

Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Etkinlik Analizi

Resul Telli¹

Özet

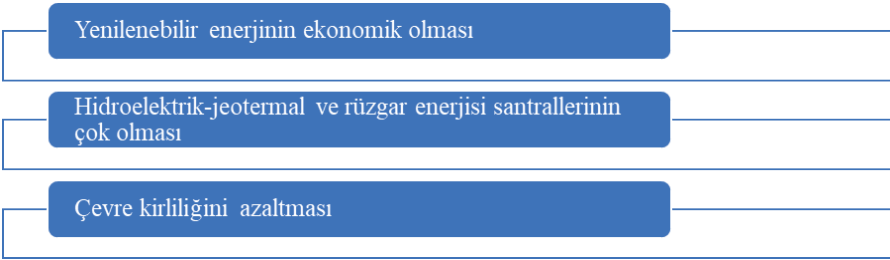
Fosil yakıtların azalmasıyla birlikte hızla artan petrol fiyatlarına ve fosil yakıtların çevre ve iklim üzerindeki olumsuz etkilerine karşı bir alternatif olan yenilenebilir enerji, çevre dostu olması ve sürdürülebilirliği yönüyle enerji sektöründe dikkatleri çokça üzerine çekmektedir. Devletlerin yenilenebilir enerji yatırımlarını artırması yoluyla belirlenen makroekonomi planlarına ulaşmanın kolaylaşacağı düşüncesi, yenilenebilir enerji yatırımlarının verimliliğini araştırma konusunu ön plana çıkarmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının farklı çeşitlerde olması enerjide verimliliğin belirlenmesini, öncelikle kaynak türüne göre gerekli kılmaktadır. Üretimde etkin olan kaynak türünün belirlenmesi hangi kaynağa yönelik ön plana çıkarılacak teknoloji yatırımlarının da belirleyicisi olmaktadır. Bu çalışmanın amacı Türkiye’de beş farklı yenilenebilir enerji kaynağının (jeotermal enerji, hidroelektrik enerji-HES, rüzgâr enerjisi-RES, biyokütle enerjisi ve güneş enerjisi-GES) yatırım verimliliğinin kamu teknoloji yatırımı ve yenilenebilir enerji kaynakları politika hedefleri doğrultusunda Veri Zarflama Analizi (VZA) ile etkinliğini değerlendirmektir. Hem sabit getiri varsayımı altında çıktı odaklı (CCR-O) ve hem de değişken getiri varsayımı altında (BCC-O) modeline göre Türkiye’de yatırım verimliliğinde en etkin yenilenebilir enerji kaynağı jeotermal enerji olarak ölçülmüştür. CCR-O’da jeotermalden sonra etkin olan kaynaklar HES ve GES, BCC-O’da ise HES ve RES olarak belirlenmiştir. CCR-O modelinde biyokütle ve RES, BCC-O’da ise yalnızca biyokütle enerjisi yatırım verimliliğinde etkisiz olarak saptanmıştır. Ölçek türüne göre ise RES üretiminin azalan ölçekte gerçekleştiği tespit edilmiştir.

1 Öğr. Gör. Dr., Yükseköğretim Kalite Kurulu, resultelli@yokak.gov.tr,
ORCID ID: 0000-0001-9110-6406

Giriş

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş vasıtasıyla dünyaya iletilen büyük enerjinin direkt ya da endirekt olarak kullanılması ile elde edilmektedir. Diğer bir deyişle doğanın kendi evriminde sonraki gün de aynı şekilde kalabilen kaynaklar olarak ifade edilmektedir (Seydioğulları, 2013: 24; Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021). Bu kaynaklar içerisinde en yaygın olarak kullanılanlar jeotermal, güneş, hidrolik, biyokütle ve rüzgâr enerjisi olarak sıralanmaktadır (Emeksiz ve Fındık, 2021: 156). Söz konusu kaynaklara ulaşılabilirliği yüksek olan ülkelerde yenilenebilir enerji maliyetlerini düşürmeye dönük teknoloji üretimi en üst düzeyde desteklenmeye devam etmektedir. Üretimi artırma potansiyeline sahip olan yenilenebilir enerji bu yönüyle bir kalkınma girdisi olarak kabul edilmektedir.

Günümüzde küreselleşme ile artan enerji ihtiyacı, dünya rezervi hızla azalan fosil yakıtlara olan talebi hızla artırmıştır. Fakat talep yasaının doğal sonucu olarak son yıllarda fosil yakıtlarda küresel ölçekte büyük fiyat artışları yaşanmaktadır. Bu nedenle devletler fosil yakıtlara alternatif olan ancak çevre dostu, yenilenmesi kolay ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Bu yöneliş, yenilenebilir enerji kavramını milli eğitim müfredatından yükseköğretim misyonuna, kalkınma planlarından devlet politikalarına kadar geniş yelpazedeki birçok alanda temel çalışma konusu haline getirmiştir. Bu durum Türkiye’de de yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin olarak kullanılmasına yönelik yapılan proje ve planları öncelemektedir.



Şekil 1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Dönük Projeleri Hızlandırma Nedenleri

Kaynak: Bozkurt (2008), s.59 (Şekil Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Şekil 1’deki yenilenebilir enerjinin ekonomik olması ile çevre dostu üretim unsurları yenilenebilir enerjinin önemli avantajları arasında sıralanmaktadır. Ancak bu avantajlara karşın yenilenebilir enerjinin genelde yüksek teknolojiyle üretilmesi üretim maliyetinin daha da yükselmesine neden olmaktadır. Bu durum Türkiye’de özellikle petrol, doğal gaz ve kömür

gibi fosil yakıtların enerji ithalatının artmasına neden olmaktadır. Enerji ihtiyacının artması enerjide dışa bağımlılığın da artmasına neden olmaktadır.

Bu çalışma yukarıda bahsedilen unsurlar çerçevesinde Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının yatırım verimliliğini belirleyerek, etkin olan yatırımların etkinlik derecesini ortaya koyup etkin olmayan yatırımlara politika önerileri geliştirmeye yönelik çıkarımlar geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç çerçevesinde çalışmada jeotermal enerji, hidroelektrik enerji-HES, rüzgâr enerjisi-RES, biyokütle enerjisi ve güneş enerjisi santralleri-GES Karar Verme Birimi (KVB) olarak belirlenmiştir. Çalışmada 2021 yılına ait veriler kullanılarak VZA ile etkinlik ölçümleri yapılmıştır. Etkinlik ölçümünde DEAP 2.1 paket programından yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda CCR-O ve BCC-O modellerinin çözümlenmesi ile elde edilen bulgular doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarında yatırım verimliliği etkinliğinin artırılmasına yönelik politika önerileri sunulmuştur.

1. Literatür Özeti

Sözen vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada VZA metodu kullanarak Türkiye’deki termal elektrik santrallerinin operasyonel ve çevresel performans analizi yapılmıştır. Çalışma konusu ve metodu ile ilgili yerli ve yabancı literatürde yer alan çalışmalardan bir kısmı bu bölümde özetlenmiştir. Çalışmada üç girdi (üretim kapasitesi, ortalama çalışma süresi ve termal verim) ve üç çıktı (karbon dioksit, azot dioksit ve sülfür dioksit) kullanılmıştır.

Şimşek (2011)’in çalışması, Türkiye’de çevresel enerji etkinliğinin belirlenmesine yönelik olmuştur. Çalışmada VZA tabanlı bir performans ölçüm aracı olan Malmquist İndeksi (MI) ve Süper SBM-GRS modeli ile analiz yapılmıştır. Çalışmada kullanılan girdiler petrol ve doğal gaz tüketimlerinin toplamı, hidrojen ve nükleer tüketimlerinin toplamı ve kömür tüketimi, çıktı ise istenmeyen çıktı CO₂ olarak belirlenmiştir.

Seydioğulları (2013) çalışmasında, yenilenebilir enerjiyi sürdürülebilir kalkınma yönüyle ele almıştır. Çalışmada sürdürülebilirlik, sürdürülebilir kalkınma ve yenilenebilir enerji kapsamında teorik çerçeve ortaya konularak bu çerçevede yapılması gerekenler tespit edilmiştir. Yenioğlu ve Ateş (2019) çalışmasında VZA kullanarak Türkiye ve AB ülkelerinde yenilenebilir enerji kullanımının etkinlik ölçümünü gerçekleştirmiştir. Çalışmada üç girdi (yenilenebilir enerji alanında yapılan yatırım, yenilenebilir enerji tüketimi ve birincil enerji tüketimi) ve bir çıktı (GSMH) verileri kullanılmıştır. Seyhan ve Seyhan (2022) tarafından yapılan çalışma yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin araştırılmasını kapsamaktadır. Çalışmada bu iki unsur arasındaki ilişki MI ile ortaya konulmuştur. Çalışmada kullanılan

girdi değişkenleri CO₂ salınımı, toplam enerji tüketimindeki yenilenebilir enerji kullanımı ve işgücü iken çıktı değişkenleri kişi başına GSYH ve toplam enerji arzının içindeki yenilenebilir enerji oranı olarak belirlenmiştir. Yabancı literatürde yer alan çalışmalardan bazıları ise aşağıda özetlenmiştir.

Cristóbal (2011) çalışmasında, İspanya’da on üç yenilenebilir enerji teknolojisinin rüzgâr enerjisi, hidroelektrik, güneş, biyokütle, biyogaz ve biyoyakıt alanında verimliliğini Stokastik Sınır Analizi (SSA) ve VZA ile tespit etmiştir. Çalışmada üç girdi (yatırım oranı, uygulama süresi, işletme ve bakım maliyetleri) ve bir çıktı (üretim gücü) verileri kullanılmıştır. Mohd vd. (2020) çalışmalarında, Malezya’da bölgelerin yenilenebilir enerji politikalarının etkinliğini VZA ve MI kullanarak belirlemiştir. Çalışmada 2010-2017 dönemine ait üç girdi (istihdam, elektrik üretimi, yenilenebilir enerji üretim kapasitesi) ve iki çıktı (GSYİH ve yenilenebilir enerji üretimi) değişkenleri kullanılmıştır.

Liu vd. (2021) çalışmasında, yeşil finansmanın yenilenebilir elektrik üretimi ve enerji verimliliği ile bağlantısını VZA kullanarak belirlemiştir. Çalışmada 2016-2020 yılları arasında gelişmiş ve gelişmekte olan ülke verileri kullanılmıştır. 2021 yılında yapılan diğer bir çalışma olan Wang vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada 42 ülkenin 2010-2019 döneminde yenilenebilir enerji üretim potansiyeli açısından yeteneklerini değerlendirmek amacıyla VZA ve TOPSIS modeli kullanılarak etkinlik ölçümü yapılmıştır. Çalışmada üç girdi (nüfus, toplam enerji tüketimi ve toplam yenilenebilir enerji kapasitesi) ve iki çıktı (GSYİH ve toplam enerji üretimi) verileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan girdi değişkenleri kömür, petrol, doğal gaz, nükleer, hidroelektrik, rüzgâr, güneş, jeotermal, gelgit, biyokütle. Çıktı değişkenleri ise bu kaynakların her birinin ürettiği elektrik miktarı ve her ülkenin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kullanımı nedeniyle azaltabildiği karbondioksit eşdeğer miktarıdır.

Lozano ve Yate (2021) birlikte yaptığı çalışmada, VZA metodolojisini kullanarak 2000-2016 yılları arasında karar alma birimi olarak seçilen 126 ülkeyi değerlendirerek yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarından elektrik üretiminin verimliliğini değerlendirmiştir. Pakistan’da Zhao vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, ülkenin enerji kıtlığına jeotermal, rüzgâr, biyokütle ve güneş enerjisi yoluyla oluşturulan yenilenebilir yeşil hidrojen kaynağı üzerinden çözüm önerileri geliştirilmiştir. Çalışmada bulanık analitik hiyerarşi, prosesi (AHP) ve VZA metodu kullanılmıştır. Çalışmada bir girdi (yenilenebilir elektrik üretim maliyeti) bulunurken dört çıktı ise teknik potansiyel, ekonomik fayda, çevresel sonuçlar ve sosyal kabule dayalı olarak belirlenmiştir.

Yukarıda bahsedilen yerli ve yabancı literatürden hareketle bu çalışmada Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırımlarının etkinliği değerlendirilmiştir. Literatürde etkinlik hesaplamalarında sıkça kullanıldığı görülen VZA bu çalışmada da tercih edilmiştir. Birden fazla girdi ve birden fazla çıktının olduğu üretimlerde etkinlik belirlemek amacıyla VZA’dan sıkça yararlanılmaktadır. VZA da etkin olarak belirlenen karar verme birimleri (KVB) girdi ve çıktıları doğrultusunda etkin olmayan diğer KVB’ler için referans çizgisini belirlemektedir. Referans çizgisinde bulunan KVB’ler etkin üretim için kullanılması gereken girdi ve çıktı kombinasyonu hakkında önemli bilgiler ortaya koyarak etkin üretim çizgisinden aşağıda olan KVB’ler için her bir girdi ve çıktıya özel potansiyel iyileştirme (PI) önerileri geliştirmektedir. Bu analizde ele alınan değişkenler doğrultusunda 2021 yılında Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırım verimliliğinin etkinliği ölçülmüştür. Bu kapsamda yenilenebilir enerji grubunda bulunan beş KVB (jeotermal enerji, hidroelektrik enerji-HES, rüzgâr enerjisi-RES, biyokütle enerjisi ve güneş enerjisi-GES) için etkinlik skoru hesaplanarak etkin olmayan yenilenebilir enerji yatırımları için yapılması gerekenler hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışmada Türkiye perspektifinde ele alınan yenilenebilir enerji kaynakları ve uygulanan metot kapsamında literatüre bakıldığında, konunun farklı KVB ve girdi-çıkıtı değişkenleriyle analiz edilmiş çeşitleri bulunmasına rağmen; bu çalışmada yer alan KVB’ler ile birlikte kullanılan girdi ve çıktılarla yapılan başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yönüyle yapılan çalışmanın mevcut literatür için hem kapsam hem de yöntem yönünden özgün bir değer oluşturacağı düşünülmektedir.

2. Yöntem

Farrell’in (1957) çalışmasına dayanan VZA, doğrusal programlama temelinde etkinlik analizi yapmak için kullanılan bir metottur (Cooper, Seiford ve Zhu, 2011: 1-3). Görelî etkinlik ölçümü yapılan VZA’da iki kademeli bir ölçüm söz konusudur. Toplam ve teknik etkinlik analizi yapan VZA’da her bir KVB için etkin üretim sınırı belirlenerek bu sınır altında kalan birimlerin sınıra olan uzaklığına göre etkinlik değerlendirmeleri gerçekleştirilmektedir. VZA bu kapsamda en verimli KVB’leri belirleyerek bir etkinlik çizgisi oluşturur. Elde edilen etkinlik çizgisi VZA’da referans alınarak etkin olmayan KVB’lerin bu çizgiye olan uzaklığı radyal olarak hesaplanır (Yolalan, 1993: 27-28).

Toplam etkinlik modeli Charnes, Cooper, Rhodes (CCR) tarafından ortaya atılmıştır. Teknik etkinlik modeli ise Banker, Charnes, Cooper (BCC)

tarafından geliştirilmiştir. VZA ile etkin ve etkin olmayan tüm birimler etkinlik sıralamasına tabi tutulmaktadır. Bu yöntemle her bir KVB’nin etkinsizlik nedeni ve miktarı belirtilebilmektedir. VZA sonucunda birimlerin girdi ve çıktıları etkin olma derecesine göre potansiyel iyileştirme (Pİ) önerileriyle hedef değerler belirlenmektedir. Diğer yandan VZA analize katılan tüm birimler için etkin referans ağırlıklarını oluşturarak etkinsiz birimler için referans birimleri göstermektedir. Tüm VZA hesaplamalarında ise rassal hata parametrelerine yer verilmemektedir.

VZA’da “1” skoru etkinlik skoru olarak kabul edilmektedir. Etkin olmayan KVB’ler “1” skorunun altında bir skor elde etmektedir. Dolayısıyla bu KVB’ler etkinsiz olmaktadır. Etkinsiz olma derecesi ise “1” değerinden uzaklaştıkça artmaktadır (Banker vd., 1984: 1079; Adolphson vd., 1989: 20; Banker vd., 2004: 347). Çalışmada kullanılan non-parametrik programlama yaklaşımı, Farrell (1957)’in çalışmasında bir oran biçiminde “çalışma saati başına çıktı” gibi tek girdi ve tek çıktıya dayalı temel üretim teorisine dayandırılarak tanıtılmıştır (Cooper vd., 2007; Ayadi vd., 2012).

Verimlilik = Çıktı/Girdi

Etkinlik = Standart Miktar/Gerçek (Kullanılan) Miktar

Bu metot parametrik olmayan bir sınırın oluşturulmasını ve çıktıya dayalı bir teknik etkinlik ölçüsünün hesaplanmasını içermektedir (Rangan vd., 1988:170). 1978’de Charnes-Cooper-and Rhodes (CCR) tarafından geliştirilmiş olan bu metot çok sayıda girdi ve çıktı kullanarak karşılaştırılabilir KVB’lerin etkinlik düzeyini ölçmek için doğrusal programlamayı kullanan parametrik olmayan bir yöntemdir (Klimberg vd., 2009:136).

VZA’da önemli konulardan bir tanesi de analizin odak yönünün belirlenmesidir. Girdi ve çıktı odaklı olmak üzere iki farklı odak yönü olan VZA’da odak yönünün tercihinde araştırmacının amacı, KVB’ler ve girdi-çıkıtı yapısı belirleyici olmaktadır. Buna göre VZA modeli girdi (Input-I) ve/veya çıktı (Output-O) odaklı olmak üzere iki farklı şekilde oluşturulabilmektedir. Yapılan analizde sabit bir çıktıya minimum girdi ile ulaşmak amacı varsa model girdi (I) odaklı, belirli bir girdi ile maksimum çıktı bileşimi oluşturulmak amaçlanıyorsa model çıktı (O) odaklı olacak şekilde oluşturulmalıdır (Banker vd., 1984: 1078; Cooper vd., 2007: 44).

Farrell tarafından ortaya atılan doğrusal programlama denklemi çoklu girdi-çıkıtı ölçümünü içerecek şekilde değiştirilerek aşağıdaki forma dönüştürülmüştür. Her bir KVB’nin maksimum etkinlik değerini gösteren matematiksel denklem (1) numaralı modelle ifade edilmektedir (Ramanathan, 2007: 139; Chen vd., 2008: 527).

$$\max \frac{\sum_{j=1}^J V_{mj} Y_{mj}}{\sum_{i=1}^I U_{mi} X_{mi}} \quad (1)$$

$$0 \leq \frac{\sum_{j=1}^J V_{mj} Y_{nj}}{\sum_{i=1}^I U_{mi} X_{ni}} \leq 1; n = 1, 2, \dots, N$$

$$V_{mj} U_{mi} \geq 0; i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J$$

N: KV'lerin toplam sayısını

J: Çıktıların ağırlıklı toplamını

I: Girdilerin ağırlıklı toplamını

M: Temel KVB (m'inci KVB'nin hesaplanması)

N: KVB'leri

I: Girdileri,

Temsil etmektedir.

V_{mj} : Çıktı için ağırlıklar

U_{mi} : Girdi için ağırlıklar

Elde edilen denklem üzerinde çıktının maksimize edilebilmesi amacıyla paydanın 1 olarak alınması ile hesaplama değerinin lineer programlama denklemi üzerinden yapılabilmesine olanak tanınmıştır. Bu şekilde (2) numara ile gösterilen ve sabit getiri varsayımına dayalı olan (constant return to schale-CRS) model elde edilmektedir.

$$\max \sum_{j=1}^J V_{mj} Y_{mj} \quad (2)$$

(2) numaralı formülden hareketle;

$$\sum_{i=1}^I U_{mi} X_{mi} = 1;$$

$$\sum_{j=1}^J V_{mj} Y_{nj} - \sum_{i=1}^I U_{mi} X_{ni} \leq 0; \quad n = 1, 2, \dots, N$$

$$V_{mi}, U_{mi} \geq 0; i = 1,2, \dots, I; j = 1,2, \dots, j$$

(2) numaralı CRS modelinde her bir girdi-çıkıtı için pozitif ağırlık değeri elde edilmesi amacıyla etkinlik puanı negatif olmayan kısıtlamalar altında yani 0 ile 1 arasında olacak şekilde belirlenmiştir. Bu durumda etkinlik puanı “1” olduğunda etkinliğin %100 olduğu ortaya konulmaktadır.

VZA ile yapılan analizlerde genelde kamu politikaları ve yatırımları, ulaşım, tarım ve bankacılık gibi sektörler üzerinde çalışıldığı dikkati çekmektedir (Emrouznejad ve Yang, 2017:8). Yapılan bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynağı yatırım göstergesi olarak iki girdi ve iki çıktı kullanılmıştır. Araştırma girdilerinin azaltılması söz konusu olmayacağından çalışmada çıktı (O) odaklı model tercih edilmiştir. Bununla birlikte çalışmada hem toplam etkinlik (CCR) hem de teknik etkinlik (BCC) skorları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar birbiri ile kıyaslanmıştır.

Çalışma KVB’leri yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal, hidroelektrik santrali (HES), rüzgâr enerjisi santrali (RES), biyokütle ve güneş enerjisi santrali (GES) olarak belirlenmiştir. Analizde kullanılan girdi-çıkıtı, bunlara ait kısaltmalar ve bunların elde edildiği veri tabanlarına ait bilgiler Tablo 1 ile gösterilmektedir.

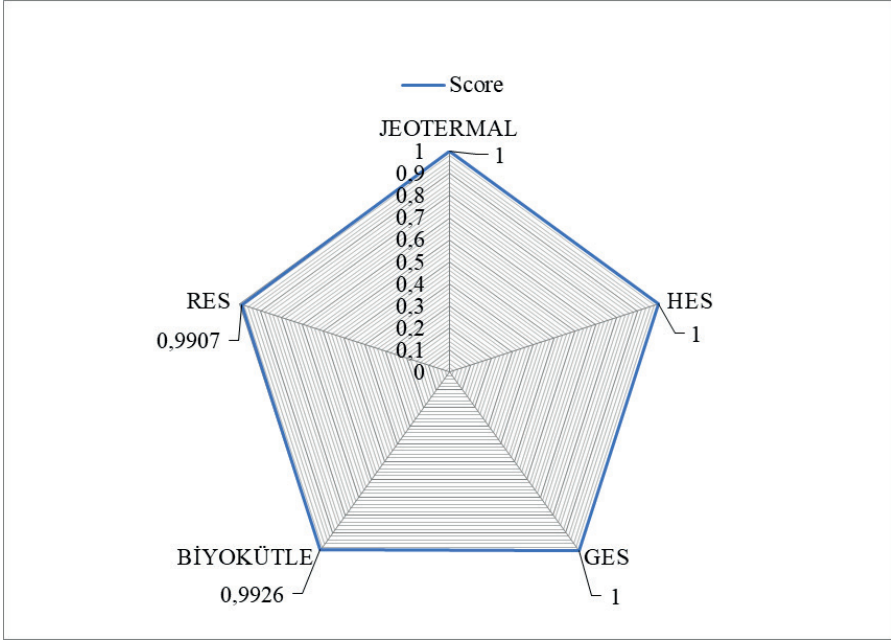
Tablo 2. Girdi ve Çıktılar

	Değişkenler	Kaynak	Dönem
Girdiler	Kurulu Güç Yatırımı -KG	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (URL1-2-3-4-5)	2021
	Üretim Miktarı-ÜM	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (URL1-2-3-4-5)	2021
Çıktılar	Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oran-KGO	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (URL1-2-3-4-5)	2021
	Elektrik Enerjisi Üretim Değeri-EEÜ	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (URL1-2-3-4-5)	2021

Tablo 2 ile gösterilen girdi-çıktılar Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı resmî web sitesindeki rapor ve istatistiklerden elde edilmiştir. Çalışmada 2021 verilerinden yararlanılmıştır.

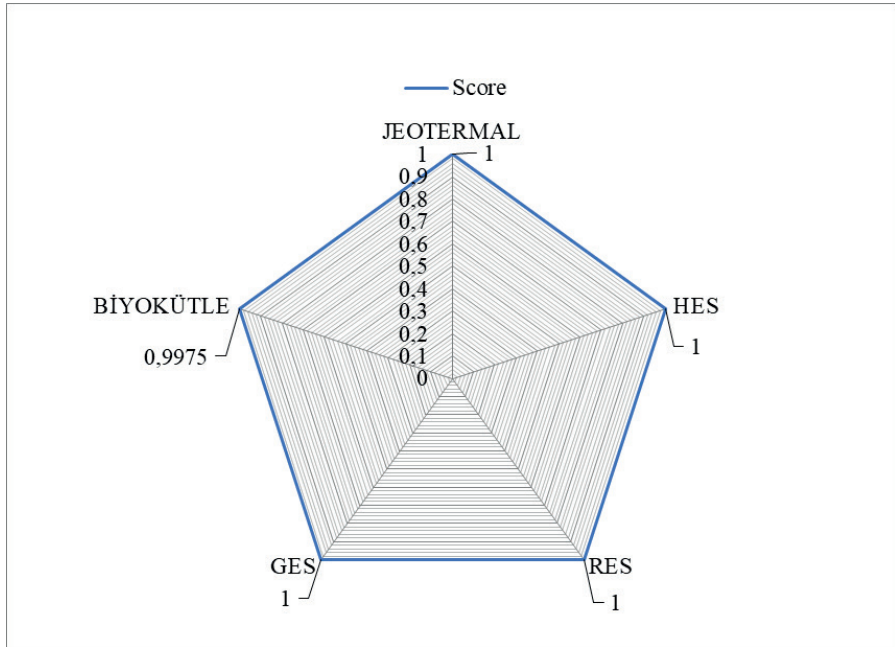
3. Ampirik Bulgular

Çalışmada Türkiye’ye ait CCR-O ve BCC-O skorları Grafik 1 ve Grafik 2 ile gösterilmektedir.



Grafik 1. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Toplam Etkinliği (CCR-0-2021)

Grafik 1’de 2021 dönemine ait toplam etkinlik skorları gösterilmektedir. Buna göre analiz döneminde etkin üretim çizgisi üzerinde bulunan enerji kaynakları sırasıyla jeotermal, HES ve GES yatırımları analiz döneminde toplam etkin olmuştur. Diğer taraftan biyokütle ve RES yatırımları etkin olamamıştır. Toplam etkinsiz olan yenilenebilir enerji kaynaklarından her ikisi de etkin üretim çizgisine çok yakın yerde faaliyette bulunmaktadır.



Grafik 2. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Teknik Etkinliği (BCC-0-2021)

Çalışmada BCC-O modeline göre çıktı odaklı belirlenen teknik etkinlik ölçümlerinin gösterildiği Grafik 2’de jeotermal, HES, RES ve GES kaynaklarının etkin yatırım sağladığı görülmektedir. Diğer yandan hesaplamalar biyokütlenin “1” skorunun çok az altında kalarak etkinsiz olduğunu ortaya koymuştur. Grafik 2’de teknik etkinlikte en birinci sırada jeotermal olduğu görülmektedir. Grafik 1 ve Grafik 2’ye göre Türkiye’de jeotermal enerji kaynağı yatırımları hem toplam hem de teknik etkinlikte en verimli olarak ölçülmüştür.

Tablo 2. BCC-O Modeline Göre Potansiyel İyileştirme (Pİ) Oranı ve Ölçek Yapısı

KVB	KGO			EEÜ			Ölçek Türü
	Veri	Hedef	Pİ (%)	Veri	Hedef	Pİ (%)	
JEOTERMAL	1,68	1,68	0	10793	10793	0	Sabit
HES	32	32	0	55927	55927	0	Sabit
RES	10,63	10,63	0	31437	31437	0	Azalan
BİYOKÜTLE	2,04	2,04506	0,248	7799	11336,3	45,356	Sabit
GES	7,83	7,83	0	13943	13943	0	Sabit

Çıktı odaklı modelde etkinsiz olan her bir KVB için çıktıları artıracak Pİ oranları hesaplanmaktadır. Tablo 2'ye göre görece teknik etkin hesaplanan jeotermal, HES, GES ve RES için Pİ değeri "0" olarak görünmektedir. Biyokütlede ise KGO çıktısı için ortalama %0,2, EEÜ çıktısında ise ortalama %45 oranında Pİ değeri hesaplanmıştır. Buna göre biyokütle enerji kaynağında yatırım etkinliğini artırmak için özellikle elektrik enerji üretim payının %45 oranında artırılması gerektiği anlaşılmaktadır. Tablo 2 yenilenebilir enerji kaynaklarının ölçek yapısı hakkında da bilgi vermektedir. Ölçek türüne göre jeotermal, HES, biyokütle ve GES sabit ölçekte üretim gerçekleştirirken, RES azalan ölçekte üretim gerçekleştirmektedir.

4. Sonuç

Toplumun gelişmesi ve kalkınmasında önemli bir yere sahip olan enerji son dönemde yenilenebilir kaynakların öneminin daha da artmasıyla devletlerarası ilişkilerin öncelikli konuları arasına girmiştir. Planlı kalkınmanın temelinde yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynakların kullanımına yönelik yapılan yatırımlar ekonomik büyüme ve toplumsal refahın artışında ayrıcalıklı bir yere sahiptir. Bu kapsamda yenilenebilir enerji yatırımlarının verimliliğine yönelik yapılan araştırmalar ülkelerin başta enerjide dışa bağımlılığını azaltma ve diğer çevre-enerji politika reformlarının oluşturulmasında karar alma mekanizmalarına temel oluşturmaktadır. Bu çerçevede yapılan bu çalışma, Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları yatırım verimliliğinin etkinliğini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırmada sunulan yenilenebilir enerji kaynakları yatırım etkinliği sonuçlarının bundan sonraki enerji politikalarına yol gösterici olabilir.

Çalışma beş farklı yenilenebilir enerji kaynağını (jeotermal enerji, hidroelektrik enerji-HES, rüzgâr enerjisi-RES, biyokütle enerjisi ve güneş enerjisi-GES) kapsamaktadır. Bu nedenle araştırma KVB'leri bu beş kaynak olarak belirlenmiştir. Araştırma modeli olan CCR-O'da Türkiye'de 2021 yılı verilerine göre yapılan analizde yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal, HES ve GES yatırımları toplam etkin olarak tespit edilmiştir. Modele göre jeotermal enerjisi (%100) görece en etkin KVB olarak tespit edilmiştir. Jeotermal "1" skoru elde eden HES ve GES yatırımları takip etmektedir. CCR modelinde KVB'lerin sabit ölçekte üretim yaptığı varsayılmakta ve tüm KVB'lerin davranışsal modellenmesi bu doğrultuda ele alınmaktadır. Modelin etkinlik sınır çizgisi içbükey fakat kesikli olmadığı ya da düz olduğu için etkin KVB sayısı BCC modeline göre daha az olmaktadır. CCR modeli Türkiye'de jeotermal başta olmak üzere HES ve GES'te toplam etkin olduğunu ortaya koyarken, biyokütle ve RES'te görece etkinsiz üretim gerçekleştirildiği sonucunu ortaya koymuştur. Hesaplamalar biyokütle üretim miktarının

elektrik üretimi ve kurulu güç içerisindeki oranına karşın %43 daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu durum biyokütle için etkinsiz olmasını açıklamaktadır. Diğer yandan görece etkinsiz olan RES için hem kurulu güç içerisindeki oran hem de elektrik enerjisi üretim oranı için %0,9 oranında Pİ öngörülmektedir. Buna göre RES’te, öngörülen Pİ gerçekleştirildiğinde etkin üretim çizgisinde faaliyet gerçekleştirecektir.

Çalışmanın diğer modeli olan BCC-O modeline göre ise yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal, HES, RES ve GES görece teknik etkin olarak saptanmıştır. Buna göre jeotermal, HES, RES ve GES’te analiz döneminde uygun ölçek büyüklüğünde üretim gerçekleştirilmiş ve üretim sürecinde kaynak israfı minimize edilmiştir. Fakat BCC-O modelinde de tıpkı CCR-O modelindeki gibi biyokütle enerjisi görece teknik etkinsiz olarak saptanmıştır.

Biyokütle enerjisi üretiminde kurulu güç içerisindeki oran için %0,2 değerinde Pİ önerilirken, elektrik enerjisi üretimi payında %45,3 oranında Pİ önerilmektedir. BCC-O modelinde de görülmektedir ki biyokütle enerjisi üretiminde üretim miktarının yüksek olmasına karşın elde edilen çıktıların projeksiyona uymaması görece olarak hem toplam hem de teknik etkinsizliğin başlıca nedenini oluşturmaktadır. Diğer yandan CCR-O’da etkinsiz olan RES, BCC-O’da etkin olarak hesaplanmış ancak burada da azalan ölçek türünde belirlenmiştir. Dolayısıyla RES yatırım verimliliğinin etkinlik değerlendirmesinde bu sonucun da dikkate alınması gereklidir.

RES azalan ölçekte üretim gerçekleştirmeye devam ederse bir sonraki dönemde etkin üretim çizgisinden uzaklaşacaktır. Bu durum tıpkı biyokütle enerjisinde olduğu gibi RES üretiminde de uygun olmayan ölçek büyüklüğünün tercih edildiğini ya da atıl kullanılan kaynak miktarının olduğunu ortaya koymaktadır. BCC-O skorunda biyokütle enerjisi için jeotermal ve HES enerjileri referans olarak gösterilmektedir. Buna göre biyokütle enerjisi yatırım verimliliğinin artırılmasında bu iki kaynak (jeotermal ve HES) yatırımı girdi ve çıktıları açısından değerlendirilerek biyokütleyle adapte edilecek politikalar geliştirilmelidir.

Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırımları elektrik enerjisi üretiminde önemli bir kaynaktır. Bu nedenle Türkiye’de 2017’de kabul edilen Milli Enerji Politikası kapsamında yenilenebilir enerji kaynak kullanımının artırılmasına yönelik yapılan yatırım harcamaları artırılmıştır. Bu kaynaklar doğru ve planlı kullanıldığında ülkenin elektrik ihtiyacını ciddi oranda karşılayacak potansiyele sahiptir.

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların çalışma bulguları doğrultusunda düzenlenmesi ile Türkiye’nin elektrik enerjisi

üretiminde dışa bağımlılığından kaynaklanan ekonomik yükümlülükleri kendi ölçeğinde ve görel olarak azaltacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda kamunun yanında özel girişimin de yenilenebilir enerji üretiminde daha fazla yer almasına yönelik plan ve projelerin hayata geçirilmesi gerekmektedir. Yerel yönetimler ve merkez teşkilatların iş birliği ile gerçekleştirilecek projeler kapsamında kamu ve özel finans kurumları aracılığıyla desteklenecek yenilenebilir enerji üretimi projeleri hayata geçirilerek farklı sektörlerin sürece daha fazla dahil edilmesine zemin hazırlanmalıdır. Bu sayede hem yenilenebilir enerji kullanımı hem de talebinin artmasına paralel üretiminin de artırılmasına dönük yeni fikir ve politikalar oluşturulacaktır.

Çalışma sonuçlarına göre Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları yatırım verimliliğini artırmak için öncelikli olarak kaynak temelli yenilenebilir enerji potansiyeli ortaya konulmalıdır. Belirlenen durum ve üretime uygun kaynak tespitine göre ilgili santrallere ait mevcut altyapı durumu belirlenmelidir. Mevcut altyapı yetersizliğine göre yenilenebilir enerji için yeni altyapı projeleri hayata geçirilmelidir. Enerji altyapısı ve şebekelerinin iyileştirilmesi ile enerji piyasasında yenilenebilir enerji üretim verimliliğini artırmaya yönelik yatırım teşviki sağlanmalı. Diğer yandan bir deprem ülkesi olan Türkiye’de kentsel dönüşümün elektrik tüketiminde yenilenebilir enerji adaptasyonlu bina projeleri ile yapılmasına yönelik yapısal düzenlemelerle gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır. Yenilenebilir enerji üretiminde yönelik tüm süreci daha sağlıklı ve hızlı sürdürebilmek için merkezi otorite ile yerel yönetimler arasında bürokratik engelleri azaltarak sıkı diyalog ve iş birliğini artıracak yasal zemin oluşturulmalıdır.

Bu araştırma Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırım verimliliğinin etkinliğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmanın Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının yatırım verimliliğine yönelik etkinlik araştırmasının literatürde yer alan bir boşluğu doldurduğu ve bu yönüyle araştırmanın ileride farklı değişkenlerle ve daha geniş çaplı yılları kapsayarak yapılacak çalışmalara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Adolphson, D. L., Cornia, G. C., & Walters, L. C. (1989). Railroad property valuation using data envelopment analysis. *Interfaces*, 19(3), 18-26.
- Ayadi, O. F., Adebayo, A. O., & Omolehinwa, E. (2012). Bank Performance Measurement in a Developing Economy: An Application of Data Envelopment Analysis. *Managerial Finance*, 24(7), 4-17.
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092.
- Banker, R. D., Cooper, W. W., Seiford, L. M., Thrall, R. M., & Zhu, J. (2004). Returns to scale in different DEA models. *European Journal of Operational Research*, 154(2), 345-362.
- Bozkurt, A. U. (2008). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi* (Doctoral dissertation, DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü).
- Chen, T. Y., Chen, C. B., & Peng, S. Y. (2008). Firm Operation Performance Analysis Using Data Envelopment Analysis And Balanced Scorecard: A Case Study Of a Credit Cooperative Bank. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 57(7), 523-539. <https://doi.org/10.1108/17410400810904010>
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text With Models, Applications, References and DEA-Solve Software. In *Controlling* (Second, Vol. 17, Issue 10). By Springer Science+Business Media, LLC. <https://doi.org/10.15358/0935-0381-2005-10-565>
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2011). Data envelopment analysis: History, models, and interpretations. In Handbook on data envelopment analysis (pp. 1-39). *Springer, Boston, MA*.
- Emeksiz, C., & Fındık, M. M. (2021). Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ölçeğinde Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 155-164.
- Emrouznejad, A., & Yang, G. liang. (2017). A Survey and Analysis Of The First 40 Years of Scholarly Literature in DEA: 1978-2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 51, 4-8. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>
- Klimberg, R. K., Lawrence, K. D., Yermish, I., Lai, T., & Mrazik, D. (2009). Using Regression and Data Envelopment Analysis (DEA) to Forecast Bank Performance Over time. In *Financial Modeling Applications and Data Envelopment Application, Application of Management Science* (Vol. 13). Elsevier. [https://doi.org/10.1108/S0276-8976\(2009\)0000013010](https://doi.org/10.1108/S0276-8976(2009)0000013010)
- Liu, Z., Xu, J., Wei, Y., Hatab, A. A., & Lan, J. (2021). Nexus between green financing, renewable energy generation, and energy efficiency: empirical

- insights through DEA technique. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14.
- Mohd Chachuli, F. S., Ahmad Ludin, N., Mat, S., & Sopian, K. (2020). Renewable energy performance evaluation studies using the data envelopment analysis (DEA): A systematic review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 12(6).
- Ramanathan, R. (2007). Performance Of Banks in Countries Of The Gulf Cooperation Council. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 56(2), 137–154. <https://doi.org/10.1108/17410400710722635>
- Rangan, N., Grabowski, R., Aly, H. Y., & Pasurka, C. (1988). The Technical Efficiency of US Banks. *Economics Letters*, 28(2), 169–175. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(88\)90109-7](https://doi.org/10.1016/0165-1765(88)90109-7)
- Rodríguez-Lozano, G., & Cifuentes-Yate, M. (2021). Efficiency assessment of electricity generation from renewable and non-renewable energy sources using Data Envelopment Analysis. *International Journal of Energy Research*, 45(13), 19597-19610.
- San Cristóbal, J. R. (2011). A multi criteria data envelopment analysis model to evaluate the efficiency of the Renewable Energy technologies. *Renewable Energy*, 36(10), 2742-2746.
- Seydioğulları, H. S. (2013). Sürdürülebilir kalkınma için yenilenebilir enerji. *Planlama Dergisi*, 23(1), 19-25.
- Seyhan, N., & Seyhan, B. (2022). Yenilenebilir Enerji-Ekonomik Büyüme İlişkisi Açısından Türkiye ve AB Ülkelerinin Malmquist Endeksi ile Performans İncelemesi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 11(2), 1022-1044.
- Sözen, A., Alp, I., & Özdemir, A. (2010). Assessment of operational and environmental performance of the thermal power plants in Turkey by using data envelopment analysis. *Energy Policy*, 38(10), 6194-6203.
- Şimşek, N. (2011). Türkiye'nin Çevresel Enerji Etkinliği ve Toplam Faktör Verimliliği: Karşılaştırmalı Bir Analiz. *Ege Akademik Bakış*, 11(3), 379-396.
- URL1. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle>
- URL2. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>
- URL3. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik>
- URL4. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-jeotermal>
- URL5. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar>
- Wang, C. N., Dang, T. T., Tibo, H., & Duong, D. H. (2021). Assessing renewable energy production capabilities using DEA window and fuzzy TOPSIS model. *Symmetry*, 13(2), 334.

- Yenioglu, Z. A., & Vildan, A. T. E. Ş. (2019). Yenilenebilir enerji kullanımındaki göreceli etkinliklerin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi: Türkiye ve bazı Avrupa ülkeleri örneği. *Politeknik Dergisi*, 22(4), 863-869.
- Yolalan, R. (1993). *İşletmelerarası göreceli etkinlik ölçümü*. Millî Prodüktivite Merkezi Yayınları:483.
- Zhao, J., Patwary, A. K., Qayyum, A., Alharthi, M., Bashir, F., Mohsin, M., ... & Abbas, Q. (2022). The determinants of renewable energy sources for the fueling of green and sustainable economy. *Energy*, 238, 122029.