

## Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Verimliliği ve Geri Tepme Etkisinin Analizi

İsmail KAVAZ<sup>1</sup>

### Özet

Bu çalışmada, 1989'dan 2018'e kadar olan dönem için iki stokastik sınır analizi yaklaşımı kullanılarak Afrika, Avrasya ve Ortadoğu bölgelerinde bulunan seçili 17 gelişmekte olan ülkenin göreceli toplam enerji verimliliğini araştırılmaktadır. Söz konusu sınır testlerinden ilkinde enerji talep fonksiyonu benimsenirken ikincisinde ise girdi mesafesi yaklaşımı kullanılmaktadır. İki aşamalı dinamik panel veri yaklaşımı kullanılarak paneldeki her ülke için hem enerji verimliliği performansı hem de geri tepme etkisi (Rebound Effect) karşılaştırmalı olarak tahmin edilmektedir. Analizden elde edilen bulgular, incelenen ülke grubundaki ortalama verimlilik skorunun yaklaşık %84 olduğunu göstermektedir. Ayrıca, hesaplanan ortalama geri tepme etkisinin, kısa vadede verimlilik iyileştirmelerinden elde edilen enerji tasarruflarının %50'sinden fazlasını bertaraf edebileceği yönündedir. Bu sonuçlar aslında gelişmekte olan ekonomilerde enerji talebini azaltmak için enerji verimliliğine ilişkin dikkate değer potansiyeli vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Stokastik sınır analizi, Enerji verimliliği, Enerji talebi, Geri tepme etkisi, Gelişmekte olan ülkeler

**JEL Sınıflandırması:** Q12, Q41

## An Analysis of the Energy Efficiency and Rebound Effect in Developing Countries

### Abstract

This study investigates the relative total energy efficiency of 17 selected developing countries, located in Africa, Eurasia and Middle East regions, using two stochastic frontier analysis methods between the period of 1989 and 2018. Initially, the energy demand function is adopted, while the input distance approach is used in the second boundary test. Using a two-stage dynamic panel data procedure, both the energy efficiency performance and rebound effect are estimated comparatively, for each country in the panel. Findings from the analysis show that the average efficiency score in the group of countries examined is approximately 84%. Additionally, the calculated average rebound effect could eliminate more than 50% of the energy savings from the efficiency improvements in the short term. These results actually highlight the significant potential for energy efficiency to lower energy demand in emerging economies.

**Keywords:** Stochastic frontier analysis, Energy efficiency, Energy demand, Rebound effect, Developing countries

**JEL Classification:** Q12, Q41

### 1. Giriş

Uygarlığın başlangıcından bu yana, farklı enerji türlerini kullanma ve depolama yeteneği, insanların yaşam koşullarını büyük ölçüde iyileştirmiş ve toplumların

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Fırat Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, i.kavaz@firat.edu.tr, orcid.org/0000-0002-3044-795X

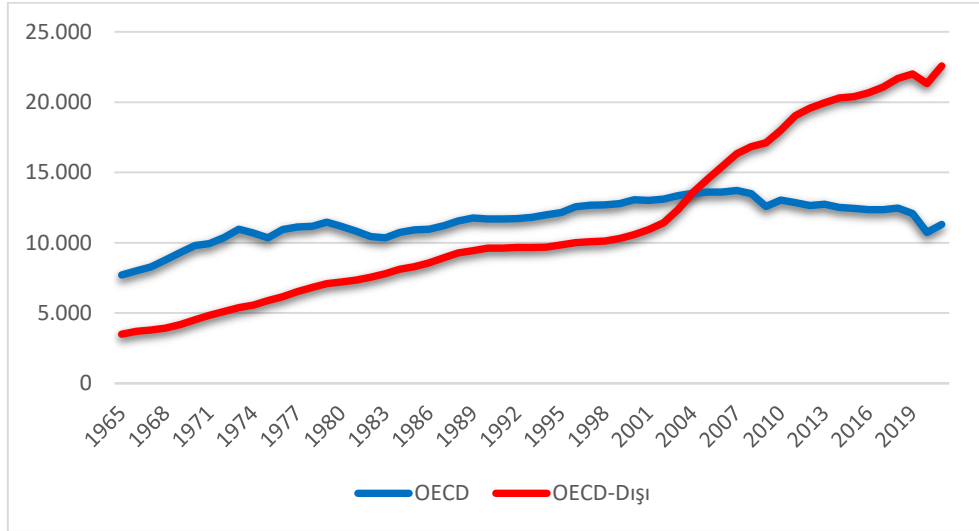
refah seviyelerini artırmıştır. Sanayi Devrimi sonrasında artan enerji kullanımı ise ekonomik kalkınmayı hızlandırmıştır (Fouquet, 2008). Ancak 1973'te meydana gelen ilk petrol krizinden bu yana, dünya genelindeki hükümetler kendilerini çok büyük bir enerji sorununun içerisinde bulmuşlardır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (UNFCCC) göre, mevcut enerji tedarik ve kullanım biçimlerinin çevresel açıdan sürdürülemez olduğu kabul edilirken, enerji üretimi için fosil yakıtlara aşırı bağımlılık, enerji sisteminin güvenliğini tehdit ederek küresel iklim üzerinde yıkıcı etkilere neden olmaktadır. (UNFCCC, 2017). Çevre ile ilgili konular, enerji fiyatlarındaki dalgalanmalara ilişkin artan endişeler ve karbon emisyonlarının sınırlandırılmasına yönelik yaklaşımlar daha önce hiç olmadığı kadar gündemde yer almaktadır. Endişe verici iklim değişikliğiyle mücadele sürecindeki zorluk ise hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde acil bir ortak eyleme geçilmesi gerekliliğini ortaya çıkartmaktadır.

İklim değişikliğinin etkileri doğası gereği küreseldir ve kolektif kararlar gerektirir. Bu bağlamda, dünya genelinde çevresel kaygılar ön plana çıkmış ve siyasi gündemlerin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. 1979'daki ilk Dünya İklim Konferansı, iklim konusunda insan faaliyetlerinden kaynaklanan ve insanlığın refahını olumsuz şekilde etkileyebilecek potansiyel değişiklikleri öngörmeye ve önlemeye yönelik ilk girişim olarak kayıtlara geçmiştir (UNFCCC, 2017). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, sera gazı salınımlarını dengelemek ve iklim sistemine insan kaynaklı olumsuz müdahaleleri önlemek amacıyla 1992 yılında kabul edilmiştir. 1997 yılındaki Kyoto protokolü, taraflarına sera gazı emisyonlarını azaltma taahhüdünde bulunan, ancak tarihsel süreçte endüstriyel faaliyetlerin bir sonucu olarak gelişmiş ülkelerin ana sorumlu olduğunu kabul eden söz konusu sözleşme ile bağlantılı ilk uluslararası anlaşmadır (UNFCCC, 2017). Cancun 2010'da hükümetler, iklim değişikliğinin getirdiği zorlukları kapsamlı bir şekilde ele almış ve küresel ortalama sıcaklıktaki artışını sanayi öncesi seviyelere kıyasla iki santigrat derecenin altında tutmak için insan kaynaklı emisyon seviyesini düşürmeyi kabul etmişlerdir (UNFCCC, 2017). İki yıl sonra, Doha 2012'de, küresel iklim anlaşmasının 2015 yılına kadar kabul edilmesi ve 2020 yılına kadar uygulanması için bir son tarih belirlenmiştir (UNFCCC, 2012). Çevre sorunlarına ilişkin ön tartışmalar ve politika önerileri, Aralık 2015'te gerçekleşen Paris İklim Anlaşması ile ilk evrensel, yasal olarak bağlayıcı iklim anlaşmasına dönüşmüştür. Bu anlaşma iklim değişikliğinin tehlikelerini önlemek amacıyla yirmi yılı aşkın süredir devam eden küresel müzakereleri kapsayan önemli bir konumda bulunmaktadır. Paris Anlaşması yürürlüğe girerken, 190'dan fazla ülke, Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkılar çerçevesinde ulusal sera gazı azaltım taahhütlerini sunmuş, açık hedefler belirlemiş ve bu hedefleri denetlemek ve gerçekleştirmek için uygun planlar geliştirmiştir (UNFCCC, 2017).

Tüm bu ortak çabalara rağmen, Uluslararası Enerji Ajansı, küresel enerji tüketiminden kaynaklı karbon emisyonlarının ekonomik büyüme ve özellikle Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) dışı bölgelerde fosil enerji kullanımının artan payı ile birlikte 1992'den bu yana %50'den fazla arttığını, 20,5

Giga tondan 2022’de tarihin en yüksek seviye olan 36,8 Giga tona yükseldiğini ifade etmektedir (IEA, 2022).

Buna ek olarak, geleneksel insan kaynaklı sera gazlarının büyük çoğunluğunu gelişmiş ülkeler salmaktadırlar. Ayrıca, Grafik 1’den de görülebileceği üzere gelişmekte olan ülkelerin karbon emisyonlarının göreceli payı, 2005 yılında sanayileşmiş ülkelerinkini geride bırakmış, kömür ve petrol gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşması sonucunda çok hızlı bir şekilde artmaya devam etmiştir. Küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık üçte ikisini oluşturan CO2 emisyonlarındaki artış eğilimine dünya enerji talebinin artmasının neden olduğu görülmektedir. Ayrıca, ekonomik aktivite ve demografik gelişmelerin enerji talebinin iki temel itici gücü olduğu, enerji gereksinimlerini ve enerji sistemlerinin yapısını belirlediği öne sürülmektedir (IEA, 2016a). Gelişmekte olan ülkelerdeki enerji kullanımının son otuz yılda üç kattan fazla arttığı gözlemlenirken, bu eğilimin gelecekte de hızla artmaya devam etmesi beklenmektedir.



Grafik 1. Bölgelere Göre CO2 Salım Miktarları ((Milyon Ton)  
Kaynak: BP, 2022

Tarihsel süreç içerisinde toplumların dönüşmesiyle paralel olarak enerji kullanım davranışları da değişmektedir. Özellikle 1971 ile 2021 yılları arasında toplam küresel nihai enerji tüketimi iki kattan fazla artarken, son yıllarda enerji talebindeki artışın neredeyse tamamı OECD üyesi olmayan ülkelere kaynaklanmaktadır (IEA, 2021a). Bu çerçevede değerlendirildiğinde, ekonomiler yoksulluktan göreceli refaha doğru ilerledikçe, küresel enerji talebinin de arttığı dikkat çekmektedir. OECD üyesi olmayan ülkelerdeki enerji talebi ilk kez 2007 yılında OECD’yi geride bırakmış ve bu artış eğilimi devam ederek enerji kullanımının merkezini gelişmekte olan ülkelere kaydırmıştır (BP, 2022). Buna ek olarak nüfus düzeyi, enerji hizmetlerine yönelik genel talebin önemli bir etkeni gibi görünmektedir. Tarihsel olarak, Sanayi Devrimi’nin başlangıcından 1950’ye kadar bir dizi sağlık ve güvenlik iyileştirmesi ile birlikte teknolojiye ilerlemeler, yaşam koşullarını radikal bir şekilde iyileştirmektedir (Population Reference Bureau, 2017). Böylece küresel nüfus, bir asırdan biraz daha uzun bir süre boyunca benzeri görülmemiş bir

ölçekte artmaktadır. Bu da enerji ihtiyacının artmasına ve küresel enerji piyasalarında rekabetin derinleşmesine neden olmaktadır. Ayrıca, ekonomik büyüme modern enerji hizmetlerine erişimin artmasıyla eşgüdümlü bir şekilde ilerledikçe, dünya nüfusunun ekonomik refahının da özellikle gelişmekte olan ülkelerde hızla arttığı görülmektedir. Son yıllarda dünya ekonomisinin dengesi gelişmiş dünyadan gelişmekte olan ekonomilere doğru kaymaktadır. Özellikle, 1971'de gelişmiş ülkeler küresel GSYİH'ye %40'tan az katkıda bulunurken, 2005'ten bu yana gelişmekte olan ekonomiler göreceli olarak gelişmiş ekonomilerden daha iyi performans göstererek küresel GSYİH'nin %50'sinden fazlasını oluşturmaktadırlar (IMF, 2023).

Ekonomiler geliştikçe ülkelerin enerji ihtiyaçları ve öncelikleri değişmektedir. Gelişmekte olan ülkelerin çoğu, otomobiller, ev aletleri, ısıtma ve soğutma sistemleri vb. gibi modern enerji yoğun mal ve hizmetlere olan talebin artmasıyla birlikte tarımdan, daha enerji yoğun endüstriyel gelişim aşamasına geçmiştir. Ayrıca, özellikle gelişmekte olan ülkelerde artan enerji talebi, demografik baskı ve artan kentleşme oranı nedeniyle daha da artmıştır. Bu nedenle, önümüzdeki yıllarda gelişmekte olan ülkelerde hızla artan nüfusa daha iyi yaşam standartları sağlamak için sürekli yüksek ekonomik büyüme oranlarına ihtiyaç duyulacaktır.

Diğer taraftan, toplam dünya nüfusunun yaklaşık 2 milyarının elektriğe erişiminin bulunmadığı, yaklaşık 2,7 milyar insanın ise yemek pişirmek için hala katı biyokütle kullandığı ve bunların büyük çoğunluğunun gelişmekte olan ülkelerde yaşadığı vurgulanmaktadır (IEA, 2016b). Dahası, dünyanın birçok bölgesinde güvenilir ve emniyetli enerji kaynakları bulunmamaktadır. Genel olarak, dünya nüfusunun üçte biri modern enerji biçimlerinin mümkün kıldığı temel olanaklardan yararlanmaktayken, geriye kalan kesimin modern enerji hizmetlerine erişim eksikliği, sosyoekonomik kalkınmayı ciddi şekilde sınırlamaktadır. Sonuç olarak, gelişmekte olan ülkelerin güçlü sosyoekonomik kalkınmayı sürdürmek ve yaşam standartlarını yükseltmek için artan enerji ihtiyaçlarını karşılamaları hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda, Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO), temiz, güvenilir ve uygun fiyatlı enerji hizmetlerine erişimin bir ülkenin refahı için vazgeçilmez olduğunu ve artan talebin karşılanamaması durumunda sürdürülebilir kalkınmanın ciddi biçimde olumsuz etkileneceğini vurgulamaktadır (UNIDO, 2010).

Mevcut kaynakların akılcı kullanımı, yeni teknolojilerin uyarlanması, uygun ekonomik teşviklerin sağlanması, enerji politikasının ulusal ve uluslararası düzeyde tasarlanması ve uygulanması, küresel ölçekte sürdürülebilir ekonomik kalkınmanın sağlanması noktasında ön koşullardır. Bu bağlamda, enerji verimliliği konusundaki iyileştirmelerin, bugün dünyanın karşı karşıya olduğu acil iklim değişikliği, ekonomik kalkınma ve enerji güvenliği zorlukları karşısında kritik bir süreç olduğunu ileri sürülmektedir (IEA, 2016b). Enerji verimliliğinin sera gazı emisyon azaltımlarının ötesinde birçok fayda sağlayabileceği bilinmektedir. Öyle ki, enerji verimliliğindeki gelişmeler, enerji sisteminin güvenliğini artırarak enerji hizmetlerine olan talebin azalmasına yol açabilmektedir. Dahası, enerji verimliliği alanındaki gelişmeler, enerji sisteminin maliyetini ve yakıt ithalat harcamalarını

düşürerek tüketicilere finansal faydalar yaratabileceği gibi, bir ülkenin dış kaynaklara olan bağımlılığını azaltarak enerji güvenliğini de artırabilir. Ayrıca, enerji verimliliğindeki artışın, enerji fiyatlarındaki oynaklığı azaltmak, potansiyel çevresel riskle mücadele etmek ve sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek için en uygun maliyetli ve kolayca elde edilebilen araçlardan biri olduğu kabul edilmektedir (IEA, 2015). Dolayısıyla, enerji verimliliği sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmek için önemli bir öz kaynak konumunda bulunmaktadır.

Enerji verimliliği terimi yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen, tanımlanması ve hatta kavramsallaştırılması tartışmalı bir şekilde zordur. Enerji ekonomisinde enerji verimliliği, genel olarak bir ekonominin ürettiği çıktı ile onu üretmek için tüketilen enerji miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eder (Bhattacharyya, 2011). Dolayısıyla enerji verimliliği temel düzeyde aşağıdaki oran ile tanımlanabilir:

$$\text{Enerji Verimliliği} = \frac{\text{Bir Sürecin Enerji Hizmeti}}{\text{Bir Sürece Enerji Girdisi}} \quad (1)$$

Güncel literatür incelenirken enerji yoğunluğu ve enerji verimliliği kavramlarının sıklıkla birbirinin yerine kullanıldığı görülmektedir. Öte yandan, bu tamamen doğru değildir, zira enerji yoğunluğundaki eğilimler, enerji verimliliği dışındaki faktörlerden de etkilenebilir. Bu faktörler ekonominin yapısı, sanayileşme düzeyi, enerji hizmetlerinin karşılanabilirliği, iklim ve demografinin yanı sıra uygulanan politika ve yaşam tarzı olabilir. Dolayısıyla, enerji yoğunluğu ölçümleri enerji verimliliğini hesaplayabilmek için bir temsilci olarak kullanılmaktadır.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında, bu çalışmanın ilk amacı, Stokastik Sınır Analizi kullanarak gelişmekte olan ülkelerden oluşan bir panelde toplam enerji talebi fonksiyonunu tahmin etmek ve bir dizi önemli ekonomik ve ekonomik olmayan faktörü kontrol ettikten sonra, ekonomik üretim teorisiyle tutarlı bir enerji verimliliği ölçümü yapmaktır. Böylece gelişmekte olan ülkeler için daha güvenilir bir enerji verimliliği göstergesi üretilmesi ve politika yapıcılara ulusal ve uluslararası enerji, ekonomi ve çevre konularını ele alma konusunda değerli bilgiler sağlanması hedeflenmektedir.

Enerji verimliliği iyileştirmelerini teşvik etmeye yönelik politikalar, iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik ulusal ve uluslararası politikaların önemli bir parçası haline geldikçe, potansiyel geri tepme etkisinin büyüklüğü, bu politikaların etkililiğinin değerlendirilmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle, politika yapıcılarının enerji verimliliği stratejilerini planlarken pragmatik hedefler belirleyebilmeleri için olası geri tepme etkilerini tam olarak değerlendirmeleri ve hesaba katmaları gerekir. Dolayısıyla, bu çalışmadaki ikinci amaç, geri tepme etkisini 1989-2018 dönemi için seçili gelişmekte olan ülkelere ait verileri ve panel ekonometrik yöntemleri kullanarak tahmin etmektir.

Çalışmanın konusu ile ilgili literatür genel olarak, enerji tüketimini ve karbon salınımlarını azaltmak için enerji verimliliğinin artırılması gerektiği ifade edilmektedir. Diğer taraftan, söz konusu kararlar alınırken geri tepme etkisinin yeterince dikkate alınmadığına vurgu yapılmaktadır. Dolayısıyla, literatürde geri tepme etkisinin doğru bir şekilde tespiti bağlamında oldukça fazla sayıda çalışma

bulunmaktadır. Diğer taraftan, makroekonomik geri tepme etkilerinin ölçülmesini konu alan çalışmalarda göreceli bir eksiklik söz konusudur. Ayrıca, spesifik olarak gelişmede olan ülkeleri inceleyen çalışmaların da az olması dikkat çekmektedir. Bu çalışmada ise literatürden farklı olarak gelişmekte olan ülkelere oluşan geniş bir panel veri seti kullanılarak enerji verimliliği tahmini yapılmakta ve bu tahminler kullanılarak geri tepme etkisi ölçülmektedir. Dahası bu çalışma, bilindiği kadarıyla, dünya çapında Afrika, Avrasya ve Ortadoğu bölgelerinde bulunan gelişmekte olan ülkelere oluşan geniş bir panel için enerji verimliliğini ekonometrik olarak tahmin etmek üzere parametrik stokastik sınır tekniğini uygulamaya yönelik ilk girişim olması nedeniyle literatüre katkı sağlamaktadır.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde şu şekilde sıralanmaktadır. İlk olarak ilgili literatür taraması sunulmaktadır. Ardından çalışmada kullanılan yöntemler ve veri seti tanıtılmaktadır. Sonrasında ampirik bulgular paylaşılmaktadır. Çalışma sonuç ve değerlendirme kısmı ile tamamlanmaktadır.

## **2. Literatür Taraması**

Paris Anlaşması yürürlüğe girdiğinde, tasarlanan ulusal enerji politikalarının uygulanması, enerji verimliliğinin doğru ölçümlerini ve zaman içindeki ilerlemeyi değerlendirmek için uygun göstergeleri gerektirmektedir. Böylece enerji verimliliği bilimsel araştırmalarda ön plana çıkmış ve enerji verimliliğinin tanımlanması ve ölçülmesindeki temel kavramsal zorlukların yanı sıra basit oran göstergelerinin kullanımından kaynaklanan sorunları aşmak için akademik literatürde bazı yaklaşımlar önerilmiştir. Sınır analizine dayanan bu çalışma, enerji verimliliği ve geri tepme etkisinin tartışmalı yönlerini araştırmaktadır. Bu bağlamda, literatür taraması kısmında öncelikle enerji verimliliği ve ardından geri tepme etkisi ile ilgili güncel çalışmalara yer verilmektedir.

Zhou vd. (2012) 21 OECD ülkesi kapsamında enerji verimliliği performansını tahmin etmek için parametrik sınır analizini kullanmaktadır. Analizler sonucunda yapılan tahminler, enerji verimliliğinin araştırılan ülkeler arasında önemli ölçüde farklılık gösterdiğine işaret etmektedir.

Lin ve Du (2013), 1997'den 2010'a kadar Çin'in çeşitli bölgelerindeki enerji verimliliği düzeyini tahmin etmek için Shephard Enerji Mesafe Fonksiyonu yöntemini kullanmaktadır. Sonuçlar, incelenen bölgeler arasındaki enerji verimliliği düzeyleri arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Bir yandan, enerji kullanımında çok verimsiz görünen (verimlilik puanı %20'nin altında) bölge grupları tespit edilirken, diğer taraftan bazı bölgelerde ise oldukça yüksek enerji verimliliği performansları tespit edilmiştir.

Adetutu vd. (2016) enerji mesafesi fonksiyonu yaklaşımını kullanan bir diğer çalışma olarak literatürdeki yerini almaktadır. Ancak, bu çalışmayı Zhou vd. (2012) araştırmasından ayıran temel fark, burada belirli bir çıktı seviyesi için girdi vektörü kümesindeki enerji ve diğer girdilerin simetrik olarak daralmasına izin verilmesidir. Çalışmada, Stokastik Sınır Analizi ile birlikte iki aşamalı bir yöntem kullanılarak ekonomi çapında bir geri tepme etkisi tahmin edilmektedir. İlk aşamada, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan 55 ülkeden oluşan bir panel için enerji verimliliği

performansları hesaplanmaktadır. 1980'den 2010'a kadar olan verilerin kullanıldığı analizin sonuçları, İsviçre ve Danimarka'nın seçili ülke grubu arasında en verimli ülkeler, Çin ve Rusya'nın ise en az verimli ülkeler olduğunu göstermektedir.

Yukarıdaki çalışmaların yanı sıra verimliliği belirlemek için enerji talep fonksiyonlarını kullanan araştırmalar da bulunmaktadır. Bu bağlamda, Filippini ve Hunt (2015), yukarıda bahsi geçen yaklaşımların yalnızca üretim sürecinde girdi olarak enerji kullanımındaki teknik verimliliğe yönelik tahminler verdiğini vurgulamaktadır. Ekonomik açıdan incelendiğinde, genel veya maliyet etkinliği (yani teknik ve tahsis etkinliği) düzeyi hakkında bilgi sahibi olmak oldukça önemlidir. Dolayısıyla, Filippini ve Hunt (2015) tek koşullu girdi talep sınır fonksiyonunu tahmin ederek enerji verimliliğini ölçmenin bir yolunu önermektedir. Bu da enerji talep fonksiyonu olarak belirtilmektedir.

Filippini ve Hunt (2011), 29 OECD ülkesinden oluşan bir panel veri setinde enerji verimliliğini tahmin etmek için 1978'den 2006'ya kadar olan verileri kullanmaktadır. Bu çalışmada, enerji yoğunluğunun, en azından bazı ülkeler için, enerji verimliliğinin ölçülmesi aşamasında çok zayıf bir göstere olduğuna dair ampirik kanıtlar sunulurken, çeşitli sosyoekonomik faktörleri kontrol ettikten sonra bir enerji talebi fonksiyonunun tahmininden elde edilen verimlilik ölçümlerinin daha etkili olduğu ileri sürülmektedir. Ayrıca, Filippini vd. (2014), 1996 ile 2009 yılları arasındaki dönemde 27 AB üyesi ülkenin konut enerji verimliliğini tahmin etmektedir. Bu çalışmada, çeşitli enerji verimliliği politikalarının verimlilik üzerindeki etkisi de değerlendirilmektedir. Ampirik bulgular, incelenen örneklem için enerji tasarrufu konusunda önemli bir potansiyel olduğunu teyit ederken, mali teşviklerin ve enerji performans standartlarının politika aracı olarak enerji verimliliği iyileştirmelerini gerçekten desteklediğini ortaya koymaktadır. Otsuka ve Goto (2015) ise 1991 ile 2007 arasındaki dönemi kapsayan verileri kullanarak 47 Japon şehrindeki enerji verimliliği tahminleri elde etmek için enerji talep fonksiyonu yaklaşımını uygulamıştır. Sonuç olarak, enerji yoğunluğu ile tahmin edilen enerji verimliliği arasındaki korelasyonunun oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Lundgren vd. (2016), stokastik sınır analizinden yararlanarak, 2000-2008 yılları arasında İsveç imalat endüstrisindeki 14 alt sektör için enerji talebini ve enerji verimliliğini firma düzeyinde tahmin etmektedir. Çalışmanın sonucu olarak, tıpkı Filippini ve Hunt (2011) gibi, enerji yoğunluğunun enerji verimliliğinin doğru bir göstergesi olmadığı ileri sürülmektedir. Broadstock vd. (2016), 2012 yılında 7.000'den fazla Çinli hane için kesit veri seti kullanarak hane düzeyinde elektrik tüketimi verimliliğini tahmin etmektedir. Son olarak Marin ve Palma (2017), 10 AB ülkesinde enerji verimliliğini araştırmak için 1995-2013 dönemine ait hane halkı verilerini kullanarak enerji talep fonksiyonu ve stokastik sınır analizini uygulamışlardır.

Her ne kadar stokastik sınır analizi son yıllarda popülerlik kazanmış olsa da, gelişmekte olan ülkelerde enerji verimliliği performansını toplu düzeyde izlemeye ve analiz etmeye çalışan literatür son derece nadirdir ve yalnızca Çin örneğiyle sınırlıdır. Dolayısıyla, bu çalışma parametrik sınır analizine odaklanmış olsa da,

literatürde gelişmekte olan ülkelerde enerji verimliliği kavramını ele alan bazı parametrik olmayan ve/veya sınır dışı çalışmalara da yer verilmektedir.

Zhang vd. (2011) parametrik olmayan sınır testi ile birlikte veri zarflama analizini kullanarak 1980-2005 dönemi için gelişmekte olan 23 ülkede enerji verimliliği performansını araştırmak için toplam faktör verimliliği yaklaşımından faydalanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, Botswana, Meksika ve Panama'nın ortalama olarak en verimli ülkeler olduğunu ve toplam faktör enerji verimliliği puanlarında artış eğilimi gösteren gelişmekte olan Asya ülkeleri (yani Çin, Hindistan, Tayland, Sri Lanka ve Zambiya) arasında yer aldığı dikkat çekmektedir. Ayrıca, 11 ülkenin (Dominik, Ekvador, Guatemala, Honduras, İran, Fas, Paraguay, Peru, Suriye ve Venezuela) toplam faktör verimliliği performanslarında düşüş gözlemlenirken, Arjantin, Bolivya, Botswana, Şili, Kenya, Meksika ve Panama'da önemli dalgalanmalar göze çarpmaktadır.

Sınır analizinden farklı olarak, gelişmekte olan ülkelerde enerji verimliliğini tahmin etmek için sınır dışı analiz yöntemleri de literatürde sıkça görülmektedir. Cantore ve te Velde (2011), gelişmekte olan 20 ülkeden oluşan bir panelde, sınır dışı Fisher İdeal Endeksi ile enerji yoğunluğu ayrıştırma analizi kullanarak enerji yoğunluğunun belirlenmesinde enerji verimliliği ve ekonomik yapısal bileşenlerin rolünü değerlendirmektedir. Elde edilen sonuçlar, ülkelerin çoğunluğunun enerji yoğunluklarında negatif bir eğilim sergilediğini göstermektedir. Ayrıca, bazı ülkelerin enerji verimliliği etkilerinde önemli dalgalanmalar göstermesi nedeniyle ülkeler arasında büyük bir heterojenliğin ortaya çıktığı ifade edilmektedir. Jimenez ve Mercado (2014), 75 ülkeden oluşan bir panelde enerji yoğunluğunu enerji verimliliği ve ekonomik yapının göreceli katkılarına göre ayrıştırmak için Endeks Ayrıştırma Analizi yaklaşımını kullanmaktadır. Çalışmanın bulguları, enerji yoğunluğundaki aşağı yönlü eğilimin esas olarak verimlilik artışları sonucunda görüldüğünü öne sürmektedir. Son olarak Voigt vd. (2014) bazı gelişmekte olan ekonomiler de dahil olmak üzere toplam 40 büyük ekonominin çeşitli sektörlerinde Endeks Ayrıştırma Analizi yöntemini kullanmaktadır. Analiz sonuçlarında, 1995-2007 döneminde toplam enerji yoğunluğundaki düşüşün esas olarak daha iyi teknoloji kullanımı yoluyla üretim verimliliğindeki artıştan kaynaklandığı vurgulanmaktadır.

Buraya kadar incelenen çalışmalarda genel olarak enerji verimliliği olgusunun stokastik veya stokastik olmayan teknikler kullanılarak analiz edildiği görülmektedir. Bunun yanında, enerji ekonomisi literatürünün önemli bir kısmının sanayileşmiş ülkelere odaklandığı, gelişmekte olan ülkelerde ise araştırmacıların Çin özeline odaklandığı dikkat çekmektedir. Literatürde ayrıca, toplu veya ayrıştırılmış düzeyde enerji verimliliği düzeyini tahmin eden çalışmalar da bulunmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde enerji verimliliğini inceleyen mevcut literatür oldukça sınırlı kalırken ve araştırma ülkeleri arasında büyük bir heterojenlik olduğu gözlemlenmektedir.

Çalışmada incelenen bir diğer alan ise geri tepme etkisidir. Geri tepme etkisinin doğru bir şekilde belirlenmesi oldukça önemlidir. Zira, politika yapımcıların, enerji verimliliği iyileştirmeleri nedeniyle elde edilen potansiyel enerji tasarruflarının



boyutunu azaltabilecek geri tepme etkileri olarak bilinen bir dizi mekanizmaya dikkat etmedikleri durumlarda, enerji verimliliği politikalarının etkinliğinin tehlikeye girebileceği açıktır. Geri tepme etkisi temelde enerji verimliliği iyileştirmelerinin enerji talebini azaltmak yerine artırabileceği savını öne sürmektedir (Saunders, 1992).

Literatürde geri tepme etkisinin net bir tanımı bulunmamakla birlikte, çeşitli mekanizmaların enerji verimliliğindeki iyileştirmelerden kaynaklanan potansiyel enerji tasarruflarını azaltabileceği genel olarak kabul edilmektedir. Greening vd. (2000) ve Sorrell ve Dimitropoulos (2007) bu mekanizmaları doğrudan, dolaylı ve ekonomi çapındaki etkiler olarak ayırmaktadır.

Doğrudan geri tepme etkileri ısıtma, soğutma, aydınlatma ve hareket gibi belirli enerji hizmetlerini ifade etmektedir. Enerji verimliliğinin artması, tedarikin marjinal maliyetini düşürecektir. Sonuç olarak bu hizmetin örtülü fiyatı düşecek ve dolayısıyla belirli hizmete olan talep artacaktır. Enerji verimliliğindeki iyileşmelerin enerji tüketimini doğrudan etkilemekle kalmayıp, dolaylı kanallar yoluyla da değiştirmesi mümkündür. Dolaylı geri tepme etkileri çeşitli şekillerde olabilir ve farklı zamanlarda enerji talebini etkileyebilir. Son olarak, ekonomi genelindeki geri tepme etkisi, doğrudan ve dolaylı geri tepme etkilerinin toplamını ifade etmektedir. Enerji verimliliğindeki bir iyileşme, tüketicilerin gerçek harcanabilir gelirini eş zamanlı olarak artırıp firmaların üretim olanaklarını genişlettiğinden, ekonomi çapındaki geri tepme etkisi, karşılıklı olarak birbirine bağımlı olan ve bireysel olarak büyük karmaşıklıkla karakterize edilen çok sayıda düzenlemenin net etkisini açıklamaktadır. Hane halkı ve firmalardan gelen bu ayarlamalar, ekonomi düzeyinde toplandığında oldukça önemli olabilir (Greening vd., 2000).

Gelişmekte olan ülkelerden oluşan bir panelde ekonomi genelindeki geri tepme etkisini tahmin etmek bu çalışmanın amaçlarından biridir. Bu nedenle, bundan sonraki literatür taraması, ekonomi genelindeki veya makroekonomik geri tepme etkisi kavramına odaklanmaktadır. Dolayısıyla, aşağıda bu konularla ilgili geri tepme etkisini ölçen örnek çalışmalara yer verilmektedir.

Sorrell ve Dimitropoulos (2007) gelişmekte olan ülkelerden elde edilen ampirik bulguların önemli olmakla beraber yetersiz olduğunu ileri sürmektedir. Zira, enerji verimliliğinin, ulusal enerji stratejilerinin artan enerji ihtiyacını desteklemeye yönelik olarak ekonomik kalkınmayı destekleme ve sera gazı emisyonlarını azaltma gibi iki yönlü hedefine ulaşmada önemli bir araç olduğu ifade edilmektedir. Ancak bu sayede enerji verimliliğinin artarak devam ettiği vurgulanmaktadır.

Gelişmekte olan bir ülkede geri tepme etkisi kavramını inceleyen ilk örneklerden biri olan Dufournaud vd. (1994), 1982-1984 dönemine ait verileri kullanarak Sudanlı hanelere daha verimli odun sobaları geliştirme politikasını simüle etmek için Uygulamalı Genel Denge modelini kullanmaktadır. Daha verimli sobaların kullanılmasına karşılık odun tüketiminde ekonomi genelindeki geri tepme etkilerinin %54-59 arasında olacağı tahmin edilirken ve gelecekte enerji verimliliği politikalarının geri tepme etkisi ekseninde tasarlanması gerektiği öne

sürülmektedir. Benzer şekilde Semboja (1994), enerji yönetimi politikalarının Kenya ekonomisi üzerindeki etkisini değerlendirmek için statik bir Hesaplanabilir Genel Denge modeli kullanmıştır. Çalışmada, enerji üretim aşamasındaki %1'lik bir verimlilik artışının, enerji ve petrol kullanımında sırasıyla %170-350 oranında önemli geri tepme etkilerine yol açtığına dikkat çekilmektedir. Öte yandan, Adetutu vd. (2016), birçok Afrika ülkesinde enerji yoksunluğunun yüksek düzeyde olması ve Hesaplanabilir Genel Denge analizinin parametre seçimlerine olan duyarlılığı nedeniyle bu iki çalışmanın yorumlanmasının oldukça dikkatli olması gerektiğine işaret etmektedir.

Li ve Yonglei (2012), 1978-2007 dönemine ait verileri kullanarak ve Solow büyüme modeli bağlamında Cobb-Douglas fonksiyonunu tahmin ederek, Çin'deki üç endüstri için enerji geri tepmesi etkisini araştırmaktadır. Sonuçlara göre, Çin'in son yıllarda politika yapıcılar tarafından göz ardı edilmemesi gereken nispeten büyük bir geri tepme etkisinin ortaya çıktığı görülmektedir. Ayrıca, geri tepme etkisinin artan bir eğilim gösterdiği, 2005 yılı civarında zirveye ulaştığı ve bundan sonra tahmin döneminin sonuna kadar giderek azaldığı ifade edilmektedir. Dahası, 2000-2005 dönemi için geri tepme etkisinin ortalama %24,83 olduğu tahmin edilirken, 2005-2009 dönemi için bu etkinin önemli ölçüde artarak ortalama %133,33'e yükseldiği tespit edilmiştir. Bu durum, küresel mali krizin ardından Çin hükümetinin sanayi sektörlerindeki artan yatırımlarına ve izlenen rahat enerji politikasına bağlanmaktadır.

Adetutu vd. (2016) makroekonomik geri tepme etkisinin tahmini için iki aşamalı bir yaklaşım yaklaşımı önermektedirler. İlk aşamada, 1980-2010 dönemi için 55 ülkeden oluşan bir grup seçilerek teknik verimliliğe ilişkin tahminler toplamak amacıyla bir Shephard Enerji Mesafe Fonksiyonu kullanılmakta; ikinci aşamada ise bu tahminler dinamik bir panel veri yapısı içerisinde bağımsız değişken olarak belirlenerek, kısa ve uzun vadede ekonomi genelinde geri tepme etkisi tahmin edilmektedir. Ampirik bulgular, kısa ve uzun vadede sırasıyla %36 ve %90 arasında değişirken, paneldeki gelişmekte olan ülkeler için tahminler biraz daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca çalışmada, geri tepme etkisi hesaba katılmadığında, potansiyel enerji verimliliği tasarruflarının politika yapıcılar tarafından tam olarak gözlemlenemeyeceğine dikkat çekilmektedir.

Topallı ve Buluş (2016) Türkiye'deki enerji verimliliği ile ilgili gelişmelerin hane halkı düzeyindeki elektrik tüketimi üzerindeki etkilerini Auto-Regressive Distributed Lag (ARDL) yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. 1964 ile 2009 yılları arasındaki dönemi inceleyen çalışmada, hane halkı elektrik tüketimindeki geri tepme etkisinin %18 seviyesinde ve oldukça düşük görülmektedir.

Wei ve Liu (2017) küresel geri tepme etkisini 1995-2009 arasındaki veri setini kullanarak Hesaplanabilir Genel Denge modeli ile tahmin etmektedir. Çalışma temel olarak enerji verimliliğindeki iyileşmenin neden olduğu enerji tüketimi ve ilgili emisyonlar üzerindeki küresel geri tepme etkilerini incelemektedir. Sonuçlar, 2040 yılı için enerji kullanımı sürecinde %70 ve emisyonlar üzerinde %90 civarında oldukça yüksek bir geri tepme etkisinin olduğunu göstermektedir.

Jin ve Kim (2019) ise makroekonomik büyümenin enerji geri tepme etkisini tahmin etmek için yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmada, veri zarflama analizi kullanılarak, standart makroekonomik büyüme sonucu oluşan geri tepme etkisi tahmininin aksine, diğer üretim faktörleri de dikkate alınmaktadır. Kore özelinde 1971'den 2012'ye kadar olan dönem için enerji arzı, sermaye stokları ve işgücü tarafından desteklenen ekonomik büyüme ve üretim faktörlerine ilişkin zaman serisi verileri ile yapılan analiz sonucunda, çoğu yıl için %1'lik bir geri tepme etkisinin olduğu görülmektedir. Sonuçlar, ekonomi durgunluk içindeyken veya enerji fiyatlarında bir şok yaşandığında enerji geri tepme etkisinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, incelenen dönem için Kore'de enerji israfı bulunmaktadır ki bu da enerji geri tepme etkisi tanımıyla tutarlıdır.

Mahapatra ve Irfan (2021) 1990-2017 dönemini kapsayan 28 gelişmiş ve 34 gelişmekte olan ekonomi için enerji verimliliğinin karbon emisyonları üzerindeki asimetric uzun vadeli ve kısa vadeli etkilerini incelemektedir. Asimetrikler, doğrusal olmayan bir panel otoregresif dağıtılmış gecikme modellemesi çerçevesi kullanılarak araştırılmaktadır. Ampirik bulgulara göre, uzun vadede enerji verimliliğindeki %1'lik artış, karbon emisyonlarında gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomiler için sırasıyla %1,24 ve %1,19 oranında düşüşe yol açmaktadır. Diğer taraftan, enerji verimliliğindeki benzer bir artış, karbon emisyonlarında gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomiler için sırasıyla %0,37 ve %1,06 oranında artışa neden olmaktadır. Sonuç olarak, kısa vadeli etkilerin hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ekonomiler için simetrik olduğu görülmektedir.

Cansino vd. (2022) yapısal ayrıştırma analizini kullanarak 2000-2014 dönemi için İspanya özelinde geri tepme etkisini incelemektedirler. Başlıca bulgular, toplam geri tepme etkisinin yaklaşık %10 ile %50 arasında değiştiğini göstermektedir. Geri tepmenin direkt geri tepme etkisi ile açıklanan kısmı %10 civarındadır. Dolaylı geri tepme etkisi ise %1,2 ile %1,8 arasında değerler göstermektedir. Son olarak, ekonomik genel geri tepme etkisi % -4,51 ile %40 arasında değişirken, söz konusu dönem için net bir eğilim göstermemektedir.

Mirza vd. (2022) 1990-2016 yılları arasında 30 gelişmekte olan ülke için çevresel Kuznets eğrisi çerçevesinde enerji verimliliğinin karbon emisyonları üzerindeki etkilerini ampirik olarak incelemektedirler. Bulgular, enerji verimliliği iyileştirmelerinin karbon emisyonlarının azaltılması üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde ise gelişmekte olan ülkelerde, uzun vadede karbon emisyonları ile enerji verimliliği arasında pozitif, yapısal değişimler arasında ise negatif bir ilişki olduğu sonucuna varılmaktadır. Sonuç olarak, enerji verimliliğinin karbon emisyonlarının azaltılmasına en büyük katkıyı sağladığını ortaya koyulmaktadır.

Jafari vd. (2022) yapısal bir vektör otoregresif model ve 1988:3 ile 2018:1 arasındaki üç aylık verileri kullanarak İran için ekonomi genelindeki toparlanma etkisini tahmin etmektedirler. Sonuçlar, bir enerji verimliliği şokuna yanıt olarak enerji kullanımının başlangıçta düştüğünü, ancak zaman içinde orijinal seviyesine yakın bir seviyeye geri döndüğünü göstermektedir. Bu bağlamda, İran için ekonomi genelindeki toparlanma etkisi 6 yıl sonra %84 olarak hesaplanmıştır. Bu da enerji

verimliliği inovasyonunu teşvik eden politikaların enerji kullanımı üzerinde uzun vadeli etkisinin sınırlı olacağı anlamına gelmektedir.

Irfan vd. (2023) enerji verimliliği kazanımlarının karbon emisyonları üzerindeki etkisini incelerken, finansal gelişmeyi geri tepme etkilerinin boyutunu belirlemede uygun bir faktör olarak ele almaktadırlar. 1992 ve 2017 yılları arasında gözlemlenen 28 gelişmiş ve 27 gelişmekte olan ekonomiden oluşan bir veri seti ile finansal kurum ve piyasalardaki gelişme boyutu ele alınmıştır. Panel ARDL yöntemi kullanılan çalışmanın sonuçları uzun vadede, gelişmiş ekonomilerin finansal piyasalarındaki gelişme sonucunda enerji verimliliği iyileştirmelerinin karbon emisyonları üzerindeki etkisini olumsuz yönde etkilediğini belirtmektedir. Finansal kurumlardaki gelişme ise gelişmekte olan ekonomilerde enerji verimliliği iyileştirmelerinin karbon emisyonları üzerindeki etkisini olumsuz yönde etkilemektedir.

Son olarak, Wenlong vd. (2023) bir taraftan son yıllarda güçlü ekonomik gelişme performansı sergileyen, diğer taraftan ise bu büyümenin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin görüldüğü 10 Asya ülkesinde enerji verimliliği, teknolojik yenilikler, ticari açıklık ve kurumsal kalite gibi bazı önemli faktörlerin çevre üzerindeki etkisini ampirik olarak analiz etmeye çalışmaktadırlar. 1995-2018 döneminin baz alındığı çalışmadan elde edilen bulgulara göre hem ticari açıklığın hem de kurumsal kalitenin zararlı etkiye sahip olduğu, enerji verimliliği ve teknolojik yeniliklerin ise seçilen ekonomilerde çevresel kalite üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Çalışmanın konusu ile ilgili literatür genel olarak değerlendirildiğinde, enerji tüketimini azaltmak ve dolayısıyla karbon emisyonlarını ortadan kaldırmak için enerji verimliliğini artırarak zarar verici iklim etkilerini iyileştirmeyi amaçlayan politikaların, geri tepme etkileri dikkate alınmadığı takdirde yanlış yönlendirilebileceği ortaya çıkmaktadır. Yukarıda geniş bir biçimde ele alındığı üzere, enerji ekonomisi literatüründe geri tepme etkilerine ilişkin önemli miktarda çalışma bulunmaktadır ve bu çalışmalarda geri tepme olgusunu ölçmek için çeşitli teknikler uygulanmıştır. Geri tepme etkisinin teorik çerçevesi ve varlığı yaygın olarak kabul edilse de büyüklüğü, çalışmalarda kullanılan verilere ve yöntemlere bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Çalışmaların niteliği ve niceliği açısından, doğrudan etkiler için dolaylı etkilerden daha fazla ampirik kanıt bulunmaktadır, ancak makroekonomik geri tepme etkileri konusunda göreceli bir eksiklik söz konusudur. Ayrıca, gelişmekte olan ülkelere ait çalışmaların görece daha az olması dikkat çekmektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada literatürden farklı olarak gelişmekte olan ülkelere ilişkin geniş bir panel veri seti kullanılarak 1989-2018 dönemi için enerji verimliliği tahmini yapılmaktadır.

### **3. Metodoloji, Ekonometrik Model ve Veri Seti**

Daha önce belirtildiği üzere, bu çalışmada, Filippini ve Hunt (2011, 2012) tarafından önerilen enerji talebi modellemesi ve sınır analizi yaklaşımlarını sentezleyen bir toplam sınır enerji talebi fonksiyonunun tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Gelir, enerji fiyatı, iklim etkileri, ekonominin büyüklüğü ve

yapısının yanı sıra dışsal teknik ilerleme ve diğer dışsal faktörler gibi ülkeler arasında farklılık gösterebilen ve enerji talebini etkileyebilecek ekonomik ve diğer faktörler kontrol edildikten sonra çalışmada kullanılan analiz yöntemi ile enerji verimliliği tahmin edilmektedir. Ayrıca, Filippini ve Greene (2016) tarafından önerilen ve geliştirilen ekonometrik tekniklerin kullanılması, kalıcı ve geçici enerji verimliliğinin eş zamanlı olarak tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır. Enerji verimliliğinin geçici ve kalıcı bileşenleri arasındaki fark, politika perspektifinden bakıldığında, farklı verimsizlik kaynaklarına işaret ettiğinden dolayı oldukça önemlidir. Dolayısıyla, bu durumun tespiti politika yapımcılar tarafından farklı stratejilerin uygulanması olanağını sağlamaktadır.

Enerji talebi başlı başına bir talep olmayıp türev bir taleptir. Özellikle toplam enerji talebi, bir ekonominin ısıtma, soğutma, aydınlatma, hareket vb. enerji hizmetlerine olan talebinden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda enerji, emek ve sermaye ile birlikte arzu edilen bir üretim düzeyi için girdi olarak değerlendirilebilir. Teorik açıdan değerlendirildiğinde, böyle bir fonksiyonun stokastik sınır çerçevesinde tahmini, teknik verimlilik düzeyi hakkında bilgi sağlarken, maliyet sınırı fonksiyonunun tahmini, genel üretken verimliliğin tahmin edilmesine olanak tanımaktadır. Evans vd. (2013) ile Filippini vd. (2014), bazı girdiler veya girdi fiyatları üzerindeki veri sınırlamaları nedeniyle yalnızca bir girdi talep fonksiyonunu, özellikle de enerji talebi fonksiyonunu tahmin etmenin mümkün olduğunu öne sürmektedirler. Bu durumda sınır, bir ekonominin istenilen düzeyde enerji hizmeti üretmek için kullanabileceği minimum enerji düzeyini vermekte ve gerçek enerji talebi ile tahmin edilen sınır arasındaki fark, enerji kullanımındaki verimsizliği temsil etmektedir.

Buradan hareketle, Filippini ve Hunt (2011, 2012) aşağıdaki toplam enerji talebi fonksiyonu belirlemiştir:

$$ET_{it} = E(F_{it}, G_{it}, N_{it}, A_i, IGD_{it}, SGD_{it}, SS_{it}, TS_{it}, TETT_t, EV_{it}) \quad (2)$$

Burada  $ET_{it}$  i ülkesinin t yılındaki nihai toplam enerji tüketimini temsil eder,  $F_{it}$  reel (2000=100) enerji fiyatlarını,  $G_{it}$  GSYİH,  $N_{it}$  nüfus,  $A_i$  ise her ülkenin alan büyüklüğüdür ve zaman içinde sabittir.  $IGD_{it}$  ve  $SGD_{it}$  sırasıyla sıcak ve soğuk gün sayılarını belirtirken,  $SS_{it}$  ve  $TS_{it}$  sırasıyla sanayi ve tarım sektörlerinin toplam ekonomi içerisindeki paylarını göstermektedir.  $TETT_t$  teknik ilerlemenin ortak etkisini ve tüm ülkeleri aynı anda etkileyen diğer gözlemlenmeyen dışsal faktörleri yakalayan Temel Enerji Talebi Trendi olarak tanımlanmaktadır. Son olarak  $EV_{it}$ , paneldeki her ülkelerin enerji verimliliği performanslarının gözlemlenmeyen seviyesini göstermektedir.

Ancak  $EV_{it}$  doğrudan gözlemlenemediğinden dolayı tahmin edilmesi gereken bir parametredir. Bu nedenle Aigner vd. (1977) tarafından ortaya atılan stokastik sınır yaklaşımı, her ülkenin enerji verimsizliği seviyesinin bir regresyon kalıntısı olarak tahmin edildiği ve yarı normal dağılımdan sonra tek taraflı, negatif olmayan bir terimle yaklaşık olarak tahmin edilebildiği durumlarda kullanılmaktadır.

Eşitlik (2)'nin panel log-log fonksiyonu aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$et_{it} = \beta + \beta^f f_{it} + \beta^g g_{it} + \beta^n n_{it} + \beta^a a_i + \beta^{igd} igd_{it} + \beta^{sgd} sgd_{it} + \beta^{ss} ss_{it} + \beta^{ts} ts_{it} + \beta^t t + \beta^{t^2} t^2 + u_{it} + v_{it} \quad (3)$$

Burada  $et_{it}$  nihai toplam enerji tüketiminin doğal logaritması,  $f_{it}$  enerji fiyatının doğal logaritması,  $g_{it}$  GSYİH'nin doğal logaritması,  $n_{it}$  nüfusun doğal logaritmasını,  $a_i$  alan büyüklüğünün doğal logaritmasını temsil etmektedir. Ayrıca  $igd_{it}$  ve  $sgd_{it}$  sırasıyla sıcak ve soğuk gün sayılarının doğal logaritmasını gösterirken,  $ss_{it}$  ve  $ts_{it}$  sanayi ve tarım sektörünün katma değer paylarını vermektedir.  $t$  ve  $t^2$  ise TETT'yi temsil eden ve doğrusal olmayan bir zaman trendidir. Son olarak, Eşitlik 3'teki hata terimi iki bağımsız bileşenden oluşur.  $v_{it}$  beyaz gürültü etkisini içerisinde barındıran simetrik bir bozulmayı temsil eder ve normal dağılıma sahip olduğu varsayılmaktadır.  $u_{it}$  ise atık enerjiyi temsil eder ve tek taraflı negatif olmayan bir bozulma ile yarı normal dağılımı takip eden bir parametre olduğu varsayılmaktadır.

Bu çalışmanın bir diğer amacı ise neoklasik büyüme teorisine dayalı olarak ekonomi çapında bir geri tepme etkisini tahmin etmektedir. Saunders (2000) makroekonomik geri tepme etkisinin teorik çerçevesini ve açık bir tanımını sunmaktadır. Saunders'a (2000) göre, enerji verimliliğindeki iyileştirmelerden elde edilen enerji tasarrufu, enerji verimliliğindeki değişikliklere göre enerji kullanımının esnekliği olarak tanımlanabilir. Bu durum Eşitlik 4'te matematiksel olarak ifade edilmektedir.

$$\gamma^{ET} = \frac{\partial ET}{\partial EV} \quad (4)$$

Burada,  $ET$  enerji tüketim seviyesini,  $EV$  ise enerji verimliliğini temsil etmektedir. Eşitlikteki bilgiler çerçevesinde geri tepme aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$GT = 1 + \gamma^{ET} \quad (5)$$

Neoklasik büyüme teorisine dayanan iki aşamalı ekonometrik bir yaklaşım benimseyen bu çalışmada ilk olarak gelişmekte olan ülkelerden oluşan bir panelde enerji verimliliği düzeyini tahmin etmek için Stokastik Sınır Analizi kullanılarak enerji verimliliği esnekliği  $\gamma^{ET}$  tahmin edilmektedir. İkinci aşamada ise bu verimlilik hesaplamaları, ekonomi genelindeki kısa ve uzun vadeli geri tepme etkilerini tahmin etmek için dinamik bir panel veri çerçevesinde açıklayıcı değişkenler olarak kullanılmaktadır.

Ekonomi genelindeki geri tepme etkisinin büyüklüğünü tahmin etmek için öncelikle Arellano ve Bond (1991) tarafından geliştirilen Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi uygulanarak dinamik bir panel enerji talebi modeli tahmin edilmektedir. Dinamik modelin log-log spesifikasyonu aşağıdaki şekildedir.

$$\ln ET_{it} = \delta_0 + \theta \ln ET_{it-1} + \delta_F \ln F_{it} + \delta_G \ln G_{it} + \delta_{EV} \ln EV_{it} + \delta_t + \delta_{fev} F_{it} EV_{it} + \delta_{gev} G_{it} EV_{it} + \delta_{fg} F_{it} G_{it} + (\epsilon_i + \omega_{it}) \quad (6)$$

Burada  $ET_{it}$ ,  $i$  ülkesinin  $t$  zamanındaki toplam enerji tüketimi düzeyidir ve  $ET_{it-1}$ , modelde açıklayıcı değişken olarak tanımlanan  $ET$ 'nin bir dönem gecikmeli değeridir. Ayrıca, enerji fiyatları  $F_{it}$ ,  $t$  zamanında her ülkenin GSYİH'si  $G_{it}$ , ve stokastik sınır analizi ile birinci aşamada tahmin edilen enerji verimliliği ise  $EV_{it}$  ile

gösterilmektedir. Son olarak,  $\delta$  katsayılarının değerleri enerji verimliliğindeki değişimlere göre enerji talebinin esnekliğinin hesaplanmasında kullanılmakta ve model tarafından tahmin edilmektedir.

Eşitlik 4'teki Saunders (2000) tarafından geliştirilen yöntemle elde edilen geri tepme etkisi formülünden faydalanılarak, Eşitlik 6'da bulunan kısa ve uzun vadeli esneklikler aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\gamma_{KD}^{ET} = \frac{\partial \ln ET}{\partial \ln EV} = \delta_{ev} + \delta_{fev} F_{it} + \delta_{gev} G_{it} \quad (7)$$

$$\gamma_{UD}^{ET} = \frac{\delta_{ev} + \delta_{fev} F_{it} + \delta_{gev} G_{it}}{1 - \tau} \quad (8)$$

Burada, Eşitlik 7 ve 8, Eşitlik 4'te yerine koyulduğunda, kısa vadeli ve uzun vadeli ekonomi çapında geri tepme etkisi sırasıyla  $GT_{KD} = 1 + \gamma_{KD}^{ET}$  ve  $GT_{UD} = 1 + \gamma_{UD}^{ET}$  şeklinde bulunabilir.

Çalışmada, 1989'dan 2018'e ( $t = 1989; \dots; 2018$ ) kadarki süre kapsamında 17 seçili gelişmekte olan ülkeden ( $i = 1; \dots; 17$ ) oluşan bir panel veri seti kullanılmaktadır. Tablo 1'de analizde kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikleri sunulmaktadır.

Tablo 1: Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	Sembol	Ortalama	Standart Sapma
Toplam Nihai Enerji Tüketimi (ktep)	<i>ET</i>	65.203	167.155
Reel Enerji Fiyatları (\$, 2000=100)	<i>F</i>	108,25	950,354
GSYİH (milyar \$, 2000=100)	<i>G</i>	450,36	42,125
Nüfus (milyon)	<i>N</i>	102,16	278,785
Sanayi Sektörü Katma Değeri (% GSYİH)	<i>SS</i>	16,12	11,356
Tarım Sektörü Katma Değeri (% GSYİH)	<i>TS</i>	38,25	11,789
Alan Büyüklüğü (km <sup>2</sup> )	<i>A</i>	1.450.142	2.986.358
Sıcak Gün Sayısı	<i>IGD</i>	19.765	15.762
Soğuk Gün Sayısı	<i>SGD</i>	6.456	4.357

Çalışmada kullanılan veri seri çeşitli kaynaklardan toplanarak oluşturulmuştur. *ET*, *F*, *G* ve *N* değişkenleri Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yayımlanan Dünya Enerji Dengeleri (World Energy Balances) veri tabanından elde edilmiştir (IEA, 2021b). Ayrıca, sırasıyla sanayi katma değeri ve tarımsal katma değeri ifade eden *SS* ve *TS* verileri ile kilometrekare (km<sup>2</sup>) cinsinden arazi alanı olan *A* verileri, Dünya Bankası'nın Dünya Kalkınma Göstergeleri (World Development Indicators) veri tabanından alınmıştır (Dünya Bankası, 2021). Fiyat verisi (*F*) ise Uluslararası Çalışma Örgütü İstatistikleri veri tabanından toplanan verilerdir (Uluslararası Çalışma Örgütü, 2021). *ISD* ve *SGD* parametreleri için toplanan veriler ise Kral Abdullah Petrol Çalışmaları ve Araştırma Merkezi'nin küresel derece veri setinden elde edilmiştir. (Kral Abdullah Petrol Çalışmaları ve Araştırma Merkezi, 2019).

Bunun yanı sıra, çalışmada kullanılan ülkeler gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için Uluslararası Para Fonu sınıflandırmasına göre seçilmişlerdir (IMF, 2021). Ayrıca, ülke sayısı ve zaman kısıtı verilerin uygunluğuna göre belirlenmiştir.

Ülkeler analize dahil edilirken her birinin enerjisi verimsiz bir şekilde kullandığı ile ilgili bazı kriterleri karşılamaları ön koşul olarak aranmıştır. Elektriğe erişimin ve kişi başına enerji kullanımının düşük olduğu ülkelerde enerji kaynaklarını aşırı kullanmak yerine az kullanma olasılığı daha yüksek olduğundan dolayı veri seti oluşturulurken elektriğe erişim ve kişi başına enerji kullanımı gibi göstergeler titizlikle incelenmiştir. Bu kriterleri ele alarak enerjinin verimsiz bir şekilde kullanıldığı ülke grubu belirlenmiştir. Çalışmada kullanılmak üzere seçilen ülkeler Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2: Analizde Kullanılan 17 Gelişmekte Olan Ülke Grubu

Azerbaycan	İran	Suudi Arabistan
Cezayir	Kazakistan	Tunus
Ermenistan	Kırgızistan	Türkiye
Fas	Kongo	Umman
Güney Afrika	Mısır	Ürdün
Gürcistan	Suriye	

#### 4. Ampirik Bulgular

Bu çalışmada öncelikle iki farklı model ele alınarak aralarında performans bakımından tercih yapılmıştır. Bunlardan ilki; verimsizlik bileşeninin varyansında dışsal değişkenleri birleştiren tek koşullu değişen varyans (*TKDV*) modelidir. İkincisi ise hata teriminin varyansının dışsal değişkenler kümesinden etkilendiğini varsayan çift koşullu değişen varyans (*ÇKDV*) modelidir. Söz konusu iki model arasındaki tercihe karar vermek için modellerin performansı hem ekonometrik hem de teorik olarak kontrol edilmektedir. Modeller ilk olarak sağlamlık, ki-kare dağılımını ve Wald testini yaklaşık olarak takip eden olabilirlik oranı (LR) kullanılarak incelenmektedir. Ardından ise kabul edilen modelin teorik tercihi, uygunluk koşullarını ne ölçüde sağladığı incelenerek değerlendirilmektedir. Tablo 3 her bir sağlamlık testi için istatistikler ve sonuçlar sunulmaktadır.

Tablo 3: Tercih Edilen Model İçin Sağlamlık Testleri

	LR	Kritik Değer (%)	Wald	p-değeri (%5)	Karar
Çift değişen varyansın varlığı ( <i>TKDV</i> ve <i>ÇKDV</i> ) $H_0: \sigma_\omega = \text{sabit}$	285,856	25,941	45,254	0,000	$H_0$ ret

Burada dışsal değişkenlerin her iki hata bileşenini de etkilediği varsayılarak, *ÇKDV* modeli, *TKDV* modelinin sınırsız bir varyasyonu olarak, iki yönlü hata teriminin varyansındaki parametrelerin sabit olduğu boş hipotezi altında test edilmektedir. 285,85 olarak hesaplanan LR istatistiği %5 anlamlılık seviyesinde 25,941 kritik değerini aştığından dolayı boş hipotez olan modeldeki artıkların sabit olması durumu reddedilmektedir. Dolayısıyla, dışsal değişkenlerin hem verimsizlik parametresini hem de hata terimlerini çift yönlü olarak etkilediği, çift koşullu



değişen varyans (ÇKDV) modeli çalışmada kullanılan analizler için uygun model olarak belirlenmiştir.

Ayrıca analizde kullanılan modellerden elde edilen tahmini enerji odaklı teknik verimliliğe ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 4’te sunulmaktadır. Tercih edilen modelin (ÇKDV) tahmin edilen ortalama teknik verimliliği 0,15 standart sapma ile %85 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4: Tanımlayıcı İstatistikler

Model	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
TKDV	0,74	0,22	0,279	0,997
ÇKDV	0,85	0,15	0,295	0,999

Analizde kullanılan modele göre, ortalama enerji odaklı teknik verimlilik puanları ve ülkelerin göreceli sıralaması Tablo 5’te sunulmaktadır. Bu sonuçlar ışığında Kongo, Umman, Suudi Arabistan, Mısır ve Cezayir’in ortalama olarak paneldeki en verimli ülkeler arasında yer aldığı, Kırgızistan, Ermenistan, Azerbaycan, Kazakistan ve Gürcistan’ın ise en az verimli ülkeler arasında yer aldığı görülmektedir.

Tablo 5: Seçili Ükelere Ait Ortalama Tahmini Enerji Verimliliği Skorları ve Göreceli Sıralama

Ülke	Verimlilik Skoru	Sıralama
Azerbaycan	0,692	15
Cezayir	0,946	5
Ermenistan	0,594	16
Fas	0,932	6
Güney Afrika	0,883	8
Gürcistan	0,739	13
İran	0,847	10
Kazakistan	0,693	14
Kırgızistan	0,566	17
Kongo	0,999	1
Mısır	0,962	4
Suriye	0,819	12
Suudi Arabistan	0,965	3
Tunus	0,873	9
Türkiye	0,824	11
Umman	0,992	2
Ürdün	0,922	7

Enerji verimliliği hesaplamalarının ardından seçili ülke grubu için geri tepme etkisi analiz edilmektedir. Tahmin edilen iki aşamalı Genelleştirilmiş Momentler Yönteminin sonuçları Tablo 6’da sunulmaktadır. Analiz sonucunda elde edilen katsayılarından zaman eğilim katsayısı haricinde hepsinin beklenen işarete sahip olduğu ve istatistiksel olarak en az %10 önem düzeyinde anlamlı olduğu

görülmektedir. Ayrıca, artıklar üzerinde otokorelasyon testi yapılmaktadır. Birinci farklarda AR(1) süreci testi genellikle sıfır hipotezini reddetmektedir. Ancak AR(2) sürecindeki otokorelasyonun tespit edilmesi, Genelleştirilmiş Momentler Yönteminin güvenilir olması bakımından daha tutarlı sonuçlar vermektedir. AR(2) testinde 0,58'lik p-değeri göz önüne alındığında, hata terimleri arasında otokorelasyon olmadığını ifade eden boş hipotez reddedilemez. Buna göre tahmin edilen modelde bulunan artıklar birbirleriyle ilişki içerisinde değildir yorumu yapılabilir.

Tablo 6: Genelleştirilmiş Momentler Yönteminin Sonuçları

Bağımlı Değişken: ET	Hesaplanan Katsayılar
$et_{t-1}$	0,7285*** (0,0617)
$f$	-0,0658* (0,0151)
$g$	0,2823*** (0,0569)
$ev$	-0,4934*** (0,1328)
$f * ev$	0,0004* (0,0002)
$g * ev$	-0,0002* (0,0000)
$f * g$	0,000000280* (0,00000)
$t$	1,5118 (0,4279)
Örnek sayısı	17
AR(1)	0,003
AR(2)	0,584

Notlar: 1. \*\*\* %1 düzeyinde anlamlı, \*\* %5 düzeyinde anlamlı, \* %10 seviyesinde anlamlı manasına gelmektedir.

2. standart hataları parantez içerisinde verilmektedir.

3. Ekonometrik analiz STATA 11 programı ile yapılmıştır.

Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi ile yapılan analizin ardından dinamik panel veri yöntemi yoluyla tahmin edilen katsayılar, metodoloji kısmında açıklandığı gibi kısa ve uzun dönem enerji verimliliği esnekliklerinin hesaplanmasında kullanılabilir. Bu hesaplamalar sonucunda verimlilik esneklikleri kısa ve uzun dönem için sırasıyla -%43,6 ve -%188,4 olarak bulunmuştur. Bu oranlar örneklem ortalamasında kısa ve uzun vadede sırasıyla %56,4 ve %88 seviyesinde geri tepme etkilerinin varlığını göstermektedir. Ayrıca, paneldeki her bir ülke için geri tepme etkilerini tahmin etmek amacıyla nokta verimlilik esneklikleri hesaplanır. Tablo 7'de her ülke için ortalama kısa ve uzun vadeli geri tepme etkisi hesaplamaları vermektedir.

Tablo 7: Tahmini Ortalama Kısa ve Uzun Dönem Geri Tepme Etkileri (%)<sup>2</sup>

Ülke	Kısa Dönem Geri Tepme Etkisi	Uzun Dönem Geri Tepme Etkisi
Azerbaycan	58,25	-75,23
Cezayir	59,23	-88,58
Ermenistan	54,15	-79,27
Fas	61,05	-77,26
Güney Afrika	58,57	-86,12
Gürcistan	59,91	-78,95
İran	55,45	-95,68
Kazakistan	58,80	-84,29
Kırgızistan	61,12	-72,22
Kongo	60,12	-76,49
Mısır	58,66	-87,32
Suriye	58,54	-79,59
Suudi Arabistan	52,76	-93,75
Tunus	58,68	-74,53
Türkiye	55,89	-79,73
Umman	58,33	-75,68
Ürdün	59,85	77,80

Ortalama geri tepme etkisi hesaplamalarından elde edine bulgular, kısa vadede Suudi Arabistan, Ermenistan, İran ve Türkiye'nin enerji verimliliği artışı sonrası enerji tüketimlerini azaltmada iyi bir performans sergilediklerini göstermektedir. Uzun dönemde ise İran, Suudi Arabistan, Cezayir ve Mısır'ın enerji verimliliklerindeki artışla birlikte enerji tüketimlerini azaltmaları noktasında diğer ülkelerden pozitif şekilde ayrıştıkları gözlemlenmektedir.

##### 5. Sonuç ve Değerlendirme

Günümüz küresel sistemi içerisinde enerji kaynakları en önemli girdi olarak nitelendirilmektedir. Enerji politikaları ise söz konusu kaynakların etkin, uygun maliyetli ve verimli kullanılması üzerine inşa edilmektedir. Etkili enerji politikaları üretmek için ülkeler arasındaki enerji verimliliği olgusunun doğru ölçülmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, çalışmanın temel amacı 1989 ile 2018 dönemini kapsayan panel veri seti kullanılarak Afrika, Avrasya ve Ortadoğu bölgelerinde bulunan seçili 17 gelişmekte olan ülkenin göreceli toplam enerji verimliliğini ve sonrasında da bu ülkelerdeki geri tepme etkilerini analiz etmektedir.

Çalışmanın analiz kısmında iki aşamalı bir metodoloji kullanılmaktadır. İlk aşamada, Stokastik Sınır Analizi yaklaşımı kullanılarak enerji odaklı verimlilik düzeyleri tahmin edilmektedir. Daha sonra, tahmin edilen verimlilik düzeyleri, iki aşamalı bir Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi yaklaşımı ile enerji talebinin kısa

<sup>2</sup> Buradaki hesaplamalar, enerji verimliliğindeki %100'lük bir artış sonucunda olacağı tahmin edilen tüketimdeki yüzdesel artış olarak ifade edilir.

ve uzun vadeli verimlilik esnekliğini hesaplamak için dinamik panel enerji talebi modelinde regresör olarak kullanılmaktadır. Ardından ise söz konusu verimlilik esnekliklerinden kısa ve uzun vadeli geri tepme etkileri hesaplanmaktadır.

Elde edilen ampirik bulgular, incelenen ülke grubundaki ortalama verimlilik skorunun yaklaşık %84 olduğunu göstermektedir. Bu oran, ilgili ülkelerin ortalama olarak 1 birim çıktı üretmek için 0,84 birim enerji kullanıldığını, yani enerjiyi verimli bir şekilde tükettiklerini göstermektedir. Buna ek olarak, çalışmanın sonuçları ortalama olarak geri tepme etkisinin, kısa vadede enerji verimliliği iyileştirmelerinden elde edilen enerji tasarruflarının %50'sinden fazlasını aşındırabileceğini öne sürmektedir. Tahmin edilen uzun vadeli geri tepme etkileri, enerji verimliliği kazanımlarının uzun dönemde enerji tüketiminde orantılı bir azalmayı teşvik edeceğini göstermektedir. Bu sonuç aslında gelişmekte olan ülkelerde enerji talebini azaltmak için enerji verimliliğine ilişkin dikkate değer bir potansiyeli vurgulamaktadır.

Çalışmanın bir diğer sonucu ise zengin ülkelerin enerjiyi daha verimli kullanma eğiliminde olduğudur. Artan enerji verimliliğinin, hem uzun vadeli ekonomik büyümenin hem de enerji tedarik karışımının karbondan arındırılmasının kritik bir itici gücü olduğu açıktır. Daha yüksek ekonomik büyüme oranları genellikle daha yüksek enerji verimliliği oranlarına yol açmaktadır. Zira, büyüme enerji talebinde daha hızlı bir artışı beraberinde getirirken, mevcut sermaye stokunun devir hızını da artırmaktadır. Böylece, daha verimli ve daha az karbon yoğunluğu olan yeni teknolojilerin kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Literatürden farklı olarak bu çalışmada Filippini ve Greene (2016) tarafından ortaya konulan yeni bir yaklaşım ile enerji verimliliği düzeyinin geçici ve kalıcı etkilerini ölçmeye yarayan bir model kullanılmıştır. Bu nedenle çalışmanın literatüre ekonometrik açıdan katkı sağlaması beklenmektedir. Ayrıca, bilindiği kadarıyla Afrika, Avrasya ve Ortadoğu bölgelerinde bulunan gelişmekte olan ülkelere ilişkin geniş bir panel veri seti üzerine yapılan ilk çalışma olması nedeniyle literatürden ayrılmaktadır. Neredeyse tüm gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin karbon salınımlarını sınırlamayı taahhüt ettikleri Aralık 2015'teki Paris Anlaşması sonrasında, bu çalışma, dünya çapındaki politika yapıcıların strateji geliştirmeleri ve yanılıcı kararlardan kaçınmaları için çerçeve ve rehberlik sunabilir. Dahası, bu tür bir analizden elde edilen sonuçlar, çevresel kaygıların hakim olduğu bir dünyayı yakından ilgilendirmektedir.

Gelişmekte olan ekonomilerde, petrol ve kömür gibi geleneksel fosil yakıtlardan doğal gaz gibi daha modern fosil yakıtlara ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik üretimine geçiş sürecinin önümüzdeki yüzyılın büyük bölümünde devam etmesi beklenmektedir. Gelişmekte olan dünyanın bu modernizasyonu, hem enerji arzı karışımının çeşitlenmesine hem de enerjinin kullanılma yollarının çoğalmasına neden olmaktadır. Nispeten daha pahalı, daha düşük karbonlu yakıtlar ekonomik olarak uygun kullanım alanlarına yönlendirildiğinde süreç enerji verimliliğinde artışa ve ekonomi genelinde geri tepme etkisinde düşüşe neden olmaktadır. Dolayısıyla, etkili enerji politikalarının tasarlanıp uygulanabilmesi için ülkeye özgü

özelliklerin ve ihtiyaçların yanı sıra potansiyel enerji verimliliği iyileştirmeleri ve geri tepme etkilerinin büyüklüğünün de dikkate alınması gerekmektedir.

Herhangi bir enerji politikasının nihai hedefi aslında insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının ortadan kaldırılmasıdır. Enerji verimliliği düzeyini hesaba katan politika yapıcılar, enerji tasarrufu ve dolayısıyla karbon emisyonunu azaltmanın potansiyelleri hakkında net bir resme sahip olabilir. Ayrıca politika yapıcılar uygun ve etkili stratejileri tasarlarlarken geri tepme etkisinin büyüklüğünü dikkate almalıdır. Zira, potansiyel geri tepme etkisinin büyüklüğünün, ulusal ve uluslararası enerji politikalarının etkinliğinin değerlendirilmesi açısından hayati önem taşıdığı açıktır. Bu nedenle politika yapıcıların, enerji verimliliği stratejilerini yaparken, potansiyel geri tepme etkilerini tam olarak değerlendirmeleri ve hesaba katmaları gerekmektedir.

Kuşkusuz bu tür politikaların uygulanması, özellikle gelişmekte olan dünyada pratik zorluklarla karşı karşıyadır. Artan enerji fiyatlarının ekonomik refah kaybına yol açabilmesi nedeniyle geliştirilen politikalar her zaman siyasi ve ahlaki engellerle karşılaşacaktır. Bu nedenle, politika yapıcılara daha fazla yardımcı olmak için geri tepme etkisinin sektörel düzeyde ana itici güçlerinin daha derinlemesine araştırılması yerinde olacaktır. Diğer taraftan, bunu gerçekleştirebilmek için ayrıntılı bir veri seti gereklidir ve gelişmekte olan ülkeler söz konusu olduğunda bu önemli bir zorluk olabilir.

### **Kaynakça**

- Adetutu, M., Glass, A., Weyman-Jones, T. (2016), "Economy-Wide Estimates of Rebound Effects: Evidence from Panel Data", *The Energy Journal*, 37(3): 251-269.
- Aigner, D., Lovell, C. A. K., Schmidt, P. (1977), "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models", *Journal of Econometrics*, 6(1): 21-37.
- 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.
- Bhattacharyya, S. C. (2011), *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*, Springer London, London.
- BP (British Petroleum). (2022), "Statistical Review of World Energy 2022", <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (30.07.2023).
- Broadstock, D. C., Li, J., Zhang, D. (2016), "Efficiency Snakes and Energy Ladders: A (Meta-) Frontier Demand Analysis of Electricity Consumption Efficiency in Chinese Households", *Energy Policy*, 91: 383-396.
- Cansino, J. M., Ordóñez, M., Prieto, M. (2022), "Decomposition and Measurement of The Rebound Effect: The Case of Energy Efficiency Improvements in Spain". *Applied Energy*, 306: 117961.

Cantore, N., te Velde, D.W. (2011), “Promoting Energy Efficiency in Developing Countries - New Evidence Based on Firm Analysis”, (Ed.), Cantore, N *Synthesis: Energy Efficiency in Developing Countries for the Manufacturing Sector* içinde, WP 15/2011. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.

Dufournaud, C. M., Quinn, J. T., Harrington, J. J. (1994), “An Applied General Equilibrium (Age) Analysis of a Policy Designed to Reduce the Household Consumption of Wood in the Sudan”, *Resource and Energy Economics*, 16(1): 67-90.

Dünya Bankası (World Bank). (2021), “World Development Indicators”, <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (17.07.2023).

Evans, J., Filippini, M., Hunt, L. C. (2013), “The Contribution of Energy Efficiency Towards Meeting CO2 Targets”, (Ed.), R. Fouquet, *Handbook on Energy and Climate Change* içinde, Edward Elgar Publishing, Oxford, Bölüm 8: 175-223.

Filippini, M., Greene, W. (2016), “Persistent and Transient Productive Inefficiency: A Maximum Simulated Likelihood Approach”, *Journal of Productivity Analysis*, 45(2): 187-196.

Filippini, M., Hunt, L. C. (2011), “Energy Demand and Energy Efficiency in the OECD Countries: A Stochastic Demand Frontier Approach”, *Energy Journal*, 32(2): 59-80.

Filippini, M., Hunt, L. C. (2012), “US Residential Energy Demand and Energy Efficiency: A Stochastic Demand Frontier Approach”, *Energy Economics*, 34(5): 1484-1491.

Filippini, M., Hunt, L. C. (2015), “Measurement of Energy Efficiency Based on Economic Foundations”, *Energy Economics* 52, Supplement 1: 5-16.

Filippini, M., Hunt, L., Zoric, J. (2014), “Impact of Energy Policy Instruments on the Estimated Level of Underlying Energy Efficiency in The EU Residential Sector”, *Energy Policy*, 69: 73-81.

Fouquet, R. (2008), *Heat, Power and Light: Revolutions in Energy Services*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA.

Greening, L. A., Greene, D. L., Difiglio, C. (2000), “Energy Efficiency and Consumption - The Rebound Effect - A Survey”, *Energy Policy*, 28(6): 389-401.

IEA (International Energy Agency-Uluslararası Enerji Ajansı). (2015), “Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency, Technical Report, OECD/IEA”, Paris, [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/capturing-the-multiplebenefits-of-energy-e\\_ciency.html](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/capturing-the-multiplebenefits-of-energy-e_ciency.html) (17.07.2023).

IEA (International Energy Agency-Uluslararası Enerji Ajansı). (2016a), “CO2 Emissions from Fuel Combustion Highlights”, Technical Report, OECD/IEA, Paris.

IEA (International Energy Agency-Uluslararası Enerji Ajansı). (2016b), “Energy Efficiency Indicators Highlights 2016”, Technical Report, OECD/IEA, Paris, <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/energy-efficiencyindicators-highlights-2016.html> (17.07.2023).

IEA (International Energy Agency-Uluslararası Enerji Ajansı). (2021a), “Key World Energy Statistics 2021”, Paris, <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021> (17.07.2023).

IEA (International Energy Agency-Uluslararası Enerji Ajansı). (2021b), “World Energy Balances (Edition 2021)”, IEA World Energy Statistics and Balances (database), <https://doi.org/10.1787/45be1845-en> (17.07.2023).

IEA (International Energy Agency-Uluslararası Enerji Ajansı). (2022), “CO2 Emissions in 2022”, IEA, Paris, <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022> (17.07.2023).

IMF (International Monetary Fund- Uluslararası Para Fonu). (2021), “Country Composition of WEO Groups”, <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2023/April/groups-and-aggregates> (17.07.2023).

IMF (International Monetary Fund- Uluslararası Para Fonu). (2023), *World Economic Outlook 2023 Edition*, Washington, USA.

Irfan, M., Mahapatra, B., Ojha, R. K. (2023). “Energy Efficiency and Carbon Emissions in Developed and Developing Economies: Investigating the Moderating Role of Financial Development”, *Journal of Quantitative Economics*, 21:437-455.

Jafari, M., Stern, D. I., Bruns, S. B. (2022). “How Large is the Economy-Wide Rebound Effect in Middle Income Countries? Evidence from Iran”, *Ecological Economics*, 193, 107325.

Jimenez, R., Mercado, J. (2014), “Energy Intensity: A Decomposition and Counterfactual Exercise for Latin American Countries”, *Energy Economics*, 42: 161-171.

Jin, T., Kim, J. (2019), “A New Approach for Assessing the Macroeconomic Growth Energy Rebound Effect”, *Applied Energy*, 239: 192-200.

Kral Abdullah Petrol Çalışmaları ve Araştırma Merkezi (King Abdullah Petroleum Studies and Research Centre). (2019), “A Global Degree Days Database for Energy-Related Applications”. <https://datasource.kapsarc.org/pages/home/> (17.07.2023).

Li, L., Yonglei, H. (2012), “The Energy Efficiency Rebound Effect in China from Three Industries Perspective”, *Energy Procedia*, 14: 1105-1110.

Lin, B., Du, K. (2013), “Technology Gap and China’s Regional Energy Efficiency: A Parametric Meta Frontier Approach”, *Energy Economics*, 40: 529-536.

Lundgren, T., Marklund, P.-O., Zhang, S. (2016), “Industrial Energy Demand and Energy Efficiency: Evidence from Sweden”, *Resource and Energy Economics*, 43: 130-152.

Mahapatra, B., Irfan, M. (2021), “Asymmetric Impacts of Energy Efficiency on Carbon Emissions: A Comparative Analysis between Developed and Developing Economies”, *Energy*, 227: 120485.

Marin, G., Palma, A. (2017), “Technology Invention and Adoption in Residential Energy Consumption: A Stochastic Frontier Approach”, *Energy Economics*, 66: 85-98.

Mirza, F. M., Sinha, A., Khan, J. R., Kalugina, O. A., Zafar, M. W. (2022). “Impact of Energy Efficiency on CO2 Emissions: Empirical Evidence from Developing Countries”, *Gondwana Research*, 106: 64-77.

Otsuka, A., Goto, M. (2015), “Estimation and Determinants of Energy Efficiency in Japanese Regional Economies”, *Regional Science Policy & Practice*, 7(2): 89-101.

Population Reference Bureau (2017), “Human Population: Population Growth”, Population Reference Bureau”, <http://www.prb.org/Publications/Lesson-Plans/HumanPopulation/PopulationGrowth.aspx> (17.07.2023).

Saunders, H. D. (1992), “The Khazzoom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth”, *The Energy Journal*, 13(4): 131-148.

Saunders, H. D. (2000), “A View from the Macro Side: Rebound, Backfire, and Khazzoom-Brookes”, *Energy Policy*, 28(6): 439-449.

Semboja, H. H. H. (1994), “The Effects of an Increase in Energy Efficiency on the Kenya Economy”, *Energy Policy*, 22(3): 217-225.

Sorrell, S., Dimitropoulos, J. (2007), “UKERC Review of Evidence for The Rebound Effect: Technical Report 2: Econometric Studies”, Technical Report, UKERC, London.

Topallı, N., Buluş, A. (2016), “The Rebound Effect: Empirical Evidence from Turkey”, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(1): 29-38.

Uluslararası Çalışma Örgütü (International Labour Organisation). (2021), “Ilostat-Ilo Database of Labour Statistics”. <https://www.ilo.org/global/statistics-and-databases/lang--en/index.htm>. (17.07.2023).

UNIDO (United Nations for Industrial Development Organisation-Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü). (2010), “Energy for a Sustainable Future, Technical Report”, [http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/AGECCsummaryreport\[1\].pdf](http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/AGECCsummaryreport[1].pdf) (28.07.2023).

UNFCCC (2012), “Decisions Adopted by the Conference of The Parties”, Technical Report, United Nations Framework Convention on Climate Change.

UNFCCC (2017), “Climate Get the Big Picture”, United Nations Framework Convention on Climate Change, <http://bigpicture.unfccc.int/> (05.06.2023)



Voigt, S., Cian, E. D., Schymura, M., Verdolini, E. (2014), “Energy Intensity Developments in 40 Major Economies: Structural Change or Technology Improvement?”, *Energy Economics*, 41: 47-62.

Wei, T., Liu, Y. (2017), “Estimation of Global Rebound Effect Caused by Energy Efficiency Improvement”, *Energy Economics*, 66: 27-34.

Wenlong, Z., Tien, N. H., Sibghatullah, A., Asih, D., Soelton, M., Ramli, Y. (2023). “Impact of Energy Efficiency, Technology Innovation, Institutional Quality, and Trade Openness on Greenhouse Gas Emissions in Ten Asian Economies”, *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15): 43024-43039.

Zhang, X.-P., Cheng, X.-M., Yuan, J.-H., Gao, X.-J. (2011), “Total-Factor Energy Efficiency in Developing Countries”, *Energy Policy*, 39(2): 644-650

Zhou, P., Ang, B., Zhou, D. (2012), “Measuring Economy-Wide Energy Efficiency Performance: A Parametric Frontier Approach”, *Applied Energy*, 90(1): 196-200.