

AVRUPA ÜLKELERİNİN ÇEVRE VE ENERJİ PERFORMANSINA YÖNELİK ETKİNLİK DEĞERLENDİRMESİ: VERİ ZARFLAMA ANALİZİ UYGULAMASI®Sena AYDOĞAN¹Murat ŞAHİN²İsmet SÖYLEMEZ³**ÖZET**

Globalleşen Dünya’da enerji kullanımının etkinliği ve çevre duyarlılığının önemi giderek artmaktadır. Eldeki kaynakların en etkin şekilde kullanımının yanı sıra çevre duyarlılığının gerekliliği birçok ülke tarafından kabul edilmektedir. Ülkeler üzerindeki işgücü ve enerji kaynakları ile maksimum düzeyde üretim yapmayı ve çevreye verilen zararları en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada aralarında Türkiye’nin de bulunduğu Avrupa Birliği’ne aday ya da üye olan 29 ülkenin 2010-2013 yılları arasındaki enerjiyi etkin kullanımının ve çevre duyarlılığının performansları analiz edilmiştir. Sonuçlar Türkiye’nin etkin olmayan ülkeler arasında yer aldığını göstermekle birlikte, ağırlıklı olarak Almaya ve Norveç’in referans alınması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Veri zarflama analizi, değişken getirili model, sabit getirili model, enerji performansı

JELL:C67**EVALUATION OF THE ENVIRONMENT AND ENERGY PERFORMANCE OF**

© Bu çalışma III. Uluslararası Kafkasya Orta Asya Dış Ticaret ve Lojistik Kongresi’nde özet bildirisi olarak sunulmuştur. 19-21 Ekim 2017, Kastamonu, Turkey.

¹Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, senaaydogan@gazi.edu.tr

²Celal Bayar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, murat.sahin@gazi.edu.tr

³Abdullah Gül Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, ismet.soylemez@agu.edu.tr (Sorumlu Yazar)

EUROPEAN COUNTRIES: AN APPLICATION OF DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

ABSTRACT

The importance of energy use and environmental sensitivity in the globalizing world is increasing. In addition to the most efficient use of available resources, the need for environmental awareness is recognized by many countries. Countries aim to minimize the damage to the environment when making the maximum production with their labor and energy resources. In this study, the performance of the energy efficiency and environmental sensitivity of the 29 countries, which are either candidates or members of the European Union including Turkey, between 2010 and 2013 have been analyzed. The results show that Turkey is among the inactive countries, and it should mainly take Germany and Norway as references.

Keywords: Data envelopment analysis, variable returns to scale, constant returns to scale, energy performance

I. GİRİŞ

Artan Dünya nüfusunun yanı sıra teknolojik aletlerin kullanımının yaygınlaşması ve endüstrinin gelişmesi sonucunda enerji talebi ve enerji kaynaklarının önemi giderek artmıştır. Dünya genelinde en yaygın olarak kullanılan enerji kaynaklarının petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlardan oluştuğu bilinmektedir (Külekci, 2009). Fosil yakıtların kullanımı ile CO₂ başta olmak üzere bir takım çevreye zararlı gazların havaya yayılması söz konusudur. Ülkelerin sosyal politikaları arasında çevreye verilen zararların en aza indirilmesi de yer almaktadır. Bu nedenle son yıllarda, çevreye zararsız yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelerek üstlerine düşen sorumlulukları yerine getirmeyi amaçlamaktadırlar.

Veri zarflama analizi (VZA) ile bazı matematiksel modelleme yöntemleri kullanılarak, birtakım karar verme birimlerinin birbirleri ile karşılaştırılması etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Zhou ve ark., 2007). VZA'nın temel avantajı girdi ve çıktılar arasında önceden tanımlanan varsayımlara ihtiyaç duymaması olup, parametre gerektirmeyen bir metot olmasıdır.

Enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımının öneminden dolayı konu ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Çalışmalarda genellikle ülkelerin gayri safi yurtiçi hasıllarının (GSYH) dikkate alındığı görülmektedir. Ayrıca bu alanda yapılan çalışmaların enerjinin etkin kullanımına ve üretim miktarının artımına odaklandığı belirlenmiştir. Tablo 1'de enerji kullanımı ve

VZA ile ilgili yapılan çalışmalar hakkında genel bilgiler sunulmaktadır. Bu tabloda, gerçekleştirilen çalışmalar yazar adı (yıl), kullanılan VZA modeli, girdi, çıktı türleri ve istenmeyen çıktılara göre listelenmiştir. Tablo incelendiğinde yapılan çalışmaların neredeyse tamamında ölçüğe göre sabit getiri (CCR) modeli tercih edilmiştir. Bunun yanı sıra bazı çalışmalarda değişken getiri (BCC) modelinin etkinlik sonuçları da dikkate alınmıştır. İncelenen makalelerde genellikle sermaye, enerji tüketimi/arzu ile iş gücü istihdamının girdi olarak kullanıldığı, GSYH'nin istenen çıktı ve CO₂ yayılımının ise istenmeyen çıktı olarak belirlendiği görülmektedir. Bunun yanı sıra, kullanılan enerji kaynaklarını ve sektörel bazda enerji kullanım miktarlarını dikkate alan çalışmalar da bulunmaktadır. Girdilerde kullanılan çeşitliliğin aksine istenen ve istenmeyen çıktılardaki çeşitliliğin kısıtlı düzeyde olduğu görülmektedir. Çalışmaların büyük çoğunluğunda GSYH istenen çıktı olarak kullanılırken, çevreye zararlarından dolayı CO₂ yayılımı istenmeyen çıktı olarak kabul edilmiştir. Sülfür oksit, nitrojen oksit gibi bazı zararlı gazların yayılımının da istenmeyen çıktı olarak dikkate alınabilmektedir.

VZA'nın enerji ve çevre ile ilgili modellemelerde yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada, VZA ile Avrupa birliğinde bulunan veya aday olan 29 ülkenin 2010-2013 yılları arasındaki çevresel performans etkinliklerini ve GSYH miktarlarını dikkate alan çıktı yönlü bir VZA uygulaması yapılmıştır. GSYH ve CO₂ yayılımı çıktı olarak dikkate alınırken, girdileri enerji tüketimi ve işgücü oluşturmaktadır. Bu çalışma ile Türkiye'nin kendine referans alması gereken ülkeler belirlenmiş ve etkin olmayan ülkeler arasında bulunmasının nedenlerinin araştırılmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Sonraki bölümde problemin detaylı tanımı ile kullanılan verilere ilişkin bilgiler bulunmaktadır. Bölüm 3'de VZA neticesinde elde edilen hesaplama sonuçları sunulmakta olup, son bölümde ise genel değerlendirmeler yer almaktadır.

II. PROBLEM TANIMI

Literatür incelendiğinde girdiler olarak enerji tüketimi/arzu, işgücü istihdamı veya nüfusun yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Çıktı olarak ise GSYH ve CO₂ yayılımının kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ancak CO₂ çalışmalarda istenmeyen çıktı olarak kullanılmaktadır. Mevcut bilgiler göz önüne alındığında bu çalışmada enerji tüketimi ve işgücü istihdamı girdi olarak kullanılırken, çıktı olarak GSYH'nin yanı sıra CO₂ yayılımı benimsenmiştir. Çalışmada 29 Avrupa birliği üyesi ya da aday ülkelerin 2010-2013 yılları arasındaki verileri dikkate alınmıştır. Kullanılan veriler <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> adresinden temin edilmiştir. GSYH milyon Euro cinsinden, CO₂ yayılımı milyon ton cinsinden verilirken, enerji tüketimi bin ton petrol eşdeğeri, işgücü istihdamı

çalışılan saat bazında dikkate alınmıştır.

Uygulamada kullanılacak olan veriler incelendiğinde çıktı yönlü modelin problemin yapısına daha uygun olduğu belirlenmiştir. Enerji kullanımının ve işgücünün sabit olduğu durumlarda GSYH'nın maksimize edilmeye çalışılması amaçlanmaktadır. Ancak istenmeyen çıktı olan CO₂ yayılımının minimize edilmesi için bu değerlerin çarpma işlemine göre tersi alınmıştır. Çıktı yönlü CCR modeli, sahip olunan girdi değerlerinin daha fazlasına ihtiyaç duymadan çıktı değerinin maksimize edilmesini amaçlamaktadır. Çıktı yönlü CCR modeline ilişkin doğrusal programlama ve veri zarflama modeli aşağıda verilmektedir (Cooper ve ark., 2011; Okursoy ve Tezsürücü, 2014).

Tablo 1. Enerji kullanımı ile ilgili yapılan veri zarflama analizleri

Çalışma	Model	Girdiler	Çıktılar	İstenmeyen çıktılar
Zaim ve Taşkın (2000a)	CCR	Toplam öz sermaye, İşgücü	Üretilen ürünlerin değeri	CO ₂
Zaim ve Taşkın (2000b)	CCR	Toplam istihdam, Toplam öz sermaye	GSYH	CO ₂
Zofio ve Prieto (2001)	CCR	Sabit sermaye stoğu, İşgücü	Üretilen ürünlerin değeri	CO ₂
Hawdon (2003)	CCR BCC	Gaz Tüketimi, Tüketici sayısı	İstihdam, Boru Hatlarının Uzunluğu	Yok
Ramanathan (2005)	CCR BCC	Fosil yakıt, Enerji tüketimi	Fosil Dışı Yakıt Enerji Tüketimi GSYH	CO ₂
Kumar (2006)	CCR	İşgücü, Öz sermaye, Ticari enerji tüketimi	GSYH	CO ₂
Zhou ve ark. (2006)	CCR	Toplam birincil enerji arzı, Nüfus	GSYH	CO ₂
Hu ve Kao (2007)	CCR	Öz sermaye, İşgücü istihdamı, Enerji tüketimi	GSYH	Yok

Zhou ve ark. (2007)	CCR BCC	İş gücü, Birincil enerji tüketimi	GSYH	CO ₂ ile SO _x , NO _x ile CO
Zhou ve Ang (2008)	CCR	Öz sermaye, işgücü, Kullanılan enerji kaynakları	GSYH	CO ₂
Zhou ve ark. (2008)	CCR BCC	Enerji tüketimi	GSYH	CO ₂
Zhou ve ark. (2012)	CCR BCC	Enerji tüketimi, Sermaye, İşgücü	GSYH	Yok
Wang ve ark. (2013)	Çok-yönlü etkinlik analizi (MEA)	Enerji, İşgücü, Sermaye	GSYH	CO ₂
Honma ve Hu (2014)	BCC	İşgücü, Sermaye, Enerji, Enerji dışı ara elemanlar	GSYH	Yok
Wei ve ark. (2015)	CCR BCC	İşgücü, Sermaye, Enerji tüketimi	Elektrik Enerjisi	CO ₂
Fei ve Lin (2016)	CCR BCC	Tarım işgücü, Tarımsal sermaye Tarımsal enerji tüketimi	Tarımsal üretim	Yok
Lin ve Zheng (2017)	CCR	Sermaye stoğu, Çalışan sayısı, Enerji tüketimi	Brüt endüstriyel üretim	Yok

Notasyonlar

u_r : r çıktısının ağırlığı ($r=1,2,\dots,s$)

v_i : i girdisinin ağırlığı ($i=1,2,\dots,m$)

λ_j : Çıktıya yönelik modellerde j . KVB'nin aldığı yoğunluk değeri ($j=1,2,\dots,n$)

x_{ij} : j . KVB'deki i girdisinin miktarı

y_{rj} : j . KVB'deki r çıktısının miktarı

φ : KVB çıktılarının radyal olarak ne kadar artırılabilirliğini belirleyen katsayı

ε : 0'dan büyük yeterince küçük bir sayı

s_i^- : i . girdideki fazlalık

s_r^+ : r . çıktıdaki azlık

Doğrusal Programlama Modeli

$$E_0 = \min \sum_{i=1}^m v_i x_{i0}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Veri Zarflama Modeli

$$\max \quad \varphi + \varepsilon \cdot \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j + s_i^- = x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \cdot \lambda_j - s_r^+ = \varphi y_{r0} \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad i = 1, 2, \dots, m \quad r = 1, 2, \dots, s$$

Yukarıdaki verilen veri zarflama modeline Eşitlik 9'da belirtilen kısıt eklendiğinde, BCC modeli elde edilir.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

Belirtilen modeller dikkate alınarak ilgili ülkelerin enerji kullanımındaki

etkinliğini ve çevre duyarlılığı performansını ölçen bir VZA yapılmıştır.

III. UYGULAMA

Bu bölümde bir önceki bölümde tanımı yapılan veriler ile çıktı yönlü CCR ve BCC modeli uygulanmıştır. EMS paket programı ile elde edilen sonuçlar ve yorumlamalarına yer verilmiştir. CCR modeli 2010-2013 yılları verileri ile çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar ve referans küme değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir. BCC modeli 2010-2013 yılları verileri ile çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar ve referans küme değerleri ise Tablo 3’de sunulmuştur. 2010 yılı performans değerlendirme sonuçlarına göre incelemeye alınan 29 ülke arasından Danimarka, Almanya, Letonya, Litvanya, Malta ve İspanya CCR modelinde etkin ülkelerdir. BCC modelinde bu ülkelerin yanı sıra Slovenya da etkin ülkeler arasına girmeyi başarmıştır. Skorları 100’den büyük olan ülkeler, çıktılarını referans kümedeki (benchmarks) elemanlara benzeterek etkin olabilirler. Etkin olan ülkelerin referans küme sütununda yazan değer kaç ülkeye referans olduklarını göstermektedir. Örneğin 2010 yılı CCR modeli sonuçlarına göre Almanya 14 ülkeye referans olmaktadır. Yine aynı sonuçlarına göre Türkiye’nin skoru 158,40 olarak elde edilmiştir. Türkiye’nin referans kümesinde 7 ve 27 sıra sayılı ülkeler olan Danimarka ve İspanya yer almaktadır. Türkiye çıktılarını %21 oranında Danimarka’ya ve %79 oranında İspanya’ya benzetirse etkin olacaktır. Ayrıca çıktılarda azlık görülmemiştir. 2010 yılında Türkiye için hedef çıktı değerleri şu şekilde hesaplanabilir:

$$1. \text{çıkıtı GSYH hedef değer} = (243165,4 * 0,21) + (1080913 * 0,79) = 904986$$

$$2. \text{çıkıtı CO}_2 \text{ hedef değer} = 1 / [(0,010969 * 0,21) + (0,007804 * 0,79)] = 118,08$$

Veri hazırlanırken CO₂ yayılım değerinin çarpımsal olarak tersi alındığından dolayı hedef çıktı değerlerinin çarpma işlemine göre tekrar tersi alınmıştır.

IV. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada 29 Avrupa Birliğine üye ya da aday ülkenin 2010-2013 yılları arasında enerji kullanımı etkinliğinin ve çevre duyarlılığının performansları değerlendirilmiştir. Çalışmada girdi olarak işgücü ve enerji tüketimi ele alınırken, GSYH ve CO₂ yayılımı çıktı olarak dikkate alınmıştır. Ülkelerdeki istihdamın düşürülmesinin istenmemesi nedeniyle çıktı yönlü bir model tercih edilmiştir. CCR modeline göre Almanya, Litvanya, Danimarka, Letonya ve Malta her dört yılda da etkin olabilmeyi başarmıştır. İspanya sadece 2010 yılında etkin iken Norveç 2011 ve 2012 yıllarında etkin olabilmıştır. Ayrıca etkin olan ülkeler arasında Almanya’nın diğer ülkelere en fazla referans olan ülke olduğu

gözlemlenmiştir.

Tablo 2. Yıllara göre CCR performans skorları ve referans küme elemanları

	KVB	2010			2011				
		Skor	Referans KVB		Skor	Referans KVB			
1	Avusturya	119,00%	7 (0,93)	11 (0,03)	27 (0,04)	123,00%	7 (0,71)	11 (0,04)	21 (0,28)
2	Belçika	140,57%	7 (0,54)	11 (0,14)	17 (0,32)	136,48%	7 (0,47)	11 (0,14)	17 (0,37)
3	Bulgaristan	134,45%		11 (0,01)	17 (0,99)	135,68%		11 (0,01)	17 (0,94)
4	Hırvatistan	171,78%	7 (0,24)	16 (0,26)	17 (0,50)	166,56%	7 (0,19)	11 (0,00)	17 (0,75)
5	Kıbrıs	132,80%	7 (0,08)	16 (0,10)	19 (0,83)	134,92%	7 (0,08)	16 (0,13)	19 (0,76)
6	Çek Cum.	159,24%		11 (0,09)	17 (0,91)	151,22%		11 (0,08)	17 (0,90)
7	Danimarka	100,00%		15*		100,00%		13*	
8	Estonya	113,27%		16 (0,30)	17 (0,70)	114,19%		16 (0,26)	17 (0,72)
9	Finlandiya	173,17%	7 (0,53)	11 (0,07)	17 (0,40)	165,39%	7 (0,38)	11 (0,08)	17 (0,50)
10	Fransa	104,72%		11 (0,68)	27 (0,32)	107,69%		11 (0,80)	21 (0,17)
11	Almanya	100,00%		14*		100,00%		17*	
12	Yunanistan	133,32%	7 (0,90)	11 (0,03)	17 (0,06)	143,17%	7 (0,71)	11 (0,04)	17 (0,17)
13	Macaristan	160,35%		11 (0,05)	17 (0,95)	151,72%		11 (0,05)	17 (0,95)
14	İzlanda	283,93%	7 (0,03)	16 (0,62)	17 (0,35)	282,82%	7 (0,01)	16 (0,26)	17 (0,70)
15	İrlanda	109,42%		7 (0,75)	19 (0,23)	106,00%		7 (0,73)	19 (0,21)
16	Letonya	100,00%		6*		100,00%		5*	
17	Litvanya	100,00%		15*		100,00%		15*	
18	Lüksemburg	109,55%	7 (0,15)	16 (0,25)	19 (0,60)	111,57%	7 (0,16)	16 (0,26)	19 (0,57)
19	Malta	100,00%		4*		100,00%		4*	
20	Hollanda	116,10%	7 (0,76)	11 (0,21)	17 (0,03)	116,82%	7 (0,74)	11 (0,21)	17 (0,04)
21	Norveç	108,73%		7 (0,87)	27 (0,13)	100,00%		4*	

22	Polonya	178,92%	11 (0,24)	17 (0,76)	172,73%	11 (0,23)	17 (0,75)		
23	Portekiz	145,58%	7 (0,87)	11 (0,02)	17 (0,11)	153,70%	7 (0,82)	11 (0,02)	17 (0,14)
24	Romanya	107,57%	11 (0,04)	17 (0,96)	106,12%	11 (0,04)	17 (0,93)		
25	Slovakya	144,96%	11 (0,03)	17 (0,97)	139,23%	11 (0,03)	17 (0,98)		
26	Slovenya	175,66%	7 (0,21)	16 (0,64)	19 (0,14)	192,48%	7 (0,23)	16 (0,70)	19 (0,00)
27	İspanya	100,00%	4*	109,08%	11 (0,35)	21 (0,61)			
28	İsveç	122,56%	7 (0,72)	11 (0,11)	17 (0,18)	120,42%	7 (0,76)	11 (0,11)	17 (0,15)
29	Türkiye	158,40%	7 (0,21)	27 (0,79)	183,77%	11 (0,29)	21 (0,76)		

* Etkin olan ülkelerin kaç ülkeye referans olduklarını göstermektedir.

Tablo 2 (Devam). Yıllara göre CCR performans skorları ve referans küme elemanları

	KVB	2012			2013				
		Skor	Referans KVB		Skor	Referans KVB			
1	Avusturya	126,18%	7 (0,66)	11 (0,03)	21 (0,35)	123,03%	7 (1,03)	11 (0,05)	
2	Belçika	132,64%	7 (0,51)	11 (0,14)	17 (0,34)	134,93%	7 (0,45)	11 (0,14)	17 (0,36)
3	Bulgaristan	124,27%	11 (0,01)	17 (0,93)	117,66%	11 (0,01)	17 (0,91)		
4	Hırvatistan	155,59%	7 (0,14)	11 (0,00)	17 (0,78)	153,15%	7 (0,10)	11 (0,01)	17 (0,77)
5	Kıbrıs	125,99%	7 (0,06)	16 (0,16)	19 (0,67)	116,20%	7 (0,05)	16 (0,18)	19 (0,57)
6	Çek Cum.	148,85%	11 (0,08)	17 (0,91)	147,81%	11 (0,07)	17 (0,88)		
7	Danimarka	100,00%	13*	100,00%	17*				
8	Estonya	109,98%	16 (0,36)	17 (0,63)	134,39%	16 (0,04)	17 (0,98)		
9	Finlandiya	160,10%	7 (0,35)	11 (0,08)	17 (0,54)	159,81%	7 (0,39)	11 (0,07)	17 (0,49)
10	Fransa	107,88%	11 (0,80)	21 (0,14)	107,31%	7 (0,14)	11 (0,79)		
11	Almanya	100,00%	17*	100,00%	18*				
12	Yunanistan	149,12%	7 (0,54)	11 (0,05)	17 (0,27)	131,32%	7 (0,33)	11 (0,05)	17 (0,34)
13	Macaristan	142,26%	11 (0,04)	17 (0,94)	142,03%	11 (0,04)	17 (0,93)		

14	İzlanda	283,42%	7 (0,02)	16 (0,53)	17 (0,42)	302,15%	7 (0,02)	16 (0,34)	17 (0,62)
15	İrlanda	110,68%	7 (0,76)	19 (0,10)		107,64%	7 (0,75)	19 (0,13)	
16	Letonya	100,00%	5*			100,00%	5*		
17	Litvanya	100,00%	16*			100,00%	16*		
18	Lüksemburg	109,71%	7 (0,15)	16 (0,27)	19 (0,53)	104,75%	7 (0,15)	16 (0,26)	19 (0,53)
19	Malta	100,00%	3*			100,00%	3*		
20	Hollanda	119,70%	7 (0,74)	11 (0,21)	17 (0,04)	118,36%	7 (0,73)	11 (0,21)	17 (0,05)
21	Norveç	100,00%	4*			101,19%	7 (1,05)	11 (0,04)	
22	Polonya	170,14%	11 (0,23)	17 (0,75)		171,34%	11 (0,23)	17 (0,72)	
23	Portekiz	158,07%	7 (0,79)	11 (0,02)	17 (0,16)	154,80%	7 (0,73)	11 (0,02)	17 (0,20)
24	Romanya	109,00%	11 (0,04)	17 (0,96)		103,57%	11 (0,04)	17 (0,94)	
25	Slovakya	132,84%	11 (0,02)	17 (0,98)		134,86%	11 (0,02)	17 (0,94)	
26	Slovenya	188,02%	7 (0,20)	16 (0,60)	17 (0,10)	180,18%	7 (0,18)	16 (0,45)	17 (0,24)
27	İspanya	113,76%	11 (0,35)	21 (0,54)		106,70%	7 (0,55)	11 (0,34)	
28	İsveç	118,74%	7 (0,76)	11 (0,11)	17 (0,14)	114,36%	7 (0,74)	11 (0,11)	17 (0,15)
29	Türkiye	179,91%	11 (0,30)	21 (0,77)		174,84%	7 (0,86)	11 (0,32)	

* Etkin olan ülkelerin kaç ülkeye referans olduklarını göstermektedir.

Tablo 3. Yıllara göre BCC performans skorları ve referans küme elemanları.

	KVB	2010			2011		
		Skor	Referans KVB		Skor	Referans KVB	
1	Avusturya	119,00%	7 (0,93)	11 (0,03)	27 (0,04)	122,13%	11 (0,03) 16 (0,15) 21 (0,82)
2	Belçika	140,57%	7 (0,54)	11 (0,14)	17 (0,32)	130,50%	7 (0,29) 11 (0,14) 12 (0,23) 17 (0,35)
3	Bulgaristan	134,45%		11 (0,01)	17 (0,99)	104,39%	12 (0,43) 17 (0,46) 24 (0,10)
4	Hırvatistan	171,78%	7 (0,24)	16 (0,26)	17 (0,50)	100,00%	3*
5	Kıbrıs	132,80%	7 (0,08)	16 (0,10)	19 (0,83)	100,00%	5*
6	Çek Cum.	159,24%		11 (0,09)	17 (0,91)	145,42%	11 (0,05) 17 (0,28) 24 (0,67)
7	Danimarka	100,00%		14*		100,00%	8*
8	Estonya	113,27%		16 (0,30)	17 (0,70)	100,06%	4 (0,01) 5 (0,20) 17 (0,79)
9	Finlandiya	173,17%	7 (0,53)	11 (0,07)	17 (0,40)	144,29%	7 (0,05) 11 (0,06) 12 (0,50) 17 (0,39)
10	Fransa	104,72%		11 (0,68)	27 (0,32)	100,00%	0*
11	Almanya	100,00%		14*		100,00%	12*
12	Yunanistan	133,32%	7 (0,90)	11 (0,03)	17 (0,06)	100,00%	7*
13	Macaristan	160,35%		11 (0,05)	17 (0,95)	149,29%	11 (0,04) 12 (0,01) 17 (0,72) 24 (0,24)
14	İzlanda	283,93%	7 (0,03)	16 (0,62)	17 (0,35)	243,44%	4 (0,05) 5 (0,20) 17 (0,75)
15	İrlanda	109,36%		7 (0,74)	19 (0,26)	104,91%	5 (0,14) 7 (0,72) 19 (0,14)
16	Letonya	100,00%		5*		100,00%	3*
17	Litvanya	100,00%		15*		100,00%	13*
18	Lüksemburg	109,55%	7 (0,15)	16 (0,25)	19 (0,60)	100,73%	5 (0,60) 7 (0,11) 16 (0,20) 19 (0,10)
19	Malta	100,00%		3*		100,00%	2*
20	Hollanda	116,10%	7 (0,76)	11 (0,21)	17 (0,03)	114,32%	7 (0,61) 11 (0,20) 12 (0,14) 17 (0,05)
21	Norveç	108,73%		7 (0,87)	27 (0,13)	100,00%	4*
22	Polonya	178,92%		11 (0,24)	17 (0,76)	166,83%	11 (0,20) 17 (0,20) 24 (0,60)
23	Portekiz	145,58%	7 (0,87)	11 (0,02)	17 (0,11)	145,33%	7 (0,70) 11 (0,02) 12

						(0,17) 17 (0,11)
24	Romanya	107,57%	11 (0,04) 17 (0,96)	100,00%		4*
25	Slovakya	144,96%	11 (0,03) 17 (0,97)	139,04%		11 (0,03) 17 (0,97)
26	Slovenya	100,00%	0*	111,50%	4 (0,61) 5 (0,31) 7 (0,02)	17 (0,05)
27	İspanya	100,00%	4*	102,83%	11 (0,35) 12 (0,49) 21 (0,17)	
28	İsveç	122,56%	7 (0,72) 11 (0,11) 17 (0,18)	119,97%	11 (0,10) 16 (0,21) 17 (0,10) 21 (0,59)	
29	Türkiye	158,40%	7 (0,21) 27 (0,79)	182,62%	11 (0,30) 21 (0,70)	

* Etkin olan ülkelerin kaç ülkeye referans olduklarını göstermektedir.

Tablo 3 (Devam). Yıllara göre BCC performans skorları ve referans küme elemanları.

KVB	2012			2013						
	Skor	Referans KVB			Skor	Referans KVB				
1 Avusturya	123,84%	7 (0,69)	11 (0,04)	21 (0,27)	120,83%	7 (0,70)	11 (0,04)	21 (0,26)		
2 Belçika	128,22%	7 (0,40)	11 (0,13)	12 (0,15)	17 (0,31)	131,75%	7 (0,37)	11 (0,13)	12 (0,18)	17 (0,32)
3 Bulgaristan	103,50%	12 (0,37) 17 (0,63)			107,59%	12 (0,29) 17 (0,71)				
4 Hırvatistan	100,09%	5 (0,47)	12 (0,19)	17 (0,34)	121,22%	5 (0,33) 12 (0,19) 17 (0,47)				
5 Kıbrıs	100,00%	6*			100,00%	4*				
6 Çek Cum.	144,11%	10 (0,09)	12 (0,05)	17 (0,86)	141,51%	11 (0,06) 12 (0,16) 17 (0,78)				
7 Danimarka	100,00%	11*			100,00%	11*				
8 Estonya	108,13%	5 (0,04)	16 (0,32)	17 (0,65)	132,82%	17 (1,00)				
9 Finlandiya	150,29%	7 (0,24)	11 (0,07)	12 (0,22)	17 (0,47)	154,69%	7 (0,33) 11 (0,06) 12 (0,18) 17 (0,42)			
10 Fransa	100,00%	3*			100,98%	11 (0,74) 12 (0,26)				
11 Almanya	100,00%	10*			100,00%	14*				
12 Yunanistan	100,00%	11*			100,00%	14*				
13 Macaristan	136,53%	10 (0,04)	12 (0,08)	17 (0,87)	137,79%	11 (0,03) 12 (0,11) 17 (0,86)				
14 İzlanda	273,10%	5 (0,09)	7 (0,01)	16 (0,39)	17 (0,51)	299,25%	5 (0,05) 7 (0,02) 16 (0,27) 17 (0,66)			
15 İrlanda	109,02%	5 (0,19)	7 (0,74)	19 (0,07)	107,28%	7 (0,74) 19 (0,26)				
16 Letonya	100,00%	4*			100,00%	2*				
17 Litvanya	100,00%	15*			100,00%	15*				
18 Lüksemburg	103,30%	5 (0,47)	7 (0,12)	16 (0,21)	19 (0,20)	102,14%	5 (0,32) 7 (0,13) 16 (0,21) 19 (0,34)			

19	Malta	100,00%		2*		100,00%	2*
20	Hollanda	117,78%	7 (0,66)	11 (0,21)	12 (0,10)	17 (0,03)	117,82% 7 (0,71) 11 (0,20) 12 (0,04) 17 (0,04)
21	Norveç	100,00%		2*		100,00%	2*
22	Polonya	161,29%	10 (0,29)	12 (0,03)	17 (0,69)	163,68%	11 (0,21) 12 (0,17) 17 (0,62)
23	Portekiz	144,62%	7 (0,66)	11 (0,01)	12 (0,25)	17 (0,08)	148,55% 7 (0,67) 11 (0,01) 12 (0,19) 17 (0,13)
24	Romanya	108,56%		11 (0,04)	17 (0,96)	102,10%	11 (0,04) 12 (0,05) 17 (0,91)
25	Slovakya	132,25%		11 (0,02)	17 (0,98)	131,16%	11 (0,02) 12 (0,10) 17 (0,88)
26	Slovenya	157,80%	5 (0,38)	7 (0,11)	12 (0,02)	17 (0,49)	159,35% 5 (0,38) 7 (0,10) 12 (0,04) 17 (0,48)
27	İspanya	103,71%	7 (0,01)	11 (0,35)	12 (0,65)	101,88%	7 (0,20) 11 (0,32) 12 (0,48)
28	İsveç	118,20%	7 (0,73)	11 (0,11)	16 (0,13)	17 (0,03)	114,36% 7 (0,74) 11 (0,11) 17 (0,15)
29	Türkiye	178,12%		11 (0,31)	21 (0,69)	172,53%	11 (0,29) 21 (0,71)

* Etkin olan ülkelerin kaç ülkeye referans olduklarını göstermektedir.

Değerlendirme neticesinde Türkiye'nin, 2010-2013 yılları arasında genellikle etkinliği düşük olan ülkeler arasında yer aldığı belirlenmiştir. Türkiye'nin kendine referans alması gereken ülkeler arasında ağırlıklı olarak Almanya ve Norveç'in yer aldığı görülmektedir. Türkiye'nin Almanya ve Norveç'teki modele uygun bir yapısının bulunduğu, bu ülkelerde ne tip enerjilerin kullanıldığı ve çıktılarının neden Türkiye'ye kıyasla daha yüksek olduğunun incelenmesi gelecek yıllardaki etkinlik açısından fayda sağlayabilmektedir. Türkiye'nin GSYH'yi artırıcı ve CO₂ yayılımını azaltıcı önlemler alması gerekmektedir. Türkiye'nin enerji üretimi dikkate alındığında önemli ölçüde petrol ve kömür gibi CO₂ yayılımı fazla olan fosil yakıtların kullanıldığı bilinmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerjiye yönelimin CO₂ yayılımında önemli ölçüde indirgeme sağlayabileceği söylenebilmektedir.

Kaynakça

- Cooper, W.W., Seiford, L.M., Zhu, J. (2011), "Handbook on Data Envelopment Analysis History, Models And Interpretations", *International Series in Operations Research & Management Science*. 164, 1-39.
- Fei, R., & Lin, B. (2016). Energy efficiency and production technology heterogeneity in China's agricultural sector: A meta-frontier approach. *Technological Forecasting and Social Change*.
- Hawdon, D. (2003). Efficiency, performance and regulation of the international gas industry – a bootstrap DEA approach. *Energy Policy* 31, 1167–1178.
- Honma, S., & Hu, J. L. (2014). Industry-level total-factor energy efficiency in developed countries: A Japan-centered analysis. *Applied Energy*, 119, 67-78.
- Hu, J.L., Kao, C.H. (2007). Efficient energy-saving targets for APEC economies. *Energy Policy* 35, 373–382.
- Kumar, S. (2006). Environmentally sensitive productivity growth: A global analysis using Malmquist-Luenberger index. *Ecological Economics* 56, 280–293.
- Külekçi, Ö. C. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 83-91.
- Lin, B., & Zheng, Q. (2017). Energy efficiency evolution of China's paper industry. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1105-1117.
- Okursoy, A., & Tezsürücü, D. (2014). Veri Zarflama Analizi ile Göreli Etkinliklerin

Karşılaştırılması: Türkiye'deki İllerin Kültürel Göstergelerine İlişkin Bir Uygulama. *Yönetim ve Ekonomi*, 21(2), 1-18.

Ramanathan, R. (2005). An analysis of energy consumption and carbon dioxide emissions in countries of the Middle East and North Africa. *Energy* 30, 2831–2842.

Wang, K., Wei, Y. M., & Zhang, X. (2013). Energy and emissions efficiency patterns of Chinese regions: a multi-directional efficiency analysis. *Applied Energy*, 104, 105-116.

Wei, C., Löschel, A., & Liu, B. (2015). Energy-saving and emission-abatement potential of Chinese coal-fired power enterprise: A non-parametric analysis. *Energy Economics*, 49, 33-43.

Zaim, O., Taskin, F. (2000a). Environmental efficiency in carbon dioxide emissions in the OECD: A non-parametric approach. *Journal of Environmental Management* 58, 95–107.

Zaim, O., Taskin, F. (2000b). A Kuznets curve in environmental efficiency: An application on OECD countries. *Environmental and Resource Economics* 17, 21–36.

Zhou, P., Ang, B.W. (2008). Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance. *Energy Policy* 36, 2911–2916.

Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L. (2006). Slacks-based efficiency measures for modeling environmental performance. *Ecological Economics* 60, 111–118.

Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L. (2008). Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies. *Energy Economics* 30, 1–14.

Zhou, P., Ang, B. W., & Zhou, D. Q. (2012). Measuring economy-wide energy efficiency performance: a parametric frontier approach. *Applied Energy*, 90(1), 196-200.

Zhou, P., Poh, K.L., Ang, B.W. (2007). A non-radial DEA approach to measuring environmental performance. *European Journal of Operational Research* 178, 1–9.

Zofio, J.L., Prieto, A.M. (2001). Environmental efficiency and regulatory standards: The case of CO₂ emissions from OECD industries. *Resource and Energy Economics* 23, 63