

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

AVRUPA ÜLKELERİNİN RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİSİ
SEKTÖRLERİNİN ENERJİ ÜRETİMİ VE İNOVASYON
EKONOMİK ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doktora Tezi

Gaye DEMİRHAN BAŞBİLEN

Ankara, 2023

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

AVRUPA ÜLKELERİNİN RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİSİ
SEKTÖRLERİNİN ENERJİ ÜRETİMİ VE İNOVASYON
EKONOMİK ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doktora Tezi

Gaye DEMİRHAN BAŞBİLEN

Tez Danışmanı:
Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ

Ankara, 2023

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

AVRUPA ÜLKELERİNİN RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİSİ
SEKTÖRLERİNİN ENERJİ ÜRETİM VE İNOVASYON
EKONOMİK ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doktora Tezi
Gaye Demirhan BAŞBİLEN

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ

TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ

Adı ve Soyadı

İmzası

1-Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ

2-Prof. Dr. Kadir GÜRDAL

3-Prof. Dr. Güray KÜÇÜKKOCAOĞLU

4-Doç. Dr. Mustafa DOĞAN

5-Doç. Dr. Ayşe YILDIZ

Tez Savunması Tarihi: 11 Aralık 2023

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Prof. Dr. Fazıl Gökğöz danışmanlığında hazırladığım “Avrupa Ülkelerinin Rüzgar ve Güneş Enerjisi Sektörlerinin Enerji Üretimi ve İnovasyon Ekonomik Etkinliklerinin Değerlendirilmesi (Ankara.2023)” adlı doktora tezimdeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

Gaye Demirhan Başbilen

15-11-2023

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimim boyunca bilgilerini ve tecrübelerini benden esirgemeyen Ankara Üniversitesi İşletme Bölümü'nün değerli hocalarına tüm emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunuyorum.

Bana yol gösteren, sabırla beni destekleyen, benden umudunu hiç ama hiç kesmeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Fazıl Gökğöz olmasaydı böyle bir tez olamayacaktı. Kendisine çok teşekkür ediyorum.

Beni bugünlere tek başına getiren canım annem, sana ne desem az kalır.

Sevgili eşime ve tezimin uzun ve meşakkatli sürecinde hayata gelen ve şimdi kocaman olan yavrularım Toprak ve Yağmur'a da tüm destekleri için minnettarım.

Çırağı olmaktan gurur duyduğum Sayın. Dr. Atilla Akalın'a iş hayatının içindeyken akademik gelişimime destek olduğu için, sevgili iş arkadaşım Çağdaş Hanım'a sağlığınıza daha önemli diye beni dengelediği, Özge Hanım'a da aslan burcu başladığını bitirir diyerek beni motive ettiği için ayrı ayrı müteşekkirim.

Son olarak da sevgili melek arkadaşım Angela, çok uzaklardan senin her görüşmemizde bana verdiğin moral çok önemliydi, iyi ki varsın, iyi ki varsınız.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
KISALTMALAR LİSTESİ	ii
TABLolar DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
GİRİŞ	1
BİRİNCİ BÖLÜM	7
KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
1.1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	7
1.2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	28
İKİNCİ BÖLÜM	37
AMPİRİK ÇALIŞMA VE BULGULAR	37
2.1 PROBLEM	37
2.2 AMAÇ	39
2.3 ÖNEM	40
2.4 SINIRLILIKLAR	41
2.5 YÖNTEM	43
2.6 ARAŞTIRMA MODELLERİ	45
2.8 VERİ ANALİZİ	50
2.9 BULGULAR VE YORUMLAR	63
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	86
SONUÇ VE ÖNERİLER	86
EKLER	93
EK. 1	93
EK.2	94
EK.3	95
EK.4	97
Kaynakça	98
ÖZET	121
ABSTRACT	122

KISALTMALAR LİSTESİ

AB :	Avrupa Birliği
AR-GE:	Araştırma ve Geliştirme
BCC:	Banker Charnes Cooper
CN:	Kombine Nomenklatur
CCR:	Charnes Cooper Rhodes
CRS:	Ölçeğe Göre Sabit Getiri (Constant Returns to Scale)
DDF:	Yönelimsel Mesafe Fonksiyonu (Directional Distance Function)
DMU:	Karar Verme Birimleri (Decision Making Units)
EBM:	Epsilon Temelli Ölçek (Epsilon- Based Measure)
EEA:	Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency)
ERM:	Geliştirilmiş Russell Ölçeği (Enhance Russell Measure)
FV:	Fotovoltaik
FIT:	Sabit Garantili Fiyat (Feed-in Tariff)
IEA:	Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
IPCC:	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
IRENA:	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (International Renewable Energy Agency)
ITC:	Uluslararası Ticaret Merkezi (International Trade Center)
GWh	Gigawatt saat
MCDM:	Çok Kriterli Karar Verme (Multiple Criteria Decision Making)
MORO-D:	Çok Amaçlı Baskınlı Oran Optimizasyonu (Multiple Objective Ratio Optimization with Dominance)
MW	Megawatt
OECD:	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (Organisation for Economic-Cooperation and Development)
RAM:	Aralık Ayarlı Ölçek (Range Adjusted Measure)
RM:	Russell Ölçeği (Russell Measure)
SBI:	Artık Temelli Etkinsizlik (Slacks- Based Inefficiency)
SE:	Süper Etkinlik
SGE:	Sera Gazı Emisyonları

SFA:	Stokastik Sınır Analizi (Stochastic Frontier Analysis)
TÜREB:	Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
VRS:	Ölçeğe Göre Değişen Getiri (Variable Returns to Scale)
VZA:	Veri Zarflama Analizi(Data Envelopment Analysis)
YEK:	Yenilenebilir Enerji Kaynakları



TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 1. VZA Modelleri	30
Tablo 2. Enerji Üretim Etkinliği Girdi ve Çıktıları	46
Tablo 3. İnovasyon Ekonomik Etkinliği Araştırmasının Aşamaları ve Girdileri	49
Tablo 4. Enerji Üretim Etkinliği Data Açıklamaları.....	50
Tablo 5. İnovasyon Ekonomik Etkinlik Araştırması Veri Kaynakları ve Açıklamaları.....	52
Tablo 6. Güneş Enerjisi Sektörü Enerji Üretim Etkinliği Girdileri ve Çıktı Ortalamaları- 2021	53
Tablo 7. Rüzgâr Enerjisi Sektörü Enerji Üretim Etkinliği Girdileri ve Çıktı Ortalamaları- 2021	54
Tablo 8. Avrupa Ülkeleri Ortalama AR-GE Bütçesi ve AR-GE Personeli- Güneş Enerjisi Sektörü.....	56
Tablo 9. Avrupa Ülkeleri Ortalama Patent Başvuruları- Güneş Enerjisi Sektörü	57
Tablo 10. Avrupa Ülkeleri Ortalama İhracat ve İthalat Rakamları- Güneş Enerjisi Sektörü	57
Tablo 11. Avrupa Ülkeleri Ortalama AR-GE Bütçesi ve AR-GE Personeli- Rüzgar Enerjisi Sektörü	60
Tablo 12. Avrupa Ülkeleri Ortalama Patent Başvuruları- Rüzgar Enerjisi Sektörü.....	61
Tablo 13. Avrupa Ülkeleri Ortalama İhracat ve İthalat Rakamları- Rüzgar Enerjisi Sektörü.....	61
Tablo 14. Güney ve Doğu Avrupa Ülkelerinde Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Üretim Etkinliği	64
Tablo 15. Güney ve Doğu Avrupa Ülkeleri Güneş Enerjisi Üretim Etkinliği Geliştirme Oranları (%).....	65
Tablo 16. Güney ve Doğu Avrupa Ülkeleri Rüzgar Enerjisi Üretim Etkinliği Geliştirme Oranları (%).....	66
Tablo 17. Kuzey ve Orta Avrupa Ülkelerinde Güneş ve Rüzgar Enerjisi Üretim Etkinliği	67
Tablo 18. Kuzey ve Orta Avrupa Ülkeleri Güneş Enerjisi Üretim Etkinliği Geliştirme Oranları (%).....	68
Tablo 19. Kuzey ve Orta Avrupa Ülkeleri Rüzgâr Enerjisi Üretim Etkinliği Geliştirme Oranları (%).....	69
Tablo 20. Güneş Enerjisi Sektörü AR-GE Etkinlikleri-2019	70

Tablo 21. Güneş Enerjisi Sektörü AR-GE Etkinlikleri-2020	73
Tablo 22. Güneş Enerjisi Sektörü İnovasyon Ekonomik Etkinlikleri-2021	76
Tablo 23. Güneş Enerjisi Sektörü İnovasyon Ekonomik Etkinlikleri-2022	77
Tablo 24. Rüzgar Enerjisi Sektörü AR-GE Etkinlikleri-2019	78
Tablo 25. Rüzgar Enerjisi Sektörü AR-GE Etkinlikleri-2020	79
Tablo 26. İnovasyon Ekonomik Etkinlikleri-2021	81
Tablo 27. İnovasyon Ekonomik Etkinlikleri-2022	82
Tablo 28. Avrupa Ülkelerinin Etkin Görünme Sayıları.....	85
Tablo 29. Güneş Enerjisi Kurulu Güç, Çalışan Sayısı, İş Hacmi ve Enerji Üretimi İstatistikleri	93
Tablo 30. Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç, Çalışan Sayısı, İş Hacmi ve Enerji Üretimi İstatistikleri	94
Tablo 31. Güneş Enerjisi Sektöründe Personel Sayılarının Hesaplanması- 2017-2018	95
Tablo 32. Rüzgar Enerjisi Sektöründe Personel Sayılarının Hesaplanması 2017-2018	97

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. YEK'lerin Brüt Elektrik Tüketimindeki Payı-2004-2021	11
Şekil 2. Elektrik Üretiminde Sera Gazı Emisyon Yoğunluğu.....	13
Şekil 3. Avrupa Ortalama Rüzgâr Hızları	15
Şekil 4. Güneş Enerjisi Üretim Haritası	17
Şekil 5. 2020-2021 Avrupa Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü (MW)	18
Şekil 6. 2020-2021 Avrupa'da Rüzgar Gücüne Dayalı Üretim(TWh/yıl)	19
Şekil 7. 2020-2021 FV Güneş Enerjisi Kurulu Gücü (MW).....	20
Şekil 8. 2020-2021 FV Güneş Enerjisi Üretimi (TWh/yıl)	21
Şekil 9. AB Rüzgar ve Güneş Ürünleri İthalatı 2012-2022 (Milyon euro).....	22
Şekil 10. AB Rüzgar ve Güneş Ürünleri İhracatı 2012-2022 (Milyon euro)	23
Şekil 11. Yenilenebilir Enerji Patentlerinde Gelişim	26
Şekil 12 Sektör Bazında Karbon Emisyon Oranları-2019-2022	37
Şekil 13. İki Aşamalı Analiz	50
Şekil 14. 2021 Avrupa Ülkeleri İthalat ve İhracat Durumu Güneş Enerjisi.....	58
Şekil 15. Avrupa Ülkeleri İthalat ve İhracat Durumu Güneş Enerjisi-2022	59
Şekil 16. Avrupa Ülkeleri İthalat ve İhracat Rakamları Rüzgar Enerjisi- 2021.....	62
Şekil 17. Avrupa Ülkeleri İthalat ve İhracat Rakamları Rüzgar Enerjisi-2022.....	63

GİRİŞ

İklim değışikliği ile mücadele, özellikle son 30 yıldır, birçok ülkenin ana gündem konusunu teşkil etmektedir. 1994 yılında yürürlüğe giren İklim Değişikliğiyle Mücadele Çerçevesi, 2004 tarihli Kyoto Protokolü ile 2015 tarihli Paris İklim Anlaşması, iklim değışikliğine karşı alınan önlemlerde dönüm noktalarıdır. Paris İklim Anlaşması ile küresel ortalama sıcaklık artışının 2°C'nin altında ve mümkün olması durumunda 1,5°C'de tutulması hedefi benimsenmiş ve her ülke bu hedefe yönelik bir yöntem belirlemeye başlamıştır.

Bu mücadelenin lider taraflarından biri de Avrupa Birliği olup, Paris Anlaşması'na da ayrıca Birlik olarak taraf olmuştur. Bu anlaşma ile tüm ülkelerden iklim değışikliğine mücadelede katkısını gösterecekleri bir Ulusal Katkı Beyanı sunmaları beklenmektedir (United Nations Climate Change, 2023).

Avrupa Birliği, Ulusal Katkı Beyan'ına göre; emisyonları 2030 yılına kadar 1990 seviyelerine kıyasla minimum %55 azaltacaktır. 2050 hedefi emisjonsuz bir kıta haline gelmektir. Türkiye ise 2022 'de açıkladığı Ulusal Katkı Beyanına göre 1990 yılına kıyasla 2030 yılına kadar en fazla %41 oranına yükseltme olarak belirlenmiştir (T.C. Dışışleri Bakanlığı, 2023). İngiltere'nin hedefi %68 azaltım, Norveç'in hedefi ise %55 düzeyinde azaltımdır (UNFCCC, 2022).

Avrupa'da sera gazı emisyonlarının %75'i enerji sektörü kaynaklı olduğu düşünüldüğünde, bu katkıların gerçekleştirilmesi için yenilenebilir enerjinin kilit rol oynayacağı açıktır.

Avrupa, 1997'den bu yana üyeleri için yenilenebilir enerji hedefleri belirlemektedir. 2010 yılında, yenilenebilir kaynakların toplam enerjideki payının %12'ye çıkarılması olarak ilk hedefler belirlenmiştir. Daha sonra 2001/77/EC, 2003/30/EC, 2003/54/EC ve 2009/28/EC Direktifleri yürürlüğe girmiştir.

2009 tarihli direktif, 2020 yılına kadar “20/20/20” olarak kısaltılan üç hedef içermektedir:

- SGE seviyelerini 90 yılına göre %20 azaltmak
- Enerji etkinliğini 2005'e göre %20 oranında arttırmak
- Yenilenebilir enerji yüzdesini %20'ye çıkarmak

AB, 2018'de yenilenebilir enerji hedefini yeniden revize etmiştir ve AB2018/2001 veya kısaca RED I olarak bilinen yeni direktife göre bu oran 2030 yılına kadar %32'ye çıkarmak olarak belirlenmiştir. Bununla da yetinmeyen AB, AB/2023/2413 revize Yenilenebilir Enerji Direktifi ile 2030 yılına kadar yenilenebilir kaynakların payının en az %42,5 olmasını hedeflemektedir (Avrupa Komisyonu, 2023).

Türkiye ise Ulusal Enerji Planı ile, 2035 yılında kesintili yenilenebilir enerji kaynakları için elektrik üretim payını %34,2'ye çıkarmayı planlamaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022). İngiltere 2035 yılında tüm elektriğini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamayı planlamaktadır (Gov.UK, 2023). Norveç ise 2030'da karbon nötr olmayı planlamaktadır (Nordic Energy Research, 2015).

İnovasyonlar birçok sektörde büyümenin itici gücüdür; yenilenebilir enerji alanında da durum benzerdir. Yeni teknolojilerin bulunması veya maliyet düşürücü yeni süreçler ile birçok yenilenebilir enerji teknolojisi geçmişe göre çok düşük maliyetlere

sahip olmuştur. Bu nedenle bu teknolojilerde inovasyonun gelişmesi ve gelişmenin verimli bir şekilde yürütülmesi için ölçülmesi şarttır.

Veri zarflama analizi, karşılaştırmalı etkinlik çalışmalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Charnes, Cooper ve Rhodes'un bu ölçümü, bir etkinlik hesaplama yöntemi olarak sundukları 1978 yılından bu yana model, birçok alanda uygulanabilecek şekilde değişimlerden geçirilmiş hatta son yıllarda bulanık VZA, Makine Öğrenmeli Hibrit Modeller şeklinde kullanımları da olmuştur. 1999 yılında, Seiford tarafından önerilen iki aşamalı model ise inovasyon ve teknolojik gelişimleri konu alan çalışmalarda da yaygın kullanılmıştır.

İnovasyonun iki aşamadan oluşan bir süreç olduğu düşünülmektedir. Birinci aşamada, yani AR-GE aşamasında insan kaynakları, belli bir bütçe dahilinde bilimsel ve teknolojik başarılar ve ürünler elde edilir. İkinci aşamada ise bu girdiler teknolojik ticari ürünler olan nihai çıktılara dönüştürülür (Wang ve diğerleri 2016).

Yenilenebilir enerji kaynaklarında inovasyon etkinliğinin araştırılması verimsiz işletmelerin iyileştirilmesine hizmet edebilir (Tingting ve diğerleri 2021)

AR-GE harcamaları, inovasyon, ihracat ve ekonomik büyüme ilişkileri üzerine yapılan oldukça fazla sayıda çalışma (Sandu ve Bogdan, 2014; D'Angelo, 2012; Altomonte ve diğerleri, 2016; Segarra-Blasco ve diğerleri, 2020) bulunmaktadır.

Yalnız yenilenebilir enerji özelinde, ülke seviyesinde ve de özellikle de karşılaştırmalı çalışmalar çok kısıtlıdır, mevcut çalışmalar firma seviyesinde ve genelde Çin ile sınırlı kalmaktadır (Shen ve diğerleri, 2022; Chang ve diğerleri, 2020).

Benzer şekilde enerji üretim etkinliği ile ilgili çalışmalar genellikle ülke veya bölgesel bazlı ve termik santraller özelinde emisyonların istenmeyen çıktı olarak ele alındığı çalışmalardır (Xie ve diğerleri, 2018; Sun ve Liu, 2018; Sueyoshi ve Liu, 2020; Xiao ve diğerleri, 2022).

Xiao ve diğerleri (2022), çalışmalarında her ne kadar fazla miktarda enerji üretim etkinlik çalışması olsa da farklı enerji kaynaklardan enerji üretim etkinliği ile ilgili çalışmaların sınırlı olduklarını belirtmişlerdir. Bu nedenle rüzgar ve güneş enerji üretim etkinliklerinin de ayrı ayrı olarak bakılması da yatırım kaynaklarının verimli sektörlere aktarılması açısından önemlidir.

Bu çalışma ile;

(i) Avrupa ülkelerinin güneş ve rüzgar sektörlerinin enerji üretim etkinliklerini kurulu güç (teknik girdi olarak) insan kaynağı (beşeri) ve yatırım ile işletme giderlerini (finansal girdi) kullanarak ölçmek

(ii) Avrupa ülkelerinin güneş ve rüzgar sektörlerine yönelik patent başvuruları açısından AR-GE bütçelerini ve araştırmacı sayısını incelemek

(iii) Patent girdilerinin, rüzgar enerjisine dayalı jeneratör grubu ve güneş panelleri ihracat rakamları ile ölçülebilecek bir ekonomik çıktıya dönüştürülmesi açısından güneş ve rüzgar sektörlerinin inovasyon ekonomik etkinliğini incelemek

(iv) En iyi performans gösteren ülkeleri belirlemek, politikalarından ders almak hedeflenmektedir.

Çalışma boyunca aşağıdaki sorulara yanıt aranacaktır:

(i) Kurulu güç, çalışan sayısı ve yatırım ve bakım/onarım gibi harcamaları da içeren iş hacmi girdi olarak alındığında, Avrupa ülkeleri enerji üretim etkinliği ne durumdadır?

(ii) AR-GE personel sayıları ve AR-GE bütçeleri girdi olarak alındığında Avrupa ülkeleri patent başvuruları açısından nasıl bir performans sergilemektedir?

(iii) Patent başvuru sayıları, patente dönüştükten sonra ihracatı artırıcı bir katkısı oluyor mu?

(iv) Güneş ve rüzgar sektörleri arasında AR-GE etkinlikleri arasında önemli bir fark var mı?

(v) Ülkelerin yenilenebilir enerji sektörleri arasında ekipman ihracatına bakıldığında inovasyon ekonomik etkinliği arasında anlamlı bir fark var mı?

Bu ampirik çalışmanın orijinal katkısı, yenilenebilir enerji alt sektörlerine mikro düzeyde odaklanmasıdır. Mevcut durum itibarıyla, Avrupa'nın rüzgar ve güneş enerjisi sektörlerini karşılaştıran bir inovasyon etkinliği çalışması bulunmamaktadır. En yaygın kullanıma sahip iki yenilenebilir enerji kaynağı, OECD, IRENA, AB ve Euroobserver gibi uluslararası kuruluşların mevcut en güncel verileriyle incelenmiştir. Bu çalışma, hükümetlerin ve ülkelerin AR-GE bütçelerinin sonuçlarını değerlendirmeleri ve mali kaynakları en verimli olanlara yönlendirmeleri için bir araç olabilir.

Çalışma, bu girişten başlayarak üç bölüm halinde yapılandırılmıştır. Bir sonraki bölümde kavramsal çerçeve yer almaktadır. Öncelikle Avrupa Birliği yenilenebilir enerji sektörünün mevcut durumu verilecektir. Sonrasında ise enerji üretimi, AR-GE ve inovasyon etkinliği çalışmalarına ilişkin literatür ile devam edilecektir. İkinci bölüm ampirik çalışmalara ve bulgulara ayrılmış olup Veri Zarflama modellerinin incelenmesinin ardından, Süper Etkinlik Modeli ile İki-Aşamalı Süper Etkinlik Veri Zarflama Analizi ile yapılan hesaplamalara yer verilecektir. Son bölümde ise, elde edilen sonuçlar irdelenecek ve ilerideki politikalar için önerilerde bulunulacaktır.

BİRİNCİ BÖLÜM

KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde araştırmanın ana konusu olan rüzgar ve güneş enerjisinden elektrik üretim sistemlerinin iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmedeki rolleri ve ülkelerin iklim ve enerji ile ilgili birbirini tamamlayan hedefleri ile ilgili temel kavramlar ve Avrupa ülkelerinin mevcut durumları hakkında bilgi verilecektir. Çalışmanın AR-GE faaliyetleri etkinlik analizi ve inovasyon ekonomik etkinlik analizine ilişkin olarak ise, Avrupa'nın rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi ekipmanları ithalat ve ihracat rakamları 2022 itibarıyla ele alınacaktır. Sonrasında, Avrupa Birliği'nin yenilikçilik ile ilgili mevzuatı, ülkelerin yenilikçilik durumları ve yenilenebilir enerji patentlerinde 2000'li yıllardan 2021 sonuna kadarki trendler sunulacaktır.

İkinci bölümde ise araştırma kullanılan metot olan Veri Zarflama Analizinin gelişimi, bugünkü kullanım şekilleri, enerji sektöründeki etkinlik araştırmalarında kullanımı ve inovasyon araştırmalarındaki kullanımı ile ilgili literatürden örnekler verilerek incelenecektir.

1.1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1.1. Avrupa Ülkelerinde İklim ve Yenilenebilir Enerji Hedefleri

İklim değişikliği ile mücadele, küresel ölçekte işbirliği gerektirmektedir. IPCC, 1990'lı yıllardan bu yana, artan sera gazı etkileri ve risklerini göz önünde bulundurarak iklim değişikliği etkilerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapmaktadır.

Altıncı değerlendirme raporunda, (IPCC, 2023) politikacıları, 2010-2019 yılları arasında yıllık sera gazı emisyonlarının yeni bir rekora ulaştığı, dolayısıyla aynı şekilde devam edilirse, 1,5°C hedefine ulaşamayacağı konusunda uyarmaktadır. 2019 yılında sera gazı kaynaklarının %64'ü fosil yakıt ve sanayi kaynaklı olduğu tespit edilmiş olup, fosil yakıtların azaltılması ve düşük karbonlu veya sıfır karbonlu enerji sistemlerine geçiş, hedefe ulaşmak için raporda sıralanan eylemler arasında yer almaktadır.

1990 yılındaki ilk IPCC Raporundan bu yana Avrupa Birliği, düzenli olarak güncellenen emisyon azaltma ve YEK hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarını aktif olarak teşvik etmektedir.

Bu yönde yürürlüğe giren ilk Direktif çevre korumaya yönelik olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğe öncelik verilebileceğini ifade eden 96/92/EC Direktifidir (Eur-Lex, 1997).

2001/77/EC direktifi yenilenebilir enerjiler için, enerji tüketiminde 2010 yılına kadar %12'lik bir hedef belirlemiştir (Eur-Lex, 2001).

Bunu takiben 2003 yılında kabul edilen direktif biyoyakıtları ve yenilenebilir yakıtları desteklemeye yöneliktir. Biyoyakıtların payının 5 yıl içerisinde % 2'ye çıkarılmasını hedef koymuştur (Eur-Lex, 2003).

Aynı yıl çıkan 2003/54/EC direktifi, sistem işletmecilerine yenilenebilir enerji kaynaklarına öncelik vermesi yönünde üye devletlerin inisiyatif alabileceği hususuna yer vermektedir (Eur-Lex, 2003).

2009/28/EC direktifi, 2020 yılına kadar “20/20/20” olarak kısaltılan üç hedef içermektedir:

- SGE seviyelerini 90 yılına göre %20 azaltmak
- Enerji etkinliğini 2005’e göre %20 oranında arttırmak
- Yenilenebilir enerji yüzdesini %20’ye çıkarmak

AB, 2018’de yenilenebilir enerji hedefini yeniden revize etmiştir ve AB2018/2001 veya kısaca RED I olarak bilinen yeni direktife göre, bu oran 2030 yılına kadar %32’ye çıkarmak olarak belirlenmiştir. 2021 yılında “55’e Uyum” paketi olarak anılan mevzuat değişiklikleri ile Avrupa Birliği RED I direktifini revize etmiş ve 2030’a kadar enerjide yenilenebilir enerji kaynaklarının payını, bağlayıcı olacak şekilde %40 olarak belirlemiştir. Bununla da yetinmeyen AB, son olarak AB/2023/2413 revize Yenilenebilir Enerji Direktifi ile 2030 yılına kadar yenilenebilirlerin payının en az %42,5 olmasını hedeflemektedir (Avrupa Komisyonu, 2023).

Avrupa ülkelerinin tarihsel olarak brüt elektrik tüketiminin yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanma oranları Şekil’1.de verilmektedir.

Buna göre 2021 sonu itibariyle, Avrupa’da yenilenebilir enerjinin payı %37,5’tur. Avrupa ülkeleri arasında en büyük yenilenebilir payına sahip ülke, büyük bir hidroelektrik üretimi de bulunan Norveç’tir. Onu %94 pay ile Arnavutluk, %76,2 pay ile Avusturya takip etmektedir. Türkiye’de 2021 yılı itibariyle yerli kaynakların payı %35,4, Ulusal Enerji Planı’nda kesintili olarak tanımlanan rüzgar ve güneşin payı ise %15’tir (TEİAŞ, 2023). Avrupa’da en az üretim payı ise %3,6 ile Moldova’da %5,4 ile Kosova’da ve %9,7 ile Malta’dadır.

Türkiye ise Ulusal Enerji Planı ile, 2035 yılında kesintili yenilenebilir enerji kaynakları için elektrik üretim payını %34,2'ye çıkarmayı planlamaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022). İngiltere 2035 yılında tüm elektriğini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamayı planlamaktadır (Gov.UK, 2023). Norveç ise 2030'da karbon nötr olmayı planlamaktadır (Nordic Energy Research, 2015).

Türkiye'de 2022 itibariyle rüzgar, güneş ve jeotermal toplam elektrik üretiminin %19'unu, hidroelektrik ile birlikte ise %40'ını sağlamaktadır (Teiaş, 2023).

Avrupa Çevre Ajansı (EEA)'na göre, 2023 yılında AB, uluslararası havacılık sektörü dahil emisyonlarını 1990 seviyelerine kıyasla %31 oranında düşürmüştür (European Environment Agency, 2023). Elektrik sektörü ise 2022 itibari ile 1990'a kıyasla %50 daha az sera gazı yoğunluğuna sahiptir.

Brüt Elektrik Tüketiminde Yenilenebilir Kaynakların % Payı (2004-2021)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
AB	15.9	16.4	16.9	17.6	18.5	20.7	21.3	23.3	25.1	26.8	28.6	29.7	30.2	31.1	32.1	34.1	37.4	37.5
Belçika	1.7	2.4	3.1	3.7	4.6	6.2	7.3	9.0	11.3	12.5	13.4	15.6	15.8	17.2	18.9	20.8	25.1	26.0
Bulgaristan	8.4	8.7	8.7	8.9	9.5	10.9	12.4	12.6	15.8	18.7	18.7	19.0	19.1	19.0	22.4	23.5	23.6	18.8
Çekya	3.7	3.8	4.1	4.6	5.2	6.4	7.5	10.6	11.7	12.8	13.9	14.1	13.6	13.7	13.7	14.0	14.8	14.5
Danimarka	23.8	24.6	24.0	25.0	25.9	28.3	32.7	35.9	38.7	43.1	48.5	51.3	53.7	59.9	62.4	65.3	65.3	62.6
Almanya	9.4	10.6	11.9	13.7	15.1	17.5	18.2	20.9	23.6	25.3	28.2	30.9	32.3	34.6	37.6	40.6	44.2	43.7
Estonya	0.5	1.1	1.4	1.4	2.0	6.0	10.3	12.2	15.7	12.9	14.0	16.2	16.2	17.6	19.7	22.0	28.3	29.3
İrlanda	6.0	7.2	8.5	9.5	10.8	14.1	15.6	18.3	19.8	21.0	23.3	25.7	27.1	30.3	33.3	36.5	39.1	36.4
Yunanistan	7.8	8.2	8.9	9.3	9.6	11.0	12.3	13.8	16.4	21.2	21.9	22.1	22.7	24.5	26.0	31.3	35.9	35.9
İspanya	19.0	19.2	20.0	21.7	23.8	27.9	29.7	31.5	33.4	36.0	37.1	37.0	36.7	36.5	35.2	37.1	42.9	46.0
Fransa	13.8	13.7	14.1	14.3	14.4	15.1	14.8	16.2	16.5	17.0	18.5	18.8	19.2	19.9	21.1	22.4	24.8	25.0
Hırvatistan	35.0	35.2	34.8	34.0	33.9	35.9	37.5	37.6	38.8	42.1	45.2	45.4	46.7	46.4	48.1	49.8	53.8	53.5
İtalya	16.1	16.3	15.9	16.0	16.6	18.8	20.1	23.5	27.4	31.3	33.4	33.5	34.0	34.1	33.9	35.0	38.1	36.0
Kıbrıs	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6	1.4	3.4	4.9	6.7	7.4	8.4	8.6	8.9	9.4	9.8	12.0	14.8
Letonya	46.0	43.0	40.4	38.6	38.7	41.9	42.1	44.7	44.9	48.7	51.0	52.2	51.3	54.4	53.5	53.4	53.4	51.4
Litvanya	3.6	3.8	4.0	4.7	4.9	5.9	7.4	9.0	10.9	13.1	13.7	15.5	16.9	18.3	18.4	18.8	20.2	21.3
Lüksemburg	2.8	3.2	3.2	3.3	3.6	4.1	3.8	4.1	4.7	5.3	6.0	6.2	6.7	8.1	9.1	10.9	13.9	14.2
Macaristan	2.2	4.4	3.5	4.2	5.3	7.0	7.1	6.4	6.1	6.6	7.3	7.3	7.3	7.5	8.3	10.0	11.9	13.7
Malta	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.1	1.6	3.3	4.3	5.7	6.8	7.7	7.5	9.5	9.7
Hollanda	4.4	6.3	6.5	6.0	7.5	9.1	9.6	9.7	10.4	9.9	9.9	11.0	12.6	13.8	15.2	18.2	26.4	30.4
Avusturya	61.6	62.9	63.5	65.7	65.9	68.6	66.4	66.8	67.4	68.9	71.1	71.5	72.5	71.6	74.2	75.1	78.2	76.2
Polonya	2.0	2.5	2.9	3.3	4.2	5.7	6.5	8.1	10.6	10.7	12.4	13.4	13.3	13.1	13.0	14.4	16.2	17.2
Portekiz	27.4	27.7	29.3	32.3	34.1	37.6	40.6	45.8	47.5	49.1	52.1	52.6	54.0	54.2	52.2	53.8	58.0	58.4
Romanya	28.4	28.8	28.1	28.1	28.1	30.9	30.4	31.1	33.6	37.5	41.7	43.2	42.7	42.0	41.8	42.6	43.4	42.5
Slovenya	29.3	28.7	28.2	27.7	30.0	33.8	32.2	31.0	31.6	33.1	33.9	32.7	32.1	32.4	32.3	32.6	35.1	35.0
Slovakya	15.4	15.7	16.6	16.5	17.0	17.8	17.8	19.3	20.1	20.8	22.9	22.7	22.5	21.3	21.5	22.1	23.1	22.4
Finlandiya	26.7	26.9	26.4	25.5	26.7	26.8	27.2	29.0	29.1	30.5	31.1	32.2	32.7	35.0	36.5	38.0	39.6	39.5
İsviçre	51.2	50.9	51.8	53.2	53.7	58.3	55.8	59.6	59.8	61.7	63.2	65.7	64.9	65.9	66.2	71.2	74.5	75.7
İzlanda	93.1	94.9	93.5	113.7	90.8	92.9	92.4	93.9	95.4	96.7	97.1	93.1	95.3	93.4	98.5	100.6	102.7	99.6
Norveç	98.0	97.4	100.8	99.1	100.2	105.2	98.3	105.9	104.6	106.9	110.1	106.8	105.6	104.9	106.8	110.4	113.8	113.7
Karadağ	-	52.9	51.4	49.1	46.0	62.1	76.5	81.3	79.8	68.5	67.6	68.5	69.1	65.7	64.5	62.6	64.8	63.5
Moldova	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kuzey	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.8	1.8	1.7	1.7	1.9	2.0	1.9	2.1	2.6	3.0	3.1	3.6
Makedonya	14.5	14.0	14.0	13.7	13.8	15.5	15.8	14.8	16.7	18.2	19.3	21.7	24.1	24.8	24.8	23.8	23.5	21.5
Arnavutluk	70.0	76.1	74.2	79.6	73.3	70.7	74.6	66.1	72.4	62.7	71.0	79.2	82.1	91.0	92.4	93.0	100.0	94.4
Sırbistan	14.0	15.6	15.8	13.2	16.7	26.5	23.2	21.1	23.2	25.1	28.8	26.9	25.1	24.9	24.3	26.6	35.7	35.5
Kosova	0.5	0.6	0.9	1.0	1.0	1.1	1.4	1.4	1.5	1.6	1.9	1.8	4.0	3.6	4.2	5.2	5.3	5.4
Gürcistan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73.0

2020'ya kadar verilmiş olan sonuçlar Direktif 2009/28/EC, 2021 için verilen sonuçlar ise Direktif (EU) 2018/2001'de yer alan metodolojiyi temel almıştır.

eurostat

Şekil 1. YEK'lerin Brüt Elektrik Tüketimindeki Payı-2004-2021

Kaynak: Eurostat, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/d/dc/Share_of_energy_from_renewable_sources_in_gross_electricity_consumption%2C_2004-2021_%28%25%29v4.png)

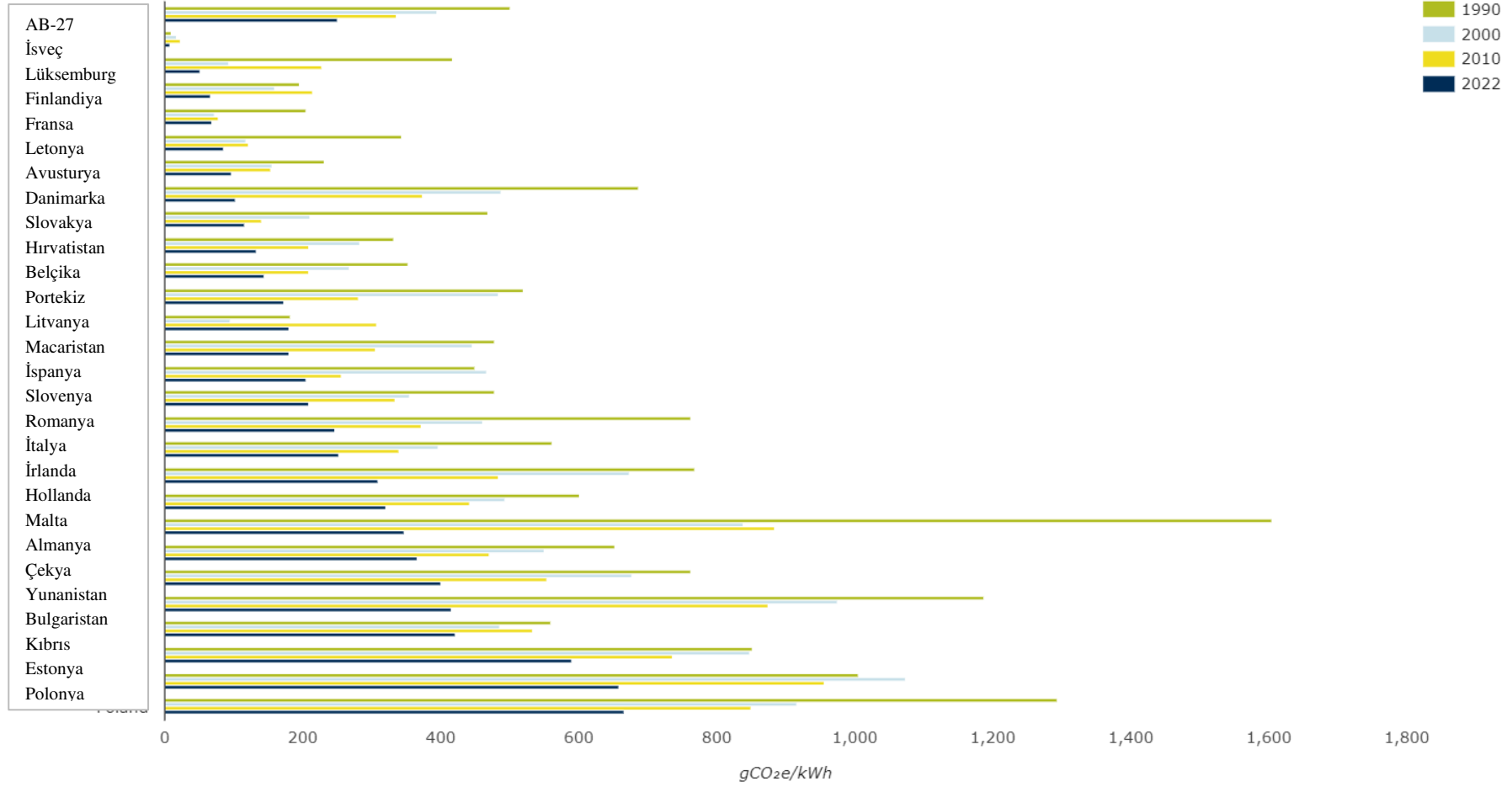
[explained/images/d/dc/Share_of_energy_from_renewable_sources_in_gross_electricity_consumption%2C_2004-2021_%28%25%29v4.png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/d/dc/Share_of_energy_from_renewable_sources_in_gross_electricity_consumption%2C_2004-2021_%28%25%29v4.png), Erişim Tarihi: 05-10-2023

1990 yılı ile karşılaştırıldığında, AB'nin net sera gazı emisyonlarını 2030 yılına kadar %55 oranında azaltmak ve 2050 yılına kadar karbon nötrlüğe ulaşmak, için EEA, Avrupa genelinde elektrik üretiminin çok daha hızlı karbondan arındırılması gerektiğini ifade etmektedir.

Şekil 2, AB'nin elektrik üretim emisyonlarının, iklim hedefleriyle tutarlı olacak gösterge niteliğindeki yoğunluk seviyelerini göstermektedir. Buna göre Malta, Polonya ve Yunanistan 1990 itibariyle elektrik üretiminde en çok salınım yapan ülkelerdir. İsveç üretiminin büyük çoğunluğu hidroelektrik santrallerinden gelmesi, Fransa ve Belçika ise nükleer kaynaklı olması nedeniyle sera gazı yoğunlukları 1990 yılında da çok düşüktür.

Günümüzdeki değerlere bakılınca en düşük yoğunluk, İsveç, Lüksemburg, Finlandiya ve Fransa'dayken, en yüksek yoğunluk kömür kaynaklı elektrik üretimleri nedeniyle Polonya ve Estonya'da görülmektedir.

Günümüzün jeopolitik çerçevesi içerisinde, enerji üretiminde, ısınma ve sanayide gaz ve kömürün yerini almak üzere daha hızlı karbonsuzlaşma gereklidir. EEA'ya göre bu hem elektrik fiyatlarını önemli ölçüde düşürecek ve hem de enerji güvenliğini artıracaktır. Bunu gerçekleştirmek için enerji tasarrufu sağlamak ve kaynak etkinliğini artırmak, yenilenebilir üretim kapasitelerini daha hızlı devreye almak, kullanıcıların elektrik piyasasına aktif olarak katılabilmeleri için teşvikler sağlamak ve Avrupa çapında optimal ve güvenli elektrik altyapıları içi ek politikalara ve önlemlere ihtiyaç olduğunu belirtmektedir (European Environment Agency, 2023).



Şekil 2. Elektrik Üretiminde Sera Gazı Emisyon Yoğunluğu

Kaynak: EEA, <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>. Erişim Tarihi: 25-10-2023

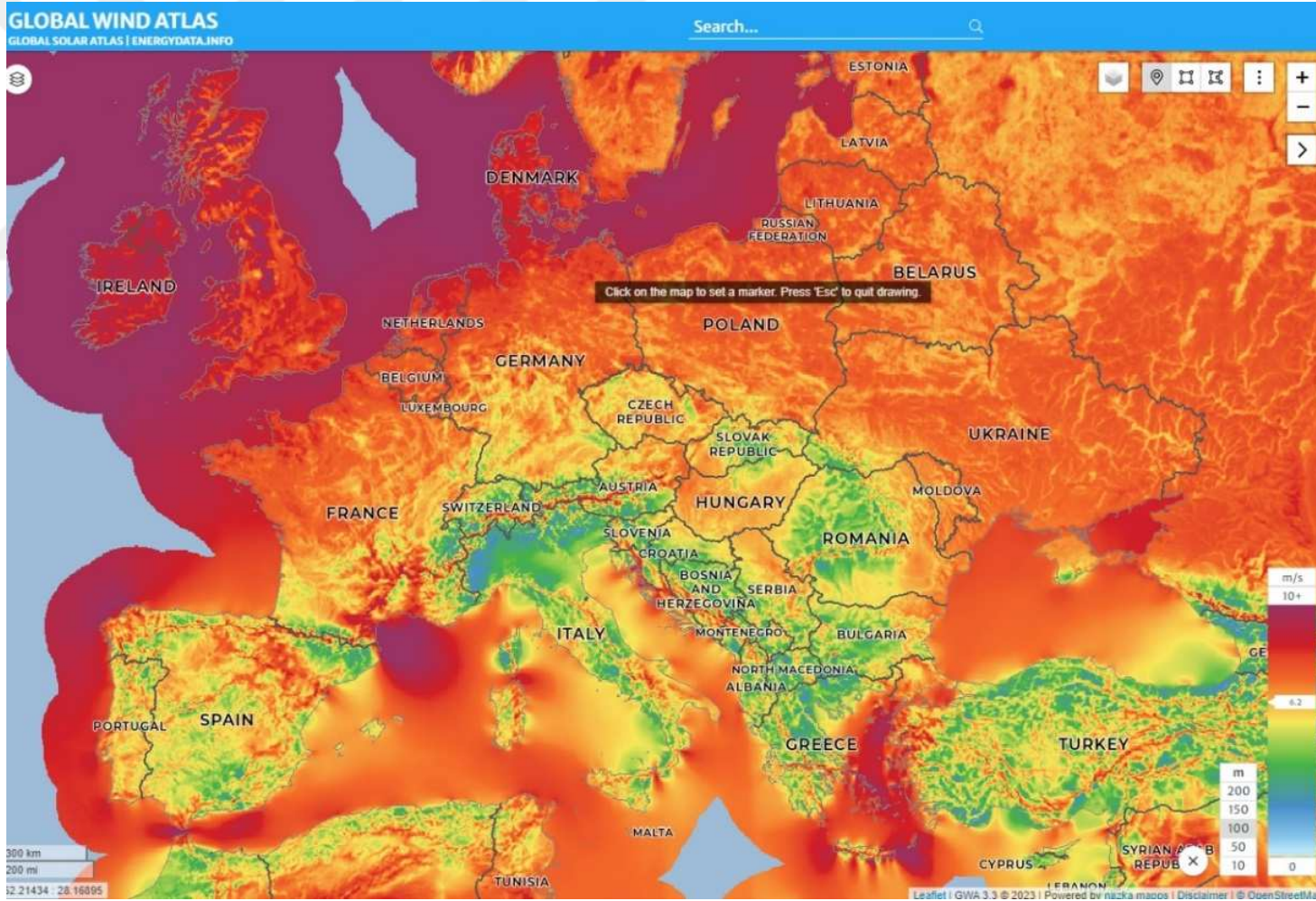
1.1.2 Avrupa Ülkelerinde Rüzgâr ve Güneş Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi, güneş ışığı, güneş radyasyonu, rüzgârın hızı ve özellikleri, yağışlar, su mevcudiyeti ve diğer iklim faktörlerinden son derece yüksek miktarda etkilenmektedir.

Von Bremen (2010), 8 yıllık hava verilerini değerlendirerek, fotovoltaiik ve rüzgâr üretimindeki dalgalanmaların hava koşullarıyla oldukça ilişkili olduğunu tespit etmiştir. Aynı çalışmada, kuzey Avrupa'nın ve açık kıyı kesimlerinin Avrupa'nın güneyine oranla çok daha iyi kaynak potansiyeline sahip olduğunu bulmuştur.

Keza, Şekil 3.'te yer alan 100 m yükseklikte metre/ saniye cinsinden rüzgâr hızlarının verildiği Küresel Rüzgâr Atlasında genel olarak kuzeyde, rüzgâr hızının güneyine göre çok daha yüksek olduğunu göstermektedir. Avrupa'nın kuzeyinde ve Orta Avrupa'nın Avusturya'nın doğusu, Macaristan, Sırbistan'ın kuzey kısmını içeren kısmı ile İtalya, İspanya ve Yunanistan'ın dağlık kesimleri rüzgâr enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerdir.

Türkiye'de ise en rüzgârlı yerler, Ege ve Marmara kıyıları ile iç bölgelerdeki bazı dağlık kesimlerdir. İngiltere'nin ise neredeyse her kesiminde rüzgâr potansiyeli oldukça yüksektir.



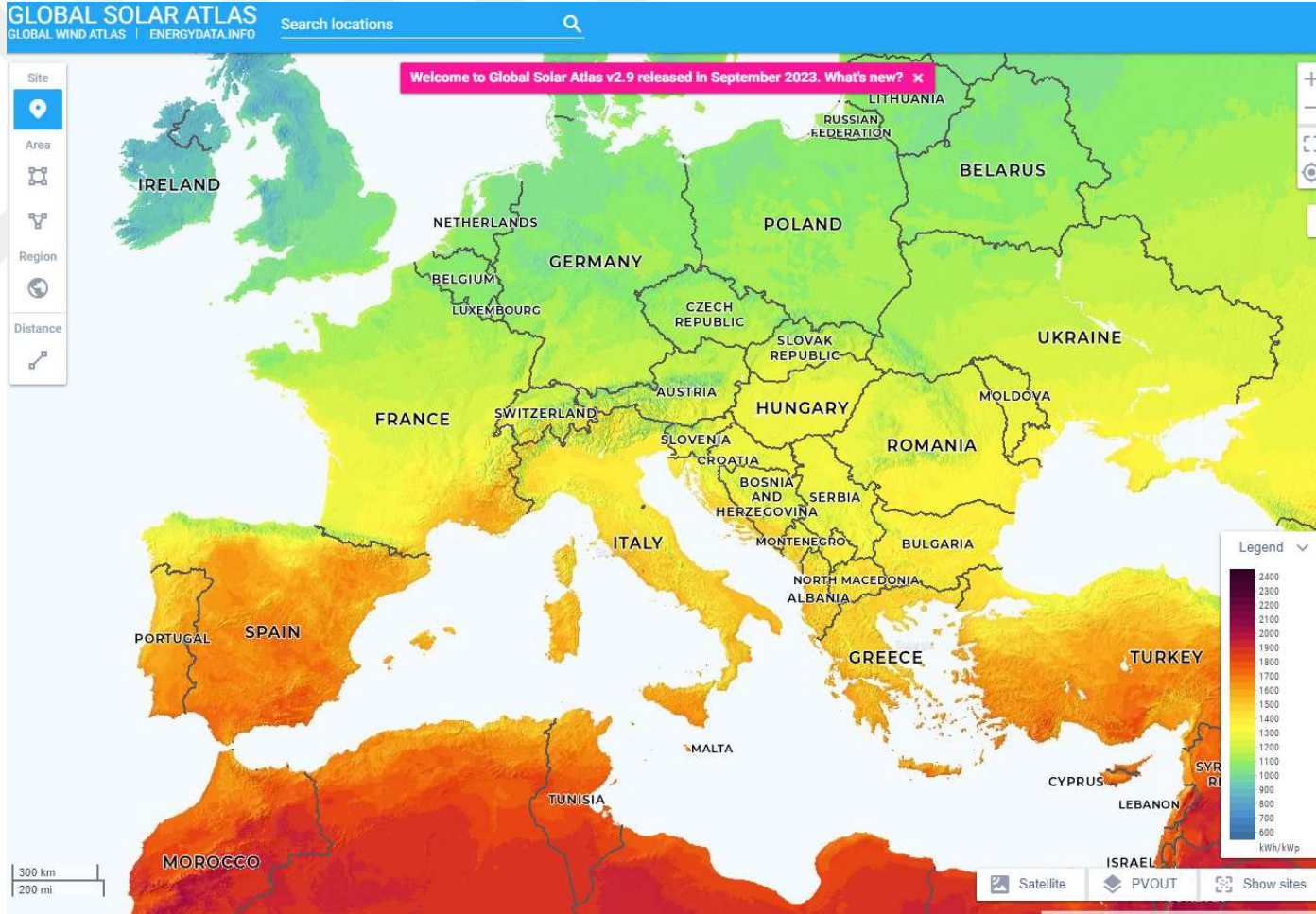
Şekil 3. Avrupa Ortalama Rüzgâr Hızları

Kaynak: Global Wind Atlas, <https://globalwindatlas.info/en> Erişim Tarihi: 02-11-2023

Buna karşılık, güneş enerjisi potansiyeli, rüzgâr enerjisine zıt bir şekilde Avrupa'nın güneyinde daha yüksektir. Yıl boyu güneş enerjisinden elektrik üretim değerini tesisin bulunduğu alandaki güneş ısınımı belirler, bu ise metrekaare başına watt cinsinden ölçülmektedir. Güneş ısınımını ise dört unsur belirlemektedir (Landgate, 2023):

- **Günün saati:** Güneş ısınımı, Güneş gökyüzünde en yüksek noktadayken, genel olarak öğle saatlerinde en yüksektir. Sabah saatlerinden sonra artarak öğlen en yüksek seviyeye ulaşır, sonrasında da düşer.
- **Mevsim:** Güneş ısınımı, yerkürenin eksen eğikliğinden kaynaklı olarak yaz aylarında daha yüksek, kışın ise daha düşüktür.
- **Hava koşulları:** Işığı kesen doğal oluşumlar, örneğin bulutluluk, sis, kar, yağmur vs. nedeniyle ısınım azalabilir.
- **Enlem ve coğrafi konum:** Işınım çoğunlukla ekvatora yakınlaştıkça yükselir, uzaklaştıkça düşer. Bunun nedeni, ışınların ekvator yakınlarında daha dik gelmesidir.

Güneşten elektrik üretim ekvatora yaklaştıkça daha yükselmekte olup, bu durum Şekil 4'te yer alan Güneş Enerjisi Atlası ile de rahatça görülebilmektedir.

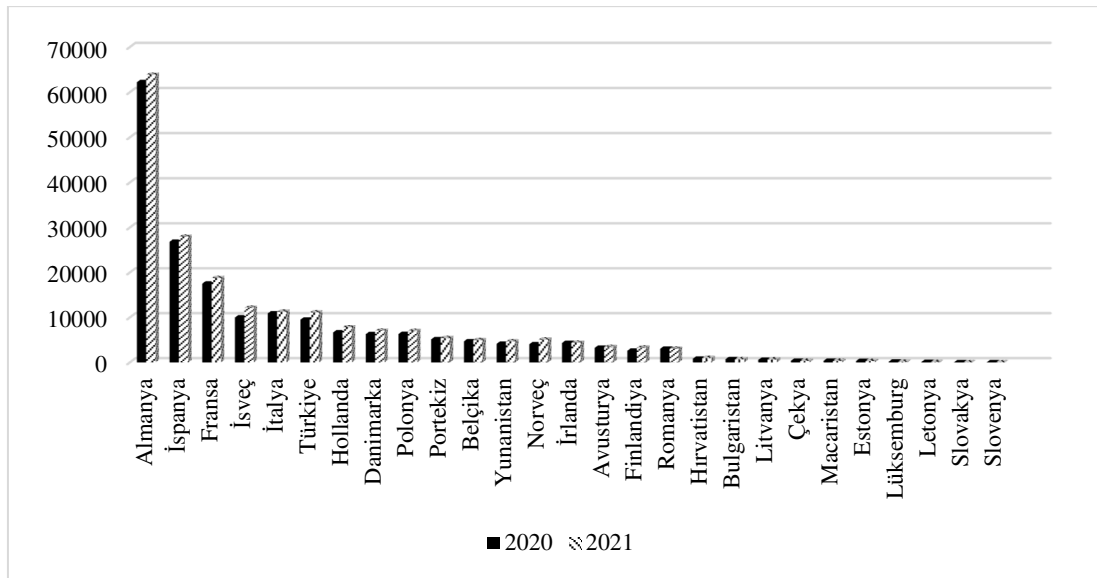


Şekil 4. Güneş Enerjisi Üretim Haritası

Kaynak: Global Solar Atlas, <https://globalsolaratlas.info/map> Erişim Tarihi: 18-04-2022

Kurulu güç değerlerine bakıldığında, 2020 yılında 195.023 MW olan Avrupa (Norveç ve Türkiye dahil) rüzgâr enerjisi kurulu gücü, %7,1 artarak 2021 itibariyle 204.116 MW'a yükselmiştir (Şekil.5). Avrupa'da en yüksek kurulu güce sahip beş ülke, 2021 itibariyle, Almanya, İspanya, Fransa, Türkiye ve İsveç'tir. En az rüzgâr santrali ise 4 ve 3'er MW kapasite ile Slovakya ve Slovenya'da bulunmaktadır (Euroobserver, 2023), (Idsø, 2021), (Wind Europe, 2021), (TÜREB, 2023).

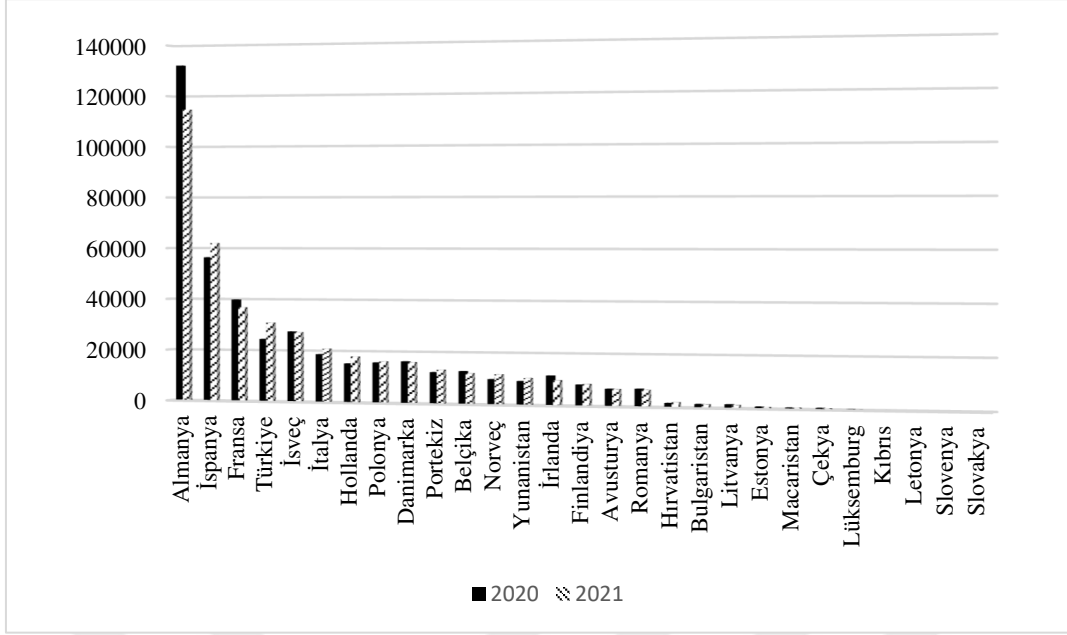
2020 ve 2021 itibariyle ülkelerin kurulu güçleri Şekil 5'de verilmektedir.



Şekil 5. 2020-2021 Avrupa Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü (MW)

Kaynak: Euroobserver, The State of Renewable Energies in Europe Edition 2022

2021 yılında rüzgâra dayalı üretimde ilave kurulu kapasiteye rağmen artış yerine %2,7'lik bir düşüş yaşanmıştır. Bunun ana sebebi, Almanya, İrlanda, Fransa, Belçika ve kuzeydeki ülkelerde rüzgârın az esmesi olarak görülmektedir. 2020-2021 yılına ait rüzgâr üretim değerleri Şekil.6'da verilmektedir.



Şekil 6. 2020-2021 Avrupa’da Rüzgar Gücüne Dayalı Üretim(TWh/yıl)

Kaynak: Euroobserver, The State of Renewable Energies in Europe Edition 2022

Kurulu güç sıralamasında ilk beş ülke, Almanya, İspanya, Fransa, Türkiye ve İsveç’tir. Slovenya ve Slovakya en az kurulu güce sahip ülkelerdir.

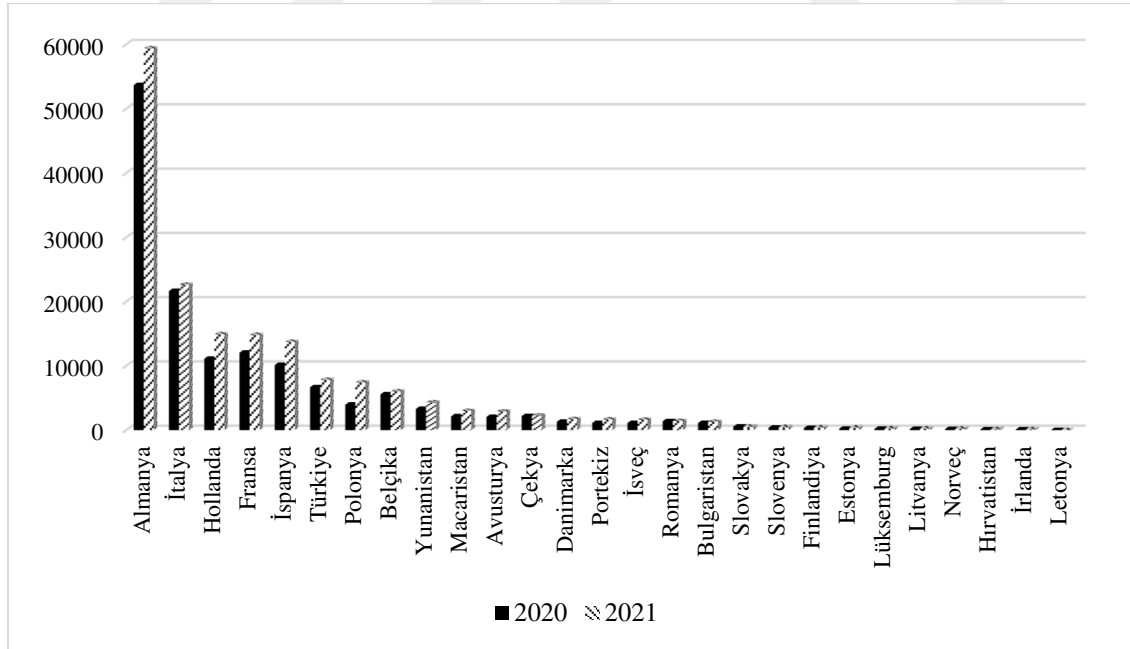
Güneş enerjisinde temelde iki çeşit teknolojiye dayalı üretim yapılmaktadır; fotovoltaik ve termal güneş. Bu çalışma elektrik sektörü bazlı olması nedeniyle sadece fotovoltaik teknolojiye yer verilmektedir.

2021 yılı boyunca, COVID sonrası tedarik zincirlerindeki bozulmalar ve daha pahalı güneş enerjisi sistem bileşenlerinin yol açtığı ekonomik zorluklara rağmen Avrupa piyasasında canlılık devam etmiştir. Avrupa 2021'deki güneş enerjisi kurulumları ile 2011 yılındaki rekorunu geçerek 27.000 MW’a yakın bir ilave kurulum yapmıştır. 2011 yılındaki rekor artış aslında güneşte gerilemeden önceki rekor iken 2021 sadece bir atlama tahtası olarak görülebilir. Euroobserver’a göre, 2000li yıllardaki artış büyük oranda

spekülatiftir, yatırımcılar cazip fiyat garantilerini kaçırmak istemedikleri için güneş yoğun ilgi göstermişlerdir (Euroobserver, 2023).

Bugün yaşanan gelişmenin ise daha sağlıklı ve sürdürülebilir olduğu düşünülmektedir çünkü genel olarak piyasa mekanizmasına dayanmaktadır, güneş diğer elektrik üretim kaynaklarına göre daha rekabetçi olmaya başlamıştır. Diğer önemli bir fark ise Avrupa ülkelerinin 2020-21 yıllarında çift haneli rakamlarla büyümüş olmalarıdır. Polonya ve Estonya'nın yalnızca son bir yılda kurulu güçleri neredeyse ikiye katlanmıştır (sırasıyla %87,5 ve %90,1). Beş ülkenin ise (İrlanda, Portekiz, Litvanya, Lüksemburg ve İsveç) kurulu güçleri %50 oranında artmıştır. Hollanda, İspanya, Yunanistan, Macaristan, Avusturya, Danimarka, Finlandiya ise %30'u üzerinde güç artışı yaşamıştır (Euroobserver, 2023).

Şekil 7'de kurulu güç dağılımı daha ayrıntılı görülebilir.



Şekil 7. 2020-2021 FV Güneş Enerjisi Kurulu Gücü (MW)

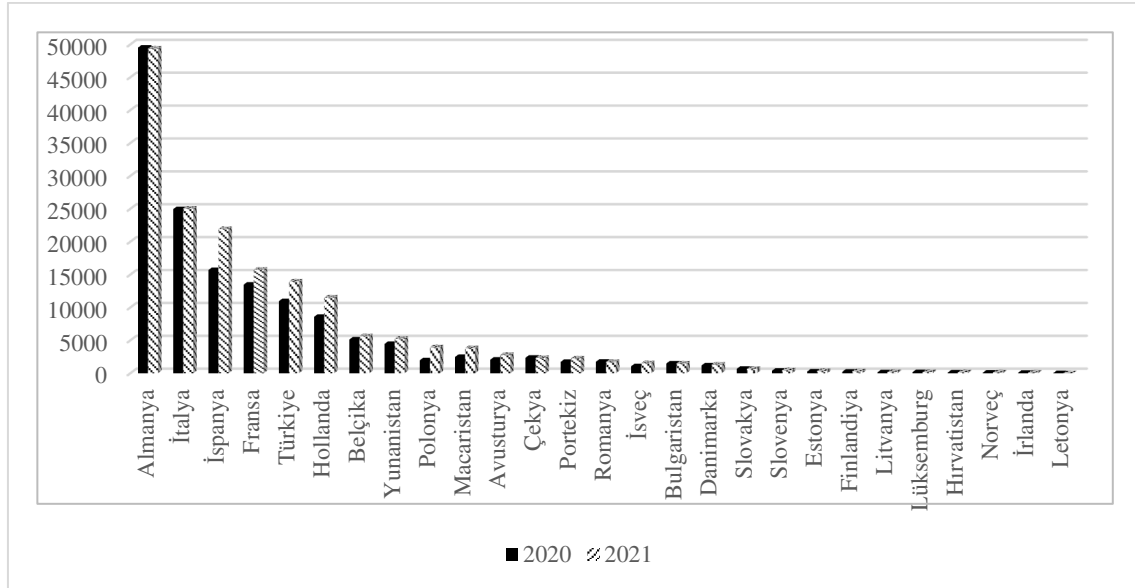
Kaynak: Euroobserver, The State of Renewable Energies in Europe Edition 2022; World Population Review, <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/solar-power-by-country> Erişim Tarihi: 29-10-2023

Avrupa Birliği'nde en yüksek kurulu güce sahip ülkeler sırasıyla Almanya, İtalya, Hollanda, İspanya ve Türkiye'dir. En az santral gücüne sahip olanlar ise Hırvatistan, İrlanda ve Letonya'dır.

Üretim değerlerine bakıldığında toplam üretimin %14,1 artış ile 172 TWh/yıla çıktığı görülmektedir. En yüksek büyüme oranı %101 artış ile Polonya'da gerçekleşmiştir.

İspanya 6,2 TWh ekleyerek %39,9, Hollanda ilave 2,9 TWh ile %34,2, Türkiye 2,9 TWh ilave ile %27,3, Fransa ilave 2,3 TWh %16,9, Macaristan 1,3 TWh ekleyerek %54,4, Portekiz 522 GWh ile %30,4, İsveç ise 475 GWh ile %45,2 büyümüştür. Almanya'nın üretimi güneş ışığının azalması ile %0,3 ile hafif düşmüştür.

Detaylı üretim değerlerine Şekil 8'de yer verilmektedir.



Şekil 8. 2020-2021 FV Güneş Enerjisi Üretimi (TWh/yıl)

Kaynak: Euroobserver, The State of Renewable Energies in Europe Edition 2022; TEİAŞ, <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> Erişim Tarihi:29-10-2023; NVE, <https://www.nve.no/energi/energisystem/solkraft/> Erişim Tarihi: 20-07-2023

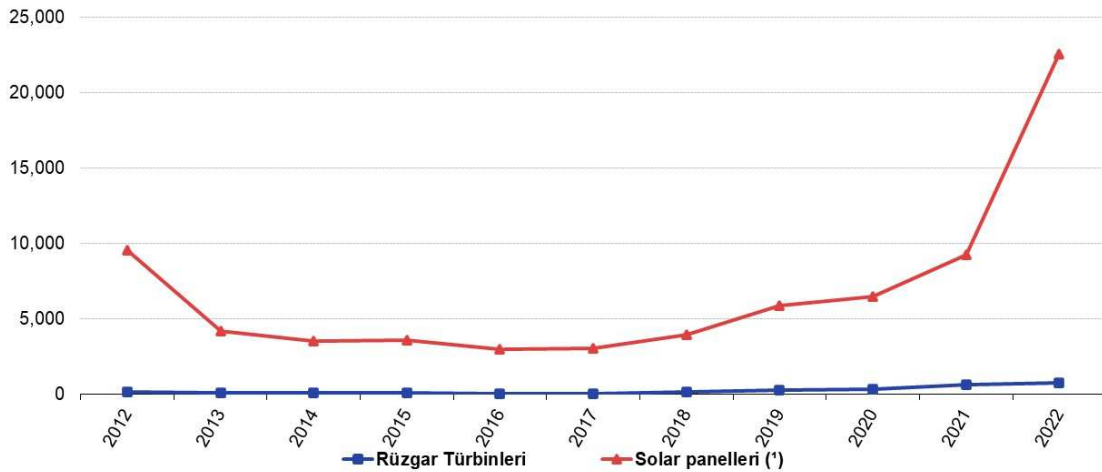
1.1.3 Avrupa'nın Yenilenebilir Enerji Ürünlerindeki İthalat ve İhracatı

2022 itibariyle AB, 22,6 milyar Euro'luk güneş paneli ve 0,8 milyar Euro seviyesinde ise rüzgar türbini ithal etmektedir. İhracat rakamları ise rüzgar türbinlerinde 1,3 milyar Euro, Güneş panellerinde ise 0,8 milyar Euro'dur. 2020-2021 yılları arasında güneş panelleri ithalatı %145 oranında, rüzgar türbinlerinin ithalatı ise %17 oranında yükselmiştir, Şekil.9'da görüleceği üzere rüzgar türbinleri ithalatı genel olarak stabil ise de güneş panelleri ithalatı çok hızlı bir şekilde artmaktadır (Eurostat, 2023).

2022 itibariyle ithal edilen rüzgar türbinlerinin %61'i Çin'den, %32'si Hindistan'dan gelmektedir. Güneş panellerine bakıldığında, Çin %96'lık bir oran ile en büyük ihracatçıdır.

Şekil 9. AB Rüzgar ve Güneş Ürünleri İthalatı 2012-2022 (Milyon euro)

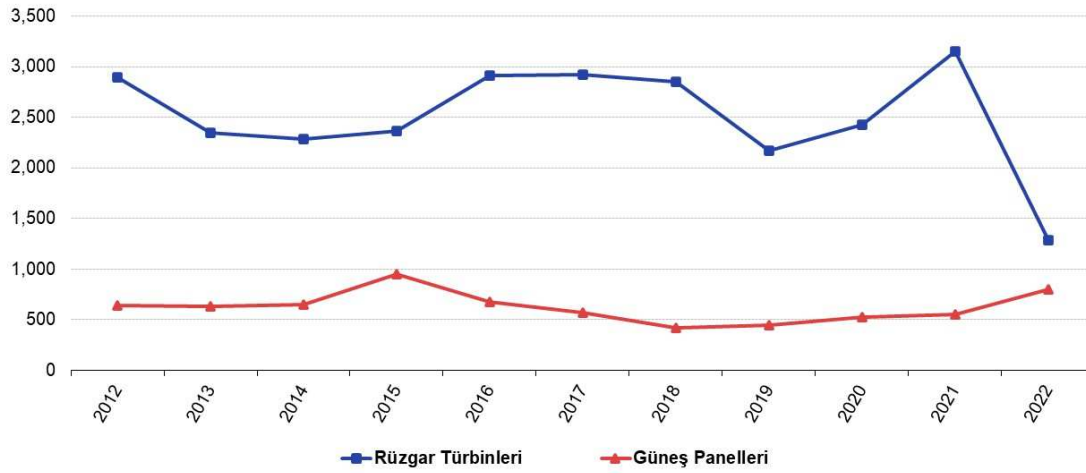
Kaynak: Eurostat, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International_trade_in_products_related_to_green_energy#Overall.2
[C the EU imports more green energy products than it exports](#) Erişim Tarihi: 20-10-2023



İhracat verilerine bakıldığında ise 2020-2021 yılında güneş paneli ihracatı %44 artmış, rüzgâr türbinleri ise %59 düşmüştür. Uzun vadeli ihracat trendi, Şekil 10'da verilmektedir. İhraç edilen rüzgar türbinlerin en büyük alıcısı %40 ile İngiltere, %17 ile Amerika'dır. Güneş enerjisinde ise en büyük alıcılar %31 ile İngiltere ve %24 ile İsviçre'dir.

Şekil 10. AB Rüzgar ve Güneş Ürünleri İhracatı 2012-2022 (Milyon euro)

Kaynak: Kaynak: Eurostat, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International_trade_in_products_related_to_green_energy#Overall.2_C_the_EU_imports_more_green_energy_products_than_it_exports Erişim Tarihi: 20-10-2023



Eurostat bu çalışmasında rüzgar enerjisi için 850231 CN kodunu, güneş enerjisi için de 854140 CN kodunu kullanmıştır.

1.1.4 Avrupa Birliği'nde Yenilikçilik

Ekonomik büyümeyi sağlamak için araştırma ve yenilik her zaman hükümetlerin önem verdiği bir konu olmuştur. Avrupa Komisyonu da bu konuda bir istisna değildir. AB, 2007 yılında imzalanan Lizbon Antlaşması ile Avrupa araştırma alanı oluşturmak amacıyla harekete geçmiştir. 2010 yılında İnovasyon Birliği kapsamlı bir inovasyon

stratejisi sunmuştur. Bu stratejide, iklim değışikliğı, enerji etkinliğı ve sağılıklı yaşama odaklanmıştır (European Commission, 2023). 2015'in sonlarında Avrupa Komisyonu 3 ana politika hedefi belirlemiştir; açık inovasyon, açık bilim ve dünyaya açıklık (European Commission, 2023)

Avrupa Komisyonu'nun son stratejisi ise 2020-2024 dönemini kapsamaktadır. Bu strateji, araştırma ve yenilikleri, Birliğın ekonomisini ve rekabetçiliğini geliştirecek en önemli politikalar arasında olduğunu belirtmektedir. Stratejinin 2040 yılına kadar 320.000 yüksek vasıflı iş yaratma potansiyeli olduğu belirtilmekte ve AR-GE'ye yönelik her 1 Euro'luk harcamanın 11 Euro'luk yatırım olarak geri döneceğini ifade etmektedir. Araştırma ve yenilikler, 6 temel hedefe ulaşmada ana katkıyı sağlayacaktır (European Commission, 2023).

Bu hedefler;

1. Çevre ve iklim,
2. Dijital gelecek,
3. İş ve ekonomi,
4. Vatandaşların ve değerlerine zarar gelmemesi,
5. AB'nin dünyadaki konumunun güçlendirilmesi
6. Demokrasi ve hakların korunmasıdır.

Ülkelerin inovasyon konusundaki performansı Avrupa Birliğı tarafından düzenli olarak değerlendirilmektedir. Bugün itibarıyla en güncel tablo olan 2023 yılının son skor tablosu ülkeleri dört sınıfa ayırmaktadır; inovasyon liderleri, güçlü yenilikçiler, ılımlı yenilikçiler ve yeni ortaya çıkan yenilikçiler (European Union, 2023).

Son duruma göre;

- Danimarka, önceki yıllarda birinci olan İsveç'i tahtından indirerek ilk sıraya yerleşmiş ve inovasyon lideri olmuştur. Bu grupta sırasıyla İsveç, Finlandiya, Danimarka, Hollanda ve Belçika en yüksek skorlara sahip olan ülkelerdir.

- Avusturya, Almanya, Lüksemburg, İrlanda, Kıbrıs ve Fransa güçlü yenilikçilerdir. Yani AB ortalama seviyesinden daha iyi bir konuma sahiptirler.

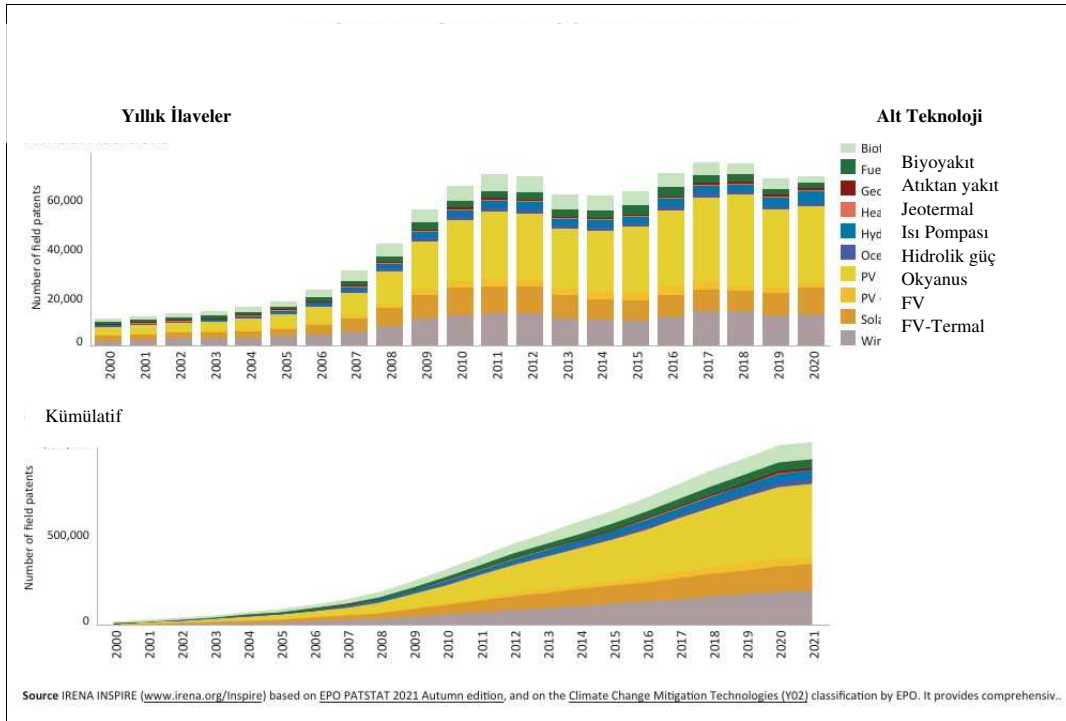
- Estonya, Slovenya, Çekya, İtalya, İspanya, Malta, Portekiz, Litvanya ve Yunanistan, Orta Düzey yenilikçilerdir.

- Hırvatistan, Slovakya, Polonya, Letonya, Bulgaristan ve Romanya Yükselen Yenilikçilerdir.

Bu performanslar ülkenin genel inovasyon durumuna yansıtmaktadır. Avrupa'da yenilenebilir enerji inovasyonu ile ilgili olarak AB'nin Yenilenebilir Küresel Liderliği Raporu önemli tespitlerde bulunmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2021).

Avrupa Birliği'nin 2018, ticaret verilerine bakıldığında, Rüzgar Enerjisi Teknolojisinde % 67 ile, Jeotermal Teknolojilerde % 42, Hidroelektrikte ise %39'luk pay ile küresel liderdir. İnovasyon, uluslararası yenilenebilir enerji rekabet gücü için önemli bir güç olmaktadır. AB, 2016 yılı itibariyle, yüksek değere sahip patentlerden %36 ile en yüksek payı alarak küresel inovasyon yarışına liderlik etmektedir (European Union, 2021).

Yenilenebilir enerji alanındaki patentlerin gelişimine bakıldığında 2000’li yıllarda dünyada toplamda 3261 FV alanında, 552 ise FV-Termal alanında patent başvurusu olduğu görülmektedir. Başvuru sayısı 2011’e kadar sürekli artmış, 2011 sonrasında ise dalgalı seyretmektedir. 2020 itibariyle FV güneşte toplam 391.222, FV-Termal Güneş’te ise 39.003 başvuru bulunmaktadır. Rüzgar enerjisi için ise 2000’deki 1788 başvuru sayısından 2020’de 179 714 başvuru sayısına gelinmiştir. (Şekil 11).Güneş FV son 20 yıldır, %64 ile en çok başvuru yapılan alan olmuştur.



Şekil 11. Yenilenebilir Enerji Patentlerinde Gelişim

Kaynak:IRENA,https://irena.sharepoint.com/:x/s/statistics-public/EaUa5nqXqt1HmmlXEgmOcWQB5MJxYvS_u7eZi8uwJ3EK1A?rttime=jBrQE4Vr20g
Erişim Tarihi:13-10- 2022)

Yenilik gelişimi destekler ama bunun için ölçülmesi gereklidir. OECD'nin Oslo Kılavuzu hem inovasyonun önemli rolüne hem de ölçümüne dikkat çekmektedir. Bilgiyi

retmenin, kullanmanın ve yaymanın ekonominin büyümesinin ve ulusların refahının anahtarı olduğunu belirtilmektedir. Yeniliğin llmesi bu ihtiyacın merkezinde yer almaktadır (OECD and Statistical Office of the European Communities, 2005).

Euroobserver'ı da enerji ile ilgili olarak hazırladığı kapsamlı raporda (2023) lkelerin teknoloji performanslarının ve inovasyon sistemlerinin çoğunlukla patent bağvuruları veya alınan patentlerle llduğunu belirtmektedir. Bu nedenle patent bağvuruları ve/veya alınan patentler AR-GE süreçlerinin önemi bir çıktısıdır. Yüksek patent çıktısına sahip ülkeler yüksek rekabetçidir bu da makroekonomik ölçekte daha rekabetçi olmasını sağlar.

Patentler yeni, yenilikçi ağama getiren ve endüstriyel uygulamalarla ilgili buluğlara verilmektedir. Patent bağvurusundan 18 ile 30 ay sonra eğer yapılan değerlendirme olumlu ise patent bağvurusu yayımlanır. Yayınlanan bağvuru daha detaylı değerlendirildikten sonra patente dnğr. Bu nokta çok önemlidir çünkü yayımlanan bir bağvuru patent verilmiğ anlamına gelmemektedir. Patent bağvurusu, verilen bir patente dnmese bile, teknolojik geliğmeyi etkileyecek bir bilgi kaynağıdır. Bir patent bağvurusunun yayımlanması 18 ile 30 ay sürüyorsa, yayımlanan bir bağvuru, 18-30 ay önceki alığmaların bir ürünüdür. Bu nedenle patent alığmalarında 3.5 yıllık bir zaman aralığı öngörülmektedir. Arağtırmacıların bu konulara dikkat etmesi gereklidir (Joint Research Center, 2021).

1.2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.2.1 Veri Zarflama Analizi

Mardani ve diğerleri, (2017), VZA'yı performansı değerlendirmeye uygun, güçlü bir araç olarak kabul etmiştir. Bu yöntemde, doğrusal programlama tekniklerini matematiksel bir düzlemde kullanarak, karşılaştırılabilir ürün, kuruluş, ülke veya buna benzer birimler olan DMU'lar girdileri çıktılarına dönüştürmektedir.

VZA'nın kökeni (Farrell, 1957) üretken etkinlik ölçümlerine ilişkin fikirlerine dayanmaktadır. Daha sonra, Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) bu ölçümü, geliştirilmiş girdilerin ve çok sayıda çıktı senaryosunun etkinliğini karşılaştırmak için bir etkinlik hesaplama yöntemi olarak sunmuşlardır. DMU'nın etkinliğini ağırlıklandırılmış olarak çıktıların girdilere oranıdır. Her bir DMU değerinin ≤ 1 olması kaydıyla, çıkan sonuç ne kadar yüksekse etkinlik de o kadar yüksek olur.

VZA'leri çeşitli sınıflandırmalara tabiidir. Odak noktası açısından VZA'ları iki başlık altında toplamak mümkündür; çıktı odaklı ve girdi odaklı. (Førsund & Sarafoglou, 2002) girdi odaklı modellerin tasarrufu sağlayan bir bakış açısına sahip olduğunu, çıktı odaklı modellerin ise gelir artırıcı bir odağa sahip olduğunu belirtmektedirler.

İlki, girdileri sabit tutup, çıktıyı arttırmayı amaçlar ve çoğunlukla operasyon ve yönetim araştırmalarında daha uygundur (Cullinane, Song, & Wang, 2005) . İkincisi ise sabit miktarda çıktıyı hedefleyerek girdileri minimize eder ve daha çok plan ve strateji çalışmalarında kullanılmaya uygundur.

Girdi odaklı modelin CCR formülü aşağıdaki Eşitlik.1’de verilmektedir.

$$\max Q_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} / \sum_{i=1}^g v_i x_{i0} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{i=1}^g v_i x_{ij} \leq 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$v_i \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, g$$

$$u_r \geq 0 \quad r = 1, 2, 3, \dots, s$$

$x (x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)$ girdileri temsil ederken, $y (y_1, y_2, y_3, \dots, y_g)$ çıktıları temsil etmektedir. Q_0 değeri maksimize edilecek DMU₀ ‘ın etkinlik puanıdır. Toplam DMU sayısı n ile gösterilirken, girdilerle eşlenen ağırlıklar v ve u ile gösteriler. Toplam ise g ve s olarak kabul edilmektedir.

Diğer bir sınıflandırma ise girdi ve/veya çıktılardaki orantısal-raydal değişikliklere göre yapılmaktadır. Radyal modeller (CCR ve BCC) (Banker, Charnes, & Cooper, 1984) yalnızca radyal, yani daha yüksek bir DMU etkinliği elde etmek için girdilerde orantısal azalmalara veya çıktılarda orantısal artışlara izin vermektedirler. Radyal olmayanlar ise orantısız değişikliklere açıktır (Caldas ve diğerleri 2019).

Tone (2010) tarafından belirtildiği gibi, giriş/çıkışların radyal olarak arttığı/azaldığı modellerde çoğunlukla artık bir değişken bulunmaktadır. Bu girdi fazlalıkları ve çıktı eksiklikleri doğrudan verimsizlik olarak değerlendirilmez. Daha sonra, modeller bunları artığa dayalı ölçüm (SBM) olarak adlandırılan bir etkinlik oranına entegre edebilmektedirler.

VZA'nın ilk ortaya çıkışından bu yana, birçok ihtiyaca cevap verebilecek şekilde yeni modeller geliştirilmiştir. Örneğin, Süper Etkinlik (SE) modeli (Andersen & Petersen, 1993) etkin birimlerin etkinlik sırasını belirlemek amacıyla çıkmıştır.

CCR modelinde, DMU'lar verimli veya verimsiz olabilir. Ancak etkin DMU'lar farklı etkinlik seviyelerine sahip olabilir. Bu ayrı seviyelerin görülmesi ise sadece verimli veya verimsiz şeklinde ayırım yapan klasik modellerde mümkün olamamaktadır. Süper etkinlik modeli, etkin birimlerin birbirlerine göre de etkinlik sıralamalarını yapabilmektedir. Modelleri, ayrıca, CRS ve VRS olmak üzere, CCR ve BCC modellerinde iki seçeneqli olarak değişiklik yapılabilmektedir.

Zamanla VZA'ya eklenen diğer değişimler aşağıdaki Tablo 1'de özetlenmektedir, (Vásquez-Ibarra ve diğerleri 2020; Panwar ve diğerleri 2022).

Tablo 1.VZA Modelleri

Model ismi	Referans	Kısaltma
Banker Charnes Cooper	(Banker, Charnes, & Cooper, 1984)	BCC
Charnes Cooper Rhodes	(Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978)	CCR
Ekleyici (Pareto Koopmans Model)	(Cooper & Rhodes, 1985)	ADD
Artık Temelli Model	(Tone K. , 2001)	SBM
Yönelimsel Mesafe Fonksiyonu	(Chambers, Chung, & Fare, 1996)	DDF
Russell Ölçeği	(Fare & Lovell, 1978)	RM
Geliştirilmiş Russell Ölçeği	(Fare, Grosskopf, & Lovell, 1985)	ERM

Aralık Ayarlı Ölçek	(Cooper, Park, & Pastor, 1999)	RAM
Epsilon-Temelli Ölçek	(Tone & Tsutsui, 2020)	EBM
Çok Amaçlı Baskınlı Oran Optimizasyonu	(Lins, Angulo-Meza, & Silva, 2004)	MORO-D
Artık Temelli Etkinsizlik	(Fukuyama & Weber, 2009)	SBI
Süper-Etkinlik	(Andersen & Petersen, 1993)	SEF
Çapraz Etkinlik Değerlendirmesi	(Sexton, Silkman, & Hogan, 1986)	
Şebeke VZA	(Fare, Grosskopf, & Norris, 1997) (Fare & Whittaker, 1995)	
Hiyerarşik VZA	(Cook & Green, 2005)	
Bulanık VZA	(Guo & Tanaka, 1998)	
Hibrit VZA Modelleri	VZA+ Soft Computing, VZA+ Makine Öğrenmesi, VZV+MCDM	

1.2.2 Veri Zarflama Analizi ile Enerji Sektörü Etkinlik Araştırmaları

Enerji sektöründe yürütülen etkinlik çalışmaları çoğunlukla ülke/bölge düzeyindeki perspektife ve çoğunlukla karbon emisyonlu termal enerji kaynaklarına ve araştırma alanı olarak da çoğunlukla Çin'e odaklanmıştır.

Yu ve He (2020), 2018'den beri VZA ile yapılmış enerji etkinliği üzerine yayımlanan 1200 üzerinde makaleyi incelemişlerdir. En çok kullanılan anahtar kelimeler, yöneysel uzaklık fonksiyonu, hayat boyu değerlendirme, istenmeyen çıktı, artık temelli ölçüm ve çevresel etkinliktir. Enerji tüketimi sonucunda oluşan çevresel kirlenmenin her geçen gün daha çok çalışıldığı sonucuna varmışlardır. Enerji kullanımının çevreye

ekolojiye etkisi ve yenilenebilir enerji kullanımının etkinliğini gelecekteki araştırmacılar için önermektedirler.

Wang ve diğerleri (2021), Çin termik ve hidroelektrik santrallerinin enerji üretim etkinliğini çalışanlar, kurulu kapasite, çalışma saatlerini üretim için enerji tüketimini girdi olarak ve enerji üretimini istenen çıktı, CO₂'yi ise istenmeyen çıktı olarak analiz etmişlerdir. Xie ve diğerleri, (2018); Sueyoshi ve diğerleri, (2020); Sun ve diğerleri, (2019) ve Xiao ve diğerleri, (2022)'nin çalışmalarının ana odak noktası Çin olmak üzere benzer çıktıları kullanarak elektrik üretimi hesaplamalarını içermektedir. Jha ve Singh, (2019) ise Hindistan yenilenebilir enerji sektörüne enerji üretimi çıktısı temelinde odaklanmıştır.

Avrupa'yı temel alan etkinlik çalışmalarını ise şu şekilde sıralanabilir:

Robaina-Alves ve diğerleri (2015) gayri safi milli geliri istenen, emisyonları ise istenmeyen çıktılar olarak alıp, Avrupa ülkelerinin kaynak ve çevresel etkinliklerini incelemiş ve iki farklı dönem için 2000–2004 ve 2005–2011) en verimli ülkeleri Portekiz, Slovakya, Macaristan ve İrlanda olarak tespit etmiştir.

Makridou ve diğerleri (2016) GSYH, sanayi ve hizmet katma değerlerini çıktı olarak amaçladıkları çalışmalarında, Lüksemburg, İrlanda, Hollanda, Danimarka ve Birleşik Krallık (İngiltere) yüksek etkinlikte çıkmıştır.

Gökgöz ve Erkul (2019) çalışmalarında, AB'nin 2011-2015 arasındaki etkinlik durumlarını SE ve Süper-SBM olmak üzere iki farklı metodoloji kullanarak

karşılaştırmışlardır. Çalışmada daha az kişi istihdam ederek, daha az sermaye harcayarak ve daha az enerji tüketerek aynı GSYİH miktarını elde etmeye yönelik analiz yapılmıştır. Çalışma sonucunda, SBM daha iyi sonuçlar göstermiştir. Analiz, değerlendirilen dönemde Doğu Avrupa ile Baltık ülkeleri ve AB-13'ün etkinlik puanlarının Kuzey, Batı, Güney Avrupa, İskandinavya ve Avrupa Birliği-15'ten daha düşük olduğu sonucuna varmıştır.

Gökgöz ve Güvercin (2018) AB ülkelerinin enerji güvenliği ve YEK etkinliğini araştırmışlardır. En iyi performansa sahip ülkeler, İsveç, Almanya, İspanya, Belçika ve Romanya olarak belirlenmiştir.

1.2.3. Veri Zarflama Analizi ile İnovasyon Araştırmaları

İnovasyon etkinliği hesaplamaları için kullanılan iki ana metodoloji SFA ve VZA'dır (Wang ve diğerleri, 2016; Bresciani ve diğerleri, 2021). Öte yandan VZA, başlangıçta belirli bir form belirlemeden birden fazla çıktıyı ve birden fazla girdiyi değerlendirebildiği için etkinlik analizinde daha fazla popülerlik kazanmıştır.

Elangovan ve diğerleri (2022) teknik araçların gelişmesi ile geleneksel VZA dışında da çeşitli VZA programlaması yapılabildiğini belirttikten sonra, etkinlik analizlerinin daha güvenilir bir şekilde yapılabildiğini ifade etmektedirler. Gelecekteki çalışmalar için ülkeler arası karşılaştırmalı yapılmasını ve orta ve düşük gelirli ülkelerin de çalışmalara dahil edilmesini tavsiye etmektedirler.

VZA, büyüme ve ihracat analizinde de kullanılmaktadır. Bilbao-Osorio ve Rodriguez-Pose (2004) iki aşamalı analizlerinde, ilk adım olarak AR-GE yatırımlarının

inovasyona etkisini (patent başvurularıyla ölçülen), ikinci adımda ise inovasyonun ekonomik büyümeye olan etkisini ölçmüşlerdir.

Dong ve diğerleri (2022) Çin'de inovasyonun firma düzeyindeki ihracat üzerindeki etkisini incelemiştir. Bahsedilebilecek diğer çalışmalar Ayllon ve Radicic (2019) araştırması; Cassiman ve Golovko'nun (2011) İspanyol şirketlerinin verilerini kullanan araştırması ve Silva ve diğerlerinin (2017) Portekiz şirketlerinin verilerine dayalı olarak yaptığı araştırmalardır.

Sektörel, bölgesel veya ulusal ölçekte çok sayıda VZA inovasyon etkinliği çalışması yürütülmektedir; bunlardan bazıları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Chen ve diğerleri (2006) çalışmalarında teknik etkinliği ölçmek için dört girdi kullanmıştır; işçi sayısı, işletme sermayesi, AR-GE harcamaları ve arazi. Çıktılar ise yıllık satışlar ve toplam patentler olarak belirlenmiştir.

Hashimoto ve Hanedab (2008) girdi olarak AR-GE harcamalarını, çıktı olarak ise patentleri, satışları ve faaliyet karlarını kullanarak, toplam faktör AR-GE etkinliğini araştırmışlardır.

Zhong ve diğerleri (2011) AR-GE harcamaları ve tam zamanlı AR-GE çalışanlarını birincil girdiler olarak alırken patent başvurularını birincil çıktı olarak almış, sonrasında gene patent başvurularını ara girdi olarak kullanarak, yeni ürünlerin satışından elde edilen gelirler ile ana işletmenin kârı nihai çıktı olarak ele almışlardır.

Guan ve Chen (2012) OECD ülkelerinin inovasyonlarının etkinliğini iki aşamalı VZA ile analiz etmiştir.

Chen ve diğerleri (2014) uluslararası düzeyde yaptıkları analizde AR-GE çalışanlarını ve AR-GE harcamalarını girdi, patent çıktıları, bilimsel dergi makaleleri, telif hakkı ve lisans ücretlerini çıktı olarak konu etmişlerdir.

Wang ve diğerleri (2016) iki aşamalı VZA yoluyla kurumsal düzeyde Çin’de inovasyon etkinliğini incelemişlerdir. AR-GE aşaması olarak adlandırılan ilk aşama, girdi olarak sabit kıymetleri, personel ücretlerini, AR-GE maliyetlerini, çıktı olarak ise yazılım varlıklarını ve gelirleri içermiştir. Birinci bölümün çıktıları pazarlama aşamasının girdileri olarak kullanmış ve toplam kar ile piyasa değeri etkinliği ölçülmeye çalışılmıştır.

Liu ve diğerleri (2020) Çin için yaptıkları araştırmada, AR-GE harcamalarını ve AR-GE çalışanlarını girdi olarak, yürürlükteki patent başvurularını ve patentleri hem çıktı hem de bir sonraki aşamanın girdisi olarak, yeni ürünlerin satışından ve ana faaliyet alanından elde edilen gelirlere yönelik olarak kullanmışlardır.

Bresciani ve diğerleri (2021) Güney İtalya ve İspanya’daki bölgelerde, özel ve kamu harcamalarının girdi, patentlerin ve ticari marka başvurularının ise çıktı olarak ele alındığı inovasyon etkinliğini analiz etmiştir.

Tingting ve diğerleri (2021) Çinli yenilenebilir enerji firmalarının yeşil teknoloji yeniliklerini incelemişlerdir. AR-GE çalışanları, AR-GE yatırım fonları, operasyonel maliyetler girdi olarak kabul edilirken, patent sayısı, ödenecek vergi geliri, yıllık

operasyonel gelir, net kar istenen çıktıları, kanalizasyon masrafları veya çevre vergileri ile istenmeyen çıktılar olarak kabul edilmiştir.

Zuo ve diğerleri (2022) Çin'deki madencilik sektörünü ölçmek için iki aşamalı VZA kullanmıştır. Yenilik gecikmesinin üstesinden gelmek için her biri ardışık 3 yıldan oluşan dokuz alt döneme bölünmüş, 10 yıllık verileri kullanarak teknolojik yenilik etkinliğini ve eko-etkinliği analiz etmişlerdir.

Gökgöz ve Yalçın (2022) eko-inovasyon etkinliğini araştırmalarında, girdi olarak AR-GE harcamalarını, çıktı olarak ise, yüksek teknolojik ürünlerin ihracatı, elektrik üretimi ve çevreyle ilgili patentleri almışlardır.

Li ve diğerleri (2019) Çin yarı iletken endüstrisinin inovasyon etkinliğini üç aşamalı VZA ile analiz etmişlerdir. Aldıkları girdi değişkenleri; emek, AR-GE'ye katılan toplam işçi sayısı, toplam AR-GE sermaye giderleri ve toplam patent yönetimi yatırımı olarak sıralamışlardır. Çıktılar ise yıllık ilave artış ile ölçülen satışlar ve patent sayısı olarak alınmıştır.

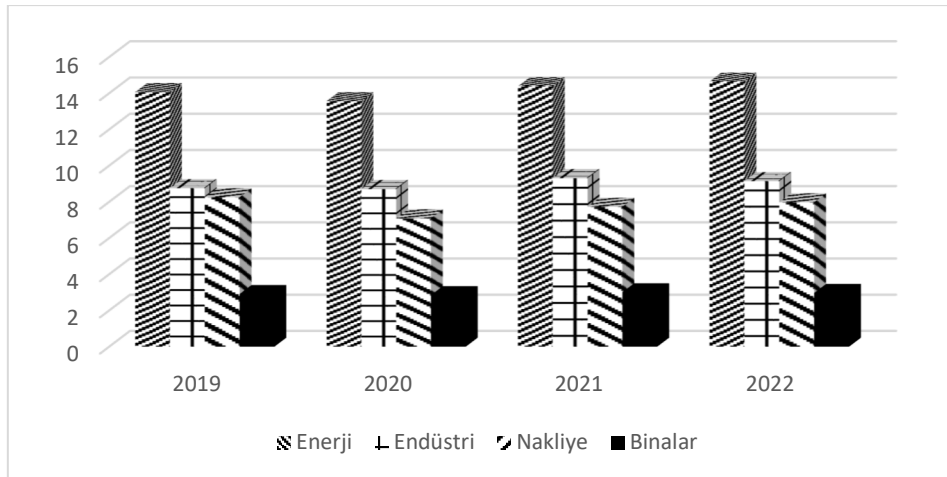
İKİNCİ BÖLÜM

Çalışmanın bu bölümünde veri zarflama analizi kullanılarak yapılmış olan çalışmanın problemi tanımlanacak, amaç ve önemine değinilecektir. Veriler ve genel varsayımlarla ilgili sınırlılıklar verildikten sonra yöntemin detaylarına geçilecektir. Bir sonraki alt bölüm araştırma modellerine ayrılmıştır. Çalışma çıktı odaklı süper etkinlik ve çıktı odaklı iki aşamalı süper etkinlik olmak üzere iki model kullanmaktadır. Verilerin toplanması ve çözümlenmesi aşamaları ile ilgili bilgi verilmektedir. Bulgular ve yorumlar alt bölümü ise, araştırmanın ilk modeli kullanılarak yapılmış olan enerji üretim etkinliği sonuçlarını ve ikinci modeli kullanılarak yapılmış olan AR-GE faaliyetlerinin etkinliği ile inovasyon ekonomik etkinlikleri sonuçlarını güneş ve rüzgâr enerjisi sektörleri için ayrı ayrı detaylandırmaktadır.

AMPİRİK ÇALIŞMA VE BULGULAR

2.1 PROBLEM

İklim değişikliğinin yavaşlatılması ve etkilerinin hafifletilmesi için emisyonların azaltılması ve kontrol altına alınması gereklidir. Aşağıdaki şekilde görüleceği üzere, enerji sektörü %15'e yakın pay ile en büyük karbon salan sektörlerden biridir.



Şekil 12 Sektör Bazında Karbon Emisyon Oranları-2019-2022

Kaynak: IEA, <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>, Erişim Tarihi:20-03-

2023

Diğer tüm sektörleri de olumlu etkileyebilecek olan en önemli teknolojilerden biri, elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıdır. Elektrikli araçların yaygınlaşması ile ulaşım ve taşıma kaynaklı emisyon salınımı düşebilecektir ama bunun en önemli şartı, elektriğin yenilenebilir enerjilerden üretimidir. Diğer yandan binaların ısınmasında elektriğin yaygınlaşması ile emisyon salınımı azalabilecektir, bu da benzer şekilde ancak elektrik yenilenebilir enerji kaynaklı olduğunda mümkün olacaktır.

Bu kaynakların yaygınlaşması ve etkinliğinin artırılması çok önemlidir. Öncelikle enerji üretim etkinliğinin değerlendirilmesi ile ülkelerin hangi girdileri verimli kullandıkları incelenerek ülkeler arasında bir karşılaştırma yapılarak, enerji üretim etkinliği yüksek ülkelerin sektörleri daha detaylı değerlendirilebilir, verimsiz kaynaklarda bu düşüklüğün sebebi araştırılabilir.

İkinci olarak, teknolojik yenilikler ile yenilenebilir enerji üretiminin maliyeti azalabilmektedir. Örneğin 2021 yılında güneş panellerinden elektrik üretimi, 2010 yılındaki maliyetinden %88 daha düşüktür. Avrupa Komisyonuna göre bunun iki nedeni bulunmaktadır; ölçek ekonomisi ve yoğun AR-GE çalışmalarının sonuç vermesidir (Chatzipanagi, 2022).

Elia ve diğerleri (2020) rüzgar türbinlerinin 2005-2017 yılları arasındaki fiyat düşüşünün nedenini araştırdıkları çalışmalarında kullanırken öğrenmenin en önemli yenilik unsuru olduğunu ortaya çıkarmış ve toplam maliyet düşüşünün yarısının bundan kaynaklandığını ortaya çıkarmışlardır.

Yenilenebilir enerji teknolojilerinde AR-GE faaliyetleri çok önemlidir ama onların da etkinliği ölçülmelidir.

Ülkelerin güneş ve rüzgar enerjisi sektörlerinde mevcut kurulu güç, insan kaynağı ve iş hacimleri ile ne kadar enerji üretebilmektedir, bu girdiler ne kadar etkin kullanılmaktadır?

Ülkelerin ve şirketlerin rüzgar ve güneş enerjisi sektöründe AR-GE için ayırdıkları bütçeler, istihdam edilen AR-GE personeli, ne kadar patent başvurusu üretmektedir?

Bu patent başvuruları ne kadar ihracat artışı sağlamaktadır?

Hangi ülkeler daha çok patent başvurusu yapmaktadırlar? Hangi ülkeler daha çok ekonomik fayda elde etmektedir? Bu başarılı ülkelerin kullandıkları özel mekanizmalar ve destekler bulunmakta mıdır?

Bu çalışmada yukarıdaki sorulara cevap aranacaktır.

2.2 AMAÇ

Çalışma, Avrupa ülkelerinin güneş ve enerji sektörlerindeki enerji üretim etkinliklerini, kurulu güç, insan kaynaklar, iş hacmi girdileri ile değerlendirerek, yüksek verimliliğe sahip ülkelerin hangi politikalar, teşvikler veya programlar ile bu etkinliklere ulaşabildiklerini araştırmaktadır. Bu şekilde mevcut kaynakların nasıl daha verimli kullanılabileceği de görülebilecektir.

Diğer yandan geleceğe yönelik olarak maliyetlerin düşürülmesinde çok büyük role sahip inovasyon da güneş ve rüzgâr enerjisi özelinde değerlendirilecektir. AR-GE faaliyetlerinin patentlere dönüşebilme açısından etkinliğini, patentlerin ise ekonomik çıktılara dönüşmeleri açısından etkinlikleri ölçülmektedir. Avrupa ülkelerinde bu sektörlerdeki her iki etkinlik düzeyinin tespiti sonrasında ülke karşılaştırmaları yapılmaktadır. Ülke karşılaştırma sonucunda yüksek verimliliğe sahip ülkelerin politikalarının yaygınlaşması diğer ülkelerin de yararına olacaktır.

Avrupa Komisyonu, pandemi sonrası dünyada, iyi yönlendirilmiş araştırma ve inovasyonun, sosyal ve bölgesel ayrımları hafifletmek, ülkelerin, bölgelerin ve şirketlerin tutarlı ve kapsayıcı olarak inovasyon odaklı büyümesini sağlamak gibi çok önemli bir potansiyeli olduğunu belirtmektedir. Bu çalışma gibi karşılaştırma içeren analizler ülkeler arasındaki farklılıklara da dikkat çekerek kapsayıcı bir politika için de faydalı olabilecek sonuçlar ortaya çıkarmaktadır.

2.3 ÖNEM

İklim değişikliği ile mücadelede yenilenebilir enerji kaynaklarının rolü yadsınamaz. Bu enerji kaynaklarında üretim etkinliğini arttırmaya yönelik karşılaştırmalı çalışmalar, yüksek performanslı ülkelerin tespit edilerek, diğer ülkelerinde alabilecekleri örnekler oluşturulabilir.

Örneğin rüzgâr enerjisi sektöründe uzun yıllar hem kurulu güçte hem de üretimde dünya lideri olan Almanya, bu liderliğin büyük oranda rüzgar enerjisi sektörünün ilk gelişme döneminde uyguladığı, rüzgar enerjisinden üretime yüksek düzeyde minimum bir alım bedeli garantisi veren FIT sistemine borçludur (Clean Coalition, 2023). Bu

başarıyı gören birçok ülke benzer sistemleri kullanarak yenilenebilir enerji kaynaklarını desteklemişlerdir.

Bu çalışma, iki konuda diğer etkinlik analizlerinden ayrılmaktadır. Yukarıda yer verilmiş olan literatür taramasında belirtildiği üzere, enerji sektöründe etkinlik çalışmaları genel olarak termal üretimlere ve karbon emisyonlarına odaklanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının etkinliği üzerine yapılan diğer çalışmalar ise makro düzeye bakmakta ya da sadece tek bir kaynağa odaklanmaktadır.

Bu çalışma gibi rüzgâr ve güneş enerji ölçeğinde çalışma çok azdır. İkinci olarak da Avrupa ülkeleri düzeyinde güneş ve rüzgâr enerjisinin iki aşamalı veri zarflama analizi ile AR-GE etkinliği ve sonrasında da inovasyonunun ekonomik açıdan değerlendirildiği bir analiz, mevcut bilgilerim dahilinde hiç yapılmamıştır. Bu çalışma, her iki açığı da doldurarak, ülkelerin güneş ve rüzgâr enerjisi üretimleriyle ve bu kaynaklara yönelik AR-GE faaliyetlerinin etkinliği ilgili durum tespiti yapılabilecek, yüksek performanslı ülkelerin daha detaylı incelenerek dersler alınabilecektir.

2.4 SINIRLILIKLAR

Çalışmanın temel varsayımları ve sınırlılıkları şu şekilde sıralanabilir:

1. Her ne kadar güneş enerjisinden üretim güneş termal teknolojisini içerse de güneş termalde kurulu gücün MW bazlı olarak değil, kolektörlerin m²'si şeklinde ölçülmesi, üretim düzeyinin ise çıkan ısıya odaklı olarak Megawatt Termal şeklinde kullanılması nedeniyle farklı ölçüm birimlerine sahiptir. Bu nedenle

çalışmada güneş enerjisi olarak sadece FV kullanılmıştır. Patent başvuru sayısında da termal güneş dikkate alınmamıştır.

2. AR-GE çalışmalarının başlangıç aşamasından yeniliğe dönüşmesi, patent başvurusu, patentleme ve ürün/sürecin ticarileşmesi zaman almaktadır. Teknoloji odaklı sektörler için daha kısa zaman aralığı ön görülmüş olsa da bir fikir birliği bulunmamaktadır.

Bu çalışmada ise AR-GE çalışmaları ile başvuru paten arasındaki süre iki yıl olarak alınmıştır. İlk aşamada 2017 yılına ait AR- GE bütçe ve çalışan sayısı girdi, 2019 yılına ait patent başvuruları çıktısıdır. İkinci aşamada ise 2019 yılına ait patent başvurusu girdi, 2021 yılına ait dış ticaret dengesi maksimize edilmeye çalışılan çıktısıdır.

3. Araştırmada hem girdi hem de çıktı olarak kullanılan patent başvuru verileri IRENA'nın web sitesinden alınmıştır (IRENA, 2022). IRENA ise bu bilgileri EPO'dan İklim Değişikliği Etkilerini Hafifletici Teknolojiler (Y2) sınıflandırmasına dayanarak EPO PATSTAT 2021 Sonbahar Basımından almıştır. Bu nedenle 2021 verileri eksik olduğundan en güncel kullanılacak istatistik 2020'dir.

Patent başvuruları da yukarıda belirtildiği üzere, ilk başvuru tarihinden 15-30 ay sonra yayımlandığı için AR-GE çalışmalarının ortalama 2 yıl sonra patent başvurusu olarak yayımlanmış olacağı varsayılmıştır.

4. Patent başvuruları ile ilgili başka bir kısıt ise birçok ülkenin sadece 1 veya 2 adet patent başvurusuna sahip olmasıdır. Patent başvuru sayısı hem girdi hem de çıktı olarak kullanıldığından 1 uç değer olarak kabul edilerek çalışmada kullanılmamıştır.
5. Güneş ve rüzgâr enerjisi özelinde çalışan AR-GE personel sayısı istatistiksel olarak mevcut değildir. Bu nedenle OECD'nin her bin çalışan için verdiği AR-GE personeli sayısı ile (OECD, 2023) IRENA'nın güneş ve rüzgâr enerjisi için ayrı ayrı verdiği çalışan sayısı (IRENA, 2022) kullanarak bir hesaplama yapılmıştır. Detaylı hesaplama Ek'te yer almaktadır.
6. İhracat rakamları için Dünya Gümrük Birliği'nin 6-haneli HS kodu kullanılmıştır. Rüzgâr için kullanılan kod; 850231 (Trade Map, 2023) iken güneş için 854140'tır (World Integrated Trade Solution, 2023).

2.5 YÖNTEM

Çalışmanın ilk kısmında enerji üretim etkinliği tek aşamalı süper etkinlik VZA ile, ikinci kısımdaki inovasyon ekonomik etkinliği ise iki aşamalı süper etkinlik veri zarflama analizi kullanılacaktır.

VZA, en iyi performans gösteren birimi temel olarak diğer birimlerin performanslarını değerlendirme yöntemidir (Cook & Kaoru Tone, 2014).

1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından ilk geliştirilmesinden bu yana model, literatür taramasında özetlendiği üzere, yönelimler, ölçeğe göre geri dönüşler,

DMU'ların iç süreçleri (aşamaları) olup olmadığı, istenmeyen çıktıların olup olmadığı gibi unsurlar temelinde gelişmeler göstermiştir.

Bu gelişmelerden biri de çalışmada kullanılan Süper Etken Modeldir.

Süper Radyal Etkinliği ölçmek üzere girdi odaklı olarak aşağıda Eşitlik 3.'te verildiği şekilde kullanılabilir:

[Süper-Radyal Girdi Odaklı CRS]

$$\min \phi^{Super} \quad (3)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{g=1, \neq o}^n \lambda_g x_g \leq \phi^{Super} x_o$$

$$\sum_{g=1, \neq o}^n \lambda_g y_g \geq y_o$$

$$\phi^{Super}, \lambda \geq 0, \quad \text{ve } g \neq o.$$

Bu analizin çıktı odaklı versiyonu (Süper Radyal Çıktı Odaklı Sabit Ölçek Getirili) aşağıdaki Eşitlik.4'teki gibi gösterilebilir.

[Süper Radyal Çıktı Odaklı CRS]

$$\max \theta^{Super} \quad (4)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{g=1, \neq o}^n \lambda_g x_g \leq x_o$$

$$\sum_{g=1, \neq 0}^n \lambda_g y_g \geq \theta^{super} y_o$$

$$\lambda \geq 0, \quad \text{ve } g \neq o.$$

Wang ve diğerleri (2016) inovasyon süreçlerini değerlendirmede tek aşamalı modellerin uygun olmadığı düşünmektedirler.

2.6 ARAŞTIRMA MODELLERİ

2.6.1 Çıktı Odaklı Süper Etkinlik Modeli

Araştırmanın ilk modeli tek aşamalı çıktı odaklı süper etkinlik VZA'dır. Bu model ile enerji üretim etkinliği, ana kaynaklar olarak, kurulu güç, çalışan sayısı, yatırımları ve işletme ve bakım giderlerini dahil olacak şekilde iş hacmi kullanılacak, en yüksek enerji üretimi amaçlanarak hesaplama yapılacaktır.

Enerji etkinliği için kullanılan girdi ve çıktıları aşağıdaki Tablo 2'de yer almaktadır. Yalnız bu analiz yapılırken, doğal kaynak etkinliğini de yansıtacak şekilde araştırma birimleri iki gruba ayrılarak analiz yapılacaktır; Kuzey ve Orta Avrupa ülkeleri ile Güney ve Doğu Avrupa Ülkeleri.

İlk grup rüzgâr kaynakları açısından zengin, genel olarak da güneş ışıınımı açısından fakirdir.

Bu ülkeler şu şekilde belirlenmiştir;

Avusturya, Belçika, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Macaristan, İrlanda, Litvanya, Letonya, Lüksemburg, Hollanda, Slovakya, İsveç.

İkinci grup ülkeler ise;

Bulgaristan, Fransa, Yunanistan, İtalya, Portekiz, Romanya, Hırvatistan, Slovenya, İspanya'dan oluşmaktadır.

Tablo 2. Enerji Üretim Etkinliği Girdi ve Çıktıları

Girdiler	Çıktı
Kurulu Güç	Enerji Üretim Miktarı
İş Hacmi Miktarı	
Çalışan Sayısı	

2.6.2 Çıktı Odaklı İki Aşamalı Süper Etkinlik Modeli

İkinci ampirik çalışma ise AR-GE ve inovasyon ekonomik etkinliğini hesaplamak amacıyla yapılmaktadır.

Tipik olarak yüksek teknoloji sektörler, özellikle yukarı yönlü teknoloji ve aşağı yönlü ekonomik değişimle ilgili gelişmeler iki aşama ile değerlendirilmektedir (Hye-Seon Moon, 2005; Seema Sharma, 2008).

Bu çalışmada da, birçok akademisyen de takip edilerek (Guan ve Chen, 2010; Bilbao-Osorio ve Rodriguez-Pose, 2004; Zuo ve diğerleri, 2022; Zhong ve diğerleri 2011; Liu ve diğerleri, 2020; Wang ve diğerleri, 2016; Aytekin ve diğerleri, 2022) iki aşamalı Süper-Radyal BCC Çıktı Odaklı VZA modeli değişken inovasyon etkinliğini değerlendirmede kullanılacaktır.

İlk kez (Seiford, 1999) tarafından önerilen iki aşamalı yaklaşım, ABD'deki ticari bankalara ilişkin makalelerinde, ilk aşamada bankaların kârını, ikinci aşamada ise piyasa değerini analiz etmek için kullanılmıştır. VRS ile çıktı odaklı BCC VZA modeli ile hesaplama yapılmıştır. Bu modelin formülasyonu aşağıdaki Eşitlikteki gibi verilebilir.

$$\max y_0^l + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{g=1}^s s_g^+ \right) \quad l = 1, 2$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{gj} - s_g^+ = y_{go}^l \quad g = 1, 2, \dots, s;$$

$$\sum_{i=j}^n \lambda_j = 1 \quad \text{ve} \quad \lambda_j s_i^- s_g^+ \geq 0$$

γ_0^1 ve γ_0^2 birinci ve ikinci seviye için optimal değerlerdir.

Ölçek etkinliği şu şekilde ölçülmektedir

$$\pi_0^l = \frac{\phi_0^{l*}}{\gamma_0^{l*}} \quad \text{ve} \quad l = 1, 2$$

Bu çalışmada AB ülkelerinin inovasyon etkinliğini iki aşamada ölçülmektedir. İlk aşamada, Avrupa ülkelerinin güneş ve enerji sektöründeki inovasyon etkinliği, benzer alanlardaki çalışmalara paralel olacak şekilde, patent başvuru sayısı çıktı olarak alınmakta, AR-GE bütçesi ve AR-GE personeli ise girdi olarak kullanılmaktadır. (Chen, Hsueh-Liang-Wu ve Lin, 2006; Zhong ve diğerleri, 2011; Chen ve diğerleri 2014; Liu ve diğerleri, 2020; Li ve diğerleri, 2019).

Wang ve Huang, 2007; Guan ve Chen, 2010; Wang ve diğeri, 2013 tarafından da dile getirildiği gibi, patentler inovasyon çıktısının en önemli ve en doğrudan göstergesidir.

İkinci aşamada girdi olarak patent başvuruları, çıktı olarak ise her bir yenilenebilir enerji kaynağı ile ilgili yapılan ihracat maksimize edilmeye çalışılan çıktı olarak alınmıştır.

İnovasyon çalışmalarında sıklıkla tartışılan bir konu da girdi ile çıktı arasındaki zaman farkıdır. İnovasyon faaliyetlerinin sonuçlarını görmek için belli bir zaman farkı olup olmaması gerektiği ve eğer gerekiyorsa ne kadar süreye ihtiyaç olduğu hakkında akademisyenler arasında bir uzlaşma bulunmamaktadır.

Joint Research Center (2021) patent başvurularının aslında 18 ile 30 ay öncesinde başvurusu yapılmış dosyaların yayımlanmaları olduğunu belirttikten sonra, patent başvurusu olarak belirlenebilecek bir çıktının yaklaşık 3,5 yıl kadar önceki bir çalışmanın ürünü olduğunu eklemektedirler.

Lan ve Wang (2022) fotovoltaik endüstrisi üzerine yaptıkları çalışmada yenilik girdisi ve çıktısı arasında 1 yıllık zaman aralığını kullanmışlardır. Guan ve Chen (2012) bilgi üretim süreci için 3 yıllık aralık ve bilginin ticarileştirme süreci için 1 yıllık bir aralık ile hesaplamalarını yapmıştır.

Bazı yüksek teknoloji endüstrileri için 2 ya da 3 yıl kullanıldığı görülmektedir (Guan ve Chen, 2010; Wang ve diğeri 2013). Daha uzun dönem kullanmış olan

örnekler de bulunmaktadır; Hashimoto ve Hanedab (2008) ilaç endüstrisi için yapılan AR-GE harcamalarının ekonomik değerlere ulaşması için 8 yıllık bir zaman aralığını kullanmıştır.

Öte yandan, sonuçların tahmin edilmesinde zaman aralığının önemli olmadığını savunan akademisyenler de bulunmaktadır (Griliches, 1998; Hollanders ve Celikel-Esser, 2007).

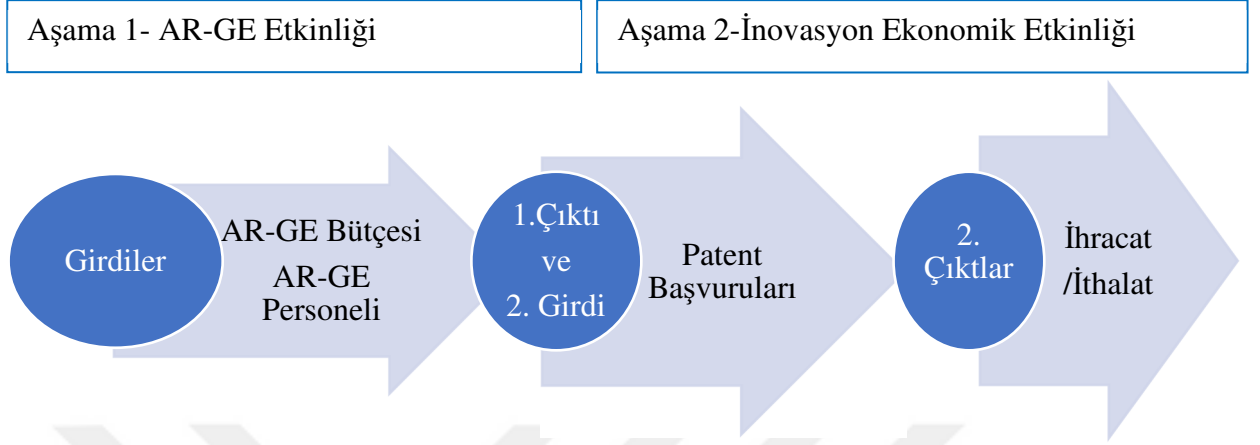
Bu çalışmada benzer sektörler için yapılan çalışmalarda kullanılan daha kısa zaman aralığını baz alarak, AR-GE faaliyeti girdilerinin zamanı ile patent başvuru süresi arasında 2 yıllık zaman aralığı kullanılmıştır.

Sonuç olarak inovasyon ekonomik etkinliği araştırmasının girdi ve çıktıları ile aşamaları aşağıdaki Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. İnovasyon Ekonomik Etkinliği Araştırmasının Aşamaları ve Girdileri

Birinci Aşama AR-GE Etkinliği	
Girdi 1	Her bir enerji kaynağına ayrılan AR- GE bütçesi
Girdi 2	AR-GE çalışan sayısı
Çıktı	Her bir enerji kaynağı için patent başvurusu
İkinci Aşama İnovasyon Ekonomik Etkinliği	
Girdi	Her bir enerji kaynağı için patent başvurusu
Çıktı	Her bir enerji kaynağı ile ilgili ekipman ihracatı miktarı

Çalışma iki aşamalı olarak aşağıdaki şekilde görselleştirilmiştir(Şekil. 13)



Şekil 13. İki Aşamalı Analiz

2.8 VERİ ANALİZİ

2.8.1 Verilerin Toplanması

Yapılan araştırmada kullanılan veriler, OECD, IRENA, Euroobserver ve ITC gibi uluslararası kuruluşların web sitelerinden alınmıştır. Çalışmada kullanılan veriler ve alındığı kaynaklar Tablo 4 ve 5’de verilmektedir.

Tablo 4. Enerji Üretim Etkinliği Data Açıklamaları

Veri Adı	Açıklama	Birim	Kaynak
Güneş Enerjisi Sektöründe Çalışan Sayısı	2021 güneş enerjisi sektöründe doğrudan veya dolaylı çalışan sayısı	Sayı/Yıl	Euroobserver
Rüzgâr Enerjisi Sektöründe Çalışan Sayısı	2021 rüzgâr enerjisi sektöründe doğrudan veya dolaylı çalışan sayısı	Sayı/Yıl	Euroobserver

Güneş Kaynaklı İş Hacmi	2021’de toplam 1.Yeni kurulumlara yatırımlar 2. Faaliyette olan ve faaliyete geçecek olan kurulumların bakım ve işletme giderleri 3. Yenilenebilir enerji ekipmanını ticareti	m Euro	Euroobserver
Rüzgâr Kaynaklı İş Hacmi	2021’de toplam 1.Yeni kurulumlara yatırımlar 2.Faaliyette olan ve faaliyete geçecek olan kurulumların bakım ve işletme giderleri 3. Yenilenebilir enerji ekipmanını ticareti	m Euro	Euroobserver
Rüzgâr Kurulu Gücü	2021 Kurulu Rüzgâr Santrallerinin Toplam Kapasitesi	MW	Euroobserver
Güneş Kurulu Gücü	2021 Kurulu Güneş Santrallerinin Toplam Kapasitesi	MW	Euroobserver
Güneş Kaynaklı Elektrik Üretimi	2021 Güneş santrallerinden elektrik üretimi	GWh/yıl	Euroobserver
Rüzgâr Kaynaklı Elektrik Üretimi	2021 Rüzgâr santrallerinden elektrik üretimi	GWh/yıl	Euroobserver

Tablo 5. İnovasyon Ekonomik Etkinlik Araştırması Veri Kaynakları ve Açıklamaları

Veri Adı	Açıklama	Birim	Kaynak
AR-GE Bütçesi FV Güneş Enerjisi Sektörü	Her bir ülke ve her bir sektör için 2017-2018	Milyon Euro (2022 fiyatları ve döviz kurları ile)	(OECD ilibrary, 2023)
AR-GE Bütçesi Rüzgâr Enerjisi Sektörü	AR-GE Bütçesi		
AR-GE Personeli FV Güneş Enerjisi Sektörü	Her bir ülke ve her bir sektör için 2017-2018	Sayı/Yıl	(OECD, 2023), (IRENA, 2018), (Euroobserver, 2019)
AR-GE Personeli Rüzgâr Enerjisi Sektörü	AR-GE Personeli		
FV Güneş Enerjisi Sektörü Patent Başvurusu	Her bir ülke ve her bir sektör için 2019-2020	Sayı/Yıl	(IRENA, 2022)
Rüzgâr Enerjisi Sektörü Patent Başvurusu	AR-GE Patent Başvurusu		
FV Güneş Enerjisi Sektörü Ekipman İhracatı (HS 854140)	Her bir ülke ve her bir sektör için 2021-2022	1000 USD	(ITC, 2023)
Rüzgar Enerjisi Sektörü Ekipman İhracatı (HS 850231)	Ekipman İhracat Miktarı		

2.8.2 Verilen Çözümlemesi

Çalışmada kullanılan verilerden, toplam çalışan sayısı, iş hacmi miktarı, kurulu güç ve üretim değerleri, Euroobserver raporundan alınmıştır (Euroobserver, 2023).

AR-GE bütçesi OECD istatistiklerinde, patent başvuruları ise IRENA istatistiklerinde ham data şeklinde mevcuttur. Öte yandan rüzgâr ve güneş özelinde AR-GE personeli verisi bulunmamaktadır. Bu nedenle OECD’de (OECD, 2023) toplam çalışan sayısına oranla AR-GE personeli rakamları, Eurobarometer Raporu’ndan (Euroobserver, 2019) alınan rüzgâr ve güneş enerjisi sektörü çalışanlarına oranlanarak alınmıştır.

İhracat ve ithalat rakamları için ise, (Eurostat, 2023) çalışmasına benzer şekilde HS kodlarına bakılarak rüzgâr ve güneş enerjisi için ürünler belirlenmiştir.

Çalışmanın güneş enerjisi sektörünün enerji etkinliği ile ilgili olarak girdi ve çıktıların ortalamaları ile standart sapmaları aşağıdaki Tablo 6’da yer almaktadır.

Tablo 6. Güneş Enerjisi Sektörü Enerji Üretim Etkinliği Girdileri ve Çıktı Ortalamaları-2021

	Kurulu Güç (MW)	Çalışan Sayısı	İş Hacmi (m €)	Enerji Üretimi (GWh/yıl)
Ortalama	6,711	9,241	1,145	6,570
Standart Sapma	12,463	13,553	1,848	11,185

Kaynak: The State of Renewable Energies in Europe Edition 2022

Güneş kurulu gücünde, Almanya, İtalya ve Hollanda en yüksek güce sahip ülkelerken, Almanya, İtalya ve İspanya en çok üretime sahip ülkelerdir. İspanya'nın Hollanda'ya göre daha düşük kurulu güce sahipken neredeyse onun iki katı üretime sahip olmasının asıl sebebi, güneş enerjisi kaynak potansiyelinin daha yüksek olmasıdır.

Çalışan sayısında ise, ilk sıraları Almanya, Fransa ve Polonya alırken, iş hacmi en yüksek Almanya'da, sonra Fransa ve İspanya'da bulunmaktadır.

Rüzgâr enerjisi sektöründe ise, en yüksek kurulu güç ve üretim sırasıyla Almanya, İspanya ve Fransa'da bulunmaktadır. İstihdam ve iş hacminde ise Almanya, Danimarka ve İspanya ilk üç ülkedir (Tablo 7.) .

Tablo 7. Rüzgâr Enerjisi Sektörü Enerji Üretim Etkinliği Girdileri ve Çıktı Ortalamaları-2021

	Kurulu Güç (MW)	Çalışan Sayısı	İş Hacmi (m €)	Enerji Üretimi (GWh/yıl)
Ortalama	7.836	8.799	1.418	16.096
Standart Sapma	13.100	14.491	2.561	24.376

Kaynak: The State of Renewable Energies in Europe Edition 2022

Güneş ve rüzgar enerjisi sektörü karşılaştırıldığında, ortalama kurulu gücün, iş hacminin güneşten daha yüksek olduğu görülmektedir. Ortalama üretim ise güneşin 3 katıdır. Birim kurulu güçten rüzgâr yaklaşık iki kat daha fazla enerji üretebilmektedir, bunun sebebi kapasite faktörü¹ farkıdır.

Genel olarak karasal rüzgâr enerjisi santrallerinde kapasite faktörü %30-40 arasında değişmektedir (Eicke, Eicke, Hafner, & Luciani, 2022). Teorik olarak en yüksek kapasite ise Betz limiti olarak da bilinen %59'dur (Center for Sustainable Systems University of Michigan, 2023).

Güneş enerjisi santrallerinden teorik olarak ideal materyal kullanılması şartıyla %33,7'lik kapasite faktörü mümkündür (Kumbhar, 2023). Yalnız işletmede olan FV santrallerinden ortalama kapasite faktörü dünyada 2022 yılı için, %16,9 düzeyinde olmuştur (Fernandez, 2023).

Güneş ve rüzgâr enerjisinde AR-GE faaliyetlerinin etkinliği ve inovasyon ekonomik etkinliği ile ilgili göstergeler Tablo 8., 9. ve 10'da özetlenmiştir.

Gerek 2017 gerekse 2018 yılında güneş enerjisi sektörüne en büyük AR-GE bütçesini Almanya ayırmıştır. Onu takip eden ülkeler ise Fransa ve Hollanda'dır.

En az AR-GE bütçesine ise Slovakya sahiptir. 2017 yılından 2018 yılına analiz edilen ülkeler bağlamında ortalama bütçe % 6 oranında artmıştır.

¹ Kapasite faktörü, bir üretim birimi tarafından belli bir süre boyunca üretilen elektrik enerjisinin, aynı süre boyunca sürekli tam güçte çalışma sırasında üretililecek elektrik enerjisine oranıdır.

Tablo 8. Avrupa Ülkeleri Ortalama AR-GE Bütçesi ve AR-GE Personeli- Güneş Enerjisi Sektörü

Yıl	Toplam AR-GE Bütçesi (Milyon Euro)		Toplam AR-GE personeli	
	Ortalama	σ	Ortalama	σ
2017	18.471	31.199	71	109
2018	19.593	31.235	104	172

Kaynak: IRENA; Renewable Energy and Jobs Annual Review 2018; OECD,

https://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=MSTI_PUB&lang=en Erişim Tarihi:12-05-

2023; IRENA, Renewable Energy Jobs Annual Review 2017

AR-GE personeline bakıldığında, 2017'den 2018'e %47 oranında ortalamada arttığı görülmektedir. Burada da en büyük işveren ülkeler Almanya, Fransa ve Hollanda'dır.

Çalışmanın ilk aşamasında çıktı, ikinci aşamasında ise girdi olarak kullanılan patent başvurularına bakıldığında 2019'dan 2020'ye %50'lik bir düşüş olduğu fark edilmektedir (Tablo 9.)

Avrupa Patent Ofisi de benzer bir düşüşe dikkat çekmektedir (European Patent Office, 2021). Tüm sektörlerdeki patent düşüşünün kısmen Covid-19'un genel ekonomik faaliyetlere etkisine bağlanabileceğini ifade etmektedir. 2019-2020 arasında başvuru sayısı %0.7 düşmüştür ama bu düşüş, eğer biyoteknolojideki %6'lık, medikal teknolojide %2.6'lık ve en önemlisi de ilaç sanayiindeki %10'luk artış olmasaydı çok daha fazla düşebileceğini ilave etmiştir.

Almanya, Fransa, Polonya ve İspanya sırasıyla en büyük patent başvuru sayısına sahip olan ülkelerdir.

Tablo 9. Avrupa Ülkeleri Ortalama Patent Başvuruları- Güneş Enerjisi Sektörü

Patent Başvuruları		
Yıl	Ortalama	σ
2019	53	88
2020	26	53

Kaynak: IRENA, Renewable Energy Jobs Annual Review 2017 IRENA; Renewable Energy and Jobs Annual Review 2018

İthalat ve ihracat rakamları incelendiğinde Avrupa'nın ciddi bir ticaret açığı olduğu dikkati çekmektedir. Diğer bir konu da standart sapmasının büyüklüğüdür.

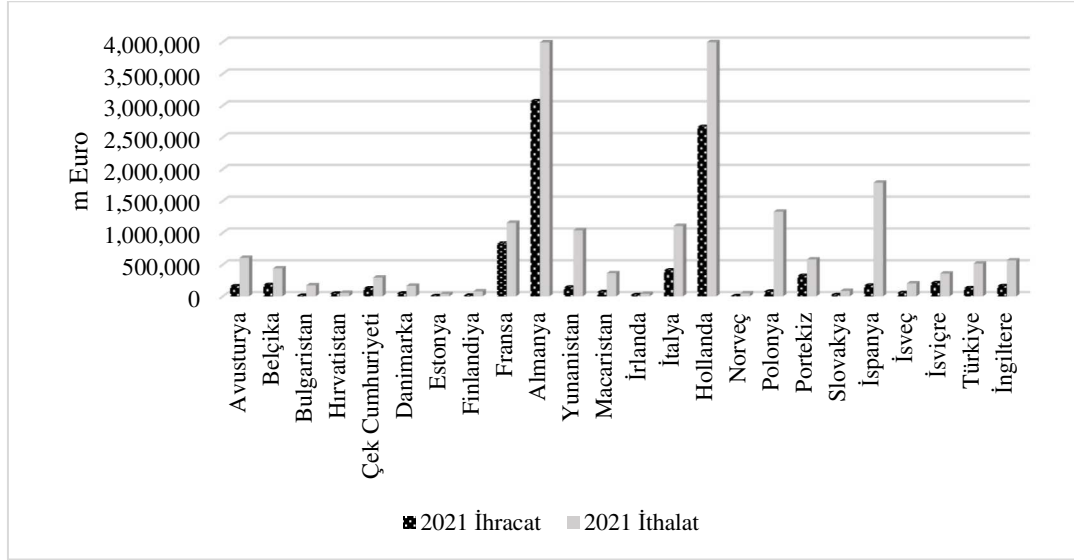
Tablo 10. Avrupa Ülkeleri Ortalama İhracat ve İthalat Rakamları- Güneş Enerjisi Sektörü

	İhracat (1000 USD)		İthalat (1000 USD)	
	Ortalama	σ	Ortalama	σ
2021	369.496	774.192	792.255	1.068.420
2022	435.524	788.199	1.392.124	1.628.201

Kaynak: World Integrated Trade Solution,

<https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2021/tradeflow/Exports/partner/WLD/product/854140>, Erişim Tarihi: 10-03-2023

En büyük ihracatçı ülkeler Almanya ve Hollanda'dır. Yalnız her iki ülke aynı zamanda en büyük ithalatçıdır. Diğer dikkat çekici bir husus ise, ithalatın %75 artarken ihracatın sadece %18 artmış olduğudur. Ülkelerin güneş enerjisi sektöründeki dış ticaret dengesizliği Şekil 13. ve Şekil 14.'de daha net görülebilmektedir.

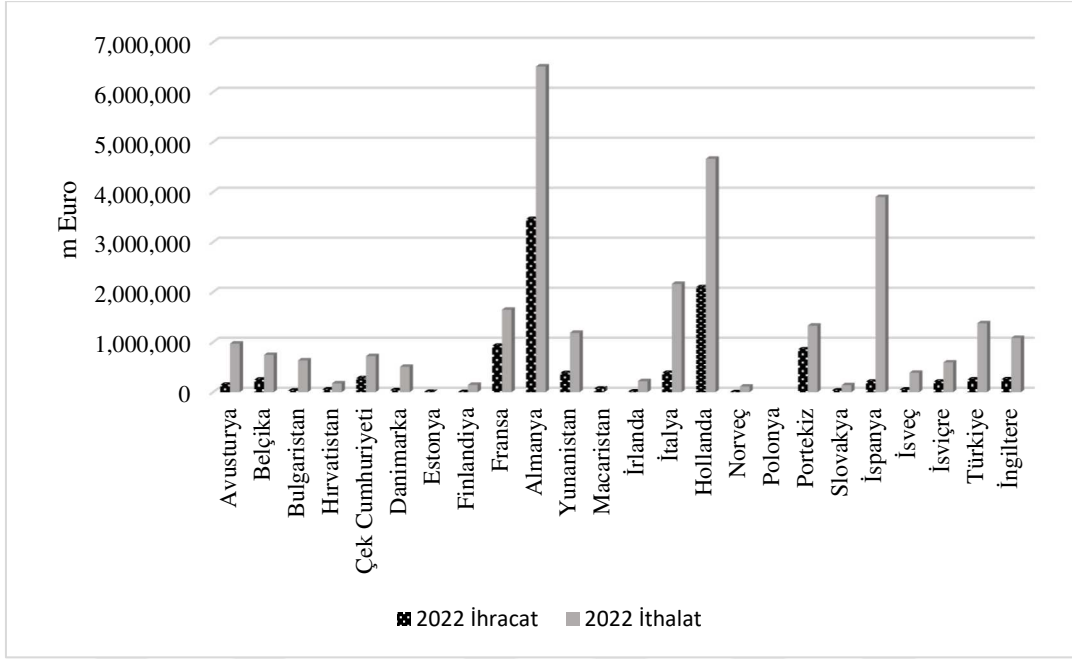


Şekil 14. 2021 Avrupa Ülkeleri İthalat ve İhracat Durumu Güneş Enerjisi

Kaynak: World Integrated Trade Solution,

<https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2021/tradeflow/Exports/partner/WLD/product/854140>, Erişim Tarihi: 10-03-2023

2021 yılında hiçbir Avrupa ülkesinde güneş enerjisi sektöründe, dış ticaret fazlası bulunmamaktadır. İspanya ve Polonya ise oransal olarak en yüksek dış ticaret açığı veren ülkelerdir. İspanya'da ihracatın ithalatı karşılama oranı %9, Polonya'da ise sadece %5'tir.



Şekil 15. Avrupa Ülkeleri İthalat ve İhracat Durumu Güneş Enerjisi-2022

Kaynak: World Integrated Trade Solution,

<https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2021/tradeflow/Exports/partner/WLD/product/854140>, Erişim Tarihi: 10-03-2023

2022 yılında, benzer şekilde hiçbir ülke dış ticaret fazlası vermemektedirler, hatta birçok ülkede ihracatın ithalatı karşılama oranı azalmıştır.

Rüzgar enerjisi sektörüne baktığımızda ise AR-GE harcamaları ve AR-GE personelinin ortalama ve standart sapma hesaplamaları Tablo.11’de yer almaktadır.

Tablo 11. Avrupa Ülkeleri Ortalama AR-GE Bütçesi ve AR-GE Personeli-
Rüzgar Enerjisi Sektörü

Yıl	Toplam AR-GE Bütçesi (Milyon Euro)		Toplam AR-GE personeli	
	Ortalama	σ	Ortalama	σ
2017	13.748	20.704	243	478
2018	14.313	19.803	174	364

Kaynak: IRENA; Renewable Energy and Jobs Annual Review 2018; OECD,

https://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=MSTI_PUB&lang=en Erişim Tarihi:12-05-

2023; IRENA, Renewable Energy Jobs Annual Review 2017

Avrupa ülkeleri arasında 2017 yılı için en yüksek rüzgar AR-GE bütçesi sırasıyla Almanya, İngiltere, Hollanda, Danimarka ve Norveç'e aittir. 2018'de ise İspanya bütçesini yaklaşık 3 kat arttırmış olup, sıralamada Almanya, Hollanda ve Danimarka'nın arkasına yerleşmiştir. En az bütçe ayıran ülkeler ise Türkiye, İrlanda, Avusturya ve Çek Cumhuriyetidir.

Ayrıca dikkat çeken bir unsur güneş enerjisine, rüzgâra kıyasla, %27 civarında daha büyük bütçe ayrıldığıdır.

En çok AR- GE personeli de Almanya, İngiltere, Danimarka ve Hollanda'dadır. Güneş enerjisi sektörü ile karşılaştırıldığında, ortalamada daha fazla AR-GE personeli istihdam ettiği görülmektedir.

Patent başvurularına açısından ise rüzgâr enerjisi teknolojilerine, güneşten yaklaşık olarak %45 daha az başvuru olduğu fark edilmektedir (Tablo 12).

Tablo 12. Avrupa Ülkeleri Ortalama Patent Başvuruları- Rüzgar Enerjisi Sektörü

Patent Başvuruları		
Yıl	Ortalama	σ
2019	30	61
2020	15	24

Kaynak: IRENA, [https://irena.sharepoint.com/:x/s/statistics-](https://irena.sharepoint.com/:x/s/statistics-public/EaUa5nqXqt1HmmlXEgmOcWQB5MJxYvS_u7eZi8uwJ3EK1A?rttime=jBrQE4Vr20g)

[public/EaUa5nqXqt1HmmlXEgmOcWQB5MJxYvS_u7eZi8uwJ3EK1A?rttime=jBrQE4Vr20g,](https://irena.sharepoint.com/:x/s/statistics-public/EaUa5nqXqt1HmmlXEgmOcWQB5MJxYvS_u7eZi8uwJ3EK1A?rttime=jBrQE4Vr20g)

Erişim Tarihi: 13-10-2023

En fazla patent başvurusu yapan ülkeler ise Almanya, Fransa, Danimarka'dır.

2019'dan 2020'ye patent başvuru sayılarında çok ciddi düşüş yaşanmıştır. Bu daha önce de belirtildiği üzere Covid'in etkisine bağlanabilir.

Tablo 13. Avrupa Ülkeleri Ortalama İhracat ve İthalat Rakamları- Rüzgar Enerjisi Sektörü

	İhracat (1000 USD)		İthalat (1000 USD)	
	Ortalama	σ	Ortalama	σ
2021	177.095	558.333	138.371	326.940
2022	114.692	359.265	177.095	558.333

Kaynak: ITC,

https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c8502%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c1%7c%7c1, Erişim Tarihi: 10-06-2023

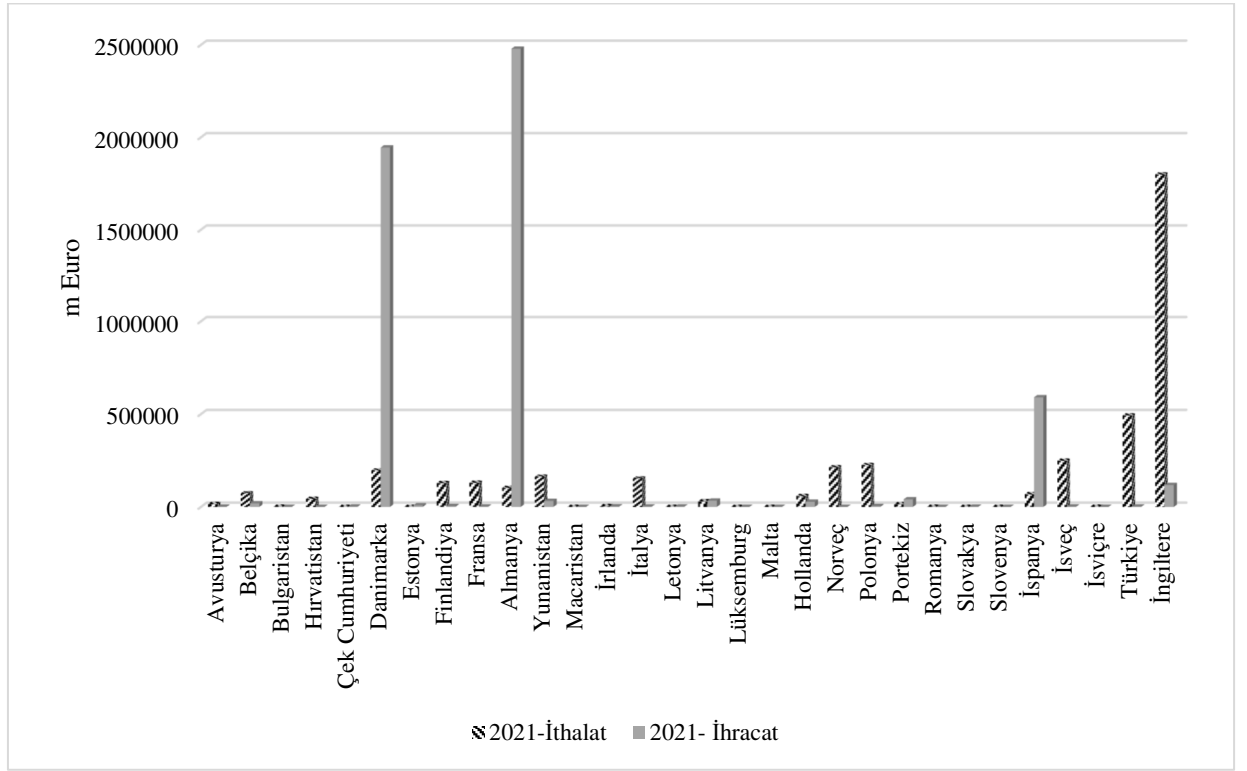
Avrupa ülkeleri rüzgâr enerjisinde ortalama olarak ithalatlarından daha fazla ihracat yapmaktadırlar. Toplama bakıldığında ise ihracat ithalata göre oldukça yüksektir.

Özellikle uzun yıllardır dünyanın en büyük türbin üreticilerinin bulunduğu Almanya, Danimarka ve İspanya oldukça büyük ihracat rakamlarına sahiptirler. Aşağıdaki şekilde, Avrupa ülkelerinin 2021 ve 2022 yıllarındaki dış ticaret dengeleri gösterilmektedir.

Şekil 16. Avrupa Ülkeleri İthalat ve İhracat Rakamları Rüzgar Enerjisi- 2021

Kaynak: ITC,

https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c8502%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c1%7c%7c1, Erişim Tarihi: 10-06-2023

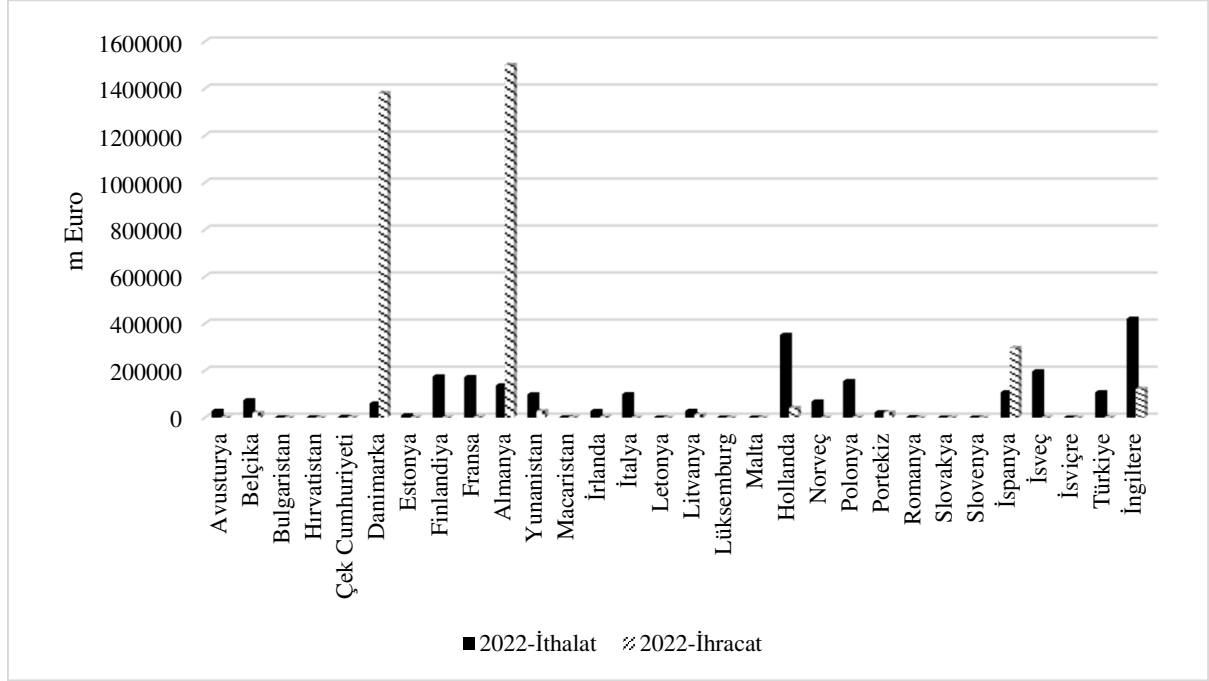


2021 yılında, Estonya, Çek Cumhuriyeti, Almanya ve Danimarka, rüzgar enerjisi sektöründe oransal olarak çok ciddi dış ticaret fazlası vermektedirler. Hacim olarak ise en büyük fazlaya Almanya, Danimarka ve İspanya sahiptir.

Şekil 17. Avrupa Ülkeleri İthalat ve İhracat Rakamları Rüzgar Enerjisi-2022

Kaynak: ITC,

https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c8502%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c1%7c%7c1, Erişim Tarihi: 10-06-2023



2.9 BULGULAR VE YORUMLAR

2.9.1. Enerji Üretim Etkinliği

Güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi sektörleri için Avrupa ülkeleri doğal kaynak potansiyellerine göre iki grupta toplanmıştır; Kuzey ve Orta Avrupa ile Güney ve Doğu Avrupa.

Öncelikle Güney ve Doğu Avrupa ülkelerinin güneş enerjisinden üretim etkinliğine bakıldığında, deaR programı (Benitez ve diğerleri, 2023) ile yapılan hesaplama sonuçları elde edilen Süper Etkinlik Sonuçları aşağıda Tablo.14’de verilmektedir.

Tablo 14. Güney ve Doğu Avrupa Ülkelerinde Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Üretim Etkinliği

DMU	Güneş Enerjisi SE	Rüzgar Enerjisi SE
Bulgaristan	0.97256	0.90227
Fransa	0.71129	0.87315
Hırvatistan	0.94967	0.85789
İspanya	1.28419	0.99156
İtalya	0.96146	1.04339
Portekiz	0.85026	1.09377
Romanya	0.98867	1.47125
Slovenya	2.73624	0.82128
Yunanistan	0.89085	0.92595
Ortalama	1.149466	0.997834
Standart Sapma	0.578967	0.187392

2021 yılı için, güneş enerjisinden elektrik üretiminde, iş gücü, iş hacmi, kurulu güç dikkate alındığından en etkin ülkeler sırasıyla Slovenya, İspanya ve Bulgaristan'dır. Ülkelerin genel etkinlik düzeyleri 1'e yakın olup, genel olarak kaynaklarını verimli kullandıkları söylenebilir.

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretim etkinliğinde ise güney ülkelerinden Romanya, Portekiz ve İtalya en etkin ülkelerdir. Rüzgâr enerjisinden genel etkinlik düzeyleri de 1'e güneşe göre daha yakındır. Bu nedenle maksimum elektrik üretimi amaçlanıyorsa, Güney ülkelerinin rüzgâr enerjisinde kaynaklarını daha etkin kullandıklarından hareketle daha çok rüzgara yönelmeleri gerektiği söylenebilir. Yalnız güneşteki etkinliği rüzgâra göre daha yüksek olan Slovenya, İspanya, Bulgaristan ve Hırvatistan için güneşin daha öncelikli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi tercih edilmelidir.

Güneş enerjisi ile ilgili geliştirmeleri gereken yönler e bakıldığında ise Bulgaristan, Hırvatistan, Portekiz, Romanya ve Yunanistan'ın en çok insan kaynakları etkinliğine, Fransa, İspanya ve İtalya'nın yatırım ve işletme maliyetlerine önem vermeleri gerekmektedir.

Tablo 15. Güney ve Doğu Avrupa Ülkeleri Güneş Enerjisi Üretim Etkinliği Geliştirme Oranları (%)

	Kurulu Güç	Çalışan Sayısı	İş Hacmi
Bulgaristan	-0.02744	-0.48267	-0.02744
Fransa	-0.28871	-0.28871	-0.47866
Hırvatistan	-0.05033	-0.08757	-0.05033
İspanya	0.28419	0.28419	-0.23368
İtalya	-0.03854	-0.03854	-0.30276
Portekiz	-0.14974	-0.64001	-0.29878
Romanya	-0.01133	-0.35405	-0.01133
Slovenya	-0.0899	1.736242	1.736242
Yunanistan	-0.10915	-0.31028	-0.10915

Rüzgâr enerjisi için geliştirme oranları aşağıdaki Tablo 16'da verilmiş olup, İtalya, Fransa, İspanya, Yunanistan ve Slovenya'nın yatırım faktörlerine, Bulgaristan, Hırvatistan, Portekiz'in insan kaynakları etkinliğini arttırmaya yönelik çalışmalarını arttırmaları gerektiğı öne sürülebilir.

Tablo 16. Güney ve Doğu Avrupa Ülkeleri Rüzgar Enerjisi Üretim Etkinliği Geliştirme Oranları (%)

	Kurulu Güç	Çalışan Sayısı	İş Hacmi
İtalya	-0.1474	0.04339	-0.4848
Fransa	-0.1268	-0.1268	-0.5711
İspanya	-0.0084	-0.0084	-0.4317
Portekiz	0.09377	-0.0698	0.09377
Romanya	0.09189	0.47125	0.47125
Yunanistan	-0.0741	-0.1347	-0.2823
Bulgaristan	-0.0977	-0.2169	-0.0977
Hırvatistan	-0.1421	-0.5679	-0.4442
Slovenya	-0.1787	-0.9637	-0.9712

Kuzey ve Orta Avrupa Ülkelerinin güneş ve rüzgâr enerjisindeki üretim etkinlikleri aşağıdaki Tablolarda verilmiştir. Hesaplamalara göre, en yüksek güneş enerjisinden üretim etkinliğine sahip ülkeler, aslında güneş enerjisi kaynak potansiyelini de yansıtacak şekilde Slovakya ve Macaristan olarak ortaya çıkmıştır. En düşük verimliliğe İrlanda ve Finlandiya sahiptir. İrlanda'nın güneş enerjisi üretiminde kendisine göre daha kuzeyde olan ülkelere göre daha düşük etkinlikte olmasının ana nedenleri aşağıda geliştirme oranları tablosunda görüleceği üzere, insan kaynakları ve yatırımlarla ilgili etkinsizliğidir.

Öte yandan rüzgâr enerjisi üretim etkinliğine bakıldığında İrlanda, Finlandiya ve Belçika en üst sıralarda yer almaktadırlar.

Tablo 17. Kuzey ve Orta Avrupa Ülkelerinde Güneş ve Rüzgar Enerjisi Üretim Etkinliği

DMU	Güneş Enerjisi Etkinlik	Rüzgar Enerjisi Etkinlik
Almanya	0.64977	0.70647
Avusturya	0.78216	0.8065
Belçika	0.73314	1.07008
Çek Cumhuriyeti	0.80624	0.70072
Danimarka	0.60063	0.87556
Estonya	0.7025	0.95656
Finlandiya	0.54823	1.07716
Hollanda	0.60279	0.89777
İrlanda	0.53863	1.15649
İsveç	0.74293	0.87327
Letonya	0.78188	0.73966
Litvanya	0.58564	0.80611
Macaristan	1.02356	0.83047
Polonya	0.41482	0.95599
Slovakya	2.0328	0.47858
Ortalama	0.769715	0.862093
Standart Sapma	0.365254	0.166345

Güneş enerjisinden elektrik üretim etkinliği geliştirme oranları irdelendiğinde, Litvanya ve Macaristan hariç tüm ülkelerin büyük oranda yatırım miktarları ile ilgili hedeflerden uzak oldukları görülmektedir. Litvanya ve Macaristan ise insan kaynaklarına eğilmelidirler.

Tablo 18. Kuzey ve Orta Avrupa Ülkeleri Güneş Enerjisi Üretim Etkinliği Geliştirme Oranları (%)

	Kurulu Güç	Çalışan Sayısı	İş Hacmi
Almanya	-0.35023	-0.46616	-0.7844
Avusturya	-0.21784	-0.66276	-0.88336
Belçika	-0.26686	-0.26686	-0.76022
Çek Cumhuriyeti	-0.19376	-0.36215	-0.52547
Danimarka	-0.39937	-0.77339	-0.93103
Estonya	-0.2975	-0.9142	-0.92747
Finlandiya	-0.45177	-0.90972	-0.97319
Hollanda	-0.39721	-0.67904	-0.86541
İrlanda	-0.46137	-0.81217	-0.9314
İsveç	-0.25707	-0.70174	-0.89381
Letonya	-0.21812	-0.95759	-0.97131
Litvanya	-0.41436	-0.92285	-0.89937
Macaristan	0.023562	-0.50807	-0.19182
Polonya	-0.58518	-0.93228	-0.94126
Slovakya	-0.02302	1.032798	0.237355

Rüzgâr enerjisi üretim etkinliği geliştirme oranları incelendiğinde, Almanya, Polonya, Hollanda, Finlandiya, Macaristan, Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Litvanya, Letonya, Slovakya ve Estonya olmak üzere ülkelerin çoğu için asıl geliştirilmesi gereken insan kaynakları etkinliğidir. Öte yandan İsveç ve Danimarka ise yatırım yönüne eğilmelidirler (Tablo 19).

Tablo 19. Kuzey ve Orta Avrupa Ülkeleri Rüzgâr Enerjisi Üretim Etkinliği Geliştirme Oranları (%)

	Kurulu Güç	Çalışan Sayısı	İş Hacmi
Almanya	-0.2935	-0.3493	-0.2935
Avusturya	-0.1935	-0.2493	-0.1935
Belçika	0.07008	0.07008	-0.0673
Çek Cumhuriyeti	-0.2993	-0.6207	-0.2993
Danimarka	-0.1244	-0.7397	-0.7793
Estonya	-0.0434	-0.5542	-0.0434
Finlandiya	0.07716	-0.6777	-0.6
Hollanda	-0.1022	-0.2051	-0.1022
İrlanda	-0.0708	0.0185	0.15649
İsveç	-0.1267	-0.1267	-0.1782
Letonya	-0.2603	-0.8116	-0.2603
Litvanya	-0.1939	-0.7847	-0.1939
Macaristan	-0.1695	-0.7612	-0.1695
Polonya	-0.044	-0.6377	-0.044
Slovakya	-0.5214	-0.9713	-0.9491

2.9.2 Güneş Enerjisi Sektöründe AR-GE Faaliyetleri SE Etkinlikleri

Güneş enerjisi sektörü için Avrupa ülkelerinde birinci aşama olan AR-GE bütçesi, AR-GE personeli girdi olarak alınıp, patent başvuru sayısı çıktı olarak amaçlandığında yapılan SE VZA sonuçları aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 20. Güneş Enerjisi Sektörü AR-GE Etkinlikleri-2019

Ülkeler	SE Derecesi
Avusturya	0.04032
Belçika	0.03888
Çek Cumhuriyeti	0.14865
Danimarka	0.04251
Finlandiya	0.27295
Fransa	0.14154
Almanya	0.12499
Hollanda	0.08397
Polonya	1.03333
Slovak Cumhuriyeti	1.94619
İspanya	2.65006
İsveç	1.62486
Türkiye	0.04514
Ortalama	0.630261
Standart Sapma	0.854883

Tabloya göre, sırasıyla İspanya, Slovak Cumhuriyeti, İsveç ve Polonya patent başvuru sayısı ile ölçülen AR-GE etkinliğinde etkin ülkelerdir.

İspanya, Avrupa’da en yüksek güneş potansiyeline sahip olan ülkedir. Slovakya’da Kuzey ve Orta Avrupa içerisinde en yüksek potansiyele sahiptir. Slovakya ayrıca İnovasyon ve Enerji Kurumu da enerji alanındaki çalışmalara 1999 yılından beri özel destek vermektedir (Slovak Innovation and Energy Agency, 2023).

İsveç zaten yıllardır Avrupa'nın inovasyon sıralamasında birinciliği alan ülke olduğundan yüksek etkinliğe sahip olması anlaşılabilir. Hatta ülke inovasyon değerlendirme raporuna göre, İsveç'in çevre-inovasyon indeksi 132.5 olup, 100 olan Avrupa ortalamasının hayli üstündedir.

Polonya ise Avrupa Yenilikçilik Endeksinde 2015'ten beri yükselmekte olan ve devletin işletmelere olan AR-GE desteğinin güçlü bir şekilde arttığı bir ülkedir (European Union, 2022). 2018 yılında başlatılan Temiz Hava programı ve 2020 tarihli Yeni Enerji Öncelik Programları devletin AR-GE'ye desteklerine yönelik iki örnek programdır. (Stip Compass, 2023).

Polonya'da elektrik talebinin büyük bir kısmı kömür santrallerinden karşılanmaktadır, yenilenebilir enerjinin payı ise yalnızca %17,2'dir(Şekil 1.). Ayrıca elektrik üretimindeki sera gazı emisyon yoğunluğu gene en yüksek olan ülkedir (Şekil.2). Bu nedenle ülke kendine kömürden çıkış ve yenilenebilir enerjilere geçiş için önemli araçlardan biri de inovasyon olarak belirlenmiştir (Poland Ministry of Energy, 2018).

2020 yılında da çok düşük bir bütçe ve az sayıda AR-GE personeli ile oldukça fazla patent başvurusu olan Slovakya en etkin ülke olmuştur Onu takip eden ülkeler ise İspanya ve İrlanda'dır.

2020 AR-GE etkinliklerine bakıldığında İsveç, İrlanda ve Türkiye'nin en etkin ülkeler olduğu görülmektedir (Tablo 21). İspanya'da ise büyük bir düşüş olmuştur. Bu

düşüşün en büyük nedeni AR-GE bütçesindeki 2 kattan fazla artış ve patent başvuru sayısında %20 civarında düşüş olmasıdır.

İrlanda yenilikçiliğe özel önem veren bir ülkedir, geçtiğimiz 40 yıl içerisinde Avrupa'daki en inovatif 10 ülke arasına girebilmiştir.2020 Horizon projeleri içerisinde İrlandalı KOBİ'leri en yenilikçi şirketler arasında yer almaktadır. (European Commission, 2023)

Türkiye ise gerek güneş gerekse rüzgâr alanında son yıllarda büyük yatırımlar yapmaya başlamıştır. Türkiye'de ilk FV fabrikası 2013'de kurulmuş olup 2020 itibariyle toplam 22 Panel fabrikası bulunmaktadır. Yaklaşık olarak yıllık üretim kapasitesi 5600 MW civarındadır (Stantec, 2020). Avrupa'daki toplam FV modül üretim kapasitesinin 2022 yılında 8100 MW olduğu düşünülürse, Türkiye'deki üretimin büyüklüğü daha iyi anlaşılabilir (Solar Power Europe, 2023).

Buna ilaveten, Türkiye YEKA adı verilen Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları İhaleleri ile yerli üretimi ve Ar-GE faaliyetlerini teşvik etmesi de AR-GE faaliyetlerini etkilemektedir. 2017 yılında yapılan YEKA-GES 1 ihalesi ile birlikte en az 5 konuda en az 10 yıl güneş enerjisi teknolojilerinde araştırma yapması amacıyla bir AR-GE merkezi de tesis edilmiştir (ETKB, 2023). Bu AR-GE merkezinde, 100'den fazla araştırmacı ve mühendisin çalıştığı, 42 proje yürütüldüğü ve 50 tane patent başvurusu yapılmaktadır (Yeni Asır, 2022).

Tablo 21. Güneş Enerjisi Sektörü AR-GE Etkinlikleri-2020

Ülkeler	SE Derecesi
Avusturya	0.11595
Belçika	0.13288
Çek Cumhuriyeti	0.45531
Danimarka	0.42884
Finlandiya	0.16968
Fransa	0.12508
Almanya	0.50158
İrlanda	1.33326
Hollanda	0.13291
Polonya	0.65408
İspanya	2.60492
İsveç	0.20657
Türkiye	1.31653
Ortalama	0.629045
Standart Sapma	0.699387

2019'dan 2020'ye ortalama etkinlikleri aynı kalmıştır ama ülkelerin dereceleri birbirine daha yakınlaşmıştır. Bunun etkisi büyük ülkelerdeki patent başvuru sayısının ciddi şekilde düşmesi olduğu düşünülmektedir. Örneğin Fransa'da patent başvuru sayısı 2019'da 129 iken, bir sonraki yıl sadece 31 olmuştur. Aynı şekilde, Almanya'da da 2019'da 348 olan sayı, 212'ye düşmüştür (IRENA, 2022).

2.9.3 Güneş Enerjisi Sektöründe İnovasyon Ekonomik Etkinlikleri

İkinci aşamaya geçildiğinde, patent başvurularının ihracat rakamlarına etkisine bakıldığında Hollanda'nın en yüksek inovasyon ekonomik etkinliğine sahip olduğu görülmektedir. Onu Belçika ve Türkiye takip etmektedir.

Hollanda güneş kurulu gücünde, Almanya ve İtalya'dan sonra 2021 yılı itibariyle üçüncü sıradadır. Panel ihracatında ise Almanya'dan sonra ikinci büyük ülkedir.

Hollanda ayrıca Avrupa Birliği'nin inovasyon (European Union, 2022) skor tablosunda lider ülkeler arasında yer almaktadır. Güneşle ilgili bu etkinlik derecesini ise endüstri, devlet ve araştırma kurumları arasındaki bilgi akışını sağlayan konsorsiyumlara ve güneş enerjisi konusuna özel olarak ayrılmış AR-GE fonlarına borçlu olduğu söylenebilir.

En son 2023 yılında ihaleye çıkan Ulusal Gelişim Fonundan 412 milyon Euro'luk bir bütçe döngüsel güneş panellerinin geliştirilmesine verilmiştir. İhaleyi kazanan SolarNL konsorsiyumu, 9 güneş firmasını (Solarge, MCFV, HyET Solar, Compoform, Exasun, Energyra, Lightyear Layer, IM Efficiency, Taylor, NWO Institute AMOLF), 6 üniversiteyi (Amsterdam, Delft, Eindhoven, Groningen, Twente, Utrecht), TNO'yu ve 4 uygulamalı bilimler üniversitesini (Amsterdam, Hanze University of Applied Sciences, Saxion, Zuyd) kritik minerallere daha az bağımlı olacak FV üretimi amacıyla bir araya getirmektedir (Taiyang News, 2023; Solar NL, 2023).

TNO ise zaten Hollanda'daki en büyük bağımsız araştırma, geliştirme ve danışmanlık kuruluşudur. 500 milyon Euro'luk bütçeye sahip olan kuruluş güneş enerjisi ile ilgili de hedefe sahiptir; 2030'a kadar güneş için her alanı kullanmak (TNO Innovation for Life, 2023).

Belçika FV sektörü için gittikçe bir merkez olmaktadır (Tablo.22). Avrupa Birliği'nin de merkezi olması nedeniyle birçok kuruluş burada merkezlerini kurmaktadır.

Avrupa Güneş Üreticileri Konseyi ve Avrupa Solar FV Endüstri Birliği de Belçika'da bulunmakta olup, Avrupa endüstriyel güneş değer zincirinin yenilik odaklı olarak büyümesine destek olmaktadır.

Aynı zamanda 970.000 çalışana sahip 3500 şirketin ülke temsilcilikleri vasıtasıyla üye olduğu Elektrik Endüstrisi Birliği'nin de merkezi Brüksel'dedir. Bu tip bir bilgi paylaşım platformları ve Belçika'nın büyüyen FV sektörü böyle bir etkinlik düzeyinde etkili olabilir (Pv-Magazine, 2023; The European Solar PV Industry Alliance, 2023).

Türkiye ise yukarıda da bahsedildiği gibi gerek üretim kapasitesinin büyüklüğü gerekse devletin açtığı ihalelerde AR-GE merkezi kurulumunu şart koşması ile güneş enerjisi sektöründe etkin ülkeler arasında yer almaktadır.

Tablo 22. Güneş Enerjisi Sektörü İnovasyon Ekonomik Etkinlikleri-2021

Ülkeler	SE Derecesi
Almanya	0.4262
Avusturya	0.48694
Belçika	0.06651
Çek Cumhuriyeti	0.13774
Danimarka	0.00843
Finlandiya	0.12292
Fransa	0.16886
Hollanda	2.05363
İspanya	0.02271
İsveç	0.029
Polonya	0.05611
Slovak Cumhuriyeti	0.06879
Türkiye	0.27069
Ortalama	0.301425
Standart Sapma	0.526572

2022 yılında etkinlik düzeylerine bakıldığında Hollanda'nın gene en yüksek inovasyon ekonomik etkinliğine sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 23. Güneş Enerjisi Sektörü İnovasyon Ekonomik Etkinlikleri-2022

Ülkeler	SE Derecesi
Avusturya	0.24416
Belçika	0.8314
Çek Cumhuriyeti	0.61874
Danimarka	0.06569
Finlandiya	0.00639
Fransa	0.19952
Almanya	0.10895
İrlanda	0.04243
Hollanda	1.20279
Slovak Cumhuriyeti	0.02251
İspanya	0.03023
Türkiye	0.1537
Ortalama	0.293876
Standart Sapma	0.368206

2019'dan 2020'ye ülkelerin güneş enerjisi inovasyonlarının genel etkinlik düzeyinde çok küçük bir gerileme olmuştur ama genel olarak ülkelerin etkinlik düzeyleri birbirlerine daha yaklaşmışlardır.

2.9.4 Rüzgar Enerjisi Sektöründe AR-GE Faaliyetlerinin Etkinlikleri

Rüzgar enerjisindeki AR-GE etkinlik sonuçları aşağıdaki Tablo. 24'te yer almaktadır.

Tablo 24. Rüzgar Enerjisi Sektörü AR-GE Etkinlikleri-2019

Ülkeler	SE Derecesi
Çek Cumhuriyeti	1.47917
Danimarka	0.29924
Fransa	0.3577
Almanya	0.3077
Hollanda	0.52331
Polonya	2.02759
İspanya	0.35462
İsveç	0.47045
Türkiye	1.96151
İngiltere	0.2427
Ortalama	0.802
Standart Sapma	0.686

2019 yılı için Avrupa ülkelerinde, AR-GE etkinliği en yüksek ülkeler sırasıyla Polonya, Türkiye ve Çek Cumhuriyeti'dir. Polonya 2019 yılında güneş enerjisi AR-GE etkinliğinde de etkin ülkeler arasında yer almasından hareketle yenilenebilir enerjiye yönelik programlarının ve devlet desteklerinin etkisinin güneşte olduğu gibi rüzgârda da etkili olduğu ileri sürülebilir.

Türkiye, güneş enerjisi projelerinde olduğu gibi, rüzgâr enerjisi projelerinde de YEKA sistemi altında, 2018 yılında yapılan ihalede inşa edilecek rüzgar enerjisi santrallerinin aksamında %65'lik yerlilik oranı aranmış, aksamların üretileceği fabrikada

%80’lik yerli istihdam ile bir AR-GE merkezi kurulmuş olup bu merkezin en az 10 yıl boyunca çalıştırılması şart koşulmuştur (ETKB, 2023).

YEKA-1 ihalesini kazanan Siemens Gamesa’nın 2019’da kurulan merkezinde 30 kişilik AR-GE ekibi, 2021 yılında 64 kişiye yükselmiştir (Yeşil Ekonomi, 2021).

2020 yılı için Avrupa ülkelerinin Ar-Ge etkinliği sonuçları aşağıdaki tabloda yer almaktadır. Bu konuda en verimli ülkeler bir önceki yıla benzer şekilde Polonya ve Türkiye’dir(Tablo 25).

2020 yılı itibariyle Türkiye rüzgâr türbini, kanadı ve kulesi üretmekte olan 12 fabrikaya sahip olup Avrupa’daki en büyük 5. Rüzgar ekipman sağlayıcısıdır (Trade Council of Denmark -Istanbul, 2021). Tüm bu fabrikaların etkisi ile AR-GE faaliyetleri sonucunda patent başvurularının da desteklemiş olduğu düşünülmektedir.

Tablo 25. Rüzgar Enerjisi Sektörü AR-GE Etkinlikleri-2020

Ülkeler	SE Derecesi
Avusturya	0.27781
Belçika	0.10002
Çek Cumhuriyeti	0.22222
Danimarka	0.07283
Finlandiya	0.52521
Fransa	0.17391
Almanya	0.12896
Hollanda	0.17544

Polonya	2.2465
İspanya	0.11957
Türkiye Cumhuriyeti	2.09972
Ortalama	0.404247
Standart Sapma	0.770807

Rüzgâr enerjisi AR-GE etkinlikleri ortalamaları 2019'dan 2020'ye yarı yarıya düşmüştür. Bunun ana nedeni patent başvurularının 2020'de özellikle büyük ülkelerde çok büyük oranlarda düşmesidir. Örneğin Almanya'da 300 olan 2019 rüzgâr enerjisi patent başvurusu, 2020'de 108'e inmiştir. İspanya 58'den 22'ye, Fransa ise 47'den 22'ye düşmüştür (IRENA, 2022).

2.9.5 Rüzgâr Enerjisi Sektöründe İnovasyon Ekonomik Etkinlikleri

Rüzgâr enerjisi alanında, inovasyon ekonomik etkinlikleri sonuçları 2021 yılı için aşağıdaki Tablo 25 ve 26'da verilmiştir. Buna göre en etkin ülke Danimarka, onu takip eden ülke ise Portekiz'dir.

Danimarka, rüzgâr enerjisinde öncü ülkelerdendir. 40 yıl önce ilk karasal türbinler, 25 yıl öncede ilk denizsel türbinlerin üretimini gerçekleştirmişlerdir.

Dünyanın en büyük türbin üretici firması olan Vestas'ın merkezi Danimarka'dadır. Ayrıca kanat üreticisi LM, gene türbin üreticisi olan Siemens Wind Power, Bladt Industries, A2SEA ve Titan Wind Energy gibi dünya çapında firmalara sahiptir (Danish Wind Industry Association, 2014).

Ayrıca Danimarka, endüstrisinde yer alan rüzgar şirketleri ile teknik eğitim ve araştırma enstitüleri arasında çeşitli ağlar oluşturmuştur.

Danimarka çok uzun süredir Avrupa Birliği'nin inovasyon skor tablosunda lider gruplar arasındadır, hatta 2023 itibari ile İsveç'in birinci sıradaki yerine geçmiştir (European Union, 2023).

Portekiz ise 2005 yılında düzenlediği 1200 MW'lık ihalede yerli üretim şartı koyduğu için birçok şirket türbin üretim fabrikası kurmak zorunda kalmıştır. Bu ihaleyi alanlardan biri de Alman rüzgâr türbin firması Enercon Portekiz de Pazar lideri olup, iki adet fabrikaya sahiptir (Global Wind Day, 2018).

Tablo 26. İnovasyon Ekonomik Etkinlikleri-2021

Ülkeler	SE Derecesi
Avusturya	0.00101
Bulgaristan	0.00075
Hırvatistan	0.00008
Çek Cumhuriyeti	0.00788
Danimarka	1.10217
Fransa	0.00144
Almanya	0.3697
Yunanistan	0.28617
Macaristan	0.00038
İtalya	0.0036

Hollanda	0.04184
Norveç	0.00009
Polonya	0.00712
Portekiz	0.9073
Slovakya	0.00295
İspanya	0.45563
İsveç	0.00617
İsviçre	0.00013
Türkiye	0.00666
İngiltere	0.05111
Ortalama	0.162609
Standart Sapma	0.31144

2022 yılı için sonuçlar ise aşağıda verilmektedir. Burada ise gene Danimarka'nın en yüksek skoru aldığı görülmektedir. Onu takip eden ülkeler ise Enercon, Siemens-Gamesa, Nordex gibi türbin üreticilerine ev sahipliği yapan Almanya ve İspanya'dır (Blackridge Research and Consulting, 2022).

Tablo 27. İnovasyon Ekonomik Etkinlikleri-2022

Ülkeler	SE Derecesi
Avusturya	0.00409
Belçika	0.07656
Çek Cumhuriyeti	0.01306
Danimarka	3.82112
Finlandiya	0.00133

Fransa	0.00201
Almanya	0.2617
Hollanda	0.07759
Polonya	0.00263
Slovakya	0.00151
İspanya	0.25357
Türkiye	0.00137
İngiltere	0.0277
Ortalama	0.349
Standart Sapma	1.006

2019’da rüzgâr enerjisi inovasyon etkinliği ortalamada oldukça düşüktür, 2020’de yükselmiş gözüktü de aslında bu 2019 yılında patent verisi bulunan birçok ülkenin ya hiç patent başvurusunda bulunmaması ya da verilerin olmaması nedeniyle hesaplamalara katılmamasından dolayı 2020 yılı etkinliklerinin az sayıda ülkeye bölünmesi nedeniyle daha yüksek olmuştur.

Ama burada asıl dikkat çekici husus, Almanya, İspanya gibi birçok büyük türbin üreticisi ülke için daha da düşmüş olmasıdır. Her iki ülkenin de ihracat miktarı yaklaşık yarı yarıya azalmıştır (IRENA, 2022; ITC, 2023).

Çalışmalarda kullanılan etkinlik sonuçlarından biri de verimli çıkma sayısıdır (Benitez ve diğerleri, 2021; Aytekin ve diğerleri, 2022). Görünme sayıları, DMU’ların bulundukları diğer birimler içerisinde etkin çıkma, etkin görünme sayıları şeklinde tanımlanabilir (Benitez ve diğerleri, 2021).

Bu tanıma göre, AR-GE ve inovasyon ekonomik etkinliği için etkin görünme sayıları ülkeler için Tablo 28’de özetlenebilir.

Tablo incelendiğinde, Polonya ve Türkiye’nin incelenen alanlarda üçer adet süper etkinlik skoru olduğu görülmektedir. Danimarka, Hollanda, Slovakya ve İspanya ise ikişer adet etkinliğe sahiptir. Çek Cumhuriyeti, İrlanda, Slovakya ve İsveç’in ise birer süper etkinlik skoru bulunmaktadır.

AR-GE faaliyetlerinin etkinliğindeki süper etkin ülkeler incelendiğinde, 2019 için 4 ülke, 2020 için ise 3 ülkenin süper etkin olduğu görülmektedir. Rüzgar enerjisinde ise toplamda 2019’da 3, 2020’de ise 2 ülke etkindir. 2019’dan 2020’e düşüş aslında, pandemi nedeniyle toplam patent başvuru sayısındaki düşüşün de bir yansımasıdır. Her iki kaynak için Polonya ve Türkiye’nin etkin olduğu göze çarpmaktadır.

Polonya patent sayısının çıktı olarak alındığı, daha çeşitli girdiler içeren başka bir çalışmada da Polonya, Lüksemburg ve Hollanda’dan sonra üçüncü etkin, ticari marka başvuruları konusunda ise Lüksemburg’dan sonra ikinci etkin ülke olarak ortaya çıkmıştır (Andrijauskiene ve diğerleri, 2023).

İnovasyon ekonomik etkinliğinde ise Hollanda güneş enerjisinde, Danimarka ise rüzgâr enerjisinden süper etkindir, en yakın rakipleri ise 1’in altında etkinlik skoruna sahiptir. Bu nedenle özellikle inovasyon ekonomik etkinliği konusunda Danimarka ve Hollanda’nın baskın bir pozisyonu olduğu düşünülmektedir.

Tablo 28. Avrupa Ülkelerinin Etkin Görünme Sayıları

	Güneş Enerjisi Ar-Ge Etkinliği		Rüzgar Enerjisi Ar-Ge Etkinliği		Güneş Enerjisi İnovasyon Ekonomik Etkinliği		Rüzgar Enerjisi İnovasyon Ekonomik Etkinliği	
Ülkeler	2019	2020	2019	2020	2021	2022	2021	2022
Avusturya	-	-	-	-	-	-	-	-
Belçika	-	-	-	-	-	-	-	-
Çek Cumhuriyeti	-	-	1	-	-	-	-	-
Danimarka	-	-	-	-	-	-	1	1
Hırvatistan	-	-	-	-	-	-	-	-
İrlanda	-	1	-	-	-	-	-	-
Finlandiya	-	-	-	-	-	-	-	-
Fransa	-	-	-	-	-	-	-	-
Almanya	-	-	-	-	-	-	-	-
Yunanistan	-	-	-	-	-	-	-	-
Macaristan	-	-	-	-	-	-	-	-
Hollanda	-	-	-	-	1	1	-	-
Norveç	-	-	-	-	-	-	-	-
Polonya	1	-	1	1	-	-	-	-
Slovakya	1	-	-	-	-	-	-	-
İspanya	1	1	-	-	-	-	-	-
İsveç	1	-	-	-	-	-	-	-
Türkiye	-	1	1	1	-	-	-	-
İngiltere	-	-	-	-	-	-	-	-

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Çalışmanın son bölümünde öncelikle, yapılmış olan çalışma ve özeti yer almaktadır. Devamında ise, Avrupa ülkelerinin rüzgar ve güneş enerjisi üretim etkinliklerinin farklılıkları ve bu farklılık nedeniyle hangi enerji kaynağına öncelik vermeleri gerektiği ile ilgili öneriler bulunmaktadır. Çalışmanın ikinci modeli olan AR-GE faaliyetleri etkinliği ile inovasyon ekonomik etkinlikleri ise, süper etkin ülkelerin başarılarının arkasındaki olası nedenler irdelenerek, diğer ülkelere örnek olacak şekilde sunulmaktadır. Sonraki araştırmalar için de öneriler ile bölüm ve çalışma sonlandırılmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Çıktı Odaklı Süper Etkinlik Veri Zarflama Analizi ile, Avrupa ülkelerinin elektrik enerjisi üretim etkinlikleri ile AR-GE faaliyetlerinin etkinliklerini ve ekonomik sonuçlarını ölçmektedir.

Avrupa ülkelerinin öncelikle enerji üretim etkinlikleri, teknik girdileri temsilen kurulu güç, çalışanların sayısı ve yatırımları temsil edecek şekilde iş hacmi girdileri ile incelenmiştir.

Enerji üretim değerleri, çoğunlukla doğal kaynak üretim potansiyeline bağlı olduğu için Avrupa ülkeleri iki gruba ayrılarak inceleme yapılmıştır.

Güney ve Doğu Avrupa grubu güneş enerjisi üretimindeki en yüksek etkinliğe sahip iki ülke İspanya ve Slovenya'dır. İspanya'nın etkinliği güneş kaynakları açısından zengin olması ile açıklanabilir. Global Solar Atlas, (2022) ve Maguire, (2023).

İspanya'nın yıl boyu devam eden güneş ışınlamı ve GES kurulumuna uygun sahasının yüksekliği nedeniyle, Avrupa'daki en yüksek güneş potansiyeline sahip birinci ÷lke olduğunu belirtmektedirler.

Onu takip eden diğer ÷lkeler ise Portekiz ve T÷rkiye'dir. Slovenya'nın etkinliğinin ana sebebi ise insan kaynakları ve yatırımlardaki etkinliği olarak gör÷lmektedir. İş hacmi girdisinin önemli unsurlarından biri bakım ve işletme gideridir, bu giderler açısından Slovenya Avrupa'daki en düşük gidere sahip ÷lkelerden biridir. Slovenya'da 5.64-12.24 Euro/kW/yıl olan işletme ve bakım gideri Almanya'da 8.70-18.79, İspanya'da ise 6.79-14.74 Euro/kW/yıl civarındadır (Chatzipanagi, 2022).

Güneş enerjisi ile ilgili geliştirmeleri gereken yönlerle bakıldığında ise Bulgaristan, Hırvatistan, Portekiz, Romanya ve Yunanistan'ın en çok insan kaynakları etkinliğine, Fransa, İspanya ve İtalya'nın yatırım ve işletme maliyetlerine önem vermeleri gerekmektedir.

Rüzgârdan elektrik üretim etkinliğinde ise en yüksek verimliliğe sahip ÷lkeler Romanya, Portekiz ve İtalya'dır. ÷lkelerin genel olarak rüzgâr enerjisinden üretim etkinlikleri, Slovenya, İspanya, Bulgaristan ve Hırvatistan dışında güneşten elektrik üretim etkinliğine göre daha yüksektir. Bu nedenle sayılan ÷lkeler dışındakilerin mevcut kaynakları ile rüzgâr enerjisinden elektrik üretimlerinin daha etkin olduğu söylenebilir.

Rüzgâr enerjisi için geliştirmeye açık olan alanlar, Fransa, İspanya, Yunanistan ve Slovenya'da yatırım faktörleri, Bulgaristan, Hırvatistan ve Portekiz'de ise insan kaynakları faktörleridir.

Kuzey ve Orta Avrupa ülkeleri, güneş ışıını açısından daha fakir ve rüzgar hızı ve yoğunluğu açısından daha zenginlerdir (Global Wind Atlas, 2023; Global Solar Atlas, 2022).

Öncelikle güneş enerjisinden üretim etkinliğine bakıldığında, şaşırtıcı olmayan bir sonuç ortaya çıkmaktadır, ışıını en çok olan Kuzey ve Orta Avrupa ülkelerinden ikisi; Slovakya ve Macaristan en yüksek etkinliğe sahiptirler.

Geliştirme oranları irdelendiğinde, Litvanya ve Macaristan hariç tüm ülkelerin büyük oranda yatırım ve işletme maliyetleri ile ilgili hedeflerden uzak oldukları görülmektedir. Litvanya ve Macaristan ise insan kaynaklarına dikkat etmelidirler.

Rüzgar enerjisi üretimlerinde etkinliği en yüksek ülkeler, İrlanda, Finlandiya ve Belçika'dır. Rüzgar enerjisi üretim etkinliği geliştirme oranları incelendiğinde, Almanya, Polonya, Hollanda, Finlandiya, Macaristan, Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Litvanya, Letonya, Slovakya ve Estonya olmak üzere ülkelerin çoğu için asıl geliştirilmesi gereken insan kaynakları etkinliğidir. Öte yandan İsveç ve Danimarka ise yatırım yönüne eğilmelidirler.

İkinci ampirik çalışma ise iki aşamalı olarak önce Ar-Ge etkinlikleri sonrasında ise inovasyon ekonomik etkinlikleri için yapılmıştır. İlk aşamanın girdileri, Ar-Ge bütçesi ve Ar-Ge personeli olarak alınmıştır. Birinci basamağın çıktısı olan patent başvuruları, ikinci basamağın girdisidir.

Ülkeler ortalamada güneş enerjisine daha çok bütçe ayırmaktadırlar ama ortalama çalışan sayısı rüzgâr enerjisi sektörüne göre azdır. Ortalama patent başvuruları ise güneş sektöründe daha yüksektir. İncelenen dönem Covid-19 gibi birçok sektörün faaliyetlerine ara verdiği 2020 yılını da içermektedir. Bunun da etkisiyle 2020 yılında patent başvuruları, 2019 rakamlarına göre yarı yarıya düşmüştür. Bu nedenle genel olarak her iki sektör için de 2020 yılı için düşük seviyelerde bir AR-GE etkinliği söz konusudur.

AR-GE faaliyetleri sonuçlarına baktığımızda, 2019 yılında güneş enerjisi sektöründe İspanya, Slovakya, İsveç ve Polonya'nın etkin olduğu görülmektedir. 2020 yılında ise gene İspanya liderken onu İrlanda ve Türkiye takip etmektedir.

İsveç ve İrlanda Avrupa İnovasyon Skor Tablosunda zaten yüksek skorlu ülkelerdir (European Union, 2022). İrlanda 2017 yılından itibaren güneş değer zincirini geliştirmek üzere planlı bir şekilde projeler geliştirmektedir (Sustainable Energy Authority of Ireland, 2017).

Patent başvurularının ekonomik etki yaratması konusunda ise Hollanda incelenen her iki yılda açık ara öndedir. Hollanda Avrupa'da en büyük 3. Güneş kurulu gücüne sahiptir, panel ihracatında ise Almanya'dan sonra ikinci sıradadır. Hollanda yenilikçiliğinin Avrupa Birliği'nin güneş sektörünün gelişimine liderlik ettiği ile ilgili analizde Hollanda'daki arazinin sınırlı olmasının yüzen FV sistemleri dahil, FV'in nasıl daha çok ve verimli kullanılabileceği ile ilgili araştırmaları tetiklediği belirtilmektedir (Reuters, 2023).

Hollanda endüstriyel gücünün yanı sıra ise Avrupa Birliği İnovasyon Skor Tablosunda lider ülkeler arasındadır. Hollanda'nın bu etkinliği endüstri, devlet ve araştırma kurumları arasındaki bilgi akışını sağlayan konsorsiyumlara ve güneş enerjisi konusuna özel olarak ayrılmış AR-GE fonlarına borçlu olduğu söylenebilir.

Rüzgâr enerjisinde AR-GE etkinlikleri açısından yapılan çalışmada en etkin ülkeler olarak Polonya ve Türkiye öne çıkmaktadır.

Türkiye ise son 10 yılda YEKA ihaleleri sonucunda kurulan fabrikaları ve bünyesinde bulunan AR-GE faaliyetlerine ilaveten, birçok yabancı firmanın da üretim yaptığı bir ülkedir.

Rüzgâr enerjisi sektöründe ülkelerin inovasyon ekonomik performansına bakıldığında Danimarka incelenen her iki yılda açık ara liderdir. 2019'da Portekiz oldukça yüksek bir skora sahiptir.

Danimarka ve Hollanda'nın bu yüksek inovasyon ekonomik etkinliğine sahip olmalarının ana nedeni endüstri ile araştırma kuruluşları arasında kurdukları bağlar, konsorsiyumlardır. Ayrıca devletin bu tip konsorsiyumlar altında inovasyonu desteklemesi de bilgi paylaşımını arttırmaktadır.

Gelecekteki yapılacak ihracat ve ithalat değerlendirilmesi çalışmalarında, özellikle rüzgâr enerjisinden parça sayısının çokluğundan dolayı tek bir ürün bazında değil, birkaç ana ekipman bazında yapılması daha iyi olacaktır.

Mevcut hesaplamalarda kullanılan ihracat verileri, Eurostat'ı ile tutarlı olmak amacıyla rüzgâr için HS 850231 ve güneş için ise HS 854140 kodları temelinde alınmıştır. Bu güneş enerjisi için ışığa duyarlı yarı iletken tertibat, ışıık yayan diyotlar olarak kabul edilen FV panellerdir. Aslında özellikle rüzgâr türbini kule, kanatlar, kontrol sistemler gibi birçok parçadan oluşmaktadır. Kuik ve diğerleri, (2019) çalışmalarında rüzgar türbini için 29 HS kodu, güneş için ise 16 HS kodu belirlemişler, rüzgarda bunlardan 4 tanesine, güneşte ise 2 tanesine odaklanarak çalışmalarını tamamlamışlardır. Bu nedenle daha çok ürün eklenerek inceleme yapılması sonuçların güvenilirliğini arttırıcı etkide bulunabilir.

Rüzgar ve güneş enerjisi sektörünün gelişmesinin önündeki engellerden biri de bürokratik işlerin uzunluğu ve yoğunluğudur. European Environmental Bureau, (2022), bir yenilenebilir enerji projesi için 30 kadar izin gerekebildiğini belirttikten sonra, İtalya'da 150 GW'lık başvurunun değerlendirme beklediğine dikkat çekmektedir. Avrupa Birliği de bu konunun farkında olup, ülke yönetimlerine yönelik Kalite Endeksi yayımlamaktadır (European Commission, 2023). İlerideki çalışmalarda bu endeksde ülkelerin rüzgar ve güneş enerjisi sektörleri için bir girdi olarak kullanılabilir.

Sonuç olarak bu çalışma, Avrupa ülkelerinin enerji politikalarında enerji üretimi etkinliği söz konusu olduğunda, zayıf ve güçlü yönleri ile ilgili bir fikir verebilecek ve sınırlı olan mali ve beşerî kaynaklarını daha çok verim alacakları alana yönlendirebileceklerdir.

Slovenya, İspanya, Hırvatistan ve Bulgaristan mevcut kaynaklarını güneş enerjisinden elektrik üretiminde daha verimli kullanmaktadırlar bu nedenle güneşe

öncelik verilmelidir. Kuzey Avrupa ülkelerinde ise güneş enerjisi yatırım ve işletme maliyetlerine dikkat edilmelidir.

Dış ticaret dengesi incelenen dönem boyunca ciddi şekilde negatife dönmüş olup, yerli üretimi teşvik edecek sistemler devreye alınabilir. Rüzgâr enerjisinde ise, yüksek AR-GE etkinliğine sahip Türkiye'deki gibi bir sistemle yeni projelere AR-GE merkezleri kurmaları şartıyla izinler verilebilir.

İnovasyon ekonomik etkinliğine bakıldığında ise Hollanda'nın üreticiler arasında bilgi akışını sağlayıcı platformlar kurması, güçlü bir iç piyasa ile yatırımcıları çekmesi başarılı araçlar olarak ortaya çıkmaktadır.

Tüm bunların ışığında aslında bu çalışmanın, Polonya, Türkiye gibi pazarda yeni yeni büyümekte olan sektörlerle sahip daha küçük bütçeler ve daha az beşerî kaynaklar ile daha çok patent başvurusu yapmayı başaran ülkelerin de AR-GE ve inovasyon konusunda etkin olabileceklerini gösteren önemli bir çalışma olduğu söylenebilir.

EKLER

EK. 1

Tablo 29. Güneş Enerjisi Kurulu Güç, Çalışan Sayısı, İş Hacmi ve Enerji Üretimi İstatistikleri

GÜNEY VE DOĞU AVRUPA	Kurulu Güç (MW)	Çalışan Sayısı	İş Hacmi (m Euro)	Enerji Üretimi (GWh/Yıl)
Ortalama	6,701	9,099	1,045	8,217
Standart Sapma	7,736	9,301	1,237	9,341
Toplam	60308	81890	9409	73953
KUZEY VE ORTA AVRUPA	Kurulu Güç (MW)	Çalışan Sayısı	İş Hacmi (m Euro)	Enerji Üretimi (GWh/Yıl)
Ortalama	6,718	9,327	1,205	5,582
Standart Sapma	14,581	15,555	2,129	12,051
Toplam	100,767	139,900	18,069	83,731

Kaynak: (Euroobserver, 2023) kaynağından hesaplanmıştır.

EK.2**Tablo 30.** Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç, Çalışan Sayısı, İş Hacmi ve Enerji Üretimi İstatistikleri

GÜNEY VE DOĞU AVRUPA	Kurulu Güç (MW)	Çalışan Sayısı	İş Hacmi (m Euro)	Enerji Üretimi (GWh/Yıl)
Ortalama	8076.222	6976.667	935.4444	17066.22
Standart Sapma	9014.01	7032.095	1109.548	19318.48
Toplam	72686	62790	8419	153596
KUZEY VE ORTA AVRUPA	Kurulu Güç (MW)	Çalışan Sayısı	İş Hacmi (m Euro)	Enerji Üretimi (GWh/Yıl)
Ortalama	7692.4	9892.667	1707.267	15514.13
Standart Sapma	15402.02	17808.32	3157.082	27666.87
Toplam	115386	148390	25609	232712

Kaynak: (Euroobserver, 2023) kaynağından hesaplanmıştır.

EK.3**Tablo 31.** Güneş Enerjisi Sektöründe Personel Sayılarının Hesaplanması- 2017-2018

Ülkeler	2017			2018		
	Toplam Çalışan	Her 1000 çalışan başına AR-GE Personeli	Toplam AR-GE personeli	Toplam Çalışan	1000 çalışan başına AR-GE Personeli	Toplam AR-GE personeli
Avusturya	1600	17.22	28	1900	17.87	33.953
Belçika	3000	17.41	52	1700	18.39	31.263
Çek Cumhuriyeti	1300	13.04	17	1900	13.84	26.296
Danimarka	1100	20.62	23	1600	20.17	32.272
Estonya	100	9.43	1	500	9.52	4.76
Finlandiya	700	19.13	13	1200	19.04	22.848
Fransa	9300	15.86	147	15000	16.1	241.5
Almanya	29300	15.51	454	41900	15.77	660.763
Yunanistan	1300	10.7	14	1800	11.37	20.466
Macaristan	1300	8.87	12	4500	11.71	52.695
İrlanda	90	15.76	1	200	14.19	2.838
İtalya	11200	12.64	142	11400	13.62	155.268
Litvanya	100	8.5	1	100		
Lüksemburg	100	12.81	1	100		
Hollanda	6000	16.42	99	14300	16.7	238.81
Polonya	1100	8.83	10	3100	9.88	30.628
Portekiz	1500	11.45	17	1600	11.83	18.928
Romanya	900		0	1100		
Slovak Cumhuriyeti	200	8.01	2	200	8.38	1.676
Slovenya	100	14.87	1	100	15.36	1.536
İspanya	5500	11.13	61	2200	11.39	25.058

İsveç	500	17.73	9	1100	18.05	19.855
İsviçre			0			
Türkiye	12700	5.5	70	8660	6.04	52.3064
İngiltere	12900	13.87	179		-	
Ortalama	4,245.42	13.27	54.14	5,050.43	13.96	83.69
Standart Sapma	6,629.30	3.91	96.05	8,994.65	4.74	149.78
Toplam	100,290.00	288.09	1,326.05	114,260.00	261.35	1,639.77
Kaynak: (OECD, 2023), (Euroobserver, 2019) kaynaklarından hesaplanmıştır.						



EK.4**Tablo 32.** Rüzgar Enerjisi Sektöründe Personel Sayılarının Hesaplanması 2017-2018

	2017			2018		
Ülkeler	Toplam Çalışan	Her 1000 çalışan başına AR-GE Personeli	Toplam AR-GE personeli	Toplam Çalışan	Her 1000 çalışan başına AR-GE Personeli	Toplam AR-GE personeli
Almanya	140,800	16	2,184	106,200	16	1,675
Avusturya	2,000	17	34	2,500	18	45
Belçika	5,500	17	96	7,400	18	136
Çek Cumhuriyeti	900	13	12	1,300	14	18
Danimarka	34,200	21	705	35,400	20	714
Estonya	1,200	9	11	400	10	4
Finlandiya	4,100	19	78	700	19	13
Fransa	18,500	16	293	15,700	16	253
Hollanda	5,800	16	95	6,800	17	114
İngiltere	69,900	14	970	82,800	-	
İrlanda	6,500	16	102	4,500	14	64
İspanya	37,200	11	414	32,300	11	368
İsveç	2,700	18	48	4,600	18	83
İtalya	7,500	13	95	8,100	14	110
Letonya	90	6	1	200	6	1
Litvanya	500	9	4	500	9	4
Macaristan	800	9	7	900	12	11
Polonya	8,000	9	71	3,000	10	30
Portekiz	3,100	11	35	2,600	12	31
Slovak Cumhuriyeti	90	8	1	90	8	1
Slovenya	90	15	1	90	15	1
Türkiye	53,000	6	292	14,200	6	86
Yunanistan	3,100	11	33	5,100	11	58
Toplam	405,570	299	5,583	335,380	294	3,819
Ortalama	17,633	13	243	14,582	13	174
Standart Sapma	31992.3	4.2	477.7	26578.7	4.82	364.4

Kaynak: (OECD, 2023), (Euroobserver, 2019) kaynaklarından hesaplanmıştır

Kaynakça

- Altomonte, C., Gamba, S., Mancusi, M. L., & Vezzulli, A. (2016). R&D investments, financing constraints, exporting and productivity. *Economics of Innovation And New Technology*, s. 283-303.
- Altomonte, C., Gamba, S., Mancusi, M. L., & Vezzulli, A. (2016). R&D investments, financing constraints, exporting and productivity. In *ECONOMICS OF INNOVATION AND NEW TECHNOLOGY* (pp. 283-303). Routledge.
- Andersen, P., & Petersen, N. C. (1993, 10). A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, s. 1261-1264.
- Andrijauskiene, M., Ioannidis, D., Dumciuviene, D., & Dimara, A. (2023, 06 09). European Union Innovation Efficiency Assessment Based on. *Economies*.
- Avrupa Komisyonu. (2021). *EU's Global Leadership in Renewables*. Brüksel: Avrupa Komisyonu.
- Avrupa Komisyonu. (2023, Kasım 10). *Yenilenebilir enerji hedefleri*. Avrupa Komisyonu: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en#:~:text=The%20revised%20Renewable%20Energy%20Directive,renewable%20energy%20in%20the%20EU. adresinden alındı
- Ayllon, S., & Radicic, D. (2019, July 15). Product innovation, process innovation and export propensity: persistence, complementarities and feedback effects in Spanish firms. *Applied Economics*, pp. 3650-3664.
- Aytekin, A., Ecer, F., Korucuk, S., & Karmaşa, Ç. (2022). (2022). Global Innovation Efficiency assessment of EU member and candidate countries via DEA-ETAWIOS multi-criteria methodology. *Technology in Society*.

- Aytekin, A., Ecer, F., Korucuk, S., & Karmaşa, Ç. (2022, January 18). Global Innovation Efficiency assessment of EU member and candidate countries via DEA-ETAWIOS multi-criteria methodology. *Technology in Society*.
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984, 09). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, s. 1078-1092.
- Benitez, R., Bolos, V., & Coll, V. (2023, 05 29). *deaR: Data Envelopment Analysis in R*. *deaR: Data Envelopment Analysis in R*: <https://rbensua.shinyapps.io/deaR/> adresinden alındı
- Benitez., R., Coll-Serrano, C., & Bolos, V. (2021). dear-Shiny: An Interactive Web App for Data Envelopment Analysis. *Sustainability*.
- Bilbao-Osorio, B., & Rodriguez-Pose, A. (2004). From R&D to Innovation and Economic Growth in the EU. *Growth and Change*, pp. 434-455.
- Blackridge Research and Consulting. (2022, 06 07). *Global Top 15 Wind Turbine Manufacturers-2022*. Blackridge Research and Consulting: <https://www.blackridgeresearch.com/blog/top-wind-turbine-manufacturers-makers-companies-suppliers> adresinden alındı
- Bremen, L. V. (2010). Large-Scale Variability of Weather Dependent Renewable Energy Sources. *roccoli, A. (eds) Management of Weather and Climate Risk in the Energy Industry. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security* (s. 189-206). Dordrecht: Springer.
- Bresciani, S., Puertas, R., Ferraris, A., & Santoro, G. (2021, July 31). Innovation, environmental sustainability and economic development:. *Technological Forecasting & Social Change*.
- Caldas, P., Ferreira, D. C., Dollery, B., & Marques, R. C. (2019, February). Are there scale economies in urban waste and wastewater municipal services? A non-radial input-

- oriented model applied to the Portuguese local government. *Journal of Cleaner Production*.
- Campos-Guzmán, V., García-Cáscales, M. S., N. E., & Urbina, A. (2019, April). Life Cycle Analysis with Multi-Criteria Decision Making: A review of approaches for the sustainability evaluation of renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 343-366.
- Cassiman, B., & Golovko, E. (2011, January). Innovation and internationalization through exports. *Journal of International Business Studies*, pp. 56-75.
- Center for Sustainable Systems University of Michigan. (2023). *Wind Energy Factsheet*. Factsheets: <https://css.umich.edu/publications/factsheets/energy/wind-energy-factsheet>
- adresinden alındı
- Chambers, R. G., Chung, Y., & Fare, R. (1996, August). Benefits and disance functions. *Journal of Economic Theory*, s. 407-419.
- Chang, K., Wan, Q., Lou, Q., Chen, Y., & Weihong Wang. (2020). Green fiscal policy and firms' investment efficiency: New insights into firm-level panel data from the renewable energy industry in China. *Renewable Energy*, s. 589-597.
- Charnes, A., Cooper, W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 429-444.
- Chatzipanagi, A. J.-W. (2022). , *Clean Energy Technology Observatory: Photovoltaics in the European Union – 2022 Status Report on*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Chen, C.-J., Hsueh-Liang-Wu, & Lin, B.-W. (2006, May 452-465). Evaluating the development of high-tech industries: Taiwan's science park. *Technological Forecasting and Social Change*.

- Chen, C.-P., Hu, J.-L., & Yang, C.-H. (2014, December 17). An international comparison of R&D efficiency of multiple innovative outputs: The role of the national innovation system. *INNOVATION: MANAGEMENT, POLICY & PRACTICE*, pp. 341-360.
- Clean Coalition. (2023, 11 5). *Lessons from Germany*. Clean Coalition: <https://clean-coalition.org/feed-in-tariffs/lessons-from-germany/> adresinden alındı
- Cook, W. D., & Green, R. H. (2005, 04). Evaluating power plant efficiency: a hierarchical model. *Computers and Operations Research*, s. 813-823.
- Cook, W. D., & Kaoru Tone, J. Z. (2014). Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. *Omega*, pp. 1-4.
- Cooper, W. W., Park, K. S., & Pastor, J. T. (1999). RAM: A Range Adjusted Measure of Inefficiency for Use with Additive Models, and Relations to Other Models and Measures in DEA. *Journal of Productivity Analysis*, s. 5-42.
- Cooper, W., & Rhodes, E. (1985, October). Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. *Journal of Econometrics*, s. 91-107.
- Copper Development Association Inc. (2023, 05 10). *Renewables*. Copper Development Association Inc: <https://www.copper.org/environment/sustainable-energy/renewables/#:~:text=Solar%20PV%20by%20the%20Numbers,electricity%20in%20photovoltaic%20solar%20cells> adresinden alındı
- Cullinane, K., Song, D.-W., & Wang, T. (2005). The Application of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency. *Journal of Productivity Analysis*, s. 73-92.
- Czech Power Industry Alliance. (2023, 06 14). *Czech Power Industry Alliance*. Regular Members: <https://www.cpia.cz/en/members/> adresinden alındı

- Czech Trade. (2022). *Renewable Energy Sources Catalogue*. Czech Trade:
https://www.czechtrade.cz/getmedia/a260649f-e00b-43e3-9aa8-27a5139aea15/Catalog_Renewable-Energy-Sources.pdf adresinden alındı
- D'Angelo, A. (2012). Innovation and export performance: a study of Italian high-tech SMEs. *Journal of Management and Governance*, s. 393-423.
- Danish Wind Industry Association. (2014). *Denmark Wind Energy Hub*. Frederiksberg : Danish Wind Industry Association.
- Dong, G., Kokko, A., & Zhou, H. (2022, December). Innovation and export performance of emerging market enterprises: The roles of state and foreign ownership in China. *International Business Review*.
- EEA. (2023, 10 25). *Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe*. EEA: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1> adresinden alındı
- Eicke, A., Eicke, L., Hafner, M., & Luciani, G. (2022). Wind Power Generation. M. Hafner içinde, *The Palgrave Handbook of International Energy Economics* (s. 171-182). Cham: Springer International Publishing.
- Elangovan, N., Rosmanirabinti, I. W., & Zainol, M. b. (2022). A data-envelopment analysis-based systematic review of the literature on innovation performance. *Heliyon*.
- Elia, A., Taylor, M., Gallachóir, B. Ó., & F. Rogan. (2020). Wind turbine cost reduction: A detailed bottom-up analysis of innovation drivers. *Energy Policy*.
- ETKB. (2023, 06 15). *Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) Modeli ve Uygulamaları*. ETKB: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-yeka-modeli> adresinden alındı
- Eur-Lex. (1997, 01 30). *Directive 96/92/EC of the European Parliament and of the Council of 19 December 1996 concerning common rules for the internal market in electricity*. Eur-

Lex: [https://eur-](https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX%3A31996L0092%3AEN%3AH)

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX%3A31996L0092%3AEN%3AH](https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX%3A31996L0092%3AEN%3AH)

TML adresinden alındı

Eur-Lex. (2001, 10 27). *Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market*. Eur-Lex: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2001.283.01.0033.01.ENG&toc=OJ%3AL%3A2001%3A283%3ATOC adresinden alındı

Eur-Lex. (2003, 07 15). *Directive 2003/54/EC of the European Parliament and of the Council of 26 June 2003 concerning common rules for the internal market in electricity and repealing Directive 96/92/EC - Statements made with regard to decommissioning and waste management activi*. Eur-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32003L0054> adresinden alındı

Eur-Lex. (2003, 05 17). *Eur-Lex. Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport*: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2003.123.01.0042.01.ENG&toc=OJ%3AL%3A2003%3A123%3ATOC adresinden alındı

Euroobserver. (2019). *The State of Renewable Energies in Europe 2019*. Paris: Euroobserver.

Euroobserver. (2023). *The State of Renewable Energies in Europe Edition 2022*. Paris: Observer.

Euroobserver. (2023). *The State of Renewable Energies in Europe Edition 2022*. Paris: Observer.

European Union. (2022). *European innovation scoreboard*. 06 01, 2023 tarihinde https://research-and-innovation.ec.europa.eu/statistics/performance-indicators/european-innovation-scoreboard_en adresinden alındı

European Commission. (2010, 10 6). *Turning Europe into a true Innovation Union*. 6 1, 2023

tarihinde https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_10_473

adresinden alındı

European Commission. (2023, 06 30). *EU research and innovation in Ireland*. European

Commission: <https://ireland.representation.ec.europa.eu/strategy-and-priorities/key-eu-policies-ireland/eu-research-and-innovation->

[ireland_en#:~:text=About%20two%2Dthirds%20of%20Europe's,Europe's%20top%20ten%20innovation%20nations.](https://ireland.representation.ec.europa.eu/strategy-and-priorities/key-eu-policies-ireland/eu-research-and-innovation-ireland_en#:~:text=About%20two%2Dthirds%20of%20Europe's,Europe's%20top%20ten%20innovation%20nations.) adresinden alındı

European Commission. (2023, 11 15). *European Quality of Government Index 2021*. European

Commission: https://ec.europa.eu/regional_policy/information-sources/maps/quality-of-government_en adresinden alındı

European Commission. (2023, 10 07). *Innovation Union*. European Commission:

https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/past-research-and-innovation-policy-goals/innovation-union_en adresinden alındı

European Commission. (2023, January 06). *Past Research and Innovation Policy Goals*.

European Commission: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/past-research-and-innovation-policy-goals_en adresinden alındı

European Commission. (2023). *Research and innovation strategy 2020-2024*. 06 01, 2023

tarihinde https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-2020-2024_en adresinden alındı

European Environment Agency. (2023, October 24). *EU's greenhouse gas emissions dropped*

last year, but accelerated efforts still needed to meet ambitious 2030 targets. European Environment Agency: <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/eus-greenhouse-gas-emissions-dropped-last-year> adresinden alındı

European Environmental Bureau. (2022, 05 17). *Top 10 Problems for Renewable Energy in Europe*. European Environmental Bureau: <https://eeb.org/library/the-top-ten-problems-for-renewable-energy-in-europe-are-not-linked-with-nature-protection/> adresinden alındı

European Patent Office. (2021, March 16). *Healthcare innovation main driver of European patent applications in 2020*. Retrieved from European Patent Office: <https://www.epo.org/news-events/news/2021/20210316.html>

European Patent Office. (2021, 03 18). *Number of European patent applications from Poland increased by over 4% in 2020*. Science in Poland: <https://scienceinpoland.pl/en/news/news%2C86961%2Cnumber-european-patent-applications-poland-increased-over-4-2020.html> adresinden alındı

European Union. (2021). *EU's Global Leadership in Renewables*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

European Union. (2022). *European Innovation Scoreboard 2022*. 06 13, 2023 tarihinde https://ec.europa.eu/assets/rtd/eis/2022/ec_rtd_eis-country-profile-de.pdf adresinden alındı

European Union. (2023). *European Innovation Scoreboard 2023*. 06 13, 2023 tarihinde https://research-and-innovation.ec.europa.eu/statistics/performance-indicators/european-innovation-scoreboard_en adresinden alındı

Eurostat. (2023, 10 20). *International trade in products related to green energy*. 11 13, 2023 tarihinde https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International_trade_in_products_related_to_green_energy#Overall_the_EU_imports_more_green_energy_products_than_it_exports adresinden alındı

- Eurostat. (2023, 10 5). *Share of energy from renewable sources in gross electricity consumption, 2004-2021*. Eurostat: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/d/dc/Share_of_energy_from_renewable_sources_in_gross_electricity_consumption%2C_2004-2021_%28%25%29v4.png adresinden alındı
- Fare, R., & Lovell, C. K. (1978, October). Measuring the technical efficiency of production. *Journal of Economic Theory*, s. 150-162.
- Fare, R., & Whittaker, G. (1995). An intermediate input model of dairy production using complex survey data. *Journal of Agricultural Economics*, s. 201-213.
- Fare, R., Grosskopf, S., & Lovell, C. (1985). *The Measurement of Efficiency of Production*. Springer Netherlands.
- Fare, R., Grosskopf, S., & Norris, M. (1997). Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries: Reply. *American Economic Review*, s. 1040-43.
- Farrell, M. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)* , 253-281.
- Fernandez, L. (2023, 11 3). *Average capacity factor for utility-scale solar PV systems worldwide from 2010 to 2022*. Statista: <https://www.statista.com/statistics/799330/global-solar-pv-installation-cost-per-kilowatt/> adresinden alındı
- Førsund, F. R., & Sarafoglou, N. (2002, 01). On the Origins of Data Envelopment Analysis. *Journal of Productivity Analysis*, s. 23-40.
- Fr, W. R. (tarih yok).
- Fukuyama, H., & Weber, W. L. (2009, 12). A directional slacks-based measure of technical inefficiency. *Socio-Economic Planning Sciences*, s. 274-287.

- Global Solar Atlas. (2011, 11 02). *Global Solar Atlas*. Global Solar Atlas:
<https://globalsolaratlas.info/map?c=44.48083,13.535156,5> adresinden alındı
- Global Solar Atlas. (2022, 04 18). *Global Solar Atlas*. Global Solar Atlas:
<https://globalsolaratlas.info/map> adresinden alındı
- Global Wind Atlas. (2023, 11 02). *Global Wind Atlas*. Global Wind Atlas:
<https://globalwindatlas.info/en> adresinden alındı
- Global Wind Day. (2018, 03 07). *Viana do Castelo, Portugal Manufacturing Site*. Global Wind Day: <https://globalwindday.org/success-stories/viana-castelo-portugal-manufacturing-site/> adresinden alındı
- Gov.UK. (2023, 08 3). *Energy security boost with multi-million backing for renewables*. Gov.UK: <https://www.gov.uk/government/news/energy-security-boost-with-multi-million-backing-for-renewables#:~:text=In%20the%20first%20quarter%20of,and%20net%20zero%20by%202050.> adresinden alındı
- Gökgöz, F., & Erkul, E. (2019). Investigating the energy efficiencies of European countries. *Energy Efficiency*, pp. 601-618.
- Gökgöz, F., & Erkul, E. (2019, 03). Investigating the energy efficiencies of European countries with super efficiency model and super SBM approaches. *Energy Efficiency*.
- Gökgöz, F., & Güvercin, M. T. (2018, August 8). Energy security and renewable energy efficiency in EU. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, s. 226-239.
- Gökgöz, F., & Yalçın, E. (2022). An environmental, energy, and economic efficiency analysis for the energy market in European Union. *Environmental Progress & Sustainable Energy*.

- Griliches, Z. (1998). Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey. In Z. Griliches, *R&D and Productivity: The Econometric Evidence* (pp. 287-343). University of Chicago Press.
- Guan, J., & Chen, K. (2010). Measuring the innovation production process: A cross-region empirical study of China's high-tech innovations. *Technovation*, pp. 348-358.
- Guan, J., & Chen, K. (2010). Modeling macro-R&D production frontier performance: an application to Chinese province-level R&D. *Scientometrics*, pp. 165-173.
- Guan, J., & Chen, K. (2012, February). Modeling the relative efficiency of national innovation systems. *Research Policy*, pp. 102-115.
- Guo, P., & Tanaka, H. (1998, 12). Fuzzy DEA: a perceptual evaluation method. *Fuzzy Sets and Systems*, s. 149-160.
- Hashimotoa, A., & Hanedab, S. (2008, December). Measuring the change in R&D efficiency of the Japanese. *Research Policy*, pp. 1829-1836.
- Hollanders, H., & Celikel-Esser, F. (2007). *Measuring Innovation Efficiency*. European Commission.
- Hou, G. a., Jiang, H. a., Pan, Z. a., Wang, Z. a., & Yibo and Zhang, X. a. (2016, February 15). Life cycle assessment of grid-connected photovoltaic power generation from crystalline silicon solar modules in China. *Applied Energy*, pp. 882-890.
- Hye-Seon Moon, J.-D. L. (2005). A fuzzy set theory approach to national composite S&T indices. *Scientometrics*, s. 67-83.
- Idsø, J. (2021, May 8). Growth and Economic Performance of the Norwegian Wind Power Industry and Some Aspects of the Nordic Electricity Market. *Energies*.
- IEA. (2023, 03 20). *CO2 Emissions in 2022*. IEA: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022> adresinden alındı

- Jha, A. P., & Singh, S. K. (2019). Performance evaluation of Indian states in the renewable energy sector for making investment decisions: A managerial perspective. *Journal of Cleaner Production*.
- Joint Research Center. (2021, 02). *Patent-Based Indicators: Main Concepts and Data Availability*. Joint Research Center: https://setis.ec.europa.eu/system/files/2021-02/patent_based_indicators.pdf adresinden alındı
- Kim, K.-T., Lee, D. J., Park, S.-J., Zhang, Y., & Sultanov, A. (2015). Measuring the efficiency of the investment for renewable energy in Korea using data envelopment analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, s. 694-702.
- Kuik, O., Branger, F., & Quirion, P. (2019, 02). Competitive advantage in the renewable energy industry: Evidence from a gravity model. *Renewable Energy*, s. 472-481.
- Kumbhar, C. (2023, 03 21). *How Is Solar Panel Efficiency Measured?* Technical Articles: <https://eepower.com/technical-articles/how-is-solar-panel-efficiency-measured/#> adresinden alındı
- Lan, X., L, Z., & Wang, Z. (2022, October). An investigation of the innovation efficacy of Chinese photovoltaic enterprises employing three-stage data envelopment analysis (DEA). *Energy Reports*, pp. 456-465.
- Lan, X., Li, Z., & Wang, Z. (2022, October). An investigation of the innovation efficacy of Chinese photovoltaic enterprises employing three-stage data envelopment analysis (DEA). *Energy Reports*, s. 456-465.
- Landgate. (2023, 11 08). *What is Solar Irradiance & How Does it Affect Solar Farms?* 11 14, 2023 tarihinde <https://www.landgate.com/news/what-is-solar-irradiance-how-does-it-affect-solar-farms> adresinden alındı

- Li, H., He, H., Shan, J., & Cai, J. (2019, June). Innovation efficiency of semiconductor industry in China: A new framework based on generalized three-stage DEA analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, pp. 136-148.
- Li, Y., Chiu, Y.-h., & Lu, L. C. (2019, May 18). New Energy Development and Pollution Emissions in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Lins, M. E., Angulo-Meza, L., & Silva, A. C. (2004). A multi-objective approach to determine alternative targets in data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, s. 1090-1101.
- Liu, H.-h., Yang, G.-l., Xiao-xiao, L., & Song, Y.-y. (2020, September). R&D performance assessment of industrial enterprises in China: A two-stage DEA approach. *Socio-Economic Planning Sciences*.
- Maguire, G. (2023, 05 23). *The top global solar power potential hotspots*. Reuters: <https://www.reuters.com/business/energy/top-global-solar-power-potential-hotspots-maguire-2023-05-23/> adresinden alındı
- Makridou, G., Andriosopoulos, K., Doumpos, M., & Zopounidis, C. (2016, January). Measuring the efficiency of energy-intensive industries across European countries. *Energy Policy*, s. 573-583.
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Dalia, S. A., & Khoshnoudi, M. (2017). A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, s. 1298-1322.
- Mavi, R. K., & Mavi, N. K. (2021, January). National eco-innovation analysis with big data: A common-weights model for dynamic DEA. *Technological Forecasting and Social Change*.

- Nordic Energy Research. (2015, 09 29). *Norway: Carbon-neutral as soon as 2030*. Nordic Energy Research: <https://www.nordicenergy.org/figure/ambitious-climate-targets-and-visions-for-all-nordic-countries/carbon-neutral-as-soon-as-2030/> adresinden alındı
- NVE. (2023, 07 20). *Solkraft*. NVE: <https://www.nve.no/energi/energisystem/solkraft/> adresinden alındı
- OECD. (2023, 05 12). *Main Science and Technology Indicators*. OECD: https://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=MSTI_PUB&lang=en adresinden alındı
- OECD. (2023). *OECD Stat Main Science and Technology Indicators*. Retrieved 06 12, 2023, from https://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=MSTI_PUB&lang=en#
- OECD and Statistical Office of the European Communities. (2005). *Oslo Manual*. Paris: OECD Publishing.
- OECD ilibrary. (2023, 01 05). *IEA Energy Technology RD&D Statistics*. May 23, 2023 tarihinde OECD Library: https://stats.oecd.org/BrandedView.aspx?oecd_bv_id=enetech-data-en&doi=data-00488-en adresinden alındı
- Panwar, A., Olfati, M., Pant, M., & Snasel, V. (2022, June 10). A Review on the 40 Years of Existence of Data Envelopment Analysis Models: Historic Development and Current Trends. *Archives of Computational Methods in Engineering*, s. 5397-5426.
- Poland Ministry of Energy. (2018, 05 18). *Innovations for Energy*. Poland Ministry of Energy : <https://www.gov.pl/attachment/b5eacab6-67a7-4e0a-8f44-f924f3ebfbd4> adresinden alındı
- Pv-Magazine. (2023, 06 19). *Belgium deployed 900 MW of PV in 2020*. . PV Magazine: <https://www.pv-magazine.com/2021/01/08/belgium-deployed-900-mw-of-pv-in-2020/> adresinden alındı

- Rabaia, M. K., Abdelkareem, M. A., Sayed, E. T., Elsaid, K., Chae, K.-J., Wilberforce, T., & Olabi, A. (2021, February 1). Environmental impacts of solar energy systems: A review. *Science of the Total Environment*.
- Rabaia, M., Abdelkareem, M., Sayed, E., Wilberforce, T., & Olabi, A. (2021, February 1). Environmental impacts of solar energy systems: A review. *Science of the Total Environment*.
- Reglobal. (2021, March 26). *Global Wind Turbine Supplier Ranking for 2020*. 06 12, 2023 tarihinde <https://reglobal.co/global-wind-turbine-supplier-ranking-for-2020/> adresinden alındı
- Reuters. (2023, 03 04). *The Netherlands' innovation leads European Union solar drive*. The National News: <https://www.thenationalnews.com/business/energy/2023/03/04/the-netherlands-innovation-leads-european-union-solar-drive/> adresinden alındı
- Reza Kiani Mavi, R. F. (2019, July). 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*, s. 553-562.
- Robaina-Alves, M., Moutinho, V., & Macedo, P. (2015, 09 15). A new frontier approach to model the eco-efficiency in European countries. *Journal of Cleaner Energy Production*, s. 562-573.
- Sandu, S., & Bogdan, C. (2014). Impact of R&D and Innovation on High-tech Export. *Procedia Economics and Finance*, s. 80-90.
- Sandu, S., & Ciocanel, B. (2014). Impact of R&D and Innovation on High-tech Export. *Procedia Economics and Finance*, pp. 80-90.
- Seema Sharma, V. T. (2008, July 20). Inter-country R&D efficiency analysis: An application of data envelopment analysis. *Scientometrics*, s. 483-501.

- Segarra-Blasco, A., Teruel, M., & Cattaruzzo, S. (2020, September 30). Innovation, productivity and learning induced by export across European manufacturing firms. *Economics of Innovation and New Technology*, pp. 387-415.
- Segarra-Blasco, A., Teruel, M., & Cattaruzzo, S. (2020). Innovation, productivity and learning induced by export across European manufacturing firms. *Economics of Innovation and New Technology*, s. 387-415.
- Seiford, L. M. (1999, September 1). Profitability and Marketability of the Top 55 U.S. Commercial Banks. *Management Science*, pp. 1270-1288.
- Sexton, T. R., Silkman, R. H., & Hogan, A. J. (1986). Data envelopment analysis: Critique and extensions. *New Directions for Program Evaluation*, s. 73-105.
- Shen, T., Chen, H. H., Zhao, D. H., & Sen Qiao. (2022, 11). Examining the impact of environment regulatory and resource endowment on technology innovation efficiency: From the microdata of Chinese renewable energy enterprises. *Energy Reports*.
- Silva, G. M., Styles, C., & Lages, L. F. (2017, April 1). Breakthrough innovation in international business: The impact of tech-innovation and market-innovation on performance. *International Business Review*, pp. 391-404.
- Slovak Innovation and Energy Agency. (2023, 10 11). *Innovations*. Slovak Innovation and Energy Agency: <https://www.siea.sk/en/> adresinden alındı
- Solar NL. (2023, 10 5). *Team and Partners*. Solar NL: <https://www.solarnl.eu/partners/> adresinden alındı
- Solar Power Europe. (2023, 11 05). *Make Solar EU*. Solar Power Europe: <https://www.solarpowereurope.org/advocacy/make-solar-eu> adresinden alındı
- Stantec. (2020). *PHOTOVOLTAIC PANEL MANUFACTURING*. İstanbul: Stantec.
- Stip Compass. (2023, 06 19). *Poland Country Dashboard*. Stip Compass: <https://stip.oecd.org/stip/interactive-dashboards/countries/Poland> adresinden alındı

- Sueyoshi, T. L., & X Liu, A. L. (2020). Evaluating the Performance Of Chinese Fossil Fuel Power Plants by Data Environment Analysis: An Application of Three Intermediate Approaches in a Time Horizon. . *Journal of Cleaner Production* .
- Sueyoshi, T., Liu, X., & Li, A. (2020, 12 20). Evaluating the performance of Chinese fossil fuel power plants by data environment analysis: An application of three intermediate approaches in a time horizon. *Journal of Cleaner Production*.
- Sun, C., & X Liu, A. L. (2018). Measuring Unified Efficiency of Chinese Fossil Fuel Power Plants Intermediate Approach Combined with Group Heterogeneity and Window Analysis. *Energy Policy*, s. 8-18.
- Sun, C., Liu, X., & Li, A. (2019). Measuring unified efficiency of Chinese fossil fuel power plants: Intermediate approach combined with group heterogeneity and window analysis. *Energy Policy*, s. 8-18.
- Sustainable Energy Authority of Ireland. (2017). *Ireland's Solar Value Chain Opportunity*. Dublin: Sustainable Energy Authority of Ireland. Sustainable Energy Authority of Ireland: <https://www.seai.ie/publications/Solar-Chain-Opportunity-report.pdf> adresinden alındı
- T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2023, Kasım 10). *Paris Anlaşması*. Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı: <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> adresinden alındı
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). *Türkiye Ulusal Enerji Eylem Planı*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı: https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf adresinden alındı
- Taiyang News. (2023, 07 5). *Dutch Push For Solar Panel Manufacturing*. Taiyang News : <https://taiyangnews.info/dutch-push-for-solar-panel-manufacturing/> adresinden alındı

- TEİAŞ. (2023, 10 29). *Elektrik İstatistikleri*. TEİAŞ: <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> adresinden alındı
- Teiaş. (2023, 10 30). *Türkiye Elektrik Üretim İletim 2022 Yılı İstatistikleri*. TEİAŞ: <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> adresinden alındı
- The European Solar PV Industry Alliance. (2023, 06 19). *The European Solar PV Industry Alliance*. The European Solar PV Industry Alliance: <https://solaralliance.eu/> adresinden alındı
- Tingting, J., Panjing, J., Yi, S., Zhen, Y., & Qiang, J. (2021). Efficiency assessment of green technology innovation of renewable energy enterprises in China: a dynamic data envelopment analysis considering undesirable output. *Clean Technologies and Environmental Policy*, pp. 1509-1519.
- Tingting, J., Panjing, J., Yi, S., Zhen, Y., & Qiang, J. (2021). Efficiency assessment of green technology innovation of renewable energy enterprises in China: a dynamic data envelopment analysis considering undesirable output. *Clean Technologies and Environmental Policy*, s. 1509-1519.
- TNO Innovation for Life. (2023, 11 5). *Solar Panel Production Back to Europe*. TNO Innovation for Life: <https://www.tno.nl/en/sustainable/renewable-electricity/advanced-solar-technologies/europe-solar-panel-production/> adresinden alındı
- Tone, K. (2001, May 1). Slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, s. 458-509.
- Tone, K. (2010, 02 01). Variations on the theme of slacks-based measure of efficiency in DEA. *European Journal of Operational Research*, s. 901-907.
- Tone, K., & Tsutsui, M. (2020, 12 16). An epsilon-based measure of efficiency in DEA - A third pole of technical efficiency. *European Journal of Operational Research*, s. 1554-1563.

- Wang, C.-H., Lu, Y.-H., Huang, C.-W., & Lee, J.-Y. (2013). R&D, productivity, and market value: An empirical study from high-technology firms. *Omega*, pp. 143-155.
- Wang, E. C., & Huang, W. (2007). Relative efficiency of R&D activities: a cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach. *Research Policy*, pp. 260-273.
- Wang, Q., Hang, Y., Sun, L., & Zhao, Z. (2016, November). Two-stage innovation efficiency of new energy enterprises in China: A non-radial DEA approach. *Technological Forecasting and Social Change*, pp. 254-261.
- Wang, Q., Ye, H., & Zhao, S. L. (2016). Two-stage innovation efficiency of new energy enterprises in China: A non-radial DEA approach. *Technological Forecasting and Social Change*, s. 254-261.
- Wang, R.-M., Tian, Z., & Ren, F.-r. (2021). Energy Efficiency in China: Optimization and Comparison Between Hydropower and Thermal Power. *Energy Sustainability and Society*, s. 1-21.
- Wind Europe. (2021). *Wind Energy in Europe 2020 Statistics and the outlook for 2021-2025*. Wind Europe: Brussels.
- World Integrated Trade Solution. (2023, 03 10). *Electric generating sets; n.e.s. in heading no. 8502 exports by country in 2021*. World Integrated Trade Solution:
<https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2021/tradeflow/Exports/partner/WLD/product/850230> adresinden alındı
- World Integrated Trade Solution. (2023, 03 10). *Electrical apparatus; photosensitive, including photovoltaic cells, whether or not assembled in modules or made up into panels, light emitting diodes exports by country in 2021*. World Integrated Trade Solution:
<https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2021/tradeflow/Exports/partner/WLD/product/854140> adresinden alındı

- World Integrated Trade Solution. (2023). *Exports by countries with headings numbers*. May 23, 2023 tarihinde <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2021/tradeflow/Exports/partner/WLD/product/841280> adresinden alındı
- World Population Review. (2023, 10 29). *Solar Power by Country*. World Population Review: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/solar-power-by-country> adresinden alındı
- Xiao, Q., Tian, Z., & Ren, F. (2022). Efficiency Assessment of Electricity Generation in China Using Meta-Frontier Data Envelopment Analysis: Cross-Regional Comparison Based on Different Electricity Generation Energy Sources. *Energy Strategy Reviews*.
- Xiao, Q.-W., Tian, Z., & Fang-Rong Ren. (2022). Efficiency assessment of electricity generation in China using meta-frontier data envelopment analysis: Cross-regional comparison based on different electricity generation energy source. *Energy Policy*.
- Xiaofeng Xu, X. C. (2022, November). Impact of government subsidies on the innovation performance of the photovoltaic industry: Based on the moderating effect of carbon trading prices. *Energy Policy*.
- Xie, B., J Gao, S. Z., & RZ Pang, Z. Z. (2018). The Environmental Efficiency Analysis of China's Power Generation Sector Based on Game Cross Efficiency Approach. *Structural Change and Economic Dynamics*, s. 126-135.
- Xie, B.-C., Gao, J., Zhang, S., & Zhang, R.-Z. P. (2018). The environmental efficiency analysis of China's power generation sector based on game cross-efficiency approach. *Structural Change and Economic Dynamics*, s. 126-135.
- Yeni Asır. (2022, 08 05). <https://www.yeniasir.com.tr/ekonomi/2022/08/05/colde-12-kilometrelik-gunes-tarlasi-kalyon-karapinar-gunes-enerji-santrali-turkiyeye-enerji-veriyor#:~:text=T%C3%BCrkiye%27ye%20enerji%20veriyor->

,%C3%87%C3%B6lde%2012%20kilometrelik%20g%C3%BCne%C5%9F%20tarlas.

Yeni Asır: <https://www.yeniasir.com.tr/ekonomi/2022/08/05/colde-12-kilometrelik-gunes-tarlasi-kalyon-karapinar-gunes-enerji-santrali-turkiyeye-enerji-veriyor> adresinden alındı

Yeşil Ekonomi. (2021, 03 08). *Siemens Gamesa Türkiye’deki Ar-Ge ekibini büyütüyor*. Yeşil Ekonomi: <https://yesilekonomi.com/siemens-gamesa-turkiyedeki-ar-ge-ekibini-buyutuyor/> adresinden alındı

Yu, D., & He, X. (2020, 06 15). A bibliometric study for DEA applied to energy efficiency: Trends and future challenges. *Applied Energy*.

Zhong, W., Yuan, W., Li, S. X., & Huang, Z. (2011, August). The performance evaluation of regional R&D investments in China: An application of DEA based on the first official China economic census data. *Omega*, pp. 447-455.

Zuo, Z., Guo, H., Li, Y., & Cheng, J. (2022, May). A two-stage DEA evaluation of Chinese mining industry technological innovation efficiency and eco-efficiency. *Review*.

ÖZET

AVRUPA ÜLKELERİNİN RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİSİ SEKTÖRLERİNİN ENERJİ ÜRETİMİ VE İNOVASYON EKONOMİK ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Birçok Avrupa ülkesinin 2050'ye kadar sıfır emisyonlu ülke hedefi bulunmaktadır. Elektrik sektöründeki emisyonların azaltılması bu hedefe ulaşmada önemli rol oynayacaktır. En gelişmiş iki yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgar ve güneş için, Avrupa ülkeleri özelinde Süper Etkin Çıktı Odaklı Veri Zarflama Analizi ile yapılan bu çalışmanın sonuçlarına göre Slovenya, İspanya, Hırvatistan ve Bulgaristan mevcut kaynaklarını güneş enerjisinden elektrik üretiminde daha verimli kullanmaktadırlar bu nedenle güneşe öncelik verilmelidir. Kuzey Avrupa ülkelerinde ise güneş enerjisi yatırım ve işletme maliyetlerine dikkat edilmelidir. Dış ticaret dengesi özellikle güneş sektöründe 2021 ve 2022 boyunca ciddi şekilde negatife dönmüştür. Güneş enerjisinde, AR-GE etkinliği açısından en etkin ülkeler Polonya, Slovakya, İsveç ve İspanya iken, rüzgar enerjisinde ise, Polonya ve Türkiye'dir. Güneş enerjisinde inovasyon ekonomik etkinliğinde lider ülke Hollanda rüzgar da ise rüzgar türbinleri üreticisi lideri Danimarka'dır. Çalışmaya göre Avrupa'nın olgun güneş ve rüzgar enerjisi pazarlarına sahip büyük ülkeleri dışında da, yeni büyümekte olan sektörlerle sahip daha küçük bütçe ve insan kaynakları ile daha çok patent başvurusu yapmayı başaran ülkeler de AR-GE ve inovasyon konusunda etkin olabilmektedirler.

DEMİRHAN BAŞBİLEN, Gaye

Doktora Tezi, İşletme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ

Kasım, 2023

Anahtar Sözcükler: rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, inovasyon, etkinlik, veri zarflama analizi

ABSTRACT

EVALUATION OF THE ENERGY PRODUCTION AND INNOVATION ECONOMIC ACTIVITIES OF THE WIND AND SOLAR ENERGY SECTORS OF EUROPEAN COUNTRIES

Many European countries have a zero-emission country target by 2050. Reducing emissions in the electricity sector will play an important role in achieving this goal. This study was conducted with Super Efficient Output-Oriented Data Envelopment Analysis. Two most developed renewable energy sources namely wind and solar in European countries were studied with regards to generation efficiencies. for European countries' wind and solar. The results show that Slovenia, Spain, Croatia and Bulgaria use their existing resources more efficiently in generating electricity. from solar. Therefore, it can be suggested that for these countries, priority should be given to solar energy development. In Northern European countries, solar energy investment and operating costs should be under control. The foreign trade balance has turned seriously negative throughout 2021 and 2022, especially in the solar sector. In solar energy, the most effective countries in terms of R&D efficiency are Poland, Slovakia, Sweden and Spain, while in wind energy, Poland and Turkey were the most efficient ones. The leading country in innovation economic activity in solar energy is Netherlands while in wind the leader is Denmark, the world leader in wind turbine manufacturing. According to the study, apart from the large European countries with mature solar and wind energy

markets, countries with newly emerging markets which manage to apply for more patents with smaller budgets and limited human resources can also be effective in R&D and innovation.

DEMİRHAN BAŞBİLEN, Gaye

PhD Thesis, Business Department

Thesis Advisor: Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ

November, 2023

Key words: wind energy, solar energy, innovation, efficiency, DEA