

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ VERİ ZARFLAMA ANALİZİ VE STOKASTİK
SINIR ANALİZİ İLE ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seda ELMAS

**EKİM 2022
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ VERİ ZARFLAMA ANALİZİ VE
STOKASTİK SINIR ANALİZİ İLE ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ**

Seda ELMAS

ORCID : - - -

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"ENDÜSTRİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 / 09 / 2022

Tezin Savunma Tarihi : 17 / 10 / 2022

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN
ORCID : - - -

Trabzon 2022

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Türkiye ve diğer Avrupa ülkelerinin yenilenebilir enerji etkinlik analizinin yapılmasıyla birlikte bu ülkelerin yenilenebilir enerjiyi ne kadar verimli kullanabildikleri hakkında bilgi edinmek amaçlanmıştır.

Tezimin hazırlanması sürecinde tecrübesiyle birlikte beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN'e, tezimin uygulama aşamasında yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul AYYILDIZ'a, maddi ve manevi katkılarıyla her zaman yanımda olan sevgili anneme, babama ve kardeşlerime teşekkür ederim.

Seda ELMAS

Trabzon 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Veri Zarflama Analizi ve Stokastik Sınır Analizi ile Etkinlik Ölçümü” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/10/2022

Seda ELMAS

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Enerji Kaynakları	2
1.2.1. Birincil Enerji Kaynakları	3
1.2.2. İkincil Enerji Kaynakları	3
1.2.3. Yenilenemez Enerji Kaynakları.....	4
1.2.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	5
1.3. Yenilenebilir Enerji Kavramı	5
1.3.1. Güneş Enerjisi	7
1.3.2. Rüzgâr Enerjisi	10
1.3.3. Jeotermal Enerji.....	12
1.3.4. Hidroelektrik Enerjisi	13
1.3.5. Biyokütle Enerjisi	15
1.3.6. Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynakları	17
1.4. Türkiye’deki ve Avrupa’daki Yenilenebilir Enerji	19
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	23
3. KULLANILAN YÖNTEMLER	32
3.1. Veri Zarflama Analizi	32
3.1.1. Veri Zarflama Analizi’nin Temel Özellikleri ve Uygulama Alanı.....	32
3.1.2. Veri Zarflama Analizi Uygulama Süreci	33
3.1.3. Kullanılan Veri Zarflama Analizi Modelleri	37
3.2. Süper Etkinlik Veri Zarflama Analizi	44
3.3. Stokastik Sınır Analizi	48

3.3.1. Stokastik Sınır Analizi'nin Özellikleri	48
3.3.2. Stokastik Üretim Sınır Fonksiyonu	49
3.3.3. Parametreleri Tahmin Etme	51
3.3.4. Teknik Etkinliğin Tahmini	53
3.3.5. Hipotez Testleri	54
3.3.6. Stokastik Sınır Analizi ile Veri Zarflama Analizi'nin Kıyaslanması	56
4. UYGULAMA, BULGULAR VE TARTIŞMA	58
4.1. Girdi ve Çıktıların Belirlenmesi	58
4.2. Korelasyon Analizi Sonuçları	65
4.2. Veri Zarflama Analizi Sonuçları	67
4.3. Süper Etkinlik Veri Zarflama Analizi Sonuçları	75
4.4. Stokastik Sınır Analizi Sonuçları	80
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	85
6. KAYNAKLAR	88
7. EKLER	94
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans

ÖZET

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ VERİ ZARFLAMA ANALİZİ VE STOKASTİK SINIR ANALİZİ İLE ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ

Seda ELMAS

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN
2022, 93 Sayfa, 3 Sayfa Ek

Bu çalışmada, Türkiye'nin ve diğer Avrupa ülkelerinin yenilenebilir enerji kaynaklarının Veri Zarflama Analizi (VZA) ve Stokastik Sınır Analizi (SSA) yardımıyla etkinlik ölçümü yapılmıştır. Bu iki yöntem temelde birbirinden farklı olsa da etkinlik analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. VZA ile karar birimleri arasında net bir sıralama yapılamadığından çalışmaya Süper Etkinlik Veri Zarflama Analizi (SE-VZA) de dâhil edilmiştir. Girdi olarak yenilenebilir enerji tüketiminin birincil enerji tüketimindeki payı, birincil enerji tüketimi ve karbondioksit (CO₂) emisyonları; çıktı olarak ise yenilenebilir enerji üretimi ve Gayri Safi Yurt İçi Hâsıla (GSYİH) kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Girdi ve çıktı değişkenleri için 2018, 2019, 2020 ve 2021 yıllarını kapsayan veriler Dünya Bankası ve British Petrol (BP)'ün son yıllarda yayınladıkları raporlardan alınmıştır. 2018-2019 yılları için pandemi öncesi ve 2020-2021 yılları için pandemi süreci olmak üzere 20 Karar Verme Birimi (KVB) için yenilenebilir enerji kaynaklarının etkinlik analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda KVB'lerin yenilenebilir enerji durumları ve pandeminin yenilenebilir enerji üretimini etkileyip etkilemediği hakkında yorumlar yapılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik etkinlik analizi için VZA, SE-VZA ve SSA olarak birbirinden farklı 3 yöntem kullanılarak literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Etkinlik Analizi, Veri Zarflama Analizi, Süper Etkinlik Analizi, Stokastik Sınır Analizi.

Master Thesis

SUMMARY

EFFICIENCY MEASUREMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES WITH DATA ENVELOPEMENT ANALYSIS AND STOCHASTIC BOUNDARY ANALYSIS

Seda ELMAS

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN
2022, 93 Pages, 3 Pages Appendix

In this study, efficiency measurement of renewable energy sources of Turkey and other European countries was made with the help of Data Envelopment Analysis (DEA) and Stochastic Boundary Analysis (SSA). Although these two methods are fundamentally different from each other, they are frequently used in efficiency analysis. Super Efficiency Data Envelopment Analysis (SE-DEA) was also included in the study because a clear ranking could not be made between DEA and decision units. The share of renewable energy consumption as input in primary energy consumption, primary energy consumption and CO₂ emissions; A model was created by using renewable energy production and Gross Domestic Product (GDP) as output. The data covering the years 2018, 2019, 2020 and 2021 for the input and output variables are taken from the reports published by the World Bank and British Petroleum in recent years. Efficiency analysis of renewable energy sources was conducted for 20 Decision-Making Units (DMU) for 2018-2019, pre-pandemic, and 2020-2021, pandemic process. As a result of the analysis, comments were made about the renewable energy status of DMUs and whether the pandemic affected renewable energy production. It is aimed to contribute to the literature by using 3 different methods as DEA, SE-DEA and SSA for the efficiency analysis for the use of renewable energy sources.

Keywords: Renewable Energy Sources, Efficiency Analysis, Data Envelopment Analysis, Super Efficiency Analysis, Stochastic Boundary Analysis.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	3
Şekil 2. Dünya'daki enerji ihtiyacının ve fosil yakıt üretiminin gelecekteki durumu.....	6
Şekil 3. Türkiye'nin ortalama güneş enerji potansiyeli.....	8
Şekil 4. Fotovoltaik güneş panelleri	9
Şekil 5. Rüzgâr türbini.....	11
Şekil 6. Jeotermal enerji santrali.....	12
Şekil 7. Hidroelektrik santrali.....	14
Şekil 8. Biyokütle enerjisi	16
Şekil 9. Hidrojen enerji sistemi	18
Şekil 10. Türkiye'nin 2021 yılı birincil kaynak bazında brüt elektrik üretimi.....	19
Şekil 11. 2021 yılı Avrupa'daki birincil kaynak bazında enerji tüketimi (EJ).....	21
Şekil 12. Stokastik üretim sınırı	50
Şekil 13. VZA için 2021 yılına ait veri metni	68
Şekil 14. VZA için 2021 yılına ait talimat metni	68
Şekil 15. SSA için talimat metni	80

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Türkiye’de yenilenebilir enerjinin kurulu güç gelişimi (MW)	20
Tablo 2. Türkiye’de yenilenebilir enerji ile elektrik üretimindeki gelişim (MW)	20
Tablo 3. Avrupa’da yenilenebilir enerji durumu (TWh)	22
Tablo 4. Geçmiş çalışmalarda kullanılan girdi-çıkı değişkenleri	58
Tablo 5. Girdi ve çıktıların açıklaması.	60
Tablo 6. 2018 yılına ait veriler	62
Tablo 7. 2019 yılına ait veriler	63
Tablo 8. 2020 yılına ait veriler.	64
Tablo 9. 2021 yılına ait veriler.	65
Tablo 10. Korelasyon analizi.....	66
Tablo 11. Çıktı aylaklarının özeti	69
Tablo 12. Girdi aylaklarının özeti.....	69
Tablo 13. Referans kümesi, referans ağırlık kümesi ve referans gösterilme sayısı.....	70
Tablo 14. Çıktı hedeflerinin özeti.....	71
Tablo 15. Girdi hedeflerinin özeti	72
Tablo 16. 1. KVB’nin analiz sonucu	73
Tablo 17. 2. KVB’nin analiz sonucu	73
Tablo 18. VZA sonuçları	74
Tablo 19. VZA sonuçları için Paired-Samples t testi	75
Tablo 20. EMS program sonucu.....	76
Tablo 21. EMS program sonucuna göre değişkenlerdeki fazlalık değerler	77
Tablo 22. EMS program sonucuna göre değişkenlerdeki eksik değerler	78
Tablo 23. SE-VZA sonuçları	79
Tablo 24. SE-VZA sonuçları için Paired-Samples t testi	79
Tablo 25. SSA katsayı tablosu.....	81
Tablo 26. SSA sonuçları	83
Tablo 27. SSA sonuçları için Paired-Samples t testi	84
Tablo 28. Sonuçların genel sıralaması.....	86

SEMBOLLER DİZİNİ

Semboller	Açıklamalar
a_j	: Teknik etkinsizlik hata terimi
b_j	: Rassal hata terimi
C_{jk}	: Çıktı odaklı modellerde k . KVB'nin j . KVB'ye göre aldığı ağırlık
f_{ik}^-	: k . KVB'nin i . girdisine ait aylak değişken
f_{rk}^+	: k . KVB'nin r . çıktısına ait aylak değişken
G_{jk}	: Girdi odaklı modellerde k . KVB'nin j . KVB'ye göre aldığı ağırlık
k	: Etkinliği ölçülen KVB
m	: Girdi sayısı
n	: KVB sayısı
N_{jk}	: k . KVB'nin j . KVB'ye göre kesirli programlama formülasyonu
s	: Çıktı sayısı
u_{rk}	: k . KVB tarafından r . çıktıya verilen ağırlık
u_k, v_k	: Ölçek faktörleri
v_{ik}	: k . KVB tarafında i . girdiye verilen ağırlık
W_{jk}	: k . KVB'nin j . KVB'ye göre aldığı ağırlık değeri
x_{ij}	: j . KVB tarafından kullanılan i . girdi
x_{ik}	: k . KVB tarafından kullanılan i . girdi
x_{jt}	: j . birimin t . zaman için logaritmik girdisi
y_{jt}	: j . birimin t . zaman için logaritmik çıktısı
y_{rj}	: j . KVB tarafından üretilen r . çıktı
y_{rk}	: k . KVB tarafından üretilen r . çıktı
β_i	: Parametre
ε	: Pozitif çok küçük bir değer
θ_k	: Girdi odaklı modellerde k . KVB'nin etkinlik değeri
φ_k	: Çıktı odaklı modellerde k . KVB'nin etkinlik değeri

Kısaltmalar	Açıklamalar
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi

ARIMA	: Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama
BCC	: Barnes, Charnes, Cooper
BP	: British Petrol
BRICS	: Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika Cumhuriyeti
CCR	: Charnes, Cooper, Rhodes
CO ₂	: Karbondioksit
CRS	: Ölçeğe Göre Sabit Getiri
DRS	: Ölçeğe Göre Azalan Getiri
EJ	: Exajoule
HTEA	: Hata Türleri ve Etkileri Analizi
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hâsıla
GW	: Gigawatt
HES	: Hidroelektrik Santrali
IRS	: Ölçeğe Göre Artan Getiri
İSO	: İstanbul Sanayi Odası
KVB	: Karar Verme Birimi
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
LR	: Tek Yanlı Olabilirlik Oranı
MW	: Megawatt
NO, NO ₂	: Azot Monoksit, Azot Dioksit
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OEKM	: Olağan En Küçük Meydan
PV	: Fotovoltaik
SBM	: Gevşek Tabanlı Ölçüm
SE	: Süper Etkinlik
SSA	: Stokastik Sınır Analizi
SO ₂	: Sülfür Dioksit
TOPSİS	: İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği
TSKB	: Türkiye Sınaî Kalkınma Bankası
TWh	: Terawatt Saat
VZA	: Veri Zarflama Analizi
VZAHP	: Veri Zarflama Analitik Hiyerarşi Prosesi
YSA	: Yapay Sinir Ağları

1.GENEL BİLGİLER

1.1.Giriş

Hızlı nüfus artışı ve teknolojinin gelişmesiyle gün geçtikçe enerjiye olan ihtiyaç her alanda artmakta fakat kısıtlı kaynaklarla bu enerji ihtiyacı karşılanamaz hale gelmektedir. Bu nedenle, çevre dostu ve temiz olan yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanabilmek günümüzde önemli bir konu haline gelmiştir. Enerjiye olan ihtiyacın artmasıyla ülkeler dışa bağımlılığını azaltmak amacıyla kendi enerjilerini üretmelerine yönelik teşvikleri de gittikçe arttırmaktadır. Günümüzde, ülkelerinin yenilenebilir enerjiyi daha verimli bir şekilde kullanabilmeleri için birçok çalışma başlatılmıştır.

Kendi kaynaklarını kullanarak ihtiyacı olan enerjiyi karşılayabilen ülkeler ekonomik açıdan gelişmiş ülkelerdir. Ülkelerin kendi enerjisini üretebilmesi dışa bağımlılığı azaltır ve ekonomik açıdan gelişme sağlar.

Günümüzde, ülkelerin ihtiyaç duyduğu enerjiyi düşük maliyetlerle karşılaması o ülkeye rekabet avantajı sağlamaktadır. Bu durum, ülkeleri fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması ve yüksek maliyet gerektirmesi nedeniyle alternatif enerji kaynaklarına yani yenilenebilir enerjiye yönlendirmektedir. Yenilenebilir enerji hem çevreye zarar vermemesi hem de uygun fiyatlar nedeniyle vazgeçilmez bir alternatif enerji kaynağı haline gelmiştir. Türkiye’de de yenilenebilir enerji kullanımı giderek yaygınlaşmakta fakat enerji ihtiyacının büyük bir bölümü yine de yenilenemeyen enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (Aydın Yenioğlu ve Ateş, 2018).

Fosil yakıt kaynaklı enerji üretiminin çevreye verdiği büyük zararlar artan kamuoyu bilinci ile herkes tarafından bilinmektedir. Bu durum, temiz enerji sağlayan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi artmıştır. Bazı ülke yönetimleri tarafından üretilen enerjinin alım garantisi ve vergi indirimi gibi yasal düzenlemelerle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları kendilerini yenileyebildikleri için tükenmeleri söz konusu değildir. Kaynakların verimli kullanılması için etkinliklerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi son zamanlarda önemli bir konu haline gelmiştir. Çünkü bu kaynaklardan enerji elde etmek bazı durumlarda maliyetli olabilmektedir (Aydın Yenioğlu ve Ateş, 2018).

Son zamanlarda enerji kaynaklarının verimli ve etkin kullanımını değerlendirmek amacıyla farklı yöntemler kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Etkinlik ölçümünde kullanılan yöntemlerin başında VZA ve SSA gelmektedir. VZA doğrusal programlama tabanlı bir yöntem iken, SSA ekonometrik bir yöntemdir ve iki yöntem de etkinlik analizinde başarıyla uygulanmaktadır.

Bu çalışmada VZA, SE-VZA ve SSA yöntemleri kullanılarak Türkiye'nin ve diğer Avrupa ülkelerinin yenilenebilir enerji etkinliği incelenmiştir. Türkiye'nin ve diğer ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarını ne derecede etkin kullanabildiği analiz edilmiş ve 3 yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizde 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılı için British Petrol ve Dünya Bankası'ndan alınan veriler kullanılmıştır. 2020'de pandemi sürecinin başlaması nedeniyle yapılan uygulamada sonuçlar pandemi öncesi ve pandemi süreci şeklinde yorumlanmıştır. Böylece, pandemi sürecinin de yenilenebilir enerji verimliliğine olan etkisi göz önüne alınmıştır.

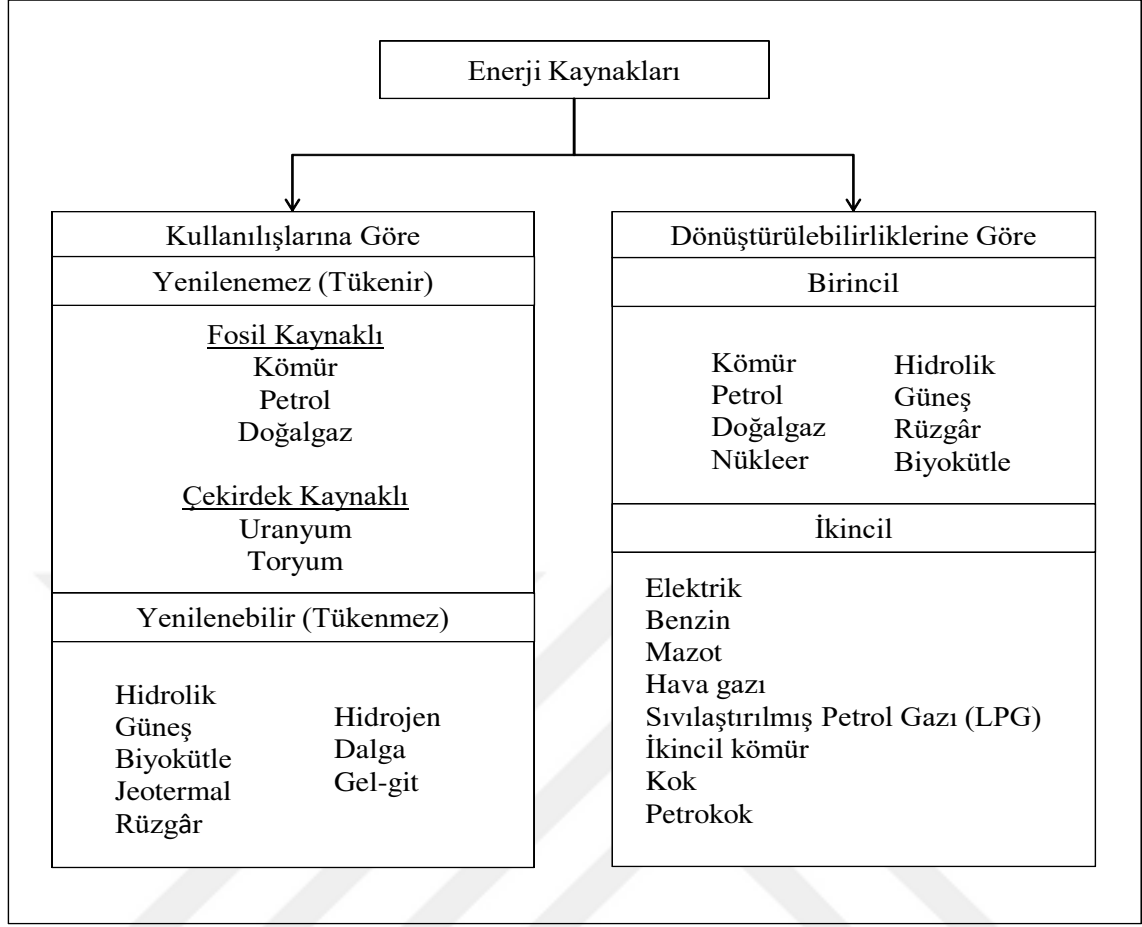
Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, konuyla ilgili kısa bir girişten sonra yenilenebilir enerji kaynaklarından bahsedilmiştir. İkinci bölümde, yapılan literatür araştırması mevcuttur. Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan yöntemler olan VZA, SE-VZA ve SSA hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, çalışmanın genel yapısı anlatılarak uygulama yapılmış ve elde edilen bulgular tartışılmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

1.2. Enerji Kaynakları

Bir işi gerçekleştirebilme kabiliyeti enerji olarak tanımlanır ve enerji hayatın önemli bir parçasıdır. Somut olarak incelendiği zaman ise insanlığın daha iyi yaşam şartlarına sahip olabilmesi için vazgeçilmezdir. Bir maddenin yakılması sonucu açığa çıkan ısı miktarı da enerji olarak tanımlanır (Ordu, 2021).

Enerji kaynaklarını, doğadaki kullanışlarına ve dönüştürülebilirliklerine göre ikiye ayırmak mümkündür. Kullanış yapılarına göre enerji kaynakları; yenilenemeyen (fosil) enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları, dönüştürülebilme şekillerine göre ise; birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde ayrılmaktadır (Ordu, 2021).

Şekil 1'de enerji kaynaklarının sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Kaya, 2017).

1.2.1. Birincil Enerji Kaynakları

Birincil enerji kaynakları, doğada bulundukları formu değiştirmeden kullanılabilen kaynaklardır. Doğal gaz, petrol, kömür, nükleer enerji, hidrolik, güneş, biyokütle, dalga-gelgit ve rüzgâr birincil enerji kaynaklarına örnek verilebilir. Birincil enerji kaynakları hem yenilenebilir hem de yenilenemez enerji kaynaklarından bazılarını içermektedir (Kaya, 2017).

1.2.2. İkincil Enerji Kaynakları

Birincil enerji kaynaklarının bazı işlemlere tabi tutulmasıyla ikincil enerji kaynakları elde edilmektedir. Elektrik, benzin, mazot, ikincil kömür, kok, petrokok, sıvılaştırılmış

petrol gazı (LPG) ve hava gazı ikincil enerji kaynaklarıdır. Elektrik enerjisi en önemli ve en çok kullanılan ikincil enerji kaynağıdır (Kaya, 2017).

1.2.3. Yenilenemez Enerji Kaynakları

Yenilenemez enerji kaynakları sınıfında yer alan fosil kaynakların sabit miktarda rezervleri olduğu için kullanıldığında yerine konulamayan kaynaklar olarak tanımlanmaktadır (Ordu, 2021). Yenilenemez enerji kaynakları doğalgaz, petrol, kömür gibi fosil kaynaklar ve nükleer enerjiden oluşmaktadır (Kaya, 2017).

- Petrol, yeraltına çöken bitki ve hayvan kalıntılarının başkalaşım geçirmesiyle meydana gelmektedir. Milyonlarca yıl süren yoğun basınç ve ısı sonucu oluşan ve yakıtı dönüştürülebilen doğal bir sıvıdır. Petrol, işlenmesi ve çıkarılmasının kolay olması nedeniyle endüstride sıkça tercih edilmektedir (Ordu, 2021).
- Doğalgaz, yeraltındaki bitki ve hayvan fosillerinden oluşmaktadır ve bu oluşum milyonlarca yıl sürmektedir. Doğalgaz, yanıcı, yenilenemeyen, kokusuz ve toksik olmayan hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Doğaya en az zarar veren yenilenemez enerjinin doğalgaz olması nedeniyle günümüzde daha çok tercih edilmektedir (Ordu, 2021).
- Kömür, milyonlarca yıl boyunca yer altındaki bitki kalıntılarının yüksek derecede ısı ve basınca maruz kalması sonucu oluşmaktadır. Kömür, kömürleşme süreci denilen fiziksel ve kimyasal olaylar sonucu meydana gelen yanıcı bir kayadır. Çeşitli alanlarda ve elektrik üretiminde girdi olarak kullanılmaktadır (Ordu, 2021).
- Nükleer enerji, bir atomun merkezinde bulunan ve onu bir arada tutan bağlanma enerjisinden oluşmaktadır. Atom çekirdeğinde çok yüksek miktarda enerji barındırmaktadır. Atomun çekirdeğindeki kimyasal tepkimeler sonucu oluşan enerjiye fisyon, atom çekirdeklerinin birleşmesinin sonucu oluşan enerjiye füzyon denilmektedir. Fisyon ve füzyon olayları sonucunda nükleer enerji elde edilmektedir. Atom çekirdeklerinin nükleer santrallerde ısı enerjisine dönüştürülmesiyle elektrik enerjisi elde edilmektedir (Ordu, 2021).

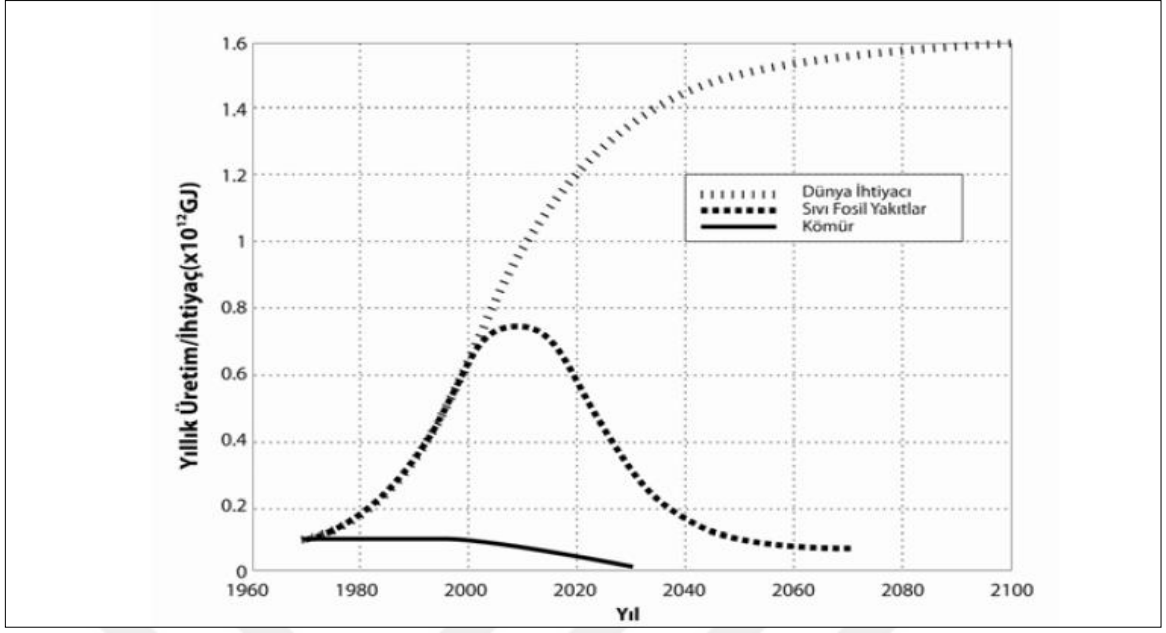
1.2.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik enerjisi üretirken daha az miktarda CO₂ salınımı yapan, çevreye olan zararı diğer enerji kaynaklarına göre çok daha az miktarda olan, tekrar tekrar kullanılabilen ve doğada hazır olarak bulunan enerji kaynaklarıdır. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, hidrojen ve deniz-dalga enerjisidir (Kaya, 2017).

1.3. Yenilenebilir Enerji Kavramı

Yenilenebilir enerji, diğer enerji kaynaklarına göre daha kısa zamanda yenilenen, doğada hazır bulunan ve kolay elde edilebilen bir enerji çeşididir. Yenilenebilir enerjinin çevreyi kirletmiyor ve güvenilir olması yenilenebilir enerji çeşitlerinin her alanda kullanım oranını arttırmıştır. Yenilenebilir enerji, ısıtma, soğutma ve elektrik üretimi gibi birçok alanda üretimde girdi olarak kullanılmaktadır (Ordu, 2021).

Teknolojik gelişmelerin artması ve gelişmiş ülkelerin konumlarını korumak istemeleri nedeniyle yaptıkları yatırımlar enerjideki talep miktarını artırmıştır. Günümüzde fosil yakıtlar artan talebin karşılanması için kullanılan önemli bir enerji kaynağıdır. Fosil yakıtlar yenilenemez enerji kaynakları arasındadır ve zamanla tükenecek olması kaçınılmazdır. Ayrıca fosil yakıt kaynaklı enerjinin kullanılması sonucu açığa çıkan karbon gazları ve diğer zararlı gazların doğaya salınması, sera etkisi oluşturmaları, toprağı ve suyu kirletmesi gibi bazı olumsuz etkileri nedeniyle temiz enerji kaynaklarına yönelim artmıştır (Kınacı, 2017). Şekil 2, fosil yakıtların üretim oranının giderek azalacağını ve dünya talebini karşılayamayacak duruma geleceğini göstermektedir.



Şekil 2. Dünya'daki enerji ihtiyacının ve fosil yakıt üretiminin gelecekteki durumu (Kınacı, 2017).

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil kaynaklı enerji çeşitlerine göre genellikle daha çok işgücü ve sermayeye ihtiyaç duymaktadır. Fakat bunun yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı birçok avantaj sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları; bilimsel ve teknolojik gelişmeye, ekonomik büyümeye, enerji fiyatlarındaki dalgalanmaların en aza indirilmesine, yeni istihdam alanları oluşturmaya, ülkelerin dışa bağımlılığını azaltmaya ve kalkınma hedeflerine ulaşılmasına önemli derecede katkı sağlaması nedeniyle tercih edilmektedir (Ordu, 2021).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sağladığı avantajlar aşağıdaki gibidir;

- Yenilenebilir enerji kaynakları yapıları gereği tükenmeyen ve kısa sürede tekrar üretilen kaynaklardır.
- İklim değişikliğine neden olabilecek bir yapısı yoktur.
- Doğadan kolaylıkla elde edilebildiği için üretim maliyetleri daha düşüktür (Ordu, 2021).
- Yenilenebilir enerji kaynakları doğal ve temiz enerji kaynakları arasında yer almakta ve çevreye hiçbir zararı bulunmamaktadır (Kanbur, 2021).

Dezavantajları ise;

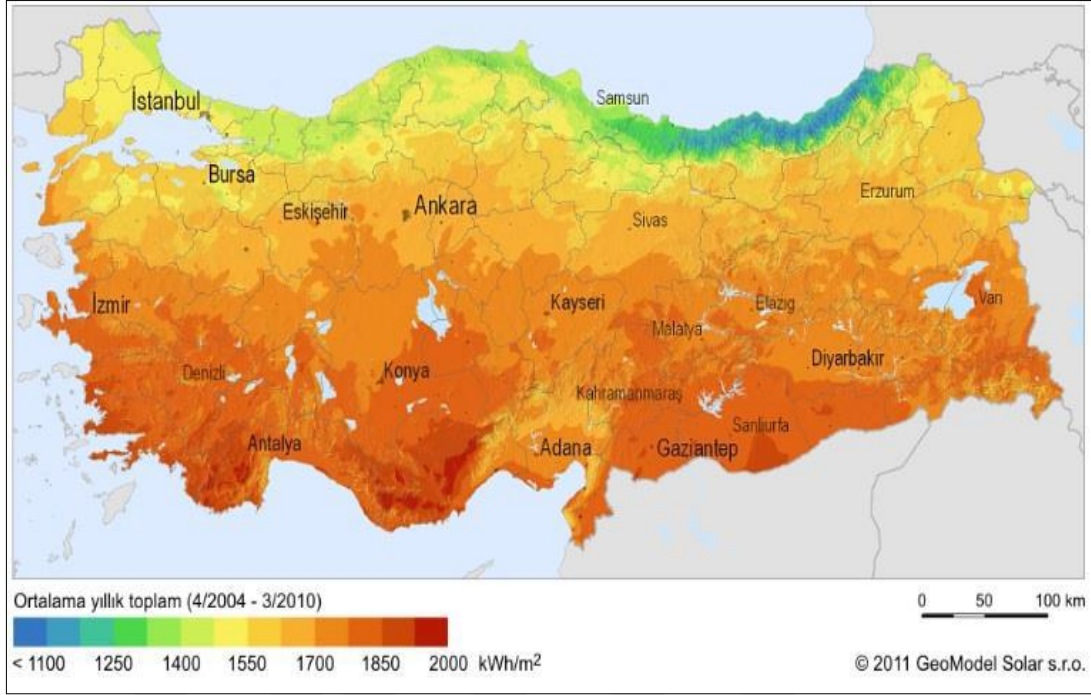
- Fosil kaynaklı enerji çeşitlerinden elde edilen enerji miktarına göre yenilenebilir enerji kaynaklarından daha az miktarda enerji üretimi yapılabilmektedir.
- Bulunduğu bölgenin iklim koşullarına ve coğrafi şartlarına göre elde edilen enerji miktarında bölgelere göre değişimler gözlenmektedir. Yani enerji üretim miktarları her zaman aynı olmamaktadır.
- Yenilenebilir enerji santrallerinin yatırım ve bakım maliyetleri genellikle çok yüksektir. Bu maliyetin kısa sürede amorti edilmesi gerekmektedir (Ordu, 2021).

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerjisi, biyokütle enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları başlıkları altında incelenmiştir.

1.3.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, doğada en çok bulunan, elde edilmesi ve enerjiye dönüştürülmesi en kolay olan yenilenebilir enerji çeşididir.

Güneş ışınlarından doğrudan elde edilen bir enerji çeşididir. Güneş enerjisi, güneşin merkezinde gerçekleşen birçok olay neticesinde ortaya çıkan ısıma enerjisidir. Şekil 3'te Türkiye'nin güneş enerji potansiyeline ilişkin harita yer almaktadır. Ülkemizin güneyi ekvatora yakın olması nedeniyle güneş enerjisi bakımından oldukça iyi bir konumdadır (Kınacı, 2017).



Şekil 3. Türkiye'nin ortalama güneş enerji potansiyeli (Kınacı, 2017)

Güneş enerjisi genel olarak üç alanda kullanılmaktadır. Elektrığe dönüştürülme ve güneş kaynaklı elektrik santrallerinin geliştirilmesinde, ısıtmada (çatılarda güneş ısıtması, suyu ısıtmak, bitkileri kurutmak vb.) ve elektroliz yöntemi ile güneş enerjisinden hidrojen gazı elde edilmesinde kullanılmaktadır (Kaya, 2017).

Güneş enerji teknolojisi ikiye ayrılmaktadır;

Fotovoltaik Güneş Teknolojisi: Fotovoltaik etkiye göre bazı cisimlerin üzerine düşen ışık sayesinde elektronlar harekete geçer ve böylece elektrik alan oluşur. Farklı elektronik özellikteki yarı iletken malzemeden yapılmış ince tabakaların içinden güneş ışınları geçtiğinde alt ve üst tabaka arasında pozitif ve negatif elektrik yüklemesi oluşur. Bunun gibi birbirine bağlanmış güneş pillerinden oluşan düzeneklere fotovoltaik (PV) paneller denir (Gürsoy, 2004). Şekil 4'te fotovoltaik güneş panelleri gösterilmektedir.



Şekil 4. Fotovoltaik güneş panelleri (URL-1, 2022).

Isıl Güneş Teknolojileri: Güneş enerjisi sayesinde elde edilen ısı kullanılarak elektrik enerjisi üretilmekte ya da elde edilen bu ısı doğrudan kullanılabilir (Kaya, 2017).

Güneş enerjisi, en çok kullanılan yenilenebilir kaynağıdır. Güneş enerjisinin birçok avantajı bulunmaktadır. Sınırsız olan bu enerjiden ücretsiz olarak da yararlanılabilmektedir. Kullanım alanları çok fazla, yakıt sorunu yok, işletmesi ve elektrik üretimi basit ve kolaydır. Güneş enerjisi ile çalışan sistemler, gerektiğinde kolayca yer değiştirilebilmekte ve taşınıp istenilen yere kurulabilmektedir. Enerji üretiminde kullanılan güneş panelleri dayanıklı, uzun ömürlü ve güvenilirdir (Kanbur, 2021).

Güneş pillerine bir kez yatırım yapılır ve başka bir masrafı yoktur. Güneş enerjisinden elektrik üretimi, yoğun güneş ışığına maruz kalan çöllerde ve ekvatorial bölgelerde güneş enerjisi daha fazla olduğu için oldukça ekonomik olmaktadır (Kaya, 2017).

Her binanın kendi enerji ihtiyacını karşılamasına imkân verir. Binalar üzerine konumlandırıldığında çevreye etkisi minimumdur ve CO₂ salınımına neden olmaz (Özşahin vd., 2016).

Güneş enerjisi sistemlerinin kullanım ömrü 20 yıldan fazladır ve kötü hava koşullarına karşı dayanıklıdır (Ordu, 2021).

Güneş enerjisinin avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Bunlardan bazıları; sadece gündüzleri enerji üretimi yapılabilmesi, enerji üretiminin kış aylarında düşük olması, hava koşullarına göre üretim miktarının her zaman aynı olmaması, coğrafi

konumu farklı olan bölgelerdeki enerji üretim miktarının değişmesi ve enerji miktarının kontrol edilememesi şeklinde sıralanabilir. Depolanması için çok fazla batarya sistemine ihtiyaç olması nedeniyle depolama güçtür (Kanbur, 2021).

Ayrıca panellerin üretimi CO₂ ve zehirli atık oluşumuna neden olur, yerleştirilmesi maliyetlidir ve paneller geniş alanların kullanımını gerektirir (Özşahin vd., 2016). Güneş pillerinin çevreye bilinçsizce bırakılması çevre kirliliğine neden olmaktadır. Güneş panellerinin sökülüp çıkarılması çok kolay olduğu için çalınma riskleri de yüksektir (Ordu,2021).

1.3.2. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, güneşin doğuşu ve batışıyla birlikte karaların ve denizlerin ısınıp soğumasıyla meydana gelmektedir. Hareket halinde olan havanın kinetik enerjisi rüzgâr enerjisini oluşturmaktadır. Rüzgâr enerjisi temiz, doğal, çevre kirliliğine neden olmayan ve kısa sürede elektrik enerjisine dönüştürülebilen bir enerji kaynağıdır (Ataman, 2007).

Büyük kulelerin üzerine takılan kanatlar sayesinde rüzgârdan elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu kanatlar kendi etrafında dönmekte ve herhangi bir kötü hava şartında kendini durdurabilmektedir. Rüzgârdan yüksek miktarda enerji elde edebilmek için türbinlerin rüzgâr hızının sabit olduğu yerlerde kurulması gerekmektedir (Ataman, 2007). Şekil 5'te rüzgârdan elektrik enerjisi üretimi sağlayan rüzgâr türbini gösterilmektedir.

Rüzgâr enerjisinin de güneş enerjisi gibi avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Rüzgâr enerjisi atmosferde bol miktarda ve serbest olarak bulunmaktadır. Rüzgâr enerji santrallerinin işletme ve bakım maliyeti düşük, rüzgâr enerji teknolojisinin tesisi ve işletilmesi göreceli şekilde basittir (Kanbur, 2021).



Şekil 5. Rüzgâr türbini (URL-2, 2022).

Yakıt parası ve taşıma masrafları yoktur, periyodik bakımlar yardımıyla 20-30 yıl kullanım ömrü olduğu için işletme maliyeti azdır, türbinlerin hazırlık ve kurulum süresi 3 ay gibi kısa bir süredir (Kaya, 2017). Türbinler otomatik işler, zaman ve emek tasarrufu sağlar (Ordu, 2021). Aynı zamanda elektrik üretiminde su kullanımını azaltması gibi avantajlara sahiptir (Özşahin vd., 2016).

Dezavantajlarına bakıldığında ise rüzgâr santralinin kurulması için çok ciddi ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Rüzgâr hızının bölgelere göre az ya da çok olması istenilen her alana rüzgâr santrali kurulmasını zorlaştırmaktadır. Rüzgâr enerjisi santralleri bölgedeki cep telefonu ve televizyon sinyallerini bozabilmektedir. Rüzgâr türbinleri, göç eden kuş sürülerine zarar vermekte ve türbinlerin oluşturduğu gürültü kirliliği de bulunduğu bölgedeki insanlar üzerinde olumsuz etki bırakmaktadır (Kanbur, 2021). Rüzgâr verimliliği, rüzgâr hızı ile orantılıdır ve her coğrafik bölge için uygun değildir. Santrallerin başlangıç yatırımı ile bakım maliyetleri yüksektir ve santraller geniş bir alan kullanımını gerektirebilir (Özşahin vd., 2016). Bu santrallerin bakımı mühendislik bilgileri gerektirir (Ordu, 2021).

1.3.3. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, sıcak suyun yer kabuğunun altındaki zayıf katmanları geçerek yüzeye ulaşmasıyla elde edilen enerjidir. Bu enerji, çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla tuz, erimiş mineral ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhardan oluşmaktadır. Yeraltına inen yağmur suları ve diğer su kaynakları yeraltındaki sıcak tabakalardan geçerken ısınır ve ısınan su daha sonra tekrar yeryüzüne çıkar. Bu döngüyle jeotermal enerji kolayca yenilenmektedir (Ataman, 2007).

Jeotermal enerjiden 20 ile 40°C arası sıcaklıkta yüzme havuzlarında ve balık çiftliklerinde yararlanılırken, 60 ile 80°C arası sıcaklıkta sera, ahır ve kümes ısıtımında yararlanılmaktadır. Jeotermal enerji 140 ile 160°C arası sıcaklıkta ise balık, kereste ve çiftlik ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır (Kanbur, 2021).

Jeotermal enerji, sondajlar aracılığı ile yerin derinliklerinde olan suyun çıkarılmasıyla doğrudan ya da dolaylı olarak kullanılmaktadır. Jeotermal enerji elektrik santral projelerinde yatırım kararlarının alınabilmesi için proje maliyetinin santralde üretime başladıktan sonra kısa bir süre içinde karşılanabilmesi gerekmektedir (Kanbur, 2021). Şekil 6'da jeotermal enerji santrali gösterilmektedir.



Şekil 6. Jeotermal enerji santrali (URL-3, 2022).

Meteorolojik koşullardan etkilenmemesi, verimliliğinin %95'in üzerinde olması, güvenilir (patlama, yangın, zehirlenme riski yok) olması, çok amaçlı ısıtma uygulamaları için kullanılabilmesi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından çok daha ucuz olması ve minimum alana ihtiyaç duyması gibi birçok avantaja sahiptir. Ayrıca açılan arama kuyuları dönüştürülerek farklı amaçlar için kullanılabilmekte ve uzun tesisat ömrü bulunmaktadır (Kanbur, 2021).

Geliştirilen teknolojilerle düşük sıcaklıkta da elektrik üretimi elde edilebilmektedir. Jeotermal enerji santralleri yerleşim alanlarından uzakta olduğundan gürültü kirliliği yönünden sorun oluşturmamaktadır (Kaya, 2017).

Bunların yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Kazının büyük olması durumunda güçlü sondaj makinelerinin kullanılması, yüksek sıcaklık veya kayaçların çok sert olması maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Jeotermal santraller için yeraltından çekilen su, göçme gibi bazı tehlikelere neden olmakta ve ayrıca deprem riskini de arttırabilmektedir. Açılan kuyulardaki gürültü 120 desibeli aşabilmekte ve bu durum çevrede gürültü kirliliğine neden olmaktadır. Atık sulardaki bazı kimyasallar bitkilerin yaşamlarını olumsuz etkilemektedir (Kanbur, 2021). Su ve hava kirlenmesi, termal kirlilik gibi zararlı etkileri mevcuttur (Kaya, 2017).

Jeotermal enerji kaynaklarının kullanım sürecinde alınması gereken bazı tedbirler vardır ve bu tedbirlerin alınmadığı durumlarda önemli sorunlar oluşmaktadır. Jeotermal enerji santrallerinin jeotermal kaynağa yakın olması gereklidir. Jeotermal enerjinin üretimi sırasında havaya kükürt gazı salınmaktadır. Bu durum sonucu asit yağmurları oluşmakta ve insan sağlığına zarar vermektedir (Ordu, 2021).

Jeotermal kaynaklar yeryüzünde sadece belirli alanlarda bulunmaktadır. Bu kaynakların kullanımını yeraltındaki tehlikeli elementlerin yeryüzüne çıkmasına neden olabilmektedir (zşahin, 2016).

1.3.4. Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en temiz olanlardan biridir. Hidrolik enerji, çok uzun zaman önce kullanılmaya başlanan bir enerji kaynağıdır. Kurulan barajlar hem temiz su hem de temiz enerji ihtiyaını karşılamaktadır (Kanbur, 2021).

Hidroelektrik enerji her yıl yağan yağışlar sayesinde yenilenebilir enerji özelliğini korumaktadır. Su, hidrolik enerjinin temel kaynağıdır. Bu nedenle, hidroelektrik santrallerin (HES) bir su kaynağı üzerinde olma zorunluluğu vardır. Hızlı akan suyun içindeki enerji hidroelektrik santraller sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Suyun çok yüksek bir noktadan düşmesiyle oluşan yüksek miktardaki potansiyel enerji ve büyük nehirlerdeki suyun akış hızından elde edilen enerji elektrik enerjisi olarak kullanılmaktadır (Ataman, 2007).

Hidroelektrik enerjisi sayesinde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin büyük bir miktarı karşılanabilmektedir. HES'lerin su yolu, sulama, su sporları, su kalitesinin kontrolü, su ürünleri üretimi, mesire yeri, istihdam alanı gibi faydaları da bulunmaktadır (Kanbur, 2021). Şekil 7'de üzerine HES kurulan bir baraj gösterilmiştir.



Şekil 7. Hidroelektrik santrali (URL-4, 2022).

Hidroelektrik enerjinin de avantajlı ve dezavantajlı durumları bulunmaktadır.

HES'lerin yakıt gideri bulunmamakta, birim enerji başına düşen maliyet ve bakım giderleri az olmaktadır. Hidroelektrik santraller çevreye zararlı gazlar açığa çıkarmamaktadır. Bu nedenle, temiz ve güvenilir bir enerji kaynağıdır (Kanbur, 2021).

Aynı zamanda enerji üretiminde yıl boyunca dalgalanma görülse de diğer yenilenebilir enerjilere kıyasla daha az oranda değişkenlik görülmektedir. Bu enerjiden elde edilen verimlilik oranı %90'ın üzerindedir ve kullanım ömrü 30 yıldan fazladır (Ordu, 2021). Yapılan santraller akarsuların rejimlerini kontrol altına alma, taşkın zararlarını

önleme, depolanan sulardan içme suyu sağlama ve enerji elde etme gibi amaçlar taşımaktadır (Kaya, 2017).

HES'lerin kurulumu ve işletilmesiyle ilgili bazı dezavantajlar mevcuttur. Büyük su kütlelerinin oluşması nedeniyle toprak kaybı meydana gelebilmektedir. HES'ler su kalitesini olumsuz etkilemekte ve bu durum da suda yaşayan canlılara zarar verebilmektedirler (Kanbur, 2021). Santrallerin genişletilmesi çok zordur ve sistemin bakımı için elektrik sistemleri hakkında üst düzeyde bilgi gerekmektedir (Ordu, 2021).

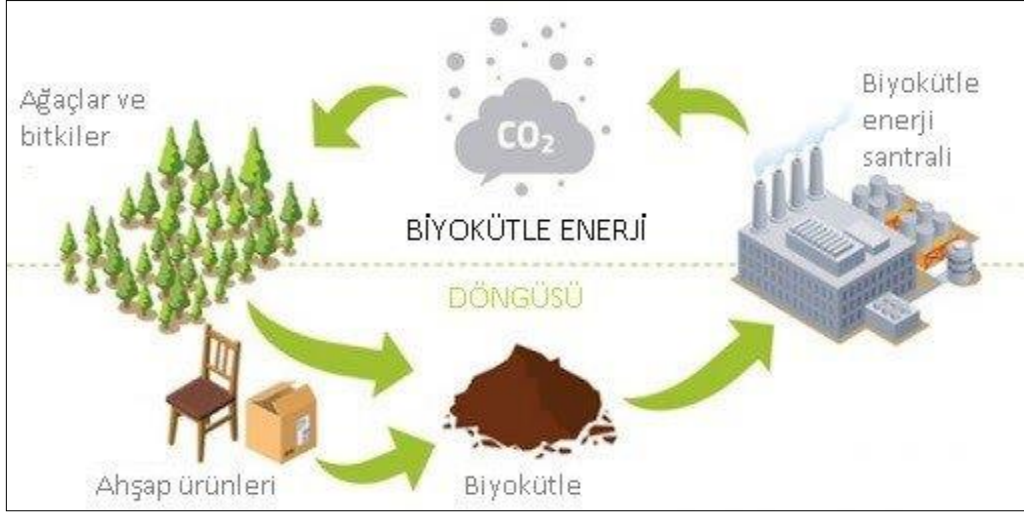
1.3.5. Biyokütle Enerjisi

Odun ve odun kömürü, tarım ürünleri ve organik atıklar, hayvan ve insan dışkısı, alkol ve metan mayalanması, su bitkileri gibi canlı kaynaklar ile elde edilen enerji türüne biyokütle (biomass) enerjisi denir (Ataman, 2007).

Doğada yer alan her bir ağaç, evsel atık, zirai ürün, bitki ve hayvan atıkları biyokütle kaynağı olarak kullanılabilir. Biyokütle, her yerden elde edilebilmekte ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. Fakat biyokütleden elde edilen enerji miktarının kaynağına göre farklılık göstermesi nedeniyle biyokütle enerjisi için daha verimli olan zirai dikimler yapılmaktadır (Kınacı, 2017).

Biyokütle kaynakları arasında, en çok bilinen, en kolay temin edilebilen ve en çok kullanılan orman ürünü odundur. Yeşil bitkilerin fotosentezi sonucu bitkisel biyokütle oluşmaktadır (Kaya, 2017).

Biyodizel, çevre dostu olan biyokütle kaynaklı önemli yakıtlardan biri olarak kullanılmaktadır. Biyokütle kaynaklı yakıtların atmosferin kirlenmesine etkisi az olduğu için çevre dostu ve temiz bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, son zamanlarda dünyada biyokütle ile çalışan termik santraller giderek artmakta ve yaygınlaşmaktadır (Kaya, 2017). Şekil 8'de biyokütle enerjisine ait döngü gösterilmektedir.



Şekil 8. Biyokütle enerjisi (URL-5, 2022).

Biyogaz, organik atıkların sabit bir ısıda oksijensiz ortamda bakteriler tarafından parçalanması sonucu oluşan ısı değeri yüksek yanıcı bir gazdır. Isınma ve aydınlatma gibi amaçlarla kolay bir şekilde kullanılabilen alternatif enerji kaynağıdır (Ataman, 2007).

Biyokütle ile elektrik enerjisi üretiminde termik santrallere benzer bir sistem kullanılır. Organik maddelerin doğrudan yakılarak açığa çıkardığı ısıdan buhar elde edilir. Buharın türbinleri hareket ettirmesi sayesinde jeneratörlerden elektrik üretimi gerçekleşir (Ataman, 2007).

Biyokütle enerjisi kullanıldığında bazı avantajlar ve dezavantajlar ortaya çıkmaktadır. Hayvansal ve bitkisel atıkların dönüştürülerek biyokütle enerjisinin elde edilmesiyle bu atıkların doğaya bırakılması önlenmektedir. Dolayısıyla bu atıkların oluşturacağı çevre kirliliği de engellenmiş olacaktır (Kanbur, 2021).

Biyokütle enerjisi farklı metotlar ile katı, sıvı veya gaz biçimine dönüştürülerek yakıt üretilir ve eğer doğru kullanılırsa emisyonu neden olmaz (Ordu, 2021). Otomobil motorlarının biyokütle yakıtını kullanacak şekilde dönüşümü de rahatlıkla yapılabilir (Özşahin vd., 2016).

Biyokütle enerjisi diğer fosil kaynaklara göre daha az seviyede enerji miktarına sahiptir. Çöp gibi atıkların yakılması sonucu oluşan gazla havanın kirlenmesi ve depolanan çöplerin meydana getirdiği patlayıcı gazlar da dezavantajları arasındadır (Kanbur, 2021).

Çiftçiler, insanların ihtiyacı olan bazı tahılları (arpa, patates, mısır gibi) biyodizel ham maddesi olarak ekmektedirler. Bu durum da tahıllar temel gıda maddesi olarak değil

de yakıt ham maddesi olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla, bu durum temel gıda fiyatlarının artmasına neden olmaktadır. Klasik biyokütle enerji kaynakları kullanılan bölgelerde çevre kirliliğine sebep olduğu için o bölgelerde bulunan insanların yaşam standartlarının düşmesine neden olmaktadır (Kanbur, 2021). Biyokütle enerjisi toprak erozyonu, su niteliğinin bozulması, su tüketiminin artması gibi zararlarıyla ekosistemi olumsuz etkilemektedir (Kaya, 2017).

Biyokütle enerjisinin üretimi için kullanılan maddelerin elde edilmesi vakit almaktadır. Biyokütlenin eski yöntemlerle yakılıp enerji elde edilmeye çalışılması insan sağlığına ve çevreye zarar vermektedir (Ordu, 2021). Ayrıca, biyokütlenin enerjiye dönüşümü bazı fosil yakıtların kullanımını gerektirmektedir (Özşahin vd., 2016).

1.3.6. Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yaygın olarak kullanılan enerji kaynaklarının dışında kalan başka yenilebilir enerji kaynakları da mevcuttur. Fakat bazı yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımı çeşitli nedenlerle pek elverişli olmamaktadır (Kınacı, 2017).

Dalga enerjisi ve gelgit enerjisi, okyanuslardan elde edilen başlıca enerji çeşitleridir. Gelgit enerjisi, Ay ve Güneş'in hareketleri sonucu oluşan çekim gücüne bağlı olarak denizlerdeki suyun yükselmesi ve alçalmasıyla elde edilen enerjidir (Kanbur, 2021).

Türkiye'nin sahip olduğu coğrafi konum nedeniyle gelgit enerjisini üretmesi pek mümkün değildir. Fakat İstanbul ve Çanakkale boğazlarındaki akıntılardan ve tüm kıyı şeridindeki deniz dalgalarından az da olsa gelgit enerjisi üretilebilir. Günümüzde bu enerji kaynağı Türkiye'de kullanılmamaktadır (Kınacı, 2017).

Gelgit enerjisinin üretim zamanı yüksek olarak tahmin edilebilir fakat maliyetinin fazla olması ve üretim aşamasının uzun olması sebebiyle gelgit teknolojisinin fiyatı yüksektir (Kanbur, 2021).

Deniz üstünde esen rüzgârlar ile meydana gelen dalga boyutlarındaki yükselip alçalmaya dalga enerjisi denir. Okyanustaki dalgalarda trilyonlarca watt elektrik elde edilebilecek kadar yüksek oranda enerji potansiyeli bulunur. Suyun altındaki dalgalanmalar ya da okyanusun yüzeyindeki dalgalar sayesinde dalga enerjisi elde edilir (Kanbur, 2021).

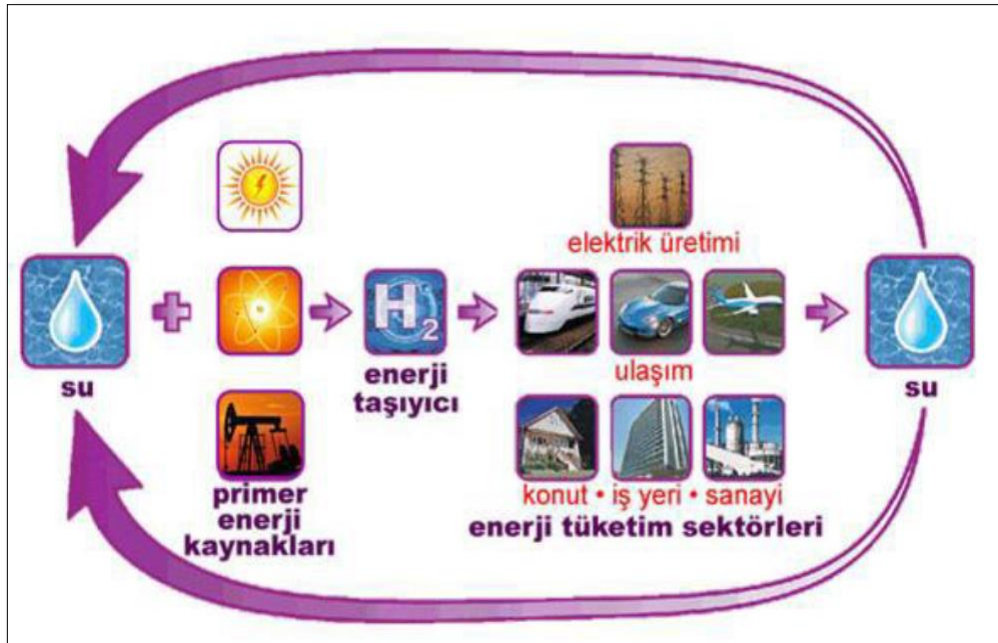
Deniz kökenli enerji kaynakları için sıcaklık değişimi, gelgit gücü, dalga gücü ve akıntılar iyi bir hammadde kaynağıdır. Yeni kullanılmaya başlanılan bir enerji kaynağıdır.

Deniz kökenli enerji kaynaklarının üretiminin sınırlı olmasına rağmen, bazı ülkelerde faaliyetlerini sürdürebilmektedir (Bayram, 2020).

Deniz kökenli enerji kaynaklarından üretilen enerji, dalganın kapladığı yüzey ve büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Denizler dünyamızın %75'ini kaplamaktadır ve bu durum dünya için önemli bir enerji kaynağı olma potansiyelinin yüksek olduğunu gösterir (Bayram, 2020).

Hidrojen gazı tamamen zararsızdır ve en kolay bulunabilen gazlardan biridir. Hidrojen gazı dünya üzerinde daha çok su halinde bulunmaktadır. Hidrojen enerjisi için tüm su kaynakları birer hidrojen kaynağıdır. Hidrojen enerjisi tam anlamıyla yenilenebilir enerji kaynağı çeşitlerinden biri olmasa da başka bir enerji kaynağından elde edilen yakıt konumundadır. Birincil enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarının birçoğundan elde edilebilmektedir (Bayram, 2020).

Hidrojen enerjisinin üretimi birçok aşamadan oluşmaktadır. Hidrojen enerjisi alanındaki çalışmalar için üretim maliyetinin yüksek olması büyük bir dezavantaj olsa da bu alandaki çalışmalar gün geçtikçe olumlu sonuçlar vermektedir. Şekil 9'da gösterilen hidrojen enerji sistemi yüksek bir teknoloji gerektirir (Bayram, 2020).

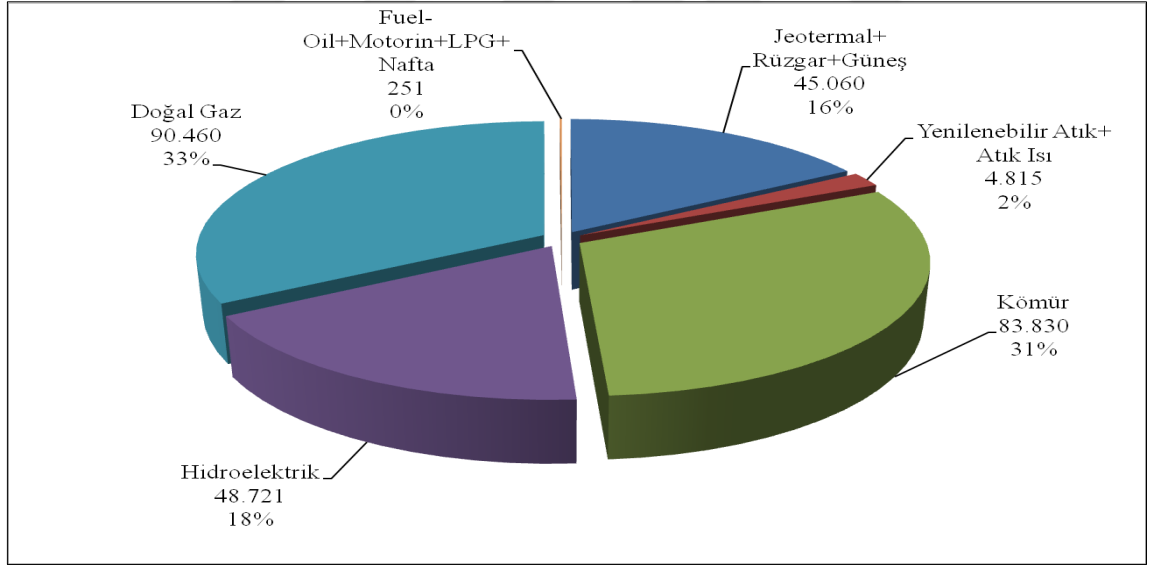


Şekil 9. Hidrojen enerji sistemi (Bayram, 2020).

1.4. Türkiye’deki ve Avrupa’daki Yenilenebilir Enerji

Düşük karbonlu enerji elde edebilmek, temiz enerjiyi yaygın hale getirmek ve sürdürülebilir enerjiyi sağlamak için birçok ülkede enerji verimliliğine ve yenilenebilir enerjiye önem verilmektedir. Ülkeler enerji arzını karşılayabilmek amacıyla kaynakların çeşitlendirilmesini hedeflemektedirler. Bu anlamda hem yerli bir kaynak olması hem de yeşil enerji çeşidi olması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynakları büyük önem kazanmaktadır (TSKB, 2021).

Şekil 10 incelendiğinde 2021 yılının ilk 10 ayında üretilen elektriğin %36 oranındaki payla yenilenebilir enerjiden elde edildiği görülmektedir. Kalan %64’lük payla yenilenemez enerjiden elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerjiden elektrik üretiminde en fazla paya %18 oran ile hidroelektrik enerjisi, yenilenemez enerjiden elektrik üretiminde ise en fazla paya %33 oran ile doğal gaz sahip olmaktadır (TSKB, 2021).



Şekil 10. Türkiye’nin 2021 yılı birincil kaynak bazında brüt elektrik üretimi (TSKB, 2021).

- Kurulu Güç Analizi

Tablo 1’e göre yenilenebilir enerji kurulu gücü Türkiye’de her yıl ortalama %10 oranında bir artış göstermiştir. 2021 yılının sonuna doğru Türkiye’deki yenilenebilir enerji

kurulu gücü 53 GW düzeyine yaklaşmıştır. 2013-2021 yılları arasında kurulu güç gelişiminde en büyük orana 9,2 GW'lık artış ile hidroelektrik santraller sahiptir. Hidroelektrik santrallerden sonra en büyük gelişim oranına güneş enerji santralleri sahiptir. Rüzgâr enerji santralleri, biyokütle enerji santralleri ve son olarak da jeotermal enerji santralleri şeklinde bir sıralama gerçekleşmiştir (TSKB, 2021).

Tablo 1. Türkiye’de yenilenebilir enerjinin kurulu güç gelişimi (MW) (TSKB, 2021).

Kaynak	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021/9
Hidroelektrik	22289	23643	25868	26682	27273	28291	28503	30984	31447
Rüzgâr	2760	3630	4498	5751	6516	7005	7591	8832	10168
Güneş	0	40	310	833	3421	5063	5995	6667	7534
Biyokütle	224	288	345	467	575	739	1163	1485	1782
Jeotermal	311	405	624	821	1064	1283	1515	1613	1650
Toplam	25583	28006	31645	34554	38849	42381	44768	49581	52581

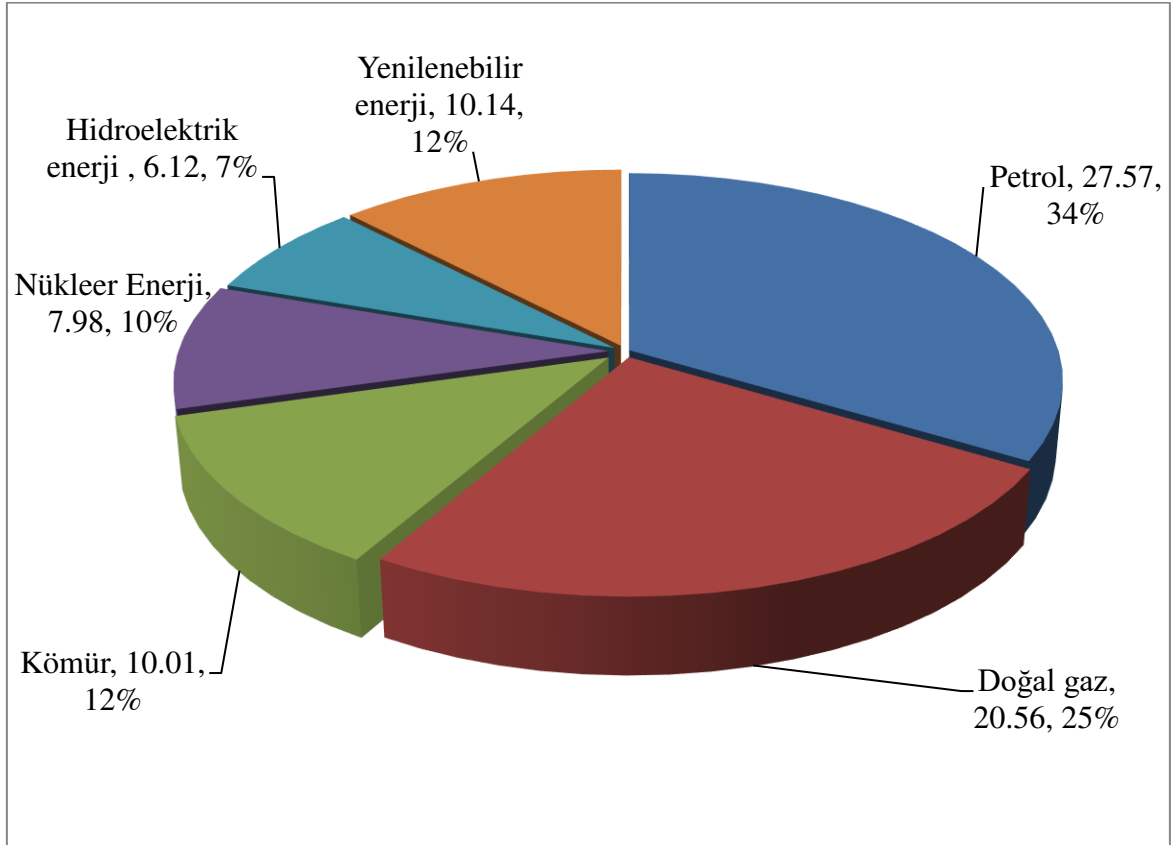
- Elektrik Üretim Analizi

Tablo 2 incelendiğinde ise yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik üretiminde yıllara göre dalgalanmalar olduğu görülmektedir. En yüksek elektrik üretimi 129,6 GWh ile 2020 yılında gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimindeki en yüksek paya hidroelektrik enerji kaynağı sahiptir. Sonraki sıralama rüzgâr, güneş, biyokütle ve jeotermal enerji şeklinde gerçekleşmiştir.

Tablo 2. Türkiye’de yenilenebilir enerji ile elektrik üretimindeki gelişim (MW) (TSKB, 2021).

Kaynak	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021/9
Hidroelektrik	67146	67231	58219	59939	88886	78095	45481
Rüzgâr	11653	15517	17904	19949	21515	24515	22286
Güneş	194	1043	2889	7800	10542	11977	10755
Biyokütle	3425	4819	6128	7431	8230	9316	7406
Jeotermal	1758	2372	2972	3623	4524	5737	4834
Toplam	84175	90981	88111	98741	133697	129638	90762

Şekil 11’de 2021 yılına ait Avrupa’daki birincil kaynak bazında enerji tüketimi gösterilmektedir. Birincil enerji tüketiminde en fazla paya %34 oran ile petrol sahiptir. Doğal gaz %25, kömür ve yenilenebilir enerji %12, nükleer enerji %10 ve hidroelektrik enerji ise %7 orana sahiptir. Tüketilen birincil kaynak bazında enerji %71 oranında petrol, doğal gaz ve kömüre yani fosil kaynaklara aittir.



Şekil 11. 2021 yılı Avrupa’daki birincil kaynak bazında enerji tüketimi (EJ) (BP, 2022).

Tablo 3’e göre Avrupa’da toplam yenilenebilir enerji üretim oranları 2020 yılında 922,7 TWh iken artış göstererek 2021 yılında 946,5 TWh olarak yükselmiştir. Türkiye’de pandemi olmasına rağmen 2020 yılında yenilenebilir enerji üretimi 51,5 TWh iken 2021 yılında 62,7 TWh olarak yükselme göstermiştir. Pandemi döneminde bazı ülkelerde yenilenebilir enerji üretim miktarı artarken Almanya gibi bazı ülkelerde ise azalma göstermiştir.

Tablo 3. Avrupa’da yenilenebilir enerji durumu (TWh) (BP, 2022).

Avrupa Ülkeleri	Rüzgâr Enerjisi	Güneş Enerjisi	Diğer YE	2020 Toplam	Rüzgâr Enerjisi	Güneş Enerjisi	Diğer YE	2021 Toplam
Avusturya	6,8	2,0	4,6	13,4	6,8	2,1	4,4	13,3
Belçika	12,8	5,1	5,3	23,1	11,9	5,6	4,9	22,4
Bulgaristan	1,5	1,5	1,7	4,7	1,4	1,5	1,7	4,6
Hırvatistan	1,7	0,1	1,1	2,9	2,1	0,1	1,2	3,3
Çek Cumhuriyeti	0,7	2,2	5,1	8,0	0,6	2,2	5,3	8,0
Danimarka	16,3	1,2	5,9	23,4	16,0	1,3	8,7	26,0
Finlandiya	8,0	0,2	11,5	19,7	8,2	0,3	13,6	22,1
Fransa	39,7	12,9	10,7	63,3	37,0	14,6	11,2	62,8
Almanya	132,1	48,6	51,1	231,8	117,7	49,0	50,9	217,6
Yunanistan	9,3	4,4	0,5	14,2	10,5	5,2	0,2	15,8
Macaristan	0,7	2,5	2,2	5,3	0,7	3,8	2,2	6,7
İtalya	18,6	24,6	25,7	68,8	20,6	25,1	25,8	71,4
Hollanda	15,3	8,8	8,8	33,0	17,9	11,4	10,8	40,1
Norveç	9,9	0,1	0,3	10,3	11,8	0,2	0,3	12,2
Polonya	15,8	2,0	7,5	25,3	16,2	3,9	7,6	27,8
Portekiz	12,3	1,7	4,0	18,0	13,2	2,2	3,7	19,2
Romanya	6,9	1,7	0,5	9,2	6,6	1,7	0,7	9,0
İspanya	56,4	20,7	6,1	83,2	62,4	26,8	6,6	95,8
İsveç	27,5	1,0	11,2	39,7	27,3	1,4	13,3	42,1
İsviçre	0,1	2,6	2,0	4,7	0,1	3,0	1,9	5,1
Türkiye	24,8	11,0	15,8	51,5	31,1	12,8	18,7	62,7
Ukrayna	3,3	5,4	0,8	9,4	3,9	6,3	0,8	11,0
Birleşik Krallık	75,4	13,2	39,3	127,8	64,5	12,4	40,0	116,9
Diğer Avrupa	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6
Toplam Avrupa	512,7	175,7	234,4	922,7	503,0	195,6	247,9	946,5

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları hakkında çeşitli yöntemler kullanılarak son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji başlığı altında incelenen çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Sözen vd. (2010) elektrik üretimi için kullanılan 11 tane linyit ateşlemeli, 1 tane taşkömürü ateşlemeli ve 3 tane doğal gaz yakıtlı devlete bağlı termik santralin verimlilik analizlerini VZA ile gerçekleştirmiştir. Analizlerde BCC ve CCR tipi VZA modellerini kullanmışlardır. Girdi olarak termal verim, kapasite kullanım oranı, üretim kapasitesi ve ortalama çalışma süresini; çıktı olarak ise sülfür dioksit (SO_2), CO_2 ve azot dioksitin (NO_2) ton miktarlarını kullanmışlardır. Elde edilen sonuçları kullanarak, santrallerin hem elektrik üretim maliyeti hem de çevresel etkiler açısından değerlendirmesini yapmışlardır.

Özgür (2011) tez çalışmasında, VZA kullanarak İstanbul Sanayi Odası'na kayıtlı firmalar arasından seçtiği bir grup sanayi kuruluşunun enerji verimliliklerini değerlendirmeyi ve enerji tasarruf oranlarını tahmin etmeyi amaçlamıştır. VZA yöntemi ile enerji verimliliğinin belirlenmesinde, farklı proseslerin birbiri ile kıyaslanmasında aynı birim ile ifade edilemeyen farklı girdi ve çıktı değerlerinin bir bütün olarak değerlendirilip birbiri ile karşılaştırılmasına olanak sağlayan değişik model ve yöntemleri tanıtmıştır.

Yetik vd. (2011), Türkiye'deki termik santrallerin birbirine göre etkinliklerini VZA ve SSA kullanarak karşılaştırmıştır. Analiz için 2 model oluşturulmuştur. Birinci modelde girdi olarak planlanan üretim kapasitesi, yakıtın alt ısı değeri ve ana yakıt tüketimi; ikinci modelde ise girdi olarak azot monoksit (NO), CO_2 , SO_2 ve diğer gaz emisyonları kullanılmıştır. İki modelde de çıktı olarak gerçekleşen üretim miktarı kullanılmıştır. Sonuç olarak, en yüksek etkinlik skoruna sahip termik santraller Çan ve Hamitabat'tır.

Özgür (2012), 29 tane Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ülkesinin enerji tabanlı gelişmişlik performanslarını 2001-2008 yıllarını kapsayan panel veri setini kullanarak SSA ile ölçmüştür. İki farklı model için iklim değişkeninin dâhil edildiği ve dâhil edilmediği alt modeller oluşturulmuştur. İklim değişkeni modellere dâhil edilsin ya da edilmesin ülkelerin etkinlik sıralamasını değiştirmedeği ortaya çıkmıştır.

Sözen vd. (2012), bir diğer çalışmada elektrik üretimi için kullanılan on hidroelektrik santralinin (HES) verimlilik analizlerini VZA ve pencere analizi ile yapmıştır. Üretim ve enerji birimi maliyet performansına dayalı iki verimlilik endeksi

tanımlamışlardır. Çalışmada girdi olarak kurulu kapasite, kapasite barajda su toplama miktarı ve kullanım faktörü; çıktı olarak operasyonel maliyet, birim maliyet ve net enerji üretimi kullanılmıştır. Analizlerde BCC ve CCR tipi VZA modelleri kullanılmıştır. Verimlilik puanları ile girdi/çıktı faktörleri arasındaki ilişki de araştırılmıştır.

Koç vd. (2013), enerji kaynaklarının Dünya'daki ve Türkiye'deki mevcut durumunu incelemiştir. Ülkelerin enerji üretimi ve tüketimi, elektrik enerjisi ve CO₂ emisyonu tüketimi b az alınarak kişi başına enerji ve elektrik enerjisi tüketimini çeşitli ülkelerin verilerini kullanarak analiz etmişlerdir. Yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynakları için durum tespiti yapmış ve ülkelerin yenilenebilir elektrik güç kapasiteleri üzerine dikkat çekmişlerdir.

Song vd. (2013), öncelikle Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika Cumhuriyeti (BRICS)'nin enerji verimliliğini ölçmek ve hesaplamak için bir SE-SBM (Aylak Tabanlı  l  m) modeli kurmuşlar, daha sonra mevcut durumlarını ve gelişme eğilimlerini analiz etmişlerdir. Modelde nüfus sayısı, enerji tüketimi ve sermaye oluşum oranını girdi olarak; GSY H'yı çıktı olarak kullanmışlardır. Küçük  rnek verilerindeki sapmanın büyük olması nedeniyle elde edilen VZA'ya dayalı değerleri düzenlemek için Bootstrap metodunu uygulamış ve son olarak enerji verimliliği ve karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi ölçmüşlerdir.

Y r ko lu (2014)  alı masında rüzgâr, jeotermal ve güneş enerjisi santrallerine ilişkin riskleri analiz etmek için Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Fuzzy HTEA tekniklerini kullanmıştır. Ele aldığı 3 tip enerji santralini her iki tekniği kullanarak elde edilen sonuçlara göre de erlendirmi  ve oluşan riskler yönünden kar ıla tırmı tır.

Wu vd. (2016)  alı masında, Çin'deki 42 büyük ölçekli rüzgâr santralinin üretken verimliliğini iki aşamalı bir yöntem kullanarak analiz etmiştir. İlk aşamada, rüzgâr santrallerinin verimlilik puanları VZA ile belirlenmiş ve verimlilik hesaplama sonuçlarının sa lamlı ını doğrulamak için duyarlılık analizi yapılmıştır. İkinci aşamada, Tobit regresyonu, rüzgâr santrallerinin kontrolünün ötesindeki verimlilik değişkenleri ve  evre değişkenleri arasındaki ilişkiyi araştırmak için kullanılmıştır. Sonuçlara göre, incelenen tüm rüzgâr çiftlikleri kabul edilebilir bir seviyede faaliyet göstermektedir.

Çayır Ervural vd. (2016), Türkiye'deki illerin yenilenebilir enerji verimliliğini analiz etmek için VZA'nın CCR ve BCC modellerini kullanarak verimlilik değerlerini elde etmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, geleceğe yönelik genel teknik verimlilik sağlamak için özellikle verimsiz bölgelerde yatırım kararlarının uygulanmasını tavsiye etmişlerdir.

Toplam yenilenebilir enerji potansiyeli, ağ uzunluğu, toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü ve trafo kapasitesi girdi olarak; brüt enerji üretimi ve tüketici sayısını çıktı olarak kullanmışlardır.

Özşahin vd. (2016), 2000-2013 dönemine ait verileri kullanarak ekonomik gelişme ile yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, Türkiye ve BRICS ülkelerinden oluşan KVB'ler kullanılmıştır. Panel veri setinde yer alan ülkeler için homojenlik testleri ve yatay kesit bağımlılığı uygulayarak panel ARDL tahmincisi ile uzun dönem katsayılarını elde etmiştir. Sonuç olarak, belirlenen uzun zaman dilimi içerisinde yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik gelişmişlik arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır.

Camio vd.'nin (2016) çalışmasının amacı, BRICS ve G7 (Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Birleşik Krallık, Fransa, İtalya, Kanada ve Japonya) grubundaki ülkelerin enerji verimliliğini pencere analizi ve VZA ile ölçmektir. Oluşturdukları modelde, brüt sabit sermaye oluşumu, işgücü ve enerji tüketimini girdi; CO₂ emisyonları ve GSYİH'yi çıktı olarak kullanmışlardır. BRICS ve G7'nin istatistiksel olarak farklı gruplar olduğu ortaya çıkmış ve bu nedenle iki ayrı grup halinde analiz ederek karşılaştırma yapmışlardır.

Kınacı (2017) tez çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketimi açısından Türkiye'nin enerji performansını VZA yöntemi ile değerlendirmiştir. VZA ve Bootstrap-VZA ile 2013 ve 2014 yılları için Türkiye'nin yenilenebilir enerji sektörünü değerlendirmiştir. İş gücü, sermaye oluşumu, yenilenebilir enerji tüketimi ve birincil enerji tüketimini girdi olarak; GSYİH'yı çıktı olarak kullanmıştır.

Kaya (2017) Türkiye'de kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının 1990–2014 yılları arasındaki tüketim verilerini kullanarak Yapay Sinir Ağları (YSA), Gri Tahmin modeli ve Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modelleriyle gelecek 14 yıllara ait talebini tahmin etmeye çalışmıştır. 3 farklı yöntemle hesaplanan tahmin sonuçları arasında karşılaştırma yapmıştır.

Akalın vd. (2017) çalışmalarında, bir rüzgâr çiftliğindeki üretim etkinliğini ölçmek için SSA tekniğini kullanmışlardır. Rüzgâr çiftliklerindeki türbin performansları 1, 12 ve 24 aylık olmak üzere üç farklı zaman dilimi için farklı girdi değişkenleriyle test edilmiştir. Kısa dönemli analizlerin uzun dönemli analizlerden daha hassas sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. Türbin etkinliklerinin analizinde ilk defa SSA yönteminin kullanılmasıyla

literatüre katkı sağlamıştır ve çeşitli girdi parametreleriyle türbin etkinlik seviyelerinin kıyaslanabildiğini göstermiştir.

Sarıca (2017), SSA ve VZA yardımıyla Türkiye'deki çeşitli enerji santrallerinin uzun vadeli ve operasyonel yatırım performanslarını karşılaştırmıştır. Analizde sabit ve değişken ölçek, gevşek tabanlı ölçüm, güvence bölgesi, sistem karşılaştırma ve bilateral tip VZA modelleri ile Translog ve Cobb-Douglas üretim fonksiyonlarını kullanarak SSA gerçekleştirmiştir. Yatırım verimliliği açısından doğal gazla çalışan elektrik santralleri, operasyonel performans açısından ise kömürle çalışan santrallerin daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşmıştır.

Karık (2017) çalışmasında, VZA analizi kullanarak Türkiye'nin enerji performansının OECD ve BRICS ülkeleri arasındaki yerini belirlemeyi amaçlamıştır. Enerji yoğunluğu, yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi, yenilenebilir enerji kapasitesi, birim elektrik üretimi başına düşen çevresel etki ile elektrik üretimi ve makroekonomik performanslarını ölçmek için beş tane model oluşturmuştur. 2009-2013 yıllarını kapsayan dönem için, VZA analizlerinin yanı sıra Malmquist verimlilik endeksi yöntemini de kullanarak karşılaştırmalar yapmıştır. Son olarak, etkin ülkeler arasında sıralama yapabilmek için süper etkinlik (SE) modelinden yararlanmıştır. Çıkan sonuçlara göre tüm modellerde Türkiye'nin enerji performansını yükseltmesi için önerilerde bulunmuştur.

Aydın Yenioğlu ve Ateş (2018) çalışmalarında Avrupa ülkeleri ve Türkiye'den oluşan KVB'ler için yenilenebilir enerji alanında etkinlik analizini yapmıştır. VZA'nın girdi ve çıktı yönelimli CCR ve BCC modelleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yıllık yenilenebilir enerji yatırımları, yenilenebilir enerji tüketimi ve birincil enerji tüketimini girdi olarak; GSYİH'yı çıktı olarak kullanmışlardır.

Çayır Ervural vd. (2018), önceki çalışmalarını geliştirerek Türkiye'nin hem il düzeyinde hem de bölgesel düzeyde sürdürülebilir enerji verimliliğini, iki aşamalı analitik bir yaklaşım ile değerlendirmiştir. İlk aşamada her il için enerji verimliliğinin analizinde SE-VZA, ikinci aşamada ise enerji verimliliğini etkileyen çevresel faktörleri araştırmak için Olağan En Küçük Meydan (OEKM) regresyon modelleri kullanılmıştır. Sonra bulguların doğrulanması için VZA'nın CCR modeli ve Tobit regresyon kombinasyonu kullanılmıştır. VZA, OEKM ve Tobit regresyon modellerinin birlikte kullanımı, bu yöntemlerin bazı eksikliklerinin üstesinden gelmesini sağlamıştır. Sonuç olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliği üzerinde doğrudan ve olumlu etkisi olan faktörler ortaya koyulmuştur.

Büyükikiz (2019), yenilenebilir enerji kaynaklarından Türkiye’deki elektrik enerjisi üretiminde kullanılacak olan enerji çeşidinin seçimi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bulanık İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği (TOPSIS) yöntemlerini ile ele almıştır. En uygun enerji çözümü için uygulanan iki metodun sonuçları karşılaştırıldığı zaman AHP metodu ve Bulanık TOPSIS metodundan elde edilen sonuçların %100’e yakın bir şekilde birbiri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Yorulmaz (2019), ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki ilişki üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir. Bu araştırma için 33 OECD ülkesinin 1995-2015 yılları arasındaki veri setini kullanarak bir panel veri analizi yapmıştır. Panel veri analizi sayesinde enerji tüketimi ve GSYİH değişkenleri arasında çift yönlü ilişki olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca ekonomik büyüme ve enerji tüketimi değişkenlerinin birbirlerinden etkilendikleri sonucuna varmıştır.

Bayram (2020) çalışmasında, yenilebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir kalkınmadaki öneminden bahsetmiştir. Yerli ve milli kaynaklar ile yenilenebilir enerji kullanımının ülkemize önemli bir katkı sağlayacağı ve dışa bağımlılık, ekonomi ve çevre gibi olumsuz etmenlerin yenilenebilir enerji kaynakları ile çözülebileceğini anlatmıştır. Güneş, rüzgâr ve su gücü bakımından gerekli yatırımların yapılması durumunda yeterli enerji sağlanabilecek ve dışa bağımlılık azalacaktır.

Zeng vd. (2020), yenilenebilir enerji planlarının kapsamlı değerlendirilmesi ve yapı optimizasyonu için iki aşamalı bir yöntem sunmuştur. Bu çalışmada önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için yenilenebilir enerji gelişiminin gerçek bir örneği olarak Çin’deki bir eyaletten aldıkları verileri kullanmışlardır. Farklı planların kapsamlı performanslarını belirlemek için SE-VZA modeli kullanılmıştır. Daha sonra, optimizasyon aşamasında, birden fazla yenilenebilir enerji kaynağını birleştiren optimal bir model oluşturulmuştur. Sonuç olarak, geleneksel temel modelin eksikliklerinin üstesinden gelinebileceğini göstermiştir.

Koç (2021) çalışmasında, 2006-2015 dönemini kapsayan BRICS ülkeleri ve Türkiye için yenilenebilir enerji verimlilik düzeylerini incelemek amacıyla SSA yöntemini uygulamıştır. Yenilenebilir enerji verimliliğinde hangi girdilerin daha iyi olduğuna karar vermek için bilgi karmaşıklığı kriterlerini kullanmıştır. Yapılan analizler CO₂ emisyonu ve enerji yoğunluğunun en açıklayıcı girdiler olduğunu göstermiştir. Brezilya’nın en iyi,

Türkiye'nin orta ve Rusya'nın ise en kötü performansa sahip olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Aydoğan Gökçü (2021), Türkiye için yenilenebilir enerji kaynakları tüketimi, CO₂ emisyonu ve ekonomik büyüme arasındaki kısa ve uzun dönem ilişkilerini karşılaştırmıştır. 1972 ve 2018 yıllarını kapsayan uzun dönem için yaptığı incelemede Granger nedensellik testi, SVAR metodu ve ARDL metodunu kullanmıştır. Granger nedensellik testinde yenilenebilir ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve CO₂ emisyonu arasında bir ilişki olmadığı ortaya çıkmıştır. SVAR metoduna göre tüm değişkenler arasında pozitif bir ilişki vardır. ARDL metoduna göre ise yenilenebilir enerji tüketimi ve CO₂ emisyonu arasında negatif; yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında pozitif bir ilişki vardır.

VZA ve SSA yöntemleri birçok farklı alanda verimlilik analizi için kullanılmıştır. Depren (2008), farklı modeller için farklı veri setleri kullanarak VZA'nın temel modellerin yanı sıra ileri düzey modeller ile sonuçlar arasında karşılaştırmalar yapmıştır. Çalışmasında ele aldığı üç temel konu için 3 farklı analiz kullanmıştır. Birinci analiz için 2003 yılında Türkiye'deki orta öğretim kurumlarının etkinliğini ölçmede CCR, BCC ve toplamsal modelden, ikinci analiz için ülkelerin 2003 ve 2006 yıllarındaki ortaöğretim etkinliğindeki gelişiminin incelenmesinde Malmquist İndeksinden yararlanılmıştır. Son olarak, üçüncü analizde Türkiye'de bulunan yedi bölge için 2003 ve 2006 yılları arasındaki ortaöğretim etkinliğindeki değişimini gözlemlemek adına pencere analizinden yararlanılmıştır.

Vaninsky (2010) çalışmasında, 2010-2030 dönemi için dünyadaki bölgesel ve ulusal ekonomilerin potansiyel çevresel performansını VZA ve SSA ile araştırmıştır. GSYİH, enerji tüketimi, nüfus ve alan için ayarlanmış bir bölgenin veya ülkenin CO₂ emisyonlarının miktarını bir kriter olarak kullanmıştır. Birleşik VZA-SSA yaklaşımı ile çevre verimliliğinin alt ve üst sınırlarının belirlenmesine izin vererek aralık tahmini yapılmıştır. Negatif eğilimleri olan veya dünya ortalamasının altında kalan bölgeleri belirlemiş ve çevresel performansın iyileştirilmesinin ana faktörlerini ortaya çıkarmıştır.

Ertürk ve Türot-Âşık (2011) çalışmasında 38 Türk doğal gaz dağıtım şirketinin performansını VZA kullanarak analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçları verimlilik seviyelerini etkileyen önemli kriterleri tespit etmek ve en verimsiz firmaların ortak özelliklerini bulmak için kullanmışlardır.

Kuosmanen vd. (2013), Finlandiya'daki elektrik dağıtımını düzenlemek amacıyla VZA, SSA ve StoNED yöntemlerini kullanarak en iyi uygulamanın hangisi olduğunu araştırmışlardır. Monte Carlo simülasyonları kullanılarak yöntemlerin performansı

karşılaştırılmıştır. Monte Carlo simülasyonlarına göre en doğru sonuçlara StoNED yöntemi ile ulaşılmıştır.

Zimková (2014), VZA modelleri yardımıyla Slovakya'daki ticari bankaların teknik etkinliğini ve SE'yi analiz etmiştir. Araştırma kapsamındaki bankaların yarısından fazlasının, ölçeğe göre değişken getiri altında girdi odaklı BCC-I, SBM-I ve SE-SBM-I modelleri uygulanarak teknik olarak etkin olduğu bulunmuştur. Verimli birimleri sıralayabilen SE-SBM modeli ile BCC ve SBM modelinin uygulamasını genişleterek literatüre katkı sağlamıştır.

Oh ve Shin (2015), her bir üreticinin performansını ölçmek ve sıralamak için mevcut sınır tahmin modellerini kullanarak sınır tahmin modelleriyle yanlış ölçümün bütçe tahsisini ve sistem performansını nasıl etkilediğini göstermeye çalışmıştır. SSA ve VZA sınır tahmin modelleri ile çeşitli deneysel senaryolarla sistem verimliliğini Monte Carlo analizinin sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, sınır tahmin modellerinin kullanılmasının rastgele bir sıralamadan daha etkinlik olduğu ve SSA'nın VZA'dan daha iyi performans gösterdiği ancak ölçüm hatası arttıkça VZA'nın daha iyi sonuç verdiği ortaya çıkmıştır.

Avcı ve Çağlar (2016), İstanbul Sanayi Odası (İSO)'na kayıtlı ilk 500 firmanın 2011-2014 yıllarına ait verileriyle her yıla ilişkin etkinliklerinin belirlenmesi için Cobb-Douglas üretim fonksiyonuna göre model oluşturmuştur. NACE REV 2 ve Kamu-Özel ekonomik faaliyet sınıflamasına göre firmaları sektörlere ayırmış ve firma bazlı etkinlik ölçümü yaparak sektörlerin ortalama etkinlik skorlarını incelemiştir.

Aydın (2018) yaptığı çalışma kapsamında SSA ve Kategorik VZA kullanarak havayolu endüstrisine ait bir etkinlik analizi yapmıştır. 2016 yılına ait veriler ile 62 havayolunu değerlendirmiştir. İki yöntemle de aynı sonuçları elde etmiştir.

Ertaş (2019) çalışmasında, Dünya'daki 102 ülkenin sosyal gelişmişlik bakımından performans değerlerini belirleyip etkin ve etkin olmayan ülkeleri VZA kullanarak ortaya çıkarmaya çalışmıştır. Ek olarak, Malmquist İndeksi ile sosyal gelişmişlik bakımından dünya ülkelerinin etkinlik değerlerindeki değişimi incelemiş ve bu değişimin kaynağını ortaya koymaya çalışmıştır.

Gündüz (2019) çalışmasında, VZA'da SE'nin önemini ve katkılarını anlatmış daha sonra belirlenen programlama dilleri arasındaki etkinliği test etmiştir. Uygulamasında 4 adet girdi ve 2 adet çıktı kullanarak 17 programlama dilini önce VZA sonra SE yöntemi ile girdi ve çıktı odaklı CCR modellerine göre analiz etmiştir.

Gavurová vd. (2019) çalışmalarında Avrupa Birliği ülkelerinde araştırma-geliştirme ve yenilik potansiyelini değerlendirmek amacıyla 2010 ve 2015 olmak üzere iki dönem için SE ve VZA kullanarak sıralama yapmayı hedeflemişlerdir. 2 çıktı ve 5 girdi kullanılarak yapılan analizde her iki grupta da Bulgaristan, Romanya, Kıbrıs, Hırvatistan ve Birleşik Krallık etkin ülkeler arasında yer almıştır.

Öztürk Durak (2019) çalışmasında Türkiye’de faaliyet gösteren 48 adet havaalanının etkinliğini VZA ve SSA kullanarak değerlendirmiştir. Öncelikle VZA ile değişen getiri varsayımı altında havalimanlarının etkinliğini ölçmüştür. Daha sonra Frontier 4.1 sürüm bilgisayar programını kullanarak uçuş trafiğine ve yolcu trafiğine bağlı olarak oluşturduğu iki model için SSA ile etkinlikleri hesaplamıştır. İki analizde de “Ankara Esenboğa Havaalanı, Elazığ Havaalanı ve Mardin Havaalanı” etkin çıkmıştır.

Kokoç (2019) çalışmasında, 2017 yılına ait veriler ışığında, VZA’nın çıktı odaklı CCR-BCC modellerini kullanarak ve SSA’nın Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu dikkate alarak 18 Türk Serbest Bölgesinin etkinliğini değerlendirmiştir. Girdi olarak alan başına düşen yatırım miktarı ve firma başına düşen istihdam sayısı; çıktı olarak ise dış ticaret hacmini dikkate almıştır. Son olarak, hem VZA modelleri hem de SSA yöntemi ile elde edilen etkinlik skorlarını birlikte değerlendirmiş ve yapılan analizlere göre elde edilen sonuçların birbirinde çok farklı olmadığı görmüştür.

Hünerli (2019), Türkiye’deki doğal gaz dağıtım firmalarının etkinlik ve verimliliklerini VZA ve SSA’ya göre ölçmüş ve bulunan sonuçların karşılaştırmasını yapmıştır. Dağıtım firmalarının hangilerinin etkin hangilerinin etkinsiz çalıştığını ölçmeyi amaçlamıştır.

Wanke vd. (2020), bankacılık üretim sürecini ve performansını yansıtan muhasebe ve finansal göstergeler yardımıyla 2004-2013 yıllarını kapsayan 124 OECD bankasının verimliliği ile ilgili değerlendirme yapmak için yeni bir VZA ve SSA dinamik ağı süper verimlilik modelleri geliştirmişlerdir. SSA modellerinde süper verimlilik puanlarının hesaplanması, bu çalışmanın ayırt edici bir özelliğidir ve böylece VZA ve SSA puanları arasında bir karşılaştırma yapmaya olanak sağlamıştır.

Odeck ve Schøyen (2020) çalışmasında, Norveç konteynır limanlarının üretkenliğini ve başlangıçta daha az üretken olan limanların, başlangıçta daha verimli olan limanlara göre üretkenlik açısından ne ölçüde ayrıştığını incelemek ve verimliliği değerlendirmek amacıyla SSA tabanlı Malmquist üretkenlik endeksini kullanmışlardır. 2002–2014 dönemine ait veriler ışığında Norveç konteynır limanları ile İskandinav ülkelerinden ve

Birleşik Krallık'tan konteyner limanlarını karşılaştırmıştır. Norveç limanları, en iyi performans gösteren limanlar olarak ortaya çıkmıştır.

Moutinho vd. (2020), 24 Alman şehrinde 2007, 2010 ve 2013 yıllarına ait mevcut verileri kullanarak VZA ve SSA yardımıyla eko-verimlilik analizi yapmışlardır. Daha sonra, eko-verimlilik puanlarını etkileyen faktörler hakkında şehir düzeyinde çıkarım yapmak için kesirli regresyon uygulamışlardır. Analiz sonuçları, PM₁₀ fazlalığının, ortalama sıcaklığın, ortalama NO₂ konsantrasyonunun ve yağışın eko-verimlilik üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Ayrıca VZA yöntemi başka yöntemlerle birleştirerek daha verimli analizler gerçekleştirmek de mümkündür. Buna örnek olarak incelenen VZA/AHP hibrit modeli ile ilgili çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Gemici (2009) çalışmasında tedarikçi performans değerlendirmesinde Veri Zarflama Analitik Hiyerarşi Prosesi (VZAHP) metodunu kullanmıştır. Bu metotta VZA yaklaşımını AHP yöntemine entegre etmiştir. VZAHP'nin tedarikçi performans değerlendirmesinde nasıl kullanılacağını göstermiştir. Performans değerlendirme sonuçlarıyla tedarikçiler sıralamasını belirlemiştir.

Öztürk (2010), OECD ülkeleri arasında Türkiye'nin yerini VZA/AHP sıralı metoduyla belirlemeye çalışmıştır. İki aşamalı olan bu metod sayesinde ilk aşamada VZA modellerini oluşturmuş ve daha sonra bu modellerin çözümlerini LINDO programında yapmıştır. İkinci aşamada ise AHP tekniği ile etkinlik sıralamasını bulmuştur. Kullanılan VZA/AHP hibrit modeli; karar birimlerini sadece “etkin” veya “etkin değil” şeklinde sınıflandırmamış, aynı zamanda karar birimlerinin etkinlik sıralamasını da vererek VZA metoduna büyük bir avantaj sağlamıştır. Girdi olarak kişi başına Arge harcamaları ve araştırmacı sayısı, çıktı olarak bilimsel yayın sayıları ve üçlü patent sayılarını kullanmıştır. Sonuçlara göre, 30 ülke içinde etkinlik sıralamasında Türkiye 14. sırada yer almıştır.

Fard Moradinia (2017) tez çalışmasında, İran'daki havalimanlarının etkinliklerini VZA ve Melez VZA/AHP sıralı metoduyla belirlemiştir. Bu çalışmanın girdileri terminal sayısı, pist sayısı, toplam terminal alanı, toplam yolcu kapasitesi ve çıktıları ise toplam uçak trafiği, toplam yolcu trafiği, toplam yük trafiğidir. Çözümleme sonucuna bakıldığında en etkin olan havalimanı Ahvaz iken en az etkin olan havalimanı ise Shahrekord'dır.

3. KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1. Veri Zarflama Analizi

VZA ilk olarak 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından geliştirilmiş parametrik olmayan doğrusal programlama tabanlı bir yöntemdir. Çok sayıdaki girdi ve çıktı değişkenine sahip benzer KVB'lerin göreceli etkinliklerinin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır (Kokoç, 2019).

Etkin ve etkin olmayan KVB'ler belirlenir ve her bir KVB için girdi ve çıktı değişkenlerindeki göreceli etkinsizliğin miktarları hesaplanır. Sınırlı kaynakları daha etkin bir şekilde kullanarak mümkün olan en yüksek çıktının elde edilmesi için niceliksel bir temel oluşturulmasını sağlar (Karık, 2019).

İstenilen sonuca ulaşabilmek için KVB'ler arasında en uygun girdi ve çıktı dağılımının bulunmasına ve etkin olmayan KVB'ler için iyileştirme yapımları gereken noktaların belirlenmesine büyük oranda katkıda bulunur (Kokoç, 2019).

3.1.1. Veri Zarflama Analizi'nin Temel Özellikleri ve Uygulama Alanı

VZA'yı benzer amaçlı diğer yöntemlerden ayıran en temel özelliği çok sayıda girdi ve çıktı değişkeninin kullanıldığı durumlarda kolaylıkla değerlendirme yapabilmesidir. Analiz sonucunda, etkin olmayan KVB'lerin etkinliklerini artırabilmesi için girdi ve çıktı miktarlarındaki oluşabilecek değişimler hakkında bilgi edinilmektedir. Ayrıca, etkin olmayan KVB'ler için referans olarak kullanılabilecek etkin KVB'ler VZA sayesinde belirlenebilmektedir (Kınacı, 2017).

VZA'nın bir diğer özelliği ise parametrik olmayan bir yöntem olduğundan herhangi bir varsayıma gerek duymamasıdır. Farklı ölçü birimlerine sahip girdi ve çıktı değişkenleri kolaylıkla kullanılabilir. Deterministik bir yöntemdir ve stokastik bir terimi yoktur. Modelde tesadüfî hatalara yer yoktur ve bu nedenle verilerden kaynaklı hatalar analiz sonuçlarını olumsuz etkilememektedir (Kınacı, 2017).

Değişkenler arasında fonksiyonel bir ilişki kurmak zorunlu değildir. En iyi uç değerlere göre etkinlik hesaplaması yaptığı için VZA ile elde edilen etkinlik değerleri mutlak değil göreceli olmaktadır (Kokoç, 2019).

VZA tekniği, işletmelerinde bulundukları sektör içerisinde ve işletme içi performanslarının ölçülmesinde sıklıkla kullanılan bir tekniktir. Hastaneler, okullar, işletmelerde kuruluş yeri seçimi, imalat sanayi, toptancı ve üretici işletmeler, bankalar, benchmarking, askeri birlikler, uzay araştırmaları, spor kulüpleri, lojistik ve bunun gibi daha birçok konuda VZA kullanılmaktadır (Dişkaya, 2010).

3.1.2. Veri Zarflama Analizi Uygulama Süreci

VZA'nın göreceli etkinliğinin hesaplanması kısaca iki aşamada özetlenebilir. İlk aşamada, herhangi bir gözlem kümesi içinde en az girdi miktarıyla en çok çıktıyı üretebilen “en iyi” gözlemleri veya etkin birimleri belirler. İkinci aşamada ise etkinlik sınırını “referans sınırı” olarak kabul edip, etkin olmayan karar birimlerinin bu sınıra olan uzaklıklarını, yani etkinlik düzeylerini “oransal” olarak ölçer (Karık, 2019).

VZA uygulama aşamaları aşağıdaki başlıklarla kısaca anlatılmıştır.

3.1.2.1. Karar Birimlerinin Seçilmesi

VZA, gözlemlenen girdi ve çıktı değerlerinden hareketle örnekleme yer alan KVB'lerin etkinlik değerlerini ölçmektedir ve bu nedenle ilk önce amaca yönelik doğru ve uygun KVB'leri seçmek gerekir (Depren, 2008).

VZA sonucunda güvenilir ve doğru sonuçlar elde edebilmek için KVB'lerin aynı girdiler ve çıktıları üreten benzer üretim yapısına sahip birimler olması, yani KVB kümesinin homojen olma şartı sağlanmalıdır. KVB'lerin seçiminde homojenliğin yanı sıra KVB'lerin sayısı da çok önemli bir faktördür (Kokoç, 2019).

KVB'lerin homojenliği şartının sağlanması için KVB'leri aynı amaçlar doğrultusunda faaliyet gösteren birimler olması ve faaliyet gösterdikleri pazar koşullarının aynı olması gerekir. KVB'lerin kullandıkları girdi ve çıktı değişkenleri aynı olmalıdır. Ancak, girdi ve çıktı değişkenlerinin ölçü birimlerinin aynı olması şartı yoktur (Kokoç, 2019).

Analizden verimli bir sonuç alınması ve etkinlik sınırı tahminlerinin anlamlı olması için çalışmada kullanılacak olan KVB sayısının yeterli olması gerekmektedir. KVB sayısının yeterli büyüklükte olması durumunda girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişki daha iyi analiz edilmektedir (Öztürk Durak, 2019).

Dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de zaman periyotlarıdır. Uzun zaman periyotlarında önemli değişiklikler fark edilmeyebilir, kısa zaman periyotlarında da birimlerin etkinlik durumları hakkında doğru sonuca ulaşamayabilir (Öztürk Durak, 2019).

KVB'nin sayısı ile ilgili bazı öneriler aşağıda verilmiştir.

1. KVB sayısı, girdi ve çıktı değişkenlerinin toplamının en az iki ya da üç katı olması gerekmektedir.
2. $KVB \geq \max \{girdi \times çıktı, 3(girdi + çıktı)\}$, yani KVB sayısı girdi ve çıktının çarpımı ya da girdi ve çıktının toplamının 3 katının maksimum değeri olarak belirlenir.
3. KVB'nin sayısı analizde kullanılacak olan girdi-çıkıtı faktörleri toplamının en az 2 katı olmalıdır (Fard Moradinia, 2017).

Literatürde KVB sayısı belirlenirken en yaygın olarak kabul edilen durum KVB sayısının girdi ve çıktı sayısının toplamının en az 2 katı olmasıdır (Gündüz, 2019).

3.1.2.2.Girdi ve Çıktıların Seçimi

KVB'lerin seçilmesi ve sayısının belirlenmesinden sonraki en önemli aşama çalışmaya uygun girdi ve çıktıların seçilmesidir.

Bir diğer önemli aşama hangi değişkenlerin çıktı ve hangi değişkenlerin girdi olduğunun belirlenmesidir. Girdiler KVB'lerin sahip oldukları özelliklerdir. Çıktılar ise KVB'lerin yaptıkları çalışmalar sonucunda elde ettikleri değerdir. Yapılan çalışma için çok önemli olan bir değişkenin kullanılmaması o değişkeni fazlaca kullanan KVB'nin etkisiz, az kullanan KVB'nin ise etkin çıkmasına neden olabilir (Depren, 2008). Bu nedenle, çalışma için uygun girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi sonuçların doğruluğu için önem arz etmektedir.

Girdi ve çıktı değişkenlerinin sayısı etkinlik ölçüm sonuçlarını önemli derecede etkilemektedir. Girdi ve çıktı sayısı artarsa buna ek olarak KVB'lerin sayısının da artması gerekmektedir. Fakat bu durum VZA'nın ayırt edebilme kabiliyetini azaltmaktadır.

Yapılan çalışmalarda değişkenlerin uzman görüşleri de dikkate alınarak seçilmesi yararlı olmaktadır (Kokoç, 2019).

3.1.2.3. Verilere Ulaşma ve Veri Güvenilirliği

Girdi ve çıktı değişkenlerinin verilerine ulaşmanın kolay olması ve verilerin güvenilir olması çalışma açısından oldukça önemlidir.

Güvenilir olmayan veri seti, çalışmayı amacından saptırabilir ve yanlış sonuçlar verebilir. KVB'lerin etkinlik skorlarında da hataya yol açacağından hem verisi yanlış olan KVB'nin skorunu hem de diğer KVB'lerin skorlarını etkiler ve sonuçları tartışmalı hale getirir (Öztürk Durak, 2019). Bu sebeple, en başta veri güvenliğinin test edilip en uygun girdilerin ve çıktılarının belirlenmesi analizin güvenilirliği açısından oldukça önemlidir (Depren, 2008). Her bir girdi ve çıktı bileşenine ait veri kümesi rakamsal verilerden oluşmalı ve bu kümede negatif değer bulunmamalıdır (Kokoç, 2019).

3.1.2.4. VZA Modelinin Belirlenmesi ve Etkinliğin Ölçülmesi

Çalışmaya uygun VZA modelinin seçilmesi doğru sonuçlar elde edilmesi bakımından önemli olmaktadır. Seçilecek modele karar verilirken ölçeğe göre sabit getirinin mi yoksa ölçeğe göre değişken getirinin mi uygulanacağına karar verilmelidir. Girdilerdeki artış karşılığında çıktılar da aynı oranda artış sağlanıyorsa ölçeğe göre sabit getiri, daha fazla veya daha az bir artış oranı sağlanması durumunda ölçeğe göre değişken getirinin mevcut olduğu anlaşılabacaktır. VZA modellerinde BCC ölçeğe göre değişken getiriye, CCR ise ölçeğe göre sabit getiriye esas almaktadır (Kokoç, 2019).

Bir diğer aşama da modelin girdi odaklı mı yoksa çıktı odaklı mı olacağının belirlenmesidir. Girdi yönlü modelde, girdilerin verimli bir şekilde kullanılmasıyla en fazla çıktıyı elde edebilecek en uygun girdi miktarı belirlenmeye çalışılır. Yani, etkinliği ölçülen KVB'ye ait mümkün olan en az girdi miktarı ile belirli bir çıktı düzeyini ölçmek için kullanılmaktadır. Çıktı yönlü model de ise, girdi miktarları sabit tutularak, mümkün olan en çok çıktı miktarı elde edilmek istenir. Model seçme konusunda yanlış karar verilirse çalışmanın güvenilirliği azalacaktır (Depren, 2008).

VZA için doğrusal programlama çözümlerinde LINDO, STORM, QSB gibi programlar ve Windows altında çalışan EMS, DEAP, IDEAS, ETAKS, Warwick-Windows-VZA, PIONEER gibi programlar tercih edilebilmektedir (Depren, 2008).

3.1.2.5. Etkinlik Değerleri

Analiz sonucunda etkin olan ve etkin olmayan KVB'ler tespit edilmektedir. Bunun için her bir KVB'nin etkinlik skoruna bakılmalıdır. Analiz sonucunda her bir KVB 0 ile 1 arasında değerler alır. Burada 1 değerini alan KVB'ler etkin olarak, 1'den küçük değerler alan KVB'ler etkin olmayan olarak değerlendirilir. Etkinlik sınırını değeri 1 olan KVB'ler belirler. Etkinlik değeri 1'den küçük olan KVB'ler için ise etkinlik değerleri, KVB'nin etkinlik sınırına olan uzaklıklarını ifade etmektedir. Etkin olmayan KVB'lerin 1 değerine olan uzaklığı bu birimlerin hangi ölçüde etkinsiz olduğunu göstermektedir (Öztürk Durak, 2019).

3.1.2.6. Referans Gruplarının Belirlenmesi

VZA'da etkin olmayan KVB'ler etkinlik seviyesine ulaşabilmek için kendilerini etkin olan birimlere benzetmeye çalışırlar. Kendilerini benzetmeye çalıştıkları etkin KVB'lerin oluşturduğu kümeye referans kümesi denir. Etkin olmayan bir KVB referans kümesi içinden farklı seçimler yaparak kendisini etkin hale getirmeye çalışmaktadır. Etkin olmayan birimlerin referans kümesinde bulunan etkin birimleri diğer etkin olmayan birimlerin referans kümelerinde de bulunabilir. Referans kümesi içinde bir KVB ne kadar çok referans gösterilirse o KVB'nin gücü o kadar büyük demektir. Referans gösterilme sayısına bakılarak yoğunluk belirlenebilir (Depren, 2008).

3.1.2.7. Etkin Olmayan Karar Verme Birimleri İçin Stratejilerin Belirlenmesi

VZA'nın en önemli avantajlarından biri, etkinsiz olarak adlandırılan KVB'lerin referans kümeleri yardımıyla nasıl etkin hale getirilebileceği konusunda yol gösterici olmasıdır. Bu yöntemin uygulanmasındaki en büyük yarar, etkin KVB'lerdeki

benzerliklerden yola çıkarak etkinsiz KVB'lerin etkin olma yolundaki stratejilerini oluşturmaya imkân vermesidir. Uygulanan genel strateji, etkin olmayan KVB'lerin referans kümesinde bulunan etkin birimlerin ağırlıklı ortalamasının alınmasıdır (Öztürk Durak, 2019).

Analize göre etkin birimlerin sahip olduğu değerlere etkinsiz birimlerin de ulaşabileceği ve etkin olabilecekleri düşünülmektedir. Ancak her zaman bu durum mümkün olmayabilir. Etkin olmayan birimlerde kontrol edilemeyen girdiler olabilir. Etkin birim olma yolundaki iyileştirme çabaları olumsuz sonuçlanabilir (Depren, 2008). Bu tür aksaklıklara da dikkat edilmelidir.

3.1.2.8. Sonuçların Yorumlanması

VZA sonucunda KVB'lerin göreceli etkinlikleri elde edilmektedir. Çıktıların ağırlıklı toplamının girdilerin ağırlıklı toplamına bölünmesiyle göreceli etkinlikler elde edilmektedir. Her bir KVB için etkinlik skoru 0 ile 1 arasında değer alır. Etkinlik değeri 1 olan KVB'ler etkin, 0 ile 1 arasında olan KVB'ler ise etkin olmayan birimler olarak kabul edilmektedir. VZA sonucunda etkin olmayan KVB'lerin referans almaları gereken etkin KVB'ler referans kümesinde göstermektedir. Ayrıca, referans kümesinde bulunan KVB'lerin de ağırlık değerleri referans ağırlık kümesinde belirtilir (Kokoç, 2019).

Gözlem kümesinde bulunan etkin olan ve etkin olmayan tüm KVB'ler için ortak bulgular araştırılmalıdır. Bununla birlikte, gözlem kümesinin ait olduğu araştırma alanı ile ilgili de genel bilgiler toplanarak sonuçlar hakkında bir değerlendirme yapılması daha doğrudur. VZA ile belirlenen hedeflere ulaşılmasında birçok konuda yararlanılmış olur. VZA ile istenilen hedefe ulaşılmasa bile elde edilen bilgiler ile çeşitli iyileştirme ve geliştirmelere yönelik yararlı bilgilere ulaşılabilecektir (Öztürk Durak, 2019).

3.1.3. Kullanılan Veri Zarflama Analizi Modelleri

VZA ile ilgili birçok model geliştirilmiş olsa da temel VZA modellerinden CCR (1978) ve BCC (1984) modelleri üzerinde durulacaktır.

3.1.3.1. CCR Modeli

VZA modelini ilk olarak ortaya atan kişi Farrell (1957)'dir. Bu modeli, Cooper ve Rhodes (1978) teknik etkinliğin değerlendirilmesiyle geliştirmiştir. Söz konusu model onu ilk olarak geliştirenlerin baş harfleriyle "CCR" adlandırılmıştır (Kınacı, 2017). CCR modeli ölçeğe göre sabit getiri varsayımına göre her bir KVB'nin toplam etkinliğini hesaplamaktadır. Yani bu model ile bulunan etkinlik, teknik ve ölçek etkinliği de kapsamaktadır. Bu durum kısaca Eşitlik (1)'deki gibi ifade edilmektedir (Fard Moradania, 2017).

$$E_{CCR} = E_{ölçek} * E_{BBC} \quad (1)$$

E_{CCR} : Toplam etkinlik

$E_{ölçek}$: Ölçek etkinliği

E_{BBC} : Teknik etkinlik

Bu model girdi odaklı ve çıktı odaklı olarak kurulabilmektedir. Girdi odaklı modellerde, çıktılar sabit tutularak girdilerde meydana gelecek değişimler incelenirken, çıktı odaklı modellerde ise kullanılan girdiler ile maksimum çıktı elde edilmeye çalışılır (Fard Moradania, 2017).

m adet girdi, s adet çıktı ve n adet KVB'ye sahip olan bir model için, $x_{ij} > 0$ parametresi, j karar birimi için i girdi miktarını, aynı şekilde $y_{rj} > 0$ parametresi, j karar birimi için r çıktı miktarını göstermektedir. u ve v , o . KVB'nin i . girdi ve r . çıktıları için vereceği ağırlıkları, k ise etkinliği ölçülen KVB'yi temsil etmektedir. Bu kısımda model kesirli programlama formülasyonunu göstermektedir (Kınacı, 2017).

Doğrusal programlama modelinin çözümü, kesirli programlama modeline karşın uygulamada daha fazla avantaj sağlayacağı için yeni bir model oluşturulur ve yeni oluşturulan model de Simplex algoritmasıyla çözülür. Modelde maksimum etkinlik 1 ile sınırlandırılır. CCR modeli ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayanmaktadır (Kınacı, 2017). VZA modellerinde kullanılan parametreler aşağıda açıklanmıştır:

u_{rk} : k . KVB tarafından r . çıktıya verilen ağırlık,

v_{ik} : k . KVB tarafında i . girdiye verilen ağırlık,

y_{rk} : k . KVB tarafından üretilen r . çıktı,

x_{ik} : k . KVB tarafından kullanılan i . girdi,

y_{rj} : j . KVB tarafından üretilen r . çıktı,

x_{ij} : j . KVB tarafından kullanılan i . girdi,

ε : Pozitif çok küçük bir değer

W_{jk} : k . KVB'nin j . KVB'ye göre aldığı ağırlık değeri

N_{jk} : k . KVB'nin j . KVB'ye göre kesirli programlama formülasyonu

u_k, v_k : Ölçek faktörleri

Girdi odaklılık varsayımına göre kurulan CCR modeli Eşitlik (2)-(5)'teki gibidir (Kınacı, 2017):

Amaç fonksiyonu:

$$\max h_o = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{io}} \quad (2)$$

Kısıtlar:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij}} \leq 1 \quad (3)$$

$$u_{rk} \geq \varepsilon \quad (4)$$

$$v_{ik} \geq \varepsilon \quad (5)$$

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

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

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

Bu kesirli model ile çözüme ulaşmak zor olacağından programlamanın çözümü Eşitlik (6)-(9)'daki gibi doğrusal modele dönüştürülür (Kınacı, 2017).

Girdi yönlü CCR modeli

Amaç fonksiyonu:

$$\max h_o = \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{ro} \quad (6)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij} \geq 0 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{io} = 1 \quad (8)$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq \varepsilon \quad (9)$$

VZA modelleri de doğrusal programlama modelleri gibi primal ve dual model olmak üzere ikiye ayrılır. Dual model, primal modele göre daha az işlem gerektir ve en iyi çözüme ulaşmak için daha çok tercih edilir. Dual ve primal modelin amaç fonksiyon değerleri birbirine eşit çıkacaktır. Girdi yönlü CCR modelinin duali Eşitlik (10)-(13)'te gösterilmiştir (Kınacı, 2017).

Girdi yönlü CCR modelinin duali

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } \theta_k \quad (10)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n W_{jk} x_{ij} \leq \theta_k x_{ik} \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n W_{jk} y_{rj} \geq y_{rk} \quad (12)$$

$$W_{jk} \geq 0 \quad (13)$$

Çıktı yönlü CCR modelinin primali Eşitlik (14)-(17)'de, duali ise Eşitlik (18)-(21)'de gösterilmiştir (Kınacı, 2017).

Çıktı yönlü CCR modeli

Amaç fonksiyonu:

$$\text{min } g_j = \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij} \quad (14)$$

Kısıtlar

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} = 1 \quad (15)$$

$$-\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij} \geq 0 \quad (16)$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq 0 \quad (17)$$

Çıktı yönlü CCR modelin duali

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Max } Z_k \quad (18)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n N_{jk} x_{ij} \leq x_{ik} \quad (19)$$

$$Z_k y_{rk} - \sum_{j=1}^n N_{jk} y_{rj} \leq 0 \quad (20)$$

$$N_{jk} \geq 0 \quad (21)$$

Girdi ve çıktı odaklı problemler yukarıdaki modeller yardımıyla çözülebilir. Analiz sonucu elde edilen etkinlik skorlarına göre oluşturulan etkinlik sınırı üzerinde yer alan KVB'ler etkin kabul edilecektir. Etkinlik sınırının altında ya da üstünde olan KVB'lerin ise etkin olmadığı anlaşılabacaktır (Kınacı, 2017).

CCR modeli ölçeğe göre sabit getiri durumundaki etkinlik skorunu ölçmektedir. Kurulan CCR modelinin optimal çözümündeki dual değişkenlerinin toplam değeri ölçeğe göre getirinin yönünü belirtmektedir. Bu durum Eşitlik (22)-(24) ile ifade edilmektedir (Hünerli, 2019).

$$\sum_{j=1}^n W_{jk} = 1 \rightarrow CRS \quad (22)$$

$$\sum_{j=1}^n W_{jk} < 1 \rightarrow IRS \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^n W_{jk} > 1 \rightarrow DRS \quad (24)$$

CRS: Ölçeğe Göre Sabit Getiri

IRS: Ölçeğe Göre Artan Getiri

DRS: Ölçeğe Göre Azalan Getiri

Tümleyici aylıklık teorisine göre W_{jk} yalnızca karar birimi k 'nın primal modelde karşılık geldiği eşitsizliğin eşitlik olarak da sağlanması halinde pozitif bir değer

alabilecektir. Bu durumda da j karar birimi etkin bir skor elde edebilecektir (Hünerli, 2019).

3.1.3.2. BCC Modeli

Ölçeğe göre sabit getiri varsayımı KVB'lerin optimal olarak çalıştığını kabul eder. Ancak gerçek hayat koşulları yüzünden bu durum her zaman için geçerli olmamaktadır. Bu neden ile 1984 yılında Banker, Charnes ve Cooper, ölçeğe göre değişken getiri varsayımına dayanan BCC modelini ortaya çıkardılar. BCC modeli ile hem teknik etkinliği hesaplamak hem de ölçek etkinliğinin yönünü de belirlemek mümkün olmaktadır. Bir karar biriminde girdiler bir miktar artırıldığında, çıktı seviyesindeki artış girdilerdeki artış miktarından fazla ise ölçeğe göre artan getiri, çıktı seviyesindeki artış girdilerdeki artış miktarından az ise ölçeğe göre azalan getiri söz konusu olmaktadır. BCC modeli de girdi odaklı ve çıktı odaklı olarak modellenenbilmektedir (Fard Moradania, 2017).

Daha önce de belirtildiği üzere CCR varsayımında karar birimlerinin ölçeğe göre etkinlikleri de hesaba katılırken BCC modelinde böyle bir etkinlik skoruna gerek kalmamaktadır. Bir karar biriminin CCR modeline göre etkin olabilmesi için, öncelikle hem ölçeğe göre değişken getirili duruma göre (VRS) yani BCC modeline göre etkin olmalı hem de ölçek etkin olmalıdır. Ancak bir karar birimi bu iki şartı sağladığında CCR modeline göre etkin olabilecektir (Hünerli, 2019).

BCC modeli ile oluşturulan etkinlik sınırı daima CCR ile oluşturulan etkinlik sınırının altında olacaktır. CCR ile etkin olarak belirlenen birimler BCC sonucunda da etkin çıkacaktır. Fakat BCC modeli ile yapılan analiz sonucunda etkin çıkan bir birim CCR modeli ile etkin olmayan birim çıkabilir. CCR modelinin dualine konvekslik katması için $\sum_{j=1}^n W_{jk} = 1$ ifadesi eklenir. Bu kısıt ile KVB'nin ölçeğe göre getiri türlerini belirleyebilmektedir. Bu anlatılanlardan hareketle bir KVB için hesaplanan ağırlıkların toplamı birden büyük ise KVB ölçeğe göre azalan getiriye; birden küçük ise artan getiriye ve bire eşit ise sabit getiriye sahip olduğu anlamına gelmektedir. VZA modelleri aşağıda gösterilmektedir. Girdi yönlü BBC modelinin primali Eşitlik (25)-(29)'da, duali ise Eşitlik (30)-(33)'te gösterilmektedir (Kınacı, 2017):

Girdi yönlü BCC modeli

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } \theta_k \quad (25)$$

Kısıtlar:

$$\theta_k x_{ik} - \sum_{j=1}^n W_{jk} x_{ij} \geq 0 \quad (26)$$

$$\sum_{j=1}^n W_{jk} y_{rj} \geq y_{rk} \quad (27)$$

$$\sum_{j=1}^n W_{jk} = 1 \quad (28)$$

$$W_{jk} \geq 0 \quad (29)$$

Girdi yönlü BCC modelinin duali

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Max } \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rk} - u_k \quad (30)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij} - u_k \leq 0 \quad (31)$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ik} = 1 \quad (32)$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq \varepsilon > 0 \quad (33)$$

u_k serbest

Çıktı yönlü BBC modelinin primali Eşitlik (34)-(37)'de, duali ise Eşitlik (38)-(41)'de gösterilmektedir (Kınacı, 2017).

Çıktı yönlü BCC modeli

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Max } Z_k \quad (34)$$

Kısıtlar:

$$Z_k y_{rk} - \sum_{j=1}^n N_{jk} y_{rj} \leq 0 \quad (35)$$

$$\sum_{j=1}^n N_{jk} x_{ij} \leq x_{ik} \quad (36)$$

$$N_{jk} \geq 0 \quad (37)$$

Çıktı yönlü BCC modelinin duali

Amaç fonksiyonu:

$$\min \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ik} - v_k \quad (38)$$

Kısıtlar

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij} - v_k \quad (39)$$

$$\sum_{i=1}^m u_{rk} y_{rk} = 1 \quad (40)$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq \varepsilon > 0 \quad (41)$$

v_k serbest

3.2. Süper Etkinlik Veri Zarflama Analizi

VZA'nın temel modelleri ile KVB'ler incelendiğinde, tam etkin olarak belirlenen bütün KVB'ler "1" etkinlik skorunu almakta ve bu durum da etkin KVB'leri kendi aralarında sıralamak mümkün olmamaktadır (Gündüz, 2019).

Etkin KVB'lerin diğer tüm birimlerle birlikte karşılaştırılması ve sıralanması üzerine kurulmuş olan ilk sıralama yöntemi Andersen ve Petersen (1993) yöntemidir. Bu yaklaşım, VZA gibi parametrik olmayan yöntemlere dayanan analizlerde karşılaştırmayı kolaylaştırır ve etkin birimleri sıralamak için bir temel oluşturur. Andersen ve Petersen (AP) modeli literatürde "Süper Etkinlik Modeli" olarak adlandırılmaktadır. Bu analizdeki ana fikir, incelenen KVB'yi, tüm diğer KVB'lerin doğrusal birleşimleri ile karşılaştırmaktır. Etkin KVB'nin etkinliğini koruması için incelenen etkin KVB referans kümeden çıkartılır. Böylece girdilerde oluşabilecek en büyük artış oranına ulaşılır. Elde edilen SE skoruna göre KVB'ler büyükten küçüğe doğru sıralanır (Gündüz, 2019).

VZA'nın etkin olmayan birimleri sıralayıp etkin KVB'leri kendi aralarında sıralayamaması bu analizin bir dezavantajıdır. Bu dezavantajı gidermek için SE (SE) analizi oldukça yararlı olmaktadır. SE analizi, VZA ile tam etkin bulunmuş KVB'lerin, girdi ve çıktı miktarlarını nasıl kullandıkları hakkında bilgi vermektedir (Gündüz, 2019).

SE sıralaması ile etkin KVB'lerin referans gösterilme sayıları tamamen aynı olmasa da kısmen paralellik gösterebilmektedir. Yani, referans kümesinde en çok referans gösterilen KVB'nin en yüksek SE skoruna sahip olma olasılığı yüksektir. Bu durum da VZA ile elde edilen sonuçların SE skorları ile bağdaştığı anlamına gelmektedir. SE yöntemi VZA'nın kullanıldığı her alanda kullanabilmektedir SE analizi araştırmaya özgünlük katmakta ve klasik VZA ile hemen fark edilemeyecek olan detayların görülmesini sağlamaktadır (Gündüz, 2019).

SE, VZA'nın bir alt modeli gibidir. Bu yüzden SE modellerinin de aynı VZA'da olduğu gibi girdi ve çıktı odaklı CCR ve BCC modelleri olmak üzere dört ana modeli mevcuttur. Bu modeller için kullanılan parametreler aşağıda açıklanmıştır (Gündüz, 2019):

θ_k : Girdi odaklı modellerde k . KVB'nin etkinlik değeri

G_{jk} : Girdi odaklı modellerde k . KVB'nin j . KVB'ne göre aldığı ağırlık değeri

f_{rk}^+ : k . KVB'nin r . çıktısına ait aylak değişken

f_{ik}^- : k . KVB'nin i . girdisine ait aylak değişken

ζ_{jk} : Çıktı odaklı modellerde k . KVB'nin j . KVB'ye göre aldığı ağırlık değeri

φ_k : Çıktı odaklı modellerde k . KVB'nin etkinlik değeri

Girdi odaklı CCR-SE modeli

Girdi odaklı CCR-SE modelinde, analiz ölçeğe göre sabit getiriye esas almakta ve tam etkin KVB'leri kendi aralarında girdi kümelerindeki değişim oranına göre sıralamaktadır. Matematiksel gösterimi Eşitlik (42)-(46)'daki gibidir (Gündüz, 2019).

Amaç fonksiyonu:

$$\min \theta - \varepsilon \sum_{i=1}^m f_{ik}^- - \varepsilon \sum_{r=1}^s f_{rk}^+ \quad (42)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1 \neq k}^n x_{ij} G_{jk} - f_{ik}^- - \theta x_{ik} \leq 0 \quad (43)$$

$$\sum_{j=1 \neq k}^n y_{rj} G_{jk} - f_{rk}^+ - y_{rk} \geq 0 \quad (44)$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq \varepsilon \quad (45)$$

$$f_{ik}^-, f_{rk}^+, G_{jk} \geq 0 \quad (46)$$

$(j \neq k)$

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

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

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

Çıktı odaklı CCR-SE modeli

Çıktı odaklı CCR-SE modelinde, analiz ölçeğe göre sabit getiriye esas almakta ve tam etkin KVB'leri kendi aralarında çıktı kümelerindeki değişim oranına göre sıralamaktadır. Matematiksel gösterimi Eşitlik (47)-(51)'deki gibidir (Gündüz, 2019).

Amaç fonksiyonu:

$$\min \varphi - \varepsilon \sum_{i=1}^m f_{ik}^- + \varepsilon \sum_{r=1}^s f_{rk}^+ \quad (47)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1 \neq k}^n x_{ij} \zeta_{jk} + f_{ik}^- - x_{ik} \leq 0 \quad (48)$$

$$\sum_{j=1 \neq k}^n y_{rj} \zeta_{jk} + f_{rk}^+ - \varphi y_{rk} \geq 0 \quad (49)$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq \varepsilon \quad (50)$$

$$f_{ik}^-, f_{rk}^+, \zeta_{jk} \geq 0 \quad (51)$$

$$(j \neq k)$$

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

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

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

Girdi odaklı BCC-SE modeli

Girdi odaklı BCC-SE modelinde, analiz ölçeğe göre değişken getiriye esas almakta ve tam etkin KVB'leri kendi aralarında girdi kümelerindeki değişim oranlarına göre sıralamaktadır. Matematiksel gösterimi Eşitlik (52)-(56)'daki gibidir (Gündüz, 2019).

Amaç fonksiyonu:

$$\min \theta_k - \varepsilon \sum_{i=1}^m f_{ik}^- - \varepsilon \sum_{r=1}^s f_{rk}^+ \quad (52)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1 \neq k}^n x_{ij} G_{jk} - f_{ik}^- - \theta_k x_{ik} \leq 0 \quad (53)$$

$$\sum_{j=1 \neq k}^n y_{rj} G_{jk} - f_{rk}^+ - y_{rk} \geq 0 \quad (54)$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq \varepsilon \quad (55)$$

$$f_{ik}^-, f_{rk}^+, G_{jk} \geq 0 \quad (56)$$

($j \neq k$)

$j=1, \dots, n$

$r=1, \dots, s$

$i=1, \dots, m$

Çıktı odaklı BCC-SE modeli

Çıktı odaklı BCC-SE modelinde, analiz ölçeğe göre değişken getiriye esas almakta ve tam etkin KVB'leri kendi aralarında çıktı kümelerindeki değişim oranına göre sıralamaktadır. Matematiksel gösterimi Eşitlik (57)-(62)'deki gibidir (Gündüz, 2019).

Amaç fonksiyonu:

$$\max \varphi - \varepsilon \sum_{i=1}^m f_{ik}^- + \varepsilon \sum_{r=1}^s f_{rk}^+ \quad (57)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1 \neq k}^n x_{ij} \zeta_{jk} + f_{ik}^- - x_{ik} \leq 0 \quad (58)$$

$$\sum_{j=1 \neq k}^n y_{rj} \zeta_{jk} - f_{rk}^+ - \varphi y_{rk} \geq 0 \quad (59)$$

$$\sum_{j=1 \neq k}^n \zeta_{jk} = 1 \quad (60)$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq \varepsilon \quad (61)$$

$$f_{ik}^-, f_{rk}^+, \zeta_{jk} \geq 0 \quad (62)$$

($j \neq k$)

$j=1, \dots, n$

$r=1, \dots, s$

$i=1, \dots, m$

3.3. Stokastik Sınır Analizi

Keşfi 50 yıldan önceye dayanan SSA tahmin edilebilen en uygun uygulama sınırı ile karar verici birimin gerçekleştirdiği performans arasındaki uzaklığı ölçme isteği sonucu ortaya çıkmıştır. Parametrik bir yöntem olan SSA, Aigner, Lovell, Schmidt (1977) tarafından ve daha sonra yine aynı yıl Van Den Broeck ve Mausen (1977) tarafından kullanılmıştır (Hünerli, 2019).

3.3.1. Stokastik Sınır Analizi'nin Özellikleri

SSA, üretimin etkin bir şekilde yapılıp yapılmadığı sorunundan yola çıkarak, KVB'lerin etkinliğini ölçmek ve üretim sınır fonksiyonlarını tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir. SSA üretim sırasında oluşabilecek hataların tahmin edilmesini ve bu hatalardan kaynaklanan etkinsizliğin azaltılmasını amaçlamaktadır. Bu yaklaşımın en önemli özelliği, VZA'da kullanılan teknik etkinliğin yanı sıra modeldeki girdilerde oluşacak hatalardan dolayı çıktıların etkilenebileceği durumları fark edebilmesidir (Avcı ve Çağlar, 2016).

Ekonometrik yöntemlerden biri olan SSA'nın en temel özelliği, her KVB'nin tahmin edilen konvansiyonel bir fonksiyon tarafından oluşturulan eğriye olan uzaklığını hesaplayarak etkinlik ya da etkinsizlik tespitini yapabilmesidir. Ayrıca bu yöntemin en ayırt edici özelliği ise VZA yönteminin ölçüm hatalarına karşı olan duyarlılığı dezavantajını ortadan kaldırabilmesidir. SSA'da sadece girdi ve çıktı belirleyerek etkinliği ölçmek mümkün değildir. SSA'da öncelikle üretim fonksiyonunun belirlenmesi gerekir (Hünerli, 2019).

Aigner ve Chu (1968), Cobb-Douglas parametrik üretim sınır fonksiyonunun tahminini için Eşitlik (63) ve (64)'teki modeli tanımlamıştır (Özgür, 2012).

$$\ln(y_j) = x_j \beta_i - a_j \quad (63)$$

$$\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m)' \quad (64)$$

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

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

Burada y_j , j . KVB'nin çıktısını, $\ln(y_j)$ ise j . KVB'nin çıktı değerinin logaritmasını temsil eder. x_j , $(m+1)$ boyutlu satır vektörüdür, a_j ise negatif olmayan rastgele bir değişkendir. β_i , modelde bilinmeyen parametrelerden oluşan ve tahmin edilmesi gereken $((m+1) \times 1)$ boyutlu bir sütun vektörüdür (Özgür, 2012).

3.3.2. Stokastik Üretim Sınır Fonksiyonu

Aigner, Lovell ve Schmidt, Meesun ve Van Den Broeck'ten ayrı olarak modelin stokastik sınır üretim fonksiyonunu Eşitlik (65)'teki gibi geliştirmiştir (Özgür, 2012):

$$\begin{aligned} \ln(y_j) &= x_j \beta_i + b_j - a_j \\ j &= 1, \dots, n \\ i &= 1, \dots, m \end{aligned} \tag{65}$$

İstatistiksel gürültüyü açıklamak için Eşitlik (63)'teki modele rastgele hata b_j eklenmiştir. Bu rastgele hatalar kaza, şans, hava, grev gibi tesadüfî faktörleri ve ölçüm hatalarını belirtmektedir.

Aigner, Lovell ve Schmidt, b_j 'lerin σ_b^2 varyanslı ve 0 ortalamaya sahip bağımsız ve normal dağılmış tesadüfî değişkenler olduğunu, a_j 'lerin de bağımsız ve üstel ya da yarı normal bir şekilde dağılan tesadüfî değişkenler olduğunu kabul etmişlerdir. Ayrıca b_j 'lerin ve a_j 'lerin birbirinden bağımsız değişkenler olduğu varsayılmıştır.

Eşitlik (65)'te çıktı değişkenleri stokastik değişken $\exp(x_j \beta_i + b_j)$ ile yukarıdan sınırlandırılmıştır. Tesadüfî hata b_j , pozitif ya da negatif olabilir ve bu nedenle stokastik sınır çıktıları modelin deterministik kısmı $\exp(x_j \beta_i)$ ile ilgili değişebilmektedir. x_j girdisi ile y_j çıktısını elde etmek için kullanılan Cobb-Douglas stokastik üretim sınır modelinin farklı örnekleri Eşitlik (66), (67) ve (68)'deki gibidir (Özgür, 2012):

$$\ln(y_j) = \beta_0 + \beta_1 \ln x_j + b_j - a_j \tag{66}$$

Ya da

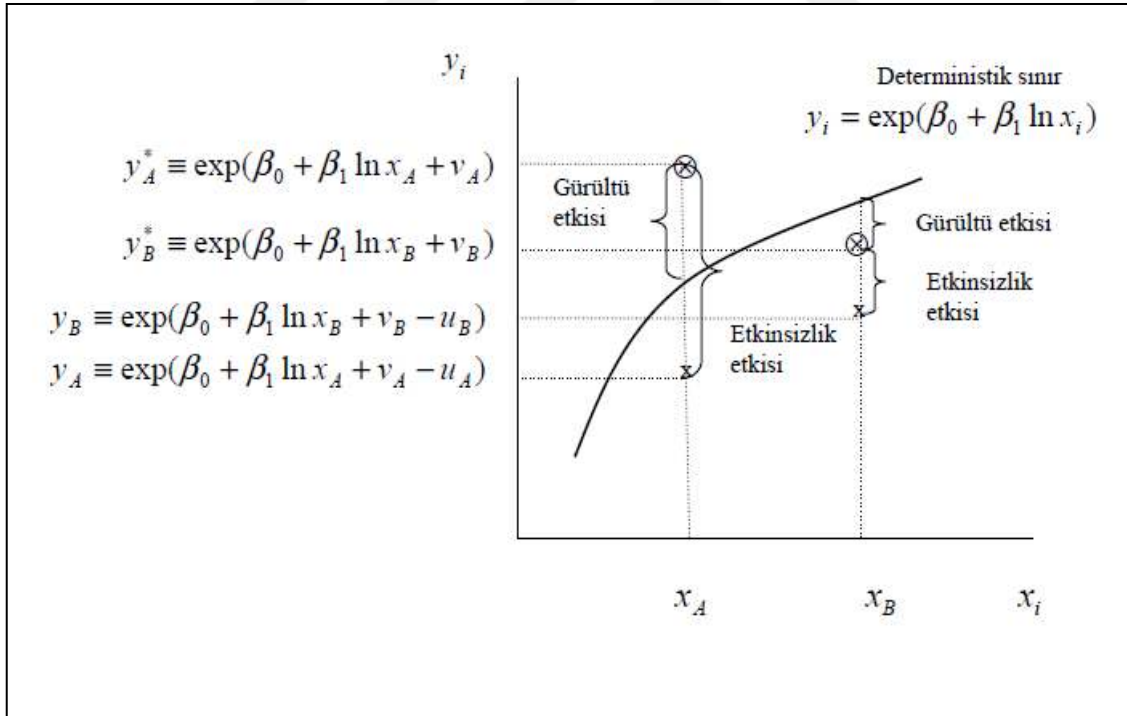
$$y_j = \exp(\beta_0 + \beta_1 \ln x_j + b_j - a_j) \tag{67}$$

Ya da

$$y_j = \underbrace{\exp(\beta_0 + \beta_1 \ln x_j)}_{\text{deterministik bileşen}} * \underbrace{\exp(b_j)}_{\text{gürültü}} * \underbrace{\exp(-a_j)}_{\text{etkinsizlik}} \quad (68)$$

Eşitlik (66)'da tanımlanan sınır modeli birkaç girdinin kullandığı duruma göre değiştirilebilir (Özgür, 2012).

Eşitlik (68)'deki durum Şekil 12'deki grafikte gösterilmiştir. A ve B firmaları ele alınsın. x_j girdileri y_j çıktıları ifade etmektedir. A firmasının gürültü etkisi (v_A) pozitif olduğu için üretim sınırı deterministik kısmın üstünde kalmıştır. Fakat B firmasının gürültü etkisi (v_B) negatif olduğu için üretim sınırı deterministik kısmın altında kalmıştır (Yalçın, 2017).



Şekil 12. Stokastik üretim sınırı (Özgür, 2012).

Eşitlik (63) dikkate alındığında x_j girdi vektörü iken j . KVB'nin teknik etkinliği Eşitlik (69)'daki gibi ifade edilmektedir (Özgür, 2012):

$$TE_j = \frac{y_j}{e^{x_j \beta_i}} = \frac{e^{x_j \beta_i - a_j}}{e^{x_j \beta_i}} = e^{-a_j} \quad (69)$$

Teknik etkinlik ölçütü x_j girdi vektörünü veren sınır fonksiyonunun potansiyel çıktıya oranlanmasıyla elde edilmektedir. Bu ölçüt çıktı yönlü olduğu için 0 ile 1 arasında değerler almaktadır. Eşitlik (69) ile tanımlanan teknik etkinlik y_j çıktı değerinin $\exp(x_j \beta_i)$ sınır çıktı değerine bölünmesiyle de hesaplanabilmektedir.

Eşitlik (65) dikkate alındığında da teknik etkinlik $TE_j = e^{-a_j}$ 'ye eşit olmaktadır. TE_j 'yi hesaplamak için öncelikle Eşitlik (65)'te tanımlanan a_j ve b_j parametrelerinin tahmini gerekmektedir (Özgür, 2012).

3.3.2.1. Cobb-Douglas Üretim Fonksiyonu

SSA'da Cobb-Douglas, Translog, CES ve Zellner-Revankar gibi üretim fonksiyonları kullanılmaktadır. Genellikle kolay uygulanabilirliği ve basitliği nedeniyle Cobb-Douglas üretim fonksiyonu kullanılmaktadır (Kokoç, 2019).

Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun Stokastik Sınır Analizi için genelleştirilmiş modeli Eşitlik (70)'deki gibidir (Kokoç, 2019):

$$\ln y_{jt} = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i \ln(x_{jt}) + b_j - a_j \quad (70)$$

Burada kullanılan parametreler,

y_{jt} : j . birimin t . zaman için logaritmik çıktısını,

x_{jt} : j . birimin t . zaman için logaritmik girdisini,

β_i : Parametreler $(1, \dots, m)$,

m : Girdi sayısını,

b_j : Rassal hata terimini,

a_j : Teknik etkinsizlik hata terimini ifade etmektedir.

3.3.3. Parametreleri Tahmin Etme

Daha önceden de bahsedildiği gibi stokastik sınır fonksiyonundaki parametrelerin tahmin edilmesi çalışma için çok önemli bir noktadır.

Eşitlik (65)'te tanımlanan parametreler Richmond (1974) tarafından önerilen en çok olabilirlik yöntemi ile tahmin edilebilmektedir. SSA için kullanılacak olan Tim Coelli tarafında geliştirilen Frontier programında da parametre tahminleri için en çok olabilirlik yöntemi kullanılmaktadır (Özgür, 2012).

3.3.3.1. En Çok Olabilirlik Yöntemi

Eşitlik (65)'teki modelin b_j ve a_j parametrelerini en çok olabilirlik yöntemi ile tahmin etmek için bazı varsayımlar gereklidir. Bu varsayımlar Eşitlik (71)-(75)'te gösterilmektedir (Özgür, 2012):

$$\bullet \quad E(b_j) = 0 \quad (\text{Sıfır ortalamalı}) \quad (71)$$

$$\bullet \quad E(b_j^2) = \sigma_b^2 \quad (\text{Eş varyanslı}) \quad (72)$$

$$\bullet \quad E(b_j b_i) = 0 \quad \text{bütün } i \neq j \text{ için} \quad (\text{İlişkisiz}) \quad (73)$$

$$\bullet \quad E(a_j^2) = \text{sabit} \quad (\text{Eş varyanslı}) \quad (74)$$

$$\bullet \quad E(a_j a_i) = 0 \quad \text{bütün } i \neq j \text{ için} \quad (\text{İlişkisiz}) \quad (75)$$

Burada her b_j her a_j 'den bağımsız olarak dağılmaktadır ve her iki hata da x_j açıklayıcı değişkenleri ile ilişkisizdir. b_j ve a_j 'de bağımsız ve özdeş bir şekilde dağılmıştır.

Yukarıdaki varsayımlara göre b_j 'ler 0 ortalamalı ve σ_b^2 varyanslı normal rastgele değişkendir. a_j 'ler de sıfır noktasında σ_a^2 varyanslı normal rastgele değişkenin kesikli haline sahiptir (Özgür, 2012).

Eşitlik (65) ile tanımlanan model için Aigner, Lovell ve Schmidt tarafından logaritmik olabilirlik fonksiyonu Eşitlik (76)-(77)'deki gibi elde edilmiştir (Özgür, 2012).

$$\sigma_s^2 = \sigma_a^2 + \sigma_b^2 \quad (76)$$

$$\lambda = \sigma_a / \sigma_b \quad (77)$$

Battese ve Corra (1977)'da Eşitlik (78)'deki γ parametresinin de kullanılmasını savunmuştur (Özgür, 2012).

$$\gamma = \sigma_a^2 / \sigma_s^2 \quad (78)$$

Battese ve Corra ‘nın γ parametresini ileri sürmesinin sebebi ise λ parametresi pozitif bir tam sayı değeri alıyorken γ parametresinin 0 ile 1 arasında bir değer almasıdır. $\gamma = 1$ olması sınırdan sapmaların etkinsizlikten, $\gamma = 0$ olması ise bu sapmaların gürültüden kaynaklandığını göstermektedir. Bu durumda en çok olabilirlik tahminlerini elde etmek için γ parametresinin de kullanılması modeli daha avantajlı hale getirecektir (Özgür, 2012).

Battese ve Corra tarafından önerilen logaritmik olabilirlik fonksiyonu Eşitlik (79)’daki gibidir (Özgür, 2012).

$$\ln(L) = -\frac{n}{2} \ln\left(\frac{\pi}{2}\right) - \frac{n}{2} \ln(\sigma_s^2) + \sum_{j=1}^n \ln[1 - \Phi(z_j)] - \frac{1}{2\sigma_s^2} \sum_{j=1}^n (\ln y_j - x_j \beta_i)^2 \quad (79)$$

Burada $z_j = \frac{(\ln y_j - x_j \beta_i)}{\sigma_s} \sqrt{\frac{\gamma}{1-\gamma}}$ ve $\Phi(\cdot)$, standart normal rastgele değişkenin dağılım fonksiyonudur.

β_i , σ_s^2 ve γ ’nın en çok olabilirlik tahminleri Eşitlik (79) ile tanımlanan logaritmik olabilirlik fonksiyonunun maksimumu hesaplanarak elde edilebilmektedir (Özgür, 2012).

3.3.4. Teknik Etkinliğin Tahmini

Modelde kullanılacak parametreler belirlendikten sonra KVB’lerin ortalama teknik etkinliği belirlenmiştir. Teknik etkinlik, olabilecek en az girdi miktarıyla belirlenen çıktı miktarının üretilmesi yeteneğini ya da belirlenen girdi miktarıyla maksimum çıktıyı elde edebilme yeteneğini ifade eder. Teknik etkinliğin matematiksel beklenen değeri Eşitlik (80)’de ifade edilmiştir (Öztürk Durak, 2019).

$$TE_j = e^{-a_j} \quad (80)$$

a_{js} bağımsız ve yarı normal rastgele değişken ise, teknik etkinliğin beklenen değeri Eşitlik (81)’de gösterilmiştir (Öztürk Durak, 2019).

$$[e^{-a_j}] = 2[1 - \Phi(\sigma_s \sqrt{\gamma}) e^{-\gamma \sigma_s^2}] \quad (81)$$

Ortalama teknik etkinlik için öncelikle parametreler tahmin edilir. Daha sonra Eşitlik (81) ile ortalama teknik etkinliğin en çok olabilirlik tahmin edicisi elde edilir (Özgür, 2012). Aritmetik ortalamanın en iyi tahmin edici olmadığı durumlarda, KVB'lerin teknik etkinliğinin tahmin edilmesi için dağılımsal varsayımlar gerekli olabilmektedir (Öztürk Durak, 2019).

3.3.4.1. Teknik Etkinsizlik Etkilerinin Dağılımları

Verilen stokastik üretim sınırının parametrelerinin tahmininde ilk adım teknik etkinliğin belirlenebilmesidir. Bu sebeple her bir KVB için hata terimini a_j ve b_j olarak ayırmak gerekir. Bu durum ise hata teriminin iki bileşeni için dağılım varsayımları gerektirir.

Stokastik sınır modelinde en çok tartışılan konu a_j teknik etkinsizlik etkisini gösteren hata bileşenin hangi dağılıma sahip olduğudur. İstatistiksel gürültüyü temsil eden b_j hata teriminin a_j 'den bağımsız sabit varyans ve sıfır ortalamalı normal dağıldığı varsayılmaktadır. a_j 'nin ise genellikle üstel, yarı normal, gamma veya kesilmiş normal dağılıma uyduğu varsayılmaktadır (Öztürk Durak, 2019).

Sınır modellerinin tahmini için bazı yazılım paketleri kullanılabilirken bazılarının kullanımı uygun olmamaktadır. Bu nedenle dağılımsal özelliklerin doğru bir şekilde seçilmesi için sayısal uygunluğun sağlanması gerekmektedir. Örneğin; yarı normal ve kesilmiş normal dağılımlı modeller FRONTIER 4.1 programı ile tahmin edilirken, bazı yazılım paketlerinde tahmini mümkün değildir (Öztürk Durak, 2019).

3.3.5. Hipotez Testleri

Eşitlik (65)'te verilen stokastik sınır modeli için teknik etkinsizliğin anlamlı olup olmadığı test edilmelidir. Stokastik sınır modeli tahmininde kullanılan parametrelerin katsayılarının anlamlı olup olmadığını test etmek için aşağıdaki H_0 ve H_1 hipotezleri kullanılmaktadır. Bu hipotezler Eşitlik (82)-(87)'de gösterilmektedir (Öztürk Durak, 2019).

$$H_0: \sigma_a^2 = 0 \quad (82)$$

$$H_1: \sigma_a^2 > 0 \quad (83)$$

$$H_0: \lambda = 0 \quad (84)$$

$$H_1: \lambda > 0 \quad (85)$$

$$H_0: \gamma = 0 \quad (86)$$

$$H_1: \gamma > 0 \quad (87)$$

Boş hipotezin kabul edilmesi bütün KVB'lerin etkin olduğunu yani bütün teknik etkinsizlik terimlerinin sıfır olduğunu ifade eder. Normal-yarı normal ve normal-üssel dağılım modelleri durumunda boş hipotez tek bir parametre içeren tek bir kısıtlamadan oluşur. Birçok test istatistikleri kullanılarak yukarıda verilen hipotezler test edilebilir. Bu yöntemlerden birisi Wald istatistiğidir. σ_a^2 'nin en çok olabilirlik tahmin edicisinin σ_a^2 'nin tahmin edilmiş standart hatasına oranı Wald istatistiğini verir (Öztürk Durak, 2019).

Coelli (1995) yaptığı Monte Carlo çalışmasıyla Wald testinin çok sağlıklı ölçme özelliklerine sahip olduğunu, çalışma başına 0,05 olarak belirlenen 1.tip hata olasılığının 0,20 oranında gerçekleştiğini göstermiştir. Yani yapılan 100 denemede gerçekte doğru olan H_0 hipotezi 20 kez reddedilmiş demektir. Coelli yaptığı çalışma ile tek yanlı genelleştirilmiş olabilirlik oran testinin en çok olabilirlik tahmini içermesi halinde kuralla uygun ve doğru ölçüye sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır (Öztürk Durak, 2019).

3.3.5.1. Tek Yanlı Genelleştirilmiş Olabilirlik Oran Testi

Genelleştirilmiş olabilirlik oran testi Wald testine göre daha sağlıklı sonuçlar veren bir testtir. Tek yanlı genelleştirilmiş olabilirlik oran testi, H_0 ve H_1 hipotezleri altında, modelin tahminini gerektirir. Test istatistiği Eşitlik (88)'deki gibi hesaplanmaktadır (Öztürk Durak, 2019).

$$LR = -2 \left\{ \ln \left[\frac{L(H_0)}{L(H_1)} \right] \right\} = -2 \{ \ln[L(H_0)] - \ln[L(H_1)] \} \quad (88)$$

Eşitlik (88)'deki genelleştirilmiş olabilirlik oran istatistiği, $L(H_0)$ boş hipotez ve $L(H_1)$ alternatif hipotez altındaki logaritmik değerlerini ifade etmektedir. $H_0: \gamma = 0$ boş hipotezinde, γ mevcut parametre sınırının üzerinde değer alabilir. Bu durumda, eğer

$H_0: \gamma = 0$ doğru ise LR , asimptotik bir dağılıma sahip olur. Bu durum Eşitlik (89)'daki gibi ifade edilebilir (Öztürk Durak, 2019).

$$LR = \frac{1}{2}X_0^2 + \frac{1}{2}X_1^2 \quad (89)$$

Aslında $H_0: \gamma = 0$ boş hipotezine karşı $H_1: \gamma > 0$ alternatif hipotezinde kritik değeri hesaplamak zor değildir. Böyle bir durumda α büyüklüğünde test edebilmek için, kritik değer $X_1^2(2\alpha)$ değerine eşit olmalıdır. Bu değer X_1^2 değişkeni tarafından 2α 'ya eşit bir olasılıkla seçilmelidir (Öztürk Durak, 2019).

3.3.6. Stokastik Sınır Analizi ile Veri Zarflama Analizi'nin Kıyaslanması

Teknik etkinlik düzeyinin ölçülmesinde pek çok farklı yöntem geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Etkinlik analizinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden ikisi VZA ve SSA'dır. VZA ve SSA tekniklerinin temel prensibi aslında aynıdır ve her iki yöntemin de ortak hedefi her bir modelin etkinliğini ölçen optimal bir yöntem kurmaktır. İki yöntemin de çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır. VZA yönteminin en önemli avantajı, çok sayıda girdi ve çıktının kullanıldığı durumlarda belirli bir varsayım gerektirmeden analiz yapılmasına olanak vermesidir. SSA ise, sapma gösteren gözlemlerden daha az etkilenmekte ve sonuçların istatistiksel olarak test edilmesine olanak sağlamaktadır (Öztürk Durak, 2019).

VZA'da rassal hataya yer yoktur ve verilerdeki gürültü ayıklanmamaktadır. Bu durumda analiz sonucu yanıltıcı olabilmektedir (Öztürk Durak, 2019). SSA yönteminin istatistikî hataları etkinsizlikten kaynaklanan hatalardan ayırabilmesi özelliği VZA yöntemine karşı sağladığı en büyük avantajlardandır. SSA'nın büyük örneklemelerle çalışırken serbestlik sorununu absorbe etmesi de güçlü yönlerinden bir tanesidir. Ölçüm hatalarını da hesaba katan bu yaklaşımda hatalar rassal bir nitelik göstermektedir (Hünerli, 2019).

Parametrik olmayan bir yöntem olması nedeniyle VZA için istatistikî hipotez testleri uygulanamamaktadır. SSA'da ortalama değere göre karşılaştırma yapılırken, VZA'da KVB'ler referans kümesi ile karşılaştırılır fakat teorik maksimuma göre KVB'lerin karşılaştırmaları yapılmaz. VZA'da doğrusal programlama ile SSA ise bir regresyon

modelinin istatistiksel tahmini yoluyla çözüme ulaşılmaktadır. VZA yalnızca aynı nitelikli KVB'lerini kendi aralarında karşılaştırır (Öztürk Durak, 2019).

SSA, şans, hava, makinenin bozulması gibi tesadüfi değişkenler, istatistiksel gürültüler ve ölçüm hatalarını da dikkate almaktadır, bu değişimleri dikkate almayan analizlerde etkinlik sınırı yanlış tespit edilebilmektedir. Bu yönüyle diğer etkinlik analizlerine karşı üstünlük sağlamaktadır (Öztürk Durak, 2019).

Örnekleme uçdeğerlerin olması SSA'da istatistiksel gürültünün çok olduğunu gösterir. Doğru sonuca ulaşabilmek için bu uçdeğerler veri setinden çıkarılarak analize devam edilmelidir (Aydın, 2018).

SSA yöntemi üretimde meydana gelen hataların ekonometrik modellerle tahmin edilmesine dayanmaktadır. SSA yönteminde analize başlamadan önce teorik çerçeve belirlenmiş ve uygun üretim fonksiyonun seçilmiş olması gerekmektedir (Hünerli, 2019).

SSA'nın ölçüm hatalarına karşı oldukça duyarlı olması nedeniyle SSA'nın kullanılması dikkat gerektirmektedir. SSA ile teknik etkinlik çalışmalarında farklı çıktıların tek sonuç ölçeğine dönüştürülmesi gerekliliği önemli veri ve bilgi kayıplarına neden olmaktadır (Hünerli, 2019).

VZA, SSA'ya göre veri setinin kullanımı konusunda minimum kısıt gerektirmekte ve yöntemi uygulayana büyük kolaylıklar sağlamaktadır. VZA, etkin olmayan olarak nitelendirdiği KVB'lerin etkinliğe ulaşmaları için nasıl önlemler almaları ve ne yapmaları gerektiği konusunda açıklayıcı bilgiler vermektedir. Fakat etkin KVB'ler arasında sıralama yapma konusunda yetersiz kalmaktadır (Evgallıoğlu, 2017).

VZA yöntemi KVB'lerin sınır fonksiyonuna olan uzaklıklarının hepsini etkinsizlik olarak değerlendirmektedir. Bu nedenle bazı tesadüfi durumları ya da ölçüm hatalarını etkinsizlik olarak hesaplamakta ve etkinlik değerlerinin düşük çıkmasına neden olabilmektedir (Evgallıoğlu, 2017).

SSA yöntemi, VZA'yı geliştirmek ve bazı eksikliklerini gidermek amacıyla ortaya çıkan bir tekniktir. Bu yöntemleri kullanarak güvenilir sonuçların elde edilmesi için çevresel etkilere, veri setine ve mevcut sektör koşullarına uygun yöntemi seçmek en önemli noktadır (Evgallıoğlu, 2017).

4. UYGULAMA, BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Girdi ve Çıktıların Belirlenmesi

Bu çalışmada, Türkiye ve diğer Avrupa ülkelerinin ürettikleri yenilenebilir enerjinin tükettikleri enerji miktarlarını karşılayıp karşılayamadığı kısacası yenilenebilir enerji kullanımında etkin olup olmadıkları araştırılmıştır. Öncelikle, çalışmaya uygun ve doğru girdi-çıktı değişkenlerinin belirlenebilmesi için konuyla ilgili geçmiş çalışmalar incelenmiştir. Tablo 4'te, enerji ile ilgili geçmiş yıllarda yapılmış çalışmalarda kullanılan girdiler, çıktılar ve yöntemler gösterilmektedir.

Tablo 4. Geçmiş çalışmalarda kullanılan girdi-çıktı değişkenleri

Çalışma	Yöntem	Girdi	Çıktı
Yetik vd. (2011)	VZA	Planlanan üretim kapasitesi	Gerçekleşen üretim miktarı
		Yakıtın alt ısı değeri	
	SSA	Ana yakıt tüketimi	
		NO, CO ₂ , SO ₂ ve diğer gaz emisyonları	
Özgür (2012)	SSA	Enerji tüketimi	Kişi başına GSYİH
		Alan büyüklüğü	
		Enerjinin reel fiyat endeksi	
		Endüstri sektörünün katma	Enerji tüketiminin birim başına GSYİH
		Değer payı	
		Hizmet sektörünün katma değer payı	
Song vd. (2013)	Bootstrap VZA	Nüfus sayısı	GSYİH
		Sermaye oluşum oranı	
	SE-SBM	Enerji tüketimi	
Çayır Ervural vd. (2016)	VZA	Toplam yenilenebilir enerji potansiyeli	Brüt enerji üretimi
		Ağ uzunluğu	Tüketici sayısı
		Toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü	
		Trafo Kapasitesi	
Camimoto vd. (2016)	VZA	Brüt sabit sermaye oluşumu	CO ₂ emisyonları
		İşgücü	GSYİH
	Pencere Analizi	Enerji tüketimini	

Tablo 4'ün devamı

Çalışma	Yöntem	Girdi	Çıktı
Kınacı (2017)	VZA	İş gücü	GSYİH
		Sermaye oluşumu	
	Bootstrap VZA	Birincil enerji tüketimi	
		Yenilebilir enerji tüketimi	
Karık (2017)	VZA	Enerji üretimi	GSYİH/nüfus
			Elektrik üretimi
		Elektrik kapasitesi	Hidrolik kapasitesi
			Jeotermal kapasitesi
	SE-VZA	Birincil enerji arzı	Güneş fotovoltaik kapasitesi
			Rüzgâr kapasitesi
		İş gücü/nüfus	Hidrolik enerjiden elektrik üretimi
	Malquimst VZA	Net sermaye dengesi	Jeotermalden elektrik üretimi
		Ormanlık alan	Güneş fotovoltaikten elektrik üretimi
		Nihai enerji tüketimi	Rüzgârdan elektrik üretimi
		Elektrik tüketimi	CO ₂ salınımı
Aydın Yenioğlu ve Ateş (2018)	VZA	Yıllık yenilenebilir enerji yatırımları	GSYİH
		Yenilenebilir enerji tüketimi	
		Birincil enerji tüketimi	
Çayır Ervural vd. (2018)	VZA	Toplam yenilenebilir enerji potansiyeli	Kişi başına düşen GSYİH
	Tobit Regresyon	Ağ uzunluğu	Brüt enerji üretimi
		Yenilenebilir enerji kurulu gücü	
	OEKM	Trafo kapasitesi	Tüketici sayısı
Zeng vd. (2020)	SE-VZA	Yatırım maliyeti	Fosil enerjide azalma
			GSYİH'da artış
			İstihdam fırsatı
		Bakım maliyeti	Sosyal kabul
			CO ₂ emisyonlarında azalma
	SE-VZA	İşletme maliyeti	Partikül emisyonlarında azalma
			SO ₂ emisyonlarında azalma
			NOX emisyonlarında azalma

Tablo 4'te kullanılan girdi-çıktı değişkenleri değerlendirilerek ve çalışmaya uygunluğu göz önüne alınarak 3 girdi ve 2 çıktı belirlenmiştir. Tüketilen enerji miktarlarına göre üretilen yenilenebilir enerjinin etkinlik analizi yapıldığı için çalışmada girdi olarak; yenilenebilir enerji tüketiminin birincil enerji tüketimindeki payı, birincil enerji tüketimi ve CO₂ emisyonları kullanılmıştır. Çıktı olarak ise GSYİH ve yenilenebilir enerji üretimi kullanılmıştır. Seçilen girdi-çıktı değişkenlerinin arasındaki ilişkiyi test etmek için korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizi, seçilen verilerin birbirleriyle olan ilişkisini açıklamada kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu analiz sonucuna göre seçilen değişkenlerin çalışma için doğru değişkenler olup olmadığı değerlendirilir.

Özşahin vd. (2016) ve Aydoğan Gökçü (2021) çalışmalarında, enerji tüketimi ile ekonomik gelişmenin arasında güçlü bir ilişki olduğunu gösteren sonuçlar elde etmişlerdir. Bu nedenle modele çıktı olarak GSYİH da eklenmiştir. Kullanılan girdi ve çıktıların açıklaması Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Girdi ve çıktıların açıklaması (BP, 2022).

Girdi-1	Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Birincil Enerji Tüketimindeki Payı (%): Yenilenebilir gücü ve biyoyakıtları içerir. Yenilenebilir enerji tüketimi, brüt üretime dayanmaktadır ve sınır ötesi elektrik arzını hesaba katmamaktadır. Bu girdi değişkeni yenilenebilir enerji tüketiminin birincil enerji tüketimi içindeki oranını ifade etmektedir.
Girdi-2	Birincil Enerji Tüketimi (Exajoules): Birincil enerji, elektrik üretmek için kullanılan modern yenilenebilir enerji kaynakları da dâhil olmak üzere ticari olarak ticareti yapılan yakıtları içermektedir.
Girdi-3	CO ₂ Emisyonları (Milyon ton): Karbon emisyonları, yalnızca yanma ile ilgili faaliyetler ve doğal gaz yakma için petrol, gaz ve kömür tüketimi yoluyla olanları yansıtmaktadır.
Çıktı-1	GSYİH (Milyar \$): Belirli bir zaman aralığında üretilen tüm nihai ürünlerin, piyasa değerindeki ekonomik ölçüsüdür (URL-6, 2022).
Çıktı-2	Yenilenebilir Enerji Üretimi (Exajoules): Güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriği içerir.

Çalışmaya dâhil olacak girdiler ve çıktılar belirlendikten sonra bunlar arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır. Daha sonra VZA, SE-VZA ve SSA yöntemleriyle Türkiye'nin de dâhil olduğu 20 Avrupa ülkesinin yenilebilir enerji etkinliği değerlendirilmiştir.

Ülkelere göre kullanılan yenilebilir enerji çeşidi ve miktarı coğrafi bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Türkiye, Avrupa ve Asya kıtasının arasında bulunmaktadır. Bu nedenle sonuçların daha güvenilir olması için Türkiye ve diğer 19 Avrupa ülkesi KVB olarak seçilmiştir.

Fard Moradinia (2017), KVB'nin sayısı ile ilgili 3 farklı varsayım olduğunu belirtmiştir. Bu varsayımlardan girdi-çıktı değişkenlerinin toplamının en az 2 katı olması en çok tercih edilendir. Çalışmada bu varsayım kullanılmıştır. 3 adet girdi ve 2 adet çıktı kullanıldığı için, en az 10 KVB gerekmektedir. Bu duruma göre 20 KVB'nin seçilmesi yeterli olmaktadır.

Bir diğer konu da zaman diliminin seçilmesidir. Seçilen zaman diliminin uzun olması durumunda çalışmadaki değişimlerin net fark edilemeyeceği için 4 yıllık bir zaman dilimi seçilmiştir. Seçilen bu zaman diliminin 2018 ve 2019 yılları pandemi öncesini, 2020 ve 2021 yılları pandemi sürecini kapsamaktadır. 2018, 2019, 2020 ve 2021 yıllarını içeren veriler Dünya Bankası ve BP'nin yayınladıkları yıllık raporlardan alınmıştır. Çalışmada kullanılan veriler Tablo 6-9'da gösterilmiştir.

Tablo 6. 2018 yılına ait veriler (BP, 2022; URL-7).

2018		Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Birincil Enerji Tüketimindeki Payı	Birincil Enerji Tüketimi	CO ₂ Emisyonları	GSYİH	Yenilenebilir Enerji Üretimi
NO	KVB	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Çıktı-1	Çıktı-2
1	Almanya	15,819	13,65	733,1	3977,29	2,05
2	Avusturya	10,217	1,47	62,1	454,9	0,13
3	Belçika	7,270	2,61	125,4	543,4	0,17
4	Çek Cumhuriyeti	5,740	1,74	101,9	249	0,08
5	Finlandiya	18,283	1,20	46,5	275,8	0,20
6	Fransa	6,071	10,05	306,7	2790,957	0,49
7	Hollanda	5,914	3,55	198,8	914,043	0,19
8	Birleşik Krallık	13,904	8,06	393,5	2900,791	1,06
9	İspanya	12,682	5,89	293,0	1420,994	0,68
10	İsveç	15,94	2,25	44,7	555,5	0,30
11	İsviçre	4,09	1,16	37,2	735,539	0,04
12	İtalya	10,790	6,67	336,1	2091,932	0,66
13	Macaristan	5,118	0,98	47,3	160,4	0,04
14	Norveç	2,766	1,98	35,3	437	0,04
15	Polonya	5,423	4,39	320,1	587,41	0,20
16	Portekiz	16,244	1,11	54,3	242,2	0,17
17	Romanya	6,612	1,43	73,4	241,46	0,08
18	Türkiye	5,969	6,36	390,8	778,472	0,37
19	Ukrayna	0,736	3,64	198,7	130,89	0,03
20	Yunanistan	9,584	1,15	72,7	212,1	0,10

Tablo 7. 2019 yılına ait veriler (BP, 2022; URL-7).

2019		Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Birincil Enerji Tüketimindeki Payı	Birincil Enerji Tüketimi	CO ₂ Emisyonları	GSYİH	Yenilenebilir Enerji Üretimi
NO	KVB	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Çıktı-1	Çıktı-2
1	Almanya	17,365	13,30	680,1	3888,326	2,19
2	Avusturya	10,379	1,54	63,6	445,1	0,14
3	Belçika	7,785	2,70	121,7	533,3	0,19
4	Çek Cumhuriyeti	5,813	1,72	98,2	250,7	0,09
5	Finlandiya	19,516	1,18	43,1	269	0,21
6	Fransa	7,015	9,84	299,3	2728,87	0,56
7	Hollanda	7,328	3,55	194,8	910,194	0,23
8	Birleşik Krallık	15,507	7,87	377,5	2878,674	1,15
9	İspanya	13,651	5,73	276,2	1393,046	0,71
10	İsveç	17,352	2,34	47,3	531,3	0,34
11	İsviçre	4,214	1,21	38,1	731,767	0,04
12	İtalya	11,134	6,56	328,6	2011,286	0,70
13	Macaristan	6,061	0,99	47,1	163,5	0,05
14	Norveç	4,052	1,85	34,3	405,5	0,06
15	Polonya	6,555	4,27	302,0	597,28	0,24
16	Portekiz	18,470	1,05	50,3	239,5	0,18
17	Romanya	7,346	1,39	71,7	249,88	0,09
18	Türkiye	6,586	6,60	386,7	761,004	0,43
19	Ukrayna	1,602	3,45	185,5	153,88	0,05
20	Yunanistan	10,716	1,12	68,6	205,3	0,12

Tablo 8. 2020 yılına ait veriler (BP, 2022; URL-8).

2020		Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Birincil Enerji Tüketimindeki Payı	Birincil Enerji Tüketimi	CO ₂ Emisyonları	GSYİH	Yenilenebilir Enerji Üretimi
NO	KVB	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Çıktı-1	Çıktı-2
1	Almanya	19,741	12,36	600,8	3806,060	2,30
2	Avusturya	10,417	1,44	56	428,965	0,14
3	Belçika	10,656	2,44	105,5	515,333	0,23
4	Çek Cumhuriyeti	6,289	1,59	87,9	243,53	0,09
5	Finlandiya	19,469	1,13	36,7	271,234	0,21
6	Fransa	8,239	8,86	251,6	2603,004	0,62
7	Hollanda	10,651	3,38	174,6	912,242	0,33
8	Birleşik Krallık	19,122	7,06	316,9	2707,744	1,29
9	İspanya	16,602	5,18	223,6	1281,199	0,80
10	İsveç	20,179	2,23	43,1	537,61	0,40
11	İsviçre	5,405	1,11	32,7	747,969	0,05
12	İtalya	12,500	5,92	283,8	1886,445	0,69
13	Macaristan	7,216	0,97	44,6	155,013	0,05
14	Norveç	5,473	2,01	32,9	362,009	0,10
15	Polonya	7,353	4,08	284,2	594,165	0,25
16	Portekiz	20,000	0,95	40,7	231,256	0,18
17	Romanya	8,271	1,33	64,6	248,716	0,09
18	Türkiye	7,764	6,44	373,9	720,101	0,50
19	Ukrayna	2,719	3,31	172,9	155,582	0,09
20	Yunanistan	14,000	1,00	56	189,41	0,14

Tablo 9. 2021 yılına ait veriler (BP, 2022; URL-9).

2021		Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Birincil Enerji Tüketimindeki Payı	Birincil Enerji Tüketimi	CO ₂ Emisyonları	GSYİH	Yenilenebilir Enerji Üretimi
NO	KVB	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Çıktı-1	Çıktı-2
1	Almanya	18,038	12,64	628,9	4223,115	2,15
2	Avusturya	10,135	1,48	58,4	477,082	0,13
3	Belçika	9,158	2,73	114,7	599,879	0,22
4	Çek Cumhuriyeti	5,952	1,68	92,4	282,341	0,09
5	Finlandiya	21,552	1,16	37,2	299,155	0,24
6	Fransa	7,864	9,41	273,6	2937,473	0,61
7	Hollanda	12,392	3,47	178,2	1018,007	0,40
8	Birleşik Krallık	17,270	7,18	337,7	3186,860	1,18
9	İspanya	17,352	5,59	245,7	1425,277	0,92
10	İsveç	21,491	2,28	40,1	627,438	0,42
11	İsviçre	5,607	1,07	33,4	812,867	0,05
12	İtalya	11,950	6,36	311,2	2099,880	0,71
13	Macaristan	7,843	1,02	45,7	182,281	0,07
14	Norveç	6,341	2,05	33,4	482,437	0,12
15	Polonya	7,207	4,44	309,1	674,048	0,28
16	Portekiz	20,833	0,96	39,7	249,886	0,19
17	Romanya	7,143	1,40	70,3	284,088	0,09
18	Türkiye	8,931	6,83	403,3	815,272	0,60
19	Ukrayna	3,303	3,33	167,9	200,086	0,11
20	Yunanistan	15,238	1,05	56,5	216,241	0,15

4.2. Korelasyon Analizi Sonuçları

Seçilen girdi ve çıktı değişkenlerinin birbirleriyle ilişkisini test etmek için korelasyon analizi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiler “IBM SPSS Statistics 21” ile Sperman korelasyon analizi yapılarak incelenmiştir. Modele ait girdi ve çıktılar arasındaki korelasyon ilişkisi Tablo 10’da gösterilmektedir.

Normal dağılım uymayan veriler kullanıldığında veya Pearson korelasyonunun diğer varsayımları sağlanamadığı durumlarda, Pearson korelasyonunun parametrik olmayan eşdeğeri olan Spearman korelasyon katsayısı kullanılır. İki değişken arasında doğrusal bir ilişki olsun ya da olmasın Spearman korelasyonu kullanılabilir (Hinton vd., 2014).

Tablo 10. Korelasyon analizi

			Çıktı-1	Çıktı-2	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3
Spearman's rho	Çıktı-1	Korelasyon Katsayısı	1,000	,798**	,270*	,802**	,620**
		Sig. (2-kuyruklu)		,000	,015	,000	,000
		N	80	80	80	80	80
	Çıktı-2	Korelasyon Katsayısı	,798**	1,000	,650**	,768**	,700**
		Sig. (2-kuyruklu)	,000		,000	,000	,000
		N	80	80	80	80	80
	Girdi-1	Korelasyon Katsayısı	,270*	,650**	1,000	,071	,083
		Sig. (2-kuyruklu)	,015	,000		,532	,464
		N	80	80	80	80	80
	Girdi-2	Korelasyon Katsayısı	,802**	,768**	,071	1,000	,865**
		Sig. (2-kuyruklu)	,000	,000	,532		,000
		N	80	80	80	80	80
	Girdi-3	Korelasyon Katsayısı	,620**	,700**	,083	,865**	1,000
		Sig. (2-kuyruklu)	,000	,000	,464	,000	
		N	80	80	80	80	80
**. Korelasyon 0,01 anlamlılık düzeyinde önemlidir (2-kuyruklu).							
*. Korelasyon 0,05 anlamlılık düzeyinde önemlidir (2-kuyruklu).							

Çalışmada kullanılan veriler normal dağılıma uymadığı için Spearman korelasyonu kullanılmıştır. p değerinin anlamlılık düzeyinden küçük olması durumunda H_0 hipotezi reddedilir ($p < 0,01$ veya $p < 0,05$) ve değişkenler arasında anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna varılır. Tüm değişkenler arasında pozitif yönde bir ilişki vardır. Çıktı-1 ile girdi-2 ve girdi-3 arasında anlamlı bir ilişki olduğu, çıktı-2 ile girdi-1, girdi-2 ve girdi-3 arasında anlamlı bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır. Korelasyon tablosundan da görüldüğü gibi girdiler ve çıktılar arasında pozitif katsayıda bir ilişki olması VZA ve SSA'nın sağlıklı sonuçlar vereceğini gösterir.

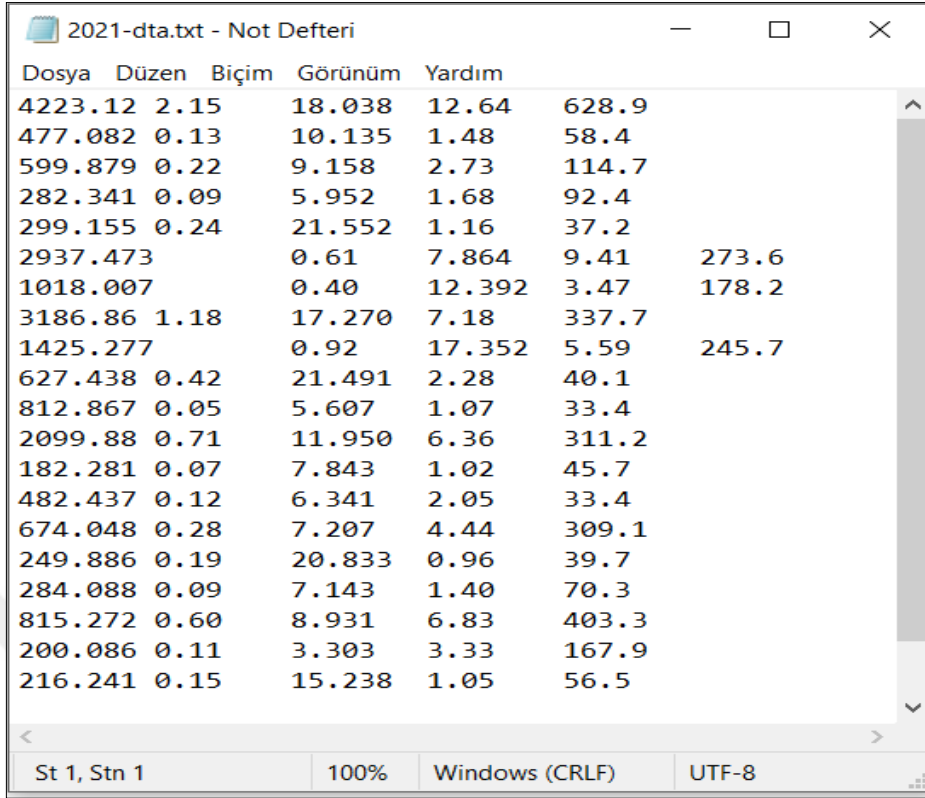
4.2. Veri Zarflama Analizi Sonuçları

Bu çalışmadaki amaç ülkelerin yenilenebilir enerji üretimini artırmaya yöneliktir. Bu nedenle, girdilerin miktarını azaltmak ana hedef değildir. Sabit girdi miktarları kullanılarak çıktı miktarlarındaki değişimi incelemek için çıktıya yönelik CCR modeli oluşturulmuştur. Modelde ölçeğe göre sabit getiri varsayımı kullanılmıştır.

VZA için en çok tercih edilen programlardan biri olan DEAP 2.0 programı kullanılmıştır. DEAP 2.0 programında analiz yapabilmek için veri, talimat ve çıktı dosyası olmak üzere 3 adet metin dosyası oluşturulur. Veri dosyasına çıktı ve girdi verileri yazılır. Talimat dosyasında analizin özelliklerini belirten satırlar yazılır. Program çalıştırıldıktan sonra sonuçlar çıktı dosyasında sıralanır. Çıktı dosyasındaki tablolar analiz sonucunu yorumlamamızı sağlar.

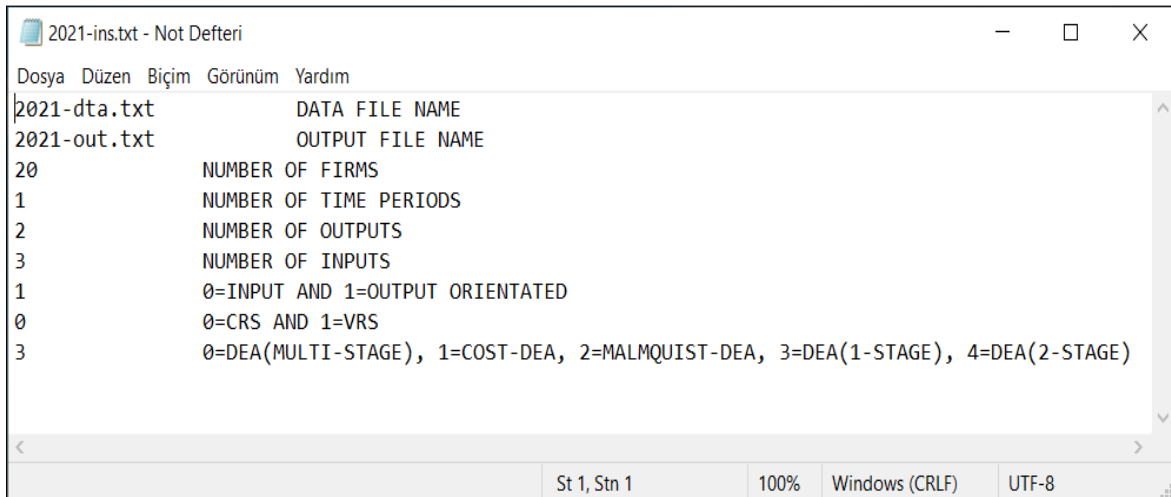
DEAP programı ile 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılı için analiz yapılmıştır. DEAP program çıktılarını açıklamak için örnek olarak 2021 yılı için yapılan VZA seçilmiştir. 2021 yılı için yapılan etkinlik analizi sonuçları oluşturulan tablolar ile değerlendirilmiştir.

Şekil 13'te 2021 yılına ait veri metni, Şekil 14'te ise çıktı yönlü CCR analizinin talimat metni bulunmaktadır. Talimat metninin ilk satırında veri dosyasının ismi, ikinci satırında çıktı dosyasının ismi yazılır. Üçüncü satırda KVB sayısı, dördüncü satırda zaman periyodu sayısı, beşinci satırda çıktı sayısı, altıncı satırda girdi sayısı yazılır. Yedinci satırda model girdiye yönelik ise 0, çıktıya yönelik ise 1 seçilir. Sekizinci satırda model ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında incelenecekse 0, değişken getiri varsayımı altında incelenecekse 1 seçilir. Son satırda da VZA metodu seçilir. Bu çalışma tek aşamadan oluştuğu için DEA (1-stage) seçilmiştir.



Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
4223.12	2.15	18.038	12.64	628.9
477.082	0.13	10.135	1.48	58.4
599.879	0.22	9.158	2.73	114.7
282.341	0.09	5.952	1.68	92.4
299.155	0.24	21.552	1.16	37.2
2937.473		0.61	7.864	9.41
1018.007		0.40	12.392	3.47
3186.86	1.18	17.270	7.18	337.7
1425.277		0.92	17.352	5.59
627.438	0.42	21.491	2.28	40.1
812.867	0.05	5.607	1.07	33.4
2099.88	0.71	11.950	6.36	311.2
182.281	0.07	7.843	1.02	45.7
482.437	0.12	6.341	2.05	33.4
674.048	0.28	7.207	4.44	309.1
249.886	0.19	20.833	0.96	39.7
284.088	0.09	7.143	1.40	70.3
815.272	0.60	8.931	6.83	403.3
200.086	0.11	3.303	3.33	167.9
216.241	0.15	15.238	1.05	56.5

Şekil 13. VZA için 2021 yılına ait veri metni



Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
2021-dta.txt				DATA FILE NAME
2021-out.txt				OUTPUT FILE NAME
20				NUMBER OF FIRMS
1				NUMBER OF TIME PERIODS
2				NUMBER OF OUTPUTS
3				NUMBER OF INPUTS
1				0=INPUT AND 1=OUTPUT ORIENTATED
0				0=CRS AND 1=VRS
3				0=DEA(MULTI-STAGE), 1=COST-DEA, 2=MALMQUIST-DEA, 3=DEA(1-STAGE), 4=DEA(2-STAGE)

Şekil 14. VZA için 2021 yılına ait talimat metni

Tablo 11, çıktı değişkenlerindeki eksik kalan miktarları göstermektedir. Örneğin, 9. KVB'ye bakıldığında çıktı-1 miktarının 304,052 birimi eksiktir ve çıktı-2 miktarında ise eksik kalan miktar olmadığı için aylak değeri 0'dır.

Tablo 11. Çıktı aylaklarının özeti

KVB	Çıktı-1	Çıktı-2	KVB	Çıktı-1	Çıktı-2
1	0	0	11	0	0
2	0	0	12	0	0
3	0	0	13	0	0
4	0	0	14	0	0
5	0	0	15	0	0
6	0	0	16	0	0
7	0	0	17	0	0
8	0	0	18	644,514	0
9	304,052	0	19	57,195	0
10	0	0	20	0	0

Tablo 12, girdi değişkenlerindeki kullanılmayan miktarları göstermektedir. Örneğin, 4. KVB'nin girdi-1 miktarının 1,412 birimi ve girdi-3 miktarının 16,167 birimi kullanılmamıştır. 4. KVB'nin girdi-1 miktarı 1,412 birim ve girdi-3 miktarı 16,167 birim azaltıldığında etkinlik skoru değişmeyecektir.

Tablo 12. Girdi aylaklarının özeti

KVB	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3
1	0	0	0
2	0,786	0	0
3	0	0,040	0
4	1,412	0	16,167
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	18,543
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	45,584
13	3,372	0	0
14	0	0,971	0
15	0	0	106,987
16	3,909	0	8,070
17	3,343	0	6,868
18	0	0,572	91,918
19	0	1,015	52,740
20	0	0	18,564

1., 5., 6., 8., 10. ve 11. KVB'lerinin girdilerinin aylak değeri 0'dır. Bu KVB'ler etkin olduğu için girdilerinin hepsi kullanılmış ve aylak değeri yoktur. Aynı şekilde çıktılarının aylak değeri de 0'dır.

Tablo 13'teki referans kümelerinin belirlenmesindeki amaç etkin olmayan KVB'lerin etkin olabilmek için örnek almaları gereken KVB'lerin gösterilmesidir. 2. KVB etkin olmadığından referans kümesinde 11., 8. ve 5. KVB bulunmaktadır. 1. KVB etkin olduğundan referans olarak kendi gösterilmektedir ve aynı şekilde diğer etkin KVB'ler de referans olarak kendileri gösterilmektedir. Referans kümesinden 1., 5., 6., 8., 10. ve 11. KVB'lerin etkin, diğerlerinin etkin olmadığı sonucu çıkarılabilir.

Tablo 13'teki referans ağırlık kümesinde, etkin KVB'lerin referans kümelerinde sadece kendileri bulunduğu için referans kümelerinin ağırlık değeri 1'dir.

Tablo 13. Referans kümesi, referans ağırlık kümesi ve referans gösterilme sayısı

KVB	Referans Kümesi	Referans Ağırlık Kümesi	Referans Gösterilme Sayısı
1	1	1	7
2	11-8-5	0,415-0,105-0,242	0
3	11-8-10	0,125-0,310-0,144	0
4	11-8	0,164-0,209	0
5	5	1	6
6	6	1	2
7	5-8-1	0,221-0,433-0,008	0
8	8	1	11
9	1-5-10	0,359-0,089-0,417	0
10	10	1	3
11	11	1	6
12	1-8-6	0,027-0,571-0,204	0
13	11-8-5	0,029-0,121-0,103	0
14	11-8-10	0,385-0,042-0,161	0
15	6-1-8	0,078-0,188-0,186	0
16	8-5	0,008-0,779	0
17	11-8	0,143-0,174	0
18	1	0,495	0
19	1	0,183	0
20	8-5-1	0,011-0,687-0,014	0

Etkin olmayan KVB'ler için referans gösterilen KVB'lerin ağırlık değerleri belirlenmiştir. Örneğin, 2. KVB'de referans kümesinde 11., 8. ve 5. KVB bulunmaktadır ve bunların ağırlıkları sırasıyla 0,415, 0,105 ve 0,242 birimdir. Bu değerlere göre de 2. KVB için ağırlığı en fazla olan 11. KVB en iyi referanstır.

Tablo 13'te ayrıca her bir KVB için referans gösterilme sayısı verilmiştir. Örneğin; 5. KVB 6 kez referans gösterilmiştir. Etkin olmayan KVB'lerin referans gösterilme sayısı 0'dır. Etkin olan KVB'lere bakıldığında en fazla referans gösterilme sayısına 8. KVB sahiptir. Bu KVB'nin etkinlik düzeyinin diğer etkin KVB'lere göre daha yüksek olduğu söylenebilir.

Tablo 14'te etkin olmayan her bir KVB'nin etkin olabilmesi için çıktı değişkenlerinin alması gereken hedef çıktı miktarları verilmiştir. Örneğin; 2. KVB'nin çıktı-1 miktarının 744,904 birim ve çıktı-2 miktarının 0,203 birim olması halinde 2. KVB etkin olacaktır. Model çıktı odaklı kurulduğu için çıktı hedefleri her bir KVB'nin etkin olabilmesi için son derece önemli bilgiler vermektedir.

Tablo 14. Çıktı hedeflerinin özeti

KVB	Çıktı-1	Çıktı-2
1	4223,120	2,150
2	744,904	0,203
3	1180,358	0,433
4	801,241	0,255
5	299,155	0,240
6	2937,473	0,610
7	1480,721	0,582
8	3186,860	1,180
9	1803,762	0,968
10	627,438	0,420
11	812,867	0,050
12	2532,519	0,856
13	440,286	0,169
14	547,060	0,136
15	1613,705	0,670
16	258,067	0,196
17	669,600	0,212
18	2090,957	1,065
19	773,310	0,394
20	299,047	0,207

Tablo 15'te etkin olmayan her bir KVB'nin etkin olabilmesi için girdi değişkenlerinin alması gereken hedef girdi miktarları verilmiştir. Örneğin; 2. KVB'nin girdi-1 miktarının 9,349 birim, girdi-2 miktarının 1,480 birim ve girdi-3 miktarının 58,400 birim olması halinde etkinliği elde edebileceği anlaşılmaktadır.

Tablo 15. Girdi hedeflerinin özeti

KVB	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3
1	18,038	12,640	628,900
2	9,349	1,480	58,400
3	9,158	2,690	114,700
4	4,540	1,680	76,233
5	21,552	1,160	37,200
6	7,864	9,410	273,600
7	12,392	3,470	159,657
8	17,270	7,180	337,700
9	17,352	5,590	245,700
10	21,491	2,280	40,100
11	5,607	1,070	33,400
12	11,950	6,360	265,616
13	4,471	1,020	45,700
14	6,341	1,079	33,400
15	7,207	4,440	202,113
16	16,924	0,960	31,630
17	3,800	1,400	63,432
18	8,931	6,258	311,382
19	3,303	2,315	115,160
20	15,238	1,050	37,936

VZA sonucundaki çıktı ve girdi özeti tabloları KVB'lerin yenilenebilir enerji konusunda etkinliği yakalayabilmeleri için önemli ipuçları vermektedir. Etkin olabilmek için hangi girdi ve çıktı değerlerini arttırıp hangilerini azaltabileceklerini göstermektedir.

DEAP programının çıktı sonuçlarında her bir KVB için ayrı ayrı analiz sonucu tablosu bulunmaktadır. Aşağıda etkin olan ve etkin olmayan KVB'lere birer örnek verilerek 1. KVB'nin ve 2. KVB'nin analiz sonucu anlatılmıştır.

Tablo 16'daki analiz sonucuna göre, 1. KVB'nin teknik etkinliği 1'dir. Bu durum, 1. KVB'nin tamamen etkin olduğunu ve dolayısıyla aylak harekete sahip olmadığını göstermektedir. Bunun bir sonucu olarak orijinal değerlerin tamamının korunduğu ortaya

çıkıştır. Tablodaki orijinal değer ve korunan değer sütunlarının aynı değerlere sahip olması da bu yorumu desteklemektedir.

Tablo 16. 1. KVB'nin analiz sonucu

1. KVB	Orijinal Değer	Radyal Hareket	Aylak Hareket	Korunan Değer
Çıktı-1	4223,120	0	0	4223,120
Çıktı-2	2,150	0	0	2,150
Girdi-1	18,038	0	0	18,038
Girdi-2	12,640	0	0	12,640
Girdi-3	628,900	0	0	628,900
Teknik etkinlik: 1				
Referans Kümesi: 1				
Referans Ağırlığı: 1				

Tablo 17'deki analiz sonucuna göre, 2. KVB'nin teknik etkinlik değeri 0,640'tır. Bu da etkin olmadığı anlamına gelmektedir. Ayrıca tablonun altında referans kümesi ve ağırlıkları da verilmektedir. Radyal hareket ve aylak hareket değerleri negatif çıktığında bu değerlerin orijinal değerden çıkarılması, pozitif çıktığında ise orijinal değere eklenmesi halinde KVB'ler etkin olacaktır. Örneğin, çıktı-1'de radyal hareketin, aylak hareketin ve orijinal değerlerin toplanmasıyla korunan değer 744,904 birim olarak elde edilir.

Tablo 17. 2. KVB'nin analiz sonucu

2. KVB	Orijinal Değer	Radyal Hareket	Aylak Hareket	Korunan Değer
Çıktı-1	477,082	267,822	0	744,904
Çıktı-2	0,130	0,073	0	0,203
Girdi-1	10,135	0	-0,786	9,349
Girdi-2	1,480	0	0	1,480
Girdi-3	58,400	0	0	58,400
Teknik etkinlik: 0,640				
Referans Kümesi: 11-8-5				
Referans Ağırlığı: 0,415-0,105-0,242				

Çıktı odaklı ölçeğe göre sabit getiri yaklaşımı kullanılarak yapılan VZA sonucunda, "1" değeri alan KVB'ler etkin, "1" den farklı değer alan KVB'ler etkin olmayan

birimlerdir. KVB’ler “1” değerine yakınlık derecelerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanacaktır. VZA sonuçları Tablo 18’de gösterilmiştir.

Tablo 18. VZA sonuçları

No	KVB	2018 VZA Sonuçları	2019 VZA Sonuçları	Pandemi Öncesi Ortalama	2020 VZA Sonuçları	2021 VZA Sonuçları	Pandemi Süreci Ortalama
1	Almanya	1	1	1	1	1	1
2	Avusturya	0,772	0,73	0,751	0,664	0,64	0,652
3	Belçika	0,536	0,518	0,527	0,537	0,508	0,5225
4	Çek Cumhuriyeti	0,373	0,38	0,3765	0,354	0,352	0,353
5	Finlandiya	1	1	1	1	1	1
6	Fransa	1	1	1	1	1	1
7	Hollanda	0,664	0,627	0,6455	0,619	0,688	0,6535
8	Birleşik Krallık	1	1	1	1	1	1
9	İspanya	0,796	0,782	0,789	0,835	0,95	0,8925
10	İsveç	1	1	1	1	1	1
11	İsviçre	1	1	1	1	1	1
12	İtalya	0,861	0,859	0,86	0,847	0,829	0,838
13	Macaristan	0,381	0,403	0,392	0,349	0,414	0,3815
14	Norveç	0,797	0,779	0,788	0,761	0,882	0,8215
15	Polonya	0,416	0,419	0,4175	0,423	0,418	0,4205
16	Portekiz	0,927	0,971	0,949	1	0,968	0,984
17	Romanya	0,447	0,469	0,458	0,429	0,424	0,4265
18	Türkiye	0,491	0,518	0,5045	0,553	0,564	0,5585
19	Ukrayna	0,437	0,308	0,3725	0,289	0,279	0,284
20	Yunanistan	0,598	0,644	0,621	0,744	0,723	0,7335
	Ortalama	0,725	0,72	0,7225	0,72	0,732	0,726

Yapılan analiz sonucuna göre pandemi öncesi ve pandemi sürecinde Almanya, Finlandiya, Fransa, Birleşik Krallık, İsveç ve İsviçre etkinliğini korumuştur. Diğer KVB’ler etkin değildir. Sadece Portekiz 2020 yılında etkindir, diğer yıllarda ise etkin olmayan KVB’ler arasındadır.

Tam etkin KVB’ler girdilerini ve çıktılarını verimli bir şekilde kullanmıştır, etkin olmayan KVB’ler ise girdilerini ve çıktılarını verimli bir şekilde kullanamamıştır. VZA sonuçlarına göre Almanya, Finlandiya, Fransa, Birleşik Krallık, İsveç ve İsviçre

yenilenebilir enerji kaynaklarını 2018, 2019, 2020 ve 2021 yıllarında etkin bir şekilde kullanmıştır.

Yenilenebilir enerji verimliliğinin pandemiden etkilenip etkilenmediğini test etmek için pandemi öncesi ve pandemi sonrası etkinlik değerleri arasında Paired-Samples t testi uygulanmıştır. Tablo 19’da yapılan Paired-Samples t testine göre, p değeri $0,759 > 0,05$ olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir. T_{tablo} değerine göre $t_{\text{hesap}} = |-0,311| < t_{(0,05,19)} = 2,093$ olduğu için pandemi öncesi ve pandemi süreci etkinlik değerleri arasında anlamlı bir fark yoktur. Yapılan VZA’ya göre pandeminin yenilenebilir enerji etkinlik analizi üzerinde bir etkisi olmadığı sonucuna varılır.

Tablo 19. VZA sonuçları için Paired-Samples t testi

		Ortalama	Standart Sapma	T değeri	Serbestlik Derecesi	Sig. (2-kuyruklu)
Pair 1	vza pandemi öncesi vza pandemi süreci	-0,00350	0,05039	-0,311	19	0,759

4.3. Süper Etkinlik Veri Zarflama Analizi Sonuçları

VZA sonuçlarına göre etkinliği 1 olan KVB’leri kendi arasında sıralanamamaktadır. Bu nedenle, KVB’ler arasında net bir sıralama yapılamamaktadır. Bu dezavantajın giderilmesi ve KVB’ler arasında tam anlamıyla sıralama yapılabilmesi için SE-VZA kullanılmıştır. EMS paket programı kullanılarak çıktı yönlü CCR modeli ile SE-VZA yapılmıştır.

EMS paket programında girdi ve çıktı değişkenlerine ait veriler bir Excel dosyasına yazılır. EMS programı açılarak veri dosyası eklenir ve daha sonra seçilen VZA modeli için program çalıştırılır. DEAP programı gibi talimat dosyasına ihtiyaç yoktur.

EMS program çıktılarını açıklamak için örnek olarak 2021 yılı için yapılan SE-VZA seçilmiştir. 2021 yılı için yapılan etkinlik analizi sonuçları oluşturulan tablolar ile değerlendirilmiştir.

Tablo 20’de EMS programı analiz sonucundaki her bir KVB’nin etkinlik skoru, referans kümesi ve referans gösterilme sayıları verilmiştir. Model çıktıya yönelik olduğu için %100’ün altında skora sahip olan KVB’ler etkin olacaktır. Bu sonuca göre Almanya, Finlandiya, Fransa, Birleşik Krallık, İsveç ve İsviçre süper etkin ülkeler arasındadır. Etkin

ülkeler arasında da en iyi skora %45,90 ile İsviçre sahiptir. %374,72 ile Ukrayna etkinlik sıralamasında son sırada yer alır. 2021 yılı için yapılan SE-VZA'da ve VZA'da etkin ve etkin olmayan KVB'ler aynıdır. Sadece etkin olmayan KVB'lerin referans kümesi ve etkin KVB'lerin referans gösterilme sayıları arasında farklılıklar vardır. Örneğin, Finlandiya'nın referans gösterilme sayısı VZA'da 6 iken, SE-VZA'da 4'tür. Avusturya'nın referans kümesinde VZA'da 11., 8. ve 5. KVB'ler bulunurken, SE-VZA'da 8., 10. ve 11. KVB'ler bulunmaktadır.

Tablo 20. EMS program sonucu

No	KVB	Skor-2021	Referans Kümesi	Referans Gösterilme Sayısı
1	Almanya	60,30%	-	7
2	Avusturya	154,31%	8 (0,13) 10 (0,08) 11 (0,33)	-
3	Belçika	196,64%	8 (0,31) 10 (0,14) 11 (0,12)	-
4	Çek Cumhuriyeti	289,82%	8 (0,20) 11 (0,21)	-
5	Finlandiya	94,09%	-	4
6	Fransa	62,62%	-	2
7	Hollanda	145,52%	1 (0,01) 5 (0,22) 8 (0,43)	-
8	Birleşik Krallık	91,23%	-	11
9	İspanya	106,03%	1 (0,36) 5 (0,09) 10 (0,42)	-
10	İsveç	56,85%	-	5
11	İsviçre	45,90%	-	6
12	İtalya	120,62%	1 (0,03) 6 (0,20) 8 (0,57)	-
13	Macaristan	247,15%	8 (0,13) 10 (0,03) 11 (0,02)	-
14	Norveç	116,02%	8 (0,04) 10 (0,16) 11 (0,41)	-
15	Polonya	239,84%	1 (0,18) 6 (0,08) 8 (0,19)	-
16	Portekiz	103,08%	5 (0,78) 8 (0,01)	-
17	Romanya	240,97%	8 (0,17) 11 (0,19)	-
18	Türkiye	176,93%	1 (0,50)	-
19	Ukrayna	374,72%	1 (0,18)	-
20	Yunanistan	137,49%	1 (0,01) 5 (0,69) 8 (0,01)	-

Tablo 21 ve Tablo 22'de EMS program sonucuna göre çıkan aylak değerler gösterilmiştir. Tablo 21'de, 2021 yılı için yapılan SE-VZA sonucunda değişkenlerdeki fazlalık değerler verilmiştir. Örneğin 1. KVB'nin girdi-1 miktarından 0,53 birim, girdi-2

miktarından 0,07 birim ve çıktı-2 miktarından 1 birim çıkarılsa bile etkinlik sıralaması değişmeyecektir.

Tablo 21. EMS program sonucuna göre değişkenlerdeki fazlalık değerler

No	KVB	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Çıktı-1	Çıktı-2
1	Almanya	0,53	0,07	0	0	1
2	Avusturya	0	1,32	0,22	0,53	0,47
3	Belçika	0,43	0	1,54	0,43	0,57
4	Çek Cumhuriyeti	0	2,9	0	0,55	0,45
5	Finlandiya	0	0,88	0,06	0	1
6	Fransa	0,34	0	0,29	1	0
7	Hollanda	0,04	1,41	0	0,14	0,86
8	Birleşik Krallık	0,01	0,91	0	0,44	0,56
9	İspanya	0,04	1,02	0	0	1
10	İsveç	0,18	0	0,39	0,21	0,79
11	İsviçre	0,03	0,14	0,28	1	0
12	İtalya	0,55	0,66	0	0,88	0,12
13	Macaristan	0	2,07	0,4	0,46	0,54
14	Norveç	0,46	0	0,7	0,53	0,47
15	Polonya	1,01	1,39	0	0,86	0,14
16	Portekiz	0	1,03	0	0,22	0,78
17	Romanya	0	2,41	0	0,55	0,45
18	Türkiye	1,77	0	0	0	1
19	Ukrayna	3,75	0	0	0	1
20	Yunanistan	0,15	1,22	0	0,09	0,91

Tablo 22’de, 2021 yılı için yapılan SE-VZA sonucunda değişkenlerdeki eksik değerler gösterilmiştir. Örneğin, 4. KVB’nin girdi-1 miktarının 1,26 birim ve girdi-3 miktarının 17,02 birim artması halinde etkin olabileceği anlamına gelir. Etkin KVB’lerin eksik değeri olmadığından satırları boştur.

Tablo 22. EMS program sonucuna göre değişkenlerdeki eksik değerler

No	KVB	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Çıktı-1	Çıktı-2
1	Almanya	-	-	-	-	-
2	Avusturya	4,23	0,00	0	0	0
3	Belçika	0	0,04	0	0	0
4	Çek Cumhuriyeti	1,26	0,00	17,02	0	0
5	Finlandiya	-	-	-	-	-
6	Fransa	-	-	-	-	-
7	Hollanda	0	0,00	18,55	0	0
8	Birleşik Krallık	-	-	-	-	-
9	İspanya	0	0,00	0	292,52	0
10	İsveç	-	-	-	-	-
11	İsviçre	-	-	-	-	-
12	İtalya	0	0,00	45,74	0	0
13	Macaristan	4,87	0,00	0	0	0
14	Norveç	0	0,97	0	0	0
15	Polonya	0	0,00	108,44	0	0
16	Portekiz	3,87	0,00	8,11	0	0
17	Romanya	3,21	0,00	7,62	0	0
18	Türkiye	0	0,57	91,91	648,55	0
19	Ukrayna	0	1,02	52,73	23,63	0
20	Yunanistan	0	0,00	18,54	0	0

Tablo 23'te görüldüğü gibi her bir KVB için etkinlik skoru belirlenmiştir. Bu sayede hem etkin hem de etkin olmayan KVB'ler arasında sıralama yapılabilecektir. 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılı için yapılan SE-VZA'da etkin KVB'ler Almanya, Finlandiya, Fransa, Birleşik Krallık, İsveç ve İsviçre'dir. SE-VZA'da yıllara göre bazı KVB'lerin etkinlik skorunda artış, bazılarının etkinlik skorunda ise azalma vardır.

VZA ve SE-VZA sonucunda etkin olan ve etkin olmayan KVB'ler aynıdır. Sonuçlar arasında küçük ölçüde farklılıklar bulunmaktadır. Pandemi öncesi ve pandemi sonrası KVB'lerin etkinlik skorlarında önemli bir değişiklik görülmemiştir. Bu iki analiz sonucuna bakıldığında pandeminin yenilenebilir enerji etkinliği üzerinde büyük bir etkisi olmadığı söylenebilir.

Tablo 23. SE-VZA sonuçları

No	KVB	Skor-2018	Skor-2019	Pandemi Öncesi Ortalama	Skor-2020	Skor-2021	Pandemi Süreci Ortalama
1	Almanya	60,10%	60,24%	60,17%	60,45%	60,30%	60,38%
2	Avusturya	130,87%	137,17%	134,02%	152,39%	154,31%	153,35%
3	Belçika	186,43%	192,03%	189,23%	186,40%	196,64%	191,52%
4	Çek Cumhuriyeti	263,43%	268,62%	266,03%	287,28%	289,82%	288,55%
5	Finlandiya	85,41%	91,05%	88,23%	98,68%	94,09%	96,39%
6	Fransa	54,69%	57,56%	56,13%	61,03%	62,62%	61,83%
7	Hollanda	150,91%	159,65%	155,28%	161,63%	145,52%	153,58%
8	Birleşik Krallık	97,26%	95,77%	96,52%	91,72%	91,23%	91,48%
9	İspanya	126,08%	127,79%	126,94%	119,51%	106,03%	112,77%
10	İsveç	59,89%	61,02%	60,46%	59,53%	56,85%	58,19%
11	İsviçre	45,95%	46,90%	46,43%	44,46%	45,90%	45,18%
12	İtalya	116,22%	116,48%	116,35%	118,13%	120,62%	119,38%
13	Macaristan	262,00%	248,51%	255,26%	276,50%	247,15%	261,83%
14	Norveç	125,61%	131,29%	128,45%	132,68%	116,02%	124,35%
15	Polonya	240,37%	238,58%	239,48%	235,76%	239,84%	237,80%
16	Portekiz	109,85%	102,55%	106,20%	99,31%	103,08%	101,20%
17	Romanya	221,09%	217,31%	219,20%	235,00%	240,97%	237,99%
18	Türkiye	202,08%	194,00%	198,04%	182,31%	176,93%	179,62%
19	Ukrayna	228,94%	319,79%	274,37%	345,30%	374,72%	360,01%
20	Yunanistan	168,35%	159,64%	164,00%	137,96%	137,49%	137,73%

Tablo 24’te yapılan Paired-Samples t testine göre, p değeri $0,352 > 0,05$ olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir. T_{tablo} değerine göre $t_{\text{hesap}} = |-0,953| < t_{(0,05,19)} = 2,093$ olduğu için pandemi öncesi ve pandemi süreci etkinlik değerleri arasında anlamlı bir fark yoktur. Yapılan SE-VZA’ya göre pandeminin yenilenebilir enerji etkinlik analizi üzerinde bir etkisi olmadığı sonucuna varılır.

Tablo 24. SE-VZA sonuçları için Paired-Samples t testi

		Ortalama	Standart Sapma	T değeri	Serbestlik Derecesi	Sig. (2-kuyruklu)
Pair 1	SE-VZA pandemi öncesi SE-VZA pandemi süreci	-0,04800	0,22517	-0,953	19	0,352

4.4. Stokastik Sınır Analizi Sonuçları

SSA için en çok kullanılan Frontier 4.1. programıdır. Oluşturulan modele uygun olması nedeniyle Frontier 4.1. programı tercih edilmiştir. Model üretim odaklı olduğu için üretim fonksiyonlarında biri olan Cobb-Douglas (C-D) üretim fonksiyonu kullanılarak analiz yapılmıştır. Frontier 4.1. programı, DEAP 2.0. programıyla benzerlik göstermektedir. Frontier 4.1. programıyla analiz yapabilmek için de öncelikle veri dosyası oluşturulur. Girdi ve çıktı değişkenleri için gerekli dönüşümler yapıldıktan sonra bu değerler veri dosyasına yazılır. Daha sonra talimat ve çıktı dosyası oluşturulur ve tüm bu dosyalar txt uzantılı metin belgesi olmalıdır.

Bu çalışmada değişkenlerin logaritma değerleri veri metnine yazılmıştır. Ek 1’de Frontier 4.1 programı için oluşturulan veri metni verilmiştir. Veri metninin ilk sütunu KVB’leri, ikinci sütun zaman periyodunu, üçüncü ve diğer sütunlar ise bağımlı ve bağımsız değişkenlerin logaritmik değerlerini göstermektedir.

Şekil 15’te gösterilen talimat metninde ilk satırda model seçilir. İkinci ve üçüncü satırda veri ve çıktı dosyasının ismi yazılır. Talimat metnindeki dördüncü satırda fonksiyon türü seçilir. Beşinci satırda bağımlı değişken yazılır. Altıncı satırda KVB sayısı, yedinci satırda zaman periyodu sayısı, sekizinci satırda toplam gözlem sayısı, dokuzuncu satırda ise regresör (bağımsız) değişken sayısı yazılır.

```

1=ERROR COMPONENTS MODEL, 2=TE EFFECTS MODEL
tez-dta.txt DATA FILE NAME
tez-out.txt OUTPUT FILE NAME
1=PRODUCTION FUNCTION, 2=COST FUNCTION
y LOGGED DEPENDENT VARIABLE (Y/N)
20 NUMBER OF CROSS-SECTIONS
4 NUMBER OF TIME PERIODS
80 NUMBER OF OBSERVATIONS IN TOTAL
3 NUMBER OF REGRESSOR VARIABLES (Xs)
y MU (Y/N) [OR DELTA0 (Y/N) IF USING TE EFFECTS MODEL]
y ETA (Y/N) [OR NUMBER OF TE EFFECTS REGRESSORS (Zs)]
n STARTING VALUES (Y/N)
IF YES THEN
    BETA0
    BETA1 TO
    BETAK
    SIGMA SQUARED
    GAMMA
    MU
    ETA [OR DELTA0
        DELTA1 TO
        DELTAP]

NOTE: IF YOU ARE SUPPLYING STARTING VALUES
AND YOU HAVE RESTRICTED MU [OR DELTA0] TO BE
ZERO THEN YOU SHOULD NOT SUPPLY A STARTING
VALUE FOR THIS PARAMETER.

```

Şekil 15. SSA için talimat metni

Analiz sonucu elde edilen program çıktıları Tablo 25’te gösterilmektedir. Frontier 4.1. programıyla elde edilen katsayılar göre yenilenebilir enerji etkinliği için Eşitlik (90)’daki model oluşturulmuştur.

$$\ln(\text{etkinlik}) = -10,226 - 3,377 \ln(\text{girdi-1}) + 3,661 \ln(\text{girdi-2}) + 4,177 \ln(\text{girdi-3}) \quad (90)$$

Tablo 25. SSA katsayı tablosu

Değişkenler	Katsayı	Standart Sapma	T Değeri
β_0	-10,226	0,951	-10,747
β_1	-3,377	0,769	-4,390
β_2	3,661	0,736	4,976
β_3	4,177	0,849	4,921
σ^2	0,319	0,970	0,329
γ	0,913	0,659	1,385
μ	0,025	0,998	0,025
η	0,035	0,940	0,037
LR = 80,588			

Tablo 25’e göre, girdi-1’deki %1’lik artış çıktılarda %3,377 azalmaya, girdi-2’deki %1’lik artış çıktılarda %3,661 artışa ve girdi-3’teki %1’lik artış çıktılarda %4,177 artışa neden olmuştur. Bu sonuçlara göre girdi-1’in çıktı değişkenleriyle arasında negatif yönlü; girdi-2 ve girdi-3’ün çıktı değişkenleriyle arasında pozitif yönlü ilişki vardır.

Katsayıların anlamlı olup olmadığını test etmek için tablodaki t değerleri ile t_{tablo} değerlerinin karşılaştırılması gerekir. t_{hesap} değerinin t_{tablo} değerinden büyük olması H_0 hipotezinin reddedildiğini ve katsayının anlamlı olduğu göstermektedir.

$t_{\text{hesap}} = |-10,747| > t_{(0,05,77)} = 1,990$ olduğu için β_0 katsayı anlamlıdır.

$t_{\text{hesap}} = |-4,390| > t_{(0,05,77)} = 1,990$ olduğu için β_1 katsayı anlamlıdır.

$t_{\text{hesap}} = 4,976 > t_{(0,05,77)} = 1,990$ olduğu için β_2 katsayı anlamlıdır.

$t_{\text{hesap}} = 4,921 > t_{(0,05,77)} = 1,990$ olduğu için β_3 katsayı anlamlıdır.

Diğer katsayılar bakıldığında σ^2, γ, μ ve η parametrelerinin katsayı değerleri anlamlı değildir.

En çok olabilirlik tahmin yöntemi ile modeldeki gamma değeri 0,91 olarak bulunmuştur. Bu da sonuçlardaki bileşik hatanın %91’inin teknik etkinsizlikten (a_j), kalan %9’unun tesadüfî hatadan (b_j) kaynaklandığını göstermektedir.

Analiz sonucuna göre tek yanlı olabilirlik oranı (LR) modelde teknik etkinsizlik etkisinin olup olmadığını ifade etmektedir. LR oranı 80,588 olarak bulunmuştur. Bu değerin anlamlı olup olmadığı Kodde-Palm tablo değerine göre değerlendirilecektir. Kodde-Palm tablosuna göre $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyinde 3 serbestlik derecesindeki değer 7,045'dir. $80,588 > 7,045$ olduğu için H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, istatistiksel olarak modeldeki teknik etkinsizliğin anlamlı olduğu ve etkinlik analizi için SSA'nın uygun olduğu sonucuna varılır.

Hesaplanan etkinlik skorlarına göre hangi KVB'nin etkin hangisinin etkin olmadığına karar verilir. Etkinlik skorunun üzerinde olan KVB etkin, etkinlik skorunun altında değer alan KVB ise etkinsiz olarak değerlendirilecektir.

Tablo 26'a göre, 2018 yılı etkinlik skoru 0,512; 2019 yılı etkinlik skoru 0,522; 2020 yılı etkinlik skoru 0,532 ve 2021 yılı etkinlik skoru 0,542'dir.

2018, 2019, 2020 ve 2021 yıllarında Almanya, Avusturya, Fransa, Hollanda, Birleşik Krallık, İspanya, İsviçre ve İtalya etkin ülkeler arasındadır. Diğer ülkeler etkin olmayan ülkeler sınıfındadır. Yıllar geçtikçe ülkelerin etkinlik skorları artış göstermiştir. Pandemiden dolayı ülkelerin etkin olma durumu değişmemiştir.

VZA, SE-VZA ve SSA'ya göre Almanya, Fransa, Birleşik Krallık ve İsviçre pandemi öncesi ve pandemi sürecinde etkinliğini korumuştur. Fakat Finlandiya ve İsveç VZA ve SE-VZA'ya göre etkin iken, SSA'ya göre etkin değildir. Aynı şekilde Avusturya, Hollanda, İspanya ve İtalya SSA'ya göre etkin iken, VZA ve SE-VZA'ya göre etkin değildir. Belçika, Çek Cumhuriyeti, Macaristan, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Türkiye, Ukrayna ve Yunanistan 3 yöntemle göre etkin KVB'ler arasında yer alamamıştır. Yapılan analizler sonucunda, Türkiye'nin de içinde olduğu 10 KVB'nin yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin bir şekilde kullanamadığı ortaya çıkmıştır.

Tablo 26. SSA sonuçları

No	KVB	2018 SSA	2019 SSA	Pandemi Öncesi Ortalama	2020 SSA	2021 SSA	Pandemi Süreci Ortalama
1	Almanya	0,889	0,893	0,891	0,896	0,899	0,898
2	Avusturya	0,535	0,546	0,541	0,558	0,569	0,563
3	Belçika	0,454	0,467	0,460	0,479	0,491	0,485
4	Çek Cumhuriyeti	0,282	0,295	0,288	0,307	0,320	0,314
5	Finlandiya	0,402	0,415	0,408	0,427	0,440	0,434
6	Fransa	0,653	0,663	0,658	0,672	0,681	0,677
7	Hollanda	0,640	0,650	0,645	0,659	0,669	0,664
8	Birleşik Krallık	0,954	0,955	0,954	0,957	0,958	0,957
9	İspanya	0,590	0,600	0,595	0,611	0,621	0,616
10	İsveç	0,358	0,371	0,365	0,384	0,397	0,390
11	İsviçre	0,964	0,965	0,964	0,966	0,967	0,967
12	İtalya	0,872	0,876	0,874	0,880	0,883	0,881
13	Macaristan	0,227	0,239	0,233	0,251	0,263	0,257
14	Norveç	0,371	0,384	0,377	0,397	0,409	0,403
15	Polonya	0,306	0,319	0,313	0,332	0,344	0,338
16	Portekiz	0,394	0,407	0,400	0,420	0,432	0,426
17	Romanya	0,299	0,311	0,305	0,324	0,337	0,330
18	Türkiye	0,445	0,457	0,451	0,470	0,482	0,476
19	Ukrayna	0,236	0,248	0,242	0,260	0,273	0,266
20	Yunanistan	0,369	0,382	0,376	0,395	0,408	0,401
	Ortalama	0,512	0,522	0,517	0,532	0,542	0,537

SSA ve VZA sonuçlarına bakıldığında, SSA'da daha fazla ülke etkindir. Fakat VZA'da bu sayı daha azdır. Bu durum VZA'nın uç değerlerden etkilenmesinin bir sonucudur. Bu nedenle referans noktası yüksektir ve daha az sayıda KBV etkin olarak belirlenmiştir.

Tablo 27'de yapılan Paired-Samples t testine göre, p değeri $0,000 < 0,05$ olduğu için H_0 hipotezi reddedilir. T_{tablo} değerine göre $t_{\text{hesap}} = |-11,116| > t_{(0,05,19)} = 2,093$ olduğu için pandemi öncesi ve pandemi süreci etkinlik değerleri arasında anlamlı bir fark vardır. SSA pandemi öncesi ortalamasında pandemi süreci ortalamasına göre -0,02015 azalma olmuştur.

Tablo 27. SSA sonuçları için Paired-Samples t testi

		Ortalama	Standart Sapma	T değeri	Serbestlik Derecesi	Sig. (2-kuyruklu)
Pair 1	SSA pandemi öncesi SSA pandemi süreci	-0,02015	0,00811	-11,116	19	0,000

Yapılan SSA'ya göre pandeminin yenilenebilir enerji etkinlik analizi üzerinde az da olsa bir etkisi olduğu söylenebilir. Fakat bu etkiye SSA'daki her yıl az miktarda artan etkinlik skorları neden olmuştur. Genel olarak bakıldığında etkinlik skorlarındaki bu artış pandemi olsa da olmasa da artacak gibidir. Yani pandeminin etkinlik skorlarındaki artışa etkisi yoktur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye ve diğer Avrupa ülkelerinin yenilenebilir enerji kullanımındaki etkinliği analiz edilmiştir. Bu analiz için toplamda 20 ülke KVB olarak belirlenmiştir. Girdi olarak yenilenebilir enerji tüketiminin birincil enerji tüketimindeki payı, birincil enerji tüketimi ve CO₂ emisyonları; çıktı olarak ise GSYİH ve yenilenebilir enerji üretimi kullanılmıştır. Belirlenen girdi ve çıktılara uygun veriler British Petrol'ün 2022 yılında yayınladığı rapordan ve Dünya Bankası'ndan alınmıştır.

VZA ve SE-VZA'da çıktıya yönelik CCR modeli kullanılarak etkinlik analizi gerçekleştirilmiştir. VZA için DEAP 2.0. programı, SE-VZA için ise EMS programı kullanılmış ve sonuçlar tablo haline getirilerek yorumlanmıştır.

SSA'da ise Cobb-Douglas üretim fonksiyonu kullanılarak Frontier 4.1. programında analiz gerçekleştirilmiştir. Tek yanlı olabilirlik oranına göre teknik etkinsizliklerin anlamlı olduğu, en çok olabilirlik tahmini yöntemine göre de teknik etkinsizliklerin %91'inin a_j 'den kalan %9'unun b_j 'den kaynaklandığı ortaya çıkmıştır.

2018, 2019, 2020 ve 2021 yılı için yapılan analizde zaman dilimini pandemi öncesi ve pandemi sonrası şeklinde ikiye ayırarak sonuçlar hakkında yorumlar yapılmıştır.

Tablo 28'e bakıldığında 3 yöntemin sonucunda da farklı sıralamalar mevcuttur. Fakat etkin ve etkin olmayan ülkeler benzerlik göstermektedir. VZA yönteminde etkin ülkeler arasında sıralama yapılamadığından etkin ülkere "1" değeri verilmiştir. Etkin olmayan ülkeler için etkinlik skoruna göre büyükten küçüğe doğru sıralama yapılmıştır.

İsviçre 3 yönteme göre 1. sırada, Ukrayna ise son sıralarda yer almıştır. Türkiye VZA ve SE-VZA'da 14. ve 15. sırada, SSA'ya göre biraz yükselerek 10. sırada yer almıştır. SSA yöntemine göre pandemi öncesi ve sonrası etkinlik sıralaması değişmemiştir. Tablo 28'e göre SSA yöntemine göre etkinlik sıralamasında pandeminin etkisi olmadığı söylenebilir. VZA ve SE-VZA yöntemlerine göre ise pandemi öncesi ve sonrası sıralama çok az değişme yaşanmıştır. Bazı ülkelerin etkinliği artarken bazı ülkelerin etkinliği azalmıştır.

Tablo 28. Sonuçların genel sıralaması

No	KVB	Pandemi Öncesi VZA	Pandemi Süreci VZA	Pandemi Öncesi SE-VZA	Pandemi Süreci SE-VZA	Pandemi Öncesi SSA	Pandemi Süreci SSA
1	Almanya	1	1	3	3	3	3
2	Avusturya	11	13	11	12	8	8
3	Belçika	14	15	14	15	9	9
4	Çek Cumhuriyeti	19	19	19	19	18	18
5	Finlandiya	1	1	5	6	11	11
6	Fransa	1	1	2	4	5	5
7	Hollanda	12	12	12	13	6	6
8	Birleşik Krallık	1	1	6	5	2	2
9	İspanya	9	8	9	8	7	7
10	İsveç	1	1	4	2	15	15
11	İsviçre	1	1	1	1	1	1
12	İtalya	8	9	8	9	4	4
13	Macaristan	18	18	18	18	20	20
14	Norveç	10	10	10	10	13	13
15	Polonya	17	17	17	16	16	16
16	Portekiz	7	7	7	7	12	12
17	Romanya	16	16	16	17	17	17
18	Türkiye	15	14	15	14	10	10
19	Ukrayna	20	20	20	20	19	19
20	Yunanistan	13	11	13	11	14	14

3 yöntemin sonuçlarını değerlendirmek için yapılan Paired-Samples t testine göre VZA ve SE-VZA’da pandeminin etkisinin olmadığı, SSA’da ise çok az bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Pandemi süreci KVB’lerin etkinliğini önemli ölçüde etkilememiştir. Analiz yapılan 3 yöntem içerisinde VZA ve SE-VZA sonucu ortaya çıkan etkin ülkeler aynıdır. Sadece etkin olmayan ülkeler arasındaki sıralamada küçük farklılıklar vardır. SSA yöntemine göre sıralamada bazı farklılıklar mevcuttur. Örneğin, Finlandiya ve İsveç VZA ve SE-VZA yöntemine göre üst sıralarda yer alırken SSA yöntemine göre sıralaması düşmüştür. Hollanda ise VZA ve SE-VZA yöntemine göre alt sıralarda yer alırken SSA yöntemine göre sıralaması yükselmiştir.

Temelde VZA ve SSA yöntemleri birbirinden farklı iki yöntemdir. VZA’da bir etkinlik sınırı belirlenir ve bu sınırın üzerinde yer alan KVB’ler etkin kabul edilir. SSA

yönteminde ise stokastik sınırını aşan tüm noktalar etkin kabul edilir. Bu nedenle analiz sonuçları değişiklik gösterebilmektedir.

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımında etkinliği sağlayamamış ve toplam enerji tüketimine rağmen yenilenebilir enerji üretiminde yetersiz kalmıştır. Türkiye GSYİH'yi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji üretimini artırmalı, CO₂ emisyonunu azaltmalıdır. CO₂ emisyonunu azaltmak için yenilenebilir enerji kaynakları gibi çevreye dost olan enerji kaynakları daha çok tercih edilmelidir. Yenilenebilir enerjinin toplam enerji içindeki oranı artırmak için temiz enerjiyi destekleyecek teşvikler artmalıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik etkinlik analizi için VZA, SE-VZA ve SSA olarak 3 farklı yöntemin kullanılması açısından literatüre katkı sağlanmıştır. Hem literatürden farklı girdi ve çıktı birimleri kullanılarak yenilenebilir enerji kaynaklarının etkinliği ölçülmüştür hem de bu 3 farklı yöntem benzerlikleri ve farklılıkları açısından karşılaştırılmıştır. Ayrıca, ülkelerin yenilenebilir enerji kaynakları kullanımındaki verimliliğini pandemi sürecinin nasıl etkilediği hakkında yorumlar yapılmıştır.

Daha sonraki çalışmalarda farklı girdi ve çıktı değişkenleri kullanılarak modeller oluşturulabilir ve farklı yöntemler kullanılarak yenilenebilir enerji kaynakları için etkinlik analizleri gerçekleştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Aigner, D.J. ve Chu, S.F., 1968. On Estimating the Industry Production Function, American Economic Review, 58, 4, 826-839.
- Aigner, D.J., Lovell, C.A.K. ve Schmidt, P., 1977. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models, Journal of Econometrics, 6, 1, 21-37.
- Akalın, H., Ulusam Seçkiner, S. ve Eroğlu, Y., 2017. Stokastik Sınır Analizi Kullanarak Rüzgâr Türbinleri için Etkinlik Değerlendirmesi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32, 4, 1311-1325.
- Andersen, P. ve Petersen, N.C., 1993. A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis, Management Science, 39, 1261-1264.
- Ataman, A., R., 2007. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Avcı, T. ve Çağlar, A., 2016. Stokastik Sınır Analizi: İstanbul Sanayi Odası’na Kayıtlı Firmalara Yönelik Bir Uygulama, Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 4, 2, 17-57.
- Aydın, U., 2018. Etkinlik Modellemesinde Stokastik Sınır Analizi ve Kategorik Veri Zarflama Analizi : Havayolu Şirketleri Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Aydın Yenioglu, Z. ve Ateş, V., 2019. Yenilenebilir Enerji Kullanımındaki Göreceli Etkinliklerin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi: Türkiye ve Yedi Avrupa Ülkesi Örneği, Politeknik Dergisi, 22, 4, 863-869.
- Aydoğan Gökcü, T., 2021. The Effect of Renewable Energy Resources on Economic Growth: A Case Study for Turkey, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- 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, 9, 1078–1092.
- Battese, G.E. ve Corra G.S., 1977. Estimation of a Production Frontier Model: With Application to the Pastoral Zone of Eastern Australia, Australian Journal of Agricultural Economics, 21, 3, 169-179.
- Bayram, Z., 2020. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyelinin Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tekirdağ.

- BP, 2022. BP Statistical Review of World Energy 2022, 71th Edition, BP p.l.c., London, 60 s.
- Büyükikiz, Ş., 2019. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Ahp ve Bulanık Topsis Yöntemleri ile Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Camoto, F., C., Moralles, H., F., Mariano, E., B. ve Rebelatto, D., A., N., 2016. Energy Efficiency Analysis of G7 and BRICS Considering Total-Factor Structure, Journal of Cleaner Production, 122, 67–77.
- Coelli, T. J., 1995. Estimators and Hypothesis Tests for a Stochastic Frontier Function: A Monte Carlo Analysis, Journal of Productivity Analysis, 6, 1, 247-268.
- Çayır Ervural, B., Zaim, S. ve Delen, D., 2018. A Two-Stage Analytical Approach to Assess Sustainable Energy Efficiency, Energy, 164, 822-836.
- Çayır Ervural, B., Ervural, B. ve Zaim, S., 2016. Energy Efficiency Evaluation of Provinces in Turkey Using Data Envelopment Analysis, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 235, 139 – 148.
- Charnes, A., Cooper, W.W. ve Rhodes, E., 1978. Measuring the Efficiency of Decision Making Units, European Journal of Operational Research, 2, 6, 429–444.
- Depren, Ö., 2008. Veri Zarflama Analizi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dişkaya, F., 2010. Veri Zarflama Analizi ve Malmquist Endeksinin İncelenmesi ve Telekomünikasyon Sektörüne Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Ertaş, A., 2019. Dünya Ülkelerinin Sosyal Gelişmişlik Bakımından Etkinliklerinin Veri Zarflama Analiziyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ertürk, M. ve Türüt-Aşık, S., 2011. Efficiency Analysis of Turkish Natural Gas Distribution Companies by Using Data Envelopment Analysis Method, Energy Policy, 39, 1426–1438.
- Evgallıoğlu, A., E., 2017. Türkiye’deki Doğal Gaz Dağıtım Şirketlerinin Stokastik Sınır Analizi Yöntemi ile Etkinlik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Ankara.
- Fard Moradinia, Y., 2017. Melez VZA/AHP Analizi ile Etkinlik Ölçümü: İran Havalimanlarında Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Farrell, M.J., 1957. The Measurement of Productive Efficiency, Journal of the Royal Statistical Society Series A (General), 120, 3, 253-261.

- Gavurová, B., Halásková, M. ve Koróny, S., 2019. Research and Development Indicators of EU28 Countries from Viewpoint of Super-Efficiency DEA Analysis, Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 67, 1, 225-242.
- Gündüz, K., 2019. Veri Zarflama Analizinde Süper Etkinlik ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Gürsoy, U., 2004. Enerjide Toplumsal Maliyet ve Temiz ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Türk Tabipleri Birliği Yayınları, Ankara, 193 s.
- Hinton, P., R., McMurray, I. ve Brownlow, C., 2014. SPSS Explained, Second Edition, Routledge, London, 387 s.
- Hünerli, Ö., C., 2019. Türkiye’de Faaliyet Gösteren Doğal Gaz Dağıtım Firmalarının Etkinliklerinin Veri Zarflama ve Stokastik Sınır Analizi Yaklaşımlarına Göre Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Kanbur, G., B., 2021. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Zonguldak.
- Karık, F., 2017. Türkiye’nin Enerji Performansının OECD ve BRICS Ülkeleri ile Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kaya, N., 2017. Zaman Serilerine Dayalı Tahmin Yöntemleri ile Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Talebinin Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kınacı, E., B., 2017. Türk Yenilenebilir Enerji Sektörünün Analizi: Bir Bootstrap-Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Koç, E. ve Şenel, M., C., 2013. Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makine Dergisi, 54, 639, 32-44.
- Koç, H., 2021. Assessing The Renewable Energy Efficiency Levels of BRICS Countries and Turkey Using Stochastic Frontier Analysis and Information Complexity Criteria, ADYU J SCI, 11, 1, 136-146.
- Kokoç, F., 2019. Türk Serbest Bölgeleri Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi ve Stokastik Sınır Analizi ile Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kuosmanen, T., Saastamoinen, A. ve Sipiläinen, T., 2013. What is the Best Practice for Benchmark Regulation of Electricity Distribution? Comparison of DEA, SFA and Stochastic Methods, Energy Policy, 61, 740-750.

- Meeusen, W. ve Van Den Broeck, J., 1977. Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error, International Economic Review, 18, 2, 435-444.
- Moutinho, V., Madaleno, M. ve Macedo, P., 2020. The Effect of Urban Air Pollutants in Germany: Eco-Efficiency Analysis Through Fractional Regression Models Applied After DEA and SFA Efficiency Predictions, Sustainable Cities and Society, 59, 102204.
- Odeck, J. ve Schøyen, H., 2020. Productivity and Convergence in Norwegian Container Seaports: An SFA-Based Malmquist Productivity Index Approach, Transportation Research Part A, 137, 222-239.
- Ordu, S., 2021. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Gelişmekte Olan Ülkelerin Kalkınma Süreçlerindeki Rolü, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Nevşehir.
- Özgür, I., 2012. Stokastik Sınır Analizi ile OECD Ülkelerinin Enerji Tabanlı Gelişmişlik Performanslarının Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özgür, M., 2011. Enerji Etkinliğinin Ölçümünde Veri Zarflama Analizi Modellerinin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Özşahin, Ş., Mucuk, M. ve Gerçekler, M., 2016. Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: BRICS-T Ülkeleri Üzerine Panel ARDL Analizi, Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 4, 4, 111-130.
- Öztürk Durak, E., 2019. Stokastik Sınır Yöntemi ve VZA Kullanılarak Türkiye'deki Havaalanlarının Etkinliğinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Öztürk, S., P., 2010. OECD Ülkelerinin Ar-Ge Etkinliklerinin VZA/AHP Sıralı Metodu ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Richmond, J., 1974. Estimating the Efficiency of Production, International Economic Review, 15, 2, 515-521.
- Sarıca, K., 2017. Parametric Vs. Non-Parametric Efficiency Assessment: Case of Power Plants in Turkey, Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 22, 3, 21-41.
- Song, M., Zhang, L., Liu, W. ve Fisher, R., 2013. Bootstrap-DEA Analysis of BRICS'Energy Efficiency Based on Small Sample Data, Applied Energy, 112, 1049-1055.

- Sözen, A., Alp, İ. ve Kilinc, C., 2012. Efficiency Assessment of the Hydro-Power Plants in Turkey by Using Data Envelopment Analysis. Renewable Energy, 46, 192–202.
- Sözen, A., Alp, İ. ve 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.
- TSKB, 2021. Enerji görünümü, İstanbul, 94 s.
- URL-1, <https://enerjibaba.com/2020/09/29/fotovoltaik-paneller-ile-alakali-en-sik-karsilasilan-problemler/>. 9 Ağustos 2022.
- URL-2, <https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/turkiyenin-yukselen-enerji-kaynagi-ruzgar-575794.html>. 9 Ağustos 2022.
- URL-3, <https://yesilhaber.net/turkiyenin-jeotermal-enerji-kurulu-gucu-1676-mwye-cikti/>. 9 Ağustos 2022.
- URL-4, <https://ekolojist.net/hidroelektrik-enerjisinin-ardinda-yatan-guc/>. 9 Ağustos 2022.
- URL-5, <https://peyzax.com/biyokutle-gelecegin-enerji-kaynagi/>. 9 Ağustos 2022.
- URL-6, https://tr.wikipedia.org/wiki/Gayri_safi_yurt_i%C3%A7i_has%C4%B1la. 14 Ağustos 2022.
- URL-7, <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicators>. 1 Eylül 2022.
- URL-8, https://tr.wikipedia.org/wiki/Nominal_GSY%C4%B0H_de%C4%9Ferlerine_g%C3%B6re_%C3%BClkeler_listesi. 11 Ağustos, 2022.
- URL-9, <https://databank.worldbank.org/data/download/GDP.pdf>. 11 Ağustos 2022.
- Vaninsky, A., 2010. Prospective National and Regional Environmental Performance: Boundary Estimations Using a Combined Data Envelopment-Stochastic Frontier Analysis Approach, Energy, 35, 3657-3665.
- Wanke, P., Tsionas, M., G., Chen, Z., ve Moreira Antunes, J., J., 2020. Dynamic Network DEA and SFA Models for Accounting and Financial Indicators with an Analysis of Super-Efficiency in Stochastic Frontiers: An Efficiency Comparison in OECD Banking, International Review of Economics and Finance, 69, 456–468.
- Wu, Y., Hu, Y., Xiao, X. ve Mao, C., 2016. Efficiency Assessment of Wind Farms in China Using Two-Stage Data Envelopment Analysis, Energy Conversion and Management, 123, 46–55.
- Yalçın, E., 2017. Stokastik Sınır Analizi ile Türkiye’deki Havalimanlarının Etkinliğinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.

- Yetik, Ö., Köse, R., Özgür, M., A. ve Arslan, O., 2011. Türkiye’deki Termik Santrallerin Etkinlik Analizi: Parametrik ve Parametrik Olmayan Yaklaşımlar, DPU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24, 71-82.
- Yorulmaz, H., 2019. Enerji Tüketimi ve Büyüme İlişkisi Üzerine Bir Panel Veri Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tekirdağ.
- Yörükoğlu, H., 2014. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Risklerinin Fuzzy-Fmea Yöntemi ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Zeng, Y., Guo, W., Wang, H. ve Zhang, F., 2020. A Two-Stage Evaluation and Optimization Method for Renewable Energy Development Based on Data Envelopment Analysis, Applied Energy, 262, 114363.
- Zimková, E., 2014. Technical Efficiency and Super-Efficiency of the Banking Sector in Slovakia, Procedia Economics and Finance, 12, 780-787.

7. EKLER

Ek 1. Frontier 4.1 programı veri metni

1.1.8.2883559620.7161407412.7612269672.6140514416.597298739
2.1.6.120077615-2.054904042.3240267170.3840234844.128275394
3.1.6.297845697-1.7628141561.9837571940.9606817854.831789487
4.1.5.517452896-2.4823063991.7474595040.5551255894.624151714
5.1.5.619675965-1.5875346712.905963310.1850791433.840137921
6.1.7.934139827-0.7090072391.8034954072.3073784585.725850429
7.1.6.817877616-1.6695401831.7773006151.2672218225.292293521
8.1.7.9727387370.062625662.632148472.0863504015.975006307
9.1.7.259111906-0.3899131552.5401621491.7738481585.680198875
10.1.6.319868609-1.2074612892.7685318520.8103021953.799465948
11.1.6.600603564-3.2188758251.4075297620.1470930913.616645051
12.1.7.64584332-0.4148895492.3785808981.8980852215.817356249
13.1.5.077670695-3.2188758251.632747472-0.023309563.857286371
14.1.6.079933195-3.2188758251.0175750330.6833186213.563686558
15.1.6.375723043-1.6093770911.6907319871.4794852365.768779367
16.1.5.489763831-1.7831067412.787710670.1022735933.993833226
17.1.5.486703828-2.4997417091.8888546110.3556563894.295660118
18.1.6.657333024-0.9838992951.7866394771.8505541095.968310312
19.1.4.874357276-3.506557897-0.3062251081.2928511675.291667614
20.1.5.357057862-2.3053755362.2601363170.1377589564.28618749
1.2.8.265734010.7855815712.8544486862.5879690246.522204617
2.2.6.098298976-1.9625730162.3397764050.4328123184.153304211
3.2.6.279084118-1.6485758172.052211380.9923110574.801661071
4.2.5.524257005-2.4517113941.7600773830.542507714.587233006
5.2.5.59471138-1.5564729152.971244270.1642499463.763426705
6.2.7.911642883-0.5737457281.9480897562.2860167495.701403271
7.2.6.813657764-1.4816674951.9917232271.2663733115.272226915
8.2.7.965085050.1429181282.7413074072.0627136385.933540801

Ek 1'in devamı

9.2.7.239247995-0.3397621392.6138313121.7455381525.620976227
 10.2.6.275326833-1.0658396422.853702860.849463743.855996433
 11.2.6.595462157-3.2188758251.4384314580.1896639263.641479438
 12.2.7.606529597-0.3637815892.4100199731.8804394685.794699222
 13.2.5.09681299-2.9957322741.801846297-0.0100868273.852829486
 14.2.6.005120874-2.8764642021.399298440.6174653293.534819672
 15.2.6.392386015-1.4338393761.8801575681.4504641315.710399817
 16.2.5.478553417-1.6980882562.9161316750.0534767113.917135375
 17.2.5.520980803-2.4425564931.994154470.3324860574.271934319
 18.2.6.634638614-0.8471251931.8849397221.887623165.957717973
 19.2.5.036173078-2.9627315370.4714631421.2376746655.223140517
 20.2.5.324472324-2.1576329832.3717798750.1131267754.227683106
 1.3.8.2443498120.8309277382.9827027732.5144654526.3982621
 2.3.6.061375331-1.9921452842.3434070880.3646431144.025351691
 3.3.6.244813294-1.4715743172.3660984990.8919980394.658710953
 4.3.5.495240138-2.4506630691.8388510770.4637340164.476199805
 5.3.5.602981917-1.5604878662.9688248210.1222176333.602776755
 6.3.7.864421442-0.477050852.1089126772.1815467655.527840525
 7.3.6.815905306-1.1099705552.3656432291.2178757095.162497643
 8.3.7.9038710950.2537746772.9508297271.9544450525.758586267
 9.3.7.155551637-0.223663872.809542241.6448050565.409858741
 10.3.6.28713339-0.920099553.0046609040.8020015853.763522997
 11.3.6.617361533-2.9957322741.6873994540.1043600153.487375078
 12.3.7.542449384-0.3735430132.5257286441.7783364495.648269765
 13.3.5.043508984-2.9122732081.976369357-0.0304592073.797733859
 14.3.5.891669073-2.323294591.6997605510.6981347223.493472658
 15.3.6.387157059-1.3682080651.9951003931.4060969885.649678216
 16.3.5.443525322-1.7271317952.995732274-0.0512932943.706228092
 17.3.5.516311683-2.4266964862.1127163310.2851789424.168214411
 18.3.6.57939148-0.702845582.0494944651.862528545.923988382
 19.3.5.047172924-2.4045330721.0002763881.1969481895.152713393

Ek 1'in devamı

20.3.5.243913978-2.0004136352.6390573304.025351691
 1.4.8.3483285230.767683612.892479242.5368663896.443972262
 2.4.6.167688384-2.0091836862.3160081130.3920420884.06731589
 3.4.6.396727968-1.5085693812.2145742161.0043016094.742320024
 4.4.5.64311556-2.4496217971.78379130.5187937934.526126979
 5.4.5.700961834-1.4412154063.070455820.1484200053.616308761
 6.4.7.985304967-0.4870570642.062292142.2417729545.611667186
 7.4.6.925602073-0.9153227292.5170455221.2441545945.182906515
 8.4.8.0667913850.1685863532.8489821831.9712993835.822157927
 9.4.7.26212146-0.0878357522.8537316911.7209792875.50411128
 10.4.6.441644861-0.8578838423.0676448550.8241754433.691376334
 11.4.6.700567505-2.959880091.7241008210.0676586483.5085559
 12.4.7.649635479-0.3398429962.4807049631.8500283775.740435792
 13.4.5.205549452-2.6983021662.0596389140.0198026273.822098298
 14.4.6.178850342-2.1575197481.8471095640.7178397933.5085559
 15.4.6.513301325-1.2824564061.9750815261.4906543765.733664849
 16.4.5.521004814-1.6716021483.036554268-0.0408219953.681351188
 17.4.5.649284049-2.4520866631.9661128560.3364722374.252771799
 18.4.6.7035218-0.5058211362.1895491911.9213246745.999680702
 19.4.5.298747274-2.2508690681.1949229691.2029723045.123368564
 20.4.5.376393526-1.9014060982.7237985580.0487901644.034240638

ÖZGEÇMİŞ

Seda Elmas 2013 yılında Trabzon Lisesi'nden mezun olduktan sonra aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2017 yılında lisans eğitimini bitirip 2018 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında tezli yüksek lisans eğitimine başladı. Orta derecede İngilizce bilmektedir.

