
G20 ÜLKELERİNİN YENİLENEBİLİR ENERJİ ETKİNLİĞİNİN DENGELİ PERFORMANS AĞIRLIKLARI VE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Mihraç KÜPELİ¹

İhsan ALP²

Öz

Yenilenebilir enerji son yıllarda sürdürülebilir kalkınma ve çevre ile ilgili çalışmalarda çok fazla kullanılan bir terim olmuştur. Bu çalışmanın amacı G20 ülkelerinin yenilenebilir enerji performansını veri zarflama analizi (VZA) ve dengeli performans ağırlıkları yöntemiyle ortaya koymaktır. VZA performans ölçümü için kullanılan parametrik olmayan ve güçlü bir tekniktir. VZA'da girdi ve çıktı ağırlıklarının belirlenmesi çalışmanın sonucunu büyük ölçüde değiştirebilecek önemli bir aşamadır. Ağırlıkların belirlenmesinde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada klasik CCR yöntemi ve Alp (2016) tarafından geliştirilen girdi ve çıktılar arasındaki korelasyonlar kullanılarak hesaplanan dengeli performans ağırlıkları yöntemi kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizde girdi olarak enerji yoğunluğu ve işgücü, çıktı olarak kişi başı milli gelir, CO₂ emisyon miktarı ve yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen elektriğin toplam üretilen elektrik miktarı içindeki yüzdesi kullanılmıştır. CCR sonuçlarında 7 ülke, korelasyonlar yardımıyla hesaplanan dengeli ağırlıklar kullanılarak yapılan analiz sonucunda ise 1 ülke etkin olmuştur. Dengeli ağırlıklar modeliyle yapılan analiz sonuçlarının klasik modele göre daha ayırıcı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Veri zarflama analizi, Yenilenebilir enerji, Dengeli performans ağırlıkları, G20
JEL Sınıflandırması: C44, C61, Q42

ASSESSMENT OF THE RENEWABLE ENERGY EFFICIENCY OF THE G20 COUNTRIES BY BALANCED PERFORMANCE WEIGHTS AND DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Abstract

Renewable energy has been a too much used term for sustainable development and environmental studies in recent years. The aim of this study is to reveal the renewable energy performance of the G20 countries by means of data envelopment analysis (DEA) and balanced performance weights. DEA is a nonparametric and powerful technique which is used for performance measurement. Determining the input and output weights in DEA is an important step that can greatly change the result of the study. Several methods have been developed to determine the weights. In this study, balanced performance weights method, that is developed by Alp (2016) and calculated by using the correlations between inputs and outputs, and the classical CCR method are used and the results are compared. In the analysis, energy intensity and labor force are used as input, and per capita national income, CO₂ emission amount and the percentage of electricity generated by renewable energy sources in total electricity generated are used as output. According to the CCR results 7 countries are effective, and 1 country is effective in the result of analysis using balanced weights calculated with the help of correlations. It has been observed that the results of the analysis made with the balanced weights model give more discriminating results than the classical model.

Keywords: Data envelopment analysis, Renewable energy, Balanced performance weights, G20
JEL Classification: C44, C61, Q42

¹ Araş. Gör., Gazi Üniversitesi, mihrac.kupeli@gazi.edu.tr

² Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, ihsanalp@gazi.edu.tr

1. Giriş

Küresel enerji kullanımı nüfus, sanayi ve teknolojinin artışıyla her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtlar bu artışı karşılayabilmek için en fazla kullanılan kaynaklardır. Fakat fosil yakıtların çevreye verdiği zarar ve kalan ömürleri, dünya genelinde oluşan çevresel farkındalık insanları yeni enerji kaynakları arayışına itmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise hem çevre dostu olmaları hem de tükenme hızından daha hızlı bir şekilde kendilerini yenileyebilmeleri nedeniyle temiz ve tükenmeyen enerji çalışmalarının odak noktası haline gelmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırım ve elde edilen üretim kadar bu kaynakların performans ölçümü de büyük önem arz etmektedir. Performans ölçümü için kullanılan veri zarflama analizi parametrik olmayan ve güçlü bir tekniktir. Literatürde veri zarflama analizi kullanılarak yapılan enerji alanındaki çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Chien ve Hu (2007) veri zarflama analizini kullanarak 45 ülkenin performansını incelemişlerdir. Girdi değişkeni olarak iş gücü, sermaye ve enerji tüketimini çıktı değişkeni olarak ise kişi başına düşen milli geliri kullanmışlardır. Zhou vd. (2010) 18 ülkenin performansını veri zarflama analizi ve Bootstrap Malmquist yöntemiyle ortaya koymuşlardır. Bir önceki çalışmadan farklı olarak çıktı değişkenine CO₂ emisyon miktarlarını eklemişlerdir. Menegaki (2013) Avrupa Birliği ülkeleri kapsamında yaptığı çalışmada veri zarflama analizi ve Malmquist yöntemini kullanmıştır. Çıktı değişkeni olarak sadece kişi başına düşen milli geliri alırken, girdi değişkenlerini elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı %, enerji tüketimi, CO₂ emisyonu, istihdam oranı ve sermaye olarak almıştır. Woo vd. (2015) OECD ülkelerinin performansını işgücü, sermaye ve yenilenebilir enerji arzını girdi, CO₂ emisyonu, kişi başına milli gelir ve yenilenebilir enerji ile üretilen elektrik miktarını çıktı olarak kullanarak ölçmüştür. Wang (2015) ise 109 ülkenin performansını çok kriterli veri zarflama analizi kullanarak ortaya koymuştur. Girdi değişkeni olarak CO₂ emisyon yoğunluğu ve enerji yoğunluğunu, çıktı değişkeni olarak elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payını(%) kullanmıştır. Çalışmayı 2005-2010 periyodunu kapsayacak şekilde gerçekleştirmiştir.

Yapılan bu çalışmada ise dengeli performans ağırlıklarına dayalı performans analizi kullanılarak G20 ülkelerinin yenilenebilir enerji performansı ölçülmüştür. İkinci bölümde yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye ve Dünya'da kullanımına ilişkin bazı bilgiler sunulmuştur. Bölüm 3'te kullanılan veri ve metodolojiye ait açıklamalara yer verilmiştir. Bölüm 4'te çalışma sonunda elde edilen bulgular ve Bölüm 5'te sonuçlar bulunmaktadır.

2. Yenilenebilir Enerji

Gün geçtikçe artan sanayi, nüfus, kentleşme ve teknoloji enerji kullanımında da büyük artışa neden olmuştur. Yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının negatif sosyal, ekonomik ve çevresel etkileri ülke yönetimlerini daha temiz, sürdürülebilir ve ekonomik kaynaklar bulma arayışına itmiştir. Bu arayış sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim hızla artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları doğadaki kaynaklardan elde edilebilen ve doğa tarafından sürekli yenilenen enerji kaynaklarıdır. Başlıca güneş, rüzgar, jeotermal, hidrolik, dalga ve biyokütle enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili bazı kısa bilgiler aşağıda verilmiştir (<http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir.aspx>).

Güneş: Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m² değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı 0-1100 W/m² değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

Rüzgar: Rüzgar enerjisi; doğal, yenilenebilir, temiz ve sonsuz bir güç olup kaynağı güneştir. Güneşin dünyaya gönderdiği enerjinin %1-2 gibi küçük bir miktarı rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Rüzgar enerjisi uygulamalarının ilk yatırım maliyetinin yüksek, kapasite faktörlerinin düşük oluşu ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajları yanında atmosferde bol miktarda bulunması, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olması, bakım ve işletme maliyetlerinin düşük olması gibi birçok avantajı mevcuttur.

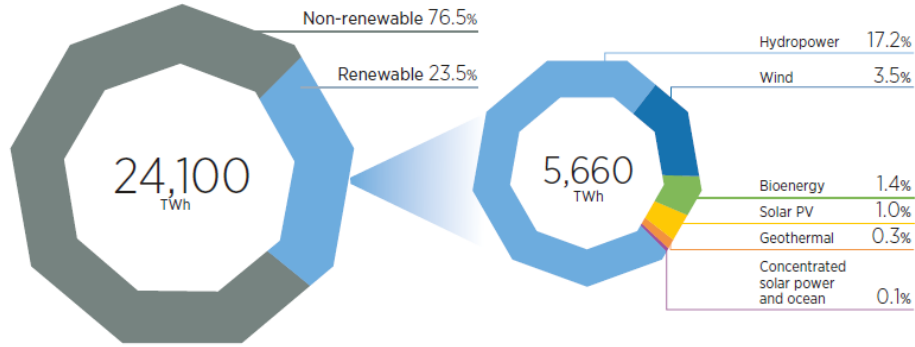
Jeotermal: Jeotermal enerji yerkürenin iç ısıdır. Bu ısı merkezdeki sıcak bölgeden yeryüzüne doğru yayılır.

Hidrolik: Hidroelektrik santraller (HES) akan suyun gücünü elektriğe dönüştürürler. Akan su içindeki enerji miktarını suyun akış veya düşüş hızı tayin eder. Büyük bir nehirde akan su büyük miktarda enerji taşımaktadır. Ya da su çok yüksek bir noktadan düşürüldüğünde de yine yüksek miktarda enerji elde edilir. Her iki yolla da kanal yada borular içine alınan su, türbinlere doğru akar, elektrik üretimi için pervane gibi kolları olan türbinlerin dönmesini sağlar. Türbinler jeneratörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler.

Biyokütle: Biyokütle için mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkiler, otlar, yosunlar, denizdeki algler, hayvan dışkıları, gübre ve sanayi atıkları, evlerden atılan tüm organik çöpler (meyve ve sebze artıkları) kaynak oluşturmaktadır. Biyokütle enerjisi tükenmez bir kaynak olması, her yerde elde edilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir.

Grafik 1’de üretilen elektriğin kaynak türüne göre dağılımı verilmiştir. 2015 yılı verilerine göre elektrik üretiminin %76,5’i hala yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Yenilenebilir enerji üretiminde ise hidrolik enerji en büyük paya sahiptir (%17,2). Onu sırası ile rüzgar, biyokütle ve güneş enerjisi takip etmektedir.

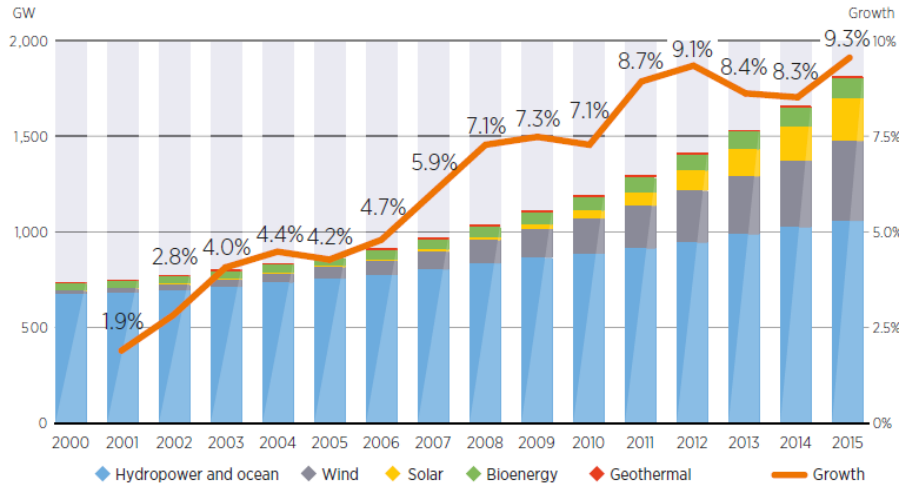
Grafik 1: Kaynak Türüne Göre Elektrik Üretimi (2015)



Kaynak: IRENA, 2017.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik miktarı her geçen yıl artmaktadır. Grafik 2’de 2000-2015 yılları arasında yenilenebilir enerji kapasitesi ve yıllık büyüme oranları verilmiştir. 2002 yılında %2,8 olan büyüme oranı 2015 yılına gelindiğinde %9,3 olmuştur. Bu büyüme en çok rüzgar, güneş ve hidrolik enerjide sağlanmıştır.

Grafik 2: Yenilenebilir Enerji Kapasitesi Ve Yıllık Büyüme Oranları (2000-2015)

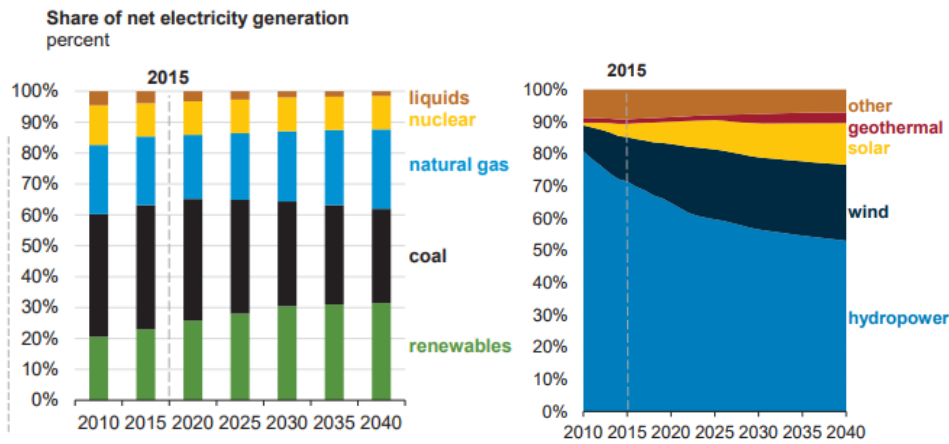


Kaynak: IRENA,2017.

Grafik 3'te 2010-2040 yılları arasında elektrik üretiminde kaynak türlerinin yıllara ve yenilenebilir enerji üretimindeki kaynak türlerine göre değişimi verilmiştir. Çeşitli senaryolara dayalı yapılan projeksiyona göre ilerleyen yıllarda da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması beklenmektedir. Üstelik yenilenebilir enerji kaynaklarının 2015-2040 dönemi boyunca yıllık %2,8 artışla en hızlı büyüyen üretim kaynakları olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını %2,1 artışla doğalgaz ve %1,5 artışla nükleer enerji takip etmektedir. Kömürün payı 2015 yılında %40 iken 2040 yılında %31'e gerilemiştir. 2040 yılına gelindiğinde dünya toplam elektrik üretiminde yenilenebilir enerji ve kömürün aynı paya sahip olması beklenmektedir.

Yenilenebilir enerji üretiminde en büyük paya sahip hidrolik enerjinin 2015 yılında %71 olan oranının yapılan projeksiyonlarla 2040 yılında %53'e düşmesine rağmen bu ağırlığını koruyacağı görülmektedir.

Grafik 3: Elektrik Üretiminde Kaynak Türlerinin Yıllara Ve Yenilenebilir Enerji Üretimindeki Kaynak Türlerine Göre Değişimi (2000-2040)



Kaynak: IEO2017, 2017.

Mevcut verilerde ve senaryolar kullanılarak yapılan projeksiyonlarda da görüldüğü üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı kaçınılmaz bir hal almıştır. Üstelik fosil yakıt rezervlerinin hızla tükendiği tüm dünya tarafından kabul edilen bir gerçektir. Kömür rezervlerinin 114, doğalgaz rezervlerinin 53, petrol rezervlerinin ise 51 yıl sonunda tükenmesi beklenmektedir

(http://www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi_15/mobile/index.html#p=12). Bu bilgiler ışığında yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı, performansı, yatırım stratejileri gibi konularda yapılan çalışmalar büyük önem kazanmıştır.

3. Veri ve Metodoloji

3.1. Veri

Analizde girdi olarak enerji yoğunluğu ve işgücü, çıktı olarak kişi başı milli gelir, CO₂ emisyon miktarı ve yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen elektriğin toplam üretilen elektrik miktarı içindeki yüzdesi kullanılmıştır. CO₂ emisyon miktarı istenmeyen çıktı olduğu için bu veriye dönüşüm uygulanmıştır. Bu nedenle CO₂ emisyon miktarları çıktısı için modelde 1/ CO₂ emisyon miktarı çıktı verisi olarak kullanılmıştır. Kullanılan verilerin tümü Dünya Bankası web sitesinden elde edilmiştir.

3.2. Veri Zarflama Analizi

Veri zarflama analizi benzer girdiler kullanarak benzer çıktılar elde eden karar verme birimlerinin göreceli etkinliğini ölçen parametrik olmayan bir tekniktir. VZA performans ölçümü için doğrusal programlama tekniklerini kullanır. VZA öncelikle etkinlik sınırı adı verilen bir en iyi sınır belirler. Karar verme birimlerinin bu sınırın altında veya üstünde kalması durumuna göre etkin olup olmaması değerlendirilir.

VZA'da performans ölçümü için girdi ve çıktılar kullanılır. Veri tabanlı bir teknik olduğu için bu girdi ve çıktılardan seçimi oldukça önemlidir. Verilerdeki ufak değişimler analiz sonucunda büyük değişimlere yol açabilir. Bu nedenle çalışmanın amacına uygun sonuçlar verebilmesi için girdi çıktı kombinasyonlarının doğru yapılması gerekmektedir.

VZA modelleri iki kritere göre sınıflandırılabilir (Sözen vd., 2012) ;

- Ölçeğe göre
 - Sabit getiri modeli (Charnes vd., 1978)

Literatürde CCR modeli olarak adlandırılan bu model 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından önerilmiştir. Sabit getiri varsayımına göre girdilerde meydana gelen 1 birimlik artış çıktılarda da 1 birimlik artışa neden olacaktır.

Çıktı odaklı CCR modeli aşağıda verilmiştir:

$$E_k = \max \beta - \varepsilon \sum_{i=1}^m S_i^- + \varepsilon \sum_{r=1}^p S_r^+ \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + S_i^- - X_{ik} = 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - S_i^+ - \beta Y_{rk} = 0 \quad (3)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad S_i^- \geq 0 \quad S_r^+ \geq 0$$

$$j = 1, \dots, n \quad r = 1, \dots, p \quad i = 1, \dots, m$$

- Değişken getiri modeli (Banker vd., 1984)

BCC modeli olarak anılan model 1984 yılında Banker, Charnes, Cooper tarafından önerilmiştir. Değişken getiri varsayımına göre girdilerde meydana gelecek 1 birimlik artış çıktılarda aynı oranda bir artışa neden olmayacaktır.

Girdi odaklı BCC modeli aşağıda verilmiştir:

$$E_k = \min \alpha - \varepsilon \sum_{i=1}^m S_i^- - \varepsilon \sum_{r=1}^p S_r^+ \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + S_i^- - \alpha X_{ik} = 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - S_i^+ - Y_{rk} = 0 \quad r = 1, \dots, p \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1 \quad (7)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad S_i^- \geq 0 \quad S_r^+ \geq 0$$

$$j = 1, \dots, n \quad r = 1, \dots, p \quad i = 1, \dots, m$$

- Modele göre

- Girdi odaklı

Çalışmanın amacı çıktıları sabit tutup girdileri minimum yapmak ise bu model kullanılmalıdır.

- Çıktı odaklı

Bu modelde girdiler sabit tutulup çıktılar maksimum yapılmaya çalışılmıştır.

3.3. Dengeli Performans Ağırlıkları

Veri zarflama analizinde her bir karar verme biriminin performansını en iyi yapacak olan ağırlıklar doğrusal programlama ile objektif olarak belirlenir. Ağırlıklar bazen sıfır veya sıfıra çok yakın bir değer alabilir. Bu durumda ise ilgili değişkenin katkısı performans hesabında gözardı edilmiş olur.

Dengeli performans ağırlıkları yöntemi veri zarflama analizinin;

- I. Önemli girdi ve çıktılara sıfıra yakın veya sıfır ağırlık vermek
- II. Performans hesaplamalarında her bir girdi ve çıktıya farklı karar vericiler için farklı ağırlıklar ataması

gibi zayıf yönlerini elimine etmektedir (Alp, İ., 2016).

Girdi ve çıktılar arasındaki korelasyonlar kullanılarak oluşturulan ortak ağırlıklar kümesine dayalı olarak geliştirilen algoritmanın adımları aşağıda verilmiştir (Alp, İ., 2016):

1. Adım: Farklı girdi ve çıktıları karşılaştırmak için ilk olarak veri normalleştirilir. Girdi ve çıktıların normalleştirilmesiyle veri ve korelasyonlar boyutsuz ve karşılaştırılabilir hale gelecektir. X_{io} ($i=1,2,\dots,m$) girdiler, y_{ro} ($r=1,2,\dots,s$) çıktılar ve KVB_0 ($j=1,2,\dots,o,\dots,n$) karar verme birimleri olmak üzere veri normalizasyonu aşağıdaki gibi yapılır:

$$X_{io} = x_{io} / \max(x_{ij}) \quad j \{1,2,\dots,n\}$$

$$Y_{ro} = y_{ro} / \max(y_{rj}) \quad j \{1,2,\dots,n\}$$

2. Adım: Girdi ve çıktılar arasındaki korelasyonlar ve bunların toplamları hesaplanır ve korelasyon matrisinin mutlak değeri alınır. $r = |r|$

Tablo 1: Girdi ve Çıktı Değişkenleri Arasındaki Korelasyon

Girdi \ Çıktı	Y ₁	Y ₂	...	Y _s	Toplam
X ₁	r ₁₁	r ₁₂	...	r _{1s}	V ₁
X ₂	r ₂₁	r ₂₂	...	r _{2s}	V ₂
.
.
.
X _m	r _{m1}	r _{m2}	...	r _{ms}	V _m
Toplam	U ₁	U ₂	...	U _s	

3. Adım: Girdi ve çıktı ağırlık vektörleri hesaplanır. Bu hesaplama için iki yol vardır:

- Korelasyonların aritmetik ortalamasını kullanmak
- Korelasyonların medyan değerini kullanmak

Eğer çok küçük veya çok büyük değerler varsa medyan kullanmak daha dengeli sonuçlar verir. Aritmetik ortalama kullanılarak ağırlıklar aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$U_r/m \quad r=1,2,\dots,s \quad (8)$$

$$V_i/s \quad i=1,2,\dots,m \quad (9)$$

4. Adım: Her bir karar verme biriminin etkinlik skoru aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E_o = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \quad j = 1, \dots, n \quad (10)$$

Burada ağırlıklar negatif olmayan değerlerdir. Etkinlik skorlarının tümü en büyük etkinlik skoruna bölünerek skorların 0 ile 1 arasında olması sağlanır.

$$E_o = \frac{E_o}{\max(E_j)} \quad j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (11)$$

4. Bulgular

Çalışmada ilk olarak Holger Scheel tarafından geliştirilen EMS 1.3 paket programı kullanılarak ülkelerin çıktı yönlü CCR performansları incelenmiştir. Sonuçlara ilişkin değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Çıktı Yönlü Veri Zarflama Analizi CCR Modeli Sonuçları

	KVB	Skor	Girdi1	Girdi2	Çıktı1	Çıktı2	Çıktı3	
1	USA	108,72%	0	1	0	1	0	13 (0,96)
2	EUU	124,56%	0,46	0,54	0,14	0,86	0	6 (0,17) 9 (0,66) 13 (0,23)
3	CHN	345,45%	0	1	0,88	0,12	0	8 (0,77) 12 (0,34)
4	JPN	139,91%	0,47	0,53	0,07	0,93	0	6 (0,45) 9 (0,09) 13 (0,47)
5	DEU	102,73%	0,44	0,56	0,1	0,9	0	6 (0,60) 9 (0,29) 13 (0,18)
6	GBR	100,00%	1	0	0	0,89	0,11	3
7	FRA	100,00%	0,13	0,87	0	0,51	0,49	0
8	BRA	100,00%	0,11	0,89	1	0	0	2
9	ITA	100,00%	0,35	0,65	0,37	0,36	0,28	5
10	IND	338,28%	0	1	0,77	0	0,23	8 (0,69) 19 (0,06)
11	RUS	348,95%	0	1	0,27	0,73	0	12 (0,91) 13 (0,06)
12	CAN	100,00%	0	1	0,67	0,33	0	2
13	AUS	100,00%	0,23	0,77	0	0,95	0,05	9
14	KOR	189,88%	0	1	0	0,55	0,45	13 (0,82) 19 (0,20)
15	MEX	207,82%	1	0	0,21	0	0,79	9 (0,42) 19 (0,57)
16	IDN	208,95%	1	0	0	0	1	19 (0,83)
17	TUR	130,75%	0	1	0,04	0,19	0,77	9 (0,12) 13 (0,01) 19 (0,70)
18	SAU	145,57%	0	1	0	0,49	0,51	13 (0,52) 19 (0,25)
19	ARG	100,00%	0	1	0	0	1	7
20	ZAF	194,03%	0	1	0	0,18	0,82	13 (0,05) 19 (0,75)

Sonuç tablosuna göre analiz sonucunda 7 ülke (İngiltere, Fransa, Brezilya, İtalya, Kanada, Avustralya ve Arjantin) 100 etkinlik skorunu elde etmişlerdir. Etkin olmayan 9 ülkeye referans olan Avustralya'nın girdi ve çıktı ağırlıklarına bakıldığında enerji yoğunluğu girdisine 0.23, iş gücü girdisine 0.77, kişi başına düşen milli gelir çıktısına 0.95, CO₂ çıktısına 0.05 ağırlık verilmiştir. Analizde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen elektriğin toplam üretilen elektrik miktarı içindeki yüzdesi çıktısına is 0 (sıfır) ağırlık verilmiş yani analizde bu çıktı göz ardı edilmiştir.

Etkin ve 7 ülkeye referans olan Arjantin'in ağırlıklarına bakıldığında ise işgücü girdisine ve CO₂ çıktısına 1 ağırlık verilmiş, diğer girdi ve çıktılara ise 0 ağırlıkları atanmıştır.

En kötü performansa sahip Rusya 348.95 etkinlik skoruna sahiptir. İşgücü girdisine 1, yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen elektriğin toplam üretilen elektrik miktarı içindeki yüzdesi çıktısına 0.27, kişi başına düşen milli gelir çıktısına ise 0.73, enerji yoğunluğu girdisi ve CO₂ salınımı çıktısına 0 ağırlıkları atanmıştır.

Türkiye 130.75 etkinlik skoruna sahiptir. Eğer çıktıların yaklaşık %31 oranında arttırırsa etkin bir ülke konumuna gelebilecektir. Türkiye'nin etkinlik skorunu en iyi yapan ağırlıklar; enerji yoğunluğu girdisi için 1, iş gücü girdisi için 0, yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektrik miktarı (toplam üretilen elektrik içindeki %si) çıktısı için 0.04, milli gelir çıktısı için 0.19, CO₂ emisyon çıktısı için 0.77 olarak belirlenmiştir. Bu durumda Türkiye'nin yenilenebilir enerji performans değerlendirmesinde enerji yoğunluğu girdisi ve milli gelir çıktısının verilen ağırlıklar nedeniyle gözardı edildiği söylenebilir.

CO₂ salınımı çıktısına etkin ülkelerden biri olan Arjantin için 1, en kötü performansa sahip ülke olan Rusya için ise 0 ağırlıkları verilmiştir.

Tüm bu veriler ışığında veri zarflama analizinin iki önemli dezavantajının burada gerçekleştiği görülmektedir (önemli girdi ve çıktı değişkenlerine sıfır veya sıfıra yakın ağırlıklar verilmesi, her bir girdi ve çıktıya her bir karar verme birimi için farklı ağırlıkların verilmesi).

Dengeli performans ağırlıkları metodu 1. Adımı için elde edilen standartlaştırılmış veriler Tablo 3'te yer almaktadır. Her bir sütun kendi içinde en büyük değere bölünerek standartlaştırma yapılmıştır.

Tablo 3: Standartlaştırılmış Veri

Ülke	Enerji yoğunluğu	İş gücü	Yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektrik miktarı (toplam üretilen elektrik içindeki %si)	Milli gelir (kişi başı)	CO ₂ Emisyonu
USA	0,6145	0,8574	0,1773	0,8796	0,0366
EUU	0,405	0,827	0,3899	0,5896	0,0556
CHN	0,8118	1	0,3094	0,1239	0,0185
JPN	0,4465	0,8822	0,1919	0,6151	0,1527
DEU	0,3968	0,8942	0,3575	0,7726	0,2506
GBR	0,3334	0,8785	0,266	0,7485	0,4149
FRA	0,4503	0,7689	0,2246	0,691	0,5697
BRA	0,4438	0,8756	1	0,1922	0,3769
ITA	0,3311	0,7115	0,5937	0,5704	0,5506
IND	0,54	0,6466	0,2109	0,0253	0,0933
RUS	0,8945	0,9033	0,2267	0,2278	0,1061
CAN	0,8412	0,9394	0,8593	0,8135	0,399
AUS	0,5641	0,8966	0,204	1	0,5023
KOR	0,7236	0,8863	0,0214	0,4514	0,3204
MEX	0,4205	0,7609	0,2401	0,167	0,3885
IDN	0,404	0,826	0,1565	0,0564	0,396
TUR	0,3875	0,6339	0,2858	0,1662	0,5869
SAU	0,637	0,6612	0	0,3936	0,3506
ARG	0,4883	0,7739	0,4315	0,1975	1
ZAF	1	0,6323	0,019	0,1046	0,4028

Girdi ve çıktılar arasındaki korelasyonlar ise Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Korelasyon Vektörünün Hesaplanması

Korelasyon	Yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektrik miktarı (toplam üretilen elektrik içindeki %si)	Milli gelir (kişi başı)	CO ₂ Emisyonu	Toplam
Enerji yoğunluğu	0.1875	0.1644	0.2751	0.627
İş gücü	0.2929	0.4072	0.3396	1.0397
Toplam	0.4804	0.5716	0.6147	

Girdi ve çıktı ağırlık vektörlerinin hesaplanmasında korelasyonların aritmetik ortalamasının alınması yolu izlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda enerji yoğunluğu girdisi için 0.209 (0.627/3), iş

gücü girdisi için 0.346 (1.0397/3), yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektrik miktarı (toplam üretilen elektrik içindeki %si) çıktısı için 0.24 (0.4804/2), kişi başına düşen milli gelir çıktısı için 0.286 (0.5716//2), CO₂ emisyonu çıktısı için 0.307 (0.6147/2) ağırlıkları kullanılmıştır.

Dengeli performans ağırlıkları metodu ile hesaplanmış performans skorları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Dengeli Performans Ağırlıkları Yaklaşımı Sonuçları

Ülke	Performans skoru	Ülke	Performans skoru
USA	0,919	RUS	0,2255
EUU	0,6403	CAN	0,7751
CHN	0,1112	AUS	1
JPN	0,6259	KOR	0,4558
DEU	0,7762	MEX	0,1971
GBR	0,7658	IDN	0,0615
FRA	0,8061	TUR	0,2354
BRA	0,198	SAU	0,532
ITA	0,7204	ARG	0,2292
IND	0,0353	ZAF	0,1471

Kullanılan dengeli performans ağırlıkları yaklaşımı sonuçlarına göre Avustralya en yüksek performans skoruna sahiptir. Sırasıyla Amerika, Fransa, Almanya ve Kanada en iyi performansa sahip ilk 5 ülkeyi oluşturmaktadır. En kötü performansa sahip 5 ülke ise sırasıyla Hindistan, Endonezya, Çin, Güney Afrika ve Meksika'dır.

Türkiye 0.24 etkinlik skoruna sahiptir. G20 ülkeleri yenilenebilir enerji performansı sıralamasında ise 12. sıradadır.

5. Sonuç

Çalışmada, G20 ülkelerinin son yıllarda üzerinde önemle durulan yenilenebilir enerji performansı çıktı yönü CCR ve dengeli performans ağırlıkları metoduyla belirlenmiştir. CCR sonuçlarında 7 ülke, korelasyonlar yardımıyla hesaplanan dengeli ağırlıklar kullanılarak yapılan analiz sonucunda ise 1 ülke etkin olmuştur. Dengeli ağırlıklar modeliyle yapılan analiz sonuçlarının klasik modele göre daha ayırıcı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca dengeli performans ağırlıkları metodunun veri zarflama analizinin iki önemli dezavantajı olan önemli girdi ve çıktı değişkenlerine sıfır veya sıfıra yakın ağırlıklar verilmesi, her bir girdi ve çıktıya her bir karar verme birimi için farklı ağırlıkların verilmesi problemlerini elimine etmiştir.

Kaynakça

- Alp, İ. (2016). Another Way to Determine Weights of Balanced Performance Evaluations. *Dumlupınar University Journal of Social Science, ICEBSS Özel Sayısı*, 151-161.
- Banker, R.D., Charnes, A. ve Cooper, W.W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30, 1078– 1092.
- Chien, T. ve Hu, J.L. (2007). Renewable Energy and Macroeconomic Efficiency of OECD and Non-OECD Economies. *Energy Policy*, 35(7), 3606-3615.
- Charnes, A., Cooper, W.W. ve Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429–44.
- Dünya ve Türkiye Enerjive Tabii Kaynaklar Görünümü. (2017). Erişim Adresi http://www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi_15/mobile/index.html#p=1.
- IEO2017. (2017). Erişim Adresi [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf).

- IRENA. (2017). RETHinking Energy 2017. Erişim Adresi http://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_rethinking_energy_2017.pdf.
- Menegaki, A.N. (2013). Growth and Renewable Energy in Europe: Benchmarking with Data Envelopment Analysis. *Renewable Energy*, 60, 363-369.
- Sözen, A., Alp, İ. ve Kılınç, C. (2012). Efficiency Assensment of the Hydro-power in Turkey by Using Data Envelopment Analysis. *Renewable Energy*, 46, 192-202.
- Wang, H. (2015). A Generalized MCDA–DEA (multi-Criterion Decision Analysis–Data Envelopment Analysis) Approach to Construct Slacks-Based Composite Indicator. *Energy*, 80, 114-122.
- Woo, C., Chung, Y., Chun, D., Seo, H. ve Hong, S. (2015). The Static and Dynamic Environmental Efficiency of Renewable Energy: A Malmquist Index Analysis of OECD Countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 367-376.
- Yenilenebilir Enerji Müdürlüğü. (2017). Yenilenebilir Enerji Erişim Adresi <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir.aspx>.
- Zhou, P., Ang, B.W. ve Han, J.Y. (2010) Total Factor Carbon Emission Performance: A Malmquist Index Analysis. *Energy Economics*, 32(1), 194-201.

**ASSESSMENT OF THE RENEWABLE ENERGY EFFICIENCY OF THE G20 COUNTRIES
BY BALANCED PERFORMANCE WEIGHTS AND DATA ENVELOPMENT ANALYSIS**

Extended Abstract

Aim: Renewable energy has been a term used much in recent years for sustainable development and environmental work. Measuring the performance of these resources is of great importance as well as investment in renewable energy sources and production. Data envelopment analysis used for performance measurement is a nonparametric and powerful technique. The aim of this study is to analyse the renewable energy performance of the G20 countries with 85 percent of the monetary value of all goods and services produced in the world, 75 percent of global trade, two thirds of the world's population, using data envelopment analysis and balanced performance weights. It also shows on a real data set how a zero or near zero weight assignment, which is a significant disadvantage of the data envelopment analysis, is eliminated by balanced performance weights.

Method(s): Data envelopment analysis is a non-parametric and powerful technique used for performance measurement. Data envelopment analysis uses linear programming techniques for performance measurement. The first step in this technique is to determine a best limit. Then all decision making unit is checked on whether above or below this limit. the decision-making units on the border are efficient while the decision-making units below the border are not efficient. Thus the effectiveness of a decision-making unit is measured relative to the other. Input and output are used for performance measurement in data envelopment analysis. The selection of input and output is very important. Because it is a data based technique. Small changes in the data can lead to large changes in the analysis result. Determining the weights of the input and output variables is also an important step that can greatly change the result of the work. Various methods have been developed to determine the weights. In this study, classical CCR method and balanced performance weights method, which are calculated using the correlations between input and output, are used and the results are compared. Balanced performance weights were developed by Alp (2016).

Findings: In this study, the output-oriented CCR performances of countries are examined firstly. EMS 1.3 package program developed by Holger Scheel was used for the analysis. As a result of the analysis, 7 countries (England, France, Brazil, Italy, Canada, Australia and Argentina) obtained 100 efficiency scores. Looking at the input and output weights, it is seen that many inputs and outputs are given zero or zero close weights. Two major disadvantages of data envelopment analysis appear in all of these datasets (significant input and output variables are assigned zero or zero close weights, each input and output being given different weights for each decision-making unit).As a result of the calculations, balanced performance weights were obtained with 0.209 for energy density input, 0,346 for labor input, 0.24 for output of electricity produced by renewable energy sources (% of total generated electricity), 0.286 for per capita gross domestic product output, and 0.307 for CO₂ emission output. Australia has the highest performance score according to the balanced performance weights method. America, France, Germany and Canada are the top 5 countries with the best performances respectively. The five countries with the worst performances are India, Indonesia, China, South Africa and Mexico respectively.

Conclusion: The renewable energy performance of the G20 countries, which has been emphasized in recent years, has been determined by the output-oriented CCR and balanced performance weights method. According to the output-oriented CCR results, 7 countries are efficient. 1 country was efficient as a result of balanced performance weights calculated using correlations. It has been observed that the results of the analysis made with the balanced weights model give more discriminating results than the classical model. In addition, the balanced performance weights method has eliminated two major disadvantages of the data envelopment analysis (assigning

important input and output variables zero or near zero weights, assigning different weights to each input and output for each decision-making unit).