanabilmektedir. Bu modelde, tahmin edilen parametre sayısının kullanılan gözlem sayısından fazla olması durumunda modelin tahmininde zorluklar yaşanabilmektedir. Panel veri analizinde bu tür problemleri çözmek için hata terimlerinin katsayıların değişebilirliği ve özellikleri ile ilgili farklı varsayımlarda bulunmakta ve farklı modeller elde edilebilmektedir. Sabit Etkiler Modeli ya da Tesadüfî Etkiler Modeli olarak bilinen bu modeller sözü edilen farklı varsayımlara dayanmaktadır (Pazarlıoğlu ve Gürler, 2007, s 37; Çetin ve Ecevit, 2010, s. 172).

Panel veri modellerinde birim etki yoksa havuzlanmış, yani klasik model, birim etki varsa sabit veya tesadüfî etki modeli tercih edilmektedir. Panel veri ekonometrisinde hangi modelin tercih edileceğine karar vermek amacıyla bazı testler kullanılmaktadır (Kaya, 2021, s. 36). Aşağıda bu testler açıklanmaktadır.

Uygun Panel Veri Modelleri Arasında Tercih için Testler

Bir panel veri setinde havuzlanmış modelin geçerliliğinin sınavması F testi ile yapılmaktadır. Testin hipotezleri, yatay kesit birimleri arasında farklılığın olup olmamasına dayandırılmaktadır. Veri setinin birimlere göre farklılık gösterdiği durumda Sabit Etkiler Modeli'nin uygun olacağı sonucuna ulaşılmaktadır. Bu bağlamda, kısıtsız model ve kısıtlı model olarak iki model söz konusu olmaktadır. Kısıtlı model; havuzlanmış, kesite ve zamana

göre değişmeyen serilerdir. Bu model birim farklılıklarının önemli olmadığını ve sabit bir R^2 'yi varsaymaktadır. Kısıtsız model ise, parametrelere ait veri setinin birimlere göre değer alacağı hipotezine dayanmaktadır (Ayırçay ve Türk, 2014, s.61; Pehlivan, 2023, s. 60).

$$\text{Kısıtlı model; } Y = X\beta + u \quad (4)$$

$$\text{Kısıtsız model; } Y_i = X_i\beta_i + u_i \quad i: 1,2, \dots, N \quad (5)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Sınanacak temel hipotez ise; $H_0: \beta_i = \beta$ şeklindedir. Hipotezler; H_0 : Havuzlanmış (Klasik) model geçerlidir. H_1 : Sabit Etkiler modeli geçerlidir.

F test istatistiği aşağıdaki denklem çözümü ile hesaplanmaktadır.

$$F = \frac{(R_{UR}^2 - R_R^2)/m}{(1 - R_{UR}^2)/(N - k)} \quad (6)$$

Yukarıdaki denklemde; R_{UR}^2 kısıtsız modelden, R_R^2 ise kısıtlı modelden elde edilen R^2 'dir. N gözlem sayısını (zamanxyatay kesit), m kısıt sayısını, k ise kısıtsız modeldeki toplam parametre sayısını ifade etmektedir (Pehlivan, 2023, s. 60, 61).

Chow F test istatistiği ANOVA F testi olarak da adlandırılmaktadır. Hesaplanan F test istatistiği için tablo değeri, α anlamlılık düzeyinde [(N-1), N(T-1)-k] serbestlik dereceli F tablo değerinin aldığı değeri göstermektedir. Eğer F test istatistiği tablo değerinden büyük ise sıfır hipotezi reddedilerek sabit etkiler modeli seçilmekte, tablo değerinden küçük olduğu durumda ise sıfır hipotezi kabul edilerek havuzlanmış model seçilmektedir (Bayrakçı, 2022, s. 36).

Breusch – Pagan LM testi, temel hipotez altında modelin tahminine dayanmaktadır ve çoğu durumda sadece sıradan en küçük kareler yöntemiyle hesaplanmaktadır (Baltagi, Song ve Jung, 2002, s. 168; Şahin, 2021, s. 25). Bu testin uygulanması tesadüfi etkiler modeli çalıştırıldıktan sonra gerçekleştirilmektedir. Sıfır hipotezinde tesadüfi birim etkilerin varyansının sıfır olduğu ($H_0: \sigma_\mu^2 = 0$) sınanmaktadır (Yerdelen Tatoğlu, 2016, 168; Şahin, 2021, s. 25, 26). LM testi ki-kare dağılımına uygunluk göstermektedir.

μ birim etkisinin geçerliliği için kurulan hipotezler aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned} H_0 : \sigma_\mu^2 &= 0 \\ H_1 : \sigma_\mu^2 &> 0 \end{aligned} \quad (7)$$

γ birim etkisinin geçerliliği için kurulan hipotezler aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned} H_0 : \sigma_\gamma^2 &= 0 \\ H_1 : \sigma_\gamma^2 &> 0 \end{aligned} \quad (8)$$

λ etkisinin geçerliliği için kurulan hipotezler aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned} H_0 : \sigma_\lambda^2 &= 0 \\ H_1 : \sigma_\lambda^2 &> 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Breusch-Pagan LM test istatistiği aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Şahin, 2021, s. 25).

$$LM = \frac{NMT}{2(T-1)} \left[\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\sum_{t=1}^T u_{ijt})^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{t=1}^T u_{ijt}^2} - 1 \right]^2 \quad (10)$$

LM testindeki temel hipotez, varlığı sınanan birim etkinin varyansının sıfıra eşit olduğunu, modelde bu etkinin yer almadığını, bu doğrultuda havuzlanmış yani klasik modelin geçerli olduğunu varsaymaktadır. Temel hipotezin kabul edilmesi durumunda ise, birim etkinin varyansı toplam varyans üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmamaktadır. Diğer etkiler için de benzer şekilde hipotezler kurulmakta ve sınanabilmektedir (Şahin, 2021, s. 25, 26).

Rassal ya da sabit etki modellerinden hangisinin daha uygun olduğunun tespiti için Hausman (1978) test istatistiği kullanılmaktadır (Sağlam, 2021, s. 51). Panel veri analizinde model tercihi aşamasında yapılan testler ile birim etkinin bulunduğu tespit edilirse bu birim etki ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki modelin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Birim etkiyle bağımsız değişkenler arasında bir ilişki olduğu tespit edilirse sabit etkili model, ilişki olmadığı tespit edilirse tesadüfi etkili model geçerli olmaktadır. Bu varsayımların geçerlilik durumu modeldeki bağımsız değişken sayısını belirten k serbestlik dereceli χ^2 dağılımına uygun Hausman testi ile sınanmaktadır (Sertçelik, 2022, s. 28). Hausman testi istatistik değeri, grup içi tahmincinin matrisleri ve varyansı arasındaki fark ile genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi kullanılarak (H istatistiği) hesaplanmaktadır (Sağlam, 2021, s. 51). Test modeli aşağıdaki gibidir:

$$H = (\hat{\beta}_{SE} - \hat{\beta}_{TE})' [Avar(\hat{\beta}_{SE}) - Avar\hat{\beta}_{TE}]^{-1} (\hat{\beta}_{SE} - \hat{\beta}_{TE}) \quad (11)$$

Testin sıfır hipotezi bağımsız değişken ile birim etkilerin ilişkisiz olduğunu belirtirken, alternatif hipotez ilişkili olduğunu belirtmektedir. Hipotezler aşağıdaki gibi kurulmaktadır.

$$H_0: E(x_{it}, \mu_i) = 0$$

$$H_0: E(x_{it}, \mu_i) \neq 0 \quad (12)$$

Test sonucu sıfır hipotezi kabul edilirse, her iki modele ait tahminciler tutarlıdır. Tesadüfi etkiler modelinin tahmincileri daha etkindir sonucuna ulaşılmaktadır. Bu nedenle, analize tesadüfi etkiler modeliyle devam edilmelidir (Hausman, 1979, s. 1263). Temel hipotezin reddedildiği durumda tesadüfi etkiler modelinin temel varsayımı sağlanmamakta, dolayısıyla tutarsız tahminciler elde edilmektedir. Bu nedenle, sabit etkiler modeli ile analize devam edilmelidir (Sertçelik, 2022, s. 28).

Driscoll-Kraay Tahmincisi

Panel veri modelinin tahmini sonucunda otokorelasyon, heteroskedasite ya da birimler arası korelasyon gibi sorunlardan en az biri bulunursa, parametre tahminlerine dokunulmadan standart hatalar düzeltilmeli ve dirençli standart hatalar elde edilmelidir. Bu problemlerin varlıkları tespit edildiğinde uygun yöntemlerle tahmin yapılmalıdır (Yerdelen

Tatoğlu, 2012, s. 241). Driscoll ve Kraay tahmincisi, büyük N ve T durumunda dâhi heteroskedasite (değişen varyans) varlığında tutarlı, dönemsel ve uzamsal korelasyonun genel formlarında dirençli standart hatalar üretmektedir. Hata teriminin otokorelasyonlu, birimler arası korelasyonlu ve heteroskedastik olduğu varsayımları doğrultusunda, parametrelerin tutarlı tahminleri havuzlanmış en küçük kareler yöntemi ile elde edilebilmektedir. Parametre tahminlerine ait Driscoll ve Kraay standart hataları, asimptotik(dirençli) kovaryans matrisinin diagonal elemanlarının karekökleri ile elde edilmektedir. Bu yaklaşım yatay kesit ortalamalarına dayanmakta, standart hata tahminleri, birimlerin yatay kesit boyutu N'ye bağlı olmaksızın tutarlı çıkmaktadır (Dücan ve Akal, 2017, s. 72).

Uygulama

Çalışmada, panel veri analizi yöntemleri kullanılarak, yenilenebilir enerji üretimi üzerinde teknolojik gelişmelerin etkisi incelenmiştir. Panel veri analizinde ilk aşamada yatay kesit bağımlılığı testi yapılacaktır. Bu amaçla, serilerin yatay kesit boyutunun zaman boyutundan büyük olması nedeniyle bu varsayıma dayanan Pesaran (2004) CD LM1 testi kullanılmıştır. Test sonuçları:

Tablo 3. Pesaran (2004) CD LM1 yatay kesit bağımlılığı testi sonuçları

H ₀ : Birimler arası korelasyon sıfırdır; (P _{ij} = 0)					
Değişken	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri	Değişken	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
lnREG	35,10410	0,0000	lnFSL	6,191201	0,0000
lnGDP	12,07208	0,0000	HTE	2,504305	0,0123
TRD	7,787893	0,0000	lnPTN	-1,623317	0,1045
FDI	3,622444	0,0003	RDE	4,292555	0,0000

Tablo 3'te görüldüğü gibi, yatay kesit bağımlılığı yoktur hipotezine sahip olan sıfır hipotezi %5 anlamlılık düzeyinde patent başvuruları verisi hariç diğer tüm değişkenler için reddedilmiştir. Buna göre, patent başvurusu değişkeni için yatay kesit bağımlılığı yokken, diğer değişkenler için yatay kesit bağımlılığı vardır. Bu durum durağanlığın sınanması aşamasında patent başvurusu verisi için birinci nesil birim kök testlerini, diğer tüm değişkenler için ikinci nesil birim kök testlerini, yapmayı gerektirmektedir. İkinci aşama olarak homojenlik testi yapılacaktır. Homojenlik testi, yapılacak birim kök testinin seçilmesinde etkili olmaktadır. Bu nedenle, durağanlık sınaması yapılmadan önce homojenlik testi yapılmalıdır. Bu amaçla Hsiao (1986) testi kullanılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Hsiao (1986) homojenlik testi sonuçları

Modeller	H1: H ₀ : Homojendir H _A : H2		H2: H ₀ : Homojendir H _A : Heterojendir		H3: H ₀ : Homojendir H _A : Kısmi Homojendir	
	H1	H2	H2	H3	H3	H3
	F İstatistik Değeri	Olasılık Değeri	F İstatistik Değeri	Olasılık Değeri	F İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
Model 1	30,41538	6,90E-54	13,54832	8,82E-34	20,40714	8,46E-31
Model 2	30,68481	4,23E-54	14,35314	4,99E-35	18,97824	4,21E-29
Model 3	28,97851	1,01E-52	8,476928	3,38E-24	35,01955	4,33E-45

Sonuçlara göre, tüm modellerdeki olasılık değerleri 0,05'ten küçüktür. %5 anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezleri reddedilmektedir. Seriler heterojendir. Panel veri analizinin bir sonraki aşamasında serilerin durağanlığı kontrol edilecektir. Bu amaçla, patent başvuruları değişkeni için birinci nesil birim kök testlerinden biri olan Fisher ADF ve diğer değişkenler için ikinci nesil birim kök testlerinden biri olan Bai ve Ng (2004) testleri uygulanacaktır.

Tablo 5. Bai ve Ng (2004) ve Fisher ADF birim kök testleri sonuçları (olasılık değerleri)

H₀: Birim kök bulunmaktadır.

H₁: Birim kök bulunmamaktadır.

Değişken	Bai ve Ng (2004)		Fisher ADF	
	Sabit	Sabit ve Trend	Sabit	Sabit ve Trend
lnREG	0,00000	0,00886		
lnGDP	0,00000	0,01386		
TRD	0,01817	0,00000		
FDI	0,00000	0,00000		
lnFSL	0,00000	0,00000		
HTE	0,00000	0,00000		
lnPTN			0,8582	0,9950
RDE	0,00000	0,00000		

Bai ve Ng (2004) birim kök testlerinin sonuçları incelendiğinde, tüm değişkenlerin p olasılık değerleri %5'ten küçüktür. Tüm değişkenlerde birim kökün varlığını iddia eden sıfır hipotezi reddedilmektedir. Birim kök yoktur ve tüm seriler düzeyde durağandır. Fisher ADF testi sonucu bulunan olasılık değeri ise %0,05'ten büyüktür. Sıfır hipotezi kabul edilmektedir. Patent başvurusu verisi için birim kök bulunmaktadır. Küçük örneklem gruplarında birim kökün varlığında da sabit etkiler ve rassal etkiler modelleri etkin sonuçlar vermektedir. Ekinci vd. (2023), Aydınbaş ve Erdinç (2022), Erdinç ve Aydınbaş (2022) gibi literatürdeki bazı çalışmalarda birim kök testi yapılmadan bu modeller kullanılmıştır. Çalışmada N, 15 olarak alındığından bu durum dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda patent başvurusu verisini içeren model için sabit etkiler modeli uygun bulunduğundan eşbütünleşme ilişkisi incelenmemiş, doğrudan Panel OLS sonuçlarına yer verilmiştir. Tablo 6'da uygun panel veri modelleri arasında tercih testlerinin hipotezleri yer almaktadır.

Tablo 6. Uygun panel veri modelleri arasında tercih testlerinin hipotezleri

Rassal Etkiler Modeli Testi Hausman	Sabit Etkiler Modeli Testi Chow F	Havuzlanmış Model Testi LM(Breush-Pagan)
H ₀ : corr(μ_i, x_{it}) = 0 Rassal Etkiler Modeli Geçerlidir	H ₀ : corr(μ_i, x_{it}) = 0 Havuzlanmış Model Geçerlidir.	H ₀ : corr(μ_i, x_{it}) = 0 Havuzlanmış Model Geçerlidir.
H ₁ : corr(μ_i, x_{it}) \neq 0 Sabit Etkiler Modeli Geçerlidir	H ₁ : corr(μ_i, x_{it}) \neq 0 Sabit Etkiler Modeli Geçerlidir.	H ₁ : corr(μ_i, x_{it}) \neq 0 Rassal Etkiler Modeli Geçerlidir.

Modeller:

$$\ln\text{REG}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln\text{GDP}_{it} + \beta_2 \text{TRD}_{it} + \beta_3 \text{FDI}_{it} + \beta_4 \ln\text{FSL}_{it} + \beta_5 \text{HTE}_{it} + u_{it} \quad (13)$$

$$\ln\text{REG}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln\text{GDP}_{it} + \alpha_2 \text{TRD}_{it} + \alpha_3 \text{FDI}_{it} + \alpha_4 \ln\text{FSL}_{it} + \alpha_5 \ln\text{PTN}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (14)$$

$$\ln\text{REG}_{it} = \theta_0 + \theta_1 \ln\text{GDP}_{it} + \theta_2 \text{TRD}_{it} + \theta_3 \text{FDI}_{it} + \theta_4 \ln\text{FSL}_{it} + \theta_5 \text{RDE}_{it} + \pi_{it} \quad (15)$$

Yukarıdaki modeller için Panel OLS metodunda uygun modelin seçimine dönük olarak yapılan test sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Hausman, Chow F ve LM (Breusch-Pagan) testi sonuçları

Model	Hausman Testi Sonucu		Chow F Testi Sonucu		LM Testi Sonucu		Model Seçimi
	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri	
Model 1	40,697262	0,0000	20,407135	0,0000	260,8022	0,0000	Sabit Etkiler
Model 2	35,547225	0,0000	18,978241	0,0000	235,3995	0,0000	Sabit Etkiler
Model 3	86,454429	0,0000	35,019548	0,0000	254,9948	0,0000	Sabit Etkiler

Tablo 7'de görüldüğü gibi, üç model de sabit etkiler modeli olarak bulunmuştur. Bu doğrultuda üç model için de sabit etkiler modeli sonuçları Tablo 8'de görülmektedir.

Tablo 8. Sabit etkiler analizi sonuçları

Değişkenler	1. Model			2. Model			3. Model		
	Katsayı	t-tablo Değeri	Olasılık Değeri	Katsayı	t-tablo Değeri	Olasılık Değeri	Katsayı	t-tablo Değeri	Olasılık Değeri
Sabit (C)	-41,60390	-4,419655	0,0000	-20,09102	-1,995011	0,0475	-8,581943	-1,070320	0,2858
lnGDP	2,291111	6,294805	0,0000	1,550758	3,997088	0,0001	0,792687	2,464531	0,0146
TRD	0,041575	4,091327	0,0001	0,025846	2,559184	0,0113	0,032920	4,004343	0,0001
FDI	12,08322	6,685436	0,0000	8,351347	4,356600	0,0000	10,75516	7,280339	0,0000
lnFSL	-1,498432	-2,113858	0,0358	-1,893977	-2,533139	0,0121	-0,317312	-0,535094	0,5932
HTE	0,124689	3,876354	0,0001						
lnPTN				0,836305	3,249317	0,0014			
RDE							1,931509	10,16564	0,0000
		R ² : 0,862951			R ² : 0,859898			R ² : 0,904212	
		F : 62,96685			F : 61,37671			F : 94,39699	
		F- Olasılık Değeri : 0,000000			F- Olasılık Değeri : 0,000000			F- Olasılık Değeri : 0,000000	

Modellerin katsayılarını yorumlamadan önce değişen varyans ve otokorelasyonun varlığı dikkate alınmalıdır. Bu durumların tespiti için Durbin-Watson otokorelasyon ve Wald değişen varyans testleri uygulanacaktır.

Tablo 9. Temel varsayımlardan sapmaların testi

	Değişen Varyans Testi (Değiştirilmiş Wald Testi)		
	1. Model	2. Model	3. Model
$\chi^2(15)$ değeri	1105,94	1921,43	703,96
Olasılık Değeri	0,0000	0,0000	0,0000
	Otokorelasyon Testi (Durbin-Watson Testi)		
	1. Model	2. Model	3. Model
D-W değeri	0,32246948	0,19905392	0,32643673
Olasılık Değeri	0,0000	0,0001	0,0000

Tablo 9'da otokorelasyon ve değişen varyans sonuçları verilmiştir. İki test için de sıfır hipotezleri değişen varyans ve otokorelasyonun olmadığını ifade etmektedir. Olasılık değerleri %5'ten küçüktür. Sıfır hipotezleri reddedilmektedir. Değişen varyans ve otokorelasyon sorunları vardır. Bu nedenle, katsayıların yorumlanmasında Driscoll-Kraay standart hatalar ile tahmin edilmiş sabit etkiler modelinin kullanılması daha uygun bulunmaktadır.

Tablo 10. 1. Modelin Driscoll-Kraay standart hatalar ile tahmin edilmiş sabit etkiler modeli sonuçları

Değişkenler	Katsayı	Driscoll-Kraay S. H.	t-tablo Değeri	Olasılık Değeri
Sabit (C)	- 41,60385	22,95411	-1,81	0,093
lnGDP	2,291109	0,8725533	2,63	0,021
TRD	0,0415752	0,0151054	2,75	0,016
FDI	12,08322	1,407012	8,59	0,000
lnFSL	-1,498432	0,873641	-1,72	0,110
HTE	0,1246889	0,0193645	6,44	0,000
	R ² : 0,3419	F: 248,67	Olasılık Değeri: 0,0000	

Tablo 10'da birinci modele ait Driscoll-Kraay standart hatalar ile tahmin edilmiş sabit etkiler modeli sonuçları yer almaktadır. Sonuçlara göre, fosil yakıt tüketimi değişkeninin katsayısı negatif ve %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamsızdır. Diğer tüm değişkenler hem pozitif katsayılı hem de %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. GSYİH, ticari açıklık, finansal gelişme endeksi ve yüksek teknoloji ihracatı değişkenleri yenilenebilir enerji üretimini pozitif yönde etkilemektedir. Birinci modelin sonuçları iktisadi beklentilere uygun bulunmuştur.

Tablo 11. 2. Modelin Driscoll-Kraay standart hatalar ile tahmin edilmiş sabit etkiler modeli sonuçları

Değişkenler	Katsayı	Driscoll-Kraay S. H.	t-tablo Değeri	Olasılık Değeri
Sabit (C)	- 20,09095	25,78377	-0,78	0,450
lnGDP	1,550755	1,009219	1,54	0,148
TRD	0,0258461	0,0160461	1,61	0,131
FDI	8,351345	1,702457	4,91	0,000
lnFSL	-1,893977	0,9380291	-2,02	0,065
lnPTN	0,8363062	0,2884669	2,90	0,012
	R ² : 0,3272	F: 303,51	Olasılık Değeri: 0,0000	

Tablo 11'de ikinci modele ait Driscoll-Kraay standart hatalar ile tahmin edilmiş sabit etkiler modeli sonuçları bulunmaktadır. Bu modelde GSYİH ve ticari açıklık değişkenlerinin katsayıları pozitif ancak %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamsızdır. Fosil yakıt tüketimi değişkeni ise negatif katsayılı ve %10 anlamlılık seviyesinde istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Buna göre, fosil yakıt tüketimi değişkeni yenilenebilir enerji üretimini negatif; finansal gelişme endeksi ve patent başvuruları değişkenleri ise yenilenebilir kaynaklarla enerji üretimini pozitif yönde etkilemektedir.

Tablo 12. 3. Modelin Driscoll-Kraay standart hatalar ile tahmin edilmiş sabit etkiler modeli sonuçları

Değişkenler	Katsayı	Driscoll-Kraay S. H.	t-tablo Değeri	Olasılık Değeri
Sabit (C)	- 8,581908	17,69952	-0,48	0,636
lnGDP	0,792686	0,756966	1,05	0,314
TRD	0,0329203	0,0106933	3,08	0,009
FDI	10,75516	1,667299	6,45	0,000
lnFSL	-0,3173113	0,6759636	-0,47	0,647
RDE	1,93151	0,1525875	12,66	0,000
	R ² : 0,5400	F: 129,84	Olasılık Değeri: 0,0000	

Üçüncü modele ilişkin Driscoll-Kraay standart hatalar ile tahmin edilmiş sabit etkiler modeli sonuçları ise Tablo 12'de gösterilmiştir. Fosil yakıt tüketimi değişkeni %5 anlamlılık düzeyinde negatif katsayılı ve istatistiksel olarak anlamsız bulunurken, GSYİH değişkeni pozitif katsayılı ancak istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Ticari açıklık, finansal

gelişme endeksi ve Ar-Ge harcamaları değişkenleri yenilenebilir enerji üretimini pozitif yönde etkilemektedir.

Sonuç

Yenilenebilir enerji üretimi özellikle tüm dünyada çevresel duyarlılığın artması nedeniyle hızla yaygınlaşmaktadır. Karbondioksit emisyonlarını azaltarak enerji üretimi gerçekleştirilmesi, sera etkisi yaratan gazların salınımını azaltarak iklim değişikliği ile mücadelede etkin bir rol oynamaktadır. Ülkelerin enerji ihtiyacını karşılamakta dışa bağımlılığını azaltmak istemeleri dolayısıyla enerji arz güvenliğini sağlama motivasyonu ile de bu kaynakların kullanımı hızla artmaktadır. Özellikle fosil enerji kaynaklarına sahip olmayan ülkeler açısından enerji ihtiyacının karşılanmasında kilit bir role sahiptir. Teknolojik gelişmeler doğrultusunda bu kaynakların kullanımı yaygınlaşmakta, kurulum maliyetleri düşmekte ve enerji üretiminde verimlilik artmaktadır. Enerjinin ekonomik gelişmenin itici faktörlerinden biri olması nedeniyle iktisadi açıdan da bu ilişki önemli bulunmaktadır.

Çalışmada seçilmiş 15 G20 ülkesinin 2007-2020 yılları arasındaki yıllık verileri kullanılarak yenilenebilir enerji üretimine teknolojik gelişmelerin etkileri incelenmiştir. Çalışmada üç ayrı model kullanılmıştır. Modelde bağımlı değişken olarak yenilenebilir enerji üretimi, bağımsız değişken olarak; GSYİH, ticari açıklık, fosil yakıt tüketimi, finansal gelişme endeksi, patent başvuruları, Ar-Ge harcamaları ve yüksek teknoloji ihracatı değişkenleri kullanılmıştır. Diğer değişkenler her üç modelde de sabitken, teknolojik gelişme göstergeleri olarak alınan bağımsız değişkenler; Ar-Ge harcamaları, patent başvuruları ve yüksek teknoloji ihracatı modellerde ayrı ayrı incelenmiştir. Etkileri daha net görmek ve modeller arasında kıyaslama yapabilmek amacıyla bu yöntem tercih edilmiştir.

Panel veri yöntemleri kullanılarak yapılan analizde ilk aşamada tüm değişkenler için yatay kesit bağımlılığı testi yapılmıştır. Verilerin yatay kesit boyutu zaman boyutundan büyük olduğu için, analizde bu varsayımı karşılayan Pesaran (2004) CD LM1 testi kullanılmıştır. Patent değişkeni hariç diğer bütün seriler yatay kesit bağımlı bulunmuştur. İkinci aşamada Hsiao tarafından 1986 yılında geliştirilen homojenlik testi yapılmıştır ve serilerin heterojen olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Bu koşullar altında durağanlığın sınanması için yatay kesit bağımlı seriler için Bai ve Ng (2004), patent başvuruları değişkeni için ise Fisher ADF birinci nesil birim kök testi uygulanmıştır. Patent başvuruları değişkeni hariç tüm seriler %5 anlamlılık düzeyinde seviyede durağan I(0) bulunmuştur. Küçük örneklerde eşbütünleşme ilişkisine bakılmaksızın panel OLS kullanılabileceği varsayımıyla, literatürdeki yapılmış çalışmalara dayanarak eşbütünleşme ilişkisi analiz edilmemiştir. Panel OLS yöntemi ile analiz gerçekleştirilmiş, uygun model seçimi için; Hausman, Chow F ve LM (Breusch-Pagan) testleri yapılmış, uygun modelin sabit etkiler modeli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Otokorelasyon ve değişen varyans problemlerini araştırmak için Durbin-Watson ve değiştirilmiş Wald testleri yapılmış, değişen varyans ve otokorelasyon sorunları olduğu tespit edilmiştir. Bu sorunların çözümü için dirençli tahmin sonuçları veren Driscoll-Kraay tahmincileri kullanılarak sabit etkiler modeli sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre; fosil

yakıt tüketimi değişkeni birinci ve üçüncü modellerde %5 anlamlılık düzeyinde istatistiki olarak anlamsız ve negatif katsayılı bulunmuşken, ikinci modelde %10 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır. İkinci model sonuçlarına göre fosil yakıt tüketimi yenilenebilir enerji üretimini negatif yönde etkilemektedir. Birinci modelde diğer tüm değişkenlerin ise %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Finansal gelişim endeksi değişkeni her üç modelde de yenilenebilir enerji üretimini pozitif yönde etkilemektedir. Birinci modelde; GSYİH, ticari açıklık ve yüksek teknoloji ihracatı değişkenleri yenilenebilir enerji üretimini pozitif yönde etkilemektedir. İkinci modelde GSYİH ve ticari açıklık verileri %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Patent başvuruları değişkeni yenilenebilir enerji üretimini pozitif yönde etkilemektedir. Üçüncü modelde GSYİH değişkeni %5 anlamlılık düzeyinde istatistiki olarak anlamsız bulunmuştur. Ticari açıklık ve Ar-Ge harcamaları değişkenleri yenilenebilir enerji üretimini pozitif yönde etkilemektedir.

Analiz sonuçları, teknolojik gelişme göstergelerinin yenilenebilir enerji üretimi üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bu sonuçların iktisat literatüründe aynı yönde bulgulara ulaşan; Aflaki vd., (2014), Bamati ve Raoofi (2019)'un gelişmiş ülkeler bazındaki sonuçları, Alam ve Murad (2020), Doğan ve Özarslan Doğan (2021), Çoban vd. (2021), Kılınç ve Şahbaz Kılınç (2021) ve Avşar (2023)'in sonuçlarını desteklediği görülmektedir.

Enerji, ekonomi ve politika gibi alanlar ile yakından ilişkili önemli bir faktördür. Dünyada nüfus artışı ile birlikte artan enerji ihtiyacı, fosil yakıt kaynaklarının zamanla tükenecek olması ve iklim değişikliği ile mücadele edilmesi gerekliliği gibi nedenlerle yenilenebilir enerji üretimi hızla artmaktadır. Üretim artışında teknolojik gelişmelerin önemli etkileri bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojilerindeki gelişmeler; verimlilik artışı sağlamak, yeni üretim metotları geliştirmekte, kurulum maliyetlerini düşürmekte, dolayısıyla da bu kaynakların dünyada hızla yaygınlaşmasını sağlamaktadır.

Yenilenebilir kaynaklar yüksek kurulum maliyeti gerektirmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde sübvansiyonlar verilmesi, kamu tarafından yatırımlar yapılması, özel sektöre kredi açısından kolaylık sağlanması gibi yöntemler ile bu kaynaklara yapılacak yatırımlar artırılmalıdır. Çalışmanın sonuçları doğrultusunda patent başvuruları değişkeninin pozitif etkileri değerlendirildiğinde, bu başvurulardaki artışlar yenilenebilir enerji alanında yapılacak yeniliklerin ticarileşmesini ve yayılmasını hızlandırıcı etki yapacaktır. Bu yayılımı hızlandırmak için bürokratik süreçler basitleştirilmeli, maliyetler düşürülmelidir. Analiz sonucuna göre, yüksek teknoloji ihracatında yaşanacak artışlar da yenilenebilir enerji üretimini artırmaktadır. Bu doğrultuda uluslararası ticaret anlaşmaları ya da ihracat kredileri gibi destek mekanizmaları aracılığı ile yenilenebilir enerji teknolojilerinin ihracatı desteklenerek yerel firmaların uluslararası rekabet gücü artırılmalı ve bu teknolojiler tüm dünyaya yayılmalıdır. Bu teknolojilerin ihracatı ekonomik büyümeye de katkı sağlayacaktır. Çalışmada yenilenebilir enerji üretiminde en çok etkiyi sağlayan teknoloji değişkeni olan Ar-Ge harcamalarına kaynak ayrılması; ulusal ve uluslararası düzeyde bu alanda yapılacak

işbirliklerinin desteklenmesi, yenilebilir enerji kaynakları ile ilgili teknolojilerin gelişmesi ve dolayısıyla da enerji üretiminin artırılması açısından gereklidir.

Kaynakça

- Aflaki, S., Basher, S. A., Masini, A. (2014). Does economic growth matter? Technology-push, demand-pull and endogenous drivers of innovation in the renewable energy industry. *SSRN Electronic Journal*, 1-22.
- Alam, M., Murad, W. (2020). The impacts of economic growth, trade openness and technological progress on renewable energy use in organization for economic cooperation and development countries. *Renewable Energy*, 145, 382-390.
- Avşar, D. (2023). *The Effects of technological developments on renewable energy*. Yüksek Lisans Tezi. Çankaya Üniversitesi.
- Aydınbaş, G., Erdinç, Z. (2022). Vergi gelirlerini etkileyen unsurların tespit edilmesi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(2), 799-817.
- Aydoğan, H. (2022). *Verimlilik, Ar-Ge ve gelir dağılımı eşitsizliğinin ekonomik büyüme üzerine etkileri: R ile panel veri analizi*. Doktora Tezi. Marmara Üniversitesi.
- Ayrıçay, Y., Türk, V. E. (2014). Finansal oranlar ve firma değeri ilişkisi: BİST’de bir uygulama. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (64), 53-70.
- Bai, J., Ng, S. (2004). A panic attack on unit roots and cointegration. *Econometrica*, 72(4), 1127-1177.
- Baltagi, B., Song, S., Jung, B. (2001). The unbalanced nested error component regression model. *Journal of Econometrics*, 357-381.
- Baltagi, B. H. (2005). *Econometric analysis of panel data*. Third Edition, United Kingdom: John Wiley Sons Ltd.
- Bamati, N., Raoofi A. (2020). Development level and the impact of technological factor on renewable energy production. *Renewable Energy*. 1-29.
- Barbieri, L. (2006). Panel unit root tests: A review. *Quaderni Del dipartimento di Scienze Economiche E Sociali Università Cattolica*, 1-53.
- Bayrakçı, G. N. (2022). *Türkiye’deki bankaların karlılığını etkileyen faktörlerin panel veri ve lasso regresyon yöntemi ile analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi.
- Benson, C. L., Magee, C. L. (2014). On improvement rates for renewable energy technologies: Solar PV, wind turbines, capacitors, and batteries. *Renewable Energy*, 68, 745-751.
- Breusch, T., Pagan, A. R. (1980). The lagrange multiplier test and its applications to model specification tests in econometrics, *Review of Economic Studies*, 47, 239-53.
- Choi, I. (2001). Unit root tests for panel data. *Journal of International Money and Finance*, 20/2: 249- 272.
- Çetin, M, Ecevit, E. (2010). Sağlık harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi: OECD ülkeleri üzerine bir panel regresyon analizi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 11 (2) 2010, 166-182.
- Çoban, M. N., Kangal N., Yeter F., Eroğlu İ. (2021). İnovasyonun yenilenebilir enerji üretimine etkisi: IEA üyesi ülkeler üzerine panel veri analizi. *Aydın İktisat Fakültesi Dergisi*, 21-31.
- Dinh, C. K., Ngo, Q. T., Nguyen, T. T. (2021). Medium-and high-tech export and renewable energy consumption: Non-linear evidence from the Asean countries. *Energies*, 14, 4419.
- Doğan, E., Özarslan Doğan, B. (2021). Finansal gelişme ve inovasyon, Türkiye’de yenilenebilir enerji üretimini artırıyor mu?. *Turkish Studies - Economy*, 16(2), 783-797.
- Driscoll, J., Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent data. *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549-560.

- Dücan, E., Akal, M. (2017). Komşu ülkelerle yapılan dış ticaretin DYY girişleri üzerine etkisi: gelişmekte olan ülkeler için panel veri analiz. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 3(1), 63-80.
- Ekinci, A., Koçak, Z., Benli, M. (2023). OECD ülkeleri örneğinde Ar-Ge harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi. *Sakarya İktisat Dergisi*, 12(2), 241-252.
- Emirmahmutoğlu, F., Köse, N. (2011). Testing for Granger causality in heterogeneous mixed panels. *Economic Modelling*, 28, 870-876.
- Erdinç, Z., Aydınbaş, G. (2022). Ulusal ve uluslararası güvenlik kapsamında savunma harcamalarını etkileyen etmenler: OECD ülkeleri üzerine bir analiz. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 34, 143-158.
- Gan J., Smith C. T. (2011). Drivers for renewable energy: A comparison among OECD countries. *Biomass and Bioenergy*, 35, 4497-4503.
- Geng, J. B., Ji, Q. (2016). Technological innovation and renewable energy development: Evidence based on patent counts. *Int. J. Environmental Issues*, 15(3), 217-234.
- Göçer, İ. (2013). Seçilmiş OECD ülkelerinde bütçe açıklarının sürdürülebilirliği: yatay kesit bağımlılığı altında panel eş-bütünleşme analizi. *Journal of Yasar University*, 30(8) 5086-5104.
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross spectral methods. *Econometrica*, (37).
- Güngör, B. (2021). Post-sosyalist ülkelerde pro-demokratik dönüşüm ve ekonomik kalkınma: Panel ARDL yaklaşımı. *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(2), 188-206.
- Hausman, J. (1979). Specification tests in econometrics. *Econometrica*, 46(6), 1251-1271.
- Hsiao, C. (2003). *Analysis of panel data*. 2. Baskı. New York, Cambridge University Press.
- Irandoost, M. (2016). The renewable energy-growth nexus with carbon emissions and technological innovation: Evidence from the Nordic countries. *Ecological Indicators*, 69, 118-125.
- IRENA (2013). Renewable energy generation costs in 2012: an overview, international renewable energy agency report. Bonn.
- IRENA (2023). <https://www.irena.org/Publications/2023/Jul/Renewable-energy-statistics-2023>. *Renewable energy agency report*. Erişim Tarihi: 27.02.2024.
- Johnstone, N., Hascic, I., Popp D. (2010). Renewable energy policies and technological innovation: Evidence based on patent counts. *Environmental and Resource Economics*. 45(1), 133-155.
- Kar, M., Taban, S. (2003). Kamu harcama çeşitlerinin ekonomik büyüme üzerine Etkileri. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 58(3), 146-169.
- Karagöl, E. T., Kavaz, İ. (2017). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf>. Erişim Tarihi: 15.05.2024.
- Kaya, G. (2021). *İnternet kullanımına etki eden faktörlerin analizi: Panel kantil regresyon modeli*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi.
- Khan, K., Su C. W., Rehman, A. U., Ullah, R. (2022). Is technological innovation a driver of renewable. *Technology in Society*.
- Khezri, M., Heshmati, A., Khodaei, M. (2021). The Role of R&D in the effectiveness of renewable energy determinants: A spatial econometric analysis. *Energy Economics*, 99, 1-10.
- Kılınç, E. C., Şahbaz Kılınç N. (2021). Ar-Ge ve inovasyonun yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisi: panel veri analizi. *Alanya Akademik Bakış Dergisi*, 5(2), 1087-1105.

- Kızıltan, M., Golovko, A., Yereli, A. B. (2019). Feldstein-Horioka bulmacası: İkinci nesil panel eşbütünleşme analizi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 20 (1), 61-79.
- Maddala, G. S., Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics, Special Issue*, 6, 631-652.
- Mola, S. E. (2019). *Ekonomik özgürlüklerin ekonomik büyümeye etkisi: gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler panel veri analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi.
- Naimoğlu, M., Özbek, S. (2022). İngiltere’de enerji Ar-Ge harcamaları ile enerji tüketimi ilişkisi: yapısal kırılmalı eşbütünleşme analizi. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 10(1), 35-45.
- Nakıpoğlu Özsoy, F., Özpolat A. (2020). Yenilenebilir enerji ve istihdam ilişkisi: Bootstrap Granger nedensellik analizi. *Uluslararası Ekonomi, İşletme ve Politika Dergisi*, 4(2), 263-280.
- Özdemir, Y. E., Yavuz, M. (2021). Yenilenebilir enerjide teknoloji analizi. *European Journal of Science and Technology Special Issue*, 29, 138-143.
- Özşahin, Ş., Mucuk, M., Gerçekler, M. (2016). Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: BRICS-T ülkeleri üzerine panel ARDL analizi. *Politik, Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Kongresi*. 24-26 Ağustos 2016, 111-130.
- Pazarlıoğlu, V., Gürler, Ö.K. (2007). Telekomünikasyon yatırımları ve ekonomik büyüme: Panel veri yaklaşımı. *Finans, Politik-Ekonomik Yorumlar*, 44(508), 35-43.
- Pehlivan, A. (2023). *Terörizm ile yolsuzluk arasındaki ilişki: MENA ülkeleri üzerine panel veri analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi.
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. *Cambridge Working Papers in Economics*, 435.
- Popp, D., Hascic I., Medhi N. (2011). Technology and the diffusion of renewable energy. *Energy Economics*, 33, 648–662.
- Sağlam, M. (2021). *İş yapabilme kolaylığının dış ticaret üzerine etkisi: Seçili ülkeler üzerine bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi.
- Saraçoğlu, B. (2011). *Ekonometriye giriş*. Efil Yayınevi. 1. Basım, Ekim 2011.
- Stock, J. H., Watson, M. W. (2007). *Introduction to econometrics*. Pearson Education.
- Şahin, M. (2021). *Çok boyutlu heterojen panel veri modelleri: Başarı sıralamaları üzerine boyut perspektifi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi.
- Şenoğlu, G., Erden Topal, Y. E., Gürsoy Haksevenler, B. H. (2022). Yenilenebilir enerji kullanımı ve artırılmasına ilişkin politika önerileri: İstanbul örneği. *İdealkent*, 35(13), 171-196.
- Sertçelik, Ş. (2022). *Panel ikili nitel tercih modelleri ile BİST imalat sanayindeki işletmelerin büyüme performansını etkileyen faktörlerin analizi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi.
- Toda, Y. H., Yamamoto, T., (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*. 66, 225–250.
- Turgut, E., Uçan, O. (2019). Yolsuzluğun vergi oranları ile olan ilişkisinin OECD ülkeleri örneğinde incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(3), 1-17.
- Türkmen, S., Ağır, H., Günay, E. (2019). Seçilmiş OECD ülkelerinde Ar-Ge ve ekonomik büyüme: Panel eşbütünleşme yaklaşımından yeni kanıtlar. *Bilgi Ekonomisi Ve Yönetimi Dergisi*, 14(2), 89-101.
- Varol, T. (2019). *Panel birim kök testleriyle cari işlemler dengesi yakınsamasının sınanması: OECD ülkeleri*. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi.

- Yalçınkaya, Ö. (2016). G-20 Ülkelerinde satın alma gücü paritesi teorisinin geçerliliği: Panel birim kök testinden kanıtlar (1994:Q1-2015:Q4). *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5, 145-162.
- Yazici, B. E. (2017). *Panel zaman serilerinde yeni yaklaşımların karşılaştırmalı analizi ve bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi.
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2012). *Panel veri ekonometrisi*. Beta Yayınevi.
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2013). *İleri panel veri analizi stata uygulamalı*. İstanbul: Beta Yayıncılık.
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2016). *Panel veri ekonometrisi*. İstanbul, Beta Yayınevi.
- Zheng, S., Yang, J., Yu, S. (2021). How renewable energy technological innovation promotes renewable power generation: evidence from China's provincial panel data. *Renewable Energy*. 177, 1394-1407.

