

Türkiye'nin Çevresel Performansının OECD ve BRICS Ülkeleri ile Karşılaştırılması

Adnan Sözen, Fatih Karık, Erdem Çiftçi*

Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

Özet

Son yıllarda, geleneksel enerji kullanımının yanında, iklim değişikliği konusundaki küresel farkındalık ve düzenleyici protokoller nedeniyle karbondioksit (CO₂) salınımları da ülkeler tarafından dikkate alınan önemli bir parametredir. Politika yapıcılar artık ulusal enerji planlarını ve ekonomik yol haritalarını belirlerken bu hususu da değerlendirmektedirler. Bu duruma uygun olarak bu çalışmada, Türkiye'nin çevresel etki performansı OECD ve BRICS ülkeleri ile karşılaştırılmalı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu amaçla, 2009–2013 yıllarını kapsamak üzere veri zarflama analizi (VZA) ve Malmquist endeks yöntemleri kullanılmıştır. Parametreler elektrik kapasitesi-tüketimi, enerji arzı-üretimi-tüketimi, ormanlık alanlardaki artış-azalış, işgücü ve sermaye dengesi ve kWh başına CO₂ salınımdır (Karbon İndeksi). Analiz sonuçlarına göre, en etkin ülke Lüksemburg olup Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı seçili 27 ülkenin toplam faktör verimliliği bakımından genel anlamda gelişmeleri sınırlı kalmıştır. Bu çalışma, birçok ülkenin politikalarını ve uygulamalarını çevresel etkinlik bakımından gözden geçirmesi gerektiğini doğrulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, salınımı, veri zarflama analizi, malmquist endeksi

Abstract

In recent years, besides the use of energy, carbon dioxide (CO₂) emissions have been also considered because of global awareness on climate change and regulatory frameworks. Policy makers have realized the importance of considering CO₂ emissions in creating national energy and economic roadmaps. Accordingly, the aim of this study is to comprise Turkey's CO₂ performance with OECD and BRICS countries by data envelopment analysis (DEA) and Malmquist productivity index (MPI). Using the index, the emission performance of the countries from 2009 to 2013 is studied. While the inputs are electricity capacity, energy supply, energy consumption, energy production, electricity consumption, forest area, labor and capital, the only output is CO₂ emissions per kWh of electricity. The results obtained show that the most efficient country is Luxembourg and also developments of the chosen 27 countries including Turkey remain limited in terms of total factor productivity. This study validates that many countries are required to review their politics and applications in terms of environmental efficiency.

Key words: Energy, CO₂ emissions, data envelopment analysis, malmquist index

* İletişime geçilecek yazar: Adres: Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Gazi Üniversitesi 06500 Teknikokullar-Ankara TÜRKİYE, e-posta: erdemciftci@gazi.edu.tr, Tel: +903122028957

1. Giriş

Çevresel konular sosyal ve ekonomik sürdürülebilir gelişmeler açısından günümüzün en önemli problemlerinden biri haline gelmiştir. Farklı bölgelerin ve sektörlerin çevresel etkinliğinin değerlendirilmesi pratik uygulamalar açısından önemli bir yere sahiptir. Bu değerlendirmeler, araştırmacıların sadece çevresel performansların seviyesini öğrenmesiyle kalmaz aynı zamanda araştırmacılara performansı arttırmak için nesnel bir başvuru kaynağı da sağlar. Bu değerlendirmelerde Veri Zarflama Analizi (VZA) gibi yöntemler kullanılabilir [1].

Türkiye bir OECD üyesi ve AB'ye aday ülke olarak, ekonomisi hızla büyüyen, genç nüfusu ile dinamik ve gelişmekte olan bir ülkedir. Enerjide büyük oranda dışa bağımlı olan Türkiye'nin 2015 yılı sonu itibarıyla elektrik enerjisi üretiminde fosil kaynaklar %68 oranla önemli bir paya sahiptir [2]. Türkiye'de 2014 yılında toplam CO₂ eşdeğer salınımlarının önemli bir bölümü %72.5'lik bir oranla enerji sektöründen kaynaklanmakta olup, yine aynı yılda enerji sektörü içinde ise elektrik üretimi kaynaklı sera gazı salınımı önemli bir paya sahiptir [3].

Türkiye, 2004 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (BMİDÇS) ve 2009 yılında ise Kyoto Protokolü'ne taraf olmuştur. Türkiye'nin Kyoto Protokolü'nün birinci (2008–2012) ve ikinci (2013–2020) yükümlülük dönemlerinde sera gazı salınımı azaltım taahhüdü bulunmamaktadır [4]. Ancak, Türkiye BMİDÇS'nin “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar” ilkesine uygun olarak ve özel koşulları çerçevesinde; iklim değişikliğiyle mücadele ve uyum politikaları ile önlemlerini, ulusal kalkınma planlarına dâhil etmektedir [5].

Literatürde ülkeler düzeyinde çevresel performansı ölçen birçok çalışma bulunmaktadır [6-12]. Ancak, OECD ve BRICS ülkelerini beraber ele alıp Türkiye'nin konumunu inceleyen hiçbir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca araştırma sonuçlarına göre, elektrik üretim kaynaklı CO₂ salınımlarını performans göstergesi olarak kullanan hiçbir çalışma da bulunmaktadır. Bu anlamda çalışma literatüre önemli bir katkı sağlayacaktır.

Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan yöntemler anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde uygulama sonuçları verilmektedir. Dördüncü bölümde ise çalışmanın sonuçları ve bazı öneriler sunulmuştur.

2. Metod

2.1. Veri Zarflama Metodu

VZA parametrik olmayan bir matematiksel programlama tekniğidir. VZA çoklu girdi ve çıktı kullanılarak karar verme birimlerinin (KVB) göreceli etkinliklerini belirlemek amacıyla

Charnes ve diğerleri tarafından geliştirilmiştir [13]. 1978'ten bu yana birçok VZA modeli geliştirilmiştir [14]. VZA modelleri genellikle ölçek türü (referans teknolojisi) ve yönelim türüne göre sınıflandırılır. Klasik CCR (Ölçeğe göre sabit getiri-ÖSG) veya BCC (Ölçeğe göre değişken getiri-ÖDG) VZA modelleri, etkin birimleri etkisiz birimlerden ayırmasına rağmen, etkin birimleri aralarında sıralama özellikleri yoktur. Etkin KVB'leri sıralamak için, Charnes ve diğerleri tarafından oluşturulan model, Andersen ve Petersen tarafından "süper etkinlik modeli" olarak geliştirilmiştir [15]. ÖSG tabanlı girdiye yönelik süper etkinlik modellerinin matematiksel ifadeleri aşağıdaki şekildedir:

$$\begin{aligned} \min h_o^s &= \theta_o - \varepsilon e S_{io}^- - \varepsilon e S_{ro}^+ \quad \text{için,} \\ \left. \begin{aligned} \sum_{j=1, \neq o}^n \lambda_j x_{ij} + S_{io}^- &= \theta_o x_{io} \\ \sum_{j=1, \neq o}^n \lambda_j y_{rj} - S_{ro}^+ &= y_{ro} \\ \lambda_j, S_{io}^-, S_{ro}^+ &\geq 0 \\ j &= 1, \dots, n \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, s \end{aligned} \right\} \quad (1) \end{aligned}$$

Burada o değerlendirmede olan KVB'yi ve h_o^s KVB_o'nun süper etkinlik skorunu gösterir. x_{ij} , y_{rj} ve λ_j sırasıyla KVB_j'nin i . girdisi, r . çıktısını gösterir ve ağırlığını gösterir. θ_o radyal girdi büzülme katsayısını gösterir. S_{io}^- ve S_{ro}^+ , i . girdi ve r . çıktı için aylak değerleri gösterir. n , m ve s sırasıyla KVB'lerin, girdilerin ve çıktılarının sayısını gösterir. ε yeterince küçük sayıyı ve e birim satır vektörünü ifade eder.

2.2. Malmquist verimlilik endeksi

Etkinlik skorları sadece spesifik bir zaman periyodu için hesaplanır ancak, etkinliğin zamana bağlı olarak değişiminin incelenmesi ele alınması gereken önemli bir konudur. Bu amaçla, Caves ve diğerleri tarafından oluşturulan Malmquist endeksi kullanılabilir [16]. Färe ve diğerlerine göre, girdiye yönelik Malmquist verimlilik endeksi aşağıdaki şekilde tanımlanır [17]:

$$M_G(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \left[\left(\frac{D_G^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_G^t(x^t, y^t)} \right) \cdot \left(\frac{D_G^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_G^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \right]^{1/2} \quad (2)$$

M_G (toplam faktör verimliliği değişimi-*tfvd*), ilgili KVB'nin zamana bağlı toplam faktör verimliliğini (Malmquist endeksi) hesaplamada kullanılır. Sırasıyla $M_G > 1$, $M_G = 1$ ve $M_G < 1$, KVB'nin verimliliğindeki t 'den $t+1$ zamanına kadar olan ilerlemeyi, durağanlığı ve kötüleşmeyi gösterir. Burada, D_G ise girdiye yönelik uzaklık fonksiyonunu gösterir.

3. Uygulama sonuçları

Bu çalışmada, 33 OECD ülkesi ve BRICS ülkeleri ele alınmıştır. Bu ülkelerin enerji kullanımı ve ekonomik durum yönünden çeşitlilik gösterdiği söylenebilir. Meksika ile ilgili bazı verilerin eksikliğinden dolayı bu ülke analizlere katılmamıştır. 2009–2013 yılları için toplam 38 ülkenin verileri UEA (Uluslararası enerji ajansı) ve DB (Dünya bankası) kuruluşlarından elde edilmiştir. Elektrik kapasitesi, nüfus ve enerji verileri UEA veri tabanından [18] ve işgücü, ormanlık alan ve sermaye verileri ise DB veri tabanından [19] elde edilmiştir. Tablo 1 analizlerde kullanılan girdi/çıkı değişkenlerini göstermektedir.

Tablo 1. Uygulanan model.

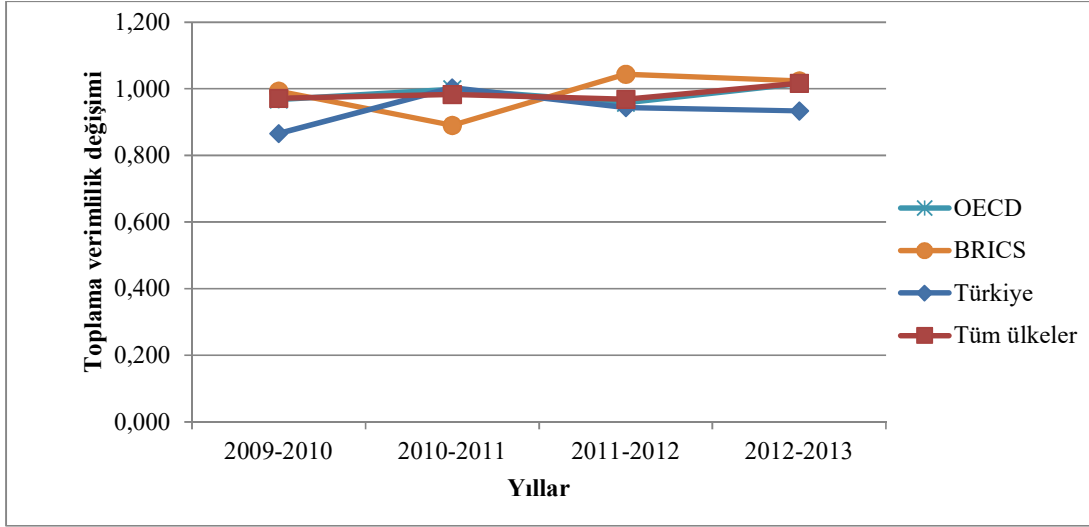
Değişken	G/Ç
CO ₂ salınımı (gCO ₂ /kWh.kişi) (CO)	Ç
Elektrik kapasitesi (W/kişi) (EK)	G
Birincil enerji arzı (tep/kişi) (BEA)	G
Ormanlık alan (Toplam yüzölçümünün %'si) (OA)	G
Nihai enerji tüketimi (tep/kişi) (NET)	G
Enerji üretimi (tep/kişi) (EÜ)	G
Elektrik tüketimi (MWh/kişi) (ET)	G
İş gücü/nüfus (İG)	G
Net sermaye dengesi (USD/kişi) (SER)	G

Etkinliği (statik) ve etkinliğin zamana bağlı değişimlerini (dinamik) analiz etmek için VZA kullanılarak süper etkinlik değerleri ve Malmquist endeksi hesaplanmıştır. Bu amaçla, Coelli [20] tarafından geliştirilen DEAP sürüm 2.1 yazılımı ile Scheel [21] tarafından geliştirilen EMS sürüm 1.3 yazılımı kullanılmıştır. ÖDG varsayımına dayalı etkinlik değerleri lokal etkinlik değerlerini kapsadığından bu çalışmada global etkinlik değerlerini hesaplayan girdiye yönelik-ÖSG varsayımı tercih edilmiştir.

Tablo 2 ülkelerin süper etkinlik değerlerini göstermektedir. Tabloya göre 2013 yılında süper etkin ülkeler sırasıyla Lüksemburg ve Estonya'dır. Türkiye %4.02 değerindeki skor ile etkin değildir ve Türkiye'nin referans ülkeleri ise Lüksemburg ve Estonya'dır. Türkiye bu sonuçlara göre girdileri ve çıktılarını etkin yönetmede önemli çabalar göstermelidir.

Tablo 3 ülkelerin Malmquist endeksi değişimlerini göstermektedir ve Şekil 1 ülke grupları ve Türkiye'nin yıllara bağlı verimlilik değişimlerini göstermektedir. *tfvd* ülkelerin etkinliklerinin zamana bağlı değişimlerinin incelenmesinde önemli bir parametredir. *tfvd* için 1.0'den büyük bir değer verimlilikte artış olduğunu ifade etmektedir. Türkiye'nin ortalama 0.935 *tfvd* değerine sahip olduğu görülmektedir ki bu durum, tüm yıllar düşünüldüğünde kötüleşmeyi ifade eder. Buradan tüm ülkelerin ve Türkiye'nin verimliliklerinde kararlı bir artışın olmadığı görülmektedir.

Japonya, Lüksemburg ve Brezilya'nın tüm yıllar düşünüldüğünde verimliliklerinde ilerleme kaydettikleri söylenebilir. Tüm ülkelerin geometrik ortalaması 0.985'tir ki bu da genel olarak toplam faktör verimliliğinde iyileşmenin olmadığını gösterir.



Şekil 1. Yıllara göre ülkelerin ortalama toplam faktör verimliliği değişimi.

Tablo 2. 2009–2013 zaman aralığı için ülkelerin süper etkinlik skorları ve karşılaştırmaları.

Yıllar	2009	2010	2011	2012	2013	2013 yılı için karşılaştırmalar	
Ülkeler	Skor (%)					Çiftler ve ağırlıkları	
1	Avustralya	12.39	11.86	11.53	11.58	12.76	22 (0.06)
2	Kanada	0.73	0.80	0.75	0.72	0.74	13 (0.00) 22 (0.01)
3	Şili	9.33	12.13	12.88	12.82	11.74	13 (0.02) 22 (0.02)
4	İsrail	64.49	64.48	67.60	70.86	69.70	22 (0.15)
5	Japonya	0.92	1.02	1.55	1.91	2.09	13 (0.00) 22 (0.01)
6	Kore	2.47	2.72	2.79	2.76	2.86	13 (0.01) 22 (0.01)
7	Yeni Zelanda	6.26	5.90	5.78	7.19	6.02	13 (0.04) 22 (0.01)
8	ABD	0.28	0.29	0.29	0.28	0.29	13 (0.00) 22 (0.00)
9	Avusturya	3.68	4.87	5.76	4.34	4.52	13 (0.01) 22 (0.02)
10	Belçika	4.88	5.12	4.60	5.18	4.94	13 (0.01) 22 (0.02)
11	Çek Cum.	10.15	10.65	11.32	10.92	9.54	13 (0.05) 22 (0.02)
12	Danimarka	27.21	24.84	22.51	18.70	23.25	13 (0.01) 22 (0.08)
13	Estonya	415.13	402.67	389.74	362.21	418.83	31
14	Finlandiya	4.62	5.93	5.48	3.78	4.54	13 (0.03) 22 (0.01)
15	Fransa	0.24	0.26	0.21	0.23	0.21	13 (0.00) 22 (0.00)
16	Almanya	1.08	1.21	1.36	1.40	1.44	13 (0.00) 22 (0.00)
17	Yunanistan	19.16	23.57	24.38	24.67	26.48	13 (0.05) 22 (0.04)
18	Macaristan	9.71	11.18	11.65	12.51	12.47	13 (0.03) 22 (0.01)
19	İzlanda	7.70	6.79	6.70	6.54	7.04	22 (0.00)
20	İrlanda	46.70	48.15	46.09	50.18	52.78	22 (0.17)
21	İtalya	2.54	2.67	2.73	2.57	2.40	13 (0.00) 22 (0.01)
22	Lüksemburg	1103.99	1131.82	1101.75	879.96	15112.01	31
23	Hollanda	11.32	11.43	11.33	12.62	14.53	22 (0.05)
24	Norveç	0.39	0.59	0.49	0.32	0.32	13 (0.00) 22 (0.00)
25	Polonya	6.01	6.40	6.78	6.90	6.15	13 (0.03)
26	Portekiz	14.48	10.40	13.42	18.17	13.86	13 (0.02) 22 (0.03)
27	Slovak Cum.	9.95	10.43	11.16	11.57	10.07	13 (0.03) 22 (0.02)
28	Slovenya	29.53	33.39	36.69	38.17	37.02	13 (0.14) 22 (0.08)
29	İspanya	2.12	1.84	2.49	2.69	2.26	13 (0.00) 22 (0.00)
30	İsveç	0.27	0.43	0.32	0.21	0.20	13 (0.00) 22 (0.00)
31	İsviçre	0.58	0.72	1.58	0.78	0.73	13 (0.00) 22 (0.00)
32	Türkiye	4.02	4.09	4.25	4.12	4.02	13 (0.00) 22 (0.01)
33	Birleşik Krallık	3.00	3.10	3.17	3.52	3.48	13 (0.00) 22 (0.01)
34	Brezilya	0.15	0.20	0.17	0.25	0.31	13 (0.00)
35	Çin Halk Cum.	0.22	0.21	0.21	0.20	0.17	13 (0.00)
36	Hindistan	1.24	1.20	1.10	1.15	0.91	13 (0.00)
37	Rusya Fed.	0.46	0.49	0.59	0.59	0.55	13 (0.00)
38	Güney Afrika	12.04	12.94	12.31	12.93	13.99	13 (0.00) 22 (0.03)

4. Sonuçlar

Sürdürülebilir kalkınmanın en önemli boyutlarından birisi olan doğal çevreye verilen zararları ölçmek ve ülkelerin bu anlamdaki performanslarını değerlendirmek gereklidir. Bu amaçla çalışmada, OECD ve BRICS ülkelerinin elektrik üretimi tabanlı çevresel performansları çok kriterli olarak karşılaştırılmış olup, Türkiye'nin bu ülkeler arasındaki konumu belirlenmiştir. Çevresel performansı her yıl için ayrı ayrı değerlendirilmek için VZA; 2009–2013 zaman aralığında yıllar bazında değişimleri izlemek için Malmquist endeks yöntemlerinden faydalanılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre ülkelerin genel anlamda düşük performans sergiledikleri görülmüştür ve etkin ülkelerin ise OECD üyesi olduğu görülmüştür.

Tablo 3. 2009–2013 zaman aralığı için ülkelerin *tfvd* değerleri.

Ülkeler	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	G.Ortalama
Avustralya	0.918	0.952	0.993	0.968	0.957
Kanada	1.046	0.907	0.945	0.975	0.967
Şili	1.118	1.022	0.969	0.890	0.996
İsrail	0.972	1.024	1.023	0.861	0.968
Japonya	0.961	1.477	1.238	1.006	1.153
Kore	0.975	0.992	0.956	0.986	0.977
Yeni Zelanda	0.889	0.927	1.211	0.876	0.967
ABD	0.993	0.959	0.958	0.988	0.974
Avusturya	1.125	1.130	0.743	1.005	0.987
Belçika	1.012	0.873	1.097	0.892	0.964
Çek Cum.	0.993	1.006	0.933	0.923	0.963
Danimarka	0.874	0.884	0.818	1.149	0.923
Estonya	0.872	0.916	0.957	1.056	0.948
Finlandiya	1.207	0.840	0.702	1.259	0.973
Fransa	1.028	0.784	1.051	0.948	0.947
Almanya	0.966	1.065	1.000	0.999	1.007
Yunanistan	1.052	0.984	0.987	1.050	1.018
Macaristan	1.000	0.968	1.015	1.004	0.997
İzlanda	0.843	0.969	0.959	0.948	0.928
İrlanda	1.002	0.935	1.077	0.936	0.986
İtalya	0.939	0.987	0.932	0.885	0.935
Lüksemburg	0.616	0.992	1.247	6.854	1.512
Hollanda	0.981	0.967	1.086	1.009	1.010
Norveç	1.438	0.789	0.647	0.961	0.916
Polonya	0.971	0.964	0.946	0.982	0.966
Portekiz	0.633	1.246	1.331	0.730	0.936
Slovak Cum.	0.897	1.014	1.008	0.848	0.939
Slovenya	0.987	1.019	0.996	0.948	0.987
İspanya	0.754	1.306	1.052	0.809	0.957
İsveç	1.388	0.666	0.699	1.104	0.919
İsviçre	1.089	2.036	0.531	0.917	1.019
Türkiye	0.866	1.003	0.943	0.933	0.935
Birleşik Krallık	0.987	0.995	1.088	0.929	0.998
Brezilya	1.247	0.749	1.415	1.328	1.151
Çin Halk Cum.	0.867	0.917	0.885	0.951	0.904
Hindistan	0.885	0.833	0.971	0.872	0.889
Rusya Fed.	0.983	1.051	0.988	1.029	1.012
Güney Afrika	1.028	0.927	1.032	0.992	0.994
G.Ortalama	0.971	0.983	0.969	1.017	0.985

Analiz sonuçlarına göre Türkiye etkin ülke konumunda değildir. Türkiye CO₂ salınımının azaltılması için yüksek yenilenebilir enerji potansiyelini değerlendirebilmesi gerekir [22]. Ayrıca, toplam emisyon değerlerinin düşürülmesi için enerji verimliliği uygulamaları da önemli bir yere sahiptir. Bu alanda yayınlanan enerji verimliliği strateji belgesinde [23] bahsedilen düzenlemeler sıkı bir şekilde uygulanmalıdır. Özellikle, elektrik üretim santrallerinde kullanılan yakma sistemlerinde yanma kontrolü ve optimizasyonu ile yakıtların verimli yakılması sağlanmalı ve sera gazı salınımını önleyen teknolojiler arttırılmalıdır. Bunların yanında fosil yakıt kullanan elektrik üretim santralleri için karbon vergisi uygulaması, emisyon azaltılmasında bir çözüm olabilir.

Bu çalışmanın ülkelerin ve Türkiye'nin çevresel performansını göstermesi bakımından önemli olacağı ümit edilmektedir. Aynı zamanda çalışma, ülkelerin emisyon politikalarını ve strateji planlarını gözden geçirmelerine anlamlı katkılar sağlayabilir.

Kaynaklar

- [1] Song M, An Q, Zhang W, Wanga Z, Wub J. Environmental efficiency evaluation based on data envelopment analysis: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012;16:4465–4469.
- [2] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, 2016. Mevcut: <http://www.teias.gov.tr/YukTevziRaporlari.aspx> Erişim tarihi: 04.04.2016.
- [3] Türkiye İstatistik Kurumu, Ulusal Seragazı Emisyon Envanteri Raporu, 1990–2014.
- [4] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Mevcut: <http://www.csb.gov.tr/projeler/iklim/>, Erişim tarihi: 10.05.2016.
- [5] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. İklim Değişikliği Eylem Planı 2011–2023.
- [6] Zaim O, Taskin F. Environmental efficiency in carbon dioxide emissions in the OECD: a non-parametric approach. *J Environ Manag* 2000;58:95–107.
- [7] Zhou P, Ang BW, Han JY. Total factor carbon emission performance: a Malmquist index analysis. *Energy Econ* 2010;32:194–201.
- [8] Zhou P, Ang B.W, Poh KL. A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research* 2008;189:1–18.
- [9] Sözen A, Alp İ. Comparison of Turkey's performance of greenhouse gas emissions and local/regional pollutants with EU countries. *Energy Policy* 2009;37:5007–5018.
- [10] Menegaki AN. Growth and renewable energy in Europe: benchmarking with data envelopment analysis. *Renew. Energy* 2013;60:363–369.
- [11] Rashidi K, Shabani A, Saen RF. Using data envelopment analysis for estimating energy saving and undesirable output abatement: a case study in the Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD) countries. *Journal of Cleaner Production* 2015; 105:241–252.
- [12] Suzuki S, Nijkamp P. An evaluation of energy-environment-economic efficiency for EU, APEC and ASEAN countries: Design of a Target-Oriented DFM model with fixed factors in Data Envelopment Analysis. *Energy Policy* 2016;88:100–112.
- [13] Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 1978; 2:429–444.
- [14] Liu JS, Lu LYY, Lu W-M. Research fronts in data envelopment analysis. *Omega* 2016; 58:33–45.
- [15] Andersen P, Petersen NC. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science* 1993;39:1261–1264.
- [16] Caves DW, Christensen LR, Diewert WE. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity. *Econometrica* 1982;50:1393–1414.

- [17] Färe R, Grosskopf S, Lindgren B, Roos P. Productivity changes in Swedish pharmacies 1980–1989: a non-parametric Malmquist approach. *The Journal of Productivity Analysis* 1992;3:85–101.
- [18] UEA veritabanı, 2015. Mevcut: <http://data.iea.org/> Erişim tarihi: 07.07.2015.
- [19] DB veritabanı, 2015. Mevcut:<http://databank.worldbank.org/data/home.aspx> Erişim tarihi: 08.08.2015.
- [20] Coelli TJ. A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program, CEPA Working Paper 96/08, Department of Econometrics, University of New England, Armidale NSW Australia 1996.
- [21] Scheel H. EMS Version 1.3: Efficiency Measurement System User’s Manual 2000.
- [22] T.C. ETKB, Nükleer Santraller ve Ülkemizde Kurulacak Nükleer Santrale İlişkin Bilgiler, Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi Başkanlığı, Yayın No. 2.
- [23] T.C. Kalkınma Bakanlığı, Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, 2012–2023.