



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Yenilenebilir enerji kullanımındaki göreceli etkinliklerin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi: Türkiye ve yedi Avrupa ülkesi örneği

Evaluation of relative efficiency using renewable energy by data envelopment analysis: Turkey and seven European countries example

Yazar(lar) (Author(s)): Zühre AYDIN YENİOĞLU¹, Vildan ATEŞ²

ORCID¹: 0000-0002-5992-4983

ORCID²: 0000-0002-8855-8556

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Aydın Yenioğlu Z. ve Ateş, V., “Yenilenebilir enerji kullanımındaki göreceli etkinliklerin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi: Türkiye ve yedi Avrupa ülkesi örneği”, *Politeknik Dergisi*, 22(4): 863-869, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.446110

Yenilenebilir Enerji Kullanımındaki Göreceli Etkinliklerin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi: Türkiye ve Yedi Avrupa Ülkesi Örneği

Araştırma Makalesi / Research Article

Zühre AYDIN YENİOĞLU¹, Vildan ATEŞ²

¹Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu; Bilişim Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

²İşletme Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 19.07.2018 ; Kabul/Accepted : 12.11.2018)

ÖZ

Türkiye ve diğer Dünya ülkeleri için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı son yıllarda artan bir eğilim göstermektedir. Ülkeler yenilenebilir enerji konusunda ilerleme sağlamak amacıyla, bu alana yönelik çalışmalar, düzenlemeler, yatırımlar yapmaktadırlar. Bu çalışmada söz konusu çalışmaların etkisinin incelenmesi için Türkiye ve 2020 yenilenebilir hedeflerine ulaşmış 7 Avrupa ülkesinin 2015 ve 2016 yılları içerisinde teknik ve ölçek etkinlikleri Veri Zarflama Analizi (VZA) ile hesaplanmıştır. Karar verme birimleri arasında yer alan Avrupa ülkeleri Avrupa'nın toplam enerji tüketimindeki payın yenilenebilir enerji alanında %20'ye çıkarılması; enerji verimliliğinin %20 artırılması gibi 2020 hedeflerine ulaşmıştır. 2023 yılına kadar toplam enerji üretiminin 30% unu yenilenebilir enerji üretiminden yapmayı hedefleyen Türkiye, 2020 yılına kadar sektöre verdiği desteklerle yenilenebilir enerji üretim şeklini yerel kaynaklara çevirmeyi planlamıştır. VZA uygulamasının çözümünde Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (General Algebraic Modeling System, GAMS) kullanılmıştır. Yerelde teknik etkinlik ve genelde teknik etkinlik ölçümü ve modeller arasında tutarlılığın sağlandığını göstermek amacıyla Charnes-Cooper-Rhodes (CCR) girdi-çıkıtı ile Banker, Charnes ve Cooper (BCC) girdi-çıkıtı modelleri üzerinde çalışılmış ve teknik ve ölçek etkinlikleri ölçülmüştür. 2015 ve 2016 yıllarını kapsayan veri setleri Dünya Bankası ve İngiliz Petrolün (İP) yayınladıkları yıllık bültenlerden derlenmiş ve çalışma kapsamında girdi olarak yıllık yenilenebilir enerji yatırımları, birincil enerji tüketimi ve yenilenebilir enerji tüketimi, çıktı olarak ise gayri safi yurt içi hâsıla modele eklenmiştir. 2015 ve 2016 yılları veri setleri ortalamaları alınarak modellerde kullanılan değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları ve bu yıllara ait etkinlik sonuçları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda 2015 ve 2016 yıllarında Türkiye ve Avrupa'nın 2020 yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmış ülkeleri ile kıyaslandığında sayısal olarak yatırım, tüketim ve GSYH açısından geride kalmış ve 2015 ve 2016 yılları içerisinde de Türkiye etkin olamamıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, veri zarflama analizi, enerji verimliliği.

Evaluation of Relative Efficiency Using Renewable Energy by Data Envelopment Analysis: Turkey and Seven European Countries Example

ABSTRACT

The use of renewable energy sources for Turkey and other countries of the world shows an increasing trend in recent years. In order to make progress in the field of renewable energy, countries deviate from studies, regulations and investments. In this study, to examine the impact of those studies, technical and scale of events in Turkey and in seven European countries that achieved their 2020 renewable targets, was calculated with 2015 and 2016 data by Data envelopment analysis (DEA). European countries, which are among the decision-making units, have increased the renewable energy consumption to 20% and energy efficiency to 20% by 2020. Turkey's aim is to make 30% of total energy production from renewable energy production by 2023, to partially convert renewable energy production into local resources with support for the sector by 2020. General Algebraic Modeling System (GAMS) was used in the solution of DEA models. In order to show technical efficiency and generally technical effectiveness measurement and consistency between models, Charnes-Cooper-Rhodes (CCR) input-output and Banker, Charnes and Cooper (BCC) input-output models were studied and the technical and scale activities were measured. The data sets covering the years 2015 and 2016 were compiled from the annual bulletins published by the World Bank and British Petroleum (IP), and annual renewable energy investments, primary energy consumption and renewable energy consumption were used as inputs, the gross domestic product was used as output in the model. The correlation coefficients between the variables used in the models and the efficiency results of these years were calculated by taking the averages of the data sets of 2015 and 2016. In conclusion, compared with other decision-making units, Turkey could not be effective numerically according to renewable energy investment, consumption and GDP in 2015 and 2016.

Keywords: Renewable energy, data envelope analysis, energy efficiency.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mfeqidpc@gmail.com

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde ülkelerin endüstrisinin ihtiyaç duyduğu enerjiyi en az maliyetle sağlaması o ülkeye rekabet avantajı sağlamaktadır. Bu durum ülkeleri petrol, doğal gaz ya da kömür gibi geleneksel fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olmasından dolayı alternatif enerji kaynaklarına yani yenilenebilir enerjiye yöneltmektedir. Yenilenebilir enerji de, geleneksel enerji kaynaklarına göre çevresel faydalar ve fiyat avantajları nedeniyle vazgeçilmez bir alternatif enerji kaynağıdır [1]. Türkiye’de yenilenebilir enerji (hidroelektrik enerjisi, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji) kullanımı giderek yaygınlaşmakla birlikte enerji ihtiyacının büyük bir kısmı halen yenilenemeyen enerji kaynaklarından (petrol, doğal gaz, kömür) sağlanmaktadır [2]. Diğer taraftan yenilenebilir enerji üretim konusunda Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırıldığında yenilenebilir enerji potansiyeli, iklim koşullarından dolayı Türkiye’ye avantaj sağlamaktadır [1].

Literatürde enerji sektöründe yapılan çalışmalar incelendiğinde öne çıkan yöntemlerden birinin Veri Zarflama Analizi (VZA) olduğu görülmektedir. VZA ilk olarak Farrell (1957) tarafından ortaya atılmış Charnes ve diğerlerinin (1978) çalışmasında teknik etkinliğin değerlendirilmesiyle geliştirilmiştir [3,4]. Bunun yanında VZA, ilgili fonksiyonun herhangi bir varsayımını gerektirmediği ve çeşitli birimlerin çoklu girdi ve çıktı değişkenlerini işleyebildiği için kolay uygulanabilir bir yöntemdir [5]. VZA enerji alanında da yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanılan yöntemlerden birisidir. Bunlara örnek olarak aşağıdaki çalışmalar verilebilir. Nepalde (2006) yapılan çalışmada araştırmacılar VZA kullanarak hidroelektrik santrallerin performanslarını ölçmüşler ve çalışmada girdi olarak mevcut kapasite, toplam operasyon sayısı, tesis tarafından üretilen enerji ve çalışan sayısını, çıktı olarak ise üretilen enerji, kış ve yaz puant değerlerini kullanmışlardır [6]. Yenilenebilir enerji teknolojilerini ülkeler düzeyinde karşılaştırmak için yapılan bir diğer çalışmada, araştırmacılar 45 ülkeyi VZA kullanarak değerlendirmişler¹ ve OECD ülkelerinin, OECD üyesi olmayan ülkelere göre yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde daha fazla pay sahibi olduklarını belirtmişlerdir [7]. Barros tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada da VZA kullanılarak hidroelektrik santrallerin verimliliği araştırılmıştır [8]. Sözen ve diğerleri tarafından (2010) yapılan çalışmada Türkiye’deki termal elektrik santrallerinin operasyonel ve çevresel performansının değerlendirilmesi için veri zarflama analizi kullanılmıştır [9]. Bu çalışmada kullanılan girdiler kapasite kullanım oranı, termal verim, ortalama çalışma süresi ve üretim kapasitesiyken, çıktılar karbondioksit, sülfür dioksit, azot dioksitin ton miktarlarıdır. San Cristobal (2011), yenilenebilir enerji teknolojilerini değerlendirmek için VZA kullanan diğer bir araştırmacıdır. Bu çalışma incelendiğinde girdileri yatırım oranı, uygulama süresi ile işletme ve bakım maliyetleriyken çıktılar güç, çalışma saatleri, hizmet süresi ve karbondioksit tonundan oluştuğu görülmektedir

[10]. Türkiye’de yapılan bir diğer çalışmada, hidroelektrik santrallerinin verimlilik değerlendirmesi için 2012 yılında Sözen ve diğerleri tarafından VZA kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan girdiler kapasite kullanım faktörü, kurulu kapasite, barajda su toplama miktarıyken çıktı değişkenleri birim maliyet, operasyonel maliyet ve net enerji üretimidir [11].

Yenilenebilir enerji kaynakları kendilerini sürekli yeniledikleri için tükenmeleri söz konusu değildir. Diğer taraftan bu kaynaklardan enerji elde etmek maliyetli olduğundan kaynakların kullanılması bakımından etkinliklerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Avrupa Birliği 2009 yılında, 2020 yılı için nihai enerji tüketimini %20 oranında yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlama hedefi getirmiştir. Eurostat verilerine göre de 2016 yılında bu oran %17 olarak gerçekleşmiştir. 2023 yılına kadar toplam enerji üretiminin %30’unu yenilenebilir enerji üretiminden yapmayı hedefleyen Türkiye, 2020 yılına kadar sektöre verdiği desteklerle yenilenebilir enerji üretim şeklini kısmen yerel kaynaklara çevirmeyi planlamıştır. Yenilenebilir enerji tesislerinin geliştirilmesi, ekipman, bileşen ve hizmet tedariki sayesinde gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH) üzerinde önemli bir etki yaratılacaktır. Bu sayede ekonomiye katkı sağlanacak, nitelikli istihdam artacak, araştırma geliştirme faaliyetleri gelişecektir.

Elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında yerli ve yenilenebilir kaynaklar öncelikli olup, bu kaynakların kullanımı konusundaki gelişmeler ve arz güvenliği dikkate alınarak kaliteli ithal kömüre dayalı santrallerden de yararlanılacaktır. Yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için alınacak tedbirler sonucunda, elektrik üretiminde doğalgazın payının %30’un altına düşürülmesi hedeflenmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye ve 2020 Avrupa yenilenebilir enerji üretim, yatırım ve tüketim hedeflerine ulaşmış Almanya, İngiltere, Norveç, İsveç, İtalya, Hollanda ve Fransa ülkelerinin karar verme birimleri olarak seçilmeleriyle, yenilenebilir enerji kullanımındaki göreceli etkinliklerinin VZA ile değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan enerji tüketiminin azaltılması etkinlik olarak değerlendirilir. Bu kapsamda; çalışmada ülkelerin yenilenebilir enerji kullanımında etkinlik ölçümünün doğru sağlanması için, girdi değişkenleri arasında yenilenebilir enerji tüketimi ve birincil enerji tüketimi kullanılmıştır.

Çalışma ile literatüre çalışılan karar verme birimlerinin (KVB), veri yıllarının ve girdi çıktılarının farklılığı konusunda katkı sağlanacaktır. Literatürde yer alan çalışmalara göre; yatırım, tüketim ve sermaye göz önünde bulundurulmuş bu kapsamda farklı girdi çıktılar ile çalışılmıştır. Yöntem olarak VZA’nın girdi ve çıktı yönelimli Charnes-Cooper-Rhodes (CCR) ve Banker, Charnes ve Cooper (BCC) modelleri kullanılıp modeller arasında sonuçlar analiz edilmiştir [4,12].

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde konuya yapılan girişten sonra ikinci bölümde literatür taraması bulunmaktadır. Üçüncü bölümde çalışmanın yöntemi olan VZA hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde araştırmanın yöntemi ve beşinci bölümde bulgular sunulmuştur. Çalışmanın altıncı bölümü olan son bölümde de sonuç bulunmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE SURVEY)

Bu bölümde yenilenebilir enerji sektöründe Türkiye’de yapılan çalışmalar ile yenilenebilir enerji sektöründe VZA ile ilgili yapılan çalışmalar sunulmuştur.

Türkiye’de yenilenebilir enerji sektöründe yapılan çalışmalar incelendiğinde aşağıdaki çalışmalar göze çarpmaktadır. Hepbaşlı ve Utlu (2004) tarafından yapılan çalışmada Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları, verimli kullanımı ve bu konu hakkında geliştirilebilecek politikalar incelenmiştir [13]. Gençoğlu tarafından 2002 yılında yapılan çalışmada Türkiye’nin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynakları incelenerek mevcut durum ve bu kaynakların daha verimli kullanılabilme imkânları sunulmuştur [14]. Diğer bir çalışmada da araştırmacı yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yerini ve Türkiye açısından önemini araştırmıştır [15]. Erdal (2012) yaptığı çalışmada Türkiye’deki yenilenebilir enerji yatırımları ve bu yatırımların istihdam yaratma potansiyelini rapor etmişlerdir [16]. 2012 yılında yapılan bir diğer çalışmada da Çapık ve diğerleri Türkiye’nin mevcut enerji kaynaklarının potansiyelini araştırmış ve sonuç olarak mevcut enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji ile giderilebileceğini belirtmiştir. Bu doğrultuda Türkiye’nin yenilenebilir enerji politikalarını incelemişlerdir [17]. Koç ve Kaya (2015) çalışmalarında Türkiye ve dünyadaki yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili genel bir değerlendirmeler ile üretim durumları hakkında bilgilendirmeler yapmışlardır [2].

Literatürde, yenilenebilir enerji alanında verimlilik analizini ve alternatif yenilenebilir enerji kaynağı teknolojilerinin verimlilik analizini değerlendirmek amacıyla VZA yöntemini kullanan çalışmalar göze çarpmaktadır. Halkoz ve Tzeremes (2012) VZA yöntemini kullanarak Yunanistan’ın yenilenebilir enerji sektörünü analiz etmişlerdir. Firmaların sermaye yapısını, faaliyetlerini ve likidite seviyelerini yakalamak için borç/eşitlik oranı, aktif devir hızı ve cari oran olmak üzere üç girdiyi buna ek olarak dört çıktıyı (brüt kar marjı, faaliyet kar marjı, öz kaynak getirisi, aktif karlılık) firmaların karlılık düzeylerini yakalamak için kullanmışlardır. Çalışma sonucunda rüzgâr enerjisi sektöründe faaliyet gösteren firmaların, hidroelektrik enerjisinde çalışanlardan daha yüksek bir finansal verimliliğe sahip olma eğiliminde olduklarını ve Yunanistan yenilenebilir enerji sektörünün rekabet gücü yüksek bir sektör olduğunu rapor etmişlerdir [18]. Menegaki (2013) de VZA modeli ile 31 Avrupa ülkesinin enerji verimsizliklerini dikkate almıştır. Çalışmada

kullanılan değişkenler gayri safi yurtiçi hasıla, yakıt tüketimi, karbondioksit emisyonları, istihdam ve sermayedir. Yenilenebilir enerjide geride kalan ülkelerin teknik olarak Avrupa’nın en verimli ülkeleriyle önemli yenilenebilir enerji performansına sahip ülkelerin teknik olarak orta veya düşük verimliliğe sahip olduklarına dikkat çekmişlerdir [19]. Kim ve diğerleri de (2015) Kore’de yenilenebilir enerjinin yatırım verimliliğini VZA aracılığıyla değerlendirmişler ve rüzgâr gücünün en verimli yenilenebilir enerji olduğu sonucuna varmışlardır [20].

3. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ (VZA) MODELİ (DATA ENVELOPE ANALYSIS MODEL)

VZA, tamamı gözlenen verilere dayalı olarak etkinlik değerlendirmesi yapan doğrusal programlama yaklaşımıdır. Etkinlikler belirlenen KVB ve girdi çıktı analizleri ile yapılır. Bu yaklaşım ile en iyi örneğe dayanan etkin üretim sınırı oluşur ve KVB’ler arasında kıyaslama yapılabilir.

VZA modelleri üretim sürecinin tanımına göre “girdiye yönelik” (input oriented) veya “çıkıya yönelik” (output oriented) olarak oluşturulabilirler. “Girdiye yönelik” ile anlatılmak istenen; belirli bir çıktıyı en az girdi kullanarak üretmeye gayret etmektir. Girdi yönelimli modellerde, çıktıların dokunulmaksızın girdilerin minimize edilmesi söz konusudur. Çıktı yönelimli modellerde ise belirli bir girdi bileşimiyle en fazla çıktının üretilmesi hedeflenmektedir. Bu nedenle çıkıya yönelimli modellerde girdilere müdahale edilmeksizin çıktıların artırılması söz konusudur. [12].

Üretim birimlerinin etkinlik ölçümlerinde, üretim yapmakta oldukları ölçek türü de, etkinlik ölçümünde kullanılacak VZA modelinin türünün belirlenmesinde önem taşımaktadır. Örneğin CCR model ölçeğe göre sabit getiriyi esas almaktadır. Bir birimlik girdi değişimi, çıktıda da bir birimlik değişime neden olmaktadır. BCC modeli ise ölçeğe göre değişken getiriyi esas almaktadır. BCC model, CCR modele konvekslik kısıtı eklenmesi ile türetilmiştir. Konvekslik kısıtı, CCR modelin, orijini en kuzeybatıdaki birim ile birleştiren etkin sınırının, orijinden geçme zorunluluğunu gevşeterek, BCC etkin sınırının karar birimlerini CCR etkin sınırına göre daha sıkı zarflamasına neden olmaktadır. Daha sıkı bir zarf ile ifade edilen BCC etkin sınırı, CCR etkin sınırına nazaran karar birimlerine daha yakın bir konumdadır [12].

Charnes vd. (1978) tarafından geliştirilen ilk model [4] kesirli programlama modelidir ve çözümü oldukça zordur. Bu nedenle, model yeniden düzenlenerek doğrusal programlama (DP) modeline dönüştürülmüştür [21]. Kısıt sayısının az olması ve yöneticilere önemli bilgiler sağlaması nedeniyle DP modelinin dual formu incelenerek zarflama modeli oluşturulmuştur [21].

VZA girdi ve çıktı odaklı BCC ve CCR modellerine ait matematiksel denklemler aşağıda verilmiştir.

$$j = 0, 1, \dots, n$$

$$r = 1, 2, \dots, s$$

$i=1,2,\dots,m$

j : karar birimleri

r : çıktılar

i : girdiler

y_{rj} : j . karar biriminin kullandığı r çıktısı miktarı

x_{ij} : j . karar biriminin kullandığı i girdisinin miktarı

θ : etkinlik skoru

λ : karar birimleri üzerindeki ağırlıklar yani yoğunluk vektörü olmak üzere;

Girdi yönlü CCR modeline ilişkin zarflama modeli eşitlik (1) deki gibidir:

$\min \theta$

Kısıtlar:

$$\theta_0 x_{i0} - \sum_{j=1}^n (x_{ij} \lambda_j) \geq 0$$

$$\sum_{j=1}^n (y_{rj} \lambda_j) \geq y_{r0} \quad (1)$$

$$\lambda_j \geq 0,$$

$$i=1,2,\dots,m, r=1,2,\dots,s, j=1,2,\dots,n$$

Çıktı yönlü CCR modeline ilişkin zarflama modeli eşitlik (2) deki gibidir:

$\max \theta$

Kısıtlar:

$$x_{i0} - \sum_{j=1}^n (x_{ij} \lambda_j) \geq 0$$

$$\sum_{j=1}^n (y_{rj} \lambda_j) \geq \theta y_{r0} \quad (2)$$

$$\lambda_j \geq 0,$$

$$i=1,2,\dots,m, r=1,2,\dots,s, j=1,2,\dots,n$$

biçimindedir.[21]

Girdi yönlü BCC modeline ilişkin zarflama modeli eşitlik (3) deki gibidir:

$\min \theta$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq \theta x_{i0}$$

$$\sum_{j=1}^n (y_{rj} \lambda_j) \geq y_{r0} \quad (3)$$

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

$$\lambda_j \geq 0, i=1,2,\dots,m, r=1,2,\dots,s, j=1,2,\dots,n$$

Çıktı yönlü BCC modeline ilişkin zarflama modeli eşitlik (4) deki gibidir [21]:

$\max \theta$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq x_{i0}$$

$$\sum_{j=1}^n (y_{rj} \lambda_j) \geq \theta y_{r0} \quad (4)$$

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

$$\lambda_j \geq 0, i=1,2,\dots,m, r=1,2,\dots,s, j=1,2,\dots,n$$

4. YÖNTEM (METHOD)

VZA, ülkelerin yenilenebilir enerji yatırımı ve tüketimi alanında etkinliklerinin ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada da, Türkiye ve gelişmiş Avrupa ülkelerinin yenilenebilir enerji verimliliğini analiz etmek amacıyla parametrik olmayan bir yöntem ve güçlü bir kıyaslama aracı olan VZA kullanılmıştır. Yerelde teknik etkinlik ve genelde teknik etkinlik ölçümü ve modeller arasında tutarlılığın sağlandığını göstermek amacıyla CCR girdi-çıkıtı ile BCC girdi-çıkıtı modelleri üzerinde çalışılmıştır. CCR modeli toplam teknik etkinliği bir bütün olarak hesaplarken, BCC modeli ise, teknik etkinliği ve ölçek etkinliğini ayırarak hesaplama yapma imkânı sağlamaktadır [12].

VZA'da kullanılan girdi ve çıktı odaklı CCR ve BCC modelleri üç girdi ve bir çıktı değişkeninden oluşturulmuştur. Girdi değişkenleri yenilenebilir enerji alanında yapılan yatırım, yenilenebilir enerji tüketimi ve birincil enerji tüketimidir. Çıktı değişkeni ise GSYH'dir. Literatürde yer alan birçok çalışmada, enerji girdisinin performans analizlerinde dikkate alınması gerektiği ifade edilmektedir. Bu sebeple enerji tüketimi ve enerji alanında yapılan yatırım miktarları, bir ülkenin enerji dinamiğinin performans analizinde girdi olarak kullanılırken, bu girdiler ülkenin ekonomik çıktısı GSYH için temel girdiler olarak düşünülebilir. Literatürde yapılan çalışmalarda seçilmesi gereken girdi ve çıktılar konusunda bir fikir birliği bulunmamakla beraber modeldeki girdi ve çıktılar çalışmadaki karar birimlerini karşılaştırmanın temelini oluşturur. Çalışmada gelecek planlaması için ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında yani bütün KVB'lerin optimal ölçekte faaliyet gösterdikleri varsayımına dayanarak, görece toplam etkinliklerin hesaplanmasında kullanılan girdi yönelimli CCR model, diğer VZA çıktı yönelimli CCR ve girdi ve çıktı yönelimli BCC modelleriyle kıyaslanacak, etkin olmayan KVB'ler belirlendikten sonra etkin hale getirmek için referans KVB'ler belirlenecek, bunlardan yola çıkarak etkin olmayan KVB'ler için iyileştirme önerileri yapılacaktır.

2015 ve 2016 yıllarını kapsayan veri setleri Dünya Bankası ve İngiliz Petrol (İP)'nin yayınladıkları yıllık bültenlerden derlenmiştir [22-25].

5. BULGULAR (RESULTS)

Bu bölümde verilerin analizi ve değerlendirilmesi sonucu elde edilen bulgular sunulacaktır.

Aynı karar birimi için farklı girdi ve çıktı grupları farklı etkinlik değerleri üreteceğinden üretim sürecine nedensel olarak bağlı, anlamlı girdi ve çıktılarının belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu doğrultuda çalışmada kullanılan yatırım, birincil enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, GSYH girdi ve çıktılardan elde edilen 2015 ve 2016 yılları ortalamaları alınarak modellerde

kullanılan değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Buradaki amaç, modellerde kullanılan girdi ve çıktılar arasındaki ilişkinin yönü ve boyutu hakkında fikir sahibi olmaktır.

kullanılan GSYH üzerinde belirgin bir kontrol mekanizmalarının olmayışıdır. Çıktı yönlü modeller kullanılması nedeniyle diğer modellerle tutarlılığın sınırlanması istenmesidir.

Çizelge 1. Korelasyon analizi sonuçları (Results of correlation analysis)

	Yatırım	Birincil Enerji Tüketimi	Yenilenebilir Enerji Tüketimi	GSYIH	
Yatırım	Pearson Korelasyon	1			
	Sig. (2-tailed)				
	N				
Birincil Enerji Tüketimi	Pearson Korelasyon	,594	1		
	Sig. (2-tailed)	,121			
	N	8			
Yenilenebilir Enerji Tüketimi	Pearson Korelasyon	,678	,834*	1	
	Sig. (2-tailed)	,065	,010		
	N	8	8		
GSYIH	Pearson Correlation	,763*	,942**	,850**	1
	Sig. (2-tailed)	,028	,000	,008	
	N	8	8	8	

Çizelge 1’de SPSS paket programı ile elde edilen korelasyon katsayıları 2015-2016 yıllarına ait verilerin ortalamaları kullanılarak elde edilmiştir. Çizelge 1’e göre çıktı olarak kullandığımız GSYH ile birincil enerji tüketimi çok yüksek (0,94) bir ilişkiye sahiptir. GSYH ile yatırım değerleri orta dereceli (0,76) ilişkiye sahiptir. Yenilenebilir enerji tüketimi ise birincil enerji tüketimi (0,83) ve GSYH (0,85) ile yüksek ilişkiye sahiptir. Tüm girdi çıktılar arasındaki ilişkilerin orta seviyenin üzerinde ayrıca, tüm değişkenlerin birbiriyle pozitif korelasyona sahip olduğu Çizelge 1 incelendiğinde görülmektedir.

5.1. Verilerin Analizi ve Değerlendirilmesi

(Analysis and Evaluation of Data)

Çalışmada CCR ve BCC modellerinin girdi-çıkıtı yönlü modelleri kullanılarak, Türkiye ve diğer 7 Avrupa ülkesinin 2015 ve 2016 yılları içerisinde teknik ve ölçek etkinlikleri ölçülmüştür. Girdi yönlü modeller kullanılması nedeniyle ülkelerin yenilenebilir enerji politikalarını belirlerken çalışmada çıktı olarak

iki farklı VZA modeli kullanılması amaç, BCC modelinin karar birimlerinin saf teknik etkinliğini ölçmesi, CCR modelinin ise genel teknik etkinliği ölçmesidir. VZA uygulamasının çözümünde GAMS yazılım paket programı kullanılmıştır. Geliştirme sonrası elde edilen sonuçlar her model için aşağıda yer alan Çizelge 2 ve 3’te verilmiştir.

Çizelge 2 ve 3 incelendiğinde; 2015 ve 2016 yıllarında Türkiye yenilenebilir enerji alanında Avrupa’nın 2020 hedeflerine ulaşmış ülkeleri ile kıyaslandığında sayısal olarak yatırım, tüketim ve GSYH açısından geride kalmış, 2015 ve 2016 yılları içerisinde Türkiye’nin etkin olmadığı görülmektedir. Bu nedenle, veriler arasında kıyas yapıldığında Türkiye’nin yenilenebilir enerji tüketiminin refah ülkeler seviyesinde olmadığı ve yenilenebilir enerji yatırımlarının gerektiği oranda yapılmadığı söylenebilir.

Çizelge 2. 2015 yılı verilerine ait etkinlik sonuçları (Efficiency results of the data of 2015)

	Girdi Yönelimli CCR Yöntemi	Girdi Yönelimli BCC Yöntemi	Çıktı Yönelimli CCR Yöntemi	Çıktı Yönelimli BCC Yöntemi
İngiltere	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Almanya	0.8056	1.0000	1.2413	1.0000
Fransa	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Norveç	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
İtalya	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
İsveç	0.7612	1.0000	1.3137	1.0000
Türkiye	0.6630	0.6674	1.5082	1.5070
Hollanda	0.8811	0.9299	1.1350	1.0815

Çizelge 3. 2016 yılı verilerine ait etkinlik sonuçları(Efficiency results of the data of 2016)

	Girdi Yönelimli CCR Yöntemi	Girdi Yönelimli BCC Yöntemi	Çıktı Yönelimli CCR Yöntemi	Çıktı Yönelimli BCC Yöntemi
İngiltere	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Almanya	0.8463	1.0000	1.1816	1.0000
Fransa	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Norveç	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
İtalya	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
İsveç	0.7815	1.0000	1.2796	1.0000
Türkiye	0.6040	0.8933	1.6557	1.2669
Hollanda	0.8701	1.0000	1.1493	1.0000

CCR modelleri ülkelerin saf teknik etkinlik skorlarını benzer ölçekte olmayan ülkelerle kıyaslama yaptığı için düşük çıkarabilmektedir. Eğer ülke ölçek olarak kendisinden daha etkin bir ülkeyle kıyaslanırsa söz konusu ülkenin etkinlik skoru düşük çıkacaktır. Öte yandan, BCC varsayımı altında, ülkeler ölçek olarak nispeten benzer yapıdaki ülkelerle kıyaslanmaktadır. Bu nedenle BCC varsayımı altındaki teknik etkinlik skorları CCR varsayımına göre ya daha yüksek çıkmakta ya da aynı olmaktadır [26]. Bu kapsamda BCC modelinde etkin çıkan bir ülke CCR modelinde etkin çıkmıyorsa, o ülke kendine benzer ülkeler arasında etkin çalışmakta ancak genel olarak etkin çalışmamaktadır.

Bu nedenle; Almanya, İsveç ve Hollanda'nın BCC modellerinde etkin olup, CCR modellerinde etkin olmamaları bu ülkelerin yenilenebilir enerji yatırımları ve tüketimleri noktasında kendine benzer ülkeler arasında etkin olduklarını ancak genel olarak etkin çalışmadıklarını göstermektedir. Türkiye'nin de etkinlik yüzdelerine bakıldığında, genel politikalarına göre, teknik olarak uyguladığı politikaların başarı yüzdesinin daha iyi olduğu söylenebilir. İngiltere, Fransa, İtalya ve Norveç hem 2015 hem de 2016 yıllarında teknik ve genel etkindirler.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, Avrupa ülkelerinden 2020 yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmış ülkeler ile Türkiye'nin yenilenebilir enerji alanında etkinliğini ölçmek için Veri Zarflama Analizi ile etkinlik analizi yapılmıştır. Çalışma verileri Dünya Bankası ve BP enerji verileri derlenerek elde edilmiş olup, 2015 ve 2016 yıllarını kapsamaktadır. Karar Verme Birimleri olarak seçilen ülkeler İngiltere, Almanya, Fransa, Norveç, İtalya, İsveç, Hollanda ve Türkiye'dir. Çalışma ile Türkiye'nin Dünya liderleri ile kıyaslandığında yenilenebilir enerji etkinliğinin kıyaslanması sağlanmış, bu kapsamda önerilerde bulunulmuştur. Çalışma kapsamında etkinlik ölçümü veri zarflama analizi ile sağlanmış olup girdi olarak yıllık yenilenebilir enerji yatırımları, birincil enerji tüketimi ve yenilenebilir enerji tüketimi, çıktı olarak ise gayri safi yurt içi hasıla modele eklenmiştir.

Sonuçlara göre; CCR teknik etkinlik skorlarıyla BCC teknik etkinlik skorları arasında çok yüksek farklılıklar görülmemesi, yenilenebilir enerji alanında kıyaslanan ülkelerin ölçek olarak etkin olabileceklerini göstermektedir.

Yapılan analizlere göre, her iki yılda, etkin olan ülkelerin, elindeki girdi ve çıktıları her yıl diğer ülkelere göre optimum düzeyde kullandığı anlaşılmaktadır. Yani bu ülkeler optimum ölçek büyüklüğünde ya da civarında faaliyet göstermektedir. Ülkelerin faaliyet ölçeği arttıkça CCR ve BCC skorları artmaktadır. Yani faaliyet ölçeğiyle CCR ve BCC skorları arasında pozitif bir ilişki vardır.

Sonuçlara göre, genel anlamda ülkelere CCR ve BCC modelleri temelinde yenilenebilir enerji yatırımı ve tüketimi performanslarında birkaç ülke hariç belli bir istikrar yakalayabildikleri görülmüştür. Bu durum ülkelerin etkinlik artışının tutarlı bir şekilde devam edeceğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, geleceğe yönelik genel teknik verimliliği sağlamak için özellikle verimsiz ülkelerde yenilenebilir enerji alanında yapılacak düzenlemelerle yatırım kararları uygulanmalıdır.

Enerji Bakanlığı 2023 yılında; rüzgâr enerjisindeki kurulu gücü 20.000 megawatt (MW), güneş enerjisinde 3000 MW, jeotermal enerjide 600 MW olarak hedeflemektedir. Avrupa ülkelerinde olduğu gibi, Türkiye'de de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında uygulanacak olan yasal mevzuatlara özellikle güneş ve biyokütle enerji üretiminde özen gösterilmelidir. Avrupa ülkelerinde her enerji tipi için ayrı mevzuat oluşturulurken, Türkiye'de yenilenebilir enerji mevzuatı tek bir mevzuat ile desteklenmektedir. Yenilenebilir enerjide ilgili enerji kaynağına özel düzenlemeler yapılmalıdır. Bu alanda üretim, tüketim, yatırım ile ilgili mevzuatın zenginleştirilip, teşviklerin artırılması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan girdilerin tüketim ve yatırıma dayalı olması ve bunlardan elde edilen sonuçlar; Türkiye'nin yatırım ve tüketim hedeflerine yönelmesi gerektiğini göstermektedir.

Endüstriyel alanda uygulanabilecek enerji tasarrufu yöntemleri birincil ve yenilenebilir enerji kaynakları tüketiminde dikkate alınabilir. Teknik ve idari ekiplerin

bu tasarruf metotlarını öğrenip uygulamaya almaları ile enerji tüketimlerinde önemli azalmalar sağlanabilir. Enerji tasarrufu sayesinde daha az fosil yakıt yakılması sağlanarak, istenmeyen emisyonlar azalacak ve karbon emisyonunun sebep olduğu küresel ısınma etkileri de azalacaktır.

Gelecek çalışmalar için, ilişki durumu pozitif yönde yüksek, farklı girdi çıktıları ve farklı ancak homojen yapıdaki KVB'ler ile performans kıyaslamaları önerilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Dağistan, H. "Yenilenebilir Enerji ve Jeotermal Kaynaklarımız", *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 10. Enerji Kongresi*, 74, Ankara :EMO. (2006).
- [2] Koç, E. ve Kaya, K., "Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu", *Mühendis ve Makine*, 56 (668): 36-47, (2014).
- [3] Farrell, M. J. 'The Measurement of Productive Efficiency', *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3), 253-290, (1957).
- [4] Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes. "Measuring the efficiency of decision making units", *European Journal of Operational Research*, 2: 429-444, (1978).
- [5] Bal, H., Örkçü, H.H., "Combining the Discriminant Analysis and the Data Envelopment Analysis In View Of Multiple Criteria Decision Making: A New Model", *G.U. Journal of Science*, 18(3):355-364, (2005).
- [6] Jha, D.K., Shrestha, R., "Measuring Efficiency of Hydropower Plants in Nepal Using Data Envelopment Analysis", *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(4):1502-1511, (2006).
- [7] Chien, T., Hu, J. "Renewable energy and macro economic efficiency of OECD and non-OECD economies", *Energy Policy*, 35(7): 3606-3615 (2007).
- [8] Barros, C. "Efficiency analysis of hydroelectric generating plants: A case study for Portugal", *Energy Economics*, 1: 59-75, (2008).
- [9] Sözen, A., Alp, I., Özdemir A. "Assessment Of Operational And Environmental Performance Of Thermal Power Plants In Turkey By Using Data Envelopment Analysis", *Energy Policy*, 38(10): 6194-203, (2010).
- [10] San Cristóbal, J. R. "A multi criteria data envelopment analysis model to evaluate the efficiency of the Renewable Energy technologies", *Renewable Energy*, 36(10): 2742-2746, (2011).
- [11] Sözen, A., Alp, İ., Kilinc, C. "Efficiency Assessment Of The Hydro-Power Plants In Turkey By Using Data Envelopment Analysis", *Renewable Energy*, 46: 92-202, (2012).
- [12] Banker, R.D., Charnes, A. Cooper, W.W. "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science*, 30: 1078- 1092, (1984).
- [13] Hepbaşlı, A., Utlu, Z. "Evaluating The Energy Utilization Efficiency Of Turkey's Renewable Energy Sources During 2001", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(3): 237-255, (2004).
- [14] Gençoğlu, M. T., "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi", *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14 (2): 57-64, (2002).
- [15] Külekçi, Ö.C. "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi", *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2(2): 83-91, (2009).
- [16] Erdal, L. "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırımları Ve İstihdam Yaratma Potansiyeli", *Sosyal Ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 4(1): 171-181, (2012).
- [17] Çapık, M., Yılmaz, A.O., Çavuşoğlu, İ. "Present situation and potential role of renewable energy in Turkey", *Renewable Energy*, 46: 1-13, (2012).
- [18] Halkos, G.E., Tzeremes, N.G. "Analyzing the Greek renewable energy sector: A Data Envelopment Analysis Approach", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 2884- 2893, (2012).
- [19] Menegaki, A. N. "Growth and renewable energy in Europe: Benchmarking with data envelopment analysis", *Renewable Energy*, 60: 363-369,(2013).
- [20] Kim, K.-T., Lee, D. J., Park, S.-J., Zhang, Y., Sultanov, A. "Measuring the efficiency of the investment for renewable energy in Korea using data envelopment analysis", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47: 694-702, (2015).
- [21] Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K., "Data Envelopment Analysis", Kluwer Academic Publishers, Boston, USA (2000).
- [22] İnternet: BP, "BP Statistical Review of World Energy June 2017", <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/en-ergy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>, 20 Mayıs 2018.
- [23] İnternet: The World Bank, <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators&Type=TABLE&preview=on>, 21 Mayıs 2018.
- [24] İnternet: Frankfurt School, "Global Trends In Renewable Energy Investment 2017", <http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinnrenewableenergyinvestment2017.pdf>, 20 Mayıs 2018.
- [25] İnternet: Frankfurt School, "Global Trends In Renewable Energy Investment 2018", <http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/gtr2018v2.pdf>, 20 Mayıs 2018.
- [26] Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell C. J., Battese, G. E. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Second Edition, Springer, New York (2005)