T.C.
ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNİN ENERJİ ETKİNLİKLERİNİN İKİ AŞAMALI NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

Fırat İbrahim YİLMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Burak KESKİN

Çankırı – 2021

T.C.
ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNİN ENERJİ ETKİNLİKLERİNİN İKİ AŞAMALI NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

Fırat İbrahim YİLMAZ
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7706-7356

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Burak KESKİN

Çankırı – 2021

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ

Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığım *Avrupa Birliği Ülkelerinin Enerji Etkinliklerinin İki Aşamalı Network Veri Zarflama Analizi ile İncelenmesi* adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlanmasına kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

…/03/2021

İmza

Fırat İbrahim YİLMAZ

TEZ KABUL VE ONAY

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Fırat İbrahim YİLMAZ tarafından hazırlanan *Avrupa Birliği Ülkelerinin Enerji Etkinliklerinin İki Aşamalı Network Veri Zarflama Analizi ile İncelenmesi* başlıklı bu çalışma, *24/02/2021* tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda *oybirliğiyle* başarılı bulunarak jürimiz tarafından *İşletme Anabilim Dalı*'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ (Unvanı, Adı ve Soyadı)

Danışman	: Dr. Öğr. Üyesi Burak KESKİN	İmza: ……..
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Pembe GÜÇLÜ	İmza: ……..
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Günal BİLEK	İmza: ……..

ONAY

Bu Tez, Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulunun ...../..../ 2021 tarih ve ..... sayılı oturumunda belirlenen jüri tarafından kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Erol KARCI
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ ii
TEZ KABUL VE ONAY iii
İÇİNDEKİLER iv
ÖNSÖZ vi
ÖZET vii
ABSTRACT viii
KISALTMALAR ix
TABLO LİSTESİ x
GRAFİK LİSTESİ xi
ŞEKİL LİSTESİ xii
1. GİRİŞ 1
2. BÖLÜM: ENERJİ KAVRAMLARI 5
2.1. Enerji Kavramları 5
2.2. Enerji Kaynakları 6
2.2.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları 7
2.2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları 16
2.3. Avrupa Birliği'nin Enerji Politikası 29
2.4. Avrupa Birliği'nin CO_2 ve Emisyon Çalışmaları 33
3. BÖLÜM: ETKİNLİK, VERİMLİLİK ve VERİ ZARFLAMA ANALİZİ KAVRAMLARI 36
3.1. Etkinlik ve Verimlilik 36
3.2. Etkinlik Ölçme Yöntemleri 38
3.3. Veri Zarflama Analizi (VZA) 39
3.3.1. Temel VZA Modelleri 42
3.3.1.1. Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) Modeli 43
3.3.1.2. Banker Charnes Cooper (BCC) Modeli 45
3.3.1.3. Toplamsal Model 47
3.4. VZA'nın Avantaj ve Dezavantajları 48
3.5. İki Aşamalı Network Veri Zarflama Analizi (Two Stage DEA) 49
3.5.1. Network VZA Model ve Yapıları 49
3.5.1.1. Network VZA Modelleri 51
3.5.1.1.1. Bağımsız Model 52
3.5.1.1.2. Sistem Uzaklık Ölçüsü Modeli 52
3.5.1.1.3. İşlem Uzaklık Ölçüsü Modeli 53

3.5.1.1.4. Faktör Uzaklık Ölçüsü Modeli 54
3.5.1.1.5. Aylak Tabanlı Ölçüm Modeli 54
3.5.1.1.6. Oran-Form Sistemi Etkinliği Modeli 56
3.5.1.1.7. Oran-Form Süreç Etkinliği Modeli 56
3.5.1.1.8. Oyun Teorisi Modeli 57
3.5.1.1.9. Değer Temelli Model 57
3.5.1.2. Network VZA Yapıları 58
3.5.1.2.1. Temel İki Aşamalı Yapı 58
3.5.1.2.2. Genel İki Aşamalı Yapı 59
3.5.1.2.3. Seri Yapı 60
3.5.1.2.4. Paralel Yapı 61
3.5.1.2.5. Hiyerarşik Yapı 62
3.5.1.2.6. Karma Yapı 63
3.5.1.2.7. Dinamik Yapı 64
3.5.2. İki Aşamalı VZA Modeli 66
4. BÖLÜM: AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNİN ENERJİ ETKİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ 76
4.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı 76
4.2. Araştırmanın Önemi 76
4.3. Araştırmanın Yöntemi 77
4.4. Araştırmanın Modeli ve Veri Seti 80
4.5. Araştırma Verilerinin Analiz Edilmesi 85
5. SONUÇ 96
KAYNAKÇA 100
EKLER 120
ÖZGEÇMİŞ 124

ÖNSÖZ

Avrupa Birliği Ülkelerinin Enerji Etkinliklerinin İki Aşamalı Network Veri Zarflama Analizi ile İncelenmesi konusu, Avrupa Birliği ülkelerinin enerji etkinliklerinin insan, ekonomi, çevre ve üretim boyutları açısından değerlendirilmesi ve tüm bu boyutların olası etkilerinin analizini içermektedir. Bu incelemenin daha yaşanılabilir bir dünya için küçük de olsa bir adım olduğu ve gelecekte gerçekleştirilmesi muhtemel çalışmalar için fikir sunacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana yol gösteren, engin bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, rehberliği ve desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyerek değerli yorum ve önerileriyle katkıda bulunan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Burak KESKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın hazırlanmasında katkılarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, eğitim hayatım boyunca yetişmemde katkısı olan tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmamı tamamlamam konusunda moral ve motivasyonumu üst düzeyde tutmama yardımcı olan eşime şükranlarımı sunarım.

…/03/2021

Fırat İbrahim YİLMAZ

ÖZET

Tezin Başlığı **:** Avrupa Birliği Ülkelerinin Enerji Etkinliklerinin İki Aşamalı Network Veri Zarflama Analizi ile İncelenmesi

Tezin Yazarı **:** Fırat İbrahim YİLMAZ

Danışman **:** Dr. Öğr. Üyesi Burak KESKİN

Anabilim Dalı **:** İşletme

Tezin Türü **:** Yüksek Lisans

Kabul Tarihi **:** 24/02/2021

Dünyada yaşanan iklim değişiklikleri, kuraklık, nüfus artışı ve artan enerji ihtiyacı ülkeler açısından enerjiyi bir güç unsuruna dönüştürmektedir. Yazındaki incelemelerde enerji etkinlik değerlendirme çalışmalarının büyük bölümünün belirli bir alanda enerji kaynakları ya da enerji türü özelinde gerçekleştirildiği görülmüştür. Ancak, Avrupa Birliği ülkelerinin enerji performanslarını veya etkinliklerini inceleyen az sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Bu noktadan hareketle bu çalışmanın Avrupa Birliği üye ve aday ülkelerinin etkinliklerinin incelenmesi ile yazına önemli bir katkı yapması beklenmektedir.

Ayrıca, bu çalışmada Avrupa Birliği ülkelerinin enerji politikaları, yaptıkları çalışmalar ve hedeflerine yer verilmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde sürdürülen enerji çalışmalarının tüm yönleriyle değerlendirilebilmesi için modele ait ana süreçler enerji-ekonomi-çevre faktörleri çerçevesinde belirlenmiştir. Model yapısını oluşturan insan, çevre, ekonomi ve üretim boyutlarının etkinsizlik nedenleri incelenerek kaynakların verimli kullanımı noktasında uygulanan politika ve çalışmaların etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada model yapısını tüm boyutları ile değerlendirilebilmek için son yıllarda geliştirilen ve uygulama aşamasında az sayıda örnekleri ile karşılaşılan İki Aşamalı Network Veri Zarflama Analizi tekniği kullanılmaktadır. Bu yöntem ile 33 Avrupa Birliği ülkesinin modelde belirlenen ana süreç ve alt boyutlarının ayrı ayrı etkinlikleri değerlendirilerek aynı ülkelerin aslında etkin olup olmadığına ve etkinlikleri etkileyen süreçlere dair tespitler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Veri zarflama analizi, etkinlik, enerji, iki aşamalı network vza.

ABSTRACT

Title of the Thesis **:** Investigation of Energy Efficiency of European Union Countries with Two-Stage Network Data Envelopment Analysis

Author **:** Fırat İbrahim YİLMAZ

Supervisor **:** Dr. Öğr. Üyesi Burak KESKİN

Department **:** Business Administration

Thesis Type **:** Master's Thesis

Date **:** 24/02/2021

Climate changes, drought, population growth and increasing energy requirement in the world turn energy into a power factor for countries. In the literature, it was seen that most of the energy efficiency assessment studies were carried out in a specific area for energy resources or energy type. However, there are few studies examining the energy performance or efficiency of European Union countries. From this viewpoint, it is expected that this study will make a significant contribution to the literature by examining the activities of the European Union member and candidate countries.

This study includes also the energy policies of the European Union countries, their studies and targets. The main processes of the model have been determined within the framework of energy-economy-environment factors in order to evaluate all aspects of energy studies carried out in European Union countries. Examining the ineffectiveness reasons of the human, environment, economy and production dimensions that make up the model structure, the effects of the policies and studies applied at the point of efficient use of resources are tried to be determined.

In this study, the Two-Stage Network Data Envelopment Analysis technique, which has been developed in recent years and encountered with few examples in the application phase, is used in order to evaluate the model structure with all its dimensions. With this method, the activities of the main processes and sub-dimensions of 33 European Union countries determined in the model were evaluated separately, and it is determined whether the same countries are actually effective and the processes that affect the activities.

Keywords: Data envelopment analysis, efficiency, energy, two-stage network dea.

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
AKÇT	Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu
A.Ş.	Anonim Şirket
BCC	Banker-Charnes-Cooper
BM	Birleşmiş Milletler
Böl.	Bölüm
BP	British Petrol
CCR	Charnes-Cooper-Rhodes
Eurostat	Avrupa İstatistik Ofisi (European Community Statistical Office)
EC	Avrupa Komisyonu (European Commission)
FV	Fotovoltaik
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
GW	Gigawatt
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
İGE	İnsani Gelişme Endeksi
KVB	Karar Verme Birimi (Decision Making Units-DMU)
Mad.	Madde
MW	Megawatt
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
RE	Yenilenebilir enerji
s.	Sayfa
ss.	Sayfa sayısı
SAZ	Serbest Atılabilir Zarf Analizi (SAZ)
SDY	Serbest Dağılım Yaklaşımı (The Distribution Free Approach-DFA)
SFY	Stokastik Sınır Yaklaşımı
TC	Türkiye Cumhuriyeti
TDK	Türk Dil Kurumu
TEP	Ton eşdeğer petrol
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
UNDP	Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP)
UNCTAD	Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTAD)
vd.	Ve diğerleri
VZA	Veri Zarflama Analizi (Data Envelopment Analysis-DEA)
YSY	Yoğun (Kalın) Sınır Yaklaşımı (The Thick Frontier Approach-TFA)
3E	Enerji - Ekonomi - Çevre

TABLO LİSTESİ

Tablo No **Sayfa**

Tablo 2.1: AB üye ülkelerin sektörlere göre petrole bağlılık durumu 1990-2017.....11
Tablo 2.2: Avrupa'da yer alan ülkelerin brüt kullanılabilir petrol miktarları.....12
Tablo 2.3: Dünyada işletmedeki ve inşaat halindeki nükleer santral sayıları ile ülkelerin elektrik üretiminde nükleer enerjinin payı.....15
Tablo 2.4: Avrupa'da ülkelere göre hidroelektrik kapasiteleri.....21
Tablo 3.1: Literatürde yapılan network vza çalışmalarının yapı ve modelleme sınıflandırması.....51
Tablo 3.2: İki aşamalı VZA çalışmaları.....70
Tablo 4.1: Türkiye'de yayımlanan iki aşamalı VZA çalışmaları.....78
Tablo 4.2: Enerji alanında yayımlanan iki aşamalı VZA çalışmaları listesi.....79
Tablo 4.3: Avrupa Birliği'ne üye ve aday ülkeler listesi.....81
Tablo 4.4: Girdi ve çıktı değişkenlerine ait tanımlayıcı istatistikler.....85
Tablo 4.5: Girdi ve çıktı değişkenlerine ait korelasyon analizi sonuçları.....87
Tablo 4.6: Klasik VZA sonuçları.....88
Tablo 4.7: Aşamalara ait VZA uygulama sonuçları.....89
Tablo 4.8: Ekonomi boyutu VZA uygulama sonuçları.....90
Tablo 4.9: İnsan boyutunun VZA uygulama sonuçları.....91
Tablo 4.10: Üretim boyutunun VZA uygulama sonuçları.....92
Tablo 4.11: Çevre boyutunun VZA uygulama sonuçları.....92
Tablo 4.12: Network VZA sonuçları.....93
Tablo 4.13: Girdi ve çıktı değişkenleri.....94
Tablo 4.14: Model ve alt boyutlara ait VZA uygulama sonuçları.....95

GRAFİK LİSTESİ

Grafik No **Sayfa**

Grafik 2.1: Ülkelerin 2018 yılında birinci enerji tüketimindeki payları 8
Grafik 2.2: Avrupa Birliği kömür tüketim miktarları (2014-2018) 9
Grafik 2.3: AB üye-28 ülkelerin sektörlere göre petrole bağlılık durumu 2017.....11
Grafik 2.4: AB üye-28 ülkelerin sektörlere göre petrole bağlılık durumu 2017.....14
Grafik 2.5: AB-28 yıllık güneş fv kurulu kapasite 2000-2019 18
Grafik 2.6: Avrupa'da kıyı ve açık deniz rüzgar santralleri sayısı 23
Grafik 2.7: AB28'de 2017 yılında kullanım alanı bazında biyogaz brüt iç enerji tüketimi 24
Grafik 2.8: AB-28'de biyogazın brüt iç enerji tüketiminin gelişimi 25
Grafik 2.9: Ülkelere göre jeotermal elektrik kurulu gücü (MWe) 27
Grafik 2.10: Kurulu ve kümülatif küresel dalga enerjisi kapasitesi (kW) 29
Grafik 2.11: 1990-2017 yılları arasındaki ana sera gazı emisyonlarındaki değişim..34
Grafik 2.12: Sera gazı emisyon eğilimi projeksiyonları ve hedefi.....35
Grafik 3.1: Temel VZA girdi-çıktı grafiği 69

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No **Sayfa**

Şekil 2.1: Enerji kaynaklarının sınıflandırılması 7
Şekil 2.2: Avrupa'da kömürden çıkışın dört yılı 10
Şekil 2.3: Dünyada nükleer santrallerinin durumu 16
Şekil 2.4: AB-28'den en iyi 10 ülkenin 2019 yılı güneş fv pazar kapasitesi ve 2023 beklentisi 19
Şekil 2.5: Hidrolik santralinin akış şeması.....19
Şekil 2.6: İlk 10 jeotermal ülke kurulu güç-MW(07.2019)-Toplam 14.900 MW 28
Şekil 2.7: Avrupalıların AB enerji politikaları tutumu 31
Şekil 3.1: VZA modellerinin sınıflandırılması.....43
Şekil 3.2: CCR ve BCC etkinlik sınırları 45
Şekil 3.3: BCC etkinlik sınırları.....47
Şekil 3.3: VZA modellerinin sınıflandırılması.....44
Şekil 3.4: Network VZA modellenmesi.....50
Şekil 3.5: Temel iki aşamalı yapı.....58
Şekil 3.6: Geri bildirimli genel iki aşamalı yapı 59
Şekil 3.7: Geri bildirimsiz genel iki aşamalı yapı 60
Şekil 3.8: Seri yapı 61
Şekil 3.9: Paralel yapı 62
Şekil 3.10: 3 Aşamalı hiyerarşik sistem yapısı 63
Şekil 3.11: Karma yapı.....64
Şekil 3.12: Çok aşamalı dinamik yapı 65
Şekil 3.13: İki aşamalı VZA modellenmesi 67
Şekil 4.1: Avrupa Birliği'ne üye ve aday ülkeler.....80
Şekil 4.2: Model yapısı 82

1. GİRİŞ

Enerji kelimesi, genel anlamda "iş yapma kapasitesi" şeklinde ifade edilmektedir. Enerjinin kullanım alanları ve farklı seviyelerdeki faydaları açısından birçok çeşidi mevcuttur. Dünyadaki toplam enerji miktarı sabit olup doğal ve insani etkiler neticesinde bir şekil ya da biçimden bir diğer şekil/biçime dönüştürülebilmektedir (Adaçay, 2014).

Dünyadaki canlılar için yaşam döngüsünün ana kaynağı güneş enerjisidir. Güneş enerjisi olmadan dünyada sonsuz bir yaşam mümkün gözükmemektedir. Güneş, yaydığı ışınlar ile bitkiler, hayvanlar ve insanlar için belirli bir dengede ısı kaynağı görevini yerine getirmektedir. Bitkiler, güneş enerjisini fotosentez ile depolanmış karbonhidratlara dönüştürürler. Bu karbonhidratlar hayvanlar ve insanlar için bir besin kaynağı, toprak için bir yaşam döngüsü oluştururken, en önemlisi tüm canlılar için oksijen üretmektedir.

İnsanlık tarihi boyunca enerji, insan yaşamının sürdürülebilirliği açısından odak noktasında yer almıştır. Ateşin bulunması, hayvanların evcilleştirilmesi, büyük cisimlerin hareket ettirilmesi, şehirlerin kurulması, şehirlerin enerji ihtiyacının karşılanması, nükleer gelişmeler ve yaşanan enerji (petrol) savaşları örneklerden birkaç tanesi olarak verilebilir.

Dünyadaki mevcut kaynakların azalması ve yaşanan toprak kaybı gün geçtikçe artarken yeryüzündeki canlıların sayısındaki artışa bağlı olarak insanlığın gelecekteki ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için bugünden itibaren yapılacaklar ve alınması gereken önlemler büyük önem arz etmektedir. İnsan varlığı, devletlerin ekonomik güçlerinin devamlılığı ve dışa bağımlılıklarının azaltılması açısından en önemli güç unsurlarından bir tanesidir. Ayrıca, dünyadaki herhangi bir ülkenin aldığı kararlar çevre ve insan etkileri bakımından kelebek etkisi misali tüm dünyayı etkileyebilecek sonuçlar doğuracağından toplumlar için bu durum temel bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır (Atmaca vd., 2018).

Geçmişte ülke ekonomilerinin hızla kalkınmasının sağlanabilmesi ve sanayileşmenin hızlanması için fosil yakıtların kullanımı büyük oranda teşvik edilirken bunun günümüze ve gelecek dünyaya etkisi yeterince düşünülmemiştir. Gelinen noktada yenilenemeyen enerji kaynakları hızla artan nüfusa bağlı olarak artan tüketim sonucunda küresel düzeyde enerji rezervlerinin tahmin edilenden daha erken tükenmesine neden olacaktır. Gelecek 50 yıl içinde artan talebi karşılayabilmek için alternatif kaynakların planlamasına ihtiyaç duyulmaktadır (Çıtak ve Pala, 2016).

Ülkelerin enerji tüketim istatistikleri ve mevcut enerji kaynaklarına ait rezervlerin karşılaştırılması yapıldığında insanların ciddi bir enerji sorunu ile karşı karşıya kalabileceği tahmin edilmektedir. Dünya Bankası'nın, Dünya Sağlık Örgütü'nün, İklim Zirvelerinin ve birçok sivil toplum kuruluşunun yaptıkları raporlamalar ışığında, toplumların enerji tüketim alışkanlıklarının değiştirilmemesi halinde gelecek 50 yıl içerisinde mevcut petrol rezervleri gibi birçok enerji kaynağının tükeneceği düşünülmektedir. Bu nedenle tüketim alışkanlıklarının toplumun her bir bireyinden başlamak üzere gerek maliyet gerekse kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması için küresel düzeyde alternatif enerji kaynakları rüzgâr, biyoyakıtlar, güneş enerjisi ve fotovoltaiklerin (PV) yenilenebilir enerji (RE) teknolojileri vb. kullanılmasıı büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının kullanımı fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında maliyet açısından daha uygun iken, çevreye de zararsız ya da daha az zararlı olduğu bilinmektedir.

Küresel düzeyde tüketimde yaşanan artış, gıda ve sanayi üretimindeki artışı da beraberinde getirmektedir. Bu artışa bağlı olarak sera gazı emisyonunda da ciddi bir artış gözlenmektedir. Ülkelerin ekonomik varlıklarını fosil yakıtlar üzerinden sürdürmesindeki kararlılıkları da bu durumun ciddi oranda artmasına neden olmaktadır. Hızlı ve yenilebilir enerjiye dayalı enerji tüketiminin tercih edilmesindeki artışa bağlı olarak küresel emisyon değerleri de hızla düşüşe geçecektir (Bayraç, 2010).

Enerji, üretim alanının önemli bir parçasıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları haricinde kullanılan enerji ve türevleri birçok gazın yanında karbondioksitin de (CO_2) ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Sera gazları içinde %50'nin üzerinde en büyük paya sahip

olan CO_2, küresel ısınmanın birincil nedenleri arasındadır. Küresel ısınma, insanların gerçekleştirdikleri faaliyetler sonucunda, yeryüzüne yakın atmosfer tabakaları ile yeryüzü sıcaklığının yapay olarak yükselmesi sürecidir (Kotil vd., 2009).

Avrupa Birliği (AB), 2050 yılında sera gazı emisyon oranını 1990 yılındaki oranın %80-95 kadar altına düşürülmesini hedeflemektedir. AB'nin 2050 Enerji Yol Haritasında bu hedefe ulaşmaya yönelik birkaç senaryo bulunmaktadır. AB ilk aşamada 2020 yılına kadar tükettiği enerjinin en az yüzde 20' sini yenilenebilir kaynaklardan ve temiz bir enerji kaynağı olan doğalgazdan elde etmeyi hedeflemektedir (İncekara, 2019).

Dünyanın geleceği için enerji ihtiyacının nasıl karşılanacağı ve bunun için neler yapılması gerektiği sorgulanırken hala mevcut enerji kaynaklarından yoksun 1 milyondan fazla insanın olduğu gerçeğini de göz ardı etmemek gerekir (Yılmaz, 2012). Bu nedenle, mevcut enerji kaynaklarının nasıl etkin kullanılabileceğine ilişkin süreçler etkinlik ölçümleri yardımıyla geliştirilerek enerji kaynaklarından en verimli şekilde faydalanma yöntemleri belirlenebilir.

Çevresel etkinlik, çevresel yükün ekonomik değeri anlamına gelen, sürdürülebilir kalkınma için Dünya Ekonomik Konseyi tarafından da resmi olarak önerilmektedir. Çevresel etkinlikte rekabet avantajı, herhangi bir varlık için bir norm olacaktır. Son yıllarda, çevresel performans değerlendirmesi, enerji tasarrufu, sera gazı emisyonlarını azaltmak, çevreyi korumak ve küresel iklim değişikliğini azaltmak için çok önemli bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Wang vd, 2020).

Etkinlik ölçümü, yöneticiler için bir birimin geçmişteki başarılarını gösterirken aynı zamanda gelecekteki gelişim hedeflerini de belirlemesine yardımcı olmaktadır. Etkinliği ölçmek için en popüler araçlardan biri olan Veri Zarflama Analizi (VZA), birçok alandaki etkinlik skorunu değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk modelin doğumundan (Charnes vd., 1978) bu yana, VZA hem teori hem de uygulamada önemli ilerleme kaydetmiştir.

Çalışma sayesinde Avrupa Birliği ülkelerinin enerji etkinliklerinin etkileri üzerine bazı incelemeler yapılarak kaynakların verimli kullanımına ilişkin uygulanan politika ve çalışmaların etkileri belirlenmeye çalışılacaktır. Bu kapsamda Avrupa Birliği ülkelerinin enerji etkinlikleri insan, çevre ve üretim boyutları ile birlikte değerlendirilerek, tüm bu boyutların olası etkilerinin incelenmektedir. Bu çalışmanın gelecekte gerçekleştirilmesi muhtemel çalışmalar için bir fikir sunacağı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında ikinci bölümde ilk olarak terimsel olarak enerji kavramlarına değinilirken enerji kaynaklarına da gerek tanımsal gerekse istatistiksel oranlarla detaylı olarak yer verilmeye çalışılmıştır. Yeryüzünde ülkelerin enerji kullanımlarına ilişkin enerji kaynaklarının yapısı ve geleceğine yönelik çeşitli yayımlara ait bilgiler paylaşılmıştır. Bunun yanı sıra, üçüncü bölümde Avrupa Birliği'nin enerji politikaları konusundaki hedeflerine değinilerek CO_2 salınımı ve emisyon kavramları açıklanmış, etkinlik ve verimlilik ile veri zarflama analizi kavramlarına değinilmiştir. Son yıllarda ortaya koyulan yazın araştırmaları ile İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi çalışmalarına yer verilmiştir. Döndüncü bölümde ise, Avrupa Birliği ülkelerinin enerji performanslarını belirlemek için Avrupa Birliği'ne bağlı ülkeler ile aday ülkeler birlikte incelenerek hangilerinin daha etkin olduğu incelenmektedir. Elde edilen sonuçlar arasında etkinlik farkının anlamlı olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır.

2. BÖLÜM: ENERJİ KAVRAMLARI

2.1.Enerji Kavramları

Dünyada yaşanan iklim değişiklikleri ve etkileri sebebiyle enerji tüketimi her bireyin yaşamını doğrudan doğruya etkilemeye başlamıştır. Enerji, devletler arasında bir rekabet unsuru olmasının yanı sıra insan yaşamının sürekliliği açısından da önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölümde ise, enerji kavramları, enerji politikalarında belirlenen hedefler ve uygulamalara ilişkin bilgilere yer verilecektir.

Enerji kavramı, en kısa tanımıyla bir makine ya da maddenin iş yapabilme yeteneği olarak ifade edilmektedir. Eski Yunan dilindeki εν (en)= aktif ve εργοví (ergon)= iş kelimelerinden türeyerek iş yapma yeteneği anlamında kullanılmaya başlanmıştır (Karluk'tan aktaran, Yılmaz vd., 2016). Sözlükteki anlamı ise, maddede var olan ve ısı, ışık biçiminde ortaya çıkan güçtür (Türk Dil Kurumu [TDK], 2020).

Enerji, uzunluk, boy ya da mesafe gibi ölçülebilirdir. Enerji kavramı potansiyel, kinetik, ısı, ışık, elektrik, kimyasal, nükleer ve ses olmak üzere 8 (sekiz) ana başlıkta toplanmaktadır. Bu enerji türlerinden bazıları birbirine dönüşebilirken hiçbirisi kaybolmamaktadır (YEGM, 2020).

Potansiyel enerji, bir cismin durumu ve konumu yüzünden sahip olduğu enerjidir. Gerilmiş/sıkıştırılmış (yay gibi) ya da yüksekliği bulunan (havada duran) tüm cisimler potansiyel enerjiye sahiptir (YEGM, 2020).

Kinetik enerji, hareket kabiliyeti ve hızı olan cisimlerin sahip olduğu enerji çeşididir. Örneğin; koşucu bir atlet, pervane veya ağaçtan düşen bir elma olarak ifade edilebilir (Üçüncü, 2020).

Isı enerjisi, cisimlerin düşük ya da yüksek sıcaklıkları yüzünden sahip olduğu enerjidir. Örnek verecek olursak: ampul, elektrik sobası, jeotermal enerji, ısıtıcılar (Kozak vd., 2012).

Elektrik enerjisi, cisimler ve maddelerde var olan elektrik nedeniyle oluşan enerjidir. Işık enerjisi ise, karanlık ya da bulunduğu çevreyi aydınlatabilecek bir enerji türüdür. Güneş, ampul, lamba çeşitleri vb. nesneler mevcut enerjilerini ışık enerjine dönüştürür (Sevdim, 2018).

Kimyasal enerji, lamba, pil ve hücre gibi bir kimyasal maddenin tepkimesi esnasında ortaya çıkan enerjidir (Vikipedi, 2020). Nükleer enerji ise, büyük atomların parçalanması (fisyon) veya birleşmesi (hidrojen) sonucu ortaya çıkan enerjidir (Karataşlı vd., 2016).

Ses enerjisi, nesnelerin yapı ya da şekillerinin değişmesi/bozulması nedeniyle meydana gelen enerjidir. Ayna ya da cam kırılması örnek verilebilir.

2.2.Enerji Kaynakları

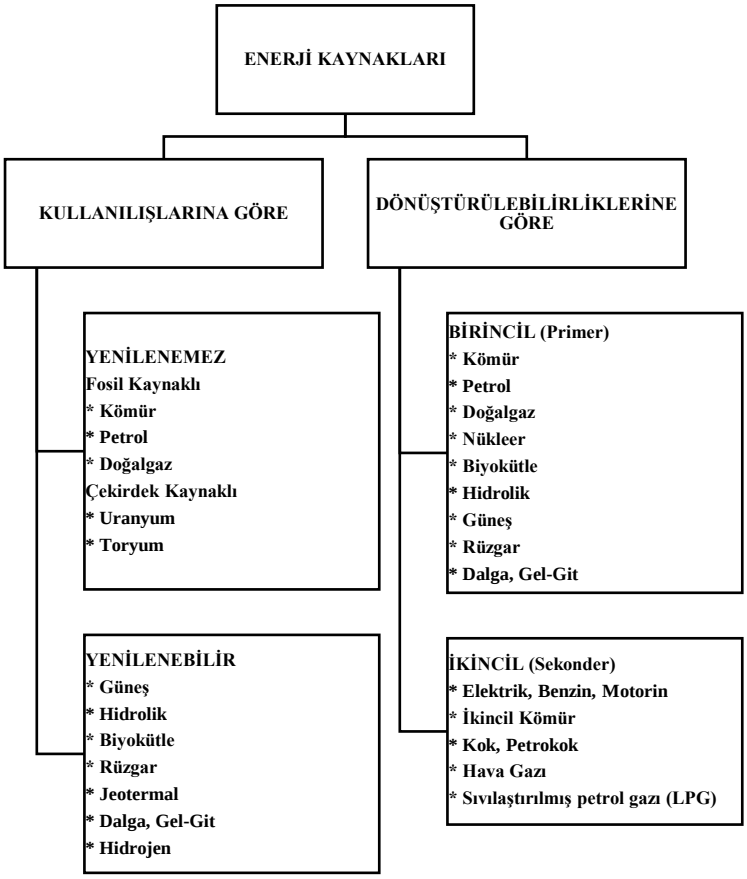
Yeryüzünde yer alan ana enerji kaynağı güneş olarak kabul edilmektedir. Ancak doğal yollarla ya da insan eliyle enerji ihtiyaca göre dönüştürülebilmektedir. Enerji çeşitleri kullanışları ve dönüştürülme durumlarına göre iki ana başlık altında incelenmiştir (Koç ve Şenel, 2013).

Enerji kaynakları kullanışlarına göre, yenilenebilir (tükenmez) ve yenilenemez (tükenir) olma durumlarına göre ayrılmaktadır. Dönüştürülebilirliklerine göre de doğada hiçbir müdahale edilmeden olduğu hali birincil enerji kaynağı olarak ve belirli bir işlem sonrası yeni bir çeşide dönüştürülmesi halinde ise, ikincil enerji kaynağı olarak nitelendirilmiştir (Koç ve Kaplan, 2015).

Yenilenemeyen enerji kaynakları fosil kaynaklı ve çekirdek kaynaklı olmak üzere iki alt başlıkta ayrılmaktadır. Yenilenebilir ile yenilemez enerji kaynaklarını birbirinden

ayıran en önemli özellik enerji sürdürülebilirliğini sağlamak bakımından enerji ihtiyacının karşılanabilmesine imkân tanımasıdır. Enerji kaynaklarının sınıflandırılmasına ilişkin oluşturulan tablo aşağıda Şekil 2.1'de verilmiştir:

Şekil 2.1: Enerji kaynaklarının sınıflandırılması



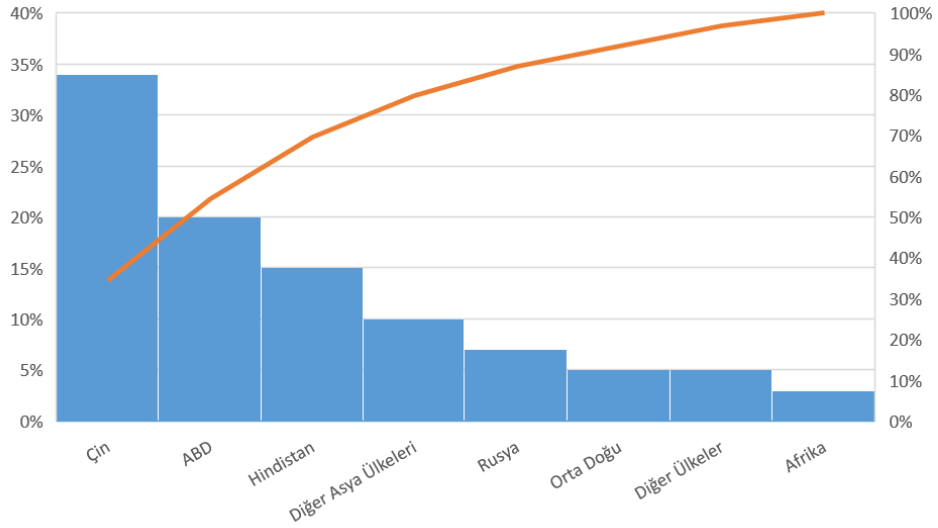
Kaynak: Koç ve Şenel (2013); Koç ve Kaplan (2015)

2.2.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları

Yenilenemeyen enerji kaynakları oluşumları ve ulaşılabilirlikleri açısından sınırlı stoklara sahip kaynaklardır. Bu kaynaklar, Dünya üzerinde enerji rezervleri açısından belirli bölgelerde belirli miktarda bulunabilir ve kullanıldıkça azalmaktadırlar. Fosil kaynaklı yakıtlar ise, jeolojik zamanda biyokütleden oluşan doğal kaynaklardan elde edilmektedir.

Çin, ABD ve Hindistan gibi artan enerji ihtiyacındaki hızlı yükselişe bağlı olarak birincil enerji tüketim oranlarında da paralel bir artış gözlemlenmektir. BP 2019 raporuna göre, dünya üzerinde ülkelerin birincil enerji tüketimindeki durumları Grafik 2.2.'de gösterilmiştir.

Grafik 2.1: Ülkelerin 2018 yılında birinci enerji tüketimindeki payları



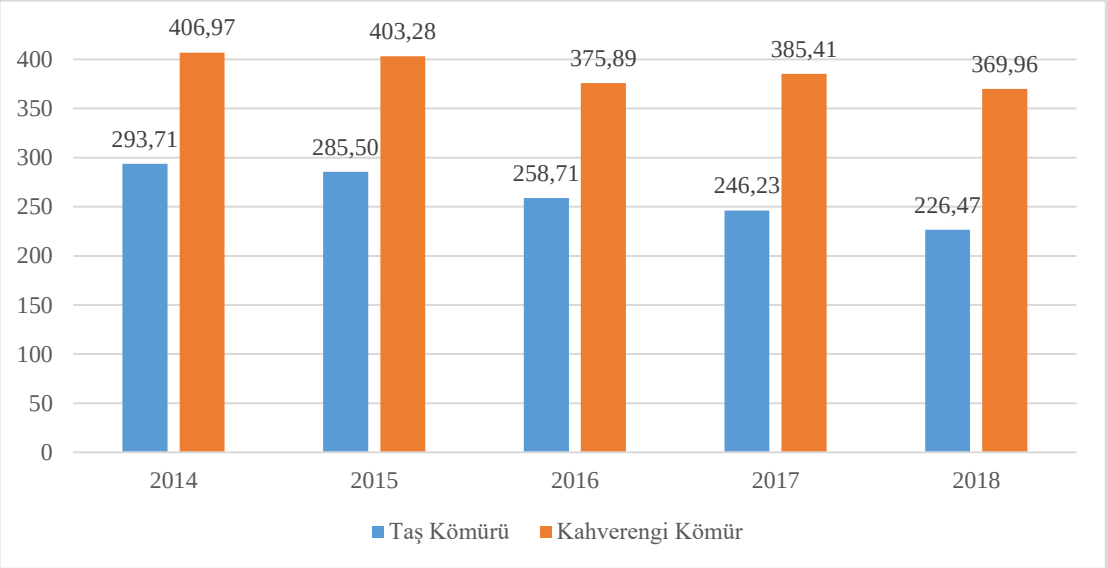
Kaynak: BP (2019)

Kömür, insanların yaşamında çok önemli bir yere sahiptir. Genellikle siyah veya kahverengi fiziksel görünümüyle karbonlaşmış bitkisel malzeme içeren bir fosil yakıtıdır. Bir kömürdeki karbon miktarı arttıkça sınıfı ve kalitesi de o oranda artmaktadır (TKİ, 2020; IEA, 2004).

Kömürden faydalanılarak üretilen elektrik, ağır sanayide buhar ve ısınma, demir-çelik endüstrisi ile çimento imalatında yoğunlukla kullanılmaktadır. Ayrıca, Dünya'da elektrik üretiminde %40 oranında bir paya sahiptir (TKİ, 2020). Dünya'da kömür tüketimi 10 yıllık büyüme ortalamasının iki katına çıkarken artışın sebebi Çin, Hindistan ve Endonezya gibi ülkeler olarak görülmektedir. OECD ülkelerinin yenilenebilir enerji kaynak kullanımındaki artış sayesinde kömür talebinin 1975'ten bu yana en düşük seviyeye gerilemesine katkı sunmuştur (BP, 2019).

Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin 2018 yılında taş kömürü ve kahverengi kömür birlikte düşünüldüğünde kömür tüketimi 596 milyon tona ulaşırken, elektrik ve ısı üretiminin yaklaşık %60'ı taş kömüründen ve % 90'dan fazlası kahverengi kömürden sağlanmıştır (Eurostat, 2020).

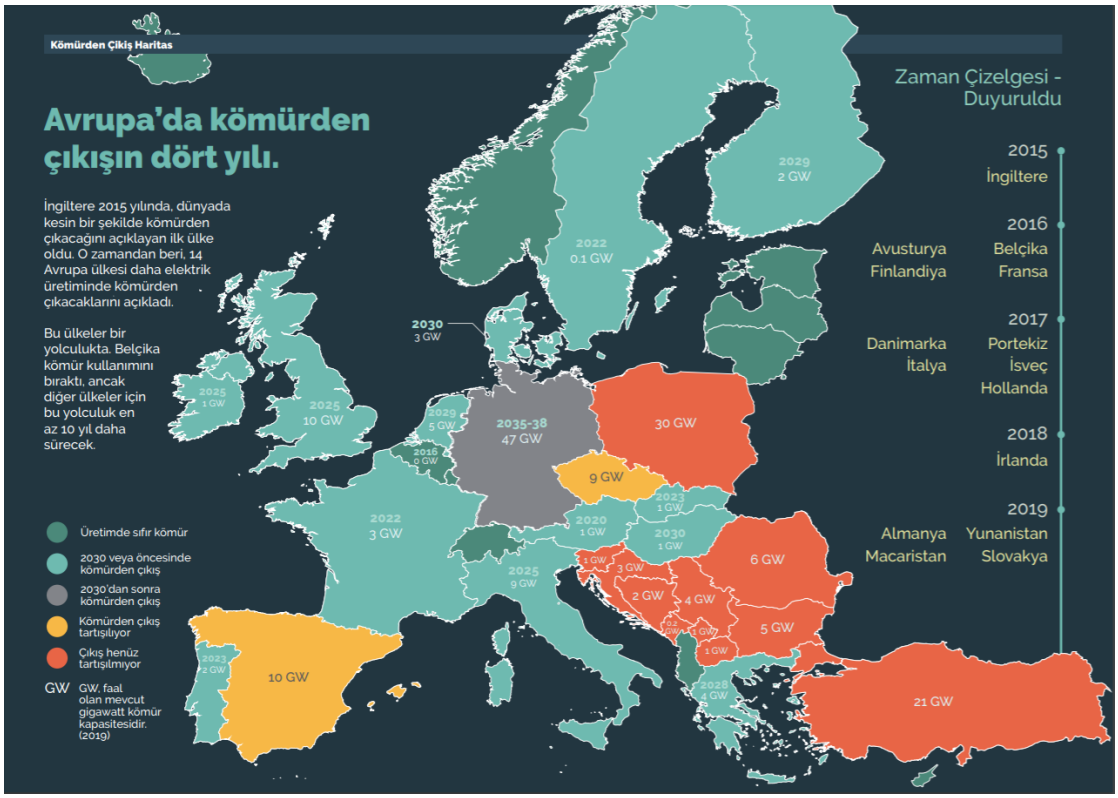
Grafik 2.2: Avrupa Birliği kömür tüketim miktarları (2014-2018)(Milyonton)



Kaynak: Eurostat Coal Production Consumption Statistics (2020)

Londra merkezli Europe Beyond Coal sivil toplum kuruluşunun hazırladığı Sandbag Coal Book 2019 raporuna göre, Avrupa'da yer alan 15 ülke temiz enerji ve temiz çevre planına katkı sunmak için belirledikleri takvim dahilinde kömür kullanımından vazgeçtiklerini açıklamıştır. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte kömürden çıkış yapan ülke sayısının da giderek artması beklenmektedir. Portekiz, 2030 yılı olarak belirlediği takvimi 2023 yılına çekmiştir. Avrupa'da yer alan ülkelerin 2015 yılı ve sonrasında hedeflenen kömür enerjisi kullanımlarına ilişkin harita Şekil 2.2' de gösterilmektedir (Sandbag Coal Book, 2019).

Şekil 2.2: Avrupa'da kömürden çıkışın dört yılı



Kaynak: Sandbag Coal Book (2019)

Petrol, tortul kayalardaki yeraltı rezervuarlarında kendiliğinden doğal yollarla meydana gelen, hidrojen ve karbon içeren kimyasal bileşikler ile sıvı hidrokarbonlardan oluşan bir karışımdır. Latincede kaya anlamına gelen 'petra' ile yağ anlamına gelen 'oleum' sözcüklerinin bir araya gelmesi sonucu oluşan petrol (petroleum) kelimesi ingilizce de petroleum ya da oil olarak kullanılmaktadır. Birincil enerji olarak ham petrol, üretilen petrol ürünleri arasında en önemlisidir. Ayrıca, ham petrolden üretilen çok çeşitli petrol ürünleri bulunmaktadır. İkincil petrol ürünü olarak benzin ve yağlarda özel amaç için üretilirken, mazot ve fuel oil gibi ısı artırma ihtiyaçları için de kullanılmaktadır (ESM, 2020).

Tarihi kaynaklardan edilen bilgiye göre, petrolün ilk kez M.Ö.400'lü yıllarda Çin'de bambu ağaç dallarının kullanılarak arandığı anlaşılmaktadır. İlerleyen yüzyıllarda ise petrol Asya ve Avrupa ülkelerinde sağlık sektöründe kullanılmıştır. Amerika'nın keşfi ile birlikte petrolün kaderi değişerek 19. Yüzyılın ortalarından itibaren modern petrol sanayinin gelişmesi ile petrol ve türevlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır (TPAO, 2020).

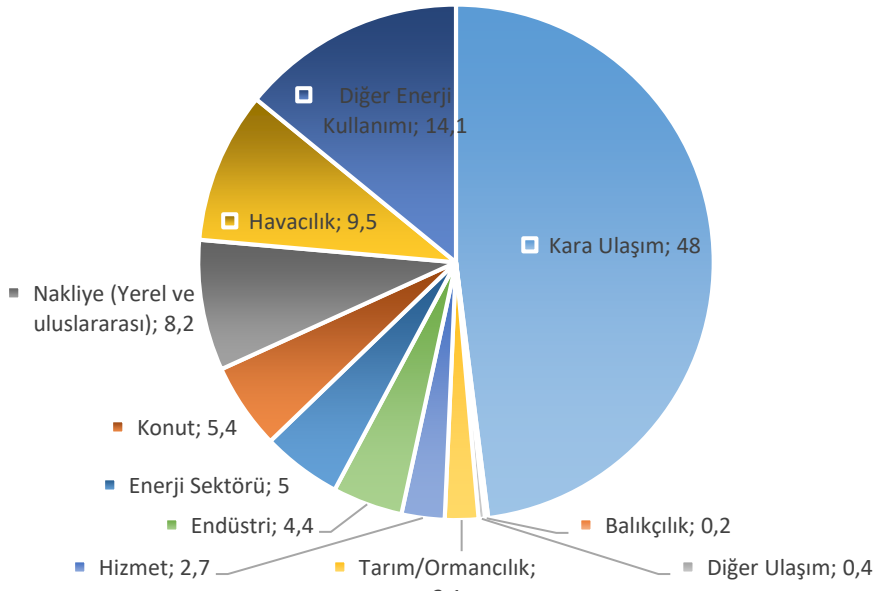
Avrupa Birliği'nde (AB-28) 2017 yılında birincil ham petrol üretimi 66.7 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) idi. AB'de petrol üretimi 169.5 TEP ile 1999 yılında zirveye ulaşmıştır. Avrupa Birliği'ne üye ülkeler arasında en iyi petrol üreticileri İngiltere (44.6 TEP), ardından Danimarka (6.9 TEP), İtalya (4.1 TEP) ve Romanya (her biri 3,5 TEP) dir (Eurostat, 2020).

Tablo 2.1: AB üye ülkelerin sektörlere göre petrole bağlılık durumu 1990-2017

AB'ye Üye Ülkelerin Sektörlere Göre Petrole Bağımlılık Durumu 1990-2017 (%)								
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Enerji Sektörü	45,2	46,2	45,2	45	40,6	38,8	38,9	38
Enerji Dışı Tüketim	82,6	85,3	85,2	86	85,1	83,4	83,6	83,5
Endüstri	17,7	18,1	16,9	15,1	13,3	11,2	10,9	10,3
Ulaşım	97,7	97,7	97,6	96,5	93,6	92,9	93,1	92,7
Konut	22,1	21,7	19,8	17,7	13,6	12,2	11,5	11,2
Deniz/Balıkçılık	99,7	99,9	96,3	94,3	88,9	88,8	87,5	86,8
Tarım	59,9	62,3	62	60,3	54,7	54,1	52,5	53
Hizmet	24,6	21,5	18,6	16,2	12	10,6	10,6	10,4

Kaynak: Eurostat Oil And Petroleum Products-A Statistical Overview (2020).

Grafik 2.3: AB üye-28 ülkelerin sektörlere göre petrole bağlılık durumu 2017



Kaynak: Eurostat Oil And Petroleum Products-A Statistical Overview (2020).

Tablo 2.2: Avrupa'da yer alan ülkelerin brüt kullanılabilir petrol miktarları 2015-2017 (milyon ton petrole eşdeğer)

ÜLKE/ZAMAN	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
Avrupa Birliği – 27 Ülke (2020 yılına kadar)	1.488,483	1.502,274	1.532,977	1.521,250
Avrupa Birliği – 28 Ülke (2013-2020)	1.682,583	1.692,963	1.721,307	1.709,014
Avrupa Bölgesi – 19 Ülke (2015 yılına kadar)	1.198,375	1.205,515	1.224,502	1.211,249
Belçika	59,569	63,468	64,114	63,983
Bulgaristan	18,730	18,332	18,980	19,027
Çek	42,352	41,947	43,442	43,520
Danimarka	18,136	18,701	18,849	19,047
Almanya	320,516	322,846	324,279	316,124
Estonya	5,721	6,271	6,074	6,587
İrlanda	14,327	15,070	14,830	14,986
Yunanistan	25,712	25,215	26,365	25,833
İspanya	130,859	132,313	138,026	137,599
Fransa	261,888	257,263	257,317	256,549
Hırvatistan	8,507	8,583	8,886	8,698
İtalya	157,630	156,490	161,815	159,714
Kıbrıs	2,542	2,750	2,827	2,902
Letonya	4,634	4,707	4,811	4,832
Litvanya	6,985	7,246	7,544	7,687
Lüksemburg	4,180	4,194	4,331	4,509
Macaristan	25,203	25,585	26,703	26,712
Malta	2,294	2,470	2,912	3,045
Hollanda	88,050	89,546	90,322	88,817
Avusturya	33,694	34,060	34,812	33,997
Polonya	95,932	100,641	105,392	107,036
Portekiz	24,222	24,292	25,426	24,817
Romanya	31,899	31,794	33,465	33,515
Slovenya	6,508	6,794	7,020	7,053
Slovakya	16,265	16,346	17,248	17,046
Finlandiya	32,779	34,175	34,427	35,169
İsveç	49,350	51,176	52,757	52,446
Birleşik Krallık	194,100	190,689	188,330	187,763
İzlanda	5,871	5,663	6,063	6,654
Norveç	30,323	29,238	30,718	29,462
Karadağ	1,019	0,981	1,027	1,078
Kuzey Makedonya	2,656	2,696	2,750	2,572
Arnavutluk	2,220	2,306	2,405	2,382
Sırbistan	14,833	15,453	15,763	15,545
Türkiye	133,178	140,511	151,259	149,006
Bosna Hersek	6,183	6,767	6,754	
Kosova	2,524	2,704	2,569	2,585
Moldova	2,608	2,708	2,851	3,007
Ukrayna	92,247	93,751	89,196	
Gürcistan	4,703	4,860	4,896	4,926

Kaynak: Eurostat Oil And Petroleum Products-A Statistical Overview (2020).

Petrol piyasasında rafinerilerin kullandığı petrol türleri Brent, WTI ve Umman olmak üzere 3'e ayrılmaktadır. 2007 yılından 2017 yılına kadar ortalama rafineri kullanımı en yüksek seviyesine ulaşarak, günlük ortalama petrol tüketimi ortalama %1,5'un üzerinde (1,4 milyon varil) artış göstermiştir. Dünya üzerinde bu artıştaki en büyük pay Çin (680.000 varil/gün) ve ABD (500.000 varil/gün) ülkelerine aittir (BP, 2019).

Küresel petrol üretiminde ise, en yüksek üretim hacmini ABD (2,2 milyon varil/gün) elde etmiştir. Kanada ve Suudi Arabistan bu büyümeyi takip ederken Venezuela (-580.000 varil/gün) ile İran (-310.000 varil/gün) yaşanan kriz ve ambargolar sebebiyle üretimde ciddi düşüşler yaşamıştır (BP, 2019).

Doğal gaz, tesadüfen petrol üretimi sağlanırken keşfedilen bir kaynaktır. İlk zamanlar faydası anlaşılamadığından petrol üretimi esnasında yakılarak ortamdan uzaklaştırılmıştır. Doğal gaz, yanıcı, havadan daha hafif, renksiz ve kokusuz bir gaz olmasının yanı sıra, başta metan (CH_4) olmak üzere birden fazla gaz ve hidrokarbonlardan (C_2H_6) meydana gelmektedir (TPAO, 2020; Petform, 2020).

Tarihi kaynaklarda ilk kullanımının M.Ö.900'ü yıllarda Çin'de başladığı gözlemlenmektedir. Dünya üzerinde genel olarak kullanımına ise, 1790 yılında İngiltere'de başlanmıştır. 1920'lerden itibaren boru hattı sevki ile kullanımı artarak İkinci Dünya Savaşı sonrasında hızlı bir artış sağlamıştır. Buna rağmen 1950'li yıllarda ilk kez ABD'de enerji sektöründe kullanılırken tüketim oranı %10 civarındadır. Günümüzde ise, ülkeler açısından stratejik bir enerji kaynağı halini alarak yaşam alanları ve sanayi de büyük bir oranda kullanılmaktadır (https://www.petform.org.tr/).

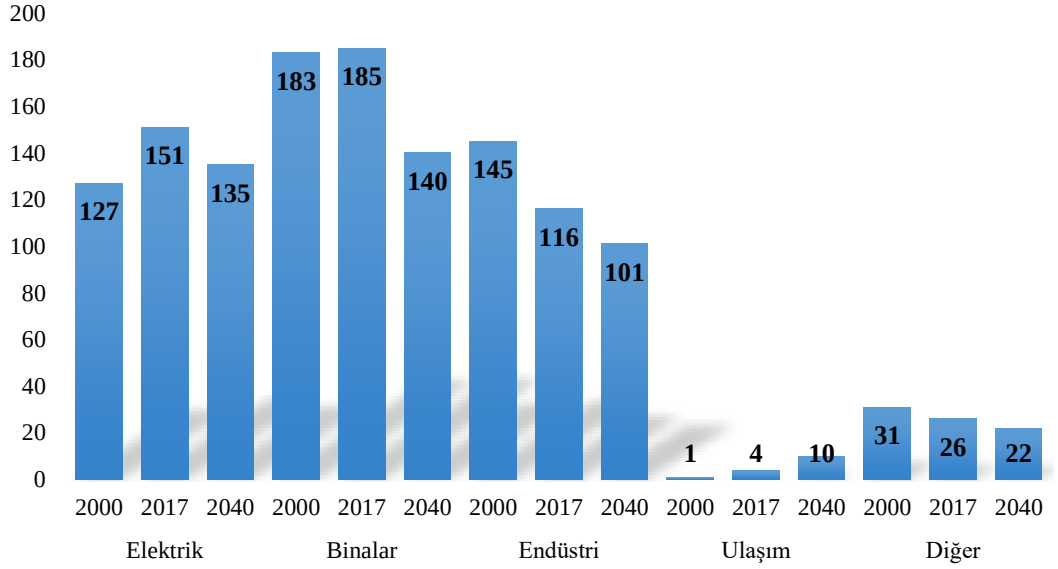
Doğalgaz, yanması esnasında kül ya da curuf gibi atıklar üretmemesi ile birlikte hava kirliliğine sebebiyet veren kükürt dioksit ve karbondioksit gazlarını da meydana getirmemektedir. Bu nedenle, çevre sağlığı açısından da temiz bir enerji kaynağı olarak kabul görmektedir (Bayraç, 2018).

Doğalgaz rezervlerinin 75,5 trilyon metreküpü (%38,4) Orta Doğu ülkelerinde, 66,7 trilyon metreküpü (%33,9) Avrupa ve Avrasya ülkelerinde, 32,5 trilyon metreküpü (%16,5) Afrika/Asya Pasifik ülkelerinde bulunmaktadır (https://www.botas.gov.tr/).

Son yıllarda yakıtla enerji tüketimindeki artışın %40'dan fazlası doğal gaz tüketiminden kaynaklanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları dışındaki tüm enerji kaynağı yakıtların tüketimi 10 yıllık ortalamalarından daha fazla büyürken yenilenebilir enerji kaynaklarındaki büyüme iyimser bir şekilde bu büyümede en büyük ikinci artışı oluşturmaktadır (BP, 2019).

Doğalgazın gelecekte de önemli unsur olarak kalabilmesi uzun vadede hidrojen ve yenilenebilir metan için talep ve kullanımları sonrasında belirleyici olacaktır. Doğalgazların Avrupa Birliği'nde 2030 ve 2040 strajeleri kapsamında sektörlere kullanım durumlarına ilişkin oluşturan senaryoya ait değerler Grafik 2.4.'te verilmiştir. Bu çerçevede 2040 yılına kadar alternatif enerji kaynaklarında bulunacak çözüm önerileri ile doğalgaz talebinde %12'lik bir düşüş beklenmektedir (Catuti vd. 2019).

Grafik 2.4: AB üye-28 ülkelerin sektörlere göre petrole bağlılık durumu 2017



Not: CAAGR = Bileşik ortalama yıllık büyüme oranı diğer tarım, balıkçılık, dönüşüm ve diğer enerji dışı kullanımı içerir.
Kaynak: Eurostat Oil And Petroleum Products-A Statistical Overview (2020).

Uranyum doğada hiçbir zaman serbest olarak bulunmaz. Çeşitli elementlerle birleşerek uranyum minerallerini meydana getirir. Yerkabuğunda yüzlerce uranyum minerali vardır; ancak bunların büyük çoğunluğu ekonomik boyutta uranyum

içermezler. İşletilebilir miktarda uranyum içerenler; otünit, pitchblende (uraninit), kofinit ve torbernit'tir (Avşaroğlu, 2018).

Dünya'da nükleer enerji santralleri elektrik enerjisi elde etmek için kurulmaktadır. Santallerde enerji hammaddesi olarak uranyum ve toryum kullanılabilmektedir. Ancak, günümüzde toryum kaynaklı santrallerin kurulumu ve işleyişi ekonomik açıdan dezavantajlı olması sebebiyle henüz tercih edilmemektedir (https://www.mta.gov.tr/).

2018 yılında Avrupa Birliği, elektrik üretiminin %28'ini nükleer santrallerden karşılamıştır. Ancak, üye ülkelerin son yıllarda yaşanan nükleer kazaların çevreye ve ülke ekonomilerine verdiği zarar sebebiyle santrallerini kapatma kararı almasına neden olmuştur. 2018 yılı itibariyle Belçika, Bulgaristan, Çekya, Almanya, İspanya, Fransa, Macaristan, Hollanda, Romanya, Slovenya, Slovakya, Finlandiya ve İsveç gibi üye ülkelerin 14'ünde nükleer santral bulunmamaktadır (Eurostat, 2020).

Tablo 2.3: Dünyada işletmedeki ve inşaat halindeki nükleer santral sayıları ile ülkelerin elektrik üretiminde nükleer enerjinin payı

Ülkeler	Aktif Nükleer Santraller	İnşaat Halindeki Santraller	Elektrik Üretimindeki Payı (%)	Ülkeler	Aktif Nükleer Santraller	İnşaat Halindeki Santraller	Elektrik Üretimindeki Payı (%)
ABD	98	2	20,1%	**Macaristan**	4	–	50,0%
Fransa	58	1	71,6%	**Slovakya**	4	2	54,1%
Çin	46	11	3,9%	**Arjantin**	3	1	4,5%
Japonya	42	2	3,6%	**Brezilya**	2	1	2,7%
Rusya	37	6	17,8%	**Bulgaristan**	2	–	34.8
Kore	24	5	27,1%	**Meksika**	2	–	6,1%
Hindistan	22	7	3,2%	**Romanya**	2	–	17,7%
Kanada	19	–	14,6%	**Güney Afrika**	2	–	6,7%
Ukrayna	15	2	55,1%	**Ermenistan**	1	–	32,5%
Birleşik Krallık	15	1	19,3%	**İran**	1	–	2,1%
İsveç	8	–	39,6%	**Hollanda**	1	–	2,9%
Almanya	7	–	11,6%	**Slovenya**	1	–	39,1%
Belçika	7	–	49,9%	**Tayvan**	4	2	9,3%
İspanya	7	–	21,2%	**BAE**	–	4	
Çek Cumhuriyeti	6	–	33,1%	**Belarus**	–	2	
Pakistan	5	2	6,2%	**Bangladeş**	–	2	
İsviçre	5	–	33,4%	**Total**	454	55	
Finlandiya	4	1	33,2%				

1] Fukuşima kazası sonrası Japonya'da güvenlik testleri için nükleer güç santralleri kısa süreliğine kapatılmıştır. Ancak, 17 nükleer santralin tekrar açılması ile ilgili süreç başlatıldı.

Kaynak: http://nukleerakademi.org/

Şekil 2.3: Dünyada nükleer santrallerinin durumu



Kaynak: http://nukleerakademi.org/

2.2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerjinin, diğer enerji türlerine göre, karbondioksit emisyonlarını azaltarak çevreyi korumaları dışında daha birçok avantajı bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük özellikleri; temiz ve zararsız enerji olmaları, yerli kaynaklar oldukları için enerjide dışa bağımlılığın azalmasına ve istihdamın artmasına katkıda bulunmaları ve dünya kamuoyundan güçlü destek almalarıdır. Dolaysıyla yenilenebilir enerji kullanımı, sürdürülebilir iktisadi büyüme ve gelişmeye katkı sağlamaktadır. Bu yüzden ülkeler, kademeli olarak fosil kaynakların tüketimini azaltıp yenilenebilir enerji tüketimini arttırmayı planlamaktadır (Kılıç ve Aslan, 2017).

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından Avrupa Komisyonun ulusal ve uluslararası uzmanlarla yakın işbirliği içinde yürüttüğü çalışmalar neticesinde, AB'nin yenilenebilir enerji payını 2030 yılında %34'e çıkarabileceği tahmin edilmektedir. Yenilenebilir enerjide belirlenen hedefe ulaşılması halinde, AB emisyon değerlerinin düşürülmesi ve Paris Anlaşması ile belirlenen yükümlülüklerinde yerine getirilmesi

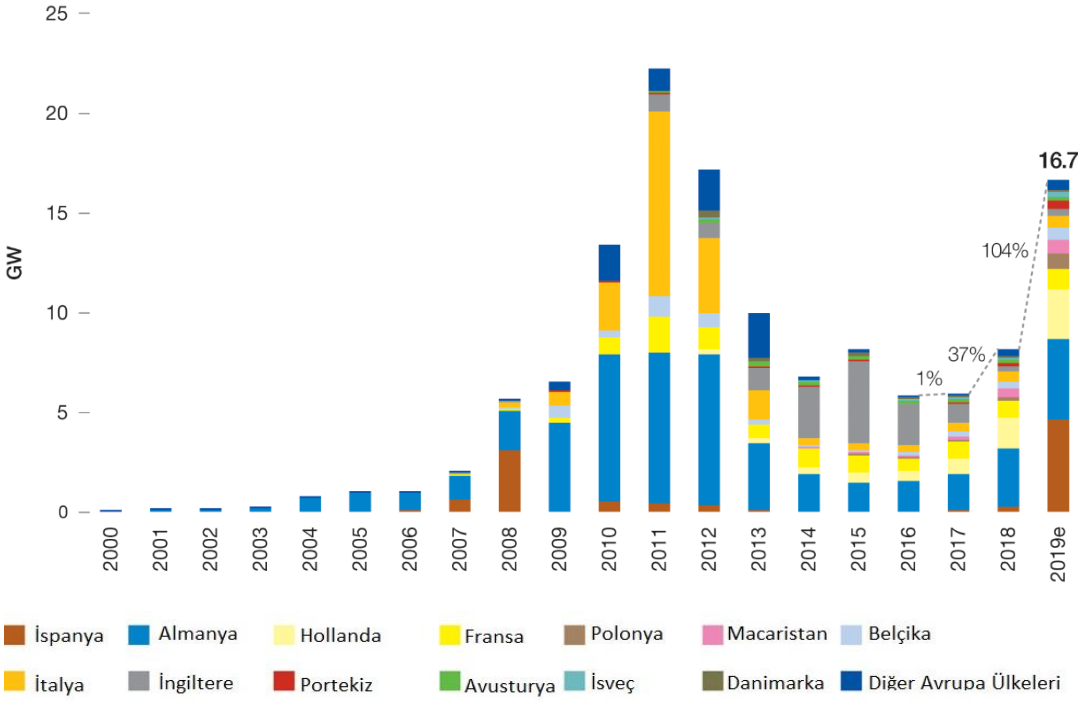
sağlanacaktır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynakları hem AB ve hem de diğer üye ülke ekonomileri için büyümeyi artırma, sanayi liderliğini koruma, istihdam yaratma ve aynı zamanda ülke vatandaşlarına önemli sosyal ve çevresel faydalar sağlama fırsatı sunmaktadır (IRENA, 2018).

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde var olan elementlerin birleşmesi (füzyon süreci) sonucu ortaya çıkan ısı/ışık enerjisidir. Güneşin yapısında olan hidrojen gazlarının helyuma dönüşmesi sonucunda füzyon meydana gelmektedir. Güneş enerjisinin şiddeti sabit 1370 W/m² iken, yeryüzünde bu değer 0-1100 W/m² arasında gözlemlenmektedir. Güneş enerjisinden ısı ve elektrik elde edilebilmektedir. Bazı teknolojik malzeme ve araçlarla doğrudan ısı enerjisi elde edilmektedir. Fotovoltaik piller yardımıyla ise, güneş ışığı doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Bu aktarma işlemini sağlayan araç ve gereçlere güneş kollektörleri denilmektedir. Bu enerjinin yeryüzüne ulaşan küçük bir bölümü Dünya'da tüketilen enerji tüketiminde fazlasını kolaylıkla karşılayabilmektedir (Zile, 2005).

1970'li yıllarda fotovoltaik (FV) pillerin maliyeti 200 $/Watt iken günümüzde 1 $/Watt seviyelerine gerilemiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte birim malzemelerin yapıları ile maliyetlerine yansıyan düşüş üretim hız kazanmış ve 25 yıla varan sürelerde bakım ihtiyacı duyulmadan kullanım imkanı sunmuştur. Devlet politikası haline gelen teşvik ve desteklerle günümüzde elektrik enerjisi kullanımı için en çok tercih edilen temiz yöntem halini almıştır. Temiz enerji kaynağı olarak kabul edilmesi sonrasında üretimde kayda değer bir artış gözlemlenmektedir (Cengiz ve Mamiş, 2016).

Son 15 yılda, güneş panellerinin üretim hacmi % 40'ın üzerinde bir büyüme ile artarak bu endüstriyi dünyanın en hızlı büyüyen sektörlerinden biri haline getirmiştir. 2006 yılına kadar güneş pili üretimine Japonya ve Avrupa söz sahibi iken 2006 yılı sonrasında Çin ve Tayvan gibi ülkelerin yanı sıra Hindistan, Malezya, Tayland, Filipinler veya Vietnam gibi diğer Asya ülkeleri de üretim kapasitelerini artırmıştır (Jager Waldau, 2019).

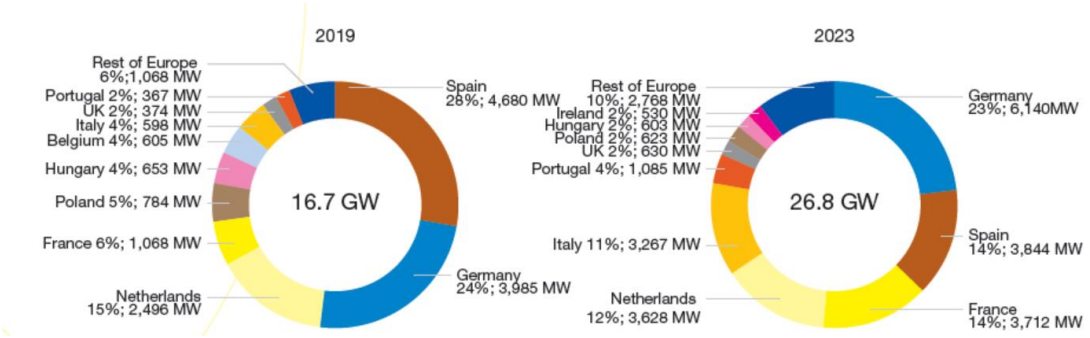
Grafik 2.5: AB-28 yıllık güneş fv kurulu kapasite 2000-2019



Kaynak: https://www.solarpowereurope.org/

2019 yılı Avrupa Birliği'nde güneş enerjisi için gelmiş geçmiş en iyi yıllardan biri olarak görülmektedir. Bölgesel olarak 2018 yılında 8,2 GW kurulumu sağlanan güneş enerjisi santralleri ile kapasite 16.7 GW (Gigawatt)'a çıkarak %104'lük bir artış sağlanmıştır. 2019 yılında kapasitesini 4.7 GW'a ulaştıran İspanya, hem AB'nin hem de Avrupa'nın en büyük güneş enerjisi pazarı haline gelmiştir. Pazar payı kapasiteleri bakımından İspanya'yı Almanya (4 GW), Hollanda (2.5 GW) ve Fransa (1.1 GW) takip etmektedir. Şaşırtıcı bir şekilde Polonya, kurulu kapasitelerini neredeyse dört katına çıkararak 784 MW (Megawatt)'a ulaşmıştır.

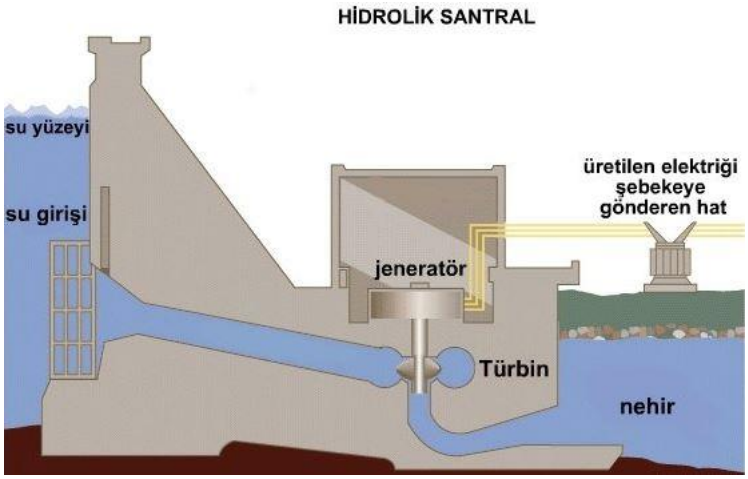
Şekil 2.4: AB-28'den en iyi 10 ülkenin 2019 yılı güneş fv pazar kapasitesi ve 2023 beklentisi



Kaynak: https://www.solarpowereurope.org/

Hidroelektrik santraller akan sudan elde ettiği gücü elektriğe dönüştüren sistemlerdir. Bu enerji miktarını suyun akışı ya da bulunduğu yükseklikten düşüş hızı belirlemektedir. Akan su miktarının büyüklüğü oranında ya da suyun düşüş noktasının yüksekliğine bağlı olarak enerji miktarı da artmaktadır. Nehir, akarsu, göller ya da farklı su kaynaklarındaki sular kanal ya da borular yardımıyla türbinlere iletilir. Pervanelerin dönüşü ile türbinler devreye girerek elde edilen enerji jeneratörlere aktarılır ve mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür (DSİ, 2020).

Şekil 2.5: Hidrolik santralinin akış şeması



Kaynak: https://www.enerjiportali.com/

Hidrolik Enerjinin Avantaj ve Dezavantajları (Bagher vd. 2015) :

Avantajları	Dezavantajları
1. Su kaynağında bir değişiklik olmaması halinde sabit elektrik üretimi sağlanabilir.	1. Barajların inşa edilmesi son derece pahalıdır ve çok yüksek bir standarda göre inşa edilmelidir.
2. Elektrik üretimine ihtiyaç duyulmazsa elektrik üretimi durdurulabilir ve su kaynağı, elektrik talebinin yüksek olduğu başka bir kullanım için saklanabilir.	2. Baraj inşaatının yüksek maliyeti, kârlı hale gelmek için onlarca yıl faaliyet göstermeleri gerektiği anlamına gelmektedir.
3. Barajlar sağlam ve dayanıklı yapılar olduğundan uzun yıllar aktif olarak kullanılabilir.	3. Geniş arazileri su basması, doğal çevrenin tahrip olduğu anlamına gelmektedir.
4. Barajda oluşan göl, su sporları ve dinlence/eğlence aktiviteleri için kullanılabilir.	4. Sular altında kalacak vadide olan köy ve kasabalarda yaşayan insanlar taşınmalıdır. Bu da insanların çiftliklerini ve işletmelerini kaybedecekleri anlamına gelmektedir.
5. Gölün suyu sulama amaçlı kullanılabilir.	5. Büyük barajların inşası ciddi jeolojik hasara neden olabilir. Örneğin, ABD'de Hoover Barajı'nın inşa edilmesi bir dizi dünya depremini tetiklemiştir.
6. Gölde su birikmesi, elektrik üretmek için su serbest bırakıldığında enerjiye ihtiyaç duyulana kadar depolanabileceği anlamına gelmektedir.	6. Barajların tasarımı ve inşasında yapılan ihmaller ölümlere ve sellere neden olabilir.
7. Baraj sistemlerinin kullanımı esnasında üretilen elektrik sera gazı üretmezken atmosferi de kirletmemektedir.	7. Bir ülkede bir nehir üzerine inşa edilen barajlar, genellikle bir sonraki ülkede aynı nehirden gelen su kaynağının kontrolünün dışında olduğu anlamına gelebilir. Bu, komşu ülkeler arasında ciddi sorunlara yol açabilir.
8. Hidroelektrik enerji yenilenebilir olsa da sonsuz değildir. Hidroelektrik santrallerin inşa edilebileceği sınırlı sayıda uygun rezervuar ve hatta bu tür projelerin karlı olduğu daha az yer bulunmaktadır.	8. Büyük bir baraj inşa etmek doğal su seviyesini değiştirebilir. Örneğin, Mısır'da Aswan Barajı'nın inşa edilmesi su seviyesini değiştirerek antik anıtlarının çoğuna zarar vermiştir.
9. Hidro enerjiyle elektrik üretmek çevreyi kirletmemektedir. Tek kirlilik, santrallerin inşasında ortaya çıkmaktadır.	9. Baraj inşası ve değişen suyolları beklenmedik çevresel sonuçlar doğurabilir.
10. Hidroelektrik, fosil yakıtlar ve nükleer enerji ile karşılaştırıldığında daha güvenlidir.	
11. Su akışı ve elektrik çıkışı enerji talebine göre ayarlanabilmektedir.	

Hidroelektrik, 2012 yılında dünya çapında üretilen 3700 TWh ile en çok kullanılan yenilenebilir elektrik şeklidir. 2012 yılında hidroelektrik santraller, dünya elektriğinin yaklaşık % 16,5'ini sağlamıştır. Bu payın 2020'de % 19'a, 2030'da % 21'e yükselmesi

beklenmektedir. Hidroelektrik, 2012 yılında dünya genelinde yenilenebilir kaynaklardan üretilen tüm elektriğin % 79'unu oluşturmuştur. En az 36 ülkede hidroelektrik, elektrik arzının yarısından fazlasını karşılarken Norveç'te bu oran % 95 civarındadır. Hidroelektrik enerji, 2012 yılında AB-27'de yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin % 44'ünü diğer bir ifadeyle toplam elektrik üretiminin % 10'unu oluşturmuştur (SETIS, 2011).

2018 yılında Avrupa'da hidroelektrik kapasitesi 2.2 GW artmıştır. Yeni kurulu kapasitenin çoğunluğu, Türkiye (1.085 MW) ve Norveç'te (419 MW) olmak üzere Avrupa Birliği dışında gerçekleşmiştir. AB bölgesinde geleneksel hidroelektrik ana şebekelerinden Avusturya (385 MW) ve İtalya (88 MW) hidroelektrik kurulu kapasitelerini arttırmıştır. Avrupa'nın yenilenebilir elektriğinin büyük kısmı hidroelektrik enerjisi ile sağlanmıştır. 2018 yılında hidroelektrik enerjisi, toplam jenerasyonun yaklaşık yüzde 17'sini oluşturmuştur (Hyropower Status Report, 2019).

Tablo 2.4: Avrupa'da ülkelere göre hidroelektrik kapasiteleri

Sıra	Ülke	Toplam Kurulu Kapasite	Sıra	Ülke	Toplam Kurulu Kapasite
1	Norveç	32.356	**22**	Hırvatistan	2.141
2	Türkiye	28.358	**23**	İzlanda	2.086
3	Fransa	25.529	**24**	Arnavutluk	2.020
4	İtalya	22.926	**25**	Letonya	1.576
5	İspanya	20.378	**26**	Slovenya	1.524
6	İsviçre	16.948	**27**	Belçika	1.427
7	İsveç	16.466	**28**	Lüksemburg	1.330
8	Avusturya	14.535	**29**	Litvanya	1.016
9	Almanya	11.258	**30**	Kuzey Makedonya	674
10	Portekiz	7.347	**31**	Karadağ	658
11	Ukrayna	6.785	**32**	İrlanda	529
12	Romanya	6.328	**33**	Belarus	97
13	İngiltere	4.712	**34**	Grönland	91
14	Yunanistan	2.296	**35**	Moldova	76
15	Finlandiya	3.236	**36**	Kosova	68
16	Bulgaristan	3.129	**37**	Macaristan	56
17	Sırbistan	2.932	**38**	Andorra	45
18	Slovakya	2.522	**39**	Faroe Adaları	39
19	Bosna Hersek	2.513	**40**	Hollanda	37
20	Polonya	2.353	**41**	Liechtenstein	35
21	Çek Cumh.	2.268	**42**	Danimarka	9

Kaynak: Hydropower Status Report (2019).

Rüzgar enerjisi, yeryüzündeki ısıma ve soğumaya bağlı olarak oluşan hava akımları sonucu meydana gelen rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjinin, rüzgar türbinleri yardımıyla mekanik veya elektrik enerjisine dönüştürülmesine verilen addır. Rüzgar enerjisi yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. En büyük türbinler 4,8–9,5 megawatt (MG) güç üretim kapasitesine sahip, 162 metreden daha uzun bir rotor çapında ve 240 metre yüksekliğinde kulelerden oluşmaktadır. En yaygın rüzgar türbinleri (1.8 megawatt'a kadar çıkan) bıçak uzunluğu yaklaşık 40 metre olup 80 metre yüksekliğinde kulelere tutturulmuştur. Bireysel evlere güç sağlamak için daha küçük türbinler kullanılabilmektedir. Rüzgar çiftlikleri, daha fazla toplam enerji kaynağı sağlayan bir dizi rüzgar türbininin birlikte gruplandırıldığı alanlardır (Britannica, 2020).

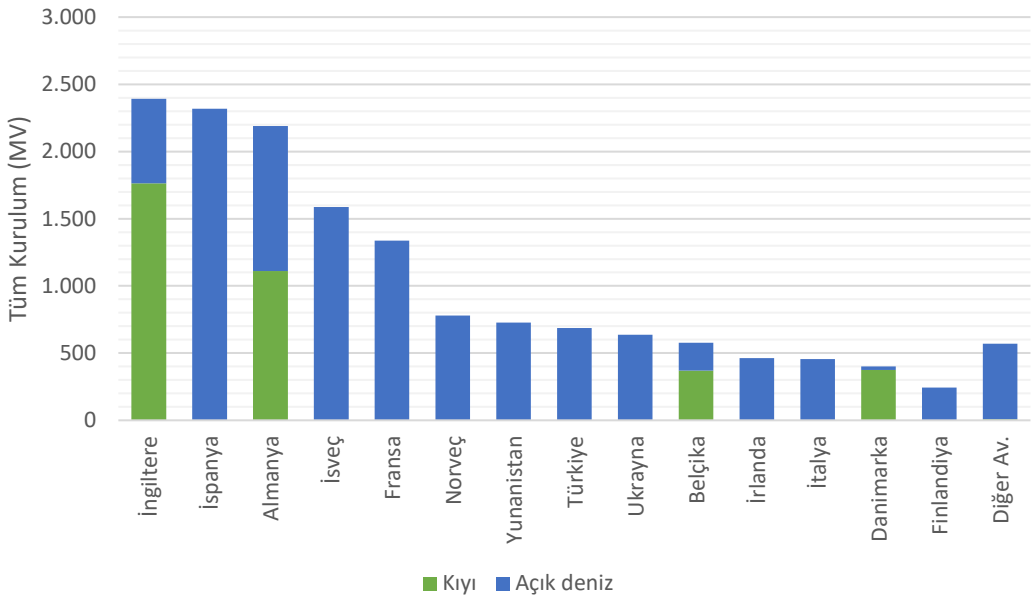
Yazılı belgeli ilk yel değirmeni, M.S. 644 yılına ait İran-Afganistan sınırındaki İskenderiye yakınlarındaki Seistan'da bulunmaktadır. Tarihte yel değirmenleri aracılığıyla tahıl işleme, su aktarımı ya da sulama yapılırken sonrasında elektrik enerjisi elde etmek için kullanılmıştır. Avrupa ülkeleri, yel değirmenlerini haçlı seferleri sırasında keşfetmiş olup ilk yel değirmeni Fransa'da 1105 yılında ve İngiltere'de 1143 yılında kurulmuştur. Almanya, Hollanda ve daha bir çok ülke farklı tasarım ya da ölçeklerde yel değirmenleri geliştirerek rüzgar enerjisinden faydalanmıştır. İlk rüzgar elektriği ise, 1891 yılında Danimarkalı Profesör Paul La Cour'un elektroliz yoluyla hidrojen gazından rüzgar enerjisini depolanması keşfi sonucunda bir çok şehrin elektriğe kavuşmasını sağlamıştır (Özgener, 2002)

Rüzgar enerjisi açısından 2019 yılı %19'luk kapasite artışı ile tarihteki en iyi ikinci yıl olarak kayda geçmiştir. 2019 yılında Dünya genelinde 60.4 GW rüzgar enerjisi kapasitesi kurulumu tamamlanmış olup 2020 yılında rekor bir oranla 76 GW yeni kapasite kurulumu yapılması planlanmaktadır. Küresel rüzgar enerjisi kapasitesi 651 GW'ın üzerine çıkarken bu kapasitenin %60'lık bir kısmını Çin ile ABD paylaşmaktadır (GWEC, 2019).

2019 yılı içerisinde AB'de 13.2 GW ve Avrupa genelinde 15.4 GW yeni rüzgar enerjisi kapasitesi kurulumu sağlanmıştır. Avrupa'nın rüzgar enerjisi kapasitesi 205 GW iken, AB, 2019 yılı içerisinde tükettiği elektriğin %15'ini rüzgar enerjisinden karşılamıştır.

Kurulumu tamamlanan yeni rüzgar tesislerinin tamamı kıyı şeridinde yer almaktadır. Yeni kapasite kurulumu kapsamında İspanya, 2.2 GW'lık yeni kara rüzgar santralleri ile en fazla kurulumu gerçekleştirirken Almanya'da yeni tesisler ve yatırımlarda düşüş yaşanmıştır (Wind Europe Annual Statistics, 2019).

Grafik 2.6: Avrupa'da kıyı ve açık deniz rüzgâr santralleri sayısı



Kıyı	**1.764**		**1.111**							**370**			**374**		**8**
Açık deniz	629	2.319	1.078	1.588	1.336	780	727	686	637	207	463	456	28	243	563
Toplam	**2.393**	**2.319**	**2.189**	**1.588**	**1.336**	**780**	**727**	**686**	**637**	**577**	**463**	**456**	**402**	**243**	**571**

Kaynak: Wind Europe Annual Statistics (2019).

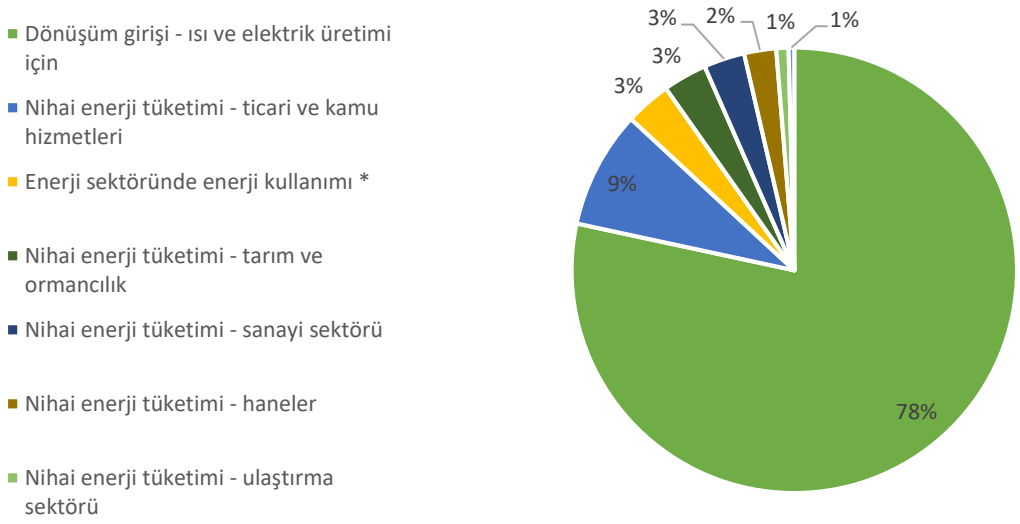
Küresel olarak artan nüfusun ihtiyaçlarının karşılanması ve sanayileşme sonucunda gereksinim duyulan enerjinin karşılanması için çevreye zarar vermeyecek şekilde sürdürülebilir kaynakların arasında en önemlisi biokütle enerjisidir. Güneş kaynağı varlığını koruduğu sürece bitki yetiştirilebileceğinden biokütle tükenmez bir enerji kaynağı olarak kalmaya devam edecektir (Topal ve Arslan, 2008).

Biyokütle, bitkilerin fotosentezle güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu ortaya çıkan organik madde kaynaklarıdır. Bitkisel ya da hayvansal kökenli ana bileşeninde karbo-hidrat bileşikleri içeren doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı olarak adlandırılırken, bu kaynaklardan elde edilen enerji de biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır (Kapluhan, 2014).

Bir asırdan daha kısa zamanda tüketilebilen kara ve su bitkileri, orman, otsu, odun ile tarım bitkileri, hayvan atıkları, şehir ve sanayilere ait organik atıklar gibi daha sayılamayan organik maddelere genel olarak biyokütle de denilmektedir. Biyokütle enerjisi, sıvı (metanol, katı (odun ve tezek) etenol, butanol ve biyodizel), gaz (metan ve hidrojen) ya da tribün kazanları ve mikrobiyal yakıt hücrelerinin yakılarak elektrik enerjisi olarak kullanılabilen bir enerji türüdür (Bayramoğlu, 2014).

Biyokütle, aynı zamanda ısıtma, elektrik üretimi ve nakliye yakıtları için kullanılabilir. AB'de biyokütle kullanımının arttırılması, Avrupa'nın enerji arzının çeşitlendirilmesine, büyüme ve istihdam yaratılmasına ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir. AB'de 2012 yılı içerisinde biyokütle atıklarından elde edilen enerji tüm yenilenebilir enerji tüketiminin yaklaşık üçte ikisini oluşturmaktadır (European Comission (https://ec.europa.eu/biomass). Grafik 1.7'de Avrupa Birliği'ne üye 28 ülkede 2017 yılı içerisinde kullanım alanları açısından biyogaz tüketim miktarları gösterilmektedir.

Grafik 2.7: AB28'de 2017 yılında kullanım alanı bazında biyogaz brüt iç enerji tüketimi (bin ton petrol eşdeğeri)

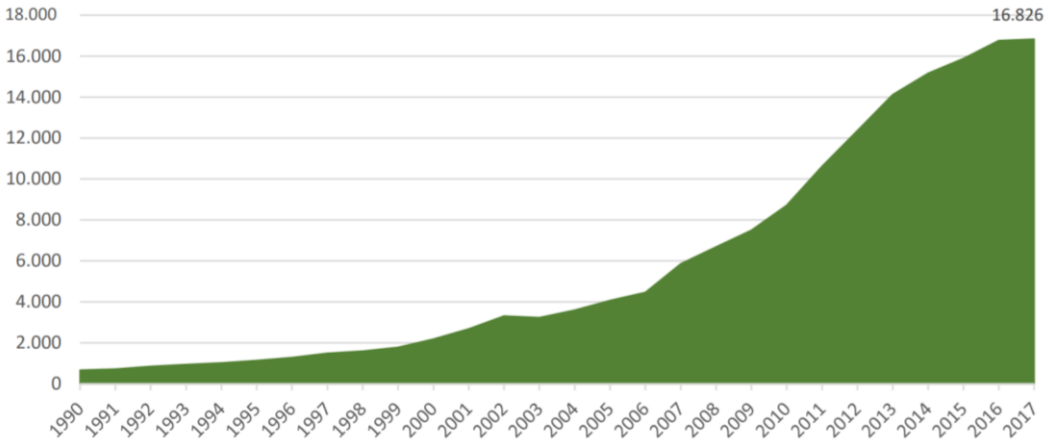


Kaynak: BioEnergy Europe Statical Report (2019).

2017 yılında enerji kullanım istatistiklerine göre, biyogazın AB-28 Üye Devletleri'ndeki toplam brüt iç enerji tüketiminin sadece % 1'ini oluşturduğunu ve AB

genelinde kullanılan biyoenerjinin % 12'sinin biyogaz olduğunu göstermektedir. Bu istatistikler, biyogazın genel kullanımının doğal gaz tüketimine kıyasla yaklaşık % 4'e eşit olduğunu vurgulamaktadır. Bunun ışığında, biyogaz kullanımının büyük oranda artması ve bu biyoenerjiyi düşük karbonlu enerji geçişi için güvenilir çözümlerden biri olarak teşvik etme olasılığının olduğunu göstermektedir (EBO, 2019).

Grafik 2.8: AB-28'de biyogazın brüt iç enerji tüketiminin gelişimi (bin ton petrol eşdeğeri)



Kaynak: BioEnergy Europe Statical Report (2019).

Biyogaz tüketiminin neredeyse üçte biri doğrudan farklı sektörlerde (ticari ve hizmetler, tarım, sanayi ve konut) kullanılmaktadır. Avrupa'da Almanya, İtalya ve İngiltere biyogaz üretiminde liderdir. Bu üç ülke, Avrupa'daki biyogazın nihai enerji tüketiminin sırasıyla %50, %10,7 ve %10,4'ünü tüketmektedir (EBO, 2019). Küresel biyoyakıt üretimi 2018'de 10 milyar litre rekor bir artışla 154 milyar litreye ulaşmıştır. 2017 yılında yıllık büyümenin iki katına çıkan % 7'lik artış, son beş yılın en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Küresel biyogaz üretiminin 2024 yılında Brezilya, ABD ve özellikle Çin enerji pazar payının %25'e ulaşması beklenmektedir (https://www.iea.org/).

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısı ve basıncın oluşturduğu sıcaklıkların; bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş mineraller, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlar ile yüzeye taşınan ısı enerjisidir. Türkiye jeotermal potansiyeli bakımından Avrupa'nın 1. ülkesi ve kurulu güç

bakımından ise Dünyanın 4. ülkesi konumundadır. Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk beş ülke; ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda şeklindedir (https://enerji.gov.tr/eigm).

Jeotermal sistem, yerkürede var olan ısı, ısıyı aktaran akışkan, akışkanı içerisinde bulunduran rezervuar kayaç ve ısı kaybını engelleyen örtü kayaçtan oluşmaktadır. Yerkürenin merkezinde magma denilen akışkanın sıcaklığı yaklaşık 4200°C'dir. Yeryüzüne kırık ve zayıf bölgelerden ulaşırken jeotermal enerjinin temel kaynağıdır. Örtü kayacın altında yer alan rezervuar kayada yer alan jeotermal akışkan, sondaj çalışmalarıyla yüzeye çıkartılmaktadır (Zaim ve Çavşi, 2018).

Jeotermal kaynaklardan yararlanabilme, mevcut kaynağa en uygun jeotermal teknolojiye sahip olma durumuna göre ülkeden ülkeye değişmektedir. Bunlar, yüksek entalpi (maddenin yapısında depoladığı enerji toplamı) kaynaklarından enerji üretiminden, sedimanter havzalardaki hidrotermal kaynakların doğrudan kullanımına kadar, her yerde mevcut olan ve çoğunlukla toprak kaynaklı ısı pompası tesisatları tarafından kullanılan sığ jeotermal uygulamalara kadar uzanmaktadır (Sanner, 2019).

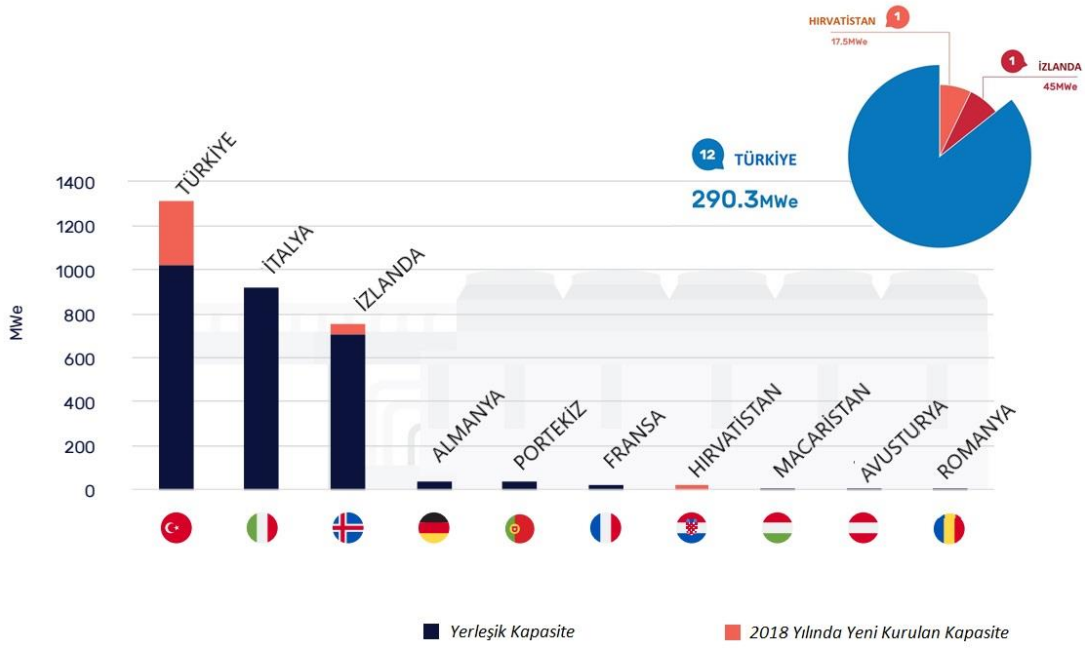
Tarih boyunca, doğal kaplıcalar olarak dünyanın yüzeyinde ortaya çıkan jeotermal enerji, insanlar hatta bazı hayvan türlerinin bile vazgeçilmezi olmuştur. Örneğin, Japonya'nın meşhur makakları (kar maymunları) tarafından içgüdüsel olarak bir konfor ve temizlik kaynağı olarak kullanılmaktadır. Antik Roma İmparatorluğu'nda ise, ordu yaşamının ve daha geniş Roma kültürünün vazgeçilmez bir parçası olan hamamların sıcak su taleplerine hizmet etmekteydi. Ancak, Roma'da bulunan az sayıdaki doğal kaplıcanın jeotermal enerji potansiyeli göz ardı edilmiştir. Ayrıca, çamaşır yıkama hatta yemek pişirme amaçlı bile kullanıldığı yerler bulunmaktadır (Younger, 2015).

Avrupa'da jeotermal enerji kullanımı belirli ülkelerle sınırlı kalmıştır. Bu, kısmen ülkelerin potansiyelleri ile ilişkilendirilse de pazar ve düzenleyici çerçeve koşulları da jeotermal enerji dağıtımını etkileyen önemli faktörlerdir. 2030 yılı AB İklim ve Enerji Paketinin kapsamında 2018 yılından itibaren on yıl içerisinde yenilenebilir enerjilerin rolü üzerine kapsayıcı hedefler belirlenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda ısınma ve

soğutmada jeotermal enerjiden faydalanma oranı ve jeotermal elektrik kullanımı Avrupa genelinde genişlemektedir (EGEC Geothermal Market Report, 2018)

2018 yılında, Avrupa'daki toplam kurulu güç, faaliyette olan 127 jeotermal santrale karşılık gelen 3.091 MWe idi. Şekil 2.9'da 2018 yılında kurulumu tamamlanan jeotermal enerji santralleri ile Avrupa' da bulunan jeotermal enerji santrallerinin kapasiteleri gösterilmektedir.

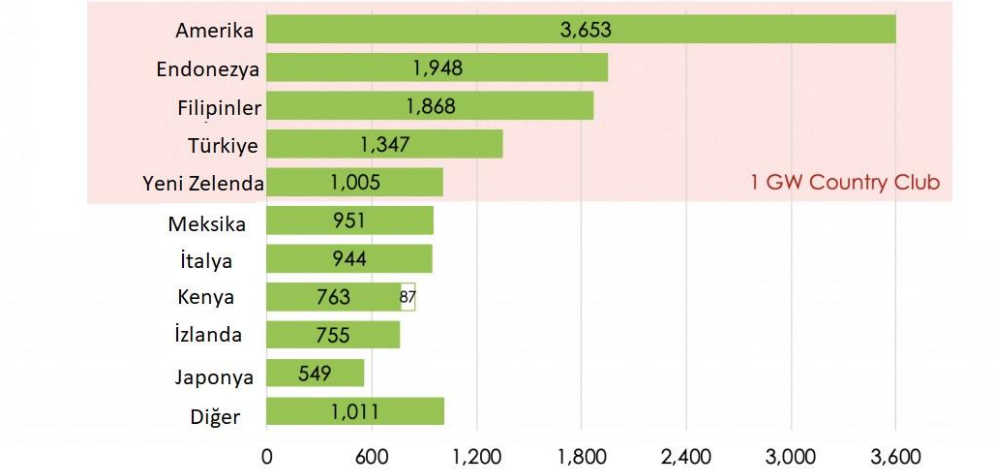
Grafik 2.9: Ülkelere göre jeotermal elektrik kurulu gücü (MWe)



Kaynak: EGEC Geothermal Market Report (2018)

Dünya'da jeotermal enerji santral kapasiteleri incelendiğinde ise, Amerika ilk sırada yer alırken kapasite bakımından ilk 10 ülke Şekil 2.6 'da verilmiştir.

Şekil 2.6: İlk 10 jeotermal ülke kurulu güç-MW (07.2019)-Toplam 14.900 MW



Kaynak: https://www.thinkgeoenergy.com/

Dalga enerjisi (veya dalga gücü) enerjinin okyanus/deniz yüzey dalgaları tarafından taşınması ve yakalanmasıdır. Yakalanan enerji daha sonra elektrik üretimi, su tuzdan arındırma ve suyun pompalanması dahil olmak üzere her türlü faydalı iş için kullanılır. Gel-git enerjisi ise, deniz kıyılarında seviye fakrından doğan göl ya gölet alanlarına kurulu türbinler vasıtasıyla elde edilen enerjidir. Dalga enerjisi aynı zamanda yenilenebilir bir enerji türüdür ve okyanus enerjisinin tahmin edilen en büyük küresel kaynak şeklidir (https://openei.org/wiki/Main_Page).

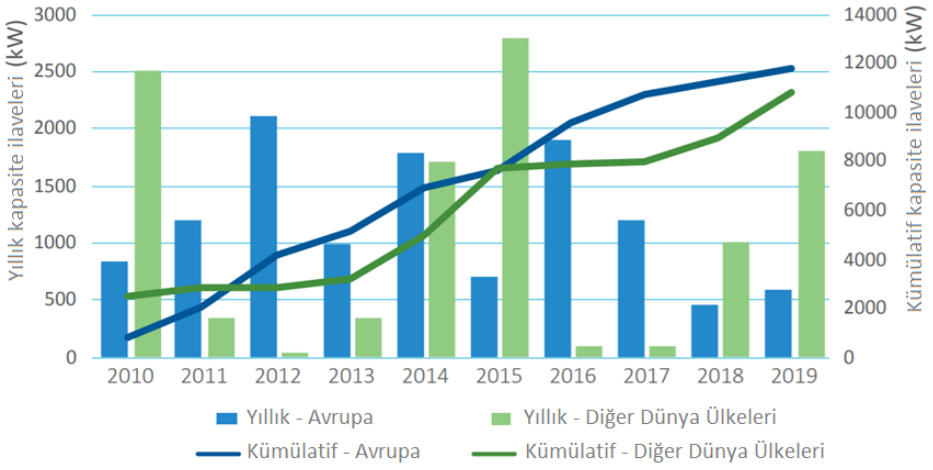
Deniz ya da okyanus kaynaklı tüm yenilenebilir enerjiler; deniz dalga enerjisi, gel-git (med-cezir) enerjisi, deniz sıcaklık gradyent enerjisi, deniz tuzluluk gradyent enerjisi, deniz akıntıları enerjisi ve deniz yüzeyi buharlaşma enerjisi olarak sıralanabilir. Çevre faktörleri nedeniyle sadece dalga ve gel-git enerjilerinden günümüz teknolojik sistemleriyle elektrik enerjisi elde edilmektedir (Örer vd. 2003).

Okyanus enerjisi 2050 yılına kadar Avrupa'nın mevcut elektrik ihtiyacının %10'unu karşılayabilme kapasitesine sahiptir. Bu kapasite yılda 94 milyon haneye enerji sağlayabilmeyi ifade etmektedir. Elbette 2050 yılına kadar Avrupa'da 100GW okyanus enerjisinin büyük ekonomik faydaları olacaktır. Okyanus enerjisi hayal gibi gözüken sıfır karbon salınımı ve çevresel bir zararı olmayan enerji sistemini gerçeğe dönüştürmektedir. Bu sayede okyanus enerjisi tesis edilerek Avrupa'da 234 milyon ton CO_2'den kaçınılabilir. Ayrıca, Avrupa'nın teknolojik liderliği sayesinde dünyadaki

mevcut projelerin neredeyse tamamı Avrupa teknolojisini kullanmaktadır (Ocean Energy Europe, 2020)

Avrupa halen dünya çapında dalga enerjisi teknolojisinin geliştirilmesinde lider konumunu korurken Çin ve ABD bu alanda ciddi yatırımlarla ön plana çıkmaktadır. Avrupa ve diğer dünya ülkelerinin küresel dalga enerjisi kapasitelerine ilişkin bilgiler Grafik 1.10'da verilmiştir. (Ocean Energy Europe, 2020)

Grafik 2.10: Kurulu ve kümülatif küresel dalga enerjisi kapasitesi (kW)



Kaynak: Ocean Energy Europe (2020)

2.3.Avrupa Birliği'nin Enerji Politikası

Avrupa Birliği'nin enerji politikasının temeli, enerji arz güvenliğini sağlamak, sürdürülebilir rekabet ve kalkınma temelinde çevrenin korunmasına katkı sunmaya dayanmaktadır (https://www.ab.gov.tr/fasil-15-enerji_80.html). Avrupa Birliği sahip olduğu enerji kaynakları tüketiminin yarısından daha az bir kısmını karşılayabildiğinden enerji açısından dışa bağımlı bir pozisyondadır. Bu nedenle Avrupa Birliği üye ülkelerle birlikte ortak politikalar geliştirmekte ve dışa bağımlılığı azaltıcı tedbirler için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir (Yıldız, 2013).

II. Dünya Savaşı sonrası Dünya ve Avrupa'da değişen güç dengeleri sonucu birçok ülke ekonomik açıdan zayıflamıştır. Demir çelik endüstrisindeki otorite dengesinin

değişmesi nedeniyle savaş sonrası gelecekte ülkeler arasında yaşanabilecek ekonomik ve güvenlik risklerini azaltmak adına Fransa ve Almanya enerji politikalarında ortak hareket etme kararı almışlardır. 1951'de Paris Antlaşması ile başlayan serüven Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu (AKÇT), Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu (AAET-1958) ve Avrupa Ekonomik Topluluğu (AET) kurulması ile devam etmiştir (Aytüre, 2013).

Avrupa Birliği'nin enerji açısından dışa bağımlılığı 1973 ve 1979 petrol krizleri sonrasında enerjide "Tek Pazar" hedefinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. 1980 yılı sonrasında enerjide hedeflenen tek pazar düşüncesi üzerine oluşturulan komisyonlar ve raporlarla enerji piyasalarının serbestleştirilmesi ve enerji iç pazarının ilke ve hedeflerinin ortaya konduğu "AB için bir Enerji Politikası" başlıklı "Beyaz Kitap - 1995" ve "Yeşil Enerji Raporu-1997" yayımlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları hedefleri ve yayımlanan direktifler AB ülkelerinin tamamı için bağlayıcı niteliktedir (Bayraç ve Çildir, 2017).

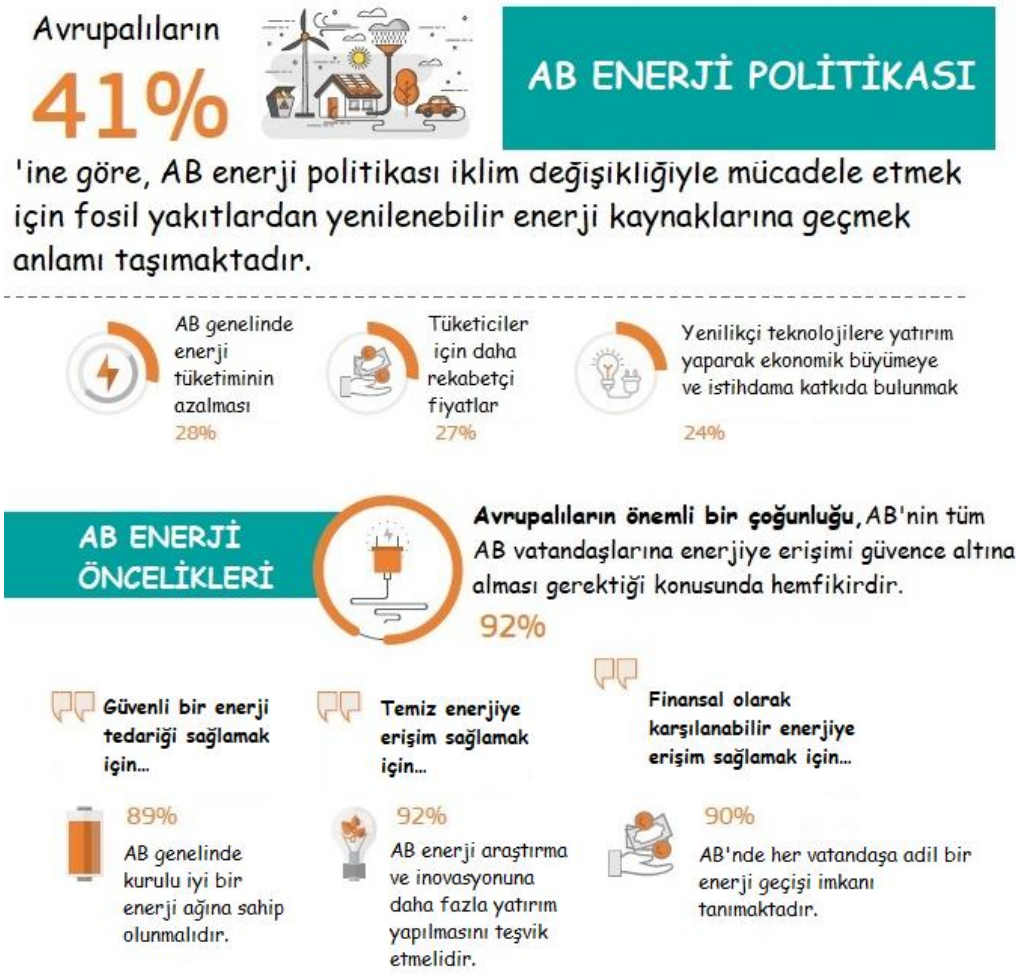
Avrupa Birliği mevzuatı, rekabete dayalı güvenli ve sürdürülebilir enerji piyasaları oluşturulmasına zemin hazırlamaktadır. Bu sayede enerji piyasalarının serbestleştirilmesini düzenleyen kaliteli, tüketiciye ucuz ve birden fazla seçim imkanı tanıyan bir altyapı sunmaktadır. Bu altyapı sayesinde işletmeler arasında eşitlik sağlanarak piyasalara erişim, organizasyon, işleyiş ve hizmet geliştirme çalışmaları artarak devam etmektedir (https://www.ab.gov.tr/fasil-15-enerji_80.html).

AB, Kyoto Protokolü (1997) ve Paris Anlaşması (2015) ile sera gazı emisyonlarını azaltmak için küresel ölçekli alınan kararlara katılma taahhüdünde bulunmuştur. Bu anlaşmalar doğrultusunda AB, 2020 yılına kadar sera gazlarında %20, 2030 yılına kadar %40 ve 2050 yılına kadar %80-95 oranında bir azalma hedeflemektedir (European Court of Auditors, 2019).

Ayrıca, enerji politikası mevzuatı 2009 yılında üye devletler arasında yapılan Lizbon Antlaşması'nın yasal hükümleri altında hazırlanmıştır. Bu Antlaşma, enerjiyi Avrupa Birliği üye devletleri arasında paylaşılan bir yetkinlik olarak kabul etmekte ve bu nedenle enerji hedeflerinin tasarımı ve uygulanması üzerinde doğrudan etkileri bulunmaktadır. Avrupa Komisyonu yürütme gücünü yerine getirirken, alınan kararlar

da enerji politikalarının uzun vadeli yönelimlerini belirlemektedir. Lizbon Antlaşması, üye ülkelerin enerji arzı ve kaynaklarının yapısı üzerindeki egemenliğini korumaktadır (Faure-Schuyer, 2017).

Şekil 2.7: Avrupalıların AB enerji politikaları tutumu



Kaynak: https://ec.europa.eu/energy/

AB 2016 yılında "Temiz Enerji" adı altında önlem paketleri açıklamıştır. Yenilenebilir enerji enerji direktifinin (2018/2002; RED II Direktifi) ve yeni enerji verimliliği direktifinin (2018/2002 Direktifi) (Avrupa Komisyonu 2018) enerji karışımındaki payının arttırılması ve iyileştirilmesi hedefleri etkin bir şekilde uygulanırsa 1990 yılından 2030 yılına kadar emisyonların en az %45 oranında azaltılmasına imkân sağlayacaktır (UN Environment, 2019).

Avrupa Birliği, sürdürülebilir bir enerji politikası için 2030 yılı iklim ve enerji çerçevesi kapsamında 2021-2030 dönemi için sera gazı emisyonlarında en az %40 azalma, yenilenebilir enerjide %32'lik pay artışı ve enerji verimliliğinde %32,5'luk bir iyileşme hedeflenmektedir. Ayrıca, ulaşım sektöründe kullanılan biyo yakıtın oranının en az %10'a çıkarılması da planlanmaktadır (European Comission, 2020).

Tüm dünya enerji haritasını değiştirmeye yönelik küresel eğilim bulunmaktadır. Mevcut enerji üretim sistemlerini daha temiz ve daha az karbon salınımı sağlayan kaynaklarına doğru kaydırmak için çaba sarf edilmektedir. Ancak, günümüzde hala fosil yakıtlar birincil enerji kullanımının yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır.

Gelecek yıllarda dünya enerji talebinde önemli bir artış olacağını öngörülmektedir. 2040 yılında küresel enerji tüketimi açısından ham petrolde %30 ve doğal gaz kullanımında %53,2 artış beklenmektedir. Bu artış eğilimi daha fazla sera gazı emisyonu salınımına ve iklim üzerinde ciddi çevresel sorunlara yol açacaktır (Tulus vd. 2019).

Uluslararası Enerji Ajansı, petrol, gaz ve kömür arzı ve talebi, yenilenebilir enerji teknolojileri, elektrik piyasaları, enerji verimliliği, enerjiye erişim, talep tarafı yönetimi ve çok daha fazlası dahil olmak üzere tüm enerji konularını incelemektedir. Ajans, çalışmalarında enerjinin güvenilirliğini, uygunluğunu ve sürdürülebilirliğini artıracak politikaları savunmaktadır. Bu çerçevede enerji güvenliği, ekonomik kalkınma, çevresel farkındalık ve dünya çapında katılımı esas almaktadır (WEO, 2018).

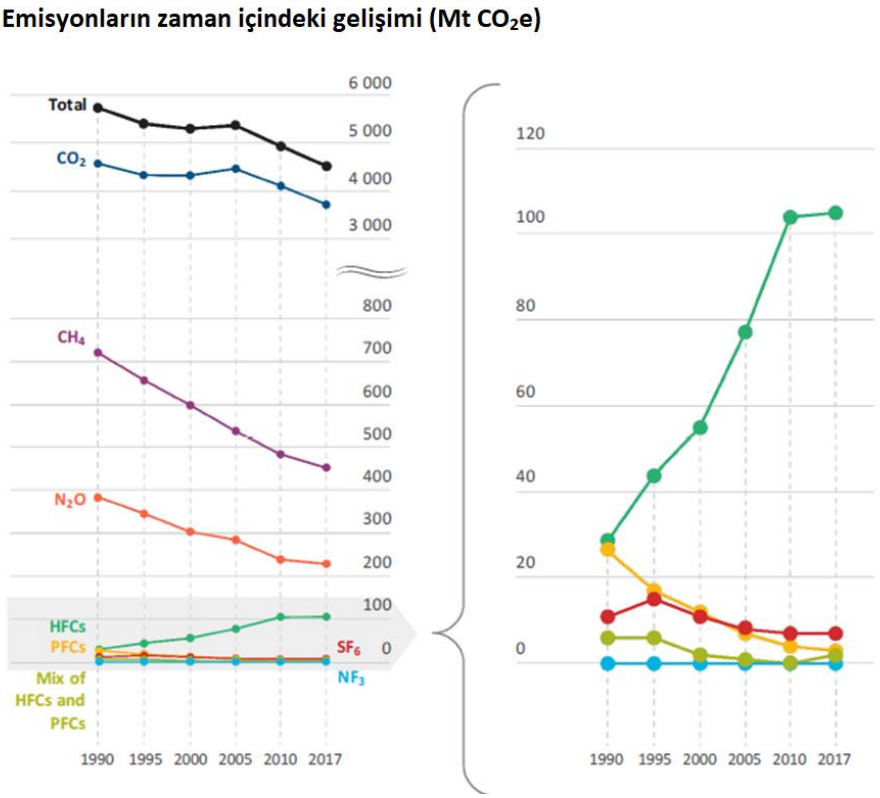
Özellikle iklim değişikliği ve hava kirliliği ile mücadelede enerji üretimi ve kullanımının çevre üzerindeki etkisini dengelemek için politika seçeneklerini analiz ederek çevresel farkındalık oluşturmaya çalışılmaktadır. Ortak enerji ve çevre sorunlarına çözüm bulmak için ise, özellikle büyük gelişmekte olan ekonomiler olmak üzere dernek ve ortak ülkelerle yakın işbirliği içinde çalışarak dünya çapında katılım esas alınmaktadır.

2.4.Avrupa Birliği'nin CO_2 ve Emisyon Çalışmaları

Yenilenebilir enerji konusu, dünyada özellikle petrol krizleri sonrasında önem kazanmaya başlamıştır. 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizlerinden kurtulmak için çoğu sanayileşmiş ülke, yenilenebilir enerji konusunda politikalar üretmeye başlamıştır (Euractiv, 2007). Petrol krizlerinin yaşandığı yıllarda, petrolün sanayi ve ulaşımda kullanılan temel yakıt olmasından dolayı sanayileşmiş ülkelerin petrole olan bağımlılıkları bir hayli fazlaydı. Petrol krizlerinde yaşanan fiyat artışları ve arz güvenliği gibi sorunlar, sanayileşmiş ülkeleri alternatif enerji kaynakları arayışına itmiştir. Böylece yenilenebilir enerji konusunda ilk adımlar atılmaya başlanmıştır. Birliğin 2009 yılında yayımladığı 2009/28/EC kodlu Yenilenebilir Enerji Direktifi'ne göre, yenilenebilir enerjinin 3 temel kullanım alanı elektrik üretimi, ısınma-serinleme ve ulaşım olarak belirlenmiştir (European Commission, 2009).

Küresel ısınmayı 1,5°C'de stabilize etmek için, gelecek 30 yıl içerisinde CO_2 emisyonlarının etkili bir şekilde sıfır noktasına çekilmesi gerekmektedir. Bu, davranış ve yaşam tarzlarındaki değişiklikler de dahil olmak üzere dünya çapında ve toplum genelinde büyük ve hızlı emisyon düşüşlerini içermektedir. Emisyon oranlarının düşürülmesi konusunda ne kadar çok eylem yapılırsa, riskli önlemlerin tercih edilmesi ihtiyacı da o kadar az olacaktır. Elbette arazi kullanımı (tarım dahil), ulaşım sistemi ile endüstride enerji, malzeme, gıda üretimi ve tüketilmesi için yeni sistem geçişlerine ihtiyaç duyulacaktır. Bu sistem geçişleri daha önce benzeri görülmemiş ve büyük yatırımlar gerektirecektir. Ancak güncel analizler incelendiğinde gerekli tedbirler ve değişiklikler yapılmaması halinde belirlenen limit 1.5°C ile sınırlı kalmayacak ve 2100 yılına kadar olası sıcaklık artışı 3-4°C civarında gerçekleşecektir. Emisyonların zaman içerisindeki değişim grafiği Grafik 2.11'de gösterilmiştir (IPCC Special Report, 2018).

Grafik 2.11: 1990-2017 yılları arasındaki ana sera gazı emisyonlarındaki değişim



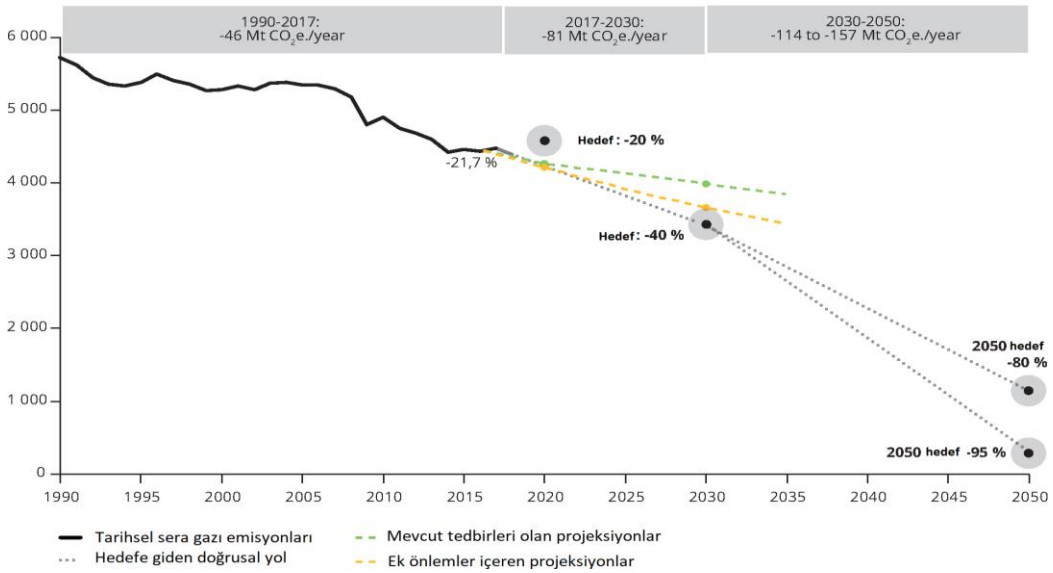
Kaynak: European Court of Auditors (2019)

AB'nin enerji ve iklim hedeflerine ulaşmasına katkıda bulunmak için 2018 yılında binek otomobiller ve minibüsler için CO_2 emisyon standartları benimsenmiştir. 2019 yılının başında ise, taşımacılık sektöründe yeni ağır vasıta araçlar için önemli standartlar getirilmiştir. Mevzuata göre, ortalama emisyon oranlarında 2030 yılına kadar yeni sayılan binek araçlarda %37,5 ve yeni kamyonetlerde %31 oranında iyileşme sağlanacağı ve 2021 yılı itibariyle iyileşmenin oransal olarak görülebileceği düşünülmektedir. Avrupa Komisyonu, emisyon oranlarının 2050 yılına kadar sıfıra çekilebilmesi için önerilen tedbir ve uygulamaların 2030 yılından sonra güçlendirilmesi gerektiğini belirtmektedir (UN Environment, 2019).

AB Emisyon Ticaret Sistemi (EU-ETS) (2005), AB'nin iklim değişikliği ile mücadele politikası ve sera gazı emisyonları maliyetini etkin bir şekilde azaltmaya yönelik en önemli aracıdır. AB-ETS ile dünyanın ilk karbon piyasası ve en büyük pazarı olmaya devam etmektedir. Üye ülkelerin yanında İzlanda, Liechtenstein ve Norveç'teki elektrik üretimi endüstrisi ve diğer enerji yoğunluklu sektörlerdeki toplam

emisyonların yüzde 45'ini karşılayan yaklaşık 11.000' den (on bir bin) fazla tesisi kapsamaktadır. Sistemin kapsadığı sektörlerden kaynaklanan emisyonlar 2005 yılı ile karşılaştırıldığında 2020 yılında %21 ve 2030 yılında ise, %43 oranında azalacaktır (EU ETS, 2020).

Grafik 2.12: Sera gazı emisyon eğilimi projeksiyonları ve hedefi



Kaynak: European Environment Agency (2020).

İklim değişikliği yeryüzünde yaşayan her canlıyı ilgilendirmektedir. Dünyada yaşanan iklim değişikliklerinin en büyük sorumlusu kuşkusuz insanoğludur. Yeryüzünde insanlardan kaynaklı hızlı bir sera gazı yayılımı ve iklim değişikliği meydana gelmektedir. Elbette yeryüzünde her kıtada etkileri görülürken ekonomik ve toplumsal anlamda sonuçları ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bu nedenle sera gazı emisyonları azaltılarak iklim değişikliği hızını yavaşlatılırken karbon ayak izleri de önemli ölçüde azaltabilir.

Birey olarak yapılan enerji tasarrufu ve bilinçli enerji kullanımı ile hava, su ve toprak kalitesinin yükseltilmesine yardımcı olunabilir ve geleceğe katkı sunulabilir. Enerji ve doğa için atılan her adım kaynakların güvence altına alınmasına yardımcı olacaktır. AB ve diğer ülkeler geliştirdikleri politika ve ortaklıklarla iklim değişikliği ile mücadele etmeye devam etmektedir.

3. BÖLÜM: ETKİNLİK, VERİMLİLİK ve VERİ ZARFLAMA ANALİZİ KAVRAMLARI

3.1.Etkinlik ve Verimlilik

Veri, enformasyon ve bilgi kelimeleri arasında anlam farklılıkları olsa da genellikle birbirlerinin yerine aynı anlamda kullanıldığı görülür. Bu sebeple ilk olarak terimleri açıklama ihtiyacı duyulmaktır. Verinin istatistiksel tanımı; "Tanımlanan belirli bir konuda belirli amaç için yığın olayların çeşitli özellikleriyle ilgili olarak derlenmiş olan ve bir anlam ifade eden rakam, sayı, simgeler" olarak ifade edilmektedir (Özmen, 2018). Veriler, belli ve programlı ilişkiler çerçevesinde bir araya getirildiğinde anlam kazanarak enformasyona dönüşürler. Bilgi ise, saf ve işlenmemiş veriler topluluğu şeklinde tanımlanabilir (Yılmaz, 2009).

Günlük yaşamda ve akademik araştırmalarda etkililik, etkinlik ve verimlilik kavramları farklı şekillerde kullanılmaktadır. Drucker'a göre verimlilik (productivity), ekonomik ve sosyal yaşamın sürekli değişen yaşam şartlarına uyumlu hale getirilerek insan hayatının geliştirilmesi için yeni yöntemlerin uygulanmasıdır. İktisatçılara göre ise, çıktının girdiye oranı olarak ifade edilmektedir. Daha basit bir ifadeyle, mevcut kaynaklardan maksimum fayda elde edilmesidir. Etkililik kavramı ise, mevcut kaynakları en iyi şekilde değerlendirerek en iyi sonucun alınması olarak ifade edilmektedir (Yükçü ve Atağan, 2009; Kutlar ve Bakırcı, 2018).

Drucker' a (1986) göre etkinlik, işletmelerin başarıya ulaştıktan sonra varlıklarının sürekliliğini sağlamaları için gerekli olan asgari şartlar ve bu şartların doğru bir şekilde gerçekleştirilmesidir (Yılmaz ve Şenel, 2019).

İşletme ya da organizasyonlarda karar verici, etkinlikler içerisinde daha az etkin olan karar noktalarının etkinliklerine pozitif yönde nasıl yön verebileceğini görmek ister. Bu yüzden birden çok karar noktası olması halinde karar noktalarının etkinliklerini tahmin etmek ve bu etkinlikleri ölçümlemek önem arz etmektedir.

Farrell (1957), etkinlik kavramlarını teknik etkinlik ve ekonomik etkinlik olmak üzere iki başlıkta incelemiştir. Bu iki kavramı birlikte değerlendirdiğinde ise, toplam etkinlik ortaya çıkmıştır. Yılmaz' a (2019) göre etkinlik kavramı genel olarak; teknik, ölçek, toplam, fiyat ve ekonomik başlıkları altında incelenmiştir.

Koopmans'a göre (1951) teknik etkinlik "Eğer herhangi bir çıktıda bir birimlik artış için en azından diğer bir çıktıda azalış veya bir girdide artış gerekiyorsa ve herhangi bir girdide bir birimlik azalış en azından diğer bir girdide bir birimlik artış veya bir çıktıda azalış gerektiriyorsa üreticiler teknik olarak etkindir" şeklinde tanımlanır (Koopman, 1951; Tarım, 2001;Yılmaz ve Şenel, 2019). Debreu (1951), Farrel (1957), Levin (1976), Porcelli (2009) ve Lovell (1993) teknik etkinlik üzerine değerlendirmelerde bulunmuşlardır.

Ölçek etkinliği ise, ölçeğe göre getiri kavramının girdi ve çıktı arasındaki oransal değişiminin ele alınması olarak ifade edilebilir (Kutlar ve Babacan, 2008). Bir üretim sürecinde, etkenlerinin sabit olduğu varsayılarak girdilerde yapılacak bir artışın, çıktıda oransaldan daha fazla bir artışa neden olması halinde, ölçeğe göre artan getiri sağladığı söylenebilir. Çıktıda ortaya çıkan artış tüm girdilerdeki oransal artıştan az ise, ölçeğe göre azalan getiriden bahsedilir (Banker, 1984).

Toplam etkinlik, bazı yazın çalışmalarında teknik (saf) ve ölçek etkinlik olarak da adlandırılabilmektedir. Bir işletmenin en az girdi ile mümkün olan en fazla çıktıyı elde etmesi teknik etkinliği, ölçeğe göre sabit getiri varsayımı olduğunda ölçek etkinliği işaret etmektedir (Özden, 2008).

Tahsis etkinliği, bir işletmenin girdi setine ait fiyatların uygunluğunu en iyi hesaplama biçimi olarak ifade edilebilir. İşletmenin en az maliyetle çıktı elde edebilmesidir (Farrell, 1957; Kayalıdere ve Kargın, 2004). Girdi seçimindeki tahsis verimliliği, belirli bir miktarda çıktıyı minimum maliyetle (geçerli girdi fiyatları göz önüne alındığında) üreten girdi karışımının (ör. emek ve sermaye) seçilmesini içerir (Coelli vd., 2005).

Ekonomik etkinlik ise, tahsis ve teknik etkinliklerinin, genel bir ekonomik verimlilik önlemi sağlamak için bir araya gelmesi olarak açıklanabilir (Coelli vd., 2005).

3.2. Etkinlik Ölçme Yöntemleri

Etkinlik ölçümlemesinde en iyi uygulama sınırını belirlemek için tercih edilen yöntem konusunda yazında kesin bir fikir birliği gözlemlenmemektedir. Ancak, etkinliklerin ölçümlenmesinde kullanılacak veri setlerinin değerlendirilmesine ilişkin kullanılan yöntemler parametrik ve parametrik olmayan olmak üzere ikiye ayrılır.

Etkinlik ölçümlemesinde parametrik yöntemler "Stokastik Sınır Yaklaşımı (Stochastic Frontier Approach-SFA)", "Serbest Dağılım Yaklaşımı (The Distribution-Free Approach-DFA)" ve "Yoğun (Kalın) Sınır Yaklaşımı (The Thick Frontier Approach-TFA)" olmak üzere 3 (üç) başlıkta incelenmektedir (Çağlar ve Oral, 2011).

Stokastik Sınır Yaklaşımı, bazen ekonometrik sınır yaklaşımı olarak da adlandırılmaktadır. SFA, verimsizliklerin genellikle yarı normal olmak üzere asimetrik bir dağılım izlediği varsayıldığında, rasgele hataların genellikle standart normal olan simetrik bir dağılımı takip ettiği varsayılmış bir hata modeli ortaya koymaktadır (Berger and Humphrey, 1997).

Serbest Dağılım Yaklaşımı, rastgele hataların spesifik dağılımları hakkında güçlü varsayımlar yapmaz. Bunun yerine, DFA her bir karar verme biriminin verimliliğinin zaman içinde sabit olduğunu varsayarak, rastgele hatayı zamanla sıfıra eşitleme eğilimindedir. Ayrıca, her bir karar verme biriminin herhangi bir zamanda en iyi verimlilik değerinden ortalama sapmasını tanımlamaktadır (Berger and Humphrey, 1997).

Son olarak Kalın Sınır Yaklaşımı (TFA) ise, işlevsel bir form belirtmektedir. En yüksek ve en düşük performans gözlem sınıflandırmalarında öngörülen performans değerlerinden sapmaların rastgele hatayı temsil ettiğini varsaymaktadır. Yani, en

yüksek ve en düşük arasındaki tahmin edilen performanstaki sapmaların gözlem sınıflandırmalarındaki etkinsizliklerini belirtmektedir (Berger and Humphrey, 1997).

Parametrik olmayan yöntemler ise, "Veri Zarflama Analizi (Data Envelopment Analysis-DEA)" ve "Serbest Atılabilir Zarf Analizi (SAZ)(Free Disposal Hull-FDH)" olmak üzere 2 (iki) başlıkta incelenmektedir (Çağlar ve Oral, 2011). Etkinlik ölçümlemesinde genellikle çoklu girdiler ve bu girdilere ait faaliyetlerin büyük bir bölümünde çoklu çıktılar arasındaki ilişkileri tek bir çıktıya indirgeyerek incelemek üzere parametrik olmayan veri zarflama analizi yöntemi kullanılmaktadır (Cooper vd., 2006; Keskin, 2018).

Serbest Atılabilir Zarf Analizi, VZA'nın köşelerini bağlayan hatlardaki noktaların üretim kümesine dahil edilmediği özel bir modelidir. Bunun yerine, SAZ üretim kümesi sadece VZA köşelerinden ve serbest düzenleme noktalarının iç kısımlarının oluşturduğu alan olarak ifade edilmektedir. SAZ sınırı VZA sınırıyla uyumlu veya iç sınır olduğundan, SAZ tipik olarak VZA'dan daha büyük ortalama etkinlik tahminlerini üretebilmektedir. Her iki yaklaşım da etkinliklerin zaman içinde değişmesine izin verir. Tamamen etkin olmayan gözlemler haricinde, etkin olmayan gözlemler arasında dağılım şekli hakkında önceden bir varsayımda bulunmamaktadır (Berger and Humphrey, 1997; Ulufer'den aktaran Şenol ve Gençtürk, 2017).

3.3.Veri Zarflama Analizi (VZA)

Veri Zarflama Analizi, ilk kez 1957 yıllında Farrell tarafından ortalama performans ölçütüne karşılık ortaya atılan Sınır Üretim Fonksiyonu önerisi ile şekillenerek, Charnes, Cooper, Banker ve Rhodes' in yaptıkları çalışmalarla bugünkü haline almıştır (Beridze ve Anbar, 2019). Veri zarflama analizi (VZA:Data Envelopment Analysis-DEA), çoklu giriş ve çıkışlara sahip eş karar verme birimlerinin (KVB:Decision Making Units-DMU) göreceli verimliliğini ölçmek için kullanılan bir yaklaşım olarak karşımıza çıkar (Chen vd., 2009).

Bu noktada veri zarflama analizi, benzer girdileri kullanarak çıktı ya da çıktılar ortaya koymakla sorumlu karar noktalarının göreceli etkinliklerini değerlendirmek için kullanılmasının yanı sıra doğrusal programlama tabanlı bir yöntem olarak da tanımlanabilmektedir (Akgöbek vd., 2015).

Veri zarflama analizini benzer amaçlı diğer yöntemlerden ayıran en temel özellik, karar vericinin karşısında çok sayıda girdi ve çıktı olması halinde bunları değerlendirme olanağı sunmasıdır. Veri zarflama analizi sonucunda, her karar noktasının etkinlik değerinin etkinlik sınırına olan uzaklığın değeri elde edebilmektedir (Akgöbek vd., 2015). Ayrıca, etkin olmayan karar noktalarının herhangi bir girdi/çıktı oranında etkinliklerinin nasıl arttırılabileceği (senaryolar) ve referans olarak kullanılabileceği karar noktalarına ilişkin bilgilere de sahip olmasını sağlamaktadır (Karakoç, 2003).

Veri Zarflama Analizinin uygulanabilmesi için gerekli olan adımlar şunlardır (Derici ve Atalay, 2018):

- Karar noktalarının seçimi,
- Girdi ve çıktı faktörlerinin seçimi,
- Modelin seçimi ve güvenilirliği,
- Etkinliklerin ölçümü ve sonuçların yorumlanmasıdır.

Karar noktalarının seçimi, veri zarflama analizinin sonuçlarının geçerliliği açısından çok önemlidir. Veri zarflama analizi karşılaştırmalı bir analiz olduğu için yanlış karar birimlerinin analizi yapılması halinde tüm analiz sonuçları bundan etkilenecektir (Öncü vd., 2013). Bu aşamada dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır (Özçelik ve Kandemir, 2017);

- Karar noktaları, kullandıkları girdiler ve ürettikleri çıktılar açısından benzer olmalıdır.
- Tüm karar noktaları için benzer bir kaynaklar seti olmalıdır.
- Tüm karar noktaları benzer çevre şartlarında çalışıyor olmalıdır.

Veri zarflama analizinde seçilecek olan girdi çıktı kümesi özellikleri tüm karar noktaları için ortak faktörler olmalı ve incelenmek istenen tüm faaliyet seviyeleri ve

performans ölçütlerini kapsamalıdır. Bunun yanı sıra ölçülebilir, fiziksel ve ekonomik kaynakların da tümünü içermelidir (Yavuz ve İşçi, 2013).

Veri zarflama analizinde girdi sayısı ile çıktı sayısının çarpımı kadar boyut oluşur ve en az boyut sayısı kadar da etkin karar birimi olacaktır. Girdi ve çıktı sayısı arttıkça ayırt edicilik özelliği azalır (Yavuz ve İşçi, 2013). Ancak, literatürde KVB sayısının seçiminde homojenlik ilkesinin dışında belirlenen kurallar farklılık göstermektedir. Golany ve Roll (1989) ile Dyson vd. (2001)'e göre KVB sayısı girdi ve çıktı sayısının toplamının en az iki katı olmalıdır. Boussofiane vd. (1991)'e göre, KVB sayısı en az girdi ve çıktı sayısının çarpımı kadar olmalıdır. Banker vd. (1989), Bowlin (1998) ve Cooper vd. (2006)'e göre KVB sayısı, girdi ve çıktı sayısının toplamının en az üç katı olmalıdır. KVB'nin sayısının belirlenmesinde kullanılabilecek kurallar (1) formülünde tanımlanmıştır (Yavuz ve İşçi, 2013).

$$\text{En az karar birim sayısı} \geq \begin{matrix} \text{Girdi Sayısı x Çıktı Sayısı} \\ 2 \text{ x (Girdi Sayısı + Çıktı Sayısı)} \\ 3 \text{ x (Girdi Sayısı + Çıktı Sayısı)} \end{matrix} \qquad (1)$$

Girdi ve çıktı sayısı arttıkça ayırt edici özellik azalması ile aralarında korelasyonun olmasının gerekliliği genel bir kural olarak kabul edilmektedir. Ancak, girdi ve çıktılarda indeks sayıları ile normal ölçümlerinin bir arada analiz edilmesi hataya sebebiyet verebilir. Bu nedenle oranlar yerine oranlanmamış ham veriler kullanılırsa hata yapma olasılığı azalır (Şaşmaz, 2008).

Veri zarflama analizinde dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise, girdilerin artmasının etkinlikte azalışa, çıktıların artmasının etkinlikte artışa neden olmasıdır. Kullanım alanlarına ve varsayımlara göre pek çok veri zarflama analizi modeli kurulabilir. Hangi modelin seçileceği ya da nasıl bir model kurulacağı girdi ve çıktıların kontrol edilip edilemediğine bağlıdır. Eğer girdiler üzerinde kontrol azsa çıktı odaklı bir model tam tersi durumda ise, girdi odaklı bir model kurulmalıdır. Belirli bir odak oluşturulamıyorsa toplamsal modelleri kullanmak tercih edilmelidir (Özden, 2010).

Eğer karar verici, karar noktalarının etkinlik durumuyla ilgileniyor ve etkinlik türünü önemsemiyorsa tüm modeller kullanılabilir. Ancak karar verici etkinlik türünü önemsiyorsa toplamsal modeller kullanılmamalıdır. Çünkü bu tür modeller karma etkinliği verir, etkinliklerin türlerine göre ayrışımını incelemez (Demir, 2013).

Karar verme birimleri hastaneler (Mirmozaffari, 2017), sigorta şirketleri, (Yang vd., 2006), üniversiteler (Özden, 2008), şehirler (Liv vd., 2010), bankalar (Wang vd., 2014), ticaret şirketleri ve diğerleri gibi çeşitli şekillerde (Emrouznejad vd., 2018) olabilirken, birçok durumda bu birimler iki aşamalı bir yapıya sahiptir. Örneğin, bankaların karlılık ve pazarlanabilirliği performans ölçümlerinde kullanılabilir (Seiford and Zhu, 1999; Chen vd., 2009).

3.3.1. Temel VZA Modelleri

Veri zarflama analizi modelleri sabit veya değişken getirili varsayımlarına göre iki farklı grupta incelenebilir. Ayrıca bu modeller durumlarına göre girdi, çıktı ya da yönelimsiz olmak üzere üç ayrı gruba ayrılmaktadır (Timor, 2001; Yavuz ve İşçi, 2013). Bu yöntemlerden ikisi adlarını çalışmaları gerçekleştiren kişilerin isimlerinin baş harflerinin bir araya getirilmesi ile ortaya çıkmıştır.

VZA modelleri girdi ve çıktı yönlü olmak üzere iki yönlü incelenmektedir. Girdiye yönelik VZA modelleri belirli bir çıktı bileşimini en etkin bir şekilde üretebilecek girdi bileşimini, çıktıya yönelik VZA modelleri ise girdi bileşenlerinden en fazla ne kadar çıktı elde edilebilmesi üzerine tasarlanmıştır (Çelik ve Ayan, 2017). Temel üç yöntem aşağıda belirtilmiştir (Charnes vd., 1978; Yavuz ve İşçi, 2013);

- ❖ CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) Yöntemi
- ❖ BCC (Banker-Charnes-Cooper) Yöntemi
- ❖ Toplamsal Yöntem

Veri zarflama analizi modellerinin sınıflandırılmasına ilişkin tablo Şekil 3.1'de gösterilmektedir.

Şekil 3.1: VZA modellerinin sınıflandırılması

Temel ve İleri Düzey Modeller	Değişkenler İle İlgili Özellikler	Zamana Göre Değişimin Analizi
CCR Modeli	Güven Bölgesi	Malmquist İndeksi
BCC Modeli	Genelleştirilmiş Güven Bölgesi	Window Analizi
Toplamsal Model	İsteğe Bağlı Olmayan Değişkenler	
Süper Etkinlik Modeli	Kategorik Değişkenler	
Ölçeğe Göre Getiri Modeli	İstenmeyen Değişkenler	
Boş Değişkenler Modeli		

Kaynak: Yürüşen (2011)

Veri Zarflama Analizinde temel etkinlik ölçütünün hesaplanması, çıktıların ağırlıklı toplamlarının girdilerin ağırlıklı toplamlarına bölümü şeklindedir.

$$\frac{u_1 y_1 + u_2 y_2 + \ldots + u_n y_n}{v_1 x_1 + v_2 x_2 + \ldots + v_m x_m} \quad (2)$$

$$1 \leq i \leq n, n\ adet\ çıktı\ ve\ n.çıktığının\ ağırlığı$$

$$1 \leq j \leq m, m\ adet girdi\ ve\ m.\ girdinin\ ağırlığı$$

Veri zarflama analizinde kullanılan yöntemler girdi odaklı olduğunda çıktı miktarlarının sabit tutularak girdi miktarlarında meydana gelecek değişimler incelenirken, çıktı odaklı da ise girdi miktarlarının sabit tutularak çıktı miktarlarında meydana gelecek değişimleri incelenmektedir. (3.2)'de gösterimi etkinlik ölçümü kesirli programlama olarak da ifade edilebilir. Ancak kesirli programlama çözümlemelerinde yaşanan zorluklar nedeniyle paydasının 1'e eşit olacağı varsayımı altında doğrusal programlama modeli setine dönüştürülebilir ve çözülebilir (http://debis.deu.edu.tr/userweb//k.yaralioglu/)

3.3.1.1.Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) Modeli

CCR yöntemi, Charnes-Cooper-Rhodes tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, sabit (benzer) getiri varsayımı altında herhangi bir karar verme biriminin etkinliğinin ölçümünde her bir KVB için benzer oranların eşit veya daha az olması şartıyla, ağırlıklı çıktıların ağırlıklı girdilere oranının maksimum olması olarak ifade edilmiştir. Amaç

fonksiyonu 0 (sıfır) ile 1 (bir) arasında değer almaktadır (Charnes vd., 1978; Tarım, 2001; Yavuz ve İşçi, 2013).

Karar verici tarafından VZA modellerinin uygulanması neticesinde KVB'leri etkin ve etkin olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır. 1 (bir) olarak belirlenen KVB'leri etkin olarak nitelendirilirken, 1'den küçük ve 0 (sıfır) değerine en yakın KVB ise, en etkinsiz olarak değerlendirilir (Perçin ve Çakır, 2012). CCR modelinin girdi yönlü, çıktı yönlü ve zarflama modellerine ait matematiksel modeller (3)'de gösterilmektedir (Tarım, 2001).

Girdi Yönlü CCR Modeli	Çıktı Yönlü CCR Modeli
$E_0 = max \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{r_k}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{i_k}}$	$E_0 = min \frac{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{i_k}}{\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{r_k}}$
$s.t.\ \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{r_k}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{i_k}} \leq 1$	$s.t.\ \frac{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{i_k}}{\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{r_k}} \leq 1$
$j = 1,2,\dots,n \quad u_{rk}, v_{ik} \geq 0$	$j = 1,2,\dots,n \quad u_{rk}, v_{ik} \geq 0$
$i, r = 1,2,\dots,D$	$i, r = 1,2,\dots,D$
Doğrusal Programlama Modeli	**Doğrusal Programlama Modeli**
$E_0 = max \sum_{r=1}^{s} u_r Y_{r_k}$	$E_0 = min \sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ij}$
$s.t.\ \sum_{r=1}^{s} u_{rk} Y_{r_j} - \sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ij} \leq 0$	$s.t.\ \sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_{rk} Y_{r_j} \leq 0$
$\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ik} = 1$	$\sum_{r=1}^{s} u_{rk} Y_{r_j} = 1$
$j = 1,2,\dots,n \quad u_{rk}, v_{ik} \geq 0$	$j = 1,2,\dots,n \quad u_{rk}, v_{ik} \geq 0$
$i, r = 1,2,\dots,D$	$i, r = 1,2,\dots,D$
Zarflama Modeli	**Zarflama Modeli**
$E_0 = min\theta - \varepsilon(\sum_{i=1}^{m} S_i^- + \sum_{r=1}^{s} S_r^+)$	$E_0 = max\varphi + \varepsilon(\sum_{i=1}^{m} S_i^- + \sum_{r=1}^{s} S_r^+)$
$s.t.$	$s.t.$
$\sum_{j=1}^{n} X_{ij}\lambda_j + S_i^- - \theta\, X_{i0} = 0$	$\sum_{j=1}^{n} X_{ij}\lambda_j + S_i^- - X_{i0} = 0$
$\sum_{j=1}^{n} Y_{rj}\lambda_j - S_i^+ - Y_{r0} = 0$	$\sum_{j=1}^{n} Y_{rj}\lambda_j - S_i^+ - \varphi\, Y_{r0} = 0$
$\lambda_j, S_i^+, S_i^- \geq 0$	$\lambda_j, S_i^+, S_i^- \geq 0$
$i, r, j = 1,2,\dots,D$	$i, r, j = 1,2,\dots,D$
θ sınırlandırılmamış	φ sınırlandırılmamış

(3)

X_{ik}: k. KVB tarafından kullanılan i. girdi

X_{ij}: j. KVB tarafından kullanılan i. girdi

Y_{rk}: k. KVB tarafından üretilen r. çıktı

Y_{rj}: j. KVB tarafından üretilen r. çıktı

u_r: k KVB tarafından r. çıktıya verilen ağırlık

v_i: k KVB tarafından i. girdiye verilen ağırlı,

S_i^-: k. KVB nin i. değerine ait atıl değer

S_i^+: k. KVB nin i. değerine ait atıl değer

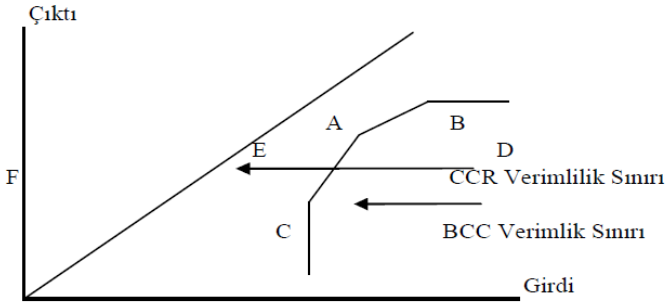
φ: Çıktıya ait geneişleme katsayısı

λ_j: j. KVB nin aldığı yoğunluk değeri

ε: Yeterince küçük pozitif bir sayı

Charnes-Cooper-Rhodes tarafından geliştirilen CCR yöntemi, girdi ve çıktı yönelimli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Şekil 3.2'de CCR etkinlik sınırlarının bulunduğu alan gösterilmektedir.

Şekil 3.2: CCR ve BCC etkinlik sınırları



Kaynak: Eken ve Pehlivan (2009)

3.3.1.2.Banker Charnes Cooper (BCC) Modeli

BCC yöntemi, Banker-Charnes-Cooper tarafından geliştirilmiştir. CCR modelinin ortaya çıkış sonrası yapılan değişiklik ve katkılarda elde edilmiştir (Banker vd, 1984).

BCC modelinin girdi yönlü, çıktı yönlü ve zarflama modellerine ait matematiksel modelleri (4)'de gösterilmektedir (Tarım, 2001).

Girdi Yönlü BCC Modeli	Çıktı Yönlü BCC Modeli	
$E_0 = max \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{r_k} - u_0}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{i_k}}$	$E_0 = min \frac{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{i_k} + v_0}{\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{r_k}}$	(4)
$s.t. \ \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{r_k} - u_0}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{i_k}} \leq 1$	$s.t. \ \frac{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{i_k}}{\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{r_k}} \leq 1$	

$j = 1,2,\dots,n \quad u_{rk}, v_{ik} \geq 0$	$j = 1,2,\dots,n \quad u_{rk}, v_{ik} \geq 0$
$i, r = 1,2,\dots,D$	$i, r = 1,2,\dots,D$
$u_0 sınırlandırılmamış$	$v_0 sınırlandırılmamış$
Doğrusal Programlama Modeli	Doğrusal Programlama Modeli
$E_0 = max \sum_{r=1}^{s} u_r Y_{r_k} - u_0$	$E_0 = min \sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ij} + v_0$
$s.t. \sum_{r=1}^{s} u_{rk} Y_{r_j} - \sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ij} - u_0 \leq 0$	$s.t. \sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_{rk} Y_{r_j} \leq 0$
$\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ik} = 1$	$\sum_{r=1}^{s} u_{rk} Y_{r_j} = 1$
$j = 1,2,\dots,n \quad u_{rk}, v_{ik} \geq 0$	$j = 1,2,\dots,n \quad u_{rk}, v_{ik} \geq 0$
$i, r = 1,2,\dots,D$	$i, r = 1,2,\dots,D$
$u_0 sınırlandırılmamış$	$v_0 sınırlandırılmamış$
Zarflama Modeli	Zarflama Modeli
$E_0 = min\theta - \varepsilon(\sum_{i=1}^{m} S_i^- + \sum_{r=1}^{s} S_r^+)$	$E_0 = max\varphi + \varepsilon(\sum_{i=1}^{m} S_i^- + \sum_{r=1}^{s} S_r^+)$
$s.t.$	$s.t.$
$\sum_{j=1}^{n} X_{ij}\lambda_j + S_i^- - \theta X_{i0} = 0$	$\sum_{j=1}^{n} X_{ij}\lambda_j + S_i^- - X_{i0} = 0$
$\sum_{j=1}^{n} Y_{rj}\lambda_j - S_i^+ - Y_{r0} = 0$	$\sum_{j=1}^{n} Y_{rj}\lambda_j - S_i^+ - \varphi Y_{r0} = 0$
$\lambda_j, S_i^+, S_i^- \geq 0$	$\lambda_j, S_i^+, S_i^- \geq 0$
$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$	$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$
$i, r, j = 1,2,\dots,D$	$i, r, j = 1,2,\dots,D$
θ sınırlandırılmamış	φ sınırlandırılmamış

X_{ik}: k. KVB tarafından kullanılan i. girdi

X_{ij}: j. KVB tarafından kullanılan i. girdi

Y_{rk}: k. KVB tarafından üretilen r. çıktı

Y_{rj}: j. KVB tarafından üretilen r. çıktı

u_r: k KVB tarafından r. çıktıya verilen ağırlık

v_i: k KVB tarafından i. girdiye verilen ağırlı,

S_i^-: k. KVB nin i. değerine ait atıl değer

S_i^+: k. KVB nin i. değerine ait atıl değer

φ: Çıktıya ait geneişleme katsayısı

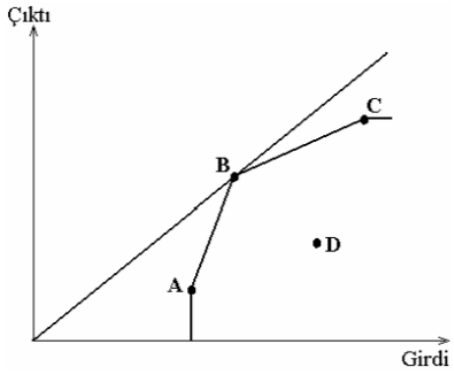
λ_j: j. KVB nin aldığı yoğunluk değeri

ε: Yeterince küçük pozitif bir sayı

CCR modeli, sabit getiri varsayımı altında toplam etkinliği ölçerken, BCC modeli, ölçeğe göre artan, azalan veya sabit getiri altında, teknik ve ölçek etkinliğini

ölçmektedir. BCC etkinlik sınırı her zaman CCR etkinlik sınırına eşit ya da bu sınırın altında kalacaktır (Banker vd, 1984; Demir vd., 2012).

Şekil 3.3: BCC etkinlik sınırları



Şekil 2.7 BCC modelinde etkin sınır

Kaynak: Güneş (2006)

Şekil 3.3'de yer alan A, B ve C noktaları BCC modeli için etkin olurken, B noktası hem CCR hem de BCC etkindir.

Ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında karar verme birimlerinin etkinlik değerlerinin "1" olması için hem teknik hem de ölçek etkinliğine sahip olması gerekmektedir. Ancak, ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında ise, ölçek etkinliğine sahip olmayan bir birim teknik etkinliğe sahipse "en iyi gözlem" olarak etkinlik sınırı üzerinde yer alabilmektedir. Girdiye yönelik BCC modeli girdilerin oransal azalması, çıktıya yönelik BCC modelleri ise çıktıların oransal artırımı sınır doğrultusunda maksimum hareketi amaçlamaktadır (Keskin, 2017).

BCC modelinin CCR modelinden farkı, ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında her bir karar birimi için elde edilecek değerlerin toplamının 1'e eşit olmasıdır.

3.3.1.3.Toplamsal Model

CCR ve BCC modelleri girdiye ve çıktıya odaklı olarak değerlendirilirken toplamsal yöntemde her iki yönelim tek bir modelde entegre edilmiştir. Toplamsal modelde, aynı

anda girdilerin ne kadar azaltılması gerektiğine ve çıktıların ise ne kadar artırılması gerektiğine karar verilebilmektedir. Diğer bir ifadeyle, girdi fazlası (S^+) ve çıktı eksikliğini (S^-) eş zamanlı olarak değerlendirerek etkinlik sınırı üzerinde etkinsiz karar birimine en uzaktaki noktayı belirleyebilmektir. Bu model sonucunda bir etkinlik skoru değeri elde edilemese de karar birimlerinin etkinlik sınırına yakınlığı modele göre o karar birimini etkin kılacaktır (Özsoy ve Bal, 2019).

$$\begin{gathered} E_0{=}max(\sum_{i=1}^{m} S_i^- + \sum_{r=1}^{s} S_r^+) \\ s.t.\ \sum_{j=1}^{n} X_{ij}\lambda_j + S_i^- - X_{i0} = 0 \text{ ve } \sum_{j=1}^{n} Y_{rj}\lambda_j - S_i^+ - Y_{r0} = 0 \\ \lambda_j, S_i^+, S_i^- \geq 0 \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \\ i, r, j = 1,2, \dots, D \end{gathered} \tag{5}$$

Girdi yönelimli modellerde, çıktı düzeyini belirleyebilmek için etkin olmayan karar verme birimlerinin girdi sayısını azaltmaya çalışılmaktadır. Çıktı yönelimli modellerde ise, girdi ve etkin olmayan karar verme birimlerinin etkin olabilmeleri için çıktıların ne kadar arttırılması gerektiği incelenmektedir (Kecek'ten aktaran Akyüz vd., 2015).

3.4. VZA'nın Avantaj ve Dezavantajları

Veri Zarflama Analizi, doğru şekilde kullanıldığı zaman çok etkin bir araçtır. Veri Zarflama Analizinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Demiray Erol ve Güneş, 2014):

VZA Avantajları	VZA Dezavantajları
• *VZA çoklu girdi ve çoklu çıktıyı işleyecek yetenektedir.* • *VZA doğrusal form dışında, girdi ve çıktıları ilişkilendiren bir fonksiyonel forma ihtiyaç duymaz.* • *VZA ile etkinlikleri hesaplanan karar birimleri göreli olarak tam etkinliğe sahip olanlarla kıyaslanır.*	• *Her karar noktası için ayrı bir doğrusal programlama modelinin çözümü gerektiğinden, büyük boyutlu problemlerin VZA ile çözümü, hesaplama açısından zaman alıcı olabilir.* • *VZA, ölçüm hatasına karşı çok duyarlıdır.* • *VZA karar noktalarının performansını ölçmek açısından yeterlidir, fakat bu*

• *Girdiler ve çıktılar çok farklı birimlere sahip olabilirler. Bu durumda, onları aynı biçimde ölçebilmek için çeşitli varsayımlar kullanmaya, dönüşümler yapmaya gerek yoktur.* • *Aynı nitelikte olan birimleri aralarında kıyaslar.*	*değerlendirmenin mutlak etkinlik bazındaki yorumu ile ilgili ipucu vermez.* • *VZA, parametrik olmayan bir teknik olduğu için, sonuçlara istatistiksel hipotez testlerinin uygulanması zordur.* • *VZA, statik bir analiz şeklindedir, bir tek dönemdeki karar noktası verileri arasında bir kesit analizi yapar. Analiz sonucunda her karar noktası için tek bir etkinlik tahminleyicisi elde edilmektedir ve bu tahminleyicinin istatistiksel özelliklerinin elde edilmesi çok zordur.*

VZA' nin uygulanması aşamasında elde edilen en büyük fayda, verimli olmayan karar birimlerine performanslarını iyileştirebilmeleri için ulaşılabilir hedefler koymasıdır (Aydemir, 2002; Demiray Erol ve Güneş, 2014).

3.5. İki Aşamalı Network Veri Zarflama Analizi (Two Stage DEA)

Ray (1988), verimli sınır ve firma düzeyinde verimlilik puanlarının ilk aşamada VZA ile tahmin edildiği ve ikinci aşamada bağlamsal değişkenlerde tahmini verimlilik puanlarının gerilediği iki aşamalı VZA yöntemini uygulayan ilk kişi olmuştur (Johnson vd., 2012).

Belirtilen tüm veri zarflama analizi tabanlı çalışmalar, bazı küçük değişiklikler ve iyileştirmelerle standart VZA yaklaşımını kullanmaktadır (Zhu, 2011).

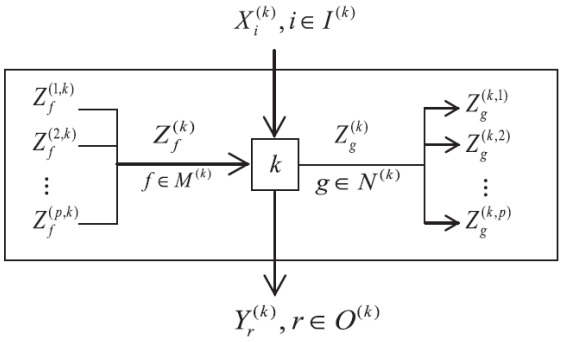
3.5.1. Network VZA Model ve Yapıları

Veri zarflama analizi, kara kutu olarak adlandırılan üretim modellemesinde girdi ve çıktı sürecinin belirli olduğu yapılardır ve değişkenlerin arasında pozitif bir korelasyon olduğu varsayımına dayandırılmaktadır (Färe ve Grosskopf, 2000).

Cron ve Sobol (1983) ile (Wang, Gopal ve Zionts, 1997)'nin çalışmalarının yanı sıra birçok araştırma sonucunda girdi ve çıktı arasında bir ilişki olmadığı da ortaya konmuştur. Modelleme süreçlerinin ikiden fazla sürece ayrıldığı çok daha karmaşık durumlar ortaya konmuş ve bu karmaşık yapılar için uygulanan yöntem Network VZA olarak adlandırılmıştır (Färe and Grosskopf, 2000; Kao, 2014).

Kao' ya (2014) göre, Network VZA Charnes vd. (1986)'dan beri incelenmektedir. Bazıları belirli koşullar altında etkinliği ölçmek için modeller geliştirirken, bazıları belirli modellerin sahip olduğu özellikleri incelemekte ya da gerçek dünya sorunlarını çözmek için mevcut modelleri uygulamaktadırlar. Färe ve Grosskopf (2000) tarafından geliştirilen Network VZA modeli formu Şekil 3.4'de gösterilmiştir:

Şekil 3.4: Network VZA Modellenmesi



Kaynak: Fare and Grosskopf (2000)

Network VZA yapıları temel iki aşamalı, genel iki aşamalı, seri, paralel, karmaşık, hiyerarşik ve dinamik olarak kategorize edilmiştir. Etkinliklerin ölçümü ise, mesafe ölçüsü ve çıktı-girdi oranının iki temel fikrine dayandırılarak, dokuz model olacak şekilde sınıflandırılmıştır: Bunlar, bağımsız, sistem uzaklık ölçüsü, işlem uzaklık ölçüsü, faktör uzaklık ölçüsü, aylak tabanlı ölçüm, oran-form sistemi etkinliği, oran-form süreç etkinliği, oyun teorisi ve değer-temelli modeldir (Kao, 2014). Network VZA modellerinin yazında hangi yapılarla sıklıkla kullanıldığı Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Literatürde yapılan network VZA çalışmalarının yapı ve modelleme sınıflandırması

Model/Yapı	Basit İki Aşamalı Yapı	Genel İki Aşamalı Yapı	Seri	Paralel	Karma	Hiyerarşik	Dinamik
Bağımsız Model	X	X			X		
Sistem Uzaklık Ölçüsü Modeli	X	X	X	X	X		X
İşlem Uzaklık Ölçüsü Modeli	X	X	X	X	X	X	X
Faktör Uzaklık Ölçüsü Modeli	X	X					X
Aylak Tabanlı Ölçüm Modeli	X	X	X		X		X
Oran-Form Sistemi Etkinliği Modeli	X	X	X	X	X	X	X
Oran-Form Süreç Etkinliği Modeli	X	X	X	X	X		
Oyun Teorisi Modeli	X	X					
Değer Temelli Model			X	X			X

Kaynak: Kao (2014)

Tablo 3.2'de literatürde hangi network VZA yapı ile daha çok hangi modelin kullanıldığına ilişkin bir eşleşme yapılmıştır. Örneğin, işlem uzaklık ölçüsü modeli ile oran-form süreç etkinliği modeli tüm yapılarda kullanılmıştır.

3.5.1.1. Network VZA Modelleri

Network VZA üretim sistemlerinin etkinliklerini ölçmek için Chiang Kao tarafından çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modeller bağımsız (independent), sistem uzaklık ölçüsü (system distance measure), işlem uzaklık ölçüsü (process distance measure), faktör uzaklık ölçüsü (factor distance measure), aylak tabanlı ölçüm (slacks-based measure (SBM)), oran-form sistemi etkinliği (ratio-form system efficiency), oran-form süreç etkinliği (ratio-form process efficiency), oyun teorisi (game theoretic) ve değer-temelli (value-based) model olmak üzere 9 (dokuz)'a ayrılmaktadır. Network VZA modellerinin bazıları benzerlik gösterdiğinden sistematik bir analiz için aynı tipte sınıflandırılabilir.

3.5.1.1.1. Bağımsız Model

İki Aşamalı Network süreçlerinin etkinliğini değerlendirmek için çeşitli yaklaşımlar önerilmiş olsa da her bir bağımsız karar verme birimini standart VZA yaklaşımı ile ele alınması ve etkinliklerinin ayrı ayrı ölçülmesine temeline dayanmaktadır. Sistem ve süreçler bağımsız olarak ele alındığından, teknik ve ölçek etkinlikleri BCC ve CCR modelleri kullanılarak ölçülebilmektedir (Lim and Zhu, 2016).

3.5.1.1.2. Sistem Uzaklık Ölçüsü Modeli

Network VZA yöntemleri genel sistem etkinlikleri ve karar verme birimlerinin genel etkinliklerinin değerlendirilmesine olanak sunmaktadır. Bu yöntemler, münferit aşamaların üretim olasılık kümelerinin tekilleştirilmesine dayanan zarflama formunda modellenmiştir. Kao (2014), her bir karar verme biriminin genel etkinliğini ölçmek için bir giriş veya çıkış uzaklık/mesafe ölçüm modelinin uygulandığı "sistem uzaklık ölçümü" yöntemleri gibi yöntemlere değinmiştir (Koronakos, 2019).

Sistem uzaklık ölçüsü modeli (5)'ne göre sistem etkinliği olarak minimum giriş uzaklık ölçümü θ ya da maksinmum çıkış uzaklık ölçümü $\emptyset$ değerini bulmak için kullanılmaktadır. Giriş parametresinin minimum değerinin çıkış parametresinin maksimum değeri ile karşılaştırılabilir olmasını sağlamak için, ikinci kısım genellikle karşılıklı veya negatif biçimde ifade edilmektedir (Kao, 2014).

Girdi odaklı,

$$
\begin{aligned}
&T = \{(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}, \boldsymbol{z}) | \textstyle\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{(k)} X_{ij}^{(k)} \leqslant x_i, \quad i \in I^{(k)}, \\
&\textstyle\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{(k)} Y_{rj}^{(k)} \geqslant y_r, \quad r \in O^{(k)}, \\
&\textstyle\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{(k)} Z_{fj}^{(k)} \leqslant z_f, \quad f \in M^{(k)}, \\
&\textstyle\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{(k)} Z_{gj}^{(k)} \geqslant z_g, \quad g \in N^{(k)}, \quad \lambda_j^{(k)} \geqslant 0, \\
&j = 1, \ldots, n, \; k = 1, \ldots, p\}
\end{aligned}
\tag{6}
$$

$$
\begin{aligned}
\min.\quad & \theta \\
\text{s.t.}\quad & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{(k)} X_{ij}^{(k)} + s_i^{-(k)} = \theta X_{i0}^{(k)}, \quad i \in I^{(k)}, \quad k = 1, \ldots, p \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{(k)} Y_{rj}^{(k)} - s_r^{+(k)} = Y_{r0}^{(k)}, \quad r \in O^{(k)}, \quad k = 1, \ldots, p \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{(k)} Z_{fj}^{(k)} + s_f^{o(k)} = Z_{f0}^{(k)}, \quad f \in M^{(k)}, \quad k = 1, \ldots, p \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{(k)} Z_{gj}^{(k)} - s_g^{o(k)} = Z_{g0}^{(k)}, \quad g \in N^{(k)}, \quad k = 1, \ldots, p \\
& s_i^{-(k)}, s_r^{+(k)}, s_f^{o(k)}, s_g^{o(k)}, \lambda_j^{(k)} \geqslant 0, \; i \in I^{(k)}, \; r \in O^{(k)}, \; f \in M^{(k)}, \\
& \quad g \in N^{(k)}, \quad j = 1, \ldots, n, \quad k = 1, \ldots, p,
\end{aligned}
$$

Mesafe fonksiyonu bir g yönü boyunca ölçülebilmektedir. Bu durumda amaç fonksiyonu, giriş ve çıkışlar için sırasıyla $X_{i0} - \theta g_i^X$ ve $Y_{r0} - \theta g_r^Y$ ile değiştirilen (6)'da kısıtlamaların sağ taraftaki terimlerle θ mesafe parametresini en üst düzeye çıkarmaktır. Bu tip bir model, özellikle daha düşük bir miktarda oluşabilecek istenmeyen çıktılara sahip durumlar için yararlıdır (Kao, 2014).

3.5.1.1.3. İşlem Uzaklık Ölçüsü Modeli

Veri zarflama modelleri her aşamadaki etkinlikleri ölçebilse de, tek aşamalı uygulamalarda ara ürünlere bağlı etkinliklerin genel sistemin performansını açıklamada yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, bir VZA modelinin etkinlik ölçümlemesinde ara ürünler ile girdiler arasındaki ölçümlerin aşamaların etkinlikleri ve genel sistem performansına etkisi incelenmesine imkan tanımaktadır. Ayrıca, performans ölçümünün her aşamasında ara ölçüt olmayan kendi giriş ve çıkışları sahip modellerde olabileceğinden mevcut model ya da geliştirilebilecek yeni modeller kullanılabilir (Chen and Zhu, 2004).

Sistem uzaklık ölçüm modelinde, sistem etkinliğini ölçerken her işlemin aynı mesafe parametresi θ'ya sahip olması gerekmektedir. Bu modelin bir uzantısı, her işlemin bu işlemin etkinliğini temsil eden farklı bir parametre olan $\theta^{(k)}$ ile ilişkilendirilmesine izin vermektedir. Sistem etkinliği bu bireysel işlem etkinliklerinin ağırlıklı ortalamasıdır: $min. \sum_{k=1}^{p} \omega^{(k)} \theta^{(k)}$. Parametre çıkış tarafından tanımlanırsa,

minimizasyon maksimizasyon olarak değiştirilir. Farklı yönlerden tanımlanan süreçler için, farklı optimizasyon yönlerine sahip olanlara karşılaştırılabilir olmaları için bir eksi işareti eklenmektedir. Yönlü mesafe fonksiyonu da bu kategoride modeller geliştirmek için kullanılmıştır (Kao, 2014).

3.5.1.1.4. Faktör Uzaklık Ölçüsü Modeli

Uzaklık ölçüm modelinin en genel haliyle, her faktörün farklı parametrelere sahip olmasına izin vererek amaç fonksiyonda faktörlerin ağırlıklı ortalamasını en aza indirmektedir. Giriş ve çıkışlara bağlı parametreleri karşılaştırılabilir hale getirmek için, çıkış olarak eklenen parametreler karşılıklı biçimde ifade edilmektedir. Sistemde yalnızca bir işlem olduğunda ise, model "Russell Etkinlik Ölçümü" modeline indirgenmektedir. Karşılıklı ifadesi modeli doğrusal olmayan yapı haline getirmektedir. Bunun üstesinden gelmek için, giriş faktörü parametrelerinin ortalamasının çıkış faktörü parametrelerinin ortalamasına bir oran formu kullanılmaktadır. Faktörlerin türlerine göre sınıflandırıldığı, örneğin girdi, çıktı, ara ürün ve aynı parametrenin aynı tipteki faktörlere bağlı olduğu bu tür bir modelin basitleştirilmesi literatürde de ortaya çıkmaktadır. Uzaklık, bu tip modelde bir g yönü boyunca da ölçülebilir (Kao, 2014).

Färe ve Lovell (1978) tarafından geliştirilen Russell ölçüm modeli (Russell measure model) (7) "$\theta_i = \theta = 1/\emptyset_r = 1/\emptyset$" kısıtlaması ile Russell ölçüsünün grafik etkinlik ölçüsüne eşdeğer olduğunu varsaymaktadır (Baek and Lee, 2009).

$$\text{Russell} = \left\{ \min \frac{\sum_{i=1}^{m} \theta_i + \sum_{r=1}^{s} 1/\phi_r}{m+s} \middle| (\theta_i x_{io}, \phi_r y_{ro}) \in P_C, 0 \leq \theta_i \leq 1, 1 \leq \phi_r \right\} \qquad (7)$$

3.5.1.1.5. Aylak Tabanlı Ölçüm Modeli

Charnes ve arkadaşları (1978) tarafından çok sayıda yenilikçi çalışma yapılmıştır. Veri Zarflama Analizinin ana hedeflerinden biri, bir karar verme biriminin etkinliğini 0 (en

kötü) ve 1 (en iyi) arasında değişen bir skaler ölçüyle ölçebilmektir. Bu skaler değer doğrusal bir programlama modeli ile ölçülebilmektedir. Tone (2001) tarafından radyal olmayan ve doğrudan girdi/çıktı esnekliği ile ilgilenen aylak tabanlı bir etkinlik ölçüm modeli (8) önerilmiştir (Tone, 2001).

$$
\begin{aligned}
\min \quad & \rho = \frac{1 - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} s_i^- / x_{i0}}{1 + \frac{1}{s}\sum_{i=1}^{s} s_i^+ / y_{i0}} \\
& \mathbf{x}_0 = X\boldsymbol{\lambda} + \mathbf{s}^-, \\
& \mathbf{y}_0 = Y\boldsymbol{\lambda} - \mathbf{s}^+, \\
& \boldsymbol{\lambda} \geqslant \mathbf{0}, \ \ \mathbf{s}^- \geqslant \mathbf{0}, \ \ \mathbf{s}^+ \geqslant \mathbf{0}.
\end{aligned}
\tag{8}
$$

Tone (2001) tarafından etkin ve etkin olmayan karar verme birimlerini belirlemek için kullanılan aylak tabanlı ölçüm modeli geliştirilerek süper aylak tabanlı ölçüm modeli (super slacks-based measure model (SSBM)) adını almıştır. Bu model (9) ile etkin karar verme birimlerini sıralamak mümkündür. Ayrıca, negatif çıktıya sahip modeller ile karar verme birimlerinin sayısı az olan modeller de daha faydalı sonuçlar alınmaktadır (Tone, 2002).

$$
\begin{aligned}
\delta^* = \min \delta = & \frac{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} \bar{x}_i / x_{i0}}{\frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s} \bar{y}_r / y_{r0}} \\
& \bar{\mathbf{x}} \geqslant \sum_{j=1,\neq 0}^{n} \lambda_j \mathbf{x}_j, \\
& \bar{\mathbf{y}} \leqslant \sum_{j=1,\neq 0}^{n} \lambda_j \mathbf{y}_j, \\
& \bar{\mathbf{x}} \geqslant \mathbf{x}_0 \quad \text{ve} \quad \bar{\mathbf{y}} \leqslant \mathbf{y}_0, \\
& \bar{\mathbf{y}} \geqslant \mathbf{0}, \ \ \boldsymbol{\lambda} \geqslant \mathbf{0}.
\end{aligned}
\tag{9}
$$

Fukuyama ve Mirdehghan (2012), ara ürünlerle ilişkili aylak değişkenlerin de hesaba katılması gerektiğini ve etkin olmayan karar verme birimlerinin de tanımlanması gerektiğini savunmuştur. Aylak tabanlı ölçüm modeli, istenmeyen çıktılara sahip durumlar için de yaygın olarak kullanılmaktadır (Kao, 2014).

3.5.1.1.6. Oran-Form Sistemi Etkinliği Modeli

Oran-form sistem etkinliği modelinde sistem etkinliği, eksojen çıktı toplamlarının eksojen girdi toplamlarına oranı (10) formülü ile ölçülmektedir. Kao (2009)'ya göre bu tip bir modelde bir faktörün sürecine bakılmaksızın faktör ile aynı kümede yer alan çarpanın ilişkisel incelenmesine olanak sunmaktadır. Geliştirilen model çarpan olarak ifade edilirken, çarpan ve zarf formları birincil-ikili bir ilişkiye sahip olduğundan, sistem uzaklık ölçüm modellerinde de karşılık bulmaktadır (Kao, 2014).

$$E_0^s = \sum_{r=1}^{s} u_r Y_{ro} / \sum_{i=1}^{m} v_i X_{io} \qquad (10)$$

Geleneksel VZA modeli ile sistem etkinliği hesaplanırken her bir alt işlemin de etkinliği hesaplanmaktadır. Bu model, iki aşamalı bir karar verme birimi içindeki etkinsizliklerin kaynağının belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Nouri vd. 2013).

3.5.1.1.7. Oran-Form Süreç Etkinliği Modeli

Oran-form sistemi etkinlik modeline benzer şekilde, bir sürecin etkinliği, modelde (11) gösterildiği gibi, ağırlıklı çıktı toplamlarının ağırlıklı girdi toplamlarına oranı olarak da ölçülebilmektedir.

$$E_0^{(k)} = \frac{(\sum_{r\in 0^{(k)}} u_r^{(k)} Y_{r0}^{(k)} + \sum_{g\in N^{(k)}} \widehat{w}_g^{(k)} Z_{g0}^{(k)})}{(\sum_{i\in I^{(k)}} v_i^{(k)} X_{i0}^{(k)} + \sum_{f\in M^{(k)}} w_f^{(k)} Z_{f0}^{(k)})} \qquad (11)$$

Sistem ile süreç etkinlikleri arasındaki ilişkinin türetildiği sistem etkinliği modelinin aksine, bir süreç etkinliği modelinin temel kaygısı, kümelenmeleri genellikle ($\sum_{k=1}^{p} \omega^{(k)} E_0^{(k)}$) ağırlıklı bir ortalama biçiminde ele almasıdır. Genellikle ağırlıkların ($\omega^{(k)}$) uygun bir seçimi sonucunda doğrusal bir form elde edilir (Kao, 2014).

3.5.1.1.8. Oyun Teorisi Modeli

Matematikçi John Forbes tarafından literatüre kazandırılan Nash'in Oyun Teorisine (Nash çözümü/dengesi) göre, bir oyunda oyuncuların strateji seçimleri belirliyken herhangi bir oyuncunun seçimini değiştirmemesi sonucu oluşan strateji bileşimi olarak ifade edilmektedir. Oyun teorisi genellikle toplu pazarlık sonuçlarını tahmin eden en iyi pazarlık çözümlerinden biri olarak gösterilmektedir (Elibol, 2017).

P oyunculu Nash pazarlık oyun teorinde, her oyuncunun getirisinin en azından oyuncunun dağılım getirisi kadar büyük olması gerekmektedir. Bir oyunun ödemeler uzayının (*breakdown payoff*) bir alt kümesi (b_1,..., b_p) ile ilgili olarak, her oyuncunun getirisi u_k oyuncu k'nin getirisi olan "$max. \prod_{k=1}^{p}(u_k - b_k)$" fonksiyonunun çözümü ile elde edilir. Uygun analiz getirileri (b_1,..., b_p) seçimi ile ve u_k işlem k'nin etkinliği olarak tanımlanarak, etkinlik puanlarının hesaplanması için çarpanlar olarak ifade edilen en iyi strateji belirlenir ve ilgili etkinlikler hesaplanır. Kısıtlamalar kavramsal olarak model (12) ile aynıdır (Kao, 2014).

$$
\begin{aligned}
E_0^S = \max. \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r Y_{r0} \Big/ \sum_{i=1}^{m} v_i X_{i0} \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{r\in O^{(k)}} u_r^{(k)} Y_{rj}^{(k)} + \sum_{g\in N^{(k)}} \hat{w}_g^{(k)} Z_{gj}^{(k)} - \sum_{i\in I^{(k)}} v_i^{(k)} X_{ij}^{(k)} \\
& - \sum_{f\in M^{(k)}} w_f^{(k)} Z_{fj}^{(k)} \leqslant 0, \quad j = 1,\ldots,n,\ k = 1,\ldots,p \\
& u_r^{(k)}, v_i^{(k)}, w_f^{(k)}, \hat{w}_g^{(k)} \geqslant 0,\ r \in O^{(k)},\ i \in I^{(k)}, \\
& f \in M^{(k)},\ g \in N^{(k)}, \quad k = 1,\ldots,p
\end{aligned}
\tag{12}
$$

3.5.1.1.9. Değer Temelli Model

Değer temelli model, model (12)'nin kısıtlamaları dahilinde bir network sisteminin toplam çıktısını, $\sum_{r=1}^{s} u^r\, Y_{r0}$ veya karı, $\sum_{r=1}^{s} P^r\, y_r - \sum_{i=1}^{m} C_i\, x_i$, maksimuma çıkarmakla ilgilidir. Yukarıda belirtilen modellerin çoğunda varyasyonlar olsa da, kavramsal olarak önemli olmadıkları sürece spesifik olarak belirtilmezler (Kao, 2014).

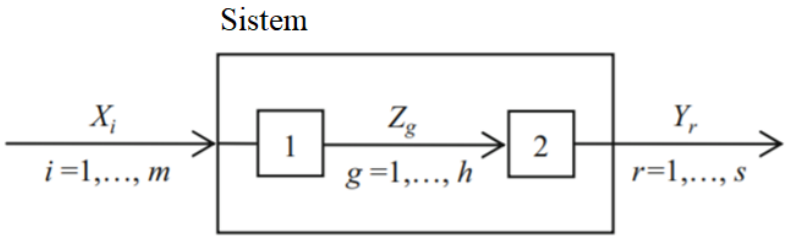
3.5.1.2.Network VZA Yapıları

Network VZA yapıları gerçek dünya sorunlarına ait etkinlikleri ölçmek için geliştirilen modellerle ilişkili temel iki aşamalı, genel iki aşamalı, seri, paralel, karışık, hiyerarşik ve dinamik olmak üzere kategorize edilmiştir. Etkinlik ölçümlerinde kullanılan Network VZA yapıları aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

3.5.1.2.1. Temel İki Aşamalı Yapı

En basit network yapısı, iki parça halinde oluşturulan sistem yapısının iki bölüme ayrılmasıdır. Bu sistem yapısı ilk olarak Charnes ve arkadaşları (1986) tarafından ABD Ordusuna işe alım performanslarını incelerken fark edilmiştir. Aslında orduya alımların iki aşamaya sahip olduğu, reklam ve imza sözleşmeleri yoluyla farkındalık yarattığı keşfedilmiştir. Temel iki aşamalı sisteme uygulanan VZA metodolojisinde, bir girdinin sistem performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için, bu girdinin ilişkili olduğu bölümü bilmek gerekmektedir. Bu sayede bu girdinin gerçek etkisi tanımlanabilmektedir. Temel iki aşamalı network yapısında bağımsız, oran-form ölçüleri, fonksiyon uzaklık ölçüleri ve aylak tabanlı ölçüm modelleri sistemin verimliliğini ölçmek için kullanılan modellerdir (Kao, 2017). Temel iki aşamalı yapı Şekil 3.5'de gösterilmektedir.

Şekil 3.5: Temel iki aşamalı yapı



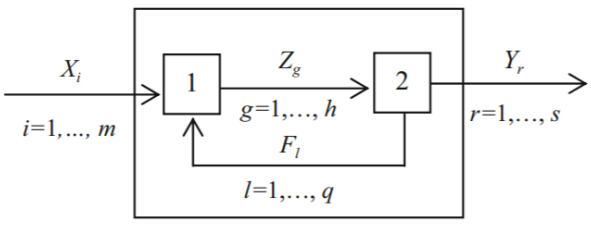
Kaynak: Kao (2014)

3.5.1.2.2. Genel İki Aşamalı Yapı

Genel iki aşamalı yapı türü, yazında yaygın olarak tartışılmasına karşın, her iki aşamanın da dışarıdan tedarik edilen eksojen (dış) girdileri tüketmesine ve nihai çıktılar üretmesine izin veren temel iki aşamalı yapının genelleştirilmesidir (Kao, 2014).

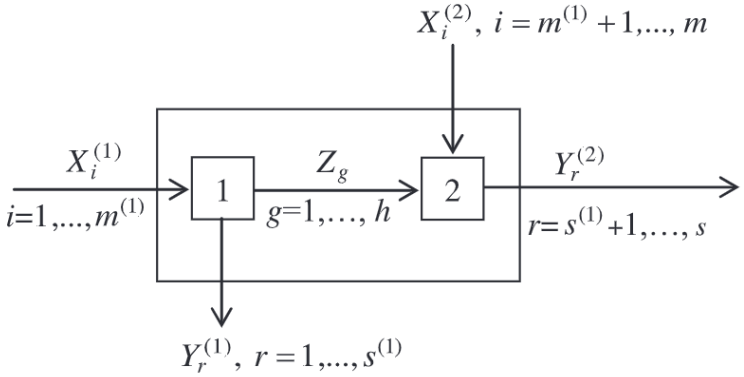
Temel iki aşamalı sistem, üretilen tüm ara ürünlerin üretim için ikinci bölüm tarafından tüketildiği bir üretim türünü tanımlarken ara ürünler haricinde sisteme dışarıdan girdi dahil edilmemektedir. Ancak, gerçek dünyada genellikle vakalar bu temel iki aşamalı sistemden daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Örneğin, bir yedek parça satış işleminin etkinliği düşünüldüğünde satılacak ürünler ara ürün olarak sistemden çıkarken ikinci bölümde ara ürünler üzerinde çalışacak işçiler sisteme girebilmektedir. Genel iki aşamalı yapı, birinci bölümün nihai çıktılarına ve ikinci bölümde eksojen girdilere sahip olmasına izin vermektedir. Ayrıca, teorik olarak birinci bölümde üretilen bazı çıktılar üretim için ikinci bölüme girdi olarak kullanılamazken, aynı zamanda ikinci bölümde üretilen bazı çıktılar ise, birinci bölüm tarafından kullanılabilir. Bu yapı durumuna ise, geri bildirim denilmektedir. Literatürde ilişkili ve bağımsız ifadeleri ile de karşımıza çıkmaktadır. Genel iki aşamalı yapıyı geri bildirimli ve geri bildirimsiz olarak ayrılabilir. Genel iki aşamalı sistemlerin verimliliğini ölçmek için bağımsız, oran-form sistemi, uzaklık fonksiyonu ve aylak tabanlı ölçüm modelleri önerilmektedir (Kao, 2017). Genel iki aşamalı yapıların geri bildirimli ve geri bildirimsiz olmak üzere sistem işleyişleri Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de gösterilmektedir.

Şekil 3.6: Geri bildirimli genel iki aşamalı yapı



Kaynak: Kao (2017)

Şekil 3.7: Geri bildirimsiz genel iki aşamalı yapı



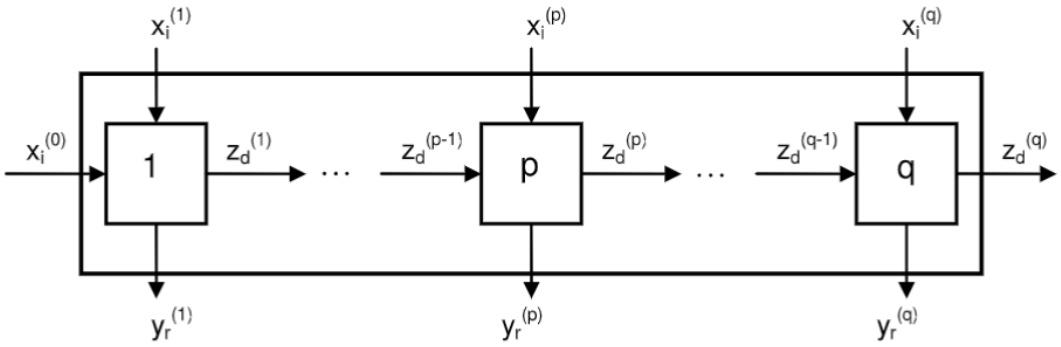
Kaynak: Kao (2017)

Temel iki aşamalı bir yapı dışarıdan gelen tüm girdilerden elde edilen ara ürünleri ikinci aşamada çıktı elde etmek için yönlendirilen ağ yapısını ifade etmektedir. Genel iki aşamalı yapı ise, her iki aşamada dışarıdan kanalize edilen harici girişleri tüketmek ve nihai çıkışları elde etmeye izin vermektedir (Lee ve Park, 2020).

3.5.1.2.3. Seri Yapı

Seri yapıya sahip modeller, basit iki aşamalı VZA modellerinin diziliminden oluşmaktadır. Bir seri Network VZA modeli, özellikle ara çıktılarla bağlantılı iki veya daha fazla iç prosedüre sahip karar verme birimlerini içermektedir. Basit formda, birinci aşamada bir dizi girdi kullanılarak bir dizi ara ürün üretilirken, ikinci aşamada birinci aşamada üretilen ara ürünlerden bir dizi çıktının elde edildiği bir yapıdadır. Basit ve genel form arasındaki farklar iç prosedürlerin sayısına bağlıdır (genel formda ikiden fazla aşama vardır). Seri yapı formlarında girdiler herhangi bir aşamada girebilir, nihai çıktılar herhangi bir aşamada üretilebilir ve ara ürünler tamamen tüketilemeyebilir. Ayrıca geri bildirimsiz seri yapı uygulamalarında eksojen girdiler kullanılmamaktadır. Seri Network VZA'nın genel formu Şekil 3.8'de sunulmuştur (Halkos vd. 2014).

Şekil 3.8: Seri yapı

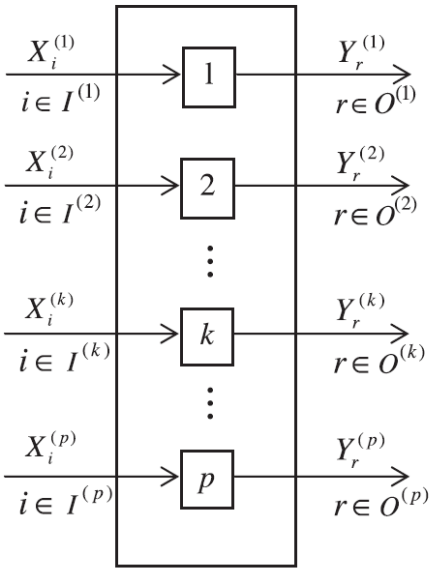


Kaynak: Halkos vd. (2014)

3.5.1.2.4. Paralel Yapı

Geleneksel Veri Zarflama Analizi modeli, etkinliği hesaplamak için bir sistemin tüm bileşen birimlerinin ilgili giriş ve çıkışlarının toplamını kullanırken paralel yapı modellerinde sistem bileşenleri tek tek dikkate alınmaktadır. Bu, karar vericinin verimsiz bileşenleri tanımlamasına yardımcı olmaktadır (Kao, 2009). Kao ve Hwang tarafından geliştirilen seri ve paralel yapılar, sistem etkinsizliğinin ağırlıklı olarak süreç/bileşen etkinlikleri ortalamasından oluştuğunu göstermektedir. Paralel modeller, farklı girdi birimlerinin farklı çıktı faktörleri üzerinden sistem etkinliklerinin ölçümlemesine yardımcı olmaktadır. Bu sayede genel sistem etkinliği ve her bir alt ünitenin farklı bir süreçte performansını belirleyebilmektedir (Du vd. 2015). Bu model ile sistem etkinliği ile süreç etkinliği arasındaki ilişki elde edilir (Karo ve Lin, 2012). Paralel Network VZA modeli Şekil 3.9' da sunulmuştur.

Şekil 3.9: Paralel yapı



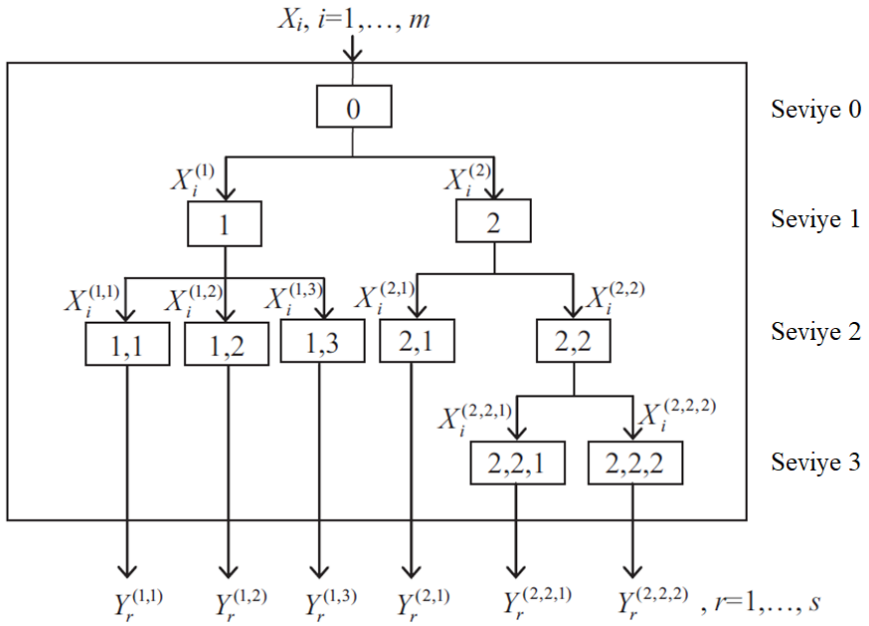
Kaynak: Kao (2014)

3.5.1.2.5. Hiyerarşik Yapı

Network VZA çalışmaları ile sistem performansını ölçerken her karar verme birimi aynı sayıda işleme sahip olmalı ve her karar verme birimine karşılık gelen süreci karşılaştırma için aynı işlevi yerine getirmelidir. Farklı karar verme birimi süreçlerinde ise, aynı çıktıların üretilmesi için sisteme aynı girdiler uygulandığı sürece, sistem ve süreç etkinliği ölçülebilmektedir. Hiyerarşik bir yapı birkaç seviyeye sahip olabilir. Sadece bir seviye varsa ve merkez ve alt birimler arasında bir etkileşim yoksa sistem paralel yapı olarak değerlendirilebilir (Kao, 2014).

Paralel bir sistemin özelliklerinden dolayı, hiyerarşik bir sistemin etkinliği, hiyerarşinin altındaki birimlerin ağırlıklı ortalamasıdır. Bu yapı ile geleneksel VZA modeli tarafından değerlendirilen etkin karar verme birimlerinin sırası ayırt edilebilmektedir. Ayrıca, yöneticilerin zayıflık alanlarını belirlemelerini ve böylece genel performansı artırmak için daha iyi odaklanma çabalarını sağlayan karar verme birim, işlevlerinin etkinliğini sağlamaktadır (Kao, 2015).

Şekil 3.10: 3 aşamalı hiyerarşik sistem yapısı



Kaynak: Kao (2015)

Günümüzde performans yönetimi gittikçe karmaşık bir yapı halini almaktadır. Bu nedenle bu yapıların içindeki süreçleri göz ardı eden geleneksel VZA yaklaşımları yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Meng vd. (2008), VZA modelinde katmanlı bir hiyerarşi önermektedir. Hiyerarşik işletme yapısı kavramı yöneticilere, yalnızca üst düzey bölümlerin performansını değil, aynı zamanda belirli anahtar kaynaklara odaklanan veya kendi hiyerarşik ağaç yapısını izleyen her bölümün alt birimlerini de değerlendirme imkanı tanımaktadır (Gan vd 2019).

3.5.1.2.6. Karma Yapı

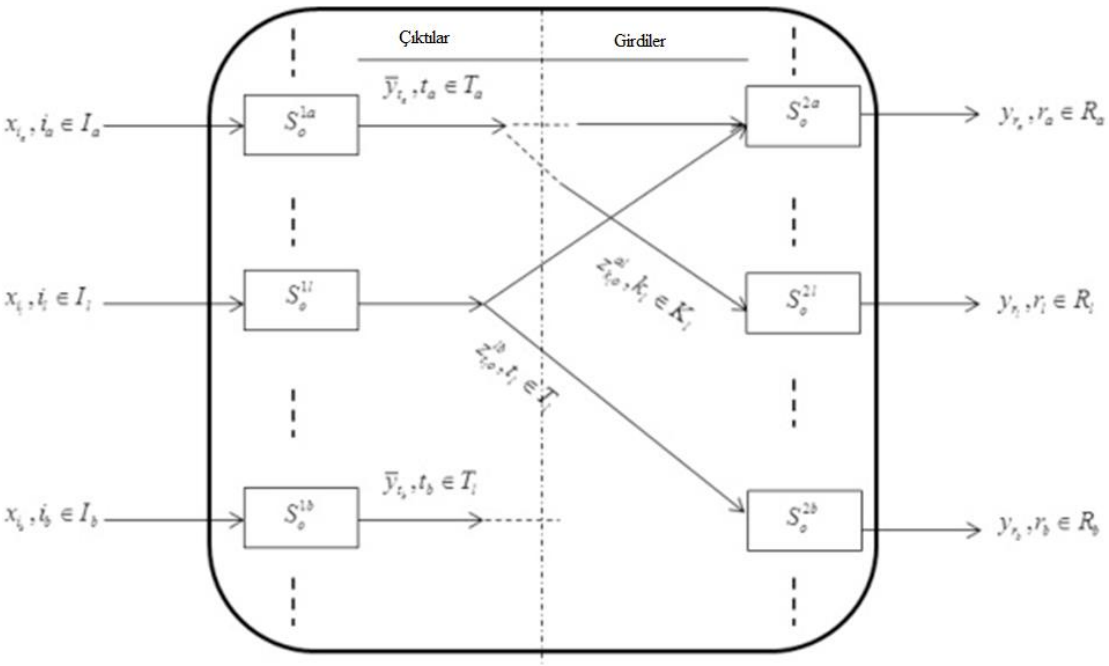
Karma yapılı modeller tek bir model üzerinden üretim ve tüketim süreçlerinin birleştirilerek ortaklaşa birden fazla faaliyete ilişkin etkinliklerin ölçümlemesinde kullanılmaktadır. Genellikle transit taşıma firmaların karmaşık taşıma ağlarının etkinliklerinin performans ölçümlemelerinde tercih edilmektedir (Yu and Fan, 2009).

Büyük ve ayrıntılı modellemeleri ayrıntılı süreçlere ayırmak, karar verici açısından girdi faktörlerinin etkisini belirlemesine yardımcı olmaktadır. Bir kuruluş ya da

firmaya ait genel işlemler ikiden fazla sürece ayrılarak karmaşık bir yapıda modellenebilmektedir. Bu yapılar seri yapı, paralel yapı, hiyerarşik yapı veya bunların bir karışımı gibi çeşitli yapılar içerebilmektedir. Tüm bu yapıları, sistemlerin etkinliğini ölçmek için birleştirildiğinde karma Network VZA modeli üretilmektedir. Bu yaklaşım, iç süreçlerin operasyonlarını ve karşılıklı bağımlılığını dikkate almaktadır (Kashim vd 2015).

Karma yapı modellemeleri genel olarak seri, paralel ve hem seri hem paralel sistemlerden oluşmaktadır. Şekil 3.11'de karma yapı modeli gösterilmektedir (Barat vd., 2019).

Şekil 3.11: Karma yapı



Kaynak: Omrani ve Soltanzadeh (2016)

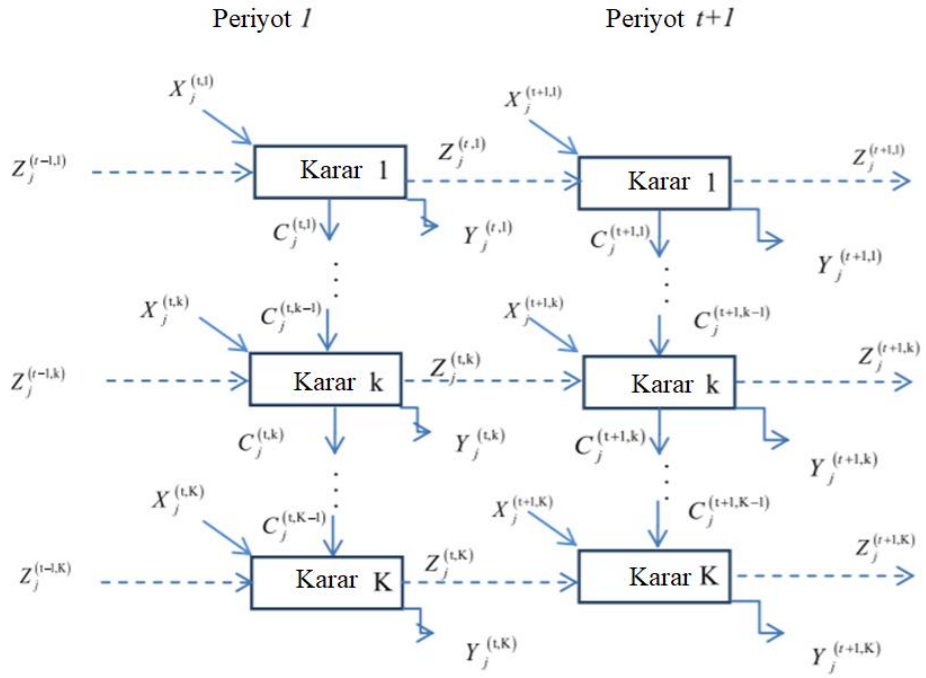
3.5.1.2.7. Dinamik Yapı

Dinamik yapılı network modellemelerinde, belirli bir zaman diliminde sistemin çıktıları bir sonraki dönemde girdi olarak kullanılmaktadır. Dinamik VZA modelleri, faaliyetler arasındaki bağlantıları dikkate alarak sürece ait etkinliği ölçmek için önerilmiştir (Fare vd. 2018). Dinamik yapı modelleri finansal kuruluşlar, üretim

hatları, tıbbi kurumlar, elektrik endüstrisinde vb. alanlarda kullanımı yaygındır (Tone ve Tsutsui, 2014).

Fare ve Grosskopf (1996) bağımsız süreçlerden oluşan üretim sistemini değerlendirirken süreçlerin etkinliğini de ayrı ayrı hesaplamıştır. Gerçek dünyada şirketlerin uzun vadeli planlamaya sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle, şirketlerin zaman içerisinde karar verme birimlerinin performanslarını değerlendirmek için dönemler arasındaki ilişkiyi göz önünde bulundurarak farklı açılardan akışlara sahip dinamik modellere ihtiyaçları vardır. Dinamik VZA modeli, tek dönem yapısının uzun dönem boyunca tekrarlanmasıyla ilgilenmektedir (Omrani ve Soltanzadeh, 2016).

Şekil 3.12: Çok aşamalı dinamik yapı



Kaynak: Omrani ve Soltanzadeh (2016)

Parametrik olmayan dinamik üretim etkinliklerinin ölçümü, bir ayarlama-maliyet teknolojisi ve zamanlararası maliyet minimizasyonu bağlamında geliştirilmiştir. Dinamik yapıda her bir etkinlik ölçüsündeki sınırlar, her bir firma için parametrik olmayan bir tercih yaklaşımı kullanılarak türetilmektedir. Uzun vadede etkinlik ölçümleri hem değişken hem de dinamik faktörlerin göreceli etkinliğini gösterirken,

kısa vadede etkinlik ölçümleri değişken girdilerin üretim sürecinde verimli bir şekilde kullanılıp kullanılmadığını göstermektedir (Silva and Stefanao, 2007).

3.5.2. İki Aşamalı VZA Modeli

Klasik veri zarflama analizi gerçekleştirilen modellemeler karar verme birimlerinin içyapısında gerçekleşen işlemleri dikkate almamaktadır. Bu nedenle ilk aşamanın çıktılarından bir aşama daha VZA sürecinin işlenmesi ile toplam süreç değerlendirilmektedir. Güner'e (2005) göre, ara değişkenler sebebiyle tüm süreçlerin birbirleri ile ilişkili olduğu varsayımı altında bu ilişkileri dikkate alan ilişkisel bir "iki aşamalı VZA" yaklaşımı (Seiford and Zhu, 1999; Kao and Hwang, 2008) tarafından geliştirilmiştir.

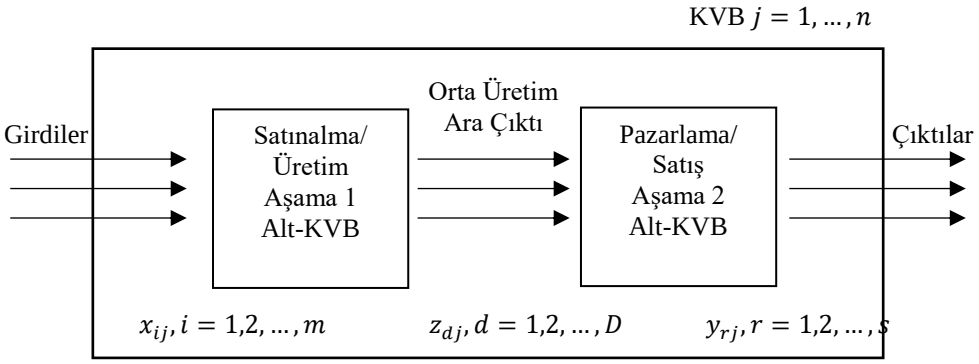
Böyle bir ortamda, bir karar verme birimi iki aşamalı bir süreci temsil eder ve iki aşama arasında orta dereceli önlemler vardır. İlk aşama, ikinci aşamaya girdi olan çıktıları üretmek için girdi kullanır. Bu nedenle ilk aşama çıktılarına ara ölçüt denir (Chen vd., 2009). İkinci aşama daha sonra çıktıları üretmek için bu ara ölçütleri kullanır. Buradaki en önemli özellik, ilk aşamadaki çıktıların, ikinci aşamadaki girdiler olmasıdır; yani, ara ölçütlere ek olarak birinci aşama, kendi çıktılarına sahip değil iken ikinci aşama da, kendi girdilerine sahip değildir (Chen vd., 2009).

İki aşamalı VZA'da ortak olan yaklaşım, her aşamada ayrı bir standart VZA modeli uygulamaktır. Kao ve Hwang' da (2008) belirtildiği gibi, bu tür yaklaşımlar aşamaları birbirlerinden bağımsız olarak çalışan iki aşamalı bir süreçte ele alır. Bu nedenle, iki sürecin genel süreç içindeki seri ilişkisini dikkate alarak standart VZA modelini değiştirmiştir. Çerçeveleri altında, genel sürecin etkinliği, iki aşamanın verimliliğinin ürününe ayrıştırılabilir. Standart VZA yaklaşımında böyle bir verimlilik ayrışması bulunmamaktadır (Chen vd., 2009).

İki aşamalı VZA' nın farkı Özsoy ve Bal' a (2019) göre, klasik VZA modelleri KVB'nin içyapısında gerçekleşen işlemleri dikkate almadığından, eş karar verme birimlerinin her birinin göreceli verimlerini değerlendirmektir (Sexton and Lewis,

2003). Diğer bir ifadeyle, karar verme birimlerinin kararlarını etkileyecek göstergelerin verimliliklerini ölçmektedir.

Şekil 3.13: İki aşamalı VZA modellenmesi



Satın Alma/Üretim: Aşama 1 Alt-KVB, aşama 2'de üretim için gereken kaynakları edinir.
Pazarlama/Satış:Aşama 1 Alt-KVB potansiyel müşterileri çeker ve aşama 2 Alt-KVB satışları kapatır.
İşleme / Son İşlem: Bir makinenin çıktıları diğerine verilen girdilerdir.

Kaynak: Sexton vd. (2003)

Şekil 3.4'de gösterilen iki aşamalı bir modele göre Chen ve Zhu (2004) ve Kao ve Hwang (2008) 'deki göstergeleri kullanarak n adet KVB biriminden her KVB j'nin ilk aşamada m giriş (x_{ij}) ve D çıkışı (z_{dj}) meydana gelir. Bu D çıkışları daha sonra ikinci aşamaya girdi olur ve ara ölçütler olarak adlandırılır. İkinci aşamadan gelen çıktılar y_{rj} olarak simgelenmiştir. CCR modeline göre, iki aşamalı sürecin ve iki ayrı aşamanın etkinlik puanları şu şekilde ifade edilebilir (Chen vd., 2009):

$$\theta_j = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}}, \theta_j^1 = \frac{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \; ve \; \theta_j^2 = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{d=1}^{D} \widetilde{w}_d z_{dj}}, \qquad (13)$$

v_i, w_d , $\widetilde{w}_d$ ve u_r bilinmeyen negatif olmayan ağırlıklardır.

z_{dj} ara ölçütleri θ_j'de görünmemektedir. Çünkü Kao ve Hwang (2008), $w_d = \widetilde{w}_d$ olduğunu varsayımı altında j. KVB_{j0} birimi için tanımlanan genel etkinlik skorunu $\theta_j^1 * \theta_j^2 = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij_0}}$ olarak hesaplanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, KVB'nin genel etkinlik skoru iki ayrı alt sürece ait etkinlik skorlarının çarpımları ile elde edilmektedir. Bu model (14)'da gösterilmektedir:

Girdi yönlü	Çıktı yönlü	
$Max\ \theta_0^1.\theta_0^2 = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij_0}}$	$Min\ \frac{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij_0}}{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj_0}}$	(14)
$s.t. \quad \alpha_j^1 \leq 1\ ve\ \theta_j^2 \leq 1$	$s.t. \quad \theta_j^1 \leq 1\ ve\ \theta_j^2 \leq 1$	
$j = 1,2,\dots,n$	$j = 1,2,\dots,n,$	
$w_d = \widetilde{w_d}\ \ d = 1,2,\dots,D$	$w_d = \widetilde{w_d}\ d = 1,2,\dots,D$	

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

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

α: $Birinci\ aşamanın\ etkinlik\ puanı$

w_d, u_r, v_i : Ağırlıklar

Kao ve Hwang'ın (2008) modelinde birinci aşama girdi odaklı ikinci aşama ise, çıktı odaklı oluşturulmuştur. Bunun sebebi, birinci aşamada elde edilen ara çıktılar ikinci aşamanın girdisi olarak ele alınmaktadır. Kao ve Hwang (2008) tarafından geliştirilen girdi ve çıktı yönelimli iki aşamalı veri zarflama analizi modelleri (15)'de gösterilmektedir:

Girdi yönlü	Çıktı yönlü	
$\theta = Max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk}$	$\theta = Min \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij_0}$	(15)
$s.t. \quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} = 1$	$s.t. \quad \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} = 1$	
$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \leq 0$	$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \leq 0$	
$\sum_{p=1}^{q} w_p z_{pj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \leq 0$	$\sum_{p=1}^{q} w_p z_{pj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \leq 0$	
$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{p=1}^{q} w_p z_{pj} \leq 0$	$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{p=1}^{q} w_p z_{pj} \leq 0$	
$\forall\ j, i, r, p, d = 1,2,\dots,N$	$\forall\ j, i, r, p, d = 1,2,\dots,N$	
$w_d, u_r, v_i \geq 0$	$w_d, u_r, v_i \geq 0$	

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

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

z_{pj}: j. KVB tarafından üretilen p. çıktı/ara girdi

w_d, u_r, v_i : Ağırlıklar

Chen ve Zhu (2004) modeli ise, ölçeğe göre değişken getiri koşulu altında geliştirilmiştir. İki yaklaşım arasında bir karşılaştırma yapmak için Chen ve Zhu (2009) modeli, ölçeğe göre sabit getiri koşulu altında (16)'da gösterilmektedir.

Amaç fonksiyonu, $min\ \alpha - \beta$

Birinci Aşama	İkinci Aşama
$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j \le \alpha\, z_{ij_0} \;\; i = 1, \dots, m,$	$\sum_{j=1}^{n} z_{dj}\mu_j \le \tilde{z}_{dj_0} \;\; d = 1, \dots, D,$
$\sum_{j=1}^{n} z_{dj}\lambda_j \ge \tilde{z}_{dj_0} \;\; d = 1, \dots, D,$	$\sum_{j=1}^{n} y_{ij}\mu_j \ge \beta\, y_{rj_0} \;\; r = 1, \dots, s,$
$\lambda_j \ge 0, \quad j = 1, \dots, n,$	$\mu_j \ge 0, \quad j = 1, \dots, n,$
$\alpha \le 1$	$\beta \ge 1$

(16)

α: *Birinci aşamanın etkinlik puanı*

β: *İkinci aşamanın etkinlik puanı*

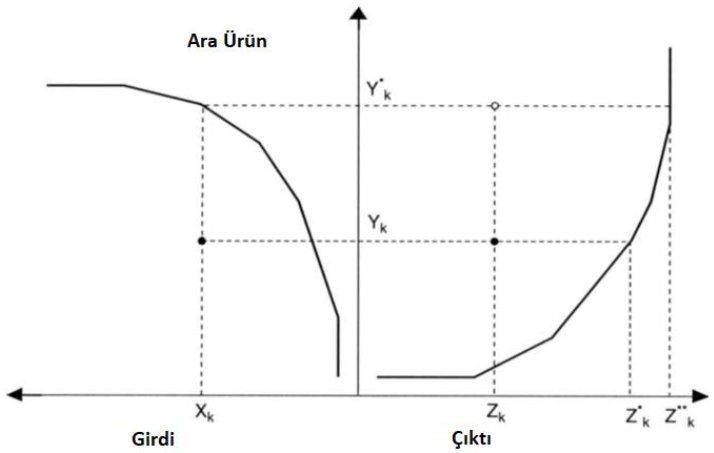
x: *Birinci aşamanın girdisi*

z: *Birinci aşamanın çıktısı/İkinci aşamanın girdisi*

y: *İkinci aşamanın çıktısı*

Kao ve Hwang (2008) tarafından geliştirilen modelde KVB'nin genel etkinlik skorları, iki alt sürecin etkinliklerinin çarpımına eşittir. Genel sürece ait bir etkinsizlik net bir şekilde belirlenebilmektedir. Süreçler arasında ilişkileri dikkate aldığı için bu model, Chen ve Zhu (2004) tarafından geliştirilen modelden daha etkin sonuçlar alınmasını imkan tanımaktadır (Güner, 2015).

Grafik 3.1: Temel VZA girdi-çıktı grafiği



Kaynak: Sexton vd. (2003)

Grafik 3.1'de iki aşamalı VZA'ya ait girdi ve çıktı süreçleri gösterilmektedir. Birinci aşamada X_k değişkenleri girdi olarak alınmaktadır. Bu girdiler kullanılarak Y_k çıktıları elde edilir. İkinci aşamada ise, birinci aşamada ortaya çıkan Y_k çıktıları ara girdi olarak ele alınmaktadır. Y_k girdi değişkenleri ile ikinci aşamanın çıktıları Z_k belirlenir.

Kao ve Hwang (2008) tarafından önerilen çarpımsal model ile Chen, Cook, Li ve Zhu (2009) tarafından önerilen toplamsal model yazında en yaygın olan iki aşamalı VZA modelleridir.

Yukarıda bahsedilen modeller birçok farklı sektörde geniş bir yelpazede göze çarpan uygulama alanlarında kendilerine yer bulmaktadır. Bu alanlardan birisi olan ve bu çalışmanın ana konusunu teşkil eden enerji sektöründe enerji etkinliklerinin değerlendirilmesine ilişkin yazında yer alan çalışmalara Tablo 3.2'de yer verilmiştir.

Tablo 3.2: İki aşamalı VZA çalışmaları

Yazar/ Yıl	**Uygulama Bölgesi**	**Veri/Yıl**	**Konu**	**Kapsam**
Bi, G., Shao, Y., Song, W., Yang, F. and Luo, Y. (2018)	Çin	2010	A Performance Evaluation Of China's Coal-Fired Power Generation With Pollutant Mitigation Options	Çin'de kömür yakıtlı elektrik üretiminin performansını değerlendirmek
Zhang, J., Wu, Q. And Zhou, Z., (2019)	Çin	2011 - 2015	A Two-Stage DEA Model For Resource Allocation In Industrial Pollution Treatment And Its Application In China	Çin'deki endüstriyel kirlilik sorunuyla mücadele etmek için tahsis edilen kaynakların etkinliğini ölçümlemek
Marchetti, D. and Wanke, P., (2017)	Brezilya	2010 - 2014	Brazil's Rail Freight Transport: Efficiency Analysis Using Two-Stage DEA and Cluster-Driven Public Policies	Brezilya demiryolu yük taşımacılığının etkinliğini değerlendirmek
Kottas, A. T., Bozoudis, M. N. And Madas, M. A. (2019)	-	1962 - 2019	Turbofan Aero-Engine Efficiency Evaluation: An Integrated Approach Using VSBM Two-Stage Network DEA	Aktif olarak ticari ve askeri uçaklar tarafından kullanılan turbo-fan aero-motorlarının etkinliğini değerlendirmek

Moon, H. and Min, D., (2017)	Kore	2016	Assessing Energy Efficiency And The Related Policy İmplications For Energy-İntensive Firms İn Korea: DEA Approach	Kore'deki enerji büyük imalatçı firmaların enerji etkinliklerini ölçmek
Wu, H., Lv, K., Liang, L. and Hu, H. (2017)	Çin	2011	Measuring Performance of Sustainable Manufacturing With Recyclable Wastes: A Case From China's Iron and Steel Industry	Çin'deki bir dizi demir ve çelik üreticisinde atık su geri dönüşümü ve yeniden kullanım performansını değerlendirilmek
Xie, J., Liang, Z., Zhang, X. And Zhu, L., (2019)	Çin	2013 - 2014	Efficiency Evaluation of Thermal Power Plants In China Based On The Weighted Russell Directional Distance Method	Çin'deki termik santrallerin genel etkinliğini değerlendirmek
Tang, J., Wang, Q. and Chang, Y.-T., (2019)	Çin	2011 - 2015	China's Two-Stage Regional Industrial System–Efficiencies And Their Influencing Factors	Çin'deki endüstriyel üretim ve atık arıtma sistemlerinin etkinliğini değerlendirmek
Wu, Y., Ke, Y., Zhang, T., Liu, F. and Wang, J., (2018)	Çin	2017	Performance Efficiency Assessment of Photovoltaic Poverty Alleviation Projects In China: A Three-Phase Data Envelopment Analysis Model	Çin'deki fotovoltaik (güneş panelleri) kullanım projelerinin performans etkinliğini değerlendirmek
Sağlam, Ü., (2018)	Teksas, ABD	2016	A Two-Stage Performance Assessment Of Utility-Scale Wind Farms In Texas Using Data Envelopment Analysis And Tobit Models	Teksas'da bulunan 95 büyük hizmet ölçekli rüzgar santrallerinin üretim etkinliğini değerlendirmek
Sağlam, Ü., (2017)	ABD	2000 - 2016	A Two-Stage Data Envelopment Analysis Model For Efficiency Assessments Of 39 State's Wind Power In The United States	Rüzgar enerji santralleri etkinliklerinin değerlendirilmesi
Ó Broin, E., Mata, É., Göransson, A. and Johnsson, F., (2013)	AB-27 Ülke	2005 - 2012	The Effect Of Improved Efficiency On Energy Savings In EU-27 Buildings	2050 yılına kadar oluşturulan üç farklı senaryo altında enerji tasarrufunun AB bina stoğu üzerindeki etkisini açıklamak

Simona, B, D'Errico, M.C. and Polinori, P., (2019)	AB-19 Ülke	2006 - 2014	Environmental and Energy Efficiency Analysis of EU Electricity Industry: An Almost Spatial Two Stages DEA Approach	Elektrik sektörlerinde çevresel ve enerji etkinliği ile çevre ve piyasa düzenlemelerinin sıkılığı arasındaki ilişkiyi açıklamak
Borozan, D, (2018)	AB Bölgesi	2005 - 2013	Technical And Total Factor Energy Efficiency Of European Regions: A Two-Stage Approach	AB bölgelerinin ele alınan üretim faktörlerinin etkin bir şekilde kullanıp kullanmadığını araştırmanın yanı sıra çeşitli çevresel değişkenlerin teknik ve enerji verimliliği üzerindeki etkisini değerlendirmek
Jebali, E., Essid, H. and Khraief, N., (2017)	Akdeniz Ülkeleri	2009 - 2012	The Analysis Of Energy Efficiency Of The Mediterranean Countries: A Two-Stage Double Bootstrap DEA Approach	399 Atıksu Arıtma Tesisinin enerji etkinliğinin değerlendirmesini yapmak ve VZA kullanmanın potansiyel faydalarını incelemek
Zeng, Y., Guo, W., Wang, H. and Zhang, F., (2020)	Çin	2012	A Two-Stage Evaluation And Optimization Method For Renewable Energy Development Based On Data Envelopment Analysis	Yenilenebilir enerji planlarının kapsamlı değerlendirilmesi
Al-Mezeini, N.K., Oukil, A. and Al-Ismaili, A.M., (2019)	Umman	2012 - 2013	Investigating The Efficiency Of Greenhouse Production In Oman: A Two-Stage Approach Based On Data Envelopment Analysis And Double Bootstrapping, Journal of Cleaner Production	Umman'da sera üretiminin etkinliğinin araştırılması
Ervural, B. C., Zaim, S. ve Delen, D., (2018)	Türkiye	2017 - 2018	A Two-Stage Analytical Approach to Assess Sustainable Energy Efficiency	Enerji kaynaklarının etkinliğini (çoğunlukla yenilenebilir kaynaklara dayanan çeşitli enerji kaynaklarının bir kombinasyonu) değerlendirmek
Raheli, H., Rezaei, R.M., Jadidi, M. R. and Mobtaker, H.G., (2017)	Marand, Azerbaycan, İran	2016	A Two-Stage DEA Model To Evaluate Sustainability And Energy Efficiency of Tomato Production	Domates üretiminin sürdürülebilirliğini ve etkinliğini değerlendirmek ve domates yetiştiriciliğinin verimsizliğe neden olan belirleyicileri araştırmak

Gutiérrez, E., Aguilera, E., Lozano, S. and Guzmán, G.I., (2017)	İspanya	2010 - 2015	A Two-Stage DEA Approach For Quantifying And Analysing The Inefficiency of Conventional And Organic Rain-Fed Cereals In Spain	Güney İspanya'da yetiştirilen ve yağmurla beslenen tahıl ürünlerinin etkinliğini değerlendirmek
Zhao, H., Guo, S. and Zhao, H., (2019)	Çin	2008 - 2016	Provincial Energy Efficiency of China Quantified By Three-Stage Data Envelopment Analysis	Çin'in eyalet enerji etkinliklerinin dış çevresel faktörlerin etkileri hariç değerlendirilmesi
Kiani Mavi, R., Saen, R. F. and Goh, M. (2018)	OECD Ülkeleri	2012	Joint Analysis of Eco-Efficiency and Eco-İnnovation With Common Weights In Two-Stage Network DEA: A Big Data Approach	OECD ülkelerinin eko-verimlilik ve eko-inovasyon etkinliklerini değerlendirmek
Song, W., Bi, G., Wu, J. and Yang, F., (2017)	Çin	2006 - 2010	What Are The Effects of Different Tax Policies On China's Coal-Fired Power Generation İndustry? An Empirical Research From A Network Slacks-Based Measure Perspective	Çin'de uygulanan vergi sisteminin kömür yakıtlı elektrik üretim endüstrisi üzerindeki etkilerini değerlendirmek
Xu, X. and Cui, Q., (2017)	19 Uluslararası Havayolu	2008 - 2014	Evaluating Airline Energy Efficiency: An Integrated Approach With Network Epsilon-Based Measure and Network Slacks-Based Measure	Havayolu enerji etkinliğini etkileyen faktörlerin değerlendilmesi
Cui, Q., Lin, J. and Jin, Z. (2019)	Havayolu Şirketleri	2018 - 2019	Evaluating Airline Efficiency Under "Carbon Neutral Growth from 2020" Strategy Through A Network Interval Slack-Based Measure	CNG2020 stratejisi kapsamında 24 küresel havayolunun enerji etkinliklerinin değerlendirilmesi
Xie, B.-C., Wang, J.-Y., Ma, J.-J. and Duan, N., (2018)	Çin	2007 - 2014	Efficiency Evaluation Of China's Provincial Power Systems Based On The Dynamic Network Slacks-Based Measure Model	Çin'deki eyalet idari alanlarının hem güç sistemlerinin hem de bölümlerinin çevresel etkinliğini değerlendirmek
Wei, C., Löschel, A. and Liu, B., (2015)	Çin	2004 - 2008	Energy-Saving and Emission-Abatement Potential Of Chinese Coal-	Çin'in kömür yakıtlı enerji işletmelerinin enerji tasarrufu ve

			Fired Power Enterprise: A Non-Parametric Analysis	CO_2 emisyonu düşürme performansını değerlendirmek
Li, Y., Wang, Y. And Cui, Q., (2016)	AB	2008 - 2012	Has Airline Efficiency Affected By The Inclusion Of Aviation Into European Union Emission Trading Scheme? Evidences From 22 Airlines During 2008–2012	Havacılığın Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemine dahil edilmesi ile havayolu enerji etkinliğini değerlendirmek
Chang, Y.-T., Park, H. (Kevin), Lee, S. and Kim, E. (2018)	AB ve Kuzey ABD Limanları		Have Emission Control Areas (ECAS) Harmed Port Efficiency In Europe?	Avrupa Birliği ve Kuzey Amerika'daki limanlarının kıyı bölgelerindeki Emisyon Kontrol Alanları (ECA) olarak bilinen gemilerden SOx ve NOx emisyonlarının etkinlik değerlendirmesi
Chen, Z., Wanke, P., Antunes, J. J. M. and Zhang, N., (2017)	Çin	2006 - 2014	Chinese Airline Efficiency Under CO2 Emissions and Flight Delays: A Stochastic Network DEA Model	13 büyük Çin havayolunun uçuş gecikmeleri ve CO_2 emisyon etkinliklerini değerlendirmek
Sueyoshi, T., Goto, M. and Wang, D., (2017)	Çin	2003 - 2014	Malmquist Index Measurement For Sustainability Enhancement İn Chinese Municipalities And Provinces	Çin'in bölgesel kalkınması ve endüstriyel kirliliğin önlenmesi ile ilgili sürdürülebilir enerji etkinliklerini değerlendirmek
Sueyoshi, T. and Yuan, Y., (2017)	Çin	2003 - 2014	Social Sustainability Measured By Intermediate Approach For Dea Environmental Assessment: Chinese Regional Planning For Economic Development And Pollution Prevention	Çin'deki 30 il ile ilgili sürdürülebilirlik seviyesinin etkinliği ölçümlenmektedir
Chen, P.-C., Yu, M.-M., Chang, C.-C., Hsu, S.-H. and Managi, S., (2015)	111 Ülke	2010	The Enhanced Russell-Based Directional Distance Measure With Undesirable Outputs: Numerical Example Considering CO2 Emissions	Russell ölçüm modeli ile ülkelerin performans ve çevre politikalarının etkinliklerini değerlendirmek

Sahoo, B. K., Singh, R., Mishra, B. and Sankaran, K. (2017)	Hindistan	1968 - 2015	Research Productivity In Management Schools Of India During 1968-2015: A Directional Benefit-Of-Doubt Model Analysis	Hindistan Enstitülerinin değerlendirmeleri	Yönetim performans

4. BÖLÜM: AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNİN ENERJİ ETKİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ

4.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı; Avrupa Birliği ülkelerinin enerji etkinliklerinin insan, çevre ve üretim boyutları ile birlikte değerlendirilmesi ve tüm bu boyutların olası etkilerinin incelenmesidir.

Yazında yapılan incelemelerde enerji etkinliklerinin değerlendirilmesine yönelik çalışmaların büyük çoğunluğu dünya genelinde bölgesel, sektörel ya da belirli bir alanda enerji kaynaklarının ya da enerji türünün özelinde etkinliklerin değerlendirilmesi konusuna yoğunlaşmaktadır. Asya kıtası ülkeleri ve Çin özelinde enerji etkinliklerinin değerlendirilmesine yönelik çok sayıda çalışma olduğu görülürken Avrupa Birliği ülkelerinin enerji performanslarını veya etkinliklerini inceleyen az sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinin enerji açısından dışa bağımlığı göz önünde bulundurulduğunda bu çalışmanın, ilgili ülkelerin etkinliklerinin incelenmesi ile yazına önemli bir katkı yapması beklenmektedir.

Çalışma kapsamında Avrupa Birliği ülkelerinin enerji performanslarını belirlemek için Avrupa Birliği'ne bağlı ülkeler ile aday ülkeler birlikte incelenerek hangilerinin daha etkin olduğu ve elde edilen sonuçlar arasında etkinlik farkının anlamlı olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır.

4.2. Araştırmanın Önemi

Dünya genelinde enerjiye olan bağımlığının giderek artması sebebiyle devletler arasında güçlü olmanın şartı ekonomik açıdan güçlü olmaktan geçmektedir. Günümüz ve şekillenen gelecekte ise ülkeler açısından güçlü olma şartının sahip olunan enerji alt yapısı çerçevesinde şekilleneceği öngörülmektedir.

Yaşadığımız dünyada geleceğimiz için yeryüzünün herhangi bir noktasında bulunan enerji kaynağının varlığı ya da kullanım şeklinden kaynaklı olarak her bir birey etkilenmektedir. Bu nedenle iklim değişikliği ve hava kirliliği ile mücadele konusunda enerji üretimi ve kullanımının çevre üzerindeki etkisini dengelemek için ortak akıl gerekmektedir. Ülkelerin enerji politikalarını belirlerken aldıkları kararlar sadece kendi ülkeleri ya da insanlarını etkilemekten öte yeryüzünde yaşayan her bir canlı için istenmeyen sonuçlar doğurabilmektedir.

4.3.Araştırmanın Yöntemi

Çalışma sayesinde Avrupa Birliği ülkelerinin enerji etkinliklerinin etkileri incelenerek kaynakların verimli kullanımı noktasında uygulanan politika ve çalışmaların etkileri belirlenmeye çalışılacaktır.

Bu çalışma kapsamında istenilen sonuçları elde edebilmek için yazında daha önce uygulanmış çalışmalar incelenmiş ve uygulanması planlanan yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunda veri zarflama analizi tekniği ya da veri zarflama analizi ile birlikte entegre yöntemlerin kullanıldığı gözlemlenmiştir (Keskin, 2018). Ancak, son yıllarda geliştirilen ve uygulama aşamasında az sayıda örnekleri ile karşılaşılan İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi ile Network Veri Zarflama Analizi tekniklerinin ayrı ayrı uygulama örnekleri incelenerek modelin yapısını en iyi analiz edebileceğimiz iki yöntemin birlikte değerlendirildiği bir çalışma ortaya konmaktadır. Ray (1988)'in klasik VZA yapısının iki aşamalı olarak uygulaması sonrasında Färe ve Grosskopf (2000) tarafından adlandırılan Network VZA yapısı tanımlanmıştır. Yıllar içerisinde birçok bilim insanı tarafından yapılan katkılar sonucunda Kao (2014) tarafından mevcut yapılar üzerinden geliştirilen İki Aşamalı Network VZA yönteminden yararlanılmıştır. Uygulama aşamasında her bir sürece klasik VZA yöntemi uygulanırken süreçler arasında etkinlikler değerlendirilerek model yapısının etkinliği incelenerek analiz tamamlanacaktır.

Birçok farklı alanda klasik VZA çalışmaları ile karşılaşılırken İki Aşamalı VZA yapısını kullanarak yapılan çalışmaların sayısı görece azdır. İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi üzerine Türkiye'de yapılan çalışmalar Tablo 4.1'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1: Türkiye'de yayımlanan iki aşamalı VZA çalışmaları

Yazar/Yıl	**Konu**
Özsoy, V.S., Örkcü, M. ve Örkcü, H. (2020)	Karma-Tamsayılı İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi Modeli İle En Etkin Tedarikçi Seçimi
Özsoy, V.S. ve Bal, H. (2019)	İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi Modelleri: Çarpımsal ve Toplamsal Model
Ervural, B. C., Zaim, S. ve Delen, D. (2018)	Sürdürülebilir Enerji Verimliliğini Değerlendirmek İçin İki Aşamalı Analitik Yaklaşım
Kahveci, E., Celen, Y. ve Ekşi, İ.H. (2013)	Türk Mevduat Bankalarının Performansının VZA Pencere Analizi İle Belirlenmesi
Erdoğan Aktan, H. ve Kaya Samut, P. (2013)	Türk Tarımının Etkinlik Bileşenlerinin İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi (VZA) ile İncelenmesi
Koçak, E. (2019)	Türkiye'deki Devlet Üniversitelerinin Performanslarının İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi İle İncelenmesi
Apaydın Avşar, B. (2017)	Türk İmalat Sanayi Firmalarının Etkinliklerinin Çok Periyotlu İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi ve Malmquist Endeks Yöntemiyle İncelenmesi
Kandemir, M. (2016)	Ankara'daki Hastanelerin Etkinliğinin İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi İle İncelenmesi
Karaoğlu, M.K. (2015)	Türkiye'deki Havaalanlarının Etkinliklerinin Malmquist İndeks Ve Çoklu Periyodlu İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi İle İncelenmesi

Ülkemizde ve Dünya'da enerji alanında İki Aşamalı VZA yapısını kullanarak yapılan çalışmalara ise, Tablo 4.2.'de yer verilmiştir. Bu çalışmaların bazılarında ilk aşamada klasik VZA analizi yapılırken ikinci aşamalarında farklı analiz yöntemleri uygulanmıştır.

Tablo 4.2: Enerji alanında yayımlanan iki aşamalı VZA çalışmaları listesi

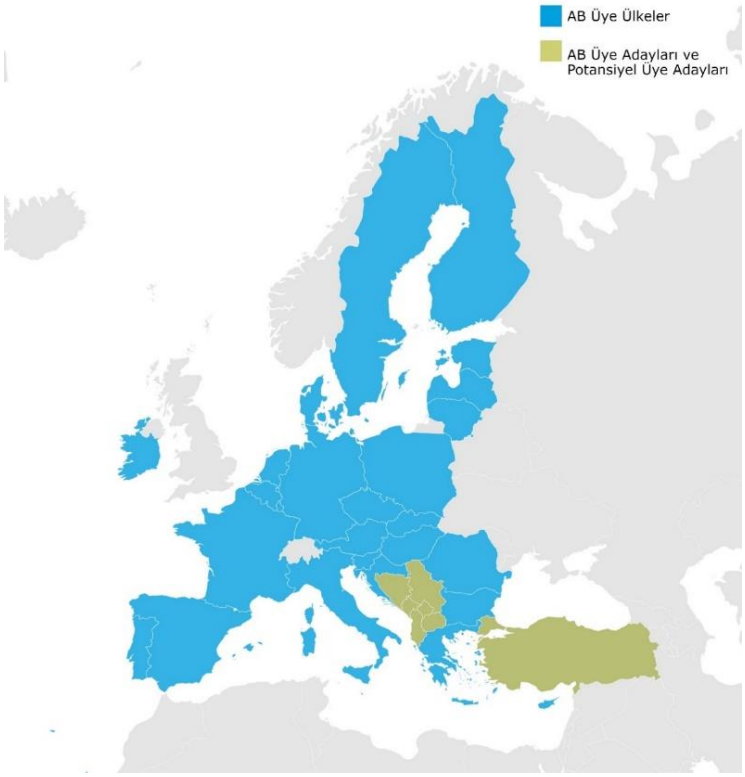
Yazar/Yıl	Girdi Değişkenleri	Çıktı Değişkenleri	İstenmeyen Çıktı
Wu, J., Xiong, B., An, Q., Sun, J. ve Wu, H. (2015)	Endüstriyel işgücü, endüstriyel sermaye, endüstriyel enerji tüketimi endeksleri, endüstriyel kirlilik arıtma yatırımı	Brüt endüstriyel çıktı değeri (GIOV), katı atık, atık su ve atık gaz (POVW)	Katı atıklar (ISWG), boşaltılan endüstriyel atık su (IWWD) ve yayılan endüstriyel atık gaz (IWGE) endeksleri
Makridoua, G, Andriosopoulosb, K., Doumposc, M. ve Zopounidisc, C. (2015)	Toplam enerji tüketimi, sermaye stoku, iş gücü, yerli malzeme tüketimi, enerji tüketim değerleri, işgücü, sermaye	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH), endüstri, hizmetler	
Halkos, G. E., Tzeremes, N. G. ve Kourtzidis, S. A. (2015)	Üretim verimliliği: Sermaye stoku ve emek Eko-verimlilik: GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH)	CO_2 ve belediye atıkları
Wang, Q., Hang, Y., Sun, L. ve Zhao, Z. (2016)	Sabit varlıklar, personel ücretleri, Ar-Ge maliyetleri, kar, market değeri	Yazılım varlıkları, gelirler	
Jebali, E., Essid, H. ve Khraief, N. (2017)	İş gücü, brüt sabit sermaye oluşumu (sermaye stoku), gelir düzeyi, yenilenebilir enerji kullanım oranı ve nüfus yoğunluğu	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH)	
Ervural, B. C., Zaim, S. ve Delen, D. (2018)	Toplam yenilenebilir enerji potansiyeli, enerji şebeke uzunluğu, mevcut yenilenebilir enerji kapasitesi, trafo kapasitesi	Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi, tüketici sayısı, GSYİH, toplam ihracaat, 1/İGE, 1/toplam enerji üretimi, 1/nüfus, 1/kara alanı	
Borozan, D. (2018)	Sermaye, emek, enerji, resesyon, işsizlik, iklim koşulları, gelişme seviyesi	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH), kişi başına enerji, enerji yoğunluğu	
Kiani Mavi, R., Saen, R. F. ve Goh, M. (2018)	Eko-verimlilik: İş gücü, enerji tüketimi, arazi alanı Eko-inovasyon: GSYİH ve toplam yeşil gaz emisyonu	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH), Ar-Ge, yüksek teknoloji ihracatı, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi	GHG emisyonları

Shao, L., Yu, X. ve Feng, C. (2019)	Üretim süreci: enerji, emek ve sermaye Atık su arıtma süreci: COD üretimi, NH3-H üretimi Atık gaz arıtma işlemi: SO2 üretimi, duman tozu üretimi	Endüstriyel katma değer, COD giderimi ve NH3-H giderimi SO2 giderme ve duman tozu	CO_2, katı atık, COD üretimi, NH3-H üretimi, SO2 üretimi ve duman tozu oluşumu
Ouyang, W. ve Yang, J. (2020)	Gelir, nüfus, devlet harcamaları, petrol tüketimi, kömür tüketimi, gaz tüketimi, kara alanı (harici), işgücü, enerji	Harcama, İGE, GSYİH	CO_2, İşgücü

4.4. Araştırmanın Modeli ve Veri Seti

Çalışma kapsamında resmi olarak Avrupa Birliği tarafından üye olarak kabul edilen ülkeler ile üyelik müzakerelerinin devam ettiği aday ülkelere ait veriler analizlerde kullanılmıştır. Avrupa Birliği'ne üye ve aday ülke listesi Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

Şekil 4.1: Avrupa Birliği'ne üye ve aday ülkeler



Kaynak: https://www.avrupa.info.tr/tr/etkilesimli-avrupa-haritasi-9

Çalışmada analiz yapılacak ülkeler belirlenirken Avrupa Birliği'ne üye, üye adayları ve potansiyel aday ülkelerin içinde olduğu 34 ülkeye Avrupa Birliği Türkiye Delegasyonu internet sitesi üzerinden ulaşılmıştır. Analiz aşamasında Kosova, verilerinin yetersiz olması sebebiyle analize dâhil edilememiştir. Analizde kullanılacak ülkelere ait liste Tablo 4.3'de gösterilmektedir.

Tablo 4.3: Avrupa Birliği'ne üye ve aday ülkeler listesi

Avrupa Birliği'ne Üye ve Aday Ülkeler Listesi	
AVUSTURYA	LÜKSEMBURG
BELÇİKA	MALTA
BULGARİSTAN	HOLLANDA
HIRVATİSTAN	POLONYA
KIBRIS	PORTEKİZ
ÇEKYA	ROMANYA
DANİMARKA	SLOVAKYA
ESTONYA	SLOVENYA
FİNLANDİYA	İSPANYA
FRANSA	İSVEÇ
ALMANYA	* TÜRKİYE
YUNANİSTAN	* KUZEY MAKEDONYA
MACARİSTAN	* ARNAVUTLUK
İRLANDA	* SIRBİSTAN
İTALYA	* BOSNA HERSEK
LETONYA	* KARADAĞ
LİTVANYA	* KOSOVA (*Analize dâhil edilmemiştir.*)

** AB Üye Adayları ve Potansiyel Üye Adayları*

Kaynak: https://www.avrupa.info.tr/tr/etkilesimli-avrupa-haritasi-9

Bu çalışmada oluşturulan model Şekil 4.2'de birinci aşama ve ikinci aşama olacak şekilde tasarlanmıştır. Model yapısı, aşamaların etkinliklerinin belirlenmesi sonrasında genel performans değerlendirilmesi ile yapılacaktır.

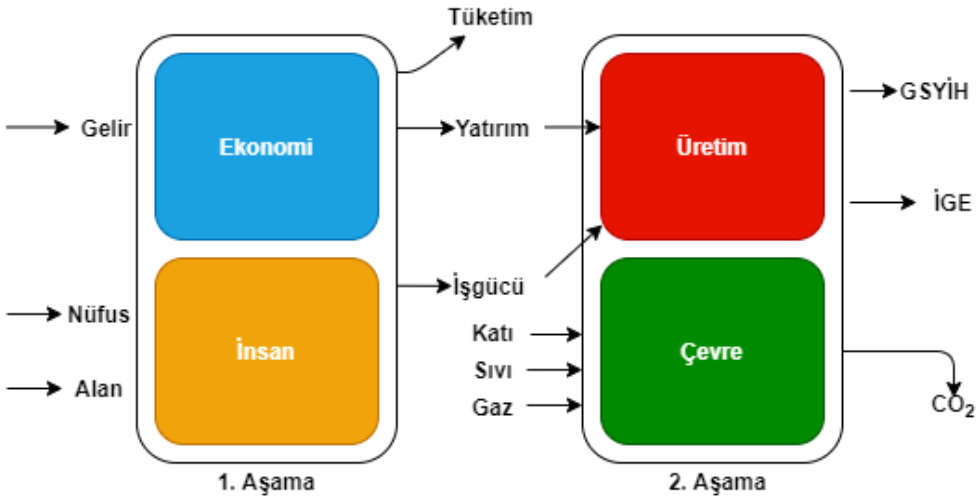
20. yüzyıl sonlarına doğru küresel iklim değişikliğinin göz ardı edilemez boyutlara ulaşması sebebiyle ekonomik çıkarlar ve artan üretimle birlikte "Enerji - Ekonomi – Çevre" (Energy – Economy – Environment (3E)) faktörleri bir bütün olarak gözlemlenmeye çalışılmaktadır. Dünya'da yaşanan iklim değişikliklerinin kaçınılmaz sonucu olarak yasal zorunluluklar ve düzenlemeler getirilmiştir (Çoban ve Şahbaz

Kılınç, 2015). Bu çalışmada da modeli oluşturacak ana süreçler 3E faktörü çerçevesinde belirlenmeye çalışılmıştır.

Modelin yapısı enerji, ekonomi ve çevre süreçlerinin tam ve kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi şeklinde belirlenmiştir. Standart olarak içyapıya sahip olmayan tek aşamalı VZA modeline karşın oluşturulan İki Aşamalı Network VZA modeli ile sistemin eko-verimliliğinin detaylı bir şekilde analiz edilebileceği düşünülmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalarda klasik VZA yapısı için temel girdi ve çıktı değişkenleri ile Tablo 4.2.'de yer alan çalışmalarda kullanılan değişkenler ışığında Şekil 4.2' de oluşturulan model üzerinde girdi ve çıktı değişkenleri gösterilmektedir.

Şekil 4.2: Model yapısı



Modelde 6 adet girdi $(X_1, \dots, X_6)$ ve 3 adet çıktı $(Y_1, \dots, Y_3)$ tanımlanmıştır. Modelde ekonomi boyutunda gelir (X_1) girdi ve yatırım (Z_1) ile tüketim (Z_2) çıktı; insan boyutunda nüfus (X_2) ile alan (X_3) girdi ve işgücü (Z_3) çıktı; üretim boyutunda yatırım (Z_1) ile işgücü (Z_3) ara girdi ve GSYİH (Y_1) ile İGE (Y_2) çıktı; çevre boyutunda ise, katı (X_4), sıvı (X_5) ile gaz (X_6) tüketimleri girdi ve CO_2 (Y_3) çıktı değişkeni olarak belirlenmiştir. (15)'de yer alan amaç fonksiyonu üzerinden ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında çıktı yönelimli BCC modeli kullanılmıştır.

Enerjinin sürdürülebilirliği Birleşmiş Milletlerin kalkınma hedefleri arasında toplumların her kesimince uygun fiyatlara erişilebilir, güvenilir ve modern enerji kaynaklarını korumak yer almaktadır (Dağlıoğlu Şanlı ve Armağan, 2017). Bu nedenle ekonomi kriteri, enerji rezervlerine sahip olma durumu ya da enerji rezervine sahip olmayan ülkelerin satın alma gücü açısından büyük önem taşımaktadır. Ülkelerin enerji yatırımları ve insanların gelir durumları enerjiye ulaşabilirlik bakımından bir kıstas olarak karşımıza çıkmaktadır. Yatırımların karşılığının alınması ve katma değerli çıktı haline dönüşmesi açısından üretim için enerji vazgeçilmez bir unsurdur. Modelde ekonomi sürecinde gelir, girdi değişkenidir. Ekonomi bölümünün çıktı değişkenleri yatırım ve tüketim iken yatırım değişkeni ara girdi olarak üretim bölümünde kullanılmaktadır. Üretim bölümünde Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) ise, çıktı değişkeni olarak ele alınmıştır.

Fosil yakıtların kullanımı sonucunda doğrudan CO_2 salınımı ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden girdi olarak enerji tüketimi ele alındığında doğal bir döngü olarak CO_2 salınımı istenmeyen çıktı haline gelmektedir (Şimşek, 2011). Enerji sürecinde de fosil yakıt olarak katı, sıvı ve gaz yakıt tüketimleri girdi değişkeni ve CO_2 emisyonu ise, istenmeyen çıktı değişkeni şeklinde belirlenmiştir.

İnsani Gelişme Endeksi (İGE), bir ülkenin ortalama kazanımlarını insani gelişmenin sağlık, bilgi ve gelirden oluşan 3 (üç) temel alanda ölçen karma bir endekstir. Ülkelerin kalkınma durumlarının karşılaştırılması esnasında ekonomik yapıların tek ölçüt olmadığının, esas kıstasın kişiler ve donanımları olduğunu vurgulamak için İGE geliştirilmiştir. Aynı Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) düzeyine sahip ülkelerin ulusal politikalar nedeniyle İGE sonuçlarının farklı olduğu görülebilmektedir (https://www.tr.undp.org/). Bir ülkenin kalkınmasında eğitim ve sağlık alanında yapılan yatırımlar bireysel farkındalığın artmasına katkı sunarken üretim ve teknoloji alanında yapılacak gelişmelere de yön vermektedir (Yılmaz ve Danışoğlu, 2017). Bu nedenle, İGE sürdürülebilir kalkınmada önemli etken olduğundan üretim bölümünde bir çıktı değişkeni olarak belirlenmiştir.

Ayrıca, ülkelerin coğrafi yapısı ve enerjiyi tüm noktalara dağıtma durumları göz önüne alındığında belirli bölgelerdeki nüfus yoğunluğu ve fiziki ulaşılabilirlik önemli bir

kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle kara alanı modelde insan boyutunda girdi olarak ele alınmaktadır.

Uluslararası Çalışma Örgütü'ne göre işgücü, ekonomik anlamda aktif nüfus içerisinde yer alan 15-64 yaş arasındaki bireyleri ifade etmektedir. Nüfus ile alan girdi değişkeni olarak ele alınırken işgücü çıktı değişkeni olarak belirlenmiştir.

Girdi ve çıktı değişkenlerine ilişkin veriler belirlenirken analize uygun ve tüm verilere eksiksiz bir şekilde ulaşılan 2018 yılı üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. 2019 yılı ve sonrasına ait birçok değişekene ait veriye ulaşılmasına karşın verilerde gerek ülke bazında gerekse değişken bazında eksiklikler bulunduğundan 2018 yılına ait verileri kullanmann daha sağlıklı olacağı düşünülmüştür.

Nüfus, GSYİH, işgücü, kara alanı, gelir ve tüketim verileri Dünya Bankası veri merkezinden temin edilmiştir. İnsani Gelişim endeksi (İGE) verisi Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) veri sisteminden alınmıştır. Yatırım verisi ise, yine Birleşmiş Milletlerin bir kolu olan Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTAD) internet sitesinden temin edilmiştir. Fosil yakıtların tüketimine ilişkin katı, sıvı ve gaz yakıtların tüketimi özelindeki verilere Avrupa İstatistik Ofisi (Eurostat) üzerinden ulaşılmıştır. CO_2 Emisyon değerlerine ise, birçok resmi kaynakta yer verilmesine karşın eksiksiz bir şekilde sadece Küresel Karbon Atlası (Global Carbon Atlas) internet sitesi üzerinden ulaşılmıştır.

Avrupa Birliği ülkelerine ait veriler Dünya Bankası, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı, Avrupa İstatistik Ofisi, Küresel Karbon Atlası ve Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı resmi sitelerinden alınmıştır. Çalışmada yapılan analizlere ait veri tablolarına Ek-2'de yer verilmektedir.

4.5.Araştırma Verilerinin Analiz Edilmesi

Analizde 33 karar verme birimine ait 13 değişken kullanılmıştır. Analizde kullanılacak girdi ve çıktı değişkenlerinin tanımlayıcı istatistik değerleri Tablo 4.4'de yer almaktadır.

Tablo 4.4: Girdi ve çıktı değişkenlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler	Max	Min	Ortalama	Std.
Gelir	70.910,0	4.860,0	27.602,1	18.632,1
Nüfus	82.905.782,0	484.630,0	16.514.408,8	23.426.843,4
Kara Alanı	769.630,0	320,0	150.640,1	182.587,9
Toplam Enerji Tüketimi	314.425,3	844,5	50.193,7	73.102,7
Katı Yakıt	69.738,6	0,1	8.008,6	15.227,2
Sıvı Yakıt	108.490,2	130,5	16.922,9	24.755,2
Gaz Yakıt	73.552,2	0,1	11.157,4	17.767,8
Tüketim	2.845.252.443.289,4	5.063.166.036,8	376.643.192.404,6	641.870.340.054,5
Yatırım	114.305,7	0,1	12.641,7	23.898,0
İGE	0,942	0,759	0,869	0,050
İşgücü	43.560.137,0	235.579,0	7.770.522,2	10.822.337,7
GSYİH	3.949.548.833.952,9	5.506.766.650,9	509.315.062.995,1	859.833.715.191,7
CO2 Emisyonları	0,632	0,001	0,074	0,135

Ülkelerin gelir durumuna bakıldığında Lüksemburg, Danimarka, İrlanda, İsveç, Hollanda, Avusturya, Finlandiya, Almanya, Belçika, Fransa, İtalya ve İspanya'nın da aralarında bulunduğu 12 ülke vatandaşının ortalamanın üstünde gelire sahip olduğu görülmektedir.

33 karar verme biriminden 6'sının (Letonya, Estonya, Kıbrıs, Karadağ, Lüksemburg ve Malta) nüfusunun 2 milyonunun altında olduğu görülmektedir. Benzer şekilde kara alanı olarak da Letonya ve Estonya dışında Kıbrıs, Karadağ, Lüksemburg ve Malta 20.000 km2'nin altında bir yüzölçümüne sahiptir.

Toplam enerji tüketimin sadece Almanya ve Fransa %34'ünü oluştururken bu ülkelere İtalya, Türkiye, İspanya, Polonya, Hollanda, Belçika ve İsveç eklendiğinde %67'lik bir paya sahip oldukları görülmekle birlikte bu ülkeler ortalamanın üstünde enerji tüketmektedirler. Elbette gelişmiş sanayi yapıları ve üretimdeki payları düşünüldüğünde enerji tüketimi büyüklükleri olağan karşılanmaktadır. Nüfus ve alan açısından küçük ülkelerin enerji tüketimlerinin de benzer şekilde düşük olduğu

gözlemlenmektedir. Ayrıca, ülkeler bazında enerji tüketimi oranları ile yatırım ve tüketim verileri karşılaştırıldığında hemen hemen paralellik bulunmaktadır.

Katı, sıvı ve gaz yakıtları tüketimi ülkeler bazında incelendiğinde toplam enerji tüketimleri açısından sanayisi gelişmiş ülkelerin benzer şekilde tüketimlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Ancak, toplam enerji tüketiminde üst sıralarda yer alan İsveç'in katı ve gaz yakıt tüketiminde ortalamanın çok altında olduğu görülmektedir. Ayrıca, Çek Cumhuriyeti'nin katı yakıt tüketiminde de ortalamanın çok üstünde Almanya, Polonya ve Türkiye'den sonra geldiği görülmektedir. Belçika'nın da sıvı ve gaz yakıt tüketiminde üst sıralarda yer almasına karşın katı yakıt tüketim değerleri düşüktür. Enerji tüketim değerlerinin birçok kaynakta tam olarak doğru kayıt altına alınmadığı varsayılsa da ülkelerin ekonomik yapısı, kaynakları, konumu vb. durumlara göre tükettikleri enerji türü farklılık göstermektedir.

İnsani Gelişim Endeksi (İGE) incelendiğinde dikkat çekici şekilde Avrupa Birliği üyeliğine aday ülkelerin ortalamanın altında kaldığı gözlemlenmektedir. İGE sıralamasında İrlanda, Almanya ve İsveç ilk sıralarda yer almaktadır. İGE sıralaması ile gelir ve GSYİH değişkenleri karşılaştırıldığında sıralamalar bir miktar değişkenlik göstermesine karşın benzerlik söz konusudur.

Ülkelerin CO_2 emisyonlarının büyüklüğü, sanayi yapıları ve kullandıkları enerji türü ile doğrudan ilişkilidir. CO_2 emisyon değerleri ülkelerin toplam enerji tüketimlerine bağlı olmasının yanı sıra tüketim alışkanlıkları, temiz enerji kullanımı gibi birçok faktörün bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Bu değişkende katı yakıt tüketimindeki fazlalık sebebiyle Çek Cumhuriyeti diğer ülkelere nazaran üst sıralarda yer almaktadır.

Modelde belirlenen girdi ve çıktı değişkenleri analizde kullanmadan önce aralarındaki korelasyon incelenmiştir. Girdi ve çıktı değişkenleri üzerinden yapılan korelasyon analizi sonuçları Tablo 4.5.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.5: Girdi ve çıktı değişkenlerine ait korelasyon analizi sonuçları

	Gelir	Nüfus	Kara Alanı	Toplam Enerji Tüketimi	Katı Yakıt	Sıvı Yakıt	Gaz Yakıt
Tüketim	0,323	0,859	0,603	0,967	0,635	0,970	0,914
Yatırım	0,300	0,552	0,288	0,657	0,455	0,707	0,726
İGE	0,872	0,130	0,089	0,295	0,117	0,320	0,259
İşgücü	0,127	0,992	0,809	0,967	0,802	0,962	0,938
GSYİH	0,343	0,854	0,594	0,966	0,653	0,971	0,914
CO2 Emisyonları	-0,203	-0,329	-0,351	-0,328	-0,258	-0,323	-0,309

CO_2 emisyonları hariç tüm değişkenler arasında pozitif yönlü, orta düzey ve üzerinde bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca, CO_2 emisyonları ile tüm değişkenler arasında negatif yönlü orta düzey ve üzerinde bir ilişki bulunmaktadır. Bunun sebebi CO_2 salınımının istenmeyen çıktı olarak modele dâhil edilmiş olmasıdır. Ancak, enerji ve nüfus ile ilişkili girdiler arasında kuvvetli bir bağlantı bulunmaktadır.

Modele İki Aşamalı Network VZA yöntemi uygulanmadan önce girdi ve çıktı değişkenlerine tek aşamalı klasik VZA yöntemi uygulanmıştır. Modelde sabit miktarda girdi ile üretilebilecek en yüksek miktardaki çıktı için ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında çıktı yönelimli BCC modeli kullanılmıştır (Keskin, 2017). Mevcut enerji uygulamalarının hayata geçirilmesi sonrasında girdi olarak değerlendirilen değişkenlerin azaltılması çıktıların azalmasına yardımcı olmayacaktır. Bu nedenle, enerji etkinliklerinin değerlendirilmesinde çıktıya yönelik modeller tercih edilmesi anlizlerin doğruluğu konusunda daha fazla fayda sağlamaktadır. Ayrıca, analizler DEA Solver V8 programı yardımıyla çıktı yönlü BCC modeli kullanılarak yapılmıştır.

Analiz sonuçları Tablo 4.6'da yer almaktadır. Bu analizde girdi değişkeni gelir, nüfus, kara alanı, katı, sıvı ve gaz yakıt tüketimleri alınmaktadır. Ayrıca yine analizde çıktı değişkeni olarak yatırım, tüketim, İGE, GSYİH ve CO_2 emisyon verileri kullanılmaktadır.

Tablo 4.6: Klasik VZA sonuçları

No	Ülke	Etkinlik Değeri	No	Ülke	Etkinlik Değeri
1	Avusturya	0,989	**18**	Portekiz	1
2	Belçika	0,994	**19**	Romanya	1
3	Bulgaristan	0,993	**20**	Slovak Cumhuriyeti	0,989
4	Hırvatistan	0,987	**21**	Slovenya	1
5	Kıbrıs	1	**22**	İspanya	1
6	Çek Cumhuriyeti	1	**23**	İsveç	1
7	Danimarka	1	**24**	Türkiye	1
8	Estonya	1	**25**	Finlandiya	1
9	Fransa	0,960	**26**	İrlanda	1
10	Almanya	1	**27**	Lüksemburg	1
11	Yunanistan	1	**28**	Kuzey Makedonya	1
12	Macaristan	0,995	**29**	Sırbistan	0,998
13	İtalya	1	**30**	Bosna Hersek	0,964
14	Letonya	1	**31**	Arnavutluk	1
15	Litvanya	1	**32**	Malta	1
16	Hollanda	1	**33**	Karadağ	1
17	Polonya	1			
	Ortalama Etkinlik	**0,996**			

Ülkelerin enerji etkinliklerinin tek aşamalı VZA ile incelenmesi sonucunda örneklemde yer alan 33 ülkeden 24'ü etkin olarak bulunmuştur. Aynı uygulama toplam enerji ile katı, sıvı ve gaz yakıtların değişken olarak kullanılması arasında farklılık olup olmadığı gözlemlemek adına yapılmış ve sonuçların birebir aynı olduğu belirlenmiştir. Ortalama etkinlik değeri 0,996 olarak hesaplamıştır.

İki aşamalı VZA' nın her aşamasında standart VZA uygulandığından bu modelde 33 ülkeden 24'ünün gerçekten etkin olup olmadığı incelenmektedir. Özsoy ve Bal' a (2019) göre, klasik VZA modelleri KVB'nin içyapısında gerçekleşen işlemleri dikkate almadığından, iki aşamalı VZA ile eş karar verme birimlerinin her birinin göreceli verimlilikleri değerlendirilmektir (Sexton and Lewis, 2003). Diğer bir ifadeyle, karar verme birimlerinin kararlarını etkileyecek göstergelerin verimliliklerini ölçmektedir.

Model yapısına ait boyutların analizi yapılmadan önce modelin birinci ve ikinci aşamasında yer alan boyutlar bütün olarak değerlendirilecektir. Bu değerlendirme sayesinde İki Aşamalı Network VZA yapısında yer alan alt boyutlara ait etkinlikler klasik İki Aşamalı VZA sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır. Bu analizde ilk aşamada çıktı

olarak belirlenen değişkenler ara girdi olarak ele alınmıştır. Analizin 1. aşamasında girdi değişkeni olarak gelir, nüfus ve kara alanı, çıktı değişkeni olarak yatırım, tüketim ve işgücü verileri kullanılmaktadır. Analizin 2. aşamasında girdi değişkeni olarak yatırım (ara girdi), işgücü (ara girdi), katı, sıvı ve gaz yakıt verileri, çıktı değişkeni olarak İGE, GSYİH ve CO_2 emisyon verileri ele alınmaktadır. Bu aşamalara ait analiz sonuçları Tablo 4.7'de gösterilmektedir.

Tablo 4.7: Aşamalara ait VZA uygulama sonuçları

No	Ülke	Etkinlik Değeri	No	Ülke	Etkinlik Değeri
1	Avusturya	0,978	**1**	Avusturya	0,970
2	Belçika	0,964	**2**	Belçika	0,977
3	Bulgaristan	0,928	**3**	Bulgaristan	0,886
4	Hırvatistan	0,845	**4**	Hırvatistan	0,918
5	Kıbrıs	1	**5**	Kıbrıs	1
6	Çek Cumhuriyeti	0,976	**6**	Çek Cumhuriyeti	0,946
7	Danimarka	1	**7**	Danimarka	1
8	Estonya	1	**8**	Estonya	1
9	Fransa	0,937	**9**	Fransa	1
10	Almanya	1	**10**	Almanya	1
11	Yunanistan	0,853	**11**	Yunanistan	0,926
12	Macaristan	0,927	**12**	Macaristan	0,897
13	İtalya	0,845	**13**	İtalya	1
14	Letonya	0,995	**14**	Letonya	0,954
15	Litvanya	1	**15**	Litvanya	0,955
16	Hollanda	1	**16**	Hollanda	0,996
17	Polonya	1	**17**	Polonya	0,926
18	Portekiz	0,973	**18**	Portekiz	0,902
19	Romanya	0,930	**19**	Romanya	0,866
20	Slovak Cumhuriyeti	0,962	**20**	Slovak Cumhuriyeti	0,936
21	Slovenya	0,946	**21**	Slovenya	0,997
22	İspanya	0,968	**22**	İspanya	0,963
23	İsveç	1	**23**	İsveç	1
24	Türkiye	1	**24**	Türkiye	0,857
25	Finlandiya	0,945	**25**	Finlandiya	1
26	İrlanda	0,920	**26**	İrlanda	1
27	Lüksemburg	1	**27**	Lüksemburg	1
28	Kuzey Makedonya	1	**28**	Kuzey Makedonya	0,895
29	Sırbistan	0,995	**29**	Sırbistan	0,873
30	Bosna Hersek	0,828	**30**	Bosna Hersek	0,911
31	Arnavutluk	1	**31**	Arnavutluk	1
32	Malta	1	**32**	Malta	1
33	Karadağ	1	**33**	Karadağ	1
	Ortalama Etkinlik	**0,961**		**Ortalama Etkinlik**	**0,956**
	1.Aşama (Ekonomi ve İnsan Boyutu)			**2.Aşama (Üretim ve Çevre Boyutu)**	

Tablo 4.7'de ülkelerin enerji etkinlikleri incelenirken aşamalara ait alt boyutlar birlikte analiz edildiğinde 1.aşamada 33 ülkeden 14 ülke etkin iken 2. aşamada 13 ülkenin etkin olduğu gözlemlenmektedir. Ortalama etkinlik değerleri ise, birbirlerine yakın olmakla birlikte sırasıyla 0,961 ve 0,956 olarak hesaplanmıştır. Litvanya, Hollanda, Polonya, Türkiye ve Makedonya 1. aşamada etkin iken 2. aşamada etkin değildir. Fransa, İtalya, Finlandiya ve İrlanda ülkeleri ise 1 aşamada etkin değil iken, 2. aşamada etkin olarak gözlemlenmektedir.

Modelin birinci aşamasında yer alan ekonomi boyutunun etkinliğinin ölçülebilmesi için girdi değişkeni olarak gelir, çıktı değişkeni olarak yatırım ve tüketim verileri ile gerçekleştirilen analiz sonuçları Tablo 4.8'de gösterilmektedir.

Tablo 4.8: Ekonomi boyutu VZA uygulama sonuçları

No	Ülke	Etkinlik Değeri	No	Ülke	Etkinlik Değeri
1	Avusturya	0,114	**18**	Portekiz	0,192
2	Belçika	0,213	**19**	Romanya	0,395
3	Bulgaristan	0,124	**20**	Slovak Cumhuriyeti	0,076
4	Hırvatistan	0,061	**21**	Slovenya	0,034
5	Kıbrıs	0,119	**22**	İspanya	0,884
6	Çek Cumhuriyeti	0,295	**23**	İsveç	0,140
7	Danimarka	0,089	**24**	Türkiye	1
8	Estonya	0,037	**25**	Finlandiya	0,074
9	Fransa	0,872	**26**	İrlanda	0,058
10	Almanya	1	**27**	Lüksemburg	0,012
11	Yunanistan	0,169	**28**	Kuzey Makedonya	0,268
12	Macaristan	0,339	**29**	Sırbistan	0,831
13	İtalya	0,823	**30**	Bosna Hersek	0,196
14	Letonya	0,038	**31**	Arnavutluk	0,999
15	Litvanya	0,044	**32**	Malta	0,075
16	Hollanda	1	**33**	Karadağ	0,050
17	Polonya	0,671			
	Ortalama Etkinlik	**0,3421**			

Tablo 4.8'de ülkelerin enerji etkinliklerinde ekonomi boyutunun verimliliği incelendiğinde örneklemde yer alan 33 ülkeden Almanya, Hollanda ve Türkiye etkin olarak bulunmuştur. Ortalama etkinlik değeri 0,324 olarak hesaplamıştır.

Yine modelin birinci aşamasında yer alan insan boyutunun etkinliğinin ölçülebilmesi için girdi değişkeni olarak nüfus ve kara alanı, çıktı değişkeni olarak da işgücü değişkenine ait verilerle gerçekleştirilen analiz sonuçları Tablo 4.9'da gösterilmektedir.

Tablo 4.9: İnsan boyutunun VZA uygulama sonuçları

No	Ülke	Etkinlik Değeri	No	Ülke	Etkinlik Değeri
1	Avusturya	0,972	**18**	Portekiz	0,957
2	Belçika	0,832	**19**	Romanya	0,871
3	Bulgaristan	0,885	**20**	Slovak Cumhuriyeti	0,945
4	Hırvatistan	0,821	**21**	Slovenya	0,941
5	Kıbrıs	1	**22**	İspanya	0,934
6	Çek Cumhuriyeti	0,958	**23**	İsveç	0,993
7	Danimarka	0,972	**24**	Türkiye	0,759
8	Estonya	1	**25**	Finlandiya	0,929
9	Fransa	0,863	**26**	İrlanda	0,916
10	Almanya	1	**27**	Lüksemburg	0,996
11	Yunanistan	0,836	**28**	Kuzey Makedonya	0,866
12	Macaristan	0,904	**29**	Sırbistan	0,867
13	İtalya	0,819	**30**	Bosna Hersek	0,742
14	Letonya	0,971	**31**	Arnavutluk	0,862
15	Litvanya	0,983	**32**	Malta	1
16	Hollanda	1	**33**	Karadağ	0,886
17	Polonya	0,916			
	Ortalama Etkinlik	**0,915**			

Tablo 4.9'da ülkelerin enerji etkinliklerinde insan boyutunun verimliliği incelendiğinde örneklemde yer alan 33 ülkeden Kıbrıs, Estonya, Almanya, Hollanda ve Malta etkin olarak bulunmuştur. Ortalama etkinlik değeri 0,915 olarak hesaplamıştır.

Modelin ikinci aşamasında yer alan üretim boyutunun etkinliğinin ölçülebilmesi için girdi değişkeni olarak işgücü ve yatırım, çıktı değişkeni olarak da GSYİH ve İGE verileri ile gerçekleştirilen analiz sonuçları Tablo 4.10'da gösterilmektedir.

Tablo 4.10: Üretim boyutunun VZA uygulama sonuçları

No	Ülke	Etkinlik Değeri	No	Ülke	Etkinlik Değeri
1	Avusturya	0,970	**18**	Portekiz	0,902
2	Belçika	0,976	**19**	Romanya	0,866
3	Bulgaristan	0,866	**20**	Slovak Cumhuriyeti	0,910
4	Hırvatistan	0,897	**21**	Slovenya	0,980
5	Kıbrıs	0,955	**22**	İspanya	0,949
6	Çek Cumhuriyeti	0,946	**23**	İsveç	0,995
7	Danimarka	0,987	**24**	Türkiye	0,857
8	Estonya	0,964	**25**	Finlandiya	0,982
9	Fransa	1	**26**	İrlanda	1
10	Almanya	1	**27**	Lüksemburg	1
11	Yunanistan	0,926	**28**	Kuzey Makedonya	0,826
12	Macaristan	0,897	**29**	Sırbistan	0,848
13	İtalya	0,957	**30**	Bosna Hersek	0,831
14	Letonya	0,928	**31**	Arnavutluk	0,855
15	Litvanya	0,937	**32**	Malta	1
16	Hollanda	0,992	**33**	Karadağ	1
17	Polonya	0,926			
	Ortalama Etkinlik	**0,937**			

Tablo 4.10'da ülkelerin enerji etkinliklerinde üretim boyutunun verimliliği incelendiğinde örneklemde yer alan 33 ülkeden Fransa, Almanya, İrlanda, Lüksemburg, Malta ve Karadağ etkin olarak bulunmuştur. Ortalama etkinlik değeri 0,937 olarak hesaplamıştır.

Yine modelin ikinci aşamasında yer alan çevre boyutunun etkinliğinin ölçülebilmesi için girdi değişkeni olarak katı, sıvı ve gaz yakıtları, çıktı değişkeni olarak CO_2 emisyonlarına ait verilerle gerçekleştirilen analiz sonuçları Tablo 4.11'de gösterilmektedir.

Tablo 4.11: Çevre boyutunun VZA uygulama sonuçları

No	Ülke	Etkinlik Değeri	No	Ülke	Etkinlik Değeri
1	Avusturya	0,023	**18**	Portekiz	0,031
2	Belçika	0,016	**19**	Romanya	0,021
3	Bulgaristan	0,036	**20**	Slovak Cumhuriyeti	0,044
4	Hırvatistan	0,085	**21**	Slovenya	0,110
5	Kıbrıs	1	**22**	İspanya	0,006
6	Çek Cumhuriyeti	0,015	**23**	İsveç	0,039
7	Danimarka	0,046	**24**	Türkiye	0,004

8	Estonya	1	**25**	Finlandiya	0,034
9	Fransa	0,005	**26**	İrlanda	0,041
10	Almanya	0,002	**27**	Lüksemburg	0,165
11	Yunanistan	0,021	**28**	Kuzey Makedonya	0,232
12	Macaristan	0,032	**29**	Sırbistan	0,035
13	İtalya	0,005	**30**	Bosna Hersek	0,078
14	Letonya	0,220	**31**	Arnavutluk	0,529
15	Litvanya	0,117	**32**	Malta	1
16	Hollanda	0,010	**33**	Karadağ	1
17	Polonya	0,005			
	Ortalama Etkinlik	**0,182**			

Tablo 4.11'de ülkelerin enerji etkinliklerine ilişkin çevre boyutunun verimliliği incelendiğinde örneklemde yer alan 33 ülkeden Kıbrıs, Estonya, Malta ve Karadağ etkin olarak bulunmuştur. Ortalama etkinlik değeri 0,182 olarak hesaplanmıştır.

Ülkelerin nüfus ve kara alanı açısından karşılaştırılması yapılarak küçük ülkelerin genele etkisini gözlemlemek için de ayrı bir değerlendirme yapılacaktır. Avrupa Birliği'ne aday ülke konumunda olan Türkiye hariç Kuzey Makedonya, Arnavutluk, Sırbistan, Karadağ ve Bosna Hersek ile nüfusu ve kara alanı diğer ülkelere nazaran daha küçük olan Kıbrıs, Malta ve Lüksemburg analize dahil edilmeden çevre boyutu tekrar değerlendirildiğinde sadece Estonya ve Letonya etkin olarak bulunmaktadır. Ortalama etkinlik değeri 0,228 olarak hesaplanmıştır.

Modelin Network VZA ile genel etkinliğinin ölçülebilmesi için girdi değişkeni olarak gelir, nüfus, alan, katı, sıvı ve gaz yakıtları, çıktı değişkeni olarak GSYİH, İGE ve CO_2 emisyonlarına ait verilerle gerçekleştirilen analiz sonuçları Tablo 4.12'de gösterilmektedir.

Tablo 4.12: Network VZA sonuçları

No	**Ülke**	**Etkinlik Değeri**	**No**	**Ülke**	**Etkinlik Değeri**
1	Avusturya	0,983	**18**	Portekiz	0,959
2	Belçika	1	**19**	Romanya	0,985
3	Bulgaristan	0,994	**20**	Slovak Cumhuriyeti	0,985
4	Hırvatistan	0,987	**21**	Slovenya	1
5	Kıbrıs	1	**22**	İspanya	1
6	Çek Cumhuriyeti	1	**23**	İsveç	1
7	Danimarka	1	**24**	Türkiye	1

8	Estonya	1	**25**	Finlandiya	0,997
9	Fransa	1	**26**	İrlanda	1
10	Almanya	1	**27**	Lüksemburg	1
11	Yunanistan	0,996	**28**	Kuzey Makedonya	1
12	Macaristan	0,994	**29**	Sırbistan	0,995
13	İtalya	1	**30**	Bosna Hersek	0,965
14	Letonya	1	**31**	Arnavutluk	1
15	Litvanya	1	**32**	Malta	1
16	Hollanda	1	**33**	Karadağ	1
17	Polonya	1			
	Ortalama Etkinlik	**0,995**			

Tablo 4.12'de ülkelerin enerji etkinliklerine ilişkin modelin network verimliliği incelendiğinde örneklemde yer alan 33 ülkeden 22'si etkin bulunmuştur. Ortalama etkinlik değeri 0,995 olarak hesaplanmıştır.

Yukarıda model üzerinden uygulama sonuçlarına ait girdi ve çıktı değişkenlerinin tek bir tabloda gösterimi Tablo 4.13'de yer almaktadır.

Tablo 4.13: Girdi ve çıktı değişkenleri

Tek Aşamalı VZA		**İki Aşamalı VZA**				**Network VZA**											
						Sistem		**1.Aşama**				**2.Aşama**					
Genel Etkinlik		**1.Aşama**		**2.Aşama**		**Genel Etkinlik**		**Ekonomi Boyutu**		**İnsan Boyutu**		**Üretim Boyutu**		**Çevre Boyutu**	
G	**Ç**	**G**	**Ç**	**G**	**Ç**	**G**	**Ç**	**G**	**Ç**	**G**	**Ç**	**G**	**Ç**	**G**	**Ç**
Gelir	Yatırım	Gelir	Yatırım	Yatırım	İGE	Gelir	İGE	Gelir	Yatırım	Nüfus	İşgücü	Yatırım	GSYİH	Katı	CO2
Nüfus	Tüketim	Nüfus	Tüketim	İşgücü	GSYİH	Nüfus	GSYİH		Tüketim	Alan		İşgücü	İGE	Sıvı	
Alan	İGE	Alan	İşgücü	Katı	CO2	Alan	CO2							Gaz	
Katı	GSYİH			Sıvı		Katı									
Sıvı	CO2			Gaz		Sıvı									
Gaz	İşgücü					Gaz									

Tablo 4.14'de ülkelerin kurulan model yapısı ve alt boyutlarına ait enerji etkinliklerinin inceleme sonuçları karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.

Tablo 4.14: Model ve alt boyutlara ait VZA uygulama sonuçları

		Tek Aşamalı VZA	İki Aşamalı VZA		Network VZA	Network VZA 1.Aşama		Network VZA 2.Aşama	
No	**Ülke**	**Genel Etkinlik**	**1.Aşama**	**2.Aşama**	**Genel Etkinlik**	**Ekonomi Boyutu**	**İnsan Boyutu**	**Üretim Boyutu**	**Çevre Boyutu**
1	Avusturya	0,989	0,978	0,970	0,983	0,114	0,972	0,970	0,023
2	Belçika	0,994	0,964	0,977	1	0,213	0,832	0,976	0,016
3	Bulgaristan	0,993	0,928	0,886	0,994	0,124	0,885	0,866	0,036
4	Hırvatistan	0,987	0,845	0,918	0,987	0,061	0,821	0,897	0,085
5	Kıbrıs	1	1	1	1	0,119	1	0,955	1
6	Çek Cumhuriyeti	1	0,976	0,946	1	0,295	0,958	0,946	0,015
7	Danimarka	1	1	1	1	0,089	0,972	0,987	0,046
8	Estonya	1	1	1	1	0,037	1	0,964	1
9	Fransa	0,960	0,937	1	1	0,872	0,863	1	0,005
10	Almanya	1	1	1	1	1	1	1	0,002
11	Yunanistan	1	0,853	0,926	0,996	0,169	0,836	0,926	0,021
12	Macaristan	0,995	0,927	0,897	0,994	0,339	0,904	0,897	0,032
13	İtalya	1	0,845	1	1	0,823	0,819	0,957	0,005
14	Letonya	1	0,995	0,954	1	0,038	0,971	0,928	0,220
15	Litvanya	1	1	0,955	1	0,044	0,983	0,937	0,117
16	Hollanda	1	1	0,996	1	1	1	0,992	0,010
17	Polonya	1	1	0,926	1	0,671	0,916	0,926	0,005
18	Portekiz	1	0,973	0,902	0,959	0,192	0,957	0,902	0,031
19	Romanya	1	0,930	0,866	0,985	0,395	0,871	0,866	0,021
20	Slovak Cumhuriyeti	0,989	0,962	0,936	0,985	0,076	0,945	0,910	0,044
21	Slovenya	1	0,946	0,997	1	0,034	0,941	0,980	0,110
22	İspanya	1	0,968	0,963	1	0,884	0,934	0,949	0,006
23	İsveç	1	1	1	1	0,140	0,993	0,995	0,039
24	Türkiye	1	1	0,857	1	1	0,759	0,857	0,004
25	Finlandiya	1	0,945	1	0,997	0,074	0,929	0,982	0,034
26	İrlanda	1	0,920	1	1	0,058	0,916	1	0,041
27	Lüksemburg	1	1	1	1	0,012	0,996	1	0,165
28	Kuzey Makedonya	1	1	0,895	1	0,268	0,866	0,826	0,232
29	Sırbistan	0,998	0,995	0,873	0,995	0,831	0,867	0,848	0,035
30	Bosna Hersek	0,964	0,828	0,911	0,965	0,196	0,742	0,831	0,078
31	Arnavutluk	1	1	1	1	1	0,862	0,855	0,529
32	Malta	1	1	1	1	0,075	1	1	1
33	Karadağ	1	1	1	1	0,050	0,886	1	1
	Ortalama Etkinlik	**0,996**	**0,961**	**0,956**	**0,995**	**0,342**	**0,915**	**0,937**	**0,182**
	Etkin Ülke Say.	24	14	13	22	3	5	6	4
Etkin Olmayan Ülke Say.		9	19	20	11	30	28	27	29

Model yapısının aşamaları ve alt boyutların tek aşama gibi düşünülerek klasik VZA uygulandığında 24 ülkenin etkin olduğu gözlemlenmektedir. Ancak, model yapısının genel etkinliği sağlamasına karşın alt süreç verimliliklerinde aynı paralelliğe sahip olmadığı gözlemlenmektedir. Aynı zamanda karar verme birimlerinin genel verimlilik yapısını etkileyen faktörler hakkında da bilgi vermektedir.

5. SONUÇ

Günümüz dünyasında enerji talebi küresel anlamda hızla artmaktadır. Dünyadaki enerji kaynakların sınırlı olduğu düşünüldüğünde küresel enerji talebinin karşılanması noktasında enerji verimliliği büyük önem kazanmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı raporlarına (2017) göre, dünyada toplam birincil enerji tüketimi 1973 ile 2015 arasında iki katından daha fazla artmıştır. Aynı zamanda Avrupa'da yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlarla fosil yakıt kullanımında %10'luk bir düşüş meydana gelmiştir (IEA, 2017).

Enerjinin gelecekte büyük ihtiyaç olduğu tüm ülkeler tarafından kabul edilmektedir. Bu çerçevede devletler, binalar başta olmak üzere teknolojik cihazlar, elektrik ve gaz şebekelerinin iyileştirilmesine yönelik alınacak önlemlerin düşük maliyetli olmasına önem vermektedirler.

Avrupa'da binaların enerji tüketiminin, toplam tüketimin %40'lık bir kısmını CO_2 emisyonlarının da % 36'sını oluşturduğu tahmin edilmektedir. Bu yüzden, Avrupa Komisyonu tarafından Avrupa Birliği üye ve üye olmaya aday ülkelerin bu konuda ciddi çalışmalar yapması için teşvikler sunulmaktadır. Hükümet programlarına vergi indirimleri, bina tadilatları için teşvikler gibi birçok çalışma yapılmaktadır (WEC, 2020).

Modelin yapısı enerji, ekonomi ve çevre süreçlerinin tam ve kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi şeklinde belirlenmiştir. Standart olarak içyapıya sahip olmayan tek aşamalı VZA modeline karşın oluşturulan İki Aşamalı Network VZA modeli ile sistemin eko-verimliliği detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu model yapısı aracılığıyla sistem tarafından tüketilen girdiler ile üretilen çıktıların hesaba katıldığı bütüncül bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Modelde içyapılar ve bağlantılar dikkate alındığı için süreç etkinliği ile genel etkinlik arasında ilişki incelendiğinde karar verme birimlerinin kararlarını etkileyecek göstergelerin verimlilikleri gözlemlenmektedir.

Bu çalışmada literatürde uygulanmakta olan klasik VZA analizleri kullanılmış olsaydı mevcut veriler üzerinden birçok ülkenin etkin olduğu sonucuna varılacaktı. Kao (2014)'nun geliştirdiği yeni metodlar sayesinde karar verme birimlerinin etkinliklerini etkileyen alt boyutların incelenmesi yapılmış ve İki Aşamalı Network VZA uygulaması ile Avrupa Birliği ülkelerinin enerji etkinliklerine ait alt süreçlerdeki etkinlikleri gözlemlenmiştir.

Almanya'nın çevre boyutu dışında gerek genel etkinlik gerekse alt boyutların tamamında etkin olduğu görülmektedir. Çevre boyutunda etkin olmaması gelişen sanayi yapısı ve büyüklüğünün doğal sonucudur. Malta'nın ekonomi boyutu dışında etkin olması, ülkenin daha çok turistik yapısından ve ekonomik yatırımlar gerektirmeyen bir yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, Hollanda'nın çevre boyutunda ortalamanın altındaki etkinlik değeri üretim boyutu ile birleşince süreç bakımından etkin olmayan ülkeler arasında yer almasına neden olmaktadır.

Genel etkinlik yapısına göre etkin olmayan Avusturya, Bulgaristan, Hırvatistan, Macaristan, Slovakya, Sırbistan ve Bosna Hersek'in diğer alt boyutlarda da etkin olmadığı görülmektedir.

İsveç ve Danimarka'nın genel etkinlik ve aşamalara ait etkinliklerini sağlamada insan ve üretim boyutlarının etkili olduğu ancak ekonomi ve çevre boyutları açısından ortalamanın altında etkinlik değerlerine sahip oldukları gözlemlenmektedir. Bu iki ülke ile karşılaştırıldığında alt boyutlara ait etkinlikler açısından Estonya ve Kıbrıs için tam tersi bir durum söz konusudur.

Türkiye'nin genel yapıda etkin olmasına karşın ekonomi hariç diğer boyutlarda etkin olmadığı görülmektedir. Avrupa ülkeleri içinde enerji tüketimi açısından ilk 5'de yer alması ve sahip olduğu yüksek CO_2 salınım oranları etkinlik değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Türkiye, birincil enerji tüketimini düşürmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yapacağı yatırımlar ile etkinliğini arttırabilecektir. Ayrıca, nüfus büyüklüğüne oranla aktif işgücünün düşüklüğü insan boyutunda etkin olmamasının bir diğer nedenidir.

Genel yapıda etkin iken alt süreçlerde etkin olmayan ülkelerin her bir boyutta ortalama bir denge sağladığı gözlemlenmektedir. Letonya ve Slovenya'nın ekonomi boyutunda İspanya'nın ise, çevre boyutu açısından etkinliğini artırması diğer boyutlarda da etkin olmasına imkân sağlayacaktır.

Etkin olmayan ülkelerin etkinsizlik nedenleri incelendiğinde, nüfus ve kara alanı büyüklüklerini en iyi şekilde kullanmadıkları ve ortalamanın çok üzerinde enerji tüketim değerlerine sahip oldukları gözlemlenmektedir. Ayrıca, alt boyutların herhangi birinde etkin olan ülkelerin ilgili aşamalarda da etkin olduğu gözlemlenmektedir.

Bu çalışmada ülkelere ait resmi olarak yayımlanan veriler üzerinden yapılan analizler doğrultusunda genel değerlendirmelere yer verilmektedir. Ülkelerin enerji etkinliklerinin derinlemesine incelenebilmesi için temin edilebilmesi halinde enerji yatırım, enerji tüketim harcamaları, enerjide gerçekleştirilen istihdam vb. çeşitli değişkenler belirlenerek daha öznel veriler üzerinden yapılacak çalışmalarla daha etkin sonuçlar alınabileceği düşünülmektedir.

Avrupa Birliği ülkelerinin birincil enerji kaynaklarının sınırlı olduğu düşünüldüğünde mevcut kaynakların etkin kullanılarak azami verim elde edilmesi büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının arttırılarak enerjiye olan bağlılığının azaltılması sağlanarak karbon salınımını azaltılabilecektir. CO_2 salınımının artmasına sebep olan etkenlerin iyileştirilmesine yönelik yapılacak çalışmalarda enerji etkinliğinin sağlanmasında büyük bir katkı sunacaktır. Çünkü insanların ihtiyaçlarını karşılamasına yönelik üretim zincirinde yapılan her uygulama CO_2 salınımına neden olurken enerji tüketimini de beraberinde getirmektedir.

Bireylerinde karbon ayak izini azaltmak adına enerji tüketimi açısından bilinçlendirme çalışmalarının arttırılmasıyla enerji tüketiminin azaltılması sağlanabilecektir. Farkındalık çalışmaları ile ekosistemde yer alan tüm canlılar için çevresel kirliliğin azaltılmasına da fayda sağlanacaktır. Küresel anlamda iklim değişikliklerinin etkisinin azaltılması için ekonomi, insan ve çevre boyutlarının çevresel etkinlik konusunda büyük bir etken olduğu gözlemlenmektedir. Bu yüzden ekonomik faaliyetler

yürütülürken yapılan çalışmaların hem insan hem çevre boyutuyla bütünlük halinde sürdürülebilir politikalar çerçevesinde oluşturulması etkin sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Adaçay, F.R. (2014). Türkiye İçin Enerji ve Kalkınmada Perspektifler. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 87-103.

Akgöbek, Ö., Nişancı, İ., Kaya, S. ve Eren, T. (2015). Veri Zarflama Analizi Yaklaşımını Kullanarak Bir Eğitim Kurumunun Şubelerinin Performanslarını Ölçme. *Social Sciences Research Journal*, 4 (3), 43-54.

Akyüz K.C., Yıldırım İ. ve Balaban Y. (2015). Kâğıt Sektöründe Yer Alan Firmaların Veri Zarflama Analizi Yardımıyla Etkinliklerinin Ölçümü, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 14, 23-38.

Al-Mezeini, N.K., Oukil, A. ve Al-Ismaili, A.M. (2019). Investigating The Efficiency Of Greenhouse Production In Oman: A Two-Stage Approach Based On Data Envelopment Analysis And Double Bootstrapping. *Journal of Cleaner Production*, 247 (119160), 1-9.

Apaydın Avşar, B, (2017). *Türk İmalat Sanayi Firmalarının Etkinliklerinin Çok Periyotlu İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi ve Malmquist Endeks Yöntemiyle İncelenmesi*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi. Ankara.

Atmaca, A.C., Kıray S.A. ve Pehlivan, M. (2019). Development of a Measurement Tool for Sustainable Development Awareness. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 6(1), 80-91.

Aviles-Saboto, S., Cook, W.D., Imanirad, R. ve Zhu, J. (2015). Two-Stage Network DEA: When Intermadiae Measures Can Be Treated As Outputs From The Second Stage. *Journal Of The Operation Research Society*, 66, 1868-1877.

Avrupa Birliği. *Avrupa Birliği'nin Enerji Politikası Enerji*. 2 Haziran 2020 tarihinde Avrupa Birliği: https://www.ab.gov.tr/fasil-15-enerji_80.html. adresinden erişildi.

Avşaroğlu, N. (2018). *MTA ve Ülkemizde Uranyum Aramacılığı*. 7 Nisan 2020 tarihinde Maden Tetkik Arama: https://docplayer.biz.tr/87048374-Mta-ve-ulkemizde-uranyum-aramaciligi.html. adresinden erişildi.

Aytüre, S. (2013). Avrupa Birliğinin Enerji Politikasında Son Gelişmeler ve Türkiye'ye Yansımaları. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3, 35-51.

Baek, C. ve Lee, J.D. (2009). The Relevance Of DEA Benchmarking Information and The Least-Distance Measure. *Mathematical And Computer Modelling*, 49, 265–275.

Bagher, A.M., Vahid, M., Mohsen, M. ve Parvin, D. (2015). Hydroelectric Energy Advantages and Disadvantages. *American Journal of Energy Science*, 2(2), 17-20.

Banker, R.D., (1984). Estimating Most Productive Scale Size Using Data Envelopment Analysis, *European Journal of Operational Research*, 17, 35-44.

Banker, R., Charnes, A. and Cooper, W.W. (1984). Some Models For Estimating Technical And Scale Efficiencies In Data Envelopment Analysis, *Management Science*, 30(9), 1078-1092.

Barat, M., Tohidi, G. ve Sanei, M. (2019). DEA For Nonhomogeneous Mixed Networks. *Asia Pacific Management Review*, 24 (2), 161-166.

Bayraç, H.N. (2018). Uluslararası Doğalgaz Piyasasının Ekonomik Yapısı ve Uygulanan Politikalar, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 13(3), 13-36.

Bayraç, H.N. ve Çildir, M. (2017). AB Yenilenebilir Enerji Politikalarının Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 13 (5), 201-212.

Bayraç, H.N. (2010). Enerji Kullanımının Küresel Isınmaya Etkisi ve Önleyici Politikalar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 229-259.

Bayramoğlu, T. (2014). *Biyokütle Enerjisi ve Yerel Ekonomik Kalkınma*. İmaj Yayınları, Ankara.

Berger, A. ve Humphrey, D. 1997. Efficiency of Financial Institutions: International Survey and Directions for Future Research. *Financial Institutions Center*, 1-78.

Beridze, J. ve Anbar, A. (2019). Gürcistan Bankacılık Sektöründe Etkinlik Analizi: Veri Zarflama Analizi Uygulaması. *Business & Management Studies: An Internatıonal Journal*, 7 (2), 1076-1096.

Bi, G., Shao, Y., Song, W., Yang, F. ve Luo, Y. (2018). A Performance Evaluation Of China's Coal-Fired Power Generation With Pollutant Mitigation Options. *Journal of Cleaner Production*, 171, 867–876.

Borozan, D. (2018). Technical And Total Factor Energy Efficiency Of European Regions: A Two-Stage Approach. *Energy*, 152, 521-531.

Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi (Botaş). (2020). *Doğalgaz Rezervleri*. 5 Nisan 2020 tarihinde BOTAŞ: https://www.botas.gov.tr/Sayfa/dunyadaki-petrol-ve-dogal-gaz-rezervleri-nerelerdedir-ve-ne-kadardir/251. adresinden erişildi.

Boussofiane, A., Dyson, R.G., Thanassoulis, E. (1991). Applied Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, 52, pp. 1-15.

Bowlin, W. F. (1998). Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA). *The Journal of Cost Analysis*, 15(2), 3-27.

Britannica Ansiklopedisi (Online). *Rüzgâr enerjisi nedir?*. 10 Nisan 2020 tarihinde Britannica: https://www.britannica.com/science/wind-power. adresinden erişildi.

British Petrol (BP), *BP Statistical Review of World Energy 2019*. 68. Baskı. 15 Mart 2020 tarihinde British Petrol: https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf. adresinden erişildi.

Cătuţi, M., Egenhofer, C. ve Elkerbout, M. (2019). The Future Of Gas In Europe: Review Of Recent Studies On The Future Of Gas. *Centre for European Policy Studies (CEPS)*. 13 Nisan 2020 tarihinde CEPS:https://www.ceps.eu/wp-content/uploads/2019/08/RR2019-03_Future-of-gas-in-Europe.pdf. adresinden erişildi.

Cengiz, M.S. ve Mamiş, M.S. (2016). Termal Güneş Enerjisi Kullanımı ve CSP Sistemlerin Verimlilik Analizi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 1-13.

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.

Chang, Y.T., Park, H. (Kevin), Lee, S. ve Kim, E. (2018). Have Emission Control Areas (ECAS) Harmed Port Efficiency In Europe?. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58, 39-53.

Chen, Z., Wanke, P., Antunes, J. J. M. ve Zhang, N. (2017). Chinese Airline Efficiency Under CO2 Emissions and Flight Delays: A Stochastic Network DEA Model. *Energy Economics*, 68, 89–108.

Chen, Y., Cook, W.D., Li, N. ve Zhu, J. (2009). Additive Efficiency Decomposition In Two-Stage DEA. *European Journal of Operational Research*, 196, 1170–1176.

Chen, Y., Liang, L. ve Zhu, J. (2009). Equivalence in Two-Stage DEA Approaches. *European Journal of Operational Research*, 193, 600-604.

Chen, Y. ve Zhu, J. (2004). Measuring Information Technology's Indirect Impact On Firm Performance. *Information Technology and Management*, 5, 9-22.

Chen, P.C., Yu, M.M., Chang, C.C., Hsu, S.H. ve Managi, S. (2015). The Enhanced Russell-Based Directional Distance Measure With Undesirable Outputs: Numerical Example Considering CO2 Emissions. *Omega*, 53, 30–40.

Coelli, T. J., Rao, P., O'Donnell, C. J. ve Battese, G.E. (2005). *An Introduction To Efficiency And Productivity Analysis Second Edition*. New York: Springer Science and Business Media. 13 Şubat 2020 tarihinde Elsevier: https://doi.org/10.1007/b136381 adresinden erişildi.

Cooper, W.W., Seiford, L.M. ve Tone, K. (2006). *Introduction To Data Envelopment Analysis And Its Uses: With DEA-SOLVER Software And References*, Springer Science&Business Media, USA.

Cui, Q., Lin, J. ve Jin, Z. (2019). Evaluating Airline Efficiency Under "Carbon Neutral Growth from 2020" Strategy Through A Network Interval Slack-Based Measure. *Energy*, 193 (116734), 1-11.

Çağlar, V. ve Oral, E.Z. (2011). Liman Verimlilik ve Etkinlik Ölçme Yöntemlerinin Analizi. *7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu (IMO) 21-23 Kasım 2011, Samsun* içinde (ss. 665-676). Samsun: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.

Çelik, İ. ve Ayan, S. (2017). Veri Zarflama Analizi İle İmalat Sanayi Sektörünün Finansal Performans Etkinliğinin Ölçülmesi: Borsa İstanbul'da Bir Araştırma. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 8(18), s.56-74.

Çıtak, E. ve Pala, P.B. (2016). Yenilenebilir Enerjinin Enerji Güvenliğine Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(25), 79-102.

Çoban, O. ve Şahbaz Kılınç, N. (2015). Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu İlişkisi: TR Örneği. *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 38(1), 195-208.

Dağlıoğlu Şanlı, İ. ve Armağan, R. 2017. Sürdürülebilir Kalkınma Perspektifinden Yenilenebilir Enerji: Kamu Politikalarının Gerekliliği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 8(19), 93-109.

Demir, N. (2013). *Türk Tekstil Sektöründe Veri Zarflama İle Performans Analizi*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Adnan Menderes Üniversitesi. Aydın.

Demiray Erol, E. ve Güneş, İ. (2014), Türkiye'de İllerin Sağlık Etkinliklerinin Analizi, *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 1-19.

Derici, S. ve Atalay, E. (2018). Veri Zarflama Analizi (VZA) İle Türkiye'deki Zincir Tekno(Loji) Market Mağazalarının Etkinlik Ölçümü. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(3), 1387-1399.

Devlet Su İşleri (DSİ). *Hidrolik Güç*. 9 Nisan 2020 tarihinde DSİ: http://www.dsi.gov.tr/sosyal-faaliyetler/dsi-cocuk. adresinden erişildi.

Drucker, P.F. (1986). Management: Tasks, Responsibilities, Practices. New York: Truman Talley Books.

Du, J., Chen, Y. ve Huo, J. (2015). DEA For Non-Homogenous Parallel Networks. *Omega*, 56, 122-132.

Dyson, R.G., Allen, R., Camanho, A.S., Podinovski, V.V., Sarrico, C.S. ve Shale, E.A. (2001). Pitfalls and Protocols In DEA. *European Journal of Operational Research*, 132(2), 245-259.

Eken, M.H. ve Pehlivan, E. (2009). Yatırım Fonları Performansı Klasik Performans Ölçümleri ve VZA Analizi. *Maliye ve Finans Yazıları*, 1 (83), 85-114.

Elibol, M. (2017). *Oyun Teorisi ve Toplu Pazarlık Stratejileri*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). T.C. Namık Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Çalışma İktisadı Anabilim Dalı. Tekiardağ.

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. *Jeotermal*. 15 Nisan 2020 tarihinde EİGM: https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal. adresinden erişildi.

Enerji Portalı. *Hidroelektrik Santrali Akış Şeması*. 9 Nisan 2020 tarihinde Enerji Portalı: https://www.enerjiportali.com/wp-content/uploads/2018/07/Hidroelektrik.jpg. adresinden erişildi.

Erdoğan Aktan, H. ve Kaya Samut, P. (2013). Türk Tarımının Etkinlik Bileşenlerinin İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi. *Ege Akademik Bakış*, 13(1), 21-28.

Ervural, B. C., Zaim, S. ve Delen, D. (2018). A Two-Stage Analytical Approach to Assess Sustainable Energy Efficiency. *Energy*, 164, 822-836.

European Court of Auditor. *EU Greenhouse Gas Emissions: Well Reported, But Better Insight Needed Into Future Reductions. Special Report No.18 2019*. 3 Haziran 2020 tarihinde Avrupa Komisyonu: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e9e5a8cd-367f-11ea-ba6e-01aa75ed71a1. adresinden erişildi.

EU Emissions Tranding System (EU ETS). 8 Haziran 2020 tarihinde Avrupa Komisyonu: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en. adresinden erişildi.

European Environment Agency. *Sera Gazı Emisyon Eğilimi Projeksiyonları ve Hedefi*. 8 Haziran 2020 tarihinde Avrupa Çevre Ajansı: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/greenhouse-gas-emission-trend-projections. adresinden erişildi.

Eurostat. *Nükleer Enerji İstatistikleri*. 7 Nisan 2020 tarihinde Avrupa İstatistik Ofisi: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Nuclear_energy_statistics. adresinden erişildi.

Eurostat Oil And Petroleum Products - A Statistical Overview. 3 Nisan 2020 tarihinde Avrupa İstatistik Ofisi: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Net_imports_of_selected_petroleum_products,_EU-28,_in_selected_years,_1990-2017.png. adresinden erişildi.

Eurostat Statistics Explained. *Coal Production and Consumption Statistics*. 3 Nisan 2020 tarihinde Avrupa Komisyonu: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Coal_production_and_consumption_statistics#Consumption_and_production_of_hard_coal. adresinden erişildi.

European Comission. *Biomass Energy*. 15 Nisan 2020 tarihinde Avrupa Komisyonu: https://ec.europa.eu/energy/topics/property-fieldtopicparent/biomass_en. adresinden erişildi.

European Comission. *2030 Climate and Energy Framework*. 4 Haziran 2020 tarihinde Avrupa Komisyonu: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en. adresinden erişildi.

European Comission. *Avrupalıların AB Enerji Politikaları Tutumu*. 4 Haziran 2020 tarihinde Avrupa Komisyonu: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/ebs_492_ig_en.pdf. adresinden erişildi.

European Bioenergy Outlook 2019 (EBO). *Biogas*. 15 Nisan 2020 tarihinde Bioenergy Avrupa: https://bioenergyeurope.org/statistical-report.html. adresinden erişildi.

European Geothermal Congress (EGEC) Geothermal Market Report 2018. 16 Nisan 2020 tarihinde https://www.egec.org/media-publications/egec-geothermal-market-report-2018/. adresinden erişildi.

Färe, R. ve Grosskopf, S. (2000). Network DEA. *Socio-Economic Planning Sciences*, 34, 35–49.

Fare, R. ve Lovell, C. (1978). Measuring The Technical Efficiency Of Production. *Journal of Economic Theory*, 19 (1), 150-162.

Fare, R., Grosskopf, S., Margaritis, D. ve Weber, W.L. (2018). *Dynamic Effiency And Productivitiy*. Griffell-Tatje, E., Lovell, C. ve Sickles, R. (eds.). The Oxford Handbook of Productivity Analysis. New York: Oxford University Press, 183-209. 11 Mayıs 2020 tarihinde https://books.google.com.tr/books?hl=en&lr=&id=GxtnDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA183&dq=Hamilton+studies+dynamic+efficiency+based+on+the+Jacobi%E2%80%93Bellman+equation.+dynamic+structure+nemoto+and+goto+(34)&ots=Arln6ATMZP&sig=tycqEP3knG9X_jAUVPO1y4BCyNo&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false adresinden erişildi.

Faure-Schuyer, A., Welsch, M. ve Pye, S. (2017). Europe's Energy Transition Insights for Policy Making. Europe's Energy Transition. Chapter 6- European Energy Policy Objectives, 31-39.

Fukuyama, H. ve Weber, W.L. (2010). A Slacks-Based In Efficiency Measure For At Two-Stage System With Bad Outputs, *Omega*, 38, 398–409.

Gan, G., Lee, H.-S., Lee, L., Wang, X. ve Wang, Q. (2019). Network Hierarchical DEA With An Application To International Shipping Industry In Taiwan. *Journal Of The Operational Research Society*, 71(6), 991–1012.

Global Wind Energy Council 2019. 10 Nisan 2020 tarihinde Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi: https://gwec.net/global-wind-report-2019/. adresinden erişildi.

Golany, B. ve Roll, Y. (1989). An Application Procedure For DEA. *Omega*, 17(3), 237-250.

Gutiérrez, E., Aguilera, E., Lozano, S. ve Guzmán, G.I. (2017). A Two-Stage Dea Approach For Quantifying And Analysing The Inefficiency of Conventional And Organic Rain-Fed Cereals In Spain. *Journal of Cleaner Production*, 149, 335–348.

Güner, S. (2015). Liman Etkinliği Ölçümünde İki Aşamalı Bir Model Önerisi ve Türk Limanları Üzerinde Bir Uygulama. *Alphanumeric Journal*, 3 (2), 99-106.

Güneş, T. (2006). *Bulanık Veri Zarflama Analizi*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

Halkos, G.E., Tzeremes, S.A. ve Kourtzidis, A.S. (2014). A Unified Classification Of Two-Stage DEA Models. *Surveys In Operations Research and Management Science*, 19 (1), 1-16.

Halkos, G. E., Tzeremes, N. G. ve Kourtzidis, S. A. (2015). Regional Sustainability Efficiency Index In Europe: An Additive Two-Stage DEA Approach. *Operational Research*, 15(1), 1–23.

Hydropower Status Report 2019. 9 Nisan 2020 tarihinde https://www.hydropower.org/sites/default/files/publications-docs/2019_hydropower_status_report_0.pdf. adresinden erişildi.

International Energy Agency (IEA). *Bioenergy*. 15 Nisan 2020 tarihinde https://www.iea.org/fuels-and-technologies/bioenergy. adresinden erişildi.

International Energy Agency (IEA). Enerji İstatistikleri El Kitabı (2010). 15 Mart 2020 tarihinde Uluslararası Enerji Ajansı: https://webstore.iea.org/energy-statistics-manual-turkish. adresinden erişildi.

International Renewable Energy Agency (IRENA). *Renewable Energy Prospects For The European Union 2018*. 9 Nisan 2020 tarihinde Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı: https://www.irena.org/publications/2018/Feb/Renewable-energy-prospects-for-the-EU. adresinden erişildi.

İncekara, Ç.Ö. (2019). Türkiye ve AB'nin Enerji Hedefleri, *Journal of Turkish Operations Management*, 3(2), 298 – 313.

Jager-Waldau, A. PV Status Report 2019. *JRC Science For Policy Report*. 9 Nisan 2020 tarihinde http://dx.doi.org/10.2760/326629. adresinden erişildi.

Jebali, E., Essid, H. ve Khraief, N. (2017). The Analysis Of Energy Efficiency Of The Mediterranean Countries: A Two-Stage Double Bootstrap DEA Approach. *Energy*, 134, 991–1000.

Johnson, A.L. ve Kuosmanen, T. (2012). One-Stage And Two-Stage DEA Estimation Of The Effects Of Contextual Variables. *European Journal of Operational Research*, 220, 559-570.

Kahveci, E., Celen, Y. ve Ekşi, İ.H. (2013). Türk Mevduat Bankalarının Performansının VZA Pencere Analizi İle Belirlenmesi. *Bankacılar Dergisi*, 86, 53-66.

Kandemir, M., (2016). *Ankara'daki Hastanelerin Etkinliğinin İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi İle İncelenmesi*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi. Ankara.

Kao, C. (2014). Network Data Envelopment Analysis: A Review. *European Journal of Operational Research*, 239, 1–16.

Kao, C. (2015). Efficiency Measurement For Hierarchical Network Systems. *Omega*, 51, 121-127.

Kao C. (2017). *General Multi-Stage Systems In: Network Data Envelopment Analysis*. International Series in Operations Research & Management Science, Springer, Switzerland, 240. 10 Şubat 2020 tarihinde https://doi.org/10.1007/978-3-319-31718-2_1 adresinden erişildi.

Kao, C. (2017). Efficiency Measurement And Frontier Projection Identification For General Two-Stage Systems In Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, 261, 679-689.

Kao, C. ve Hwang, S.N. (2008). Efficiency Decomposition in Two-Stage Data Envelopment Analysis: An Application to Non-Life Insurance Companies in Taiwan. *European Journal of Operational Research*, 185, 418–429.

Kao, C. ve Lin, PH. (2012). Efficiency Of Parallel Production Systems With Fuzzy Data. *Fuzzy Sets and Systems*, 198, 83-98.

Kao, C. (2009). Efficiency Measurement For Parallel Production Systems. *European Journal of Operational Research*, 196 (3), 1107-111.

Kapluhan, E. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30, 97-125.

Karaoğlu, M.K., (2015). *Türkiye'deki Havaalanlarının Etkinliklerinin Malmquist İndeks Ve Çoklu Periyodlu İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi İle İncelenmesi*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi. Ankara.

Karakaya, A. (2018). Katılım Bankalarının Teknik ve Ölçek Etkinlikleri. *Anadolu İktisat ve İşletme Dergisi,* 2 (2), 109-118.

Karakoç, İ.D. (2003). Veri Zarflama Analizindeki Ağırlık Kısıtlamalarının Belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi sürecinin Kullanımı, *D.E.Ü. İ.İ.B.F. Dergisi*, 18 (2), 1-12.

Karataşlı, M., Özer, T. ve Varinlioğlu, A. (2016). Enerji ve Çevre, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi,* 30, 103-124.

Kashim, R., Kasim M.M. ve Rahman R.A. (2015). A Framework For Performance Measurement In University Using Extended Network Data Envelopment Analysis (DEA) Structures, *AIP Conference Proceedings*, 1691 (30013), 1-8.

Kayalıdere, K. ve Kargın, S. (2004). Çimento ve Tekstil Sektöründe Etkinlik Çalışması ve Veri Zarflama Analizi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 196-219.

Keskin, B. (2017). *Havalimanlarının Teknik Etkinliklerinin Özel ve Kamu İşletmeciliği Yönünden Güven Bölgesi Yaklaşımı ve Veri Zarflama Analizi ile İncelenmesi*. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Antalya.

Keskin, B. (2018). Havacılık Endüstrisinde Stratejik Ortaklıklar: VZA ve Güven Bölgesi Yaklaşımı İle Bir Etkinlik Analizi Çalışması. *İşletme Bilimi Dergisi (JOBS)*, 6(1), 117-134.

Kılıç, R. ve Aslan, R. (2017). Yenilenebilen ve Yenilenemeyen Enerjinin İktisadi Büyüme Üzerindeki Etkisi: 28 OECD Ülkesi Üzerine Ampirik Bir Çalışma. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 12 (1), 1-12.

Kiani Mavi, R., Saen, R. F. ve Goh, M. (2018). Joint Analysis of Eco-Efficiency and Eco-Innovation With Common Weights In Two-Stage Network DEA: A Big Data Approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 553-562.

Koç, E. ve Şenel, M.C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 54 (639), 32-44.

Koç, E. ve Kaya, K. (2015). Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu. *Mühendis ve Makine* Dergisi, 56 (668), 36-47.

Koçak, E., (2019). *Türkiye'deki Devlet Üniversitelerinin Performanslarının İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi İle İncelenmesi*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi. Ankara.

Koopsman, T.C. (1951). *Activity Analysis of Production and Allocation*. Newyork: John Wiley & Sons. Inc. London: Chapman & Hall. Limited. 13 Şubat 2020 tarihinde https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.39951/page/n77/mode/2up adresinden erişildi.

Koronakos, G. (2019). *A Taxonomy and Review of the Network Data Envelopment Analysis Literature*. Machine Learning Paradigms. Learning and Analytics in Intelligent Systems. 1. Springer Cham. 255-311.

Kotil, E., Eryiğit, M. ve Konur, F. (2009). Türkiye ve Avrupa Birliği'nde CO_2 Emisyonu ve Gelir İlişkisi. *Ekonomik Yaklaşım*, 20 (73), 55-67.

Kottas, A. T., Bozoudis, M. N. ve Madas, M. A. (2019). Turbofan Aero-Engine Efficiency Evaluation: An Integrated Approach Using VSBM Two-Stage Network DEA. *Omega*, 92(102167), 1-38.

Kozak, M. ve Kozak, Ş. (2012). Enerji Depolama Yöntemleri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4 (2), 17-29.

Kutlar, A. ve Bakırcı, F. (2018). *Veri Zarflama Analizi Teori ve Uygulama*. Orion Kitabevi, Ankara.

Kutlar, A. ve Babacan, A. (2008). Türkiye'deki Kamu Üniversitelerinde CCR Etkinliği-Ölçek Etkinliği Analizi: DEA Tekniği Uygulaması. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 148-172.

Lee, J.G. ve Park, M.J. (2020). Evaluation Of Technological Competence And Operations Efficiency In The Defense Industry: The Strategic Planning Of South Korea. *Evaluation and Program Planning*, 79 (101775), 1-10.

Li, Y., Wang, Y. ve Cui, Q. (2016). Has Airline Efficiency Affected By The Inclusion Of Aviation Into European Union Emission Trading Scheme? Evidences From 22 Airlines During 2008–2012. *Energy*, 96, 8–22.

Lim, S. ve Zhu, J. (2016). A Note On Two-Stage Network DEA Model: Frontier Projection And Duality. *European Journal of Operational Research*, 248(1), 342-346.

Maden Tetkik Arama (MTA). *Uranyum*. 7 Nisan 2020 tarihinde Maden Tetkik Arama: http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/uranyum. adresinden erişildi.

Makridoua, G, Andriosopoulosb, K., Doumposc, M. ve Zopounidisc, C. (2015). A Two-stage Approach for Energy Efficiency Analysis in European Union Countries. *Energy*, 36(2), 47-69.

Maleki, S., Ebrahimnejadyz, A. ve Matin, R.K. (2019). Two-Stage Network DEA With Convex Hull In Intermediate Products. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 48 (1), 312-331.

Marchetti, D. ve Wanke, P. (2017). Brazil's Rail Freight Transport: Efficiency Analysis Using Two-Stage DEA and Cluster-Driven Public Policies. *Socio-Economic Planning Sciences*, 59, 26–42.

Moon, H. ve Min, D. (2017). Assessing Energy Efficiency And The Related Policy Implications For Energy-Intensive Firms In Korea: DEA Approach. *Energy*, 133, 23–34.

Nouri, J., Lotfi, F.H., Borgheipour, H., Atabi, F., Sadeghzadeh, S. M. ve Moghaddas, Z. (2013). An Analysis Of The Implementation Of Energy Efficiency Measures In The Vegetable Oil Industry Of Iran: A Data Envelopment Analysis Approach. *Journal Of Cleaner Production*, 52, 84–93.

Nükleer Akademi. *Dünya'da Nükleer Enerji*. 7 Nisan 2020 tarihinde Nükleer Akademi: http://nukleerakademi.org/nukleer-enerji/dunyada-nukleer-enerji/. adresinden erişildi.

Ó Broin, E., Mata, É., Göransson, A. ve Johnsson, F. (2013). The Effect Of Improved Efficiency On Energy Savings In EU-27 Buildings. *Energy*, 57, 134–148.

Ocean Energy Europe. (2020). 7 Nisan 2020 tarihinde Avrapa Okyanus Enerjisi: https://www.oceanenergy-europe.eu/category/publication-library/ adresinden erişildi.

Omrani, H. ve Soltanzadeh, E. (2016). Dynamic DEA Models With Network Structure: An Application For Iranian Airlines. *Journal of Air Transport Management*, 57, 52-61.

Openei.org. *Dalga Enerjisi*. 17 Nisan 2020 tarihinde https://openei.org/wiki/Wave_Energy. adresinden erişildi.

Ouyang, W. and Yang, J. (2020). The Network Energy and Environment Efficiency Analysis of 27 OECD Countries: A Multiplicative Network DEA Model. *Energy*, 197, 117-161.

Öncü, M.A, Çölekçi, İ. ve Coşkun, E. (2013). Havayolu Yolcu Taşıma İşletmelerinin Finansal Etkinliklerinin Ölçümüne İlişkin Bir Araştırma, *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 5 (2), 77-86.

Örer, G., Gürsel, K.T., Özdamar, Ö. ve Özbalta, N. (2003). *Dalga Enerjisi Tesislerine Genel Bakış*. 17 Nisan 2020 tarihinde http://cagaenerji.com/FileUpload/bs531207/File/cok_cok_onemli_turkiyenin_dalga_enerjisi.pdf. adresinden erişildi.

Özçelik, H. ve Kandemir, B. (2017). Veri Zarflama Analizi Ve İmalat Sektöründe Bir Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1), 43-53.

Özden, A. (2010). *Türk Gıda Sanayinde Performans Analizleri.* (Yayımlanmamış Doktora Tezi).Aydın Adnan Menderes Üniversitesi. Aydın.

Özden, Ü. H. (2008). Veri Zarflama Analizi (VZA) ile Türkiye'deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37 (2), 167-185.

Özgener, Ö. (2002). Türkiye'de ve Dünya'da Rüzgâr Enerjisi Kullanımı, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(3), 159-173.

Özmen, A. (2018). *İstatistik*. A. Özmen (Ed.) ve B.F. Şeniş (Ed.). *İstatistiğin Tanımı, Temel Kavramlar ve İstatistik Eğitimi* içinde (ss.2-23). T.C. Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayını. 15 Şubat 2021 tarihinde https://ets.anadolu.edu.tr/storage/nfs/IST203U/ebook/IST203U-12V3S1-8-0-1-SV1-ebook.pdf adresinden erişildi.

Özsoy, V.S. ve Bal, H. (2019). İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi Modelleri: Çarpımsal ve Toplamsal Model. *10th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education 17-18 Haziran 2019, Roma,*

İtalya içinde (ss. 8-12), İtalya: International Academiy of Rome. 2 Mart 2020 tarihinde http://editor.website.tc/492878/10th7icosresse7tam7metinler.pdf adresinden erişildi.

Özsoy, V.S., Örkcü, M. ve Örkcü, H. (2020). Karma-Tamsayılı İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi Modeli İle En Etkin Tedarikçi Seçimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 758-767.

Perçin, S. ve Çakır, S. (2012). Demiryollarında Süper Etkinlik Ölçümü: Türkiye Örneği, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27 (1), 29-45.

Petrol ve Doğal Gaz Platformu Derneği (Petform). (2020). *Doğal gaz nedir?* 5 Nisan 2020 tarihinde Petrol ve Doğal Gaz Platformu Derneği: https://www.petform.org.tr/arama-uretim-sektoru/dogal-gaz-nedir/. adresinden erişildi.

Premachandra, I.M., Bhabra, G.S. ve Sueyoshi, T. (2009). DEA As A Tool For Bankruptcy Assessment: A Comparative Study With Logistic Regression Technique. *European Journal of Operational Research*, 193, 412–424.

Raheli, H., Rezaei, R.M., Jadidi, M. R. ve Mobtaker, H.G. (2017). A Two-Stage DEA Model To Evaluate Sustainability And Energy Efficiency of Tomato Production. *Information Processing in Agriculture*, 4 (4), 342–350.

Ray, S.C. (1988). Data Envelopment Analysis, Nondiscretionary Inputs And Efficiency: An Alternative Interpretation. *Socio-Economic Planning Sciences*, 22 (4), 167-176.

Romeijnders, W., Stougie, L. ve Vlerk, M.H.V. (2014). Approximation In Two-Stage Stochastic Integer Programming. *Surveys in Operations Research and Management Science*, 19, 17–33.

Sahoo, B.K., Singh, R., Mishra, B. ve Sankaran, K. (2017). Research Productivity In Management Schools Of India During 1968-2015: A Directional Benefit-Of-Doubt Model Analysis. *Omega*, 66, 118–139.

Sağlam, Ü. (2018). A Two-Stage Performance Assessment Of Utility-Scale Wind Farms In Texas Using Data Envelopment Analysis And Tobit Models. *Journal of Cleaner Production*, 201, 580–598.

Sağlam, Ü. (2017). A Two-Stage Data Envelopment Analysis Model For Efficiency Assessments Of 39 State's Wind Power In The United States. *Energy Conversion and Management*, 146, 52–67.

Sandbag Coal Book 2019. 13 Nisan 2020 tarihinde https://beyond-coal.eu/wp-content/uploads/2020/02/Sandbag-CoalBook2019-WEB-TR.pdf. adresinden erişildi.

Sanner, B. (2019, 11-14 June). *Summary of EGC 2019 Country Update Reports on Geothermal Energy in Europe*. European Geothermal Congress 2019. Den Haag. The Netherlands.

Shao, L., Yu, X. ve Feng, C. (2019). Evaluating The Eco-Efficiency Of China's Industrial Sectors: A Two-Stage Network Data Envelopment Analysis. *Journal of Environmental Management*, 247, 551–560.

Seiford, L.M. ve Zhu, J. (1999). Profitability and Marketability of the Top 55 U.S. Commercial Banks. *Management Science*, 45(9), 1270-1288.

Sexton, T.R. ve Lewis, H.F. (2003). Two-Stage DEA: An Application to Major League Baseball. *Journal of Productivity Analysis Kluwer Academic Publishers The Netherlands*, 19, 227-249.

Sevdim, R.E. (2018). *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Hibrit Kullanımını Yapay Zekâ İle Modellemesi*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Gelişim Üniversitesi. İstanbul.

Simona, B., D'Errico, M.C. ve Polinori, P. (2019). Environmental and Energy Efficiency Analysis of EU Electricity Industry: An Almost Spatial Two Stages DEA Approach. *SSRN Electronic Journal*, 1-55.

Silva, E. ve Stefanou, S. E. (2007). Dynamic Efficiency Measurement: Theory and Application. *American Journal of Agricultural Economics*, 89(2), 398–419.

Solarpowereurope, *Avrupa Birliği*. 9 Nisan 2020 tarihinde https://www.solarpowereurope.org/eu-solar-boom-over-100-solar-market-increase-in-2019/. adresinden erişildi.

SolarPower Europe EU Market Outlook 2019-2023. 9 Nisan 2020 tarihinde https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/12/SolarPower-Europe_EU-Market-Outlook-for-Solar-Power-2019-2023_.pdf?cf_id=7181. adresinden erişildi.

Song, W., Bi, G., Wu, J. ve Yang, F. (2017). What Are The Effects of Different Tax Policies On China's Coal-Fired Power Generation Industry? An Empirical Research From A Network Slacks-Based Measure Perspective. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2816–2827.

Strategic Energy Technologies Information System (SETIS). *Hyropower*. 29 Nisan 2020 tarihinde SETIS: https://setis.ec.europa.eu/system/files/Technology_Information_Sheet_Hydropower.pdf. adresinden erişildi.

Sueyoshi, T. ve Yuan, Y. (2017). Social Sustainability Measured By Intermediate Approach For Dea Environmental Assessment: Chinese Regional Planning For Economic Development And Pollution Prevention. *Energy Economics*, 66, 154–166.

Sueyoshi, T., Goto, M. ve Wang, D. (2017). Malmquist Index Measurement For Sustainability Enhancement In Chinese Municipalities And Provinces. *Energy Economics*, 67, 554–571.

Şaşmaz, Ç. (2008). *Demiryolları Ve Karayollarında Verimlilik Analizi*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi. Denizli.

Şenol, O. ve Gençtürk, M. (2017). Veri Zarflama Analiziyle Kamu Hastaneleri Birliklerinde Verimlilik Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, 4 (29), 265-286.

Şimşek, N. (2011). Türkiye'nin Çevresel Enerji Etkinliği ve Toplam Faktör Verimliliği: Karşılaştırmalı Bir Analiz. *Ege Akademik Bakış*, 11 (3), 379-396.

Üçüncü, K. (2020). *Makine Bilgisi Ders Notları*. Karadeniz Teknik Üniversitesi. 3 Nisan 2020 tarihinde Karadeniz Teknik Üniversitesi: https://aves.ktu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=94&USER=4049. adresinden erişildi.

Tang, J., Wang, Q. ve Chang, Y.T. (2019). China's Two-Stage Regional Industrial System – Efficiencies And Their Influencing Factors. *Journal of Cleaner Production*, 249 (119420), 1-40.

Tarım, A. (2001), Veri Zarflama Analizi: Matematiksel Tabanlı Göreli Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı. *Ankara, T.C. Sayıştay Başkanlığı/Çeviri/İnceleme Dizisi*, 15. XVI, 224.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Special Report, *"Global Warming of 1.5°C" Summary for Teachers 2018*, 3 Haziran 2020 tarihinde IPCC:https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/12/ST1.5_OCE_LR.pdf. adresinden erişildi.

Thinkgeoenergy. *Top 10 Geothermal Countries In The Wolrd*. 16 Nisan 2020 tarihinde https://www.thinkgeoenergy.com/global-geothermal-capacity-reaches-14900-mw-new-top10-ranking/. adresinden erişildi.

Tone, K. (2001). A Slacks-Based Measure Of Efficiency In Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, 130(3), 498-509.

Tone, K. (2002). A Slacks-Based Measure Of Super-Efficiency In Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, 143, 32-41.

Tone, K. ve Tsutsui, M. (2014). Dynamic DEA With Network Structure: A Slacks-Based Measure Approach. *Omega*, 42, 124-131.

Topal, M. ve Arslan, E.I. (2008). *Biyokütle Enerjisi ve Türkiye*. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu. UTES'2008. 17-19 Aralık 2008. İstanbul.

Tulus, V., Abokershb, M.H., Cabezac, L. F., Vallèsb, M. ve Jiméneza, L. (2019). Dieter Boerb Economic and Environmental Potential For Solar Assisted Central Heating Plants In The EU Residential Sector: Contribution To The 2030 Climate And Energy EU Agenda. *Applied Energy*, 236(15), 318-339.

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ). *Enerji ve Kömür*. 3 Nisan 2020 tarihinde TKİ: http://www.tki.gov.tr/bilgi/komur/enerji-ve-komur/232. adresinden erişildi.

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO). (2020). *Petrol Nedir?* 26 Mart 2020 tarihinde TPAO: http://www.tpao.gov.tr/?mod=sektore-dair&contID=96. adresinden erişildi.

Vikipedi, *Kimyasal Enerji*. 30 Mart 2020 tarihinde https://tr.wikipedia.org/wiki/Kimyasal_enerji. adresinden erişildi.

Wang, Q., Hang, Y., Sun, L. ve Zhao, Z. (2016). Two-Stage Innovation Efficiency Of New Energy Enterprises In China: A Non-Radial DEA Approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 112, 254–261.

WEC (World Energy Council). (2020). *Issues Monitor 2020: Decoding New Signals of Change*. 27 Aralık 2020 tarihinde WEC:

https://www.worldenergy.org/publications/entry/issues-monitor-2020-signals-change adresinden erişildi.

Wei, C., Löschel, A. ve Liu, B. (2015). Energy-Saving and Emission-Abatement Potential Of Chinese Coal-Fired Power Enterprise: A Non-Parametric Analysis. *Energy Economics*, 49, 33–43.

Wind Europe Annual Statistics 2019. 10 Nisan 2020 tarihinde Avrupa Rüzgar Enerjisi: https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2019.pdf. adresinden erişildi.

Wu, H., Lv, K., Liang, L. ve Hu, H. (2017). Measuring Performance of Sustainable Manufacturing With Recyclable Wastes: A Case From China's Iron and Steel Industry. *Omega*, 66, 38–47.

Wu, Y., Ke, Y., Zhang, T., Liu, F. ve Wang, J. (2018). Performance Efficiency Assessment of Photovoltaic Poverty Alleviation Projects In China: A Three-Phase Data Envelopment Analysis Model. *Energy*, 159, 599–610.

Wu, J., Xiong, B., An, Q., Sun, J. ve Wu, H. (2015). Total-Factor Energy Efficiency Evaluation of Chinese Industry By Using Two-Stage DEA Model With Shared Inputs. *Annals of Operations Research*, 255(1-2), 257–276.

Xie, B.C., Wang, J.Y., Ma, J.J. ve Duan, N. (2018). Efficiency Evaluation Of China's Provincial Power Systems Based On The Dynamic Network Slacks-Based Measure Model. *Journal of Cleaner Production*, 174, 650–660.

Xie, J., Liang, Z., Zhang, X. ve Zhu, L. (2019). Efficiency Evaluation of Thermal Power Plants In China Based On The Weighted Russell Directional Distance Method. *Journal of Cleaner Production*, 222, 573–583.

Xu, X. ve Cui, Q. (2017). Evaluating Airline Energy Efficiency: An Integrated Approach With Network Epsilon-Based Measure and Network Slacks-Based Measure. *Energy*, 122, 274–286.

Yang, Z. (2006). A Two-Stage DEA Model To Evaluate The Overall Performance Of Canadian Life And Health Insurance Companies. *Mathematical and Computer Modelling*, 43, 910–919.

Yaralıoğlu, K, (2010). *Veri Zarflama Analizi*. 13 Ocak 2020 tarihinde Dokuz Eylül Üniversitesi:http://www.deu.edu.tr/userweb/k.yaralioglu/dosyalar/Veri%20%20Zarflama%20Analizi.doc adresinden erişildi.

Yavuz, S. ve İşçi, Ö. (2013). Veri Zarflama Analizi İle Türkiye'de Gıda İmalatı Yapan Firmaların Etkinliklerinin Ölçülmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 36, 157-174.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM). *Enerji nedir?* 28 Mart 2020 tarihinde YEGM: http://www.yegm.gov.tr/genc_cocuk/Enerji_Nedir.aspx. adresinden erişildi.

Yıldız, F. (2013). Avrupa Birliği Enerji Politikaları ve Enerji Arz Güvenliği Arayışları. *İnsan ve Toplum Dergisi*, 3(5), 159-181.

Yılmaz, A., Ürüt Kelleci, S. ve Bostan, A. (2016). Türkiye'de İmalat Sanayinde Enerji Tüketiminin İncelenmesi: Ayrıştırma Analizi. *Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9 (1), 205-224.

Yılmaz, F. ve Şenel, İ.K. (2019). Sağlık Kurumlarının Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi İle Değerlendirilmesi. *Sosyal Güvenlik Uzmanları Derneği - Sosyal Güvence Dergisi*, 7 (15), 63-88.

Yılmaz, M. (2009). Enformasyon ve Bilgi Kavramları Bağlamında Enformasyon Yönetimi ve Bilgi Yönetimi. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi,* 49 (1), 95-118.

Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54.

Yılmaz, Z. ve Danışoğlu, F. (2017). Ekonomik Kalkınmada Beşeri Sermayenin Rolü ve Türkiye'de Beşeri Kalkınmanın Görünümü Olarak İnsani Gelişim Endeksi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 51, 117-147.

Younger, P.L. (2015). Geothermal Energy: Delivering On The Global Potential. *Energies*, 8, 11737-11754.

Yu, M.M. ve Fu, C.K. (2009). Logistics And Transportation Review Measuring The Performance Of Multimode Bus Transit: A Mixed Structure Network DEA Model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45 (3), 501-515.

Yükçü, S. ve Atağan, G. (2009). Etkinlik, Etkililik ve Verimlilik Kavramlarının Yarattığı Karışıklık. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(4), 1-13.

Yürüşen, S. (2011). *Veri Zarflama Analizi İle Bayi Performansının Hesaplanması: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Zaim, A. ve Çavşi, H. (2018). Türkiye'de Jeotermal Enerji Santrallerinin Durumu. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 59 (691), 45-48.

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), 1-10.

Zhang, J., Wu, Q. ve Zhou, Z. (2019). A Two-Stage DEA Model For Resource Allocation In Industrial Pollution Treatment And Its Application In China. *Journal of Cleaner Production*, 228, 29-39.

Zhao, H., Guo, S. ve Zhao, H. (2019). Provincial Energy Efficiency of China Quantified By Three-Stage Data Envelopment Analysis. *Energy*, 166, 96–107.

Zhu, J. (2011). Airlines Performance Via Two-Stage Network DEA Approach. *Journal of CENTRUM Cathedra*, 4 (2), 260-269.

Zile, M. (2005). TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası. Güneş ve Rüzgâr Kaynaklı Yeni Bir Enerji Sistemi. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildirileri*, 1-3. 7 Nisan 2020 tarihinde EMO: http://www.emo.org.tr/ekler/b93980bc94a17e3_ek.pdf. adresinden erişildi.

EKLER

EK-1: Analizde kullanılan veriler ve temin edildiği yer adları

Değişken	Veri Bankası	Birim
Nüfus	Dünya Bankası	Kişi
GSYİH	Dünya Bankası	Cari ABD Doları
İşgücü	Dünya Bankası	Kişi
Kara Alanı	Dünya Bankası	Km2
İGE	UNDP - Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı	Oran
Katı Yakıt	Eurostat	Bin ton petrol eşdeğeri (TOE)
Sıvı Yakıt	Eurostat	Bin ton petrol eşdeğeri (TOE)
Gaz Yakıt	Eurostat	Bin ton petrol eşdeğeri (TOE)
Co2 Emisyonları	Küresel Karbon Atlası	Metrik Ton/Ton
Yatırım	Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTAD)	Milyon ABD Doları
Gelir	Dünya Bankası	Kişi Başına Düşen GSYİH/Cari ABD Doları
Tüketim	Dünya Bankası	Cari ABD Doları

EK-2: Analizde kullanılan veri seti

Ülkeler	Gelir	Nüfus	Kara Alanı	Tüketim	Yatırım
Avusturya	49.400	8.840.521	82.523	323.796.670.169	2.085,67
Belçika	45.940	11.427.054	30.280	405.322.483.037	17.733,27
Bulgaristan	8.910	7.025.037	108.560	50.409.800.845	1.213,91
Hırvatistan	14.010	4.087.843	55.960	47.350.055.741	1.151,94
Kıbrıs	26.620	1.189.265	9.240	19.989.726.027	6.469,45
Çek Cumhuriyeti	20.230	10.629.928	77.220	164.972.606.890	11.010,36
Danimarka	60.920	5.793.636	41.990	252.517.037.033	162,64
Estonya	21.350	1.321.977	43.470	21.302.412.325	1.486,08
Fransa	41.080	66.965.912	547.557	2.151.370.811.509	38.185,10
Almanya	47.150	82.905.782	349.360	2.845.252.443.289	73.569,58
Yunanistan	19.620	10.732.882	128.900	190.106.137.873	3.973,34
Macaristan	14.760	9.775.564	90.530	107.992.665.010	8.365,01
İtalya	33.770	60.421.760	294.140	1.653.685.758.165	32.886,23
Letonya	16.520	1.927.174	62.180	26.470.961.889	994,37
Litvanya	17.380	2.801.543	62.642	41.832.979.471	1.093,58
Hollanda	51.310	17.231.624	33.690	624.800.516.775	114.305,66
Polonya	14.150	37.974.750	306.190	445.478.583.493	13.946,90
Portekiz	21.990	10.283.822	91.606	196.607.749.006	6.794,41
Romanya	11.430	19.472.545	230.080	193.891.541.506	6.218,93
Slovak Cumhuriyeti	18.330	5.446.771	48.080	79.168.896.924	1.183,91
Slovenya	24.530	2.073.894	20.142	37.955.429.064	1.369,13
İspanya	29.320	46.797.754	499.564	1.091.935.339.809	45.009,94
İsveç	55.620	10.175.214	407.310	398.576.323.586	3.856,88
Türkiye	10.420	82.319.724	769.630	551.654.565.073	12.981,00
Finlandiya	48.300	5.515.525	303.910	209.181.291.367	0,10
İrlanda	59.640	4.867.316	68.890	164.254.888.357	0,10
Lüksemburg	70.910	607.950	2.430	32.923.221.406	0,10
Kuzey Makedonya	5.470	2.082.958	25.220	10.186.039.906	725,20
Sırbistan	6.400	6.982.604	87.460	43.435.774.958	4.127,55
Bosna Hersek	5.740	3.323.929	51.200	19.340.915.510	472,80
Arnavutluk	4.860	2.866.376	27.400	13.659.877.099	1.289,69
Malta	26.350	484.630	320	8.738.680.201	4.023,63
Karadağ	8.440	622.227	13.450	5.063.166.037	489,81

** Finlandiya, İrlanda ve Lüksemburg ülkelerine ait yatırım verisi eksi olduğu için analiz aşamasında 0.1 şeklinde değer verilerek analize dâhil edilmiştir.*

EK-2: Analizde kullanılan veri seti (Devamı)

Ülkeler	İGE	İşgücü	GSYİH	CO2 Emisyonları
Avusturya	0,914	4.601.213	455.508.255.028,22	0,014520131
Belçika	0,919	5.089.752	542.685.915.417,41	0,010033592
Bulgaristan	0,816	3.327.614	66.200.847.917,92	0,022466256
Hırvatistan	0,837	1.794.730	60.991.399.904,44	0,053763152
Kıbrıs	0,873	625.713	24.961.995.748,70	0,133500654
Çek Cumhuriyeti	0,891	5.453.301	244.987.409.830,53	0,009438851
Danimarka	0,930	3.014.756	355.675.329.085,95	0,028727625
Estonya	0,882	705.816	30.747.159.197,90	0,051127097
Fransa	0,891	30.391.825	2.787.863.958.885,49	0,002959338
Almanya	0,939	43.560.137	3.949.548.833.952,94	0,001317520
Yunanistan	0,872	4.804.346	218.138.367.444,99	0,013534217
Macaristan	0,845	4.731.877	157.882.912.778,25	0,020057445
İtalya	0,883	26.034.264	2.085.764.300.862,27	0,002958346
Letonya	0,854	1.000.226	34.313.873.284,59	0,139070453
Litvanya	0,869	1.472.661	53.455.170.033,52	0,073776237
Hollanda	0,934	9.227.941	914.104.847.814,12	0,006187200
Polonya	0,872	18.391.322	587.114.101.392,70	0,002910886
Portekiz	0,850	5.267.545	241.274.628.877,36	0,019636566
Romanya	0,816	9.054.882	241.626.953.521,41	0,013502438
Slovak Cumhuriyeti	0,857	2.754.200	105.820.499.976,72	0,027755959
Slovenya	0,902	1.037.571	54.034.358.544,26	0,069291426
İspanya	0,893	23.065.037	1.419.735.245.004,70	0,003728091
İsveç	0,937	5.411.383	555.455.371.487,09	0,024374252
Türkiye	0,807	32.826.049	771.350.331.372,71	0,002335469
Finlandiya	0,925	2.742.737	275.893.681.355,89	0,021281531
İrlanda	0,942	2.385.556	382.674.360.766,34	0,025686405
Lüksemburg	0,909	302.721	70.919.958.015,52	0,104365614
Kuzey Makedonya	0,759	959.864	12.628.854.800,98	0,137581861
Sırbistan	0,799	3.241.884	50.597.289.146,70	0,022005057
Bosna Hersek	0,769	1.319.691	20.183.498.491,25	0,046141849
Arnavutluk	0,791	1.318.022	15.147.020.535,39	0,218818381
Malta	0,885	235.579	14.603.581.712,33	0,631552356
Karadağ	0,816	277.016	5.506.766.650,92	0,497908783

** CO2 emisyon ve işsizlik verilerinin çıktı değişkeni olarak değerlendirililebilmesi için bire bölünmesi sonucu elde edilen veri ile analize dahil edilmiştir.*

EK-2: Analizde kullanılan veri seti (Devamı)

Ülkeler	Toplam Enerji Tüketimi	Katı Yakıt	Sıvı Yakıt	Gaz Yakıt
Avusturya	33.987,05	2.723,16	12.481,55	7.394,68
Belçika	55.028,92	3.102,92	22.872,44	14.908,00
Bulgaristan	18.983,41	5.633,72	4.601,80	2.612,14
Hırvatistan	8.677,24	366,36	3.352,37	2.292,21
Kıbrıs	2.633,07	13,61	2.358,16	0,10
Çek Cumhuriyeti	43.551,72	15.725,65	9.814,98	6.819,11
Danimarka	18.285,21	1.717,32	7.132,34	2.673,44
Estonya	6.297,55	16,74	130,50	413,50
Fransa	254.711,26	9.049,90	76.899,61	36.725,80
Almanya	314.425,28	69.738,59	108.490,24	73.552,20
Yunanistan	23.824,31	4.564,07	11.433,19	4.117,24
Macaristan	26.712,29	2.120,31	8.089,65	8.273,80
İtalya	156.993,07	8.541,60	54.748,74	59.513,40
Letonya	4.793,26	45,23	1.590,34	1.169,04
Litvanya	7.795,05	172,91	3.085,91	1.775,69
Hollanda	77.895,97	8.212,42	31.846,56	30.729,13
Polonya	106.784,00	49.249,59	30.803,54	16.124,10
Portekiz	24.028,79	2.696,21	10.197,22	5.043,47
Romanya	33.596,07	5.046,95	9.724,95	9.942,38
Slovak Cumhuriyeti	17.045,60	3.339,01	3.785,96	4.077,06
Slovenya	6.827,42	1.131,47	2.454,53	724,72
İspanya	130.555,69	11.516,02	57.512,38	27.082,12
İsveç	50.765,99	2.011,34	11.090,97	1.000,62
Türkiye	148.117,11	40.824,69	46.330,67	41.017,48
Finlandiya	34.890,93	2.754,30	8.820,63	2.172,52
İrlanda	14.824,29	726,20	7.392,02	4.487,60
Lüksemburg	4.508,74	42,13	2.916,53	683,63
Kuzey Makedonya	2.571,82	837,75	993,63	208,83
Sırbistan	15.527,99	7.548,93	3.816,13	2.131,88
Bosna Hersek	7.478,33	4.230,08	1.691,22	199,06
Arnavutluk	2.353,24	223,42	1.153,91	34,82
Malta	844,46	0,10	452,43	292,93
Karadağ	1.078,17	360,53	389,81	0,10

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	Fırat İbrahim YİLMAZ
Doğum Yeri	Ankara
Doğum Tarihi	1987

LİSANS EĞİTİM BİLGİLERİ

Üniversite	Ankara Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölüm	İstatistik Bölümü

YABANCI DİL BİLGİSİ

İngilizce	**KPDS (X) ÜDS (….) TOEFL (….) EILTS (….)**
…	

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurum	Posta ve Telgraf Teşkilatı A.Ş.
Görevi/Pozisyonu	Memur
Tecrübe Süresi	10 Yıl

KATILDIĞI

Kurslar	
Projeler	

İLETİŞİM

Adres	
E-mail	fiyilmaz@outlook.com