

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MALİYE ANABİLİM DALI**

**YENİLENEBİLİR ENERJİNİN YAYGINLAŞMASINDA MALİ
ARAÇLARIN ETKİNLİĞİ: AB ÜLKELERİ ÖRNEĞİ**

Tunahan DEĞİRMENCİ

DOKTORA TEZİ

Danışman: Doç. Dr. Hakan YAVUZ

NİSAN - 2023

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİNİN YAYGINLAŞMASINDA
MALİ ARAÇLARIN ETKİNLİĞİ: AB ÜLKELERİ ÖRNEĞİ

DOKTORA TEZİ

Tunahan DEĞİRMENCİ

Enstitü Anabilim Dalı: Maliye

“Bu tez 26/04/2023 tarihinde yüzyüze olarak savunulmuş olup aşağıdaki isimleri bulunan jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.”

JÜRİ ÜYESİ	KANAATİ
Prof. Dr. Temel GÜRDAL	Başarılı
Prof. Dr. Tarık VURAL	Başarılı
Doç. Dr. Hakan YAVUZ	Başarılı
Doç. Dr. Harun KILIÇASLAN	Başarılı
Doç. Dr. Mücahit AYDIN	Başarılı

ETİK BEYAN FORMU

Enstitünüz tarafından Uygulama Esasları çerçevesinde alınan Benzerlik Raporuna göre yukarıda bilgileri verilen tez çalışmasının benzerlik oranının herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve Etik Kurul Onayı gerektiği takdirde onay belgesini aldığımı beyan ederim.

Etik kurul onay belgesine ihtiyaç var mıdır?

Evet ☐

Hayır ☒

(Etik Kurul izni gerektiren araştırmalar aşağıdaki gibidir:

- Anket, mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme teknikleri kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen her türlü araştırmalar,
- İnsan ve hayvanların (materyal/veriler dahil) deneysel ya da diğer bilimsel amaçlarla kullanılması,
- İnsanlar üzerinde yapılan klinik araştırmalar,
- Hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalar,
- Kişisel verilerin korunması kanunu gereğince retrospektif çalışmalar.)

Tunahan DEĞİRMENCİ

26/04/2023

ÖNSÖZ

Tez çalışmamı yürütmeme yardımcı olan, çalışmamı destekleyen ve titizlikle takip eden tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Hakan YAVUZ'a; çalışmamın ilerlemesinde değerli eleştirilerinden ve bize verimli olabileceğimiz çalışma ortamı sağlamasından dolayı bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. Temel GÜRDAL'a; çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve beni motive eden Sayın Doç. Dr. Mücahit AYDIN'a teşekkürü borç bilirim.

Tunahan DEĞİRMENCİ

26/04/2023



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
GRAFİK LİSTESİ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x

GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 1: YENİLENEBİLİR ENERJİYE YÖNELİK AÇIKLAMALAR	7
1.1. Enerji Kavramı ve Enerjinin Sınıflandırılması	7
1.1.1. Yenilenemez ve Yenilenebilir Enerji Sınıflandırması.....	8
1.1.2. Birincil ve İkincil Enerji Sınıflandırması	9
1.2. Yenilenemez Enerji Kaynakları.....	10
1.2.1. Fosil Enerji Kaynakları.....	10
1.2.1.1. Petrol.....	11
1.2.1.2. Kömür.....	11
1.2.1.3. Doğalgaz.....	12
1.2.2. Nükleer Enerji	13
1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	15
1.3.1. Güneş Enerjisi	15
1.3.1.1. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları	15
1.3.1.2. Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları	16
1.3.2. Rüzgâr Enerjisi	18
1.3.2.1. Rüzgâr Enerjisinin Kullanım Alanı	19
1.3.2.2. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları	19
1.3.3. Hidroelektrik (Hidrolik) Enerji.....	20
1.3.3.1. Hidroelektrik Enerjinin Kullanım Alanı.....	22
1.3.3.2. Hidroelektrik Enerjinin Avantajları ve Dezavantajları.....	22
1.3.4. Jeotermal Enerji.....	24
1.3.4.1. Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları.....	24
1.3.4.2. Jeotermal Enerjinin Avantajları ve Dezavantajları.....	26

1.3.5. Biyokütle Enerjisi	28
1.3.5.1. Biyokütle Enerjisinin Kullanım Alanları.....	29
1.3.5.2. Biyokütle Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	33
1.3.6. Hidrojen Enerjisi	36
1.3.6.1. Hidrojen Enerjisinin Kullanım Alanları	38
1.3.6.2. Hidrojen Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları	40
1.3.7. Deniz Kaynaklı Enerjiler	41
1.3.7.1. Dalga Enerjisi	43
1.3.7.2. Gelgit Enerjisi.....	46
1.3.7.3. Okyanus Termal Enerji Dönüşümü	48
1.3.7.4. Akıntı Enerjisi	50
1.3.7.5. Tuzluluk Gradyan Enerjisi.....	53
1.4. AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Görünümü	55
BÖLÜM 2: YENİLENEBİLİR ENERJİNİN YAYGINLAŞMASINA YÖNELİK	
MALİ ARAÇLAR: AB ÜLKELERİNDEKİ UYGULAMALAR.....	61
2.1. Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasına Yönelik Mali Araçlar	61
2.1.1. Vergi Politikası.....	64
2.1.1.1. Vergi Muafiyeti, İstisnası ve İndirimi	65
2.1.1.2. Vergi Tatili Uygulaması	74
2.1.1.3. Hızlandırılmış Amortisman Uygulaması.....	75
2.1.1.4. Vergi Kredileri.....	77
2.1.1.5. Çevre Vergileri	79
2.1.2. Harcama Politikası.....	82
2.1.2.1. Kamu Yatırım Harcamaları	83
2.1.2.2. Sermaye Sübvansiyonları ve İndirimleri	83
2.1.2.3. Düşük Faizli Krediler ve Finansmanlar.....	87
2.1.2.4. Ar-Ge Harcamaları	88
2.2. Diğer Araçlar	93
2.2.1. Tarife Garantisi (FIT)	93
2.2.2. Tarife Düzeyini Belirleme Yöntemleri.....	94
2.2.2.1. Elektrik Üretim Maliyetlerine Göre Tarife Garantisinin	
Belirlenmesi	95

2.2.2.2. Kaçınılan Dış Maliyetler Dikkate Alınarak Tarife Garantisinin Belirlenmesi	95
2.2.3. Tarife Garantisinin Çeşitleri	96
2.2.4. Prim Garantisi (FIP)	100
2.2.5. Kota Sistemi	104
2.2.6. Net Ölçüm Yöntemi	108
2.2.7. İhale Yöntemi	110
2.3. AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasına Yönelik Uygulanan Araçların Görünümü.....	113
BÖLÜM 3: AMPİRİK UYGULAMA	118
3.1. Literatür Taraması	118
3.2. Literatüre Yönelik Değerlendirmeler	123
3.3. Veri Seti, Model ve Metodoloji.....	124
3.3.1. Veri Seti.....	124
3.3.2. Model.....	126
3.3.3. Metodoloji	127
3.3.3.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Testi.....	127
3.3.3.2. Homojenite Testi	128
3.3.3.3. CIPS Panel Birim Kök Testi.....	129
3.3.3.4. Panel Eş bütünleşme Testleri.....	129
3.3.3.5. Panel Eş bütünleşme Katsayı Tahmincisi.....	131
3.3.3.6. Emirmahmutoğlu ve Köse Panel Nedensellik Testi	132
3.4. Ampirik Bulgular ve Değerlendirme	133
3.4.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Test Bulguları	133
3.4.2. Homojenite Test Bulguları	134
3.4.3. CIPS Panel Birim Kök Test Bulguları.....	134
3.4.4. Westerlund ve Edgerton Panel Eş Bütünleşme Test Bulguları	135
3.4.5. Durbin-Hausman Panel Eş Bütünleşme Test Bulguları	136
3.4.6. AMG Tahmincisi Test Bulguları.....	136
3.4.7. DCCE Tahmin Bulguları	138
3.4.8. Emirmahmutoğlu – Köse Panel Nedensellik Testi Bulguları.....	139
3.4.9. Ampirik Bulgulara Yönelik Genel Değerlendirme	142

SONUÇ	145
KAYNAKÇA.....	153
ÖZGEÇMİŞ.....	173



KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AMG	: Augmented Mean Group
CIPS	: CrossSectionally Augmented IPS
DCCE	: Dynamic Common Correlated Effects
E – K	: Emirmahmutoğlu – Köse
FIP	: Feed in Premium
FIT	: Feed in Tariff
IEA	: International Energy Agency
KMPG	: Klynveld Peat Marwick Goerdeler
NREL	: National Renewable Energy Laboratory
OTEC	: Ocean Thermal Energy Conversion

TABLO LİSTESİ

Tablo 1: Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması	8
Tablo 2: Jeotermal Enerjinin Sıcaklığa Göre Kullanım Alanları	25
Tablo 3: Akıntı Enerjisi – Diğer Enerji Kaynakları Kıyaslaması.....	51
Tablo 4: AB Ülkelerinde Yenilebilir Enerji Dengesi	58
Tablo 5: Yenilenebilir Enerji İçin Politika Seçeneklerinin Avantajları ve Dezavantajları	114
Tablo 6: AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasında Kullanılan Yöntemler	115
Tablo 7: Değişkenlere İlişkin Tanımlar.....	126
Tablo 8: Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları	134
Tablo 9: Delta Test Sonuçları.....	134
Tablo 10: CIPS Panel Birim Kök Test Sonuçları	135
Tablo 11: LM Bootstrap Eş Bütünleşme Test Sonuçları	135
Tablo 12: Durbin-Hausman Panel Eş Bütünleşme Test Sonuçları.....	136
Tablo 13: AMG Tahmin Sonuçları.....	137
Tablo 14: DCCE Uzun Dönem Tahmin Sonuçları	138
Tablo 15: E-K Panel Nedensellik Testi Sonuçları (Yenilenebilir Enerji – Ar-Ge)	139
Tablo 16: E-K Panel Nedensellik Testi Sonuçları (Yenilenebilir Enerji – Çevre Vergisi)	140
Tablo 17: E-K Panel Nedensellik Testi Sonuçları (Yenilenebilir Enerji – Ekonomik Büyüme)	141

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasında Kullanılan Araçlar	2
Şekil 2: Dalga Enerjisi Dönüştürme Sistemleri	44
Şekil 3: Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasında Kullanılan Araçlar	64
Şekil 4: Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasında Hükümetlerin Ar-Ge Faaliyetleri .	89
Şekil 5: Kamu Enerji Ar-Ge Harcamaları	91



GRAFİK LİSTESİ

Grafik 1: 2019 Yılı Dünya Geneline Birincil Enerji Arzında Enerji Kaynaklarının Payları (%).....	9
Grafik 2: AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Kapasitesi	55
Grafik 3: AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elde Edilen Enerji.....	57
Grafik 4: AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Arzının Tüketimi	59



ÖZET	
Başlık: Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasında Mali Araçların Etkinliği: AB Ülkeleri Örneği	
Yazar: Tunahan DEĞİRMENCİ	
Danışman: Doç. Dr. Hakan YAVUZ	
Kabul Tarihi: 26/04/2023	Sayfa Sayısı: x (ön kısım) + 173 (ana kısım)
Dünya genelinde çevre kirliliğinin büyük boyutlara ulaşması ve enerji arzında yaşanan aksaklıklar sebebiyle yenilenebilir enerji oldukça önemli hale gelmiştir. Bunun sonucunda yenilenebilir enerjiyi teşvik etmek amacıyla gerek üretim gerekse tüketim aşamasında çeşitli kamusal araçlar kullanılmaktadır. AB ülkelerinde çevre kirliliğini azaltmak yasal bir zorunluluk haline gelmiştir. Ayrıca AB, Rusya'ya olan enerji bağımlılığını azaltmak istemektedir. Bu sebeplerle AB ülkelerinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında birçok araç kullanılmaktadır. Bu çalışmada 1995-2019 dönemi için 17 AB ülkesinde çevre vergileri ve Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmektedir. Çalışmada öncelikle yatay kesit bağımlılığı testleri uygulanmıştır. CDLM1 (Breusch ve Pagan, 1980), CDLM2 ve CD (Pesaran, 2004) yatay kesit bağımlılığı testlerinin sonuçlarına göre tüm değişkenlerde ve kullanılan modelde yatay kesit bağımlılığının olduğu görülmektedir. Daha sonra eğim katsayılarının heterojen veya homojen olması durumunda diğer aşamalarda uygulanacak testler değişebileceği için homojenite testi uygulanmıştır. Test sonucuna göre eğim parametrelerinin heterojen olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre çalışmada ikinci nesil testler uygulanmıştır. Serilerin durağanlıkları Pesaran CIPS birim kök testi ile sınanmıştır. Tüm ülkeler için serilerin birinci farklarında durağan oldukları görülmüştür. Daha sonra Westerlund ve Edgerton'un LM Bootstrap eş bütünleşme ve Durbin-Hausman panel eş bütünleşme testleri uygulanarak uzun dönemli ilişkiler incelenmiştir. Seriler arasında uzun dönemli eş bütünleşme olduğu için bu ilişkilere yönelik katsayı tahminleri AMG ve DCCE uzun dönem katsayı tahmin testleriyle hem ülkeler için ayrı hem de panel için tahmin edilmiştir. Son olarak değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi Emirmahmutoğlu – Köse panel nedensellik testi ile incelenmiştir. Son olarak test sonuçları değerlendirilerek politika önerilerinde bulunulmuştur.	
Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Çevre Vergisi, Ar-Ge Harcamaları, Panel Eş Bütünleşme	

ABSTRACT	
Title of Thesis: The Efficiency of Fiscal Instruments in the Spread of Renewable Energy: The Case of EU Countries	
Author of Thesis: Tunahan DEĞİRMENCİ	
Supervisor: Assoc. Prof. Hakan YAVUZ	
Accepted Date: 26/04/2023	Number of Pages: x (pre text) + 173 (main body)
Renewable energy has become very important due to the worldwide environmental pollution reaching large dimensions and the disruptions in energy supply. As a result, various public tools are used in the production and consumption stages in order to promote renewable energy. Reducing environmental pollution has become a legal obligation in EU countries. In addition, the EU wants to reduce its energy dependence on Russia. For these reasons, many instruments are used in the spread of renewable energy in EU countries. In this study, the effect of environmental taxes and R&D expenditures on renewable energy consumption in 17 EU countries for the period 1995-2019 is examined. In the study, first of all, cross-section dependency tests were applied. According to the results of CDLM1 (Breusch and Pagan, 1980), CDLM2 and CD (Pesaran, 2004) cross-sectional dependence tests, it is seen that there is cross-section dependence in all variables and in the model used. Then, if the slope coefficients are heterogeneous or homogeneous, the homogeneity test was applied since the tests to be applied in other stages may change. According to the test result, it is seen that the slope parameters are heterogeneous. According to these results, second generation tests were applied in the study. The stationarity of the series was tested with the Pesaran CIPS unit root test. It is seen that the series are stationary at first difference for all countries. Then, long-term relationships were examined by applying Westerlund and Edgerton's LM Bootstrap cointegration and Durbin-Hausman panel cointegration tests. Since there is long-term cointegration between the series, the coefficient estimates for these relationships were estimated both for the countries and for the panel with the AMG and DCCE long-term coefficient estimation tests. Finally, the causality relationship between the variables was examined with the Emirmahmutoğlu – Köse panel causality test. Finally, policy recommendations were made by evaluating the test results.	
Keywords: Renewable energy, Environmental tax, R&D expenditures, Panel Cointegration	

GİRİŞ

Çalışmanın Problemi

Dünya genelinde çevre kirliliğinin ciddi boyutlara ulaşmasıyla birçok ülkede çeşitli önlemler alınmaktadır. AB ülkelerinde 2030 yılı karbon nötr hedefleri doğrultusunda fosil yakıt kullanımını azaltmaya önlemler (çevre vergisi gibi) ve yenilenebilir enerjiyi artırmaya yönelik teşvikler uygulanmaktadır. AB ülkelerinde çevre kirliliğini azaltmak yasal bir zorunluluk haline gelmiştir. Ayrıca AB, Rusya'ya olan enerji bağımlılığını azaltmak istemektedir. Bu sebeplerle AB ülkelerinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında birçok araç kullanılmaktadır.

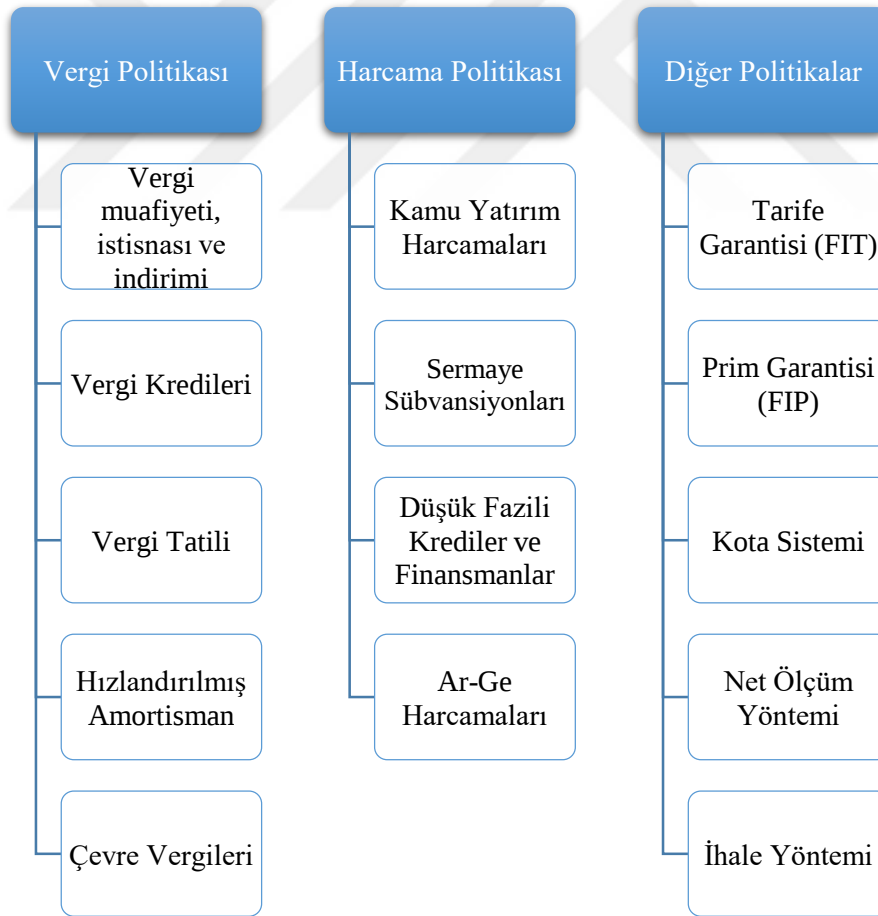
Dünya genelinde uygulanan mevcut yenilenebilir enerji politikaları ve teknoloji eğilimleri bu şekilde devam ederse, nüfus ve ekonomik büyümenin bir sonucu olarak küresel enerji tüketiminin ve enerjiye bağlı karbondioksit emisyonlarının 2050 yılına kadar artacağı düşünülmektedir. Bu tahmine göre tüm yakıtların tüketimi artmakla beraber yenilenebilir enerji tüketimi 2020-2050 yılları arasında iki kat fazla artacaktır. Bu tahmine göre 2050 yılında sıvı yakıtlar en büyük enerji kaynağı olmaya devam edecek fakat yenilenebilir enerji tüketimi neredeyse sıvı yakıtlarla aynı seviyeye çıkacaktır. Bununla birlikte yenilenebilir enerjide öngörülen bu büyüme belirsizdir. Yenilebilir enerjinin yaygınlaşması büyük ölçüde düzenleyici politikalara bağlıdır. Piyasa kurallarındaki değişiklikler, yenilenebilir enerji santrallerini desteklemek için uygun maliyetli tedarik zincirleri, yenilenebilir enerjiyi destekleyecek yeterli miktarda geleneksel üretim teknolojisi ve uygun depolama koşulları yenilenebilir enerji kullanımını artıracaktır. Sonuç olarak yenilenebilir enerji kullanımı, uygun teknoloji maliyetleri ve hükümet politikası tarafından yönlendirilir. Gelecekte teknolojik atılımlar veya önemli politika değişiklikleri olmaksızın yenilenebilir enerjinin petrol ve diğer sıvı yakıtların yerini alması mümkün değildir (EIA, 2021:1-4).

Geçmişten günümüze zorunlu bir ihtiyaç haline gelen enerjinin çoğunlukla fosil yakıtlardan elde edildiği görülmektedir. Ancak günümüzde çevre sorunlarının artması ve fosil kaynakların azalmasıyla yenilenebilir enerjiye daha fazla önem verilmeye başlanmıştır (Koç vd., 2018:87). Bu yüzden dünya genelinde yenilenebilir enerjinin etkili

ve verimli kullanılmasına yönelik mali araçların aktif bir şekilde kullanıldığı görülmektedir.

Çalışmanın Konusu

Fosil yakıt ile yenilenebilir enerji kaynakları maliyet açısından rekabetçi bir seviyeye gelse de enerji talebindeki artış Avrupa ülkelerinde daha fazladır. Bu yüzden Avrupa ülkelerinde yenilenebilir enerji üretimini teşvik edecek politikalar olmadan yenilenebilir enerjinin büyüme fırsatı daha azdır. Avrupa’da karbon üst sınırı ve ticaret sistemi şeklindeki politika teşvikleri yenilenebilir enerji üretimini artıracak, yenilenemeyen enerji üretimini azaltacak şekilde tasarlanmaktadır (EIA, 2021:24). AB ülkelerinde yenilenebilir enerjinin etkili ve verimli kullanılması amacıyla birçok adım atılmaktadır. Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında kullanılan araçlar Şekil 1’deki gibi gösterilebilir.



Şekil 1: Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasında Kullanılan Araçlar

Kaynak: REN21 (2017)’den yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Bu kapsamda çalışmanın konusu AB ülkelerinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında kullanılan araçların incelenmesi ve bu araçlardan çevre vergileri ile Ar-Ge harcamalarının etkinliğinin araştırılmasıdır.

Çalışmanın Amacı

AB ülkelerinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında vergi ve harcama politikalarının dışında tarife garantisi başta olmak üzere birçok diğer araçlar da kullanılmaktadır. Ancak devletin temel mali araçları olan vergi ve harcama politikaları doğrudan veya dolaylı olarak yenilenebilir enerji kullanımını etkileyebilmektedir. Yenilenebilir enerjiye yönelik vergi teşvikleri (çevre vergilerinden muaf tutulması gibi) yenilenebilir enerjiyi doğrudan olumlu yönde etkileyebilmektedir. Öte yandan dünya genelinde çevre kirliliğinin artmasıyla uluslararası karbon nötr hedefine yönelik birçok önlemler alınmaktadır. Çevre kirliliğinin en büyük sebeplerinden biri olan fosil kaynak kullanımının azaltılması amacıyla getirilen önlemler (çevre vergileri gibi) bu kaynakların ikamesi olan yenilenebilir enerji kullanımını etkilemektedir. Yenilenebilir enerjinin bu önlemler sonucunda yaygınlaşması ise dolaylı etkilere örnek gösterilebilir. Ar-Ge harcamaları ise üç şekilde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını etkileyebilir. Birinci etki genel Ar-Ge harcamalarıdır. Bu harcamalar doğrudan yenilenebilir enerji alanına yapılmaya da yenilenebilir enerji üretiminde, depolanmasında, taşınmasında ve tüketiminde kullanılacak teknolojik verimli yöntemler ortaya çıkarabilir. Farklı bir alanda ortaya çıkan teknolojik yenilik yayılma etkisi (spin-off) ile yenilenebilir enerji alanını da olumlu yönde etkileyebilmektedir. Ar-Ge harcamalarının ikinci etkisi ise doğrudan yenilenebilir enerji alanına yapılan kamu Ar-Ge harcamalarıdır. Bu harcamalar enerji ve depolama teknolojilerini artırabilir, yenilenebilir enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasını sağlayabilir. Üçüncü etkisi ise özel sektörün bu alanda Ar-Ge faaliyetlerini desteklemek amacıyla hükümetlerin teşvik uygulamalarıdır. Yenilenebilir enerji faaliyetlerinden dolayı birçok ülkede özel sektörün Ar-Ge harcamaları vergi istisnası, vergi indirimi ve vergi kredisi uygulamalarıyla desteklenmektedir. Bununla birlikte hükümetler Ar-Ge harcamalarına yönelik sübvansiyon desteği sağlamaktadır.

Çevre vergilerinin ve Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasındaki çok yönlü etkileri çalışmanın motivasyon kaynağını oluşturmaktadır. Bu kapsamda

çalışmanın temel amacı AB ülkelerinde çevre vergilerinin ve Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır.

Çalışmanın Önemi

Yenilenebilir enerjiye geçişin istikrarlı bir şekilde devam etmesi ana iki sebeple ilişkilendirilebilir. Bunlar artan enerji talebi ve çevre kirliliğidir. Nüfusun ve kentleşmenin giderek artması enerji talebini beraberinde artırmaktadır. Enerji talebindeki artış ise fosil yakıtlara dayalı enerji üretimini artırmaktadır. Öte yandan küresel bir sorun haline gelen çevre kirliliği, bu enerji üretiminin yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesini zorunlu kılmaktadır. İklim değişikliği ve çevre sorunlarıyla mücadelenin temel koşullarından biri yenilenebilir enerjiye dayalı enerji sistemlerine geçiştir. Bununla birlikte, günümüz imkânları değerlendirildiğinde tüm sektörler veya endüstriler fosil yakıtlardan doğrudan yenilenebilir enerji kullanımına geçemezler. Nitekim yenilenebilir enerji son on yılda her yıl tahminleri aşarak benzeri görülmemiş bir büyüme kaydetti. Ancak bu büyük ilerlemeye rağmen yenilenebilir enerjinin toplam enerji kullanımı içindeki payı sabit kalmıştır (Dünya Bankası, 2021). Bu doğrultuda yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması günümüzde oldukça önemlidir. Mevcut literatür incelendiğinde doğrudan çevre kirliliği sorununa odaklanıldığını ve bağımlı değişken olarak çevre kirliliği göstergeleri kullanıldığı görülmektedir. Enerji talebi ve çevre kirliliği sorununun çözümü olarak görülen yenilenebilir enerjinin bağımlı değişken olarak kullanıldığı çalışmalar az sayıdadır. Öte yandan iki önemli mali araç olan çevre vergilerinin ve Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji üzerinde birlikte etkilerinin görülmesi önemlidir. Çalışmanın literatürdeki bu boşluğu doldurarak katkı sağlaması beklenmektedir.

Çalışmanın Sınırlılıkları

Çalışmanın değişkenler, ülke sayısı ve dönem aralığı yönünden birtakım sınırlılıkları bulunmaktadır.

Çalışmada mali araç olarak çevre vergileri ve Ar-Ge harcamaları kullanılmıştır. Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması amacıyla birçok vergi teşvik uygulamaları bulunmaktadır. Bununla birlikte tarife garantisi, prim garantisi, kota yükümlülükleri, net ölçüm yöntemi ve ihale yöntemi gibi AB ülkelerinde başvurulmuş birçok yöntem bulunmaktadır. Kullanılan vergi teşviklerinin ve sübvansiyonların bazıları belirsizdir.

Örneğin yenilenebilir enerji alanında vergi muafiyeti, istisnası ve indirimi ülkelerin vergi kanunlarında yer almakta fakat bu teşvikten yararlanma sayısı veya tutarı net olarak bilinmemektedir. Ek olarak, bu uygulamalar sonucu yenilenebilir enerjiye geçişin sayısal bir değerle belirlenmesi de mümkün görünmemektedir. Bu yüzden çalışmada iki önemli araç olan çevre vergileri ve Ar-Ge harcamaları kullanılmıştır. Ayrıca çalışma veri uygululuğu olan 17 AB ülkesi ve 1995-2019 dönemi ile sınırlıdır.

Çalışmanın Yöntemi

Çalışma konusuyla ilgili ulusal ve uluslararası kaynaklar araştırılarak literatürdeki eksiklikler tespit edilmiştir. Teorik çalışmalara ek olarak ampirik çalışmalar değişkenler, dönem aralığı ve ülke grubu açısından incelenmiştir. Bu çalışmalara yönelik değerlendirmeler ve literatürdeki eksikliklere değinilerek kuramsal analiz yapılmıştır.

Çalışmada ekonometrik analiz olarak panel veri yöntemleri tercih edilmiştir. Öncelikle ileriki aşamalarda kullanılacak yöntemlerin belirlenmesi amacıyla yatay kesit bağımlılığı testleri uygulanmıştır. CDLM1 (Breusch ve Pagan, 1980), CDLM2 ve CD (Pesaran, 2004) yatay kesit bağımlılığı testlerinin sonuçlarına göre tüm değişkenlerde ve kullanılan modelde yatay kesit bağımlılığının olduğu görülmektedir. Daha sonra eğim katsayılarının heterojen veya homojen olması durumunda diğer aşamalarda uygulanacak testler değişebileceği için homojenite testi uygulanmıştır. Test sonucuna göre eğim parametrelerinin heterojen olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre çalışmada ikinci nesil testler uygulanmıştır. Serilerin durağanlıkları Pesaran CIPS birim kök testi ile sınanmıştır. Tüm ülkeler için serilerin birinci farklarında durağan oldukları görülmüştür. Daha sonra Westerlund ve Edgerton'un LM Bootstrap eş bütünleşme ve Durbin-Hausman panel eş bütünleşme testleri uygulanarak uzun dönemli ilişkiler incelenmiştir. Seriler arasında uzun dönemli eş bütünleşme olduğu için bu ilişkilere yönelik katsayı tahminleri AMG ve DCCE uzun dönem katsayı tahmin testleriyle hem ülkeler için ayrı hem de panel için tahmin edilmiştir. Son olarak değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi Emirmahmutoglu – Köse panel nedensellik testi ile incelenmiştir.

Çalışmanın İçeriği

Üç bölümden oluşan çalışmada birinci bölümde yenilenebilir enerjiye yönelik açıklamalar yer almaktadır. Bu kapsamda yenilenebilir enerjinin çeşitleri, avantajları,

dezavantajları ve AB ülkelerinde yenilenebilir enerji görünümüne değinilmiştir. İkinci bölümde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasına yönelik kullanılan araçlardan bahsedilmiş olup AB ülkelerindeki uygulama örneklerine değinilmiştir. Üçüncü bölümde literatür araştırması, literatüre yönelik değerlendirmeler ve ampirik analiz kısımlarına yer verilmiştir. Sonuç kısmında ise ampirik analiz sonuçları değerlendirilmiş olup politika yapıcılara yönelik önerilerde bulunulmuştur.



BÖLÜM 1: YENİLENEBİLİR ENERJİYE YÖNELİK AÇIKLAMALAR

1.1. Enerji Kavramı ve Enerjinin Sınıflandırılması

Enerji kavramı olarak bir işi yapma kapasitesidir. Enerji, geçmişten günümüze üretim için en temel girdilerden biridir. Isınma, elektrik, ulaşım gibi birçok insan ihtiyacının karşılanmasında önemli bir yere sahiptir (Kocatürk, 2019:4). Öte yandan temel ihtiyaçlar dışında enerji, günümüzde birçok ülkenin ekonomik gücünü belirleyen unsurlardan biri haline gelmiştir. Nitekim enerji üretimi, enerji tüketimi, enerji verimliliği gibi göstergelerin ekonomik büyüme üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğuna dair yaygın literatür bulunmaktadır.¹

Geçmişten günümüze zorunlu bir ihtiyaç haline gelen enerjinin çoğunlukla fosil yakıtlardan elde edildiği görülmektedir. Ancak günümüzde çevre sorunlarının artması ve fosil kaynakların azalmasıyla yenilenebilir enerjiye daha fazla önem verilmeye başlanmıştır (Koç vd., 2018:87). Bu yüzden dünya genelinde yenilenebilir enerjinin etkili ve verimli kullanılmasına yönelik mali araçların aktif bir şekilde kullanıldığı görülmektedir.

Hayatın her aşamasında kullanılan enerji; mekanik (kinetik ve potansiyel), kimyasal, termal (ısı), jeotermal, nükleer, hidroelektrik, rüzgâr, güneş ve elektrik gibi farklı formlarda bulunabilmektedir. Ayrıca bu enerjiler uygun yöntemlerle birbirine dönüştürülebilmektedir. Enerjinin sınıflandırılmasında kullanılan temel iki kıstas bulunmaktadır. Bunlar dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları ve kullanılışlarına göre enerji kaynaklarıdır (Koç ve Şenel, 2013:33).

¹ Ayrıntılı bilgi için bkz. Yapar (2020: 107:110)

Tablo 1: Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması

ENERJİ KAYNAKLARI			
1) Kullanılışlarına Göre		2) Dönüştürülebilirliklerine Göre	
❖ Yenilenemez (Tükenir) Enerji		❖ Birincil (Primer)	
- Fosil Enerji - Petrol - Kömür - Doğalgaz - Nükleer Enerji - Uranyum - Toryum		- Kömür - Petrol - Doğalgaz - Nükleer - Biyokütle - Hidroelektrik	- Güneş - Rüzgâr - Dalga - Gelgit - Okyanus - Akıntı
❖ Yenilenebilir Enerji		❖ İkincil (Sekonder)	
- Güneş - Rüzgâr - Hidroelektrik - Jeotermal - Biyokütle	- Hidrojen - Dalga - Gelgit - Okyanus - Akıntı	- Elektrik - Benzin - Motorin - İkincil Kömür	- Kok - Petrokok - Hava Gazı - LPG

Kaynak: Koç ve Şenel (2013) ile Karaaslan ve Gezen (2017)' den yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

1.1.1. Yenilenemez ve Yenilenebilir Enerji Sınıflandırması

Kullanılışlarına göre enerji kaynakları yenilenemez (tükenir) ve yenilenebilir olmak üzere iki gruba ayrılır. Bir enerjinin yenilenemez (tükenir) enerji kaynağı mı, yenilenebilir bir enerji kaynağı mı olduğunu tespit etmek için oluşma ve tüketilme hızları dikkate alınmaktadır. Enerjinin oluşma hızı tüketilme hızından düşükse yenilenemeyen enerji kaynağı yani tükenir enerji kaynağı olarak tanımlanır (Yapıcı ve Koldemir, 2015:3). Yenilenemeyen enerji kaynaklarının temel özellikleri; kıt olmaları, dünya genelinde eşit olmayan biçimde dağılmış olmaları ve enerjiye dönüşümde çevre kirliliğine sebep olmalarıdır (Bilginoğlu, 1991:123). Yenilenemeyen enerji kaynakları, fosil enerji (petrol, kömür, doğalgaz) ve nükleer enerji olarak iki alt grupta incelenebilir.

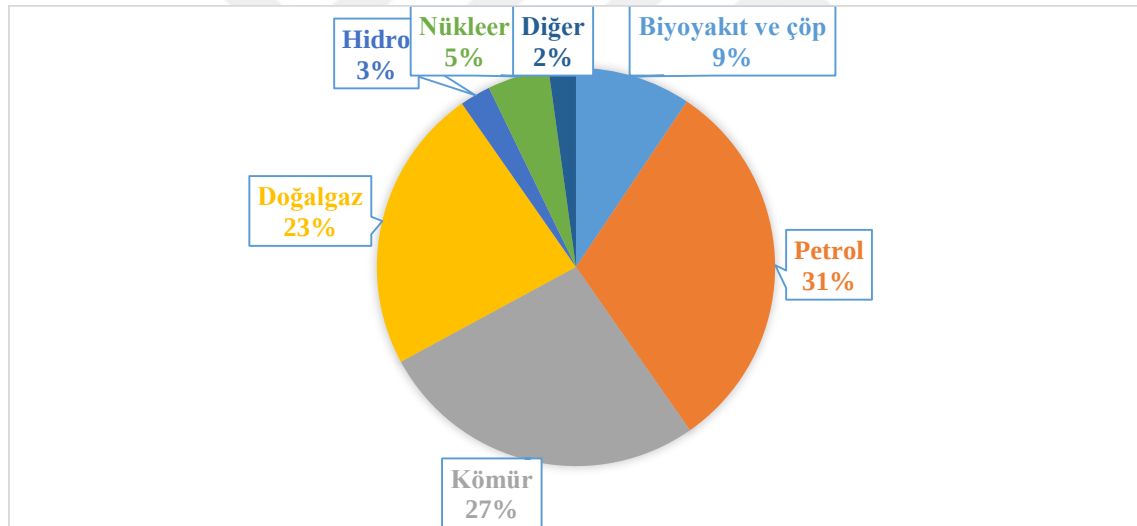
Yenilenebilir enerji, doğada sürekli olarak kendini yenileyen kullandıkça tükenmeyen ve sınırsız olan bir enerjidir (Ziyadlı,2021:9). Yenilenebilir enerjinin diğer enerji kaynaklarından ayrılan en önemli özelliği doğal bir şekilde kendini yenilemesi ve tükenmemesidir. Öte yandan yenilenebilir enerji kaynakları çevreye zarar vermemektedir. Bu yüzden çevreye zararlı olan sera gazlarının azaltılmasında enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması oldukça önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları yerli kaynaklar oldukları için ithal enerji ihtiyacını azaltarak dışa bağımlılığı azaltacaktır (Karagöl ve Kavaz, 2017:8).

Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, hidroelektrik (hidrolik), jeotermal, biyokütle, hidrojen ve deniz kaynaklı enerjiler (dalga, gelgit, okyanus ısı enerjisi dönüşümü, akıntı) olarak sınıflandırılabilir.

1.1.2. Birincil ve İkincil Enerji Sınıflandırması

Dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları ise birincil (primer) ve ikincil (sekonder) enerji kaynakları olarak iki grupta incelenebilir.

Birincil (primer) enerji, kaynakların herhangi bir değişime uğramaksızın doğal olarak bulunduğu haliyle kullanılmasıdır (Yılmaz, 2018:4). Birincil enerji kaynakları; kömür, petrol doğalgaz, nükleer enerji, biyokütle enerjisi, hidroelektrik enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, ve deniz kaynaklı enerjiler (dalga, gelgit, okyanus, akıntı) olarak sıralanabilir (Kılınç Savrul, 2016:6-7). Birincil enerji kaynakları arzının dünya genelindeki payları Grafik 1’de sunulmaktadır.



Grafik 1: 2019 Yılı Dünya Geneline Birincil Enerji Arzında Enerji Kaynaklarının Payları (%)

Kaynak: IEA, World Energy Balances: Overview (2021a)

Grafik 1’deki verilere göre geleneksel enerji kaynaklarının küresel enerji piyasasındaki üstünlüğü görülmektedir. Petrol %31’lik pay ile en fazla arz edilen birincil enerji kaynağıdır. Geleneksel enerji kaynaklarından bir diğeri kömür ise %27’lik pay ile ikinci sıradadır. Bir diğeri fosil yakıt olan doğalgaz %23 pay ile üçüncüdür. Buna göre fosil yakıtların birincil enerji arzındaki payı %81’dir. Toplam yenilenebilir enerji arzı ise %14’tür.

İkincil (sekonder) enerji kaynakları ise, birincil enerji kaynaklarının çeşitli işlemlerden geçmesiyle elde edilen enerjidir. İkincil enerji kaynakları; elektrik, benzin motorin, ikincil kömür, kok, petrokok, hava gazı ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) şeklinde sıralanabilir. İkincil enerji kaynakları içerisinde en fazla tüketime sahip kaynak elektrik enerjisidir (Kocatürk, 2019:8).

1.2. Yenilenemez Enerji Kaynakları

Yenilenemez enerji kaynakları, yakın gelecekte tükenebilir olarak görülen fosil ya da çekirdek kaynaklı enerji kaynakları olarak tanımlanabilir. Bu kaynaklar literatürde karbon bazlı geleneksel enerji kaynakları olarak da nitelendirilmektedir (Özügürlü, 2019:17-18). Bu kaynakların oluşumları çok uzun bir süre aldığı için yenilenemez enerji kaynakları olarak adlandırılırlar (İncekara ve Oğulata, 2011:3). Doğal süresinde kullanıldıklarında yeniden kullanılmaya imkân vermeyen veya çok yavaş yerini doldurabilen yenilenemez enerji kaynakları, bu özelliklerinden dolayı sınırlı kaynaklar olarak da nitelendirilmektedir (Gültekin, 2018:10). Yenilenemez enerji kaynakları fosil enerji kaynakları ve nükleer enerji kaynakları olarak iki gruba ayrılabilir.

1.2.1. Fosil Enerji Kaynakları

Doğada hazır olarak bulunan ve tükenebilen kaynaklardır. Fosil enerji, yaşayan organizmaların kalıntılarının uzun bir zamanda ısı ve basınç gibi çeşitli etmenler sonucu dönüşümü ile oluşmaktadır (Yapar, 2020:11). Fosil enerji kaynakları geçmişten günümüze en yaygın olarak kullanılan enerji kaynaklarıdır. Ancak bu yakıtlar bazı alanlarda toplanan organik bileşenlerden meydana geldiği için tüm bölgelerde ve eşit olarak bulunamazlar. Yeryüzündeki bazı alanlarda oluştuğu için tarihte birçok savaşa neden olduğu bilinmektedir (Uğuruğlu, 2020:3).

Fosil enerji günümüzde halen yaygın olarak kullanılmaktadır. 2020 yılı verilerine göre Avrupa ülkeleri enerji tüketiminin yaklaşık %71,5 ini fosil enerji kaynaklarından karşılamaktadır. Avrupa’da fosil enerji kaynakları içerisinde en yaygın kullanılan kaynak ise petroldür. İkinci sırada doğalgaz, üçüncü sırada ise kömür bulunmaktadır (BP Stat, 2021).

1.2.1.1. Petrol

Fosil kaynaklar içerisinde en önemli konumda olan enerji kaynağıdır. Petrol yapı olarak yeryüzünün iç noktalarında sıvı, gaz ya da katı halde bulunurlar. Bitki ve hayvan kökenli olan doğal hidrokarbon karışımlarına petrol denilmektedir (Gülay, 2008:5). Binlerce yıl önce bitki ve hayvan fosillerinin toprak altında zaman içinde değişim sürecine girmesi sonucu oluşan enerji kaynağıdır (Tanrıseven, 2018:16).

Petrol, günümüzde dünya genelinde en çok tüketilen ve ihtiyaç duyulan enerji kaynaklarından biridir (Subaşı, 2019:19). Artan talebi karşılamak için petrol arzının 2020-2050 yılları arasında mevcut petrol arzının üç katına ulaşması beklenmektedir. Dünya nüfusunun büyümesiyle artan ihtiyaçları karşılamak için petrol arzındaki artış doğal bir sonuçtur. Öte yandan başta ulaşım sektörü olmak üzere birçok sektörde çevresel kaygılarla birlikte petrolün ikamesi olarak elektrik kullanımında büyük bir artış yaşanmaktadır. Motor yakıtı olarak petrol, dünya nüfusu arttıkça, yolcu ve yük seyahatlerinin artmasıyla önümüzdeki 30 yıl boyunca büyümeye ve ulaşım sektöründeki enerji talebinin çoğunu karşılamaya devam edecektir. Bununla birlikte petrole kıyasla daha küçük bir tabanda başlayan elektrik kullanımının, aynı dönemde petrol kullanımına göre neredeyse altı kat daha hızlı büyüyeceği tahmin edilmektedir (EIA, 2021a:5).

Petrolün avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz; taşınma işleminde ağırlık kaybının olmaması (Engin, 2010:234), yoğunluğu yüksek olduğundan enerji üretimi de fazla olmasıdır. Ayrıca depolama işlemleri kolaydır.

Petrolün bazı dezavantajları ise şu şekildedir; günümüzde en fazla göze çarpan olumsuz yönü çevre kirliliğidir. Kullanım alanı oldukça geniş olduğu için belirli bir sektörde ikame bir enerji kaynağının kullanılması bile çevreye verilen zararı önemli ölçüde azaltabilir. Diğer bir dezavantajı sadece belirli coğrafyada olmasıdır. Bu sebeple geçmişten günümüze ülkeler arasında gerginliklere ve savaşlara yol açmıştır (Uğuruğlu, 2020:3).

1.2.1.2. Kömür

Oksijen, hidrojen ve karbon gibi bileşenlerden oluşan yanma özelliği olan bir tür kayadır. Kömür, kaya bileşenlerinin arasında uzun zaman sonra ısı, basınç ve bazı mikrobiyolojik etkilerle oluşmaktadır (Akdoğan, 2019:21). Kömür, uygun şartlar oluştuğunda bataklık ve benzeri ortamlardaki bitki kalıntılarından milyonlarca yıl kimyasal ve fiziksel birtakım

reaksiyonlara uğrayarak oluşmaktadır. Kimyasal yapı itibariyle yüksek oranda karbon, oksijen, hidrojen azot ve kükürt gibi elementler bulundurabilir. Öte yandan kum ve kil gibi inorganik maddeleri de içinde barındırabilir. Kömürün içerdiği karbon oranı, üreteceği ısı miktarı ve kullanım alanları göz önünde bulundurularak antrasit, bitümlü kömür, alt bitümlü kömür ve linyit gibi çeşitlere ayrılmaktadır (Arslan, 2021:8-9).

Kömür, 2020 yılında, dünya birincil enerji tüketiminde %27.2 kullanım payıyla petrolden sonra ikinci enerji kaynağı konumundadır. Dünya elektrik tüketiminin ise %35.1'lik kısmını karşılayarak ilk sıradaki enerji kaynağı olmuştur (ETKB,2022).

Petrolde olduğu gibi çevresel faktörlerden dolayı başta Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği konferansı olmak üzere birçok konferans ve anlaşımalarda kömür kullanımının aşamalı olarak azaltılması çalışmaları yürütölmektedir (IEA, 2021b:19). Bu süreçte daha düşük karbon değerine sahip olan doğalgaza geçişin iki önemli rolü bulunmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ölkelerde kömüre olan bağımlılığı azaltabilir ve karbon salınımlarını düşürebilir. Ayrıca doğalgaza geçiş ile elde edilen enerji depolanabilir (BP, 2022:61). Sıfır emisyon hedefi olarak 2050 yılına kadar kömür tüketimi tamamen ortadan kaldırılarak ikame olarak rüzgâr ve güneş enerjisinin kullanılacağı düşünülmektedir (BP, 2022:77).

Kömürün diğer enerji kaynaklarına kıyasla rezervinin daha fazla olması, çıkarma maliyetinin düşük olması, dünya genelinde birçok bölgede bulunması, taşıma maliyetlerinin düşük olması gibi olumlu yönleri bulunmaktadır (Ersoy, 2004:6).

Kömür kullanımının olumsuz yönleri ise, çevreye zarar vermesi (BP, 2022:61), bunun sonucunda küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olmasıdır. Ayrıca kömür hava kirliliğine sebep olmaktadır. Hava kirliliği sebebiyle ise dünyada birçok insan kalp rahatsızlığı, akciğer kanseri ve birçok solunum yolu rahatsızlığı yaşamaktadır (WHO, 2022).

1.2.1.3. Doğalgaz

Petrolün türevi olan, yer kabuğu içinde yer alan fosil kaynaklı bir çeşit yanıcı gaz karışımına denir. Herhangi bir kokusu olmadığı için doğalgazın sızıntısı fark edilemeyeceği için özel olarak kokulandırılırlar. Fosil yakıtların içerisinde petrolden sonra ikinci sırada yer almaktadır (Ziyadlı, 2021:6).

Doğalgaz, dünyada Antarktika hariç her yerde üretilmektedir (Kantarmacı, 2019:28). Doğalgaz çeşitli şekillerle oluşabilmektedir. Kaya ve çatlak gibi büyük boşluklar arasında oluşan gaza geleneksel doğalgaz denilmektedir. Kumtaşı ve farklı kaya türleri üzerinde küçük gözenekler halinde oluşan doğalgaza kaya gazı veya sıkı gaz denilmektedir. Ham petrol kalıntıları ile oluşan gaz türüne ise ilişkili doğalgaz denilmektedir. Doğalgaz madenleri genel olarak karada bulunmasına rağmen okyanus derinliklerinde de oluşabilmektedirler (IRENA, 2021).

AB ülkelerinde diğer fosil yakıtlarda olduğu gibi doğalgaz kullanımında da sınırlamaya gidilmektedir. Sıfır karbon hedefi olan gelişmiş ekonomilerde 2030 yılına kadar doğalgaz kullanımının %30 düşürülmesi, 2050 yılında ise neredeyse tamamen ortadan kaldırılması düşünülmektedir. AB’de bugün ısıtma talebinin %45’i doğalgazdan karşılanırken 2050 yılında bu talebin %12’sinin doğalgazdan karşılanacağı düşünülmektedir (IEA, 2021b:260).

Doğalgazın bazı olumlu yönleri şu şekilde sıralanabilir; diğer fosil enerji kaynaklarına göre çevreye daha duyarlı olması (hava kirliliğine sebep olmaması ve doğaya zarar vermemesi), herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın kullanıma hazır olması, gaz halinde olmasından dolayı hava ile daha iyi bir karışım oluşturmaya ve kolay yanmasıdır. Ayrıca gaz halinde olduğu için daha hassas kontrol edilebilirler (TMMOB, 2006:7). Öte yandan depolanabilir olması, boru hatlarıyla teslim edilebilmesi, sıvılaştırılarak gemi ile sevk edilebilmesi doğalgazın olumlu yönleri arasında sayılabilir (IEA, 2022a).

Doğalgazın bazı olumsuz yönleri ise; diğer fosil enerji kaynaklarından daha temiz olsa da çevre kirliliğine sebep olması, tüm coğrafyalarda bulunamamasıdır. Bu yüzden bazı ülkeler doğalgazda dışa bağımlı konumda olabilirler.

1.2.2. Nükleer Enerji

Nükleer enerji, bir atomun çekirdeğindeki enerji olarak tanımlanır. Atom ise gaz, sıvı ve katıları oluşturan moleküllerdeki küçük parçacıklara denir. Bir atom, elektronlarla kaplı proton ve nötron barındıran çekirdeğe sahiptir. Protonlar pozitif elektrik yükü taşıırken, elektronlar negatif elektrik yükü taşırlar. Nötronların ise elektrik yükü yoktur. Çekirdeği birlikte tutan bağlarda çok büyük bir enerji bulunur. Bu nükleer enerji, bu bağlar kırıldığında serbest bırakılabilir. Bağlar nükleer fisyon aracılığıyla kırılabilir ve bu enerji

elektrik üretmek için kullanılabilir (EIA, 2021b). Nükleer enerjinin elde edilmesi sırasında birtakım maddeler açığa çıkmaktadır. Bunlar; termonükleer enerjiyi çalıştıran sıcaklık, uranyum olmayan reaktör maddeleri, uranyum bileşikler atıklar, parçalanma ürünleri ve radyasyondur (Temurçin ve Aliagaoglu, 2003:26).

Nükleer enerji; atomik parçacıkların birleşme reaksiyonu (füzyon), atım çekirdeğinin zorlanmış olarak parçalanması (filyon) ve çekirdeğin parçalanarak daha kararlı hale gelmesi (yarılanma) şeklinde üç reaksiyondan biri ile oluşmaktadır. Füzyon tepkimeye örnek olarak güneş patlamaları, filyon tepkimeye örnek olarak nükleer santrallerde kullanılan teknolojiler ve atom bombası teknolojisi örnek gösterilebilir (Şeker ve Çerezci, 2000:89).

Nükleer enerjinin birtakım olumlu ve olumsuz yönleri bulunmaktadır. Nükleer enerjinin olumlu yönleri; rekabetçi olması, sürdürülebilir olması ve erişilebilir olmasıdır. Ayrıca nükleer santraller işletme sırasında çevre kirliliğine sebep olmaz. Bu yüzden geçmişten günümüze bir sorun haline gelen ve etkisi günümüzde daha fazla hissedilen iklim değişikliği ile mücadelede nükleer santrallerin olumlu katkısı bulunmaktadır. Öte yandan nükleer santrallerin bir birim elektrik üretimi için gerekli kurulum alanı diğer santrallere göre daha küçüktür. Bu sayede gerek tarım gerekse yerleşim alanlarına daha az etkide bulunmaktadır. Nükleer santrallerin diğer bir olumlu yönü hava şartlarından etkilenmeksizin tüm zamanı verimli bir şekilde kullanarak güvenlik elektrik üretilmesini gerçekleştirebilir. Üretilen elektriğin maliyetine bakıldığında nükleer yakıtın toplam maliyet içindeki payının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu sayede elektrik fiyatları, yakıt fiyatındaki dalgalanmalardan etkilenmez (ETKB, 2022).

Nükleer enerjinin olumsuz yönleri ise şu şekilde sıralanabilir; Enerji üretimi için santral kuruluş maliyetinin yüksek olması, radyasyon yayması, yayılan radyasyonu kontrol edebilmek için daha fazla güvenlik önlemi gerektirmesidir. Ayrıca, enerji üretimi sonucunda açığa çıkan radyoaktif maddelerin korunması ve muhafaza edilmesindeki zorluklar bulunmaktadır. Öte yandan santrallerin fay hattı üzerinde bulunan yerlerde kurulamaması gerekmektedir (Ergün ve Atay Polat, 2012:38).

1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, doğal süreçlerle sürekli olarak yenilenen enerji akışları olarak tanımlanabilir. Bu yönüyle sınırlı miktarlarda olan fosil yakıt ve nükleer yakıtlardan farklıdır (Hersh, 2006:74). Yenilenebilir enerji tüketildiğinden daha yüksek oranda yenilenen doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Bu yüzden bazı kaynaklarda tükenmeyen enerji olarak tanımlanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik (hidrolik) enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi ve deniz kaynaklı enerjiler (dalga, gelgit, okyanus ısı enerjisi dönüşümü, akıntı) olarak sınıflandırılabilir.

1.3.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan füzyon süreciyle bir diğer ifadeyle hidrojen gazının helyuma dönüşmesiyle açığa çıkan ısıma enerjisine denir (ETKB, 2022). Tüm enerji kaynakları arasında en fazla olanıdır. Bulutlu havalarda bile güneş enerjisinden faydalanılabilir. Dünyanın güneşten aldığı enerjinin hızı, insanlığın enerji tüketme hızından yaklaşık 10.000 kat daha fazladır (UN, 2022).

Güneş, atmosferin fiziki oluşumlarını da etkileyen sonsuz bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi madde ve enerji akışlarını sağlamak ve bütün enerji kaynaklarının temelini oluşturmaktadır. Nitekim fosil yakıtların oluşumunda güneş enerjisinin payı bulunmaktadır. Fosil yakıtlar biyokütle özelliği taşıyan maddelerde birikmiş olan güneş enerjisinden ortaya çıkmaktadır. Güneş enerjisi ısıtma ve elektrik üretme gibi amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır (Varınca ve Gönüllü, 2006:270). Güneş enerjisiyle üretilen elektrik üretimi hem ithal enerji talebini azaltmakta hem de termik santrallerde yayılan emisyonu düşürmektedir (Çıra ve Cevheroğlu, 2009:168).

1.3.1.1. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Güneş enerjisinden neredeyse yaşamın her alanında faydalanılabilir. Güneş, başta ısı ve elektrik etkisiyle, doğal etkileriyle dünyanın enerji döngüsünün en önemli bileşenidir. Güneş enerjisi, tarım alanında ve enerji santrallerinde kullanılabileceği gibi günümüzdeki en yaygın kullanım alanları binalardır. Bu binalarda ısıtma ve elektrik ihtiyacının büyük bir kısmı güneş enerjisi ile karşılanmaktadır (Yıldırım ve Teke, 2013). Güneşin etkisini

fazla gösterdiği bölgelerde çatılarda güneş panellerinin yaygın olarak kullanıldığı ve güneş enerjisinden su ısıtma için faydalandığı görülmektedir. Ayrıca binaların elektrik ihtiyacını karşılamak üzere bina çatılarına güneş paneli yerleştiren birçok firma bulunmaktadır.

Hesap makinelerinin, mobil telefonların, uydu alıcılarının, karavanların, meteoroloji istasyonlarının, helikopter alanı aydınlatmalarının, tarımsal sulama uygulamalarının, sokak ve bahçe aydınlatmaları, radyo ve televizyonların güneş enerjisi uygulamaları bulunmaktadır (Yıldırım ve Teke, 2013). Güneş enerjisini parabolik aynalar vasıtasıyla odaklayarak, oldukça yüksek sıcaklıklara çıkmak mümkündür. Bu yöntem kullanılarak 1950'li yıllarda Fransa'da ilk güneş fırını yapılmıştır. Bu yöntemle yapılan fırınlarda sıcaklık 3500 °C'yi bulabilmektedir. Öte yandan güneş enerjisinden uydularda ve uzay uçuşlarında da yararlanılabilmektedir. Uydunun veya roketin kanatlarına yerleştirilen güneş pilleri güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmektedir (Aygün, 1989:22).

Güneş enerjisinden yararlanmak miktarı güneş radyasyonunun varlığı ve yoğunluğuna, bulunulan yere ve günün saatine göre değişir. Genel olarak güneş radyasyonunun yoğunluğunun en fazla olduğu zaman güneşin en yüksek konumda (öğle vaktinde), havanın açık ve bulutsuz olduğu günlerdir (EIA, 2021b).

1.3.1.2. Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu gibi güneş enerjisinin en önemli avantajları çevresel alandadır. Güneş enerjisinin bazı avantajlarını şu şekilde sıralamak mümkündür (Tsoutsos vd., 2005:289):

- Sera gazı emisyonlarının azaltılması
- Toksik gaz emisyonlarının önlenmesi,
- Bozulmuş olan arazilerin ıslah edilmesi,
- Elektrik şebekelerinin gerekli iletim hatlarının azaltılması,
- Su kalitesinin iyileştirilmesi,
- Sosyoekonomik açıdan bakıldığında bölgesel ve ulusal enerji bağımsızlığının sağlanması,

- Önemli iş fırsatlarının sağlanması,
- Enerji arzının çeşitlendirilmesi ve güvenliği,
- Enerji piyasalarının serbestleştirilmesi,
- Özellikle gelişmekte olan ülkelerde kırsal alanlarda elektrik sağlanmasıdır.

Sonuç olarak güneş enerjisinin iki önemli avantajı bulunmaktadır. Birincisi, güneş enerji sistemleri hava kirleticisi maddeler veya karbondioksit üretmezler. İkincisi ise binalarda güneş enerjisi sistemlerinin çevreye etkisi minimum düzeydedir (EIA, 2021b).

Güneş enerjisinden elektrik üretmek amacıyla kurulan tesislerin ortalama 5-6 yıl içerisinde maliyetlerini karşılar ve bu süreden sonra sadece kar elde etmeye başlar. Ayrıca güneş enerjisi tesislerinin bakım masrafları oldukça düşüktür. Öte yandan belirli bir coğrafi bölgenin yıllık güneş enerjisi potansiyelini ortalama olarak tespit etmek mümkündür. Bu sayede enerji üretiminde ortalama dışında dalgalanmalar olmaz. Diğer bir avantajı ise güneş enerji tesisinde kullanılan malzemelerin çevresel koşullara dayanıklı olması ve olumsuz etkilenmemesidir. Yakıt ihtiyacının olmaksızın sürekli üretimde bulunabilmesi, modüler olması ve oldukça kısa bir zamanda (yaklaşık bir yıl) devreye girebilmesi ve uzun yıllar sorunsuz çalışan temiz bir enerji kaynağı olması da güneş enerjisinin diğer avantajları arasında sayılabilir (Uyar, 2016).

Güneş panellerinin üretim maliyetleri son on yılda çarpıcı bir şekilde düşmüştür. Bu yüzden güneş panelleri sadece uygun fiyatlı değil, aynı zamanda en ucuz elektrik elde etme yöntemi haline gelmiştir. Öte yandan güneş panelleri yaklaşık 30 yıllık bir ömre sahiptir. Bu da güneş enerjisini oldukça avantajlı hale getirmektedir (UN, 2022).

Güneş enerjisinin dezavantajları ise başlangıç yatırım maliyetlerinin oldukça yüksek olması ve güneş pillerinin düşük verimle çalışmasıdır (Şenpınar ve Gençoğlu, 2006:50). Güneş pillerinin verimi düşük olduğu enerji üretmek için gerekli olan tesis alanı geniş olmalıdır. Bunun sonucunda gerek tarım arazilerini gerekse doğal yaşam alanlarını işgal edebilir. Ayrıca üretilen enerjideki mevsimsel farklılıklar öngörülebilir tahminleri engelleyebilir. Yaz aylarında daha fazla enerji üretilirken kış aylarında ise hem güneşten enerji toplayabilmek hem de bu enerjiyi depolayabilmek daha zor olacaktır. Sonuç olarak güneş enerjisinin iki önemli dezavantajı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi dünya yüzeyine ulaşan güneş ışığı miktarı farklılık gösterir. Güneş ışığı miktarı konuma,

mevsime, günün hangi saatinde olunduğuna ve hava koşullarına göre değişebilir. İkinci dezavantajı ise dünya yüzeyinin yüzölçümü başına düşen güneş ışığı miktarı nispeten küçüktür. Bu yüzden kayda değer miktarda enerji üretmek için geniş bir yüzey alanı gerekmektedir (EIA, 2021b)

1.3.2. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, güneşten kaynaklanan radyasyonun yer yüzeyini farklı düzeylerde ısıtmasından kaynaklanmaktadır. Yer yüzeyindeki ısı farklılıkları, hava sıcaklığı, nem ve basıncın farklı olmasına neden olmaktadır. Hava basıncındaki farklılık ise havanın hareketine neden olmaktadır. Coğrafi farklılıklar ve yeryüzündeki homojen olmayan ısınma, zamansal ve yöresel olarak rüzgârın özelliklerini değiştirmektedir. Rüzgâr hız ve yön olarak iki değişken ile açıklanır. Rüzgârın hızı yüksek bölgelerde artar ve teorik olarak gücü hızının küpü ile orantılı olarak farklılık gösterir (ETKB, 2022).

Rüzgâr enerjisi ise bazı doğa olayları aracılığıyla hız enerjisine dönüşmüş güneş enerjisidir (Akusta, 2019:38). Rüzgâr enerjisi, karada, denizde ya da havada bulunan büyük rüzgâr türbinlerini kullanarak hareket eden havanın kinetik enerjisinden yararlanır. Rüzgâr enerjisi binlerce yıldır kullanılmaktadır. İnsanların başlangıçta yel değirmenleri ve yelkenli gemilerde bu enerjiden yararlandıkları görülmektedir. Daha sonra elektrik üretilmeye başlanmıştır. Fakat üretilen elektriği en üst düzeye çıkarmak için karada ve denizde rüzgâr enerjisi teknolojileri (daha uzun türbinler ve daha büyük motor çapları) son yıllarda gelişmiştir (UN, 2022). Fosil kaynakların daha yüksek verimliliğe sahip olması ve daha düşük maliyetli olması, sanayileşme döneminden bu yana yenilenebilir enerji teknolojilerinin yeterli düzeyde gelişmemiş olması rüzgâr enerjisinin geri planda kalmasının sebebi olarak görülebilir. Fakat fosil kaynakların belirli bölgelerde olması ve ülkelerin birbirine bağımlı olması bu kaynaklarda yaşanacak krizleri beraberinde getirmektedir. Ülkeler arasında savaş olması durumunda petrol veya doğalgaz sahibi ülke bu kaynakların ihracını durdurabilir. Öte yanda 1970’li yıllardaki gibi bir petrol krizi durumunda da bu kaynakların kullanımı mecburi olarak azaltılmak zorunda kalınabilir. Hem kriz sebebiyle hem de son yıllarda iklim değişikliğinden dolayı alınan çevresel önlemlerin etkisiyle günümüzde rüzgâr enerjisi gelişen ve tercih edilen bir kaynak haline gelmiştir (EIA, 2022).

1.3.2.1. Rüzgâr Enerjisinin Kullanım Alanı

Günümüzde rüzgâr enerjisi kullanılarak elektrik elde edilmektedir. Bu enerji rüzgâr türbinleri vasıtasıyla elde edilmektedir. İlk olarak rüzgâr türbini hareket halinde olan havanın kinetik enerjisini mekanik enerjiye çevirir. Daha sonra jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Rüzgâr türbinleri, elektrik enerjisi üretimine belirli bir rüzgâr hızında başlayabilir. Bir rüzgâr türbininde cut-in ve cut-out rüzgâr hızları arasında enerji üretilmektedir. Günümüzde rüzgâr türbinlerinin cut-in hızları 2-4 m/s, cut-out hızları 23-35 m/s arasında değişmektedir. Rüzgâr türbinlerinin nominal hızı ise 10-15 m/s dir. Rüzgâr enerjisi üretilirken sistemin zarar görmemesi için belirli bir rüzgâr hızından itibaren rüzgâr türbinleri otomatik olarak kapanır. Maksimum olan bu hıza cut-out adı verilir (ETKB, 2022).

Rüzgâr türbinleri şebeke bağlantıları ve kuruluş özelliklerine göre üç gruba ayrılabilir. Birinci grupta ulusal elektrik şebekesine bağlı olan türbinlerdir. Bu türbinler, üretilen veya arta kalan elektriği ana şebekeye aktarmaktadır. İkinci grupta ulusal elektrik şebekesinden bağımsız olan rüzgâr türbinleri bulunmaktadır. Bu türbinler ise belirli bir bölgenin elektrik ihtiyacını doğrudan karşılamak üzere inşa edilmişlerdir. Son grupta yer alan türbinler ise uzak yerlerde kurulan ve devamlı olarak çalışması gereken sistemlerin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuş olan rüzgâr türbinleridir. Bunlara örnek olarak deniz fenerleri, meteoroloji istasyonları örnek olarak gösterilebilir (Akusta, 2019:39). Rüzgâr türbinleri için ideal olan yerler, yıllık ortalama rüzgâr hızının küçük rüzgâr türbinleri için 4 m/s, şebeke ölçekli türbinler için 5,8 m/s olduğu yerlerdir. Engebeli olmayan ve pürüzsüz olan tepeleri açık ovalar ve denizler, rüzgârı huni şekline getiren ve yoğunlaştıran dağ boşlukları uygun yerler arasında sayılabilir (EIA, 2022).

1.3.2.2. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Genel olarak enerji üretmek amacıyla rüzgârın kullanılması, diğer birçok enerji kaynağına kıyasla çevre üzerinde daha az etkiye sahiptir. Rüzgâr türbinleri havayı ve suyu kirletebilecek emisyonlar salmazlar ve soğutma için suya ihtiyaç duymazlar. Ayrıca fosil yakıtlardan üretilen elektrik miktarını önemli ölçüde azaltabilir. Bu sayede karbondioksit emisyonlarını ve genel olarak toplam hava kirliliğini azaltır. Bu olumlu yönlerine rağmen rüzgâr türbinlerinin bazı olumsuz etkileri bulunmaktadır. Günümüz modern rüzgâr türbinleri fazla büyük olabilir ve görüntü kirliliğine yol açabilir. Öte yandan az sayıda da

olsa rüzgâr türbinlerinin alev aldığı ve bazılarının yağlama sıvısı sızdırdığı görülmektedir. Diğer bir dezavantajlı yönü ise ses kirliliğine yol açabilmesidir. Bazıları rüzgâr türbinin kanatlarının dönerken çıkardığı sesleri sevmeyebilirler. Ayrıca rüzgâr türbinleri kuş ve yarası ölümlerine neden olmaktadır. Bu ölümler bazı türlerin nüfusunda ciddi azalışa sebep olabilir. Rüzgâr enerjisi üretmenin bir diğer olumsuz yönü de karadaki rüzgâr türbini bileşenlerini yapabilmek için kullanılan malzemelerin üretilmesinin çevreyi olumsuz etkilemesidir. Rüzgâr enerjisinin diğer olumsuz yönü rüzgâr enerjisi üretmek için yapılan türbinde kullanılan malzemeleri üretmek için fosil yakıtların kullanılmış olabilmesidir. Rüzgâr türbinindeki malzemelerin çoğu yeniden kullanılabilir veya geri dönüşümü olan malzemeler olsa da çoğu yeni yapıldığı için ilk aşamada geri dönüştürülemez. ABD merkezli Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nda (NREL) araştırmacılar termoplastik reçine sistemi kullanılarak çevreye duyarlı rüzgâr türbini üretmeye yönelik çalışmalar yürütmektedir (EIA, 2021b). Öte yandan rüzgâr türbinleri radyo ve TV alıcılarında parazitlenmeye neden olurlar. Bu sebeple birçok Avrupa ülkesinde büyük rüzgâr türbinlerinin park alanları ve yerleşim yeri yakınlarına kurulması yasaklanmıştır (Özyurt ve Dönmez, 2005). Bu dezavantajlarına rağmen rüzgâr enerjisinin genel olarak çevre dostu olması, tükenme veya zamanla fiyatının artma riskinin olmaması, maliyetinin günümüz güç santralleriyle rekabet edebilecek düzeyde olması, bakım ve işletme maliyetlerinin düşük olması, teknolojisinin tesis edilmesi ve işletilmesinin basit olması ve işletmeye alınması işleminin kısa sürmesi rüzgâr enerjisini tercih edilebilir bir hale getirmektedir (ETKB, 2022).

1.3.3. Hidroelektrik (Hidrolik) Enerji

Hidroelektrik enerji, hareket halindeki suyun gücü ile üretilen elektrik enerjisidir. Suyun gücü kullanılarak sudaki potansiyel enerji kinetik enerjiye çevrilmektedir. Suyun akışı sonucu ortaya çıkan enerjidir. (Akusta, 2019:54). Bir diğer ifadeyle yüksekte olan suyun daha düşük bir yere hareket etmesindeki suyun enerjisinden yararlanılır. Barajlı hidroelektrik santralleri bir barajda depolanan suyu kullanırken, nehir tipi hidroelektrik santraller nehrin mevcut akışından gelen enerjiyi kullanır (UN, 2022). Üç tür hidroelektrik üretim tesisi bulunmaktadır. Birincisi, hidrolik gücün bir nehir akışıyla üretildiği nehir tipi hidroelektrik tesisidir. İkincisi, hidrolik gücün depolanmış olan suyun serbest bırakılmasıyla üretildiği baraj tipi hidroelektrik tesisidir. Üçüncüsü ise depolanan

suyun tekrar pompalanması için baraja yedeklendiği pompalı depolama tesisidir. Küçük ölçekli hidroelektrik santraller genellikle nehir kıyısında olurlar (Abolhosseini vd., 2014:5-6).

Hidroelektrik enerji santrallerinin diğer enerji kaynakları yerine kullanılmasının nedeni çevreye zararlı olmaması ve düşük potansiyel riske sahip olmalarıdır. Bu santraller çevreye duyarlı, temiz, verimli yakıt gideri olmayan, yenilenebilir olan, uzun ömürlü olan ve işletme giderinin oldukça düşük olduğu bir kaynaktır (ETKB, 2022). Aynı zamanda hidroelektrik santraller suyun doğal akışının olduğu her yerde kurulabileceği için dışa bağımlılığı oldukça düşürür. Bu sayede fiyat dalgalanmalarının önüne geçilebilir.

Tarihte hidrolik gücü ilk olarak Antik Yunanlılar tarafından tahıl öğütme işlemi için kullanılmıştır. Hidroelektrik enerji olarak ise Sanayi Devrimini takiben makine sanayi ve tekstil gibi farklı amaçlarla kullanıldığı görülmektedir. Günümüzde dünyanın en büyük hidroelektrik santrali 2008 yılında Çin'de açılan üç boğazlı barajdır (Kantarmacı, 2019:43-44).

Hidroelektrik enerji günümüzde elektrik üretim sektöründe en büyük yenilenebilir enerji kaynağıdır. Genel olarak düzenli yağışın olduğu durumlarda verimli çalışırlar. İklim kaynaklı kuraklıklardan ve yağışları etkileyen diğer değişikliklerden olumsuz etkilenebilir. Bunun yanı sıra hidroelektrik santrallerde ekosistemi olumsuz etkileyebilir. Bu yüzden yaygın görüş olarak uzak yerlerde yaşayanların ihtiyacını giderecek düzeyde küçük ölçekli hidroelektriğin daha çevre dostu olduğu düşünülmektedir (UN, 2022). Hidroelektrik enerji en büyük yenilenebilir enerji kaynağı olsa da dünyadaki su kaynaklarının tamamı etkin bir şekilde kullanılamamaktadır. İnsanların tarımsal sulamalar, içme suyu, elektrik gibi farklı amaçlarla kullanabileceği su miktarı sınırlıdır. Ayrıca küresel olarak elektrik tüketimi sürekli artış göstermektedir. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için hidroelektrik enerjinin geliştirilmesi ve üretilen enerjinin kullanımında tasarruflu olunması oldukça önemlidir (Gülay, 2008:65). Ancak hidroelektrik santrallerin ilk sabit maliyetinin yüksek olması ve çevresel kaygıların olmasından dolayı hidroelektriğin geliştirilmesi zordur. Ayrıca, hidroelektrik nüfusun yeniden yerleştirilmesine neden olabilir (Abolhosseini vd., 2014:4)

1.3.3.1. Hidroelektrik Enerjinin Kullanım Alanı

Hidroelektrik enerji elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu enerjinin en yaygın kullanım biçimi nehirler üzerinde barajlar yapılarak suyu biriktirmek ve biriken suyun potansiyel enerjisini türbinde kinetik enerjiye çevirerek elektrik enerjisi üretmektir. Bu amaçla hidroelektrik santraller kurulmaktadır (Koç ve Kaya, 2015:40).

Hidroelektrik santrali ilk kez 1882 yılında kurulmuştur. Geçmişten günümüze en fazla kullanılan enerji türlerinden biri haline gelmiştir. Dünya genelinde en büyük hidroelektrik santral ise 2012 yılında Çin’de kurulmuştur. Bu santral 15 nükleer enerji santralindeki enerji potansiyeline sahiptir. Hidroelektrik santraller mini, küçük, orta ve büyük ölçekli olarak kurulmaktadır. Büyük ve küçük santraller ulusal enerji ihtiyacı karşılamak için tasarlanmıştır. Mikro ve mini ölçekte kurulan santraller ise genellikle kırsal ve yerel kesimin elektrik ihtiyacını karşılamaktadır (Soylu, 2019:14-15).

Baraja sahip olan hidroelektrik santrallerinin genellikle birden fazla kullanım amaçları bulunmaktadır. Bu santraller (UN, 2022);

- Enerji üretmenin yanı sıra
- İçme suyu,
- Sulama suyu,
- Sel ve kuraklık riskine karşı kontrol amaçlı kullanılabilir.

Hidroelektrik enerji tarım, ev ve endüstriyel amaçlı kullanım için var olan su kaynağını kullanması nedeniyle oldukça caziptir. Ayrıca hidroelektrik temiz bir kaynak olup hem suyun hem de üretilen enerjinin depolanmasını sağlar (Abolhosseini vd., 2014:4).

1.3.3.2. Hidroelektrik Enerjinin Avantajları ve Dezavantajları

Hidroelektrik enerji temiz ve yenilenebilir olması yönünden çevreye uyumludur. Ayrıca hidroelektrik enerji verimliliği yüksek, yakıt gideri olmayan, uzun ömürlü ve dışa bağımlılığı azaltan bir kaynaktır (ETKB, 2022).

Hidroelektrik enerjinin diğer avantajları talep yükseldiğinde oluşan talebe cevap verebilmesidir. Bu sayede arz yeterli düzeyde tutulacağından fiyat dalgalanmalarının önüne geçilmiş olunur. Öte yandan hidroelektrik enerji tehlikeli bir kaynak değildir. Acil

bir durum olduğunda hızlı bir şekilde önlem alınarak durdurulabilmektedir. Ayrıca hidroelektrik enerji, ülkeler için yerli bir kaynak olup ithalat gerekliliği bulunmamaktadır. Hidroelektrik enerji birçok coğrafyada kolay bir şekilde üretilebilecek doğal bulunan bir kaynak olması açısından da avantajlı bir konumdadır. Özellikle baraj tipi olan hidroelektrik santrallere yapılan yatırımlar sadece hidroelektrik üretmeyi sağlamaz, ayrıca bu yatırım ile doğal afetlerden de korunabilir (Kantarmacı, 2019:44). Sel gibi doğal afet riski olduğunda bu santrallerden müdahale hızlı bir şekilde müdahale edilebilmektedir. Hidroelektrik enerjinin bir diğer avantajı enerji üretmesinin yanı sıra sulama için de kullanılması ve su kalitesini yükseltmesidir (Yılmaz, 2018:41). Özellikle kırsal bölgelerde halkın tarım ve içme suyu gibi ihtiyaçlarını karşılayabilir.

Hidroelektrik santrallerin öncesinde faydalanılamayan su, santralle birlikte ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır. Öte yandan hidroelektrik santrallerinin kuruluş, işletme ve onarım maliyetlerinin dışında hammadde gibi birtakım maliyetleri bulunmamaktadır (Şenpınar ve Gençoğlu, 2006:49).

Sağladığı faydalar ile karşılaştırıldığında hidroelektrik enerji diğer enerji kaynaklarına göre daha temiz, çevreye duyarlı ve güvenli bir enerji kaynağıdır. Bunların yanında hidroelektrik enerjinin birtakım olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Öncelikle hidroelektrik santral kurmak için yüksek düzeyde bir sermaye ihtiyacı bulunmaktadır. Santrallerin ilk sabit maliyetleri diğer bir ifadeyle kurulum maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca santrallerin kurulum süreleri uzundur. Öte yandan özellikle büyük baraj ve biriktirmeli projelerde inşaat aşamasında sosyal ve doğal çevre büyük ölçüde etkilenmektedir. Her inşaat faaliyetinde olduğu gibi proje alanının büyüklüğüne ve çalışanların duyarsızlığına bağlı olarak çevre olumsuz etkilenebilmektedir (Bulut, 2013:14-15). Hidroelektrik enerji üretmek için kurulan tesisler o bölgedeki yapıyı ve bölgenin habitatını değiştirmektedir (Kantarmacı, 2019:44).

Hidroelektrik santrallerin dezavantajlı durumlarından biri de üretebileceği enerji miktarının büyük ölçüde iklime ve diğer dış etkenlere bağlı olmasıdır. Yağış vb. doğal olaylar gerçekleşmediği zaman üretilebilecek enerji miktarı düşebilir. Öte yandan olağanüstü bir durum olduğunda bölgenin su altında kalabilmesi söz konusudur (Kantarmacı, 2019:44). Baraj kapaklarının kontrolsüz olarak açılması halinde su taşkınları olabilmektedir. Bunun sonucunda can ve mal kaybı meydana gelebilir (Yaylalı,

2009:127). Ayrıca Tesisin kurulması sonucu su altında kalan bitki ve hayvanlar vasıtasıyla üreyen bazı organizmalar sebebiyle su kalitesinde değişiklik görülebilir. Az da olsa zaman içinde çürüyen kalıntılardan metan gazı oluşabilir. Yine dolaylı bir etkisi de olsa; inşaat faaliyetlerinde kullanılacak çimento gibi maddelerin üretiminden kaynaklı karbon salınımı oluşur (Bulut, 2013:15). Hidroelektrik enerji üretiminin diğer bir olumsuz yönü baraj gölü sahası içinde yaşayan yerleşik halkın göç etmesine yol açmasıdır. Bunun sonucunda sosyal sorunlar ortaya çıkabilmektedir (Yaylalı, 2009:127).

1.3.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yeryüzünün çeşitli alt katmanlarında oluşan, güneş sisteminin ve ortaya çıkardığı olayların sonucunda basınçlı bir şekilde yeraltında bulunan mineralli ve sıcak su, buhar, kızgın toprak ve kayaların ısı enerjisidir. Diğer bir ifadeyle jeotermal enerji doğrudan doğruya yer kürenin ısısından elde edilen bir enerjidir (Akusta, 2019:43). Diğer bir tanıma göre jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısı ve basıncın oluşturduğu sıcaklıkların, bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve sıcak su, buhar ve gazlar ile yüzeye taşınan bir ısı enerjisidir. Bu ısı enerjisi çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş mineraller, gazlar ve çeşitli tuzlar içerebilmektedir (ETKB, 2022). Jeotermal enerji ile dünyanın içinde var olan erişilebilir termal enerji kullanılır. Jeotermal rezervuarlarından kuyular veya başka yollarla ısı enerjisi çıkarılır. Jeotermal rezervuarlar ikiye ayrılır. Bunlar; hidrotermal rezervuarlar ve gelişmiş jeotermal sistemlerdir. Doğal olarak yeterince sıcak ve geçirgen olan rezervuarlara hidrotermal rezervuarlar denir. Yeterince sıcak olan ancak hidrolik uyarımla iyileştirilen rezervuarlara ise gelişmiş jeotermal sistemler denir (UN, 2022).

1.3.4.1. Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları

Jeotermal enerjinin birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Kullanım alanlarını şu şekilde sıralamak mümkündür (Yılmaz, 2018:33):

- Genellikle 100 °C üstü sıcaklıklarda elektrik üretimi, konut, işyeri, fabrika gibi yerleri ısıtma sistemlerinde,
- Kimyasal ürün elde etmek amacıyla,
- Termal turizm ve tesis işletmeciliğinde,

- Fidancılık, çiçekçilik ve seracılık gibi işletmelerde,
- Tarımsal kurutma işlemlerinde,
- Endüstriyel amaçlı olarak kullanılabilir.

Jeotermal sahalarda açılan kuyulardan üretilen akışkan seperatörlerde buhar ve su olarak ayrıştırıldıktan sonra türbin ve jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisi üretilmektedir. Düşük sıcaklık, basınç ve debideki jeotermal kaynakların sera, organik tarım, ürün kurutma ve bölgesel ısı ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılabilir. Ayrıca insan sağlığına yararlı mineraller içerebilen düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklı sular sağlık amaçlı olarak ve termal turizm amacıyla kullanılmaktadır (ETKB, 2022).

Tablo 2: Jeotermal Enerjinin Sıcaklığa Göre Kullanım Alanları

Sıcaklık (°C)	Kullanım Alanları
180	Yüksek konsantrasyonlu solüsyonların buharlaştırılması, elektrik üretimi
170	Diatomitlerin kurutulması, ağır su ve hidrojen sülfid eldesi
160	Kereste kurutmacılığı, balık kurutmacılığı
150	Bayer's metodu ile alüminyum eldesi
140	Konservacilik, çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması
130	Şeker Endüstrisi, tuz endüstrisi
120	Distilasyonla temiz su elde edilmesi
110	Çimento kurutmacılığı
100	Organik maddeleri kurutma, yün yıkama ve kurutma
90	Balık kurutma (stok balık)
80	Yer ve sera ısıtmacılığı
70	Soğutma (alt sıcaklık limiti)
60	Sera, ahır ve kümes ısıtmacılığı
50	Mantar yetiştirme, balneolojik hamamlar
40	Toprak ısıtma
30	Yüzme havuzları, fermentasyonlar, damıtma
20	Balık çiftlikleri

Kaynak: Kaymakçıoğlu ve Çirkin (2005:1).

Jeotermal enerjinin kullanım alanlarına göre sıcaklık sınıflandırması farklı olsa da genel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Birincisi düşük sıcaklık olup 20 °C ile 70 °C arasında değişmektedir. İkinci grup orta sıcaklıkta olup bu sıcaklık değerleri 70 °C ile 150 °C arasındadır. Son olarak yüksek sıcaklıklı grup ise 150 °C ve üzerindeki sıcaklıktadır. Düşük ve orta sıcaklıkta bina, sera ve zirai olarak ısıtmacılık en yaygın kullanım şeklidir. Öte yandan orta sıcaklıktaki jeotermal enerji; yiyecek kurutulması, kâğıt ve dokuma sanayi, soğutma tesisleri, kâğıt ve dokuma sanayi ve dericilik gibi endüstriyel amaçlı

kullanılabilmektedir. Yüksek sıcaklıkta elde edilen akışkandan ise elektrik üretimi ve birtakım alanlarda kullanım gerçekleştirilmektedir (Kaymakçioğlu ve Çirkin, 2005:1).

1.3.4.2. Jeotermal Enerjinin Avantajları ve Dezavantajları

Jeotermal enerjinin bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir (Mutlu, 2013:52; Meyers, 2016):

- Çevre dostu: Jeotermal enerjiden faydalanmanın birkaç çevresel maliyeti vardır. Fakat jeotermal enerji büyük ölçüde çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Enerji santralinin karbon ayak izi minimum düzeyde görülmektedir. Ortalama bir jeotermal enerji santralinin ürettiği her megavat saat elektrik için yaydığı karbon salınımı tipik kömür santrallerinin yaydığı karbon salınımının sekizde biri kadardır.
- Yenilenebilir bir kaynak: Jeotermal rezervuarlar doğal olarak yenilenmektedir. Bazı bilim adamları jeotermal enerji rezervuarlarındaki enerjinin milyarlarca yıl süreceğini düşünmektedir. Fosil yakıtlar görece çok yakın zamanda bitecekken, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının süresi yakın gelecekte tükenmeyen bir kaynak olarak görülmektedir. Bu enerji kaynağının yaklaşık 4-5 milyar yıl daha kullanılabileceği düşünülmektedir.
- Potansiyel kapasite: Jeotermal enerji santrallerinin potansiyel enerjisinin 0,035-2 terawatt (TW) arasında olduğu tahmin edilmektedir.
- İstikrarlı bir kaynak: Bir jeotermal tesisinde ortalama güç çıkışı doğru şekilde tahmin edilebilir. Güneş ve rüzgâr enerjisi ile aynı düşük enerji dalgalanmalarına tabi değildir.
- Isıtma/Soğutma için kullanılabilmek: Son yıllarda jeotermal ısıtma ve soğutma kullanan ev sahiplerinin sayısında önemli bir artış vardır.
- Yakıt gerektirmez: Bir jeotermal tesis kurulduktan sonra herhangi madencilik veya nakliye faaliyeti gerektirmez.
- Küçük arazi ayak izi: Jeotermal enerji karbon ayak izinin düşük olmasının yanı sıra kapladığı alan açısından da küçük bir alanı işgal etmektedir. Özellikle güneş enerjisinde büyük bir alana ihtiyaç varken jeotermal enerji büyük bir güç kaynağının arazi ayak izine sahiptir.

- Kararlı kaynak: Temel yük veya tepe gücü sağlayabilir.
- Ekonomik bir kaynak: Birçok alanda maliyet açısından rekabetçidir.
- Erişilebilir bir kaynak: Çoğu yerde bir miktar jeotermal enerji bulunmaktadır.
- Arzı çoktur: Diğer enerji türlerinde meydana gelen herhangi kıtlık veya benzer sorunlar jeotermal enerjide görülmez.
- Tasarruf sağlayan bir kaynak: Jeotermal enerjiyi ısıtma ve soğutma amacıyla kullanmak isteyen ev sahiplerinin sayısında büyük bir artış yaşanmıştır. Sonuç olarak evleri ve ofisleri ısıtmak için daha az enerji kullanılmış ve önemli bir tasarruf sağlanmıştır. İlk masraftan sonra, ısıtmada %30-60, soğutmada ise %25-50 tasarruf sağlayan bir kaynaktır. Bu sayede birkaç yıl içinde maliyetini amorti edebilmektedir.
- Hava koşullarının ve ekonomik krizlerin etkisine maruz kalmaz.
- Güvenli bir enerji kaynağı: Patlama, zehirlenme ve yanma gibi tehlikeli yönü yoktur.

Jeotermal enerjinin dezavantajlı yönleri ise şu şekilde sıralabilir (Ataman, 2007:128; Meyers, 2016):

- Potansiyel emisyonlar: Dünya yüzeyinin altındaki sera gazları potansiyel olarak yüzeye ve atmosfere göç edebilmektedir. Jeotermal kaynaklar az da olsa kükürt dioksit, silika emisyonlarına sebep olabilir, cıva, arsenik ve bor gibi ağır metaller içerebilir.
- Arazide deprem riski: Jeotermal enerji santralleri bulunduğu arazinin stabilitesini olumsuz etkileyebilir. Ocak 1997'de İsviçre'de jeotermal enerji santralinin inşası, 3,4 büyüklüğünde bir depremi tetiklemiştir.
- Elektrik için yüksek sabit maliyet: 1 megawatt (MW) enerji santrali için toplam maliyetler ortalama 2-7 milyon dolar arasındadır.
- Isıtma ve soğutma sistemlerinde yüksek ön maliyet: Ortalama büyüklükteki bir ev için, jeotermal ısı pompalarının kurulumu 10.000-20.000 dolar civarındadır. Bu maliyetlere göre 5-10 yılda kendini amorti edebilir.

- Bulunduğu konuma özgüdür: İyi jeotermal rezervuarların bulunması zordur. İzlanda ve Filipinler elektrik talebinin yaklaşık üçte birini jeotermal enerji ile karşılamaktadır. Başlıca jeotermal alanları genellikle nüfus merkezlerinden uzaktadır.
- Dağıtım maliyetleri: Jeotermal enerji uzun mesafelere taşınırsa yüksek fiyatlara ulaşabilir.
- Sürdürülebilirlik sorunu: Bazı araştırmalar, sıvının değiştirilmesinden daha hızlı çıkarılması halinde rezervuarların tükenebileceğini göstermektedir. Bu, jeotermal enerjinin jeotermal enerji santrallerinden farklı olarak kullanıldığı konutlarda jeotermal ısıtma ve soğutma için bir sorun değildir.
- Güç verme maliyeti: Jeotermal ısı pompalarının bir güç kaynağına ihtiyacı vardır.
- Enerjisi tükenbilir: Jeotermal enerjiyi kontrollü ve dikkatli şekilde kullanmak gerekir. Isı doğru bir şekilde çıkarılmazsa, tükenmeye başlar. Ayrıca uygun şekilde dağıtılmaması ve kullanılmaması halinde başka sorunlara neden olabilir.
- Suyun kirlenmesi: Jeotermal enerji kaynaklarından elde edilen su genellikle aşındırıcı olan ve kirlilik yayan mineraller içerir. Akışkan paslanmaya, kireçlenmeye ve çürümeye neden olabilir. Bunun sonucunda içerdiği bor sebebiyle yüzey suları kirlenebilir.

1.3.5. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, bir türe ait olan veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak tanımlanabilir. Farklı bir tanıma göre biyokütle bir organik karbon olarak kabul edilmektedir (ETKB, 2022). Biyoenerji ise ısı ve enerji üretimi için odun, odun kömürü, gübre ve diğer gübreler gibi biyokütle adı verilen çeşitli organik malzemelerden ve sıvı biyoyakıtlar için tarımsal ürünlerden üretilir (UN, 2022).

Başlıca biyokütle kaynakları şu şekilde sıralanabilir (ETKB,2022):

- Bitkisel biyokütle kaynaklar
 - Yağlı tohumlu bitkiler (kanola, Ayçiçek, soya vb.)
 - Şeker ve nişasta bitkileri (patates, buğday, mısır, şeker pancarı vb.)
 - Elyaf bitkileri (kenevir, miskantus, sorgum, keten, kenaf vb.)

- Protein bitkileri (fasulye, bezelye vb.)
- Bitkisel ve tarımsal atıklar (dal, kök, saman, sap, kabuk vb.)
- Orman ve Orman ürünlerinden elde edilen biyokütle kaynakları
- Odun ve orman atıkları (enerji bitkileri, çeşitli ağaçlar ve enerji ormanları)
- Hayvansal biyokütle kaynakları
- At, sığır, tavuk, koyun gibi hayvanların dışkıları, hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar ve mezbahane atıkları
- Organik çöpler, şehir atıkları ve endüstriyel atıklardan elde edilen biyokütle kaynakları
- Dip çamurları, kâğıt, kanalizasyon, gıda ve sanayi atıkları, evsel ve endüstriyel atıklar, büyük sanayi tesisleri ve belediye atıkları

Biyokütle enerjisi hem genel hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından dünya enerji kaynaklarına önemli bir katkı yapma potansiyeline sahip bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Günümüzde dünya taşımacılığının yaklaşık %3'üne, dünya birincil enerjisinin ise %10-14'üne katkı sağlamaktadır. Buna göre 2050'de %30-40'a kadar katkıda bulunma potansiyelinin olduğu düşünülmektedir (Rosillo-Calle, 2016:1933).

1.3.5.1. Biyokütle Enerjisinin Kullanım Alanları

Biyokütle enerjisi, elektrik, ısı ve ulaşım alanında hem modern hem de geleneksel olarak birden fazla enerji oluşturarak çevresel ve sosyoekonomik fayda sağlamaktadır. Biyokütle türlerini ve farklı şekilde kullanım alanlarını ayırt etmek oldukça önemlidir. Biyokütle, tarihsel olarak insanlık için ana enerji kaynağı olma özelliğine sahiptir. Günümüzde, geleneksel-tarihsel rolünden sıyrılarak giderek daha modern bir enerji kaynağı olma yönüne güçlü bir geçiş vardır. Gelecekteki potansiyel katkısı konusunda bir fikir birliği olmasa da gelecekteki enerji senaryolarının önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Biyokütle enerjisi giderek arazi kullanımı, gıda güvenliği, biyoçeşitlilik, çevre, iklim değişikliği, düşük karbon emisyonu, sürdürülebilir kalkınma ve benzeri konularla iç içe görülmeye başlanmıştır. Biyokütle enerjisi kullanımı fosil yakıtların, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra birçok teknolojik gelişmeyle de güçlü bir şekilde bağlantılıdır. Biyokütle enerjisi bazıları için sorunun bir

parçası olarak düşünülse de enerji talebinin giderek arttığı bir dünyada enerji çözümünün bir parçası olarak görülmelidir. Küresel olarak doğal kaynaklar coğrafi olarak farklı yerlerde olmasına rağmen biyokütle enerjisi dünya enerji talebine büyük katkı sağlayabilir. Coğrafi farklılık sorunu kısmen uluslararası biyoenerji ticareti ile hafifletilebilir (Rosillo-Calle, 2016:1933-1934).

Artan nüfusun ve sanayileşmenin etkisiyle çevre kirliliği giderek artmaktadır. Gündelik hayatta insanoğlunun en basit faaliyetleri sonrasında dahi birtakım atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların ortadan kaldırılması için geri dönüşüm faaliyetleri önem kazanmıştır. Kullanılıp atılmış maddelerden yeni ürünler üretilmesi halinde atık depolama sorunu ortadan kalkacak, çevre korunmuş olacak ve kaynaklar israf edilmemiş olacaktır. Bu konuda belediyeler atıkların geri dönüşümü için birtakım faaliyetler yürütmektedirler (Şengelen, 2016:21).

Çoğunlukla biyokütle, kırsal alanlarda yemek pişirme, aydınlatma ve mekân ısıtma için, genellikle gelişmekte olan ülkelerdeki daha yoksul nüfuslar tarafından kullanılmaktadır (UN, 2022).

Biyokütle enerjisi bitkisel, hayvansal ve organik atıklar (şehirlerde insan kaynaklı ve endüstri kaynaklı atıklar) olarak üç kısma ayrılabilir. Günümüzde en bilinen ve kullanılan biyoyakıtlar; biyodizel, biyogaz ve biyoetanoldür. Bu enerji kaynaklarının kullanım alanları ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre farklılık gösterebilmektedir. Gelişmiş ülkelerde sıvı ve gaz yakıt ile elektrik üretmek amacıyla kullanılırken, az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde ısın ve pişirme amacıyla biyoyakıtlardan yararlanılmaktadır (Akusta, 2019:50).

Başlıca biyotakıt türleri şu şekilde sıralanabilir (Rutz ve Janssen, 2007:37-122):

1.3.5.1.1. Biyoetanol

Etanol üretimi için birçok farklı hammadde kullanılabilir. Genellikle şeker, nişasta veya selüloz gibi şekere dönüştürülebilen maddelerden üretilmektedir. Etanol üretimi için şeker pancarı ve şeker kamışı örnek maddeler olarak gösterilebilir. Bu maddeler yüksek oranda şeker içerirler. Bu şekerler ise kolayca fermente edilebilirler. Bu madde genellikle yakıtlara karıştırılarak yakıtın verimliliğini yükseltir. Aynı zamanda yakıtın emisyon

değerlerini düşürürler. Böylece yakıt kullanımından kaynaklı çevre kirliliğinin azalmasını sağlayabilir.

1.3.5.1.2. Biyodizel

Lipit kaynaklı biyoyakıtlar içerisinde bulunur. Genel olarak lipit kaynaklı biyoyakıtlar saf bitkisel yağ ve biyodizel olarak ikiye ayrılır. Biyoyakıtın ilk işlem adımı üretilimdir. Daha sonra yağ çıkarma işlemine geçilir. Bunları üretmek için birçok farklı hammadde türleri kullanılabilir. Kolza tohumu, soya fasülyesi gibi yağlı tohumların yanı sıra mikroalg, hayvansal yağlar ve atık yağlar gibi birçok hammadde seçeneği bulunmaktadır. Biyodizel, petrol içermeyen bir yakıt türü olup hem saf halde kullanılabilir hem de petrolle karıştırılarak kullanılabilir. Biyodizelin yakıt tüketimi dizelin tüketimine yakındır. Aynı zamanda biyodizel partikül maddeler, karbonmonoksit ve hidrokarbonlar gibi hava kirliliğini azaltır. Ayrıca kükürt içermediğinden sülfür (kükürt) içermediğinden sülfür dioksit (kükürt dioksit) emisyonunu azaltır.

1.3.5.1.3. Biyokütleden Sıvıya Yakıtlar (BTL)

Gazdan sıvıya (GTL) ve kömürden sıvıya (CTL) olarak ikiye ayrılır. Bunlar sentetik yakıtlardır. Bu yüzden BTL yakıtlara “synfuel” de denilmektedir. BTL yakıtlar tarımsal kalıntılar, saman, atık odun gibi çeşitli bitkisel kaynaklardan üretilebilmektedir.

1.3.5.1.4. Biyogaz (Biyometan, Biyohidrojen)

Biyogaz, organik maddelerin (hayvansal ve bitkisel) oksijensiz ortamda fermentasyonu ile ortaya çıkan, rengi ve kokusu olmayan, hafif, çoğunlukla metan ve karbondioksitten oluşan gazdır. Biyogaz en temiz ve en verimli biyoyakıt türüdür.

Biyoyakıtların kullanıldığı bazı ürünler şu şekilde sıralanabilir (EERE, 2022):

1.3.5.1.5. Yakıt

Benzin istasyonundan her yakıt alındığında muhtemelen biyoyakıt pompalanır. Örneğin; ABD’deki benzinin %98’inden fazlası, farklı bitki materyallerinden yapılan yenilenebilir, yerel olarak üretilen bir yakıt olan etanol içermektedir. ABD, mısır hasadı sayesinde hacim olarak dünyanın bir numaralı etanol üreticisidir. Etanol yakıtta oktanı artırmak ve hava kirliliğini azaltmak amacıyla benzinle karıştırılmaktadır. Aynı zamanda ithal petrole

olan bağımlılığı azaltmak için benzin arzını artırma ve ekonomiyi canlandırmada önemli rol oynar.

1.3.5.1.6. Kozmetik ve Parfümler

Biyobazlı hammaddeler şampuan, cilt kremi, maskara ve benzeri kişisel bakım ürünü üretmek amacıyla kullanılabilir. Örneğin; aseton, bitki şekerlerini fermente ederek üretilir. Öte yandan kişisel bakım malzemelerinde kullanılan palmitik asit, mikroorganizmalarda ve bitkilerde bulunan en yaygın doymuş asitlerden biridir.

1.3.5.1.7. Gıda Katkı Maddeleri Ve Besin Takviyeleri

Algler, dönüm başına beş bin galon petrol üretebilirler. Alglerden toplanan yağ, yenilenebilir yakıtlara dönüştürülebilir veya çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Örneğin; birçok besin takviyesi markası, balık yağlarında bulunan omega-3 yağ asitlerini doğrudan alglerden elde etmektedir. Ayrıca bazı gıda aromalarının üretiminde de biyokütleyle rastlanabilir.

1.3.5.1.8. Deterjanlar ve Temizlik Ürünleri

Deterjanların ve temizleyicilerin gücü biyokütleden üretilen iki kimyasal maddeden (yüzey aktif maddeler ve çözücüler) gelmektedir. Bu biyobazlı kimyasallar çamaşır deterjanlarında, sprey temizleyicilerde ve diğer temizlik ürünlerinde bulunmaktadır.

1.3.5.1.9. Plastikler ve Diğer Malzemeler

Biyobazlı plastikler, geleneksel plastiklerle aynı çeşitliliği ve güvenliğini sağlayabilmektedir. Fakat yenilenebilir, bitki bazlı malzemelerden üretilmektedir. Bazı firmalar bu yeni malzemeleri ürün hatlarına entegre etmeye başladı. Örneğin, Biyoenerji Teknolojileri Ofisi (BETO), bitki materyalini kullanarak sıvılar ve giysiler için kaplar üretmek amacıyla sentetik bir maddeye dönüştürmek için “BioForming” teknolojisini finanse etti. Coca-Cola firması %100 yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir “PlantBottle” ürününü sunmak için bu teknolojiyi kullanmaktadır.

1.3.5.2. Biyokütle Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Biyokütle enerjisinin en önemli avantajlarından biri yenilenebilir bir kaynak olmasıdır. Çünkü bu enerjiyi üretmek için kullanılan organik malzemeler, dünya üzerinde yaşam devam ettiği müddetçe bitmez. Çöp, kanalizasyon, ürün atıkları, odun ve gübre gibi organik maddeler yaşayanlar tarafından devamlı üretilir. Bu organik malzemelerin sürekli olması ve giderek büyümesi biyokütle enerjisinin yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir.

Biyokütle enerjisi üretmek için gerekli hammadde arzının sürekli olması bu enerjinin fiyatının dünyadaki krizlerden, savaşlardan, talepteki değişimlerden ve birtakım olağanüstü olaylardan önemli ölçüde etkilenmeyeceğini göstermektedir. Biyokütle enerjisinin fiyat dalgalanmalarının olmaması bu enerjinin sürdürülebilir olduğunu göstermektedir.

Biyokütle enerjisinin diğer avantajları şu şekilde sıralanabilir (ECAVO, 2016):

1.3.5.2.1. Karbon Nötrlüğü

Atmosfere salınan karbon miktarı, iklim değişikliğine önemli bir olumsuz etkide bulunmaktadır. Biyokütle ise bu olumsuz etkiyi azaltmaktadır. Çünkü yakıt, petrol ve diğer fosil yakıtlardan farklı olarak karbon döngüsünün doğal bir parçasıdır. Biyokütle yakıtlarından atmosfere salınan tek karbon, bitkiler tarafından emilen karbondur. Bu bitkiler yenilenirken, yeni gelenler aynı miktarda karbonu tekrar hapsederek yeni karbon oluşturmazlar. Bu yüzden karbon nötrlük meydana gelir. Bu durum biyokütle enerjisinin oldukça temiz enerji olduğunu gösterir.

1.3.5.2.2. Fosil Yakıtlara Daha Az Bağımlılık

Biyokütle enerjisi ne kadar çok kullanılırsa iklim değişikliğine ve diğer çevresel sorunlara yol açan fosil yakıtlara o kadar az bağımlı olunur. Mevcut biyokütle hammaddelerinin bol olması da fosil yakıtlardan daha fazladır. Bu durum biyokütleyi erişilebilir bir enerji kaynağı haline getirmektedir. Öte yandan petrol gibi yenilenemeyen maddeler yakıt olarak kullanılmadığı için, başka alanlarda kullanılabilme olanağı ortaya çıkar.

1.3.5.2.3. Çok Yönlülük

Biyokütle enerjisi mevcut çok yönlü alternatifler arasındadır. Her biri çeşitli uygulamalara sahip birçok farklı yakıt kaynağı olarak kullanılabilir. Örneğin; Biyokütle, araçlar için biyodizel oluşturmak üzere işlenebilir ya da metan gazı gibi farklı biyoyakıt üretmek için kullanılabilir. Ek olarak, odun ısı üretmek için kullanılabilirken bazı biyokütle formları tarafından üretilen buhar da enerji üretmek için türbinlere güç sağlayabilir.

1.3.5.2.4. Kullanılabilirlik

Biyokütle yakıtları bol miktarda bulunmaktadır. Güneş ve su gibi dünyanın her yerinde bulunabilir. Yine de bu bolluk biyokütle yakıtlarının sorumsuz olarak kullanılıp israf edilmesine sebep olmamalıdır.

1.3.5.2.5. Ekonomik Kaynak

Biyokütle yakıtları fosil yakıtlara göre daha düşük maliyetlidir. Petrol için sondaj yapmak veya boru hatları oluşturmak gerekirken, biyokütle yakıtlarının depolanmasıyla ilgili maliyetler oldukça düşüktür. Bu düşük maliyet tüketicilere de daha düşük fiyattan enerji temin edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca maliyetlerin düşük olması biyokütle enerji üreticileri için daha cazip bir imkân sunmuş olmaktadır.

1.3.5.2.6. İsrafı Azaltır

Üretilen atıkların çoğu biyolojik olarak parçalanabilir ve başka yerlerde verimli bir şekilde kullanılabilir olan bitkisel maddelerdir. Biyokütle enerjisi, genellikle çöplüklerdeki atıkları kullanır. Bu sayede yaşam alanlarının temizlenmesi ve doğal yaşamın devam etmesi sağlanmış olur. Ayrıca atıkların azalması sayesinde çöplükler oluşturmak için daha az alana ihtiyaç duyulur ve insanların yaşam alanları genişletilmiş olur.

1.3.5.2.7. Yerli Üretim

Biyokütle yakıtı enerji kontrolünü büyük şirketlerin elinden alabilir. İnsanların enerji şirketlerine bağımlılığını azaltır. Biyokütle enerjisi pratikte insanların doğada yerel düzeyde üretilip kullanabileceği bir enerjidir.

Biyokütle enerjisinin birçok avantajı olsa da tamamen kusursuz bir enerji kaynağı değildir. Diğer enerji kaynaklarında olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

Biyokütle enerjisinin bazı dezavantajları şu şekilde sıralanabilir (ECAVO, 2016; Greencoast, 2018):

1.3.5.2.8. Çevreye Zararlı Gazlar Yayar

Biyokütle enerjisi karbon nötr olsa da tamamen temiz bir enerji kaynağı değildir. Kömür gibi katı yakıtların yakılmasına benzer şekilde biyokütlenin yakılması da kirletici emisyonlara sebep olur. Bu yüzden biyokütle enerjisi hava kirliliğine sebep olabilir. Su gibi diğer yenilenebilir kaynaklarla karşılaştırıldığında bu büyük bir dezavantajdır.

Ormansızlaşma riskinin artması: Biyokütle üretimi kontrolsüz bir şekilde yapılırsa ormanların tükenmesine yol açabilir. Ormansızlaşmanın ise hem hayvanlar hem de insan habitatı ve ekosistemi üzerinde ciddi etkileri bulunmaktadır. Bu olumsuz etki büyük ölçekte biyokütle yakıtlarının kullanımını engelleyen önemli bir faktördür.

1.3.5.2.9. Verimsizlik

Biyokütle yakıtları doğal olmakla birlikte, benzin gibi fosil yakıtlar kadar verimli değildir. Biyoyakıtları daha etkili hale getirmek amacıyla genellikle az miktarlarda fosil yakıtlarla birleştirilir. Ancak bu durum fosil yakıtların kullanımını azaltma amacına ters düşmektedir.

1.3.5.2.10. Yüksek Maliyetler (Para ve Gerekli Alan)

Biyokütle yakıtlarının çıkarmanın maliyeti çoğu fosil yakıt türünden daha düşük olsa da genellikle diğer birçok yenilenebilir enerji formunun maliyetini aşmaktadır. Bazı durumlarda, güneş, su ve rüzgâr alternatifleri varsa, biyokütle projelerinin tamamlanma fiyatına değmediği düşünülmektedir. Biyokütle enerji santralini oluşturmak oldukça pahalıdır ve kurulması için çok fazla alana ihtiyaç duyulmaktadır. Öte yandan ulaşım ve diğer giderleri yüksektir. Enerji santralleri biyokütle enerji üretiminde halen yakıtı ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca genellikle enerji üretimi için şehir merkezine yakın yerler seçilir. Bu da daha fazla trafik ve kirlilik anlamına gelmektedir. Günümüzde biyokütle enerji üretimini daha etkin ve verimli hale getirmek için çalışmalar devam etmektedir.

1.3.5.2.11. Su İhtiyacı

Biyokütle enerjisinin dikkat edilmeyen bir diğer dezavantajı üretimde ihtiyaç duyulan su miktarıdır. Tüm bitkiler yaşamak için suya ihtiyaç duyarlar. Bu ihtiyaç sadece maliyetlerin artmasına neden olmakla kalmaz, aynı zamanda su kaynaklarının insanlar ve doğal yaşam için daha az kullanılabilir hale gelmesine neden olabilir. Ayrıca, biyokütle enerjisinden çok daha temiz olan alternatif bir enerji biçimi olan hidroelektrik enerjinin kaynağını kullanması da ayrı bir sorundur.

1.3.5.2.12. Gelişme Aşamasında Olması

Biyokütle enerjisinin sahip olduğu potansiyele ulaşmak için daha fazla çalışmalar yapılması gerekmektedir. Ancak dezavantajlarından dolayı alternatif bir kaynaklar arasında geri planda kalmaktadır. Güneş ve su kaynakları ile karşılaştırıldığında biyokütle enerjisi verimsiz olup, geliştirilmemiştir. Günümüzde araştırmacılar biyokütle enerjisini daha verimli hale getirmek amacıyla çalışmalar yürütmektedirler.

Biyokütle enerjisinin olumlu ve olumsuz yönleri birlikte değerlendirildiğinde olumlu yönlerinin daha fazla olduğu söylenebilir. Fosil yakıtlara ikame olabilecek alternatif enerji kaynaklarından biridir. İklim değişikliği ve fosil kaynakların tükenme durumu göz önünde bulundurulduğunda gelecekte daha yaygın bir şekilde kullanılacağı düşünülmektedir.

1.3.6. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen, bir elektron ve bir protondan meydana gelen dünya üzerinde yaygın olarak bulunan bir elementtir. Rengi ve kokusu olmayan hidrojen oldukça hafif bir gazdır. Kararsız yapısından dolayı yerkürede serbest forma bulunmamaktadır. Farklı bileşiklerin içinde bulunmaktadır. Örneğin, su molekülü bir oksijen ve iki hidrojen atomundan oluşmaktadır. Hidrojen enerjisi ise, hidrojenin saf olarak ayrışması sonucu moleküllerinde ortaya çıkan kimyasal bir enerjidir (TSKB, 2021:3). Hidrojen doğal bir yakıt değildir. Birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, biyokütle ve fosil yakıtlar gibi farklı hammaddelerden üretimi gerçekleştirilebilen sentetik yakıttır. Hidrojenin üretim aşamasında birçok alternatif üretim teknolojileri bulunmaktadır. Atık gazların saflaştırılması, buhar iyileştirme, foto süreçler, elektroliz, radyoliz, termokimyasal süreçler hidrojen üretim teknolojilerinden bazılarıdır (Tutar ve Eren, 2011:4-5).

Hidrojen gazı su ve güneş enerjisi ya da türevleri olan rüzgâr, biyokütle ve dalga ile de üretilir. Mevcut çalışmalar, mevcut koşullarda hidrojenin diğer yakıtlara kıyasla yaklaşık üç kat daha pahalı olduğunu göstermektedir. Bu yüzden yaygın bir enerji kaynağı olarak kullanılması üretimde maliyet düşürücü teknolojilerin geliştirilmesine bağlıdır (Şenpınar ve Gençoglu, 2006:52).

Hidrojenin hidrokarbonlar gibi fosil yakıtlardan, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından ve nükleer kaynaklardan üretimi mümkündür. Mevcut durumda hidrojen üretiminin çoğu fosil yakıtlardan (özellikle doğalgazdan) üretilmektedir. Fosil kaynaklar dışında yenilenebilir kaynaklardan hidrojen üretimi için üretim teknolojileri geliştirilmektedir (TSKB, 2021:5). Hidrojen üretiminde kullanılan yöntemler şu şekilde sıralanabilir (İder, 2003:102):

- Petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan kimyasal yöntemler kullanılarak hidrojen üretilir. Bununla birlikte en yaygın yöntem buharlı reaksiyon yöntemidir.
- Elektrik kullanılarak su elektrolize edilebilir. Bu yöntem kullanılarak su, oksijen ve hidrojene ayrılmakta ve hidrojen elde edilmektedir.
- Güneş enerjisinden hidrojen üretilmektedir. Bu yöntem elektroliz yöntemine göre daha verimlidir.
- Yeşil yosunlardan fotobiyolojik yöntem ve doğal fotosentez ile hidrojen üretilir.

Hidrojen üretim yöntemlerine göre hidrojen enerjisinin renk sınıflandırması yapılmaktadır. Bu sınıflandırmada hidrojen üretim aşamasında ortaya çıkabilecek sera gazı salınımı da dikkate alınmaktadır. Hidrojen üretim yöntemlerine göre hidrojen enerjisi renk sınıflandırması şu şekilde yapılmaktadır (Scita vd., 2020):

- Yeşil hidrojen: Bu hidrojen yenilenebilir kaynaklı elektrik kullanılarak suyun elektrolizi ile üretilmektedir. Sera gazı salınımı sıfıra yakındır.
- Sarı hidrojen: Bu hidrojen nükleer enerji kullanılarak suyun elektrolizi ile üretilmektedir. Sera gazı salınımı sıfıra yakındır.
- Mavi hidrojen: Bu hidrojen karbon yakalama ve depolama ile buhar metan reformasyonu ile üretilmektedir. Sera gazı salınımı düşük seviyededir.
- Turkuaz hidrojen: Bu hidrojen piroliz yoluyla yan ürün olarak üretilmektedir. Sera gazı salınımı düşük seviyededir.

- Gri hidrojen: Bu hidrojen doğalgaz kullanılarak buhar metan reformasyonu ile üretilmektedir. Sera gazı salınımı yüksektir.

Hidrojen enerjisi oldukça etkili çevresel ve sosyal faydalar sağlamakla birlikte yüksek enerji verimliliğine sahiptir. İhtiyaç duyulan geniş kullanım alanlarına enerji üretmek için hidrojen ve hidrojen bileşikleri kullanılmaktadır. Günümüzde hidrojen enerjisi evler ve işyerlerinde elektrik, ısıtma, soğutma ihtiyacının giderilmesi için daha az maliyetle daha basit bir şekilde faaliyetlerin yürütülmesi için geliştirilmektedir (Ziyadlı, 2021:22).

1.3.6.1. Hidrojen Enerjisinin Kullanım Alanları

Hidrojen, konvansiyonel yakıtlar gibi motorlarda ya da buharlaştırıcılarda, güç ve ısı sağlamada yakıt olarak kullanılabilir. Öte yandan yakıt pillerinde oksijen ve kimyasal reaksiyona girerek elektrik üretmek amacıyla da kullanılabilir (Şenpınar ve Gençoglu, 2006:52). Hidrojen, teknolojik gelişmelerle bağlantılı olarak yakıt pillerinde enerji elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Yakıt pilleri ise oldukça yüksek verime sahip olan bir enerji dönüşüm teknolojisidir (Karadayı ve Ergen, 2015:115).

Hidrojenin mevcut ve potansiyel endüstriyel kullanımları şu şekilde sıralanabilir (IEA, 2019:89):

1.3.6.1.1. Petrol Rafinerisinde Hidrojen

Ham petrolün nakliyesi ve petrokimya hammadde gibi çeşitli nihai ürünlere dönüştürülmesinde hidrojen kullanımının payı büyüktür. Hem saf hem de karışık formlarda toplam küresel hidrojen talebinin yaklaşık %33'ü rafineriler tarafından hammadde, reaktif ve enerji kaynağı olarak tüketilmektedir. Bu hidrojenin yaklaşık üçte ikisi rafinerilerdeki özel tesislerde üretilmekte veya ticaret yapan tedarikçilerden satın alınmaktadır. Rafinerilerin mevcut büyük ölçekli hidrojen talebi, petrol ürünlerinin kükürt içeriğine ilişkin düzenlemeler sıkılaştıkça artacaktır. Bu, ulaşım yakıtlarının emisyon yoğunluğunu azaltabilecek daha temiz yollardan hidrojen için potansiyel bir pazar sağlamaktadır. Hidrojen üretimi rafinaj işlemlerinin bir yan ürünü olarak kullanılmadığı sürece rafinaj işlemleri önemli miktarlarda CO₂ emisyonu ile sonuçlanmaktadır. Bu yüzden petrol rafinerisinde hidrojen kullanımı giderek önemli hale gelmektedir.

1.3.6.1.2. Kimya Sektöründe Hidrojen

Kimya sektörü bugün hidrojen için ikinci (amonyak) ve üçüncü (metanol) en büyük talep kaynaklarını oluşturmaktadır. Kimya sektörünün tükettiği hidrojenin büyük çoğunluğu fosil yakıtlar kullanılarak üretilmekte ve bu da önemli miktarda sera gazı emisyonuna neden olmaktadır. Emisyon düzeyinin azaltılması, sektörün enerji kullanımının sürdürülebilirliği için önemlidir. Ayrıca bu durum, düşük karbonlu hidrojen den yararlanmak için önemli bir fırsat sunmaktadır. Hidrojen hemen hemen tüm endüstriyel kimyasalların moleküler yapısının bir parçasıdır. Ancak amonyak ve metanol olarak kullanılmak üzere bazı birincil kimyasallar büyük miktarda özel hidrojen üretimi gerektirmektedir.

1.3.6.1.3. Demir ve Çelik Üretiminde Hidrojen

DRI, demirden çelik üretme yöntemidir. Günümüzde bu süreç, petrol, amonyak ve metanolden sonra hidrojen talebinin en büyük dördüncü kaynağını oluşturmaktadır. Mevcut gelişmeler dikkate alındığında küresel çelik talebinin 2030 yılına kadar yaklaşık %6 artması beklenmektedir. Kimya sektörü gibi, demir ve çelik sektörü de yan ürün olarak diğer gazlarla karışık şekilde büyük miktarda hidrojen üretir. Üretilen hidrojenin bir kısmı sektör içinde tüketilirken, bir kısmı başka yerlerde kullanılmak üzere dağıtılır. Bu hidrojenin neredeyse tamamı kömür ve diğer fosil yakıtlardan üretilir. Emisyonları azaltmak için 2030’larda ticari ölçekli olarak hidrojen kullanarak çelik üretmek için çalışmalar devam etmektedir. Bununla beraber karbon emisyonunu azaltmak amacıyla düşük karbonlu hidrojen, günümüzde doğalgaz ve kömüre dayalı süreçlere dâhil edilerek kullanılabilir.

1.3.6.1.4. Yüksek Sıcaklıkta Isı İçin Hidrojen

Endüstriyel alanda yüksek sıcaklıktaki ısıнын, gelecekte potansiyel bir hidrojen talebi oluşturacağı beklenmektedir. Ancak günümüzde bu uygulama için neredeyse hiç özel hidrojen üretilmemektedir. Endüstride eritme, gazlaştırma, kurutma ve birçok farklı kimyasal reaksiyonları harekete geçirme dâhil olmak üzere çeşitli amaçlar için ısı kullanılır. Isı doğrudan olarak (fırında olduğu gibi) kullanılabilirken, dolaylı olarak (buharı yükseltip sonra ısıtma ihtiyaçları için aktarılması gibi) da kullanılabilir. Kimya ve demir-çelik sektörleri hariç tutulduğunda, endüstriyel yüksek sıcaklıktaki ısı, karbon

emisyonlarının yaklaşık %3'ünden sorumludur. Yüksek sıcaklıktaki ısı için fosil yakıtlar yerine sürdürülebilir biyoenerji veya hidrojen kullanılması, bu emisyonları önemli ölçüde azaltacaktır. Ancak günümüzde bu amaç için oldukça az miktarda hidrojen kullanılmaktadır.

Günümüzde hidrojen bu kullanım alanları dışında ulaşım sektöründe (arabalar, uzay ve havacılık gibi), enerjide (elektrik üretimi gibi), ve binalarda kullanılabilmektedir. Bu sektörlerde hidrojenin gelişimi politika desteğiyle mümkün olabilir (IEA, 2019:123).

1.3.6.2. Hidrojen Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Hidrojen enerjisi teknolojileri günümüzde üretimde yüksek maliyetler, depolamadaki zorluklar ve taşıma maliyetleri sebebiyle yeterli düzeyde pay sahibi olamamıştır. Özellikle iklim değişikliğinin dikkat çekildiği küresel piyasada hava kirliliğini azaltmak ve küresel ısınmayı belirli bir düzeyde sınırlandırmak amacıyla çevreye duyarlı temiz enerji kaynaklarına önem verilmektedir. Böyle bir ortamda hidrojen enerjisi ivme kazanmıştır. Günümüzde birçok araştırmacı çeşitli kaynaklardan hidrojenin üretimi, taşınması ve depolanması ile emisyonu neden olmadan enerji arzının sağlanması amacıyla hidrojenin kullanım potansiyelini araştırmaktadır (IEA, 2019)

Hidrojen enerjisi bilinen tüm yakıtlar içinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahip bir enerji kaynağıdır. Hidrojen yeryüzünde bileşikler halinde bulunmaktadır. Hidrojenin en bilinen bileşiği ise sudur. Hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı durumlarda ortaya çıkan atık madde sadece su veya su buharıdır. Bu yüzden hidrojen enerjisi üretimi çevreye oldukça duyarlı olup çevre kirliliğine sebep olan emisyon salınımına ve zararlı kimyasal üretimine neden olmamaktadır. Hidrojen enerjisi çevreye duyarlı bir yakıt olmanın yanı sıra oldukça verimli bir enerji kaynağıdır. Hidrojen yakıtı petrol yakıtlarına oranla ortalama 1,33 kat oranla daha verimlidir. Hidrojenin diğer önemli özelliği ise depolanabilir bir kaynak olmasıdır (Karadayı ve Ergen, 2015:115). Hidrojenin kullanım amaçlı depolanmasında farklı teknikler bulunmaktadır. Bunlar; sıkıştırılmış gaz olarak hidrojenin depolanması, dondurulmuş sıvı olarak depolama, metal hidrit sistemi ile depolama, karbon adsorpsiyon tekniği ile depolama, cam mikrokürelerde depolama, yerinde kısmi oksidasyon tekniği ile depolama ve diğer teknikler olarak sınıflandırılabilir (Ün, 2003:18-19). Hidrojen enerjisinin oldukça büyük miktarlarda gaz halinde depolanırken, hava ve uzay ulaşımalarında sıvı halde depolanmaktadır. Araç için ve küçük

ölçekli işlemlerde ise metal hibrit halde depolanabilmektedir. Hidrojen enerjisinin üretimi ve taşınması gibi depolanması da çevreye zararlı etki oluşturmaz (Karalı, 2017:38).

Hidrojenin bir diğer avantajı güvenli bir yakıt olmasıdır. Dünya genelinde hidrojen petrol, kimya ve diğer endüstrilerde güvenli bir şekilde kullanılmaktadır. Hidrojenin güvenlik yöntemi diğer yakıtlardan farklıdır. Hidrojen düşük yoğunluklu bir madde olduğu için bir kaçak olduğu zaman yer seviyesinde birikinti şeklinde kalmaz, atmosferde yükselir ve dağılır. Böyle bir durumda iyi havalandırma ile güvenlik artırılabilir. Hidrojenin diğer yakıtlara göre daha hızlı yayılması da güvenliğini artıran bir özelliktir (Ün, 2003:19).

Hidrojen enerjisinin dezavantajlı yönleri ise şu şekilde sıralanabilir (Şenpınar ve Gençoğlu, 2006:52; Işıktaş, 2016:12):

- Maliyetli bir kaynak: Mevcut çalışmalar hidrojenin diğer yakıtlara kıyasla yaklaşık üç kat daha pahalı olduğunu göstermektedir. Bu yüzden yaygın bir enerji kaynağı olarak kullanılması üretimde maliyet düşürücü teknolojilerin geliştirilmesine bağlıdır.
- Güvenlik eksikliği: Diğer enerji kaynaklarına göre güvenlik yönünden çok geride olmasa da tamamen güvenli bir kaynak değildir. Hidrojenin havada çok hızlı bir şekilde yayılması iyi havalandırmanın yapıldığı yerlerde güvenlik yönünden oldukça etkilidir. Fakat havalandırmanın iyi olmadığı yerlerde hidrojenin hızlı bir şekilde yayılması maddi zararlara sebep olabilir.
- Renk ve koku olmaması: Hidrojenin renginin ve kokusunun olmaması fark edilmemesine sebep olmaktadır.
- Sıvı depolanmasının zor olması: Hidrojen birçok farklı şekillerde depolanabilmektedir. Hidrojenin sıvı olarak depolanabilmesi için oldukça düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzde sıvı olarak depolanması zordur.

1.3.7. Deniz Kaynaklı Enerjiler

Denizler ve okyanuslar dalgalar, gelgitler ve akıntılar sayesinde yararlanılabilecek potansiyeli yüksek ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynakları arasında enerji yoğunluğu ve öngörülebilirliği açısından en makul kaynak dalga enerjisi olarak kabul edilmektedir. Dünyadaki en büyük su kütlelerini taşıyan okyanuslar ısı, akım ve dalga boyutuyla dünya çapında toplam enerji talebini karşılayacak düzeydedir. Fakat bu yüksek potansiyeline rağmen denizler ve okyanuslarda enerji teknolojisinin gelişimi diğer

yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla daha güç olduğu söylenebilir. Bu yüzden deniz kaynaklı enerjiler günümüzde dünya enerji arzında küçük bir yere sahiptir. Fakat fosil yakıtların gerek tükenebilir bir kaynak olması gerekse çevreye zararlı emisyon yaymaları sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi artmaktadır. Bu ilginin yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde enerji potansiyeli en yüksek kaynaklardan biri olan deniz kaynaklı enerjilere kayması da muhtemeldir (Yıldırım, 2021:14).

Deniz kaynaklı enerji, deniz suyunu harekete geçirici güç olarak kullanan, kimyasal veya ısı potansiyelinden yararlanan teknolojilerden elde edilmektedir. Denizdeki yenilenebilir enerji kaynakları her biri farklı kökenlere sahip ve enerjiye dönüşümü için farklı teknolojiler gerektiren altı farklı kaynağa ayrılmaktadır. Bunlar; dalga enerjisi, gelgit aralığı, gelgit akıntıları, okyanus akıntıları, okyanus termal enerji dönüşümü (OTEC) ve tuzluluk gradyanlarıdır. Deniz kaynaklı enerji sadece elektrik sağlamak için değil aynı zamanda doğrudan içme suyu üretimi ve termal enerji hizmet ihtiyaçlarını karşılamak için de kullanılabilir. Deniz kaynaklı enerjinin teorik potansiyelinin gelecekteki insan ihtiyaçlarını fazlasıyla karşılayabileceği tahmin edilmektedir. Deniz kaynaklı enerjiler henüz gelişmenin ilk aşamalarında. Fakat çalışmalar göz önüne alındığında teknik ilerlemeler hızla artabilir. Deniz kaynaklı enerji onlarca yıldır bilinmesine rağmen, bu enerjinin teknolojik gelişimi 1970’lerde başlamıştır. Fakat 1980’lerdeki petrol fiyatı kriziyle etkisini kaybetmiştir. 2000’li yılların başında oldukça farklı deniz enerjisi teknolojileri üzerine Ar-Ge faaliyetleri yürütüldü. Bunun sonucunda özellikle dalga ve gelgit enerjisinde tam ölçekli prototip dağıtımlara başlandı. Deniz kaynaklı enerjilerin elde edilme seçeneklerinin çeşitliliği göz önüne alındığında tek bir cihaz tasarımı olası değildir. Geliştirilmekte olan çok sayıda prototip dalga ve gelgit cihazı ile dünya çapında cihazların gelişmeleri hızlanmaktadır (Lewis vd., 2011:501).

Dünya’nın dörtte üçü denizler ve okyanuslardan oluşmaktadır. Denizler ve okyanuslardan elde edilecek enerji potansiyeli değerlendirildiğinde oldukça geniş bir kitlenin enerji ihtiyacının giderilebileceği düşünülmektedir. Günümüzde ticari anlamda bu enerjiden yeterli seviyede yararlanılmamış olsa da teknolojik gelişmeyle birlikte belli bir seviyeye ulaşmıştır (Honça, 2018:41). Uluslararası enerji ajansına göre, 2050 yılına kadar dünyada karbon nötr durumunun sağlanması için 2020 ile 2050 yılları arasında okyanustan elektrik üretiminin yılda %33 oranında büyümesi gerekmektedir.

1.3.7.1. Dalga Enerjisi

Dalga enerjisi uzun yıllardır en umut verici yenilenebilir teknolojilerden biri olarak kabul edilmektedir. Dalga enerjisinin enerji kaynağı oldukça geniş olmakla beraber çoğu yenilenebilir enerji kaynaklarından daha güvenlidir. Belirli bir bölgede dalga gücü zamanın %90'ında kullanılabilir. Fakat güneş ve rüzgâr gücü zamanın sadece %20-30'luk kısmında kullanılabilir. 1970'lerin petrol krizi döneminde dalga gücüne yönelik yüksek beklentiler sonrası başarısız birkaç deneyden sonra bu alana ilgi azaldı. Fakat dalga gücünün verimliliğini ve fizibilitesini önemli ölçüde artıran birkaç yeni teknolojinin tanıtılmasıyla dalga enerjisine olan ilgi arttı. Bu teknolojiler daha küçük tesislere odaklanmış ve ilk sermaye maliyetlerini düşürmüştür. Okyanus ısı enerjisi dönüşümünün aksine dalga gücü ticari olarak kullanılmakta ve son yıllardaki gelişmelerle birlikte dünya çapında dalga enerjisi cihazlarına yatırım yapan şirketler sürekli olarak artmaktadır (Pelc ve Fujita, 2002:475).

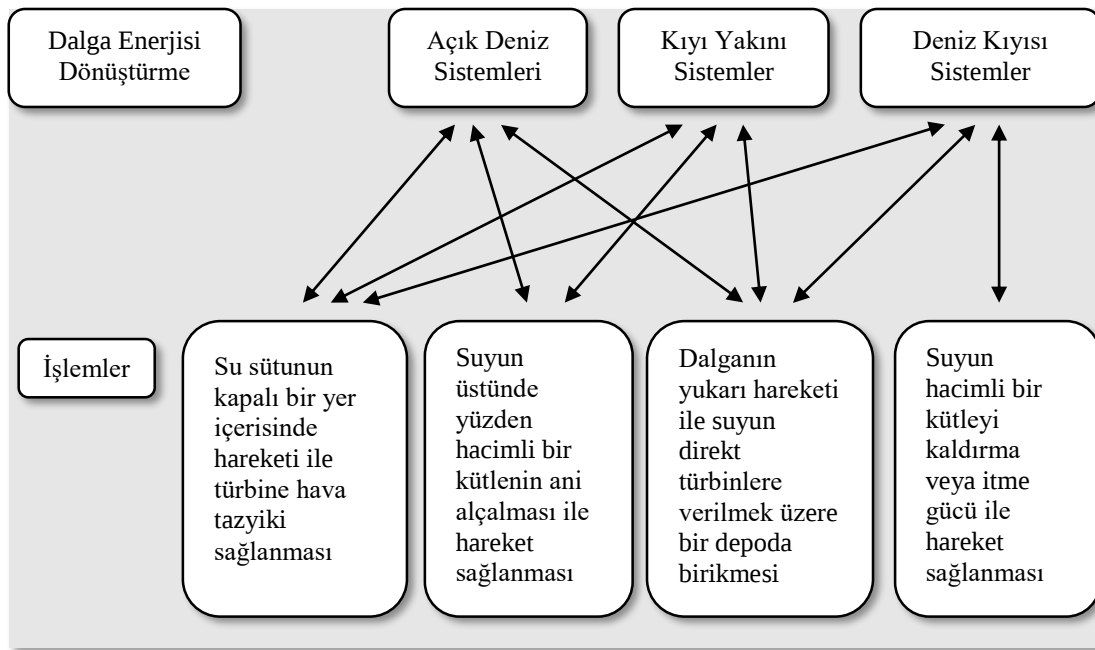
Dalga enerjisi rüzgâr yoluyla okyanusa aktarılan bir enerjidir. Rüzgâr okyanus üzerinde estiğinde, hava-deniz etkileşimi sonucu rüzgâr, enerjisinin bir kısmını suya aktarır. Böylece potansiyel enerji ve kinetik enerji olarak depolanır. Dalgaların boyutu ve periyodu rüzgâr hızının bir fonksiyonu olan aktarılan enerji miktarına, rüzgârın esme süresine ve rüzgârın estiği okyanusun uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Dalgalar enerjini aktarmada oldukça etkilidir ve okyanus yüzeyinde uzun mesafeler kat edebilir. Dünyadaki en enerji yüklü dalgalar 30° ve 60° enlemleri arasında üretilmektedir. Dalga enerjisinin varlığı tipik olarak, mevsimsel olarak ve daha kısa zaman dilimlerinde değişir. Mevsimsel değişimler en fazla kuzey yarımkürede görülmektedir. Dalga ikliminde yıllık değişimler, makul ölçüde geçmişe sahip küresel veri tabanları kullanılarak yapılan modellemede uzun vadeli ortalamalar dikkate alınarak tahmin edilmektedir (Lewis vd., 2011:503).

Denizlerde ve okyanuslarda meydana gelen dalgalar üç şekilde oluşmaktadır. Bunlar (Uygur vd., 2006:8);

- Denizlerde meydana gelen depremler ve deniz dibindeki çökmeler sonucu oluşan dalgalar,
- Rüzgârlar ve fırtınalar sonucu oluşan dalgalar,

- Gelgit olanlarına bağılı olarak oluşan dalgalardır.

Dalgalar her ne şekilde oluşursa oluşsun dalgaların ilerleme hızından oluşan kinetik enerjiden daha önemlisi, dalgalar ve suların kaldırma kuvvetiyle yer çekimi arasında meydana gelen güçten faydalanılması oldukça önemlidir. Çünkü dalga hareketi, akarsudan farklılık gösterir. Dalgaların periyodu ortalama olarak 3-5 saniye arasında değişir. Bu da büyük bir potansiyel enerji anlamına gelmektedir. Günümüz teknolojileriyle birlikte dalgadan oluşan potansiyel enerjiyi kullanılabilir hale getirmek önem arz etmektedir (Uygur vd., 2006:8).



Şekil 2: Dalga Enerjisi Dönüştürme Sistemleri

Kaynak: Sağlam ve Uyar (2005:2)'dan yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 2’de görüldüğü üzere dalga enerjisini dönüştürmede üç farklı sistem bulunmaktadır. Dalga enerjisi denizdeki hangi bölgeden elde edilecekse ona uygun şekilde sistem kurulmakta ve bu şekilde enerji üretilmektedir.

Dalga enerjisinin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir (Batı, 2013:130):

- Ekonomik bir kaynak: Dalga enerjisi ile temiz, sınırsız ve oldukça düşük maliyetli şekilde enerji üretimi gerçekleştirilebilir.
- Değişken maliyetleri düşük: İlk kurulum ve bakım maliyeti dışında farklı bir gider yapılmamaktadır.

- Teknoloji gerektirmemesi: İleri teknoloji ürünlere gerek duyulmadan yerli teknoloji ile kurulum gerçekleştirilebilir.
- Taşıma gereksinimi olmaması: Yerli teknoloji ile üretilebildiği için üretildiği bölgede kurularak o bölgede tüketilebilir. Bu sayede uzun iletim hattı ihtiyacı ortadan kalkar.
- Enerjide dışa bağımlılığı azaltma: Yerli ürün olduğu için enerjide dışa bağımlılığı azaltır, ülkenin dış piyasada rekabet gücünü artırır.
- Çevreye duyarlı bir kaynaktır: Fosil yakıtlar yerine dalga enerjisi kullanımının artması ile birlikte sera gazı emisyonları azalacaktır.

Dalga enerjisi dönüştürücülerinin görsel olarak olumsuz etkisi oldukça sınırlıdır. Kıyıya yakın yerleştirilen büyük cihazların dışında çoğu cihaz kısmen veya tamamen deniz içinde olduğundan olumsuz bir görüntü oluşturmaz. Aynı sebeple kuşların göç yolları, beslenme ve yuvalamalarındaki potansiyel olumsuz etkisi ihmal edilebilir düzeydedir (Lewis vd., 2011:519).

Öte yandan fosil temelli yakıtların kullanıldığı tesislerdeki maliyet artışı yakıtın fiyatına yansırken, iyi tasarlanmış bir dalga enerji temin ünitesinin ve işletilmesinin maliyeti daha az olduğu için minimum girdi ile maksimum çıktı elde edilebilecektir. Bu sayede fiyat dalgalanmalarının önüne geçilebilir (Uygur vd., 2006:8). Ayrıca dalga enerjisi yerli imkânlarla üretilip doğadan yararlanılarak elde edileceği için sosyal ve iktisadi krizlerden etkilenmeyecektir. Böylece fiyat dalgalanmalarına maruz kalmayacaktır.

Dalga enerjisi tüm bu avantajlarının dışında bazı dezavantajları bulunmaktadır. Dalga enerjisi santrallerinin değişken maliyetleri uygun olsa da ilk kurulum maliyetleri yüksektir. Öte yandan dalga enerjisi santrallerinde kullanılan kablolar, türbinler ve diğer sistem parçaları deniz yaşamı için potansiyel bir tehdit oluşturmaktadır.

1974 yılındaki petrol krizinden sonra geliştirilmeye başlanan dalga enerjisi teknolojileri günümüzde gelişim aşamasını devam ettirmektedir. Başlangıçta birçok farklı teknolojik öneriler olsa da ticari olarak geliştirilmemiştir. Son yıllarda hükümetler ve geliştiriciler, deniz enerjisi cihazlarının yapısal gelişimini yönlendirmek için teknoloji hazırlık düzeyleri (Technology Readiness Levels) programını yürütmektedirler. Cihazlar ilk açık deniz prototip testinden önce laboratuvarında küçük ölçekli testlere tabi tutulmaktadır. Günümüzde tam ölçekte test edilmiş az sayıda cihaz bulunmaktadır. Bireysel ve küçük

çaplı modüllerin ticaret öncesi denemeleri hızlanmıştır. Gelişmenin erken aşaması olduğu göz önüne alındığında, dalga enerjisinin maliyetli olduğu bir gerçektir. Fakat maliyet düşürme için önemli bir potansiyeli bulunmaktadır (Lewis vd., 2011:514).

1.3.7.2. Gelgit Enerjisi

Gelgitler, merkezkaç ve atalet kuvvetleriyle birlikte Dünya, Ay ve Güneş arasındaki yerçekimi ve dönme kuvvetleri tarafından yönlendirilen okyanus yüksekliğinde meydana gelen düzenli ve öngörülebilir değişikliklerdir. Birçok kıyı bölgesinde günde ortalama iki yüksek gelgit ve iki düşük gelgit yaşanır. Bazı bölgelerde ise yalnızca bir gelgit olayı yaşanır. Bir ay günü 24 saat 50 dakika olduğundan, sonraki yüksek ve düşük gelgitlerin zamanı her gün ileri bir saatte meydana gelir. Yıl boyunca gelgitlerin büyüklüğü Dünya, Ay ve Güneş'in konumlarına bağlı olarak değişir. Maksimum gelgit aralığı Güneş, Ay ve Dünya aynı hizaya geldiğinde meydana gelmektedir. Minimum gelgit aralığı ise Dünya-Ay eksenin yerçekimi kuvvetleri Dünya-Güneş eksenine 90 derece olduğunda meydana gelmektedir. Maksimum ve minimum gelgit döngüsü, Ay'ın Dünya çevresindeki 29,5 günlük yörüngesiyle yönlendirilir ve aynı anda tüm dünyada yaşanır. Gelgit yüksekliğinde daha uzun dönemli dalgalanmalar da meydana gelir, fakat günlük ve maksimum-minimum döngülerine kıyasla çok küçüktür (Sinden, 2007; akt. Lewis vd., 2011:505).

Gelgit enerjisi güneş, rüzgâr ve dalga enerjisine kıyasla oldukça öngörülebilirdir. Büyük bir enerji potansiyeli ile birlikte gelgitlerin düzenliliği, gelgit enerjisinin gelişmesine katkı sağlamaktadır. İlk gelgit barajları, gelgit akışının enerjisini kullanmak için haliçlerin ağızlarına inşa edilen barajlara benzemektedir. Bir hidroelektrik barajdan farklı olarak, gelgit barajı suyun her iki yönde de akmasına izin vermelidir. Fakat tipik olarak baraj sadece haliçten yüksek gelgitten alçağa akan suyun enerjisini alabilir. Gelgit baraj teknolojisi oldukça ileri seviyededir. Gelgit enerjisi bazı alanlarda yüksek potansiyele sahiptir (Pelc ve Fujita, 2002:476).

Gelgit enerjisi, suların yükselip alçalmasından faydalanılarak elektrik üretimine olanak sağlar. Gelgit enerji santralleri genellikle gelgit yoğunluğunun fazla olduğu kıyı kesimleri, ırmak ağızlarına veya deniz girişlerine kurulmaktadır. Barajın içerisine bir tünel açılmaktadır. Bu tüneller vasıtasıyla suların yükselme zamanında içeri girmekte, alçalma zamanında ise tünelden dışarı çıkmaktadır. Bu sayede tünel içerisindeki türbinler

suyun kuvvetiyle harekete geçerler ve jeneratörler aracılığıyla elektrik üretilmeye başlanır (Gezer, 2013:56).

Gelgit enerjisine yönelik gelişmeler nehir/ırmak ağzı üzerinde kurulan, çevresel açıdan etkisi çok az veya hiç olmayan ve çıktı açısından da esneklik sunan gelgit lagünlerine odaklanmaktadır. Günümüzde sadece haliç tipi gelgit santralleri çalışmaktadır. Gelgit enerjisine yönelik teknoloji ilerlemiş olsa da dünyada tek şebeke ölçekli gelgit enerji santrali, 1966'dan bu yana sorunsuz bir şekilde çalışan 240 MW'lık Fransa'daki "La Rance" elektrik santralidir. Bunun dışında Çin, Kanada ve Rusya'da başka gelgit projeleri yürütülmeye başlandı. Güney Kore'de 2011 yılında başlanan 254 MW'lık Sihwa barajının tamamlanmasıyla dünyanın en büyük gelgit enerji santrali olması beklenmektedir. Bu projeyle birlikte hem elektrik üretmek hem de su kalitesini artırmak amaçlanmaktadır (Lewis vd., 2011:519).

Gelgit enerjisinin avantajlarının yanında bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Gelgit enerjisinin deniz için potansiyel bir tehdit oluşturduğu bulunmuştur. Haliçlerin ağzında bulunan gelgit tesisleri, büyük barajlarla aynı çevresel tehditleri oluşturmaktadır. Gelgit tesisleri tuzlu suyun haliçlerden akışını değiştirerek bu hassas ortamların hidrolojisini ve tuzluluğunu etkileyebilir. Ayrıca gelgit zamanlamasının değişmesi, haliçteki balık ve kuşların yaşamını ve habitatını etkileyebilir. Haliçler, birçok deniz organizması için habitat görevi görür. Bu habitatın büyük gelgit tesislerinin inşasıyla değiştirilmemesi önemlidir. Gelecekte teknolojinin de gelişimiyle, inşaat sırasında halici okyanustan kapatmamaya özen göstererek yeni gelgit barajları inşa edilmelidir. Bu tesisler için detaylı çevresel değerlendirmelerde bulunulmalıdır. Deniz ekosistemi üzerinde minimum etkiyi gösterene kadar gelgit tesisi inşa edilmemelidir (Pelc ve Fujita, 2002:477).

Gelgit santrallerinin olumsuz etkilerini bazı uygulamalarla azaltmak mümkündür. Örneğin, La Rance barajı havza içinde günde iki gelgit tutar ve bu havzada doğal biyolojik çeşitliliği restore etmektedir. Ancak havzanın ucuna doğru biriken tortuların kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden açık deniz lagünlerinin inşa edilmesi ve işletilmesiyle kıyıya yakın ekosistemler üzerindeki olumsuz etkiler azaltılabilir. Fakat bu yeni lagünün kapsadığı alanı etkileyecektir. Gelgit santrallerinin sosyal olarak olumsuz etkileri ise oldukça sınırlıdır. Bugüne kadar inşa edilen gelgit projeleri, yakınlardaki halkın herhangi bir şekilde yeniden yerleştirilmesini gerektirmemiştir. Bu durum

gelecekte de devam etmelidir. Öte yandan, inşaat aşaması yerel halk için istihdam fırsatları ve buna bağlı faydalar ortaya çıkaracaktır. İnşaatın ardından barajlar ve baraj duvarlarının üst kısımları boyunca yeni ve daha kısa karayolu ulaşım yolları sağlanabilir. Bu durumda aynı zamanda yerel halk için sosyoekonomik koşullar iyileştirilmiş olur (Lewis vd., 2011:519).

1.3.7.3. Okyanus Termal Enerji Dönüşümü

Okyanus, kıtalar arasında büyük ve derin çukurları dolduran su kütleleridir. Okyanuslar çok derin olduğu için su yüzeyi ile derin yerler arasında sıcaklık farkı değişmektedir. Bu sıcaklık farkı güç sistemleri kullanılarak enerjiye dönüştürülebilmektedir. Dönüştürülen bu enerjiye okyanus termal enerji dönüşümü (Ocean thermal energy conversion-OTEC) denilmektedir. Kaynama noktası oldukça düşük olan propan ve amonyak gibi bileşik maddeler okyanus yüzeyinde ısınan suyun etkisiyle buharlaşmaktadır. Bu buhar türbinleri döndürmekte ve bu sayede elektrik üretilmektedir. Buhar aynı zamanda borularda dolaşmakta ve okyanusun derinliklerindeki soğuk suyun etkisiyle yoğunlaşarak yeniden dolaşıma girmektedir. Bu döngü sayesinde okyanus ısısından önemli miktarda elektrik üretilir (Akusta, 2019:61).

Okyanus termal enerji dönüşümü güneş ışımasını elektrik enerjisine dönüştüren bir enerji teknolojisidir. OTEC sistemleri okyanusun doğal termal gradyanını kullanır. Bu sistemde ılık yüzey suyu ile 800 metrenin altındaki soğuk derin su arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 20 °C'dir. Bu sıcaklık farkını kullanan OTEC sistemi önemli miktarda güç üretebilir. Bu yüzden okyanuslar, milyarlarca watt elektrik enerjisi üretmemize yardımcı olma potansiyeline sahip bir yenilenebilir kaynaktır (Tinaikar vd., 2013:143). Güneş enerjisi girişinin yaklaşık %15'i okyanusta termal enerji olarak tutulmaktadır. Bu sıcaklık deniz suyunun iletkenliği düşük olduğu için derine inildikçe katlanarak azalır. Bu yüzden okyanusun en sıcak yeri yüzeye yakın kısmıdır. Tropikal bölgelerde deniz yüzeyi sıcaklığı 25 °C'yi aşabilirken, yüzeyin 1 km altındaki sıcaklıklar 5 °C ile 10 °C arasındadır (Charlier ve Justus, 1993:212). OTEC, güneş enerjisi gibi güneşten faydalanarak enerji üretmektedir. Fakat güneş enerjisinden ayrılan en önemli yönü güneşin dolaylı olarak kullanılmasıdır. Güneş enerjisinde, enerjiyi doğrudan alabilmek amacıyla yüksek maliyetli yatırımlar yapılır ve verimli araziler güneş panelleriyle işgal edilebilir. OTEC ise güneşin denizde oluşturduğu sıcaklık farkını kullanarak enerjiye

dönüştürür. OTEC güneşin enerjisine doğrudan ulaşmak yerine onun oluşturduğu doğal bir etkiyi kullanması sayesinde sabit maliyetleri daha düşüktür.

OTEC geleneksel enerji santrallerine kıyasla çevresel etki açısından zararsız olmasına rağmen özellikle büyük ölçekte uygulandığında bazı potansiyel çevresel tehdit oluşturmaktadır. Sahildeki elektrik üretim istasyonlarından elde edilen veriler, OTEC santrallerinin olası etkileri hakkında ipucu vermektedir. Toksik kimyasalların salınması, organizmaların giriş kanallarına çarpması ve küçük organizmaların borular tarafından sürüklenmesi gibi etkiler görülmektedir. Ayrıca sudaki sıcaklık değişimi mercanlar ve balıkların ölümüne sebep olduğu bilinmektedir. Bu sıcaklık farkı balıkların yumurtadan doğum oranlarını azaltabilir ve üreme başarısını düşürebilir. Ayrıca yükselen suyun yeniden boşaltılmasından kaynaklanan yüksek besinli sular, tropikal denizlere özgü doğal olarak düşük besine sahip olan ekosistemleri olumsuz etkileyebilir (Pelc ve Fujita, 2002:474). Öte yandan bazı durumlarda olumsuz etkilese de OTEC işleminde kullanılan soğuk deniz suyu besin açısından zengin olup, hem deniz organizmalarını hem de kıyıya yakın bitkilerinin gelişmesi için kullanılabilir (Tinaikar vd., 2013:143).

Amonyak ve klor gibi zehirli kimyasallar OTEC tesisinden çevreye yayılabilir ve deniz organizmalarının ölümüne neden olabilir. Bugüne kadar kıyı enerji santrallerinde en fazla ölümler büyük organizmaların çarpması ve küçük organizmaların sürüklenmesi sonucu olmuştur. OTEC tesislerinin bir diğer olumsuz yönü ise karbon salınımıdır. OTEC enerji üretimi ile atmosfere az miktar da olsa CO₂ salınımı olmaktadır. Derinde bulunan suyu basıncın daha düşük olduğu yüzey kısma getirmek, derinlerdeki suda tutulan CO₂ 'nin bir kısmını dışa çıkarmaktadır. Ancak buradaki karbon emisyonu, fosil yakıtlı santrallerin emisyonlarına kıyasla oldukça düşüktür (Pelc ve Fujita, 2002:474).

OTEC yoluyla enerji üretiminin olumsuz yönlerinin dışında birçok avantajı da bulunmaktadır. OTEC enerjisinin avantajlarını şu şekilde sıralamak mümkündür (Tinaikar vd., 2013:145):

- Yüksek verimlilik: OTEC tesislerinin net enerji çıkışı yaklaşık %20,3 gibi oldukça yüksek bir değerdir.
- Çevre dostu üretim: Uygun şekilde tasarlanmış OTEC tesisleri, karbon salınımını ve diğer kirletici kimyasalları çok az üretir veya hiç üretmez.

- Potansiyeli yüksek: Bir ön ısıtıcının kurulumu ile OTEC tesisinin çalışma süresi artırılabilir.
- Dışa bağımlılığı azaltır: OTEC'in bir elektrik kaynağı olarak kullanılması, devletin ithal edilen fosil yakıtlara bağımlılığını neredeyse tamamen ortadan kaldırır.

Okyanus termal enerji dönüşümünün enerji potansiyelinin diğer deniz kaynaklı enerjilerden çok daha fazla olduğu düşünülmektedir. Küresel olarak potansiyel enerjinin 30.000 ile 90.000 TWh/yıl olduğu tahmin edilmektedir (Charlier ve Justus, 1993:212). Dünya genelinde okyanusun temel yapısını bozmadan OTEC yoluyla küresel enerji talebine eşit olan yaklaşık 10 TWh/yıl'a kadar güç üretilmektedir. Fakat OTEC'den elektrik üretmenin maliyeti fosil yakıtlara göre oldukça yüksektir. Bu yüzden bu kaynağın sübvans edilmeden geliştirilmesi olası değildir. OTEC için en uygun ve potansiyeli yüksek olan bölgeler hem yerel enerjiye hem de tatlı suya ihtiyaç duyan gelişmekte olan küçük ada devletleridir. OTEC dünya çapında enerji ihtiyaçlarına büyük bir katkı sağlamayabilir. Fakat birçok küçük ada devletlerine önemli ölçüde güç saplayabilir (Pelc ve Fujita, 2002:473).

OTEC henüz gelişiminin başlangıç aşamasındadır. OTEC teknolojileriyle ilgili uzun vadeli, sürdürülebilir bir deneyim yoktur. Bu yüzden mevcut maliyetleri ve gelecekteki eğilimleri tahmin etmek oldukça zordur. Bireysel projeler için yatırım maliyetleri yüksek olduğu için teknolojik gelişimi yavaştır. Son yıllarda diğer alanlardaki yeni malzeme ve yapım tekniklerindeki teknolojik ilerlemeler, OTEC ekonomisini ve teknik fizibilitesini iyileştirebilir (Lewis vd., 2011:525).

1.3.7.4. Akıntı Enerjisi

Teknolojik gelişim ve ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, yenilenebilir enerji kaynakları arasında akıntı enerjisi belirli alanlarda en umut verici kaynak olarak değerlendirilebilir. Akıntı enerjisinin ana avantajlarından biri kaynağın öngörülebilir olmasıdır. Kullanılabilir deniz akıntıları çoğunlukla deniz suyu hareketine göre günde iki kez yaklaşık 12 saat 24 dakika (yarı günlük gelgit) veya günde bir kez yaklaşık 24 saat 48 dakika (günlük gelgit) olan gelgit hareketi tarafından yönlendirilir. Bu gelgitlerin astronomik doğası, deniz gelgit akımlarını on yıllar boyunca %98 doğrulukla tahmin edilebilir kılmaktadır. Deniz akım enerjisi, güneş ve rüzgâr enerjisi üretim

performanslarını etkileyecek ve bozacak mevsim koşullarından bağımsız olarak istikrarlı şekilde oluşmaktadır. Bu özelliğinden dolayı deniz akımı enerjisinin elektrik şebekesine entegre edilmesi uygundur. Deniz akımı enerjisinden yararlanmak temelde bir akış hareketinin elektrik gücüne dönüştürülmesine dayanmaktadır. İlk yaklaşım olarak rüzgâr enerjisi uygulamasında kullanılan benzer teknolojilerin deniz akım enerjisi uygulamalarına aktarılabilmesi varsayılmaktaydı. Fakat bu teknolojiler her zaman şiddetli deniz ortamı kısıtlamalarına uyarlanamamaktadır. Bu yüzden deniz akımlarına özel yatay ve dikey eksenli deniz akıntı türbinleri geliştirilmiştir (Zhou vd., 2013:391).

Akıntı enerjisinin hem fosil kaynaklı enerjilere hem de diğer yenilenebilir enerjilere karşı birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Bu yüzden henüz gelişme evresinde olan bu enerji kaynağının geliştirilmesi ve potansiyelinin değerlendirilmesi önemlidir.

Tablo 3: Akıntı Enerjisi – Diğer Enerji Kaynakları Kıyaslaması

	Yenilenebilir Enerji	Düşük Ana Maliyet	Düşük İşletme Maliyeti	Asgari Çevre Etkileri	Tahmin Edilebilirlik	Asgari Görsel Etki	Modüler
Fosil	-	+	-	-	+	-	-
Nükleer	-	+	-	-	+	-	-
Rüzgâr	+	-	+	+	-	-	+
Güneş	+	-	+	+	-	-	+
Hidro	+	+	+	-	+	-	-
Dalga	+	-	+	+	-	+	+
Akıntı	+	-	+	+	+	+	+

Kaynak: Şimşek, 2005:5

Tablo 3’te görüldüğü üzere akıntı enerjisinin kurulum maliyetleri yüksektir. Fakat potansiyeli yüksek olduğu için kısa zamanda bu maliyeti karşılayabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları genel olarak çevreci olup işletme maliyetleri düşüktür. Bu kaynakların içinde akıntı enerjisi çevreci olma ve işletme maliyetlerinin düşük olması özelliklerinin yanı sıra tahmin edilebilir modüler ve asgari görsel etkiye sahip bir enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde görsel etki olarak dalga ve akıntı enerjisi avantajlıdır. Çünkü bu enerji tesisleri deniz altı veya kısmen su üstü olması sayesinde büyük denizlerde asgari görsel etkiyi oluşturmaktadırlar.

Literatürde akıntı enerjisi kavramı ile genellikle gelgit akıntısı ifade edilmektedir. Fakat akıntı enerjisi temelde ikiye ayrılabilir. Bunlar, gelgit akıntısı ve nehir/okyanus akıntısıdır.

1.3.7.4.1. Gelgit Akıntısı

Gelgit yükselişine ve düşüşüne (gelgit aralığına) karşı okyanus suyu tepkisi dir. Gelgit akımları, özellikle kıyıların veya diğer alanların (adalar gibi) yakınında deniz yatağı derinlik ölçümüyle değiştirilen suyun yatay hareketleri ile üretilmektedir. Gelgit akımı, gelgitin yükselmesi ve düşmesinden kaynaklanır. Bu akışlar kısa süreli hava dalgalanmalarından az da olsa etkilenir. Fakat zamanlamaları ve büyüklükleri büyük ölçüde tahmin edilebilir olup iklim değişikliğinden fazla etkilenmezler. Gelgit akımı enerjisinin bir kaynağı olan gelgit akımı hızını artırmak için burunlar veya adalar arasında yapılan kanallar geliştirme aşamasındadır. Bu yolla verimliliğin artırılması, maliyetin düşürülmesi için önümüzdeki on yıl içinde geliştirmeler yapılması planlanmaktadır. Gelgit enerjisi cihazları yüzeyde olabildiği gibi teknolojinin gelişmesiyle büyük denizaltı yapıları da içermektedir. Cihazlar yüksekte olmadığı için ve büyük, hareketli su ortamında olduğu için olumsuz çevresel etkileri oldukça sınırlıdır. Mevcut teknolojilerin deniz yaşamına zarar verebilecek hareketli parçaları (kanatlar, uçan hidrofiller gibi) olmasına rağmen gelgit akımı cihazlarının herhangi bir deniz canlısına zarar verdiğine dair bir kanıt yoktur (Lewis vd., 2011:506-519).

1.3.7.4.2. Nehir/Okyanus Akıntısı

Kıyıya yakın gelgit akıntılarına ek olarak, açık okyanusta da önemli akıntılar bulunmaktadır. Bu akımlar sürekli aynı yönde akar ve nadir şekilde yön değiştirir. Okyanuslarda özellikle rüzgârla harekete geçen büyük sirkülasyonlarından olan batı sınır akıntıları gibi çeşitli bölgelerde akıntılar yoğunlaşır. Bu akıntılardan bazıları günümüz teknolojilerinde enerji üretmek için yeterli akım hızları sunar. Güney Afrika, Doğu Asya ve Kuzey Amerika açıklarında çeşitli akıntılar bulunmaktadır. Türbin sistemlerinde iyileştirmeler yapıldıkça diğer okyanus akıntıları da gelişme potansiyeline sahiptir. Okyanus akıntıları gelgit akıntılarından daha yavaş oldukları ve tek yönlü olarak hareket ettikleri için açık okyanus akıntılarından yararlanmak için şu anda geliştirilen teknolojilerden daha farklı teknolojiler gerektirebilir. Günümüze kadar bu alanda bir pilot tesis kurulup deneme yapılmamıştır (Lewis vd., 2011:506). Gelgit akımlarından çok daha büyük su hacimlerine sahip olan açık okyanus akıntılarının büyüklüğü göz önüne alındığında büyük bir potansiyel olduğu söylenebilir. Bu yüzden okyanus akıntılarından enerji üretmek için çalışmaların ilerletilmesi önerilmektedir. Dalga ve gelgit akımı

cihazları henüz gelişiminin erken aşamasındadır. Yatırım maliyetleri rüzgâr enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerji teknolojileri tarafından elde edilen tecrübe ile potansiyel olarak düşebilir (Bedard vd., 2006:6).

Gelgit ve nehir/okyanus akıntısı türbinleri arasındaki temel fark, nehir ve okyanus akıntılarının tek yönlü olması, gelgit akıntılarının ise gelgit ve taşkın döngüleri arasında akış yönünü tersine çevirmesidir. Sonuç olarak gelgit akımı türbinleri her iki yönde de enerji üretebilecek şekilde tasarlanmıştır. Akıntı enerjisi üretmek için kullanılan türbinler 3'e ayrılabilir. Bunlar; eksenel akış türbinleri, çapraz akış türbinleri ve pistonlu cihazlardır. Eksenel akış türbinleri ve çapraz akış türbinlerinin örtülü rotor ve açık rotor şeklinde çeşitleri bulunmaktadır. Pistonlu cihazlar ise girdap kaynaklı, magnus etkisi ve akış çarpıntısı olarak çeşitli çalışma şekilleri bulunmaktadır (Lewis vd., 2011:510-511).

Okyanus akıntısı sistemleri genellikle denizaltı sistemler olduğu için çevresel etkileri gelgit akıntısından daha azdır. Açık okyanus enerji üretim sistemlerinin, en büyük su üstü gemilerinin bile altında çalışması mümkündür. Bu sayede ticari gemilerde bile tehlikeler minimum düzeyde olacaktır. Öte yandan şu ana kadar bir kanıt olmasa da sualtı yapılar balıkların yaşam alanlarını ve davranışlarını etkileyebilir (Relini vd., 2000:65).

1.3.7.5. Tuzluluk Gradyan Enerjisi

Tuzluluk gradyan enerjisi ozmotik güç, ozmotik enerji veya mavi enerji olarak da ifade edilmektedir.

Ozmotik enerji, gaz emisyonu içermeyen bir yenilenebilir enerji türüdür. Nehirler ve okyanuslar arasında olduğu gibi farklı tuz konsantrasyonlarına sahip suların karıştırılmasıyla enerjinin açığa çıkmasına dayanmaktadır. Uygun şekilde kullanıldığında bu enerji güç üretmek için kullanılabilir (Helfer vd., 2014:338).

Tatlı su ve deniz suyunun karıştırılması ısı olarak bir enerji açığa çıkarmaktadır. Yarı geçirgen bir zar boyunca iki su kaynağı arasındaki kimyasal potansiyelden yararlanılabilir. Bu sayede enerjiyi ısı yerine basınç olarak elde edip daha sonra işe yarayan bir enerji formuna dönüştürebilir. Nehirlerden tuzlu deniz suyuna boşaltılan tatlı su küresel olarak dağıtıldığından yeterli tatlı su kaynağının olduğu tüm bölgelerde ozmotik enerjisi üretilir. Bu enerjiyi üretebilmek için en uygun alan ise büyük bitişik hacimlerde tatlı su ve deniz suyunu barındıran nehir ağızlarıdır (Lewis vd., 2011:507).

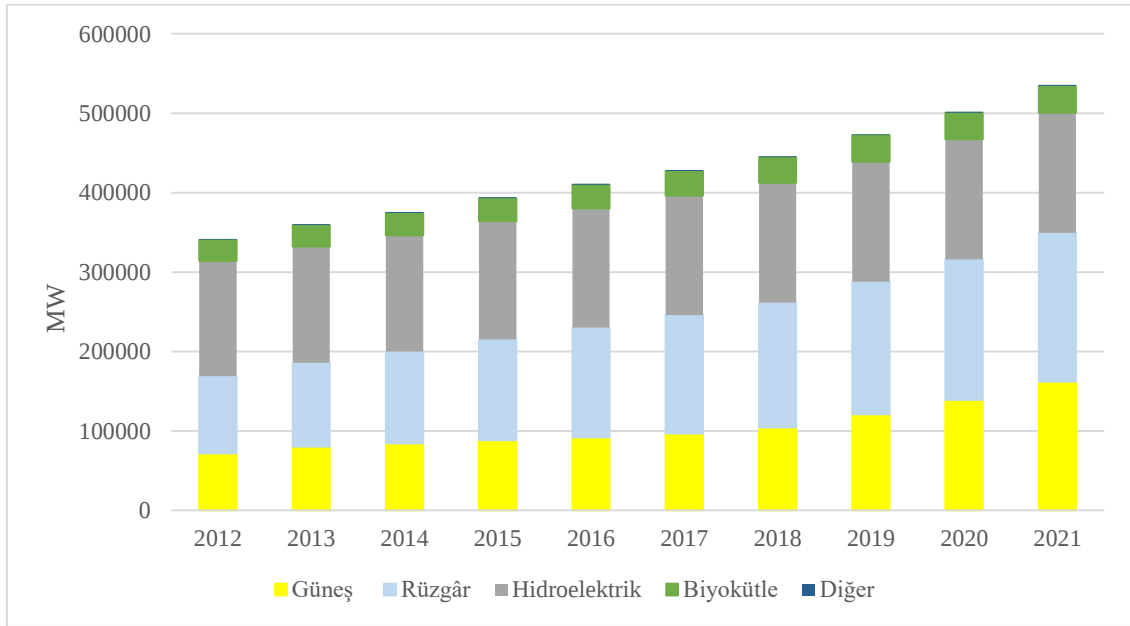
Ozmoz, farklı konsantrasyonlarda iki çözeltinin, bazı maddelerin içinden seçici olarak geçmesine izin veren ancak diğerlerine izin vermeyen bir zarla ayrılması sonucu oluşur. Örneğin bu iki çözelti tatlı su ve deniz suyu ise bunlar yalnızca suyu geçirebilen yarı geçirgen bir zarla ayrılmış durumdaysa, su daha az konsantre çözelti tarafından (tatlı su) daha fazla konsante çözelti (tuzlu su) tarafına akacaktır. Bu akış, zarın her iki tarafındaki konsantrasyonlar eşitlenene veya konsantre çözelti tarafındaki basıncı daha fazla akışı durduracağı noktaya kadar devam eder. Akış koşullarının olmadığı durumdaki basınç, çözeltinin ozmotik basıncına eşit olacaktır (Helfer vd., 2014:338).

Tatlı suyun tuzlu su ile karıştırılmasından elde edilebilecek maksimum ozmotik enerji en fazla ölü denizden sağlanabilir. İkinci en fazla ozmotik enerji kaynağı ise büyük tuz gölleridir. Üçüncü olarak ise deniz suyundan ozmotik enerji elde edilebilmektedir. Dünyada en fazla ozmotik güç üretilebilecek yerler ise sırasıyla; Brezilya'daki amazon nehri, Arjantin'deki La Plata nehri, Angola'daki Kongo nehri, Çin'deki Yangtze nehri, Bangladeş'teki Ganj nehri, Amerika'daki Missisipi nehri ve Amerika'daki Kolumbia nehridir (Helfer vd., 2014:339).

Tuzdan arındırma gibi ilgili teknolojilerin gelişimiyle henüz başlangıç aşamasında olan ozmotik güç sistemlerinin gelişimine fayda sağlaması beklenmektedir (Lewis vd., 2011:516). Ozmotik enerji henüz olgunlaşmamış bir teknoloji olduğu için gerçek çevresel etkileri konusunda araştırma boşluğu bulunmaktadır. Büyük ölçekte herhangi bir ozmotik enerji uygulamasının ortam üzerindeki fiili etkilerini ölçmek için kapsamlı çalışmalar gerekmektedir. Bununla birlikte ozmotik enerjinin olası etkilerine karşı bazı düşünceler bulunmaktadır. Örneğin yüzey suyundaki sıcaklık değişimleri bunlardan biridir. Derin suların sıcaklığı genellikle sığ sulardan daha karardır. Enerji üretirken yapılan su deşarjı kışın ortam suyundan daha sıcak yazın ise daha soğuk olacaktır. Bu yerel su ekosisteminde (bölgede yaşayan bitkiler ve hayvanlar üzerinde) etkilere yol açabilir (Helfer vd., 2014:350; Lewis vd., 2011:520). Diğer potansiyel sorun kimyasal temizliktir. Temizlik maddeleri çevrede birikmese de kabul edilebilir sınırın üzerinde suya karışır potansiyel bir yerel toksik tehlikesi ortaya çıkabilir. Diğer bir çevresel etki tesislerin inşası, erişim yolları ve kanallar ve şebeke bağlantılarıdır (Helfer vd., 2014:350-354). Tesislerin yerel çevre üzerindeki görsel etkisini azaltmak için kısmen veya tamamen yeraltına inşa edilmesi önerilmektedir (Lewis vd., 2011:520).

1.4. AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Görünümü

2020’de Avrupa Komisyonu, 1990’a kıyasla 2030’a kadar yasal olarak bağlayıcı emisyon azaltma taahhüdünde bulunmuştur. Temmuz 2021’de Avrupa Komisyonu, iki yıl içinde Konsey ve Avrupa Parlamentosu tarafından görüşülecek olan “Fitfor-55” politika paketini önermiştir. Pakette kilit unsurlar arasında, paket bina emisyonları için özel bir emisyon ticaret sistemi kurmayı ve Yenilenebilir Enerji Direktifi (REDII) kapsamında yenilenebilir enerji hedeflerini yukarı doğru revize etme planı bulunmaktadır. Teklif, üye devletlerin 2030 yılına kadar binaların enerji kullanımında en az %49 yenilenebilir enerji elde etmesini ve bölgesel ısıtma ve soğutmada fosil yakıtların yasaklanmasının yanı sıra ısıtma ve soğutmada yenilenebilir enerji kullanımını her yıl yüzde 1,1 artırmasını gerektiriyor. Teklifte, yenilenebilir ve düşük karbonlu yakıtlar için bir sertifikasyon sistemi de dâhil olmak üzere, endüstride yenilenebilir enerji kullanımına yönelik bir AB kriteri de bulunmaktadır. Ayrıca Avrupa Komisyonu, yenilenebilir ısıtma ve soğutma projeleri için sermaye maliyetinin düşürülmesine yardımcı olacak risk azaltma çerçeveleri oluşturmayı önermiştir (IEA, 2021c:121). Tüm bu hedefler doğrultusunda AB ülkelerinde yenilenebilir enerji kullanımı istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Diğer ülkelerden farklı olarak AB ülkelerindeki emisyon azaltma konusundaki yasal zorunluluk bu istikrarlı artışın bir parçası olabilir.

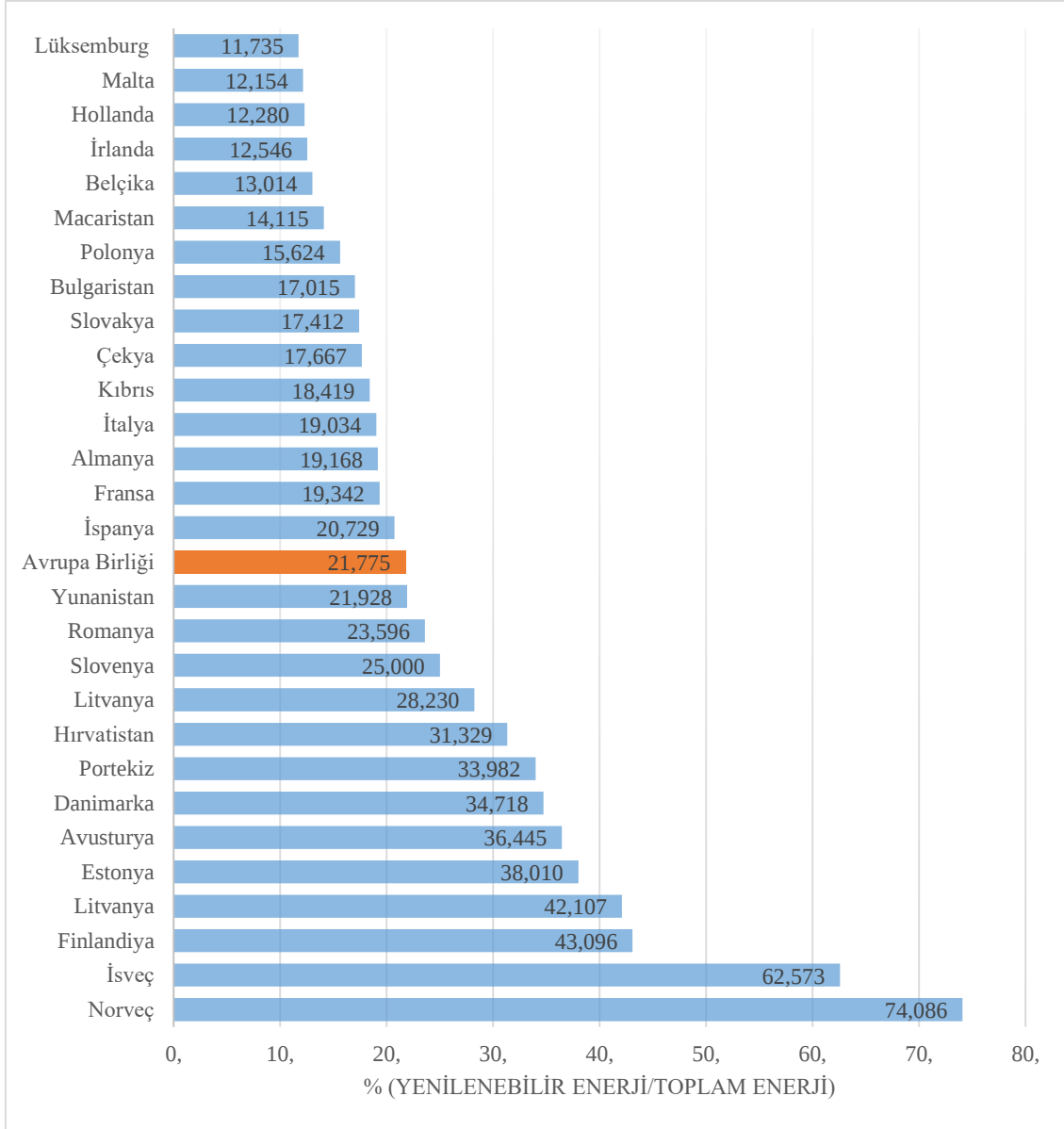


Grafik 2: AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Kapasitesi

Kaynak: IRENA (2022a)’dan yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Grafik 2’de AB ülkelerinde yenilenebilir enerji kapasitesi gösterilmektedir. Buna göre 2012 yılında hidroelektrik enerji kurulu gücü diğerlerine oranla daha fazladır. Son yıllarda ise rüzgâr enerjisinin kurulu gücü öne çıkmıştır. Fakat son yıllardaki kurulu güç değerlendirildiğinde AB ülkelerinde güneş, rüzgâr ve hidroelektrik enerjinin birbirine yakın olduğu söylenebilir.

Potansiyel olarak değerlendirildiğinde deniz kaynaklı enerjilerin (dalga, gelgit, okyanus, akıntı) en fazla potansiyele sahip enerji kaynağı olduğu bilinmektedir. Denizler ve okyanuslar dalgalar, gelgitler ve akıntılar sayesinde yararlanılabilecek potansiyeli yüksek ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynakları arasında enerji yoğunluğu ve öngörülebilirliği açısından en makul kaynak dalga enerjisi olarak kabul edilmektedir. Dünyadaki en büyük su kütlelerini taşıyan okyanuslar ısı, akım ve dalga boyutuyla dünya çapında toplam enerji talebini karşılayacak düzeydedir. Fakat bu yüksek potansiyeline rağmen denizler ve okyanuslarda enerji teknolojisinin gelişimi diğer yenilebilir enerji kaynaklarına kıyasla daha güç olduğu söylenebilir. Bu yüzden deniz kaynaklı enerjiler günümüzde dünya enerji arzında küçük bir yere sahiptir (Yıldırım, 2021:14). Yenilenebilir enerji kapasitesinin artışı o enerji kaynağındaki teknoloji ve ülkelerin bulunduğu iklim koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir. Örneğin, güneş panellerinde verimliliği artıracak teknolojik gelişmeler sayesinde güneş enerjisi kapasitesi önemli ölçüde artabilir. Nitekim 10 yıldaki enerji kapasitesi yaklaşık %60 artmıştır. Sadece bir yıldaki yenilenebilir enerji kapasitesi artışı bile birkaç ülkeye yetebilecek enerjiye sahiptir. Tüm enerjiler arasında en fazla kapasite artışı güneş ve rüzgâr enerjilerinde görülmüştür.



Grafik 3: AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elde Edilen Enerji

Kaynak: Eurostat² verilerinden yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Yukarıdaki grafikte 2021 yılında AB yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin toplam enerji içindeki payı gösterilmektedir. AB ülkeleri genelinde yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji oranı %21,77'dir. AB, 2020 yılına kadar enerji ihtiyacının %20'sinin yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesini planlamıştır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde bu hedefin gerçekleştiği söylenebilir. Genel olarak, AB üye ülkeleri ortalamanın üzerinde ve altında eşit olarak yer almaktadır. AB ülkeleri içinde özellikle

²https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_REN__custom_4932158/settings_1/table?lang=en, Erişim Tarihi: 14.02.2023

İsveç ve Norveç'in elde ettiği enerjinin büyük bir bölümü yenilenebilir kaynaklara dayanmaktadır. İsveç ve Norveç %20'lik Avrupa Komisyonu hedeflerine 2012 yılında ulaşmışlardır.

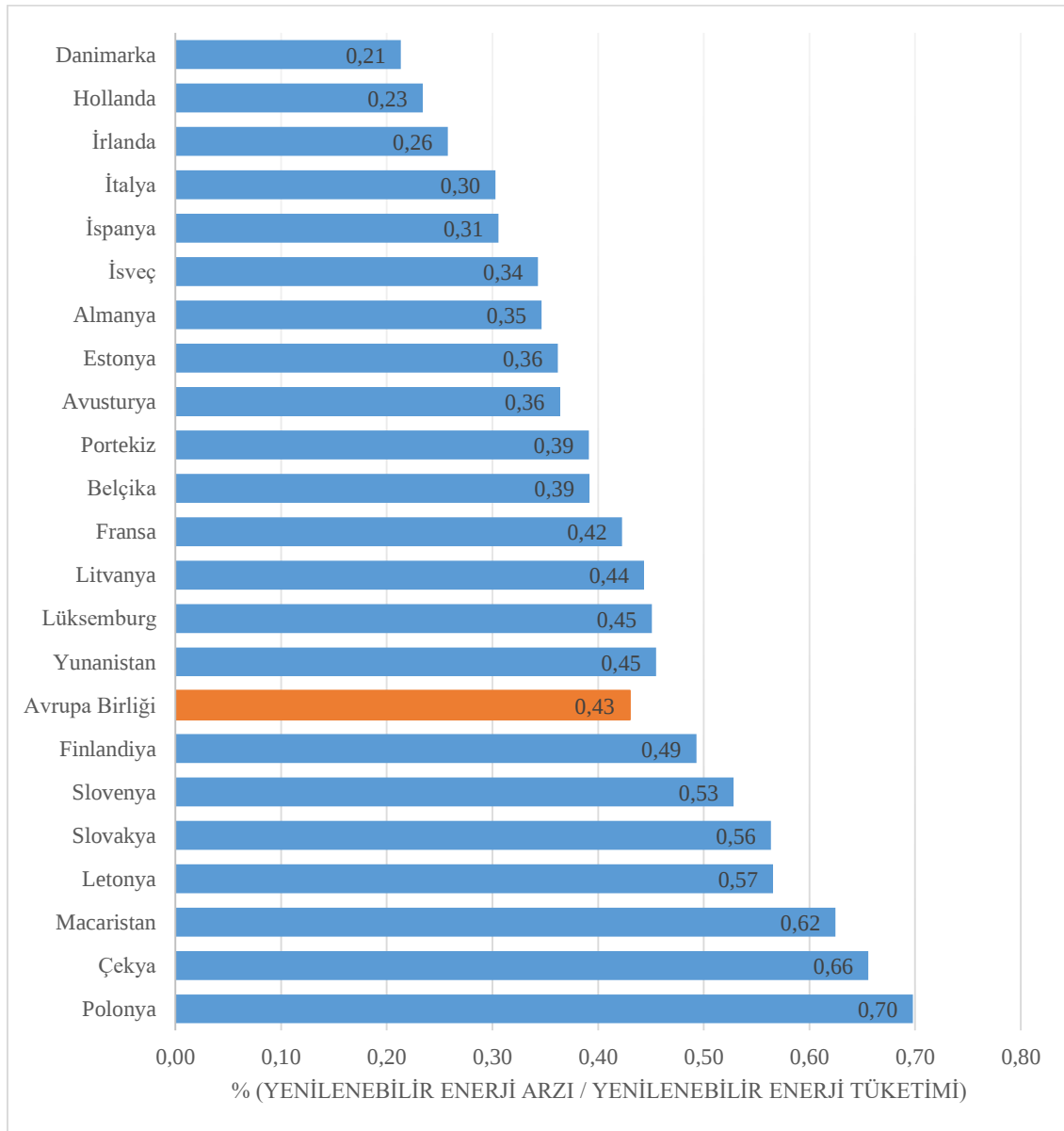
Avrupa komisyonunun 2030 yılı yenilenebilir enerji hedefi %40'tır. AB, Rusya'ya olan enerji bağımlılığını azaltmak amacıyla "RePowerEU" paketini hazırlamıştır. Bu paket kapsamında emisyon miktarının %55 oranında azaltılması ve yenilenebilir enerji oranının %40'dan %45'e yükseltilmesi yönünde hedef belirlenmiştir. Günümüzde İsveç ve Norveç'in bu hedefi şimdiden gerçekleştirdiği görülmektedir. Bununla birlikte Avrupa Komisyonunun ilk 2030 hedefi olan %40'ı Litvanya ve Finlandiya'da gerçekleştirmiştir. AB ülkelerinde yenilenebilir enerji kullanımının yıllar itibariyle istikrarlı bir şekilde artış gösterdiği düşünüldüğünde 2030 yılına kadar birçok ülke bu hedefi gerçekleştirebilir.

Tablo 4: AB Ülkelerinde Yenilebilir Enerji Dengesi

Ülke	Üretim	İhracat	İthalat	Toplam Arz	Toplam Tüketim
Avusturya	451	-33	34	451	164
Belçika	188	-17	55	227	89
Çekya	223	-21	19	220	144
Danimarka	184	-2	84	264	56
Estonya	78	-25	4	56	20
Finlandiya	485	-3	9	492	242
Fransa	1124	-29	57	1151	487
Almanya	2065	-127	145	2083	722
Yunanistan	118	-2	8	123	56
Macaristan	138	-16	13	135	85
İrlanda	71	-1	7	78	20
İtalya	1091	-21	111	1175	356
Letonya	113	-56	26	78	44
Litvanya	73	-12	10	71	31
Lüksemburg	13	-1	7	18	8
Hollanda	317	-70	67	305	71
Polonya	556	-25	43	575	401
Portekiz	254	-16	6	244	96
Slovakya	98	-6	5	98	55
Slovenya	46	0	4	50	26
İspanya	805	-83	54	782	239
İsveç	900	-17	78	960	329

Kaynak: IEA (2022d) verileri kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 4’te AB ülkelerinde yenilenebilir enerji üretim, ihracat, ithalat ve toplam tüketim verileri gösterilmektedir. AB ülkelerinde ihtalat ve ihracat miktarı ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Bu yüzden ülkenin toplam enerji üretimi ile toplam enerji arzı farklılaşmaktadır. Enerji arzı oldukça fazla olmasına rağmen tüketim miktarlarının düşük olmasının birkaç farklı sebebi bulunmaktadır. En önemli sebebi yenilenebilir enerjinin depolanması ve taşınması sırasında ortaya çıkan kayıplardır. Bununla birlikte elektrik, ısı ve kombine ısı ve güç santralleri için yüksek miktarda enerji harcanmaktadır. Bu yüzden toplam enerji arzının ne kadarının tüketilebildiği önemli hale gelmektedir.



Grafik 4: AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Arzının Tüketimi

Kaynak: IEA (2022d) verileri kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Grafik 4’te AB ülkelerinde toplam enerji arzının tüketilme oranı gösterilmektedir. Buna göre AB ülkelerinin enerji arzını tüketme oranı 0,43’tür. Polonya, toplam yenilenebilir enerji arzı birçok ülkeden düşük olsa da enerjinin tüketim oranı bakımından en yüksek (0,70) ülke konumundadır. Benzer şekilde Çekya, Macaristan, Letonya, Slovakya ve Finlandiya’nın enerji arzını tüketme oranı AB ortalamasının üzerindedir. Diğer ülkelerden daha fazla enerji üreten Almanya, Fransa ve İtalya gibi ülkelerin enerji ihracatı makul seviyede olmasına rağmen yenilenebilir enerji santrallerine harcanan enerji ve çeşitli enerji kayıplarından dolayı tüketim oranları AB ortalamasının altındadır.



BÖLÜM 2: YENİLENEBİLİR ENERJİNİN YAYGINLAŞMASINA YÖNELİK MALİ ARAÇLAR: AB ÜLKELERİNDEKİ UYGULAMALAR

Genel olarak yenilenebilir ve yenilenemez enerji fiyatları vergiler, sübvansiyonlar ve diğer çevresel ek maliyetlerden etkilenmektedir. İdeal bir dünyada, bu enerji fiyatları maliyeti yansıtan enerji fiyatlarına dayanmalı, verimli ve sürdürülebilir seçimleri teşvik etmeli, bunu yaparken de düşük gelirli hanelere zarar vermemeli ve ekonomik faaliyetleri olumsuz etkilememelidir (IEA, 2021c:65). Bu kapsamda bu bölümde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasına yönelik uygulanan tüm araçlar incelenecek ve ülke uygulamalarına değinilecektir.

2.1. Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasına Yönelik Mali Araçlar

Devletin temel mali araçları olan vergi, harcama ve borçlanma politikaları doğrudan veya dolaylı olarak yenilenebilir enerji kullanımını etkileyebilmektedir. Doğrudan etkilemesi için kullanılan araçlara örnek olarak bu alana yönelik uygulanan vergi teşvikleri gösterilebilir. Öte yandan dünya genelinde çevre kirliliğinin artmasıyla uluslararası karbon nötr hedefine yönelik birçok önlemler alınmaktadır. Çevre kirliliğinin en büyük sebeplerinden biri olan fosil kaynak kullanımının azaltılması amacıyla getirilen önlemler (çevre vergisi gibi) bu kaynakların ikamesi olan yenilenebilir enerji kullanımını etkilemektedir. Yenilenebilir enerjinin bu önlemler sonucunda yaygınlaşması ise dolaylı etkilere örnek gösterilebilir.

Dünya genelinde uygulanan mevcut yenilenebilir enerji politikaları ve teknoloji eğilimleri bu şekilde devam ederse, nüfus ve ekonomik büyümenin bir sonucu olarak küresel enerji tüketiminin ve enerjiye bağlı karbondioksit emisyonlarının 2050 yılına kadar artacağı düşünülmektedir. Bu tahmine göre tüm yakıtların tüketimi artmakla beraber yenilenebilir enerji tüketimi 2020-2050 yılları arasında iki kat fazla artacaktır. Bu tahmine göre 2050 yılında sıvı yakıtlar en büyük enerji kaynağı olmaya devam edecektir fakat yenilenebilir enerji tüketimi neredeyse aynı seviyeye çıkacaktır. Bununla birlikte yenilenebilir enerjide öngörülen bu büyüme belirsizdir ve bu büyük ölçüde düzenleyici politikalara bağlıdır. Piyasa kurallarındaki değişiklikler, yenilenebilir enerji santrallerini desteklemek için uygun maliyetli tedarik zincirleri, yenilenebilir enerjiyi destekleyecek

yeterli miktarda geleneksel üretim teknolojisi ve uygun depolama koşulları yenilenebilir enerji kullanımını artıracaktır. Sonuç olarak yenilenebilir enerji kullanımı, uygun teknoloji maliyetleri ve hükümet politikası tarafından yönlendirilir. Gelecekte teknolojik atılımlar veya önemli politika değişiklikleri olmaksızın petrol ve diğer sıvı yakıtların yerini alması mümkün değildir (EIA, 2021:1-4).

Küresel iklim değişikliğinin en önemli nedeni enerji talebine olan artış sonucu yenilenemez enerji kullanımının artmasıdır. Geçmişte güvenli, uygun fiyatlı bir enerji politikası benimsenirken günümüzde çevreye duyarlı ve sınırlı kaynakları yedekleyen ve verimli kullanan bir enerji politikasına ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle bir yaklaşım çoğunlukla şu unsurlara dayanmalıdır (Gutermuth, 1998:67):

- Mümkün olan her yerde daha tasarruflu bir enerji kullanımı,
- Enerji yoğun materyallerin ve enerjinin tüm çeşitlerinin daha verimli kullanılması,
- Yüksek karbon içeriğine sahip enerjilerin kirletici etkisini azaltmak ve
- Yüksek karbondan düşük karbonlu enerjiye geçiş, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının artan kullanımı dahil olmak üzere karbonsuz yakıtlar.

Yukarıdaki unsurları dikkate alan ve sürdürülebilir olarak ihtiyaçları karşılayabilecek enerji kaynağı yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ancak yenilenebilir enerjinin enerji pazarına girişinde birçok faktör etkilidir. İklim, jeolojik, topografik ve diğer konuma bağlı faktörler yenilenebilir enerji tercihinin etkilemektedir. Şehirlerdeki yerleşim şekilleri ve bina sayısı bunlara örnek olarak gösterilebilir. Öte yandan enerji hizmetlerine olan talebin yapısı da yenilenebilir enerji tercihinin etkilemektedir. Örneğin, elektrik ihtiyacı fazla olan yerlerde bulunduğu konuma göre güneş ya da dalga enerjileri tercih edilebilecektir. Bir diğer faktör yenilenemeyen enerji kaynaklarının fiyatlarına göre yenilenebilir enerjinin fiyatıdır. Rekabet edebilmesi için o bölgede maliyeti etkileyecek olan yenilenebilir enerji potansiyelinin yüksek olması, depolama ve taşıma kolaylığının olması önemlidir. Uygun finansmanın sağlanması, ülkedeki kurumsal, idari, yasal, mali ve diğer koşulların uygun olması, çevreye duyarlı yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için özel sektörün katılımı, bilgiye erişim, eğitim-öğretim, genel farkındalık ve halk tarafından kabul edilebilirlik gibi faktörler de yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında oldukça önemlidir (Gutermuth, 1998:67). Bu faktörlerin çoğunluğu

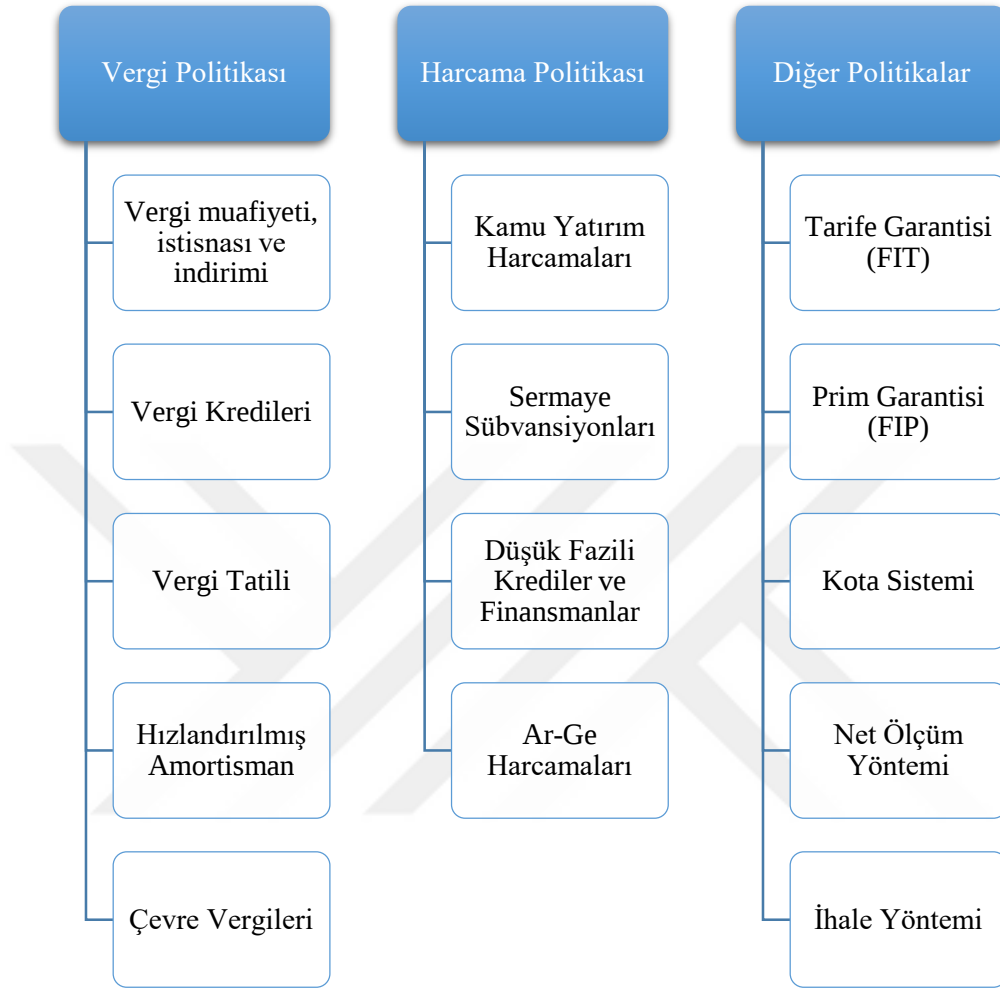
devlet müdahalesiyle olumlu ya da olumsuz şekilde doğrudan etkilenebilir. Bu yüzden sadece piyasa güçlerinin yönlendirmesiyle değil birtakım kamu politikalarıyla yenilenebilir enerji sistemlerine geçiş sağlanabilir.

Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasına yönelik uygulanabilir teşvik ve destek programlarından bazıları şu şekilde sıralanabilir (Steenblik, 2007:23-25);

- Yenilenebilir enerjinin üretilmesinde kullanılan ara girdiler desteklenebilir. Bir diğer ifadeyle üretim sürecinde tüketilen mal ve hizmetler sübvansile edilebilir. Örneğin biyoyakıt elde etmek için etanolün hammaddeleri şeker kamışı, mısır, şeker pancarı ve buğdaydır. Bu ürünlere yönelik sübvansiyonlar ürünler üzerindeki vergileri telafi eder ve yenilenebilir enerji üretimini artırıcı etki yapabilir.
- Doğrudan çıktı bağı (üretilen veya satılan miktar) vergi indirimi ya da vergi istisnası uygulaması getirilebilir.
- Yenilenebilir enerji üretiminin rakip petrol yakıtlarından elde edilen enerjiye karşı piyasa fiyatı ile desteklenmesi sağlanabilir.
- Enerjinin depolama ve dağıtım maliyetlerini azaltmaya yönelik hibeler ve kredilerle altyapı destek programları oluşturulabilir.
- Yenilenebilir enerjinin kullanıldığı ürünlerin tüketim maliyetlerini azaltacak önlemler alınabilir. Örneğin; biyoyakıt kullanımının uygulanabilirliğini göstermek için biyodizelli belediye otobüsleri filosu oluşturmak. Bu filoların satın alma maliyetini azaltacak önlemlerin alınması ve biyoyakıt alımına öncelik veren devlet satın alma programları yenilenebilir enerji tüketimini teşvik edebilir.

Fosil yakıt ile yenilenebilir enerji kaynakları maliyet açısından rekabetçi bir seviyeye gelse de enerji talebindeki artış Avrupa ülkelerinde daha fazladır. Bu yüzden Avrupa ülkelerinde yenilenebilir enerji üretimini teşvik edecek politikalar olmadan yenilenebilir enerjinin büyüme fırsatı daha azdır. Avrupa’da karbon üst sınırı ve ticaret sistemi şeklindeki politika teşvikleri yenilenebilir enerji üretimini artıracak, yenilenemeyen enerji üretimini azaltacak şekilde tasarlanmaktadır. Buna göre 2050 yılına kadar dünya çapında nükleer üretimin %15 oranında artacağı, Avrupa ülkelerinde ise yaklaşık üçte bir oranında azalacağı tahmin edilmektedir (EIA, 2021:24).

Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında kullanılan araçlar vergi politikası, harcama politikası ve diğer politikalar şeklinde üç grupta incelenebilir.



Şekil 3: Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasında Kullanılan Araçlar

Kaynak: REN21 (2017)'den yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

2.1.1. Vergi Politikası

Dünya genelinde birçok ülkede yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması için farklı vergi teşvik politikaları uygulanmaktadır. Bu vergi teşvikleri; gelir vergisi istisnası, emlak vergisi indirim ve istisnası, harcama vergisi indirimleri (KDV ve ÖTV), gümrük vergisi ve ithalat vergisi istisnası şeklinde uygulanabilmektedir. Ayrıca fosil yakıtlar üzerinden alınan karbon vergisi, yenilenebilir enerjiyi teşvik etmektedir (Çelikkaya, 2018:357).

2.1.1.1. Vergi Muafiyeti, İstisnası ve İndirimi

Vergi muafılığı ve istisnası; vergiye tabi bazı kişilerin ve bazı vergi konularının vergi dışında bırakılmasına yönelik uygulamalardır. Bu uygulamalar temelde sosyal, kültürel, ekonomik, mali ve idari nedenlerle yapılabilmektedir. Vergi muafiyeti; vergi kanunlarına göre vergilendirilmesi gereken kişilerin veya kişi gruplarının, aynı veya başka kanunlarla vergi dışı bırakılmasıdır. Vergi istisnası ise; vergi kanunlarına göre vergilendirilmesi gereken vergi konularının aynı veya başka kanunlarla kısmen veya tamamen vergi dışında bırakılmasıdır. Diğer bir ifadeyle vergi muafiyeti subjektif vergi yükümlülüğünün sona ermesidir. Vergi istisnası ise objektif vergi yükümlülüğünün sona ermesidir. Her iki tanımda da önemli olan özellikler bulunmaktadır. Bunlar; i. vergi kapsamına alınmış, vergilendirilmesi gereken kişi ya da kişi gruplarının veya vergi konularının bulunması, ii. Söz konusu kişi ve konuların yasalar ile vergi dışı bırakılması şeklinde gruplandırılabilir. Bu bağlamda vergi konusu olmayan, kendisiyle ilgili olarak vergiyi doğuran olay gerçekleşmeyecek unsurlar bakımından vergi istisnası ya da sahiplerine yönelik muafiyetten söz edilemez. Diğer bir ifadeyle, vergi kapsamına alınmış, vergilendirilmesi gereken kişi ya da konuların, konulan hükümler aracılığıyla vergi dışına çıkarılması yoluna gidilirse muafiyet veya istisnadan söz edilebilir (Akdoğan, 2016:159). Vergilemede adaletin sağlanması açısından muafiyet ve istisna uygulamaları oldukça önemlidir. Fakat bu uygulamaların aşırı kullanımı potansiyel vergi hasılatını düşürerek vergilendirilebilir geliri düşürecek ve vergi erozyonuna sebep olacaktır. Bu yüzden vergilemede adalet ile etkinlik arasında denge kurularak istisna ve muafiyet uygulamalarına yer verilmelidir.

Vergi istisna ve muafiyetleri eşit gelire eşit vergi ilkesini bozup, yüksek gelir dilimindeki yükümlülerce yapılacak riskli yatırımları düşürmeleri nedeniyle hazine, vergi uzmanları ve devlet açısından aşırı maliyet oluşturduğunu düşünenler tarafından eleştirilmişlerdir. Fakat vergi teşvik önlemleri arasında en klasik ve en fazla kullanım alanı bulan uygulamalar vergi muafiyeti ve istisnasıdır. Hem sosyal adaleti sağlamak hem de belirli bir üretim alanını korumak ve geliştirmek gibi ekonomik amaçları gerçekleştirme üzere vergi istisna ve muafiyetlerine hemen her ülke vergi kanunlarında yer vermektedir. İstisna ve muafiyetlere tabi tutulmuş gelirler, vergi dışı bazı gelirlerden ayrışırlar. Vergi dışı bırakılmış gelirlerin vergilendirilmesi için kanunda bir hüküm yoktur. İstisna ve muafiyetlerde ise kişi veya vergi konusu vergi kapsamında olup çeşitli ekonomik, sosyal

ve mali nedenlerle vergi dışı bırakılmaktadır. Vergi muafılığı ve istisnasının gerekçeleri şu şekilde sıralanabilir (Giray, 2012:69-70);

- Ekonomik nedenler: Bu teşvikler ülke kalkınması için gerekli olan nitelik ve nicelikte yatırımın oluşturulmasına yardımcı olmak ve kalkınması istenen bölgelerin gelişmesine katkıda bulunmak amacıyla yapılmaktadır. Örneğin yeni gelişen sanayilere tanınan vergi istisnaları ülkede daha önce olmayan bir faaliyetin yapılmasını teşvik edebilir.
- Mali nedenler: Bu tür gelir unsurlarından alınacak vergi tutarı bunların toplanmasının idareye getireceği yükten daha az olabilir. Bu nedenle alınacak vergiden vazgeçilebilir.
- Sosyal nedenler: Sosyal amaçlı istisna ve muafiyet uygulamalarıyla gelir dağılımında adalet sağlanmaya çalışılır. Piyasa ekonomisinde oluşan gelir dağılımına devlet müdahale ederek geliri yeniden dağıtma görevi görür.
- İdari nedenler: Gelir vergisinin çok geniş düşük gelirli vergi yükümlüsü kesimine yaygınlaşmasının getireceği idari yetersizlikleri önlemek için vergi istisnası ve muafiyeti bir araç olarak kullanılabilir.
- Siyasi nedenler: Vergi istisna ve muafiyetleri siyasi nedenlere dayalı olarak baskı gruplarının gelirlerini vergi dışı bırakmak için kullanılabilir.

Tüm bu yaygın nedenlerin dışında devletin rolünün gelişimi ve değişimine de bağlı olarak vergi muafılığı ve istisnası birçok farklı amaç için kullanılabilmektedir. Birçok ülkede vergi muafılığı ve istisnası yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında önemli bir mali teşvik aracı olarak kullanım alanı bulmaktadır. Örneğin Almanya’da biyokütle enerjisinden elde edilen yakıtların diğer vergilerden muaf tutulmasıyla, yüksek vergili konvansiyonel dizel yakıtlara karşı yenilenebilir kaynakların rekabet gücü artırıldı. Buna bağlı olarak yenilenebilir enerji yakıtlarının satış rakamları arttı (Abolhosseini ve Heshmati, 2014:880).

Yenilenebilir enerji üretiminin yaygınlaşmasını sağlamak için bazı ülkelerde gelir vergisi, kurumlar vergisi, katma değer vergisi, özel tüketim vergisi ve emlak vergisi üzerinde vergi muafiyeti uygulanmaktadır (Akbaş Akdoğan, 2018:117).

2.1.1.1.1. Gelir Vergisi Muafiyeti, İstisnası ve İndirimi

AB'ye üye bazı ülkeler yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmek amacıyla gelir vergisini kullanmaktadır. Bu vergi önlemleri, gelir kaynağına ve kurulu kapasiteye bağlı olarak vergi indirimlerine veya muafiyetlerine izin verdiği için daha yaygın kullanılmaktadır. Ayrıca kişisel gelir vergisi verginin şahsiliği ilkesine göre alındığı için mükellefin iş ve faaliyetleri göz önünde bulundurularak vergilendirilmesine imkân tanımaktadır. Böylece hem gelir dağılımını düzeltici etki sağlanabilir hem de yenilenebilir enerji üretimi teşvik edilebilir. Örneğin Çek Cumhuriyeti, yenilenebilir enerjiden elektrik üretimini teşvik etmek amacıyla kişisel gelir vergisini bir araç olarak kullanmaktadır. Hak sahibi kişiler, vergiye tabi gelir elde eden yenilenebilir enerji sistemlerinin işletmecileridir. Mükellefin bu tür bir enerjinin ulusal şebekeye satışından elde ettiği gelirler üzerindeki verginin toplam muafiyetine izin vermektedir. Ayrıca ülkede kurumlar vergisine de muafiyet uygulanmaktadır. Benzer şekilde Belçika'da güneş enerjisi ve jeotermal enerjinin kullanımını teşvik etmek amacıyla gelir vergisinden indirim yapılmaktadır. Bu enerji sistemlerinin kurulumu için yapılan harcamalar, gelir vergisinden mahsup edilebilmektedir. Fransa'da ise güneş enerjisinin yanında rüzgâr enerjisi, hidroelektrik ve biyokütle enerjisi sistemlerine yönelik muafiyet söz konusudur. Öte yandan Lüksemburg kişisel gelir vergisini sadece güneş enerjisinden üretilen elektriği teşvik etmek için kullanmaktadır. Bu kaynaktan üretilen elektriğin satışından elde edilen gelir vergiye tabi tutulmaz (Cansino vd., 2010:6002). Yunanistan'da ise masrafları kendilerine ait olmak üzere veya ulusal programlara katılarak binalarının enerji iyileştirmesini gerçekleştiren gerçek ve tüzel kişiler için gelir vergisi indirimi sağlanmaktadır (Maroulis, 2019a). Arjantin'de ise yenilenebilir enerji projelerinde kullanılan tüm emtialar gelir vergisinden istisnadır. Ayrıca biyoyakıt üreticileri, ulusal topraklarda pazarlanan akaryakıt miktarı için hidrolik altyapı vergisi ve akaryakıt vergisine tabi değildir (KPMG International, 2015).

2.1.1.1.2. Kurumlar Vergisi Muafiyeti, İstisnası ve İndirimi

Bazı ülkelerde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında kurumlar vergisi muafiyet ve indirimi önemli rol oynamaktadır. Örneğin, Madagaskar'da yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların %50'sine denk gelen kurumlar vergisi indirilmektedir. Tayland'da ise elektrikli araç üreticilerine kurumlar vergisi muafiyeti getirilmiştir. (IEA, 2022b). Ayrıca

Belçika, Yunanistan, Çek Cumhuriyeti ve İspanya’da kurumlar vergisi indirimi uygulanmaktadır. Belçika’da yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılarak elde edilen kar üzerinde vergi muafiyeti sağlanmaktadır. Yunanistan’da ise yeşil elektrik santrallerini finanse etmek için kullanılan fonlara kurumlar vergisi muafiyeti getirilmiştir. İspanya’da ise yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulması için yapılan yatırım maliyetlerinin belirli bir yüzdesi kurumsal kardan düşülebilmektedir. Öte yandan Çek Cumhuriyeti’nde yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminden elde edilen gelir kurumlar vergisinden muaf tutulmaktadır (Cansino vd., 2010:6003).

2.1.1.1.3. Emlak Vergisi Muafiyeti, İstisnası ve İndirimi

Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında kullanılan diğer bir araç emlak vergisidir. Emlak vergisi istisna, indirim ve iade olmak üzere üç şekilde teşvik aracı olarak kullanılabilir. Avrupa ülkelerinin istisna ve indirimi yaygın olarak kullandığı, Asya ülkelerininse daha çok iade yöntemini kullandığı söylenebilir. ABD ise bu üç emlak vergisi teşvik yöntemini bir arada kullanan tek ülke olma özelliğine sahiptir (Çelikkaya, 2017:71-72).

Yeşil bina gelişimini sağlamak amacıyla kullanılan teşvikler mali ve yapısal teşvikler olmak üzere ikiye ayrılır. Mali teşvikler, emlak vergisi teşvikleri, hibeler ve geliştirme ücretleri gibi parasal destekleri içerir. Yapısal teşvikler ise, pazarlama, teknik yardım, hızlandırılmış izin işleme ve yoğunluk bonusu gibi uygulamaları içerir. Mali teşvikler özellikle yeşil binalar üzerindeki emlak vergisi teşvikleri birçok Avrupa ülkesinde yaygın olarak uygulanmaktadır (Shazmin vd., 2016:537). Örneğin İspanya’da güneş enerjisi kullanılan mülklerde emlak vergisine %50 oranına kadar indirim uygulanmaktadır. Bu vergi indirimi bir yıldan üç yıla kadar uygulanabilmektedir. Benzer şekilde İtalya’da güneş enerjisi sistemlerinin kurulumunu teşvik etmek amacıyla belediyeye bağlı olarak emlak vergisine %50’ye kadar indirim uygulanabilmektedir (Sánchez-Braza ve Pablo-Romero, 2014:833). Ayrıca belediyeden yenilenebilir tesisatı ile donatılmış binalar için emlak vergisi indirimi alınması da mümkündür. 2008 Bütçe yasası belediyelere yenilenebilir enerji sistemleriyle donatılmış binalara emlak vergisi indirimi yapma yetkisi vermektedir (Schwarz, 2019). Fransa’da ise evlerin enerji verimliliğini ve düşük karbonlu olmasını yaygınlaştırmak amacıyla bazı şehirlerde konut enerji işleri için üç yıl boyunca %50 ile %100 arasında emlak vergisi muafiyeti getirmiştir. Bu muafiyet için evlerin ısı

yalıtlı olması, yenilenebilir enerji ekipmanları ve ısı pompalarına sahip olması gibi şartlar bulunmaktadır (IEA, 2022b). Öte yandan Bulgaristan ve Kanada yeşil bina geliştirme kapsamında yenilenebilir enerji teknolojilerine %100 oranında vergi muafiyeti sağlamaktadır. Bu ülkelerin dışında Romanya, Malezya ve Hindistan'da yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasına yönelik emlak vergisi teşvikleri (muafiyet ve indirim) uygulanmaktadır. Romanya'da bazı yerel yönetimlerde yeşil binalar için emlak vergisi teşvikleri sağlanmaktadır. Emlak vergisi bir mülkün yıllık kira değerine göre Romanya'daki yerel yönetim tarafından alınır. Bu teşvikler güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidro enerji, jeotermal ve biyokütle enerji sistemleri gibi yenilenebilir enerji sistemleri için geçerlidir (Shazmin vd., 2016:538). Çek cumhuriyeti'nde ise biyokütle, biyogaz, hidrotermal ve jeotermal enerji üretimi için kullanılan tüm gayrimenkuller emlak vergisinden muaftır (Valach, 2019a). İtalya'da yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik ve ısı enerjisi için emlak vergisi indirimi yoluyla teşvik edilmektedir. Uygulanan vergi indirimleri belediyeler bazında farklılık göstermekle birlikte 5 yıl geçerliliği bulunmaktadır (Schwarz, 2019). Öte yandan İsveç'te rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik, Federal Emlak Vergisi Yasası'nda tanımlandığı şekilde emlak vergisinin düşürülmesine imkân tanımaktadır (Vagerö, 2019).

2.1.1.1.4. Motorlu Taşıtlar Vergisi Muafiyeti, İstisnası ve İndirimi

Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında bazı ülkelerde motorlu taşıtlar vergisinin (MTV) de teşvik aracı olarak kullanıldığı görülmektedir. MTV konusunda ülke uygulamaları genel olarak değerlendirildiğinde, bazı ülkelerde doğrudan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik teşvikler bulunmakla birlikte, yaygın olarak elektrikli araç kullanımını artırmaya yönelik bir teşvik aracı olarak kullanılmaktadır. Elektrikli araçların yaygınlaşması ise dolaylı olarak yenilenebilir enerjiye geçişin bir parçasıdır. Nitekim bazı ülkeler bu tür MTV uygulamalarında sürdürülebilirlik açısından yenilenebilir enerjinin önemine dikkat çekerek elektrikli araçlara çeşitli teşvikler getirmektedir. Örneğin, Almanya'da sürdürülebilirlik ve çevrenin korunması amacıyla 1 Ocak 2021'de motorlu taşıtlar vergisine bazı maddeler eklenmiştir. Buna göre bu tarihten itibaren yeni kaydolunan araçlarda km başına 95 g CO₂ emisyonunun üzerindeki araçlar için daha yüksek oranda vergi alınacaktır. Elektrikli araçlara yönelik 10 yıllık taşı vergisi muafiyeti ise 2030 yılı sonuna kadar uzatılmıştır (IEA, 2022b). Buna göre, Almanya'da 2020-2025

yılları arasında yeni tescil edilen elektrikli araçlar on yıl boyunca (2030'a kadar) MTV'den muaf tutulacaktır (Braun, 2020). Bu uygulamaların yanı sıra daha az emisyon yayan otomobil, otobüs, kamyon, gemi ve hatta uçak filoları için üreticilere önemli miktarda finansal destek sağlanmaktadır (IEA, 2022b). Benzer şekilde İrlanda'da elektrikli ya da hibrit araç alımlarında evde şarj cihazı hibesi, halka açık caddelerde ve otoparklarda özel park yeri gibi uygulamaların dışında araç tescil vergisi ve motorlu taşıtlar vergisi indirimi uygulanmaktadır. Danimarka'da ise yalnızca elektrikli araçlarda satın alma vergisi indirimi uygulanmaktadır. Öte yandan Çin'de 1 Ocak 2012 tarihinden itibaren nitelikli enerji verimli araçlar ve gemiler için %50 taşıt ve gemi vergisi indirimi uygulanmaktadır. Nitelikli yeni enerji (çoğunlukla elektrikli) araçlar ve gemiler ise taşıt ve gemi vergilerinden muaf tutulmaktadır. Ayrıca temiz enerjiyi teşvik amaçlı satın alınan elektrikli araçlar, araç alım vergisinden muaftır (KPMG International, 2015). Hollanda'da taşımacılık sektöründe verimli, düşük emisyonlu araçları geçişi teşvik etmek amacıyla araçların emisyon değerlerine göre kademeli bir vergilendirme sistemi uygulanmaktadır. Sıfır emisyonlu elektrikli minibüsler ve fişli hibrit araçlar ise 2025'e kadar MTV'den muaftır. Benzer şekilde İsveç'te 2009'dan itibaren düşük emisyonlu araçlar (yeşil araçlar) ilk beş yıl MTV'den muaftırlar. Bu vergi muafiyeti 2013'te karavanları, hafif ticari araçları ve hafif otobüsleri kapsayacak şekilde genişletilmiştir (IEA, 2022b). Türkiye'de ise tam elektrikli otomobiller için %75 oranında MTV indirimi bulunmaktadır (GİB, 2021). Öte yandan Japonya, İtalya, İspanya, Avusturya ve Malta gibi ülkelerde elektrikli araçlara yönelik birçok MTV indirim ve muafiyet uygulamasının olduğu görülmektedir. Elektrikli araçlara yönelik uygulanan MTV indirim ve muafiyetlerinin haricinde, düşük motorlu ya da düşük emisyonlu araçlara da MTV indirimi ya da muafiyeti uygulandığı görülmektedir. Bu tür uygulamaların elektrikli araç kullanımını ve dolaylı olarak yenilenebilir enerjiye geçişi teşvik ettiği söylenebilir. Bazı ülkelerde yeşil araç olarak nitelendirilen sıfır emisyonlu araçlara, MTV dışında tescil vergisi, KDV ÖTV gibi vergilerde indirim ve muafiyet uygulamasına gidildiği görülmektedir. Bu tür uygulamalar da fosil yakıtların kullanımını azaltarak yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında etkili olabilir.

2.1.1.1.5. Katma Değer Vergisi Muafiyeti, İstisnası ve İndirimi

Bazı ülkelerde katma değer vergisi (KDV) muafiyeti de yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında bir araç olarak kullanılmaktadır. Örneğin Norveç 2015-2022 yılları arasında elektrikli otomobillerin satın alınması ve kiralanmasında katma değer vergisi muafiyeti uygulamaktadır. Bu sayede fosil yakıtlı alternatifler yerine sıfır emisyonlu elektrikli araçların pazardaki payının artırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca Norveç hükümeti sera gazı emisyonlarının azaltılmasını ve bu yolla çevrenin korunmasını teşvik etmesi nedeniyle elektrikli araçlarda KDV muafiyetinin gelecek yıllarda da sürdürülmesini düşünmektedir (Regjeringen, 2020). Kanada'da sıfır emisyonlu araçlara yapılan ticari yatırımlarda belirli araç yelpazesi ve otomotiv ekipmanlarını içeren faaliyetler için vergi muafiyeti uygulanmaktadır (Kanada Maliye Bakanlığı, 2020). Hindistan'da elektrikli araçların satın alınmasında daha önceleri uygulanan %28 oranındaki mal ve hizmet vergisi önce %12'ye daha sonra ise %5'e düşürülmüştür. Ayrıca şarj istasyonlarındaki mal ve hizmet vergisi %18'den %5'e düşürülmüştür. Bununla birlikte Hindistan'da yerel makamlar tarafından (12'den fazla yolcu taşıma kapasiteli) elektrikli otobüslerin kiralanması mal ve hizmet vergisinden muaftır (Hindistan Maliye Bakanlığı, 2019). Fransa'da ise binalara güneş enerjisi paneli (fotovoltaik) kuran kişiler KDV indiriminden yararlanmaktadır (Vidalic, 2019). İtalya rüzgâr ve fotovoltaik güneş enerjisi üretimi ile ilgili satış ve hizmetlerin yanı sıra yeşil elektrik dağıtım şebekelerine yapılan yatırımlarda %20 KDV yerine %10 KDV oranı uygulamaktadır. Bu vergi avantajı işletmeler, profesyoneller ve özel kişiler için geçerlidir (Schwarz, 2019). Portekiz ise yeşil elektrik satın alma işlemlerinde %21 oranında KDV yerine %12 oranında KDV uygulamaktadır (Cansino vd., 2010:6004).

Letonya'da ise biyokütle ve biyogaz tedarik eden şirketlere KDV indirimi uygulanmaktadır (Upatniece, 2019). Benzer şekilde Arjantin'de biyoyakıt, güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve jeotermal enerjiler için iki teşvik türü bulunmaktadır. Birincisi projeye dâhil yeni amortisman tabi emtialar (otomobiller hariç) için KDV iadesi, ikincisi hızlandırılmış gelir vergisi amortismanı uygulamasıdır. Aynı proje için bu teşvik türlerinde sadece birinden yararlanma imkânı bulunmaktadır (KPMG International, 2015). Öte yandan Madagaskar'da yenilenebilir enerji üretimi için ekipman Katma Değer Vergisinden muaftır. KDV muafiyeti rüzgâr enerjisi jeneratörleri, hidroelektrik

jeneratörleri, güneş enerjili su ısıtıcıları ve güneş PV panelleri (güneş enerjisinden elektrik üretimi) için geçerlidir (IEA, 2022b).

2.1.1.1.6. Özel Tüketim Vergisi Muafiyeti, İstisnası ve İndirimi

Bazı ülkelerde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında özel tüketim vergisi (ÖTV) teşvik aracı olarak kullanılmaktadır. Polonya tüketim vergileri yasasına göre LNG, CNG, biyogaz, hidrojen ve biyohidrojen gibi motor yakıtları özel tüketim vergisinden (%0 vergi) muaftır. Ayrıca Polonya’da yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten üreticiler, elektrik satış ve tüketiminde vergiden muaftır. Portekiz’de de benzer bir muafiyet uygulaması yenilenemez enerji kaynakları üzerinde düşünülmektedir. Yoğun Enerji Tüketimi Yönetim Sistemi (The Management System of Intensive Energy Consumption-SGCIE), Portekiz Enerji Verimliliği Eylem Planına entegre edilmiş bir programdır. Bu program yönetmelikte birtakım düzenlemeler yaparak sera gazı azaltımı için bir teşvik mekanizması oluşturarak karbon emisyonunu azaltmayı taahhüt edenlerin petrol ve diğer enerji ürünleri üzerindeki özel tüketim vergilerinden muaf olmalarını önermektedir (IEA, 2022b). Ayrıca Portekiz’de küçük biyoyakıt üreticileri petrol ürünleri vergisinden (ISP) muaftır (Jimeno, 2019). Arnavutlukta ise yenilenebilir enerji kaynakları gümrük ve tüketim vergisinden muaf tutularak teşvik edilmektedir. Ayrıca küçük yenilenebilir enerji santralleri için bir tarife garantisi ve daha büyük olanlar için bir prim tarifesi bulunmaktadır. Bu uygulamalar 15 yıllık süre için uygulanmaktadır (Sternkopf, 2019).

Hırvatistan’da biyoyakıtlar için tüketim vergisinin 0 olarak belirlenmesi ve çeşitli kota yükümlülükleri getirilmesi gibi destek planları bulunmaktadır (Cetkovic, 2019). Benzer şekilde Çek cumhuriyeti’nde ulaşım alanında kota sistemi uygulamasının yansırı biyoyakıtlar için tüketim vergisi muafiyeti getirilmiştir (Valach, 2019a). Letonya’da ise sadece ısınma amaçlı kullanılan biyogaz için ÖTV indirimi bulunmaktadır (Upatniece, 2019). Öte yandan Litvanya’da ÖTV indirimi ulaşım için kullanılan biyoyakıtlar için geçerlidir. ÖTV oranı, bir ton biyoyakıt başına biyokütle yüzdesi oranında düşürülür (Tallat-Kelpsaite, 2018). Hollanda’da ürettikleri elektriği (kendi tüketim maddesi) kullanmak için yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretenler, elektrik tüketimi üzerinden alınan vergiden (enerji vergisi) muaf tutulmaktadır (Anciaux, 2019). Aynı uygulama Slovakya’da ise kendi kullanıma dahi yenilenebilir enerji kaynaklarından

üretilen elektrik tüketim vergisinden muaf tutulmaktadır (Valach, 2019b). Slovenya’da enerji ürünleri üreten, işleyen, elinde tutan, alan veya dağıtan şirketler, belirli bir miktarda tüketim vergisi ödemekle yükümlüdür. Yakıtlar biyoyakıtlarla karıştırıldığında ise bu miktar azalır veya hiç ödenmesi gerekmez (Rajkovic, 2019). İsveç maliye bakanlığı ise 2021 bütçesinde açıklanan vergi teklifleriyle birlikte beş yasa tasarısı sundu. Bu tekliflerde kendi elektriğini üreten vatandaşların vergiden muaf tutulması yer almaktadır. Buna göre güneşten elektrik üretenler için 500 kilovat, rüzgâr veya dalgalardan enerji üretenler için 250 kilovat diğer durumlarda ise 100 kilovat limit olarak belirlenmiş olup bu miktara kadar yenilenebilir kaynaklardan enerji üreten kişiler enerji vergilerinden muaf tutulmaktadır. Ayrıca yasa teklifine göre yenilenebilir kaynaklardan elektrik üreten üreticiler beyannamelerinde enerji vergisi için tam kesinti yapabilirler. Aynı zamanda her tesis güç sınırlarının altına düştüğü sürece elektrikten tam vergi muafiyeti sağlanabilecektir (Regeringskansliet, 2021). Romanya’da ise elektriğin yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmesi durumunda enerji ürünleri ve elektrik kullanımı tüketim vergisinden muaf tutulmaktadır. Öte yandan Danimarka’da sadece küçük tesislerde (15 kw’tan az) rüzgâr, hidroelektrik veya güneş enerjisiyle üretilen elektrik için özel tüketim vergisi muafiyeti getirilmiştir. Almanya’da yenilenebilir enerji teşvikine yönelik belirli şartların olması durumunda elektrik vergisi muafiyeti sağlanmaktadır (Cansino vd., 2010:6004-6005).

2.1.1.1.7. Gümrük Vergisi Muafiyeti, İstisnası ve İndirimi

Bazı ülkelerde gümrük vergisi muafiyetinin de yenilenebilir enerjiyi teşvik etmek amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, Hindistan yenilenebilir enerji projelerini geliştirmek amacıyla bu projelerde gerekli olan belirli mallar üzerinde gümrük ve tüketim vergileri muafiyeti uygulamaktadır. Yenilenebilir enerji projelerinin maliyetinin %10 ile %20’sinin vergi maliyeti olduğu düşünüldüğünde bu teşvik oldukça önemlidir. Türkiye’de ise 2012 yılından bu yana yenilenebilir enerji yatırımları (güneş ve rüzgâr enerjisi) için yatırım ekipmanı alımında KDV muafiyeti, yatırım ekipmanı ithalatında ise gümrük vergisi muafiyeti sağlanmaktadır. Kosta Rika’da daha geniş kapsamlı yenilenebilir enerji projeleri için gümrük vergisi muafiyeti bulunmaktadır (KPMG International, 2015:25-68). Ayrıca Kosta Rika’da yenilenebilir enerji projesiyle ilgili olması şartıyla geçici olarak ithal edilmiş olan birçok ürün ithalat vergisinden muaf

tutulmaktadır. Yenilenebilir enerji projesi tamamlanınca ve ithal edilen ürünlere artık ihtiyaç kalmayınca, bu ürünler gümrük vergisine tabi olmaksızın ihraç edilebilir. Öte yandan Filipinler’de yenilenebilir enerji makinaları, ekipmanları ve malzemeleri on yıl boyunca gümrük vergisinden muaf olarak ithal edilebilmektedir. Bu teşvik ithalat işleminden önce Filipin Enerji Bakanlığı’ndan onay alınarak, yenilenebilir enerji ruhsatının alınmasından sonraki ilk 10 yıl boyunca geçerli olmaktadır. İthal edilen tüm ekipmanlar sadece yenilenebilir enerji tesislerinde kullanılıp doğrudan faaliyetle ilgili olmalıdır. Uruguay’da ise sadece güneş termal enerjinin teşvik edilmesi amacıyla güneş termal enerji araştırma, üretme, uygulama ve geliştirme faaliyetleri için gerekli olan ürünlere gümrük vergisi muafiyeti uygulanmaktadır (KPMG Türkiye, 2016:25,52,75). Öte yandan Arnavutluk’ta yenilenebilir enerji dâhil olmak üzere yeni enerji santrallerinin yapımında kullanılan makine ve teçhizat gümrük vergisinden muaftır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretiminde yatırımcılar, ilgili yapı ruhsatını aldıktan sonra, planlanan yenilenebilir enerji için ithal edilecek belirlenmiş makine ve teçhizatın tam listesini ithalattan 6 ay önce enerji bakanlığına bildirmesi halinde, ilgili ithalat vergileri bakanlıkça onaylanarak muaf tutulmaktadır (Sternkopf, 2019).

2.1.1.2. Vergi Tatili Uygulaması

Bazı ülkelerde yenilenebilir enerji faaliyetleri için gelir üzerinden alınan vergilerde vergi tatili uygulanmaktadır. Örneğin Hindistan’da gelir vergisi kanunu kapsamında elektrik üretimi veya dağıtımı ile uğraşan kuruluşlara yenilenebilir enerji santrallerinde 31 Mart 2017 tarihinden önce elektrik üretimine başlamaları halinde 10 yıllık vergi tatili uygulanmasına karar verilmiştir. Bununla birlikte bu tesislerin gelecek 10 yıl içinde mahsup edilebilecek gelire bağlı olarak yaklaşık %20,4-21,4 oranında asgari alternatif bir vergi ödeme zorunluluğu getirilmiştir (KPMG International, 2015:38). Yenilenebilir enerji faaliyetlerine vergi tatili uygulayan bir diğer ülke Zimbabve’dir. Zimbabve’de enerji, su ve ulaşım sektörlerinde faaliyet gösteren yenilenebilir enerji yatırımcılarına 10 yıllık gelir vergisi tatili uygulanmaktadır. Myanmar’da ise 2012 yılında yürürlüğe giren “Yabancı Yatırım Kanunu” ile yenilenebilir enerji faaliyetinde bulunan yabancı yatırımcılar için 5 yıllık gelir vergisi tatili uygulanmaktadır. Ayrıca ihraç edilen mallar için karın %50’sine kadar gelir vergisi indirimi uygulanmaktadır. Öte yandan

Filipinler’de 2008 yılında yürürlüğe giren “Yenilenebilir Enerji Kanunu” ile birlikte yenilenebilir enerji üretim faaliyetlerinde bulunanlara yönelik 7 yıllık gelir vergisi tatili uygulanmaktadır (IEA, 2022b). Bununla birlikte yenilenebilir enerjiye yönelik yapılan ek yatırımlara, gelir vergisi tatilinin ilk kullanılabilirlik süresinin üç katını aşmayan gelir vergisi muafiyeti uygulanmaktadır (KPMG International, 2015:52). Vergi tatili sona erdiğinde bu işletmelerden %30 yerine %10 oranında kurumlar vergisi alınmaktadır. Bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik KDV’den muaf tutulmaktadır (IEA, 2022b).

2.1.1.3. Hızlandırılmış Amortisman Uygulaması

Yenilenebilir enerjiye sağlanan vergisel avantajlardan biri de hızlandırılmış amortisman uygulamasıdır. Bu uygulamada proje geliştiricisi projenin ilk yıllarında daha fazla aktif/varlık değerini gider olarak gösterebilmektedir. Amortismanlar vergi matrahından gider olarak düşüldüğü için proje geliştiricisi olan mükelleflerin ilk yıllardaki vergiye tabi gelirleri azalacak ve onlara projelerini geliştirme için ek avantaj sağlanmış olacaktır. Duran varlıkların değeri hızla değer kaybederek ekonomik ömrünün sonuna yaklaştığında, vergiler sonraki yıllarda daha yüksek bir oranda olmakta ve böylece hükümetlerin sağladıkları sübvansiyonların bir kısmı geri kazanılabilecektir (Akbaş Akdoğan, 2018: 117). Örneğin, Hindistan’da yenilenebilir enerji üretimi yapan şirketlere %80 oranında hızlandırılmış amortisman imkânı sağlanmaktadır. Elektrik üretimi ve dağıtımı ile uğraşan işletmeler tarafından 31 Mart 2005 tarihinden sonra kurulan tesislere ise normal amortisman ek olarak % 20 oranında ek amortisman imkanı sağlanmaktadır (Ulusoy ve Bayraktar Daştan, 2018:146). 1 Nisan 2017 tarihinden itibaren 2016-2017 Birlik Bütçesi kapsamında Hindistan’da hızlandırılmış vergi amortismanı %40’a düşürülmüştür. Bu imkândan güneş enerjisi üretim sistemleri, rüzgâr enerjisi tesisleri ve bu tesislerdeki cihazlar, biyogaz tesisi ve biyogaz motorları, elektrikli araçlar ile enerji üreten tarımsal ve belediye atık dönüştürme cihazları faydalanabilmektedir (IEA, 2022b).

Belçika’da ise normal amortismanlara ek olarak yeni satın alınan veya kurulan enerji tasarruflu varlıkların satın alma veya yatırım değerinin bir yüzdesi vergiden düşülebilir. Fransa’da ise hızlandırılmış vergi amortismanı 2011 yılında yeniden uygulanmamıştır. Fakat yenilenebilir enerji üretmek için kullanılan bazı ekipmanlara azalan bakiye yöntemi uygulayabilmektedir. İsteğe bağlı olan bu yöntem, doğrusal amortisman yöntemine

ilişkin amortisman oranının, varlığın beklenen faydalı ömrüne göre kanunla belirlenen bir katsayı ile çarpılmasından oluşmaktadır. Uygulamada bir şirket amortisman döneminin başında azalan amortisman yöntemini uyguladığında muhasebe amortismanında daha yüksek bir vergi amortismanı elde edebilir. Öte yandan İrlanda'da şirketler, satın alma sırasında yapılan sermaye harcamaları için %100 oranında hızlandırılmış sermaye indirimi (vergi amortismanı) talep etme hakkına sahiptir. İtalya'da rüzgâr ve güneş santralleri, vergisel amaçlarla olağan amortisman kurallarında tabiidir. Güneş enerjisi santrallerinde amortisman oranı, varlığın taşınmaz olarak kabul edilmesi durumunda %4, varlığın taşınır olarak değerlendirilmesi durumunda ise %9'dur. Taşınmaz olarak değerlendirilen rüzgâr santrallerinde amortisman oranı ise %4'tür. Öte yandan Japonya'da yeşil yatırım vergisi teşviki ve tarife garantisi için onay alan işletmeler, satın alma tarihinden itibaren 1 yıl içinde güneş veya rüzgâr enerjisi üretim ekipmanı alırsa üç farklı teşvikten birini seçebilir. Bu teşviklerden birincisi, normal amortisman ek %30 oranında amortisman, ikincisi rüzgâr enerjisi üretim ekipmanları için %100 amortisman (yani toplam satın alma maliyetleri peşin olarak düşülebilir), üçüncüsü ise vergi kredisi uygulamasıdır. Meksika'da ise yenilenebilir enerjiden elde edilen enerji üretimine yönelik makine ve teçhizat yatırımları 12 aylık dönemde tamamen hızlandırılmış amortisman tabi tutulmaktadır. Bu teşvik güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle ve deniz kaynaklı enerjiler için geçerlidir.

Hollanda'da nitelikli çevre dostu varlıklara isteğe bağlı ücretsiz amortisman uygulanabilmektedir. Varlığın yatırım maliyetinin %75'ine kadar bedelsiz amortisman ayrılır. Uygulanan maksimum yatırım maliyeti ise 2015'te bir takvim yılında 25 milyon Euro'dur. Peru'da hidro, rüzgâr, jeotermik, biyokütle, dalga veya gelgit veya diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi gelir vergisinden yıllık maksimum %20 oranında amortisman tabidir. Bu uygulama 29 Haziran 2008 yılından itibaren işletilmeye başlayan tesisler için geçerlidir. Filipinler'de ise yenilenebilir enerji faaliyetlerinde hızlandırılmış amortismandan faydalanmak için gelir vergisi muafiyetinden yararlanmamış olma şartı getirilmiştir (KPMG International, 2015). Madagaskar'da ise binalar hariç ekipman yatırımı net değer %30'u oranında hızlandırılmış amortisman tabi tutulabilmektedir (IEA, 2022b).

2.1.1.4. Vergi Kredileri

Vergi kredisi kısaca vergi mükelleflerinin ödeyecekleri vergiden doğrudan düşebilecekleri para miktarıdır. Vergi kesintileri vergiye tabi gelir miktarını azaltırken, vergi kredisi gerçek vergi miktarını azaltır. Diğer bir tanıma göre vergi kredisi, vergi öncesi karın belirli bir miktarının gelecekte yapılacak olan yatırımları finanse etmek için fon olarak tutulmasıdır. Vergilendirilmeyen bu fon yatırımları finansman kolaylığı sağlamaktadır. Bu teşvik yöntemi vergi mükellefleri için önemlidir. Genel olarak vergi kredileri iki şekilde uygulanmaktadır. Bunlar, üretim vergi kredileri ve yatırım vergi kredileridir. Yenilenebilir enerjiye yönelik uygulanan üretim vergi kredileri, nitelikli bir mülkün veya tesisin yatırımcısına veya sahibine, o tesis tarafından üretilen yenilenebilir enerji miktarına dayalı olarak vergi kredisi sağlayan bir vergi teşvikidir. Bu alanda uygulanan yatırım vergi kredileri ise yenilenebilir tesislerin kurulması, donanımların toplanması ve taşınması gibi süreçlerin pahalı olması ve yeni teknoloji olmanın getirdiği riskleri barındırması sebebiyle maliyetleri azaltmak amacıyla uygulanan bir vergi teşvik yöntemidir. Bir diğer ifadeyle yatırım vergi kredisi yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların, bir proje geliştiricisinin, endüstrinin, bina sahiplerinin vb. mükelleflerin vergi yükümlülüklerine veya gelirine karşı tamamen veya kısmen kredilendirilmesine izin veren mali teşviktir (REN21, 2017:217-218)

Vergi kredisinin vadesi değişken veya sabit olabilmektedir. Sabit vergi kredisinde bir yıl içinde yapılacak yatırım harcamalarının sabit bir yüzdesinin fon olarak ayrılmasına imkân tanınır. Değişken vergi kredisinde ise yapılacak yatırım harcamalarının bir yılı aşması halinde aşan kısmın gelecek yıllara devredilebilmesine imkân tanınır. Vergi kredileri ihracat şartı, yerli kullanım şartı, katma değer içerde kalması gibi şartlara bağlı olarak uygulanabilir (Acinöroğlu, 2009:152; Akbaş Aydoğan, 2018:122)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin yatırım, üretim veya tüketim bölümleri için vergi kredileri uygulanabilir. Ayrıca yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını amaçlayan politikalar, yenilenebilir enerji dağıtımının piyasaya girmesini kolaylaştırmak amacıyla yenilenebilir enerji donanımlarının satın alınması ve kurulumuna vergi kredileri uygulayabilir (Abolhosseini ve Heshmati, 2014:880). AB ülkelerinde vergi kredileri başlangıçta Ar-Ge faaliyetlerine yönelik uygulanmaktaydı. Avusturya, Danimarka, Fransa, Hollanda, İspanya, İngiltere gibi ülkelerde vergi kredileri

yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle 1990'lı yılların başından itibaren Ar-Ge faaliyetlerinin yanında yenilenebilir enerjiye yönelik teşvikler yaygınlaşmıştır. Atılan bu adımlarda Kyoto protokolünün etkisi bulunmaktadır. Bu protokolden üye ülkelere 2012'ye kadar emisyon miktarının 1990'daki seviyenin %8 altına indirme zorunluluğu getirilmiştir. Takiben yapılan konferanslar ve anlaşmalar vergi teşviklerinin yenilenebilir enerjiye doğru kaymasında etkili olmuştur (Kutbay ve Öz, 2017:788; Çelikkaya, 2018:366). Örneğin, Polonya özel ve kamu binalarında yenilenebilir ısı yükümlülüğü ve güneş enerjisi için özel müşterilere vergi kredisi sağlamak amacıyla bir yasa tasarısı sunulmuştur (Abolhosseini ve Heshmati, 2014:880). Benzer şekilde Almanya'da işletme ve yatırım maliyeti hibeleri, avantajlı krediler ve vergi indirimi gibi çeşitli uygulamalarla yenilenebilir enerjinin pazara daha hızlı girmesi amaçlanmaktadır. Bu uygulamalar yenilenebilir enerjinin önündeki en önemli engel olan pazar engelini, yani geleneksel teknolojilere karşı rekabet gücünün olmamasını aşacak olan uygulamalar olup diğer ülkelerin de ilgisini çekebilir (Gutermuth, 1998:67). Almanya'da biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen yakıtların diğer vergilerden muaf tutulması, yüksek vergili konvansiyonel dizel yakıtlara karşı yenilenebilir kaynakların rekabet gücünü artırdı. Bu politikanın sonucu olarak 1996'da satışlar 40.000 tondan 1997'de 100.000 tona yükseldi. Bu tür politikaların etkisi nakit kullanılabilir kaynak ortaya çıkarmasıdır. Bu yüzden doğrudan yatırımcı likiditesini artırarak özel yatırımcılar için önemli bir finansal teşvik sağlar ve yatırım yapmaya olanak sağlar (Abolhosseini ve Heshmati, 2014:880). Fransa'da ise yenilenebilir enerji santrallerine yatırım yapan kişiler gelir vergisi kredisine hak kazanmaktadır (Vidalic, 2019). Öte yandan Hollanda'da işletmeler yenilenebilir enerji santrallerine yapılacak yatırımlar için vergi kredisi (enerji yatırım ödeneği) almaya hak kazanırlar. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve hidroelektrik enerji kaynaklarından elektrik üreten tesislerde bir yıl içinde yapılan toplam yatırımların %57,5'ine kadar vergi kredisi uygulanmaktadır. Şirket başına maksimum ve minimum tutarlar belirli aralıklarla güncellenmektedir. Minimum tutarın altındaki yatırımlara vergi kredisi uygulanmamaktadır. Hollanda'da bu uygulamanın dışında birkaç vergi kredisi uygulaması daha bulunmaktadır (Anciaux, 2019). Filipinler'de ise yerli üreticiden yenilenebilir enerji makine, donanım ve parça satın alan yenilenebilir enerji işletme sahiplerinin aldıkları malzemeler için ödenecek KDV ve gümrük vergisine eşdeğer bir vergi kredisi verilmektedir (KPMG International,

2015:54). Ayrıca yenilenebilir enerjiye yönelik vergi kredileri ABD’de birçok eyalette uygulanmaktadır. Alabama’da 20 yıl %5, Arizona’da 5 yıl %10, Florida’da 0.01 kw/h dolar, Georgia’da %35, Hawaii’de 5 yıl %100, Kansas’da %5-10, Kentucky’de %30, Mrylan’da 0.0085/Kwh dolar vergi kredisi uygulanmaktadır (Garciano, 2013). ABD’de özellikle güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi sektörleri 2015 yılı sonrasında federal vergi kredilerinin genişlemesiyle desteklendi. Ayrıca bu vergi kredileri süresi bittikten sonra on yıl daha uzatılmıştır. ABD’de 2021 yılına kadar güneş termal ısı sistemleri için vergi kredisi sunulmuştur. Bununla birlikte enerji arzını artırmaya yönelik konsantre güneş kollektörlerinin maliyetini ve ürettikleri enerjiyi azaltmayı amaçlayan altı Ar-Ge projesine hibe verilmiştir. Bunun dışında birçok eyalette kalorifer yakıtında biyodizel kullanımını teşvik eden temiz ısıtma takıt vergi kredisinin süresi uzatılmıştır. Öte yandan Şili’de vergi kreşinin süresi bittikten yaklaşık iki yıl sonra ticari güneş enerjisi sistemleri için geriye yönelik kurulan sistemleri de destek kapsamına alacak şekilde 2020’ye kadar tekrar uzatılmıştır. (REN21, 2017:42,126).

Tüm bu uygulamaların yanı sıra bazı ülkelerde çevre vergisi olarak nitelendirilen vergiler yenilenebilir enerjinin üretim ve/veya tüketim aşamalarında indirim, istisna veya muafiyet kapsamına alınabilmektedir. Öte yandan bazı ülkelerde Ar-Ge harcamalarının vergi matrahından indirilmesine olanak sağlanmaktadır. Bu tür ülke örneklerine ilgili başlıklarda yer verilecektir.

2.1.1.5. Çevre Vergileri

Vergi uygulamaları da fosil yakıt tüketimini azaltarak yenilenebilir enerjiyi yaygınlaştırmak için etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Fosil yakıtların sebep olduğu emisyonu azaltmak ve temiz enerji kaynaklarının yaygınlaşması için birçok ülkede karbon fiyatlandırması uygulanmaktadır. Karbon fiyatlandırması temelde emisyon ticareti sistemleri (ETS) ve karbon vergisi olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Hükümet tarafından uygulanan bir karbon vergisi, fosil yakıtların yakılması için daha yüksek bir maliyet yükü getirir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımı artırmak için teşvik sağlar. Enerji talebi, farklı yakıtları kullanmanın göreceli maliyetli olmasıyla karbon vergisinden etkilenebilir (Abolhosseini ve Heshmati, 2014:880). Birçok ekonomist, karbon emisyon vergisi veya emisyon ticareti mekanizmasının, emisyonları

en düşük maliyetle azaltmak için iyi bir politika olduğunu kabul etmektedir (Kalkuhl vd., 2013:218).

Karbon vergileri Avrupa ülkelerinde yaklaşık 30 yıldır uygulanmaktadır. Karbon vergileri 1990'ların başında, kuzey Avrupa ülkelerinde uygulanmaya başlanmıştır. İlk karbon vergisini 1990'da Finlandiya uygulamıştır. Daha sonra Hollanda (1990), Norveç (1991), İsveç (1991) ve Danimarka (1992)'da karbon vergileri uygulamaya konmuştur. İlk karbon vergisi uygulamasından on yıldan fazla bir süre sonunda, 2001'de Birleşik Krallık İklim değişikliği Vergisini uygulamaya başlamıştır. Bu vergiyle birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması teşvik edilmiştir. Karbon vergisinin en önemli avantajlarından biri emisyon azaltımını sürekli olarak teşvik etmesidir. Emisyon ticaret sisteminde ise sadece sınır noktasına kadar emisyon azaltımı sağlanabilir. Öte yandan vergilerin yönetimi kolaydır. Aynı zamanda vergiler, düşük gelirli tüketicilere iade edilerek gelir eşitsizliklerini gidermede araç olarak kullanılabilir. Bu yüzden emisyon ticareti sisteminin aksine vergilerin daha etkili olduğu savunulmaktadır (Sumner vd., 2011:1).

OECD'ye göre motorlu taşıtlar ve ulaşım vergisi, özel tüketim vergisi, enerji ürünlerinden alınan vergiler, karbon vergisi vb. emisyon vergileri gibi vergiler çevreyle ilgili vergiler kapsamındadır. Öte yandan su kirliliği, atık yönetimi, gürültü kirliliği, toprak, orman, biyolojik çeşitlilik, vahşi yaşam ve balık çeşitliliği gibi göstergeler de bu kapsamda kullanılmaktadır.

Çevre vergileri, kirlilik düzeyine, faaliyet türüne veya faaliyetin olası etkilerine göre alınabilmektedir. Muafiyet ve istisnalar kısmında görüldüğü üzere yenilenebilir enerji faaliyetleri bu vergilerin birçoğundan muaf tutulmuş veya ciddi miktarlarda indirim uygulanmıştır. Bu açıdan değerlendirildiğinde çevre vergileri yenilenebilir enerjiyi doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde etkilemektedir.

Doğrudan etki, yenilenebilir enerji faaliyetlerine uygulanan istisna ve indirim uygulamalarıdır. Diğer bir ifadeyle çevre vergilerinin yenilenebilir enerji faaliyetlerinden alınmaması ya da düşük orandan alınmasıdır. Bu uygulamalar yenilenebilir enerjinin üretim maliyetlerini düşürerek hem yeni tesislerin kurulmasına hem de kaynakların Ar-Ge faaliyetlerine aktarılması sonucu depolama ve taşıma teknolojilerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilir. Bu sayede son safhada tüketim maliyetleri de düşerek yenilenebilir

enerjinin yaygınlaşmasını teşvik edebilir. Dolaylı etki ise çevre vergilerinin fosil yakıtlar gibi kirletici kaynaklara uygulanmasıdır. Kirletici kaynakların maliyetinin artması, yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını olumlu yönde etkileyebilir.

AB ülkeleri başta olmak üzere dünya genelinde birçok ülkede karbon vergisi ve diğer çevre vergileri yaygın olarak uygulanmaktadır. Bazı uygulamalarda kirletici kaynaklara karbon vergisi gibi ek vergiler konulmaktayken, bazı uygulamalarda temiz enerji kaynaklarına yönelik vergiler kaldırılmakta ya da bu kaynaklara vergi indirimi yapılmaktadır. Örneğin, Litvanya’da biyogaz, katı ve sıvı biyokütleyi ısıtma amacıyla kullanan gerçek ve tüzel kişiler, biyogaz, katı ve sıvı biyokütle kullanımından kaynaklanan tüm sabit kaynaklı emisyonlar için çevre kirliliği vergisinden muaf tutulur. Ayrıca araçlarda Genel olarak, ısı üretimi için kullanılan tüm yenilenebilir enerji teknolojileri, en az bir destek planı için uygundur (Tallat-Kelpšaitė, 2018). Öte yandan Birleşik Krallık’ta Nisan 2013’ten itibaren “Carbon Price Floor” adında karbon vergisi tanıtıldı. Bu vergi, elektrik üretimi için kullanılan fosil yakıtlar için geçerlidir. Yenilenebilir elektrik bu vergiden muaftır (Maroulis, 2019b). Finlandiya’da ise yenilenebilir enerji için ana destek planı kota sistemi ve buna ek olarak vergi düzenlemesidir. Akaryakıtlarda karbondioksit emisyonuna dayalı vergi düzenlemeleri yapılmaktadır. Bu uygulama sonucu emisyon miktarı azaldıkça alınan vergi miktarı düşmektedir (Wikberg, 2019b). Litvanya’da biyoyakıt üretimi için hammaddelerin geri ödenmesi, biyoyakıtlarla harmanlanmış benzin ve motorinin satılması zorunluluğu (kota yükümlülüğü), ÖTV indirimi ve çevre kirliliği vergisinden muafiyet yoluyla ulaştırma sektörü teşvik edilmektedir. Ayrıca, ısıtma ve soğutma amaçlı yenilenebilir enerji kaynakları, çevre kirliliği vergisinden muaftır ve İklim Değişikliği Özel Programı kapsamında kredi ve sübvansiyon almaya uygundur (Tallat-Kelpšaitė, 2018). Öte yandan kapasitesi 50 kW’ın altındaki elektrik jeneratörlerinde üretilen elektrik vergiye tabi değildir. Rüzgâr, dalga ve güneşten üretilen elektrik durumunda, bu kapasite marjı, Enerji Vergisi Yasası tarafından yetkilendirildiği üzere daha yüksektir. 2015’ten bu yana, yenilenebilir elektriğin mikro üretimi için bir vergi indirimi uygulanmaktadır (Vagerö, 2019).

Bu ülke uygulamalarının dışında vergi muafiyeti, istisnası ve indirimi başlığı altında bahsedilen ülke uygulamalarının büyük çoğunluğu çevre vergileri kapsamındadır. Nitekim OECD’ye göre motorlu taşıtlar ve ulaşım vergisi, özel tüketim vergisi, enerji

ürünlerinden alınan vergiler, karbon vergisi vb. emisyon vergileri gibi vergiler çevreyle ilgili vergiler kapsamındadır. İlgili başlık altında ülke uygulamalarından bahsedildiği için bu kısımda tekrar değinilmemiştir.

2.1.2. Harcama Politikası

Yenilenebilir enerjiye yönelik yapılan yatırımların sermaye maliyetleri oldukça yüksektir. Bu maliyetlerin fazla olması yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında temel bir sorun teşkil etmektedir (Akbaş Akdoğan, 2018:127). Bunun bir sonucu olarak politika yapıcılar vergi ve harcama yoluyla bu alana müdahalede bulunmaktadır. Dünya genelinde yenilenebilir enerjiye yönelik teşvik yöntemi olarak çoğunlukla vergi muafiyet ve istisnası kullanılmakla birlikte bu alanda kamu yatırımları, hibeler, krediler, sermaye sübvansiyonları ve indirimleri gibi bir takım kamu finansman araçları da kullanılmaktadır.

Doğrudan yenilenebilir enerjiye geçişin yanı sıra mevcut enerji kullanımında verimliliğin artırılmasına yönelik de birçok teşvik uygulanmaktadır. Enerjinin verimli kullanılmasına yönelik ekipmanın veya bu ekipmanları yenilemenin maliyetini düşürmeye yönelik hibeler, kamu yatırımları, krediler ve sermaye sübvansiyonları gibi birçok ekonomik teşvikler bulunmaktadır. Örneğin Yeni Zelanda’da enerji verimliliği programı kapsamında eski evlerde yalıtım ve ısıtma sistemlerinin kurulması için hükümet finansmana ortak olmaktadır. 2018 yılında başlatılan program, düşük gelirli ev sahiplerine sübvansiyon sağlamaktadır. Karbon fiyatlandırması, fosil yakıt sübvansiyonlarının aşamalı olarak kaldırılması ve maliyeti düşürücü enerji fiyatlandırması ile tüketiciler için güvenlik ağı oluşturma planları enerji verimliliği yatırımlarını daha cazip hale getirmektedir. Öte yandan toplu tedarik şeklinde hükümet destekleri de enerji verimliliği yatırımlarının maliyetini düşürücü etki yapmaktadır. Örneğin bu yöntem sayesinde Hindistan’da 350 milyondan fazla led lamba on kat düşük fiyattan temin edilebilmiştir. Teknolojik ilerlemeyi sağlayacak düzenlemelerle enerji tüketiminde önemli düşüşler sağlanabilir. Örneğin, uzun süredir uygulanan cihaz verimliliği politikaları, buzdolabı, klimalar, aydınlatma cihazları, televizyonlar, çamaşır makineleri ve pişirme cihazları gibi birçok yaygın cihazın ortalama enerji tüketimi yarıya düşürülmüştür. Bu cihazların fiyatları yılda ortalama yüzde 2-3 oranında düşerken bile bu başarının sağlanması, sıkı politikaların tüketicilere fayda sağlarken emisyonları daha

da azaltılabileceğini göstermektedir. ABD’de enerji verimlilik standartları sayesinde 2020’de yaklaşık 40 milyar dolar yakıt tasarrufu sağlandı. Bu da ortalama yıllık ev yakıt faturasında 320 dolar azalma anlamına gelmektedir (IRENA, 2022b:127). Benzer teşvik uygulamaları doğrudan yenilenebilir enerji üretim ve tüketim faaliyetlerine yönelik de yapılabilmektedir.

2.1.2.1. Kamu Yatırım Harcamaları

Enerji talebindeki artış, karbon emisyonlarını azaltma çabaları ve teknolojiye ilerlemeler dünya genelinde yenilenebilir enerjiye yönelik yatırım teşviklerini artıracakı düşünülmektedir. Bununla birlikte yenilenebilir enerjinin 21. Yüzyıldaki rolü giderek artacaktır (KPMG Türkiye, 2016:3).

Belirli durumlarda yenilenebilir enerji projeleri doğrudan devlet yetkilileri tarafından finanse edilebilir. Bu bağlamda devlet, yatırımcılar için uygun olmayan ödeme yapısı ve risk durumlarını ortadan kaldırmaktadır. Sübvansiyon edilmiş sektördeki enerji fiyatları şirketin yatırım yapmasına imkân vermediği için tekelleri enerji piyasası koşullarında, yenilenebilir enerji yatırımlarının kamu yatırımları olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, daha geniş sektör yayılımı için kamu yatırımları, özel sektör katılımını cazip hale getirmektedir. Rekabetçi koşullar altında, kamu yatırımı genellikle özel sektör katılımından daha az verimlidir. Bu yüzden kamu yatırımı, piyasaların henüz gelişmediği veya projeler için uygun bir teknik çerçeve sağlayamadığı (şebeke altyapısı gibi) alanlarla sınırlandırılmalıdır. Diğer durumlarda özel yatırımlar için uygun yasal koşullar oluşturulmalıdır. Uygulamada, kamu yatırımı, yenilenebilir enerjiyi teşvik etmenin en kolay yoludur. Çünkü tüm faaliyetleri tek projelerle sınırlandırmaktadır. Örneğin, Brezilya, Çin, Şili, Mısır, Etiyopya, Gana, Hindistan, Güney Afrika ve Tayland’da yenilenebilir enerji yatırımları bulunmaktadır (Liptow ve Remler, 2012:20).

2.1.2.2. Sermaye Sübvansiyonları ve İndirimleri

Ülkelerin savurgan enerji tüketimini azaltmak ve temiz enerji geçişini hızlandırmak için hızlı önlemler alınmalıdır. Dünya genelinde petrol ürünlerine verilen sübvansiyonlar toplam sübvansiyonların büyük bir bileşeni durumundadır. Öte yandan en hızlı artış gösteren sübvansiyonlar doğal gaz ve elektriğe verilen sübvansiyonlardır. Sübvansiyon yükünde artış, birçok yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde mali baskıyı

artırmaktadır. Özellikle yakıtın ithal edildiği durumlarda yerli üretimi desteklemek için yapılan sübvansiyonlar sonucu piyasa fiyatından satış gelirden ziyade ek bir maliyet oluşturmaktadır. Bu bağlamda sübvansiyonlarla desteklenen fiyatlandırma reformu, sürdürülebilirlik için politik olarak zor ama ekonomik ve çevresel olarak oldukça önemlidir (IEA, 2021c:99).

Yenilebilir enerji yatırımları yüksek teknoloji ve mühendislik gerektirmesi sebebiyle başlangıçta oldukça yüksek sermaye maliyetleri bulunmaktadır. Yatırım sonrasında ise maliyetler düşen bir seyir izlemektedir. Bu yüzden yatırımcılara başlangıçta yapılan destekler sektör gelişimi için önemlidir. Hükümetler yenilenebilir enerjiye yönelik yatırımları artırmak amacıyla doğrudan kamusal finansal destek sağlayabilir. Sermaye sübvansiyonları ya da indirimleri ve hibeler ile yatırımcıların yenilenebilir enerji sektörüne yönelmesi amaçlanmaktadır (Akbaş Akdoğan, 2018:127).

Sermaye sübvansiyonları, bir varlığın (örneğin güneş enerjili su ısıtıcısı) peşin sermaye maliyetinin bir kısmını kapsayan ödemelerdir. Tüketici hibeleri, indirimler, kamu kuruluşu veya kamu bankaları tarafından yapılan tek seferlik ödemeler bu kapsamda değerlendirilir (REN21, 2022:228). Uygulamada yenilenebilir enerji için sermaye sübvansiyonları, gerçek etkileri konusunda belirsizdir. Uygulamada olan birçok çeşitli muafiyetlerin olduğu vergi rejimlerinde hükümet kararıyla uygulanmaları kolaydır. Bu yüzden uygulamada yaygın olsalar da çoğu durumda yenilenebilir enerji yatırımı için birtakım ekonomik parametrelerin analizine dayanmadan uygulandığı için etkin olmayabilirler (Liptow ve Remler, 2012:21).

Sermaye sübvansiyonları yenilenebilir enerjinin başlangıç maliyetini düşürmektedir. Bir de fiyatı etkileyecek olan ileriki aşamalarda yapılan sübvansiyonlar vardır. Bu teşvik türü genel olarak enerji sübvansiyonu olarak adlandırılır. Enerji sübvansiyonu, tüketicilerin enerji için ödediği fiyatı yapay olarak düşüren veya enerji üretim maliyetini düşüren bir hükümet önlemidir. (REN21, 2022:230).

Avrupa'da Danimarka, Fransa ve İtalya diğer ülkelerden Avustralya ve Yeni Zelanda dâhil olmak üzere en az 17 ülke 2021'de yeni mali veya mali politikalar uygulamaya koydu. Avusturya sanayi için büyük güneş santralleri için hibe programı başlatmıştır. İspanya, endüstriyel süreçlerde termal yenilenebilir kaynaklar için bir hibe programı uyguladı. 2021'in sonlarında, İspanya'daki sanayi ve hizmet sektörleri, toplam kapasitesi

62 MW olan 51 güneş ısı projesinin finansmanını desteklemek için 108 milyon avro (122 milyon ABD doları) hibe sağlamıştır (Rosell, 2022). Ayrıca Hollanda'nın Yenilenebilir Enerji Geçiş Teşvik Programı (SDE++), yenilenebilir ısı (jeotermal, biyokütle ve güneş enerjisi), düşük karbonlu ısı (ısı pompaları dâhil) ve yenilenebilir gaz için 13 milyar avro (15 milyar ABD doları) taahhüt etmiştir (Netherlands Enterprise Agency, 2021). Lüksemburg, termal güneş enerji ısı sistemleri için mali yardım sağlayan programını uzatma kararı almıştır. Avusturya ise fizibilite çalışmalarını ve güneş enerjisi sistemlerini kurulumunu desteklemek için fon tahsis etmiştir. Avusturya' da beş farklı alanda yatırım sübvansiyonu uygulamalarına yer verilmektedir. Hidroelektrik, şebekeden bağımsız kurulumlar, küçük fotovoltaiik tesisler ile tarım ve ormancılık sektöründeki fotovoltaiik kurulumlarına yatırım sübvansiyonu sağlanmaktadır (Sternkopf, 2019). Fas, ülkedeki büyük güneş enerjisi projeleri için 52,1 milyar MAD (5,6 milyar ABD doları) fon sağladı. Bangladeş, 80.000 güneş enerjisi ev sistemi ve 5.000 toplu sistem kurmak için 50 milyon ABD doları fon sağlamıştır. Avrupa'da, Hırvatistan işletmeler ve ev sahipleri için çatı üstü güneş enerjisi kurulumları için 7,4 milyon Euro (8,4 milyar ABD doları) tutarında bir indirim programı uygulamıştır. Malta, büyük ölçekli yenilenebilir enerji projeleri için 29,4 milyon ABD doları tutarında finansman sağlamıştır. İsveç, güneş fotovoltaiik enerji sistemi kuran ev sahiplerine 260 milyon SEK (28,7 milyon ABD doları) indirim sağlamıştır. Öte yandan Çin'de kömür yakıtı yerine yenilenebilir enerjiye geçişi teşvik etmeye yönelik sübvansiyonlar (sübvansiyonun 2014'ten 2026'ya kadar sürdüğü) etkili olmuştur. Kanada'da, neredeyse tüm eyaletler ısı pompaları için indirim sağlıyor ve 2021'de federal hükümet, enerji tasarruflu evler için Greener Homes Hibe Programı indirim planını başlatmıştır (REN21, 2022:5-88). Belçika'da ise Brüksel ve Flanders'te yatırım sübvansiyonu uygulaması bulunmaktadır. Brüksel, mevcut bütçesi dahilinde, yenilenebilir enerji tesislerine yapılan yatırımlar da dahil olmak üzere çevre projeleri geliştiren şirketlere yatırım yardımı sağlamaktadır. Flanders'te ise genel olarak şirketler, Ekolojik Premium Plus (EP-PLUS) ve Stratejik Ekolojik Destekten (EP-STRES) oluşan bir sübvansiyon programı aracılığıyla çevre dostu ve enerji açısından verimli teknolojilere yatırım yapmaya teşvik edilir. VITO (Bağımsız Araştırma Merkezi) tarafından yapılan öneriler doğrultusunda bakanlık tarafından derlenen ve revize edilen sınırlı teknoloji listesine (LTL) kayıtlı teknolojilere Ekolojik Prim adında ödeme yapılmaktadır. LTL'de belirtilmeyen teknolojiler, stratejik ekolojik destek (EP-STRES) için başvurulabilir

(Anciaux, 2019). Öte yandan Estonya’da üç farklı yatırım sübvansiyon uygulaması bulunmaktadır. Apartmanların yenilenmesi için, ısıtma sistemlerinin yenilenmesi için ve çocuk gündüz bakım evlerinde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımının artırılması için yatırım desteği sağlanmaktadır (Pungas, 2019). Finlandiya’da ise sürdürülebilir enerji üretimi alanındaki yatırım ve araştırma projeleri için sübvansiyon sağlamaktadır (Wikberg, 2019b). Fransız hükümeti ise, “habiter mieux” adı verilen enerji kayıplarını azaltmak için düşük gelirli hane halklarını binalarının termal olarak yenilenmesinde desteklemek için ulusal bir program başlatmıştır. Ayrıca, büyük biyokütle tesisleri için yıllık ihaleler yayınlayarak yenilenebilir ısı üretimini destekleyen bir ısı fonu (Fonds Chaleur) bulunmaktadır (Vidalic, 2019). Almanya’da birçok düşük faizli kredi ve borç uygulamalarının yanı sıra birtakım sübvansiyon teşviki de bulunmaktadır (Sternkopf, 2019). Yunanistan’da ise Temmuz 2016’da yürürlüğe giren İmar Kanunu, küçük ölçekli hidroelektrik santralleri ve diğer yenilenebilir enerji kullanan kendi kendine üretim yapan santraller için sübvansiyon uygulaması bulunmaktadır (Maroulis, 2019a). İzlanda, enerji kaynaklarının işletilmesi ve ekonomik enerji kullanımı alanındaki özel projeler için hibeler sunmaktadır (Banasiak, 2019). İrlanda’da ise iki farklı sübvansiyon uygulaması bulunmaktadır. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri için mesken sahiplerine kurulum aşamasında sübvansiyon ödemesi yapılmaktadır. Ayrıca, biyokütle/biyogaz kurulumları için işletme desteği sağlanmaktadır (Maroulis, 2019d). Litvanya’da İklim Değişikliği Özel Programı, sera gazı emisyonlarını azaltmayı hedefleyen projeleri desteklemektedir. Bu programın fonlarının en az %40’ı yenilenebilir enerji projelerini ve enerji verimli kojenerasyon dâhil çevre dostu teknolojileri desteklemek için kullanılmaktadır. Jeotermal enerji dışındaki yenilenebilir elektrik projeleri desteklenmektedir. Projeler, faiz sübvansiyonları ve uygun kredilerle desteklenmektedir (Tallat-Kelpsaite, 2018). Öte yandan Lüksemburg’da dört farklı sübvansiyon desteği bulunmaktadır. Yenilenebilir elektrik üretimine yönelik yatırımlar, yatırım hibeleri ile teşvik edilmektedir. Bu teşvikler hem küçük tesislere yönelik hem de büyük çaplı şirketlere yönelik olarak farklı şekilde yapılmaktadır (Anciaux, 2019). Polonya ise Ulusal Çevre Koruma ve Su Yönetimi Fonu (NFOŚiGW), tek aileli veya çok aileli evlerin ihtiyaçları için küçük ve mikro yenilenebilir enerji santrallerinin satın alınmasını ve kurulumunu desteklemek için sübvansiyon vermektedir (Ignaciuk, 2019).

Ayrıca, Romanya, Slovakya, Slovenya, İsveç gibi ülkelerde sübvansiyon uygulamalarına yer verilmektedir.

2.1.2.3. Düşük Faizli Krediler ve Finansmanlar

Kredilerin faiz oranları ve geri ödeme süreleri, yenilebilir enerji kaynakları projelerinin toplam maliyeti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle yeni teknolojiler, daha küçük projeler veya yeni proje geliştiriciler uygun koşullarda ticari kredi bulmakta zorlanırlar. Bu yüzden hükümetler sermaye sübvansiyonları ve indirimlerin yanı sıra düşük faizli krediler veya kredi garantileri sunarak projelerin hayata geçirilmesi için yardımcı olmaktadır. Belirli teknolojiler için bu tür finansmanlar doğrudan devlete ait bankalar veya ticari bankalara verilen sübvansiyonlar aracılığıyla verilmektedir. Öte yandan uluslararası kalkınma bankaları veya uluslararası iklim fonları aracılığıyla da bu yardımlar yapılabilir. Bununla birlikte krediler, düşük faiz oranları ve uzun geri ödeme dönemleri ile sağlanır. Bu tür teşvik araçları amortisman indirimleri veya diğer doğrudan sermaye sübvansiyonları ile birleştirilebilir. Hükümetler sadece belirli projeler için kredi garantisi verebilir. Böyle bir durumda, hükümet borç veren bankaya borcun geri ödenmesini garanti eder. Bu sayede projenin riskini üstlenir ve dolayısıyla kredi faiz oranını, borç vadesini ve borç servis koşullarını azaltmış olur (Liptow ve Remler, 2012:21).

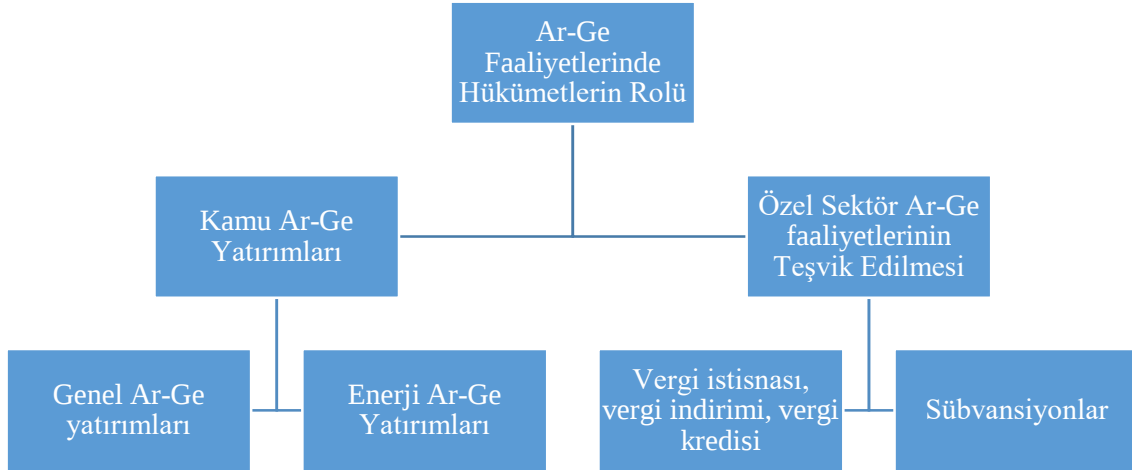
Enerji sektörünün dönüştürülmesi ve konvansiyonel enerjinin yenilenebilir enerji ile değiştirilmesi, teknolojik değişim ve piyasaların oluşturulması ile bağlantılıdır. Yenilenebilir enerjiye yönelik sübvansiyonları hibeler, düşük faizli krediler gibi teşvikler yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını sağlayabilir. Fakat maliyet dezavantajları ve fosil yakıtların sübvansiyon edilmesi nedeniyle yenilenebilir enerji piyasaları kolaylıkla oluşmamaktadır. Bu yüzden günümüzde halen yenilenebilir enerji, ana enerji kaynağı olmamıştır (Abolhosseini vd., 2014:3)

Dünya genelinde birçok ülkede yenilenebilir enerji şirketlerine finansman desteği sağlanmaktadır. Örneğin, Bulgaristan'da Enerji Verimliliği Fonu, kamu, sanayi ve konut binalarının enerji verimliliğini artırmayı amaçlayan projeler için uygun kredi seçenekleri sunmaktadır (Naydenova, 2019). Öte yandan Hırvatistan'da Çevre Koruma ve Enerji Verimliliği Fonu, bir ihale yoluyla yenilenebilir enerji projelerine faizsiz krediler, sübvansiyonlar, mali yardım ve bağışlar verir. Bu uygulama Hırvatistan'da bir yeri olan

tüm tüzel ve gerçek kişiler için geçerlidir (Cetkovic, 2019). Danimarka ise uygun santrallerin inşasından önce fizibilite çalışmalarını finanse etmek için yerel rüzgâr ve güneş santrali sahipleri birlikleri ve diğer yerel inisiyatif grupları tarafından alınan krediler için garanti sağlamaktadır (Wikberg, 2019a). Almanya'nın oldukça geniş bir kredi teşvik mekanizması bulunmaktadır. Elektrik üretimi için kurulum yatırımları için geri ödemesiz başlangıç dönemi de dâhil olmak üzere 10 yıllık sabit faizli düşük faizli krediler sağlamaktadır. Baltık Denizi'nin 12 deniz mili bölgesinde açık deniz rüzgâr çiftliklerine yatırım yapmak isteyen şirketleri desteklemek için krediler ve finansman paketleri sağlamaktadır. Karadaki rüzgâr çiftlikleri ve fotovoltaiik kurulumlar için 4 milyar Euro'ya kadar bir konsorsiyum kredisi sağlıyor. Bu kredilerin yanı sıra, derin jeotermal tesislerde elektrik üretimi için düşük faizli krediler ve hibe geri ödeme desteği (Tilgungszuschuss) sağlamaktadır. Ayrıca elektrikli, şarj edilebilir ve hidrojenli araçların ticari satın alımları için düşük faizli krediler sağlamaktadır (Sternkopf, 2019). Macaristan'da sübvansiyonların yanı sıra üç farklı düşük faizli kredi uygulaması bulunmaktadır (Szabo, 2019). Polonya ise Ulusal Çevre Koruma ve Su Yönetimi Fonu (NFOŚiGW), tek aileli veya çok aileli evlerin ihtiyaçları için küçük ve mikro yenilenebilir enerji santrallerinin satın alınmasını ve kurulumunu desteklemek için düşük faizli krediler vermektedir (Ignaciuk, 2019).

2.1.2.4. Ar-Ge Harcamaları

Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması amacıyla hükümetler Ar-Ge yatırımlarına önem vermektedirler. Ülkeler hem genel Ar-Ge harcamalarıyla hem de enerji alanında yaptıkları Ar-Ge harcamalarıyla yenilenebilir enerjinin gelişimine katkı sağlamaktadır. Öte yandan özel sektörün bu alanda Ar-Ge faaliyetlerini desteklemek amacıyla birçok teşvik uygulamaktadır. Bu faaliyetler şekil 4'te gösterilmektedir.



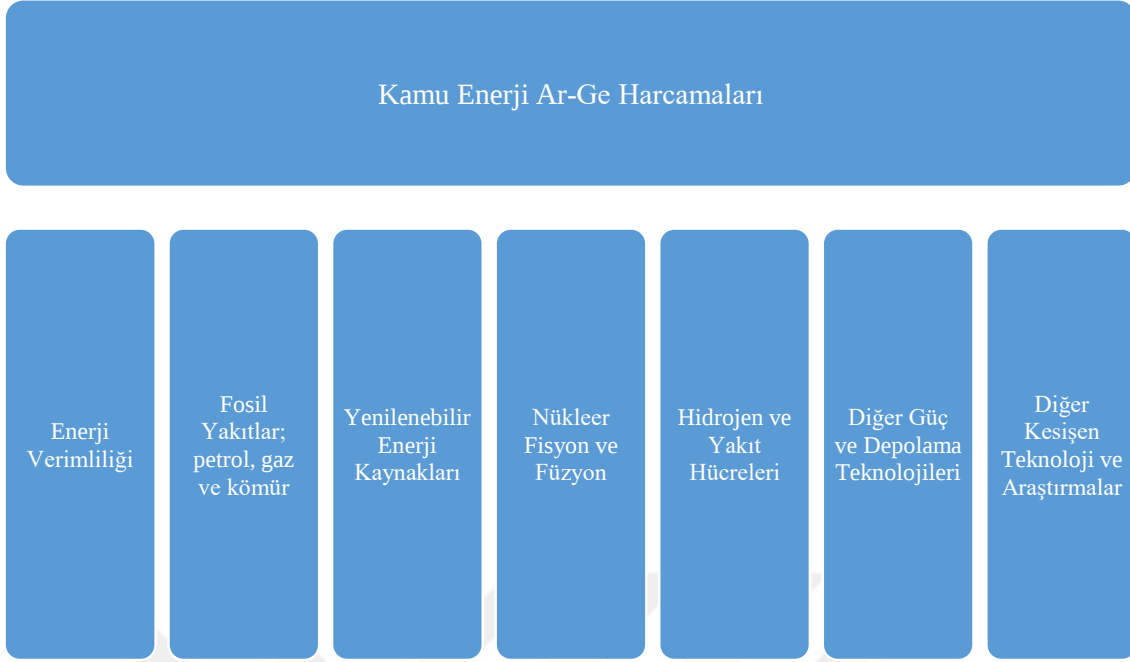
Şekil 4: Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasında Hükümetlerin Ar-Ge Faaliyetleri

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Birçok ülkede yenilenebilir enerji alanındaki Ar-Ge faaliyetleri hem vergi indirimleriyle hem de sübvansiyonlarla desteklenmektedir. Örneğin Avustralya’da Ar-Ge Programı (RDP) yenilenebilir enerjinin ticari dağıtımını artırmaya katkıda bulunacak Ar-Ge faaliyetlerini desteklemeye yönelik adımlar atmıştır. Avustralya Yenilenebilir Enerji Ajansı’nın (ARENA) geliştirilmesi için yaklaşık 213 milyon dolar hibe tahsis edildi. Ar-Ge vergi teşvik programı yenilenebilir enerjinin gelişimi için tasarlanmıştır. Mevcut durumda şirket büyüklüklerine göre iki kademeli Ar-Ge vergi teşviki bulunmaktadır. Avustralya yaklaşık %40-45 oranında Ar-Ge vergi mahsubuna imkân tanımaktadır. Brezilya’da ise yenilenebilir enerji kaynakları için Ar-Ge faaliyetleri kapsamında ekipman alımı ve teknoloji gibi üretimin tüm aşamalarında finansman sağlanmaktadır. Kanada’da Bilimsel Araştırma ve Deneysel Geliştirme (SR&ED) programı Ar-Ge faaliyetlerini teşvik eden bir federal vergi teşvik programıdır. Temiz enerji üretimi alanında iş yapanlar da dâhil olmak üzere şirketler, uygun Ar-Ge harcaması yapmaları halinde Yatırım Vergi Kredisi (ITC) talep etme hakkına sahip olabilir. Program, endüstriyel Ar-Ge için en büyük federal hükümet desteği kaynağıdır ve yüzde 35’e varan bir federal nakit iadesi sağlamaktadır. Çin’de yenilenebilir enerji alanında yapılan nitelikli Ar-Ge harcamaları için kurumlar vergisinde yüzde 150 kesinti yapılmaktadır. Fransa’da ise yenilenebilir enerji ve çevre yatırımları yapan şirketlere araştırma vergisi kredisi verilmektedir. Bu kapsamda Ar-Ge harcamalarının %5 ile %30’una kadar olan kısmına vergi kredisi verilmektedir. Benzer şekilde İrlanda’da yenilenebilir enerji

alanındaki Ar-Ge faaliyetlerini desteklemek amacıyla vergi indirimi ve vergi kredisi uygulamaları bulunmaktadır. Meksika’da yenilenebilir enerji alanında teknoloji ve yenilik geliştirme ile ilgilenen şirketlere kaynak sağlamak amacıyla Ar-Ge yatırımı yapan şirketlere finansman desteği yapılmaktadır. Norveç’te yenilenebilir enerji alanındaki Ar-Ge projelerini destekleme amacıyla “SkatteFUNN” adında vergi teşvik programı bulunmaktadır. Bu kapsamda KOBİ’lere belirli bir Ar-Ge projesiyle ilgili Ar-Ge maliyetlerinin yüzde 20’si oranında vergi indirimi yapılabilir. Büyük işletmelere ise yüzde 18 oranında bir vergi indirimi yapılmaktadır. Polonya’da Ar-Ge faaliyetleri için AB fonlarından sağlanan hibelerin dışında Polonya hükümetinin teşvikleri bulunmaktadır. Öte yandan Güney Afrika’da Ar-Ge faaliyetlerine yüzde %20 ve %50 oranında hızlandırılmış sermaye ödeneği uygulanmaktadır. Güney Kore’de ise yenilenebilir enerji teknolojileri için Ar-Ge vergi kredisi programı uygulanmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji santrallerinde kullanılan ve yerli üretimi mümkün olmayan tüm aksam ve/veya ekipmanlar için ithalat vergileri yüzde 50 oranında düşürülmüştür. İspanya’da Ar-Ge kurumlar vergisi kredisi ve Ar-Ge vergi indirimleri bulunmaktadır. Birleşik Krallık’ta ise yenilenebilir enerjiye yönelik nitelikli Ar-Ge harcamaları için vergi indirimi programı uygulanmaktadır. Bu teşvikler, firmaların Ar-Ge’ye yaptıkları yatırımlardan ek faydalar elde etmelerini sağlar. Küçük ve orta ölçekli işletmeler için, bilimsel veya teknolojik belirsizliğin çözümü yoluyla ilerleme sağlamak üzere tasarlanmış uygun projelerdeki harcamaları için yüzde 230’luk artırılmış vergi indirimi mevcuttur (KPMG International, 2015)

Özel sektörün yenilenebilir enerji alanındaki Ar-Ge faaliyetlerinin desteklenmesinin yanı sıra ülkeler doğrudan bu alanda Ar-Ge faaliyetinde bulunmaktadır. Bu kapsamda devletin Ar-Ge harcamaları iki şekilde ele alınabilir. Birincisi genel Ar-Ge harcamalarıdır. Bu harcamaların bazıları doğrudan yenilenebilir enerji alanına yönelik yapılmaktadır. Bazıları ise farklı bir teknolojinin geliştirilmesi veya yeni bir ürün ortaya koymak amacıyla yapılmaktadır. Fakat her iki şekilde de yenilenebilir enerji sektörünü olumlu olarak etkileyebilecek harcamalardır. İkincisi ise enerji teknolojisi alanında yapılan Ar-Ge harcamalarıdır. Bu harcamaların genel amacı çevre kirliliğinin kontrol altına alınarak sürdürülebilir çevrenin temin edilmesidir. Bu kapsamda enerji Ar-Ge harcamaları şu şekilde kategorize edilebilir;



Şekil 5: Kamu Enerji Ar-Ge Harcamaları

Kaynak: IEA (2022c)' dan yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Enerji verimliliğine yönelik yapılan Ar-Ge yatırımları sanayi, ulaşım, tarım ve ormancılık, konutlar ve işyerleri gibi birçok alanda yapılabilmektedir. Bu yatırımlar en az enerji ile en fazla faydanın elde edilmesi amacıyla yapılmaktadır. Bu sayede hem enerji tasarrufu sağlanacak hem de enerji üretiminden kaynaklanan çevre kirliliği azaltılabilecektir. Fosil yakıtlara yönelik yapılan harcamalar ise petrol, kömür ve gazın üretimi, depolanması ve taşınması gibi tüketime kadar geçen tüm süreçleri kapsamaktadır. Ayrıca bu kaynaklar yüksek miktarda CO₂ ye sebebiyet vermektedir. Bu kapsamda yapılan harcamalar CO₂'nin yakalanması, taşınması ve depolanmasına yönelik çalışmaları da kapsamaktadır. Fosil yakıtların yanı sıra alternatif enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik de enerji Ar-Ge harcamaları yapılmaktadır. Bu kapsamda yenilenebilir enerjinin üretimi, depolanması ve taşınması gibi süreçlerde yeni teknolojilerin geliştirilmesiyle verimliliğin artırılması amaçlanmaktadır. Öte yandan yenilenebilir enerji kapsamına girmese de birçok çalışmada temiz enerji olarak kabul edilen nükleer enerjiye yönelik Ar-Ge harcamaları yapılmaktadır. Bu harcamalar nükleer enerji üretiminde çevrenin korunması, nükleer tesisin güvenliği ve diğer teknolojileri kapsamaktadır. Ayrıca enerji teknolojisi olarak kabul edilmese de diğer alanlardaki birçok gelişme enerji teknolojisini etkilemektedir. Bu yüzden diğer kesişen teknolojiler ve araştırmalar alanına da Ar-Ge yatırımları yapılmaktadır.

Yenilenebilir enerji teknolojileri başlıca 3 gruba ayrılmaktadır. Birincisi; biyokütle enerjisi, hidroelektrik enerji ve jeotermal enerji gibi gelişmiş teknolojilerdir. İkincisi; modern yenilenebilir enerji kapsamındaki rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve biyo-enerjinin gibi gelişmekte olan teknolojilerdir. Üçüncüsü ise güneş enerjisi, deniz kaynaklı enerjiler, rüzgâr enerjisi iyileştirilmiş jeotermal enerji gibi gelişme aşamasında olan teknolojilerdir (Johnstone vd., 2010:134).

Doğrudan yenilenebilir enerjiye yönelik olmayıp yenilenebilir enerji üretim, depolama, taşıma ve kullanımını kolaylaştırma ve teknolojik ilerlemeyi sağlama potansiyeli taşıyan teknolojiler bulunmaktadır. Bunlar (REN21, 2017:27);

- Nihai kullanım teknolojileri (elektrikli araçlar, ısı pompaları),
- Enerji depolama (ev tipi, ticari ve şebeke ölçekli pompalı depolama, termal depolama),
- Talep yönlü enerji yönetimi teknolojileri (binalarda enerji yönetimi sistemleri, endüstriyel sistemler)
- Enerji arzı ve dağıtım yönetimi teknolojileri (gelişmiş dağıtım ağı yönetimi ve sistem kontrol seçenekleri) dir.

Bu teknoloji gruplarının hiçbiri, yenilenebilir enerjinin dağıtımını kolaylaştırma özel amacı için geliştirilmemiştir, ancak bu teknolojiler, binalarda, endüstride ve ulaşımda yenilenebilir enerji için yeni pazarlar oluşturarak ek faydalar sağlamak için önemli fırsatlar sunmaktadır. Örneğin, araçların elektrifikasyonu yalnızca yerel hava kirliliğini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda hızla büyüyen yenilenebilir enerji teknolojilerinin daha önce biyoyakıtlar dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarının girişinin yasak olduğu bir sektörde fosil yakıtların yerini almasına olanak tanır. Genişletilmiş yenilenebilir enerji dağıtımının diğer faydalarıyla birlikte hava kalitesi daha da iyileştirilebilir (Bamati ve Raoofi, 2020: 948). Genel olarak, etkileşim halinde olan teknolojiler hem fiziksel altyapıyı hem de otomasyon teknolojilerini içerir. Bu durum, enerji sistemlerinin işlevini ve verimliliğini artırabilir ve böylece yenilenebilir enerjinin daha fazla dağıtımını ve kullanımını kolaylaştırabilir (REN21, 2017).

Sonuç olarak sadece yenilenebilir enerjiye yapılan Ar-Ge yatırımları değil diğer alanlara yönelik Ar-Ge yatırımları da yenilenebilir enerjinin üretim, depolama, taşıma ve tüketim

aşamalarında ek faydalar oluşturabilmekte ve yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını doğrudan etkileyebilmektedir.

2.2. Diğer Araçlar

Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında kamu aracı olarak vergi ve sübvansiyonlar yaygın şekilde kullanılmaktadır. Öte yandan politika yapıcılar birtakım düzenlemelerle yenilenebilir enerjiyi destekleyebilirler. Bu kapsamda bu başlık altında; tarife garantisi (FIT), prim garantisi (FIP), kota sistemi, net ölçüm yöntemi ve ihale yöntemi uygulamalarına değinilmektedir.

2.2.1. Tarife Garantisi (FIT)

Yenilenebilir enerjinin teşvik edilmesinde kullanılan yaygın araçlardan biri de tarife garantisi politikalarıdır. Hükümetler, yenilenebilir enerji üretimini artırmak amacıyla üreticilere uzun vadeli sözleşme imkânı sağlar. Bu sözleşmelerle üreticilerin yenilenebilir enerjiye yatırım yapmalarını sağlamak için uygulanan politikalara tarife garantisi (Feed-in Tariff- FIT) denir. Dünya’da birçok yerde elde edilen son deneyimler, yenilenebilir enerjinin hızlı ve sürdürülebilir olarak yaygınlaşmasını teşvik etmek için en etkili politikanın tarife garantisi politikaları olduğunu göstermektedir. Nitekim Avrupa Komisyonu, iyi uyarlanmış bir tarife garantisi politikasının yenilenebilir enerjiyi teşvik etmek için en verimli ve etkili destek programı olduğu belirtilmiştir (Couture ve Gagnon, 2010:955). Tarife garantileri dünyada en yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji politikası olup yenilenebilir enerjinin gelişiminde vergi teşvikleri ve yenilenebilir portföy standardı gibi diğer politikalardan daha büyük paya sahiptir. Tarife garantisi politikasını başarılı bir şekilde uygulayan ülkeler, küresel yenilenebilir enerji endüstrisinde ön sıralara geldiler ve önemli miktarda yenilenebilir enerji üretimi gerçekleştirdiler. Avrupa Birliği’nde tarife garantisi politikaları 2000’li yıllarda yaygınlaşmıştır. 2000-2009 yılları arasında 15.000 Mw’ın üzerinde güneş fotovoltaik enerji ve 55.000 Mw’ın üzerinde rüzgâr enerjisi tarife garantisi politikaları sayesinde konuşlandırılmıştır. Toplamda tarife garantisi, küresel güneş fotovoltaik gücün %75’i ve küresel rüzgâr dağıtımının %45’ini kapsamaktadır (Couture vd., 2010:1).

Tarife garantisinde temel ilke yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretilmesi amacıyla belirli sürelerde garantili fiyatlar sunmaktır. Bir diğer ifadeyle, yenilenebilir

enerji üreticilerinden kWh başına sabit fiyattan elektriğin satın alınacağını garanti verilmektedir. Bu sayede geçerli piyasa fiyatlarına göre geleneksel fosil yakıt teknolojileriyle rekabet edecek kadar uygun maliyetli olmayan yenilenebilir enerji üreticileri için uzun vadeli finansal istikrar sağlanır (Lesser ve Su, 2008:981). Satın alınacak fiyatlar teknolojinin türüne, tesisatın büyüklüğüne, kaynağın kalitesine veya projenin yerine bakılmaksızın belirlenmektedir (Mendonça, 2007; Fouquet and Johansson, 2008; Langniss vd., 2009). Bu teşvik yönteminde herhangi bir ayırım gözetilmeksizin sadece üretilen kWh elektrik dikkate alındığı için büyük yenilebilir enerji tesislerinin yanı sıra küçük işletmeler, arsa, arazi ve ev sahipleri, belediyeler gibi çok sayıda yatırımcının katılımı sağlanır.

Tarife garantisi yenilenebilir enerji üreticileri için finansal riskleri azaltsa da birtakım olumsuz yönleri bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Lesser ve Su, 2008:982):

- Yenilenebilir enerjinin türü (güneş, rüzgâr, jeotermal vd.), ödeme yapıları (sabit, azalan) ve ödeme süresi gibi faktörlerin dikkate alındığı tarife garantisi politikasının geliştirilmesi politika yapıcılar için zorluk teşkil eder.
- Bu üç özellik dikkate alınarak gelecekteki piyasa koşulları ve teknolojik gelişmenin durumu konusunda önemli tahminler gerekir.
- Geleceği etkileyebilecek çok sayıda belirsizlik olduğundan uzun vadeli tahminlerin hatalı olma riski fazladır.
- Tahminler yapıp politika yapıcılar tarafından bir fiyat belirlendikten sonra değişen koşullara karşı sağlanan teşviğin türünü, yapısını ve süresini değiştirmek zor ve maliyetlidir. Çünkü böyle bir durumda yasal belirsizlik ortaya çıkar ve yatırım maliyetleri artar.

2.2.2. Tarife Düzeyini Belirleme Yöntemleri

Tarife garantisi tasarımının en önemli yönlerinden biri, tarife seviyesinin ve destek süresinin belirlenmesidir. Tarife düzeyini yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim maliyetlerine göre belirlemek bir seçenektir. Diğer bir seçenek ise, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine destek düzeyi, yenilenebilir enerji kaynakları

kullanılarak elektrik üretiminin neden olduğu kaçınılan dış maliyetlere dayandırılabilir (Klein vd., 2010:11).

2.2.2.1. Elektrik Üretim Maliyetlerine Göre Tarife Garantisinin Belirlenmesi

Elektrik üretim maliyetleri, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim teknolojisine göre değişiklik gösterdiği için tarife garantisi teknolojiye özgü tarife seviyeleri belirlenerek oluşturulmalıdır. Elektrik üretim maliyetinin seviyesi belirlenirken şu faktörler dikkate alınmalıdır (Klein vd., 2010:11).

- Fabrika yatırımı
- Ruhsatlandırma prosedürleri için yapılan harcamalar gibi projeyle ilgili diğer masraflar
- İşletme ve bakım maliyetleri
- Yakıt maliyetleri (biyokütle, biyogaz)
- Enflasyon
- Yatırılan sermaye için faiz oranları
- Yatırımcılar için kar marjları

Tarife garantisi uygulayan AB ülkelerin çoğunluğu, elektrik üretim maliyetlerine göre tarife garantisini kullanmaktadır³.

2.2.2.2. Kaçınılan Dış Maliyetler Dikkate Alınarak Tarife Garantisinin Belirlenmesi

Dış maliyetler, “bir grup insanın sosyal veya ekonomik faaliyetlerinin başka bir grup üzerindeki etkisi olduğunda ve bu etki birinci grup tarafından tam olarak açıklanmadığında veya telafi edilmediğinde” ortaya çıkmaktadır (European Commission, 2003:5). Tarife garantisine ait ücret belirlenirken elektrik üretim maliyetlerinin yanı sıra dış maliyetler gibi faktörler de dikkate alınabilir.

Elektrik üretiminde diğer faktörlerin yanı sıra dikkate alınabilecek dış maliyetler şu şekilde sıralanabilir (Krewitt ve Schlomann, 2006):

³ Detaylı bilgi için bkz., Yenilenebilir Enerji Yasası (EEG) İlerleme Raporu 2007, <https://docplayer.net/6477680-Renewable-energy-sources-act-eeeg-progress-report-2007.html>

- İklim değışikliği
- Hava kirleticilerin sağlığa zararı
- Tarımsal verim kaybı
- Malzeme hasarı
- Enerji arz güvenliği üzerindeki etkiler

Ayrıca tarife garantisi tutarının belirlenmesinde bu dış maliyetlerin dışında konvansiyonel enerjinin maliyetleri de hesaba katılabilir. Bir diğer ifadeyle yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi olmadığı durumda, elektrik üretimi konvansiyonel enerji kaynaklarından karşılanacaktı. Konvansiyonel enerji kaynaklarının ortaya çıkaracağı maliyetler farklılaştığı için, yenilenebilir enerji kaynakları bu kaynağın ikamesi olduğu için, tarife garantisindeki tutar belirlenirken dikkate alınabilir.

2.2.3. Tarife Garantisinin Çeşitleri

AB ülkelerinde uygulanan başlıca tarife garantisi uygulamaları şu şekilde sıralanabilir (Kitzing vd., 2012:194):

- Sabit Tarife Garantisi: Bu yöntemde her teknoloji grubu için bir tarife belirlenir. Bu tarifeler sadece yönetmelikte yapılan değışiklerle değıştirilebilir. Almanya, Potekiz ve Litvanya bu yöntemi uygulamaktadır.

Sabit fiyat garantisinde yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik için, kWh başına sabit bir fiyattan üretilen enerjinin satın alınacağına garanti verilmektedir. Dünya genelinde bu yöntem yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında kullanılan en yaygın teşvik yöntemidir. Genellikle yeni kurulan yenilenebilir enerji tesislerine uygulanmakta olup, destek dönemi boyunca elektrik alım fiyatı sabitlenmektedir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde piyasadaki riskleri, belirsizlikleri, konvansiyonel enerji kaynaklarına karşı maliyet dezavantajını ortadan kaldıran bir yöntem olduğu söylenebilir.

Tarife Garantisi bir diğer ifadeyle alım garantisi olan teşvik destek türü, kamu gücü vasıtasıyla ortaya konulan ve genelde belli şartları yerine getiren elektrik üretimi yapan tesislere kWh üzerinden gerçekleştirilen desteklemeler biçiminde uygulanır. Bu yöntemde elektrik üretimi yapan taraflara üretim konusu olan kaynağa

bakılmaksızın, sabit bir fiyat verilerek destekleme sağlanmaktadır. Fakat yenilenebilir enerji üretiminin konvansiyonel üretime göre avantajlı olabilmesi için destekleme düzeyinin kazançlı görülen bir seviyede olması gerekmektedir. Sabit fiyat garantisi, özel bir zaman aralığı için verilmektedir. Uygulama şekli ülkeden ülkeye değişmekle birlikte, genellikle enerji üretim tesislerinin faaliyete geçmesiyle başlayan ilk 10 ile 20 yıl boyunca uygulanmaktadır. Sabit fiyat garantisi, elektrik üretimi için ihtiyaç duyulan maliyetin, mevcut piyasada oluşan fiyatlardan yüksek olması halinde uygulanan yöntemdir. Dolayısıyla bu yöntemin etkili olabilmesi için fiyat dezavantajını, avantajlı düzeye getirmesi gerekir (Ergün, 2020:94).

- **Zamana Bağlı Tarife Garantisi:** Bu yöntemde her teknoloji grubu için iki ila üç farklı tarife (gündüz/ gece, yoğun/ yoğun olmayan) önceden belirlenmektedir. Aynı şekilde bu yöntem de sadece yönetmelikte değiştirilebilir. Hidroelektrik ve Biyokütle enerjisinde bu yöntemi İspanya ve Macaristan uygulamaktadır.
- **Endeksli tarife garantisi:** Bu yöntemde tarifeler Euro'nun döviz kuru veya doğalgaz fiyatı gibi belirli piyasa göstergelerine bağlıdır. Bu yüzden yatırım sırasında kesin olarak bilinmemektedir. Bu yöntemi Letonya uygulamaktadır.
- **Ayarlanabilir Tarife Garantisi:** Bu yöntemde tarifeler kurulum anından itibaren kesin olarak sabitlenmez. Mevcut projeler için değişiklik yapılması yönetmelikle mümkündür. Bulgaristan ve Çek Cumhuriyeti bu yöntemi kullanmaktadır.
- **Fiyat Garantili Tarife:** Bu yöntemde tarifede uygulanan fiyat, piyasa fiyatlarının altında kalsa bile tarifede belirlenmiş olan fiyat ödenmektedir. Garanti edilen fiyatın üzerinde bir piyasa fiyatı oluştuğunda ise aradaki fark, garanti edilen fiyata ilave edilerek ödenmektedir. Danimarka ve Almanya bu yöntemi uygulamaktadır. Bu yöntem Fark Sözleşmeleri (Contracts for difference-CFD) olarak da adlandırılmaktadır. Birleşik Krallık bu yöntemi bu isimle uygulamaktadır. Ayrıca The Climate Friendly Materials Platformu kapsamında İspanya, Fransa, Hollanda, Belçika, İsveç ve Almanya, Polonya ve Macaristan'dan önde gelen araştırmacılar tarife garantisi uygulamasını da içeren bir dizi politika araçları paketi sundu. Bu Yöntemin Avrupa'da daha fazla ülkede yaygınlaşması beklenmektedir (Gerres ve Linares, 2020:1).

Dünya genelinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında bir teşvik mekanizması olarak birçok ülkede birçok farklı şekilde tarife garantisi politikası uygulanmaktadır. Örneğin; Avusturya’da yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik esas olarak tarife garantisi yoluyla desteklenmektedir. Kullanılan teknolojiye bağlı olarak farklılaştırılmış bir tarife garantisi yoluyla yenilenebilir enerji teşvik edilmektedir. Tarife garantisi için genel destek ödemeleri, azalan bir promosyon hacmi aracılığıyla yıllık olarak yeniden tanımlanır. Tarife garantisi için uygunluk süresi sona erdikten sonra, belirli kriterlerin karşılanması durumunda biyogaz tesisleri için ardışık bir tarife uygulanır (Sternkopf, 2019). Öta yandan Fransa’da, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik, bir tarife garantisi, bir prim tarifesini ve ayrıca prim tarifesini seviyesinin belirlenmesi için yapılan ihaleler yoluyla teşvik edilmektedir. Yenilenebilir elektrik santrallerinin işletmecileri, şebekeye ihraç edilen elektrik için tedarikçilere karşı sözleşmeye dayalı olarak ödeme yapma hakkına sahiptir. Dağıtım şebekesi işletmecisi, kanunla belirlenen bir fiyat üzerinden elektrik alımına ilişkin anlaşmalar yapmakla yükümlüdür (Vidalic, 2019). Almanya’da ise esas olarak prim programı teşviki kullanılmakla beraber, 100 kW’a kadar olan küçük yenilenebilir enerji santralleri tarife garantisi yoluyla desteklenmektedir. Bu teşvik için uygunluk kriterleri ve tarife seviyeleri Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu’nda belirtilmiştir. Arnavutluk’ta yenilenebilir enerji kaynakları için ana teşvik mekanizması tarife garantisidir. Fakat bu teşvik sadece hidroelektrik santraller için kabul edilmektedir. Belirli bir kapasiteyi aşmayan yenilenebilir enerji santralleri, tarife garantisi ile desteklenmektedir (Sternkopf, 2019). Benzer şekilde Bosna Hersek’te yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi esas olarak bir tarife garantisi yoluyla teşvik edilmektedir. Yenilenebilir enerji santali İşletmecisi (Bosna Hersek Federasyonu) ve Destek Programı İşletmecisi (Srpska Cumhuriyeti) yasal olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından teşvik fiyatı üzerinden elektrik satın almakla yükümlüdür (Naydenova, 2018). Bulgaristan’da ise daha önce tarife garantisi uygulanırken 1 Temmuz 2018’de bu teşvik feshedilmiş ve yerine prim tarifesini uygulaması getirilmiştir (Naydenova, 2019). Öte yandan Hırvatistan’da, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik, ihaleler yoluyla tahsis edilen bir prim tarifesini ve garantili bir tarife garantisi (500 kW’ın altındaki kurulumlar için) aracılığıyla teşvik edilmektedir (Cetkovic, 2019). Macaristan’da ise yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik, kurulu gücü 50 kW-500 kW olan kurulumlar için bir tarife garantisi teşviki söz konusudur (Szabo, 2019). Fakat İrlanda’da

Yenilenebilir Enerji Tarife Garantisi (REFIT) programları, 31 Aralık 2015 tarihine kadar çeşitli yenilenebilir elektrik üretim teknolojilerini desteklerken, sonraki dönemde farklı bir teşvik yöntemine gidildi. Tarife garantisine hak kazanan kuruluşlar, ticari anlaşma yaptıkları üreticilerden yenilenebilir kaynaklardan elektrik satın alan tedarikçilerdi. Bu sistem kaldırılana kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimini önemli şekilde teşvik etti (Maroulis, 2019d). Öte yandan Kosova'da yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleyen ana program, bir tarife garantisidir. Kamu enerji tedarikçisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik için düzenlenmiş bir tarife ödemekle yükümlüdür (Sternkopf, 2019). Lihtenştayn ise, bir tarife garantisi programı aracılığıyla fotovoltaik kurulumları tarafından üretilen elektriği desteklemektedir. Fotovoltaik tesislerinin operatörleri, şebeke operatörüne karşı şebekeye ihraç edilen elektrik için ödeme yapma hakkına sahiptir (Banasiak, 2019). Öte yandan Lüksemburg'da da yenilenebilir enerjiden üretilen elektrik, tarife garantisi yoluyla teşvik edilmektedir. Yenilenebilir enerji santrallerinin işletmecileri, şebeke işletmecisine karşı ürettikleri elektriği belirlenen fiyat üzerinden satın alma sözleşmesi yapma hakkına sahiptir (Anciaux, 2019). Benzer şekilde Makedonya tarife garantisi yoluyla teşvik yöntemini kullanmakta olup, elektrik piyasası işletmecisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından ürettiği elektrik için düzenlenmiş bir tarife ödemekle yükümlüdür (Naydenova, 2019). Malta'da ise fotovoltaik güneş enerjisi kurulumları tarafından üretilen elektrik başlangıçta bir tarife garantisi ile desteklenir (Banasiak, 2019). Bununla birlikte Moldova'da kapasitesi 10 kW ile hükümet tarafından her bir teknoloji için belirlenen kapasite limitleri arasında olan santraller, uygun üretici olarak nitelendirildikten sonra garantili bir tarife garantisinden yararlanmaktadır (Blajin, 2019). Benzer şekilde Karadağ'da "İmtiyazlı Üretici" statüsünü kazanmış olan yenilenebilir enerji santrallerinin sahipleri, tedarik ettikleri elektrik için kWh başına sabit bir fiyat almak üzere Karadağ Enerji Piyasası İşletmecisi (COTEE) ile sözleşme imzalayabilmektedirler (Naydenova, 2019). Öte yandan Polonya'da Tarife garantisi, 500 kW'ın altındaki biyogaz ve hidroelektrik tesislerinden kullanılmayan elektrik için geçerlidir (Ignaciuk, 2019). Sırbistan ve Slovakya'da ise teşvik daha kapsamlı olup, garanti edilen tedarikçi, yenilenebilir enerji kaynaklarından teşvikli fiyattan elektrik satın almakla yasal olarak yükümlüdür (Cetkovic, 2019; Valach, 2019b). İsviçre'de ise, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik, bir tarife garantisi programı aracılığıyla desteklenmektedir. Yenilenebilir

elektrik santrallerinin işletmecileri, şebeke işletmecisine karşı şebekeye ihraç edilen elektrik için ödeme yapma hakkına sahiptir. Kullanılan yenilenebilir enerji kaynağına göre tarife değişmektedir (Vagerö, 2019). Benzer şekilde Türkiye’de santral operatörleri, şebeke operatörüne karşı, şebekeye yapılan tüm elektrik ihracatı için sabit bir tarife garantisi ödeme hakkına sahiptir. Tarife garantisi, kullanılan enerjinin kaynağına ve santrallerin bileşenlerinin Türkiye’de yapılıp yapılmadığına göre değişmektedir (Sternkopf, 2019). Ukrayna’da ise yeşil tarife olarak adlandırılan tarife garantisi teşviki tüm yenilenebilir enerji teknolojilerine verilmektedir. Ayrıca, 30 kW kapasiteye sahip güneş ve rüzgâr türbini ile donatılmış hanelerden üretilen elektrik de tarife garantisi dâhilindedir. Bununla birlikte, kullanılan ekipmanların en az %30’unun Ukrayna menşeli olması halinde üreticilere ek bir prim verilmektedir (Pobłocka-Dirakis, 2019). Son olarak Birleşik Krallık ’ta da yenilenebilir enerji üretimini teşvik etmek amacıyla tarife garantisi yöntemi uygulanmaktadır. Büyük Britanya’da, kapasitesi 5 MW 'a kadar olan uygun yenilenebilir enerji santralleri, genel olarak tesis büyüklüğüne ve enerji kaynağına göre değişebilen bir akreditasyon sürecinden geçmelidir. Bu süreçten geçen üreticiler her yıl düzeltilen belirli oranlar üzerinden tarife garantisi teşvikinden yararlanabilmektedir. Bu sistem sadece Büyük Britanya’da yani İskoçya, İngiltere ve Galler’de geçerlidir (Maroulis, 2019b).

2.2.4. Prim Garantisi (FIP)

Prim garantisi (Feed-in Premium, FIP), piyasa fiyatı haricinde sabit bir ek olarak ödenen garantili ödemelerdir. Genel olarak, bir yenilenebilir elektrik üreticisi, serbest piyasada elektriğin satışından elde edilen gelire ek olarak birim (MWh) başına bir prim alır. Tarife garantilerinde olduğu gibi primler genellikle sabit süreli (İtalya’da olduğu gibi), ya da önceden belirlenmiş bir üretim (Danimarka’da olduğu gibi, 12.000 tam yük saati) için garanti edilmektedir. AB ülkelerinde uygulanan prim garantisi uygulamaları şu şekildedir (Kitzing vd., 2012:194):

- **Sabit Prim Garantisi:** Sabit bir prim, uygun bir teknoloji grubu için yönetmelikle önceden belirlenmektedir. Buradaki sabit prim bir birim elektrik üretimi başına ödenecek sabit ödemelerdir. Bir birim elektrik üretimi başına alınan sabit primler ancak yönetmeliklerle değiştirilebilir. Danimarka, İspanya, Estonya ve Slovenya bu yöntemi kullanmaktadır.

- Değiştirilebilen Prim Garantisi: Bu yöntemde tarifeler, projeler için kesin olarak sabitlenmez. Primler belirli göstergelere bağlı olarak değiştirilebilir. Piyasa fiyatına göre ödenecek primler ayarlanmaktadır. Piyasa fiyatı düştüğünde yenilenebilir enerji elektrik üreticilerinin korunması amacıyla prim miktarı artırılabilir, piyasa fiyatı yükseldiğinde yeniden azaltılabilir. Bir diğer ifadeyle yenilenebilir enerjiden elektrik üretenlerin geliri için taban ve üst sınır sağlayan, primlerin saat başına piyasa fiyatlarına göre değiştiği uygulamalara değiştirilebilen prim garantisi denilmektedir. Üst sınır ve taban fiyat sağlamanın amacı, yüksek piyasa fiyatlarına karşı yüksek prim riskini azaltırken, düşük piyasa fiyatlarına karşı üreticileri yüksek riske maruz kalmaktan korumaktır. İspanya’da bu yöntemin uygulandığı bölgeler bulunmaktadır.

Dünya genelinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında bir teşvik mekanizması olarak birçok ülkede birçok farklı şekilde prim garantisi politikası uygulanmaktadır. Örneğin Fransa’da bazı yenilenebilir enerji üreticileri, kurulum maliyetlerini karşılamak ve karlılıklarını sağlamak için elektrik piyasasında aldıkları satış fiyatının üzerine bir prim tarifesinden (“tazminat mekanizması” olarak adlandırılan) yararlanabilirler (Vidalic, 2019). Almanya’da ise kurulu gücü 100 kW’ı aşan yenilenebilir enerji santrallerinin ihale prosedürlerine katılma zorunluluğu olmayan santral işletmecileri, doğrudan sattıkları elektrik için piyasa primi ile desteklenmektedir. Piyasa tutarı her ay yeniden hesaplanmaktadır. 2014 yılında Enerji Kaynakları Kanunu (EEG) reformu ile başlayan “Market Premium” yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik için ana destek programı haline getirilmiştir. 2017’ de EEG’de yapılan değişikliğin sonrasında, birçok teknoloji için piyasa priminin pazar odaklı bir prosedür olan ihale yoluyla belirlenmesi gerekiyordu. İhale sadece belirli büyüklükteki projeler için geçerli olduğundan, klasik piyasa primi almaya hak kazanan yeni projeler devam etmektedir. Almanya’da güneş, rüzgâr, jeotermal, biyogaz, hidroelektrik ve biyokütle enerjisine yönelik ayrı hesaplamalarla prim tarifesi uygulanmaktadır. Prim tarifesi ödeme süresi genellikle 20 yıldır. Bu prim, sabit bir tarifeye satılan elektriğin aylık piyasa değeri arasındaki fark olarak hesaplanmaktadır. Santral işletmecisi elektriği doğrudan, yani bir tedarik sözleşmesiyle birlikte veya borsada üçüncü bir kişiye satma ve şebeke işletmecisinden sözde piyasa primini talep etmek zorundadır (Sternkopf, 2019).

Bulgaristan’da Temmuz 2018’den itibaren, toplam gücü 4 MW olan tüm elektrik yenilenebilir enerji üreticileri, elektriklerini borsada satmakla yükümlü hale getirildi. Bu

üreticiler yaptıkları uzun vadeli sözleşmelerde hisse senedi fiyatı ile fiyat arasındaki farkı telafi etmek için bir prim verilmesi konusunda Elektrik Sistemi Güvenlik Fonu (ESSF) ile sözleşmeler izalamaktadır. Prim sisteminden doğan masraflar elektrik bedeli üzerinden tüketiciler tarafından karşılanmaktadır (Naydenova, 2019). Öte yandan Hırvatistan'da 1 Ocak 2016'dan bu yana yenilenebilir enerji, esas olarak kamu ihaleleri yoluyla tahsis edilen bir prim tarifesi ("tržišna premija") aracılığıyla teşvik edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektriğin imtiyazlı üreticileri, Elektrik Piyasası Yasası uyarınca piyasada sattıkları elektriğin fiyatına ek olarak bir prim alabilirler. Yükümlü tarafın seçilmesinde ise Hırvatistan Enerji Piyasası Operatörü (HROTE) kamu ihaleleri için çağrı yapar, bir kararla (Madde 31 § 3 RES Yasası) en düşük teklifi vereni seçer ve imtiyazlı üretici ile sözleşmeyi imzalar. Sözleşme süresi genellikle 12 yıldır. Destek programı, tüketiciler tarafından satın alınan her bir kWh üzerinden alınan bir ücretle finanse edilmektedir. Harç miktarı hükümet tarafından bir kararname ile belirlenir (Cetkovic, 2019).

Çek Cumhuriyeti'nde yenilebilir enerji yeşil ikramiye adıyla prim tarifesi olarak desteklenmektedir. Yenilenebilir enerjiden elektrik üreten tüm üreticiler, prim tarife seçeneğini seçme hakkına sahiptir. Yenilenebilir enerji santrallerinin işletmecileri, bu ikramiyeyi, elektriğin normal piyasa fiyatına ek olarak yıllık veya saatlik olarak alırlar. Yalnızca kendi ihtiyaçlarını karşılamak için yenilenebilir elektrik üreten işletmeciler de ikramiye ödeme hakkına sahiptir. Tesisin faaliyete geçtiği yılda, yeşil ikramiye MWh başına 4.500 CZK'yı (yaklaşık 173 €) geçmemektedir. Ayrıca, tüm uygun teknolojiler için yeşil ikramiye yasal olarak 20 yıl garantilidir. Hidroelektrik santraller, yeşil ikramiyeleri 30 yıl süreyle ödeneceği için bu kuraldan muaftır (Valach, 2019). Öte yandan Danimarka'da, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi, ikramiye ödemelerine dayalı bir prim tarife sistemi aracılığıyla desteklenmektedir. Yenilenebilir enerji santrallerinin işletmecileri genellikle piyasa fiyatına ek olarak ödenen değişken bir ikramiye alırlar. Piyasa fiyatı ve ikramiyenin toplamı, kullanılan enerji kaynağına ve belirli bir tesisin bağlantı tarihine bağlı olan kWh başına yasal maksimum değeri aşamaz. Yenilenebilir Enerjinin Teşviki Hakkında Kanun, kullanılan teknolojiye ve söz konusu tesisin işletmeye alınma tarihine bağlı olarak çeşitli süreler ve süreler öngörmektedir (Wikberg, 2019a). Benzer şekilde Estonya'da yenilenebilir enerji sistemlerinin işletmecileri, ürettikleri elektriği serbest piyasada satabilir ve piyasa fiyatına ek olarak ikramiye

alabilir. Desteklenecek rüzgâr enerjisinden elektrik miktarı, takvim yılı başına toplam 600 GWh ile sınırlıdır. Prim tarifesinin süresi ise en fazla 12 yıl ile sınırlıdır (Pungas, 2019). Finlandiya’da ise rüzgâr, biyogaz ve biyokütleden elektrik üreten üreticiler, 12 yıl süreyle toptan elektrik fiyatına ek olarak değişken prim tarifesini almaktadır. Tesisler, elektrikleri için sabit bir hedef fiyat alırlar. İhaleye dayalı prim planı uygulanmaktadır (Wikberg, 2019b).

Yunanistan’da 2016’dan itibaren, iletim sistemine bağlanacak olan RES ve ısı-güç santralleri elektrik piyasasına katılmakta ve değişken bir girdi garantisi primi almaktadır. Bu prim, “Fark tazminat fiyatına dayalı işletme desteği” olarak adlandırılmaktadır. 2017’den itibaren ihale yoluyla prim garantisi sistemi uygulanmaktadır. Prim süresi genellikle 20 yıldır (Maroulis, 2019a). Macaristan’da ise “green Premium” adıyla hem ihale yoluyla hem de klasik prim tarifesini uygulanmaktadır. 0,5 MW-1 MW arası yenilenebilir elektrik üreten santraller için prim tarifesini verilmektedir. 1 MW üzerindeki santraller ve genel olarak tüm rüzgâr santralleri zorunlu ihale usulüne tabidir. Demo projeler ihale zorunluluğu dışındadır. Prim için uygulanan süreler yenilenebilir enerji türüne göre değişkenlik göstermektedir (Szabo, 2019). Öte yandan İtalya’da uygulanan "Ritiro Dedicato", klasik bir tarife garantisi yerine basitleştirilmiş bir satın alma/tekrar satış düzenlemesidir. Tüm yenilenebilir enerji türlerine göre uygulanabilmektedir. Yalnızca yasal asgari fiyat düzenlemeye tabidir. Bu fiyat her yıl yeniden değerlendirilir. Garanti edilen asgari tarifeler bir yıl geçerlidir (Schwarz, 2019). Litvanya’da, toplam kurulu gücü 10 kW'a (dâhil) kadar olan yenilenebilir elektrik üretim teknolojileri, kayan bir girdi garantisi primi (sliding feed-in Premium), yani garantili tarife ile yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin satış fiyatı arasındaki fark yoluyla teşvik edilmektedir. Yenilenebilir elektrik üretim teknolojilerinin operatörleri (jeotermal enerji teknolojilerinden elektrik üretenler hariç), bağımsız bir elektrik tedarikçisine veya dağıtım sistemi operatörüne karşı şebekeye ihraç edilen elektrik için ödeme yapma hakkına sahiptir. Toplam kurulu gücü 10 kW'ı geçmeyen yenilenebilir elektrik üretim teknolojileriyle üretilen tüm elektrik, Ulusal Enerji Kontrol ve Fiyatları Komisyonu (NCC) tarafından belirlenen tarife üzerinden satın alınmaktadır. 10 kW'a kadar olan yenilenebilir enerji tesis kurulumları için, garanti primi, elektrik üretim lisansının verilmesinden itibaren 12 yıl süreyle ödenmektedir (Tallat-Kelpsaite, 2018).

Lüksemburg’da yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin doğrudan satışı durumunda, santral operatörleri piyasa fiyatına ek olarak değişken bir prim almakatadırlar. Yeni tesisler için tarife, enerji kaynağına ve işletmeye alma yılına bağlıdır ve kanunla belirlenen yüzdeye göre azalır. İşletmeye alma yılında yürürlükte olan tarife, tüm uygunluk süresi boyunca yenilebilir enerji tesisi kurulumu için geçerlidir. Tarife, ilk elektrik ihracatının yapıldığı günden itibaren 15 yıl garantilidir (Anciaux, 2019). Öte yandan Hollanda’da yenilenebilir enerji için ana teşvik aracı SDE+ premium garanti adıyla prim garantisi (toptan satış fiyatına eklenen primler) programıdır. Bu destek programı, elektrik, yenilenebilir gaz ve ısıtma amaçlı kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarını teşvik etmektedir. Düşük maliyetli yenilenebilir enerji seçeneklerini destekleyen, artan taban tarifelerle aşamalı kabul sistemini kapsamaktadır. SDE+ programı, fosil yakıt kaynaklarından elde edilen elektriğin toptan satış fiyatı ile yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektriğin fiyatı arasındaki farkı telafi etmek için yenilenebilir enerji üreticilerine piyasa fiyatının üzerinde bir prim vermektedir. Piyasa fiyatı üzerinden ödenen prim toplamı değişken olup, yıllık elektrik piyasası fiyat gelişimine bağlıdır ve buna göre bir düzeltme değeri ile ayarlanmaktadır. Prim, söz konusu tesisin işletmeye alındığı tarihten itibaren 15 yıl süreyle ödenmektedir (Anciaux, 2019). Polonya’da ise 0,5-1 MW arası güce sahip küçük biyogaz (tarımsal, belediye atık, arıtma, diğer) ve hidroelektrik santrallerinin sahiplerine prim garantisi teşviki uygulanmaktadır. 15 yıllık süreyle uygulanmaktadır (Ignaciuk, 2019).

2.2.5. Kota Sistemi

Yenilenebilir portföy standardı (RPS) olarak da bilinen kota sistemi, tarife garantisiyle birlikte en sık kullanılan yöntemlerdir. Bu uygulama üreticilere zorunlu olarak kota belirleyen miktar bazlı bir sistemdir. Bu araç, şirketlerin yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen güç miktarını artırmasını gerektirir. Kota sisteminde şirketlerin elektrik üretiminin belirli bir payının yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi gerekmektedir. Devletin üretilen elektriğin satın alınmasını garanti ettiği, tarife garantisi mekanizmasının aksine, kota sistemi uygulanması için özel piyasaya güvenir. Bu nedenle, farklı yenilenebilir enerji teknolojileri türleri arasında daha büyük bir fiyat rekabeti vardır (Abolhosseini ve Heshmati, 2014:882).

Kota sistemi genelde “yenilenebilir enerji sertifikaları”, “takas edilebilir yenilenebilir enerji sertifikası” ya da “ticareti yapılabilir yeşil sertifikalar” olarak adlandırılan sertifikalar aracılığıyla uygulanmaktadır. Bu yüzden kota sisteminin en önemli ayağını bu sertifikalar oluşturmaktadır (Akbaş Akdoğan, 2018:98). Bu sertifikalar literatürde “tradable green certificates” (TGC), “green tickets”, “green certificates”, “renewable energy credits” ve “green tags” gibi isimlerle ifade edilmektedir.

Üreticiler ve tüketiciler açısından yenilenebilir enerji kullanımı arttıkça, miktar başına bu sertifikalar elde edilmektedir. Yenilenebilir enerjinin çevreye olumlu etkisinin miktar olarak ölçülebilmesi sayesinde bu sertifikaların alım-satım piyasası bulunmaktadır (Yurdadoğ ve Tosunluoğlu, 2017:9-11).

AB ülkeleri hem tarife garantisi hem de kota sistemini yaygın olarak kullanmaktadır. Fakat tarife garantisi yenilenebilir enerji kapasitesinin hızlı bir şekilde artmasını sağladığından kota sisteminden daha fazla kullanılmaktadır. ABD’de ise AB ülkelerinin aksine kota sistemi daha fazla kullanılmaktadır. Öte yandan kota sistemi, Avrupa’da hükümet tarafından yönetilmesine karşı, ABD ve Avustralya’da hükümeti temsilen bir kurum veya bağımsız kamu hizmeti düzenleyicileri tarafından yönetilmektedir (Berry ve Jaccard, 2001:276). Tarife yöntemi ile kota sisteminin yenilenebilir enerji üzerindeki etkileri açısından pek çok karşılaştırma yapılmaktadır. Fakat Lauber (2004), bu sistemlerin farklı amaçları olduğu için ortak bir standartla karşılaştırılmasının doğru olmadığını savunmaktadır. Nitekim, tarife garantisi yenilenebilir teknoloji gelişimini ve ekipman endüstrisini desteklemek için uygunken, kota sistemi teknoloji geliştirmenin ilk aşamasından çok piyasada rekabet edilebilirlik aşamasında daha uygundur.

Uygulamada imkânsız olabileceğini gösteren kanıtlara rağmen Avrupa, üye ülkeler arasında uygulanan politikalardaki farklılıklar nedeniyle, tek bir uyumlaştırılmış tarife (FIT) sistemi düzenlemektedir. Çoğu Avrupa ülkesi FIT sistemini kullandığından, kota sistemi Avrupa’da geliştirilmemiştir. FIT politikalarının yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesini teşvik etmek için uygun olduğu görülmektedir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanması belli bir düzeye geldikten sonra kota sistemine geçilmelidir. Çevre kirliliğinin artması dikkate alındığında, yenilenebilir teknoloji geliştirmedeki ilerleme ve yüksek yenilenemeyen enerji fiyatları, yenilenebilir enerjilerin rekabet gücünü etkilemektedir. Bununla birlikte, alternatif yenilenebilir enerji birim

maliyetlerindeki farklılıklar, yenilenebilir kaynakların tahsisini ve arz edilen miktarını istenilen yönde etkilemek için piyasaya sürekli sınırlı devlet müdahalesi anlamına gelmektedir. Maliyetleri birbirine yakın tutmak için rekabeti artırıcı kota sistemi etkili olabilir (Abolhosseini ve Heshmati, 2014:883). Sonuç olarak, yenilenebilir enerjinin teşvikinde kullanılan kota sistemi iyi tasarlandığında uluslararası ticaret sistemine geçişte ideal bir başlangıç noktasıdır. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirecek tek başına bir çözüm olarak görülmemektedir (Espey, 2001).

Dünya genelinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında bir teşvik mekanizması olarak birçok ülkede kota sistemi uygulanmaktadır. Örneğin Belçika'da, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik, esas olarak sertifika ticaretine dayalı bir kota sistemi aracılığıyla teşvik edilmektedir. Elektrik tedarikçileri, tedarik ettikleri elektriğin belirli bir yasal ve sürekli artan oranının (kotasının) yenilenebilir kaynaklardan üretildiğini sertifika vererek kanıtlamakla yükümlüdür. Yasa, sertifika başına minimum fiyatı garanti eder. Ayrıca Ulaşımda kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik temel destek planı kota sistemidir (Anciaux, 2019). Öte yandan Finlandiya'da sadece ulaşımda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik ana destek planı kota sistemidir. Bu kota sistemi, akaryakıt satan şirketleri, yıllık olarak satılması gereken yenilenebilir petrol ve motorinin toplam miktarı için bir kota belirleyerek düzenlemektedir (Wikberg, 2019b). Benzer şekilde İrlanda'da ulaşım sektöründe yenilenebilir enerji kullanımına yönelik teşvik kota sistemidir. Biyoyakıt Zorunluluk Programı (BOS) adı verilen bu sistem, yakıt tedarikçilerini, biyoyakıtların şirketin toplam yıllık yakıt satışının belirli bir yüzdesini oluşturmasını sağlamakla yükümlü kılmaktadır. Plan, bir devlet kurumu (Ulusal Petrol Rezervleri Ajansı- NORA) tarafından yönetilmektedir. Yine benzer şekilde Lüksemburg'da ulaşımda kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik tek destek programı kota sistemidir. Bu program, petrol, gaz veya dizel yakıtları ithal eden veya üreten şirketleri, biyoyakıtların şirketin toplam yıllık yakıt satışının belirli bir yüzdesini oluşturmasını sağlamakla yükümlü kılmaktadır (Anciaux, 2019). Norveç'te ise elektrik sektöründe yenilenebilir enerji kullanımına yönelik temel teşvik kota sistemi ve bir sertifika ticaret sistemidir. Elektrik Sertifikaları Yasası, elektrik tedarikçilerine ve belirli elektrik tüketicilerine, tedarik ettikleri elektriğin belirli bir kotasının yenilenebilir kaynaklardan üretildiğini kanıtlama yükümlülüğü getirmektedir. Bu kanıt, yenilenebilir enerji üreticilerine tahsis edilen ticarete elverişli sertifikalar aracılığıyla sağlanmaktadır

(Vagerö, 2019). Öte yandan Polonya’da yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik, esas olarak bir tarife garantisi veya primin destek seviyesinin tanımlanması için bir ihale sistemi yoluyla teşvik edilmektedir. Fakat 1 Temmuz 2016 tarihinden öncesine dayanan tesisler için ihale sistemi ile kota sistemi arasında seçim yapma hakkı bulunmaktadır. Çünkü 2016 yılına kadar ana destek planı, bir sertifika alım satım planıyla birleştirilen, kota yükümlülüğüne dayanan bir kota sistemiydi. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üreten üreticilere sertifika verilmekteydi. Günümüzde uygulamada olan yeni kanunun yürürlüğe girmesinden önce enerji üretmeye başlayan tesisler, sistemde kalmayı veya ihale destek programına geçmeyi tercih edebilmektedirler (Ignaciuk, 2019). Portekiz’de ise, ulaşım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik iki destek planı vardır. Bunlar; küçük biyoyakıt üreticilerine vergi muafiyeti ve piyasada tüketim için yakıt tedarik eden şirketlere biyoyakıt kotasıdır. Tüketim amaçlı yakıt tedarik eden firmalar, 2011 yılından 2020 yılına kadar piyasaya arz ettikleri yakıtlara belirli bir oranda biyoyakıt dâhil etmişlerdir (Jimeno, 2019). Öte yandan Romanya’da, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik esas olarak bir kota sistemi tarafından desteklenmektedir. Ayrıca Ulaştırma sektöründe yenilenebilir enerji kullanımı da bir kota sistemi ile desteklenmektedir. Elektrik alanındaki kota sistemi 2017’den öncesine dayanan tesisler için halen geçerli olup, 2031 yılına kadar uygulanacaktır. Kota sistemi kapsamında yenilenebilir kaynaklardan elektrik tedarikçileri ve üreticileri, elektrik için verilen belirli sayıda "yeşil sertifika" ibraz etmekle yükümlüdürler. Ulaşım sektörü için uygulanan kota sisteminde ise akaryakıt perakendecileri, biyoyakıtların yıllık satışlarının belirli bir yüzdesini oluşturmasını sağlamakla yükümlüdür. Ayrıca benzin ve motorine biyoyakıt eklenmesi hedefi vardır. Öngörülen kotayı karşılamak için yalnızca belirli sürdürülebilirlik kriterlerini karşılayan sertifikalı biyoyakıtlar dikkate alınmaktadır. Bununla birlikte akaryakıt perakendecilerinin piyasa yakıtlarının sera gazı emisyonlarını azaltmaları gerekmektedir (Blajin, 2019). İsveç, çeşitli teşviklerle yenilenebilir enerjiyi teşvik etmektedir; bunların en önemlisi, bir sertifika ticaret sistemine dayanan kota sistemidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik temel teşvik, kota yükümlülüğü bulunan kota sistemi ve sertifika ticaret sistemidir. Elektrik Sertifikaları Yasası, enerji tedarikçilerini, tedarik ettikleri elektriğin belirli bir kotasının yenilenebilir enerji kaynaklarından üretildiğini kanıtlamakla yükümlü kılmaktadır. Enerji tedarikçileri, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üreticilerine tahsis edilen ticarete konu sertifikaları

ibraz ederek bu kanıtı sağlayacaktır (Vagerö, 2019). Son olarak Birleşik Krallık 'ta ulaşım sektöründe 2007'den beri biyoyakıtlar için bir kota sistemi uygulanmaktadır. Ulaşım için yakıt tedarikçileri, tedarik edilen toplam yakıtta belirli bir biyoyakıt kotasını karşılamakla yükümlüdür. Uygunluk kanıtı sağlamak için bir sertifika sistemi vardır (Maroulis, 2019b).

2.2.6. Net Ölçüm Yöntemi

Net faturalandırma (net billing) yöntemi olarak da bilinen net ölçüm yöntemi faturalandırmaya dayanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik için uygulanmakta olup, küçük ölçekli uygulamaları desteklemektedir. Bu sistem, üreticiler tarafından üretilen ancak tüketilmeyen elektrik için kredi veya ödeme almalarını sağlamaktadır. Diğer bir ifadeyle şebekeye bağlı olan yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi yapan kişilere uygulanmakta olup, üretilen elektriğin alımlarını teşvik etmek amacıyla yapılan faturalandırma sistemidir. Yerinde elektrik jeneratörü olan kamu hizmeti müşterilerinin, diğer fatura dönemlerinde tüketimi dengelemek için uygulanabilecek fazla üretim için kredi alabileceği bir düzenlemedir. Net ölçüm kapsamında, müşteriler genellikle perakende elektrik fiyatı düzeyinde kredi alırlar. Net faturalama kapsamında, müşteriler genellikle fazla elektrik için perakende elektrik fiyatından daha düşük bir oranda kredi alırlar. Genellikle daha büyük ölçekli projeleri destekleyen tarife garantisi ve ihaleler gibi diğer politika mekanizmalarıyla birlikte net ölçüm politikaları benimsenmiştir. Geçmiş yıllarda olduğu gibi net ölçüm yöntemi, elektrik üreticilerine ödenen oranlara itirazlar ve elektrik santralleri için bağlantı ücretleri konusunda eleştirilmektedir. Fakat sanal ağ ölçümü yoluyla net ölçümün erişilebilirliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır (REN21, 2017:123,217).

Net ölçüm yöntemi bir öz tüketim modelidir. Tüketicilerin yerinde elektrik üretmesine izin vermekte olup aşırı üretimin değerlendirilmesini sağlamaktadır. Piyasa temelli bir teşvik yöntemi olan net ölçüm yönteminin kurulum maliyetleri yüksek olan yenilenebilir enerji türleri için projenin piyasa engelini aşmasına yönelik uygulanmaktadır. Bu sayede yenilenebilir enerjiden bazı gün veya mevsimlerde normalin üzerinde kişinin talebini aşacak şekilde üretilen elektrik enerjisinin değerlendirilmesi sağlanmakta olup, özel yatırımlar teşvik edilmektedir (Doris vd., 2009:1).

Dünya genelinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında bir teşvik mekanizması olarak birçok ülkede kota sistemi uygulanmaktadır. Örneğin Arnavutluk'ta kamu kuruluşu, yenilenebilir enerji üreticilerinden elektrik satın almakla yükümlüdür. Küçük ve orta ölçekli şirketler ile özel haneler için, 500 kW'tan az üretimi olan güneş ve rüzgâr tesisleri için bir net ölçüm planı mevcuttur (Sternkopf, 2019). Öte yandan Belçika'nın belirli bölgelerinde de farklı net ölçüm uygulamaları bulunmaktadır. Başkent Brüksel'de yeşil elektrik üreticileri, şebekeden alınan elektrik miktarı ile şebekeye verilen elektrik miktarı arasındaki fark için bir tazminat mekanizmasından yararlanma hakkına sahiptir. Flandre bölgesinde 10 kW'tan düşük kapasiteli tüm yenilenebilir enerji teknolojileri için net ölçüm planı bulunmaktadır. Valon bölgesinde ise yeşil elektrik üreten küçük otomobil üreticileri, şebekeden alınan elektrik miktarı ile şebekeye verilen elektrik miktarı arasındaki fark için bir tazminat (net ölçüm) mekanizmasından yararlanma hakkına sahiptir (Anciaux, 2019). Öte yandan Kıbrıs'ta iki farklı şekilde net ölçüm uygulaması bulunmaktadır. “PV ve Biyokütle/Biyogaz 2017 Destek Programı” ve “Kendi tüketimi için YEK'ten Elektrik Üretimi için Destek Programı” kapsamında net ölçüm uygulamaları bulunmaktadır (Maroulis, 2019c). Danimarka'da ise ürettiği elektriğin tamamını veya bir kısmını kendi ihtiyaçları için kullanan elektrik üreticileri, bu elektrik üzerinden “Kamu Hizmeti Yükümlülüğü” ödemekten tamamen veya kısmen muaftır. “Kamu Hizmeti Yükümlülüğü”, yenilenebilir enerjiyi desteklemek için alınan bir ücrettir (Wikberg, 2019a). Yunanistan'da sadece güneş PV ve küçük rüzgâr enerjisi tesisleri için net ölçüm yöntemi kullanılmaktadır (Maroulis, 2019a). Öte yandan Macaristan'da maksimum 50 kVA kapasiteli ev tipi elektrik santralleri net ölçümden yararlanabilir. Şebekeye verilen elektrik fazlası, elektrik tedarikçisi tarafından elektriğin perakende fiyatı üzerinden ödenir (Szabo, 2019). İtalya'da yenilenebilir enerjiden elektrik üreticileri, tesislerinin kapasitesi 500 kW'ı geçmiyorsa “Scambio sul Posto” adında net ölçüm tekniğinden yararlanabilir (Schwarz, 2019). Letonya'da ise 1 Ocak 2014'ten itibaren uygulanmakta olan net ölçüm, elektrik üreticisi olan ve aynı zamanda 3*16A'ya eşit veya daha küçük bir bağlantıyla elektrik şebekesine bağlı olan müşteriler için geçerlidir. Müşteriler, şebekeye elektrik vermek için sorumlu şebeke operatörünün teklifine başvurmak zorundadır. Küçük ölçekli müşteriler için, enerji maliyetleri yalnızca şebekeden alınan ve şebekeye verilen elektrik arasındaki fark olarak tanımlanan net elektrik tüketimi için geçerlidir. Ayrıca müşterilerin bir şebeke kullanım ücreti ödemeleri gerekmektedir (Upatniece, 2019). Öte yandan

Moldova’da öz tüketim için elektrik üretmek üzere kullanılan 200 kW’ın altındaki kapasiteye sahip tüm yenilenebilir enerji tesisleri için net ölçüm yöntemi kullanılmaktadır (Blajin, 2019). Hollanda’da ise net ölçüm, aynı zamanda elektrik üreticisi olan ve elektrik şebekesine 3*80 A’ya eşit veya daha küçük bir çıkış değerine sahip bir bağlantı aracılığıyla bağlanan müşteriler için geçerlidir. Müşterilerin, şebekeye elektrik enjekte etmek için sorumlu şebeke operatörünün teklifine başvurması ve bir şebeke kullanım ücreti ödemesi gerekmektedir (Anciaux, 2019).

Net ölçüm, yenilenebilir enerjiyi desteklemek için popüler bir araç olmaya devam etmektedir. Sadece 2021 yılında en az 10 ülke yeni veya geliştirilmiş mevcut net ölçüm politikalarını uygulamaya koymuştur. Örneğin Hindistan’da Kerala eyaleti, 75.000 eve güneş panelleri kurma hedefiyle yeni bir çatı üstü net ölçüm programı başlattı. Malezya, konut müşterilerinin 100 MW’lık fazla güneş enerjisi üretimini şebekeye ihraç etmesine izin veren yeni bir program başlattı. Endonezya ve Bolivya’da benzer şekilde net ölçüm programları uygulamaya konuldu. Öte yandan Avrupa’da Romanya, konut güneş fotovoltaik (PV) enerjisini desteklemek için net ölçüm programını değiştirdi ve Karadağ, 3.000 konut çatısı PV sistemi için ilk net ölçüm programını uygulamaya koydu. Rusya Federasyonu ise, 15 kW’ın altındaki güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji jeneratörleri için net ölçümü başlattı. 2021 yılında Kanada’da ilk kez net ölçümlü güneş enerjisi PV üretiminin ortak topluluk mülkiyetine izin verildi. Bununla birlikte bazı ülkelerde net ölçüm yöntemi uygulamadan kaldırılmaktadır. Birkaç ABD eyaleti, yıl boyunca net ölçüm kredilerini azalttı veya kaldırdı. Indiana eyaleti net ölçüm oranını düşürdü ve Connecticut eyaleti, net ölçümü, mal sahiplerinin elektrik üretimleri için nasıl tazmin edildiğini değiştiren yeni bir programla değiştirdi.

2.2.7. İhale Yöntemi

İhale yöntemi genellikle diğer teşvik araçlarıyla birlikte kullanılan yöntemdir. Hükümet, belirli bir teknoloji (teknolojiye özgü açık artırma), veya bir grup uygun teknoloji (alternatif enerji açık artırması veya teknolojiye bağımsız açık artırma) belirli bir yenilenebilir enerji kapasitesinin kurulması için bir açık artırma süreci başlatır ve ihale çağrısı yapar (Lucas vd., 2013:10). Daha sonra potansiyel yatırımcılar, destek tutarına, projenin zamanına, konumuna ve diğer çevresel etkilerini dikkate alarak projeyi geliştirmek için teklif verirler. Düşük destek seviyesini talep eden ve olumlu diğer yönleri

belirlenen en cazip teklif ihaleyi kazanır (Kitzing vd., 2012:195). Bu süreçte kapalı zarf usulü müzayede uygulanıyorsa fiyat ve miktar teklifi veren katılımcılar diğer katılımcıların teklif ettiği fiyatı bilmez. İhale çağrısında belirtilen zorunlu şartların tümünü karşılayan teklifler, değerlendirmenin sadece fiyata dayalı olması durumunda en düşük fiyattan en yüksek fiyata doğru sıralanır. En düşük fiyattan başlayarak, teklif ettikleri miktarların toplamı ihale edilen hacmi karşılayıncaya kadar projeler desteklenir. Öte yanda hükümetin önceliklerine göre, projeleri yalnızca fiyata göre değil, aynı zamanda projenin yerel endüstriyel kalkınmaya katkısı, proje geliştiricisinin teknik uzmanlığı vb. gibi daha kapsamlı bir dizi kriteri de dâhil etme durumu vardır. Bu durumda, seçilen projeler en düşük fiyata sahip olanlar değil, paranın karşılığını en iyi veren projeler olabilir. Tekliflerin seçimi bir veya iki aşamada gerçekleşebilir. İki aşamalı seçim sürecinde projeler teklif edilmesine izin verilecek teklif sahiplerini belirlemek için ön yeterlilik aşamasından ve ikinci bir değerlendirme aşamasından geçer. Ön yeterlilik kontrolü büyük projeler ve teknik uzmanlık gerektiren projelerde kullanılır. Ayrıca ön yeterlilik sayesinde sadece sözleşme şartlarına uyanlar ve işi üstlenebilecek mali güce sahip olanlar belirlenmiş olur (Lucas vd., 2013:11).

İhale yönteminin avantajlı yönleri şu şekilde sıralanabilir (Lucas vd., 2013:12);

- Müzayedeler yatırımcılar için riskleri sınırlar çünkü belirli bir süre boyunca gelir garantisi bulunmaktadır. Açık artırmalarla, üreticilere yenilenebilir enerjiden üretilen elektriği sabit bir fiyat üzerinden satın alma ve şebekeye erişim garantisi verilir. Bu koşullar altında, proje geliştiricilerine ürettikleri elektrik için bir piyasa garantisi verilir ve bu da yatırım riskini azaltır.
- Satın alma sözleşmeleri genellikle 15 ile 20 yıl arasında imzalanır. Bu, ihale yönteminin bir başka güvenlik unsurudur. Uzun vadeli sabit ödemelerin olması sayesinde, yenilenebilir enerji proje geliştiricileri ve yatırımcılar için daha düşük riskler içerir ve bu sayede üreticiler finansman maliyetlerini düşürebilir.
- Rekabetçi teklifler sayesinde uygun fiyatlı enerji temin edilebilir.
- İyi planlanmış ve uygulanan ihaleler sayesinde yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik arzı öngörülebilir hale gelir.

- İhale yöntemindeki rekabet ortamı diğer politika hedeflerinin gerçekleşmesini de sağlayabilir.

Öte yandan ihale yönteminin bazı dezavantajlı yönleri de bulunmaktadır. İhaleler piyasada kesintiye (dur-kalk döngüsüne) yol açabilir. İhale programları düzenli aralıklarla sabit bir ihale programına bağlı olmazsa bu kesintiye yol açabilir. Bu koşullar altında yerel üretim tesislerine yatırım yapılması ve sağlam bir tedarik zincirinin oluşturulması zordur. İhale yönteminin diğer bir dezavantajlı yönü ise küçük üreticileri dikkate almamasıdır. İhalelere katılmak için küçük ölçekli veya yeni proje geliştiricilerinin sahip olmayabileceği kaynaklar gereklidir. Teklif verenler için, projelerinin sonunda bir sözleşme alamama riski, özellikle çok rekabetçi ihalelerde yüksektir (Lucas vd., 2013:13). İhale yönteminde, ihaleler arasında belirsiz ve uzun teslim süreleri ve proje geliştiricileri arasındaki rekabetçi süreci kazanmak için aşırı rekabet nedeniyle, bu tür devlet ihale programları tarihsel olarak uzun vadeli piyasa istikrarını ve karlılığını sağlamamıştır (Lewis ve Wiser, 2007:1854).

Bazı olumsuz yönleri olsa da ihale yöntemi ülkeler arasında yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Yenilenebilir enerji politikalarına sahip ülke sayısı 2021'de yeniden artarak çok yıllık bir trendi sürdürmektedir. Yılsonuna kadar en az 135 ülkenin yenilenebilir elektrik hedefi bulunmaktadır. Önceki yıllarda olduğu gibi, ihaleler ve diğer rekabetçi fiyatlandırma stratejileri, tarife garantileri gibi idari olarak belirlenen fiyatlandırma politikalarını geride bırakmıştır. 2017 yılına kadar tarife garantisi ihale yönteminden daha fazla kullanım alanı bulmaktaydı. 2018 yılından günümüze kadar ise ihale yöntemi yaygın olarak kullanılan yöntem haline gelmiştir. Yenilenebilir enerjinin artan rekabet gücünden hareketle, yıl boyunca ihalelere geçiş devam etti. Çin dışındaki hükümetler, 2021'de ihalelerde düşüş görmelerine rağmen, 2020'dekinden biraz daha fazla kapasite verdi. Genel olarak, 2020'de ihale yöntemini kullanan 116 ülke varken, 2021'de 131 ülkede yenilenebilir enerji ihaleleri düzenledi (REN21, 2022:25-85).

Dünya genelinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında bir teşvik mekanizması olarak birçok ülkede birçok farklı şekilde tarife yöntemi uygulanmaktadır. Örneğin Danimarka'da rüzgâr ve güneş PV kurulumları için prim tarifesi ihaleler yoluyla verilmektedir. Ayrıca Danimarka, ayrı bir devlet fonu aracılığıyla pilot yel değirmenlerinin inşasını desteklemektedir. Bu destek de ihale yoluyla verilmektedir.

Hırvatistan'da ise yenilenebilir enerji bir ihale sürecinden geçtikten sonra garantili bir satın alma fiyatı ile teşvik edilmektedir. Hırvatistan Enerji Piyasası (HROTE) tarafından yapılan kamu ihalesinde en düşük teklif sahibine garantili satın alma fiyatı hakkı verilir. Piyasa işletmecisi, yenilenebilir enerjinin belirli teknolojilerini desteklemek için kotaların mevcut olması durumunda yılda en az bir kez ihale çağrısı yapmaktadır (Cetkovic, 2019). Benzer şekilde Finlandiya'da ihaleye dayalı prim planı, yenilenebilir enerjinin maliyet etkin gelişimini teşvik etmeye yönelik bir destek planı olarak uygulanmaktadır. Teklif edilen ihaleler yıllık 1,4 TWh'dir.

Bu ülkelerin dışında Hollanda, İspanya, Türkiye, Polonya, Litvanya, Slovenya, Yunanistan, Lüksemburg, Malta ve Birleşik Krallık 'da birçok teşvik yöntemi ihaleler yoluyla uygulanmaktadır⁴. Görüldüğü üzere ihaleler tek bir politika olarak değil, prim garantisi, tarife garantisi gibi teşviklerin verilmesinde ek bir yöntem olarak kullanılmaktadır.

2.3. AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasına Yönelik Uygulanan Araçların Görünümü

Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını teşvik eden politikalardan ve dünya genelinde örnek uygulamalardan yukarıda bahsedilmiştir. Bu kısımda politikaların avantajları ve dezavantajlarından bahsedilecek olup, AB ülkeleri özelinde bu politikaların hangilerinin uygulandığı gösterilecektir.

⁴ Ayrıntılı bilgi için bkz.: RES LEGAL, <http://www.res-legal.eu/search-by-country/>, Erişim tarihi: 30.12.2022

Tablo 5: Yenilenebilir Enerji İçin Politika Seçeneklerinin Avantajları ve Dezavantajları

	Avantajlar	Dezavantajlar
Tarife Garantisi (FiT)	• Yüksek etkinlik • Yüksek yatırım güvenliği • Güçlü pazar dinamiği	• Daha yüksek elektrik fiyatları • Politika tasarımı zor
Yenilenebilir Portföy Standardı / Kota	• Güçlü pazar odaklılık • Daha az devlet müdahalesi • FiT'den daha kolay politika tasarımı	• Özellikle zayıf bir ceza sistemi durumunda FiT'den daha düşük etkinlik • FiT'den daha ucuz olmayabilir
Sermaye Sübvansiyonları/ Hibeler/İndirimler	• Yenilenebilir enerji projelerine yatırımı kolaylaştırır	
Yatırım veya diğer Vergi kredileri	• Yatırım maliyetini düşürür • Hizmet ölçeğindeki yatırımlar için uygun	• Vergi kredileri sadece yatırımlar için mevcut olursa tesislerinden enerji üretenler yararlanamaz • Küçük ölçekli için uygun değil
Yenilenebilir Enerji Sertifikaları	• Üreticilerin daha yüksek oranda yenilenebilir enerji kullanmalarına izin verir • Yeşil enerji üreticilerinin ek faydalar sağlar	• Üreticilerin yenilenebilir enerjiye yatırım yapmalarını gereksiz kılabilir
Enerji üretim ödemeleri veya vergi kredileri	• Orta ila yüksek etkililik • Yatırım vergisini karşılayabilen krediler	• FiT'den daha zayıf yasal dayanak olduğu için daha düşük yatırım güvenliği •
Net Ölçüm	• FiT'den daha az karmaşık • FiT'den daha düşük maliyet	• FiT'den daha düşük finansal fayda • Şebeke kurulumları için uygun değil
Kamu yatırımı, kredi veya finansman	• Yenilenebilir enerjiye yatırımı kolaylaştıran • enerji projeleri	
İhaleler	• Güçlü pazar yönelimi • Rekabetçi fiyatlar	• Adaylar kazanmak için çok düşük teklif verebilir. • Teklif projenin tamamlanmamasına veya iflasa yol açabilir

Kaynak: Liptow ve Remler, 2012:23

Tablo 5'te yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında kullanılan yöntemlerin olumlu ve olumsuz yönleri gösterilmektedir. Bu yöntemlerden her biri farklı alanlarda birbirlerine karşı üstünlük gösterebilmektedir. Bu yüzden kesin olarak bir yöntemin diğerine kıyasla daha iyi bir teşvik yöntemi olduğunu söylemek mümkün değildir. Örneğin bir bölgede yenilenebilir enerji sektöründe birçok büyük firma bulunmasına rağmen küçük yatırımcı azınlıkta olabilir. Böyle bir durumda vergi kredisi yöntemi yerine yatırımı kolaylaştırıcı

sübvansiyonlar verilmesi daha uygundur. Bununla birlikte bölgedeki hane halkının yenilenebilir enerjiyi benimsemesi isteniyorsa şebeke kurulumlarına uygun olmayan net ölçüm yöntemi yerine bu kullanıcıları vergiden muaf tutması ya da kurulum için sübvansiyon vermesi daha uygundur.

Günümüzde yenilenebilir enerjiye yönelik 156 ülkede elektrik, 70 ülkede ulaşım, 26 ülkede ise ısıtma/soğutma alanında teşvikler uygulanmaktadır. Bu kapsamda iklim değişikliğiyle mücadelede en fazla politika Avrupa ülkelerinde uygulanmaktadır. Avrupa ülkeleri net sıfır karbon emisyonu hedefini gerçekleştirmek için birçok politika uygulamaktadır. Net sıfır karbon emisyonuna ulaşmak için ise yenilenebilir enerji politikaları hayati önem taşımaktadır (REN21, 2022:76-78).

Uygulamadaki tüm yöntemler farklı amaçları gerçekleştirmek amacıyla ve farklı uygulama şekilleriyle AB ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 6: AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasında Kullanılan Yöntemler

Ülke	Yenilenebilir Enerji Hedefleri	Tarife Garantisi/ Prim Garantisi	Elektrik Kota Yükümlülüğü	Net Ölçüm Yöntemi	Ulaşım da biyoyakıt karışımı yakıt zorunluluğu	Takas edilebilir yenilenebilir sertifika	İhale Yöntemi	Vergi indirimi	Vergi kredileri	Enerji üretim ödemeleri	Kamu yatırımı, sübvansiyonlar, indirimler
Avusturya	E, EK, IS(K), U	■		■	○	■		●	■		■, □
Belçika	E, E*, EK(K), EK*(K), IS, U		□	□	○	■	■	■	■		□
Hırvatistan	E, EK(K), IS(K), U	■			○		□			●	■
Kıbrıs	E(Y), EK(K), IS(K), U(Y)	■		■	○		■				■
Çekya	E, EK(K), IS(K), U	■			■	■		■	■	○	■
Danimarka	E, EK(Y), IS(K), U(K)	■		■	○	■	■, □	■	■		■, ●
Estonya	E, EK, IS, U	■			○		■, □			■	■, ○
Finlandiya	E, EK(K), IS(K), U	■			○	■	■	■, ●		■	■, ●
Fransa	E, EK(Y), IS, U	○			○	■	■, □	■	■	○	●
Almanya	E, EK(Y), IS(K), U	■			■	■	■, □	■	■		■, ●
Yunanistan	E, IS(K), EK, U	■	■	■	○	■	■	■	■		■, ●, ○

Macaristan	E(Y), EK(Y), IS(K), U(Y)	■		■	○		■, □	■			■
İrlanda	E, EK(Y), IS(K), U(K)	■			○	■	■	●			○
İtalya	E, EK, IS(K), U	■		■	○		■, □	■	■		■, ●
Letonya	E(Y), EK(K), IS(K), U(Y)	■		■	●		■	■			
Litvanya	E, EK, IS, U(K)	■	■	■	○		■, □	■			■, ●
Lüksemburg	E, EK(K), IS, U	■			○		■, □				■, ○
Malta	E, EK(K), IS(K), U	■		■	○		■	■			■
Hollanda	E, EK(K), IS, U(K)	■		■	○	■	■	●	■	■	■, ●, ○
Polonya	E, EK, IS(K), U	■	■		○	■	■, □	■			■, ●
Portekiz	E, EK, IS(K), U(Y)		■		○	■	■, □	■			■, ○
Romanya	E(Y), EK(K), IS(Y), U(Y)		■	●	○	■					■
Slovakya	E, EK(K), IS(K), U	■			○	■	□	■			■
Slovenya	E(Y), EK(K), IS(Y), U(Y)			■	○	■	■	■	■		■
İspanya	E(Y), EK(Y), IS(K), U(Y)			○	○			●	■	■	■, ●
İsveç	E(Y), EK, IS(K), U(K)		■		□	■		■	■		■
Bulgaristan	E, EK(Y), IS, U(Y)	■			○						■
HEDEFLER E- Enerji (nihai veya birincil) EK- Elektrik IS- Isıtma veya Soğutma U- Ulaşım *- Alt ulusal D- Yeniden Düzenlenmiş Y- Yeni K- Kaldırıldı veya süresi doldu											
ARAÇLAR ● Yeni (bu türden bir ya da daha fazla politika) ○ Revize Edilmiş (daha önce var olan) ■ Mevcut ulusal politika ya da ihale (alt ulusal içerebilir) □ Mevcut alt ulusal politika ya da ihale □ 2020 yılında yapılan ulusal ihale											

Kaynak: REN21 (2021:84-87)'den yararlanılarak oluşturulmuştur.

AB ülkelerinde enerji, elektrik, ısıtma/soğutma ve ulaşım alanında birçok yenilenebilir enerji hedefleri bulunmaktadır. Bu hedefler belirli aralıklarla revize edilmekte ve hedefleri gerçekleştirmeye yönelik araçlar uygulamaya konmaktadır. Tablo 6'da hedeflerin bazılarının kaldırıldığı veya süresinin dolduğu görülmektedir. Bu hedefler 5-10 yıllık planları içerdiği için belirli süreler sonunda kalkmaktadır. Fakat birçok ülkenin bu planları revize ederek yeniden yürürlüğe koyduğu görülmektedir.⁵

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere AB ülkelerinde yenilenebilir enerjiyi teşvik eden birçok yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden en sık başvuru kamu yatırımları

⁵ Ayrıntılı bilgi için bkz. REN21 (2022) ve IRENA (2022b).

sübvansiyonları ve indirimleridir. Bu yatırımların içerisinde Ar-Ge yatırımlarına oldukça önem verildiği görülmektedir. Nitekim ülkeler yenilenebilir enerji alanında kamu Ar-Ge yatırımlarının yanı sıra bu alanda faaliyet gösteren özel sektörün Ar-Ge yatırımlarına da teşvik etmek amacıyla vergi muafiyeti, istisnası ve indirimi gibi araçları yaygın kullanmaktadır.

AB ülkelerinde bir diğer sık kullanılan yöntem ise tarife garantisi ve prim garantisi yöntemleridir. Ülkeden ülkeye değişen birçok tarife ve prim garantisi uygulaması bulunmaktadır. Fakat bu yöntemin ortak noktası geleceğe yönelik belirsizlikler sebebiyle riskli olması ve politika tasarımının bu yüzden zor olmasıdır. Tüm bunların sonucunda yüksek enerji fiyatlarına neden olabilmektedir.

Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında en fazla kullanılan yöntemlerden biri de vergisel yöntemlerdir. Yukarıdaki tabloda vergi kredileri ve vergi indirimlerinin birçok ülkede kullanıldığı görülmektedir. İlgili tabloda olmayan vergi muafiyeti ve istisnası yöntemi de AB ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüm bu yöntemlere ilişkin ülke örneklerine ve uygulama şekillerine ilgili başlıklarda değinilmiştir.

BÖLÜM 3: AMPİRİK UYGULAMA

Dünya genelinde çevre kirliliğinin büyük boyutlara ulaşması ve enerji arzında yaşanan aksaklıklar sebebiyle yenilenebilir enerji oldukça önemli hale gelmiştir. Bunun sonucunda yenilenebilir enerjiyi teşvik etmek amacıyla gerek üretim gerekse tüketim aşamasında çeşitli kamusal araçlar kullanılmaktadır. AB ülkelerinde çevre kirliliğini azaltmak yasal bir zorunluluk haline gelmiştir. Ayrıca AB, Rusya'ya olan enerji bağımlılığını azaltmak istemektedir. Bu sebeplerle AB ülkelerinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında birçok araç kullanılmaktadır. Özellikle vergi ve harcama araçlarının yaygın olarak kullanıldığı AB ülkelerinde bu araçların etkinliğine yönelik ampirik analizler oldukça az sayıdadır.

Bu bölümde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında mali araçların etkinliğine yönelik literatür araştırması yapılacaktır. Son olarak kullanılacak ekonometrik yöntemle ilişkin açıklamalar ve ampirik analize yer verilecektir.

3.1. Literatür Taraması

Kamu politikaları ile yenilenebilir enerji arasındaki ilişkiyi farklı şekillerde analiz ederek, politika yapıcılarının kararlarını etkileyebilecek sonuçlar ortaya koyan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Harmelink vd., 2006; Menz ve Vachon, 2006; Jacobsson vd., 2009; Delmas ve Montes-Sancho, 2011). Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını sağlamak için birçok teşvik yöntemi kullanılabilir. Bu teşviklerin her biri farklı yenilenebilir enerji teknolojilerinde, farklı bölgelerde ve diğer değişen koşullarda farklı şekilde etki edebilir. Örneğin, yenilenebilir enerjinin dağıtımını ve teknolojik çeşitliliğini artırmak ve riskleri azaltmak için tarife garantisi (FIT) yönteminin diğer araçlara göre daha etkili olduğunu savunan çalışmalar bulunmaktadır (Mitchell vd., 2006; Lesser ve Su, 2008; Couture ve Gagnon, 2010; De Jager vd., 2011; del Rio ve Bleda, 2012; Bolkesjø vd., 2014). Fakat bu sonuçlar tarife garantisinin daha iyi bir teşvik yöntemi olduğunu göstermez. Nitekim bazı koşullar değiştiğinde tarife garantisinin olumsuz yönde etki ettiği görülmektedir (Butler ve Neuhoﬀ, 2008). Öte yandan yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında tek bir araç yerine çeşitli politikalardan oluşan bir sistem en verimli teşvik yöntemi olabilir (del Rio ve Bleda, 2012). Ayrıca, yenilenebilir enerji projelerini uzun vadeli taahhülle finanse eden

kredi garantileri veya devlet kredileri de yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını sağlayabilir (De Jager vd., 2008; Bergek vd., 2013).

Yenilenebilir enerji teknolojisini geliştirerek sektörün yaygınlaşmasına yönelik devlet sübvansiyonlarının etkisi birçok çalışmada incelenmiştir (Johnstone vd., 2008; Aalbers vd., 2013). Bazı çalışmalarda devlet sübvansiyonlarının yenilenebilir enerji teknolojilerinin yaygınlaşmasında etkili olduğu ve yerel Ar-Ge yatırımlarını teşvik ettiği savunulmaktadır (Davis ve Owens, 2003; Bointner, 2014; Kim ve Kim, 2015). Benzer şekilde Olmos vd., (2012)'e göre yenilenebilir enerji projeleri için teknolojik inovasyonu finanse edecek sübvansiyonlar etkilidir. Bu yöntem aynı zamanda yatırımcıların yenilenebilir enerji projelerindeki toplam maliyetini de düşürecektir (De Jager vd., 2011; Olmos vd., 2012; Bergek vd., 2013). Marques ve Fuinhas (2012) ise Avrupa ülkelerinde 1990-2007 dönemi için yenilenebilir enerjiye yönelik kamu politikalarının etkisini analiz etmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre, kamu politikası önlemleri bir bütün olarak veya tek olarak yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır. Spesifik olarak sübvansiyon uygulamaları yenilenebilir enerjinin teşvik edilmesinde oldukça etkilidir. Kocsis ve Kiss (2015), çalışmalarında 2004-2012 dönemi verilerini kullanarak AB ülkelerinde Ar-Ge harcamaları yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi panel veri yöntemleriyle analiz etmişlerdir. Çalışma sonuçları, GSYİH'nın çeşitli düzeylerinde Ar-Ge harcamaları ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte GSYİH etkisinin daha yüksek bir Ar-Ge harcaması seviyesinde pozitif olduğunu fakat bu etkinin daha düşük Ar-Ge harcaması seviyesinde kesin olmadığı görülmüştür.

Böhringer vd. (2017) ise sübvansiyonların yenilenebilir enerjinin sürdürülebilirliğini doğrudan etkilemeyeceğini veya bu etkinin çok az olacağını savunmaktadır. Wang vd. (2020), çalışmalarında 1990-2017 dönemi için G20 ülkelerinde enerji yoğunluğu, Ar-Ge harcamaları, petrol fiyatları, çevre baskısı ve politikanın yenilenebilir enerji üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre yenilenebilir enerjinin teşvik edilmesinde enerji yoğunluğu, petrol fiyatı, Ar-Ge harcamaları ve politika olumlu bir rol oynamaktadır. Öte yandan çevre baskısı göstergesi olarak kullanılan patrikül madde, yenilenebilir enerjiyi olumsuz yönde etkilemektedir. Adedoyin vd. (2020), 1997-2015 dönemi için 16 AB ülkesinde Ar-Ge harcamaları, yenilenebilir enerji tüketimi, yenilenemeyen enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkileri panel veri

yöntemleriyle incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, Ar-Ge harcamaları ve yenilenebilir enerji tüketimi arasında, yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasında, ekonomik büyüme ve Ar-Ge harcamaları arasında karşılıklı nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Öte yandan Ar-Ge harcamaları, yenilenebilir enerji tüketimi ve yenilenemeyen enerji tüketimi ekonomik büyümeyi olumlu yönde etkilemektedir. Shahzadi vd. (2022), 1995-2018 dönemi için 17 gelişmiş ülke ve 23 gelişmekte olan ülkede Ar-Ge harcamaları yenilenebilir enerji ve çevre kalitesi arasındaki ilişkiyi panel veri yöntemleriyle incelemişlerdir. Çalışma sonuçları, Ar-Ge harcamalarından yenilenebilir enerjiye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğunu göstermektedir.

Harcama politikasından ziyade vergiye dayalı teşviklerin yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasındaki etkisini inceleyen geniş bir literatür bulunmaktadır (Kwant, 2003; Bird vd., 2005; Kanes ve Wohlgemuth, 2008; Barradale, 2010; Quirion, 2010; Cansino vd., 2010). Kanes ve Wohlgemuth (2008), fosil enerji vergisi gibi çevre vergisi indiriminin, yenilenebilir enerjiye yönelik yatırımları teşvik edecek sübvansiyon ve diğer vergi indirimlerinden daha verimli ve yararlı olduğunu savunmaktadır. Öte yandan Sardianou ve Genoudi (2013), vergi indiriminin, tüketicilerin yenilenebilir enerjiyi kabul etmesi için en etkili mali politika aracı olduğunu öne sürmektedir. Kilinc-Ata (2016), 1990-2008 yılları arasında 27 AB ülkesi ve 50 ABD eyaletinde yenilenebilir enerji politikalarının etkilerini incelemiştir. Çalışma sonuçlarına göre, yenilenebilir enerjinin teşvik edilmesinde vergiler, tarife garantisi ve ihaleler etkiliyken kota yükümlülükleri etkili değildir. Shahnazi ve Shabani (2020), 1995-2016 dönemi için AB ülkelerinde çevre vergileri ve Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonuçları, çevre vergileri ve Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji üretimini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Ayrıca yenilenemeyen enerji fiyatları yenilenebilir enerji üretimini artırmaktadır. Shahzad vd. (2021), 1994-2018 dönemi verilerini kullanarak 29 gelişmiş ülkede çevresel düzenlemelerin yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre çevresel teknolojiler ve çevre vergileri yenilenebilir enerji üretimini artırmaktadır.

Samour vd. (2022), 1988-2018 dönemi için BAE’de vergi gelirlerinin yenilenebilir enerji üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Çalışma sonuçları, vergilerin yenilenebilir enerjiyi önemli ölçüde teşvik ettiğini göstermektedir. Wang vd. (2022), 1990-2019 dönemi verilerini kullanarak BRICS ülkelerinde çevre politikalarının sıklığı, çevre kirliliği ve

yenilenebilir enerji arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre çevre politikalarının sıklığı yenilenebilir enerjiye geçişi olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca çevre politikalarının sıklığı ve yenilenebilir enerji, karbon emisyonlarını azaltmaktadır. Wu vd. (2022) ise 1990-2020 dönemi verilerini kullanarak G7 ülkelerinde enerji verimliliği, çevresel inovasyon ve çevre vergilerinin yenilenebilir enerji üzerindeki etkilerini panel veri yöntemleriyle incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre, tüm değişkenler yenilenebilir enerji tüketimini önemli ölçüde etkilemektedir. Ekonomik büyüme ve enerji verimliliği yenilenebilir enerji tüketimini olumsuz yönde etkilerken, çevresel inovasyon ve çevre vergileri yenilenebilir enerji tüketimini olumlu yönde etkilemektedir. Fang vd. (2022), 1998-2019 dönemi verilerini kullanarak 15 ülke için çevre vergilerinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Çalışma sonuçlarına göre çevre vergisindeki %1’lik artış yenilenebilir enerji tüketimini %1.201 oranında artırmaktadır. Öte yandan çevre vergisindeki %1’lik artış yenilenebilir enerji tüketiminin nihai enerji içindeki payını %0,021 oranında artırmaktadır. Ayrıca iki değişken arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Benzer şekilde Abbas vd. (2023), 2012-2021 verilerini kullanarak Çin’deki 50 enerji firması için çevre vergileri, yeşil yatırımlar ve yenilenebilir enerji arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Sonuçlara göre, yeşil yatırımların ve çevre vergilerinin yenilenebilir enerji üzerinde önemli olumlu etkileri bulunmaktadır.

Bu çalışmaların aksine vergiye dayalı teşviklerin yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını olumsuz yönde etkileyeceğini savunan çalışmalar da bulunmaktadır. Delmas vd. (2007), vergi teşviklerinin yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında bir etkisi olmadığını iddia etmektedir. Bersalli vd. (2020) ise 1995-2015 dönemi için 20 Latin Amerika ve 30 Avrupa ülkesinde yenilenebilir enerji politikalarının etkinliğini panel veri analiziyle araştırmışlardır. Yenilenebilir enerji destek politikaları kapsamında tarife garantisi, prim garantisi, ihale sistemi, ticareti yapılabilen yeşil sertifikalar, yenilenebilir portföy standardı, kota yükümlülükleri ve mali vergi teşvikleri ele alınmıştır. Çalışma sonuçlarına göre her iki bölgede de yenilenebilir enerji politikaları yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında pozitif ve anlamlı bir etkiye sahiptir. Bununla birlikte vergi teşvikleri tek bir araç olarak kullanıldığında yenilenebilir enerji teknolojilerinin yayılmasını sağlamakta yetersizdir. Benzer şekilde Abban ve Hasan (2021), 2007-2017 dönemi için 60 ülkede hükümet politikalarının yenilenebilir enerjiye geçiş üzerindeki etkisini analiz

etmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre tarife garantileri, gelişmiş ülkelerde rüzgâr enerjisi yatırımını teşvik etmede etkili olurken, gelişmekte olan ülkelerde rüzgâr enerjisi yatırımını teşvik etmede etkisizdir. Benzer şekilde, çevre vergisi rüzgâr enerjisine yatırımını teşvik etmede etkili olurken, güneş enerjisi yatırımını teşvik etmede etkisizdir. Öte yandan Bashir vd. (2022), 29 OECD ülkesi için 1996-2018 dönemi verilerini kullanarak çevre vergileri ve çevre harcamalarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre çevre vergileri, çevre harcamaları ve çevre patentleri ile yenilenebilir enerji arasında negatif bir ilişki bulunmaktadır. Li vd. (2022), 1991-2019 yılları için BRICST ülkelerinde çevre politikalarının sıklığı ile yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi panel kantil regresyon yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre, yenilenebilir enerjinin düşük olduğu ülkelerde çevre politikalarının sıklığı yenilenebilir enerji tüketimini artırmaktadır. Öte yandan yenilenebilir enerjinin yükselişte olduğu ülkelerde, sıkı bir çevre politikası yenilenebilir enerji tüketimini olumsuz etkilemektedir. Benzer şekilde Dogan vd. (2023), 1995-2019 dönemi için AB ülkelerinde enerji ve çevre vergilerinin yenilenebilir enerji üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonuçları, çevre ve enerji vergilerinin yenilenebilir enerjiyi olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. Nchofoung vd. (2023) ise 1996-2017 dönemi verilerini kullanarak 49 ülkede çevre vergisinin yenilenebilir enerji teknolojileri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre, gelişmiş ülkelerde çevre vergileri yenilenebilir enerji teknolojilerinin benimsenmesini teşvik ederken, gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji teknolojilerinin benimsenmesini azaltmaktadır.

Diğer bir literatür vergi ve harcama dışındaki araçların yenilenebilir enerji üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bazı çalışmalar yenilenebilir portföy standardı, koya yükümlülüğü gibi araçların etkili olduğunu savunurken (Menz ve Vachon, 2006; Delmas ve Montes-Sancho, 2011), bazı çalışmalar karbon üst sınırı belirleme ve karbon ticareti sistemleri bu anlamda avantajlı olduğunu öne sürmüşlerdir (Helm, 2002; Smith ve Swierzbinski, 2007; Rogge ve Hoffmann, 2010; Rogge vd., 2011). Diğer bir piyasa odaklı sistem olan yenilenebilir enerji sertifikalarının yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında daha etkili olabileceğini savunan çalışmalar da bulunmaktadır (Jensen ve Skytte, 2002; Szabo ve Jäger-Waldau, 2008; Rabe, 2008). Öte yandan yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında ihale yönteminin etkili bir politika olduğunu savunan çalışmalar da

bulunmaktadır (Held vd., 2006; Cozzi, 2012). Popp vd. (2011), rüzgâr enerjisi yatırımlarında tarife garantisi ve yenilenebilir enerji sertifikalarının etkili olmadığını bulmuşlardır. Zhao ve Guo (2015), sosyal ve çevresel faktörlere dayalı olarak yenilenebilir enerjinin gelişiminde dış faydaları ölçmeye yönelik bir endeks oluşturmuşlardır. Sonuçlar, yenilenebilir enerjinin genel olarak gelişimini için fotovoltaik enerji üretimini destekleyen kamu politikalarının daha fazla uygulanması gerektiğini göstermektedir. Petinrin ve Shaaban (2015), Malezya'nın 2000-2015 yılları arasındaki yenilenebilir enerji politikasını ve yenilenebilir enerjinin sürdürülebilirliğini incelemiştir. Çalışma sonuçları, biyokütle ve güneş enerjisinin potansiyel enerji kaynakları olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde Erdil ve Erbyık (2015), Grilli vd. (2017) çalışmalarında politikaların ve bazı diğer faktörlerin yenilenebilir enerji çeşitleri üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Polzin vd. (2015) ise OECD ülkelerinde kamu politikalarının yenilenebilir enerji yatırımları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma sonuçları olgun olmayan teknolojiler için tarife garantisi uygulamasının sübvansiyonlardan daha etkili olduğunu göstermektedir. Öte yandan yenilenebilir portföy standardı ve ticareti yapılabilir izin sistemleri olgun teknolojiler üzerinde daha etkilidir. Wang vd. (2018), Çin'de tedarik yapısı, enerji güvenliği, karbon emisyonları ve diğer bazı faktörlerin yenilenebilir enerjinin gelişimi üzerindeki etkilerini Divisia endeks yöntemiyle incelemiştir. Çalışma sonuçları güçlü ve sürdürülebilir enerji politikalarının yenilenebilir enerjinin gelişiminde etkili olacağını göstermektedir. Benzer şekilde Chang vd. (2022), Çin'de mali araçların yeşil firmaların Ar-Ge verimliliği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma sonuçları sübvansiyonlar ve vergi iadeleri ile yeşil firma Ar-Ge verimliliği arasında U şeklinde bir ilişki olduğunu göstermektedir. Vergi indirimleri ve sübvansiyonlar, yeşil firma Ar-Ge verimliliğini olumlu yönde etkilemektedir.

3.2. Literatüre Yönelik Değerlendirmeler

Literatür genel olarak incelendiğinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında tek bir araç yerine bir karma politikanın benimsenmesi etkili olabilir (Polzin vd., 2015: 100). Bununla birlikte optimal politika bileşiminin nasıl olacağı ve bunun hangi kriterlere göre belirlenmesi konusunda bir fikirbirliği bulunmamaktadır (Foxon ve Pearson, 2007; Carley, 2009). Nitekim birçok çalışmada teşviklerin olumlu etkilerinden bahsedilirken,

bazı çalışmaların sonuçları mali ve finansal teşviklerin yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını olumsuz etkilediğini göstermektedir (Aguirre ve Ibikunle, 2014).

Literatürde en iyi kamu politikasının benimsenmesine ilişkin fikir birliği olmaması iki nedene dayanmaktadır. İlki, çoğu yenilenebilir enerji kaynağından aralıklı üretim yapılabilmektedir. Yenilenebilir kaynakların işletilmesinin özelliklerinden biri, sürekli olarak enerji üretememeleridir ve bu da yalnızca yenilenebilir kaynaklara dayalı bir stratejinin uygulanmasını neredeyse imkansız hale getirir. Yenilenebilir enerjinin üretimi doğal kaynakların kullanımı, hava koşulları gibi kontrol edilemeyen çeşitli faktörlere büyük ölçüde bağlıdır. Bu aralıklılık, enerjinin üretilmesini garanti etmek için doğal gaz santralleri gibi başka bir enerji kaynağından gelen kapasitenin hala gerekli olduğu anlamına gelir. Bu durum, bir fosil kaynağa daha büyük bağımlılığa katkıda bulunabilir. İkinci nokta, politika seçimini yenilenebilir enerji pazarlarının olgunluk düzeyine göre belirlemek gerekmektedir. Bir diğer ifadeyle gelişmekte olan ve gelişmiş pazarları birbirinden ayırarak farklı politikalar belirlenmelidir (Marques ve Fuinhas, 2012:110).

Literatürde ampirik çalışmalar incelendiğinde de benzer sonuçlar görülmektedir. Politika araçlarının yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasındaki etkinliği ülkeden ülkeye farklılık gösterebilmektedir. Literatürdeki belirsizlikten hareketle bu çalışmada 1995-2019 dönemi için AB ülkelerinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında mali araçların etkinliği incelenmektedir.

3.3. Veri Seti, Model ve Metodoloji

Bu bölümde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında mali araçların etkinliğinin görülmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda öncelikle ampirik kısımda kullanılacak değişkenler ve yararlanılan veri tabanları sunulacaktır. Takip eden kısımda, ampirik uygulamaya yönelik açıklamalara yer verilecektir.

3.3.1. Veri Seti

Bu çalışmada 1995-2019 dönemi için 17⁶ AB ülkesinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında mali araçların etkinliği incelenmektedir. Bu kapsamda modelde bir bağımlı değişken üç bağımsız değişken kullanılmıştır. Bağımlı değişken olarak kişi

⁶ Bu kapsamda; Almanya, Avusturya, Belçika, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Hollanda, İspanya, İtalya, Letonya, Litvanya, Macaristan, Polonya, Portekiz, Slovakya, Slovenya ülkeleri ele alınmıştır.

başına yenilenebilir enerji tüketimi modele dâhil edilmiştir. Ülkelerin yenilenebilir enerji potansiyeli, yenilenebilir enerji üretimi ve nihai olarak yenilenebilir enerji tüketimi arasında büyük ölçüde farklılık oluşmaktadır. Bazı ülkelerde depolama ve taşıma teknolojileri daha gelişmişken diğer bazı ülkelerde enerji verimliliğine yönelik birçok farklı teknik kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak bazı ülkelerde üretilen enerjinin büyük bir bölümü kullanılabilir. Fakat genel olarak yenilenebilir enerjinin depolanması, dağıtımı kısmen zor olduğu için bu aşamada birtakım enerji kayıpları olabilmektedir. Bu enerji kayıplarının fazla olduğu ülke ile az olduğu ülkede yenilenebilir enerji üretimi benzer olabilir. Fakat diğer ülkenin kullandığı yenilikçi teknikler sayesinde üretilen enerjinin büyük bir bölümü kullanılabilir. Bu yüzden yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması olarak yenilenebilir enerji tüketimi göstergesi kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji tüketimi verisi uluslararası enerji ajansı (IEA) veri tabanından petajoule cinsinden alınmıştır. Daha sonra bu gösterge Dünya Bankası veri tabanından alınan nüfus verisine bölünerek kişi başına düşen petajoule cinsinden yenilenebilir enerji tüketim miktarı tespit edilmiştir.

Bağımsız değişken olarak çalışmada Ar-Ge harcamaları, çevre vergileri ve gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) göstergeleri kullanılmıştır. Harcama aracı olarak OECD Data veri tabanından elde edilen Ar-Ge harcamalarının milli gelir içindeki payı kullanılmıştır. Yenilenebilir enerjiye yönelik uygulanan harcama politikaları içinde Ar-Ge harcamaları önemli bir yer tutmaktadır. Nitekim Ar-Ge harcamaları temiz, güvenli ve verimli enerji sağlamak için doğrudan enerji alanına yapılabilmektedir. Bununla birlikte bu harcamalar birçok ülkede vergiden muaf tutulmaktadır. Dolayısıyla Ar-Ge faaliyetleri hem harcama hem de vergi politikalarıyla desteklenmektedir. Bu yüzden harcama aracı olarak Ar-Ge harcaması göstergesi kullanılmıştır.

Vergi aracı olarak OECD Stat veri tabanından elde edilen çevre vergilerinin milli gelir içindeki payı kullanılmıştır. Hükümetlerin yenilenebilir enerjiye yönelik vergi uygulamaları içerisinde çevre vergileri önemli bir yere sahiptir. Çevre vergileri iki yoldan yenilenebilir enerjiyi teşvik etmektedir. Birincisi fosil yakıt kullanımı gibi kirletici faaliyetlerden yüksek oranda çevre vergisi alınmaktadır. Bunun sonucunda yenilenebilir enerji alanı daha avantajlı bir konuma geçmektedir. İkincisi, birçok ülkede çevre vergileri yenilenebilir enerji kaynaklarından muaf tutulmaktadır. Çevre vergilerinin muaf olmadığı ülkelerde ise büyük oranlarda indirim yapılmaktadır. Bu doğrultuda yenilenebilir enerjiye

yönelik vergi aracı olarak çevre vergisi göstergesi kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin üçüncüsü olarak ekonomik büyümeyi temsilen 2015 ABD dolarına sabitlenmiş kişi başına GSYİH verisi kullanılmıştır. Bu göstergeye ise Dünya Bankası'nın World Development Indicators (WDI) veri tabanından ulaşılmıştır.

Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması amacıyla birçok vergi teşvik uygulamaları bulunmaktadır. Bununla birlikte tarife garantisi, prim garantisi, kota yükümlülükleri, net ölçüm yöntemi ve ihale yöntemi gibi AB ülkelerinde başvurulmuş birçok yöntem bulunmaktadır. Kullanılan vergi teşviklerinin ve sübvansiyonların bazıları belirsizdir. Örneğin yenilenebilir enerji alanında vergi muafiyeti, istisnası ve indirimi ülkelerin vergi kanunlarında yer almakta fakat bu teşvikten yararlanma sayısı veya tutarı net olarak bilinmemektedir. Ek olarak, bu uygulamalar sonucu yenilenebilir enerjiye geçişin sayısal bir değerle belirlenmesi de mümkün görünmemektedir. Bu yüzden çalışmada iki önemli araç olan çevre vergileri ve Ar-Ge harcamaları kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan değişkenler ve elde edildiği kaynaklar tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7: Değişkenlere İlişkin Tanımlar

Değişkenler	Göstergeler	Ölçümler	Kaynaklar
Yenilenebilir enerji tüketimi	YE	Kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi (petajoule)	IEA
Ar-Ge Harcamaları	AG	GSYİH yüzdesi	OECD Data
Çevre Vergileri	CV	GYİH yüzdesi	OECD Stat
Ekonomik Büyüme	EB	Kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla (2015 sabit ABD doları)	Dünya Bankası (WDI)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Çalışmada değişkenler arası ilişkilerde sapma olmaması amacıyla tüm serilerin logaritmik formları kullanılmıştır.

3.3.2. Model

Bu çalışmada yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında mali araçların etkinliği araştırılmaktadır. Bu amaçla çevre vergileri ve Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenecektir. Bununla beraber ekonomik büyüme kontrol değişkeni olarak kullanılmıştır. Çünkü kullanılan bağımsız değişkenler dışında bağımlı değişkeni etkileyebilecek en önemli faktör ekonomik büyümedir. Literatürde birçok çalışmanın sonuçları ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında eş

bütünleşme ilişkisinin olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda çalışmada aşağıdaki model kullanılmıştır:

$$\ln ye_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln ag_{it} + \beta_2 \ln cv_{it} + \beta_3 \ln eb_{it} + e_{it}$$

β_1 , β_2 ve β_3 Ar-Ge harcamaları, çevre vergileri ve ekonomik büyümeyi göstermektedir. e_{it} hata terimini ifade etmektedir.

3.3.3. Metodoloji

Bu bölümde çalışmada kullanılan yatay kesit bağımlılığı, homojenite testi, panel birim kök testi, panel eş bütünleşme testleri, panel eş bütünleşme katsayı tahmincisi ve panel nedensellik testinden bahsedilecek ve bu testlere ilişkin bulgular gösterilecektir.

3.3.3.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Testi

Çalışmada yatay kesit birimleri arasında bir ilişki olup olmadığını ve birimlerin serilerdeki şoklardan aynı ölçüde etkilenip etkilenmediğini araştırmak için yatay kesit bağımlılığı kullanılmıştır. Uygun birim kök ve nedensellik testlerinin seçilebilmesi için öncelikle birimler arası yatay kesit bağımlılığı test edilmektedir. Çünkü yatay kesit bağımlılığı dikkate alınmadığında elde edilen sonuçlar bu durumdan büyük ölçüde etkilenmekte ve hatalı sonuçlar elde edilebilmektedir (Breusch ve Pagan, 1980).

Yatay kesit bağımlılığı paneli oluşturan kesitlerden herhangi birinde oluşabilecek bir şokun diğer kesitleri etkilemesidir. Günümüzdeki küreselleşen ekonomiler göz önüne alındığında ülkelerin birbirlerinden etkilenmemesi muhtemel görünmemektedir (Carrion-i-Silvestre vd., 2005:170). Bu yüzden birim kök ve eşbütünleşme testlerine geçmeden önce serilerde ve eşbütünleşme denkleminde yatay kesit bağımlılığı test edilmiştir.

İlk olarak Breusch ve Pagan (1980)'ın yatay kesit bağımlılığını aşağıdaki test istatistikleriyle incelemektedir:

$$CD_{BP} = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{p}_{ij}^2$$

Kesit boyutu (N) büyük olduğunda bu testin bazı dezavantajları vardır. Bu sorunu çözmek için Pesaran (2004) aşağıdaki Lagrange multiplier (LM) testi istatistiğini önermektedir:

$$CD_{LM} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N T \hat{p}_{ij}^2 - 1 \right)$$

Bu test ise kesit boyutu (N) zaman boyutundan (T) büyük olduğunda doğru sonuçlar gösterememektedir. Birçok çalışmada zaman kesit boyutu zaman boyutundan büyük olabilmektedir. Böyle durumlarda kullanılabilmesi için Pesaran (2004) aşağıdaki test istatistiğini geliştirmiştir (N>T):

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{p}_{ij} \right)$$

Yatay kesit bağımlılığının araştırılmasında, $H_0 : Cov(u_{it}, u_{ij}) = 0$ yatay kesit bağımlılığı olmadığını gösterirken, $H_1 : Cov(u_{it}, u_{ij}) \neq 0$ yatay kesit bağımlılığı olduğunu göstermektedir.

3.3.3.2. Homojenite Testi

Panel veri yöntemlerinde yatay kesit bağımlılığının dışında homojenite testinin de yapılması gerekmektedir. Çünkü eğim katsayılarının heterojen veya homojen olması durumunda diğer aşamalarda uygulanacak testlerin biçimi de değişmektedir (Pesaran ve Yamagata, 2008: 56). Eğim homojenliğini belirlemek için Pesaran ve Yamagata (2008), delta testlerini kullanmışlardır. Bu testler, Swamy (1970) yönteminin genişletilmiş hali olup aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\hat{\Delta} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \tilde{S} - k}{\sqrt{2k}} \right) \text{ ve } \hat{\Delta}_{adj} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \tilde{S} - E(\tilde{z}_{it}^{\wedge})}{\sqrt{\text{var}(\tilde{z}_{it}^{\wedge})}} \right)$$

$\tilde{S}$, $E(\tilde{z}_{it}^{\wedge}) = k$, $\text{var}(\tilde{z}_{it}^{\wedge}) = 2k(T - k - 1)/T + 1$ olarak tanımlanır. İki test istatistiği için de temel hipotez eğim katsayılarının homojen olduğunu gösterirken, alternatif hipotez eğim katsayılarının heterojen olduğunu göstermektedir.

3.3.3.3. CIPS Panel Birim Kök Testi

Çalışmada Pesaran (2007) tarafından önerilen yatay kesit bağımlılığını da dikkate alan CIPS panel birim kök testi ile değişkenlerin durağanlığı incelenmiştir. Bu yöntemin ilk aşamasında aşağıdaki model tahmin edilmektedir:

$$\Delta Y_{i,t} = \alpha_i + \beta_i Y_{i,t-1} + \delta_i \bar{Y}_{t-1} + \gamma_i \Delta \bar{Y}_t + \varepsilon_{i,t}$$

$$\bar{Y}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_{i,t} \text{ ve } \Delta \bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta Y_{i,t}, \varepsilon_{i,t}.$$

Yukarıda yatay kesit genelleştirilmiş Dickey Fuller (CADF) test istatistiği denklemi yer almaktadır. CADF istatistiği ile her bir yatay kesite ilişkin bireysel bulgular elde edilirken kesit ortalamaları alınmış şekilde olan CIPS (cross sectionally IPS) istatistiği ile panelin geneline yönelik bulgular alınmaktadır. Temel IPS testi, birtakım dışsallıkların olduğu durumlarda doğru sonuçlar vermeyebilir. Bu doğrultuda Pesaran (2007) yatay kesitsel genişletilmiş IPS testini geliştirmiştir. Bu test ile yatay kesit (N) ve zaman (T) boyutu küçük olsa da tutarlı sonuçlar verebilmektedir. Öte yandan $T > N$ ve $N > T$ olduğu durumlarda dahi kullanıma imkân vermektedir (Pesaran, 2007: 266-267).

CIPS testi, IPS testinin yatay kesitsel olarak genişletilmiş bir hali olup aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CADF_i$$

CIPS istatistikleri, her bölüm için hesaplanan t-istatistik değerlerinin ortalamasını göstermektedir. Testin temel hipotezi serinin birim köke sahip olduğunu gösterirken, alternatif hipotez serinin durağan olduğunu göstermektedir. Hesaplanan test istatistiği kritik değerlerden büyük ise serinin durağan olduğuna karar verilir. Test istatistiği kritik değerlerden küçük olduğu takdirde seri birim köke sahip olacaktır.

3.3.3.4. Panel Eş bütünleşme Testleri

Çalışmada sağlam sonuçlar elde edebilmek amacıyla iki farklı eş bütünleşme testi kullanılmıştır. Bu bölümde kullanılan eş bütünleşme testlerine ilişkin açıklamalara yer verilecektir.

3.3.3.4.1. Westerlund ve Edgerton Panel Eş Bütünleşme Testi

Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından önerilen bu yöntem, bootstrap yöntemine dayanmaktadır ve bu sayede yatay kesit bağımlılığını hesaba katmaktadır. LM (langrange multiplier) Bootstrap Eş bütünleşme testi olarak da ifade edilen testin eş bütünleşme ilişkisi aşağıdaki denklem yardımıyla incelenir:

$$LM_N^+ = \frac{1}{NT^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \widehat{w}_i^{-2} s_{it}^2$$

Denklemdaki s_{it}^2 , hata terimlerinin toplamını gösterirken, $\widehat{w}_i^2$, hata terimlerinin uzun dönem varyansını göstermektedir. Eş bütünleşme ilişkisinin incelenmesinde temel hipotez eş bütünleşme ilişkisinin olduğunu gösterirken alternatif hipotez eş bütünleşme ilişkisinin olmadığını göstermektedir. Bootstrap yöntemi ile hesaplanan olasılık değeri anlamlılık düzeyi ile karşılaştırılarak eş bütünleşme ilişkisine karar verilir. Olasılık değeri anlamlılık değerinden büyükse temel hipotez reddedilir. Aksi durumda, temel hipotez reddedilemez.

3.3.3.4.2. Durbin-Hausman Panel Eş Bütünleşme Testi

Yatay kesit bağımlılığını dikkate alan Durbin-Hausman (DH) eş bütünleşme testi Westerlund (2008) tarafından geliştirilmiştir. Bağımlı değişken $I(1)$ olduğu süreçte, bu test çeşitli seviyelerde bağımsız değişken durağanlığına izin verir. DH panel eş bütünleşme testi, iki farklı test istatistiğinin hesaplanmasını içermektedir. İstatistikler aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$DH_g = \sum_{i=1}^n \hat{S}_i \left(\tilde{\phi}_i - \hat{\phi}_i \right)^2 \sum_{t=2}^T \hat{e}_{it-1}^2 \quad \text{ve} \quad DH_p = \hat{S}_n \left(\tilde{\phi} - \hat{\phi} \right)^2 \sum_{i=1}^n \sum_{t=2}^T \hat{e}_{it-1}^2$$

Yukarıdaki hesaplamalar sırasıyla grup ve panel istatistiklerini temsil etmektedir. Her iki test istatistiği de eş bütünleşme olmadığını destekleyen temel hipotezine karşın, eşbütünleşmeyi ifade eden alternatif hipotez sınanır.

3.3.3.5. Panel Eş bütünleşme Katsayı Tahmincisi

Eş bütünleşme ilişkisi bulunduğundan sonra bu ilişkiye ait uzun dönem katsayıların da belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada sağlam sonuçlar elde edebilmek amacıyla hem AMG hem de CCE uzun dönem katsayı tahminleri ortaya konulacaktır.

3.3.3.5.1. AMG Tahmincisi

“Augmented Mean Group” (AMG) panel veri modellerinde parametreleri tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir. Değişkenler arasında bir eş bütünleşme ilişkisi olduğunda, bu ilişkinin boyutu uzun dönemli katsayı tahmincileri ile belirlenebilir. Bu bağlamda çalışmada uzun dönemli katsayı tahminleri yatay kesit bağımlılığı dikkate alınarak Eberhardt ve Bond (2009) tarafından önerilen AMG yöntemi ile incelenmiştir.

Uzun dönem katsayı tahmini iki aşamada gerçekleşir (Eberhardt ve Bond, 2009). Birinci aşamada, durağan olmayan değişkenlere sahip regresyon modelleri yanlış sonuçlar vereceğinden, model ilk farkları ile aşağıdaki gibi tahmin edilmektedir:

$$\Delta y_{it} = b' \Delta x_{it} + \sum_{t=2}^T c_t \Delta D_t + e_{it}$$
$$\hat{c}_t \equiv \hat{\mu}_t$$

$\hat{\mu}_t$, zaman kukla katsayılarını tutar. İkinci aşamada, her bölüm biriminin regresyonuna zaman kuklası dahil edilerek aşağıdaki model tahmin edilmektedir:

$$y_{it} = a_i + b' x_{it} + c_i t + d_i \hat{\mu}_t + e_{it}$$
$$\hat{b}_{AMG} = N^{-1} \sum_i \hat{b}_i$$

AMG tahminleri, kesitsel tahminlerin ortalaması alınarak elde edilir.

3.3.3.5.2. DCCE Tahmincisi

“Common Correlated Effects” (CCE) tahmincileri paneli oluşturan yatay kesitler arasında bağımlılığı dikkate alan bir tahmincidir. Bu yöntem Pesaran (2006) tarafından ortaya konulmuştur (Nazlıoğlu, 2010: 101).

CCE uzun dönem katsayı tahmincisi, bağımsız değişkenler ve diğer gözlenemeyen ortak etkilerin durağan ve dışsal olduğunu varsayımı altında tahminde bulunmaktadır. Ayrıca bağımsız değişkenler ve diğer gözlenemeyen ortak etkilerin durağan (I(0)), birinci

dereceden bütünleşik (I(1)) ve/veya eş bütünleşik olduğu durumlarda da tutarlı sonuçlar ortaya koymaktadır (Nazlıoğlu, 2010:101).

Uzun dönem katsayılarını hesaplamak için Dynamic Common Correlated Effects (DCCE) tahmincisi Chudik ve Pesaran (2015) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem dinamik panel veri modellerinde heterojen eğim katsayılarını tahmin etmek için geliştirilmiştir. Temelde “Mean Group” (MG) (Pesaran ve Smith, 1995) tahmincisi, “Common Correlated Effects” (CCEMG) (Pesaran, 2006) tahmincisi ve “Pooled Mean Group” (PMG) tahmincisine dayanır. Öte yandan, eğim parametrelerinin heterojen veya homojen biçimde tahmin edilmesini sağlar. Ayrıca dengesiz panellere de uygulanabilmektedir. Bununla birlikte tahminci yatay kesit bağımlılığı sorununu dikkate alarak geliştirilmesi sayesinde yatay kesit bağımlılığı probleminin bulunduğu panellere de uygulanabilmektedir.

3.3.3.6. Emirmahmutoğlu ve Köse Panel Nedensellik Testi

Bu çalışmada, panele ait nedensellik ilişkisi Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) panel nedensellik analiziyle incelenmiştir. Bu testi kullanmanın birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlardan bazıları şu şekildedir:

- Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) panel nedensellik testi yatay kesit bağımlılığını dikkate alır. Kritik değerlerin bootstrap yöntemi ile elde edilir.
- Bu test, seriler aynı seviyede durağan olmadığında ya da değişkenler arasında eş bütünleşme ilişkisi olmadığında da kullanılabilmektedir.
- Serilerin birim kök testlerinde ön test sapması problemi olmasından kaynaklı seriler düzeyde modele dahil edilmektedir.
- Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) panel nedensellik testi hem bireysel hem de panelin geneline ait sonuçlar verebilir.

Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) panel nedensellik testi, zaman serilerinde kullanılan Toda ve Yamamoto (1995) nedensellik testinin META analiz yöntemiyle heterojen paneller için genişletilmiş versiyonudur. Emirmahmutoğlu ve Köse testinde başlangıçta standart panel VAR modeli tahmin edilip uygun gecikme uzunluğu (k) bilgi kriterleri yoluyla belirlenir. Sonrasında ortaya çıkan uygun gecikme uzunluğuna, en yüksek

bütünleşme mertebesine sahip değişkenin bütünleşme mertebesi (dmax) ilave edilerek k+dmax hesaplanır. En son, k+dmax gecikmesiyle serilerin düzey değerleri ile VAR modeli tahmin edilir.

Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) panel nedensellik için kullanılan $(k_i + d \max_i)$ gecikmeli VAR modeli şu şekildedir:

$$X_{i,t} = \alpha_{1,i} + \sum_{j=1}^{k_i + d \max_i} \beta_{1,ij} X_{i,t-j} + \sum_{j=1}^{k_i + d \max_i} \delta_{1,ij} Y_{i,t-j} + \varepsilon_{1,it}$$

$$Y_{i,t} = \alpha_{2,i} + \sum_{j=1}^{k_i + d \max_i} \beta_{2,ij} X_{i,t-j} + \sum_{j=1}^{k_i + d \max_i} \delta_{2,ij} Y_{i,t-j} + \varepsilon_{2,it}$$

Yukarıdaki ilk modelin temel hipotezi Y'den X' doğru bir nedensellik ilişkisi olduğunu göstermektedir. İkinci modelin temel hipotezi ise X'den Y'ye doğru nedensellik ilişkisi olduğunu göstermektedir. Analizin gerçekleşmesi sırasında, her kesit birimi için Wald test istatistikleri ve bootstap olasılık değerleri hesaplanır. Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) panel nedensellik testinde panelin bütünü için şu şekilde Fisher test istatistiği kullanılır:

$$\lambda = -2 \sum_{i=1}^N \ln(p_i) \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Yukarıda p_i , i. birime ait Wald istatistiğinin p olasılık değerini gösterir. λ test istatistiğinin sınanmasında bootsrap yöntemi ile ulaşılan olasılık değerleri kullanılır. Bu durumda elde edilen olasılık değerine ilişkin kritik değerden küçük ise temel hipotez reddedilir.

3.4. Ampirik Bulgular ve Değerlendirme

Bu bölümde çalışmada kullanılan testlere ilişkin bulgular sunulacak ve sonrasında bu bulgular kapsamında değerlendirmelerde bulunulacaktır.

3.4.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Test Bulguları

Bu kısımda seriler arasındaki yatay kesit bağımlılığı incelenmektedir. Tablo 8'de yatay kesit bağımlılığına ilişkin sonuçlar sunulmaktadır.

Tablo 8: Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

Değişkenler	CD _{LM1}	CD _{LM2}	CD
lnye	2091.076*	117.5131*	39.06317*
lnag	1672.658*	92.14280*	35.91619*
lncv	670.1438*	31.35645*	6.455590*
ln eb	2719.269*	155.6029*	50.65362*
Model	1901.241*	106.0027*	30.61938*

Not: *, temel hipotezin %1 anlamlılık düzeyinde reddedildiğini gösterir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Tablo 8’de CD_{LM1} Breusch ve Pagan (1980)’ın, CD_{LM2} ve CD ise Pesaran (2004)’ın yatay kesit bağımlılığı test sonuçları gösterilmektedir. Çalışmada değişkenlerin tamamına ve modele üç farklı yatay kesit bağımlılığı testi uygulanmıştır. Sonuçlara göre serilerin tamamında yatay kesit bağımlılığı bulunmaktadır. “Yatay kesit bağımlılığı” yoktur temel hipotezi %1 anlamlılık seviyesinde reddedilmiştir. Serilerin tamamında yatay kesim bağımlılığı bulunduğu için çalışmada yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil panel veri testleri kullanılmıştır.

3.4.2. Homojenite Test Bulguları

Çalışmada eş bütünleşme denklemindeki eğim katsayılarının homojenliğinin ortaya çıkarılması amacıyla uygulanan Pesaran ve Yamagata (2008) Delta testi sonuçları Tablo 9’da sunulmuştur.

Tablo 9: Delta Test Sonuçları

<i>Model: $\ln ye_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln ag_{it} + \beta_2 \ln cv_{it} + \beta_3 \ln eb_{it} + e_{it}$</i>		
	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
Delta_tilde ($\hat{\Delta}$)	22.489*	0.000
Delta_tilde_adj ($\hat{\Delta}_{adj}$)	25.024*	0.000

Not: *, %1 seviyesinde istatistiki olarak anlamlılığı ifade etmektedir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Delta test sonuçlarına göre “eğim katsayıları homojendir” temel hipotezinin reddedildiği görülmektedir. Modelde sabit terim ve eğim katsayıları heterojendir.

3.4.3. CIPS Panel Birim Kök Test Bulguları

Değişkenlere ait birim kök test sonuçları Tablo 10’de sunulmuştur.

Tablo 10: CIPS Panel Birim Kök Test Sonuçları

Değişkenler	Düzy Değer	Birinci Fark
lnye	-2.512	-5.004*
lnag	-1.736	-4.115*
lncv	-2.200	-4.634*
ln eb	-1.515	-2.770**

Not: CIPS testi için kritik değerler %1 için -2.88, %5 için -2.72, %10 için -2.63'tür. *, **, *** notasyonları sırasıyla %1, %5 ve %10 değerlerinde istatistiksel olarak anlamlılığı ifade etmektedir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Tablo 10'da yer alan sonuçlara göre değişkenler düzey değerinde birim kök içermektedir. Birinci farkları alındığında ise değişkenlerin durağanlaştığı görülmektedir. Birinci farkta hesaplanan CIPS istatistikleri, kritik değerlerden büyük olduğu için birim kökü ifade eden temel hipotez reddedilir. Alternatif hipotez olan “birim kök yoktur” hipotezi reddedilemez. Değişkenlerin durağanlık seviyeleri I(1)'dir.

3.4.4. Westerlund ve Edgerton Panel Eş Bütünleşme Test Bulguları

Çalışmada iki eşbütünleşme testi kullanılmıştır. Burada değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişki LM bootstrap eş bütünleşme testi ile araştırılmıştır. Tablo 11'de “eş bütünleşme vardır” temel hipotezine karşılık, “eş bütünleşme yoktur” alternatif hipotezi sınanmaktadır.

Tablo 11: LM Bootstrap Eş Bütünleşme Test Sonuçları

<i>Model: $\ln ye_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln ag_{it} + \beta_2 \ln cv_{it} + \beta_3 \ln eb_{it} + e_{it}$</i>	
LM İstatistiği	Bootstrap p-değeri
1.846*	0.999

Not: Bootstrap döngü sayısı 10000 alınmıştır.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Tablo 11'de çalışmada kullanılan modele ait test istatistikleri gösterilmektedir. Buna göre model %1 anlamlılık seviyesinde eş bütünleşme ilişkisinin olduğu görülmektedir. LM bootstrap eş bütünleşme testine ait temel hipotez reddedilememiştir. Çalışmada kullanılan değişkenler olan çevre vergileri ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında, Ar-Ge harcamaları ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında ve ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında uzun dönemli eş bütünleşme ilişkisi bulunmaktadır.

3.4.5. Durbin-Hausman Panel Eş Bütünleşme Test Bulguları

Çalışmada değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişki Durbin-Hausman panel eş bütünleşme testi ile araştırılmıştır. Tablo 12’de “eş bütünleşme yoktur” temel hipotezine karşılık, “eş bütünleşme vardır” alternatif hipotezi sınanmaktadır.

Tablo 12: Durbin-Hausman Panel Eş Bütünleşme Test Sonuçları

Test	Test Stat.	P-değeri
Durbin-Hausman Group	4.449*	0.000
Durbin-Hausman Panel	9.322*	0.000

Not: *, temel hipotezin %1 anlamlılık düzeyinde reddedildiğini göstermektedir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Sonuçlara göre grup istatistiği açısından değerlendirildiğinde %1 anlamlılık düzeyinde seriler arasında “eş bütünleşme yoktur” temel hipotezinin reddedildiği görülmektedir. Buna göre seriler arasında eş bütünleşme ilişkisinin olduğu görülmektedir. Bununla birlikte panel istatistiğine göre modelde eş bütünleşme ilişkisi bulunmaktadır. Eğitim homojenlik testi sonuçları model için heterojen eğimi desteklediğinden burada grup istatistiğine güvenerek eş bütünleşme olduğu sonucuna ulaşılabilir.

3.4.6. AMG Tahmincisi Test Bulguları

Çalışmada kullanılan modelde uzun dönemli eş bütünleşme ilişkisi bulunduğu için bu bölümde modele ait katsayı tahmin sonuçları sunulacaktır.

Tablo 13: AMG Tahmin Sonuçları

Ülkeler	lnag	ln cv	ln eb
Almanya	-2.2342 (0.004)*	0.9286(0.001)*	0.9181(0.404)
Avusturya	-0.2059(0.565)	-0.0476(0.840)	-0.2641(0.655)
Belçika	0.3893(0.027)**	-0.2184(0.650)	-2.6310(0.000)*
Çekya	-0.4121(0.000)*	-0.0338(0.911)	0.2245(0.340)
Danimarka	-0.2944(0.256)	0.1844(0.337)	-0.3368(0.413)
Finlandiya	-0.4524(0.000)*	0.4463(0.010)*	0.6430(0.004)*
Fransa	0.6721(0.144)	1.0906(0.000)*	-1.5434(0.002)*
Hollanda	0.1545(0.595)	0.2311(0.778)	-0.3106(0.685)
İspanya	-0.6890(0.001)*	-0.7894(0.007)*	-0.4262(0.051)***
İtalya	-1.8475(0.025)**	-1.5720(0.013)**	-2.4462(0.058)***
Letonya	0.1164(0.220)	0.0208(0.730)	-0.0100(0.939)
Litvanya	0.3475(0.034)**	0.1541(0.067)***	0.0337(0.850)
Macaristan	0.1718(0.621)	-0.1094(0.761)	-2.0945(0.000)*
Polonya	0.5102(0.005)*	-0.3378(0.287)	-0.8142(0.111)
Portekiz	0.3889(0.000)*	0.2933(0.102)	0.3532(0.137)
Slovakya	0.2945(0.069)***	-0.1716(0.744)	1.9537(0.096)***
Slovenya	0.1007(0.819)	-1.2660(0.000)*	-0.7422(0.600)
Panel	-0.1273(0.515)	-0.0664(0.685)	-0.4407(0.132)

Not: *, **, *** sırasıyla %1, %5 ve %10'da katsayının anlamlılığını ifade etmektedir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Ülke bazlı katsayı tahmin sonuçlarına göre, Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji tüketimini pozitif olarak etkilediği ülkeler ise Belçika, Litvanya ve Slovakya'dır. Almanya, Çekya, Finlandiya, İspanya ve İtalya'da ise Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkisi bulunmaktadır. Diğer ülkelerde ise Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiki olarak anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Öte yandan panel katsayısı anlamlı değildir.

Almanya, Finlandiya, Fransa ve Litvanya'da çevre vergilerinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve pozitif etkisi bulunmaktadır. İspanya, İtalya ve Slovenya'da çevre vergilerinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve negatif etkisi bulunmaktadır. Diğer ülkelerde ve panelde ise çevre vergilerinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiki olarak anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır.

Finlandiya ve Slovakya'da ekonomik büyümenin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve pozitif etkisi bulunmaktadır. Belçika, Fransa, İspanya, İtalya ve Macaristan'da ise ekonomik büyümenin yenilenebilir enerji üzerinde anlamlı ve

negatif bir etkisi mevcuttur. Diğer ülkelerde ve panelde ekonomik büyümenin yenilenebilir enerji üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur.

3.4.7. DCCE Tahmin Bulguları

Tablo 14’de çalışmada kullanılan ikinci uzun dönem tahmin yöntemi olan DCCE yöntemine ilişkin tahmin sonuçları yer almaktadır.

Tablo 14: DCCE Uzun Dönem Tahmin Sonuçları

Ülkeler	lnag	lncv	lnnb
Almanya	-2.9291(0.000)*	0.5755(0.024)**	-0.968(0.517)
Avusturya	0.3766(0.273)	-0.3001(0.142)	2.1903(0.002)*
Belçika	0.4729(0.117)	-0.3430(0.556)	1.5198(0.513)
Çekya	0.0610(0.731)	0.0990(0.697)	1.1314(0.000)*
Danimarka	-0.0430(0.853)	0.1277(0.529)	0.5771(0.713)
Finlandiya	0.0232(0.933)	0.2726(0.320)	-1.0418(0.290)
Fransa	0.1189(0.865)	1.6725(0.000)*	0.5558(0.715)
Hollanda	0.2611(0.961)	0.6469(0.398)	-0.5806(0.745)
İspanya	-0.5599(0.016)**	-1.2403(0.001)*	-0.4404(0.487)
İtalya	-0.9747(0.398)	-0.8640(0.294)	-1.3583(0.571)
Letonya	0.0802(0.415)	-0.1264(0.229)	0.3175(0.340)
Litvanya	0.3504(0.005)*	-0.0845(0.533)	-0.8007(0.003)*
Macaristan	-0.2288(0.527)	0.5013(0.190)	0.4679(0.655)
Polonya	0.3329(0.192)	0.0244(0.946)	0.5439(0.595)
Portekiz	0.2188(0.013)**	0.0050(0.967)	0.2357(0.522)
Slovakya	0.6836(0.038)**	-0.8689(0.211)	-1.0110(0.647)
Slovenya	0.2999(0.545)	-1.9189(0.000)*	-6.0529(0.030)**
Panel	-0.0994(0.620)	-0.1071(0.588)	-0.2773(0.522)

Not: *, **, *** sırasıyla %1, %5 ve %10’da katsayının anlamlılığını ifade etmektedir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

DCCE uzun dönem katsayı tahmin sonuçları ise şu şekildedir;

Litvanya, Portekiz ve Slovakya’da Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve pozitif bir etkisi bulunmaktadır. Almanya ve İspanya’da ise Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde anlamlı ve negatif bir etkisi mevcuttur. Diğer ülkelerde ve panelde ise anlamlı bir etkisi yoktur.

Almanya ve Fransa’da çevre vergilerinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve pozitif bir etkisi bulunmaktadır. İspanya ve Slovenya’da ise çevre vergilerinin yenilenebilir enerji üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif bir etkisi vardır. Diğer ülkelerde ve panelde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır.

Son olarak Avusturya ve Çekya’da ekonomik büyümenin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkisi bulunmaktadır. Litvanya ve Slovenya’da ise ekonomik büyümenin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve negatif bir etkisi vardır. Diğer ülkelerde ve panelde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır.

3.4.8. Emirmahmutoglu – Köse Panel Nedensellik Testi Bulguları

Çalışmada uzun dönem eş bütünleşme ilişkisi incelenmiştir. Bu bölümde ise değişkenler arasındaki kısa dönemli ilişkiyi gösteren nedensellik ilişkisi Emirmahmutoglu- Köse panel nedensellik testiyle incelenmektedir. Panel örneklem grubuna yönelik nedensellik ilişkileri aşağıda tablolarda sunulmaktadır.

Tablo 15: E-K Panel Nedensellik Testi Sonuçları (Yenilenebilir Enerji – Ar-Ge)

Ülkeler	H ₀ : YE $\nrightarrow$ AG		H ₀ : AG $\nrightarrow$ YE	
	Wald İst.	Olasılık Dğr.	Wald İst.	Olasılık Dğr.
Almanya	4,188 (2)	0,123	0,988 (2)	0,61
Avusturya	2,219 (2)	0,33	1,558 (2)	0,459
Belçika	0,001 (1)	0,981	0,437 (1)	0,508
Çekya	0,129 (1)	0,719	0,06 (1)	0,806
Danimarka	3,275 (2)	0,194	0,506 (2)	0,777
Finlandiya	0,527 (2)	0,768	3,875 (2)	0,144
Fransa	7,114 (1)*	0,008	3,541 (1)***	0,06
Hollanda	7,606 (2)**	0,022	0,12 (2)	0,942
İspanya	0,094 (1)	0,759	0,042 (1)	0,838
İtalya	0,024 (1)	0,877	0,922 (1)	0,337
Letonya	9,322 (1)*	0,002	0,288 (1)	0,591
Litvanya	0,02 (1)	0,889	0,329 (1)	0,566
Macaristan	0,11 (1)	0,741	0,039 (1)	0,844
Polonya	0,684 (1)	0,408	1,515 (1)	0,218
Portekiz	1,003 (2)	0,606	3,195 (2)	0,202
Slovakya	2,455 (1)	0,117	0,923 (1)	0,337
Slovenya	2,436 (1)	0,119	0,410 (1)	0,522
Panel	Fisher İst.	Olasılık Dğr.	Fisher İst.	Olasılık Dğr.
Panel	53.441**	0.018	29.233	0.7

Not: Parantez içindeki değerler, Schwarz bilgi kriteri tarafından belirlenen optimum gecikme uzunluklarını göstermektedir. Bootstrap 1000 tekrarda gerçekleştirilmiştir. *, ** ve ***, temel hipotezin sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyelerinde reddedildiğini gösterir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Tablo 16: E-K Panel Nedensellik Testi Sonuçları (Yenilenebilir Enerji – Çevre Vergisi)

	H ₀ : YE $\nrightarrow$ ÇV		H ₀ : ÇV $\nrightarrow$ YE	
Ülkeler	Wald İst.	Olasılık Dğr.	Wald İst.	Olasılık Dğr.
Almanya	1,021 (2)	0,6	0,396 (2)	0,82
Avusturya	0,578 (2)	0,749	3,794 (2)	0,15
Belçika	3,336 (2)	0,189	3,703 (2)	0,157
Çekya	0,143 (1)	0,705	0,477 (1)	0,49
Danimarka	0,069 (1)	0,793	2,065 (1)	0,151
Finlandiya	0,189 (1)	0,663	0,763 (1)	0,382
Fransa	3,886 (2)	0,143	2,01 (2)	0,366
Hollanda	2,127 (1)	0,145	3,157 (1)***	0,076
İspanya	0,786 (1)	0,375	3,644 (1)***	0,056
İtalya	3,063 (1)***	0,08	0,383 (1)	0,536
Letonya	0,857 (2)	0,651	0,172 (2)	0,918
Litvanya	0,086 (1)	0,769	0,045 (1)	0,831
Macaristan	4,208 (1)**	0,04	1,991 (1)	0,158
Polonya	0,114 (1)	0,736	1,547 (1)	0,214
Portekiz	0,012 (1)	0,911	0,892 (1)	0,345
Slovakya	7,444 (2)**	0,024	3,413 (2)	0,182
Slovenya	1,506 (2)	0,471	11,005 (2)*	0,004
Panel	Fisher İst.	Olasılık Dğr.	Fisher İst.	Olasılık Dğr.
Panel	39.238	0.247	53.072**	0.020

Not: Parantez içindeki değerler, Schwarz bilgi kriteri tarafından belirlenen optimum gecikme uzunluklarını göstermektedir. Bootstrap 1000 tekrarda gerçekleştirilmiştir. *, ** ve ***, temel hipotezin sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyelerinde reddedildiğini gösterir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Tablo 17: E-K Panel Nedensellik Testi Sonuçları (Yenilenebilir Enerji – Ekonomik Büyüme)

	H ₀ : YE $\nrightarrow$ EB		H ₀ : EB $\nrightarrow$ YE	
Ülkeler	Wald İst.	Olasılık Dğr.	Wald İst.	Olasılık Dğr.
Almanya	0,369 (1)	0,544	2,299 (1)	0,129
Avusturya	2,352 (1)	0,125	0,025 (1)	0,876
Belçika	0,287 (2)	0,866	6,259 (2)**	0,044
Çekya	0,913 (1)	0,339	1,121 (1)	0,29
Danimarka	0,020 (1)	0,888	0,057 (1)	0,811
Finlandiya	0,434 (2)	0,805	2,723 (2)	0,256
Fransa	0,885 (2)	0,642	3,193 (2)	0,203
Hollanda	1,124 (1)	0,289	6,331 (1)**	0,012
İspanya	2,093 (2)	0,351	1,733 (2)	0,421
İtalya	0,057 (1)	0,812	0,770 (1)	0,38
Letonya	3,157 (2)	0,206	1,622 (2)	0,444
Litvanya	0,710 (1)	0,399	1,245 (1)	0,264
Macaristan	0,311 (1)	0,577	1,185 (1)	0,276
Polonya	0,004 (1)	0,95	0,005 (1)	0,944
Portekiz	1,399 (2)	0,497	2,999 (2)	0,223
Slovakya	0,317 (1)	0,573	0,262 (1)	0,609
Slovenya	0,071 (1)	0,79	0,162 (1)	0,687
Panel	Fisher İst.	Olasılık Dğr.	Fisher İst.	Olasılık Dğr.
Panel	23.553	0.910	43.676	0.124

Not: Parantez içindeki değerler, Schwarz bilgi kriteri tarafından belirlenen optimum gecikme uzunluklarını göstermektedir. Bootstrap 1000 tekrarda gerçekleştirilmiştir. *, ** ve ***, temel hipotezin sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyelerinde reddedildiğini gösterir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Bu kısımda değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi Emirmahmutoğlu – Köse panel nedensellik testiyle incelenmiştir. Bulgular yukarıdaki tablolarda sunulmuştur.

Emirmahmutoğlu – Köse panel nedensellik sonuçları yenilenebilir enerji tüketiminden Ar-Ge harcamalarına doğru, çevre vergilerinden yenilenebilir enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisinin olduğunu göstermektedir. Ülke bazlı sonuçlara göre ise; Hollanda ve Letonya’da yenilenebilir enerji tüketiminden Ar-Ge harcamalarına doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Fransa’da ise yenilenebilir enerji tüketimi ile Ar-Ge harcamaları arasında karşılıklı nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. İtalya, Macaristan ve Slovakya’da yenilenebilir enerji tüketiminden çevre vergilerine doğru, Hollanda, İspanya ve Slovenya’da ise çevre vergilerinden yenilenebilir enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Son olarak Belçika ve Hollanda’da ekonomik büyümeden yenilenebilir enerji tüketimine doğru bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

3.4.9. Ampirik Bulgulara Yönelik Genel Değerlendirme

Çalışmada 17 AB ülkesinde Ar-Ge harcamalarının ve çevre vergilerinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi panel veri yöntemleriyle incelenmiştir. Bu kısımda ulaşılan sonuçlar genel olarak değerlendirilecektir.

İlk olarak çalışmada kullanılan modelde ve serilerde yatay kesit bağımlılığı test edilmiştir. Bu testin kullanılmasının sebebi diğer aşamalarda kullanılacak yöntemlerin belirlenebilmesidir. Yatay kesit bağımlılığının olması durumunda yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil testler kullanılmalıdır. Öte yandan, paneli oluşturan kesitler arasında birinde oluşacak şoktan diğerlerinin etkilenip etkilenmeyeceğinin ortaya çıkarılması açısından yatay kesit bağımlılığının test edilmesi önemlidir. Bu bağlamda yatay kesit bağımlılığının test edilmesi amacıyla CD_{LM1} (Breusch ve Pagan, 1980), CD_{LM2} ve CD (Pesaran, 2004) yatay kesit bağımlılığı testin uygulanmıştır. Üç testin sonucuna göre “yatay kesit bağımlılığı yoktur” temel hipotezi %1 anlam düzeyinde reddedilmiştir. Buna göre serilerde ve modelde yatay kesit bağımlılığı bulunmaktadır. Günümüz küresel ekonomisinde özellikle de birçok adımın ortak olarak atıldığı AB ülkelerinde bu sonuç beklenen bir sonuçtur. Buna göre AB ülkelerinden birinde meydana gelen konjonktürel bir şok diğer AB ülkelerini olumlu ya da olumsuz şekilde etkileyebilmektedir.

Panel veri yöntemlerinde yatay kesit bağımlılığından sonra homojenite testinin yapılması önemlidir. Bu çalışmada Pesaran ve Yamagata (2008) delta testi uygulanmıştır. Buna göre “eğim katsayıları homojendir” temel hipotezi reddedilmiştir. Bunun sonucunda heterojen eğime imkân tanıyan tekniklerin kullanılması gerekmektedir. Birim kök testi olarak Pesaran CIPS yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre serilerin birinci farkta durağanlaştığı görülmektedir. Bu sonuç serilerin arasındaki uzun dönemli ilişki araştırılabilir olduğunu göstermektedir.

Uzun dönemli ilişkiyi araştırmak amacıyla LM Bootstrap eş bütünleşme ve Durbin-Hausman panel eş bütünleşme testleri kullanılmıştır. Bu testler ikinci nesil testler olup yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ve heterojeniteye izin veren tekniklerdir. LM Bootstrap panel eş bütünleşme testine ait “eş bütünleşme vardır” temel hipotezi reddedilememiştir. Durbin-Hausman panel eş bütünleşme testine ait “eş bütünleşme yoktur” temel hipotezi ise reddedilmiştir. Buna göre her iki eş bütünleşme testi sonucuna göre çalışmada kullanılan değişkenler olan çevre vergileri ile yenilenebilir enerji tüketimi

arasında, Ar-Ge harcamaları ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında ve ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında uzun dönemli eş bütünleşme ilişkisi bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre AB ülkelerinde mali araçlar ile yenilenebilir enerji arasında eş bütünleşme ilişkisi bulunmaktadır. Bir diğer ifadeyle çevre vergileri ve Ar-Ge harcamalarındaki değişimler uzun dönemde yenilenebilir enerji tüketimini etkilemektedir. Bu sonuçlar çevre vergileri ve Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında etkili araçlar olduğunu göstermektedir. Çevre vergileri fosil yakıtlardan alındığında alternatif olarak yenilenebilir enerji tüketimini artırabilmektedir. Bununla birlikte yenilenebilir enerjiye yönelik çevre vergilerindeki muafiyet, istisna ve indirim uygulamaları yenilenebilir enerjiyi daha avantajlı konuma getirmektedir. Ar-Ge harcamaları ise üç şekilde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını etkileyebilir. Birinci etki genel Ar-Ge harcamalarıdır. Bu harcamalar doğrudan yenilenebilir enerji alanına yapılmasa da yenilenebilir enerji üretiminde, depolanmasında, taşınmasında ve tüketiminde kullanılacak teknolojik verimli yöntemler ortaya çıkarabilir. Farklı bir alanda ortaya çıkan teknolojik yenilik yayılma etkisi (spin-off) ile yenilenebilir enerji alanını da olumlu yönde etkileyebilmektedir. Ar-Ge harcamalarının ikinci etkisi ise doğrudan yenilenebilir enerji alanına yapılan kamu Ar-Ge harcamalarıdır. Bu harcamalar enerji ve depolama teknolojilerini artırabilir, yenilenebilir enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasını sağlayabilir. Üçüncü etkisi ise özel sektörün bu alanda Ar-Ge faaliyetlerini desteklemek amacıyla hükümetlerin teşvik uygulamalarıdır. Özel sektörün yenilenebilir enerji faaliyetlerinden dolayı birçok ülkede özel sektörün Ar-Ge harcamaları vergi istisnası, vergi indirimi ve vergi kredisi uygulamalarıyla desteklenmektedir. Bununla birlikte Ar-Ge harcamalarına yönelik hükümetler sübvansiyon desteği sağlamaktadır.

Son olarak çalışmada kısa dönemli ilişkiyi incelemek amacıyla Emirmahmutoğlu – Köse panel nedensellik testi kullanılmıştır. Emirmahmutoğlu – Köse panel nedensellik sonuçları yenilenebilir enerji tüketiminden Ar-Ge harcamalarına doğru, çevre vergilerinden yenilenebilir enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisinin olduğunu göstermektedir. Ülke bazlı sonuçlara göre ise; Hollanda ve Letonya’da yenilenebilir enerji tüketiminden Ar-Ge harcamalarına doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Fransa’da ise yenilenebilir enerji tüketimi ile Ar-Ge harcamaları arasında karşılıklı nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. İtalya, Macaristan ve Slovakya’da yenilenebilir enerji tüketiminden çevre vergilerine doğru, Hollanda, İspanya ve

Slovenya’da ise çevre vergilerinden yenilenebilir enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Son olarak Belçika ve Hollanda’da ekonomik büyümeden yenilenebilir enerji tüketimine doğru bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Panel sonuçlarındaki nedensellik ilişkisi sonuçları eş bütünleşme sonuçlarını desteklemektedir. Çevre vergilerinden yenilenebilir enerjiye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi ve bu değişkenler arasında eş bütünleşme ilişkisi bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji faaliyetlerinde çevre vergilerinin muafiyet, istisna ve indirim kapsamına alınması, fosil yakıtlardaki çevre vergilerinin caydırıcı nitelikte olması yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında etkili olabilir.



SONUÇ

Dünya genelinde çevre kirliliğinin büyük boyutlara ulaşması ve enerji arzında yaşanan aksaklıklar sebebiyle yenilenebilir enerji oldukça önemli hale gelmiştir. Bunun sonucunda yenilenebilir enerjiyi teşvik etmek amacıyla gerek üretim gerek tüketim aşamasında çeşitli kamusal araçlar kullanılmaktadır. AB ülkelerinde çevre kirliliğini azaltmak yasal bir zorunluluk haline gelmiştir. Ayrıca AB, Rusya'ya olan enerji bağımlılığını azaltmak istemektedir. Bu sebeplerle AB ülkelerinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında birçok araç kullanılmaktadır.

Küresel iklim değişikliğinin en önemli nedenleri enerji talebine olan artış sonucu yenilenemez enerji kullanımının artmasıdır. Geçmişte güvenli, uygun fiyatlı bir enerji politikası benimsenirken günümüzde çevreye duyarlı ve sınırlı kaynakları yedekleyen ve verimli kullanan bir enerji politikasına ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle bir yaklaşımın benimsenmesi için enerji kullanımında tasarrufun sağlanması, enerji yoğun materyallerin ve enerjinin tüm çeşitlerinin verimli kullanılması, yüksek karbon içeriğine sahip enerjilerin kirlletici etkisinin azaltılması, yenilenebilir enerji kullanımının artırılması gerekmektedir. Bu unsurları dikkate alan ve sürdürülebilir olarak ihtiyaçları karşılayabilecek enerji kaynağı yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ancak yenilenebilir enerjinin enerji pazarına girişinde birçok faktör etkilidir. İklim, jeolojik, topografik ve diğer konuma bağlı faktörler yenilenebilir enerji tercihini etkilemektedir. Şehirlerdeki yerleşim şekilleri ve bina sayısı bunlara örnek olarak gösterilebilir. Öte yandan enerji hizmetlerine olan talebin yapısı da yenilenebilir enerji tercihini etkilemektedir. Örneğin, elektrik ihtiyacı fazla olan yerlerde bulunduğu konuma göre güneş ya da dalga enerjileri tercih edilebilecektir. Bir diğer faktör yenilenemeyen enerji kaynaklarının fiyatlarına göre yenilenebilir enerjinin fiyatıdır. Rekabet edebilmesi için o bölgede maliyeti etkileyecek olan yenilenebilir enerji potansiyelinin yüksek olması, depolama ve taşıma kolaylığının olması önemlidir. Uygun finansmanın sağlanması, ülkedeki kurumsal, idari, yasal, mali ve diğer koşulların uygun olması, çevreye duyarlı yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için özel sektörün katılımı, bilgiye erişim, eğitim-öğretim, genel farkındalık ve halk tarafından kabul edilebilirlik gibi faktörler de yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında oldukça önemlidir (Gutermuth, 1998:67). Bu faktörlerin çoğunluğu devlet müdahalesiyle olumlu ya da olumsuz şekilde doğrudan

etkilenebilir. Bu yüzden sadece piyasa güçlerinin yönlendirmesiyle değil birtakım kamu politikalarıyla yenilenebilir enerji sistemlerine geçiş sağlanabilir.

Devletin temel mali araçları olan vergi, harcama ve borçlanma politikaları doğrudan veya dolaylı olarak yenilenebilir enerji kullanımını etkileyebilmektedir. Doğrudan etkilemesi için kullanılan araçlara örnek olarak bu alana yönelik uygulanan vergi teşvikleri gösterilebilir. Öte yandan dünya genelinde çevre kirliliğinin artmasıyla uluslararası karbon nötr hedefine yönelik birçok önlemler alınmaktadır. Çevre kirliliğinin en büyük sebeplerinden biri olan fosil kaynak kullanımının azaltılması amacıyla çevre vergileri gibi birtakım önlemler bu kaynakların ikamesi olan yenilenebilir enerji kullanımını etkilemektedir. Yenilenebilir enerjinin bu önlemler sonucunda yaygınlaşması ise dolaylı etkilere örnek gösterilebilir. Bu bağlamda vergiler ve sübvansiyonlar doğru bölgelere ve doğru enerji kaynaklarına yapılmalıdır. Ayrıca bu politikalar uygulanırken düşük gelirli hanelerin ekonomik faaliyetleri olumsuz etkilenmemelidir. Bu sayede uygulanan politikalar verimli ve sürdürülebilir olabilir.

Ülkelerin savurgan enerji tüketimini azaltmak ve temiz enerji geçişini hızlandırmak için hızlı önlemler alınmalıdır. Dünya genelinde petrol ürünlerine verilen sübvansiyonlar toplam sübvansiyonların büyük bir bileşeni durumundadır. Öte yandan en hızlı artış gösteren sübvansiyonlar doğal gaz ve elektriğe verilen sübvansiyonlardır. Sübvansiyon yükünde artış, birçok yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde mali baskıyı artırmaktadır. Özellikle yakıtın ithal edildiği durumlarda yerli üretimi desteklemek için yapılan sübvansiyonlar sonucu piyasa fiyatından satış gelirden ziyade ek bir maliyet oluşturmaktadır. Bu bağlamda sübvansiyonlarla desteklenen fiyatlandırma reformu, sürdürülebilirlik için politik olarak zor ama ekonomik ve çevresel olarak oldukça önemlidir (IEA, 2021c:99). Dünya genelinde uygulanan mevcut yenilenebilir enerji politikaları ve teknoloji eğilimleri bu şekilde devam ederse, nüfus ve ekonomik büyümenin bir sonucu olarak küresel enerji tüketiminin ve enerjiye bağlı karbondioksit emisyonlarının 2050 yılına kadar artacağı düşünülmektedir. Bu tahmine göre tüm yakıtların tüketimi artmakla beraber yenilenebilir enerji tüketimi 2020-2050 yılları arasında iki kat fazla artacaktır. Bu tahmine göre 2050 yılında sıvı yakıtlar en büyük enerji kaynağı olmaya devam edecektir fakat yenilenebilir enerji tüketimi neredeyse aynı seviyeye çıkacaktır. Bununla birlikte yenilenebilir enerjide öngörülen bu büyüme belirsizdir ve bu büyük ölçüde düzenleyici politikalara bağlıdır. Piyasa kurallarındaki

değişiklikler, yenilenebilir enerji santrallerini desteklemek için uygun maliyetli tedarik zincirleri, yenilenebilir enerjiyi destekleyecek yeterli miktarda geleneksel üretim teknolojisi ve uygun depolama koşulları yenilenebilir enerji kullanımını artıracaktır. Sonuç olarak yenilenebilir enerji kullanımı, uygun teknoloji maliyetleri ve hükümet politikası tarafından yönlendirilir. Gelecekte teknolojik atılımlar veya önemli politika değişiklikleri olmaksızın petrol ve diğer sıvı yakıtların yerini alması mümkün değildir. Fosil yakıt ile yenilenebilir enerji kaynakları maliyet açısından rekabetçi bir seviyeye gelse de enerji talebindeki artış Avrupa ülkelerinde daha fazladır. Bu yüzden Avrupa ülkelerinde yenilenebilir enerji üretimini teşvik edecek politikalar olmadan yenilenebilir enerjinin büyüme fırsatı daha azdır. Avrupa'da karbon üst sınırı ve ticaret sistemi şeklindeki politika teşvikleri yenilenebilir enerji üretimini artıracak, yenilenemeyen enerji üretimini azaltacak şekilde tasarlanmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'ya göre 2050 yılına kadar dünya çapında nükleer üretimin %15 oranında artacağı, Avrupa ülkelerinde ise yaklaşık üçte bir oranında azalacağı tahmin edilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle, hidrojen, deniz (dalga, gelgit, okyanus ve akıntı) kaynaklarıdır. Bu enerji kaynaklarının diğer enerji kaynaklarından ayrılan en önemli yönü doğal süreçlerle sürekli olarak yenilenen enerji akışları olmalarıdır. Bu yönüyle sınırlı miktarlarda olan fosil yakıt ve nükleer yakıtlardan farklı olarak görülmektedir. Yenilenebilir enerji tüketildiğinden daha yüksek oranda yenilenen doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Bu yüzden bazı kaynaklarda tükenmeyen enerji olarak tanımlanmaktadır. Potansiyel olarak değerlendirildiğinde deniz kaynaklı enerjilerin (dalga, gelgit, okyanus, akıntı) en fazla potansiyele sahip enerji kaynağı olduğu bilinmektedir. Denizler ve okyanuslar dalgalar, gelgitler ve akıntılar sayesinde yararlanılabilecek potansiyeli yüksek ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Okyanuslar, dünya çapında toplam enerji talebini karşılayacak düzeydedir. Fakat bu yüksek potansiyeline rağmen denizler ve okyanuslarda enerji teknolojisinin gelişimi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla daha zordur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının birbiri üzerinde çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca bölgeden bölgeye yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliği değişebilmektedir. Bununla birlikte günümüzde sıfır karbon ile yenilenebilir enerji üretimi mümkün değildir. Yenilenebilir enerji tesislerin kurulumu, enerjinin depolanması taşınması aşamalarında çevre olumsuz şekilde etkilenebilmektedir. Örneğin rüzgâr

tirbünleri kuş ve yarasa ölümlerine neden olmaktadır. Bu ölümler bazı türlerin nüfusunda ciddi azalışa sebep olabilir. Karadaki rüzgâr türbini bileşenlerini yapabilmek için kullanılan malzemelerin üretilmesinin çevreyi olumsuz etkileyebilmektedir. Denizlerdeki yenilenebilir enerji sistemlerinin ise deniz canlıları için tehlike oluşturduğuna dair birçok çalışma bulunmaktadır. Bu yüzden yenilenebilir enerji tesislerinin kurulumunda bu faktörlerin göz önünde bulundurulması ve çevreyi olumsuz etkilemeyecek şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir.

Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasına yönelik birçok teşvik ve destekler bulunmaktadır. Bu araçlar vergi, harcama ve diğer araçlar şeklinde sınıflandırılabilir. Vergisel araçlar vergi muafiyeti, istisnası ve indirimi, vergi kredileri, vergi tatili, hızlandırılmış amortisman ve çevre vergileridir. Bu araçlardan en yaygın olarak kullanılanı muafiyet istisna ve indirim uygulamalarıdır. Öte yandan çevre vergileri de yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında oldukça etkilidir. Çevre vergileri yenilenebilir enerjiyi doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde etkilemektedir. Doğrudan etki, çevre yenilenebilir enerji faaliyetlerine uygulanan istisna ve indirim uygulamalarıdır. Diğer bir ifadeyle çevre vergilerinin yenilenebilir enerji faaliyetlerinden alınmaması ya da düşük orandan alınmasıdır. Bu uygulamalar yenilenebilir enerjinin üretim maliyetlerini düşürerek hem yeni tesislerin kurulmasına hem de kaynakların Ar-Ge faaliyetlerine aktarılması sonucu depolama ve taşıma teknolojilerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilir. Bu sayede son safhada tüketim maliyetleri de düşerek yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını teşvik edebilir. Dolaylı etki ise çevre vergilerinin fosil yakıtlar gibi kirletici kaynaklara uygulanmasıdır. Kirletici kaynakların maliyetinin artması, yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını olumlu yönde etkileyebilir. Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında uygulanan harcama araçları ise, kamu yatırım harcamaları, sermaye sübvansiyonları, düşük faizli krediler ve finansmanlar ve Ar-Ge harcamalarıdır. Bu araçlar içinde Ar-Ge harcamaları geniş bir alana etki edebilecek kapasitededir. Ülkeler hem genel Ar-Ge harcamalarıyla hem de enerji alanında yaptıkları Ar-Ge harcamalarıyla yenilenebilir enerjinin gelişimine katkı sağlamaktadır. Öte yandan özel sektörün bu alanda Ar-Ge faaliyetlerini desteklemek amacıyla birçok teşvik uygulamaktadır. Özel sektörün yenilenebilir enerji faaliyetlerinden dolayı birçok ülkede özel sektörün Ar-Ge harcamaları vergi istisnası, vergi indirimi ve vergi kredisi uygulamalarıyla desteklenmektedir. Bununla birlikte Ar-Ge harcamalarına yönelik hükümetler

sübvansiyon desteği sağlamaktadır. Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında uygulanan diğer araçlar ise tarife garantisi, prim garantisi, kota sistemi, net ölçüm yöntemi ve ihale yöntemidir. Bu araçlar içerisinde AB ülkelerinde en çok kullanılan yöntem ise tarife garantisidir.

AB ülkelerinde yenilenebilir enerjiyi teşvik eden birçok yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden en sık başvurulana kamu yatırımları sübvansiyonları ve indirimleridir. Bu yatırımların içerisinde Ar-Ge yatırımlarına oldukça önem verildiği görülmektedir. Vergi araçları açısından değerlendirildiğinde ise AB ülkelerinde çevre kirliliğinin azaltılmasının yasal bir zorunluluk haline gelmesiyle birlikte çevre vergileri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu AB ülkelerindeki yaygın uygulamalardan hareketle bu çalışmada 1995-2019 dönemi için 17 AB ülkesinde çevre vergileri ve Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi panel veri yöntemleriyle incelenmektedir. Çalışmada öncelikle yatay kesit bağımlılığı testleri uygulanmıştır. CD_{LM1} (Breusch ve Pagan, 1980), CD_{LM2} ve CD (Pesaran, 2004) yatay kesit bağımlılığı testlerinin sonuçlarına göre tüm değişkenlerde ve kullanılan modelde yatay kesit bağımlılığının olduğu görülmektedir. Daha sonra eğim katsayılarının heterojen veya homojen olması durumunda diğer aşamalarda uygulanacak testler değişebileceği için homojenite testi uygulanmıştır. Test sonucuna göre eğim parametrelerinin heterojen olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre çalışmada ikinci nesil testler uygulanmıştır. Serilerin durağanlıkları Pesaran CIPS birim kök testi ile sınanmıştır. Tüm ülkeler için serilerin birinci farklarında durağan oldukları görülmüştür. Daha sonra Westerlund ve Edgerton'un LM Bootstrap eş bütünleşme ve Durbin-Hausman panel eş bütünleşme testleri uygulanarak uzun dönemli ilişkiler incelenmiştir. Seriler arasında uzun dönemli eş bütünleşme olduğu için bu ilişkilere yönelik katsayı tahminleri AMG ve DCCE uzun dönem katsayı tahmin testleriyle hem ülkeler için ayrı hem de panel için tahmin edilmiştir. Son olarak değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi Emirmahmutoğlu – Köse panel nedensellik testi ile incelenmiştir.

Çalışmada uygulanan testlere göre ulaşılan sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında uzun dönemli eş bütünleşme ilişkisi bulunmaktadır. Buna göre yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme uzun dönemde birlikte hareket etmektedir. Bununla birlikte ekonomik

büyümenin yapısı ve enerji politikalarının farklılığına bağlı olarak ülke bazlı sonuçlar farklılık gösterebilir.

- Çevre vergileri ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında uzun dönemli bir eş bütünleşme ilişkisi bulunmaktadır. Katsayı tahminlerine göre ise Almanya ve Fransa çevre vergilerinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve pozitif etkisi bulunmaktadır. İspanya ve Slovenya’da çevre vergilerinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve negatif etkisi bulunmaktadır. Diğer ülkelerde ve panelde ise çevre vergilerinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiki olarak anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Öte yandan panelde çevre vergilerinden yenilenebilir enerji tüketimine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Çevre vergilerinin yenilenebilir enerji üzerindeki etkisi hem eş bütünleşme hem de nedensellik testleri ile desteklenmektedir. Ülke bazlı sonuçlar uygulanan yenilenebilir enerji politikalarının farklı olmasından dolayı değişebilmektedir. Örneğin; Fransa’da binalara güneş enerjisi paneli (fotovoltaik) kuran kişiler KDV indiriminden yararlanmaktadır (Vidalic, 2019). Almanya’da sürdürülebilirlik ve çevrenin korunması amacıyla 1 Ocak 2021’de motorlu taşıtlar vergisine bazı maddeler eklenmiştir. Buna göre bu tarihten itibaren yeni kaydolunan araçlarda km başına 95 g CO₂ emisyonunun üzerindeki araçlar için daha yüksek oranda vergi alınacaktır. Elektrikli araçlara yönelik 10 yıllık taşıt vergisi muafiyeti ise 2030 yılı sonuna kadar uzatılmıştır (IEA, 2022b). Buna göre, Almanya’da 2020-2025 yılları arasında yeni tescil edilen elektrikli araçlar on yıl boyunca (2030’a kadar) MTV’den muaf tutulacaktır (Braun, 2020). Bu uygulamaların yanı sıra daha az emisyon yayan otomobil, otobüs, kamyon, gemi ve hatta uçak filoları için üreticilere önemli miktarda finansal destek sağlanmaktadır (IEA, 2022b).
- Ar-Ge harcamaları ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında uzun dönemli eş bütünleşme ilişkisi bulunmaktadır. Ülke bazlı katsayı tahmin sonuçlarına göre, Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji tüketimini pozitif olarak etkilediği ülkeler Portekiz, Litvanya ve Slovakya’dır. Almanya ve İspanya’da ise Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkisi bulunmaktadır. Diğer ülkelerde ise Ar-Ge harcamalarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde istatistiki olarak anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Öte yandan panel katsayısı anlamlı değildir. Ar-Ge harcamalarının pozitif etkilerinin olduğu ülkelerde

ciddi bir Ar-Ge teşvik programı uygulanmaktadır. Portekiz'de hükümet, yenilenebilir enerji alanında yenilik ve teknolojik gelişmeye yönelik araştırma ve projeleri finanse etmek ve bu alanda farkındalığı artıran kampanyaları desteklemek için bir fon oluşturmuştur. Ayrıca ısıtma suyu için güneş enerjisi kullanılması zorunluluğu ve tesisat ve bileşenlerin performans ve dayanıklılığının belgelendirilmesine ilişkin diğer düzenlemeler mevcuttur. Son olarak yenilenebilir enerji tesislerinin kurucuları için eğitim programları düzenlenmektedir (Jimeno, 2019). Benzer şekilde Slovakya'da Ar-Ge Faaliyetleri desteklenmekte ve bu konuda eğitimler verilmektedir (Valach, 2019). Litvanya'da ise İklim Değişikliği Özel Programı, sera gazı emisyonlarını azaltmayı hedefleyen projeleri desteklemektedir. Bu programın fonlarının en az %40'ı yenilenebilir enerji projelerini ve enerji verimli kojenerasyon (elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretimi) dâhil çevre dostu teknolojileri desteklemek için kullanılmaktadır. Jeotermal enerji dışındaki yenilenebilir elektrik projeleri desteklenmektedir (Tallat-Kelpsaite, 2018).

- Eşbütünleşme testi sonrasında yapılan AMG ve DCCE uzun dönem katsayı tahmincilerine göre panelde anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır. Özellikle Ar-Ge faaliyetleri birikim gerektiren faaliyetler olup faydaları uzun dönemde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca genel Ar-Ge harcaması başka alanlara yönelik yapıldıysa, yayılma etkisiyle yenilenebilir enerji alanını etkilemesi daha uzun sürebilmektedir. Bu faaliyetler başlangıçta bütçeye ek bir yük oluşturmaktadır. İlerleyen dönemlerde bu harcamaların etkisi yenilenebilir enerji alanında görülebilir. Öte yandan AB ülkeleri her ne kadar ortak adım atsa da yenilenebilir enerji alanındaki vergi politikaları farklılık göstermektedir. Vergi politikalarındaki bu farklılık ülke bazlı sonuçların farklı olmasına neden olabilir.

AB ülkelerinde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında Ar-Ge harcamaları ve çevre vergileri araçlarının kullanılması büyük önem taşımaktadır. Ar-Ge harcamaları, yenilenebilir enerji kaynaklarındaki teknolojik gelişmeleri destekleyerek maliyetlerin düşmesine ve verimliliğin artmasına yardımcı olabilir. Çevre vergileri ise fosil yakıtların kullanımını azaltarak yenilenebilir enerjiye geçişi teşvik edebilir. Politika yapımcıların bu araçları kullanmasıyla, AB ülkeleri sürdürülebilir bir enerji sistemi oluşturabilir ve küresel iklim değişikliğiyle mücadelede öncü konumlarını koruyabilir.

Son olarak, çalışmada toplam Ar-Ge harcamaları verisi kullanılmıştır. Günümüzde doğrudan yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelik yapılan Ar-Ge harcamaları verisi dönem aralığı ve ülke grubu açısından sınırlıdır. Gelecekteki çalışmalarda evre üzerinde doğrudan etkisi olabilecek bu gösterge kullanılarak literatüre katkı sağlanabilir.



KAYNAKÇA

- Aalbers, R., Shestalova, V., & Kocsis, V. (2013). Innovation policy for directing technical change in the power sector. *Energy policy*, 63, 1240-1250.
- Abban, A. R., & Hasan, M. Z. (2021). Revisiting the determinants of renewable energy investment-New evidence from political and government ideology. *Energy Policy*, 151, 112184.
- Abbas, J., Wang, L., Belgacem, S. B., Pawar, P. S., Najam, H., & Abbas, J. (2023). Investment in renewable energy and electricity output: Role of green finance, environmental tax, and geopolitical risk: Empirical evidence from China. *Energy*, 269, 126683.
- Abolhosseini, S., Heshmati A. ve Altmann J., (2014). A Review of Renewable Energy Supply and Energy Efficiency Technologies, IZA Discussion, Paper No. 8145, ss.1-35.
- Abolhosseini, S., ve Heshmati, A. (2014). The main support mechanisms to finance renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 876-885.
- Acinöroğlu, S. (2009). Genel olarak vergi teşviklerinin ekonomi üzerine etkinliği. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 1(2), 148-165.
- Adedoyin, F. F., Bekun, F. V., & Alola, A. A. (2020). Growth impact of transition from non-renewable to renewable energy in the EU: the role of research and development expenditure. *Renewable Energy*, 159, 1139-1145.
- Aguirre, M., & Ibikunle, G. (2014). Determinants of renewable energy growth: A global sample analysis. *Energy policy*, 69, 374-384.
- Akbaş Aydoğan, D. (2018). Yenilenebilir Enerjide Kamu Politikaları ve Türkiye. Doktora Tezi (yayımlanmamış), T.C. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Maliye Anabilim Dalı, İstanbul, 310 s.
- Akdoğan, A. (2016). *Kamu Maliyesi* (17. Bs.). Ankara: Gazi Kitabevi.
- Akdoğan, T. (2019). Yenilenebilir Enerji Tüketimi, CO₂ Emisyonu ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Seçilmiş G20 Ülkeleri. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T.C. Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Gaziantep, 75 s.
- Akusta, E. (2019). Yenilenebilir Enerji, Büyüme ve Çevre İlişkisi: Türkiye Örneği. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T.C. Kırklareli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Kırklareli, 167 s.

- Anciaux, S. (2019). Promotion in Netherlands. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/netherlands/tools-list/c/netherlands/s/res-e/t/promotion/sum/172/lpid/171/>, Erişim Tarihi: 05.10.2022.
- Arslan, D. Ü. (2021). Yenilenebilir Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişinin İncelenmesi: Panel Veri Analizi. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T.C. Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, Ankara, 115 s.
- Ataman, A.R. (2007). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi ve Siyaset Anabilim Dalı, Ankara, 325 s.
- Aygün, E. (1989). Güneş Enerjisi Nedir? Nasıl Faydalanılır?. Tubitak Bilim ve Teknik, Sayı: 257, S: 22-23, Nisan.
- Bamati, N., & Raoofi, A. (2020). Development level and the impact of technological factor on renewable energy production. *Renewable Energy*, 151, 946-955.
- Banasiak, J. (2019). Liechtenstein: Summary. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/en/search-by-country/liechtenstein/summary/c/liechtenstein/s/res-e/sum/408/lpid/409/>, Erişim Tarihi: 02.12.2022.
- Barradale, M. J. (2010). Impact of public policy uncertainty on renewable energy investment: Wind power and the production tax credit. *Energy Policy*, 38(12), 7698-7709.
- Bashir, M. F., Ma, B., Bashir, M. A., Radulescu, M., & Shahzad, U. (2022). Investigating the role of environmental taxes and regulations for renewable energy consumption: evidence from developed economies. *Economic Research-Ekonomska Istraşivanja*, 35(1), 1262-1284.
- Batı, O. (2013). Türkiye’de Sürdürülebilir Kalkınma ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T.C. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, İstanbul. 266 s.
- Bergek, A., Mignon, I., & Sundberg, G. (2013). Who invests in renewable electricity production? Empirical evidence and suggestions for further research. *Energy Policy*, 56, 568-581.
- Berry, T., & Jaccard, M. (2001). The renewable portfolio standard:: design considerations and an implementation survey. *Energy Policy*, 29(4), 263-277.
- Bersalli, G., Menanteau, P., & El-Methni, J. (2020). Renewable energy policy effectiveness: A panel data analysis across Europe and Latin America. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110351.

- Bilginoğlu, M. A. (1991). Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Sorunu Ve Alternatif Enerji Politikaları. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (9), 122-147.
- Bird, L., Bolinger, M., Gagliano, T., Wiser, R., Brown, M., & Parsons, B. (2005). Policies and market factors driving wind power development in the United States. *Energy Policy*, 33(11), 1397-1407.
- Blajin, C. (2019). Promotion in Moldova. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/en/search-by-country/moldova/tools-list/c/moldova/s/res-e/t/promotion/sum/354/lpid/355/>, Erişim Tarihi: 02.12.2022.
- Bointner, R. (2014). Innovation in the energy sector: Lessons learnt from R&D expenditures and patents in selected IEA countries. *Energy policy*, 73, 733-747.
- Bolkesjø, T. F., Eltvig, P. T., & Nygaard, E. (2014). An econometric analysis of support scheme effects on renewable energy investments in Europe. *Energy Procedia*, 58, 2-8.
- Böhringer, C., Cuntz, A., Harhoff, D., & Asane-Otoo, E. (2017). The impact of the German feed-in tariff scheme on innovation: Evidence based on patent filings in renewable energy technologies. *Energy Economics*, 67, 545-553.
- BP (2022), Energy Outlook 2022, British Petroleum, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2022.pdf>, Erişim Tarihi: 23.06.2022
- BP Stat (2021), BP statistical Review of World Energy July 2021, British Petroleum, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, Erişim tarihi: 16.06.2022
- Braun, H. (2020). Corona-Folgen bekämpfen, Wohlstand sichern, Zukunftsfähigkeit stärken. Ergebnis Koalitionsausschuss, 3.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239-253.
- Bulut, M. (2013). Hidroelektrik Enerji ve Hidroelektrik Santrallerde Türbin Tipi Seçiminin Verime Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 145 s.
- Butler, L., & Neuhoﬀ, K. (2008). Comparison of feed-in tariff, quota and auction mechanisms to support wind power development. *Renewable energy*, 33(8), 1854-1867.
- Cansino, J. M., Pablo-Romero, M. D. P., Román, R., & Yñiguez, R. (2010). Tax incentives to promote green electricity: An overview of EU-27 countries. *Energy policy*, 38(10), 6000-6008.

- Carley, S. (2009). State renewable energy electricity policies: An empirical evaluation of effectiveness. *Energy policy*, 37(8), 3071-3081.
- Carrion-i-Silvestre, J. L., del Barrio-Castro, T., & Lopez-Bazo, E. (2005). Breaking the panels: an application to the GDP per capita. *The Econometrics Journal*, 159-175.
- Carrion-i-Silvestre, J. L., del Barrio-Castro, T., & Lopez-Bazo, E. (2005). Breaking the panels: an application to the GDP per capita. *The Econometrics Journal*, 159-175.
- Cetkovic, S. (2019). Promotion in Croatia. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/croatia/tools-list/c/croatia/s/res-t/promotion/sum/358/lpid/359/>, Erişim Tarihi: 05.10.2022.
- Chang, K., Long, Y., Yang, J., Zhang, H., Xue, C., & Liu, J. (2022). Effects of subsidy and tax rebate policies on green firm research and development efficiency in China. *Energy*, 258, 124793.
- Charlier, R.H., ve Justus, J.R. (1993). *Ocean Energies: Environmental, Economic and Technological Aspects of Alternative Power Sources*. Elsevier Oceanography Series, Amsterdam, The Netherlands.
- Chudik, A., & Pesaran, M. H. (2015). Common correlated effects estimation of heterogeneous dynamic panel data models with weakly exogenous regressors. *Journal of econometrics*, 188(2), 393-420.
- Couture, T. D., Cory, K., Kreycik, C., & Williams, E. (2010). Policymaker's guide to feed-in tariff policy design (No. NREL/TP-6A2-44849). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- Couture, T., & Gagnon, Y. (2010). An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment. *Energy policy*, 38(2), 955-965.
- Couture, T., & Gagnon, Y. (2010). An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment. *Energy policy*, 38(2), 955-965.
- Cozzi, P. (2012). Assessing reverse auctions as a policy tool for renewable energy deployment. Center for International Environment & Resource Policy (CIERP), zuletzt geprüft am, 20, 2014.
- Çelikkaya, A. (2017). Yenilenebilir enerjinin teşvikine yönelik uluslararası kamu politikaları üzerine bir inceleme. *Maliye Dergisi*, 172, 52-84.
- Çelikkaya, A. (2018). Dünyada yenilenebilir enerji yatırımlarına sağlanan vergi teşviklerinin değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(1), 357-384.
- Çelikkaya, A. (2018). Dünyada yenilenebilir enerji yatırımlarına sağlanan vergi teşviklerinin değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(1), 357-384.

- Çıra, F., ve Cevheroğlu, S. (2009). 21. Yüzyılda Amerika Birleşik Devletleri'nin Değişen Enerji Politikaları ve Bu Politikalarda Güneş Enerjisinin Yeri, TMMOB, YEKSEM 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı.
- Davis, G. A., & Owens, B. (2003). Optimizing the level of renewable electric R&D expenditures using real options analysis. *Energy policy*, 31(15), 1589-1608.
- De Jager, D., Klessmann, C., Stricker, E., Winkel, T., De Visser, E., Koper, M., ... & Bouillé, A. (2011). Financing renewable energy in the European energy market. By order of the European Commission, DG energy. Ecofys.-2011.-264 p.
- De Jager, D., Rathmann, M., Klessmann, C., Coenraads, R., Colamonico, C., & Buttazzoni, M. (2008). Policy instrument design to reduce financing costs in renewable energy technology projects. PECSNL062979, International Energy Agency Implementing Agreement on Renewable Energy Technology Deployment.
- del Río, P., & Bleda, M. (2012). Comparing the innovation effects of support schemes for renewable electricity technologies: A function of innovation approach. *Energy Policy*, 50, 272-282.
- Delmas, M. A., & Montes-Sancho, M. J. (2011). US state policies for renewable energy: Context and effectiveness. *Energy policy*, 39(5), 2273-2288.
- Delmas, M. A., & Montes-Sancho, M. J. (2011). US state policies for renewable energy: Context and effectiveness. *Energy policy*, 39(5), 2273-2288.
- Delmas, M., Russo, M. V., & Montes-Sancho, M. J. (2007). Deregulation and environmental differentiation in the electric utility industry. *Strategic Management Journal*, 28(2), 189-209.
- Dogan, E., Hodžić, S., & Šikić, T. F. (2023). Do energy and environmental taxes stimulate or inhibit renewable energy deployment in the European Union?. *Renewable Energy*, 202, 1138-1145.
- Doris, E., Booth, S., & Hockett, S. (2009). Net metering policy development in Minnesota: Overview of trends in nationwide policy development and implications of increasing the eligible system size cap. National Renewable Energy Laboratory.
- Dünya Bankası (2021). International Energy Agency, International Renewable Energy Agency, United Nations Statistics Division, World Bank, World Health Organization. Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2021. World Bank. Washington DC.
- Eberhardt, M., & Bond, S. (2009). Cross-section dependence in nonstationary panel models: a novel estimator.

- ECAVO (2016). Biomass Energy Advantages And Disadvantages (Pros & Cons), <https://ecavo.com/biomass-energy-advantages-disadvantages/> , Erişim Tarihi: 19.07.2022
- EERE (2022). 5 Everyday Products Made from Biomass: A Few May Surprise You, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, <https://www.energy.gov/eere/articles/5-everyday-products-made-biomass-few-may-surprise-you>, Erişim Tarihi: 06.07.2022
- EIA (2021a), International Energy Outlook 2021, U.S. Energy Information Administration, <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>, Erişim Tarihi: 20.06.2022
- EIA (2021b), International Energy Outlook 2021, U.S. Energy Information Administration, <https://www.eia.gov>, Erişim Tarihi: 22.06.2022
- EIA (2022). International Energy Outlook 2021, U.S. Energy Information Administration, <https://www.eia.gov/energyexplained/wind/history-of-wind-power.php> , Erişim Tarihi: 27.06.2022
- Emirmahmutoglu, F., & Kose, N. (2011). Testing for Granger causality in heterogeneous mixed panels. *Economic Modelling*, 28(3), 870-876.
- Erdil, A., & Erbiyık, H. (2015). Renewable energy sources of Turkey and assessment of sustainability. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 207, 669-679.
- Ergün, İ. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Mali ve Ekonomik Boyutu: Avrupa Birliği ve Türkiye Karşılaştırması. Doktora Tezi (yayımlanmamış), T.C. Dokuz Eylöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Avrupa Birliği Anabilim Dalı, İstanbul, 190 s.
- Ersoy, M. (2004), Genel Enerji Kaynakları Katı Fosil Yakıtlar, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yayınları, Ankara.
- Espey, S. (2001). Renewables portfolio standard: a means for trade with electricity from renewable energy sources?. *Energy policy*, 29(7), 557-566.
- ETKB (2022), Enerji, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji>, Erişim Tarihi: 22.06.2022
- European Commission, 2003. External costs-research results on socio-environmental damages due to electricity and transport. Brussels: European Commission
- Fang, G., Yang, K., Tian, L., & Ma, Y. (2022). Can environmental tax promote renewable energy consumption?—An empirical study from the typical countries along the Belt and Road. *Energy*, 260, 125193.
- Fouquet, D., & Johansson, T. B. (2008). European renewable energy policy at crossroads—Focus on electricity support mechanisms. *Energy policy*, 36(11), 4079-4092.

- Foxon, T. J., & Pearson, P. J. (2007). Towards improved policy processes for promoting innovation in renewable electricity technologies in the UK. *Energy policy*, 35(3), 1539-1550.
- Garciano, J. L. (2013). Energy Efficiency and Renewable Energy Tax Incentives Federal and State Energy Tax Programs.
- Gerres, T. ve Linares, P. (2020). Carbon Contracts for Differences: their role in European industrial decarbonisation. *Climate Strategies* (2020)
- Gezer, E. H. (2013). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış). T.C. Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Ankara. 132 s.
- GİB (2021). Özel Tüketim Vergisi Tutarları ve Oranları. Gelir İdaresi Başkanlığı. <https://www.gib.gov.tr/motorlu-tasitlar-vergisi-genel-tebligleri>, Erişim Tarihi: 10.10.2022.
- Giray, F. (2012). Vergi Teşvik Sistemi ve Uygulamaları (2 Bs.). Bursa: Ekin Yayınevi.
- Greencoast (2018). Advantages and Disadvantages of Biomass: Things to Consider, <https://greencoast.org/advantages-of-biomass/>, Erişim Tarihi: 19.07.2022
- Grilli, G., De Meo, I., Garegnani, G., & Paletto, A. (2017). A multi-criteria framework to assess the sustainability of renewable energy development in the Alps. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(7), 1276-1295.
- Gutermuth, P. G. (1998). Financial measures by the state for the enhanced deployment of renewable energies. *Solar Energy*, 64(1-3), 67-78.
- Gülay, A. N. (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Geleceği Ve Avrupa Birliği İle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, İzmir, 331 s.
- Gültekin, E. (2019). OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Makro Ekonomik Belirleyicileri ve Türkiye İçin Politika. Yayımlanmış Doktora Tezi. İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Malatya., 117 s.
- Harmelink, M., Voogt, M., & Cremer, C. (2006). Analysing the effectiveness of renewable energy supporting policies in the European Union. *Energy policy*, 34(3), 343-351.
- Held, A., Ragwitz, M., & Haas, R. (2006). On the success of policy strategies for the promotion of electricity from renewable energy sources in the EU. *Energy & Environment*, 17(6), 849-868.
- Helfer, F., Lemckert, C., & Anissimov, Y. G. (2014). Osmotic power with pressure retarded osmosis: theory, performance and trends—a review. *Journal of Membrane Science*, 453, 337-358.

- Helm, D. (2002). Energy policy: security of supply, sustainability and competition. *Energy policy*, 30(3), 173-184.
- Hersh, M. A. (2006). The economics and politics of energy generation. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(23), 73-78.
- Hindistan Maliye Bakanlığı (2019).
<https://pib.gov.in/newsite/PrintRelease.aspx?relid=192337>, Erişim Tarihi: 04.10.2022.
- Honça, H. L. (2018). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sürdürülebilir Kalkınmaya Etkileri: Türkiye Örneği, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T.C. KTO Karatay Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Konya. 113 s.
- IEA (2019). The Future of Hydrogen, Report Prepared by the IEA for the G20, Japan. Seizing Today's Opportunities,
https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf, Erişim Tarihi: 21.07.2022
- IEA (2021a), World Energy Balances: Overview, International Energy Agency, Paris
<https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>, Erişim Tarihi: 16.06.2022
- IEA (2021b), World Energy Outlook 2021, International Energy Agency, Paris
<https://www.iea.org/topics/world-energy-outlook>, Erişim Tarihi: 20.06.2022
- IEA (2022a), Fuels and Technologies-Gas, International Energy Agency,
<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/gas>, Erişim Tarihi: 22.06.2022
- IEA (2022b), Policies Database, International Energy Agency,
<https://www.iea.org/policies>, Erişim Tarihi: 03.10.2022.
- IEA (2022c), Energy Technology RD&D Budgets Data Explorer,
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-technology-rdd-budgets-data-explorer>, Erişim Tarihi: 27.01.2023
- IEA (2022d), World Energy Balances Highlights (2022 edition), International Energy Agency,
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances>, Erişim Tarihi: 15.02.2023.
- IEA. (2021c). Renewables 2021: Analysis and Forecasts to 2026. Paris: IEA.
- Ignaciuk, K. (2019). Promotion in Poland. EC Legal Sources on Renewable Energy.
<http://www.res-legal.eu/en/search-by-country/poland/tools-list/c/poland/s/res-e/t/promotion/sum/176/lpid/175/>, Erişim Tarihi: 02.12.2022.

- IRENA (2021), The Energy Progress Report 2021, The International Renewable Energy Agency, Washington https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/SDG7_Tracking_Progress_2021.pdf, Erişim Tarihi: 20.06.2022
- IRENA (2022a), Renewable Energy Statistics 2022, The International Renewable Energy Agency, Washington, <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2022>, Erişim Tarihi: 14.02.2023
- IRENA (2022b), The Energy Progress Report 2022, The International Renewable Energy Agency, Washington. <https://www.iea.org/reports/tracking-sdg7-the-energy-progress-report-2022>, Erişim Tarihi: 20.01.2023
- Işıktaş, A. (2016). Kesit Alanı ve Plaka Sayısının HHO Hücresi Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi ve Bulanık Mantık İle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T.C. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği, Konya. 118 s.
- İder, S. K. (2003). Hidrojen Enerji Sistemi, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, Sayı 134, 1-8, İstanbul.
- İncekara, Ç. Ö., ve Oğulata, S. N. (2011). “Enerji Darboğazında Ülkemizin Alternatif Enerji Kaynakları”. Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi, 3(1), 1-10.
- Jacobsson, S., Bergek, A., Finon, D., Lauber, V., Mitchell, C., Toke, D., & Verbruggen, A. (2009). EU renewable energy support policy: Faith or facts?. Energy policy, 37(6), 2143-2146.
- Jensen, S. G., & Skytte, K. (2002). Interactions between the power and green certificate markets. Energy policy, 30(5), 425-435.
- Jimeno, M. (2019). Promotion in Portugal. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/portugal/tools-list/c/portugal/s/res-t/promotion/sum/180/lpid/179/>, Erişim Tarihi: 05.10.2022.
- Johnstone, N., Hascic, I., & Popp, D. (2008). Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts (No. w13760). *National Bureau of Economic Research*.
- Johnstone, N., Hascic, I., & Popp, D. (2008). Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts (No. w13760). *National Bureau of Economic Research*.
- Kalkuhl, M., Edenhofer, O., & Lessmann, K. (2013). Renewable energy subsidies: Second-best policy or fatal aberration for mitigation?. Resource and Energy Economics, 35(3), 217-234.
- Kanada Maliye Bakanlığı (2020). <https://www.canada.ca/en/departement-finance/news/2020/12/expanding-tax-support-for-business-investment-in-zero-emission-vehicles.html>, Erişim Tarihi: 03.10.2022.

- Kantarmacı, S. (2019). Yenilenebilir Enerji Birincil Üretimin Ekonomik Büyüme ve İşgücü İlişkisi: AB-28 Panel Veri Analizi. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, İzmir, 144 s.
- Karaaslan, A., ve Gezen M. (2017) Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği. Bursa: Ekin Yayınevi
- Karadayı, S., ve Ergan, Z. H. (2015). Geleneksel/Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Karşılaştırılması ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Arttırılması İçin Öneriler. Electronic Journal of Occupational Improvement and Research EJOIR, Cilt 2, 111-122.
- Karagöl, E. T., ve Kavaz, İ. (2017). Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı (SETA), Sayı 197: 18-28.
- Karalı, Ş. (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye ve Dünya Ekonomisine Katkısı, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T.C. Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, MBA Programı, İstanbul. 95 s.
- Kaymakçıoğlu F., ve Çirkin T. (2005). Jeotermal Enerjinin Değerlendirilmesi ve Elektrik Üretimi”. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin, Türkiye, ss.1-5.
- Kılınç Savrul, B. (2016). Enerji Ekonomisi: Türkiye’nin Enerji Sektörü ve Alternatif Enerji Kaynakları. Bursa: Dora Yayıncılık.
- Kilinc-Ata, N. (2016). The evaluation of renewable energy policies across EU countries and US states: An econometric approach. Energy for Sustainable Development, 31, 83-90.
- Kim, K., & Kim, Y. (2015). Role of policy in innovation and international trade of renewable energy technology: Empirical study of solar PV and wind power technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44, 717-727.
- Klein, A., Merkel, E., Pfluger, B., Held, A., Ragwitz, M., Resch, G., & Busch, S. (2010). Evaluation of different feed-in tariff design options–Best practice paper for the International Feed-In Cooperation 3rd edition, update by December 2010 A research project funded by the Ministry for the Environment. Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). Energy Economics Group, Fraunhofer-ISI.
- Kocatürk, F. (2019). Enerji İthalatı ve İktisadi Büyüme İlişkisi: Türkiye ile Seçili Avrupa Birliği Üyesi Ülkelerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T.C. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, İstanbul, 178 s.
- Kocsis, I., & Kiss, J. T. (2014). Renewable energy consumption, R&D and GDP in European Union countries. Environmental Engineering and Management Journal, 13(11), 2825-2830.

- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. ve Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye’de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi. *Engineer and Machinery*, 59 (692): 86-114.
- Koç, E. ve Kaya K. (2015). Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu. *Mühendis ve Makine*, Cilt 56, Sayı 668, s.36-47.
- Koç, E. ve Şenel, M. C. (2013). Dünya’da ve Türkiye’de enerji durumu - genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54 (639): 32-44.
- KPMG International (2015), Taxes and incentives for renewable energy, Klynveld Peat Marwick Goerdeler, <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2015/09/taxes-and-incentives-2015-web-v2.pdf>, Erişim Tarihi: 10.10.2022
- KPMG Türkiye (2016), Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Vergi ve Teşvikler, <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2016/05/tr-yenilenebilir-enerjiye-yonelik-vergi-ve-tesvikler.pdf>, Erişim Tarihi: 22.11.2022
- Krewitt, W., & Schlomann, B. (2006). Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern.
- Kutbay, H. ve Öz, E. (2017). Türkiye ve Seçilmiş Ülkelerde Ar-Ge Faaliyetlerine Yönelik Uygulanan Vergi Teşviklerinin Karşılaştırılması 1. Yönetim ve Ekonomi, 24(3), 783-802.
- Kwant, K. W. (2003). Renewable energy in The Netherlands: policy and instruments. *Biomass and bioenergy*, 24(4-5), 265-267.
- Langniss, O., Diekmann, J., & Lehr, U. (2009). Advanced mechanisms for the promotion of renewable energy—Models for the future evolution of the German Renewable Energy Act. *Energy Policy*, 37(4), 1289-1297.
- Lauber, V. (2004). REFIT and RPS: options for a harmonised Community framework. *Energy policy*, 32(12), 1405-1414.
- Lesser, J. A., & Su, X. (2008). Design of an economically efficient feed-in tariff structure for renewable energy development. *Energy policy*, 36(3), 981-990.
- Lesser, J. A., & Su, X. (2008). Design of an economically efficient feed-in tariff structure for renewable energy development. *Energy policy*, 36(3), 981-990.
- Lewis, A., Estefen, S., Huckerby, J., Musial, W., Pontes, T. ve Torres-Martinez J. (2011). Ocean Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Lewis, J. I., & Wiser, R. H. (2007). Fostering a renewable energy technology industry: An international comparison of wind industry policy support mechanisms. *Energy policy*, 35(3), 1844-1857.
- Li, X., Ozturk, I., Syed, Q. R., Hafeez, M., & Sohail, S. (2022). Does green environmental policy promote renewable energy consumption in BRICST? Fresh insights from panel quantile regression. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 35(1), 5807-5823.
- Liptow, H. ve Remler, S. (2012). Legal Frameworks For Renewable Energy - Policy Analysis For 15 Developing And Emerging Countries. Bonn, Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. <https://www.icafrica.org/fileadmin/documents/Knowledge/GIZ/Legal%20Frameworks%20for%20Renewable%20Energy.pdf>, Erişim Tarihi: 25.01.2023
- Lucas, H., Ferroukhi, R., & Hawila, D. (2013). Renewable energy auctions in developing countries. *International Renewable Energy Agency (IRENA)*.
- Maroulis, G. (2019a). Promotion in Greece. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/greece/tools-list/c/greece/s/res-hc/t/promotion/sum/140/lpid/139/>, Erişim Tarihi: 05.10.2022.
- Maroulis, G. (2019b). United Kingdom: Summary. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/united-kingdom/summary/c/united-kingdom/s/res-e/sum/204/lpid/203/>, Erişim Tarihi: 05.10.2022.
- Maroulis, G. (2019c). Cyprus: Summary. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/cyprus/summary/c/cyprus/s/res-e/sum/116/lpid/115/>, Erişim Tarihi: 05.01.2023.
- Maroulis, G. (2019d). Promotion in Ireland. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/ireland/tools-list/c/ireland/s/res-hc/t/promotion/sum/148/lpid/147/>, Erişim Tarihi: 05.10.2022.
- Marques, A. C., & Fuinhas, J. A. (2012). Are public policies towards renewables successful? Evidence from European countries. *Renewable Energy*, 44, 109-118.
- Marques, A. C., & Fuinhas, J. A. (2012). Are public policies towards renewables successful? Evidence from European countries. *Renewable Energy*, 44, 109-118.
- Mendonça, M., Lacey, S., & Hvelplund, F. (2009). Stability, participation and transparency in renewable energy policy: Lessons from Denmark and the United States. *Policy and Society*, 27(4), 379-398.
- Menz, F. C., & Vachon, S. (2006). The effectiveness of different policy regimes for promoting wind power: Experiences from the states. *Energy policy*, 34(14), 1786-1796.

- Menz, F. C., & Vachon, S. (2006). The effectiveness of different policy regimes for promoting wind power: Experiences from the states. *Energy policy*, 34(14), 1786-1796.
- Meyers, G. (2016). Geothermal Energy : Advantages And Disadvantages, *Rewable Energy*, <https://planetsave.com/2016/02/11/geothermal-energy-advantages-and-disadvantages/>, Erişim Tarihi: 06.07.2022
- Mitchell, C., Bauknecht, D., & Connor, P. M. (2006). Effectiveness through risk reduction: a comparison of the renewable obligation in England and Wales and the feed-in system in Germany. *Energy Policy*, 34(3), 297-305.
- Mutlu, E. (2013). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Ekonomisi ve Ankara İline Ait SWOT Analizi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T.C. İstanbul Kùltür Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, İstanbul, 97 s.
- Naydenova, I. (2018). Promotion in Bosnia and Herzegovina. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/en/search-by-country/bosnia-and-herzegovina/tools-list/c/bosnia-and-herzegovina/s/res-e/t/promotion/sum/473/lpid/474/>, Erişim Tarihi: 02.12.2022.
- Naydenova, I. (2019). Promotion in Bulgaria. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/en/search-by-country/bulgaria/tools-list/c/bulgaria/s/res-e/t/promotion/sum/112/lpid/111/>, Erişim Tarihi: 02.12.2022.
- Nazlıoğlu, şaban (2010), “Makro İktisat Politikalarının Tarım Sektörü Üzerindeki Etkileri: Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler için Bir Karşılaştırması”, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayımlanmamış Doktora Tezi, Kayseri.
- Nchofoung, T. N., Fotio, H. K., & Miamo, C. W. (2023). Green taxation and renewable energy technologies adoption: A global evidence. *Renewable Energy Focus*.
- Netherlands Enterprise Agency (2021), Stimulation of Sustainable Energy Production and Climate Transition 2021, https://english.rvo.nl/sites/default/files/2021/10/SDEplusplus_%20oktober_2021_ENG.pdf, Erişim Tarihi:20.01.2023
- Olmos, L., Ruester, S., & Liong, S. J. (2012). On the selection of financing instruments to push the development of new technologies: Application to clean energy technologies. *Energy Policy*, 43, 252-266.
- Özuğurlu, O. (2019). Yenilenebilir Enerjinin Türkiye’deki Gelişimi. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde, 152 s.
- Özyurt, M., Dönmez, G. (2005). Alternatif Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yeksem 2005 III.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Semp., 19-21 Ekim 2005. Mersin, s.39-42.

- Pelc, R., ve Fujita, R. M. (2002). Renewable energy from the ocean. *Marine Policy*, 26(6), 471-479.
- Pesaran, M. H. (2006). Estimation and inference in large heterogeneous panels with a multifactor error structure. *Econometrica*, 74(4), 967-1012.
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265-312.
- Pesaran, M. H., & Smith, R. (1995). Estimating long-run relationships from dynamic heterogeneous panels. *Journal of econometrics*, 68(1), 79-113.
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93.
- Petinrin, J. O., & Shaaban, M. (2015). Renewable energy for continuous energy sustainability in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 967-981.
- Pobłocka-Dirakis, A. (2019). Promotion in Ukraine. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/en/search-by-country/ukraine/tools-list/c/ukraine/s/res-e/t/promotion/sum/349/lpid/350/>, Erişim Tarihi: 02.12.2022.
- Polzin, F., Migendt, M., Täube, F. A., & von Flotow, P. (2015). Public policy influence on renewable energy investments—A panel data study across OECD countries. *Energy policy*, 80, 98-111.
- Popp, D., Hascic, I., & Medhi, N. (2011). Technology and the diffusion of renewable energy. *Energy Economics*, 33(4), 648-662.
- Pungas, L. (2019). Estonia: Summary. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/estonia/summary/c/estonia/s/res-e/sum/124/lpid/123/>, Erişim Tarihi: 06.12.2022.
- Quirion, P. (2010). Complying with the Kyoto Protocol under uncertainty: Taxes or tradable permits?. *Energy Policy*, 38(9), 5166-5173.
- Rabe, B. G. (2008). States on steroids: the intergovernmental odyssey of American climate policy. *Review of policy research*, 25(2), 105-128.
- Rajkovic, S. (2019). Slovenia: Summary. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/slovenia/summary/c/slovenia/s/res-t/sum/192/lpid/191/>, Erişim Tarihi: 05.10.2022.
- Regeringskansliet (2021), İsveç Devlet Dairesi, <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2021/03/flera-skatteforslag-fran-budgeten-i-hostas-lamnas-till-riksdagen/>, Erişim Tarihi: 03.10.2022.

- Regjeringen (2020), Norveç Devlet Dairesi,
<https://www.regjeringen.no/no/dokumentarkiv/regjeringen-solberg/aktuelt-regjeringen-solberg/fin/nyheter/2020/esa-godkjenner-merverdiavgiftsfritaket-for-elbiler/id2814566/>, Erişim Tarihi:03.10.2022.
- Relini, G., Relini, M., & Montanari, M. (2000). An offshore buoy as a small artificial island and a fish-aggregating device (FAD) in the Mediterranean. *Hydrobiologia*, 440(1), 65-80.
- REN21 (2017). Renewables 2017 Global Status Report. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2017_Full-Report_English.pdf, Erişim Tarihi: 25.11.2022
- REN21 (2021), Renewables 2021 Global Status Report, <https://www.ren21.net/gsr-2021/>, Erişim Tarihi: 10.02.2023
- REN21 (2022), Renewables 2022 Global Status Report, <https://www.ren21.net/gsr-2022/>, Erişim Tarihi: 30.12.2022
- Rogge, K. S., & Hoffmann, V. H. (2010). The impact of the EU ETS on the sectoral innovation system for power generation technologies—Findings for Germany. *Energy Policy*, 38(12), 7639-7652.
- Rogge, K. S., Schneider, M., & Hoffmann, V. H. (2011). The innovation impact of the EU Emission Trading System—Findings of company case studies in the German power sector. *Ecological Economics*, 70(3), 513-523.
- Rosell, A. D. (2022). Call for Renewable Heat Projects in Spain Allocates EUR 108 Million, *Solarthermalworld*, February 18, 2022, <https://solarthermalworld.org/news/eu-fund-allocates-eur-108-million-for-ci-renewable-heat-projects/>, Erişim Tarihi: 25.01.2023
- Rosillo-Calle, F. (2016). A review of biomass energy—shortcomings and concerns. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 91(7), 1933-1945.
- Rutz, D. and Janssen, R. (2007). *Biofuel Technology Handbook*, WIP Renewable energies, MÜNCHEN, Germany, 149 s.
- Sağlam, M., ve Uyar, T. S. (2005). Dalgı Enerjisi ve Türkiye'nin Dalgı Enerjisi Teknik Potansiyeli, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM), 19-21.
- Samour, A., Shahzad, U., & Mentel, G. (2022). Moving toward sustainable development: Assessing the impacts of taxation and banking development on renewable energy in the UAE. *Renewable Energy*, 200, 706-713.
- Sánchez-Braza, A. ve Pablo-Romero, M. D. P. (2014). Evaluation of property tax bonus to promote solar thermal systems in Andalusia (Spain). *Energy Policy*, 67, 832-843.

- Sardianou, E., & Genoudi, P. (2013). Which factors affect the willingness of consumers to adopt renewable energies?. *Renewable energy*, 57, 1-4.
- Schwarz, J. (2019). Italy: Summary. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/italy/summary/c/italy/s/res-e/sum/152/lpid/151/>, Erişim Tarihi: 04.10.2022.
- Scita, R., Raimondi, P.P. ve Noussan, M. (2020). Green Hydrogen: The Holy Grail of Decarbonisation? An Analysis of the Technical and Geopolitical Implications of the Future Hydrogen Economy; FEEM Nota di Lavoro; Fondazione Eni Enrico Mattei: Milano, Italy
- Shahnazi, R., & Shabani, Z. D. (2020). Do renewable energy production spillovers matter in the EU?. *Renewable Energy*, 150, 786-796.
- Shahzad, U., Radulescu, M., Rahim, S., Isik, C., Yousaf, Z., & Ionescu, S. A. (2021). Do environment-related policy instruments and technologies facilitate renewable energy generation? Exploring the contextual evidence from developed economies. *Energies*, 14(3), 690.
- Shahzadi, I., Yaseen, M. R., Khan, M. T. I., Makhdom, M. S. A., & Ali, Q. (2022). The nexus between research and development, renewable energy and environmental quality: Evidence from developed and developing countries. *Renewable Energy*, 190, 1089-1099.
- Shazmin, S. A. A., Sipan, I., ve Sapri, M. (2016). Property tax assessment incentives for green building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 536-548.
- Sinden, G.E. (2007). Renewable Electricity Generation: Resource Characteristics and Implications of Wind, Wave and Tidal Stream Power in the UK. Report prepared for the Renewables Advisory Board, UK Department of Energy and Climate Change, London, UK.
- Smith, S., & Swierzbinski, J. (2007). Assessing the performance of the UK Emissions Trading Scheme. *Environmental and Resource Economics*, 37, 131-158.
- Soylu, B. N. (2019). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Konya İlinin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T. C. Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Konya, 92 s.
- Steenblik R. (2007). "Subsidies: the distorted economics of biofuels." Joint Transport Research Centre, International Transport Forum, OECD, Discussion Paper No. 2007-3 (December).
- Sternkopf, T. (2019). Albania: Summary. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/albania/summary/c/albania/s/res-e/sum/489/lpid/490/>, Erişim Tarihi: 05.10.2022.

- Sumner, J., Bird, L., & Dobos, H. (2011). Carbon taxes: a review of experience and policy design considerations. *Climate Policy*, 11(2), 922-943.
- Swamy, P.A.V.B. (1970) Efficient inference in a random coefficient regression model. *Econometrica*, 38(2), 311–323
- Szabo, J. (2019). Promotion in Hungary. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/en/search-by-country/hungary/tools-list/c/hungary/s/res-e/t/promotion/sum/144/lpid/143/>, Erişim Tarihi: 02.12.2022.
- Szabo, S., & Jager-Waldau, A. (2008). More competition: Threat or chance for financing renewable electricity?. *Energy Policy*, 36(4), 1436-1447.
- şeker, S. ve çerezci, O. (2000). Radyasyon Kuşatması, Elektriğin ve Nükleer Enerjinin Sağlığımıza Etkileri. Boğazişi iversitesi Yayınevi.
- şengelen, H. A. (2016). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Panel Veri Analizi ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış). T.C. İstanbul iversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, İstanbul. 144 s.
- şenpınar, A. ve Gençoğlu, M. T. (2006). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının evresel Etkileri Açısından Karşılaştırılması. *Fırat iversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 49-54.
- şimşek, E. (2005). Deniz Akımları Enerjisi ve Türbinleri. 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildirileri. Düzenleyen: Mersin iversitesi. Mersin. 19-21 Ekim. 1-5.
- Tallat-Kelpşait, J. (2018). Promotion in Lithuania. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/lithuania/tools-list/c/lithuania/s/res-hc/t/promotion/sum/160/lpid/159/>, Erişim Tarihi: 05.10.2022.
- Tanrıseven, K. (2018). Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyümeye Etkisi: Türkiye rneği. Doktora Tezi (yayımlanmamış), T.C. Nevşehir Hacı Bektaş Veli iversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Nevşehir, 140 s.
- Temurçin, K. ve Aliağaoğlu, A. (2003). Nükleer Enerji Ve Tartışmalar İşiğinde Türkiye’de Nükleer Enerji Gerçeği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 1(2), 25-39.
- Tezcan n, . (2003). Hidrojen Enerjisi: Depolanması, Güvenliği, evresel Etkisi ve Dünyadaki Durumu. *Mühendis ve Makine Dergisi*. 525: 17-22.
- Tinaikar, A., Padate, A. ve Jain, J. (2013). Ocean Thermal Energy Conversion. *International Journal of Energy and Power Engineering*. Cilt 2, Sayı 4, 143-146. doi: 10.11648/j.ijepe.20130204.11

- TMMOB (2006), Türkiye'nin Doğal Gaz Temin ve Tüketim Politikalarının Değerlendirilmesi Raporu, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Microsoft Word - 170309dogalgazraporword.doc (mmo.org.tr), Erişim Tarihi: 22.06.2022
- Toda, H. Y., & Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of econometrics*, 66(1-2), 225-250.
- TSKB (2021). Hidrojen Enerjisi Bilgilendirme Notu, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, <https://www.tskb.com.tr/uploads/file/hidrojen-enerjisi-bilgilendirme-notu-120721.pdf>, Erişim Tarihi: 19.07.2022
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., ve Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy policy*, 33(3), 289-296.
- Tutar, F., ve Eren, M. V. (2011). Geleceğin enerjisi: Hidrojen ekonomisi ve Türkiye. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 3 (6), 1-25.
- Ulusoy, A., ve Bayraktar Daştan, C. (2018). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Yönelik Vergisel Teşviklerin Değerlendirilmesi. *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 7(17), 123-160.
- UN (2022). Climate Action- What is renewable energy?, United Nations, <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy> , Erişim Tarihi: 24.06.2022
- Upatniece, I. (2019). Promotion in Latvia. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/latvia/tools-list/c/latvia/s/res-hc/t/promotion/sum/156/lpid/155/>, Erişim Tarihi: 05.10.2022.
- Uyar, F. (2016). Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları Nelerdir?, <http://www.enerjibes.com/gunes-enerjisinin-avantajlari-dezavantajlari-nelerdir/> , Erişim Tarihi: 24.06.2022
- Uygur, İ., Demirci, R., Saruhan, H., Özkan, A., ve Belenli, İ. (2006). Batı Karadeniz Bölgesindeki Dalga Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 7-13.
- Vagerö, O. (2019). Promotion in Sweden. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/sweden/tools-list/c/sweden/s/res-e/t/promotion/sum/200/lpid/199/>, Erişim Tarihi: 05.10.2022.
- Valach, B. (2019a). Czech Republic: Summary. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/czech-republic/summary/c/czech-republic/s/res-e/sum/120/lpid/119/>, Erişim Tarihi: 04.10.2022.
- Valach, B. (2019b). Promotion in Slovakia. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/slovakia/tools-list/c/slovakia/s/res-e/t/promotion/sum/188/lpid/187/>, Erişim Tarihi: 05.10.2022.

- Varınca, K. B., ve Gönüllü, M. T. (2006). Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. Ulusal güneş ve hidrojen enerjisi kongresi, 21, 23.
- Vidalic, H. (2019). Promotion in France. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/france/tools-list/c/france/s/res-hc/t/promotion/sum/132/lpid/131/>, Erişim Tarihi: 05.10.2022.
- Wang, B., Wang, Q., Wei, Y. M., & Li, Z. P. (2018). Role of renewable energy in China’s energy security and climate change mitigation: An index decomposition analysis. *Renewable and sustainable energy reviews*, 90, 187-194.
- Wang, Q., Li, S., & Pisarenko, Z. (2020). Heterogeneous effects of energy efficiency, oil price, environmental pressure, R&D investment, and policy on renewable energy-evidence from the G20 countries. *Energy*, 209, 118322.
- Wang, Z., Yen-Ku, K., Li, Z., An, N. B., & Abdul-Samad, Z. (2022). The transition of renewable energy and ecological sustainability through environmental policy stringency: Estimations from advance panel estimators. *Renewable Energy*, 188, 70-80.
- Westerlund, J. (2008). Panel cointegration tests of the Fisher effect. *Journal of applied econometrics*, 23(2), 193-233.
- Westerlund, J., & Edgerton, D. L. (2007). A panel bootstrap cointegration test. *Economics Letters*, 97(3), 185-190.
- WHO (2022), “Air pollution”, World Health Organization, <https://www.who.int/airpollution/en/>, Erişim Tarihi: 23.06.2022
- Wikberg, K. (2019a). Denmark: Overall Summary. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/denmark/summary/c/denmark/s/res-e/sum/95/lpid/96/>, Erişim Tarihi: 06.12.2022.
- Wikberg, K. (2019b). Promotion in Finland. EC Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/finland/tools-list/c/finland/s/res-e/t/promotion/sum/128/lpid/127/>, Erişim Tarihi: 06.12.2022.
- Wohlgemuth, N. (2008). Evaluation of renewable energy policies in an integrated economic-energy-environment model. *Forest Policy and Economics*, 10(3), 128-139.
- Wu, H., Mentel, U., Lew, G., & Wang, S. (2022). What drives renewable energy in the group of seven economies? Evidence from non-parametric panel methods. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 1-27.

- Yapar, M. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımı-İktisadi Büyüme İlişkisi: Gelişmekte Olan Ülkeler ve Türkiye Örneği. Doktora Tezi (yayımlanmamış), T.C. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, İstanbul, 144 s.
- Yapıcı, M. ve Koldemir, B. (2015). Limanlarda alternatif yenilenebilir enerji kullanımının incelenmesi. II. Ulusal Liman Kongresi, 5-6 Kasım 2015. İzmir.
- Yaylalı, B. (2009). Sürdürülebilir Kalkınma Sürecinde İklim Değişikliği, Diğer Çevre Sorunlarıyla Etkileşimi ve Türkiye Analizi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Çevre Anabilim Dalı, Ankara, 249 s.
- Yıldırım, H.B., Teke, A. (2013). Güneş enerjisi ve kullanım alanları. Yeni Enerji Dergisi, 22 Ağustos 2013, Sayı:35.
- Yılmaz, S. S. (2018). Türkiye'de ve Dünya'da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Durumu. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T.C. Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, İstanbul, 132 s.
- Yurdadoğ, V., ve Tosunoğlu, Ş. (2017). Türkiye’de yenilenebilir enerji destek politikaları. Eurasian Academy of Sciences Eurasian Business & Economics Journal, 9, 1-21.
- Zhao, H., & Guo, S. (2015). External benefit evaluation of renewable energy power in China for sustainability. Sustainability, 7(5), 4783-4805.
- Zhou, Z., Benbouzid, M., Charpentier, J. F., Scuiller, F., & Tang, T. (2013). A review of energy storage technologies for marine current energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 18, 390-400.
- Ziyadlı, A. (2021). Yenilenebilir Enerji Üretiminin Ekonomik Büyümeye Etkisi: Türkiye Örneği. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), T.C. Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Kayseri, 101 s.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Tunahan DEĞİRMENCİ	
Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Selçuk Üniversitesi
Fakülte	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
Bölümü	İktisat
Yüksek Lisans	
Üniversite	Sakarya Üniversitesi
Enstitü Adı	Sosyal Bilimler Enstitüsü
Anabilim Dalı	Maliye
Programı	Maliye
Makale ve Bildiriler	
1. Değirmenci, T., & Aydın, M. (2020). Çevre Koruma Harcamaları ile Gelir Dağılımı ve Ekonomik Büyüme Arasındaki Dinamik İlişkiler: Seçili OECD Ülkeleri için Panel Nedensellik Yaklaşımı. <i>Sosyoekonomi</i>, 28(46), 391-406.	
2. Değirmenci, T., & Yavuz, H. (2021). Emisyon azaltım sorumluluğu olan bm ülkelerinde hava kirliliği, sağlık harcamaları ve ekonomik büyüme ilişkisi. <i>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi</i>, 16(3), 856-872.	
3. Degirmenci, T., & Aydın, M. (2021). The effects of environmental taxes on environmental pollution and unemployment: A panel co-integration analysis on the validity of double dividend hypothesis for selected African countries. <i>International Journal of Finance & Economics</i>	
4. Değirmenci, T., & Beşel, F. (2022). Türkiye’de Gelir Üzerinden Alınan Vergilerin Karmaşıklık Analizi. <i>Maliye Dergisi</i>, (182), 160-178.	