

ENERJİ REBOUND ETKİSİNİN PANEL VERİ YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi Zerrin KILIÇARSLAN
Kayseri Üniversitesi, MYO, (zkaan@erciyes.edu.tr)

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin DUMRUL
Kayseri Üniversitesi, Develi Hüseyin Şahin MYO, (ydumrul@erciyes.edu.tr)

ÖZET

Rebound etkisi, artan enerji verimliliğine bağlı olarak, enerji fiyatlarındaki düşüşle ortaya çıkan iktisadi kazançların daha fazla enerji tüketimine yol açmasıdır. Bu çalışmada enerji verimliliğinin enerji tüketimi üzerindeki etkisinin rebound etkisine yol açıp açmadığının ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda seçilmiş Avrupa ülkeleri ve Türkiye için 2000-2015 dönemi itibarıyla panel eş-bütünleşme yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucu, enerji verimliliğindeki artışın enerji tüketiminde azalmaya yol açtığını göstermiştir. Dolayısıyla ele alınan ülkeler ve dönem itibarıyla enerji rebound etkisi geçerli değildir.

Anahtar Kelimeler: Rebound Etkisi, Enerji Verimliliği, Enerji Tüketimi, Panel Eş-bütünleşme Testi.

ANALYSIS OF ENERGY REBOUND EFFECT BY PANEL DATA METHOD

ABSTRACT

The rebound effect is that the economic gains resulting from the decline in energy prices depending on the increased energy efficiency lead to more energy consumption. In this study, it is aimed to show whether energy efficiency on energy consumption has a rebound effect. In this direction, the panel cointegration method has been used in the period of 2000-2015 for selected European countries and Turkey. The result of this study shows that the increase in energy efficiency leads to a decrease in energy consumption. Therefore, the energy rebound effect is not valid for the countries and period covered.

Keywords: Rebound Effect, Energy Efficiency, Energy Consumption, Panel Co-integration Test.

1. Giriş

Enerji ve enerji verimliliği ekonomik büyüme, istihdam ve ticaret gibi önemli değişkenlere yansıyan makroekonomik etkileri dolayısıyla hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler için önem arz etmektedir (Ryan vd., 2017: 6). Neo-klasik büyüme teorisinde teknolojik gelişmenin bir parçası olarak enerji verimliliği, geleneksel olarak ekonomik büyümenin bir itici gücü olarak görülmektedir (Madlener & Alcott, 2009: 374). Koesler vd., (2016) üretimde artan enerji verimliliğinin, karşılaştırmalı üstünlüklerde de değişiklikler yarattığını ifade etmektedir (Koesler vd., 2016: 444). Bir sektördeki / ülkedeki enerji girdi verimliliğindeki bir artış, bu sektörün diğer bölgelerdeki benzerlerine kıyasla karşılaştırmalı üstünlüğünde bir kaymaya neden olmaktadır (Koesler vd, 2014, 41). Enerji verimliliği ve fiyatlarındaki değişme ticarete konu olan malların nispi fiyatlarını değiştirerek karşılaştırmalı üstünlüklerin değişmesine neden olmaktadır (Van den Bergh, 2011: 47).

Enerji verimliliği artışları, enerji tüketimini iki şekilde artırabilir. İlki, teknolojik gelişmeler, kişi başına tüketimi artırarak daha fazla enerji tüketilmesine yol açar. İkincisi ise enerji verimliliğinin, enerjinin diğer girdilerden (sermaye ve işgücü gibi) daha ucuz olmasını sağlayarak enerjinin bu girdilerden daha fazla kullanılmasına sebep olmasıdır. Dolayısıyla enerji verimliliği artışları ekonomik büyümeyi sağlayarak daha fazla enerji tüketimine yol açmaktadır (Saunders, 1992: 143; Utfall Danielsson, 2009: 28).

Özellikle enerji konusunda dışa bağımlı olan ülkeler son dönemler enerji verimliliği üzerinde durmaktadır. Düşük enerji verimliliği maliyetlerin yükselmesine yol açarak daha fazla kamu enerji harcaması yapılmasına ve ülke bütçesinden enerji harcamaları için daha fazla pay ayrılmasına neden olmaktadır. Enerji ihtiyacını ithalat yoluyla sağlayan ülkelerde bu durum cari açığın ve dolayısıyla dışa olan bağımlılığın artırmasına yol açmaktadır (Doğan & Yılankırkan, 2015: 376). Bunun yanı sıra enerji tüketimi, özellikle de fosil enerji kaynakları, iklim değişikliği ve kirlilik gibi problemlere yol açmaktadır. Ekonomik büyümeyi engellemeden enerji tüketiminin neden olduğu sera gazı emisyonlarını ve kirliliğini azaltmanın bir yolu, kullanılan enerjinin verimliliğini arttırmaktır (Zhang & Lin Lawell, 2017: 202). Böylece ülkeler enerji verimliliği artışı ile enerji tasarrufu sağlayarak enerji tüketimini azaltmayı hedeflemektedir. Ancak tüketicilerin, enerji verimliliği ile daha ucuz hale gelen enerji hizmetlerini kullanma ihtiyacına veya enerji verimliliği ile elde edilen mal ve hizmetlere yönelik tasarrufları harcayabilme gücüne bağlı olarak enerji tüketiminde beklenmedik bir artış ortaya çıkabilmektedir (Topallı & Buluş, 2016: 29).

Enerji verimliliğindeki artışın her zaman enerji tasarrufuna yol açmaması literatürde rebound (geri tepme/toparlanma/sekme) etkisi ile açıklanmaktadır. Rebound etkisi, artan enerji verimliliğine bağlı olarak enerji fiyatlarındaki düşüşle ortaya çıkan iktisadi kazançların daha fazla enerji tüketimine yol açması olarak ifade edilmektedir (Wang vd., 2014: 126). Rebound etkisi ilk kez Stanley Jevons (1865) tarafından ileri sürüldüğünden Jevons Paradoksu olarak da ifade edilmektedir (Akıncı vd., 2018: 79). İngiltere ekonomisi üzerine yaptığı çalışmada Jevons (1865), buhar motorlarının etkin bir şekilde çalışmasının kömür tüketimini azalttığını ve kömür tüketimindeki azalmaların ise kömür fiyatlarını düşürdüğünü, kömür talebini yükselttiğini ve böylece kömür tüketiminin artırdığını ifade etmiştir (Akıncı vd., 2018: 79).

Brookes (1978), Khazzoom (1980) ve Saunders (1992) tarafından yapılan çalışmalarla Jevons'un bu görüşü geliştirilmiş ve geliştirilmiştir. Rebound etkisi ile ilgili benzer görüşleri Brookes (1978) makroekonomik düzeyde ve Khazzoom (1980) mikroekonomik düzeyde açıklamıştır (Wu vd., 2016: 905). Saunders (1992) ise enerji verimliliğindeki artışın enerji tüketimini azaltmak yerine rebound etkisi yoluyla enerji tüketimini artırmasını Khazzoom-Brookes Postülası olarak adlandırmıştır (Akıncı vd., 2018: 79). Başka bir deyişle Khazzoom-Brookes Postülası enerji fiyatları sabitken, teknolojik gelişmenin neden olduğu enerji verimliliğindeki artışların enerji tüketimini artırmasıdır (Wang vd., 2014: 126). Rebound etkisi hem mikroekonomik hem de makroekonomik düzeyde ortaya çıkabilir (Zhang & Lin Lawell, 2017: 202). Literatürde farklı sınıflandırmalar söz konusu olsa da yaygın olarak Greening vd. (2000) tarafından yapılan sınıflandırma kullanılmaktadır. Greening vd. (2000) göre doğrudan, dolaylı ve ekonomi yanlı (economy-wide) olmak üzere başlıca üç tür enerji rebound etkisi bulunmaktadır. Bununla birlikte Gavankar & Geyer (2010)'da ise doğrudan rebound etkisinin mikroekonomik seviyeye ait olduğu, dolaylı ve ekonomi yanlı rebound etkilerinin ise makroekonomik seviyeye ait olduğu ifade edilmiştir (Wu vd., 2016: 905).

Bu çalışmanın amacı, enerji verimliliğinin enerji tüketimi üzerindeki etkisinin rebound etkisine yol açıp açmadığının seçilmiş Avrupa ülkeleri ve Türkiye için 2000-2015 dönemi itibarıyla ortaya konulmasıdır. Sonraki bölümde rebound etkisine yönelik teorik çerçeve ortaya konulacaktır. Üçüncü bölümde bu alanda yapılan uygulamalı çalışmaların bir özetine yer verilecektir. Dördüncü bölümde çalışmada yapılan ekonometrik analiz açıklanacak ve uygulama sonuçları sunulacaktır. Son bölümde çalışmanın sonucuna yer verilecektir.

2. Teorik Çerçeve

“Rebound etkisi” artan enerji verimliliğinden kaynaklanan potansiyel enerji tasarruflarının azalması ile ilgili mekanizmaları kapsayan bir şemsiye terimidir (Sorrell, 2009: 1457). Literatürde üç tür rebound etkisi tanımlanabilir (Sorrell, 2007; Freire-Gonzalez, 2017: 394; Wu vd., 2016: 904-905; Zhang vd., 2017: 150).

2.1. Doğrudan Rebound Etkisi

Doğrudan rebound etkisi, bir enerji ürününe veya hizmetine olan talebin artması anlamına gelmektedir. Enerji verimliliğindeki artış veya iyileştirme, bu ürünün veya hizmetin fiyatını düşürmektedir (Zhang vd., 2017: 150). Örneğin, çelik üretimindeki enerji verimliliği artışı, çeliğin fiyatını ve dolayısıyla çeliğin maliyetini düşürerek çelik üretiminin artmasına neden olmaktadır. Üretimdeki bu artış da ilave enerji tüketimini tetiklemektedir (Wu vd., 2016: 904-905). Diğer bir deyişle doğrudan rebound etkisi, bireylerin ya da firmaların enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik tepkisi olarak tanımlanabilir. Michaels (2012)'a göre, doğrudan rebound etkileri, enerji verimliliği artan bir malın tüketimindeki veya üretimindeki ayarlamalardır (Jägerbrand vd., 2014: 19). Sorrell (2007, 2009) bu ayarlamaları *tüketiciler* ve *üreticiler* için ayrı ayrı sınıflandırmıştır. *Tüketiciler* için doğrudan rebound etkisi *ikame* ve *gelir* etkisi; üreticiler için ise *ikame* ve *çıktı* etkisi olarak ifade etmiştir.

Tüketiciler için ikame etkisi, yüksek bir fayda düzeyine erişmek ve bu fayda düzeyini sürdürebilmek için daha ucuz olan enerji hizmetlerinin daha pahalı olanlarla ikame edilmesi esasına dayanmaktadır (Akıncı vd., 2018: 80; Sorrell, 2007). Tüketiciler için gelir etkisi ise,

enerji verimliliğinin artırılmasıyla elde edilen reel gelirdeki artışın enerji hizmeti de dâhil olmak üzere tüm mal ve hizmetlerin tüketimini artırarak daha yüksek bir fayda sağlamasıdır (Sorrell, 2007).

Üreticiler için ikame etkisi, çıktı düzeyi veri iken, daha ucuz alternatif enerji kaynaklarının sermaye, emek ve diğer üretim faktörleriyle ikame edilmesi olarak ifade edilmektedir. Üreticiler için çıktı etkisi ise, enerji verimliliğindeki iyileşmelerin maliyet tasarrufu sağlayarak daha yüksek çıktı üretimine imkân tanınması ve enerji de dâhil olmak üzere tüm girdilerin tüketiminin artmasıdır (Sorrell, 2007).

2.2. Dolaylı Rebound Etkisi

Bu etki diğer mal ve hizmetler ve sektörlerle ile ilgilidir (Freire-Gonzalez, 2017: 394). Enerji verimliliğindeki artışın, diğer mal ve hizmetlere yönelik talebi etkileyerek enerji tüketiminde değişime yol açması “dolaylı rebound etkisi” olarak ifade edilmektedir (Gillingham vd., 2015: 9; Sorrell vd., 2009: 1356). Sorrell (2009) dolaylı rebound etkisini gömülü enerji etkisi, yeniden harcama etkisi, çıktı etkisi, enerji piyasası etkileri ve kompozisyon etkisi olmak üzere 5 farklı şekilde sınıflandırmıştır (Sorrell, 2009: 1457).

i. Gömülü (embodied/embedded) enerji etkisi: Bu etki daha fazla enerji verimli mal üretme sürecinde, bu malların üretimi, dağıtımı, bakımı ve kurulumlarında ihtiyaç duyulan başka enerji kaynaklarına harcanan enerji olarak tanımlanmaktadır¹ (Michaels, 2012). Dolayısıyla elde edilen enerji tasarruflarının bir kısmı, enerji verimliliğini artırmak için kullanılan ekipmanın kendisini üretmek için kullanılmaktadır. Örneğin, ısı yalıtımı yapmak için başka enerji kaynakları da kullanmak gerekmektedir. Tasarrufun bir kısmı o kaynakları elde etmek için kullanılmaktadır (Sorrell, 2009: 1457).

ii. Yeniden harcama (re-spending) etkisi: Tüketicilerin, enerji verimliliğinden elde ettikleri maliyet tasarruflarını, enerji gerektiren diğer mal ve hizmetleri satın almak için kullanmasıdır. Örneğin, tüketicilerin ısı yalıtımından elde ettikleri maliyet tasarrufunu denizaşırı bir tatilde kullanması sonucu gazyı tüketiminin artmasıdır (Sorrell, 2009: 1457).

iii. Çıktı etkisi: Bu etki üreticilerin, enerji verimliliğinden elde ettikleri tasarrufları, emek, sermaye ve enerji içeren malzemeler için kullanarak üretimi artırmasıdır. Enerji verimliliği iyileştirmeleri sektör çapında ise, bunlar daha düşük ürün fiyatlarına, ilgili ürünlerin tüketiminin artmasına ve enerji tüketiminde daha fazla artışa neden olabilir (Sorrell, 2009: 1457). Örneğin, çelik üretimindeki enerji verimliliği iyileştirmeleri otomobil maliyetini düşürecek ve araç kullanımının artmasına neden olacaktır. Artan otomobil talebi ve buna bağlı olarak ortaya çıkan üretim artışı, otomobil üreticilerinin enerji tüketiminin artmasına yol açacaktır (Wu vd., 2016: 904). Tüm bu gelişmeler, ekonominin genel verimliliğini arttırmaktadır. Bu verimlilik artışlarının sebep olduğu, mal, hizmet ve enerji tüketimi artışı ekonomik büyümeyi teşvik etmektedir.

1 Michaels (2012)'de gömülü enerji etkisi, doğrudan, dolaylı ve ekonomi-yanlı etkinin yanı sıra dördüncü rebound etkisi olarak ele almaktadır.

iv. Enerji Piyasası Etkileri: Enerji verimliliğindeki artışın yola açtığı enerji talebindeki büyük çaplı düşüşler, enerji fiyatlarının düşmesine ve enerji tüketiminin artmasına yol açmaktadır. Aynı zamanda enerji fiyatlarındaki düşüş de reel gelirleri artıracak, böylece yatırımları teşvik edecek ve toplam üretim ve enerji kullanımı artacaktır (Sorrell, 2009: 1457).

v. Kompozisyon etkisi: Hem enerji verimliliği iyileştirmeleri hem de enerji fiyatlarındaki azalmalar, enerji yoğun mal ve hizmetlerin maliyetini, enerji-yoğun olmayan mal ve hizmetlere kıyasla daha fazla azaltacaktır. Böylece tüketici talebi, enerji yoğun mal ve hizmetlere doğru kayacaktır.

2.3. Ekonomi-Yanlı Etki

Ekonomi-yanlı rebound etkisi, bir sektörde (örneğin taşımacılık) ortaya çıkan verimlilik artışının, bu verimlilik artışından etkilenen tüm ekonomik faaliyetler veya ekonominin geri kalanı üzerindeki etkisi olarak tanımlanmaktadır (Michaels, 2012). Michaels (2012), enerji verimliliğinin etkilerinin, daha geniş bir ekonomiye yayılabileceğini ve ekonominin diğer sektörlerinde daha fazla rebound etkisi yaratabileceğini iddia etmektedir (Jägerbrand vd., 2014: 19). Enerji verimliliği artışı ile üretim sürecinde çok daha az enerji tüketilmekte ve bu da maliyetleri düşürerek kârlılığı artırmaktadır. Bu nedenle, tüm enerjiye dayalı endüstriler, üretim ölçeklerini genişletmekte, böylece enerji talepleri artmaktadır (Zhang vd., 2017: 150). Chakravarty vd. (2013) ise ekonomi-yanlı rebound etkisini, enerji hizmetlerindeki reel fiyat düşüşlerinin bir sonucu olarak, ekonomideki ara ve nihai malların fiyatlarındaki düşüş olarak tanımlamaktadır. Bu fiyat düşüşlerinin, enerji yoğun mallar ile bir dizi fiyat ve miktar ayarlamalarına yol açabileceğini belirtmektedir (Jägerbrand vd., 2014: 20).

3. Uygulamalı Literatür

Literatürde enerji verimliliği ve enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi inceleyen teorik ve uygulamalı çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar genel itibarıyla enerji verimliliğindeki artışların enerji tüketimini artırdığı şeklindedir. Yapılan çalışmalarda genellikle farklı sektörler için uygulama yapıldığı görülmekte, bu durum rebound etkisi belli bir miktar enerji verimliliğinin ne kadar enerji tüketimine yol açacağı ile ilgili genelleme yapılmasını zorlaştırmaktadır. Örneğin, %10'luk bir enerji verimliliğindeki artışın ne kadar enerji tüketimine yol açacağı bilinmemekte ve bu durum gerek ülke bazında gerekse sektör bazında genel bir sonuca varmayı zorlaştırmaktadır. Bu durum çalışmalarda ele alınan dönem ve sektör, ekonometrik yöntem farklılıklarının yanı sıra analize dâhil edilen ülkelerin farklı makroekonomik koşullara ve farklı iklim koşullarına sahip olmasından da kaynaklanabilir. Tablo 1'de bu alanda yapılan çalışmalardan örnekler sunulmuştur.

Tablo 1: Enerji Verimliliği ve Enerji Tüketimi İlişkisi: Rebound Etkisi İle İlgili Uygulamalı Literatür

Yazar	Dönem/Ülke	Sektör	Yöntem	Sonuç
Wang vd. (2018)	1991-2014 Çin	Birincil, ikincil, üçüncül endüstri sektörleri	OLS	Doğrudan rebound etkisi, 1991 yılında % 64,05'ten 2002'de % 990,54'e yükselmiş ve 2014'te % 6,56'ya düşmüştür.
Belaid vd. (2018)	1983-2015 Fransa	Hanehalkı (gaz talebi)	OLS ARDL	Doğrudan rebound etkisi kısa dönem için yaklaşık %53 ve uzun dönem için yaklaşık %60 olarak tahmin edilmiştir.
Menon (2017)	2005-2012 Hindistan	İki tekerlekli taşıt sektörü	Granger nedensellik, OLS	İlgili sektörde %25,5'lik bir rebound etkisi bulunmuştur.
Lu vd. (2017)	2007 Çin	Kömür, ham petrol ve gaz, rafine petrol, elektrik ve buhar ve gaz arzı	CGE modeli ile Simulasyon	Rebound etkisi geçerli değildir.
Topallı & Buluş (2016)	1964-2009 Türkiye	Hanehalkı (elektrik tüketimi)	ARDL VECM	Hane halkı elektrik tüketiminde % 18 rebound etkisi bulunmuştur.
Llorca & Jamasb (2016)	1992-2012 15 Avrupa ülkesi	Karayolu taşımacılığı sektörü	Dengesiz panel veri analizi	Ortalama olarak % 91'lik bir yakıt verimliliği ve % 18'lik rebound etkisi tahmin edilmiştir.
Zhang & Peng (2016)	2000-2013 Çin	Hanehalkı (elektrik tüketimi)	Zaman Serisi panel OLS	Hanehalkı elektrik tüketiminin doğrudan rebound etkisi ortalama %71,53'tür.
Adetutu vd. (2015)	1980-2010 55 ülke	Sanayi sektörü	Panel GMM	Kısa dönemde, enerji tüketiminde % 100 enerji verimliliği artışının % 90 oranında rebound etkisine, uzun dönemde enerji tüketiminde %36'lık bir düşüşe yol açmaktadır.
Orea vd. (2015)	1995- 2011 US (48 eyalet)	Hanehalkı (enerji talebi)	Panel veri analizi	Rebound etkisinin ortalama değerleri % 56-80 arasındadır.

Tablo 1 devam

Broberg vd. (2015)	2035 İsveç	27 sektör	Yarı dinamik CGE modeli	Rebound etkisi % 40 ile %70 arasındadır.
Wang vd. (2014)	1996-2010 Çin	Elektrik Tüketimi	Zaman Serisi (Panel Regresyon)	Rebound etkisi kısa dönemde %72, uzun dönem rebound etkisi ise %74'tür.
Freire-González (2010)	1999-2006 İspanya (Katalonya)	Elektrik tüketimi	Zaman serisi analizi	Rebound etkisi kısa dönemde %35, uzun dönemde ise %49'dur.
Jin (2007)	1975-2005 Güney Kore	Hanehalkı (elektrik tüketimi)	Lineer Olmayan Zaman Serisi Analizi	Makro düzeyde uzun ve kısa dönemli rebound etkisi sırasıyla %30 ve %38, mikro düzeyde ise %57-%70 arasındadır.

4. Ekonometrik Analiz

Çalışmanın ekonometrik analizine ilişkin bu kısımda ilk olarak çalışmada kullanılan veri ve ekonometrik model açıklanacaktır. Sonrasında analize ilişkin yöntem ve bulguların değerlendirilmesi yapılacaktır.

4.1. Veri ve Ekonometrik Model

Bu çalışmanın uygulamalı analizi 22 seçilmiş Avrupa ülkesi (Belçika, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Almanya, Estonya, İrlanda, Yunanistan, İspanya, Fransa, Hırvatistan, İtalya, Lüksemburg, Macaristan, Hollanda, Avusturya, Polonya, Portekiz, Romanya, Finlandiya, İsveç, Birleşik Krallık, Norveç) ve Türkiye'ye dayandırılmaktadır. Çalışmada incelenen veri aralığı enerji verimliliği verisinden kaynaklanan veri kısıtı sebebiyle 2000-2015 dönemini kapsamaktadır. Çalışmada kullanılan enerji tüketimi verisi Uluslararası Enerji Ajansı'dan (IEA), enerji verimliliği serisi Eurostat veri tabanından, kentleşme ve ekonomik büyümeyi temsilen gayrisafi yurtiçi hasıla verileri Dünya Bankasından (WB-WDI) alınmıştır. Modelde yer alan tüm değişkenlerin logaritması alınarak kullanılmıştır. Bu çalışmada enerji tüketimi, enerji verimliliği, ekonomik büyüme ve kentleşme arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan model eşitlik 1'de sunulmuştur.

$$EC_{it} = \alpha_{0i} + \beta_1 EE_{it} + \beta_2 GDP_{it} + \beta_3 URB_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de α , β_1 , β_2 ve β_3 tahmin edilen modelin katsayılarıdır. EC , t döneminde i ülkesi için enerji tüketiminin logaritmasını; EE , t döneminde i ülkesi için enerji verimliliğinin logaritmasını; reel GDP , t döneminde i ülkesi için gayrisafi yurtiçi hasılanın logaritmasını; URB , t döneminde i ülkesi için kentleşmenin logaritmasını ve ε_{it} hata terimini göstermektedir.

Brookes (1978) enerji verimliliğindeki artışın ekonomik büyümeye yol açarak enerji tüketimini artıracakını ifade etmiştir (Wang vd., 2014: 126). Buradan hareketle rebound

etkisinin geçerliliği için yapılan analiz sonucunda enerji verimliliği ile enerji tüketimi arasında pozitif bir ilişki beklenmektedir.

4.2. Ekonometrik Yöntem ve Bulguların Değerlendirilmesi

Bu kısımda ise çalışmada kullanılan panel birim kök testleri, panel eş-bütünleşme testi ile uzun dönem katsayılarının tahmin edilmesine dayalı panel OLS (Ordinary Least Squares) ve DOLS (Dynamic Ordinary Least Squares) testlerine ve sonuçlarına yer verilecektir.

4.2.1. Panel Birim Kök Testleri

Eş bütünleşme testleri yapılmadan önce, tüm değişkenlerin aynı zaman serisi özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Özellikle, değişkenler seviye değerlerinde birim köke sahip olmalı ve birinci farkı alınarak bütünleşik olmalıdırlar. Im, Peseran & Shin (IPS) (2003) ve Maddala & Wu (1999) tarafından geliştirilen Fisher ADF birim kök testleri kullanılmıştır. IPS test istatistiği, sabit ve eğim parametrelerinin heterojen olmasına izin vermektedir. Bu test, her bir birim için zaman serilerine ayrı ayrı birim kök testi uygulanarak ve elde edilen istatistiklerin ortalaması alınarak oluşturulmaktadır. Fisher ADF testi ise parametrik olmayan her bir yatay kesit için birim kök test istatistiklerinin birleştirilmesine dayandırılmaktadır (Güven & Mert, 2016: 140). Her iki testte de bireysel birim kökün varlığına ilişkin sıfır hipotezi test edilmektedir. Birim kök test sonuçlarına Tablo 2’de yer verilmiştir.

Tablo 2: Birim Kök Testi Sonuçları

	Değişkenler	lnEC	lnEE	lnGDP	lnURB
IPS Test	<i>Düzey</i>	1.51999 (0.9357)	2.90473 (0.9982)	0.85573 (0.8039)	2.78885 (0.9974)
	<i>1.Fark</i>	-6.13236 (0.0000)	-5.40677 (0.0000)	-4.58077 (0.0000)	-4.11731 (0.0000)
ADF Fisher Test	<i>Düzey</i>	35.8858 (0.8583)	30.6097 (0.9606)	32.5685 (0.9325)	42.0460 (0.6386)
	<i>1.Fark</i>	123.127 (0.0000)	112.152 (0.0000)	96.0350 (0.0000)	99.9800 (0.0000)

Not: Parantez içindeki rakamlar olasılık değerini göstermektedir.

Tablo 2’den de görüleceği üzere tüm testlere ilişkin olarak ele alınan serilerin seviye değerlerinin olasılık değerleri 0.05’den büyüktür, dolayısıyla sıfır hipotezi % 5 anlam düzeyinde reddedilememektedir. Her bir birim kök testi için sıfır hipotezi serilerin birim kök içerdiğini alternatif hipotez ise serilerin durağan olduğunu ifade etmektedir.

4.2.2. Panel Eş-bütünleşme Testleri

Çalışmamızda birim kök testi yapıldıktan ve serilerin birinci farkında durağan olduğu tespit edildikten sonra ele alınan değişkenler arasında uzun dönemde bir ilişkinin olup olmadığını incelemek amacıyla Pedroni Eşbütünleşme testi kullanılmıştır. Pedroni (1999, 2004) testi eş-bütünleşme vektöründeki heterojenliğe izin veren ve Engle-Granger (1987) eş-

bütünleşme mantığına dayanan bir testtir. Buna göre Pedroni eş-bütünleşme testi hem dinamik ve sabit etkilerin panelin kesitleri arasında farklı olmasına hem de alternatif hipotez altında eş-bütünleşik vektörün kesitler arasında farklı olmasına izin veren bir testtir. Pedroni testi ile hata terimlerinin durağan olup olmadığının tespit edilmesi ve paneldeki kesit içi (within) ve kesitler arası (between) etkileri ortaya koyabilmek amacıyla panel v, panel rho, panel pp, panel adf, grup rho, grup pp ve grup adf istatistikleri olmak üzere yedi farklı test istatistiği geliştirilmiştir. Pedroni eş-bütünleşme test sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Pedroni Eş-bütünleşme Testi Sonuçları

lnEC = f (lnEE, lnGDP, lnURB)				
	t istatistiği	p değeri	Ağırlıklandırılmış t-istatistiği	p-değeri
<i>Kesit-içi</i>				
Panel v-istatistiği	-0.286226	0.6126	-1.875097	0.9696
Panel rho- istatistiği	0.511267	0.6954	0.329393	0.6291
Panel pp- istatistiği	-3.512082	0.0002	-7.033478	0.0000
Panel adf- istatistiği	-4.511002	0.0000	-7.171597	0.0000
<i>Kesitler-arası</i>				
Grup rho- istatistiği	2.249462	0.9878		
Grup pp- istatistiği	-8.977157	0.0000		
Grup adf- istatistiği	-8.951069	0.0000		

Tablo 3'ten de görüleceği üzere enerji tüketimi, enerji verimliliği, ekonomik büyüme ve kentleşme arasında panel eş-bütünleşme ilişkisi söz konusudur. Pedroni eş-bütünleşme testindeki 7 test istatistiğinden dördü %1 anlam seviyesinde ele alınan değişkenler için panel eş-bütünleşmenin var olduğunu göstermektedir. Örneğin, panel pp ve panel adf test istatistikleri sırasıyla -3.51, -4.51'dir. Grup pp ve grup adf test istatistikleri sırasıyla -8.98 ve -8.95'tir. Pedroni eş-bütünleşme testindeki bu dört test istatistiği %1 anlam düzeyi için geçerlidir ve bu da panelin bütünleşmesinin yüksek bir düzeyde olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla değişkenler arasında eş-bütünleşme ilişkisinin olmadığını ifade eden sıfır hipotezi reddedilmektedir. Buna göre ele alınan değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki söz konusudur.

4.2.3. Panel OLS ve Panel DOLS

Değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişki tespit edildikten sonra, enerji tüketimi, enerji verimliliği, ekonomik büyüme ve kentleşmenin uzun dönemli eş-bütünleşme vektörü ortaya konulmaya çalışılacaktır. Bu çerçevede Panel OLS ve Panel DOLS testleri uygulanarak uzun dönemde esneklik katsayıları elde edilmeye çalışılacak ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanacaktır.

Ele alınan modelde içsellik problemi olması halinde en küçük kareler tahmincisi sapmalı ve tutarsız sonuçlara yol açmaktadır. Kao & Chiang (2000) tarafından geliştirilen ve modele dinamik unsurların da dâhil edildiği panel DOLS yöntemi açıklayıcı değişkenler arasında

ortaya çıkabilecek içsellik ve hata teriminde ortaya çıkabilecek otokorelasyon sorununu dikkate aldığından panel OLS'ye göre daha etkin bir yöntemdir. Panel OLS ve Panel DOLS sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4: Uzun Dönem Katsayıların Tahmin Edilmesi

Bağımlı Değişken: lnEC						
		Panel OLS			Panel DOLS	
Değişkenler	Katsayı	Standart Hata	p değeri	Katsayı	Standart Hata	p değeri
lnEE	-0.225920	0.023666	0.0000	-0.112478	0.035525	0.0023
lnGDP	0.515425	0.018123	0.0000	0.549569	0.093703	0.0000
lnURB	0.401705	0.016794	0.0000	-0.375793	0.216861	0.0878
R ²	0.976508			0.999771		
Adjusted R ²	0.976314			0.998967		

EE ve GDP değişkenleri için, tüm örnek ülkeler için, panel OLS ve DOLS tahmin edicileri, işaret ve istatistiksel anlamlılık açısından benzer sonuçlar verirken, tahmin edilen katsayıların büyüklükleri biraz farklıdır. Panel OLS testinde tüm katsayılar, % 5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı iken, Panel DOLS testinde URB değişkeni dışındaki diğer değişkenler istatistiksel olarak anlamlıdır. Hem panel OLS hem de panel DOLS testine göre enerji verimliliği ile enerji tüketimi arasında negatif yönlü bir ilişki söz konusudur. Panel OLS testine göre enerji verimliliğindeki %1'lik artış enerji tüketimini %0.23 azaltmaktadır. Benzer şekilde panel DOLS testine göre de enerji verimliliğindeki %1'lik artış enerji tüketiminin %0.11 azalmasına yol açmaktadır. Panel OLS testinde ekonomik büyümedeki %1'lik artış enerji tüketimini %0.51, Panel DOLS testine göre ise %0.55 artırmaktadır. Başka bir ifadeyle enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında pozitif bir ilişki söz konusudur. Panel OLS testine göre kentleşme ile enerji tüketimi arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Buna göre, kentleşmedeki %1'lik bir artış enerji tüketiminin %0.40 artmasına yol açmaktadır. Panel DOLS testine göre ise, kentleşme ve enerji tüketimi arasında negatif ve istatistiksel olarak anlamsız bir ilişki söz konusudur. Özetle, ele alınan ülkeler ve dönem itibarıyla enerji verimliliğindeki artışlar enerji tüketiminin azalmasına yol açmaktadır. Bu durum enerji verimliliğindeki artışların enerji tüketimini artıracaklarını ifade eden enerji rebound etkisinin geçerli olmadığı anlamına gelmektedir.

5. Sonuç

Günümüzde hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler çevre kirliliği, iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi problemlerle mücadele etmektedirler. Bu problemlere yol açan fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan enerji tüketimini azaltmak için enerji verimliliği artışı sağlayacak önlemler almaktadır. Ancak ülkelerin bu amaçla uyguladıkları enerji verimliliği politikaları her zaman enerji tüketimini azaltmamaktadır. Literatürde bu durum enerji rebound etkisi ile ifade edilmektedir.

Bu çalışmada 23 ülke ve 2000-2015 dönemi için enerji verimliliği ile enerji tüketimi arasındaki uzun dönemli ilişki Pedroni eş-bütünleşme testi ile ortaya konulmuştur. Yapılan bu test sonucunda çalışmada kullanılan enerji tüketimi, enerji verimliliği, ekonomik büyüme ve kentleşme değişkenleri arasında uzun dönemli bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca Panel OLS ve Panel DOLS testleri kullanılarak enerji rebound etkisine ilişkin uzun dönemli katsayılar tahmin edilmiştir. Bu test sonuçlarına göre ise, ele alınan ülkeler ve dönem itibarıyla enerji verimliliği artışlarının enerji tüketiminde azalmaya yol açtığı bulgusuna ulaşılmıştır. Bu durum enerji verimliliği artışlarının enerji tüketimini artıracaklarını ifade eden enerji rebound etkisinin geçerli olmadığı anlamına gelmektedir. Genel olarak rebound etkisinin olmaması, enerji verimliliğindeki artışların enerji tüketimini azalttığını yansıtmaktadır.

Freire-González (2010) rebound etkisinin varlığının, enerji verimliliği politikalarının etkinliğini azalttığını ifade etmektedir. Belirtilen bağlamda bu çalışmada enerji rebound etkisinin geçerli olmadığı bulunması ele alınan ülke ve dönem itibarıyla enerji verimliliği politikalarının etkin olduğunun bir göstergesi olabilir. Bununla birlikte bu durum enerji verimliliğindeki artışların fiyatlara yansımamasından da kaynaklanabilir. Dolayısıyla ilerideki çalışmalarda ülke bazında enerji verimliliğindeki artışların enerji tüketimi üzerindeki etkisi enerji fiyatları değişkeni de dikkate alarak analiz edilebilir.

Kaynakça

- Adetutu, M., Glass, A., & Weyman-Jones, T. (2015). *Economy-wide estimates of rebound effects: Evidence from panel data*. MPRA Paper No. 65409.
- Akıncı, M., Sevinç, H., & Yılmaz, Ö. (2018). Jevons paradoksu: Enerji etkinliği ve rebound etkisi üzerine ekonometrik bir analiz. *Fiscaoeconomia*, 2(1), 77-98.
- Belaïd, F., Bakaloglou, S., & Roubaud, D. (2018). Direct rebound effect of residential gas demand: Empirical evidence from France. *Energy Policy*, 115, 23-31.
- Broberg, T., Berg, C., & Samakovlis, E. (2015). The economy-wide rebound effect from improved energy efficiency in Swedish industries e a general equilibrium analysis. *Energy Policy*, 83, 26-37.
- Brookes, L. (1978). Energy policy, the energy price fallacy and the role of nuclear energy in the UK. *Energy Policy*, 6, 94-106.
- Chakravarty, D., Dasgupta, S., & Roy, J. (2013). Rebound effect: How much to worry?. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5, 216-228.
- Doğan, H. & Yılankırkan, N. (2015). Türkiye'nin enerji verimliliği potansiyeli ve projeksiyonu. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part:C*, 3(1):375-383.
- Gavankar, S., & Geyer, R. (2010). *The rebound effect: state of the debate and implications for energy efficiency research*. CA, US: Bren School of Environmental Science and Management, University of California.
- Gillingham, K., Rapson, D., & Wagner, G. (2015). *The rebound effect and energy efficiency policy*, FEEM Working Paper No. 107.
- González, J. F. (2010). Empirical evidence of direct rebound effect in Catalonia. *Energy Policy*, 38(5), 2309-2314.
- González, J. F. (2017). Evidence of direct and indirect rebound effect in households in EU-27 countries. *Energy Policy*, 102, 270-276.
- Greening, L., Greene, D. L., & Difiglio, C. (2000). Energy efficiency and consumption-the rebound effect-a survey. *Energy Policy*, 28, 389-401.

- Güven, S. & Mert, M. (2016). Uluslararası turizm talebinin eşbütünleşme analizi: Antalya için panel ARDL yaklaşımı. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 17(1), 133-152.
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74.
- Jägerbrand, A. K., Dickinson, J., Mellin, A., Viklund, M., & Dahlberg, S.(2014). *Rebound effects of energy efficiency measures in the transport sector in Sweden*. Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) SE-581 95 Linköping Sweden.
- Jevons, W. S. (1865). *The coal question; an inquiry concerning the progress of the nation, and the probable exhaustion of our coal-mines*. London: Macmillan and Co., 1866. 2nd edition.
- Jin, S. H. (2007). The effectiveness of energy efficiency improvement in a developing country: Rebound effect of residential electricity use in South Korea. *Energy Policy*, 35(11), 5622-5629.
- Kao, C. & Chiang, M. H. (2000). On the estimation and inference of a cointegrated regression in panel data. *Advances in Econometrics*, 15, 179-222.
- Khazzoom, J. D. (1980). Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances. *The Energy Journal*, 1, 21-39.
- Koesler, S., Swales, K., & Turner, K. (2014). Beyond national economy-wide rebound effects, international association for energy economics. *Discussion Paper*, no. 14-025.
- Koesler, S., Swales, K., & Turner, K. (2016). International spillover and rebound effects from increased energy efficiency in Germany. *Energy Economics*, 54, 444-452.
- Llorca, M., & Jamsb, T. (2016). *Energy efficiency and rebound effect in european road freight transport*. EPRG Working Paper 1622.
- Lu, Y., Liu, Y., & Zhou, M. (2017). Rebound effect of improved energy efficiency for different energy types: A general equilibrium analysis for China. *Energy Economics*, 62, 248-256.
- Maddala, G. S. & Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61 (1), 631-652.
- Madlener, R. & Alcott, B. (2009). Energy rebound and economic growth: A review of the main issues and research needs. *Energy*, 34, 370-376.
- Menon, B. G. (2017). Empirical evidence of direct rebound effect in Indian two-wheeler sector. *Energy Efficiency*, 10, 1201-1213.
- Michaels, R. J. (2012). *Energy efficiency & climate policy: The rebound dilemma*. USA, Washington D.C.: Institute for Energy Research.
- Orea, L., Llorca, M., & Filippini, M. (2015). A new approach to measuring the rebound effect associated to energy efficiency improvements: An application to the US residential energy demand. *Energy Economics*, 49, 599-609.
- Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(1), 653-670.
- Pedroni, P. (2004). Panel cointegration: Asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests with an application to the PPP hypothesis. *Econometric Theory*, 20(3), 597-625.
- Ryan, L., Turner, K., & Campbell, N. (2017). *Energy efficiency and economy-wide rebound: Realising a net gain to society*. UCD Centre For Economic Research Working Paper Series, WP17/26.
- Saunders, H. D. (1992). The Khazzoom-Brookes postulate and neoclassical growth. *The Energy Journal*, 13 (4), 131-148.
- Sorrell, S. (2007). *The rebound effect: An assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*. UK Energy Research Centre.

- Sorrell, S. (2009). Jevons paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency, *Energy Policy*, 37, 1456-1469.
- Sorrell, S., Dimitropoulos J., & Sommerville, M. (2009). Empirical estimates of the direct rebound effect: A review. *Energy Policy*, 37, 1356–1371.
- Topallı, N. & Buluş, A. (2016). The rebound effect: Empirical evidence from Turkey. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(1), 29-38.
- Utfall Danielsson, C. V. (2009). *The rebound effect: Theory, evidence and implications for energy policy*. Bachelor's Thesis, Lunds Universitet.
- Van den Bergh, J. C. J. M. (2011). Energy conservation more effective with rebound policy. *Environ Resource Econ*, 48, 43–58.
- Wang, Z., Lu, M., & Wang, J. C. (2014). Direct rebound effect on urban residential electricity use: An empirical study in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 124-132.
- Wang, Q., Gao, Z., Tang, H., Yuan, X., & Zuo, J. (2018). Exploring the direct rebound effect of energy consumption: A case study. *Sustainability*, 10(259), 1-21.
- Wu, K. Y., Wu, J. H., Huang, Y. H., Fu, S. C., & Chen, C. Y. (2016). Estimating direct and indirect rebound effects by supply-driven input output model: A case study of Taiwan's industry. *Energy*, 115, 904-913.
- Zhang, J. & Lin Lawell, C. Y. C. (2017). The macroeconomic rebound effect in China. *Energy Economics*, 67, 202-212.
- Zhang, Y. J. & Peng, H. R. (2016). Measuring the direct rebound effect of China's residential electricity consumption. *Energy Procedia*, 104, 305-310.
- Zhang, Y. J., Liua, Z., Qina, C. X., & Tan, T. D. (2017). The direct and indirect CO2 rebound effect for private cars in China. *Energy Policy*, 100, 149-161.