

Türkiye'nin Çevresel Enerji Etkinliği ve Toplam Faktör Verimliliği: Karşılaştırmalı Bir Analiz¹

Environmental Efficiency and Total Factor Productivity of Turkey: A Comparative Analysis

Nevzat ŞİMŞEK

ÖZET

Türkiye'nin enerji verimliliği ve etkinliğinin, OECD ülkeleri örnekleme içinde karşılaştırmalı olarak ölçülmesi amaçlanan bu çalışmada, Veri Zarflama Analizi çerçevesinde Süper Etkinlik Modeli ve İstenmeyen Çıktı Modeli ile Türkiye'nin ekonomi düzeyinde teknik etkinliği ölçülmüş, Malmquist endeksi yardımıyla Türkiye'nin toplam faktör verimliliğindeki değişime analiz edilmiştir. Türkiye ithal ettiği enerjide diğer üretim faktörleri ile birlikte etkin kullanmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Türkiye'nin kullandığı enerjide ağırlığın fosil yakıtlarda olması CO₂ salınımının da fazla olmasına neden olmaktadır. Model sonuçları çerçevesinde Türkiye'nin ekonomisinin yapısı ile ilgili önemli bulgular ortaya çıkmaktadır. Bu çerçevede nitelsiz emek, nükleer eksikliği, enerji güvenliği, enerji güvenliği bağlamında da temiz enerji ön plana çıkmaktadır. Hızla artan enerji ihtiyacı göz önüne alındığında; yerli kaynakların değerlendirilmesini sağlayacak, Türkiye koşullarına uygun, dünyada enerji alanındaki gelişmeleri takip eden, uzun vadeli sosyal, ekonomik ve çevresel politikaları bir arada ele alan bir enerji politikasına ihtiyaç duyulduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji etkinliği ve verimliliği, çevresel enerji etkinliği

ABSTRACT

In this paper I aim to measure Turkey's energy efficiency and productivity in the OECD sample comparatively. I have used the Super Efficiency Model and the Bad Output Model to measure technical efficiency of Turkey generally and to see Turkey's inefficiency in the energy inputs specifically under general return to scale assumption. Also I have used the Malmquist index to measure the changes in total factor productivity. I have come to the conclusion that Turkey hasn't used energy inputs efficiently as non-energy inputs did. The fact that the share of fossil fuel is much in the energy consumption of Turkey has caused higher CO₂ emissions in Turkey. According to the model results unskilled labour, lack of nuclear energy, energy security and clean energy have come to the forefront for Turkey. I have concluded that we need an energy policy which will follow developments in the energy field in the world, will be in accordance with our long term social, economic and environmental policies and will enable to use our domestic sources, by taking into consideration ever-growing energy needs in the world.

Keywords: Energy efficiency and productivity, environmental efficiency

1. GİRİŞ

Özellikle 1970'li yıllardan sonra yükselen enerji fiyatlarına ve dünya ölçeğinde CO₂ salınımının artması nedeniyle küresel iklim değişikliği konusuna yönelik artan ilgiye paralel olarak enerji etkinliği konusu da birçok ülkede enerji stratejisinin çok önemli bir parçası olmuştur. Başarılı bir enerji stratejisi için gerekli fakat henüz tam çözüme kavuşmayan ilk iş, enerji etkinliğini ölçecek uygun göstergeleri bulmaktır. Uygun göstergeleri bulmanın yanı sıra enerji etkinliği kavramını tanımlamak da gerekmektedir. Birçok araştırmacı ekonomi ölçeğinde ya da fabrika/endüstri düzeyinde enerji etkinliğinin zaman içindeki seyrini izlemek, ülkeler ya da ülke içinde bölgeler arasında enerji etkinliğini karşılaştırmak için uygun göstergeler bulmaya çalışmışlardır. Çok sayıda ulusal ve uluslararası enerji kuruluşu da kendi etkinlik ölçümleri-

ni geliştirmişlerdir. Örneğin IEA (2004, 2007), EECA (2006), NRC (2006), OEERE (2007) ve ODYSSEE (2007) çalışmaları örnek olarak gösterilebilir (Ang, 2006; Grösche, 2008).

Enerji kullanımı ve ekonomik çıktı arasındaki ilişkiyi inceleyen yazında genellikle enerji yoğunluğu ve enerji etkinliği olmak üzere iki kavram kullanılmaktadır. Her biri farklı açılardan esasında benzer bir olguyu ölçmeye çalışmaktadır. Enerji etkinliği esasında teknolojiye ve üretim yöntemlerine bağlı olan bir parametre olup aynı zamanda bir ekonominin enerji yoğunluğunu (enerji girdisi /ekonomik çıktı) gösteren GDP başına enerji miktarını da etkiler. Enerji yoğunluğu ise, tüketici tercihlerine ve iklim, coğrafya ve kültür gibi yapısal parametrelere de bağlıdır. Diğer bir ifadeyle yoğunluk göstergelerindeki değişimler davranışsal, yapısal ya da etkinlik değişimle-

rinden kaynaklanabilir. Fakat enerji etkinliğinin artırılması, yanlış bir şekilde sektörel ve ulusal düzeyde enerji yoğunluğunun azaltılması ile karıştırılmaktadır. Teknik etkinlik ile enerji yoğunluğu arasındaki ilişki toplulaştırma düzeyi artıkça belirsiz hale gelmektedir. Diğer bir ifadeyle ölçümün fabrika, endüstri ya da ekonomi düzeyinde yapılmasına bağlı olarak sonuç değişmektedir. Tek bir makine düzeyinde tek bir çıktı birimini düşünürsek, enerji etkinliği ile enerji yoğunluğu aynı olacaktır. Toplulaştırma seviyesinin açık bir şekilde ifade edilmesi yanlış anlamaların ve yanlış yorumlamaların önüne geçecektir (Biol ve Keppler, 2000).

Yazında genellikle ülkelerin enerji yoğunlukları değerlendirilmekte, enerji yoğunluğundaki farklılıklar analiz edilmekte, kabaca enerji etkinliğinin artırılması ya da enerji yoğunluğunun azaltılması konusu üzerinde durulmaktadır. Ayrıca bu enerji yoğunluğu göstergeleri yalnızca enerji girdilerini kullanmaktadırlar. Fakat üretim çerçevesi içinde enerji etkinliğini değerlendirirken enerji ve enerji dışı değişkenleri birlikte ele almak ve diğer girdilerdeki değişmelerin enerji etkinliği üzerindeki etkilerini dikkatten kaçırmamak önemlidir. Veri zarflama analizi (Data Envelopment Analysis-DEA) temelli enerji etkinlik endekslerini, enerji ve enerji dışındaki girdileri birlikte dikkate almaları nedeniyle toplam faktör etkinliği ya da verimliliği kapsamında enerji etkinliği ve verimliliğini ölçmek için kullanmak mümkündür. Bu nedenle de hem mikro hem de makro düzeyde enerji etkinliğini ölçmek için DEA son zamanlarda yaygın olarak kullanılan yaklaşımlardan birisidir. Örneğin DEA kullanılarak endüstri düzeyinde yapılan çalışmalara örnek olarak Weyman-Jones (1991), Bagdadioglu vd. (1996), Yunos ve Hawdon (1997), Førsund ve Kittelsen (1998), Boyd ve Pang (2000), Ramanathan (2000), Raczka (2001), Kulshreshtha ve Parikh (2002), Pacudan ve de Guzman (2002), Jamasb vd. (2004), Pombo and Taborda (2006), Vaninsky (2006), Onut ve Soner (2006), Wei vd. (2007), Azadeh vd. (2007, 2008), Mukherjee (2008) ve Lee (2008) verilebilir. Hu ve Wang (2006), Hu ve Kao (2007), Chien ve Hu (2007) and Xu ve Liang (2007) da DEA analizini kullanarak genel ekonomi ölçeğinde enerji etkinliğini ölçmüşlerdir.

Fosil kaynaklı enerji girdisi istenen çıktıları üretmek için kullanılırken aynı zamanda CO₂ salınımları gibi bazı istenmeyen çıktıların oluşumuna da neden olmaktadır. Fakat geleneksel DEA ölçümleri bu istenmeyen çıktıları dikkate almamaktadır. İstenmeyen çıktıları dikkate almadan enerji etkinliğini ölçmek yerine hem istenen hem de istenmeyen çıktıların eşan-

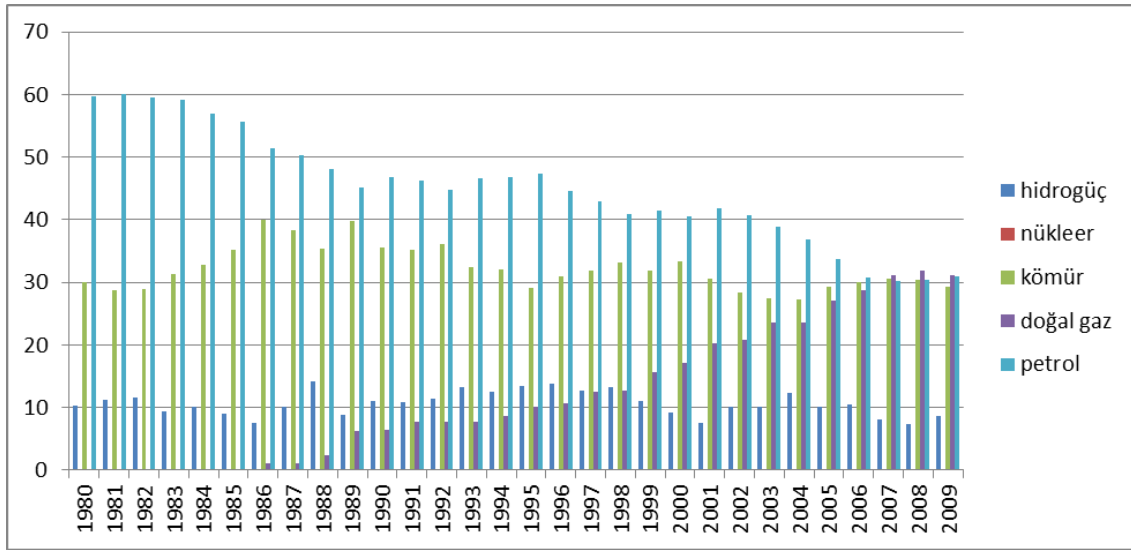
lı olarak düşünüldüğü bir üretim sürecinde enerji etkinliğini değerlendirmek daha uygun olacaktır. Ekonomi ölçeğinde karbon etkinliğini ya da çevre etkinliğini ölçecek şekilde son zamanlarda çeşitli DEA modelleri geliştirilmiştir. Örneğin, Färe vd. (1989, 1996), Tyteca (1997), Chung vd. (1997), Zofio ve Prieto (2001), Yu (2004), Zaim (2004), Färe ve Grosskopf (2004), Zhou ve Ang (2008), Zhou vd. (2008a, 2008b) ve Yang vd. (2009)'nin çalışmaları istenmeyen çıktılardan varlığı durumunda etkinlik ölçümü yapan çalışmalardan bazılarıdır.²

Ekonomik ve toplumsal kalkınmanın vazgeçilmez girdilerinden biri olan, topyekün kalkınmayı hızlandırıcı özelliği ile 1970'li yıllardan itibaren tüm dünya ülkelerinin gündeminde ağırlıklı olarak yer alan enerji, özellikle kaynakları kıt, ülke talebini ithalatla karşılamak zorunda olan Türkiye gibi ülkeler için kritik bir öneme sahiptir. Türkiye enerji gereksiniminin yarıdan fazlasını ithalatla karşılanmaktadır. Aşağıdaki grafik Türkiye'nin toplam birincil enerji kaynakları tüketiminde enerji türlerinin payını göstermektedir. Petrol toplam enerji tüketiminde en büyük paya sahiptir. Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi çabaları nedeniyle, Türkiye ekonomisinde son zamanlarda kullanılmaya başlayan doğal gaz hızla payını arttırmaktadır. Fakat doğal gaz da ithalat ile karşılanan bir kaynaktır. Bu nedenle Türkiye'nin enerji etkinlik seviyesini tespit etmek ve farklı enerji etkinlik seviyelerine yol açan faktörleri incelemek, enerji tüketimini ve kirliliği azaltmayı amaçlayan kamu politikalarının oluşturulmasına yardımcı olabilir. Eğer enerji etkinliği düşüğe kamu yöneticileri sektörler arasındaki enerji tasarruf önlemlerine öncelik vermelidirler. Bu yolla teknik etkinlikteki artışların çıktı birimi başına kullanılan enerjinin azaltılmasına neden olması halinde yüksek enerji etkinliği, daha düşük ithalat, daha yavaş kaynak tüketimi, daha az çevresel bozulma ve çıktı birimi başına daha düşük maliyet anlamına gelecektir.

Çoklu girdi (enerji ve enerji dışı girdi) ve çoklu çıktı (istenen ve istenmeyen çıktı) ile ölçüm yapabilmesi ve karar verme birimlerinin (Decision Making Units-DMU) amaçlarını dikkate alabilmesi nedeniyle bu çalışmada tercih edilen DEA tipi doğrusal programlama modelleri, takip eden ikinci bölümde açıklanmıştır. Üçüncü bölümde verilerin kaynağı ve nasıl düzenlendiği yer almaktadır. Dördüncü bölümde ise model sonuçları açıklanmış ve tartışılmıştır. Son bölüm sonuç ve önerilerden oluşmaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada aynı girdileri kullanarak aynı çıktıları üreten aynı tip DMU'nun etkinliğini değerlendirmek



Şekil 1. Türkiye'nin Birincil Enerji Tüketiminde Enerji Türlerinin Payları

üzere kullanılan DEA yöntemi, gözlenen değerlerin alt ve üst sınırlarını dikkate almakta ve bir DMU'nun etkinliğini diğer DMU'ların ulaştıkları etkinlik düzeyleri ile karşılaştırarak nispi bir sonuç vermektedir. Dolayısıyla tüm DMU'lar, ya etkin sınırlar üzerinde yer almakta ya da etkisiz konumda bulunmaktadır (Kök ve Deliktaş, 2003; Chen ve Sherman, 2004). İlk olarak Farrell (1957) tarafından kurgulanan DEA yöntemi; Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) (1978) tarafından geliştirilmiştir. CCR modeli ölçeğe göre sabit getiri (constant returns to scale-CRS) varsayımı altında etkinliği ölçmektedir. DEA çalışmalarının en başından itibaren CCR modelinin geliştirilmesi ve değiştirilmesi yönünde araştırmalar yapılmıştır/yapılmaktadır. Bunlardan birisi de Banker, Charnes ve Cooper (1984) tarafından geliştirilen BCC modelidir. Banker vd. (1984) CCR modelini ölçeğe göre değişken getiri varsayımı (variable returns to scale-VRS) çerçevesinde ele almışlardır. Ayrıca ölçeğe göre genel getiri (generalized returns to scale-GRS) varsayımı da yapılmaktadır. GRS varsayımı yapıldığında modelde üst ve alt sınır için uygun aralığı belirlemek mümkün olmaktadır. Örneğin $L=0.8$ ve $U=1.2$. verildiğinde ölçeğe göre getiri en fazla $L=0.8$ 'a kadar azalabilir ve $U=1.2$ 'ye kadar artabilir.

Yazındaki DEA modellerini üç grup altında toplamak mümkündür: (1) Radyal, (2) Radyal olmayan ve Odaklı ve (3) Radyal olmayan ve Odaksız. Radyal modeller, girdi-çıkıtı değerlerindeki oransal değişimleri temel alarak girdi fazlasının ve çıktı eksikliğinin modelde kalması anlamında aylıklık (slack) değişkeninin varlığını ihmal etmekte iken, radyal olmayan mo-

deller girdi-çıkıtı değerlerindeki oransal değişmeye bağlı kalmaksızın aylıklık değişkenleriyle doğrudan ilgilenmektedirler (Chen ve Sherman, 2004). Radyal olmayan modeller yazında aylıklık değişkenine dayanan modeller (slack based measure-SBM) olarak geçmektedir. Odaklı modeller ise, etkinliği çıktı ya da girdi odaklı olarak değerlendirmekte, diğer bir ifadeyle değerlendirmenin ana hedefi a) çıktılar sabit tutulurken girdi miktarının azaltılması ve b) girdiler sabit tutulurken çıktı miktarının artırılması olmaktadır. Birinci tür modeller yazında girdi odaklı, ikinci tür modeller ise çıktı odaklı modeller olarak adlandırılmaktadır. Fakat son zamanlarda odaksız (Non-oriented) modeller de geliştirilmiştir. Odaksız bu tür modeller, girdinin azaltılması ve çıktının artırılması ile aynı anda ilgilenmektedirler. İki amacı bir arada inceleme fırsatı vermesi açısından çalışmada odaksız yaklaşım tercih edilmiştir. Bu çalışmada ekonomi seviyesinde ülkelerin etkinliği ölçüldüğünden bir firma ya da endüstri için ihmal edilebilecek aylıklıklar özellikle dikkate alınmıştır.

Konu ile ilgili yazında genelde birçok çalışma üretim teknolojisinin CRS özelliği gösterdiğini varsaymakla birlikte az da olsa VRS'yi varsayımını kullanan çalışmalar da vardır. Tyteca (1996), Scheel (2001) ve Färe ve Grosskopf (2004) özet bir şekilde çevresel DEA teknolojisinde VRS'nin nasıl kullanılacağını açıklamışlardır. Bilgimiz dahilinde GRS'yi kullanarak yapılan bir enerji etkinlik çalışması henüz yoktur. Bu çalışmada İzlanda ve ABD aynı örneklem içinde yer almaktadır. Bu durum kısmen de olsa bir ölçek farklılığı olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle çalış-

mada GRS varsayımı kabul edilmiştir.

Öte yandan DEA yazınında son yıllarda süper etkinlik modelleri üzerinde çalışmalar hız kazanmıştır. Geleneksel DEA modelinde en iyi üretim sınırı (best-practice frontier) üzerinde yer alan DMU, 1.0 değeri ile ifade edilen tam etkinlik durumundadırlar ve uygulamalardan anlaşılacağı üzere çok sayıda DMU bu etkinlik değerini yakalayabilmektedir. Çünkü DMU modelleri en uçtaki noktaları etkin olarak tanımlama yönünde geliştirilen modellerdir (Zhu, 2001). Süper etkinlik modeli bu etkin DMU'ları ayırmaktadır. Bunu yaparken dayandığı temel fikir, söz konusu etkin DMU'yu üretim olanakları kümesinden silmek ve DMU ile geri kalan üretim olanakları kümesi arasındaki uzaklığı ölçmektir (Chen vd. 2004). Eğer uzaklık küçük ise DMU'nun süper etkinliği düşük, büyük ise geri kalan DMU'lar ile karşılaştırıldığında DMU'nun süper etkinliği yüksek olmaktadır. Bu şekilde elde edilen uzaklığa göre de DMU'ların etkinlik değerleri sıralanmaktadır. Bu çalışmada Tone (2002) tarafından geliştirilen bu model kullanılacaktır. Tone'un (2002) bu süper etkinlik modelinde SBM'den yararlanılmaktadır. Süper etkinlik modelinin nasıl hesaplandığı örnek yardımıyla Ek-1'de verilmiştir. Tone (2002) tarafından önerilen bu Süper SBM-GRS modelinin çözümü DMU0 (x_0, y_0) için şu şekildedir:

$$\begin{aligned} \text{Min } \pi_0 &= \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i / x_{i0} \right) / \left(\frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \bar{y}_r / y_{r0} \right) \\ \text{Kısıtlar } \bar{x}_i &\geq \sum_{j=1, j \neq 0}^n x_{ij} \lambda_j \quad i = 1, \dots, m, \\ \bar{y}_r &\leq \sum_{j=1, j \neq 0}^n y_{rj} \lambda_j \quad r = 1, \dots, s, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1, \\ \bar{x} &\geq x_{i0}, \bar{y} \leq y_{r0}, \bar{y} \geq 0, \lambda_j \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Burada (\bar{x}_i, \bar{y}_r) noktası, kalan üretim olanakları kümesi üzerindedir. Amaç fonksiyonunun payı x_{i0} 'dan $\bar{x}_i (\geq x_{i0})$ 'e l_j uzaklığı ile ağırlıklandırılmış olup, (\bar{x}_i, \bar{y}_r) noktasının x_{i0} 'ın \bar{x}_i 'e ortalama genişleme oranını ifade eder. Amaç fonksiyonunun paydası ise y_{r0} 'dan $\bar{y}_r (\leq y_{r0})$ 'e uzaklığı ile ağırlıklandırılmış olup (\bar{x}_i, \bar{y}_r) noktasının y_{r0} 'ın \bar{y}_r 'e ortalama azalma oranını gösterir. Daha küçük bir payda değeri, \bar{y}_r 'ye göre y_{r0} 'ın daha uzakta olması anlamına gelir.

Yukarıdaki tür modellerde, DMU'ların istenen çıktıları üreten etkin olup olmadıkları araştırılmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi enerji tüketimi aynı zamanda karbon salınımı gibi istenmeyen çıktılara

da yol açmaktadır. Bu istenmeyen çıktıları ihmal etmek yanlış sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilir. Çünkü istenmeyen çıktıların varlığı durumunda etkinlik kriteri daha çok istenen çıktı daha az istenmeyen çıktıyı daha az girdi ile üretmek olmaktadır. DEA yazınında çeşitli yazarlar çevresel performans ölçümü çerçevesinde geleneksel etkinlik ölçümlerini uyarlayan yöntemler geliştirmişlerdir. Fakat bir etkinlik modeli içine istenmeyen çıktıyı nasıl ekleneceği hususunda henüz bir anlaşma yoktur. Bu çalışmada kullanılan model, Tone (2001)'in önerdiği SBM'ye istenmeyen çıktıyı eklemeyerek oluşturulan İstenmeyen Çıktı Modeli'dir. Radyal olmayan odaksız bir model olan bu model etkinlik değerini elde ederken doğrudan girdi ve çıktı aylaklığını (yani girdi fazlasını ve çıktı eksikliğini) kullanmaktadır. İstenmeyen Çıktı Modeli-SBM-GRS şu şekilde gösterilebilir:

$$\begin{aligned} \rho^* &= \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_{i0}^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^k}{y_{r0}^k} \right)} \\ \text{Kısıtlar } x_0 &= X\lambda + s^- \\ y_0^g &= Y\lambda - s^g \\ y_0^k &= Y\lambda + s^k \\ L &\leq e\lambda \leq U \\ s^-, s^g, s^k, \lambda &\geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Burada s^- ve s^k vektörleri girdi ve istenmeyen çıktı fazlasını, s^g ise istenen çıktı eksikliğini ifade etmektedir. s_1 ve s_2 , s^k ve s^g vektörlerinde kaç tane çıktı olduğunu gösterir: $s = s_1 + s_2$. Eğer bu programın optimal çözümü (p^*, s^{g*}, s^{k*}) ise ve yalnızca $p^* = 1$ olduğunda yani $s^{g*} = 0$, $s^{k*} = 0$ olduğunda DMU (x_0, y_0^g, y_0^k) 'nun istenmeyen çıktı durumunda etkin olduğunu söyleyebiliriz. Eğer DMU etkin değilse, yani $p^* < 1$ ise, girdi ya da istenmeyen çıktı fazlasını ve istenen çıktı eksikliğini giderilerek DMU 'nun performansı iyileştirilebilir ya da etkin hale getirilebilir.

$$\begin{aligned} x_0 &\Leftarrow x_0 - s^- \\ y_0^g &\Leftarrow y_0^g + s^{g*} \\ y_0^k &\Leftarrow y_0^k - s^{k*} \end{aligned} \quad (3)$$

Çıktının enerjiye oranı şeklinde tanımlanan enerji yoğunluğu esasında tek faktör verimliliği ölçümünün esas alınmaktadır. Bu çalışmada bundan farklı olarak Türkiye'nin toplam faktör verimliliğindeki (Total Factor Productivity-TFP) değişme Malmquist endeksi

yardımıyla ölçülmüştür. Bu endeks, ortak teknolojiye göre her bir veri noktasının farklarının (uzaklıklarının) oranlarını hesaplayarak, farklı zamana ait iki veri noktası arasındaki TFP'deki toplam değişmeyi ölçmektedir. Uzaklık fonksiyonu kâr maksimizasyonu veya maliyet minimizasyonu gibi herhangi bir davranışsal varsayım gerektirmeden, birden fazla çıktı ve girdinin söz konusu olduğu durumlarda üretim teknolojisini belirleyebilmektedir. TFP'deki değişmeyi ölçebilmek için en az iki dönem gerekmektedir ve her iki dönem için de uzaklık fonksiyonları maksimum ortalama çıktıdan olan sapmaları ölçmek için kullanılmaktadır. Bu bağlamda Malmquist TFP endeksi iki zaman ara-

sında bir DMU'nun etkinliğindeki değişimin değerlendirilmesine imkân vermekte ve teknik etkinlikteki ilerlemenin ve teknolojik değişimin katkıları belirlenebilmektedir (Kök ve Deliktaş, 2003; Krüger, 2003). Burada, teknik etkinlikteki değişme üretim sınırını yakalama etkisi (catch-up effect), teknolojik değişme ise üretim sınırı eğrisinin yer değiştirmesi (frontier-shift) olarak ifade edilmektedir. Bu teknik etkinlikteki değişme ve teknolojik değişme TFP'deki değişimin ana unsurlarını oluşturmaktadır. DMU₀ 1. dönem ve 2. dönem için sırasıyla (x_o^1, y_o^1) ve (x_o^2, y_o^2) ile ifade edilirse, aşağıdaki formül yardımıyla üretim sınırını yakalama etkisi ölçülebilmektedir (SAITECH, 2004):

$$\text{Teknik Etkinlikteki Değişme} = \frac{2. \text{ dönemin üretim sınırına göre } (x_o^2, y_o^2) \text{ 'in etkinliği}}{1. \text{ dönemin üretim sınırına göre } (x_o^1, y_o^1) \text{ 'in etkinliği}} \quad (4)$$

Teknik etkinlikteki değişme birden büyük olması 1. dönemden 2. döneme nispi etkinlikteki artışı, sıfıra eşit olması değişmemeyi ve birden küçük olması ise azalmayı göstermektedir. DMU'nun TFP'sindeki değişmeyi değerlendirebilmek için üretim sınırının kayma-

sı etkisi (teknolojik değişme) de hesaba katılmalıdır. Çünkü yakalama etkisi, yalnızca ilgili üretim sınırına uzaklığa göre etkinliği hesaplamaktadır. (x_o^1, y_o^1) 'in ve (x_o^2, y_o^2) 'in üretim sınırı kayması etkisi sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\text{Teknolojideki Değişme} = \frac{1. \text{ dönemin üretim sınırına göre } (x_o^1, y_o^1) \text{ 'in etkinliği}}{2. \text{ dönemin üretim sınırına göre } (x_o^1, y_o^1) \text{ 'in etkinliği}} \quad (5)$$

$$\text{Teknolojideki Değişme} = \frac{1. \text{ dönemin üretim sınırına göre } (x_o^2, y_o^2) \text{ 'in etkinliği}}{2. \text{ dönemin üretim sınırına göre } (x_o^2, y_o^2) \text{ 'in etkinliği}} \quad (6)$$

Malmquist endeksi (Malmquist Index-MI) de üretim sınırını yakalama ve üretim sınırının kayması etkilerinin sonuçlarına göre hesaplanmaktadır: $MI = (\text{Teknik etkinlikteki değişme}) \times (\text{Teknolojik değişme})$. Bu endeks bir DMU'nun TFP'sini gösteren bir endekstir. Diğer bir ifadeyle, MI sınır teknolojideki ilerleme

ve gerilemeye bağlı olarak DMU'nun TFP'sindeki ilerlemeyi ve gerilemeyi yansıtmaktadır. t_2 sınır teknolojisi ile ölçülen $(x_o, y_o)^{t_1}$ DMU'nun etkinlik değeri aşağıdaki gösterimler yardımıyla şöyle elde edilebilir:

Bu tanımlama kullanılarak, teknik etkinlikteki de-

$$\delta^{t_2}((x_o, y_o)^{t_1}) \quad (t_1 = 1, 2 \text{ ve } t_2 = 1, 2) \quad (7)$$

ğişme ve teknolojik değişme etkileri ve sonuç olarak MI aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

MI, biri 1. dönem teknoloji ile ölçülen etkinlik değişimi ve diğeri 2. dönem teknoloji ile ölçülen

$$\text{Teknik Etkinlikteki Değişme} = \frac{\delta^2((x_o, y_o)^2)}{\delta^1((x_o, y_o)^1)} \quad (8)$$

$$\text{Teknolojideki Değişme} = \left[\frac{\delta^1((x_o, y_o)^1)}{\delta^2((x_o, y_o)^1)} \times \frac{\delta^1((x_o, y_o)^2)}{\delta^2((x_o, y_o)^2)} \right]^{1/2} \quad (9)$$

$$MI = \left[\frac{\delta^1((x_o, y_o)^2)}{\delta^1((x_o, y_o)^1)} \times \frac{\delta^2((x_o, y_o)^2)}{\delta^2((x_o, y_o)^1)} \right]^{1/2} \quad (10)$$

etkinlik değişimi olan iki ayrı etkinlik oranının geometrik ortalamasıdır. Bu formülden de görülebileceği gibi, MI dört terim içermektedir: $\delta^1((x_0, y_0)^1)$, $\delta^2((x_0, y_0)^2)$, $\delta^1((x_0, y_0)^2)$ ve $\delta^2((x_0, y_0)^1)$ ilk ikisi aynı zaman dönemi içindeki ölçümlerle ilgili iken son ikisi zamanlar arası karşılaştırma içindir. MI > 1 bir dönemden diğer bir döneme DMU₀'ün TFP'sindeki ilerlemeyi ifade ederken MI = 1 ve MI < 1 sırasıyla TFP'deki değişmemeyi ve azalmayı göstermektedir.

$$\delta^t((x_0, y_0)^s) = \min_{\lambda, s^-, s^+} \left(1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{i0}^s \right) / \left(1 + \frac{1}{q} \sum_{i=1}^q s_i^+ / y_{i0}^s \right)$$

$$\begin{aligned} \text{Kısıtlar } x_0^s &= X^t \lambda + s^- \\ y_0^s &= Y^t \lambda - s^+ \\ L &\leq e \lambda \leq U \\ \lambda &\geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Kullandığımız tüm bu GRS modellerinde kısıtlar $L \leq \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \leq U$ şeklinde ifade edilmektedir. L mutlaka (≤ 1) ve U mutlaka ($1 \geq$) olmalıdır. Çalışmada alt sınır ve üst sınır için sırasıyla programın kendi belirlediği $L=0.8$, $U=1.2$ değerleri kullanılmıştır.³

3. DEĞİŞKENLERİN TANIMI VE VERİ KAYNAKLARI

Çalışma 1995-2008 dönemini kapsamakta olup, örneklem Slovakya, Çek Cumhuriyeti, Belçika, Lüksemburg, Danimarka ve Macaristan dışındaki 24 OECD ülkesinden oluşturulmuştur. Bilindiği gibi üretimde emek ve sermaye en temel iki üretim faktörüdür. Son zamanlarda birçok teorik ve ampirik çalışma, enerji girdisinin de üretim analizlerinde dikkate alınması gerektiğini ifade etmektedirler. Kısaca enerji, emek ve sermaye, bir ülkenin ekonomik çıktısı GDP'yi üretmek için temel girdiler olarak düşünülebilir. Fakat bu üretim faktörleri kullanılarak yapılan üretim sonucunda istenmeyen çıktılar da oluşmaktadır. İstenmeyen çıktıyı temsilen çalışmada CO₂ salınımı

Belirtildiği gibi, parametrik olmayan Malmquist verimlilik ölçümünün önemli eksikliklerinden biri teknik etkinliği aylıklık değişkenini ihmal ederek radyal olarak hesaplamasıdır. Cooper et.al (1999) aylıklığı dikkate alarak radyal olmayan Malmquist endeksinin ölçülebileceğini göstermiştir. Bu çalışmada girdi ve çıktı aylıklık değişkenini birlikte dikkate alan odaksız Malmquist endeksi kullanılmıştır (Malmquist-GRS). $\delta^t((x_0, y_0)^s)$ 'i hesaplamak için kullanılan SBM modelleri şöyle gösterilebilir:

kullanılmıştır. Türkiye'nin hangi enerji türünü etkin-siz kullandığının görülmesi amaçlandığından, enerji girdisi üç ayrı girdi olarak modele dahil edilmiştir. Bilindiği gibi temel birincil enerji tüketimi petrol, doğal gaz, kömür, nükleer enerji ve hidrojen tüketimini içermektedir. Çalışmada bu beş değişken Xu and Liang (2007)'in da yaptığı gibi üç değişken olarak toplulaştırılmıştır. Birinci değişken petrol ve doğal gaz tüketimlerinin toplamı, ikinci değişken hidrojen ve nükleer tüketimlerinin toplamı alınarak oluşturulmuştur. Üçüncü değişken ise kömür tüketimidir.

Enerji dışı girdilerden emek için çalışan sayısı (milyon kişi) değişkeni kullanılmıştır. Enerji dışı diğer değişken sermaye için vekil değişken oluşturulmuştur. Çünkü bilgimiz dahilinde 2000 yılı sonrası için sermaye stoku verileri herhangi bir istatistik yıllığından ya da veri tabanından elde edilememektedir. Bu çalışmada gayri safi sermaye stoku verileri, gayri safi sabit sermaye oluşumu yatırım verileri kullanılarak aralıksız envanter yöntemiyle hesaplanmaya çalışılmıştır.

$$K_t = (1 - d)K_{t-1} + I_t \quad (12)$$

Sermaye stokunun tahmininde aşınma oranlarını da dikkate alan aralıksız envanter yöntemi, geçmiş dönemlere ait yatırım harcamaları verilerini kullanmakta ve bugünkü sermaye stokunun geçmiş dönemlerde yapılan yatırımların birikimi olduğunu kabul etmektedir.

Burada K_t sermaye stokunu, K_{t-1} önceki yıl sermaye stokunu ve d amortisman oranını ifade etmekte-

dir. Bu yöntemde başlangıç dönemi sermaye stokunu bilmek ya da hesaplamak önemlidir. Çalışmada iki başlangıç yılı seçilmiştir. İlk olarak Penn World Table'da yayınlanan en son sermaye stoku verileri başlangıç stoku olarak alınmıştır. Bu veri tabanında en son sermaye stoku verisi Kore ve Portekiz hariç 1992 yılına aittir. Buna karşılık başlangıç yılı Kore için 1990, Portekiz için 1991'dir. Amortisman oranı yazına

uygun olarak yüzde 6 alınmış (Hall and Jones, 1999) ve Dünya Bankası Göstergeleri veri tabanından elde edilen gayri safi sabit sermaye oluşumu değişkeni kullanılarak aralıksız envanter yöntemiyle diğer yılların sermaye stokları için vekil değişken oluşturulmuştur. Bu hesaplama yapılırken bazı dönüşümler yapılmıştır. Penn World Table'daki başlangıç sermaye stoku 1985 sabit uluslararası fiyatlarla ifade edildiğinden önce resmi döviz kuruna dönüştürülmüş ve IMF IFS'den elde edilen deflatör ile sabit 2000 ABD doları cinsinden ifade edilmiştir.

İkinci olarak başlangıç yılının kendisi de hesaplanmıştır. Belli bir zaman döneminde sermaye çıktı oranı sabit kabul edilerek, birikim denkleminde hareketle başlangıç dönemi sermaye stoku tahmin edilebilir. Bu denklemin her iki tarafından K_{t-1} terimi çıkarılıp, aynı terime bölündüğünde şu denkleme ulaşılır:

$$\frac{K_t - K_{t-1}}{K_t} = -d + \frac{I_t}{K_{t-1}} \quad (13)$$

Bu denklemin sol tarafı sermaye stokunun büyüme oranı olup durağan durumda (uzun dönem olarak düşünülebilir) çıktının büyüme oranına (g_y) eşittir. O halde söz konusu denklem $g_y = -d + (I_t / K_{t-1})$ biçiminde yazılabilecek ve K_{t-1} terimi yalnız bırakıldığında aşağıdaki denkleme ulaşılacaktır: (Saygılı vd., 2005):

$$K_{t-1} = \frac{I_t}{(g_y + d)} \quad (14)$$

OECD ülkelerinin gayri safi sabit sermaye oluşumu değişkenine ilişkin düzgün veri aralığı 1994 sonrası olması nedeniyle başlangıç yılı olarak 1994 yılı alınmış ve yukarıdaki formülle 1994 yılı başlangıç sermaye stoku hesaplanmıştır. Burada reel çıktı değerinin trend büyüme hızı kullanılmıştır. Başlangıç dönemi sermaye stokunu hesaplamak için kullanılan yatırımların (I_t) bazı yıllarda meydana gelen şoklardan etkilenmesi olasıdır. Bu nedenle üç ya da beş yıllık ortalamalar kullanmak uygundur. 1994 yılının Türkiye'de kriz yılı olması nedeniyle Türkiye için 5 yıllık ortalama kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan gayri safi sabit sermaye oluşumu değişkeni sabit 2000 milyon ABD doları cinsindedir.

Enerji değişkeni olarak kullanılan tüm değişkenler petrol eşdeğeri -milyon ton (Mtoe), istenen çıktı GDP sabit 2000 Milyon ABD doları, istenmeyen çıktı CO₂ salınımı ise milyon ton cinsinden analize katılmıştır. OECD ülkelerinin enerji tüketimi ve CO₂ salınımları

BP Statistical Review of World Energy June 2010 yayınından; çalışan sayısı, GDP ve gayri safi sabit sermaye oluşumu değişkenleri ise OECD, WorldBank Development Indicator ve Penn World Table veri tabanlarından elde edilmiştir.

4. ANALİZ SONUÇLARI

Belirtildiği üzere bu çalışma Türkiye'nin enerji etkinliğini ve verimliliğini, OECD örneklemini içinde karşılaştırmalı olarak analiz etmek için DEA tarafından oluşturulan üretim fonksiyonunu kullanmış, bu amaçla Türkiye'nin etkinlik değerleri Slovakya, Çek Cumhuriyeti, Belçika, Lüksemburg, Danimarka ve Macaristan dışında kalan 24 OECD ülkesinden oluşturulan örneklem içinde Süper-SBM-GRS ve İstenmeyen Çıktı-GRS modelleri yardımıyla 1995-2008 dönemindeki her bir yıl için ayrı ayrı elde edilmiştir. Ayrıca Türkiye'nin 1995'den 2008'e toplam faktör verimliliğindeki değişmeyi ölçmek için Malmquist-GRS endeksi kullanılmıştır. Yukarıda tanıtılan modellerle her ne kadar 24 OECD ülkesinin etkinlik ve verimlilik değişimleri elde edilse de, çalışmanın amacı açısından yalnızca Türkiye üzerinde yoğunlaşılacak ve yorumlamalar Türkiye için yapılacaktır. Aşağıdaki Tablo 1'de 24 OECD ülkesi örneklemini içinde Türkiye'nin etkinliğini görebilmek amacıyla hesaplanan ülkeilerin süper etkinlik değerleri (Süper SBM-GRS) görülmektedir. Her bir yıl için elde edilen etkinlik değerleri (a) ve ülkelerin etkinlik sıralamaları (b) sütunlarında gösterilmiştir. 1992 sütununda Penn World Table'dan alınan sermaye stoku ile yapılan hesaplamalar vardır. Diğerleri 1992 başlangıç stoku alınarak tarafımızdan yapılan sermaye stoku hesaplamaları kullanılmasıyla elde edilen etkinlik değerleridir. Bu hesaplama, yazında varolan sermaye stoku verisi ile bu sermaye stoku başlangıç yılı alınarak tarafımızdan oluşturulan sermaye stoku vekil değişkeninin kullanılmasının sonuçları etkileyip etkilemediğini görmek açısından yapılmıştır. Tablodan izleneceği gibi etkinlik sıralamasında çok ciddi değişme söz konusu değildir. Ayrıca sermaye stoku için ikinci bir vekil değişken ile (üç yıllık ortalamalar alınarak) elde edilen sermaye stoku hesaplamalarının kullanılması suretiyle de etkinlik hesaplamaları yapılmıştır. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar arasında sıra korelasyonu çok yüksek olduğundan⁴ yorumlamalar için yalnızca birinci vekil değişkenle elde edilen değerler kullanılmıştır.

Tablo incelendiğinde 24 ülkeli örneklem içinde en etkin ülke olarak ilk yıllarda İzlanda'nın, sonraki yıllarda İsviçre'nin elde edildiği görülmektedir. İzlanda'nın etkinlik değerinin yüksek bulunması, süper etkinlik değerinin hesaplama yönteminden kaynaklanmak-

tadır ve kısmen ölçek farklılığını yansıtmaktadır. Süper etkinlik modeli yukarıda ifade edildiği gibi etkin ülkelerin kendi içinde sıralanmasına imkan vermektedir. Bu çalışmanın amacı çerçevesinde bu model, ülkelerin etkinlik büyüklüğünü kardinal olarak görebilmek için değil ülkelerin sıralamasını görebilmek için kullanılmıştır. Etkinlik sıralaması yıldan yıla değişmekle birlikte diğer etkin ülkeler olarak İrlanda, Norveç, Japonya, son yıllarda İsveç, ABD ve Birleşik Krallık bulunmuştur. En etkinsiz ülkelerin ise Kore, Portekiz, Türkiye, Yeni Zelanda, Kanada ve Yunanistan olduğu görülmektedir.

Türkiye'nin genelde etkinsiz ve büyük ölçüde de (1995, 2005, 2006 hariç) en etkinsiz ülkelerden biri olduğu görülmektedir. Bu analizler her bir yıl için ayrı ayrı yapılmaktadır ve her bir ülkenin o örneklem içindeki nispi konumuna göre etkinlik değeri elde edilmektedir. Bu nedenle bir ülkenin değişen pozisyonunun ülke içi nedenleri olabileceği gibi kendinden kaynaklanmayan ülke dışı nedenleri de olabilir. 1995 yılının Türkiye için kriz ertesi yıl olması ve etkinsiz girdilerle elde edilen çıktının düşmesi, ülkenin nispi pozisyonuna kısmen iyileşme olarak yansımıştır. Yıldan yıla değişmelerin hangi kaynaktan kaynaklandığını görebilmek amacıyla radyal olmayan odaksız Malmquist-GRS endeksi kullanılmıştır.

Yukarıda ifade edildiği gibi iki zaman arasında

Tablo 1. Süper SBM-GRS Modeline Göre Ülkelerin Etkinlik Düzeyleri

	1992		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008			
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b		
Avustralya	0.58	19	0.62	18	0.65	16	0.64	16	0.66	16	0.69	15	0.68	15	0.68	15	0.70	15	0.70	15	0.70	16	0.68	16	0.65	15	0.68	15				
Avusturya	0.75	12	0.82	14	0.80	12	0.78	13	0.80	13	0.78	13	0.79	13	0.79	13	0.76	13	0.74	13	0.75	13	0.74	14	0.74	14	0.72	14	0.74	13		
Kanada	0.42	23	0.51	23	0.51	23	0.52	23	0.54	22	0.54	18	0.55	18	0.55	18	0.54	18	0.55	18	0.54	19	0.55	19	0.53	19	0.54	19				
Finlandiya	0.50	21	0.59	20	0.59	20	0.60	18	0.66	15	0.64	16	0.65	16	0.65	16	0.60	17	0.56	17	0.59	16	0.65	17	0.61	18	0.63	16	0.65	16		
Fransa	0.76	11	1.00	10	0.99	11	1.00	11	1.00	11	1.00	11	1.00	11	1.00	10	1.00	10	1.00	8	1.00	9	1.00	8	1.00	8	0.99	8	0.99	9		
Almanya	0.60	17	0.68	16	0.68	15	0.70	15	0.73	14	0.75	14	0.75	14	0.75	14	0.75	14	0.73	14	0.73	14	0.73	15	0.73	15	0.72	13	0.71	14		
Yunanistan	0.61	15	0.58	21	0.59	19	0.56	20	0.55	20	0.52	20	0.50	20	0.51	19	0.51	19	0.49	19	0.49	20	0.48	21	0.48	21	0.49	20	0.51	20		
İzlanda	20.78	1	8.81	1	9.08	1	9.08	1	8.81	1	8.23	1	7.34	1	0.97	12	0.96	12	0.95	12	0.96	12	0.96	11	0.96	12	0.94	12	0.94	12		
İrlanda	1.49	4	1.52	5	1.58	4	1.54	5	1.34	6	1.35	5	1.23	6	1.25	4	1.21	5	1.38	4	1.24	4	1.16	3	1.37	4	1.36	4	1.34	4		
İtalya	1.13	8	1.31	6	1.31	6	1.34	7	1.35	5	1.27	6	1.25	5	1.24	5	1.24	4	1.00	9	0.99	10	0.99	9	0.99	9	0.99	9	0.99	9		
Japonya	1.88	3	1.73	3	1.74	3	1.69	3	1.62	4	1.55	4	1.53	4	1.49	3	1.47	3	1.47	3	1.43	3	1.42	2	1.41	3	1.41	3	1.38	3		
Güney Kore	0.38	24	0.44	24	0.43	24	0.41	24	0.40	24	0.41	24	0.41	24	0.41	24	0.42	24	0.41	24	0.41	24	0.41	24	0.42	24	0.41	24	0.41	24		
Meksika	1.24	6	1.06	9	1.05	9	1.05	10	1.05	9	1.05	9	1.06	9	1.04	8	1.03	9	0.96	11	1.08	7	0.97	10	0.96	11	0.96	11	0.97	10		
Hollanda	1.22	7	0.99	11	0.99	10	1.44	6	0.99	12	0.99	12	0.97	12	0.97	11	0.96	11	0.97	10	0.96	11	0.95	12	0.97	10	0.96	10	0.97	11		
Yeni Zelanda	0.46	22	0.54	22	0.54	22	0.52	22	0.54	21	0.51	22	0.53	19	0.50	20	0.49	20	0.46	22	0.46	22	0.47	22	0.44	22	0.45	22	0.45	21		
Norveç	1.10	9	1.12	7	1.13	7	1.13	8	1.11	7	1.11	7	1.10	8	1.11	6	1.11	6	1.12	5	1.11	5	1.11	4	1.10	6	1.08	6	1.06	6		
Polonya	0.61	16	0.77	15	0.79	14	0.72	14	0.59	18	0.54	19	0.49	21	0.46	23	0.46	23	0.49	20	0.49	19	0.49	20	0.54	20	0.55	18	0.58	18		
Portekiz	0.70	13	0.59	19	0.61	18	0.57	19	0.55	19	0.52	21	0.48	22	0.50	21	0.46	21	0.44	23	0.44	23	0.44	23	0.43	23	0.43	23	0.44	23		
İspanya	0.59	18	0.63	17	0.64	17	0.62	17	0.62	17	0.62	17	0.61	17	0.62	17	0.61	16	0.60	16	0.59	17	0.60	18	0.61	17	0.58	17	0.60	17		
İsveç	0.70	14	0.83	13	0.79	13	0.84	12	1.00	10	1.02	10	1.04	10	1.03	9	1.04	8	1.04	7	1.05	8	1.07	6	1.07	7	1.07	7	1.05	7		
İsviçre	2.46	2	2.73	2	2.98	2	3.40	2	4.16	2	3.92	2	3.09	2	2.58	1	2.69	1	2.42	1	2.59	1	2.89	1	2.37	1	2.38	1	2.51	1		
Türkiye	0.50	20	0.94	12	0.54	21	0.54	21	0.52	23	0.48	23	0.48	23	0.46	22	0.46	22	0.46	21	0.46	21	0.87	13	0.85	13	0.46	21	0.44	22		
ABD	1.43	5	1.53	4	1.54	5	1.58	4	1.67	3	1.73	3	1.74	3	1.75	2	1.78	2	1.80	2	1.81	2	1.00	7	1.84	2	1.84	2	1.86	2		
Birleşik Kral.	1.08	10	1.10	8	1.09	8	1.09	9	1.10	8	1.10	8	1.10	7	1.10	7	1.10	7	1.10	6	1.11	6	1.10	5	1.12	5	1.13	5	1.18	5		

a sütunu etkinlik değerini, b sütunu da etkinlik sıralamasını vermektedir.

bir DMU'nun etkinliğindeki değişimin değerlendirilmesine imkân veren Malmquist TFP endeksi ile teknik etkinlikteki değişimin ve teknolojik değişimin katkıları belirlenebilmektedir. Malmquist TFP endeksinin bu unsurlara ayrışması, TFP'deki artışın ana kaynaklarının tespit edilmesinde önem arz etmektedir. Bu şekilde yıldan yıla gözlemlenen farklılıkların üretim sınırını yakalama etkisinden mi yoksa üretim sınırı eğrisinin yer değiştirmesinden mi kaynaklandığı görülebilmektedir. Tablonun ilk sütunlarında örneklem içindeki bir yıldan takip eden yıldaki, son sütununda ise 1995-2008 arasındaki değişimler yer almaktadır. a, b ve c sütunlarında sırasıyla teknik etkinlikteki, teknolojideki ve TFP'deki değişimler okunabilir. Bu değerlerin birden büyük olması ilerlemeyi, eşit olması değişmemeyi, küçük olması gerilemeyi ifade etmektedir. Tablonun son satırlarında ise tanımlayıcı istatistikler verilmiştir.

Tablo 2'de yer alan her ülkeye ilişkin değişimleri her yıl için ayrıntılı olarak açıklamaktan ziyade, amacımız çerçevesinde Türkiye için değerlendirmeler yapılmıştır. Teknik etkinlikteki değişimler dikkate alındığında bir yıldan diğer yıla değişmelerin farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu dönem içinde 2003-2004'te %1, 2004-2005'ye %116 ve 2006-2007'de %1 olmak üzere yalnızca üç yılda teknik etkinlikte iyileşme sağlayan Türkiye, 1995'den 1996'ya teknik etkin-

likte %46, 2006'dan 2007'ye %54 bir gerileme yaşanmıştır. Buna karşılık 1998-1999'da %3, 1999-2000'de %3, 2001-2002'de %1, 2002-2003'de %1, 2003-2004'te %1, 2006-2007'de ise %2 oranında üretim sınırı eğrisinin yukarıya doğru yer değiştirdiği, diğer bir ifadeyle teknolojik iyileşme gerçekleştirdiği görülmektedir. Tüm bu sonuçlar çerçevesinde ise TFP'deki değişme her ne kadar bazı yıllar artsa da dönem ortalaması cinsinden dikkate aldığımızda %15'lik bir azalma yaşandığı görülecektir. Bu sonuç örneklem içindeki en düşük sonuçtur. Bu sonuçlar son yıllarda Türkiye'nin bir çaba içerisinde olduğunu fakat diğer ülkelerin performansları ile karşılaştırıldığında yeterli olmadığını göstermektedir.

İstenmeyen Çıktı modelinin sonuçları Tablo 3'de görülmektedir. İstenmeyen çıktı olarak CO₂ salınımının dahil edildiği bu modelde tam etkin ülkeler 1.0 değeri ile gösterilmiştir. Buna göre sonuçlarda çok ciddi değişimler görülmemektedir. Tüm yıllarda etkin ülkeler İrlanda, Japonya, Norveç, İsviçre, ABD, Birleşik Krallık olarak görülmektedir. İzlanda, İtalya, Meksika dönem başında etkin ülkeler arasında iken dönem sonunda etkisiz ülkeler arasında yer almıştır. Buna karşılık İsveç dönem sonunda etkin ülkeler arasında yer almıştır. İstenmeyen Çıktı modelinde etkisiz olan ülkeler Kore, Türkiye, Portekiz, Yeni Zelanda, Yunanistan, Kanada, Polonya, İspanya, Avustralya'dır. Önceki süper etkinlik modeli ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 2. Malmquist-GRS Modeline Göre TFP'deki Değişme

	1995=>1996			1996=>1997			1997=>1998			1998=>1999			1999=>2000			2000=>2001			2001=>2002		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Avustralya	1.05	0.96	1.01	0.99	1.03	1.02	1.02	1.01	1.03	1.04	0.99	1.03	0.99	1.04	1.02	1.01	0.99	1.00	1.00	1.02	1.02
Avusturya	0.97	1.01	0.97	0.98	1.00	0.98	1.03	0.99	1.01	0.98	1.02	1.00	1.01	1.02	1.03	1.00	0.99	0.99	0.96	1.05	1.00
Kanada	1.00	0.98	0.98	1.02	0.99	1.01	1.03	0.98	1.01	1.01	1.02	1.03	1.01	1.01	1.02	1.00	0.99	0.99	1.00	1.02	1.02
Finlandiya	0.99	0.99	0.98	1.03	1.00	1.02	1.10	0.98	1.08	0.97	1.04	1.00	1.02	1.02	1.05	1.00	0.99	0.99	0.93	1.06	0.98
Fransa	0.98	0.96	0.94	1.03	1.03	1.06	0.99	0.97	0.96	1.04	1.02	1.06	1.03	1.01	1.04	1.04	0.99	1.03	1.02	0.99	1.01
Almanya	0.99	0.99	0.99	1.03	0.98	1.01	1.05	0.97	1.02	1.02	0.99	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	0.99	1.00	0.99	1.02	1.01
Yunanistan	1.02	0.96	0.98	0.94	1.09	1.02	0.99	1.00	0.99	0.94	1.04	0.97	0.97	1.03	1.00	1.02	1.01	1.03	0.99	0.99	0.98
İzlanda	1.03	0.99	1.02	1.00	1.00	1.00	0.97	1.01	0.98	0.93	0.99	0.93	0.89	0.99	0.88	1.04	0.98	1.02	1.00	0.96	0.96
İrlanda	1.04	0.98	1.02	0.97	1.06	1.03	0.87	1.05	0.91	1.01	1.04	1.05	0.91	1.05	0.95	1.02	1.01	1.03	0.97	1.02	0.99
İtalya	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.02	1.01	0.99	1.00	0.94	1.01	0.96	0.99	1.01	0.99	0.99	0.99	0.98	1.00	1.01	1.01
Japonya	1.01	1.00	1.00	0.97	1.01	0.98	0.96	1.00	0.97	0.96	1.02	0.97	0.98	1.01	1.00	0.97	1.01	0.98	0.99	1.01	0.99
Güney Kore	0.99	0.99	0.98	0.96	1.01	0.97	0.96	0.99	0.95	1.03	1.00	1.03	1.00	1.03	1.03	1.02	0.99	1.01	1.00	1.02	1.03
Meksika	0.98	0.96	0.95	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.97	1.02	1.00	1.01	0.98	0.94	0.92	0.98	0.93	0.91
Hollanda	1.07	0.98	1.04	1.20	1.03	1.24	0.85	1.04	0.88	1.05	1.04	1.10	0.98	0.98	0.97	1.02	0.99	1.01	0.94	0.99	0.94
Yeni Zelanda	1.00	1.01	1.00	0.98	1.00	0.98	1.04	0.99	1.02	0.94	1.08	1.02	1.03	0.99	1.02	0.95	1.00	0.94	0.99	1.05	1.03
Norveç	1.01	1.05	1.06	1.00	1.01	1.01	0.99	1.00	0.99	0.99	1.01	1.00	0.99	1.01	1.00	1.01	1.01	1.02	1.00	1.01	1.01
Polonya	1.00	0.84	0.84	0.99	0.88	0.88	0.58	0.98	0.57	0.92	1.03	0.95	0.91	1.05	0.96	1.04	0.97	0.91	1.00	0.97	0.96
Portekiz	1.02	1.00	1.02	0.94	1.06	0.99	0.97	1.00	0.97	0.93	1.08	1.00	0.94	1.02	0.96	1.03	1.00	1.03	0.93	1.04	0.97
İspanya	1.01	0.98	0.99	0.98	1.00	0.98	1.01	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.98	1.01	0.99	1.01	0.99	1.00	0.98	1.01	0.99
İsveç	0.95	1.05	1.00	1.06	1.00	1.07	1.19	1.01	1.20	1.01	1.07	1.08	1.02	1.06	1.08	0.99	1.00	0.99	1.01	1.02	1.04
İsviçre	1.09	1.00	1.09	1.14	0.97	1.10	1.22	0.96	1.17	0.94	1.02	0.97	0.79	1.09	0.86	0.83	1.05	0.87	1.05	1.02	1.07
Türkiye	0.54	0.99	0.54	0.98	0.74	0.73	0.97	0.73	0.70	0.93	1.03	0.96	0.99	1.03	1.02	0.97	0.99	0.96	0.99	1.01	1.00
ABD	1.01	0.99	1.00	1.03	0.99	1.02	1.06	0.97	1.03	1.04	0.98	1.02	1.01	1.00	1.00	1.01	0.99	1.00	1.01	0.99	1.00
Birleşik Kral.	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	1.00	1.01	1.01
Ortalama	0.99	0.99	0.98	1.01	0.99	1.00	0.99	0.98	0.98	0.99	1.02	1.00	0.98	1.02	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	1.01	1.00
Maksimum	1.09	1.05	1.09	1.20	1.09	1.24	1.22	1.05	1.20	1.05	1.08	1.10	1.03	1.09	1.08	1.04	1.05	1.03	1.05	1.06	1.07
Minimum	0.54	0.84	0.54	0.94	0.74	0.73	0.58	0.73	0.57	0.92	0.97	0.93	0.79	0.98	0.86	0.83	0.94	0.87	0.93	0.93	0.91
Standart Sap.	0.10	0.04	0.10	0.06	0.06	0.08	0.12	0.06	0.12	0.04	0.03	0.04	0.05	0.02	0.05	0.04	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03

a) ablod a sütunu teknik etkinlikteki değişmeyi, b sütunu teknolojiye göre değişmeyi ve c sütunu da TFP'deki değişmeyi göstermektedir.

deme getirmektedir. Ayrıca hidrojen-nükleer olarak belirttiğimiz enerji girdisinde bu denli azalmanın gerekli olması esasında tersinden yorumlanmalıdır. Bu şekilde birleştirme, Türkiye gibi birçok ülkede nükleerin olmaması nedeniyle yapılmıştır. Dolayısıyla bu değişken sanki iki kaynaktan da elde edilen enerji ile üretim yapılıyor anlamında modele girmektedir ve nükleerin olmasına rağmen elde edilen çıktının düşük olması şeklinde bir sonuç olarak algılandığından bu değişken de ciddi bir etkinsizlik görülmektedir.

Görüleceği gibi her modelde Türkiye etkisiz olarak bulunmuştur. Buna karşılık istenmeyen çıktı modele dahil edildiğinde etkinsizliği artmıştır. Esasında Türkiye'de küresel ısınmaya sebep olan kişi başına düşen CO₂ salınımı, diğer OECD ve Avrupa Birliği ülkelerine göre daha azdır. Ancak, 1980'den bu yana Türkiye'nin enerji tüketimi kaynaklı sera gazı salınımının arttığı da bir gerçektir. Yani Türkiye'nin CO₂ salınımını azaltması gerekir. Salınım hesaplamaları incelendiğinde, sera gazlarının en önemli kaynağı olarak enerji tüketimi görülmektedir. Bu nedenle, Türkiye'nin enerji üretimi ve kullandığı değişim ve enerji politikalarındaki değişimler, sera gazı salınımları üzerinde önemli bir role sahiptir.

5. SONUÇ

Enerji, önemi tüm dünyada gittikçe artan küresel bir sorundur. Enerji kullanım yoğunluğu olarak ifade edilen her birim çıktı için kullanılan enerji, gelişmekte olan ülkelere, gelişmiş ülkelere kıyasla daha yüksek bulunmaktadır. Bunda ekonomik kalkınma hızı ile birlikte ekonomideki etkinsizlik önemli rol oynamaktadır. Gelişmekte olan ülkeler, sanayileşme oranları geliştikçe daha fazla enerji tüketmektedirler. Enerji kullanımında etkin teknolojik donanımın geliştirilememesi ve ayrıca bu ülkelerde hizmet sektörünün gelişmemesi, çıktı başına enerji kullanımını artırmaktadır. Bu nedenle, gelişmekte olan ülkelere, gelişmiş ülkelere kıyasla enerjinin etkin kullanılmamasının da etkisiyle, ilave enerji talebindeki artış görülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerdeki enerji talebindeki bu hızlı artışa rağmen kapasite artışının sağlanmaması sonucunda enerji arzı kısıtlı kalmakta ve dolayısıyla sanayi üretiminin aksamaması, enerji fiyatlarının yükselmesi gibi ekonomik rekabet gücünü düşürücü sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Enerjiye bağımlı olarak üretim yapan ekonominin ürettiği malların rekabet şansının enerji maliyetlerinin yüksek olmasıyla azalması demek, ekonominin dış ticaret hadlerinin sürekli olarak aleyhte işlemesi demektir. Türkiye'nin GDP'si için tükettiği enerji çok sayıda OECD ülkesinden daha fazladır. Üstelik tüketilen

enerjinin çok önemli kısmı petrol ve doğal gazlardan karşılanmaktadır. Bilindiği gibi ülkemizde bu kaynakların üretimi yok denecek kadar azdır. Bu tablo bize enerji tüketiminde petrole ve doğal gaza ne kadar bağlı olduğumuzu göstermektedir. Bu bağımlılık siyasi kararlarımızı da önemli ölçüde etkilemektedir.

Türkiye'nin sorunu ithal ettiği enerjiyi de diğer üretim faktörleri ile birlikte etkin kullanamama sorunudur. Türkiye'nin kullandığı enerjide ağırlığın fosil yakıtlarda olması tabii ki CO₂ salınımının da fazla olmasına neden olmaktadır. Türkiye'nin acilen enerjisini ithalata ve yapabiliyorsa fosil yakıtlara bağımlılıktan kurtarması gerekmektedir. Enerjinin kesintisiz ve güvenilir bir şekilde elde edilmesi ve kalkınma sürecinin enerjiden kaynaklanan sorunlardan en az düzeyde etkilenmesi için Türkiye'nin sürdürülebilir enerji kavramını da gündemine alması gerekmektedir. Sürdürülebilir enerji, gereksinmemiz olan enerjinin en az finansmanla, en az çevresel ve sosyal maliyetle ve sürekli olarak teminine olanak sağlayan politikaları ifade etmektedir. Sürdürülebilir enerji politikaları üç temel faktörü içermektedir. Bunlar yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji etkinliği/verimliliği ve enerji kullanımının çevresel etkileridir. Tüm bu konular Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için hayati öneme sahiptir.

Model sonuçları çerçevesinde Türkiye'nin ekonomisinin yapısı ile ilgili önemli bulgular ortaya çıkmaktadır. Niteliksiz emek, nükleer eksikliği, enerji güvenliği, enerji güvenliği bağlamında da temiz enerji çok önemli olmaktadır. Hızla artan enerji ihtiyacı göz önüne alındığında; yerli kaynakların değerlendirilmesini sağlayacak, Türkiye koşullarına uygun, dünyada enerji alanındaki gelişmeleri takip eden, uzun vadeli sosyal, ekonomik ve çevresel politikaları bir arada ele alan bir enerji politikasına ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları açısından önemli avantajlara sahip bir ülkedir. Bu bağlamda Türkiye'de enerji güvenliği ve sürdürülebilir kalkınma açısından uygulanması gereken politikaların başında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması gelmektedir. Türkiye'de hidrolik enerji, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, hidrojen enerjisi ve biyokütle enerjisi gibi çok zengin yenilenebilir enerji kaynakları bulunmaktadır. Bu nedenle uzun vadede yenilenebilir enerji üretimlerinin geliştirilmesine ağırlık verilmelidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının önünde en büyük engel yüksek maliyetleridir. Fakat Türkiye birincil enerji kaynaklarını ithalat ile karşıladığına ve bu ithalata önemli bir kaynak ayırdığına göre, yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif maliyetinin çok ucuz olduğu söyle-

nemeyecektir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetleri her geçen gün düşmektedir. Çevreye olan daha az zararı nedeniyle önerilen hidro elektrik enerjiden çevreye zarar vermeden yararlanılması ne kadar önemliyse, ülkenin dışa bağımlılığının azalması ve enerji güvenliğinin artırılması nedeniyle önerilen nükleer enerjiden de bu amaca uygun bir şekilde yararlanılması bir o kadar önemlidir. Daha açık bir ifadeyle enerji güvenliği amacıyla önerilen nükleer enerji ülkenin siyasi güvenliğini tehlikeye sokmamalı, yapılan anlaşmalar ülkelerin geleceğini ipotek altına koymamalı ve teknoloji transferine de imkan verebilmelidir.

Yenilenebilir enerji potansiyelinin kullanılması bu tür faydalarının yanı sıra sera gazı salınımlarının azaltılması açısından da önemlidir. Enerji politikalarının oluşturulmasında, çevre faktörü göz ardı edilmemesi gereken en önemli bileşenlerden biridir. Enerji kullanımı ve çevre arasındaki ilişkiler tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de giderek önem kazanmaya başlamıştır. Bilindiği gibi 1992 Dünya Zirvesi’nde Rio de Janeiro’da 150 ülke FCCC’yi imzalamıştır. ‘Atmosferdeki sera gazı birikimlerini, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkiyi önleyecek bir düzeyde durdurmayı başarmayı’ hedefleyen bu sözleşme 1994 yılında yürürlüğe girmiştir. 1997 yılında Üçüncü Taraflar Konferansı’nda (COP-3) Kyoto’da yasal olarak Ek-1 ülkeleri için (1991 yılı itibarıyla OECD üyesi olan ülkeler ile Rusya ve Ukrayna dahil olmak üzere Orta ve Doğu Avrupa’daki eski doğu bloku ülkeleriyle beraber toplam 40 ülke ve AB) yasal salınım azaltma hedefleri belirlenmiştir. Türkiye FCCC imzaya açıldığında Ek-1 ve Ek-2’de yer alması nedeniyle hem sera gazlarını azaltmak amacıyla bir taahhüt üstlenmek (Ek-1 ülkeleri), hem de gelişmekte olan ülkelerin sözleşme şartlarını sağlayabilmesi için mali ve teknolojik yardım sağlamakla (Ek-2 ülkeleri) yükümlü kılınmıştır. Fakat Türkiye, gelişmekte olan ülke olması nedeniyle bir indirim taahhüdünde bulunamayacağını ve diğer ülkelere mali yardım sağlamayacağını ifade etmiştir. Bu nedenle 2001 yılında Türkiye’nin ismi Ek-2’den silinmiş ve özgün koşulları dikkate alınarak diğer Ek-1 ülkelerinden farklı bir konumda Ek-1’de yer almıştır. Böylelikle Türkiye 24 Mayıs 2004 tarihinde, Sözleşme’nin Ek-I Listesindeki diğer ülkelerden farklı konumdaki bir Ek-I Ülkesi olarak Sözleşme’ye katılmıştır. Türkiye, bugün Sözleşme’de Ek-I Listesinde olan ancak Protokol’de Ek-II Listesinde yer almayan tek ülkedir. Ancak bu durum, Türkiye’ye avantajlar sağlayabilir. Türkiye’nin, FCCC’nin amaçlarını gerçekleştirmek üzere sera gazı salınımlarını azaltmaya, araştırma ve teknoloji üzerinde işbirliği

yapmaya yönelik somut hedefleri içeren 1997 tarihli Kyoto Protokolüne katılmasının uygun bulunduğu na ilişkin kanun tasarısı 05.02.2009 tarihinde, TBMM Genel Kurulunda kabul edilerek yasallaşmış ve 26 Ağustos 2009’da Protokol’e resmen taraf olmuştur. Türkiye, Protokolü imzalarsa dahi süreç halihazırda başladığı için teknik olarak 2008-2012 aralığında herhangi bir yükümlülük altında olmayacaktır. Ancak, Kyoto Protokolü’nün imzalanması 2012 sonrası süreçte yeni düzenin şekillendirilmesinde Türkiye’yi söz sahibi kılacaktır.

Gelişmekte olan ülkelerde enerji etkinliği gelişmiş ülkelerden daha kötü olduğu sık sık ifade edilmektedir. Kyoto protokolünde düzenlenen Temiz Kalkınma Mekanizması kavramı zımnen gelişmekte olan ülkelerin çok da enerji etkin olmadığı ve ucuz salınım azaltma seçeneklerinin buralarda bulunabileceğini varsaymaktadır. Bu nedenle bu ülkelerde özellikle de hızlı büyüyen sanayi sektöründe enerji etkinliğini arttırmak, enerji ile ilişkili sera gazı salınımını sınırlandırmak için önemli bir seçenek olarak düşünülmektedir. Kısacası hem sera gazı etkisini hem de ithalat bağımlılığını azaltmak için olası yollardan biri enerji etkinliğini arttırmaktır. Ya toplam enerji kullanımı azaltma ya da tüketilen enerji birimi başına üretim miktarını artırma yoluyla enerji etkinliğini arttırmak enerji güvenliği, çevrenin sürdürülebilirliği ve ekonomik rekabet için kilit bir yol olarak düşünülmektedir. Enerji etkinliği çalışmalarının sera gazlarının azaltılması açısından katkısı ihmal edilmeyecek düzeyde bulunmaktadır. Gelişmiş teknolojilerde, etkinliğin yüksek olması, birim elektrik enerjisi üretimi için kullanılan yakıt miktarını düşürmekte ve dolayısıyla, birim elektrik enerjisi başına düşen CO₂ salınımlarının azalmasına neden olmaktadır.

Enerji alanında yalnızca enerji talebini karşılamaya yönelik politikaların üretilmesi yeterli değildir. Tüketilen enerjinin etkin/verimli kullanılması da büyük önem taşımaktadır. Bu konuda oluşturulacak politikalarda diğer ülkelerin enerji etkinliğini arttırmaya yönelik tecrübeleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu konuda en başta söylenmesi gereken şey, iyi düşünülmüş ve kapsamlı bir şekilde oluşturulmuş politikaların başarılı olma şansının çok yüksek olduğudur. Bu konuda ABD, Japonya ve bazı AB ülkelerinin deneyimleri incelenebilir. Hükümet destekli AR-GE bazı ülkelerde ve sektörlerde enerji etkinliğini arttıran çok sayıda yeni teknolojinin geliştirilmesine yardımcı olmuştur. Minimum etkinlik standardı enerji etkinliğini artırma konusunda önemli bir stratejidir. Fakat zaman zaman gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bu konuda özellikle Japonya örneği incelenebi-

lir. Geller vd. (2006)'na göre politika yapıcılar etkinlik standardını teknik ve ekonomik olarak gerçekleştirilebilir şekilde belirlemeleri ve üreticilere üretimlerini bu standarda uygun bir şekilde ayarlamaları için yeterli zaman sağlamaları gerekir.

Kamu ile özel sektör arasında gönüllü anlaşmalar, regülasyonun uygulanmasının zor olduğu durumlarda etkili olabilmektedir. Örneğin Almanya ve Hollanda gibi bazı AB ülkelerinde bu anlaşmalar endüstrideki enerji kullanımının ve CO₂ salınımının önemli ölçüde azalmasını sağlamıştır. Fakat bu politikanın etkili olabilmesi için finansal teşviklerle, gerektiğinde teknik yardımlarla ve eğer şirketler sorumluluklarını yerine getirmezlerse vergi ya da düzenleme tehdidi ile desteklenmesi gerekmektedir. Finansal teşvikler enerji etkinliği önlemlerinin alınmasını kolaylaştırıcaktır. Fakat bu tür teşvikler eğer dikkatli bir şekilde oluşturulmazsa çok maliyetli olabilir. İsveç'te uygulandığı gibi ilk maliyeti yüksek olup, talep arttıkça, üretim genişledikçe maliyeti azalabilecek yeni ticarileşmiş teknolojilere teşvik sağlanabilir. Ayrıca fosil yakıtlardan desteğin kaldırılması enerji etkinliğinin artmasına yardımcı olabilir. Etiketleme, bilginin yayılması ve eğitim, enerji etkinliği önlemlerinin farkındalığını arttıracak ve enerji yönetimi hususunda know-how'ı geliştirecektir. Fakat deneyimler, bu tür yumuşak politikaların başarısının finansal teşvik, gönüllü anlaşmalar ya da regülasyonlarla birlikte uygulandığında daha fazla arttığını göstermektedir. Örneğin, ABD elektrikli küçük ev aletleri piyasasında devletin finanse ettiği AR-GE yeni teknolojilerin geliştirilmesine ve ticarileşmesine yardımcı olmuş, ürün etiketleme tüketicilerin farkındalığını arttırmış, etkinlik standartları etkinsiz ürünlerin piyasadan ayıklanmasına neden olmuş, bazı eyaletlerin ve kamu hizmet kuruluşlarının teşvikleri tüketicilerin minimum standarttan daha da etkin ürünleri almasını sağlamıştır. Bu şekildeki bütüncül bir politika, piyasadaki bir çok ev aleti türünün etkinliğinde önemli artışlar ortaya çıkarmıştır ve bu ivme bugün de devam etmektedir.

Ayrıca ülke deneyimleri göstermektedir ki enerji etkinliği politikalarının başarılı olabilmesi ve sonuç alınabilmesi için uzunca bir süre istikrarlı bir şekilde uygulanmalıdır. Fakat enerji standartları ve hedefleri, ürün etiketleme ve finansal teşvikler gibi politikaların zaman zaman da gözden geçirilmeleri gerekmektedir. Bu şekilde yapılarak politikaların etkin olması sağlanabildiği gibi programların maliyetleri

de azaltılabilir. Kuzey Amerika deneyimden hareketle Geller vd. (2006) bu şekildeki dinamik politikaların başarılı olduğunu, buna karşılık otomobil ve kamyonet piyasasında etkinliği geliştirmeyi amaçlayan fakat revize edilmeyen politikaların ise başarısız olduğunu ifade etmektedir. Burada politika yapıcının iş dünyası için gerekli olan istikrarlı bir politika ile piyasa koşullarındaki değişimin gerektirdiği gözden geçirme arasında bir denge sağlayabilmesi de çok önemlidir. Enerji etkinliği politikalarının ve programlarının etkili olması ve bu etkisinin de uzun süreli olması isteniyorsa özel sektörle sürekli irtibat halinde olunması gerekmektedir. Ancak böyle bir durumda iş dünyası enerji etkinliği önlemlerini benimseyebilir uygulayabilir.

OECD ülkelerindeki enerji etkinliği politikaları öncelikle binalarda, ev aletlerinde, araçlarda ve endüstriyel faaliyetlerde enerji etkinliğinin artırılmasına yönelmişlerdir. Bu tür etkinliği arttırmaya çalışan politikalara ekonominin vereceği yanıt, zaman zaman farklı da olabilir. Enerji etkinliğindeki bir artış enerji fiyatını azaltırsa bunun enerji tasarrufunu azaltan ve zaman zaman tamamen ortadan kaldıran çıktı, gelir ve ikame etkileri söz konusu olabilir. Etkinlik iyileşmesinden kaynaklanan tasarrufun bir kısmı enerji tüketimindeki artış olarak geri gelebilir (rebound etkisi). Rebound etkisinin analizi, açıklaması ve eleştirisi birçok araştırmacı tarafından çokça yapılmıştır. Örneğin araç yakıt etkinliğinde %5'lik bir iyileşme yakıt tüketiminde yalnızca %2'lik bir azalmayla sonuçlanabilir. %60'lık bir rebound etkisi söz konusu olabilir. Bu %3'lük kayıp daha hızlı araba kullanımı ya da öncesinden daha fazla araba kullanımı sonucunda tüketilebilir. Enerji etkinliğinin artış sonucunda ortaya çıkan bu ek enerji tüketimi, politikanın etkinsizliğe yol açtığı şeklinde bir düşünceye de neden olabilir. Bu nedenle tüketici davranışlarının değiştirilmesine yönelik politikaların da ihmal edilmemesi gerekmektedir. Bu amaçla, uygun ve rahat toplu taşıma imkânları sunulabilir. Çok enerji kullanan araçların daha çok vergilendirilmesi de tüketici davranışını etkileyebilen finansal bir araç olarak düşünülebilir. Türkiye'nin temel sorunlarından biri olan şehirlerin plansız büyümesinin önüne geçilmesi için uygulanacak tutarlı politikalar dahi enerji etkinliği politikalarının bir parçası olarak düşünülebilir. Çevrenin gelecek kuşakların bize emaneti bilincinin yerleştirilmesi, Türkiye'nin kendi kullanmadığı enerjiyi tükettiği gibi konularda farkındalığı arttıracak eğitim, eğitim kademelerinin her aşamasında kolay anlaşılır bir şekilde verilebilir.

SON NOTLAR

- 1 Bu çalışmayı hazırlamaya beni teşvik eden hocam Prof.Dr. Recep KÖK'e desteği ve katkıları için teşekkür ederim.
- 2 Geniş bir yazın taraması için Zhou vd. (2008a)'na bakılabilir.
- 3 Doğrusal programlamaya dönüştürme işleminin ayrıntıları için Tone, 2002; 32-41'e bakılabilir.
- 4 Sperman sıra korelasyonu bütün yıllarda 0.85 üzerindedir.

KAYNAKLAR

- Ang, B.W. (2006) "Monitoring Changes in Economy-wide Energy Efficiency: From Energy-GDP Ratio to Composite Efficiency Index" *Energy Policy*, 34(5): 574-582.
- Azadeh, A., Amalnick, M. S., Ghaderi, S. F. ve Asadzadeh, S. M. (2007) "An Integrated DEA PCA Numerical Taxonomy Approach for Energy Efficiency Assessment and Consumption Optimization in Energy Intensive Manufacturing Sectors" *Energy Policy*, 35(7): 3792-3806.
- Azadeh, A., Ghaderi, S. F. ve Asadzadeh, S. M. (2008) "Energy Efficiency Modeling and Estimation in Petroleum Refining Industry - A Comparison Using Physical Data" *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'11)*, Santander, March 12-14.
- Bagdadioglu, N., Price, C. M. W. ve Weyman-Jones, T. G. (1996) "Efficiency and Ownership in Electricity Distribution: a Non Parametric Model of the Turkish Experience" *Energy Economics*, 18(1): 1-23.
- Banker, R. D., Charnes, R. F. ve Cooper, W. W. (1984) "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis" *Management Science*, 30: 1078-1092.
- Birol, F. ve Keppler, J. H. (2000) "Prices, Technology Development and the Rebound Effect" *Energy Policy*, 28(6-7): 457-469.
- Boyd, G. A. and Pang, J. X. (2000) "Estimating the Linkage between Energy Efficiency and Productivity" *Energy Policy*, 28(5): 289-296.
- Charnes, A., Cooper, W. W. ve Rhodes, E. (1978) "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, 3(4): 392-444.
- Chen, Y. ve Sherman H. D. (2004) "The Benefits of Non-Radial vs. Radial Super-Efficiency DEA: An Application to Burden-Sharing amongst NATO Member Nations" *Socio-Economic Planning Sciences*, 38: 307-320.
- Chen, Y., Motiwalla, L. ve Khan, M. R. (2004) "Using Super-Efficiency DEA to Evaluate Financial Performance of E-Business Initiative in the Retail Industry" *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 3(2): 337-351.
- Chien, T. ve Hu, J. L. (2007) "Renewable Energy and Macroeconomic Efficiency of OECD and Non-OECD Economies" *Energy Policy*, 35(7): 3606-3615.
- Chung, Y.H., Färe, R. ve Grosskopf, S. (1997) "Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach" *Journal of Environmental Management*, 51(3): 229-240.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., ve Tone, K. (1999) *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Hingham, MA, USA, Kluwer Academic Publishers.
- Energy Efficiency and Conservation Authority (EECA) (2006) *Energy Efficiency and Renewable Energy in New Zealand, Year Four Report: March 2001 to 2005*.
- Färe, R. ve Grosskopf, S. (2004) "Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluation: Comment" *European Journal of Operational Research*, 157(1): 242-245.
- Färe, R., Grosskopf, S. ve Tyteca, D. (1996) "An Activity Analysis Model of the Environmental Performance of Firms Application to Fossil-Fuel-Fired Electric Utilities" *Ecological Economics*, 18(2): 161-175.
- Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C. A. K. ve Pasurka, C. (1989) "Multilateral Productivity Comparisons When Some Outputs are Undesirable: A Nonparametric Approach" *The Review of Economics and Statistics*, 71(1): 90-98.
- Färe, R., ve Grosskopf, S. (2004) "Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluation: Comment" *European Journal of Operational Research*, 157(1): 242-245.
- Farrell, M. J. (1957) "The Measurement of Productive Efficiency" *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3): 253-290.

Førsund, F. R. ve Kittelsen, S. A. C. (1998) "Productivity Development of Norwegian Electricity Distribution Utilities" *Resource and Energy Economics*, 20(3): 207-224.

Geller, H., Harrington, P., Rosenfeld, A. H., Tanishima, S., ve Unander F. (2006) "Policies for Increasing Energy Efficiency: Thirty Years of Experience in OECD Countries" *Energy Policy* 34(5): 556-573.

Grösche, P. (2008) "Measuring Residential Energy Efficiency Improvement with DEA" *Ruhr Economic Papers* no. 60.

Hall, R. E., ve Jones, C. I. (1999) "Why Do Some Countries Produce So Much More Output per Worker than Others?" *NBER Working Papers* no. 6564, National Bureau of Economic Research, Inc.

Hu, J. L. ve Kao, C. H. (2007) "Efficient Energy-Savings Targets for APEC Economies" *Energy Policy*, 35(1): 373-382.

Hu, J. L. ve Wang, S. C. (2006) "Total-Factor Energy Efficiency of Regions in China" *Energy Policy*, 34(17): 3206-3217.

International Energy Agency (IEA) (2004) *Oil Crisis & Climate Challenges—30 Years of Energy Use in IEA Countries*, OECD, Paris.

International Energy Agency (IEA) (2007) *Energy Use in the New Millennium—Trends in IEA Countries*, OECD, Paris.

Jamasb, T., Nillesen, P. ve Pollitt, M. (2004) "Strategic Behaviour under Regulatory Benchmarking" *Energy Economics*, 26(5): 825-843

Kök, R. ve Deliktaş, E. (2003) *Endüstri İktisadında Verimlilik Ölçme ve Strateji Geliştirme Teknikleri*, DEÜ İİBF Yayınları, Yayın Karar No:25-8/1, İzmir.

Krüger, J. J. (2003) "The Global Trends of Total Factor Productivity: Evidence from the Nonparametric Malmquist Index Approach" *Oxford Economic Papers*, 55: 265-286.

Kulshreshtha, M. ve Parikh, J. K. (2002) "Study of Efficiency and Productivity Growth in Opencast and Underground Coal Mining in India: A DEA Analysis" *Energy Economics*, 24(5): 439-453.

Lee, W.S. (2008) "Benchmarking the Energy Efficiency of Government Buildings with Data Envelopment Analysis" *Energy and Buildings*, 40(5): 891-895.

Lovell, C.A.K. ve Rouse A.P.B. (2003) "Equivalent Standard DEA Models to Provide Super-Efficiency Scores" *Journal of the Operational Research Society*, 54: 101-108.

Mukherjee, K. (2008) "Energy Use Efficiency in U.S. Manufacturing: A Nonparametric Analysis", *Energy Economics*, 30(1): 76-96.

Natural Resources Canada (NRC) (2006) *Energy Efficiency Trends in Canada: 1990 to 2004*, Office of Energy Efficiency, Ottawa.

ODYSSEE (2007) /<http://www.odyssee-indicators.org/Overview/overview.php>, (09.09.2010).

Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (OEERE) (2007) *Indicators of Energy Intensities in the United States*.

Onut, S. ve Soner, S. (2006) "Energy Efficiency Assessment for the Antalya Region Hotels in Turkey" *Energy and Buildings*, 38(8): 964-971.

Pacudan, R. ve de Guzman, E. (2002) "Impact of Energy Efficiency Policy to Productive Efficiency of Electricity Distribution Industry in the Philippines" *Energy Economics*, 24(1): 41-54.

Pombo, C. ve Taborda, R. (2006) "Performance and Efficiency in Colombia's Power Distribution System: Effects of the 1994 Reform" *Energy Economics*, 28(3): 339-369.

Raczka, J. (2001) "Explaining the Performance of Heat Plants in Poland" *Energy Economics*, 23(4): 355-370.

Ramanathan, R. (2000) "A Holistic Approach to Compare Energy Efficiencies of Different Transport Modes" *Energy Policy*, 28(11): 743-747.

SAITECH, (2004) *Introduction to DEA-Solver-Pro (Professional Version 4.1)*, www.saitech-inc.com (29.09.2004).

Saygılı, Ş., Cihan, C. ve Yurtoğlu, H. (2005) *Türkiye Ekonomisinde Sermaye Birikimi, Verimlilik ve Büyüme: 1972-2003, Devlet Planlama Teşkilatı, Ekonomik Modeller ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü*, Yayın No: 2286, Ankara.

Scheel, H., (2001) "Undesirable Outputs in Efficiency Valuations" *European Journal of Operational Research*, 132: 400-410.

Stern, N. (2007) *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge and New York: Cambridge University Press.

Tone, K. (2001) "A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis" *European Journal of Operational Research*, 130(3): 498-509.

Tone, K. (2002) "A Slacks-Based Measure of Super-Efficiency in Data Envelopment Analysis" *European Journal of Operational Research*, 143(1): 32-41.

Tyteca, D. (1996) "On the Measurement of the Environmental Performance of Firms-

A Literature Review and a Productive Efficiency Perspective" *Journal of Environmental Management*, 46: 281-308.

Tyteca, D. (1997) "Linear Programming Models for the Measurement of Environmental Performance of Firms — Concepts and Empirical Results" *Journal of Productivity Analysis*, 8(2): 183-197.

Vaninsky, A. (2006) "Efficiency of Electric Power Generation in the United States: Analysis and Forecast Based on Data Envelopment Analysis" *Energy Economics*, 28(2): 326-338.

Wei, Y.M., Liao, H. ve Fan, Y. (2007) "An Empirical Analysis of Energy Efficiency in China's Iron and Steel Sector" *Energy*, 32(12): 2262-2270.

Weyman-Jones, T.G. (1991) "Productive Efficiency in a Regulated Industry: The Area Electricity Boards of England and Wales" *Energy Economics*, 13(2): 116-122.

Xu, X. P. ve Liang, L. (2007) "Energy Efficiency and Productivity of China: Compared with Other Countries" Shi, Y., van Albada, G.D. ve Dongarra, J. (eds), *Computational Science-ICCS 2007, 7th International Conference Part III*, Beijing, China, May 27-30, 988-991.

Yang, H., Shi, D. ve Xiao, J. (2009) "Influence of Environmental Factors on Energy Efficiency— Analysis on Regional Theoretic Energy Saving Potential and Real Energy Saving Potential" *China Industrial Economics*, 4: 73-84.

Yu, M. (2004) "Measuring Physical Efficiency of Domestic Airports in Taiwan with Undesirable Outputs and Environmental Factors" *Journal of Air Transport Management*, 10(5): 295-303.

Yunos, J. M. ve Hawdon, D. (1997) "The Efficiency of the National Electricity Board in Malaysia: An Inter-country Comparison Using DEA" *Energy Economics*, 19(2): 255-269.

Zaim, O. (2004) "Measuring Environmental Performance of State Manufacturing Through Changes in Pollution Intensities: A DEA Framework" *Ecological Economics*, 48(1): 37-47.

Zhou, P., Ang, B. W. ve Poh, K. L. (2008a) "A Survey of Data Envelopment Analysis in Energy and Environmental Studies" *European Journal of Operational Research*, 189(1): 1-18.

Zhou, P., Ang, B. W. ve Poh, K. L. (2008b) "Measuring Environmental Performance under Different Environmental DEA Technologies" *Energy Economics*, 30(1): 1-14.

Zhou, P., ve Ang, B. W. (2008) "Linear Programming Models for Measuring Economy-wide Energy Efficiency Performance" *Energy Policy*, 36(8): 2911- 2916.

Zhu, J. (2001) "Super Efficiency and DEA Sensitivity Analysis" *European Journal of Operational Research*, 129: 443-455.

Zofio, J. L., ve Prieto, A. M. (2001) "Environmental Efficiency and Regulatory Standards: The Case of CO₂ Emissions from OECD Industries" *Resource and Energy Economics*, 23(1): 63-83.

EK-1

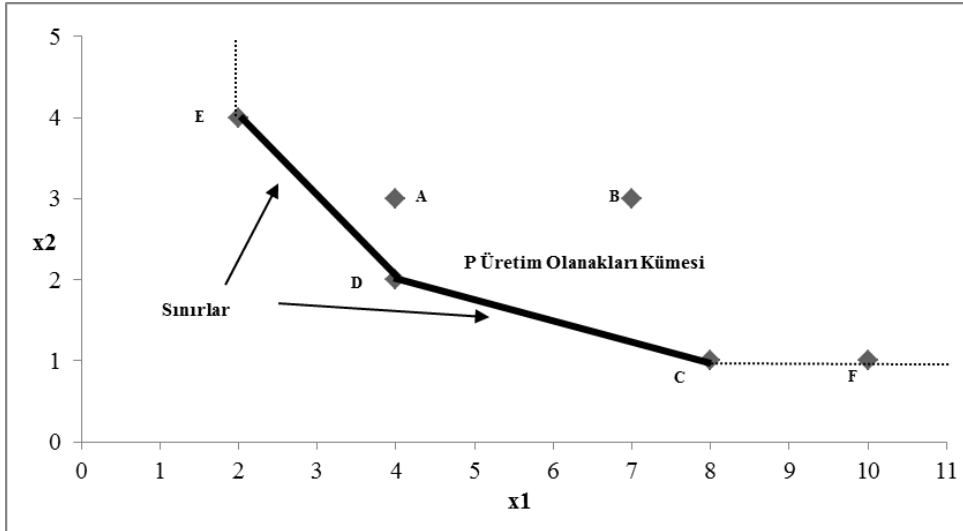
Ek 1 Tablo 1: CCR, SBM ve Süper SBM Modellerinin Verileri ve Sonuçları: Bir Örnek

KVB	Veriler			CCR	SBM	Super-SBM
	x_1	x_2	y			
A	4	3	1	0.8571	0.8333	
B	7	3	1	0.6316	0.6191	
C	8	1	1	1	1	1.125
D	4	2	1	1	1	1.25
E	2	4	1	1	1	1.5
F	10	1	1	1	0.9	

Kaynak: SAITECH, 2004.

Tone (2002) tarafından açıklanan super etkinlik modeli şu şekilde örneklendirilerek açıklanabilir. Bu örnek SAITECH DEA Solver kullanma kitabından alın-

mıştır. Yukarıdaki tabloda iki girdili (x_1 ve x_2) ve tek çıktılı ($y=1$) altı tane DMU'ya ait örnek veriler ve bu veriler kullanılarak girdi odaklı CCR (CCR-I), CRS var-



Kaynak: SAITECH, 2004.

Ek 1 Şekil 1: Üretim Olanakları Kümesi ve Sınırları

sayımı altında girdi odaklı SBM (SBM-I-CRS) ve CRS varsayımı altında girdi odaklı Süper SBM (Süper SBM-I-CRS) modellerine göre hesaplanan etkinlik değerleri verilmiştir. CCR-I modeli F DMU'sunu, C DMU'suna göre x_1 girdisinde bir aylıklık olmasına rağmen zayıf bir şekilde etkin olarak göstermektedir. SBM-I-CRS modeli, bu aylıklığı ortaya çıkarmakta ve ayırmaktadır. Bu modele göre F'nin etkinlik değeri 0.9'dur. Bu sonuçla C, D ve E DMU'larının

tam etkin olarak belirlendiği görülmektedir.

Tablodan da görüleceği gibi süper etkinlik modellerinde bir üst sınır bulunmamaktadır (Chen, 2005; 546). Yukarıdaki Ek 1 Şekil 1'de yukarıdaki tabloya göre altı DMU tarafından etkin sınırlar boyunca oluşturulan üretim olanakları kümesi P görülmektedir. Bu örnek yardımıyla DMU'ların süper etkinliklerinin açıklanması yararlı olacaktır. Bu amaçla DMU E, örnek olarak seçilmiştir.

Ek 1 Şekil 2, DMU'lar arasından E çıkarılarak oluşturulan P üretim olanaklarını göstermektedir. P üzerindeki (x_1', x_2', y') noktası dikkate alındığında, girdi uzayında E ve (x_1', x_2', y') arasındaki uzaklık şöyle elde edilebilir:

$$(x_1'/x_{1E} + x_2'/x_{2E})/2$$

Burada 2 girdi sayısını ifade etmektedir. Bu durumda E ve P' arasındaki uzaklık aşağıdaki programın optimal değeri olmaktadır:

$$\min (x_1'/x_{1E} + x_2'/x_{2E})/2$$

Kısıtlar $x_1' \geq x_{1E}, x_2' \geq x_{2E}, y' = y_E, (x_1', x_2', y') \in P'$.

$x_1' = 4, x_2' = 4$, ve $y' = 1$ için optimal çözüm Ek 1 Şekil 2'de \bar{G} noktası ile gösterilmiştir. Bu durumda uzaklık $(4/4 + 4/2)/2 = 1.5$ olmaktadır. CCR ve SBM modellerinde DMU E'nin etkinlik değeri 1.0 iken bu şekilde 1.5 olmaktadır. Tablodaki C ve D noktalarının süper etkinlikleri de benzer bir şekilde hesaplanmaktadır. Bu örnekteki etkinliklere göre DMU'ların sıralaması E, D, C, F, A, ve B şeklinde olacaktır.