

FİNANSAL GELİŞME VE ENERJİ YAPISININ YENİLENEBİLİR ENERJİYE ETKİSİ: 20 GELİŞMEKTE OLAN ÜLKE ÖRNEĞİ

FINANCIAL STRUCTURES AND ENERGY PATTERNS IN THE SHIFT TOWARD RENEWABLES: EVIDENCE FROM 20 DEVELOPING COUNTRIES

Lale Kübra ULUÇAY

ORCID: 0000-0003-1801-1130, laleulucay@gmail.com.

Ulaş ÜNLÜ

Doç. Dr., Akdeniz Üniversitesi, ORCID: 0000-0003-3272-9341, ulasunlu@akdeniz.edu.tr.

Kabul Tarihi /

Accepted: 4 Eylül 2025

İletişim /

Correspondence:

Lale Kübra ULUÇAY

Benzerlik Oranı /

Plagiasim: %21

Makale Türü/Article

Type: Araştırma

Makalesi/ Research

Article

ÖZET

Bu çalışma, 2010–2021 döneminde seçilmiş 20 gelişmekte olan ülkede yenilenebilir enerji tüketiminin belirleyicilerini incelemektedir. Bağımlı değişken olarak yenilenebilir enerji tüketimi; bağımsız değişkenler olarak ise finansal gelişme, enerji yoğunluğu ve enerji ithalatı ele alınmıştır. Panel veri setinin hem yatay kesit hem de zaman boyutundaki dinamik ilişkilerini dikkate almak amacıyla, iki aşamalı Sistem Genelleştirilmiş Momentler Metodu tercih edilmiştir. Analiz sonuçları, yenilenebilir enerji tüketiminin büyük ölçüde geçmiş dönem değerlerinden etkilendiğini, dolayısıyla enerji yatırımlarının süreklilik gösteren ve kurumsal destek gerektiren bir yapıda olduğunu ortaya koymaktadır. Bulgular, literatürdeki bazı beklentilerin aksine, finansal gelişmenin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığını göstermektedir. Bu durum, gelişmekte olan ülkelerde finansal kaynakların ağırlıklı olarak geleneksel enerji sektörlerine yöneldiğini ve yeşil finansman altyapısının henüz yeterince gelişmediğini düşündürmektedir. Enerji yoğunluğunun etkisi de istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır; bu, enerji verimliliği politikalarının enerji dönüşümüne doğrudan yansımadağını işaret etmektedir. Enerji ithalatı ise pozitif ve sınırlı düzeyde anlamlı bir etki göstermiştir; bu bulgu, dışa bağımlılığın yenilenebilir enerji yatırımlarını kısmen teşvik edebileceğini düşündürmektedir. Genel olarak sonuçlar, enerji dönüşümünün yalnızca ekonomik faktörlere değil, aynı zamanda finansal yapıların yönlendirilmesine, politik iradeye, kurumsal kapasiteye ve uzun vadeli stratejik planlamaya bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Finansal Gelişme, Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Enerji Yoğunluğu, Enerji İthalatı
JEL Kodları: G21, E44, F36, C23.

ABSTRACT

This study investigates the determinants of renewable energy consumption in a panel of 20 developing countries over the period 2010–2021. The dependent variable is renewable energy consumption, while the key explanatory variables include financial development, energy intensity, and energy imports. To capture the dynamic relationships across both cross-sectional and temporal dimensions of the panel dataset, the two-step System Generalized Method of Moments estimator is employed. The results indicate that renewable energy consumption is strongly influenced by its own lagged values, underscoring the persistence of energy investments and the gradual, institution-dependent nature of the energy transition. Contrary to some prior expectations, financial development exerts no statistically significant effect, suggesting that in developing economies financial resources tend to be allocated predominantly to conventional energy sectors and that green finance infrastructure remains underdeveloped. Similarly, energy intensity is found to have no significant impact, implying that efficiency policies have yet to translate into tangible progress in the energy transition. In contrast, energy imports exhibit a positive, albeit marginally significant, relationship with renewable energy consumption, indicating that external energy dependence may serve as a modest catalyst for renewable investments. Overall, the findings suggest that advancing the energy transition requires not only economic factors but also targeted financial reforms, strong political commitment, enhanced institutional capacity, and coherent long-term strategic planning.

Keywords: Financial Development, Renewable Energy Consumption, Energy Intensity, Energy Imports

JEL Codes: G21, E44, F36, C23.

1. GİRİŞ

Günümüzde küresel ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki ilişki, özellikle gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir kalkınmanın temel sorunlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, ekonomik kalkınma ile çevresel koruma arasında denge kurma ihtiyacını her zamankinden daha belirgin hale getirmektedir. Bu ülkeler, hızla artan nüfus ve sanayileşme süreçleriyle birlikte enerji talebinde önemli bir artış yaşamaktadır (World Bank, 2022). Ancak bu talebin büyük oranda fosil yakıtlardan karşılanması, hem çevresel bozulmaya hem de enerji arz güvenliği sorunlarına yol açmaktadır (IPCC, 2022). Dolayısıyla, enerji arzında çeşitliliğin sağlanması ve fosil bağımlılığının azaltılması, uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, hem iklim değişikliği ile mücadele hem de enerji bağımsızlığının sağlanması için kritik öneme sahiptir (IEA, 2023).

Literatürde, finansal gelişme kavramı genellikle finansal piyasaların derinliği, etkinliği ve erişilebilirliği gibi unsurlarla tanımlanmaktadır. Finansal gelişme, yenilenebilir enerji yatırımlarının finansmanında önemli bir katalizör görevi görmektedir. Çünkü yenilenebilir enerji projeleri genellikle yüksek başlangıç maliyetlerine sahip olup, uzun vadeli finansman gerektirmektedir (Zhang & Ma, 2018). Gelişmekte olan ülkelerde finansal sistemlerin yapısal eksiklikleri ve piyasaların derinleşmemiş olması, bu yatırımların önünde önemli engeller yaratmaktadır (Sadorsky, 2012). Kurumsal kapasite, enerji politikalarının sürekliliği ve yatırım ortamının istikrarı gibi faktörler de bu farklılıklarda belirleyici rol oynamaktadır. Bununla birlikte, finansal gelişmenin yenilenebilir enerji tüketimine etkisi ülkeler arasında farklılık göstermekte; bazı ülkelerde gelişmiş finansal piyasalar enerji yatırımlarını artırırken, bazılarında bu etkinin sınırlı kaldığı gözlemlenmektedir. Örneğin, Çin ve Hindistan gibi büyük ekonomilerde finansal gelişmenin yenilenebilir enerji kullanımı üzerinde pozitif ve güçlü bir etkisi bulunurken, diğer gelişmekte olan ülkelerde finansal piyasaların yetersizliği bu etkinin zayıf kalmasına neden olmaktadır (Zhang & Ma, 2018).

Enerji yoğunluğu, yani ekonomideki enerji verimliliği, ülkelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında önemli bir faktördür. Yüksek enerji yoğunluğu, genellikle enerji kullanımında verimsizlik ve çevresel zararların artmasıyla ilişkilidir (Lean & Smyth, 2010). Bu ölçüt, birim ekonomik çıktı başına tüketilen enerji miktarını ifade eder ve hem üretim teknolojileri hem de tüketim alışkanlıklarıyla yakından ilişkilidir. Gelişmekte olan ülkelerde sanayileşme ve altyapı eksiklikleri nedeniyle enerji yoğunluğu yüksek olmakta, bu da yenilenebilir enerjiye geçiş sürecini zorlaştırmaktadır (Murshed & Quamrul, 2020). Bununla birlikte, enerji verimliliğini artırmaya yönelik politikaların etkin uygulanması, yenilenebilir enerji tüketimini teşvik eden önemli bir strateji olarak literatürde yer almaktadır (Paramati, Ummalla & Apergis, 2016).

Enerji ithalatı ise gelişmekte olan ülkelerin dışa bağımlılığını ve enerji arz güvenliği risklerini artıran bir diğer önemli değişkendir (Narayan & Smyth, 2009). Enerji ithalatına yüksek oranda bağımlı olan ülkelerde, enerji fiyatlarındaki dalgalanmalar ekonomik istikrarı tehdit etmekte ve yenilenebilir enerji yatırımlarını hem maliyet hem de stratejik risk açısından etkileyebilmektedir (Bhattacharya et al., 2016). Bununla birlikte, enerji ithalatı bağımlılığı, bazı ülkelerde yenilenebilir enerjiye yönelimi hızlandırıcı bir unsur olarak da değerlendirilmektedir; zira dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla yerli yenilenebilir kaynaklara yatırım teşvik edilmektedir (Taghizadeh-Hesary & Yoshino, 2020).

Bu çalışma, Arjantin, Bangladeş, Brezilya, Çin, Kolombiya, Mısır, Hindistan, Endonezya, Kenya, Malezya, Meksika, Nijerya, Pakistan, Peru, Filipinler, Rusya, Güney Afrika, Tayland, Türkiye ve Vietnam'dan oluşan 20 gelişmekte olan ülkeyi kapsamakta ve 2010–2021 yılları arasındaki panel verileriyle finansal gelişme, enerji yoğunluğu ve enerji ithalatının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkilerini Sistem GMM yöntemiyle analiz

etmektedir. Bulguların, politika yapıcılar ve yatırımcılar için yol gösterici olacağı öngörülmektedir. Bu kapsamda, çalışma sürdürülebilir enerji politikalarının tasarımında finansal piyasa gelişiminin, enerji verimliliğinin ve dışa bağımlılığın rollerini kapsamlı biçimde ele almayı hedeflemektedir.

2. LİTERATÜR

Yenilenebilir enerji tüketiminin belirleyicileri, son yıllarda ekonomik kalkınma, çevresel sürdürülebilirlik ve enerji güvenliği bağlamında çok sayıda akademik çalışmaya konu olmuştur. Bu ilgi, hem iklim değişikliği ile mücadele politikalarının güçlenmesi hem de enerji arzında çeşitlilik arayışının artmasıyla daha da yoğunlaşmıştır. Literatürde özellikle finansal gelişme, enerji yoğunluğu ve enerji ithalatı gibi ekonomik değişkenlerin yenilenebilir enerji kullanımına etkisi detaylı şekilde ele alınmakta; bu ilişkiler ülkeler düzeyinde yapısal farklılıklar göstermektedir. Bu çerçevede yapılan çalışmalar, söz konusu değişkenlerin hem doğrudan hem de dolaylı etkilerini incelemektedir.

2.1. Finansal Gelişme ve Yenilenebilir Enerji Tüketimi

Günümüzde sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda, çevre dostu enerji kaynaklarının finansmanı giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Finansal gelişme, yatırımların finansmanını kolaylaştırarak yenilenebilir enerji sektörünün büyümesine katkıda bulunan önemli bir unsur olarak değerlendirilir (Green & Villanueva, 2020). Kavram, genel olarak finansal piyasaların derinliği, erişilebilirliği ve istikrarı ile ölçülmektedir. Finansal sistemlerin etkin işlediği ekonomilerde, yenilenebilir enerji projeleri için daha uygun kredi koşulları ve daha düşük sermaye maliyeti sağlanabilir (Frankel & Romer, 1999). Bu durum, yatırımcıların uzun vadeli ve yüksek başlangıç maliyetli projelere yönelmesini kolaylaştırmaktadır. Bu bağlamda Sadorsky (2010), finansal gelişmenin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermiştir. Analiz sonuçları, finansal gelişme ile yenilenebilir enerji talebi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Sadorsky (2010) çalışmasında gelişmekte olan 22 ülkenin verilerini kullanarak, finansal piyasalardaki derinleşmenin, enerji yatırımlarını artırdığı sonucuna ulaşmıştır.

Paramati et al. (2016), gelişmekte olan ülkelerde doğrudan yabancı yatırımlar ve finansal gelişmişlik düzeyinin yenilenebilir enerji kullanımını artırdığını tespit etmişlerdir. Aynı şekilde Shabbaz et al. (2015), Pakistan üzerine yaptıkları analizde, finansal gelişmenin uzun vadede yenilenebilir enerji tüketimini olumlu etkilediğini göstermiştir. Bu bulgular, finansal piyasaların gelişiminin sadece ekonomik büyümeyi değil, çevre dostu enerjiye yönelimi de destekleyebileceğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, politika yapıcıların finansal sistem reformlarını enerji dönüşümü hedefleriyle uyumlu hale getirmesi kritik önem taşımaktadır. Ancak, finansal gelişmenin yenilenebilir enerjiye olan etkisi her zaman pozitif yönlü değildir. Bölgesel farklılıklar ve kurumsal yapılar bu ilişkinin yönünü ve şiddetini etkileyebilmektedir. Bu durum, finansal gelişmenin etkisinin bağlamsal faktörlere son derece duyarlı olduğunu göstermektedir. Örneğin, Al-Mulali ve Sab (2012) çalışmalarıyla, finansal gelişmişliğin bazı ülkelerde enerji tüketimini fosil yakıtlar lehine kaydırıldığını ortaya koymuştur.

2.2. Enerji Yoğunluğu ve Yenilenebilir Enerji Tüketimi

Enerji yoğunluğu, yenilenebilir enerji kullanım düzeylerini etkileyen önemli yapısal göstergelerden biridir. Enerji yoğunluğu, bir ekonominin enerji verimliliğini ölçen önemli bir göstergedir. Bu gösterge, ekonomik büyümenin enerji kullanımına olan bağımlılığını değerlendirmek açısından da kritik bir referans noktasıdır. Düşük enerji yoğunluğu, daha az enerjiyle daha yüksek üretim yapılabildiğini ifade ederken, yüksek enerji yoğunluğu genellikle sanayileşmiş ancak enerji verimliliği düşük ekonomilerde görülmektedir (Ang, 2007). Dolayısıyla, enerji yoğunluğunun seviyesi, bir ekonominin sürdürülebilirlik potansiyelini

dolaylı olarak yansıtır. Yenilenebilir enerjiye geçiş açısından enerji yoğunluğu önemli bir belirleyici olarak kabul edilir; çünkü enerji verimliliği yüksek olan ekonomiler genellikle yenilenebilir kaynaklara daha kolay adapte olabilirler (Sadorsky, 2013). Literatürde enerji yoğunluğu, yalnızca mevcut verimlilik seviyesini değil, aynı zamanda yeni enerji teknolojilerinin benimsenme hızını etkileyen bir faktör olarak ele alınmaktadır.

Lean ve Smyth (2010), Malezya üzerine yaptıkları çalışmada, enerji yoğunluğunun azaltılmasının, karbon emisyonlarını kontrol altına alma ve yenilenebilir enerji yatırımlarını teşvik etme açısından kritik bir rol oynadığını vurgulamıştır. Bu bulgu, enerji verimliliği politikalarının çevresel hedefler ile ekonomik hedefleri aynı anda destekleyebileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, farklı ülkelerde yapılan ampirik çalışmalar da bu ilişkinin tutarlılığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, Murshed (2020), enerji yoğunluğunun azaltılmasının yenilenebilir enerjiye yönelimi kolaylaştırdığını ve enerji politikalarının etkinliğini artırdığını belirtmiştir.

Gelişmekte olan ülkelerde, sanayi ve altyapı yatırımlarının enerji verimliliği gözetilmeden yapılması, enerji yoğunluğunu artırmakta ve bu durum yenilenebilir enerjiye geçişi zorlaştırmaktadır (Paramati et al., 2018). Bu durum, teknolojik modernizasyon ve enerji yönetimi stratejilerinin eksikliğinden de kaynaklanabilmektedir. Ancak, enerji verimliliği yatırımları ile birlikte yenilenebilir enerji politikalarının entegre edilmesi durumunda bu etki pozitif yöne dönebilmektedir (IEA, 2021). Böyle bir entegrasyon, uzun vadeli enerji stratejilerinde çift yönlü fayda sağlayarak hem tüketimi hem de emisyonları azaltabilir.

2.3. Enerji İthalatı ve Yenilenebilir Enerji Tüketimi

Küresel ölçekte artan enerji talebi, ülkelerin enerji arz stratejilerini yeniden gözden geçirmelerini zorunlu kılmaktadır. Enerji ithalatı, ülkelerin dışa bağımlılığını ve enerji güvenliği risklerini artıran önemli bir faktördür. Bu durum, özellikle enerji kaynakları sınırlı olan ülkelerde ekonomik planlamanın merkezinde yer almaktadır. Enerji ithalatına yüksek düzeyde bağımlı olan ülkelerde, dış şoklar ve enerji fiyatlarındaki oynaklık ekonomik kırılganlığı artırırken, aynı zamanda enerji arz güvenliğini tehdit etmektedir (Narayan & Smyth, 2009). Küresel enerji piyasalarındaki dalgalanmalar, bu ülkelerin mali dengelerini doğrudan etkileyebilmekte ve cari açık baskısını artırabilmektedir. Bu bağlamda, bazı çalışmalarda enerji ithalatı bağımlılığı ile yenilenebilir enerjiye yönelme arasında pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Yenilenebilir enerji yatırımları, bu bağlamda hem ekonomik bağımsızlık hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından stratejik bir araç haline gelmektedir. Bu durum, ülkelerin dışa bağımlılığı azaltma arzusunu, onları yenilenebilir enerji yatırımlarına yönlendirdiğini göstermektedir (Sadorsky, 2011). Ayrıca, bu tür yatırımların kriz dönemlerinde hız kazanması, enerji politikasının esnekliğini artıran bir unsur olarak değerlendirilebilir. Benzer şekilde, Menegaki (2011) çalışmasında, enerji ithalatı bağımlılığı ile yenilenebilir enerji yatırımı arasında pozitif bir korelasyon olduğunu ileri sürmüştür. Ancak bu ilişkinin şiddeti, ülkenin teknoloji kapasitesi ve finansman imkanlarıyla doğrudan bağlantılıdır. Ancak bazı araştırmalar, enerji ithalatının yenilenebilir enerji tüketimini olumsuz etkileyebileceğini de ortaya koymuştur. Bu durum, kısa vadeli maliyet avantajlarının uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerinin önüne geçmesine neden olabilmektedir. Bu görüşe göre, fosil yakıt ithalatı ucuz ve kolay erişilebilir olduğunda, ülkeler yenilenebilir enerjiye yatırım yapmaktan kaçınabilirler (Pao & Fu, 2013). Bu durum, kısa vadeli maliyet avantajlarının uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerinin önüne geçmesine neden olabilmektedir. Özellikle devlet sübvansiyonlarıyla desteklenen fosil yakıt ithalatı, yenilenebilir enerji kaynaklarının rekabet gücünü azaltabilmektedir.

Genel olarak literatür, finansal gelişmenin ve enerji verimliliğinin yenilenebilir enerji tüketimini teşvik ettiğini, ancak enerji ithalatı bağımlılığının bu ilişkiyi hem olumlu hem olumsuz yönde etkileyebileceğini göstermektedir. Çalışmaların metodolojik çeşitliliği, farklı

veri setleri ve ülke grupları üzerinden tutarlılığın test edilmesine imkan sağlamaktadır. Literatürde kullanılan yöntemler arasında panel veri analizi, ARDL modelleri, yapısal VAR modelleri ve sistem GMM gibi dinamik panel yöntemleri öne çıkmaktadır. Çalışmalar genellikle OECD ülkeleri, G-20 ülkeleri veya Asya, Afrika ve Latin Amerika özelinde yapılmıştır. Bu çalışma ise, literatüre hem gelişmekte olan hem de farklı kıtasal yapıya sahip ülkeleri kapsayan geniş bir örneklem setiyle katkı sunmayı hedeflemekte; 2010–2021 dönemini ele alarak, yenilenebilir enerjiye geçişin belirleyicilerini dinamik panel veri analizi (Sistem GMM) yöntemiyle incelemektedir. Ayrıca, literatürde eksikliği hissedilen bu üç boyutlu yapıyı bir arada ele alarak, gelişmekte olan ülkelerde finansal gelişme, enerji yoğunluğu ve enerji ithalatı değişkenlerinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkilerini ampirik olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Bu sayede, sürdürülebilir enerjiye geçiş sürecinde hangi faktörlerin öncelikli olduğu konusunda daha bütüncül bir perspektif sunulması hedeflenmektedir.

3. MODEL VE VERİ SETİ

Bu çalışmada gelişmekte olan ülkeler arasından seçilmiş 20 ülke için 2010-2021 yılları arasında finansal gelişme, enerji yoğunluğu ve enerji ithalatının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın zaman aralığı, hem küresel enerji piyasalarında yaşanan yapısal dönüşümleri hem de finansal sistemlerdeki değişimleri kapsamı açısından önemlidir. Bu çalışmada analiz edilen ülkeler çoğunlukla G20 içinde yer alan gelişmekte olan büyük ekonomilerdir. Bu ülkeler, hızlı sanayileşme süreçleri, büyüyen enerji talebi ve artan karbon emisyonlarıyla birlikte küresel enerji dönüşümünün merkezinde yer almaktadırlar (IEA, 2023). Bu ülkeler, bölgesel enerji politikalarında belirleyici rol oynayarak küresel emisyon azaltım hedeflerinin başarısını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, finansal sistemleri büyüyen bu ülkelerde yenilenebilir enerjiye geçişin finansman dinamikleri farklılık göstermekte, bu da onları analiz açısından kıymetli kılmaktadır (Sadorsky, 2012; Bhattacharya et al., 2016). Çin ve Rusya gibi bazı ülkelerin yüksek gelir grubunda yer aldığı göz önünde bulundurulsa da, bu ülkeler genellikle enerji ithalatı, enerji yoğunluğu ve çevresel baskılar açısından gelişmekte olan ülke özellikleri göstermektedir (World Bank, 2022). Söz konusu sınıflandırma, yalnızca ekonomik büyüme potansiyellerine değil, aynı zamanda finansal ve kurumsal yapılarındaki dönüşüm sürecine de işaret etmektedir. Bu nedenle, çalışmada yer alan ülkeler yükselen piyasalar veya transisyon ekonomileri olarak da tanımlanabilir. Ülke seçimi şu gerekçelere dayanmaktadır:

- Veri Erişilebilirliği (2010–2021 dönemi): Söz konusu ülkeler için Dünya Bankası, IMF, IEA ve diğer uluslararası veri tabanlarında enerji tüketimi, finansal gelişme göstergeleri, enerji yoğunluğu ve ithalat verileri daha tutarlı ve erişilebilirdir. Böylece, analizde kullanılan değişkenlerin karşılaştırılabilirliği ve güvenilirliği sağlanmıştır.
- Enerji Dönüşümündeki Stratejik Roller: Bu ülkeler enerji politikalarını dönüştürme sürecinde önemli aktörlerdir. Örneğin, Çin ve Hindistan küresel yenilenebilir enerji yatırımlarının büyük bölümünü gerçekleştirmekte; Türkiye, Brezilya ve Güney Afrika ise bölgesel enerji geçişinde kritik konumdadır (REN21, 2022).

Çalışmada bağımlı değişken olarak yenilenebilir enerji tüketimi ile bağımsız değişkenler olarak seçilen finansal gelişme, enerji yoğunluğu, enerji ithalatı arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Çalışmada yer alan değişkenlerden REC yenilenebilir enerji tüketiminin yüzdesini ifade etmektedir. Çalışmanın bağımsız değişkenleri ise FD, EI, EIU ile ifade edilen değişkenlerdir. Burada FD, finansal gelişme endeksini temsil ederken IMF tarafından geliştirilen finansal gelişme endeksi, bir ülkenin finansal sisteminin ne kadar gelişmiş olduğunu ölçmeye çalışan bir araçtır. Çalışmada yer alan EI değişkeni ise enerji yoğunluğunu

temsil ederken, enerji yoğunluğu, bir ekonominin enerji verimliliğini gösteren temel göstergelerden biridir. Genellikle bir birim Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) üretmek için tüketilen enerji miktarı olarak tanımlanır. Bu ölçüt, üretim teknolojilerinin modernlik düzeyinden enerji tasarrufu politikalarının etkinliğine kadar pek çok faktörden etkilenmektedir. Kısaca, enerji yoğunluğu = toplam enerji tüketimi / GSYİH formülüyle ifade edilir ve megajoule/ABD doları, kg petrol eşdeğeri / 1000 USD, gibi ölçü birimleriyle hesaplanır. Yüksek enerji yoğunluğu, üretim süreçlerinin enerjiye daha fazla bağımlı olduğunu, dolayısıyla enerji verimliliğinin düşük olduğunu gösterirken; düşük enerji yoğunluğu, ekonominin daha verimli enerji kullanabildiğine işaret eder (Ang, 2004; IEA, 2021). Bu nedenle, enerji yoğunluğunun azaltılması, sürdürülebilir kalkınma, karbon salımlarının düşürülmesi ve enerji güvenliği açısından önem arz etmektedir (Sadorsky, 2011). Çalışmanın diğer bağımsız değişkenlerinden EIU, enerji ithalatını ifade etmektedir. Enerji ithalatı, bir ülkenin dış kaynaklardan satın aldığı enerji miktarını ifade eder. Genellikle toplam enerji arzının yüzde kaçını ithalata karşılıyor sorusuna yanıt verir. Enerji ithalatı oranı, şu şekilde hesaplanır: Enerji ithalatı (%) = (Net enerji ithalatı / Toplam enerji arzı) × 100. Net enerji ithalatı, ithal edilen enerji miktarından ihraç edilen enerjinin çıkarılmasıyla bulunur. Enerji ithalatına yüksek derecede bağımlı ülkeler, enerji fiyatlarındaki küresel dalgalanmalardan ve arz güvenliğinden daha fazla etkilenir. Bu bağımlılık, ekonomik kırılganlığı artırmakla kalmayıp, enerji politikalarının yönünü de belirleyebilmektedir. Bu nedenle, enerji ithalat oranı bir ülkenin enerji güvenliği, ekonomik kırılganlık ve dışa bağımlılık düzeyini analiz etmede kritik bir göstergedir (Le Coq & Paltseva, 2009; World Bank, 2023). Ayrıca enerji ithalatı, yerli yenilenebilir enerji yatırımlarını yönlendiren önemli bir faktör olarak literatürde sıklıkla ele alınmaktadır. İthalata bağımlılığın azaltılması, ülkeleri kendi kaynaklarına yönlendirmekte ve yenilenebilir enerji politikalarını teşvik etmektedir (Apergis & Payne, 2014b).

Bu çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi, finansal gelişme, enerji yoğunluğu ve enerji ithalatı arasındaki ilişkiyi tespit etmek üzere, Tablo 1’de görüldüğü gibi, 20 gelişmekte olan ülkelerin 2010-2021 dönemi kapsama alınmıştır.

Tablo 1: Çalışmada Kullanılan Ülkeler

Türkiye	Arjantin	Bangladeş	Brezilya	Çin
Kolombiya	Mısır	Hindistan	Endonezya	Kenya
Malezya	Meksika	Nijerya	Pakistan	Peru
Filipinler	Rusya	Güney Afrika	Tayland	Vietnam

Çalışmada yer alan Arjantin, Bangladeş, Brezilya, Çin, Kolombiya, Mısır, Hindistan, Endonezya, Kenya, Malezya, Meksika, Nijerya, Pakistan, Peru, Filipinler, Rusya, Güney Afrika, Tayland, Türkiye ve Vietnam gibi ülkeler; ekonomik büyüme potansiyeli, hızla artan enerji talebi ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerji yatırımlarına artan ilgi gösteren ülkelerdir (IEA, 2023).

- Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Politikaları: Bu ülkeler, özellikle güneş, rüzgar, hidroelektrik ve biyokütle gibi yerli ve temiz enerji kaynakları açısından büyük potansiyele sahiptir. Örneğin: Brezilya ve Kolombiya, hidroelektrik ağırlıklı enerji sistemlerine sahiptir. Hindistan, Vietnam ve Türkiye, güneş ve rüzgar enerjisinde hızlı

kapasite artışı yaşamaktadır (REN21, 2022). Kenya, jeotermal enerjide Afrika'nın öncüsüdür. Ancak bu potansiyele rağmen, enerji yatırımları finansman, altyapı ve siyasi istikrar gibi yapısal sorunlar nedeniyle yavaş ilerleyebilmektedir (Sadorsky, 2011).

- Enerji Yoğunluğu ve Verimlilik: Gelişmekte olan ülkelerde enerji yoğunluğu genellikle yüksektir. Bu, ekonomik faaliyetlerde kullanılan enerji miktarının fazla olduğunu ve enerji verimliliğinin düşük seviyede kaldığını göstermektedir (World Bank, 2023). Özellikle sanayi ağırlıklı ekonomiler olan Hindistan, Endonezya, Pakistan ve Mısır gibi ülkelerde bu durum daha belirgindir. Bu ülkelerde enerji verimliliği yatırımları ve politika reformları, yenilenebilir enerji kullanımını destekleyici unsurlar olarak öne çıkmaktadır (OECD, 2021).
- Enerji İthalatı ve Enerji Güvenliği: Çoğu ülke enerji ithalatına bağımlıdır. Örneğin: Türkiye, Pakistan, Bangladeş ve Mısır, büyük ölçüde doğalgaz ve petrol ithalatına dayanmaktadır. Vietnam, Filipinler ve Tayland gibi ülkeler ise elektrik üretimi için büyük ölçüde kömür ve ithal fosil yakıtlar kullanmaktadır. Bu ithalat bağımlılığı, enerji güvenliği sorunlarına ve cari açık risklerine neden olmakta, dolayısıyla yenilenebilir enerjiye yönelimi hızlandıran bir faktör oluşturmaktadır (Le Coq & Paltseva, 2009).
- Finansal Gelişmişlik Düzeyi: Gelişmekte olan ülkelerde finansal piyasalar genellikle derinleşmemiştir ve uzun vadeli çevresel yatırımlar için yeterli kaynak sunamayabilir. Ancak mikro finans, kalkınma bankaları, uluslararası finans kuruluşları ve özel sektör ortaklıklarıyla bazı ülkelerde bu sorun aşılmaya çalışılmaktadır (Beck & Demirgüç-Kunt, 2006). Örneğin: Malezya ve Meksika, finansal gelişme bakımından grubun görece daha ileri ülkelerindedir. Nijerya ve Bangladeş gibi ülkelerde finansal erişim daha sınırlı kalmakta, bu da temiz enerji projelerini olumsuz etkileyebilmektedir.

Bu ülkelerin seçimi, küresel karbon salınımlarında artan payları, enerji dönüşümündeki kritik rollerinin yanı sıra farklı coğrafî, ekonomik ve yapısal özellikler sunmaları nedeniyle metodolojik olarak anlamlıdır. Ayrıca bu ülkelerdeki karşılaştırmalı analiz, yenilenebilir enerji kullanımını artırmaya yönelik politik önceliklerin ve finansal teşviklerin belirlenmesine katkı sağlayabilir.

Finansal gelişme, yenilenebilir enerji tüketimi, enerji yoğunluğu ve enerji ithalatı değişkenlerinin yıllık verileri analizde kullanılmıştır. Analizde kullanılan değişkenler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Analizde Kullanılan Değişkenler ve Kaynakları (2010-2021)

Kısaltma	Değişken Adı	Tanımı	Veri Kaynağı	Dönem
REC	Yenilenebilir Enerji Tüketimi	Toplam enerji tüketimi içerisindeki yenilenebilir enerji oranı (%)	World Development Indicators (WDI)	2010–2021
FD	Finansal Gelişme Endeksi	Finansal kurumlar ve piyasaların derinlik, erişim ve etkinlik göstergeleri	International Monetary Fund (IMF)	2010–2021

EI	Enerji Yoğunluğu	GSYH başına birincil enerji (MJ/USD)	kullanımı	World Development Indicators (WDI)	2010–2021
EIU	Enerji (Net)	İthalatı	Net enerji ithalatının toplam enerji kullanımına oranı (%)	World Development Indicators (WDI)	2010–2021

Çalışmada kullanılan değişkenlerin yorumu ve ekonomik anlamları aşağıda açıklanmıştır:

REC – Yenilenebilir Enerji Tüketimi (%): Çalışmanın bağımlı değişkenidir. Toplam enerji tüketimi içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle vb.) payını ifade eder. Bu oran, ülkelerin sürdürülebilir enerji politikalarını ne derece benimsediğini gösteren önemli bir göstergedir. Bağımlı değişken olarak yenilenebilir enerji tüketiminin (REC) seçilmesinin nedeni, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda enerji politikalarının yeşil dönüşümle ilişkilendirilmesi gerekliliğidir (IEA, 2021). Yüksek REC değeri, çevresel sürdürülebilirliğe yönelik politikaların etkinliğini yansıtabilir. World Bank'ın WDI veri setinden elde edilmiştir.

FD – Finansal Gelişme Endeksi: Finansal gelişme, hem finansal kurumların hem de finansal piyasaların derinlik, erişim ve etkinliğini ölçen bileşik bir endeks olarak IMF tarafından geliştirilmiştir. Gelişmiş bir finansal sistem, yenilenebilir enerji yatırımları için gerekli olan finansmanı daha düşük maliyetli ve uzun vadeli olarak sağlayabilir. Bu nedenle finansal gelişmenin yenilenebilir enerji tüketimini pozitif yönde etkilemesi beklenmektedir (Beck et al., 2000; Tamazian & Rao, 2010).

EI – Enerji Yoğunluğu (MJ/USD): Enerji yoğunluğu, bir ülkenin ekonomik büyümesi başına ne kadar enerji tükettiğini gösterir. Başka bir deyişle, GSYH başına düşen enerji kullanım miktarıdır. Bu değişken, enerji verimliliğini tersinden gösterir. Düşük enerji yoğunluğu, yüksek enerji verimliliğine işaret eder. Enerji yoğunluğunun yüksek olması, ekonominin büyük ölçüde geleneksel enerji kaynaklarına bağımlı olduğunu ve yenilenebilir enerjiye geçişte yapısal zorluklar olabileceğini düşündürülebilir. Bu nedenle bu değişkenin REC üzerinde negatif bir etkisinin olması beklenmektedir (Apergis & Payne, 2010).

EIU – Enerji İthalatı (Net, %): Bu değişken, bir ülkenin net enerji ithalatını (ithalat - ihracat) toplam enerji kullanımına oranla ifade eder. Yüksek net enerji ithalatı, ülkenin dış enerji kaynaklarına olan bağımlılığını gösterir. Enerji ithalatı yüksek olan ülkeler, dışsal şoklara karşı kırılgan hale gelirken, aynı zamanda kendi yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirme konusunda teşvik edilmiş olabilir. Bu nedenle, teorik olarak bu değişkenin etkisi hem pozitif (yenilenebilir enerjiye yönelim) hem de negatif (dışa bağımlılığın sürmesi) olabilir. Etki yönü ampirik bulgulara bağlı olarak belirlenmelidir (Sadorsky, 2010; Erdogdu, 2011).

Bu değişkenler, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji kullanımını belirleyen yapısal, ekonomik ve kurumsal faktörleri kapsamlı biçimde analiz etmeye imkân tanır. Çalışmada kullanılan veriler, güvenilir uluslararası kaynaklardan (WDI, IMF) alınmış ve 2010–2021 dönemini kapsayan uzun soluklu bir analiz sürecini mümkün kılmıştır. Bu dönem, Paris Anlaşması (2015) sonrası enerji dönüşüm politikalarının yoğunlaştığı bir süreci içerdiği için çevresel politika etkilerinin de dolaylı olarak yansıdığı bir dönemdir.

Panel veri analizimiz 2010-2021 dönemine ilişkin seçilmiş 20 gelişmekte olan ülkeyi kapsar. Analizlerde yıllık veriler kullanılmış olup değişkenler sayısal veriler içerdiğinden tüm

değişkenlerin logaritması alınmış ve model tam logaritmik olarak kurulmuştur. Dinamik panel yaklaşımı çerçevesinde finansal gelişme, enerji yoğunluğu ve enerji ithalatının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisini analiz edebilmek için aşağıdaki gibi bir regresyon modeli kullanılmıştır:

$$\ln REC_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln REC_{it-1} + \beta_2 \ln FD_{it} + \beta_3 \ln EI_{it} + \beta_4 \ln EIU_{it} + u_{it} \quad (1)$$

Burada i ve t indisleri ülke ve zaman periyodunu, u_{it} ise hata terimini gösterir. Bu dinamik panel regresyon denklemi, ayrıntılı olarak bir sonraki bölümde ele alınacaktır. Denklemden, REC_{it} yenilenebilir enerji tüketimini, REC_{it-1} yenilenebilir enerji tüketiminin bir gecikmeli değerini, FD finansal gelişmeyi, EI enerji yoğunluğunu, EIU enerji ithalatını ifade eder. β_2 , β_3 , β_4 parametreleri sırasıyla yenilenebilir enerji tüketiminin finansal gelişme, enerji yoğunluğu ve enerji ithalatı elastikiyetini gösterir.

Araştırmanın sistem genelleştirilmiş momentler metodu yaklaşımına göre elde edilen ampirik bulgularına geçmeden önce, modelde kullanılan değişkenlerin temel özellikleri ve birbirleri ile olan ilişkileri istatistiksel olarak incelenmiştir. Aşağıdaki tablo 3'te modelde kullanılan değişkenlere ilişkin sayısal değerleri özetleyen tanımlayıcı istatistik bilgileri yer almaktadır.

Tablo 3: Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Gözlem Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
lnFD	240	-0.955	0.42	-1.846	-0.227
lnREC	240	2.964	0.904	0.693	4.454
lnEI	240	1.391	0.385	0.642	2.193
lnEIU	143	3.016	1.022	-0.869	4.388

Tablo 3, çalışmada kullanılan temel değişkenlerin tanımlayıcı istatistiklerini sunmaktadır. Bu istatistikler, analiz öncesinde veri setinin genel yapısını ve değişkenlerin dağılım özelliklerini anlamak açısından kritik öneme sahiptir. Tablo 3'e göre; Finansal gelişme endeksi negatif logaritmik değerlere sahip olup endeks değerleri sıfır ile bir arasında olduğu için logaritması negatif çıkmaktadır. Ortalama değer -0.95 olup bu, ülkeler arasında genel olarak düşük-orta düzeyde finansal gelişme olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, finansal piyasaların derinliğinin ve etkinliğinin çoğu ülkede sınırlı olduğunu göstermektedir. Minimum değer -1.84 ile maksimum değer -0.22 arasında değişmektedir; bu da ülkeler arası belirgin bir farklılığa işaret eder. Standart sapmanın görece yüksek olması da bu farklılığı istatistiksel olarak desteklemektedir. Bazı ülkelerde finansal sistemin oldukça zayıf olduğu, bazılarında ise daha gelişmiş bir finansal sisteme sahip olduğu görülmüştür. Söz konusu açıklamalara göre ülkelerin finansal gelişmişlik düzeyi aşağıdaki tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Çalışmada Kullanılan Ülkelerin Finansal Gelişmişlik Düzeyi

Finansal Sistem Durumu	Ülkeler
Gelişmiş Finansal Sistem	Çin, Türkiye, Rusya, Malezya, Meksika, Güney Afrika, Tayland
Orta Düzey Finansal Sistem	Brezilya, Kolombiya, Endonezya, Hindistan, Peru, Filipinler, Vietnam, Mısır
Zayıf Finansal Sistem	Bangladeş, Kenya, Nijerya, Pakistan, Arjantin

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 3' e göre yenilenebilir enerji tüketimi değişkeninin logaritmik ortalaması yaklaşık 2.96'dır. Bu da orijinal ölçekte yaklaşık %19.3 ($\exp(2.96) \approx 19.3$) civarında bir paya tekabül etmektedir. En düşük değer ise $\log(0.69)$, yani yaklaşık %2 olup, bazı ülkelerde yenilenebilir enerji kullanımının oldukça düşük seviyede olduğunu gösterir. Bu durum, söz konusu ülkelerde yenilenebilir enerji teknolojilerinin yaygınlaşması önünde finansal, teknolojik veya politik engeller olabileceğine işaret etmektedir. En yüksek değer yaklaşık %85'lik bir paya işaret etmektedir. Bu dağılım, gelişmekte olan ülkeler arasında yenilenebilir enerji politikalarının büyük farklılık gösterdiğini ve enerji geçişinde bazı ülkelerin daha ileri düzeyde olduğunu gösterir (örneğin Brezilya gibi). Ortalama enerji yoğunluğu, logaritmik bazda 1.39'dur. Bu, enerji verimliliği açısından orta düzeyli bir ortalama olduğunu gösterir. Bu farklılık, üretim süreçlerinde kullanılan teknolojinin modernlik düzeyini ve enerji yönetimi politikalarının etkinliğini de yansıtmaktadır. Enerji yoğunluğunun en düşük olduğu ülke yüksek verimliliğe sahipken (örneğin Çin veya Türkiye), en yüksek değer enerji kullanımının ekonomik üretim açısından verimsiz olduğunu gösterir (örneğin Nijerya, Bangladeş gibi ülkeler). Bu değişken, enerji dönüşümünde yapısal engellerin olduğu ülkeleri tespit etmede önemli rol oynar. Enerji ithalatı değişkeninde gözlem sayısı daha azdır (143), muhtemelen bazı ülkeler veya yıllar için veri eksikliği söz konusu olabilir. Ortalama 3.01 olup, bu yaklaşık %20 net enerji ithalatı anlamına gelir ($\exp(3.01) \approx 20.3$). Minimum değer negatif olup ($\log < 0$), bu bazı ülkelerin (örneğin Rusya gibi) net enerji ihracatçısı olduğunu gösterir. Maksimum değer ise net enerji ithalatının oldukça yüksek olduğu ülkeleri gösterir (örneğin Türkiye, Hindistan gibi). Bu değişkenin geniş dağılımı, dışa bağımlılığın ülkeden ülkeye önemli ölçüde değiştiğini ortaya koyar. Bu çeşitlilik, enerji güvenliği stratejilerinin ülkeler özelinde farklılaşması gerektiğini göstermektedir.

- Genel tablo, incelenen göstergeler arasında hem yapısal hem de performans açısından ciddi farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Değişkenler arasındaki farklılıklar, gelişmekte olan ülkelerin enerji dönüşümü süreçlerinde heterojen yapıya sahip olduklarını göstermektedir.
- Yenilenebilir enerji tüketiminde ve finansal gelişmede bazı ülkeler öncü konumdayken, diğerleri enerji yoğunluğu ve ithalatına daha bağımlıdır.
- Enerji ithalatı ve enerji yoğunluğu gibi değişkenler, enerji güvenliği ve sürdürülebilir kalkınma açısından politika yapıcılar için stratejik öncelik alanlarıdır.

Regresyon analizlerinde varyansın normalize edilmesi ve uç değer etkisinin azaltılması amacıyla doğal logaritmik dönüşüm uygulanması uygun görülmüştür (Gujarati & Porter, 2009; Wooldridge, 2012).

Tablo 5: Bağımsız Değişkenler Arasındaki Korelasyon Matrisi

Değişken	lnFD	lnREC	lnEI	lnEIU
lnFD	10.000			
lnREC	-0.4847**	10.000		
lnEI	0.2913**	-0.1982**	10.000	
lnEIU	0.0569	0.2477**	0.0256	10.000
	-0.4995	-0.0029	-0.7619	

Ekonometrik modellerde çoklu doğrusal bağlantı (multicollinearity) riskini azaltmak, modelin güvenilirliğini artıran temel adımlardan biridir. Modelin doğru kurulduğundan emin olmak için modeldeki bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi de incelememiz gerekmektedir. Yukarıdaki tablo 5'te yer alan bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayılarına göre; Finansal Gelişme (lnFD) ile Yenilenebilir Enerji Tüketimi (lnREC) arasında anlamlı ve negatif bir korelasyon vardır (-0.4847, p=0.0000). Bu, finansal gelişme arttıkça yenilenebilir enerji tüketiminin azaldığına işaret eder gibi görünse de, model içinde diğer değişkenlerle kontrol edildiğinde farklı sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu nedenle korelasyon analizi, nedensellik ilişkisini açıklamak yerine yalnızca değişkenler arasındaki doğrusal ilişki düzeyini gösterir. Bu tür ters ilişki, gelişmekte olan ülkelerde kısa vadeli ekonomik dinamiklerden kaynaklanabilir. Örneğin, yüksek büyüme dönemlerinde finansal kaynakların fosil yakıt temelli projelere yönlendirilmesi bu duruma katkıda bulunabilir.

Finansal Gelişme (lnFD) ile Enerji Yoğunluğu (lnEI) arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki vardır (0.2913, p=0.0000). Bu bulgu, finansal sistemin büyümesinin her zaman enerji verimliliği artışıyla paralel gitmediğini göstermektedir. Yenilenebilir Enerji Tüketimi (lnREC) ile Enerji Yoğunluğu (lnEI) arasında zayıf ama anlamlı negatif bir ilişki bulunmuştur (-0.1982, p=0.0020), literatürde de enerji yoğunluğunun düşmesinin, yenilenebilir enerji kullanımının artmasıyla genellikle pozitif yönde ilişkili olduğu rapor edilmektedir. Bu da enerji verimliliğinin yenilenebilir enerji kullanımı ile ilişkisini destekler niteliktedir. Enerji İthalatı (lnEIU) diğer değişkenlerle zayıf ve anlamsız korelasyonlar göstermektedir, özellikle finansal gelişme ile (0.0569, p=0.4995) ilişki zayıftır. Bu durum, enerji ithalatı değişkeninin etkisinin modelde diğer faktörler kontrol edildiğinde ortaya çıkabileceğini düşündürmektedir.

4. EKONOMETRİK METODOLOJİ

Bu çalışmada, gelişmekte olan ülkelerde finansal gelişme, enerji yoğunluğu ve enerji ithalatının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla dinamik panel veri analizi yapılmıştır. Analizde, özellikle Sistem GMM (Generalized Method of Moments) yöntemi kullanılmıştır. Bu metodolojik yaklaşımın tercih edilme nedenleri ve uygulama detayları aşağıda açıklanmaktadır.

Dinamik panel veri modelleri, bir ülkenin yenilenebilir enerji tüketimi gibi zamanla bağımlı değişkenlerin kendi geçmiş değerlerine bağlı olduğu durumlarda tercih edilir (Arellano & Bond, 1991). Model şu genel formda ifade edilir:

$$Y_{it} = \alpha Y_{i,t-1} + \beta' X_{it} + \mu_i + u_{it} \quad i = 1, \dots, N \quad t = 1, \dots, T_i \quad (2)$$

Burada Y_{it} bağımlı değişken (yenilenebilir enerji tüketimi), $Y_{i,t-1}$ gecikmeli bağımlı değişken, X_{it} ise açıklayıcı değişkenler (finansal gelişme, enerji yoğunluğu, enerji ithalatı vb.), μ_i bireysel etkiler, u_{it} ise hata terimini gösterir. Gecikmeli bağımlı değişken modelde yer aldığı anda, klasik panel veri yöntemleri (sabit etkiler, rasgele etkiler) tutarsız ve yanlış tahminler verebilir. Çünkü $Y_{i,t-1}$ ile hata terimi μ_i arasında korelasyon vardır (Nickell bias) (Nickell, 1981).

Arellano ve Bover (1995) ile Blundell ve Bond (1998) tarafından geliştirilen Sistem GMM yöntemi, dinamik panel veri analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sistem GMM, hem gecikmeli bağımlı değişkenin hem de açıklayıcı değişkenlerin endojenlik sorunlarını çözmek amacıyla uygun içsel değişken (instrument) setlerini kullanır.

Sistem GMM, hem fark modelini hem de seviye modelini bir arada kullanarak, klasik fark-GMM yöntemine göre daha etkin ve tutarlı sonuçlar sağlar (Roodman, 2009). Bu yöntem, özellikle;

- Kısa panel yapısına (kısa zaman serisi, geniş birey sayısı),
- Bireysel sabit etkilerin ve değişkenlerin içselliğinin bulunduğu durumlarda,
- Heterojenlik ve otokorelasyon problemlerinin varlığında başarılı tahminler sunar (Bond, 2002)

Sistem GMM'nin Avantajları özetleyecek olursak:

- Endojenlik Problemi: Finansal gelişme ve enerji değişkenleri arasında eşzamanlı nedensellik ve ters nedensellik olasılığı yüksektir. Sistem GMM, gecikmeli seviyeleri ve farkları araç değişken olarak kullanarak bu içselliği kontrol eder (Arellano & Bover, 1995).
- Bireysel Sabit Etkilerin Kontrolü: Ülkelerin yapısal özelliklerinden kaynaklanan sabit etkiler modele dahil edilerek yanlılık azaltılır (Baltagi, 2008).
- Küçük Zaman Boyutu: Kısa dönem gözlemlerinde de etkin sonuçlar verir (Roodman, 2009).
- Otokorelasyon ve Heteroskedastisiteye Karşı Robust: Tahminlerde heteroskedastisiteye ve otokorelasyona dayanıklı standart hatalar kullanılabilir.

Çalışmada, two-step (iki aşamalı) Sistem GMM tahmincisi kullanılmıştır. Tahmin doğruluğu için aşağıdaki sınamalar uygulanmıştır.

- Hansen J Testi: Araç değişkenlerin geçerliliğini test eder. Hipotez reddedilmediğinde araçlar uygundur (Hansen, 1982).
- Arellano-Bond Otokorelasyon Testleri: Birinci ve ikinci derece otokorelasyonun varlığı araştırılır. Modelde ikinci dereceden otokorelasyon olmaması beklenir (Arellano & Bond, 1991).
- Araç Sayısının Kontrolü: Araç değişken fazlalığı tahminlerin zayıflamasına neden olabilir; bu nedenle araç sayısı makul düzeyde tutulmuştur (Roodman, 2009).

Enerji ekonomisi ve finansal gelişme çalışmalarında Sistem GMM'nin kullanımı yaygındır. Örneğin, Sadorsky (2012) enerji tüketimi ve finansal gelişme ilişkisini incelerken, Apergis ve Payne (2010) yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki etkileşimleri bu yöntemle analiz etmişlerdir. Ayrıca, bu yöntem geliştirmekte olan ülkelerde enerji verimliliği ve ithalatının etkilerini araştıran pek çok çalışmada tercih edilmiştir (Özokcu & Özdemir, 2017).

5. AMPİRİK BULGULAR

Dinamik panel regresyon modelinin tahmininde, Arellano ve Bover Blundell ve Bond'un birlikte geliştirdiği sistem geliştirilmiş momentler tahmincisinden yararlanılmıştır. Bu yöntem, değişkenler arasındaki olası endojenlik sorununu gidermek ve gecikmeli bağımlı değişkenlerin etkilerini doğru bir şekilde tahmin etmek için geliştirilmiştir. Yani, gözlem sayısının zaman boyutundan fazla olduğu veri setleri için uygundur ve bu çalışmada veri yapısına uygunluk göstermektedir. Bu tahminci $N > T$ karakterli panellerde kullanılabilir.

Kurulan ekonometrik model iki aşamalı olarak sistem geliştirilmiş momentler metodu ile tahmin edilmiştir. Bulgular, hem katsayıların işaretleri hem de istatistiksel

anlamlılık düzeyleri açısından yorumlanarak politika çıkarımlarına temel oluşturacak şekilde değerlendirilmiştir. Elde edilen ampirik bulgular aşağıdaki tablo 6’da yer almaktadır.

Tablo 6: 2 Aşamalı Sistem GMM Panel Tahmin Sonuçları

Arellano&Bover / Blundell &Bond İki Aşamalı Sistem Genelleştirilmiş Momentler Metodu (GMM)				
Bağımlı Değişken: REC				
Değişkenler	Katsayı	Std. Hata	z İstatistiği	Olasılık
LnREC _{t-1}	0.6991416	0.1278539	5.47	0.000
-	-	-	-	-
LnFD	0.13112583	0.1418029	-0.93	0.355
LnEI	-0.1616716	0.2155826	-0.75	0.453
LnEIU	0.8060536	0.2807197	2.87	0.004
Model Bilgileri				
Araç Değişken Sayısı	12			
Grup Sayısı	15			
Otokorelasyon Testleri	İstatistik	Olasılık		
<i>Arellano-Bond AR(1) Testi</i>	-0.80	0.425		
<i>Arellano-Bond AR(2) Testi</i>	-1.59	0.112		
Araç Değişkenlerin Geçerliliği Testleri	İstatistik	Olasılık		
<i>Hansen Testi</i>	7.02	0.426		
Fark Hansen Testleri				
GMM Denklemi	İstatistik	Olasılık		
<i>Hansen Testi</i>	7.00	0.321		
<i>Fark Hansen Testi</i>	0.03	0.867		
Araç Değişkenler Denklemi	İstatistik	Olasılık		
<i>Hansen Testi</i>	3.63	0.458		
<i>Fark Hansen Testi</i>	3.39	0.335		

Tablo 6, finansal gelişme, enerji yoğunluğu ve enerji ithalatı değişkenlerinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisini belirleyebilmek için kullanılan sistem GMM tekniği tahmin sonuçlarını vermektedir.

Dinamik panel veri modelinin sapmasız ve etkinlik özelliklerini gerçekleştirebilmeleri için ekonometrik olarak bazı varsayımları sağlaması gerekmektedir. Bu varsayımlar, modelin tahmin gücünü ve sonuçların güvenilirliğini doğrudan etkiler. Bunlardan birincisi kullanılan araç değişken sayısının birim sayısından küçük olması, ikincisi ikinci mertebeden otokorelasyon olmaması ve sonuncusu ise dışsallığın sağlanması (araç değişkenlerin geçerli olması) şeklinde özetlenebilmektedir. Çalışmada yapılan Hansen ve Arellano-Bond testleri, bu koşulların sağlandığını ve tahminlerin geçerliliğini desteklemektedir.

Modelde değişkenler arasında endojenlik olasılığı bulunduğundan dolayı, GMM tipinde araç değişkenleri kullanılmıştır. Bu yaklaşım, hem içsellik sorununu azaltmak hem de tahminlerin tutarlılığını sağlamak amacıyla tercih edilmiştir. Bu seçim, modelin dinamik yapısına uygun olarak hem seviye hem de fark denklemlerinde güçlü tahminler elde etmeye yardımcı olur. Özellikle, bağımlı değişkenin gecikmeli düzeyleri ve farkları araç değişkeni

olarak kullanılmış, böylece potansiyel eşzamanlılık yanlılığı giderilmeye çalışılmıştır (Bond, 2002). Bu modelde araç değişken sayısının, birim sayısından büyük olmadığı tespit edilmiştir.

Model geçerliliğini test etmek amacıyla Arellano-Bond AR(1) ve AR(2) otokorelasyon testleri yapılmış, sonuçlar sırasıyla $p > 0.42$ ve $p > 0.11$ olarak bulunmuş ve ikinci dereceden otokorelasyonun olmadığı sonucuna varılmıştır. AR(1) ve AR(2) testleri, modelde otokorelasyon olmadığını göstermektedir. Bu sonuç, hata terimlerinin bağımsız olduğunu ve tahminlerin güvenilirliğini desteklemektedir. Ayrıca, Hansen testi kullanılarak aşırı tanımlı kısıtların geçerliliği değerlendirilmiştir. Hansen test sonucu $p = 0.426$ olup, kullanılan araç değişkenlerinin geçerliliğini desteklemektedir. Dolayısıyla tahmin edilen model yorumlanabilir bir model özelliği taşımaktadır.

- Gecikmeli bağımlı değişken olan $\ln REC_{(t-1)}$ 'in katsayısı istatistiksel olarak %1 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır. Katsayının yüksek ve pozitif olması, yenilenebilir enerji tüketiminin dinamik bir sürece sahip olduğunu ve bir önceki dönemdeki seviyesinin mevcut dönem üzerinde güçlü bir etki yarattığını göstermektedir. Ayrıca bu bulgu, enerji sektöründe alınan kararların etkilerinin kısa vadede değil, genellikle birkaç dönem sonra ortaya çıktığını göstermektedir. Bu durum, enerji politikalarının ve altyapı yatırımlarının sürekliliğini ve gecikmeli etkisini vurgular.
- Diğer değişkenlerden finansal gelişme ($\ln FD$), enerji yoğunluğu ($\ln EI$) ve enerji ithalatı ($\ln EIU$) değişkenlerinin katsayıları sırasıyla -0.13 , -0.16 ve $+0.80$ 'dir. Ancak yalnızca $\ln EIU$ değişkeni anlamlılık düzeyinde pozitif ilişki göstermektedir. Bu durum, gelişmekte olan ülkelerde net enerji ithalatındaki artışın, yenilenebilir enerji yatırımlarını artırabilecek bir baskı yarattığını göstermektedir (Bölük & Mert, 2014; Sadorsky, 2010).
- Finansal gelişmenin katsayısı negatif olup, istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p > 0.05$). Bu bulgu, analiz edilen örnekleme finansal gelişmenin doğrudan yenilenebilir enerji tüketimini artırıcı bir etkisi olmadığını göstermektedir. Bu durum, finansal kaynakların yenilenebilir enerjiye değil, fosil yakıt yatırımlarına ya da farklı sektörlere yönlendirilmesi ile açıklanabilir. Ayrıca finansal piyasaların çevresel kriterleri önceliklendirme düzeyinin düşük olması da etkili olabilir. Bu, yeşil finansman araçlarının yetersizliği ve çevresel regülasyonların zayıflığı ile de bağlantılı olabilir.
- Enerji yoğunluğunun yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi negatif olsa da, istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu sonuç, enerji verimliliği düşük olan ülkelere yenilenebilir kaynakların yeterince kullanılmadığını ya da enerji dönüşümünün henüz tamamlanmadığını gösterebilir. Bu nedenle, enerji verimliliği artışı genellikle uzun vadeli sanayi politikaları ve teknoloji transferi ile sağlanmaktadır. Aynı zamanda enerji yoğunluğunun kısa vadede yenilenebilir enerji yatırımlarıyla değil, sanayi yapısı ve teknolojik seviyelerle daha ilişkili olduğu anlamına da gelir.

6. POLİTİKA ÖNERİLERİ

Bu çalışmanın bulguları, gelişmekte olan ülkelere yenilenebilir enerjiye geçiş sürecinin yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda kurumsal ve yapısal boyutlar içerdiğini göstermektedir. Finansal gelişmenin doğrudan yenilenebilir enerji tüketimini artırmadığı tespit edildiğinden, finansal sistemin yeşil dönüşüm hedeflerine hizmet edecek şekilde yeniden yapılandırılması gerekmektedir. Yeşil tahvil piyasalarının geliştirilmesi, çevre dostu kredi

ürünlerinin yaygınlaştırılması ve sürdürülebilirlik kriterlerine dayalı yatırım fonlarının teşvik edilmesi, yenilenebilir enerji yatırımlarının finansmanını kolaylaştıracaktır.

Enerji ithalatının yenilenebilir enerjiye yönelimde sınırlı fakat pozitif bir etkisinin bulunması, ithalata bağımlı ülkelerin döviz dengesi ve enerji güvenliği risklerini azaltmak amacıyla ulusal yenilenebilir enerji projelerine öncelik vermesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu kapsamda güneş, rüzgâr ve biyokütle gibi yerli kaynakların potansiyelinin ortaya çıkarılması için yatırım teşvikleri ve vergi indirimleri uygulanabilir. Enerji yoğunluğu ile yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki zayıf ilişki, enerji verimliliği politikalarının enerji dönüşüm sürecine yeterince entegre edilmediğini göstermektedir. Bu nedenle, sanayi ve ulaşım gibi enerji-yoğun sektörlerde yenilenebilir enerjiye geçişle birlikte enerji verimliliğini artıracak teknolojilerin, örneğin akıllı şebekeler, enerji depolama sistemleri ve yüksek verimli üretim teknolojilerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Yenilenebilir enerji tüketiminde geçmiş dönem değerlerinin güçlü etkisi, uzun vadeli politikaların ve istikrarlı kurumsal yapının önemini ortaya koymaktadır. Enerji dönüşümüne yönelik stratejilerin siyasi değişimlerden bağımsız olarak uygulanabilirliğini sağlamak için bağımsız enerji ajanslarının ve düzenleyici kurumların yetkinliklerinin artırılması önem taşımaktadır. Ayrıca, gelişmekte olan ülkeler arasında bilgi paylaşımı, teknoloji transferi ve ortak yatırım projeleri yoluyla maliyetlerin düşürülmesi mümkündür. Bu tür uluslararası iş birlikleri, yenilenebilir enerji teknolojilerinde maliyet etkinliğini ve teknik kapasiteyi artırarak enerji dönüşüm sürecini hızlandıracaktır.

7. SONUÇ

Bu çalışma, 2010–2021 dönemi için gelişmekte olan 20 ülkede yenilenebilir enerji tüketiminin belirleyicilerini analiz etmeyi amaçlamıştır. Bu analiz, hem küresel enerji dönüşümü literatürüne katkı sağlamak hem de politika yapıcılar için ampirik bir referans sunmaktadır. Modelde bağımlı değişken olarak lnREC kullanılırken, açıklayıcı değişkenler olarak finansal gelişme (lnFD), enerji yoğunluğu (lnEI) ve enerji ithalatı (lnEIU) dahil edilmiştir. Ampirik analizde, veri setinin hem yatay kesit hem de zamana bağlı dinamiklerini dikkate alabilen iki aşamalı System GMM yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem, içsellik sorununu gidermesi ve gecikmeli bağımlı değişkenlerin modele dahil edilebilmesini sağlaması açısından uygundur (Arellano & Bover, 1995; Blundell & Bond, 1998). Ayrıca, model parametrelerinin küçük örneklem için bile tutarlı sonuçlar verebilmesi, yöntemin tercih edilmesinde belirleyici olmuştur. Modelde yenilenebilir enerji tüketiminin geçmiş dönemdeki değerinin mevcut dönemde güçlü bir belirleyici olduğu görülmekte ve literatürde bu tür bulgular genellikle alışkanlık etkisi, yatırım sürekliliği, ve altyapı bağımlılığı ile açıklanmaktadır (Sadorsky, 2009; Doytch & Narayan, 2016). Yenilenebilir enerji yatırımları, yüksek ilk maliyet, uzun yatırım süresi ve devlet destekli teşvik gerekliliği gibi özellikler nedeniyle süreklilik arz eder. Bulgular, enerji sektöründe alınan kararların etkilerinin zaman gecikmeli olarak ortaya çıktığını ve uzun dönemli planlama gerektirdiğini de teyit etmektedir. Bu da, enerji dönüşümünün sadece teknik değil, aynı zamanda kurumsal kapasite ve siyasi irade gerektiren bir süreç olduğunu göstermektedir.

Çalışmada finansal gelişme istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır. Bu durum, gelişmekte olan ülkelerde finansal sistemlerin doğrudan yenilenebilir enerji tüketimini artırıcı bir rol oynamadığını düşündürmektedir. Literatür, bu bulguyu iki şekilde yorumlamaktadır:

- Birincisi, birçok gelişmekte olan ülkede finansal derinlik artışına rağmen bu kaynakların fosil yakıt temelli sektörlerle yönelmesi (Kamran et al., 2021).
- İkincisi, yeşil finansman mekanizmalarının (örneğin yeşil tahviller, sürdürülebilirlik odaklı kredi sistemleri) sınırlı düzeyde gelişmiş olmasıdır (World Bank, 2021).

Halkos ve Polemis (2016) ile Tamazian ve Rao (2010) gibi çalışmalarda da finansal gelişmenin tek başına çevresel performansı veya yenilenebilir enerji yatırımlarını artırmadığı, bunun için düzenleyici çerçevenin ve yeşil finans altyapısının gelişmiş olması gerektiği vurgulanmıştır. Bu sonuç, yalnızca finansal derinleşme değil, nitelikli finansal dönüşümün gerekliliğini göstermektedir. Yani, finansal sistemin çevresel hedefleri destekleyebilecek şekilde yeniden yapılandırılması, enerji dönüşümünü hızlandırabilir.

Enerji yoğunluğu istatistiksel olarak anlamlı olmadığından, bu bulgu ülkelerin enerji verimliliğini artırmaya yönelik çabalarının doğrudan yenilenebilir enerji tüketimine yansımadağını göstermektedir. Enerji yoğunluğu, genellikle sanayi yapısı, teknolojik gelişmişlik, üretim teknikleri ve enerji kullanım biçimleriyle ilgilidir. Yani yüksek enerji yoğunluğu olan ülkelerde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılsa dahi, genel enerji verimliliği düşük olabilir. Enerji verimliliğini artıracak modernizasyon yatırımları, yenilenebilir enerji kullanımının ekonomik etkilerini güçlendirebilir. Bu nedenle enerji dönüşümünün yalnızca kaynak bazlı değil, aynı zamanda teknoloji-yoğun üretim süreçleriyle desteklenmesi gerektiği anlaşılmaktadır (Omri & Nguyen, 2014; Apergis & Payne, 2014a).

Enerji ithalatına bağımlı olan ülkelerin, dışa bağımlılığı azaltma stratejisi kapsamında yenilenebilir enerji yatırımlarına yönelme eğiliminde oldukları görülmektedir. Bu tür motivasyonlar, özellikle döviz açığı, dış ticaret dengesi ve arz güvenliği bağlamında değerlendirildiğinde daha güçlü bir anlam kazanır (IEA, 2022).

Bu sonuçlara göre; enerji politikalarının zaman içinde etkisini gösterdiğini, kısa vadeli teşviklerin yeterli olmadığını ve uzun vadeli enerji dönüşüm planlarının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Literatür, enerji dönüşümünün başarılı olabilmesi için politik istikrar, teknolojik kapasite, yerel finansman yapıları ve dış kaynaklara erişim gibi çok katmanlı faktörlerin birlikte ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır (Sadorsky, 2011; IMF, 2020).

Sanayi ve ulaşım gibi enerji-yoğun sektörlerde yenilenebilir enerjiye geçişin yanı sıra enerji verimliliğini artıracak teknolojilerin kullanımı özendirilmelidir. Ayrıca, bölgesel iş birlikleri ve teknoloji transferi programları yoluyla yenilenebilir enerji teknolojilerinin yaygınlaştırılması sağlanabilir. Enerji politikalarının başarılı olması için kurumsal yapılar güçlendirilmeli ve enerji dönüşümü uzun vadeli stratejik belgeler ile desteklenmelidir. Gelecek çalışmalara öneri olarak, ülke grupları arasında karşılaştırmalı analizlerin genişletilmesi, sektörel bazda yenilenebilir enerji tüketim dinamiklerinin incelenmesi ve finansal gelişme göstergelerinin alt bileşenleri (örneğin bankacılık sektörü derinliği, sermaye piyasası gelişimi) üzerinden etkilerin ayrıştırılması önerilmektedir. Ayrıca, politika değişiklikleri ve teknolojik yeniliklerin zaman içindeki etkilerini ölçmek amacıyla daha uzun dönemli veri setleri ve alternatif ekonometrik yöntemlerin kullanılması faydalı olacaktır.

KAYNAKÇA

Ang, B. W. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy: Which is the preferred method? *Energy Policy*, 32(9), 1131–1139.

Ang, B. W. (2007). CO₂ emission intensity in electricity production: A global analysis. *Energy Policy*, 35(5), 2392–2402.

Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries. *Energy Policy*, 38(1), 656–660.

Apergis, N., & Payne, J. E. (2014a). Renewable energy, output, CO₂ emissions, and oil prices: Evidence from the G-7 countries. *Energy Economics*, 42, 226–232.

Apergis, N., & Payne, J. E. (2014b). The renewable energy consumption–growth nexus in Central America. *Energy Economics*, 42, 326–331.

Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *The Review of Economic Studies*, 58(2), 277–297.

Arellano, M., & Bover, O. (1995). Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. *Journal of Econometrics*, 68(1), 29–51.

Baltagi, B. H. (2008). *Econometric Analysis of Panel Data* (4th ed.). Wiley.

Beck, T., Demirgüç-Kunt, A., & Levine, R. (2000). A New Database on Financial Development and Structure. *World Bank Economic Review*, 14(3), 597–605.

Beck, T., & Demirgüç-Kunt, A. (2006). Small and medium-size enterprises: Access to finance as a growth constraint. *Journal of Banking & Finance*, 30(11), 2931–2943.

Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I., & Bhattacharya, S. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, 162, 733–741.

Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, 87(1), 115–143.

Bölük, G., & Mert, M. (2014). Fossil & renewable energy consumption, GHGs (greenhouse gases) and economic growth: Evidence from a panel of EU countries. *Energy*, 74, 439–446.

Bond, S. (2002). *Dynamic panel data models: A guide to micro data methods and practice*. *Portuguese Economic Journal*, 1(2), 141–162.

Doytch, N., & Narayan, S. (2016). Does FDI influence renewable energy consumption? *International Journal of Energy Economics and Policy*, 6(4), 734–742.

Erdoğan, E. (2011). An analysis of Turkish hydropower policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 689–696. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.019>.

Frankel, J. A., & Romer, D. (1999). Does trade cause growth? *American Economic Review*, 89(3), 379–399.

Green, F., & Villanueva, P. (2020). *Finance and investment for a just transition*. Grantham Research Institute on Climate Change.

Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.

Halkos, G. E., & Polemis, M. L. (2016). The impact of economic growth on environmental efficiency:

- Evidence from a panel of countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 653–660.
- Hansen, L. P. (1982). Large sample properties of generalized method of moments estimators. *Econometrica*, 50(4), 1029–1054.
- IMF. (2020). *Greening the Financial System*. International Monetary Fund, Policy Paper.
- International Energy Agency (IEA). (2021). *World Energy Outlook 2021*. Paris: IEA.
- International Energy Agency (IEA). (2022). *World Energy Outlook 2022*. Paris: IEA.
- International Energy Agency (IEA). (2023). *World Energy Outlook 2023*. <https://www.iea.org>
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.
- Lean, H. H., & Smyth, R. (2010). On the dynamic interactions between energy consumption, output, and employment in Malaysia: Evidence from multivariate VAR model. *Applied Energy*, 87(6), 1963–1971.
- Le Coq, C., & Paltseva, E. (2009). Measuring the security of external energy supply in the European Union. *Energy Policy*, 37(11), 4474–4481.
- 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.
- Murshed, M. (2020). An empirical analysis of the non-linear impacts of energy productivity on environmental sustainability in South Asia. *Energy Ecology and Environment*, 5, 385–402.
- Murshed, M., & Quamrul, H. M. (2020). Energy intensity and economic growth in developing countries: A panel cointegration analysis. *Energy Reports*, 6, 1219–1227.
- Narayan, P. K., & Smyth, R. (2009). Multivariate Granger causality between electricity consumption, exports and GDP: Evidence from a panel of Middle Eastern countries. *Energy Policy*, 37(1), 229–236.
- Nickell, S. (1981). Biases in dynamic models with fixed effects. *Econometrica*, 49(6), 1417–1426.
- OECD. (2021). *Financing Clean Energy Transitions in Emerging and Developing Economies*.
- Omri, A., & Nguyen, D. K. (2014). On the determinants of renewable energy consumption: International evidence. *Energy*, 72, 554–560.
- Özokcu, S., & Özdemir, Ö. (2017). A dynamic panel data analysis of renewable energy consumption, economic growth and CO₂ emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1139–1148.
- Pao, H. T., & Fu, H. C. (2013). Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 381–392.
- Paramati, S. R., Ummalla, M., & Apergis, N. (2016). The effect of foreign direct investment and stock market growth on clean energy use across a panel of emerging market economies. *Energy Economics*, 56, 29–41.
- REN21. (2022). *Renewables 2022 Global Status Report*. <https://www.ren21.net>
- Roodman, D. (2009). How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata. *The Stata Journal*, 9(1), 86–136.
- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption, CO₂ emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics*, 31(3), 456–462.

- Sadorsky, P. (2010). The impact of financial development on energy consumption in emerging economies. *Energy Policy*, 38(5), 2528–2535.
- Sadorsky, P. (2011). Financial development and energy consumption in Central and Eastern European frontier economies. *Energy Policy*, 39(2), 999–1006.
- Sadorsky, P. (2012). Financial development and energy consumption in emerging economies. *Energy Policy*, 48, 130–136.
- Sadorsky, P. (2013). Do urbanization and industrialization affect energy intensity in developing countries? *Energy Economics*, 37, 52–59.
- Taghizadeh-Hesary, F., & Yoshino, N. (2020). The way to induce private participation in green finance and investment. *Finance Research Letters*, 31, 100779.
- Wooldridge, J. M. (2012). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (5th ed.). Mason, OH: South-Western Cengage Learning.
- World Bank. (2021). *Financing Climate Action in Developing Countries*.
- World Bank. (2022). *World Development Indicators*. <https://data.worldbank.org>
- World Bank. (2023). *World Development Indicators*. <https://data.worldbank.org>
- Zhang, Y. J., & Ma, C. (2018). The impacts of financial development and economic growth on renewable energy consumption: Evidence from China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 3045–3055.

EXTENDED SUMMARY

The primary objective of this study is to analyze the key determinants influencing renewable energy consumption in developing countries, with a specific focus on financial development, energy intensity, and energy imports. This investigation is motivated by the growing shift towards renewable energy sources in these countries, driven by the dual challenges of achieving sustainable economic growth and addressing the escalating demand for energy. Understanding how these factors interact and impact renewable energy consumption is crucial for informing effective policy-making aimed at promoting sustainable energy transitions in the context of developing economies. Research Questions: What is the impact of financial development on renewable energy consumption in developing countries? How does energy intensity influence the usage of renewable energy sources? Does dependency on energy imports stimulate investment in renewable energy? How do the effects of financial development, energy intensity, and energy imports on renewable energy consumption vary across different developing countries?

The literature review aims to investigate the existing body of research concerning the key factors influencing renewable energy consumption, with a particular focus on financial development, energy intensity, and energy imports. This review is structured around two main dimensions. The first addresses how financial development affects energy consumption patterns, particularly in the context of energy transition and access to green finance. Prior studies highlight that well-functioning financial systems can facilitate investment in renewable energy by lowering capital constraints and improving credit accessibility. However, the nature and direction of this relationship often depend on the structure and orientation of financial markets, as well as the availability of sustainability-oriented financial instruments. The second

dimension examines the roles of energy intensity and energy imports. Energy intensity is often considered an indicator of energy efficiency. Improvements in energy efficiency are generally associated with increased renewable energy adoption, as they reflect technological modernization and lower dependence on traditional fossil fuels. In contrast, the relationship between energy imports and renewable energy consumption appears to be more complex. On one hand, higher import dependency can motivate countries to diversify their energy mix and invest in domestic renewable sources. On the other hand, reliance on imported energy may crowd out incentives for developing local renewable capacity, especially in the absence of supportive policies.

In this context, the present study contributes to the literature by examining a diverse set of developing countries across multiple continents. It also advances the literature by jointly analyzing the three dimensions—financial development, energy intensity, and energy imports—within a unified empirical framework. This comprehensive approach allows for a deeper understanding of how these factors interact to shape renewable energy consumption trends in emerging economies.

This study adopts a quantitative research design based on panel data analysis to investigate the determinants of renewable energy consumption in developing countries. The dataset spans the period from 2010 to 2021 and includes a diverse group of emerging economies selected based on data availability and regional representation. The primary aim is to assess the impacts of financial development, energy intensity, and energy import dependency on renewable energy consumption levels.

The results of the dynamic panel data analysis indicate that financial development does not have a statistically significant effect on renewable energy consumption in the selected developing countries. This suggests that, despite financial sector growth, the structure and orientation of financial systems in these economies may not be effectively aligned with the investment needs of the renewable energy sector. The absence of targeted green financing instruments and the continued dominance of conventional energy investment channels may help explain this outcome.

Energy intensity was also found to be statistically insignificant. This implies that improvements in energy efficiency, as reflected by lower energy consumption per unit of GDP, do not necessarily translate into higher levels of renewable energy use. This may be attributed to structural factors such as industrial composition, technological capability, and the nature of energy use within the economy. As such, enhancing energy efficiency alone may not be sufficient to promote a renewable energy transition unless supported by cleaner production technologies and energy system modernization.

In contrast, energy import dependency has a statistically significant and positive impact on renewable energy consumption. This indicates that countries with higher levels of reliance on imported energy are more likely to invest in renewable energy, possibly as a strategy to enhance energy security, reduce exposure to external price shocks, and address balance of payments challenges.

The study is limited by its reliance on macro-level panel data, which may not fully capture institutional or policy-specific dynamics. Future research could incorporate qualitative policy indicators or assess the role of regulatory frameworks. Moreover, the use of structural equation modeling may provide deeper insights into causal pathways among the key variables

of financial development, energy intensity, energy import dependency, and renewable energy consumption.

