



## Jevons Paradoksu: Enerji Etkinliği ve Rebound Etkisi Üzerine Ekonometrik Bir Analiz

Merter AKINCI<sup>1</sup>, Haktan SEVINÇ<sup>2</sup>, Ömer YILMAZ<sup>3</sup>

### Jevons Paradox: An Econometric Analysis on Energy Efficiency and Rebound Effect

#### ARTICLE INFO

##### Article History:

Date Submitted: 21.12.2017

Date Accepted: 18.01.2018

##### JEL Classification:

C32

O13

Q43

##### Keywords:

Jevons Paradox,

Rebound Effect,

Energy Efficiency

#### ABSTRACT

In this study, the effects of energy efficiency, rebound effect, on energy production, consumption, saving, import as well as inflation and current account deficit are examined using time series analysis in the period of 1967-2015 in Turkish economy. Firstly, in order to determine the stationary level of the variables ADF and PP unit root tests are used and the results show that all of the variables considered within the model are stationary at the first difference level. Second, the finding of Johansen-Juselius cointegration analyze reveals the existence of long-run relationships among variables, and Granger causality analysis reflects at least the validity of one-way causal links among variables. The findings of the VEC analysis point out that the Jevons Paradox or rebound effect is valid in the Turkish economy, which means that energy consumption rises as energy efficiency and production increases. In addition, the findings show that depending on increasing energy consumption energy import level rises and therefore current account deficit and inflation begin to deteriorate, also.

<sup>1</sup> Yrd. Doç. Dr., Ordu Üniversitesi Ünye İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat Bölümü Öğretim Üyesi, [makinci86@gmail.com](mailto:makinci86@gmail.com)

<sup>2</sup> Yrd. Doç. Dr., Iğdır Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat Bölümü Öğretim Üyesi, [haktansevinc@hotmail.com](mailto:haktansevinc@hotmail.com)

<sup>3</sup> Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ekonometri Bölümü Öğretim Üyesi, [omeryilmaz@atauni.edu.tr](mailto:omeryilmaz@atauni.edu.tr)

## Özet

Bu çalışmada, enerji etkinliği olarak ifade edilen rebound etkisinin enerji üretimi, tüketimi, tasarrufu ve ithalatının yanı sıra enflasyon ile cari işlemler açığı üzerindeki etkileri 1967-2015 dönemi için Türkiye ekonomisi itibariyle zaman serisi analizleri kullanılarak incelenmiştir. İlk olarak, değişkenlerin durağanlık bilgilerinin tespit edilebilmesi için ADF ve PP birim kök testleri kullanılmış ve sonuçlar, model kapsamında değerlendirilen değişkenlerin birinci fark düzeyinde durağan olduğunu göstermiştir. İkinci olarak, Johansen-Juselius eşbütünleşme test sonuçları değişkenler arasında uzun dönemli ilişkilerin geçerli olduğunu yansıtmış ve Granger nedensellik bulguları ise değişkenler arasında en azından tek yönlü nedensellik bağlarının geçerli olduğunu ortaya koymuştur. VEC modeli analiz sonuçları, enerji verimliliği ve üretimindeki artışa bağlı olarak enerji tüketiminin arttığını ifade eden Jevons Paradoksu ya da rebound etkisinin Türkiye ekonomisinde geçerli olduğunu göstermiştir. İlave tahmin bulguları, enerji tüketimindeki artış doğrultusunda enerji ithalat düzeyinin yükseldiğini ve böylece cari işlemler açığı ile enflasyonun bozulma eğiliminde olduğunu da yansıtmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Jevons Paradoksu, Rebound Etkisi, Enerji Etkinliği

## 1. Giriş

İster gelişmiş ister azgelişmiş olsun çoğu ülkenin temel ekonomi politikalarının odak noktasını oluşturan enerji üretimi hususu, sürdürülebilir bir iktisadi yapının ana parçalarından biri olarak kabul edilmekte ve enerji üretiminin etkin teknolojik gelişmeler yardımıyla gerçekleştirilmesi ülke ekonomilerinin temel nüvesini oluşturmaktadır. Başta sanayi sektörü olmak üzere tüm sektörlerin ana ihtiyaçlarını oluşturan enerji girdisi, teknoloji politikalarının enerji verimliliğini artıracak alanlara yönlendirilmesine ve yeni enerji kaynaklarının bulunma çabasına neden olmakta ve ülke ekonomilerinin çarklarını sürdürülebilir bir boyutta döndürebilmek için ana gereklilikler ekseninde değerlendirilmektedir. Öyle ki, vahşi kapitalizm ya da emperyal hegemonya altında ve tamamen “demokratik” gerekçelerle yeni enerji kaynaklarına ulaşılma çabası, enerjiye duyulan gereksinimin boyutunu gözler önüne sermektedir. Söz konusu bu gereksinim özellikle 1970’li yıllarda kendini gösteren petrol

şoklarının etkisiyle büyük bir ivme kazanmış ve ülkeler yeni teknolojik gelişmeler yardımıyla bir taraftan enerji üretimini ve verimliliğini artırmaya odaklanmış ve diğer taraftan da girdi maliyetlerini azaltmaya çalışmışlardır. Söz konusu bu süreç hem yeni teknolojiler kanalıyla üretimi ve etkinliği artırmak hem de tüketimin azalmasına neden olacak şekilde enerji tasarrufunun hızlanmasına zemin hazırlayacak kapsamda tasarlanmıştır. Ancak burada gözden kaçırılmaması gereken temel nokta, enerji üretimi artırılırken hayat standartlarında ve enerji hizmet kalitesinde bir kötüleşme olmaksızın toplam enerji tüketiminin azaltılması ve böylece enerji etkinliğinin sağlanarak enerji tasarrufuna ilave bir katkı yaratılmasıdır.

İfade edilen enerji etkinliği kavramının aksine, tüketim alışkanlıklarının gittikçe artan bir ivme kazandığı günümüz tüketim toplumlarında enerji etkinliği kavramı paradoksal bir yapı arz etmeye ve enerji talebi tüm dünyada hızlı bir artış göstermeye başlamıştır. İronik bir biçimde “yakıt tasarrufu sağlayan bir araba alıp daha çok seyahat edebiliriz”, “akıllı televizyon alıp internete bağlanabiliriz” ya da “daha ince bir cep telefonu alıp yüksek renk çözünürlüğü ve hızından daha çok yararlanabilir” tarzındaki düşünce kalıpları, enerji üretimi paralelinde enerji tüketiminin de artması yönünde eğilimler ortaya çıkarmaktadır. Enerji üretimi ve etkinliğinin artmasına bağlı olarak bir “geri tepme” etkisinin ortaya çıkıp enerji tüketiminin hızlanması hususu iktisat literatüründe *rebound etkisi* olarak adlandırılmaktadır. *Rebound etkisi* ilk kez Jevons (1865) tarafından yapılan öncü çalışma ile literatüre kazandırıldığından dolayı *Jevons Paradoksu* olarak da bilinmektedir. Etkin bir işleyişe haiz olan buhar motorlarının kömür tüketimini azalttığını ve kömür tüketimindeki azalmaların ise kömür fiyatlarını düşürdüğünü vurgulayan Jevons, bu sürecin sadece kömüre erişebilen insan sayısını artırmakla kalmadığını, aynı zamanda kömür talebini yükselttiğini ve böylece genişleyen dalgalar halinde kömür tüketiminin arttığını ifade etmiştir. Bu bağlamda *rebound etkisi*, artan enerji etkinliği ve böylece düşen enerji fiyatları dolayısıyla elde edilen iktisadi kazançların daha fazla enerji tüketimine neden olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır (Buluş ve Topallı, 2011: 356). Jevons tarafından belirtilen kömür üretimi, etkinliği ve tüketimine ilişkin açıklamalar Brookes (1978), Khazzoom (1980) ve Saunders (1992) tarafından yapılan çalışmalarla birlikte sistematik hale getirilmiş ve enerji etkinliğindeki artışların düşen fiyatlar nedeniyle enerji tüketimindeki artışları uyaracağı sonucu Saunders (1992) tarafından *Khazzoom-Brookes Postülası* olarak adlandırılmıştır.

Makro ölçekte *rebound* etkileri *doğrudan* ve *dolaylı etkiler* olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Isıtma, aydınlatma ve pişirme gibi bireysel enerji hizmetlerini kapsayan *doğrudan rebound etkisi*, artan enerji etkinliği nedeniyle enerji üretiminin yükselmesi ve bu bağlamda düşen enerji fiyatları doğrultusunda enerji tüketiminin artmasını ifade etmektedir. *Doğrudan rebound etkisi* tüketici kesimi söz konusu olduğunda *ikame* ve *gelir etkisi* olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. *İkame etkisi*, yüksek bir fayda düzeyine erişmek ve bu fayda düzeyini sürdürebilmek için daha ucuz olan enerji hizmetlerinin daha pahalı olanlarla ikame edilmesi esasına dayanmaktadır. *Gelir etkisi* ise, enerji etkinliğindeki artışlara paralel olarak artan reel gelirin daha fazla enerji tüketimine olanak sağlaması ve böylece daha yüksek bir fayda düzeyine erişilmesi olarak tanımlanmaktadır. *Doğrudan rebound etkisi* üretici kesimi söz konusu olduğunda *ikame* ve *çıktı etkisi* olarak iki kısma ayrılmaktadır. *İkame etkisi*, veri bir çıktı düzeyini üretebilmek için daha ucuz enerji kaynaklarının sermaye, emek ve diğer üretim faktörleriyle ikame edilmesi olarak tanımlanmaktadır. *Çıktı etkisi* ise, enerji etkinliğindeki artış dolayısıyla üretim maliyetlerinden elde edilen tasarrufların daha yüksek çıktı üretimine imkân tanınması ve enerji dâhil olmak üzere bütün girdi tüketiminin yükselmesi olarak ifade edilmektedir (Sorrell, 2007: 4).

*Dolaylı rebound etkisi*, enerji etkinliği dolayısıyla elde edilen parasal tasarrufların nasıl kullanıldığı üzerine odaklanmaktadır. Örneğin yakıt tasarrufu sağlayan araç kullanımı dolayısıyla elde edilen parasal tasarrufların otomobil yerine uçak ile seyahate yönlendirilmesi ve bu durumun da enerji verimliliğinden elde edilen tasarrufları olumsuz etkilemesidir. *Dolaylı rebound etkisi* de iki kısım altında incelenmektedir: *İçerilmiş enerji etkileri* ve *ikincil etkiler*. *İçerilmiş enerji etkileri*, enerji etkinliğinde artış sağlayabilmek için gereksinim duyulan enerji tüketim ihtiyacını yansıtmaktadır. Termal enerji sistemlerinin kurulabilmesi ve üretimin sağlanabilmesi için ihtiyaç duyulan enerji girdisi bu duruma örnek olarak gösterilebilir. *İkincil etkiler* ise, enerji etkinliğindeki artışın bir sonucu olarak enerji maliyetlerinde sağlanan tasarrufların çıktı seviyesini artırması ve buradan hareketle de elde edilmesi için enerji gereksinimine ihtiyaç duyan sermaye, emek ve diğer üretim faktörlerinin kullanımının hızlanmasıdır (Sorrell, 2007: 2, 4).

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye ekonomisinde 1967-2015 dönemi itibariyle *rebound etkisinin* enerji tüketimi başta olmak üzere enerji üretimi, tasarrufu ve ithalatının yanı sıra ekonomik büyüme, enflasyon, cari açık ve çevre üzerindeki etkilerini zaman serisi analizleri yardımıyla incelemektir. Bu kapsam dâhilinde çalışma beş bölümden oluşturulacaktır. İkinci bölümde, konu ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar tanıtılacak, üçüncü bölümde ise çalışmanın veri seti ve metodolojisi sunulacaktır. Uygulama bulgularının tanıtıldığı dördüncü bölümü takiben çalışma, genel bir değerlendirilmenin yapıldığı sonuç bölümü ile sonlandırılacaktır.

## 2. Literatür Özeti

Gerek gelişmiş gerekse azgelişmiş çeşitli ülkeler itibariyle uygulamaya konan enerji etkinliği politikaları yalnızca kişi başına düşen enerji tüketiminin artmasını değil, aynı zamanda minimum enerji kullanarak maksimum enerji üretimi, dağıtımı ve tüketimini sağlamaktır. Bir diğer ifadeyle, enerji üretimi ve tüketimi konusunda Pareto optimalitenin sağlanması ulaşılmak istenen temel politika hedefi haline gelmekte ve enerji tasarruflarının artırılarak ülke ekonomilerinin makro ekonomik istikrarı sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu amaç dâhilinde enerji etkinliği ve *rebound etkisi* üzerine hem uygulamalı hem de teorik düzeyde yapılan çalışmalar dikkate alınan dönem, ülke ve sektör farklılaşması gibi parametrelerin yanı sıra uygulanan ekonometrik analiz teknikleri açısından farklılık arz etmektedir. Söz konusu bu farklılıklar, analiz sonuçlarından elde edilen politika öngörülerinin de değişiklik arz etmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda Tablo 1, literatürde *rebound etkisi* bağlamında dikkate alınan çalışmalara ait özet bilgileri sunmaktadır.

**Tablo 1. Literatür Özeti**

Yazar(lar)	Ülke	Yöntem	Bulgular
Greene (1992)	ABD	Zaman Serisi Analizi	Amerikan ekonomisindeki hafif araç kullanımının ortaya çıkardığı rebound etkisinin 1966-1989 dönemi için hesaplandığı çalışma, rebound etkisinin oldukça düşük bir seviyede gerçekleştiğini ve etkinin %5-%15 aralığında ortaya çıktığını göstermiştir. Bununla birlikte, yakıt tasarrufu sağlayan teknik gelişmeler sonucunda kendini gösteren enerji tasarrufunun minibüslerle yapılan yolculukları artırdığı ve böylece enerji tasarrufundan istenen sonuçların alınmadığı da belirtilmiştir.
Haas ve Biermayr (2000)	Avusturya	Panel Veri Analizi	Avusturya’da merkezi ısıtma sistemlerinin rebound etkisine neden olup olmayacağı sorusu üzerine temellendirilen çalışma, rebound etkisinin mikro bazda %20-%30 arasında değiştiğini göstermiştir.
Bentzen (2004)	ABD	Dinamik Zaman Serisi Analizi	Amerikan imalat sanayinde enerji etkinliğindeki bir artışın rebound etkisi yarattığı ve bu etkinin ise yaklaşık %24 oranında olduğu gözlenmiştir.
Grepperud ve Rasmussen (2004)	Norveç	Hesaplanabilir Genel Denge Analizi	Ekonomideki altı sektörde (kâğıt ve kâğıt ürünleri imalatı, metal üretimi, kimyasal ve mineral ürünler, finans ve sigorta, balıkçılık ve karayolu taşımacılığı) iki önemli enerji kaynağı olan elektrik ve petrol için rebound etkisini araştırılmıştır. Araştırma sonuçları imalat sanayi sektörlerinde rebound etkisinin %100’den küçük olmakla beraber uzun dönemde daha yüksek olduğunu göstermiştir.
Jin (2007)	Güney Kore	Lineer Olmayan Zaman Serisi Analizi	Makro düzeyde uzun ve kısa dönemli rebound etkisinin sırasıyla %30 ve %38 olduğunu gösteren analiz bulguları, mikro düzeyde ise bu etkinin %57-%70 arasında değiştiğini göstermiştir. Genel olarak geri tepme etkisinin söz konusu olmadığı görüldüğü analiz sonuçları, enerji etkinliğindeki artışların enerji tüketimini azalttığını yansıtmıştır.
Small ve Van Dender (2007)	ABD	Eşanlı Denklem Sistemleri	Kısa ve uzun dönemli rebound etkisi sırasıyla %4.5 ve %22.5 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte reel gelirden meydana gelen artışların rebound etkisini azaltabileceği de öngörülmüştür.
Brannlund vd. (2007)	İsveç	Panel Veri Analizi	Enerji etkinliğinde meydana gelen %20 oranında bir artışın karbondioksit emisyonlarını %5 oranında artırdığı ve bu artışın telafi edilebilmesi için karbon vergilerinin %130 oranında yükseltilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.
Sorrell vd. (2009)	OECD	Panel Veri Analizi	OECD ülkelerinde hanehalkı enerji hizmetlerinde doğrudan rebound etkisinin büyüklüğünün hesaplandığı analiz sonuçları, söz konusu etkinin %30’den daha az olduğunu göstermiştir.
Turner (2009)	İngiltere	Hesaplanabilir Genel Denge Analizi	Rebound etkisinin enerji talebi üzerinde pozitif yönlü bir etkisinin olduğu gözlenmekle birlikte söz konusu bu etkinin gelir ve rekabet gibi faktörler tarafından negatif yönlü bir etkiye dönüştürülebileceği belirlenmiştir.
Nassen ve Holmberg (2009)	İsveç	Panel Veri Analizi	Tüketim kalıbındaki değişmelerin artan gelir düzeyine bağlı olduğunun belirtildiği çalışma, bir sektördeki enerji kullanımından elde edilen tasarrufların diğer sektörlerdeki enerji kullanımını artırabileceğini göstermiştir. Enerji etkinliğinde sağlanan gelişmelerin genellikle %5-%15 aralığında bir rebound etkisi ortaya çıkardığını yansıtan analiz bulguları, söz konusu bu etkinin fiyat esnekliklerine bağlı olarak kendini gösterebileceğini de yansıtmıştır. Ayrıca rebound etkisinin ısınma ve ulaşım sektörlerinde daha yoğun olduğu ve etkinin %10-%20 aralığında gerçekleştiği de vurgulanmıştır.
Ouyang vd. (2010)	Çin	Panel Veri Analizi	En az %30 seviyesine erişebilen rebound etkisinin toplam enerji talebini uyararak enerji tüketim düzeyini artırdığı belirtilmiştir.

**Tablo 1. Literatür Özeti (Devam)**

Yazar(lar)	Ülke	Yöntem	Bulgular
Yetişkul ve Şenbil (2010)	Dünyadaki 75 Kent	Stokastik Sınır Regresyon Modeli	Kentsel yoğunluğun hem özel ulaşımda hem de toplu taşımada enerji verimliliğini artırdığı, ayrıca özel ulaşım için yakıt maliyetlerinin enerji verimliliğini belirleyen en önemli bağımsız değişken olduğu ve toplu taşıma için izli yolların varlığının enerji verimliliğini yükselttiği belirlenmiştir. Ancak gelişmiş ülkelerde toplu taşımanın daha çok enerji harcamasının, bu ülkelerdeki kullanım azlığı ile ilgili olduğu tespit edilmiştir.
Hens vd. (2010)	Belçika	Yatay Kesit Analizi	Ev yalıtımı sonucunda ortaya çıkan rebound etkisinin büyüklüğünü hesaplamaya çalışan yazarlar, yeterli bir ısı yalıtımı olmayan evlerdeki doğrudan rebound etkisinin iyi bir ısı yalıtımına sahip olan evlere kıyasla daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.
Wang vd. (2012)	Çin	LA-AIDS	Analiz sonuçları, %96'lık rebound etkisi nedeniyle enerji etkinlik artışının enerji tüketimini azaltmadığını ve enerji tasarrufunun ancak %4 seviyesinde kaldığını göstermiştir. Bununla birlikte, hanehalkı tüketim harcamalarındaki artışla rebound etkisinin azalma eğilimine girdiği tespit edilmiştir.
Lin ve Liu (2012)	Çin	Malmquist Endeks Analizi	Yazarlar tarafından elde edilen analiz sonuçları, 1981-2009 döneminde teknoloji temelli enerji rebound etkisinin %53.2 olduğunu göstermiş ve enerji tüketimi ile emisyonun azaltılabilmesi iktisadi politika araçlarının etkin kullanılması gerekliliğini ortaya koymuştur.
Saunders (2013)	ABD	Panel Veri Analizi	Faaliyette bulunan 30 sektörde ortaya çıkan rebound etkisinin istatistiki bakımdan anlamlı olduğunu yansıtan analiz sonuçları, bireysel sektörler bazında bu etkinin artan ya da azalan bir seyir ortaya koyduğunu yansıtmıştır. Diğer taraftan, enerji dışı faktörlerden kaynaklanan teknoloji kazançlarının enerji tüketimini artırdığı da ifade edilmiştir.
Yu vd. (2013)	Çin	Logit Regresyon Modeli	Analiz sonuçları; soğutucular, elektrikli fanlar, televizyonlar ve bilgisayarlarda rebound etkisinin olmadığını, buna karşın klimalar, çamaşır makineleri, mikro dalga fırınlar ve otomobillerde ise önemli bir rebound etkisinin geçerli olduğunu göstermiştir. Yazarlar tarafından otomobillerdeki rebound etkisi %100.79 olarak hesaplanmıştır.
Evans ve Schafer (2013)	ABD	Yatay Kesit Analizi	ABD'de havacılık sektöründe rebound etkisinin araştırıldığı analiz sonuçları, yakıt tasarruflu hava araçlarının hava ulaşımına olan talebi artırdığını göstermiş ve rebound etkisinin %19 olduğunu yansıtmıştır. Ayrıca, enerjinin etkin kullanımı sağlanırken enerji tüketiminin artmasına bağlı olarak karbon salınımının yükseldiği de gözlenmiştir.
Schleich vd. (2014)	Almanya	Panel Veri Analizi	Ampul kullanımı yerine daha yüksek enerji tasarrufu sağlayan floresan lamba kullanımının ortaya çıkardığı doğrudan rebound etkisinin büyüklüğünü hesaplayan çalışma, ortalama bir ampulün rebound etkisinin %6 civarında olduğunu, floresan lambalarda ise söz konusu etkinin %3'ün altında kaldığını göstermiştir.
Lin ve Liu (2015)	Çin	Panel Veri Analizi	Kır ve kent ayrımına gitmek suretiyle konutların neden olduğu rebound etkisini ölçen çalışma, kentlerde yer alan konutlara kıyasla kırsal bölgelerdeki konutların daha fazla rebound etkisine yol açtığını göstermiş, ancak kırsal bölgelerdeki konutların kentsel bölgede bulunanlara olan yakınsama sürecine bağlı olarak rebound etkisinin azalacağını ortaya koymuştur. Ayrıca yazarlar, Çin'deki konut inşasının her yıl %20 oranında ilave elektrik tüketimine neden olduğunu da belirtmişlerdir.

### 3. Veri Seti ve Metodolojik Altyapı

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye ekonomisinde 1967-2015 dönemi itibariyle *rebound etkisinin* enerji tüketimi başta olmak üzere enerji üretimi, tasarrufu ve ithalatının yanı sıra ekonomik büyüme, enflasyon, cari açık ve çevre üzerindeki etkilerini zaman serisi analizleri yardımıyla incelemektir. İlgili dönemin dikkate alınmasının temel nedeni, verilere ulaşılma imkânından kaynaklanmıştır. Enerji etkinliğini (*rebound etkisi*) tespit edebilmek amacıyla enerji üretimi ve enerji tüketimi veri setinden yararlanılmış ve bu veri seti “bir kiloton ham petrolün yakılması ile açığa çıkan enerji miktarı (*kt of oil equivalent*)” cinsinden ifade edilmiştir. *Rebound etkisinin* hesaplanabilmesi için gerekli olan enerji tasarrufu verileri ise, enerji üretimi ile enerji tüketimi arasındaki farkın dikkate alınması suretiyle oluşturulmuştur. Diğer taraftan, enerji etkinliği serisinin oluşturulması için ihtiyaç duyulan beklenen enerji üretimi serisi, “enerji ithalatında bulunmak yerine<sup>4</sup> ithalatta kullanılan kaynakların enerji üretimine aktarılabilmesi sonucunda gerçekleştirilebilecek olan potansiyel üretim” hipotetik varsayımından hareketle hesaplanmıştır. Dolayısıyla, enerji etkinliği serisinin oluşturulması için gereklilik duyulan beklenen tasarruflar, beklenen enerji üretimi serisinden gerçekleşen enerji tüketimi serisinin çıkarılması sonucunda elde edilmiştir. Genel bir ifadeyle belirtmek gerekirse ilgili veri setleri,

$$\text{Gerçekleşen Enerji Tasarrufu} = \text{Enerji Üretimi} - \text{Enerji Tüketimi} \quad (1)$$

$$\text{Beklenen Enerji Üretimi} = \left( \frac{\text{Gerçekleşen Enerji Üretimi} * \text{Enerji İthalatı}}{100} \right) + \text{Gerçekleşen Enerji Üretimi} \quad (2)$$

$$\text{Beklenen Enerji Tasarrufu} = \text{Beklenen Enerji Üretimi} - \text{Gerçekleşen Enerji Tüketimi} \quad (3)$$

$$\text{Rebound Etkisi} = \frac{\text{Beklenen Enerji Tasarrufu} - \text{Gerçekleşen Enerji Tasarrufu}}{\text{Beklenen Enerji Tasarrufu}} \quad (4)$$

formülleri yardımıyla hesaplanmıştır. Enerji etkinliğinde adı geçen *rebound etkisini* ölçmek için kullanılan (4) numaralı formülde tam bir başarı %0 ile ifade edilirken, *rebound etkisinin* tam bir başarısızlığı ise %100 ile ifade edilmektedir. Diğer taraftan, cari işlemler bilançosu açıklarının gayri safi yurt içi hasıla içindeki payı, kişi başına düşen reel gayri safi yurt

<sup>4</sup> Enerji ithalatı, toplam enerji kullanımının yüzdesi olarak ifade edilmektedir.



İçerisindeki enerji kullanımının büyüme oranı, enerji kullanımının bir yüzdesi olarak enerji ithalatı, enerji kullanımından sağlanan tasarruf, bir kiloton ham petrolün yakılması ile açığa çıkan enerji tüketimi ve enerji üretimi, tüketici fiyat endeksi itibarıyla ölçülen enflasyon düzeyi ve kişi başına düşen karbon salınımı değişkenleri kurulacak olan modellerin bağımlı değişkenlerini oluşturmaktadır. Analizlerde kullanılacak olan veri setleri, Dünya Bankası (World Bank) ve Uluslararası Para Fonu (IMF)'nin resmi internet sitelerinden derlenmiştir.

Zaman serisi verileri dikkate alındığında üzerinde durulması gereken temel husus, analizlerde kullanılan değişkenlere ait veri setinin durağan olup olmadığının saptanmasıdır. Durağan olmayan verilerle tahmin edilen bir model Granger ve Newbold (1974)'un ifade ettiği gibi, gerçekte olmayan ilişkilerin varmış gibi görünmesi olarak tanımlanabilen sahte regresyonlara neden olabilmektedir. Bu nedenle, model çözümlerinde kullanılacak olan değişkenlerin durağan olup olmadıkları Augmented Dickey-Fuller (ADF) ve Phillips-Perron (PP) birim kök testleri ile belirlenecektir. ADF ve PP birim kök testlerinde kullanılan süreç, genel bir ifadeyle (5) numaralı denklem yardımıyla gösterilebilir:

$$\Delta Y_t = \alpha + \gamma Trend + \rho Y_{t-1} + \sum_{i=1}^k \delta_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (5)$$

(5) numaralı denklemde yer alan  $Y$ , durağanlık testine konu olan değişkeni;  $\Delta$ , birinci derece fark operatörünü;  $\gamma$ , doğrusal zaman trendini;  $\varepsilon$ , hata terimini ve  $k$  ise bağımlı değişken gecikme sayısını göstermektedir (Taban, 2008: 155). ADF ve PP testleri, tahmin edilen (5) numaralı regresyon denkleminde  $\rho$ 'nun sifıra eşit olup olmadığını test etmektedir.  $H_0$  hipotezi, yani  $\rho = 0$  reddedilebiliyorsa,  $Y$  değişkeninin orijinal seviyesinde durağan olduğuna, aksi durumda durağan olmadığına karar verilmektedir (Yamak ve Küçükale, 1997: 6).

Değişkenlere ait durağanlık bilgilerinin elde edilmesini takiben söz konusu değişkenler arasında uzun dönemli ilişkilerin geçerli olup olmadıklarının araştırılması amacıyla eşbütünleşme testlerinden yararlanılmaktadır. Değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisinin test edilebilmesi için modellerde kullanılan her değişkenin en az birinci dereceden bütünleşik ve aynı zamanda değişkenlerin bütünleşme derecelerinin de eşit olması gerektiği önermesinin

dikkate alındığı ve Johansen (1988, 1991, 1995) ve Johansen-Juselius (1990) tarafından literatüre kazandırılan Johansen-Juselius eşbütünleşme testi,

$$\Delta x_t = \alpha(\beta' x_{t-1} - \beta_0 - \beta_{1t}) - \gamma_0 - \gamma_{1t} + \sum_{j=1}^k \Gamma_j \Delta x_{t-j} + \varepsilon_t \quad (6)$$

regresyonu kullanılarak yapılmaktadır. Burada  $x_t$ ,  $t$  döneminde gözlenen değişkenlerin  $px1$  vektörünü;  $\alpha$ ,  $pxr$  katsayılar matrisini;  $\beta$ ,  $r$  eşbütünleşik vektörlerini tanımlayan  $pxr$  katsayılar matrisini;  $\beta_0$ , eşbütünleşik vektörler için kesikli  $rx1$  vektörünü;  $\beta_1$ , eşbütünleşik vektörlerde lineer deterministik trendlerine olanak tanıyan  $rx1$  katsayılar vektörünü;  $\gamma_0$ , denklemdaki  $px1$  kesikli vektörünü;  $\gamma_1$ ,  $px1$  lineer trend katsayılar vektörünü ve  $\Gamma_j$ ,  $j=1 \dots k$ 'ya kadar olan ve gecikme uzunluğunu tanımlayan  $pxp$  matrislerini ifade etmektedir.

Modelde dikkate alınan değişkenler arasında bir sebep-sonuç ilişkisi olup olmadığı ise Granger (1964, 1969) tarafından literatüre kazandırılan nedensellik analizi ile araştırılacaktır.  $X$  ve  $Y$  gibi iki değişken arasındaki ilişkinin yönünün araştırıldığı Granger nedenselliğine, değişkenler arasında eşbütünleşik ilişkilerin elde edilmesine bağlı olarak Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM) kapsamında eşbütünleşme analizinden elde edilen hata terimleri ( $EC$ ) ilave edilmekte ve kısa dönemde ortaya çıkan hata paylarının uzun dönemde giderilip giderilemeyeceğinin cevabı aranmaktadır. İki değişken arasındaki Granger nedensellik ilişkisi (7) ve (8) numaralı kalıplar yardımıyla incelenmektedir:

$$Y_t = \sum_{i=1}^n \alpha_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^n \beta_i X_{t-i} + \varepsilon_{1t} EC_{r,t-1} + u_{1t} \quad (7)$$

$$X_t = \sum_{i=1}^n \gamma_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^n \zeta_i Y_{t-i} + \varepsilon_{2t} EC_{r,t-1} + u_{2t} \quad (8)$$

Analizlerde kullanılacak olan bağımsız değişkenin bağımlı değişkenler üzerindeki etkilerini sınavabilmek adına Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM)'nden yararlanılmıştır. Bünyesinde eşbütünleşik ilişkileri ihtiva eden VECM analizinde kısa dönemli düzenleme dinamikleri tespit edilirken, içsel değişkenlerin uzun dönemli davranışlarının kendi

eşbütünleşik ilişkilerine yakınsayabilmeleri için bir sınırlama katsayısı getirilmekte ve temel model,

$$\Delta X_t = \alpha + \sum_{i=1}^m \beta_i \Delta X_{t-i} + \sum_{i=1}^n \gamma_i \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=1}^p \psi_i \Delta Z_{t-i} + \lambda EC_{t-1} + e_t \quad (9)$$

olarak gösterilebilmektedir. (9) numaralı eşitlikte,  $\Delta X$  'de meydana gelen sapmaların etkisi; kendisi,  $\Delta Y$  ve  $\Delta Z$  tarafından açıklanmaktadır.  $\beta_i$ ,  $\gamma_i$  ve  $\psi_i$  katsayıları ise kısa dönem parametreleridir.  $\lambda$  katsayısı,  $EC_{t-1}$  şeklindeki gecikmeli hata terimlerinin hız ayarlama parametreleri olarak da ifade edilen hata düzeltme katsayısıdır. VECM sisteminde hız ayarlayan parametrenin istatistiki olarak sıfırdan farklı olması gerekmektedir. Eğer denklemdeki hız ayarlama parametresi sıfır ise, uzun dönem denge ilişkisi ortaya çıkmamakta ve model, hata düzeltme niteliği taşımamaktadır (Yapraklı, 2007: 75-76). Bu bağlamda, ilgili değişkenlerin uzun dönemli denge değerine yaklaşabilmesi için hata düzeltme parametresine ait katsayının negatif ve istatistikî bakımdan anlamlı olması gerekmektedir.

#### 4. Uygulama Bulguları

Zaman serisi analizleri, değişkenlerin durağan olup olmadıklarının araştırıldığı birim kök testleri ile başlamaktadır. Tablo 2, ADF ve PP birim kök testi sonuçlarını göstermektedir. Değişkenlerin tamamının sabitli, sabitli-trendli ve sabitsiz-trendsiz ADF ve PP testlerine tabi tutulduğu dikkate alındığında, bütün değişkenlerin her iki birim kök analiz tekniği itibarıyla birinci fark düzeylerinde durağan olduğu görülmektedir.

**Tablo 2. ADF ve PP Birim Kök Testi Sonuçları**

Değişken	ADF Birim Kök Testi Sonuçları					
	Sabitli		Sabitli & Trendli		Sabitsiz & Trendsiz	
	Seviye	Birinci Fark	Seviye	Birinci Fark	Seviye	Birinci Fark
Rebound	-1.715(8)	-3.615(7)***	0.492(10)	-5.541(9)***	-2.785(8)**	-2.798(7)***
Büyüme	-1.996(0)	-7.899(1)***	-1.924(0)	-7.806(1)***	-1.252(0)	-7.990(1)***
Enerji İthalatı	-2.371(0)	-6.294(0)***	-2.636(0)	-6.613(0)***	3.179(0)	-2.175(7)**
Enerji Tasarruf	1.331(0)	-6.923(0)***	-1.566(0)	-6.882(1)***	4.491(0)	-4.977(0)***
Enerji Tüketim	0.443(0)	-6.807(0)***	-2.280(0)	-6.826(0)***	3.813(0)	-5.289(0)***
Enerji Üretim	-0.500(1)	-4.168(0)***	-2.875(2)	-4.129(0)**	1.753(1)	-3.546(0)***
Enflasyon	-2.036(0)	-8.206(0)***	-2.028(0)	-8.332(0)***	-1.236(0)	-8.296(0)***
Cari Açık	-1.384(2)	-8.359(1)***	-1.780(2)	-8.263(1)***	-0.408(2)	-8.366(1)***
Çevre	-0.644(0)	-6.881(0)***	-3.149(0)	-6.809(0)***	2.903(0)	-5.678(0)***
<b>Kritik Değerler</b>	* : -2.606 ** : -2.936	* : -2.606 ** : -2.936	* : -3.198 ** : -3.533	* : -3.198 ** : -3.533	* : -1.611 ** : -1.949	* : -1.611 ** : -1.949

	***: -3.605	***: -3.605	***: -4.219	***: -4.219	***: -2.624	***: -2.624
PP Birim Kök Testi Sonuçları						
Değişken	Sabitli		Sabitli & Trendli		Sabitli & Trendsiz	
	Seviye	Birinci Fark	Seviye	Birinci Fark	Seviye	Birinci Fark
Rebound	-1.122(3)	-3.707(0)***	-2.440(2)	-3.891(2)**	-1.163(4)	-3.592(0)***
Büyüme	-1.083(4)	-6.580(1)***	-2.003(4)	-6.318(2)***	-1.391(4)	-6.961(2)***
Enerji İthalatı	-2.375(3)	-6.322(3)***	-2.630(2)	-6.619(3)***	2.407(4)	-5.086(4)***
Enerji Tasarruf	2.674(3)	-6.974(5)***	-1.355(10)	-4.531(4)***	5.514(9)	-5.020(3)***
Enerji Tüketim	1.515(5)	-7.324(8)***	-2.367(1)	-8.329(10)***	8.062(8)	-5.267(2)***
Enerji Üretim	-0.336(4)	-4.072(1)***	-1.860(4)	-4.031(1)**	2.360(4)	-3.378(1)***
Enflasyon	-1.901(2)	-8.378(5)***	-1.840(4)	-9.303(9)***	-1.082(5)	-8.477(5)***
Cari Açık	-3.268(4)**	-11.169(3)***	-3.977(4)**	-11.024(3)***	-1.920(4)*	-11.173(3)***
Çevre	-0.581(7)	-7.541(8)***	-3.272(2)*	-7.395(8)***	3.259(5)	-5.673(2)***
Kritik Değerler	* : -2.599	* : -2.599	* : -3.183	* : -3.183	* : -1.612	* : -1.612
	** : -2.923	** : -2.923	** : -3.506	** : -3.506	** : -1.947	** : -1.947
	*** : -3.574	*** : -3.574	*** : -4.161	*** : -4.161	*** : -2.614	*** : -2.614

**Not:** ADF testinde parantez içindeki değerler ilgili değişkene ait optimum gecikme uzunluklarını yansıtmakta olup, bu değerler maksimum 10 gecikme uzunluğu üzerinden Schwarz Bilgi Kriteri kullanılarak elde edilmiştir. PP testinde ise parantez içindeki değerler, Newey-West kriterine göre belirlenen optimum gecikme uzunluklarını ifade etmektedir. \*, \*\* ve \*\*\* işaretleri ilgili değişkenin sırasıyla %10, %5 ve %1 önem seviyesinde durağan olduğunu yansıtmaktadır.

Modelde dikkate alınan değişkenler arasında uzun dönemli ilişkilerin söz konusu olup olmadığını araştırabilmek amacıyla yapılan ve çoklu ilişkileri dikkate alan Johansen-Juselius eşbütünleşme test sonuçları Tablo 3’de sunulmuştur. Analiz bulguları, model kapsamına dâhil edilen ilgili değişkenler arasında dört adet eşbütünleşik vektörün olduğunu yansıtmakta ve dolayısıyla da eşbütünleşik ilişkilerin geçerliliğini göstermektedir. Bu bağlamda, *rebound etkisinin* çeşitli ekonomik göstergeler ile uzun dönemli iktisadi ilişkiler içerisinde olabileceğini ve ilgili değişkenler arasında en azından tek yönlü nedensellik ilişkisinin beklenebileceğini söylemek mümkündür.

**Tablo 3. Çoklu İlişkileri Dikkate Alan Johansen-Juselius Eşbütünleşme Test Sonuçları**

Sıfır Hipotezi	Alternatif Hipotez	İz İstatistiği	%1 Kritik Değer	%5 Kritik Değer	Maksimum Özdeğer İstatistiği	%1 Kritik Değer	%5 Kritik Değer
$r = 0$	$r = 1$	240.702***	191.818	179.508	73.583***	61.350	54.965
$r \leq 1$	$r = 2$	167.118***	154.803	143.669	46.571	55.035	48.877
$r \leq 2$	$r = 3$	120.547**	121.743	111.780	34.890	48.658	42.772
$r \leq 3$	$r = 4$	85.656**	92.713	83.937	27.413	42.233	36.630
$r \leq 4$	$r = 5$	58.243	67.636	60.061	25.321	35.726	30.439
$r \leq 5$	$r = 6$	32.921	46.571	40.174	15.385	29.060	24.159
$r \leq 6$	$r = 7$	17.535	29.513	24.275	10.099	22.251	17.797
$r \leq 7$	$r = 8$	7.436	16.361	12.320	5.271	15.091	11.224
$r \leq 8$	$r = 9$	2.164	6.940	4.129	2.164	6.940	4.129

**Not:** Maksimum 10 gecikme uzunluğu dikkate alınarak hesaplanan optimum gecikme uzunluklarının belirlenmesinde Schwarz Bilgi Kriteri kullanılmıştır. \*\* ve \*\*\* işaretleri adı geçen sektörlere ait ilgili değişkenler arasında sırasıyla %5 ve %1 önem seviyesinde eşbütünleşik ilişkilerin olduğunu yansıtmaktadır.

Model kapsamında dikkate alınan değişkenler arasında uzun dönemli ilişkilerin bulunması, söz konusu değişkenler arasında en azından tek yönlü de olsa bir nedensellik ilişkisinin olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda hazırlanan Tablo 4, Granger nedensellik test sonuçlarını yansıtmaktadır.

**Tablo 4. Granger Nedensellik Analiz Sonuçları**

Değişken Çifti	Nedenselliğin Yönü	F İstatistiği	Olasılık Değeri	$EC_{t-1}$
<b>Modelin Optimum Gecikme Uzunluğu: 1</b>				
$\Delta$ Rebound- $\Delta$ Enerji Üretim	→	1.966*	0.085	-0.103*
$\Delta$ Enerji Üretim- $\Delta$ Rebound	-	0.477	0.493	-0.141
<b>Modelin Optimum Gecikme Uzunluğu: 2</b>				
$\Delta$ Rebound- $\Delta$ Enerji Tüketim	→	2.098***	0.004	-0.267**
$\Delta$ Enerji Tüketim- $\Delta$ Rebound	-	0.004	0.947	0.057
<b>Modelin Optimum Gecikme Uzunluğu: 2</b>				
$\Delta$ Rebound- $\Delta$ Enerji İthalatı	→	6.557***	0.000	-0.360***
$\Delta$ Enerji İthalatı- $\Delta$ Rebound	-	1.799	0.142	-0.356
<b>Modelin Optimum Gecikme Uzunluğu: 1</b>				
$\Delta$ Rebound- $\Delta$ Enerji Tasarrufu	→	2.675**	0.039	-0.334**
$\Delta$ Enerji Tasarrufu- $\Delta$ Rebound	-	0.259	0.612	-0.244
<b>Modelin Optimum Gecikme Uzunluğu: 4</b>				
$\Delta$ Rebound- $\Delta$ Büyüme	-	0.156	0.958	0.103
$\Delta$ Büyüme- $\Delta$ Rebound	-	0.016	0.999	-0.087
<b>Modelin Optimum Gecikme Uzunluğu: 1</b>				
$\Delta$ Rebound- $\Delta$ Enflasyon	→	2.128*	0.087	-0.117*
$\Delta$ Enflasyon- $\Delta$ Rebound	-	0.099	0.753	0.042
<b>Modelin Optimum Gecikme Uzunluğu: 1</b>				
$\Delta$ Rebound- $\Delta$ Cari Açık	→	3.554***	0.003	-0.441***
$\Delta$ Cari Açık- $\Delta$ Rebound	-	0.097	0.756	-0.103
<b>Modelin Optimum Gecikme Uzunluğu: 2</b>				
$\Delta$ Rebound- $\Delta$ Çevre	-	0.177	0.837	-0.111
$\Delta$ Çevre- $\Delta$ Rebound	-	1.257	0.295	0.163
<b>Modelin Optimum Gecikme Uzunluğu: 1</b>				
$\Delta$ Enflasyon- $\Delta$ Cari Açık	→	2.742***	0.008	-0.318**
$\Delta$ Cari Açık- $\Delta$ Enflasyon	→	1.993*	0.076	-0.223*

**Not:**  $\Delta$ , ilgili değişkene ait olan fark operatörünü yansıtmaktadır. Modellerin optimum gecikme uzunlukları, Schwarz Bilgi Kriteri dikkate alınarak maksimum 10 gecikme uzunluğu üzerinden hesaplanmıştır. \*, \*\* ve \*\*\* işaretleri ilgili değişkenler arasında sırasıyla %10, %5 ve %1 önem seviyesinde nedensellik ilişkilerinin olduğunu yansıtmaktadır.

Tablo 4’de sunulan Granger nedensellik analiz bulguları, enerji verimliliği olarak ifade edilen *rebound etkisi* ile iktisadi büyüme ve çevre değişkenleri arasında herhangi bir sebep-sonuç bağının geçerli olmadığını yansıtmıştır. Enerji etkinliğinin ekonomik büyüme süreci ile ilişkilendirilemeyeceğini ve ekonomik büyümenin ise en azından enerjiden sağlanan etkinlik pahasına gerçekleştirilemeyeceğini yansıtan analiz bulguları, enerji etkinliğinin çevre dostu bir yapıya sahip olamayacağını da ortaya koymuştur. Diğer taraftan analiz sonuçları, *rebound*

*etkisinden* enerji üretimi, tüketimi, ithalatı ve tasarrufuna doğru tek yönlü nedensellik ilişkilerinin varlığını da göstermiştir. Enerji etkinliğindeki bir değişimin enerji üretim ve tüketim düzeyini etkileyebildiği ve tüketim düzeyinin değişmesine paralel olarak enerji ithalatı ile tasarrufunun da etkilenebildiği analiz sonuçları itibariyle görülmüştür. İlaveten, *rebound etkisinden* enflasyona doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin ortaya çıkması, enerji etkinliği dolayısıyla hacmi değişen enerji tüketimi ve dolayısıyla enerji ithalatına kuşku ile bakılmasına zemin hazırlayabilmektedir. Enerji etkinliğindeki bir değişimin enerji üretimini, enerji tüketimine kıyasla daha düşük düzeylerde etkilemesi, söz konusu kuşku artıracak ilave bir etki yaratabilmektedir. Enerji etkinliği ile birlikte bir taraftan enerji ithalatının ve diğer taraftan da enflasyon düzeyinin değişebilmesi, enerji etkinliğinden cari açığa doğru tek yönlü bir nedensellik bağı oluşturabileceğini işaret etmektedir. Kaldı ki, enflasyon ve cari açık değişkenleri arasında çift yönlü bir nedensellik bağlantısının elde edilmesi, söz konusu yorumları güçlendirir bir nitelik taşımaktadır.

İfade edilen yorumların tutarlı bir zeminde değerlendirilebilmesi için enerji etkinliğinin diğer değişkenler üzerinde ortaya çıkarabileceği etkilerin büyüklüklerinin hesaplanması gerekmektedir. Gerekli hesaplamaların yapılabilmesi için kullanılan VEC modeli,

$$\Delta \text{Enerji Üretimi}_t = \alpha + \sum_{i=1}^m \beta_i \Delta \text{Enerji Üretimi}_{t-i} + \sum_{i=1}^n \gamma_i \Delta \text{Rebound}_t + \sum_{i=1}^p \psi_i \Delta \text{Rebound}_{t-i} + \lambda EC_{t-1} + e_t \quad (10)$$

olarak ifade edilebilir. Bu kapsam dâhilinde hazırlanan Tablo 5, VEC analiz bulgularını yansıtmaktadır.

**Tablo 5. VEC Modeli Analiz Sonuçları**

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Katsayı(Olasılık)	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Katsayı (Olasılık)
ΔEnerji Üretim	Sabit	320.990 <sup>*</sup> (0.082)	ΔEnerji Tüketim	Sabit	23.161 <sup>**</sup> (0.021)
	ΔEnerji Üretim(-1)	0.470 <sup>***</sup> (0.004)		ΔEnerji Tüketim(-1)	0.048(0.783)
	ΔRebound	113.77 <sup>*</sup> (0.075)		ΔEnerji Tüketim(-2)	-0.166(0.350)
	ΔRebound(-1)	240.509(0.891)		ΔRebound	313.947 <sup>***</sup> (0.004)
	ΔRebound(-2)	-200.954(0.907)		ΔRebound(-1)	32.340 <sup>*</sup> (0.073)
	ΔRebound(-3)	-582.588(0.596)		ΔRebound(-2)	43.137(0.675)
	ΔRebound(-4)	39.412(0.969)		ΔRebound(-3)	6.278(0.914)
	ΔRebound(-5)	518.864(0.587)		ΔRebound(-4)	-21.196(0.702)
ΔRebound(-6)	74.140(0.933)	ΔRebound(-5)	-12.948(0.799)		
EC <sub>t-1</sub>	-0.027 <sup>*</sup> (0.096)	ΔRebound(-6)	-41.134(0.387)		
<b>Modele Ait İstatistikler</b>			<b>Modele Ait İstatistikler</b>		
<b>R<sup>2</sup>: 0.315 F-İstatistiği: 1.932<sup>*</sup> Prob(F): 0.087 DW: 2.132</b>			<b>R<sup>2</sup>: 0.393 F-İstatistiği: 1.983<sup>*</sup> Prob(F): 0.064 DW: 1.919</b>		
Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Katsayı(Olasılık)	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Katsayı (Olasılık)
ΔEnerji İthalatı	Sabit	0.343(0.103)	ΔEnerji Tasarrufu	Sabit	-2023.84 <sup>***</sup> (0.002)
	ΔEnerji İthalatı(-1)	0.135 <sup>***</sup> (0.005)		ΔEnerji Tasarrufu(-1)	0.027(0.869)
	ΔEnerji İthalatı(-2)	0.055(0.753)		ΔEnerji Tasarrufu(-2)	-0.228(0.177)
	ΔEnerji İthalatı(-3)	0.004(0.971)		ΔRebound	-20594.47 <sup>***</sup> (0.001)
	ΔEnerji İthalatı(-4)	0.021(0.865)		ΔRebound(-1)	-346.255 <sup>*</sup> (0.095)
	ΔRebound	23.926 <sup>***</sup> (0.000)		ΔRebound(-2)	-4523.53(0.434)
	ΔRebound(-1)	1.589 <sup>**</sup> (0.022)		ΔRebound(-3)	-406.860(0.902)
	ΔRebound(-2)	0.324(0.940)		ΔRebound(-4)	2173.355(0.491)
	ΔRebound(-3)	0.104(0.966)		ΔRebound(-5)	1942.304(0.497)
	ΔRebound(-4)	1.031(0.642)		ΔRebound(-6)	3060.347(0.255)
	ΔRebound(-5)	-0.850(0.375)		EC <sub>t-1</sub>	-0.223 <sup>**</sup> (0.029)
ΔRebound(-6)	-1.001(0.268)				
EC <sub>t-1</sub>	-0.447 <sup>***</sup> (0.000)				
<b>Modele Ait İstatistikler</b>			<b>Modele Ait İstatistikler</b>		
<b>R<sup>2</sup>: 0.860 F-İstatistiği: 16.884<sup>***</sup> Prob(F): 0.000 DW: 1.918</b>			<b>R<sup>2</sup>: 0.360 F-İstatistiği: 2.002<sup>*</sup> Prob(F): 0.071 DW: 1.904</b>		
Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Katsayı(Olasılık)	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Katsayı (Olasılık)
ΔBüyüme	Sabit	-0.170(0.862)	ΔEnflasyon	Sabit	-1.674(0.651)
	ΔBüyüme(-1)	0.504 <sup>***</sup> (0.001)		ΔEnflasyon(-1)	0.153 <sup>**</sup> (0.039)
	ΔRebound	3.225(0.155)		ΔRebound	35.464 <sup>**</sup> (0.022)
	ΔRebound(-1)	-4.124(0.704)		ΔRebound(-1)	10.690 <sup>*</sup> (0.36)
	ΔRebound(-2)	-6.876(0.532)		ΔRebound(-2)	28.264(0.496)
	ΔRebound(-3)	3.126(0.655)		ΔRebound(-3)	18.654(0.473)
	ΔRebound(-4)	0.547(0.933)		ΔRebound(-4)	2.512(0.919)
	ΔRebound(-5)	4.735(0.432)		ΔRebound(-5)	-9.514(0.677)
ΔRebound(-6)	-7.144(0.208)	ΔRebound(-6)	-10.147(0.631)		
EC <sub>t-1</sub>	-0.157 <sup>*</sup> (0.079)	EC <sub>t-1</sub>	-0.137 <sup>*</sup> (0.081)		
<b>Modele Ait İstatistikler</b>			<b>Modele Ait İstatistikler</b>		
<b>R<sup>2</sup>: 0.211 F-İstatistiği: 1.953<sup>*</sup> Prob(F): 0.091 DW: 2.118</b>			<b>R<sup>2</sup>: 0.226 F-İstatistiği: 1.926<sup>*</sup> Prob(F): 0.093 DW: 2.031</b>		
Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Katsayı(Olasılık)	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Katsayı (Olasılık)
ΔCari Açık	Sabit	0.193(0.593)	ΔÇevre	Sabit	0.055 <sup>*</sup> (0.067)
	ΔCari Açık(-1)	0.285 <sup>*</sup> (0.086)		ΔÇevre(-1)	0.039 <sup>*</sup> (0.073)
	ΔRebound	16.074 <sup>***</sup> (0.001)		ΔRebound	0.821(0.338)
	ΔRebound(-1)	5.136 <sup>**</sup> (0.031)		ΔRebound(-1)	-0.021(0.947)
	ΔRebound(-2)	1.980 <sup>*</sup> (0.067)		ΔRebound(-2)	0.041(0.897)
	ΔRebound(-3)	-3.278(0.217)		ΔRebound(-3)	-0.058(0.763)
	ΔRebound(-4)	-3.039(0.224)		ΔRebound(-4)	-0.046(0.801)
	ΔRebound(-5)	2.165(0.353)		ΔRebound(-5)	-0.017(0.915)
ΔRebound(-6)	1.352(0.519)	ΔRebound(-6)	-0.059(0.706)		
EC <sub>t-1</sub>	-0.319 <sup>**</sup> (0.013)	EC <sub>t-1</sub>	-0.043 <sup>*</sup> (0.063)		
<b>Modele Ait İstatistikler</b>			<b>Modele Ait İstatistikler</b>		
<b>R<sup>2</sup>: 0.884 F-İstatistiği: 4.203<sup>***</sup> Prob(F): 0.001 DW: 2.024</b>			<b>R<sup>2</sup>: 0.170 F-İstatistiği: 0.849 Prob(F): 0.567 DW: 1.979</b>		
Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Katsayı(Olasılık)	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Katsayı (Olasılık)
ΔCari Açık	Sabit	-0.138(0.666)	ΔEnflasyon	Sabit	0.385(0.880)
	ΔCari Açık(-1)	0.367 <sup>**</sup> (0.013)		ΔEnflasyon(-1)	0.207 <sup>**</sup> (0.039)
	ΔEnflasyon	0.021 <sup>*</sup> (0.090)		ΔCari Açık	1.334 <sup>**</sup> (0.021)
	ΔEnflasyon(-1)	0.006(0.736)		ΔCari Açık(-1)	0.853(0.485)
	EC <sub>t-1</sub>	-0.556 <sup>*</sup> (0.067)		EC <sub>t-1</sub>	-0.465 <sup>**</sup> (0.033)
<b>Modele Ait İstatistikler</b>			<b>Modele Ait İstatistikler</b>		
<b>R<sup>2</sup>: 0.441 F-İstatistiği: 3.563<sup>***</sup> Prob(F): 0.008 DW: 2.094</b>			<b>R<sup>2</sup>: 0.680 F-İstatistiği: 3.953<sup>***</sup> Prob(F): 0.000 DW: 2.110</b>		

**Not:** Δ, ilgili değişkene ait fark operatörünü temsil etmektedir. Parantez içindeki değerler, maksimum 10 gecikme uzunluğu üzerinden Schwarz Bilgi Kriterine göre saptanmış olan optimum gecikme uzunluklarını yansıtmaktadır.

\*, \*\* ve \*\*\* işaretleri ilgili değişkenin sırasıyla %10, %5 ve %1 önem seviyesinde anlamlı olduğunu vurgulamaktadır.  $EC_{t-1}$ , eşbütünleşme denklemlerinden elde edilen hata düzeltme mekanizmasıdır.

Granger nedensellik bulgularını destekleyen ve Tablo 5’de gösterilen VEC modeli analiz sonuçları, enerji etkinliğinin ekonomik büyüme ve çevre üzerinde istatistiki bakımdan anlamlı sonuçlar ortaya koyamadığını yansıtmaktadır. Enerji etkinliğinin artması paralelinde enerji üretiminin oldukça kısıtlı düzeylerde artırılabilmesi, ekonomik büyüme sürecinin ise enerji verimliliğine anlamlı bir cevap verememesi, enerjinin makroekonomik bağlamda optimum sonuçlar verecek biçimde kullanılmadığının bir göstergesi niteliğindedir. Özellikle çevreye duyarlı bir enerji üretim ve etkinliğinin uluslararası platformda temel politika hedeflerinden biri olmasına rağmen, enerji etkinliğinin çevre boyutu üzerinde anlamlı etkiler ortaya çıkaramaması enerji politikaları kapsamında etkin işleyişin henüz tesis edilemediği şüphesini uyandırmaktadır. Diğer taraftan, enerji verimliliğinin artmasına karşın enerji tasarrufunun azaldığını ve böylece enerji tüketiminin ivme kazandığını gösteren model tahmin bulguları, *Jevons paradoksunun* ortaya çıktığını, bir diğer ifadeyle *rebound etkisinin* Türkiye ekonomisi için geçerli olduğunu öne sürmektedir. Enerji etkinliği karşısında bir taraftan enerji üretiminin kısıtlı düzeyde artması ve diğer taraftan ise enerji tasarrufunun azalarak enerji tüketiminin ivme kazanması, Türkiye ekonomisinde enerji ithalatının yükselmesine ve böylece enflasyonist eğilimlerinin açığa çıkmasına yol açarak, sarmal bir döngüye sebebiyet verebilmektedir. Türkiye ekonomisinde uzun yıllardır süregelen ve adeta kronikleşen cari açık probleminin arkasındaki temel dinamiklerden biri ve belki de en önemlisi, enerji verimliliğinin arzulan düzeyde sağlanamaması ve enerji etkinliği sağlansa bile söz konusu etkinliğin üretim potansiyelinden ziyade tüketimi harekete geçiren dinamikleri uyarmasından kaynaklanmaktadır. Söz konusu bu bulgu, *rebound etkisi* ile birlikte cari açıkta meydana gelen artış şeklinde tezahür edebilmekte ve analiz sonuçlarından gözlenebilmektedir. Enerji ithalatı ve enflasyonla sonuçlandığı söylenebilen *rebound etkisinin* Türkiye ekonomisinde cari açık-enflasyon sarmalına yol açtığı da öne sürülebilmektedir. *Rebound etkisine* bağlı olarak artan enflasyonun cari açığı tetiklediği ve cari açıkların ise yeniden enflasyonist eğilimlere yol açtığını gösteren Tablo 5, cari açık-enflasyon sarmalının kendini gösterebilme potansiyelinin yüksekliğine vurgu yapmaktadır. Model tahmin süreçlerine dâhil edilen hata düzeltme katsayılarının istatistiki bakımdan anlamlı olmaları, kısa dönemde *rebound etkisi* nedeniyle ortaya çıkabilecek dengesizliklerin uzun dönemde giderilebileceğini yansıtmaktadır. Diğer



taftan, kurulan modellerin çoğunlukla bir bütün olarak anlamlı olmaları ve otokorelasyon problemini bünyelerinde barındırmamaları, modellerin tutarlılığının bir göstergesi niteliğindedir.

## 5. Sonuç

*Jevons paradoksunun* geçerliliğinin sınındığı bu çalışmada, Türkiye ekonomisinde 1967-2015 dönemi itibariyle enerji etkinliği olarak adlandırılan *rebound etkisinin* enerji tüketimi başta olmak üzere enerji üretimi, tasarrufu ve ithalatının yanı sıra ekonomik büyüme, enflasyon, cari açık ve çevre üzerindeki etkileri zaman serisi analizleri yardımıyla incelenmiştir.

Bu kapsamda ilk olarak serilerin durağanlık bilgileri ADF ve PP birim kök testleri yardımıyla incelenmiş ve analiz sonuçları model kapsamında incelenen tüm değişkenlerin birinci fark düzeyinde durağan olduğunu göstermiştir. Değişkenlere ait durağanlık bilgilerinin elde edilmesini takiben ikinci aşamada, çoklu ilişkileri dikkate alan Johansen-Juselius eşbütünleşme modeli çerçevesinde uzun dönemli ilişkilerin geçerliliği sınanmış ve bulgular değişkenler arasında koentegre, yani eşbütünleşik ilişkilerin varlığını kanıtlamıştır. *Rebound etkisi* ile ekonomik büyüme ve çevre arasında herhangi bir sebep-sonuç ilişkisinin ortaya çıkmadığını gösteren Granger nedensellik bulguları, *rebound etkisi* ile dikkate alınan diğer altı değişken arasında en azından tek yönlü nedensellik ilişkilerinin kendini gösterdiğini ortaya koymuştur. Granger nedensellik bulgularını destekleyen VEC modeli analiz sonuçları ise, enerji etkinliğinin ekonomik büyüme ve çevre üzerinde istatistiki bakımdan anlamlı sonuçların olmadığını göstermiştir. Diğer taraftan, enerji verimliliğinin artması paralelinde enerji üretiminde kısıtlı artışların ortaya çıktığını, enerji tasarrufunun azaldığını ve böylece enerji tüketiminin ivme kazandığını gösteren model tahmin bulguları, *Jevons paradoksunun* kendini gösterdiğini, bir diğer ifadeyle *rebound etkisinin* Türkiye ekonomisi için geçerli olduğunu yansıtmıştır. Enerji etkinliği karşısında bir taraftan enerji üretiminin istatistiki bakımdan düşük bir anlamlılık düzeyinde etkilenmesi ve diğer taraftan ise enerji tasarrufunun azalarak enerji tüketiminin artması, Türkiye ekonomisinde enerji ithalatının yükselmesine, enflasyonist eğilimlerinin açığa çıkmasına ve cari açığın boyutlarının genişlemesine yol açabilmektedir. Türkiye ekonomisinde uzun yıllardır süregelen ve adeta kronikleşen cari açık probleminin arkasındaki temel dinamiklerden biri ve belki de en önemlisi, enerji verimliliğinin arzulanan

düzye sağlanamaması ve enerji etkinliği sağlansa bile söz konusu etkinliğin üretim potansiyelinden ziyade tüketimi harekete geçiren dinamikleri uyarmasından kaynaklanmaktadır. Artan cari açıkların ise enflasyonla karşılıklı bir etkileşim içinde olması ise cari açık-enflasyon sarmalına neden olabilmektedir.

Türkiye ekonomisinde enerji etkinliğinin artırılma çabasına karşın enerji üretiminde benzer bir başarının sağlanamaması bir taraftan ekonomik büyüme sürecine dinamizm kazandırabilmek adına gerekli olan enerji üretiminin desteklenememesi problemini açığa çıkarabilmekte ve diğer taraftan da tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak daha fazla enerji tüketimine yol açabilmektedir. Enerji etkinliğine rağmen bir taraftan üretimin istenilen düzeylere çekilememesi ve diğer taraftan da tüketimin artması, *enerji geri tepmesi* olarak adlandırılan bir süreci ortaya çıkarabilmektedir. Diğer taraftan, enerji tüketiminin artması paralelinde enerji tasarrufunun azalma eğiliminde olması enerji ithalatının gittikçe artmasına ve enflasyonist eğilimlerinin en azından artan enerji ithalatı nedeniyle yükselmesine neden olabilmektedir. Yükselen enflasyon oranlarının cari açıkları yeniden tetikleyici bir rol oynaması, ülke ekonomisinin kaçınılmaz bir biçimde cari açık-enflasyon sarmalına yönelmesi ile sonuçlanabilmektedir. Ekonomik büyümeye ivme kazandıramayan, üretimde istenilen düzeyde etkinliği sağlayamayan ancak enerji tüketim düzeyini sürekli yükselten enerji politikalarının cari denge ve enflasyon gibi çeşitli makroekonomik dengeleri bozacağı açıktır. Bu bağlamda, enerji tüketimini sınırlandıran veya enerjinin daha verimli kullanılmasına olanak sağlayan bir iktisadi politika, oldukça kısıtlayıcı da olsa en azından kısa dönemde çözüm olarak dikkate alınabilir. Uzun dönemde ise enerji verimliliğinin yanı sıra enerji üretimi, tüketimi ve tasarrufu konusunda toplumu bilinçlendirecek bir eğitim reformu etkin sonuçlar verebilecektir. Bir diğer ifadeyle, toplumsal bilinç duygusunun harekete geçirilerek enerji tüketimi ve tasarrufu konusunda algı ve eğitim sürecinin pekiştirilmesi, çeşitli tüketim politikalarının gözden geçirilmesi ve enerji üretimi konusunda optimaliteyi sağlayan teşvik ve önlemlerle etkinliğin artırılması temel hareket noktaları olabilir. Stanford (2013) tarafından da vurgulandığı üzere; tüketicilerin, gelecekte sağlayabileceği faydaları göz önünde bulundurmaksızın enerji verimliliği fazla olan ürünleri nispi olarak yüksek fiyatları dolayısıyla satın almaktan çekinmeleri ve çoğunlukla cari dönemde ceplerinden çıkacak paraya odaklanmaları, düşük enerji verimliliğinde çalışan malların satın alınması yönünde eğilimler doğurabilmektedir. Söz konusu bu süreç, bir taraftan enerji verimliliğinin enerji üretimine ve ekonomik büyümeye

dönüştürülmesini zorlaştırabilmekte, diğer taraftan da enerji tüketiminin etkinsizlik pahasına artmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla devletin, enerji verimliliği yüksek olan ürünlerin ölçek ekonomileri kapsamında daha fazla üretilmesini teşvik edecek makroekonomik politikaları hayata geçirmesi gerektiği söylenebilir. Ayrıca, klasik enerji üretim kaynaklarına ilaveten yenilenebilir enerji üretimine odaklanarak çevreye duyarlı enerji sistemlerinin geliştirilmesi, iktisadi politika süreci bağlamında değerlendirilmelidir.

### **Kaynaklar**

- BENTZEN, J. (2004). “Estimating the Rebound Effect in US Manufacturing Energy Consumption”, *Energy Economics*, 26(1), 123-134.
- BRANNLUND, R., GHALWASH, T. and NORDSTRÖM, J. (2007). “Increased Energy Efficiency and the Rebound Effect: Effects on Consumption and Emissions”, *Energy Economics*, 29(1), 1-17.
- BROOKES, L. (1979). “A Low-Energy Strategy for the UK by G. Leach et al.: A Review and Reply”, *Atom*, 269, 3-8.
- BULUŞ, A. and TOPALLI, N. (2011). “Energy Efficiency and Rebound Effect: Does Energy Efficiency Save Energy?”, *Energy and Power Engineering*, 3, 355-360.
- EVANS, A. and SCHAFFER, A. (2013). “The Rebound Effect in the Aviation Sector”, *Energy Economics*, 36, 158-165.
- GRANGER, C. W. J. and NEWBOLD, P. (1974). “Spurious Regressions in Econometrics”, *Journal of Econometrics*, 12(2), 111-120.
- GRANGER, C. W. J. (1964). *Spectral Analysis of Economic Time Series*, New Jersey: Princeton University Press.
- GRANGER, C. W. J. (1969). “Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods”, *Econometrica*, 37(3), 424-438.

- 
- GREENE, D. L. (1992). "Vehicle Use and Fuel Economy: How Big Is the Rebound Effect?", *The Energy Journal*, 13(1), 117-143.
- GREPPERUD, S. and RASMUSSEN, I. (2004). "General Equilibrium Assessment Ofr Ebound Effects", *Energy Economics*, 26, 261-262.
- HAAS, R. and BIERMAYR, P. (2000). "The Rebound Effect for Space Heating: Empirical Evidence from Austria", *Energy Policy*, 28(6-7), 403-410.
- HENS, H., PARIJS, W. and DEURINCK, M. (2010). "Energy Consumption for Heating and Rebound Effects", *Energy and Buildings*, 42(1), 105-110.
- JEVONS, W. S. (1865). *The Coal Question; an Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*. 2nd Ed., London: Macmillan.
- 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.
- JOHANSEN, S. (1988). "Statistical Analysis of Cointegration Vectors", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2-3), 231-254.
- JOHANSEN, S. (1991). "Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models", *Econometrica*, 59, 1551-1580.
- JOHANSEN, S. (1995). *Likelihood-Based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Models*, Oxford: Oxford University Press.
- JOHANSEN, S. and JUSELIUS, K. (1990). "Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration with Applications to the Demand for Money", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2), 169-210.
- KHAZZOOM, J. D. (1980). "Economic Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances", *The Energy Journal*, 1(4), 21-40.

- 
- LIN, B. and LIU, X. (2012). “Dilemma between Economic Development and Energy Conservation: Energy Rebound Effect in China”, *Energy*, 45(1), 867-873.
- LIN, B. and LIU, X. (2015). “A Study on the Energy Rebound Effect of China’s Residential Building Energy Efficiency”, *Energy and Buildings*, 86, 608-618.
- NASSEN, J. and HOLMBERG, J. (2009). “Quantifying the Rebound Effects of Energy Efficiency Improvements and Energy Conserving Behaviour in Sweden”, *Energy Efficiency*, 2(3), 221-231.
- OUYANG, J., LONG, E. and HOKAO, K. (2010). “Rebound Effect in Chinese Household Energy Efficiency and Solution for Mitigating It”, *Energy*, 35(12), 5269-5276.
- SAUNDERS, H. D. (1992). “The Khazzoom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth”, *The Energy Journal*, 13(4), 131-148.
- SAUNDERS, H. D. (2013). “Historical Evidence for Energy Efficiency Rebound in 30 US Sectors and a Toolkit for Rebound Analysts”, *Technological Forecasting and Social Change*, 80(7), 1317-1330.
- SCHLEICH, J., MILLS, B. and DÜTSCHKE, E. (2014). “A Brighter Future? Quantifying the Rebound Effect in Energy Efficient Lighting”, *Energy Policy*, 72, 35-42.
- SMALL, K. A. and VAN DENDER, K. (2007). “Fuel Efficiency and Motor Vehicle Travel: The Declining Rebound Effect”, *The Energy Journal*, 28(1), 25-51.
- SORRELL, S. (2007). “The Rebound Effect: An Assessment of the Evidence for Economy-Wide Energy Savings from Improved Energy Efficiency”, *UK Energy Research Centre Project Report*.
- SORRELL, S., DIMITROPOULOS, J. and SOMMERVILLE, M. (2009). “Empirical Estimates of the Direct Rebound Effect: A Review”, *Energy Policy*, 37(4), 1356-1371.

- 
- STANFORD, J. (2013), *Herkes İçin İktisat: Kapitalist Sömürüyü Anlama Kılavuzu*, (Çev. Tuncel Öncel), İkinci Baskı, İstanbul: Yordam Kitap.
- TABAN, S. (2008). “Türkiye’de Enflasyon-Ekonomik Büyüme İlişkisi: Sınır Testi Yaklaşımı”, *TİSK Akademi*, 3(5), 144-167.
- TURNER, K. (2009). “Negative Rebound and Disinvestment Effects in Response to an Improvement in Energy Efficiency in the UK Economy”, *Energy Economics*, 31(5), 648-666.
- WANG, H., ZHOU, P. and ZHOU, D.Q. (2012). “An Empirical Study of Direct Rebound Effect for Passenger Transport in Urban China”, *Energy Economics*, 34, 452-460.
- YAMAK, N. ve KÜÇÜKKALE, Y. (1997). “Türkiye’de Kamu Harcamalarının Ekonomik Büyüme İlişkisi”, *İktisat İşletme ve Finans*, 12(131), 5-14.
- YAPRAKLI, S. (2007). “Ticari ve Finansal Dışa Açıklık ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Türkiye Üzerine Bir Uygulama”, *Ekonometri ve İstatistik*, 5, 67-89.
- YETİŞKUL, E. ve ŞENBİL, M. (2010). “Kentsel Ulaşım Sektöründe Enerji Verimliliği: Uluslararası Bir Karşılaştırma”, *METU JFA*, 27(1), 185-200.
- YU, B., ZHANG, J. and FUJIWARA, A. (2013). “Evaluating the Direct and Indirect Rebound Effects in Household Energy Consumption Behavior: A Case Study of Beijing”, *Energy Policy*, 57, 441-453.