

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**  
**İŞLETME ANABİLİM DALI**  
**YÖNETİM VE STRATEJİ TEZSİZ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE YEŞİL ENERJİ**

**Tezsiz Yüksek Lisans Bitirme Projesi**

**Muhammet Enes ERKAYA**

**Ankara, 2024**

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**  
**İŞLETME ANABİLİM DALI**  
**YÖNETİM VE STRATESİ TEZSİZ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE YEŞİL ENERJİ**

**Tezsiz Yüksek Lisans Bitirme Projesi**

**Muhammet Enes ERKAYA**

**Proje Danışmanı**  
**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Arcan TUZCU**

**Ankara, 2024**



**T.C.**  
**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**  
**DÖNEM PROJESİ DEĞERLENDİRME FORMU**



**Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü'ne,**

**Enstitünüz İşletme Anabilim Dalı 22962276 numaralı tezsiz yüksek lisans öğrencisi Muhammet Enes ERKAYA'nın "Dünyada ve Türkiye'de Yeşil Enerji" adlı "Green Energy in the World and Turkey" tezsiz yüksek lisans dönem projesi tarafımda değerlendirilmiş olup,**

**BAŞARILI**

☒

**BAŞARISIZ**

☐

**bulunmuştur.**

**Dönem projesi danışmanı olarak, adı geçen öğrencinin notunun, dönem projesinin Enstitünüz Müdürlüğü'ne tesliminden önce Öğrenci İşleri Bilgi Sistemi'ne (OİBS) tarafımdan işlendiğini beyan ederim.**

**DÖNEM PROJESİ DANIŞMANI ONAYI**

**TARİH: 13.06.2024**

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Arcan TUZCU**

**T.C.**  
**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**  
**Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü'ne,**

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Arcan TUZCU danışmanlığında hazırladığım “Dünyada ve Türkiye’de Yeşil Enerji (Ankara.2024)” adlı Tezsiz Yüksek Lisans Bitirme Projesindeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

13.06.2024

Muhammet Enes ERKAYA

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>İÇİNDEKİLER.....</b>                                                        | <b>i</b>  |
| <b>GİRİŞ.....</b>                                                              | <b>1</b>  |
| <b>BİRİNCİ BÖLÜM.....</b>                                                      | <b>3</b>  |
| <b>DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE YEŞİL ENERJİ ve TÜRLERİ .....</b>                     | <b>3</b>  |
| 1.1. Yeşil Enerji Kavramı.....                                                 | 3         |
| 1.1.1. Enerji Kaynakları .....                                                 | 3         |
| 1.1.2. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları .....                                   | 3         |
| 1.1.3. Yenilenebilir (Yeşil) Enerji Kaynakları.....                            | 6         |
| 1.1.3.1. Güneş Enerjisi .....                                                  | 6         |
| 1.1.3.2. Rüzgâr Enerjisi.....                                                  | 7         |
| 1.1.3.3. Jeotermal Enerji.....                                                 | 7         |
| 1.1.3.4. Biyokütle Enerjisi.....                                               | 8         |
| 1.2. Dünyada Yeşil Enerji .....                                                | 9         |
| 1.2.1. Yenilenebilir Enerji Üretimi .....                                      | 9         |
| 1.2.2. Dünya Enerji Kapasitesinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....         | 11        |
| 1.2.3. Hidro Enerji Üretimi .....                                              | 11        |
| 1.2.4. Rüzgâr Enerjisi Üretimi .....                                           | 12        |
| 1.2.5. Güneş Enerjisi Üretimi .....                                            | 12        |
| 1.2.6. Jeotermal Enerji Üretimi.....                                           | 13        |
| 1.3. Türkiye’de Yeşil Enerji .....                                             | 14        |
| 1.3.1. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji.....                                    | 14        |
| 1.3.2. Yeşil Enerji Kaynakları ve Kapasitesi.....                              | 14        |
| 1.3.3. Türkiye Bakımından Yeşil Enerjinin Önemi ve Geleceği.....               | 20        |
| <b>İKİNCİ BÖLÜM .....</b>                                                      | <b>22</b> |
| <b>DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE YEŞİL ENERJİ .....</b>                                | <b>22</b> |
| 2.1. Dünyada ve Türkiye’de Enerjideki Dönüşüm ve İhtiyacı .....                | 22        |
| 2.2. Enerjideki Dönüşümün Siyasi, Ekonomik ve Teknolojik Boyutları.....        | 27        |
| 2.3. Ülkelerin Muhtemel Enerji Hamle ve Stratejileri ile Gelecek Senaryoları . | 34        |
| 2.3.1. Avrupa Birliği (AB) .....                                               | 34        |
| 2.3.2. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) .....                                 | 36        |
| 2.3.3. Rusya, Çin ve Latin Amerika .....                                       | 38        |

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4. Enerji Dönüşümünde Mevcut AB Mevzuatı ve AB’deki Gelişmeler.....     | 40        |
| 2.5. Türkiye'nin Enerji Dönüşümünde AB Mevzuatına Uyum Faaliyetleri ..... | 42        |
| <b>SONUÇ .....</b>                                                        | <b>45</b> |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>                                                     | <b>47</b> |
| <b>ÖZET .....</b>                                                         | <b>55</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                     | <b>56</b> |

## GİRİŞ

Enerji, insan yaşamının temel bir bileşeni olup, ülkelerin refah, sosyal, politik ve ekonomik düzeylerini belirlemede oldukça önemlidir. Enerji talebini artıran en önemli faktörler teknolojik gelişmeler, hızlı nüfus artışı ve yükselen yaşam standartlarıdır. Günümüzün en yaygın enerji kaynakları olan petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıt rezervlerinin dengesiz dağılımı, ülkeler arasında fosil yakıt rezerv zenginliği açısından önemli farklılıklar oluşmasına neden olmaktadır.

Enerji üretimi ve tüketiminin küresel manzarası, iklim değişikliğiyle mücadele ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının güvence altına alınmasına yönelik acil ihtiyaçtan kaynaklanan derin bir dönüşüm geçirmektedir. Güneş, rüzgâr, hidro ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir kaynakları kapsayan yeşil enerji, bu değişimin ön saflarında yer almaktadır. Dünyanın dört bir yanındaki ülkeler fosil yakıtların çevresel etkileri ve yenilenemeyen kaynakların sınırlı doğası ile boğuşurken, yeşil enerji daha temiz, daha esnek bir enerji geleceğine doğru uygun bir yol sunmaktadır.

Öte yandan, enerji talebindeki artış genellikle küresel refah ve refah artışıyla bağlantılıdır. Enerji kaynağı ne olursa olsun, küresel enerji talebinin genellikle on yıllar boyunca katlanarak arttığı gözlemlenmekte olup, bu eğilimin devam etmesi oldukça muhtemeldir. Gelişen yaşam standartları ve küresel nüfustaki kayda değer artışla birlikte, önümüzdeki 20 yıl içinde elektrik üretiminin mevcut kullanıcıların neredeyse yarısı kadar artacağı öngörülmektedir. Sonuç olarak, enerji talebindeki artışın enerji kaynaklarına göre enerji tüketiminde değişikliklere yol açacağı vurgulanabilir. Yeterli enerjiyi sağlamak için küresel çapta malzeme geri dönüşümü, atık azaltımı, yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması, yenilenemeyen kaynakların çıkarılmasının aşamalı olarak durdurulması gibi çeşitli sürdürülebilir gelişmeler ile enerji kullanımının verimliliğinin artırılması ve enerji tasarrufu gibi teknolojik önlemlerin alınması planlanmaktadır.

Günümüzde dünya genelinde yenilenebilir enerji kapasitelerinin dinamik bir şekilde yayıldığı gözlemlenmesine rağmen, küresel enerji piyasası yenilenemeyen enerji kaynaklarına dayanmaya devam etmektedir. Dünya yenilenebilir enerji sektörünün büyümesinin ana itici güçlerinin politika faktörleri, özellikle de yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimini teşvik etmek için iyi tasarlanmış destek mekanizmalarının uygulanması olduğunu göstermiştir. Bu tür destek araçları ağırlıklı olarak enerji

sektöründe uygulandığından, ulaşım, ısıtma ve soğutma sektörlerinde řu anda lider konumdadır. Motivasyon araçlarının yetersiz uygulanması ise bu sektörlerin gelişimini yavaşlatmaktadır.

Diğeri yandan, Türkiye'nin enerji stratejisi özellikle dikkate değerdir. Avrupa ve Asya'nın kesişme noktasında yer alan Türkiye, yenilenebilir enerji potansiyeli açısından zengin olmasının yanı sıra, enerji portföyünü çeşitlendirmek ve ithal fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmak için stratejik bir motivasyonu bulunmaktadır. Türk enerji sektörü, ülkenin kalkınmasının ana itici gücü olarak istihdam ve ekonomik büyümede uzun zamandır kritik bir rol oynamaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarak, ülkenin en son bütçe planlaması, ülke genelinde yeni yenilenebilir, nükleer ve fosil yakıtlı enerji santrallerine ve genel olarak çeşitli enerji inovasyon fonlarına ülke bütçesinin %5'inden fazlası kadar fon tahsisi sağlamak ve yenilikçi, gelişmekte olan yenilenebilir enerji teknolojilerinin ticarileştirilmesi yoluyla sürdürülebilir gelişmeleri desteklemek üzere hazırlanmaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde, dünyada ve Türkiye'de yeşil enerji ve türleri ele alınmakla birlikte, Türkiye bakımından yeşil enerjinin önemi ve geleceği ele alınmaktadır. İkinci bölümde ise, dünyada ve Türkiye'de enerjideki dönüşüm ve ihtiyacı, enerjideki dönüşümün siyasi, ekonomik ve teknolojik boyutları, ülkelerin muhtemel enerji hamle ve stratejileri ile gelecek senaryoları, enerji dönüşümünde mevcut AB mevzuatı ve AB'deki Gelişmeler ile Türkiye'nin enerji dönüşümünde AB mevzuatına uyum faaliyetleri analiz edilmektedir. Çalışmada ayrıca, Türkçe ve İngilizce kaynaklardan istifade edilerek, basılı materyaller, kitaplar, makaleler ve araştırma raporları kullanılmakta, internet yayınları ve haberlerden istifade edilmektedir.

## BİRİNCİ BÖLÜM

### DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE YEŞİL ENERJİ ve TÜRLERİ

#### 1.1. Yeşil Enerji Kavramı

Geçmişten günümüze, enerji kavramı ve sürdürülebilir enerji kaynakları dünyadaki önemli konulardan ve hatta savaş ile çatışma nedenlerinden biri olmuştur. Enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve petrol, kömür ve atom enerjisi gibi yenilenemeyen kaynakların bilinçsizce tüketilmesi ile bu kaynakların çevre ve atmosfere olan etkileri, insanları yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yönlendirmektedir (Külekçi, 2009).

Yenilenebilir enerji, genellikle yeraltı kaynaklarına ihtiyaç duymadan, üretim sürecine girmeden büyük ölçüde yer üstünde temin edilebilen, fosil kaynaklardan gelmeyen ve çevreye daha az zarar veren enerji kaynakları olarak tanımlanır (Özkan, 2016). Geleneksel enerji kaynaklarına karşılık, yenilenebilir enerji sürekli bir devinimle kendini yenileyebilen ve yeryüzünde hazır halde bulunan enerji olarak da ifade edilebilir (Adıyaman, 2012). Başka bir deyişle, yenilenebilir enerji, doğal döngülerde mevcut olan enerji akışından elde edilen bir enerji türü olarak ele alınmaktadır. Geleneksel enerji kaynaklarına karşılık, yenilenebilir kaynaklar birçok çevresel fayda sağlamaktadır (Ata ve Öcal, 2014; Özkan, 2014).

Türkiye’nin enerji profili incelendiğinde, yenilenebilir enerji kaynakları kavramının oldukça önemli bir konuma sahip olduğu görülmektedir. Ancak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı oldukça düşük seviyelerde olup bu tür enerjilere yeterince ilgi gösterilmemektedir. Özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinin kullanımı, Türkiye’nin enerji bütçesine önemli katkılar sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından doğru ve sağlıklı bir şekilde yararlanmak için plan, politika ve stratejilerin önemi giderek artmaktadır (Öztürel ve Ecevit, 2001). Türkiye’de enerji üreten yenilenebilir enerji türleri arasında güneş enerjisi, rüzgâr gücü, hidroelektrik güç ve jeotermal enerji sıralanabilir.

##### 1.1.1. Enerji Kaynakları

##### 1.1.2. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Yenilenemeyen enerji kaynakları, toplumların gelişmesinde, sanayileşmesinde ve bu sayede çağ atlamalarında çok önemli bir rol oynamıştır. Kömür, petrol ve

doğalgaz gibi fosil yakıtları ile nükleer enerjiyi içeren bu kaynaklar, sınırlı kullanılabilirlikleri ve tükenme potansiyelleri ile karakterize edilmektedir. Küresel enerji talepleri artmaya devam ettikçe, bu yenilenemeyen kaynaklara olan bağımlılık önemli ekonomik, çevresel ve jeopolitik sonuçlara yol açmıştır.

Yenilenemeyen enerji kaynakları öncelikle fosil yakıtlar ve nükleer enerji olarak ikiye ayrılır. Fosil yakıtlar, milyonlarca yıllık ısı ve basınca maruz kalan eski bitki ve hayvan kalıntılarından elde edilen organik maddelerdir. Başlıca fosil yakıtlar kömür, petrol ve doğalgazdır.

- Kömür: Sanayi Devrimi'nden bu yana yaygın olarak kullanılan en eski enerji kaynaklarından biri olan kömür, öncelikle elektrik üretimi ve çelik üretimi için kullanılmaktadır. Bolluğuna ve nispeten düşük maliyetine rağmen, kömürün yanması önemli bir karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve diğer kirletici kaynağıdır. İklim değişikliğine ve hava kalitesinin bozulmasına önemli ölçüde katkıda bulunur (World Coal Association, 2019).
- Petrol: Çok yönlülüğü ile bilinen petrol, ulaşım, ısınma ve petrokimya endüstrisinde hammadde olarak kullanılan önemli bir enerji kaynağıdır. Petrolün çıkarılması, rafine edilmesi ve tüketilmesinin petrol sızıntıları, sera gazı emisyonları ve habitat tahribatı gibi derin çevresel etkileri vardır (BP Statistical Review of World Energy, 2020).
- Doğalgaz: Fosil yakıtlar arasında en temiz olarak kabul edilen doğal gaz, öncelikle elektrik üretimi, ısıtma ve endüstriyel hammadde olarak kullanılmaktadır. Kömür ve petrole kıyasla daha az kirletici üretmesine rağmen, doğal gazın çıkarılması (özellikle hidrolik çatlatma yoluyla) yeraltı suyu kirliliği ve güçlü bir sera gazı olan metan sızıntıları gibi riskler oluşturmaktadır (Uluslararası Enerji Ajansı, 2020).

Uranyum veya plütonyum atomlarının fizyonundan elde edilen nükleer enerji, yenilenemeyen bir diğer önemli enerji kaynağıdır. Nükleer enerji santralleri, işletme sırasında minimum CO<sub>2</sub> emisyonu ile büyük miktarlarda elektrik üretir. Ancak, radyoaktif atık yönetimi, yüksek maliyetler ve yıkıcı kaza potansiyeli (örneğin Çernobil ve Fukushima) gibi konular önemli engeller olmaya devam etmektedir (Dünya Nükleer Birliği, 2020).

Küresel enerji tüketiminin geleceği giderek yenilenemeyen enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişe odaklanmaktadır. Bu geçiş, iklim değişikliğini hafifletme, çevresel etkileri azaltma ve sürdürülebilir enerji güvenliği sağlama ihtiyacından kaynaklanmaktadır.

- Teknolojik Gelişmeler: Güneş, rüzgâr ve batarya depolama gibi yenilenebilir enerji teknolojilerindeki yenilikler, bu alternatifleri daha uygulanabilir ve maliyet açısından rekabetçi hale getirmektedir. Araştırma ve geliştirmeye devam edilmesi, yenilenebilir enerjilerin kesinti ve ölçeklenebilirlik zorluklarının üstesinden gelmek için gereklidir (IEA, 2020).
- Politika ve Düzenleme: Hükümet politikaları ve Paris Anlaşması gibi uluslararası anlaşmalar, yenilenebilir enerjinin benimsenmesini teşvik etmede kritik bir rol oynamaktadır. Karbon emisyonlarını azaltmayı ve temiz enerji yatırımlarını teşvik etmeyi amaçlayan teşvikler, sübvansiyonlar ve düzenlemeler hayati önem taşımaktadır (UNFCCC, 2015).
- Enerji Verimliliği: Çeşitli sektörlerde enerji verimliliğinin artırılması, yenilenemeyen enerjiye olan toplam talebi önemli ölçüde azaltabilir. Teknolojideki ilerlemeler ve tüketim davranışındaki değişiklikler, sürdürülebilir bir enerji geleceğinin temel bileşenleridir (IEA, 2020).
- Kamu Bilinci ve Eğitim: Yenilenebilir enerjinin çevresel ve ekonomik faydaları hakkında farkındalık yaratmak, kamu desteğini ve tüketici tercihlerini daha temiz enerji seçeneklerine doğru yönlendirebilir. Eğitim kampanyaları ve toplum katılımı, sürdürülebilirlik kültürünü teşvik etmek için çok önemlidir (IRENA, 2020).

Yenilenemeyen enerji kaynakları, ekonomik kalkınma ve teknolojik ilerleme için gerekli enerjiyi sağlayarak modern dünyanın şekillenmesinde etkili olmuştur. Bununla birlikte, çevresel, ekonomik ve sosyal dezavantajları, yenilenebilir enerjiye acil geçiş ihtiyacının altını çizmektedir. Küresel toplum enerji güvenliği ve iklim değişikliği gibi ikiz zorluklarla karşı karşıya olduğundan, sürdürülebilir enerji çözümlerini benimsemek, dayanıklı ve müreffeh bir gelecek sağlamak için kritik öneme sahip olacaktır. Yenilenebilir enerji teknolojilerine yatırım yapılarak, destekleyici politikalar uygulanarak ve kamu bilincini geliştirilerek daha temiz, daha sürdürülebilir bir enerji ortamına giden yolu açılabilir.

### 1.1.3. Yenilenebilir (Yeşil) Enerji Kaynakları

IEA (2013) yenilenebilir enerjiyi, tüketildiklerinden daha hızlı bir şekilde güneş ışığı ve rüzgâr gibi yenilenen doğal süreçlerden elde edilen enerji olarak tanımlamaktadır. Benzer şekilde, ABD Enerji Bakanlığı (NREL, 2001) yenilenebilir enerjinin doğa tarafından sürekli olarak yenilenen güneş, rüzgâr, su, dünyanın ısısı ve bitkiler gibi enerji kaynaklarını kullandığını belirtmektedir. Güneş, rüzgâr, jeotermal, hidro ve bazı biyokütle türleri yaygın yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları güneş, biyokütle, jeotermal, rüzgâr ve hidroelektrik burada kısaca açıklanmaktadır.

#### 1.1.3.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, esas olarak güneşten gelen elektromanyetik enerjidir. Güneş, %92 hidrojen ve %8 helyumdan oluşan ve iz miktarda diğer atom ve elementleri içeren plazma bir enerji kaynağıdır. Plazma, ultra yüksek sıcaklık nedeniyle elektronların çekirdekten ayrıldığı madde hallerinden biridir (Yakıcı ve Pabuçcu, 2013).

Güneş enerjisi, güneş enerjisinin elektrik veya ısı gibi faydalı formlara dönüştürülmesini ifade eder. Belirli bir yerde alınan güneş radyasyonu miktarı, coğrafi konum, günün saati, mevsim, yerel manzara ve yerel hava durumu gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Güneş enerjisi iki yolla elektriğe dönüştürülebilir (Enerji Bakanlığı, 2022):

- Fotovoltaik (Photovoltaics - PV) veya güneş pilleri: Güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürür.
- Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Santralleri (Concentrated Solar Power - CSP): Buhar üreten sıvıyı ısıtmak için güneş termal kolektörlerinden gelen ısıyı kullanarak elektrik üretir. Buhar, bir türbine güç sağlamak ve elektrik üretmek için kullanılır.
- Solar Termal Sistemler: Bu sistemler güneş ışığını yoğunlaştırmak ve ısıya dönüştürmek için aynalar veya mercekler kullanır. Bu ısı doğrudan kullanılabilir veya elektriğe dönüştürülebilir.

Coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat) ve ortalama toplam radyasyon basıncı 1,311 kWh/m<sup>2</sup>/yıl olarak tahmin edilmektedir. Türkiye'nin ekonomik güneş enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak tahmin edilmektedir (Enerji Bakanlığı, 2022).

### 1.1.3.2. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, rüzgârın dünya üzerindeki hareketinden elde edilen enerjidir. Okyanusların, yeryüzünün ve atmosferin güneş tarafından ısıtılması sonucu oluşur. Güneşten yeryüzüne ulaşan enerjinin %1 ila %2'si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir.

Bu dönüşüm aşağıda sunulan araçlarla sağlanmaktadır:

- Rüzgar Türbinleri: Rüzgar enerjisini yakalamak için kullanılan birincil teknoloji. Rüzgâr türbinleri kanatlar, bir rotor, bir nacelle (jeneratörü barındıran) ve bir kuleden oluşur.
- Kanatlar: Rüzgârı yakalar ve döndürür.
- Rotor: Kanatlardan gelen dönme enerjisini dönüştürür.
- Nacelle: Jeneratörü ve diğer önemli bileşenleri barındırır.
- Kule: Daha güçlü ve daha tutarlı rüzgarları yakalamak için türbini yükseltir.
- Elektrik Üretimi: Rüzgâr türbin kanatlarını döndürdükçe, rotor elektrik üretmek için bir jeneratörü döndürür.

### 1.1.3.3. Jeotermal Enerji

Jeotermal Enerji, yeraltındaki derin kayalarda biriken ısıнын akışkanlar tarafından taşınarak rezervuarlarda depolanmasıyla oluşan sıcak su, buhar ve kuru buhar ile sıcak kuru kayalardan elde edilen ısı enerjisidir. Jeotermal kaynaklar çoğunlukla aktif fay sistemleri ile volkanik ve magmatik birimlerin çevresinde bulunur (Enerji Bakanlığı, 2022).

Jeotermal enerjiden şu şekilde istifade edilmektedir (DoE, 2021):

- Isı Kaynakları: Yerin derinliklerindeki sıcak kayalar ve magmanın yaydığı ısı olarak tanımlanır.
- Jeotermal Kuyular: Bu ıyıyı yüzeye çıkarmak için sondaj yapılarak kuyular açılır.

- Buhar ve Sıcak Su: Yerin altındaki sıcak su ve buhar, yüzeye çıkartılarak elektrik üretiminde kullanılır.
- Jeotermal Santraller: Buhar türbinleriyle elektrik üreten santraller. Bu santraller genellikle üç türde sınıflandırılır. Bunlar, doğrudan buhar kullanılarak elektrik üreten kuru buhar santralleri, yüksek basınçlı sıcak suyun düşük basınçta buhara dönüştürülmesiyle çalışan flaş buhar santralleri ile Jeotermal sıvılar, düşük kaynama noktasına sahip ikinci bir sıvıyı ısıtarak buhar üreten ikili döngü santralleri olarak sıralanmaktadır.

#### **1.1.3.4. Biyokütle Enerjisi**

Biyokütle, yaşayan veya yakın zamanda yaşamış organizmalardan elde edilen biyolojik materyaldir. Tüm organik maddeler biyokütle olarak bilinir ve yenildiğinde, yakıldığında veya yakıtla dönüştürüldüğünde biyokütleden açığa çıkan enerjiye biyokütle enerjisi denilmektedir. Ancak, günümüzde ticari olarak kullanılan biyokütlenin çoğu sürdürülebilir olmayan kaynaklardan gelmektedir (NRDC, 2013).

Biyokütle sürdürülebilir bir şekilde üretilirse, biyodizel, biyogaz, biyo-etanol gibi modern biyokütle olarak adlandırılmaktadır (Geri Dönüşümün Faydaları, 2013). Son yıllarda, geleneksel biyokütlenin yenilenebilir bir kaynak olup olmadığı konusunda, geleneksel biyokütlenin yenilenebilir bir kaynak olmadığı yönündeki görüşler nedeniyle tartışmalı bir konu haline gelmiştir (Goldemberg ve Coelho, 2004).

#### **1.1.3.5. Hidrolik Enerji**

Hidroelektriği, dağlardan, akarsulardan ve berrak göllerden kış ve ilkbahar akışları nedeniyle akan suyu kullanan yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak tanımlamaktadır. Su yerçekimi nedeniyle düşer, türbinleri döndürür ve jeneratörler elektrik üretir. Hidroelektrik santraller (HES), akan suyun gücünü elektriğe dönüştürür. Akan suyun enerji miktarı, suyun akış hızı veya su debisi tarafından belirlenir. Büyük bir nehirde akan su, büyük miktarda enerjiye sahiptir. Ya da su yüksek bir noktadan aktığında, yüksek miktarda enerji elde edilir. Her iki durumda da, borulara veya kanallara alınan su, türbinlere doğru akar ve güç üretimi için pervane benzeri bir kolon bulunan türbinleri döndürür. Türbinler jeneratörlere dayanır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler (Enerji Bakanlığı, 2022).

Son zamanlarda, hangi hidroelektrik projelerinin yenilenebilir olarak değerlendirilebileceği konusunda önemli bir tartışmalar yaşanmaktadır. Yenilenebilir olarak nitelendirilen kaynakların türü, yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimini artırmak için düzenleyici bir yetki olan Yenilenebilir Portföy Standardının (RPS) temel unsurlarından biridir (NREL, 2013). Örneğin, Yenilenebilir Portföy Standardının (RPS) amacı yeni yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesini teşvik etmek olduğundan, ABD'nin çoğu eyaleti mevcut hidroelektrik enerjinin uygun olmasına izin vermemektedir (Hydropower Reform Coalition, 2013). Ancak, her ülke hidroelektriğe kendi yöntemiyle yaklaşmaktadır. Bazı ülkelerde hidroelektrik boyuta göre kısıtlanırken, bazılarında teknolojiye göre kısıtlanmaktadır (Fagan ve Knight, 2011).

En yaygın hidroelektrik santrali türü, suyu yapay bir rezervuarda depolamak için nehir üzerine inşa edilen bir barajdan oluşur. Rezervuardan salınan su bir türbinden akarak onu döndürür ve bu da elektrik üretmek için bir jeneratörü harekete geçirir. Diğer iki hidroelektrik santral türü ise Türkiye'de kullanılmayan nehir tipi santraller ve pompaj depolamalı santrallerdir.

Diğer yandan, Türkiye geniş hidroelektrik kaynaklarına sahiptir. Türkiye, 25 nehir havzası ve çeşitli topografyası ile Avrupa'nın teorik hidroelektrik potansiyelinin %17,6'sına ve dünya toplamının %1,5'ine sahiptir. Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli 433 milyar kWh/yıl, ekonomik hidroelektrik potansiyeli ise 140 milyar kWh/yıl olarak tahmin edilmektedir (YEGM, 2012).

## **1.2. Dünyada Yeşil Enerji**

### **1.2.1. Yenilenebilir Enerji Üretimi**

Küresel enerji ortamı, iklim değişikliğinin, kaynakların tükenmesinin ve teknolojik ilerlemelerin getirdiği zorunluluklar nedeniyle önemli bir dönüşümden geçiyor. Doğal süreçlerden elde edilen ve tüketildiğinden daha hızlı yenilenen enerji olarak tanımlanan yenilenebilir enerji, küresel enerji karışımının önemli bir bileşeni olarak ortaya çıkmaktadır.

Geçen 10 yıl yenilenebilir enerji üretiminde katlanarak artan bir büyümeye tanık olmuştur. Uluslararası Enerji Ajansı'na (International Energy Agency - IEA) göre yenilenebilir enerji, 2021'de küresel elektrik üretiminin neredeyse %29'unu oluşturmaktadır. Bu oran 2010'da sadece %10 iken önemli bir artış gözlemlenmiştir

(IEA, 2022). Bu büyüme öncelikle yenilenebilir teknolojilerin artan rekabet gücünden, destekleyici hükümet politikalarından ve artan çevre bilincinden kaynaklanmaktadır.

Yenilenebilir enerji üretimi, farklı yenilenebilir kaynakların benimsenmesi ve kullanılmasında önemli farklılıklar göstererek dünya çapında eşit olmayan bir şekilde dağılmıştır.

Avrupa, özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerjinin benimsenmesinde ön sıralarda yer almaktadır. Avrupa Birliği'nin Yeşil Anlaşması, kıtayı 2050 yılına kadar karbon nötr hale getirmeyi ve sera gazı emisyonlarını 2030 yılına kadar 1990 seviyelerine kıyasla %55 oranında azaltmayı hedeflemektedir (Avrupa Komisyonu, 2020). Almanya, İspanya ve Danimarka gibi ülkeler rüzgâr enerjisi üretiminde lider konumdayken, İtalya ve Yunanistan güneş enerjisinde önemli oyuncular olarak öne çıkmaktadır.

Asya, Çin ve Hindistan'ın öncülüğünde yenilenebilir enerji kapasitesini hızla geliştirmektedir. Dünyanın en büyük yenilenebilir enerji üreticisi olan Çin, rüzgâr, güneş ve hidroelektrik enerjisine büyük yatırım yapmaktadır. 2021 itibarıyla Çin, küresel yenilenebilir kapasite ilavelerinin %40'ını oluşturmaktadır. Hindistan da 2022 yılına kadar 175 GW yenilenebilir enerji kapasitesine ulaşma yönündeki iddialı hedefleriyle önemli bir ilerleme kaydetmektedir. Ancak, bu hedeflerin karşılanmasında zorluklar sürmektedir (REN21, 2022).

Kuzey Amerika'da, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Kanada yenilenebilir enerji üretimine önemli katkılarda bulunmaktadır. ABD, eyalet düzeyindeki politikalar ve federal teşvikler sayesinde rüzgâr ve güneş enerjisine önemli yatırımlar yapmaktadır. Geniş hidro enerji kaynaklarına sahip olan Kanada, elektriğinin önemli bir kısmını rüzgâr ve güneş enerjisiyle desteklenen hidroelektrik enerjiden elde etmektedir (DoE, 2021).

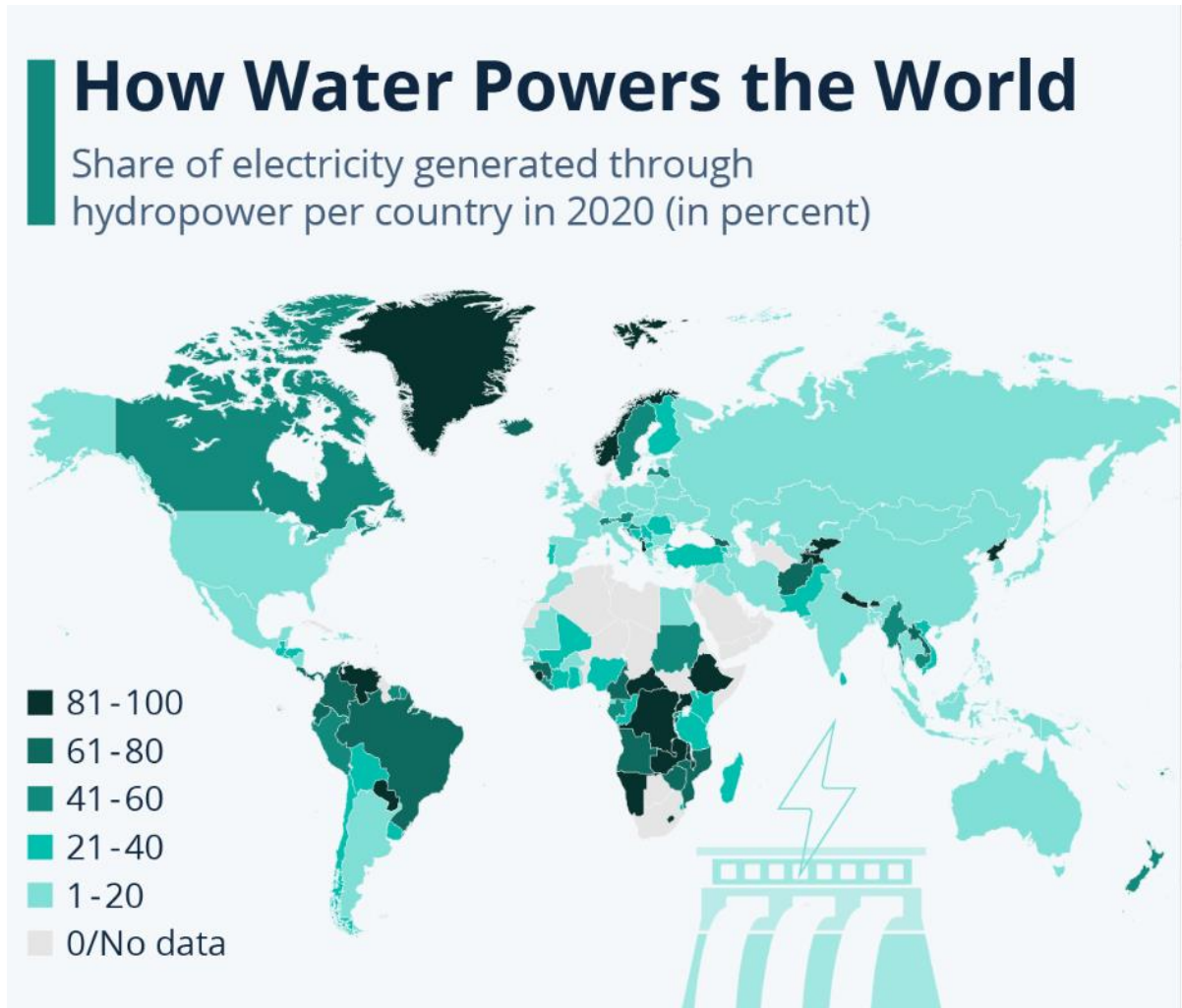
Diğer taraftan, Afrika özellikle güneş ve rüzgâr olmak üzere çok büyük bir yenilenebilir enerji potansiyeline sahip olsa da, finansal ve altyapısal zorluklar nedeniyle gelişimi daha yavaş olabilmektedir. Ancak, Afrika Yenilenebilir Enerji Girişimi gibi girişimler, kıta genelinde yenilenebilir enerjinin benimsenmesini hızlandırmayı amaçlamaktadır (IRENA, 2020).

### 1.2.2. Dünya Enerji Kapasitesinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel enerji kapasitesindeki payında önemli bir artış görüldü. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'na (IRENA) göre yenilenebilir kaynaklar, küresel elektrik üretim kapasitesinin yaklaşık %28'ini oluşturmaktadır. Oysa, bu oran 10 yıl öncesinde yaklaşık %20 seviyelerinde bulunmaktaydı (IRENA, 2021).

### 1.2.3. Hidro Enerji Üretimi

Hidroelektrik, küresel elektrik üretiminin yaklaşık %16'sını oluşturarak en büyük yenilenebilir elektrik kaynağı olmayı sürdürmektedir (IRENA, 2021).



**Şekil 1.** Dünyada hidroelektrik üretimi, (Zandt, 2022)

Haritanın incelenmesinden de görüleceği üzere, Çin, Brezilya, Kanada gibi ülkelerdeki büyük ölçekli projeler bu kapasiteye önemli katkı sağlamaktadır.

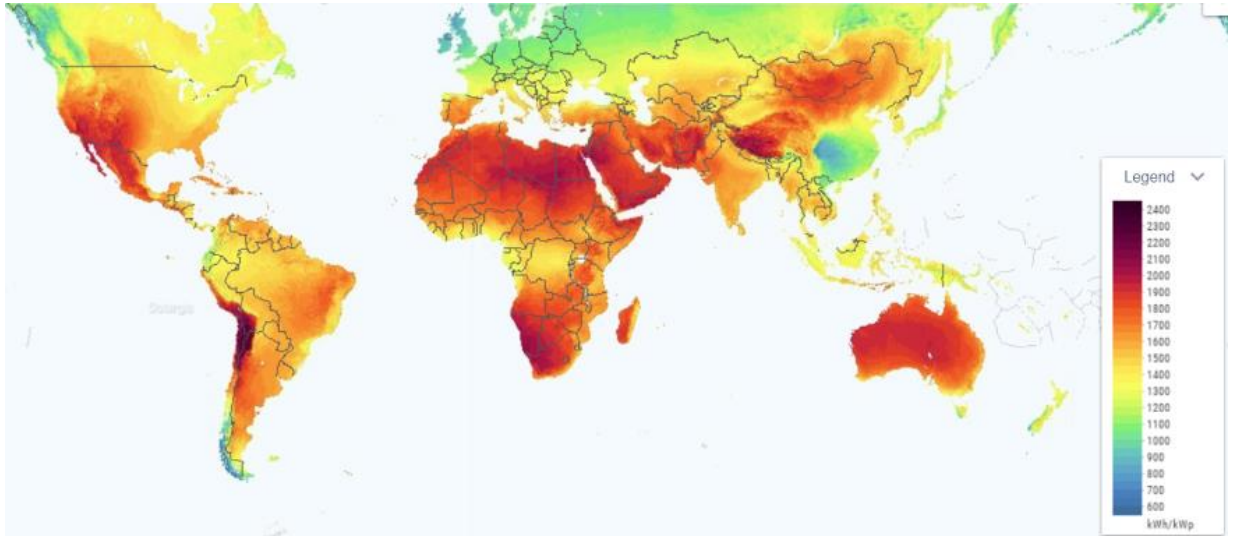
#### 1.2.4. Rüzgâr Enerjisi Üretimi

Rüzgâr enerjisi de 2021'de yaklaşık 743 GW'lık küresel kapasiteyle önemli bir genişleme kaydetti (Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi, 2021). Karadaki rüzgar pazara hakimdir, ancak denizdeki rüzgar özellikle Avrupa ve Çin'de ilgi kazanmaktadır.

Daha büyük, daha verimli rüzgar türbinlerinin geliştirilmesi, rüzgar enerjisinin maliyetinin azaltılmasında önemli bir etken olmuştur. Yüzen açık deniz rüzgar türbinleri gibi yenilikler, geleneksel sabit tabanlı türbinlerin mümkün olmadığı daha derin sularda rüzgar enerjisi potansiyelini genişletiyor (GWEC, 2021).

#### 1.2.5. Güneş Enerjisi Üretimi

Güneş enerjisi yenilenebilir kaynaklar arasında en hızlı büyümeyi yaşayan enerji kaynağı olmuştur. Güneş fotovoltaiklerinin (PV) küresel kurulu kapasitesi, azalan maliyetler ve destekleyici politikaların etkisiyle 2021 sonu itibarıyla 760 GW'ın üzerine çıktı (IEA, 2022). Çin, ABD ve Hindistan gibi ülkeler güneş enerjisi kapasitesi artışlarında başı çekmektedir.



**Şekil 2.** Dünya güneş enerjisi potansiyeli, (Maguire, 2023)

Öte yandan, özellikle perovskit güneş pilleri ve iki yüzeyli panellerin geliştirilmesi yoluyla güneş pili verimliliğindeki ilerlemeler, güneş enerjisi tesislerinin enerji verimini artırmıştır (NREL, 2022). Ek olarak, üretim süreçlerindeki iyileştirmeler güneş modüllerinin maliyetini önemli ölçüde azaltmaktadır.

### 1.2.6. Jeotermal Enerji Üretimi

Güneş ve rüzgarla karşılaştırıldığında ölçek olarak daha küçük olsa da jeotermal ve biyokütle enerjisi belirli bölgelerde hayati rol oynamaktadır. Jeotermal enerji özellikle İzlanda ve Filipinler gibi ülkelerde önemliyken, biyokütle hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde ısınma ve enerji üretimi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3. Dünya jeotermal enerji kapasitesi, (IGA, 2014)

Diğer yandan, enerji depolama teknolojilerindeki, özellikle de lityum iyon pillerdeki ilerlemeler, güneş ve rüzgâr enerjisiyle ilgili kesinti sorunlarını gidermiştir. Şebekeleri istikrara kavuşturmak ve güvenilir bir yenilenebilir enerji tedariki sağlamak için büyük ölçekli pil depolama sistemleri kullanılmaktadır (IEA, 2021).

Yenilenebilir enerji kaynakları, teknolojik gelişmeler, ekonomik faydalar ve iklim değişikliğine yönelik acil ihtiyaç nedeniyle küresel enerji kapasitesinde giderek daha hayati bir rol oynamaktadır. Önemli ilerleme kaydedilmiş olsa da sürdürülebilir ve dirençli bir enerji geleceği elde etmek için sürekli inovasyon, yatırım ve politika desteği gerekiyor. Yenilenebilir enerjinin hâkim olduğu bir dünyaya geçiş sadece mümkün değil, aynı zamanda sürdürülebilir bir gelecek için de gereklidir.

### **1.3. Türkiye’de Yeşil Enerji**

#### **1.3.1. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji**

Enerji sektöründe yaşanan dönüşümler ve sürdürülebilir enerjiye geçiş, Türkiye gibi ülkeler için büyük önem taşımaktadır. Fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması, çevresel etkilerin en aza indirilmesi ve enerji güvenliğinin sağlanması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmaktadır. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça zengin bir ülke olmasına rağmen, bu potansiyelin tam anlamıyla değerlendirilebilmesi için daha fazla yatırıma ve teknolojiye ihtiyaç duyulmaktadır.

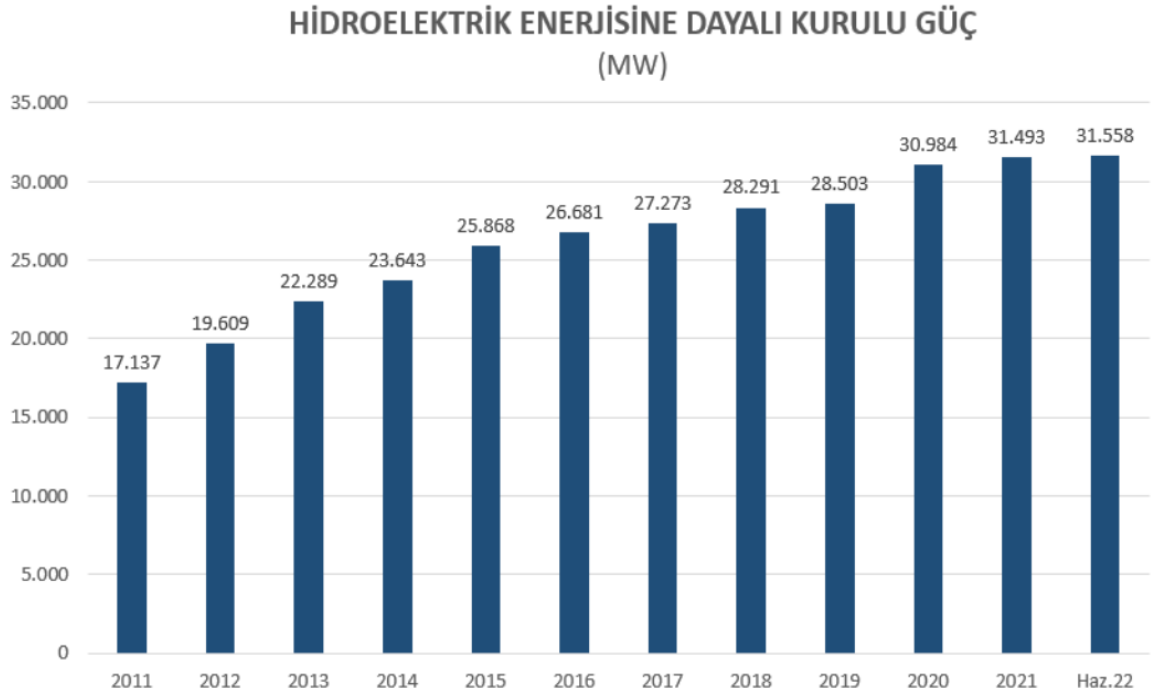
Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından büyük bir potansiyele sahip olup, bu potansiyelin değerlendirilmesi için önemli adımlar atmaktadır. Teknolojik gelişmeler, ekonomik faydalar ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların artması beklenmektedir. Türkiye’nin enerji geleceği, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı ile şekillenecektir.

#### **1.3.2. Yeşil Enerji Kaynakları ve Kapasitesi**

##### **1.3.2.1. Hidrolik Enerji**

Türkiye'nin çok sayıda nehir ve farklı topoğrafya ile karakterize edilen zengin coğrafyası, hidroelektrik enerjinin geliştirilmesi için geniş fırsatlar sunmaktadır. Yıllar geçtikçe Türkiye, artan enerji ihtiyacını karşılamak için akan suyun gücünden yararlanarak hidroelektrik altyapısına büyük yatırımlar yapmıştır.

Türkiye'de hidroelektrik enerjisinin tarihi 20. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır. 1950'lerde inşa edilen Seyhan ve Keban barajları ülkenin hidroelektrik gelişiminde önemli kilometre taşları olmuştur. O tarihten bu yana Türkiye, hidroelektrik potansiyelinden yararlanmak için iddialı bir program başlatmış ve bunun sonucunda ülke çapında çok sayıda baraj, rezervuar ve enerji santrali inşa edilmiştir (Enerji Bakanlığı, 2022).

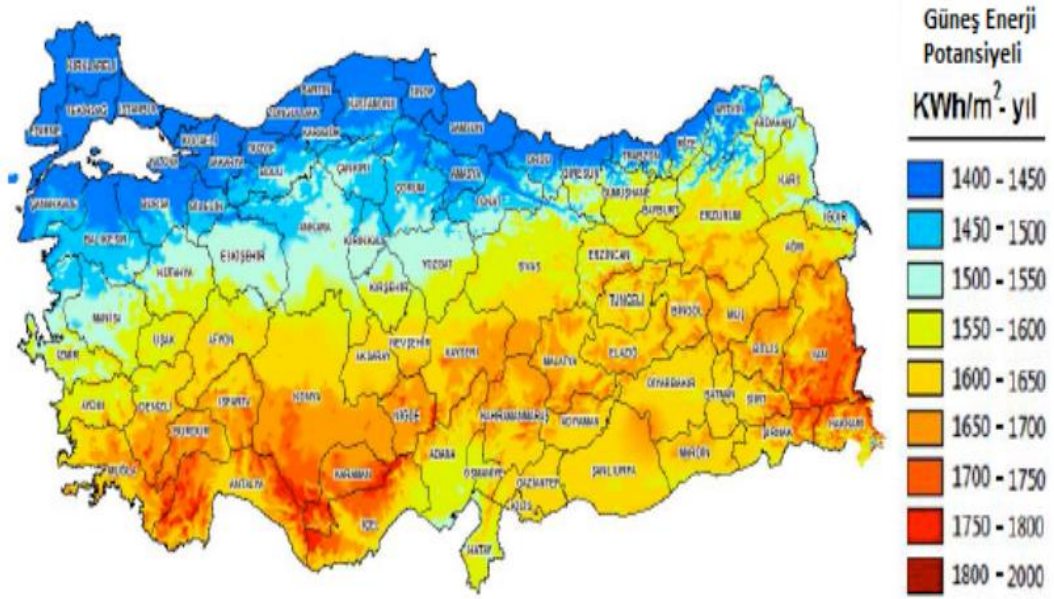


**Şekil 4.** Türkiye'nin Hidroelektrik Kapasitesi (Enerji Bakanlığı, 2022)

Hidroelektrik enerjisi, yenilenebilir elektrik üretimi ve enerji güvenliği açısından önemli faydalar sunarken, aynı zamanda çevresel ve sosyal zorlukları da beraberinde getirmektedir. Büyük ölçekli baraj inşaatı, habitat kaybına, nehir ekosistemlerinin değişmesine ve yerel toplulukların yer değiştirmesine neden olabilmektedir. Ayrıca, rezervuar kaynaklı depremsellik ve sedimantasyon, nehir sistemlerinin ekolojik dengesi üzerinde uzun vadeli etkilere sahip olabilmektedir.

#### 1.3.2.2. Güneş Enerjisi

Güneş ışınlarından elde edilen güneş enerjisi, insanlığın kullanabileceği en bol ve sürdürülebilir enerji kaynaklarından biridir. Kullanımı küçük ölçekli konut uygulamalarından büyük ölçekli güneş enerjisi çiftliklerine kadar uzanmaktadır. Yenilenebilir enerjiye yönelik küresel çaba, güneş enerjisini sürdürülebilir enerji geleceğine geçişin kritik bir bileşeni olarak konumlandırmaktadır.



**Şekil 5.** Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli, (Enerji Bakanlığı, 2022)

Yukarıda maruz haritanın incelenmesinden de görüleceği üzere, Türkiye'nin Karadeniz ve Marmara bölgelerinde yenilenebilir enerji seviyeleri düşüktür. Karadeniz bölgesindeki güneşlenme süreleri Haziran ayında yaklaşık maksimum 8 ile 10 saat arasında değişmektedir (Özkan, 2014). Marmara bölgesinde yıllık  $1.168 \text{ KWh/m}^2$  olan güneş enerjisi, ülke ortalamasının altında olmasına rağmen, Avrupa ile karşılaştırıldığında yüksek bir orandır. Doğu Marmara bölgesinde güneşlenme süreleri ortalama 10 saat iken, İstanbul ilinde bu süre 11 saate kadar çıkabilmektedir. Ayrıca, Çanakkale ve çevresinde güneşlenme süreleri 12 saat olarak belirlenmiştir.

Ege Üniversitesi Enerji Enstitüsü tarafından yapılan bir rapora göre, güneş enerjisi potansiyeli açısından İzmir, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerindeki illerden sonra en avantajlı illerden biridir. Bölgede güneşlenme süreleri 12 saate kadar çıkarken, güneş enerjisinden faydalanma oranları da artmaktadır (Özkan, 2014). Güneş enerjisinin en avantajlı bölgelerinden biri olan Akdeniz bölgesinde güneşlenme süresi 13 saat olarak belirlenmiştir. Bölge güneyde yer aldığı için, güneş radyasyonunun en yoğun olduğu bölgelerden biridir ve güneş enerjisi için önemli bir bölgedir. Bölgede özellikle ısıtma ve sera yetiştiriciliği faaliyetlerinde güneş enerjisinden faydalandığı gözlemlenmektedir (Enerji Bakanlığı, 2022)

Hem Akdeniz hem de Güneydoğu Anadolu bölgelerinin benzer oranlarda gelişme gösterdiği gözlemlenmiştir. Diğer bölgelere kıyasla, Akdeniz ve Güneydoğu

Anadolu bölgeleri belirgin bir avantaja sahiptir ve bu nedenle kolayca ayrılmaktadır. Sonuç olarak, Akdeniz bölgesinde güneş enerjisinden üretilen enerjiyle ilgili kalkınma politikalarının aktif bir rol oynaması beklenmektedir. Enerji Bakanlığı'nın çalışmalarına göre, ortalama aylık güneşlenme süresinin Türkiye ortalamasından her ay için daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. İller genelinde incelendiğinde, yalnızca Hatay'ın Temmuz ve Ağustos aylarındaki güneşlenme süresinin Türkiye ortalamasının altında olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, Kahramanmaraş ve Osmaniye'nin her bir ay için Türkiye ortalamasından daha fazla güneşlenme süresine sahip olduğu görülmektedir (Doğaka, 2014).

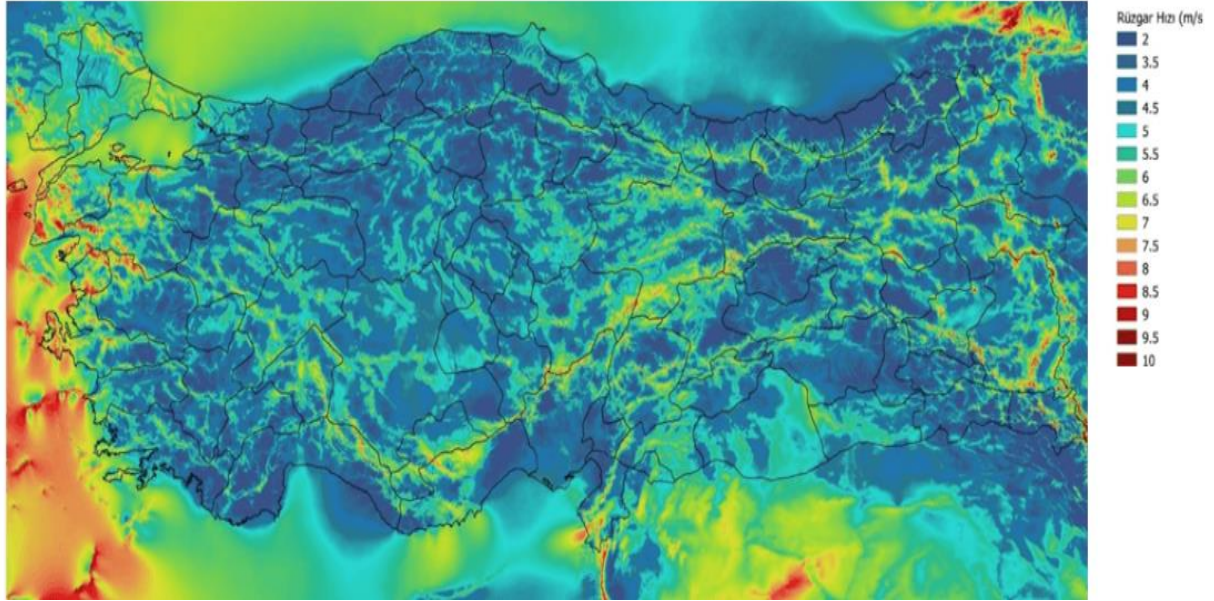
Serhat Kalkınma Ajansı (SERKA) tarafından yapılan bir rapora göre, Ağrı ve Iğdır, bölgedeki güneş enerjisi potansiyeli açısından öne çıkmaktadır. Ayrıca, Ağrı'nın güneş radyasyonu değerleri ve Iğdır'ın uzun güneşlenme süreleri ile güneş enerjisi yatırımları için oldukça uygun olduğu belirtilmektedir. İncelemelere göre, Iğdır'ın yıllık ortalama güneşlenme süresi 9.149 saattir. Anılan bu süre, Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme süresi olan 7.49 saatten yüksektir. Ayrıca, Iğdır'ın yaz aylarındaki güneşlenme süresinin 12 saatin üzerine çıktığı ve Ağrı'nın yıllık ortalama 1700 kWh güneş radyasyonu değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda, rapor, bu illerde fotovoltaik paneller aracılığıyla enerji üretimi için yatırım fizibilitesinin teşvik edilmesi ve güneş enerjisi ile sera yetiştiriciliği için fizibilitelerin yapılması gerektiğini ve bölgede güneş enerjisiyle su ısıtma sistemlerinin yaygınlaştırılmasını önermektedir (Yeşil, 2015).

### **1.3.2.3. Rüzgâr Enerjisi**

Rüzgâr enerjisi, farklı sıcaklıklara sahip hava kütlelerinin yer değiştirmesiyle oluşur. Dünya'ya gelen güneş enerjisinin %1-2'si rüzgâr enerjisine dönüşür. Türkiye'nin coğrafi özellikleri göz önüne alındığında, Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından zengin bir ülke olduğu görülmektedir. Meteoroloji tarafından yapılan ölçümler sonucunda, Güneydoğu Anadolu ve Marmara bölgelerinin rüzgâr gücü yoğunluğunun diğer bölgelere kıyasla oldukça zengin olduğu belirlenmiştir (Ata, 2010).

Fizibilite çalışmaları, Türkiye'nin 50 milyar kWh/yıl olarak tahmin edilen rüzgâr enerjisi üretimi için büyük bir ekonomik potansiyele sahip olduğunu doğrulamıştır (Cebeci, 2005). Türkiye'nin rüzgâr haritasına göre (Şekil ), Türkiye'nin yıllık rüzgar hızı 8,5 m/s ve üzerinde olan bölgelerde minimum 5.000 MW, 7,0 m/s'den yüksek rüzgar

hızına sahip bölgelerde ise 48.000 MW rüzgar enerjisi potansiyeline sahip olduğu tahmin edilmektedir (Enerji Bakanlığı, 2022).



**Şekil 6.** Türkiye'nin Rüzgâr Haritası, (Enerji Bakanlığı, 2022)

Marmara bölgesinin, 10 metre yükseklikte ortalama yıllık rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu açısından maksimum değere sahip olduğu, ortalama rüzgar hızının 3,29 m/sn ve güç yoğunluğunun 51 W/m<sup>2</sup> olduğu doğrulanmıştır. Diğer yandan, Doğu Anadolu bölgesi en düşük seviyede olup, rüzgâr hızı 2,12 m/sn ve güç yoğunluğu 13,19 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. 2014 yılında Türkiye'de, 50 W/m<sup>2</sup> üzerinde sertifikalı 11 rüzgâr çiftliği, 20 W/m<sup>2</sup>'yi aşmayan 14 çiftlik ve 30-40 W/m<sup>2</sup> arasında 15 çiftlik faaliyete geçmiştir.

Rüzgâr enerjisi komitesinin güç tablosu incelendiğinde, gücün %41'inin Ege bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir. Ege bölgesindeki rüzgar enerjisi komitesi, gücün %40'ının İzmir il sınırları içinde yoğunlaştığını belirtmektedir. 312,4 MW olarak belirlenen bu güç oranı, yıllık 826.500.000 kWh elektrik üretimini işaret etmektedir. Ayrıca, Ege bölgesinden elde edilen rüzgar elektriği, yıllık 2.000.000.000 kWh olup, İzmir'in ev bazlı elektrik enerjisi talebini karşılamak için yeterlidir. Güneydoğu Anadolu bölgesindeki şehirlerin sahip olduğu rüzgar gücü hız dağılımı dikkate alındığında, Hatay'ın rüzgar gücü açısından en avantajlı şehir olduğu gözlemlenmektedir. Çalışmalar sonucunda, Hatay'ın belirlenen rüzgar enerjisi gücünün 216 MW olduğu doğrulanmıştır. Ayrıca, Osmaniye'de kurulu gücü 135 MW olan Gökçedağ RES'in, Türkiye'nin

Balıkesir RES (143 MW) ve Soma RES'ten (141 MW) sonra üçüncü büyük rüzgâr enerjisi santrali olduğu belirlenmiştir (Doğaka, 2014).

Çanakkale'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli, Marmara bölgesindeki konumu nedeniyle öne çıkmaktadır. Çanakkale'de kurulacak toplam güç kapasitesinin 13.012 MW olarak belirlendiği doğrulanmıştır (Gençel ve Tarhan, 2019).

#### 1.3.2.4. Jeotermal Enerji

Türkiye aktif fay hatlarına sahip bir deprem ülkesi olarak, zengin bir jeotermal enerji potansiyeline sahiptir. Bu çerçevede, “*mevcut kaynakların geliştirilmesi ve yeni kaynak alanlarının aranması çalışmalarına ağırlık verilmesi nedeniyle, 2004 sonu itibari ile 3100 MWt olan kullanılabilir ısı kapasitesi, 2022 yılı Aralık sonu itibari ile ilave 1900 MWt ısı enerjisi artışı ile 5000 MWt e yükselmiştir. MTA tarafından 173 adet olan keşfedilmiş jeotermal saha sayısı da sondajlı aramalarla 16 adedi elektrik üretimine uygun olan yeni sahaların keşfiyle 243 sahaya çıkarılmış olup, bugüne kadar toplam 658 adet, 447.000 metre sondajlı arama çalışması yapılarak doğal çıkışlar dahil açılan kuyularla yaklaşık 5000 MWt ısı enerjisi elde edilmiştir.*” (MTA, 2022).

MTA'ya (2011) göre, Türkiye jeotermal enerjinin doğrudan kullanımında dünyada 7. sırada, Avrupa'da ise 1. sırada yer almaktadır.



Türkiye'de jeotermal enerji ağırlıklı olarak termal turizm, ısıtma uygulamaları, endüstriyel minerallerin elde edilmesi ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır. MTA tarafından keşfedilen ve jeotermal enerji üretimi için uygun olan 17 jeotermal saha bulunmaktadır ve bunlardan altısı şu anda elektrik üretimi için kullanılmaktadır (MTA, 2012).

### **1.3.3. Türkiye Bakımından Yeşil Enerjinin Önemi ve Geleceği**

Günümüzde, küresel iklim değişikliği endişeleri ve enerji güvenliği kaygılarıyla birlikte, yeşil enerjinin önemi giderek artmaktadır. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, yeşil enerjinin benimsenmesi ve kullanımının artırılması, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel koruma açısından büyük önem taşımaktadır.

Türkiye, güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir ülkedir. Güneş enerjisi potansiyeli, özellikle güney bölgelerinde yüksektir ve yıllık güneşlenme süresi ortalama olarak 2600 saati aşmaktadır. Benzer şekilde, Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli de önemlidir, özellikle Marmara ve Ege bölgelerindeki yüksek rüzgâr hızları dikkate değerdir. Hidroelektrik enerji, Türkiye'nin su kaynakları ve nehir ağlarıyla desteklenmektedir, özellikle Fırat ve Dicle gibi büyük nehirler üzerindeki barajlar önemli bir enerji kaynağı sağlamaktadır.

Türkiye'nin yeşil enerjiye olan bağımlılığının artması, enerji ithalatını azaltma, enerji güvenliğini sağlama ve çevresel etkileri azaltma gibi stratejik hedeflerle uyumludur. Yeşil enerji, ekonomik büyüme ve istihdam yaratma potansiyeline sahiptir, aynı zamanda sera gazı emisyonlarını azaltarak iklim değişikliğiyle mücadelede de kilit bir rol oynar. Türkiye'nin 2023 ve 2030 yıllarına yönelik enerji ve iklim hedefleri, yeşil enerjinin ülkenin enerji portföyündeki payını artırmayı öngörmektedir.

Türkiye'nin yeşil enerjiye olan geçişi destekleyen politika ve düzenlemeler, yenilenebilir enerji yatırımlarını teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik altyapı geliştirme, teknolojik yenilikçilik ve finansal teşvikler, yeşil enerjinin Türkiye'deki gelişimini hızlandırmaktadır. Ayrıca, enerji verimliliği önlemleri ve sera gazı emisyonlarını azaltma çabaları da yeşil enerjinin yaygınlaşmasına katkıda bulunmaktadır.

Türkiye'nin yeşil enerji potansiyeli, ülkenin sürdürülebilir kalkınma ve enerji güvenliği hedeflerine ulaşmasına önemli bir katkı sağlamaktadır. Yeşil enerjinin

benimsenmesi, Türkiye'nin ekonomik büyüme ve çevresel koruma arasında denge kurmasına yardımcı olabilir, aynı zamanda küresel iklim değişikliğiyle mücadelede de etkili bir rol oynayabilir.

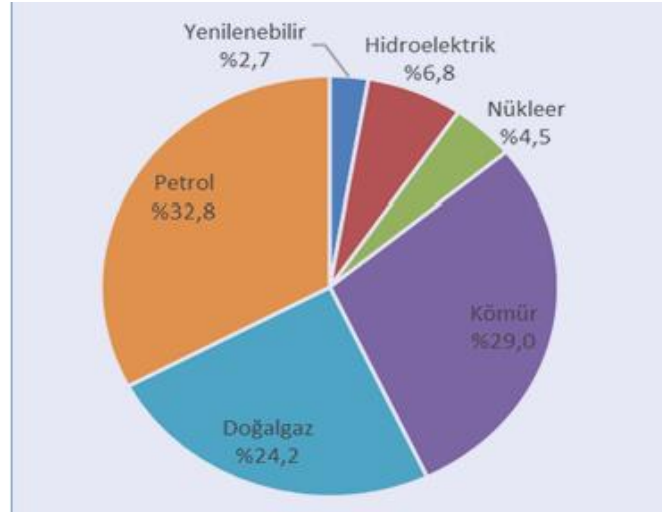
## İKİNCİ BÖLÜM

### DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE YEŞİL ENERJİ

#### 2.1. Dünyada ve Türkiye'de Enerjideki Dönüşüm ve İhtiyacı

Enerji, modern toplumların ekonomik ve sosyal gelişiminin temel bir unsurudur. Son yıllarda, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği ve çevresel etkileri, küresel enerji politikalarının merkezinde yer almaktadır. Bu bağlamda, enerji dönüşümü kavramı, fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi ifade etmekte olup, modern dünyanın önemli gündem maddelerinden biri olarak gerek uluslararası antlaşmalarda gerek ulusal düzenlemelerde yerini almaktadır.

Dünyada enerji dönüşümünün temel motivasyonu, fosil yakıtların çevresel etkileri ve sınırlı kaynaklar olmasından ileri gelmektedir. Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan sera gazları, küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunlarına neden olmaktadır (IPCC, 2018). Bu nedenle, birçok ülke yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiş olup, güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle enerjisi, fosil yakıtlara alternatif olarak hızla benimsenmektedir.



**Şekil 8.** Dünya Birincil Enerji Tüketim Oranları, (Karagöl ve Kavaz, 2017)

Birleşmiş Milletler, sürdürülebilir enerji hedefleri çerçevesinde, 2030 yılına kadar herkes için erişilebilir, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerji sağlamayı amaçlamaktadır. Bunlardan biri olan Hedef 7 ise, tarım, iş dünyası, iletişim, eğitim, sağlık ve ulaşımın gelişmesi için kilit öneme sahip olan temiz ve uygun fiyatlı enerjiye erişimin sağlanmasıyla ilgilidir. Dünya sürdürülebilir enerji hedeflerine doğru ilerlemeye devam etmeye çaba sarf etse de yine de yeterince hızlı olduğu

söylenemeyecektir. Mevcut hızla giderse, 2030 yılına kadar yaklaşık 660 milyon insanın elektriğe erişimi olmayacak ve yaklaşık 2 milyar insan yemek pişirmek için hala kirletici yakıtlara ve teknolojilere bel bağlayacak durumda kalmayı sürdürecektir.

Günlük yaşamda güvenilir ve uygun fiyatlı enerjiye bağlıdır. Yine de enerji tüketimi, toplam küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık yüzde 60'ını oluşturarak iklim değişikliğine en büyük katkısı yapan unsurdur. 2015'ten 2021'e kadar elektriğe erişimi olan küresel nüfusun oranı yüzde 87'den yüzde 91'e yükselmiştir. Uygun fiyatlı elektriğe evrensel erişimin 2030 yılına kadar sağlanması, güneş, rüzgâr ve termal gibi temiz enerji kaynaklarına yatırım yapılması anlamına gelmektedir. Tüm gelişmekte olan ülkelerde temiz enerji sağlamak için altyapıyı genişletmek ve teknolojiyi yükseltmek hem büyümeyi teşvik edebilecek hem de çevreye yardımcı olabilecek çok önemli bir hedeftir. İyi kurulmuş bir enerji sistemi iş dünyası, tıp ve eğitimden tarım, altyapı, iletişim ve yüksek teknolojiye kadar tüm sektörleri desteklemektedir. Yoksul ülkelerde elektriğe erişim hızlanmaya başlamış olup, enerji verimliliği gelişmeye devam etmekte ve yenilenebilir enerji etkileyici kazanımlar elde etmektedir (UN, 2015).

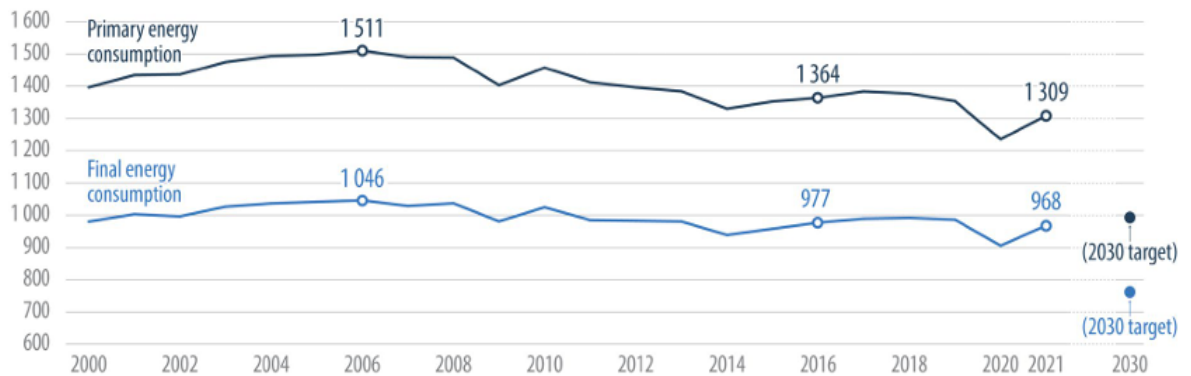
Uzun yıllardır kömür, petrol veya gaz gibi fosil yakıtlar elektrik üretiminin ana kaynakları olmaktadır. Ancak, karbon yakıtlarının kullanımı, iklim değişikliğine neden olan ve insanların refahı ve çevre üzerinde zararlı etkileri olan büyük miktarlarda sera gazı üretmektedir. Bu durum sadece birkaç kişiyi değil tüm dünyayı etkilemektedir. Dahası, küresel elektrik kullanımı hızla artmaktadır. Kısacası, istikrarlı bir elektrik arzı olmadan ülkeler ekonomilerine güç sağlayamayacaktır.

Bazı toplumlara çok uzak da olsa, dünyada hala elektrik olmadan kadınlar ve kız çocukları su getirmek için saatler harcamak zorunda kalmakta, klinikler çocuklar için aşı depolayamamakta, birçok okul çocuğu geceleri ödev yapamamakta ve insanlar rekabetçi işler yürütememektedir. Temiz pişirme çözümlerine yönelik yavaş ilerleme hem insan sağlığını hem de çevreyi etkileyen ciddi bir küresel endişe kaynağıdır. 2030 yılına kadar bu hedefe ulaşamazsa, dünya nüfusunun neredeyse üçte biri, çoğunlukla kadınlar ve çocuklar, zararlı evsel hava kirliliğine maruz kalmaya devam edecektir. 2030'a kadar herkesin enerjiye erişimini sağlamak için elektrifikasyonu hızlandırmalı, yenilenebilir enerji yatırımlarını arttırmalı, enerji verimliliğini iyileştirmeli ve elverişli politikalar ve düzenleyici çerçeveler geliştirilmelidir. Enerji hizmetleri, sağlık tesislerine güç sağlamaktan temel hijyen için temiz su teminine, sosyal mesafeyi korurken insanları birbirine bağlayan iletişim ve bilgi teknolojileri hizmetlerine olanak sağlamaya kadar hastalıkların önlenmesi ve salgınlarla mücadelenin anahtarıdır (UN, 2023).

Diğer yandan, Avrupa Birliği, 2050 yılına kadar karbon nötr olmayı hedeflerken, Çin ve ABD gibi büyük ekonomiler de benzer taahhütlerde bulunmaktadır (IEA, 2021). AB Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) enerji tüketimi, enerji arzı ve uygun fiyatlı enerjiye erişim gibi üç kategoride izlenmektedir. Bu alanlardaki ilerlemeyi izlemek için yedi spesifik gösterge kullanılmaktadır. Sadece üç enerji hedefi AB mevzuatına dayanmaktadır. Bu da nicel hedefe yönelik ilerlemenin izlenmesine olanak sağlamaktadır. Diğer göstergelerdeki değişiklikler, genel olarak sürdürülebilir kalkınma hedefine yönelik ilerlemeler yoluyla ölçülmektedir.

AB'de birincil enerji tüketimi 2006'dan bu yana düşüş eğilimindedir ve 2021'de 1 309.0 Mtep'e (milyon ton petrol eşdeğeri) ulaşarak son 15 yılda yüzde 13.4 azalmıştır. Buna karşılık, nihai enerji tüketimi aynı süre zarfında 967,9 Mtep'e veya yüzde 7,5'e düşmüştür. Uzun vadeli ilerleme, daha az enerji yoğun endüstrilere doğru yapısal bir geçişe, konut sektöründe verimlilikteki gelişmelere ve fosil yakıtların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ikame edilmesine bağlanabilir. Genel kısa vadeli eğilim, AB birincil enerji tüketiminin 2016 ve 2021 yılları arasında %4,0 oranında düştüğünü, nihai tüketimin ise aynı dönemde sadece %0,9 oranında azaldığını göstermektedir (Eurlex, 2023).

AB ayrıca, birim brüt kullanılabilir enerji (GAE) başına üretilen ekonomik çıktı miktarı olarak ölçülen enerji verimliliğini de artırmıştır. Diğer bir deyişle, birim enerji girdisi başına Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) uzun vadede, enerji verimliliği 2006 yılında birim brüt kullanılabilir enerji başına 6,5 Avro iken 2021 yılında 8,5 Avro'ya yükselmiştir. Bu eğilim, ekonomik büyümenin enerji tüketiminden giderek ayrıştığına işaret etmektedir.



Şekil 9. AB'de birincil ve nihai enerji tüketimi, 2000-2021

Yenilenebilir enerji kullanımı 2006 yılında brüt nihai enerji tüketiminin yüzde 10,8'i iken 2021 yılında iki katına çıkarak yüzde 21,8'e yükselmiştir. Tek tek AB ülkeleri Lüksemburg'da yüzde 12'nin altından İsveç'te yüzde 62'nin üzerine kadar değişiklik göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji tüketimindeki payına ilişkin gösterge, yakın zamanda yenilenen Yenilenebilir Enerji Direktifinde belirlenen AB hedefiyle ilişkili olarak izlenmektedir. Bu hedef, 2030 yılına kadar tüm ülkeler tarafından toplu olarak ulaşılması gereken, enerji tüketiminde yenilenebilir kaynakların yüzde 42,5'idir. Yenilenebilir enerjinin bu genel payı elektrik, ulaşım ve ısıtma ve soğutma gibi üç kategorideki yenilenebilir enerjilerin toplamı olarak hesaplanmaktadır. AB'deki yenilenebilir enerjinin ana kaynakları şu anda biyoenerji ve atık (neredeyse %60), rüzgâr (neredeyse %14), hidro (%12'nin üzerinde), güneş (%7,5), ortam ısısı yani ısı pompaları (yaklaşık %6) ve jeotermal (neredeyse %3) olarak sıralanmaktadır. AB'de en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynağı ise güneş enerjisidir. AB'nin ithalata bağımlılık oranı 2021 yılında yüzde 55,6 olmuştur. Bu, AB'de kullanılan enerjinin yarısından fazlasının ithal edildiği ve çoğunlukla fosil yakıtlardan oluştuğu anlamına gelmektedir. Bu değerdeki uzun vadeli düşüş, 2006 yılında yüzde 58,3 olduğu için mütevazıdır. Bu durum, AB enerji tüketiminin azalması, yerli yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması ve fosil yakıtların yerli üretiminin azalması ile açıklanabilir (Eurlex, 2023).

Öte yandan, Türkiye enerji tüketimi hızla artan bir ülkedir. Fosil yakıtlar, Türkiye'nin enerji üretiminde hala önemli bir rol oynamaktadır, ancak, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi de giderek artmaktadır. 2020 verilerine göre, Türkiye'nin enerji üretiminin %32'si yenilenebilir kaynaklardan sağlanmaktadır (TEİAŞ, 2020). Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle güneş ve rüzgâr enerjisi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi, yüksek güneşlenme süresi ile güneş enerjisi yatırımları için idealdir. Benzer şekilde, Ege ve Marmara bölgeleri, rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından öne çıkmaktadır. Türkiye'nin rüzgâr enerjisi kurulu gücü, 2023 itibarıyla 10.000 MW'ı aşmıştır (TÜREB, 2023). Türkiye, enerji politikalarını çeşitlendirme ve dışa bağımlılığı azaltma hedefleri doğrultusunda şekillendirmektedir. 2023 hedefleri arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının payını %50'ye çıkarma ve enerji verimliliğini artırma bulunmaktadır (EPDK, 2023). Ayrıca, nükleer enerji santralleri ile enerji arz güvenliğinin sağlanması planlanmaktadır.

Enerji dönüşümü, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel koruma açısından kritik bir öneme sahiptir. Dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, fosil

yakıtların sınırlı ve çevresel açıdan zararlı olması nedeniyle hızlanmaktadır. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli, ülkenin enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynayabilir. Enerji politikalarının doğru bir şekilde uygulanması, Türkiye'nin enerji arz güvenliğini sağlaması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşması açısından gereklidir.

Türkiye'nin enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve sanayileşme ile doğru orantılı olarak artmaktadır. 2020 verilerine göre, Türkiye'nin toplam enerji tüketimi 135 milyon ton eşdeğer petrol (Mtep) seviyesindedir (EPDK, 2020). Türkiye, enerji ihtiyacının büyük bir kısmını fosil yakıtlardan karşılamaktadır. 2020 yılı itibarıyla, enerji tüketiminin yüzde 28'i doğalgaz, yüzde 27'si kömür ve yüzde 30'u petrol ürünlerinden sağlanmaktadır (TEİAŞ, 2020).

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları açısından büyük bir potansiyele sahiptir. 2020 yılında, yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji üretimindeki payı yüzde 42 olarak hesaplanmaktadır. Bu kaynaklar arasında hidroelektrik, rüzgâr, güneş ve biyokütle enerjisi öne çıkmaktadır. Türkiye'nin 2023 yılı itibarıyla rüzgâr enerjisi kurulu gücü 10.000 MW'ı aşmış, güneş enerjisi kurulu gücü ise 6.500 MW seviyesine ulaşmıştır (TÜREB, 2023; GENSED, 2023).

Türkiye, enerji arz güvenliğini sağlamak, enerji maliyetlerini düşürmek ve çevresel sürdürülebilirliği artırmak amacıyla çeşitli enerji politikaları ve stratejiler geliştirmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Ulusal Enerji ve Maden Politikası, enerji dönüşümünün ana çerçevesini oluşturmaktadır. Bu politika, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmayı, enerji verimliliğini yükseltmeyi ve enerji arz güvenliğini sağlamayı hedeflemektedir (ETKB, 2017).

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmayı amaçlayan çeşitli hedefler belirlemiştir. 2023 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güç içindeki payının %50'ye çıkarılması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, güneş enerjisi kurulu gücünün 10.000 MW'a, rüzgâr enerjisi kurulu gücünün ise 16.000 MW'a çıkarılması planlanmaktadır (ETKB, 2017).

Türkiye, enerji arz güvenliğini sağlamak amacıyla nükleer enerji yatırımlarına da yönelmektedir. Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin 2023 yılında devreye girmesi planlanmaktadır. Nükleer enerji, enerji arz çeşitliliğini artırmak ve fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak açısından önemli bir rol oynamaktadır (Akkuyu NGS, 2023).

Enerji verimliliği, enerji tüketimini azaltmanın ve sürdürülebilirliği artırmanın en etkili yollarından biridir. Türkiye, 2023 yılına kadar enerji verimliliği uygulamaları ile 10 milyar dolar tasarruf sağlamayı hedeflemektedir. Bu kapsamda, binalarda, sanayide ve ulaştırma sektöründe enerji verimliliği artırıcı önlemler alınmaktadır (ETKB, 2017).

Teknolojik gelişmeler de enerji dönüşümünde önemli bir rol oynamaktadır. Akıllı şebekeler, enerji depolama teknolojileri ve yenilenebilir enerji entegrasyon sistemleri, Türkiye'nin enerji altyapısının modernizasyonuna katkıda bulunmaktadır. Bu teknolojiler, enerji arz güvenliğini artırmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını optimize etmek için kullanılmaktadır.

Türkiye'de enerji dönüşümü, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel koruma açısından büyük bir öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, enerji verimliliğinin sağlanması ve enerji arz güvenliğinin temin edilmesi, Türkiye'nin enerji politikalarının temel hedefleridir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli, enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynayabilir. Enerji politikalarının etkin bir şekilde uygulanması, Türkiye'nin enerji dönüşüm sürecinde başarılı olmasını sağlayacaktır.

## **2.2. Enerjideki Dönüşümün Siyasi, Ekonomik ve Teknolojik Boyutları**

İklim krizi, yeni bir "düşük karbon" sanayi devrimini andıran ölçeklerde bir enerji dönüşümüne duyulan ihtiyacın merkezinde yer almaktadır. Düşük karbonlu bir ekonomiye geçiş için potansiyel yolların belirlenmesi, önümüzdeki on yıllar boyunca dünya ekonomisi için belirleyici bir zorluk olacaktır. Düşük karbonlu enerji dönüşümünün, emisyonlarda radikal azaltmalar ve büyük ölçekli teknolojik atılımlar şeklinde yıkıcı değişimler gerektireceği savunulmaktadır. Teknolojik açıdan, bu dönüşüm, karbonsuzlaştırılmış elektrik üretimine, ulaşımın elektrifikasyonuna, batarya teknolojilerine, enerji depolamaya, akıllı şebekelere ve genel olarak iyileştirilmiş enerji verimliliğine yönelik bir dönüşümü içermektedir. Ancak, örneklenen teknolojik çözümlerin ötesinde, enerji sisteminin karbonsuzlaştırılması, bu tür büyük ölçekli küresel dönüşümü destekleyebilecek yeni bir politik ekonomi mimarisini de gerektirmektedir.

Enerji dönüşümleri nispeten nadir ve uzun süreli süreçler olduğundan, sosyal bilimciler, gelecekte nasıl gelişebileceklerine dair dersler almak için giderek daha fazla

tarihi deneyimlere yönelmektedir. Tarihi enerji dönüşümleri üzerine yapılan literatür, son otuz yıl içinde (Wrigley, 2010; Kander vd., 2013) önemli ölçüde artmış, tarihi disiplinlerin dışında da bu konuyla ilgili birçok kitap ve özel sayılar yayımlanmıştır (Sovacool, 2017). Ancak, enerji dönüşümü üzerine daha geniş literatür, ekonomik ve iş tarihçilerinin geleneksel olarak ele aldığından biraz farklı konulara odaklanmaktadır. Yeni teknolojilerin, politikaların ve toplumsal tutumların mevcut enerji rejimi ve daha geniş çevresel faktörlerle nasıl etkileşimde bulunduğu dikkat çekmektedir (Geels, 2014). Ayrıca, enerji dönüşümü terimi, genellikle iklim değişikliği, enerji güvenliği ve geleneksel enerji kaynaklarının çevresel etkileri konusundaki endişelerle tetiklenen geleneksel fosil yakıt bazlı enerji kaynaklarından küresel bir kaymayı ifade eder.

Enerji rejimlerinin ve geçişlerinin tarihi evrimi, bize ilerlerken yeni bir enerji rejiminin mevcut yapı ile tamamen değişmek yerine, ona entegre olma olasılığını anlamamıza olanak tanır. Tarihi dönüşüm çalışmalarından alınacak temel ders, izledikleri modeldir. Bir enerji kaynağının tamamen bırakılıp bir diğerrinin benimsenmesi değil, yeni enerji kaynaklarının mevcut enerji çerçevesi içinde kendi yerlerini bulması, mevcut kaynakları tamamlayıcı nitelikte olmasıdır. Aynı zamanda, iklim değişikliği ile ilgili mevcut aciliyet nedeniyle, bu geçişlerin doğası ve hızı geçmiştekilerden farklı olmalıdır.

Mevcut enerji rejimleri, küresel sosyo-ekonomik yapımızın derinlerine kök salmıştır. Özellikle fosil yakıtlara dayanan bu "mevcut" enerji sistemi, gelecekteki enerji yollarının şekillenmesinde önemli bir güç sahibidir. Yergin'in (2020) belirttiği gibi, Sanayi Devrimi'nden bu yana kapitalist gelişimin temelini oluşturan mevcut enerji rejimi, yerleşik çıkarları nedeniyle değişime direnç göstermektedir. Fosil yakıt ekonomisinin hem kurumsal hem de devlet aktörleri, önemli ekonomik faydalar sağlamıştır. Dolayısıyla, bu paydaşlar, avantajlı konumlarından vazgeçmeye gönüllü değildir.

Bu mevcut sistemin oluşturduğu engellerin büyüklüğünü anlamak çok önemlidir. Bir yandan, yeni enerji kaynaklarına geçiş genellikle yeni teknolojilere, ekipmanlara ve tesislere önemli yatırımlar gerektiren teknolojik ve altyapısal zorluklar doğurur. Diğer yandan, sosyo-politik zorluklar daha da ürkütücüdür. Tarihsel kanıtlar, enerji sektöründeki aktörlerin, siyasi müttefiklerinin desteğiyle, çevresel ve sosyal zorunluluklarla karşı karşıya kalsalar bile, dönüşümlere sıklıkla direndiklerini göstermektedir. Kurumsal yapılar ve enerji rejimlerinin ortak evrimi, kurumsal yol

bağımlılığının enerji dönüşümleri için güçlü bir engel teşkil ettiğini ifade eder (Unruh, 2000).

Örneğin, karbonsuzlaşmanın artan aciliyetine karşı petrol endüstrisinin tepkisi dikkate değerdir. Karbon emisyonlarının çevresel etkileri hakkındaki artan kanıtlara rağmen, fosil yakıt endüstrisi, özellikle petrol endüstrisi, adaptasyonda yavaş veya isteksiz kalmış, endüstri içindeki çeşitli fraksiyonlar değişim ihtiyacını küçümsemiş veya tamamen direnmiştir. Son 10 yılda, iklim değişikliği stratejileri üzerine tarihi literatür hızla büyümüştür (Boon, 2019).

Diğer yandan, ülkelerin enerji karışımları farklılık göstermektedir. Bazı ülkeler fosil yakıtları doğal coğrafya, teknolojik yetenekler ve hükümet politikası yönelimlerindeki farklılıklara bağlı olarak hidro, nükleer, rüzgâr ve güneş enerjisi ile değiştirmede diğerlerinden daha başarılı olmuştur (Kander vd., 2014). İsveç ve Fransa buna örnek teşkil etmektedir. Her iki ülke de 1970'lerin enerji krizinden önce petrol bağımlılığı konusunda birçok benzerlik paylaşmaktaydı. Her iki ülke de nükleer enerji geliştirme yoluyla enerji dönüşümünü geçirmelerine rağmen, İsveç ayrıca konut ısıtma sektörünü de dönüştürdü. Bu, biyokütle kaynaklarını kullanarak biyokütle yakıtlı bölgesel ısıtma tesislerinin kurulmasını içeriyordu. Ayrıca, İsveç, özellikle kâğıt ve hamur endüstrisinde petrolü içsel (orman) biyoyakıtları ile değiştirmeye yöneldi. Ancak, hızlı geçişler genellikle çok küçük nüfusa sahip ülkeler veya benzersiz bağlamsal faktörlere sahip ülkelerle sınırlı anormallikler olarak gözlemlenmektedir (Smil, 2010: 141-2).

Rüzgâr ve güneş enerjisinin daha geniş bağlamında, Jones (2017), küresel güneş ve rüzgar enerjisi endüstrisinin genişlemesini araştırmıştır. 1970'lerin petrol şoklarının ardından Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde yapılan önemli yatırımlara rağmen, Jones, 1980 yılına kadar rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesinin minimal kaldığını belirledi. Jones'a göre, kamu politikaları fosil yakıtlar ve nükleer enerjiyi desteklemeye odaklanmaya devam etti, bu da rüzgâr ve güneş endüstrisinde inovasyonu düşük maliyetlerle finanse etmek için gerekli piyasanın oluşturulmasını ve sermayenin artırılmasını imkânsız hale getirmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde hükümet politikaları, 1990'larda dikkate değer bir değişim geçirmiş, bu Çin yapımı güneş panellerinin düşen maliyetleri ve özellikle Danimarka'da dikkat çeken rüzgâr enerjisi ölçeklendirilmesi ile birleşince, düşük seviyelerden de olsa güneş ve rüzgar enerjisinin hızla genişlemesini katalize etti (Jones, 2017).

Yergin (2020, 412), rüzgâr ve güneş enerjisinin artmasına rağmen, bunların geleneksel enerji kaynakları üzerinde büyüdüğünü gözlemlemiştir. 2021 yılında fosil yakıtlar (kömür, petrol ve gaz) hala ticari küresel birincil enerji kullanımının yüzde 82'sini oluşturmaktaydı. Küresel bakış açısıyla, hidroelektrik, nükleer enerji ve rüzgâr ve güneş enerjisinin ticari küresel birincil enerji kullanımındaki payı sadece yüzde 14'e tekabül etmektedir (BP, 2022, s. 3).

Smil'e (2014) göre, daha fazla rüzgâr ve güneş enerjisine yönelik bir geçiş bazı ülkelerde daha hızlı gerçekleşebilir. Ancak, yenilenebilir enerjiye küresel geçişin, özellikle doğalgaza geçiş ışığında, ölçülü bir hızda ilerlemesi beklenmektedir. Smil'in analizine göre (2014), yenilenebilir enerjiye geçişin en az 50-60 yıl süreceği öngörülmektedir. Zengin ülkelerde, "eski" yenilenebilir kaynaklar, hidroelektrik gibi, zaten maksimum potansiyeline ulaşmıştır. Bu nedenle, bu bölgelerde yenilenebilir enerji genişlemesi, ağırlıklı olarak rüzgâr ve güneş enerjisi, jeotermal enerji ve biyoyakıtlar üzerinden gerçekleşecektir.

20. yüzyıldaki enerji dönüşümleri hikayesi, nükleer enerji konusuna değinmeden eksik kalacaktır. II. Dünya Savaşı'ndan sonra küresel güçler atom enerjisini kullanmaya yönelik postürlerini belirlerken, nükleer söylem yoğun politik, ekonomik ve toplumsal tartışmaların arenası haline geldi. Nükleer enerji, benzersiz enerji getirileri vaat etti ve 1954'te Sovyet AM-1 "barışçıl atom" reaktörü ve 1956'da İngiliz Calder Hall tesisi, sırasıyla sivil ve ticari nükleer enerjinin ortaya çıkışını işaret etmişti. Sivil nükleer programlar ile nükleer silahların yayılması arasındaki olası bağlantı, 1946'da BM Atom Enerjisi Komisyonu'nun (UNAEC) kurulmasını sağlamış, aynı zamanda, Amerika Birleşik Devletleri, tüm nükleer faaliyetlerin uluslararası kontrolünü savunan "Baruch Planı"nı önermiştir (Siracusa, 2020). 1979'da Three Mile Island'daki nükleer felaket tehlikesi, 1986'daki Çernobil ve 2011'daki Fukuşima olayları, nükleer enerjinin doğasında bulunan riskleri vurgulamıştır. Bu felaketler, nükleer güvenlik standartlarına ve gelecekteki enerji karışımındaki rolüne küresel bir denetim başlatmıştı. Bazı ülkeler nükleer hırslarını yeniden gözden geçirmeye başlamış, bu durum enerji politikalarında bir paradigma kaymasına yol açmıştır (Smil, 2014).

Küresel ısınmayla mücadelede bir çözüm olarak nükleer enerjinin önemli bir genişlemesi için çağrılar yapılırken, atom çağının çekiciliği rezervasyonlarla birlikte gelmiştir. Sovacool (2016), özellikle nükleer geçişin hız ve verimliliği hakkında kritik sorular ortaya atmaktadır. Bilim camiası büyük ölçüde iyimserken, daha geniş kamuoyu tepkisi beklenti ve kaygının bir karışımıydı. Nükleer enerji sorunu ile mücadele eden

uluslar, enerji dönüşümlerinin doğrusal süreçler olmadığını, karmaşıklıklarla dolu ve çok yönlü faktörlerden etkilendiğini fark ettiler. Yenilenebilir uranyum yakıt arzı üzerinde yakın vadede sınırlar bulunmamasına rağmen, nükleer enerjinin genişlemiş bir rolü, yüksek seviyede radyoaktif atık bertarafı, tesis güvenliği ve nükleer malzeme kayıpları ve silahların yayılması endişelerini artıracaktır. Ancak iklim değişikliği bilincinin artmasıyla, nükleer enerji yeniden ilgi görmüştür. Bilim camiası, nükleer enerjinin önemli bir genişlemesinin mümkün olup olmayacağı konusunda bölünmüştür (Salomon ve Krishna, 2011).

Son olarak, ileri teknoloji gerçekleştirme konusundaki siyasi ekonomi tarihi, füzyon enerjisi araştırmasının yaklaşık 70 yıldır küresel enerji sorunlarını çözmeyi amaçladığını ortaya koymaktadır. Genellikle projeler, özel sektör liderliği olmadan veya çok az özel sektör liderliği ile büyük devlet tarafından finanse edilen girişimler olarak organize edilmiştir. İngiltere'deki Avrupa JET füzyon araştırma reaktörü ve Fransa'daki ITER tesisi için küresel iş birliği gibi ulus devletler arasında ortaklıklar da yaygın olmuştur (Nuttall, 2023).

Tarımın yükselişi, yaklaşık 10 bin yıl önce bazı bilim adamları tarafından bir enerji geçişi olarak yorumlanmış olmasına rağmen, insanlık tarihi boyunca, insanların enerji kullanımı biyosfere olan toplam enerji girdisinin ancak küçük bir fraksiyonuydu. Birçok bilim insanı, kömüre geçişi insanlık tarihindeki ilk büyük enerji geçişi olarak görmekte ve fosil yakıt enerji rejiminin başlangıcını işaret etmektedir. Tek bir büyük fosil enerji rejiminin ortaya çıktığını vurgulanmış ve bu rejimin kömürün tanıtımı, ardından petrol ve doğalgaz gibi üç alt faz içerdiğini belirtilmiştir. Bu fazlar boyunca toplam enerji arzı büyümeye devam etmiştir. Bu, çevresel bozulma ve iklim değişikliği açısından önemlidir. 1945'ten sonra dünya sistemleri üzerindeki hızlanan insan etkisini içeren hızlı büyüme olarak adlandırılan süreç ölçek meselesi olarak değerlendirilmektedir (McNeill ve Engelke, 2016).

Fosil yakıtlardan kaynaklanan küresel karbondioksit emisyonları, 1700'lerin sonlarında zaten üstel olarak büyümeye başlamış ve I. Dünya Savaşı'nın eşiğine kadar yaklaşık sabit bir büyüme oranı göstermiştir. Savaşlar arası dönemde emisyonların büyüme hızı daha yavaşken, savaş sonrası dönemde büyüme oranları 19. yüzyıl rakamlarına geri dönmüş, 1970'lerin başlarından bu yana emisyon büyüme oranları tekrar yavaşlamıştır. Bu nedenle, fosil yakıtlar ve ekonomik dönüşüm, ekonomik büyüme, kurumsal ve teknik değişim arasındaki ortak evrim sürecinin başlangıcı,

gezegenin çevresel bozulması hızlı büyüme ile belirgin hale geldiğinde en az 150 yıllık olarak ifade edilebilecektir.

Diğer taraftan, iklim değişikliği nedeniyle, enerji geçişleri anlatısı temel bir değişim geçirmektedir. Tarihi olarak, yeni enerji kaynakları ağırlıklı olarak mevcut olanları tamamlamaktaydı. Modern yaklaşım ise daha derin bir dönüşüm olan eski enerji kaynaklarının tamamen değiştirilmesini vurgulamaktadır (Fouquet ve Pearson, 2012). Sovacool'un (2016) belirttiği gibi, günümüzün küresel zorlukları, özellikle iklim değişikliğinin aciliyeti, daha radikal bir yeniden düşünmeyi gerektirmektedir. Amaç sadece yenilenebilir kaynakları karışıma eklemek değil, karbon yoğun kaynakları tamamen değiştirmektir. Ayrıca, York ve Bell (2019), bu dönüşüm gerekliliğini vurgulamakta ve yenilenebilir enerjinin sadece büyümesinin yeterli olmadığını belirtmektedir. Gerçek bir geçiş için, zorluk, fosil yakıtları sistematik olarak aşamalı olarak kaldırmaktır. Bu düşünce, yeni enerji biçimlerinin eklenmesinin hiçbir zaman mevcut olanların tamamen yerini almadığı tarihi modeli bozmaktadır.

Ayrıca, modern enerji geçişlerinin itici gücü de farklıdır. Geçmiş geçişler öncelikle teknolojik ilerlemeler veya ekonomik motivasyonlar tarafından yönlendirilirken, bugünün geçişleri, çevresel ve toplumsal maliyetleri azaltma acil ihtiyacı tarafından yönlendirilmektedir. Tarihsel enerji geçişleri, siyasi kararlarla desteklenen düşen fiyatlar tarafından yönlendirilmiştir. Fouquet'in belirttiği gibi (2016), enerji birim fiyatı (Joule veya Kilo Watt saat gibi) talep açısından önemli olan değil, enerjinin sağladığı hizmetlerin fiyatıdır. Bu, enerji kullanımının enerji geçişlerini yönlendirmede önemli olduğunu ima etmektedir. Fouquet'in gözlemlediği gibi, hizmet fiyatı yeterince düşerse ya enerji verimliliği arttığı için ya da enerji fiyatı düştüğü için, tam geçişler meydana gelebilmektedir. Zira, düşen fiyatlar artan talep ile birlikte gelmektedir (Fouquet, 2016, 8).

Bu bağlamda, hükümetler demiryolları, yollar, havaalanları, limanlar ve elektrik şebekeleri gibi enerji geçişleri için kritik öneme sahip altyapılara yatırım yapmıştır. Enerji son kullanımı ve enerji hizmetlerinin önemi, batık maliyet sorununu da vurgulamaktadır. Enerji talebi, sermaye mallarının sağladığı hizmetlerden türediği için, bir enerji kaynağını aşamalı olarak kaldırmayı hedefleyen politikalar, bu enerji hizmetini sağlayan sermaye malını değersiz hale getirebilmektedir.

Enerji tarihindeki bu iklim krizi aşaması ise emsalsizdir. Riskler daha yüksek, zorluklar daha derin olmakla beraber, ancak fırsatlar da bir hayli yüksektir. Enerjinin bir

sonraki dönemi sadece eskiyi yeniyle tamamlamakla kalmayacak, tamamen dönüştürülmüş bir enerji manzarası hayal etmeyi gerektirecektir. Tarih boyunca, enerji dönüşümleri politik ekonominin manzarasında derinlemesine kök salmıştır. Geçmiş araştırmalar genellikle ulus devleti ilgi merkezi olarak vurgulamış olsa da enerji alanları kavramının ulusal sınırların ötesine geçtiği açıktır. Bu, özellikle İngiltere'deki kömür geçişlerini gözlemlerken belirgindir ve ekonomik tarihçiler arasında yoğun tartışmalara konu olmuştur. Küresel anlatı, bireysel ülkelerin benzersiz enerji geçiş deneyimleri yaşayabileceğini, ancak bu geçişlerin uzun süreli doğası açısından tutarlı bir tema olduğunu ortaya koymaktadır. Bu geçişler genellikle 50-60 yıl sürmektedir. İlginç bir şekilde, bu geçişler tam bir değişim yerine enerji eklemeleridir; yeni enerji kaynaklarının pazar payı artarken yüzde 25'lik bir artış önemli bir işaret olarak kabul edilmektedir (Smil, 2014).

Mevcut enerji rejimlerinin oluşturduğu zorluklar büyüktür. Yüzyıllar boyunca kurulmuş ve Sanayi Devrimi'nden bu yana modern kapitalizmin gelişiminde temel bir rol oynamış olan bu mevcut rejimler veya tarihsel blokları kolayca değiştirmek çok mümkün değildir. Bu rejimlerin sahip olduğu ekonomik ağırlık, siyasi alana da uzanmakta ve birçok devlet, bu rejimlerin ürettiği gelirlere derinden bağımlı bir halde bulunmaktadır. Modern anlayış, eski enerji kaynaklarının yeni olanlarla değiştirilmesini ifade ederken, tarihsel anlayış genellikle enerji kaynaklarındaki göreceli değişime işaret etmektedir. Tarihsel olarak, muhtemelen bu norm haline geldiği için göreceli değişimlerin daha yaygın olduğu görülmektedir.

Günümüzdeki enerji geçişlerinin en acil motivasyonlarından biri, enerji tüketimi ile ilgili toplumsal maliyetleri azaltma amacıdır. Bunu başarmak için, enerji sektöründe teknik ve yapısal değişiklikleri kolaylaştıracak yeni siyasi araçlar ve kurumlar kurulmaktadır. Bu yaklaşım, geçmişte enerjiyle ilgili kurumsal değişikliklerin genellikle enerji fiyatlarının daha da düşmesini teşvik ederek devam eden enerji geçişlerini desteklediği zamandan farklıdır. Modern iklim politikası, karbon enerji maliyetlerinin artmasını hedeflemekte olup, bu tür politikalara karşı güçlü muhalefet nedeniyle siyasi olarak maliyetlidir. İleriye giden yol, bu karmaşık ilişkilerin ve tarihsel öncüllerin derinlemesine anlaşılmasını gerektirir. Sadece geçmişin çok yönlü zorluklarını ve fırsatlarını kavrayarak, çağdaş enerji geçişlerinin karmaşıklıklarını yönlendirebiliriz.

Şimdiye kadar, ana akım ekonomi ve işletme tarihi araştırmaları, mevcut enerji geçişi tartışmasıyla pek ilgilenmemiştir. Aynı zamanda, ekonomi ve işletme tarihçileri, enerji arzı, enerji tüketimi, kirlenici emisyonlar ve ekonomik büyüme arasındaki

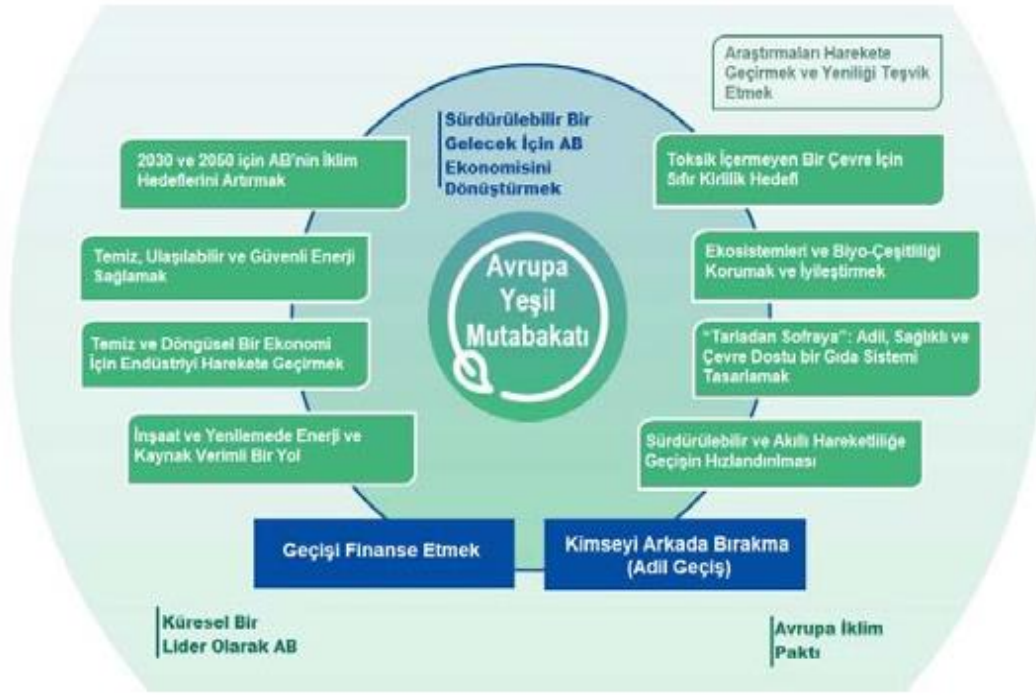
etkileşimle birkaç on yıldır ilgilenmişlerdir. Endüstri Devrimi ve modern ekonomik büyümeyi inceleyen herhangi bir ekonomik tarihçi için kömürün ve görelî faktör fiyatlarının rolü merkezi öneme sahiptir. İşletme tarihçileri ise aynı zamanda enerji çıkarımı ve enerji arzıyla uğraşan şirketlerin, özellikle petrol şirketlerinin büyümesini incelemişlerdir. Ancak, ekonomik ve işletme tarihçileri, devam eden bilimsel enerji geçişi tartışmasına geniş bir cephede katılmak için büyük bir fırsata sahiptir. Ekonomi tarihçilerini, enerjinin teknolojik değişim yoluyla nasıl yeni ekonomik büyüme fırsatları yarattığına dair geleneksel odaklanmanın ötesine geçmeye ve politik ekonominin mimarisine gömülü olan enerji geçişi engellerine daha fazla bakmaya teşvik eder (Özdemir vd., 2022).

## **2.3. Ülkelerin Muhtemel Enerji Hamle ve Stratejileri ile Gelecek Senaryoları**

### **2.3.1. Avrupa Birliği (AB)**

Küresel enerji ortamı, iklim değişikliğini ele alma, enerji güvenliğini artırma ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etme yönündeki acil ihtiyaçtan kaynaklanan önemli dönüşümlerden geçmektedir. Ülkeler düşük karbonlu enerji sistemlerine geçiş için çeşitli enerji hamleleri ve stratejileri benimsemektedir.

Avrupa Komisyonu, Aralık 2019'da iklim ve çevreyle ilgili zorlukların üstesinden gelmeye yönelik Avrupa Yeşil Anlaşması planını açıkladı. İklim değişikliği, çevresel riskler ve ormanlar ile okyanusların kirlenmesine bir yanıt olarak, bu anlaşma AB'yi 2050 yılında net sera gazı emisyonunun olmadığı modern, kaynak verimli ve rekabetçi bir ekonomiye sahip adil ve müreffeh bir topluma dönüştürmeyi amaçlamaktadır (Avrupa Parlamentosu, 2023)



**Şekil 10.** Avrupa Yeşil Anlaşması (Yeşil Düşünce, 2020)

Avrupa Komisyonu'nun karbon nötrlüğüne yönelik bu taahhüdü ve Paris Anlaşması'na bağlılığı, karbonsuzlaştırma yollarının ve bu yüzyılın ortalarına kadar net sıfır sera gazı emisyonuna nasıl ulaşılabileceği sorusunun araştırma ve devlet kurumları tarafından kapsamlı bir şekilde analiz edildiği bir döneme denk gelmektedir.

Tüm Avrupalılar için temiz enerji senaryolarının amacı ve kapsamı, 2030 iklim hedeflerinin uygulanabilirliğini analiz etmektir. Senaryolar temel olarak 2014 yılında Avrupa Konseyi tarafından kabul edilen 2030 iklim ve enerji hedeflerine, başka bir ifadeyle, yüzde 27 enerji verimliliği hedefine sahip ilk senaryo ve yüzde 30 enerji verimliliği hedefine sahip ikinci senaryoya ulaşılmasını modelleyerek 2°C iklim hedefiyle uyumlu bir karbonsuzlaştırma öngörmektedir. Başlangıç noktası olarak AB referans senaryosuyla, daha iddialı olan aşağıdaki senaryoları, çok özel bir dizi iklim ve enerji hedefini değerlendirmeyi amaçlamaktadır (Eurostat, 2023):

- (i) 1990 yılına kıyasla genel sera gazı emisyonlarının azaltılması: 2030 yılına kadar yüzde 40 ve 2050 yılına kadar yüzde 80-85,
- (ii) ETS sektörlerinden kaynaklanan emisyonların azaltılması: 2005 yılına kıyasla 2030 yılında %43 ve 2050 yılında %90,

- (iii) (ETS dışı emisyonların azaltılması: 2005 yılına kıyasla 2030 yılında %30 ve (iv) enerji verimliliği: 2007 yılına kıyasla 2030 yılında birincil enerji talebinin %27-%30 oranında azaltılması,

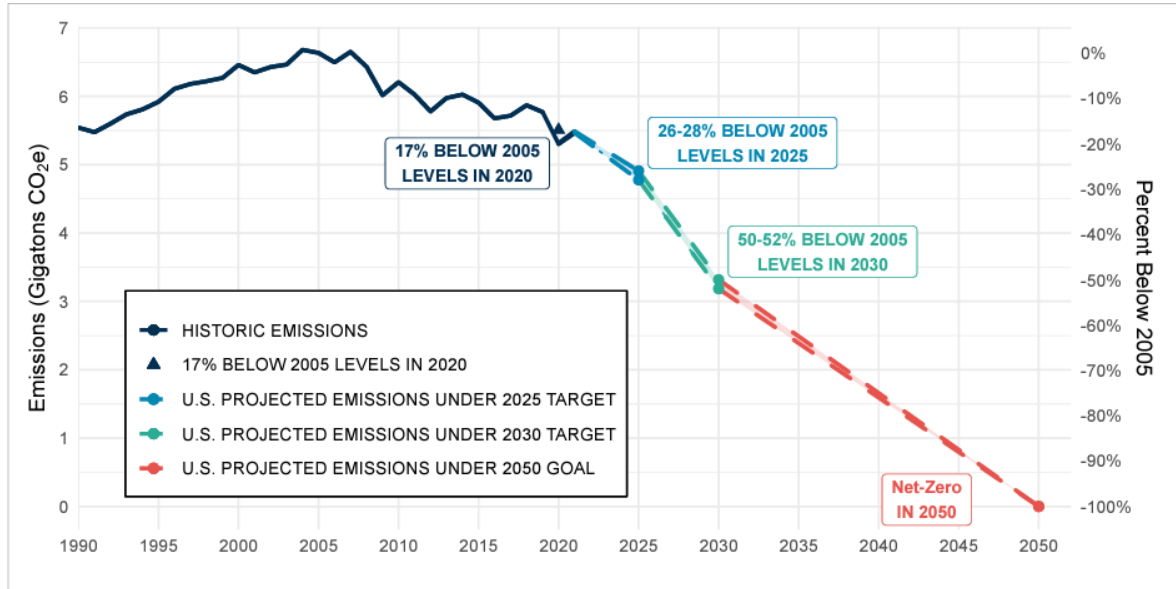
Avrupa Birliği (AB) yeşil enerji ve sürdürülebilir uygulamaların teşvik edilmesinde ön saflarda yer almaktadır. AB'nin yeşil enerji faaliyetleri, iklim değişikliğiyle mücadele, enerji güvenliğini artırma ve sürdürülebilir ekonomik büyümeyi teşvik etmeye yönelik daha geniş bir stratejinin parçasıdır. Düzenleyici tedbirler, mali teşvikler ve araştırma girişimlerinin bir kombinasyonu yoluyla AB, daha sürdürülebilir ve dirençli bir enerji sistemine doğru küresel geçişe öncülük etmeyi amaçlamaktadır. Söz konusu düzenleyici tedbirler Enerji Dönüşümünde Mevcut AB Mevzuatı ve AB'deki Gelişmeler başlığında ayrıca ele alınmaktadır.

### **2.3.2. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)**

Dünyanın en büyük enerji üreticilerinden ve tüketicilerinden biri olan Amerika Birleşik Devletleri, küresel enerji ortamının şekillendirilmesinde oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Ülkenin enerji stratejisi çevresel, ekonomik ve jeopolitik zorluklara yanıt olarak gelişmektedir. Amerika Birleşik Devletleri ve dünyanın dört bir yanında iklim değişikliği toplumlara, özellikle de başa çıkma, yeniden inşa etme ve uyum sağlama konusunda en az donanımına sahip olan en savunmasız toplumlara zarar vermeye başlamıştır. Orman yangınları, fırtınalar, seller, aşırı sıcaklar ve iklim kaynaklı diğer etkiler ölümlere, yaralanmalara, sağlığın bozulmasına, ekonomik zorluklara ve dünyanın ekosistemlerine zarar vermekte olup, bunların hepsi sadece kabaca 1.0 °C'lık ısınmadan kaynaklanmaktadır. Emisyonların derhal azaltılmaması, dünyayı bu ısınma seviyesinin neredeyse üç katına mahkûm edecek, çok daha sık ve şiddetli iklim etkilerine ve çok daha aşırı olumsuz risklere yol açacaktır.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change) en son raporu, bu ciddi iklim etkilerinden kaçınmak için ısınmanın 1.5 °C ile sınırlandırılması veya bu önemli kritere mümkün olduğunca yaklaşılması gerektiğini sağlam bir bilimsel güvenle canlı bir şekilde göstermektedir. Bu hedefe ulaşmak için küresel sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar 1990 seviyelerinin en az yüzde 40 altına düşürülmesi, 2050 yılına kadar veya hemen sonrasında küresel net sıfır sera gazı emisyonuna ulaşılması ve sonrasında net negatif emisyonu geçilmesi

gerekmektedir. Bu küresel kilometre taşlarına ulaşmak için küresel enerji ekonomisini yeniden düzenlemeli, tarım sistemlerini dönüştürmeli, ormansızlaşmayı durdurmalı ve tersine çevirmeli ve karbondioksit dışı emisyonları kararlı bir şekilde ele alınmalıdır. Özellikle de mevcut gözlemlenen 1.0 °C'lik net ısınmanın yaklaşık 0.5 °C'sini oluşturan metan gazına (CH<sub>4</sub>) odaklanılması gerekmektedir. Ayrıca, sağlam ve doğrulanabilir doğa temelli ve teknolojik karbondioksit giderimi yoluyla negatif emisyonları takip edilmelidir. Amerika Birleşik Devletleri, temiz enerji, ulaşım ve binaların elektrifikasyonu, endüstriyel dönüşüm, metan ve diğer güçlü karbondioksit dışı iklim kirleticilerinin azaltılması ve doğal ve çalışma alanlarının güçlendirilmesi için 30 yıllık yatırım yoluyla 1.5°C'yi erişilebilir kılmak için gereken çabayı sarf etmelidir (IPCC, 2021).



**Şekil 11.** ABD emisyon miktarı ve 2050 net sıfır hedefi kapsamında öngörülen emisyonlar.

Amerika Birleşik Devletleri, 2030 yılında net sera gazı emisyonlarını 2005 seviyelerinin yüzde 50-52 altına düşürmek için iddialı ve ulaşılabilir bir hedef taahhüt etmiştir. Bu, mevcut emisyon azaltma eğilimlerini hızlandırmak için bir dizi yeni politikayı uygulamak için belirleyicidir. Elektrikli araçlar ve ısı pompaları gibi yeni teknolojilerin dağıtımını hızla genişletmek ve ulusal elektrik şebekemiz gibi kilit sistemler için altyapı oluşturmak bu politikaların bazıları olarak ifade edilmektedir. Bu tür yakın vadeli eylemler bizi 2050 hedefine ulaşmak için sağlam bir zemine oturtması beklenmektedir (UNFCCC, 2021).

Diğer yandan, elektrik Amerikan ekonomisinin tüm sektörlerine çeşitli hizmetler sunan başlıca enerji kaynağı olarak görülmektedir. Temiz elektrik sistemine geçiş, güneş ve rüzgâr teknolojilerinin maliyetlerinin düşmesi, federal ve alt ulusal politikalar ve tüketici talebinin etkisiyle son yıllarda hızlanmaktadır. Bunu temel alan Amerika Birleşik Devletleri, 2035 yılına kadar yüzde 100 temiz elektrik hedefini belirlemiş olup, bu hedef en geç 2050 yılında net sıfır emisyon için önemli bir temel oluşturmaktadır. Elektrifikasyonun teknoloji açısından zorluklar arz ettiği havacılık, denizcilik ve bazı endüstriyel süreçler gibi alanlarda karbonsuz hidrojen ve sürdürülebilir biyoyakıtlar gibi temiz yakıtlara öncelik verebilmektedir. Mevcut ve yeni teknolojiler aynı veya daha iyi hizmeti sağlamak için daha az enerji kullandığında daha temiz enerji kaynaklarına geçiş daha hızlı, daha ucuz ve daha kolay hale gelmektedir. Bu, daha verimli cihazlardan ve verimliliğin yeni ve mevcut binalara entegrasyonundan sürdürülebilir üretim süreçlerine kadar çeşitli, kanıtlanmış yaklaşımlarla başarılabilecektir (Levin vd., 2020).

### **2.3.3. Rusya, Çin ve Latin Amerika**

Şehirleşme ve daha iyi yaşam kalitesi, kişisel araç sayısındaki artış ve coğrafi faktörler, şehirlerdeki ısı ve güç tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Bu eğilim, özellikle Asya, Afrika ve Ortadoğu gibi hızla kentleşen bölgelerde belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Bu eğilimler devam ederse, şehirlerdeki enerji tüketimi 2005'te 240 EJ'den 2050'de 730 EJ'ye kadar üç katına çıkacaktır. Etkili politika ve ulaşım altyapısı planlama araçları, şehirlerdeki enerji tüketimi artışı 2050'de 540 EJ ile sınırlanabilir ve iklim değişikliğinin hafifletilmesine katkıda bulunabilir. Bu durum, şehirleşmenin henüz yüzde 50'ye ulaşmadığı Çin'de özellikle önemlidir ve hükümet, önümüzdeki 15 yıl içinde 350 milyon kişinin daha şehirlere taşınmasını beklemektedir. Bu durum da enerji tüketiminde büyük bir artışa yol açacaktır. Rusya'nın en büyük şehirlerinden bazıları da sağlıklı sanayi, ekonomik, kentsel ve ulaşım altyapısı ve enerji politikaları, eski altyapı tesisleri ve çevresel sorunlar nedeniyle önemli tehditler oluşturan büyük kentsel aglomerasyon merkezlerine dönüşmüştür (B Team, 2015).

Tarihi olarak Rus enerji endüstrisi, geleneksel bir gelişim yolunu takip etmiştir. Doğalgaz, petrol ve kömür büyük hidrokarbon rezervlerinin ve su kaynaklarının bulunabilirliği, güvenli ve verimli alternatif enerji kaynaklarının ilerlemesini engelleyen önemli bir bariyer haline gelmiştir. Ayrıca, yakın zamana kadar ülkede yenilenebilir enerji sektörünü destekleyen programlar eksikti. 10 yıl öncesine kadar yenilenebilir enerji teknolojileri, Rusya'nın çoğu bölgesi için karlı ve verimli değildi (HSE, 2016).

2015 yılında petrol fiyatlarının düşmesinin ardından, Rusya petrol üretimini 534.081 milyar tona çıkararak rekor kırmış olup, bu 2014 yılına göre yüzde 1.4 daha fazlaydı (Interfax, 2016). Ancak, yalnızca yakıt ve enerji sektörüne dayanmak, sürdürülebilir ve dinamik ekonomik büyümeye ulaşılmasını sağlamayacaktır. Rusya Bilimler Akademisi Enerji Araştırma Enstitüsü (ERI RAS) ve Rus Hükümeti Analitik Merkezi uzmanları tarafından yapılan analiz, enerji sektörünün GSYİH'ya katkısının 2015'te yüzde 31'den 2040'ta yüzde 13-15'e düşeceğini göstermektedir. Aynı şekilde, sektörün ülkenin konsolide bütçesine katkısı da aynı dönemde yüzde 30'dan yüzde 14-18'e düşecektir. Rus şirketlerinin yenilikçi faaliyetleri genel ekonomide ve özellikle enerji sektöründe yüksek değildir. Sürdürülebilir bir kalkınma yoluna girmek, yenilikçi faaliyetleri artırmanın yanı sıra ekonomiyi ve enerji kaynaklarını çeşitlendirmeyi gerektirmektedir. Mevcut ekonomik büyüme kaynaklarının tükenmesi, yeni enerji endüstrisi segmentlerinin ilerlemesini ve enerji maliyetlerinin azaltılmasını teşvik etmekte, enerjiyi tüm bölgelere ve nüfus gruplarına erişilebilir kılarak yeni vasıflı işlerin yaratılmasına, sanayinin çevre ve iklim üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Proskuryakova ve Ermolenko, 2019).

Öt yandan, son yıllarda enerji talebi Asya ve Latin Amerika ülkelerine kaymıştır. 2040 yılına kadar, Çin ve Hindistan küresel enerji tüketiminin sırasıyla yüzde 30 ve yüzde 20'sini oluşturabilecektir. Bu ülkelerin petrol tüketimi zaten küresel tüketimin yüzde 50,8'ini oluşturmaktadır. Bu eğilim, Rusya enerji endüstrisi için Asya-Pasifik bölgesinde yeni fırsatlar sunmaktadır. Küresel gaz tüketiminin beklenen hızlandırılmış büyümesi, gaz taşıma ve dağıtım altyapısına olan talebi artıracaktır; bu nedenle Rusya, bu bölgede gazla çalışan santrallerin inşasına katılma şansına sahip olacaktır. Ayrıca, Çin ve Hindistan'da sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) tedarik altyapısı ve gazla çalışan jeneratör tesisleri için karşılanmamış bir talep bulunmaktadır. Coğrafi yakınlık ve mevcut talep nedeniyle Japonya ve Çin'e elektrik ihracatı için de fırsatlar bulunmaktadır (Exxon, 2015).

Geleneksel ve geleneksel olmayan hidrokarbonlar, önümüzdeki on yıllar boyunca enerji dengelerinde muhtemelen hâkim olmaya devam edecektir. Bu nedenle, aşırı ortamlar ve iklimler için uygun yeni çözümler trend olacaktır. Rusya'nın, düşük geçirgen kolektörlerden 2030 yılına kadar 70 milyon ton sıvı hidrokarbon üretmesi beklenmektedir. ABD, Kanada, Çin, Arjantin ve Brezilya da bu tür kaynakları araştırmaktadır. Ancak, çıkarılabilir hidrokarbon rezervlerinin kesin miktarını ölçmek zordur. Bu belirsizlik, üretim maliyetlerini ve ticari fizibilitiyi tahmin etmekle ilgili

başka bir belirsizlikle daha da karmaşık hale gelmektedir. Geleneksel petrol sahalarında bile, petrol geri kazanım oranı yüzde 20 ve yüzde 30'u geçmemektedir. Oysa gelişmiş ülkelerde bu oran yüzde 60 yüzde 70'e ulaşabilmektedir. 2030 yılına kadar yıllık 420 milyon tonluk üretimi sürdürmek için, aktif yataklarda dört milyar tonu olmak üzere en az 12,5 milyar ton yeni rezerv keşfedilmesi gerekmektedir (EIA, 2016).

Yenilenebilir enerji hızla büyümektedir: 2020 yılı için beklenen toplam birincil enerji kaynakları tüketimindeki payı 2010 yılında zaten ulaşılmıştır. Yenilenebilir enerji sektörü, artan teknolojik ve ekonomik verimlilik nedeniyle yüksek bir hızla büyümeye devam etmektedir. 2015 yılında, küresel yenilenebilir elektrik payı yüzde 23, yenilenebilir ısı yüzde 9 ve ulaşım için biyoyakıtlar yüzde 4'e ulaşmıştır. Yenilenebilir elektrik payının 2022 yılına kadar üçte birden fazla artması beklenmektedir. 2012-2016 yılları arasında yenilenebilir enerji sektörüne yapılan küresel yatırımlar, öncelikle güneş ve açık deniz rüzgâr enerjisi üretimine olan ilginin artması nedeniyle 1,5 trilyon doları aşmıştır. Yeni rekabetçi enerji kaynakları ortaya çıkmazsa, 2050 yılına kadar rüzgâr (%34), hidro (%30) ve güneş enerjisi (%18) yenilenebilir enerji kaynakları arasında lider olacaktır. Öte yandan, yenilenebilir enerji projeleri, Latin Amerika, Rusya, Kazakistan, Suudi Arabistan, Tayland ve Afrika ülkeleri, özellikle Kenya, gibi gelişmekte olan pazarlarda özellikle talep görmektedir (OECD/EIA, 2014).

Enerji ile ilgili en büyük zorluklardan biri küresel iklim değişikliğidir. Bu durum, nüfusun kitlesel göçü, çoğu yerde tarımın verimliliğinde önemli değişiklikler ve aşırı doğal olayların artması, okyanus asitlenmesi gibi önemli sonuçlara sahiptir. Son 20 yılda antropojenik CO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık dörtte üçü, hidrokarbonların üretimi, taşınması ve işlenmesi ve ardından elektrik, ısı ve mekanik enerji üretmek için yanması ile ilişkilidir (OECD/EIA, 2017).

#### **2.4. Enerji Dönüşümünde Mevcut AB Mevzuatı ve AB'deki Gelişmeler**

Avrupa Birliği (AB), iklim değişikliği ile mücadele ve sürdürülebilir enerji kullanımı konusunda küresel bir lider olarak kendini konumlandırmıştır. Bu hedeflere ulaşmak için bir dizi mevzuat geliştirmiş ve uygulamaya koymuştur.

- Yenilenebilir Enerji Yönergesi (RED II): Yenilenebilir Enerji Yönergesi 2018/2001, AB'nin yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Yönerge, 2030 yılına kadar AB genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji tüketimindeki payının %32 olmasını

hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşmak için üye devletlerin ulusal enerji ve iklim planları hazırlamaları gerekmektedir (Eurlex, 2021).

- Enerji Verimliliği Yönergesi (EED): Enerji Verimliliği Yönergesi (EU) 2012/27, AB'nin enerji verimliliğini artırmak ve enerji tüketimini azaltmak amacıyla oluşturulmuştur. Yönerge, üye devletlerin enerji tasarrufu sağlaması ve enerji verimliliği önlemlerini uygulaması için bağlayıcı hedefler koymaktadır. 2030 yılına kadar enerji verimliliğinde yüzde 32,5 artış hedeflenmiştir (Eurlex, 2012).
- Avrupa İklim Yasası: Avrupa İklim Yasası (EU) 2021/1119, AB'nin 2050 yılına kadar iklim nötrlüğü hedefine ulaşmasını yasal olarak bağlayıcı hale getirmiştir. Bu yasa, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını 1990 seviyelerine göre en az yüzde 55 oranında azaltmayı hedeflemektedir (Eurlex, 2021).
- AB Yeşil Mutabakatı: Avrupa Yeşil Mutabakatı, AB'nin 2050 yılına kadar iklim nötrlüğü hedefine ulaşmak için kapsamlı bir stratejik plan sunmaktadır. Yeşil Mutabakat, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, sürdürülebilir ulaşım ve çevresel sürdürülebilirlik gibi alanlarda kapsamlı politika değişiklikleri öngörmektedir (Avrupa Komisyonu, 2019).
- Emisyon Ticareti Sistemi (ETS): AB Emisyon Ticareti Sistemi, sera gazı emisyonlarını azaltmak için piyasa temelli bir yaklaşım sunmaktadır. ETS, belirli sektörlerdeki işletmelerin emisyon izinlerini ticaret yoluyla elde etmelerine olanak tanır ve bu şekilde emisyonların ekonomik olarak en verimli şekilde azaltılmasını teşvik etmektedir (Avrupa Komisyonu, 2019).

AB'nin enerji dönüşümü, kapsamlı mevzuat ve stratejik planlar ile desteklenmektedir. Yenilenebilir Enerji Yönergesi, Enerji Verimliliği Yönergesi, Avrupa İklim Yasası, AB Yeşil Mutabakatı ve Emisyon Ticareti Sistemi, bu dönüşümün anahtarı olan mevzuatlardır. Bu politikalar, AB'nin sürdürülebilir enerjiye geçişini hızlandırmakta ve küresel iklim hedeflerine katkıda bulunmaktadır (Yeşil Düşünce, 2020).

Avrupa Komisyonu Enerji Genel Müdürlüğü, zaman zaman Avrupa Birliği (AB) kurumları için politika paketleriyle birlikte gelen kendi etki değerlendirme çalışmalarını yürütmektedir. Bu etki değerlendirmeleri genellikle politikaların tanımlanmasını

desteklemek üzere olası senaryolara ilişkin temel vizyonları içermek için kullanılan nicel temelli analizlerdir. Son yıllarda, Avrupa Komisyonu, politika ve teknoloji senaryolarının analizi yoluyla AB tarafından ilan edilen karbonsuzlaştırma hedeflerine ulaşılmasıyla ilgili temel zorlukları özetleyen etki değerlendirme çalışmaları yürütmüştür. Bu senaryolar AB enerji sisteminin sürdürülebilirliği, rekabet edebilirliği ve güvenliğine odaklanmaktadır. Enerji Yol Haritasında belirtilen ana itici güçler ve karbonsuzlaştırma rotaları dört temel teknolojik gelişme etrafında inşa edilmiştir. Bu temel gelişmeler, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, nükleer enerji ve karbon yakalama ve depolama olarak listelenmekte olup, 2050 yılına kadar yedi enerji geçiş senaryosundan oluşan bir yol haritasını oluşturmaktadır. Bu senaryolar geniş bir teknoloji portföyüne, tüketicilerin ve yatırımcıların rolüne ve mevcut düzenleyici çerçevelerin görünümüne ilişkin varsayımları içermektedir (AB Başkanlığı, 2024).

Herkes için Temiz Bir Gezegen çalışması, Avrupa'nın gerçekçi teknolojik çözümlere yatırım yaparak, vatandaşları güçlendirerek ve sanayi politikası, finans veya araştırma gibi kilit alanlarda eylemleri uyumlu hale getirerek, adil bir geçiş için sosyal adaleti sağlarken iklim nötrlüğüne giden yolda nasıl liderlik edebileceğine dair uzun vadeli bir vizyon sunmaktadır. Bu çalışmada farklı eylem alanlarını, öncelikleri ve teknolojik gelişimi göz önünde bulunduran dokuz senaryo ele alınmıştır. Tüm Avrupalılar için Temiz Enerji çalışmasındaki referans senaryoya benzer şekilde, sera gazı emisyon azaltım hedeflerini karşılamayan, ancak teknolojik varsayımlar veya emisyon hedefleri ile ayırt edilen bir dizi daha iddialı karbonsuzlaştırma senaryosunun eşlik ettiği bir temel senaryo tanımlanmıştır (Yeşil Düşünce, 2020).

## **2.5. Türkiye'nin Enerji Dönüşümünde AB Mevzuatına Uyum Faaliyetleri**

Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne (AB) üye olma hedefi, özellikle enerji sektöründeki yasal ve düzenleyici çerçevesini önemli ölçüde etkilemiştir. AB mevzuatına uyum, Türkiye'nin enerji altyapısını modernize etme, verimliliği artırma ve çevresel sürdürülebilirliği geliştirme stratejisinin kritik bir bileşenidir.

Uyum süreci, Türkiye'nin ulusal yasalarının, Avrupa Birliği hukukunu oluşturan müktesebat, birikmiş mevzuat, yasal düzenlemeler ve mahkeme kararları ile uyumlu hale getirilmesini içermektedir. Enerji sektöründe bu, piyasanın serbestleştirilmesi, çevrenin korunması ve yenilenebilir enerjinin teşvik edilmesini amaçlayan çeşitli direktif ve yönetmelikleri içermektedir. Türkiye'nin kabul ettiği temel yasal çerçevelerden biri, gaz ve elektrik piyasalarında rekabeti artırmayı amaçlayan AB'nin

Üçüncü Enerji Paketi'dir. Bu paket, enerji arzı ve üretiminin şebeke operasyonlarından ayrılmasını, bağımsız düzenleyici otoritelerin kurulmasını ve enerji altyapısına şeffaf ve ayrımcı olmayan erişimin oluşturulmasını gerektirmektedir (Avrupa Komisyonu, 2009).

Türkiye, BOTAŞ ve TEİAŞ gibi kamu iktisadi teşebbüslerinin ayrıştırılması örneğinde olduğu gibi, enerji piyasasını yeniden yapılandırarak bu alanda önemli adımlar atmıştır (Bayraç, 2018). Ayrıca Türkiye, çevre mevzuatını AB'nin Yenilenebilir Enerji Direktifi (RED) ve Enerji Verimliliği Direktifi (EED) ile uyumlu hale getirmiştir. RED, yenilenebilir enerji tüketimi için bağlayıcı hedefler koymaktadır ve Türkiye, 2023 yılına kadar toplam enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin yüzde 30'luk payını elde etmek amacıyla Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planına (NREAP) yansıtmıştır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2014). EED, Türkiye'nin Enerji Verimliliği Kanunu ve çeşitli ulusal eylem planları aracılığıyla ele aldığı enerji verimliliği iyileştirmelerini teşvik etmektedir (Turhan, 2020).

Uyumlaştırma faaliyetlerinin Türkiye'nin enerji politikası üzerinde derin bir etkisi olmuş, Türkiye'yi daha fazla piyasa serbestleşmesine, yenilenebilir enerji yatırımlarının artmasına ve enerji verimliliğinin iyileştirilmesine yönlendirmiştir. Piyasanın serbestleştirilmesi çabaları, Türkiye'de daha rekabetçi ve şeffaf bir enerji piyasasının kurulmasına yol açmıştır. Tekelci yapıların ayrıştırılması, özel sektör katılımını ve yatırımını teşvik ederek daha dinamik bir piyasa ortamını desteklemiştir. Bu durum, Türkiye'de faaliyet gösteren özel elektrik ve gaz şirketlerinin sayısındaki artışta açıkça görülmekte olup, piyasa verimliliğinin ve tüketici tercihlerinin artmasına katkıda bulunmaktadır (Çetin ve Oğuz, 2011).

Yenilenebilir enerji alanında, AB direktiflerine uyum önemli bir büyümeyi teşvik etmiştir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji, özellikle de rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu kapasitesi hızla artmıştır. Türkiye, 2023 yılı sonuna kadar, AB politikalarını örnek alan tarife garantileri ve diğer teşviklerle desteklenen 10 GW rüzgâr ve 5 GW güneş enerjisi kapasitesine sahip olmayı hedeflemektedir (Gülen, 2020). Bu değişim sadece AB iklim hedefleriyle uyumlu olmakla kalmayıp aynı zamanda Türkiye'nin ithal fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltarak enerji güvenliğini artırmaktadır.

EED ile uyumlaştırma sayesinde enerji verimliliğinde sağlanan iyileştirmeler, büyük işletmeler için zorunlu enerji denetimleri, enerji performans sözleşmelerinin uygulamaya konulması ve kamuoyu bilinçlendirme kampanyaları gibi çeşitli önlemlerin alınmasına yol açmıştır. Bu girişimler, Türkiye'nin genel enerji tüketiminin ve sera gazı

emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunarak AB'nin daha geniş iklim hedefleriyle uyum sağlamaktadır (Enerdata, 2022).

Uyumlaştırma faaliyetleri mevzuat uyumunun ötesine geçmekte ve Türkiye'nin enerji dönüşümü üzerinde daha geniş etkilere sahip olmaktadır. İlk olarak, AB'den teknoloji ve bilgi transferini kolaylaştırarak Türkiye'nin enerji sektöründe en iyi uygulamaları ve ileri teknolojileri benimsemesini sağlamaktadır. Bu özellikle akıllı şebekeler, enerji depolama ve yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu gibi alanlarda önemlidir.

İkinci olarak, uyumlaştırma Türkiye'nin bölgesel enerji piyasasına entegrasyonunu artırır. Mevzuatını AB standartlarıyla uyumlu hale getirerek Türkiye, enerji ticareti ve iş birliği için daha cazip bir ortak haline gelir. Bu entegrasyon, Hazar gazını Avrupa'ya taşımayı ve böylece AB'nin enerji tedarik kaynaklarını çeşitlendirmeyi amaçlayan Güney Gaz Koridoru gibi projeler için çok önemlidir (Avrupa Komisyonu, 2020).

AB mevzuatına uyum Türkiye'nin çevre ve iklim taahhütlerini desteklemektedir. Bir aday ülke olarak Türkiye'nin, Avrupa'yı 2050 yılına kadar iklim açısından nötr ilk kıta haline getirmeyi amaçlayan Avrupa Yeşil Anlaşması da dâhil olmak üzere AB'nin iklim hedeflerine katkıda bulunması beklenmektedir. Bu nedenle, uyum çabaları, Türkiye'yi küresel iklim eyleminde proaktif bir katılımcı olarak konumlandırmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2019).

AB mevzuatına uyum faaliyetleri, Türkiye'nin enerji dönüşümünün merkezinde yer almakta ve yasal çerçeveleri, enerji politikasını ve daha geniş stratejik hedefleri etkilemektedir. Türkiye, AB müktesebatına uyum sağlayarak sadece enerji sektörünü modernleştirmekle kalmıyor, aynı zamanda piyasadaki rekabet gücünü, enerji güvenliğini ve çevresel sürdürülebilirliği de artırıyor. Devam etmekte olan uyum süreci, Türkiye'nin AB ile bütünleşme konusundaki kararlılığının ve küresel enerji ve iklim sorunlarının ele alınmasındaki rolünün altını çizmektedir.

## SONUÇ

Dünyada ve Türkiye'de yeşil enerjiye olan ilgi ve yatırım, son yıllarda hızla artmıştır. Küresel düzeyde yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve enerji kapasitesindeki artış, sürdürülebilir bir geleceğin inşasında kritik bir rol oynamaktadır. Güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmakta ve çevresel etkileri en aza indirmektedir. Bu dönüşüm, iklim değişikliği ile mücadele açısından da büyük önem taşımaktadır.

Dünya genelinde yeşil enerji üretimi hızla artmakta ve enerji kapasiteleri genişlemektedir. Güneş enerjisi panelleri, rüzgâr türbinleri ve jeotermal santraller gibi yenilenebilir enerji teknolojileri, birçok ülkenin enerji politikalarının merkezinde yer almaktadır. Özellikle Avrupa Birliği (AB), Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Çin ve Latin Amerika gibi bölgeler, yeşil enerji yatırımlarında öncü konumda bulunmaktadır. Bu ülkeler, yenilenebilir enerji üretiminde liderliklerini sürdürmekte ve bu alanda önemli yeniliklere imza atmaktadır.

Türkiye açısından bakıldığında, yeşil enerjinin önemi her geçen gün daha da belirginleşmektedir. Türkiye, zengin doğal kaynaklara sahip olmasının yanı sıra, yenilenebilir enerji potansiyelini etkin bir şekilde değerlendirme yolunda önemli adımlar atmaktadır. Türkiye'nin enerji dönüşümünde AB mevzuatına uyum faaliyetleri, ülkenin enerji sektöründe modernleşmeyi ve sürdürülebilirliği sağlamaktadır. AB'nin enerji politikaları ve düzenlemeleri, Türkiye'nin enerji stratejilerine yön vermekte ve yenilikçi enerji projelerinin hayata geçirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına yapacağı yatırımlar, enerji güvenliğini artırırken, ekonomik büyümeyi destekleyecek ve çevresel sürdürülebilirliği sağlayacaktır.

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji arz güvenliğini artırmakta ve enerji ithalatını azaltarak dışa bağımlılığı minimize etmektedir. Türkiye'nin enerji stratejisinde güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar hem ekonomik büyüme hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Yenilenebilir enerji projeleri, Türkiye'nin enerji arzının çeşitlendirilmesine yardımcı olmakta ve enerji maliyetlerini düşürmektedir.

Enerjideki dönüşümün siyasi, ekonomik ve teknolojik boyutları, ülkelerin enerji stratejilerini şekillendirmekte ve gelecekteki enerji senaryolarına yön vermektedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin yeşil enerji kaynaklarına yapacağı yatırımlar, enerji güvenliğini artırırken, ekonomik büyümeyi destekleyecek ve çevresel sürdürülebilirliği sağlayacaktır. Türkiye'nin yeşil enerji konusundaki kararlılığı, enerji dönüşümünde lider bir ülke olma yolunda atılan önemli bir adımdır. Ayrıca, yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar, yeni iş alanları yaratmakta ve enerji sektöründe yenilikçi teknolojilerin gelişimini teşvik etmektedir.

Sonuç olarak, yeşil enerjiye yapılan yatırımlar ve enerji mevzuatına uyum faaliyetleri hem Türkiye'nin hem de dünyanın enerji geleceği için büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı ve enerji verimliliğinin artırılması hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli fırsatlar sunmaktadır. Türkiye'nin enerji dönüşümündeki bu kararlı adımları, ülkenin enerji güvenliğini ve bağımsızlığını güçlendirecek, aynı zamanda küresel iklim hedeflerine katkı sağlayacaktır. Yeşil enerji yatırımları, gelecekte daha temiz, güvenli ve sürdürülebilir bir enerji sistemine geçişin anahtarıdır. Türkiye'nin bu konudaki kararlılığı ve adımları, enerji dönüşümünde lider bir ülke olma yolunda önemli bir adımı temsil etmektedir.

## KAYNAKÇA

- AB Başkanlığı, (2024). Fasil 15: Enerji, Avrupa Birliği'nin Enerji Politikası, [https://www.ab.gov.tr/fasil-15-enerji\\_80.html](https://www.ab.gov.tr/fasil-15-enerji_80.html)
- Adıyaman, Ç. (2012). “Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Politikaları”, Yüksek Lisans Tezi Niğde Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Niğde.
- Ata, R. ve Öcal, F.(2014). “Manisa’nın Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Analizi”, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:1, Sayı:10, Sayfa:1-10.
- Bayraç, H. N. (2018). Turkey's Energy Market Liberalization. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 1006-1018.
- Boon, Marten, (2019), “A climate of change? The oil industry and decarbonization in historical perspective”, Business History Review 93 (1)101-125.
- British Petroleum, (2022) Statistical Review of World energy, 71st Edition
- (2020). BP Statistical Review of World Energy 2020. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Çetin, T., & Oguz, F. (2011). The Politics of Regulation in Turkey. Utilities Policy, 19(2), 94-101.
- Doğaka, (2014), “Enerji Sektör Raporu”, Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, Hatay.
- Fagan, B., & Knight, P. (2011). Re: Renewable Portfolio Standards and Requirements . Synapse Energy Economics, Inc.
- Enerdata. (2022). Turkey Energy Efficiency Report
- Eurlex, (2023). Report From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions State of the Energy Union Report 2023, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2023%3A650%3AFIN&qid=1698237100377>
- (2021). Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from

renewable sources <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001>

(2012), Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC Text with EEA relevance <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32012L0027>

(2021), Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law') <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119>

EPDK. (2023). Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Stratejik Planı 2023-2027.

European Commission. (2020). Southern Gas Corridor. Retrieved from European Commission.

European Commission. (2020). The European Green Deal. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_19\\_6691](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6691)

European Commission. (2019). The European Green Deal sets out how to make Europe the first climate-neutral continent by 2050, boosting the economy, improving people's health and quality of life, caring for nature, and leaving no one behind [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_19\\_6691](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6691)

European Commission. (2009). Third Energy Package. Retrieved from European Commission.

European Commission. (2019). The European Green Deal. Retrieved from European Commission.

European Parliament, (2023). Achieving the UN Agenda 2030: Overall actions for the successful implementation of the Sustainable Development Goals before and after the 2030 deadline, Policy Department for External Relations, Directorate General for External Policies of the Union, European Parliament.

Eurostat, (2023). Sustainable development in the European Union – Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context,

<https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-flagship-publications/w/ks-04-23-184>

Exxon mobile, (2015). The Outlook for Energy: A View to 2040, 2015. SP-138. Texas, [http://cdn.exxonmobil.com/~//media/global/fles/outlook-for-energy/2015-outlook-for-energy\\_print-resolution.pdf](http://cdn.exxonmobil.com/~//media/global/fles/outlook-for-energy/2015-outlook-for-energy_print-resolution.pdf)

Fouquet, Roger, (2016), “Historical energy transitions: Speed, prices and system transformation.” Energy research & social science 22, 7-12.

Fouquet, R. ve Pearson, P. (2012). “Past and prospective energy transitions: Insights from history.” Energy policy 50, 1-7.

Geels, Frank, (2014), “Regime resistance against low-carbon transitions: Introducing politics and power into the multi-level perspective”, Theory, Culture Society 31 (5): 21–40

Gençel, H., ve Tarhan, İ. (2019). Rüzgar Enerjisinin Önemli Geçiş Yerlerinden Olan Çanakkale Bölgesindeki Bazı Rüzgar Enerji Santralleri için Kapasite Faktörü İncelemesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 120-139

GENSED. (2023). Güneş Enerjisi Sanayicileri ve Endüstrisi Derneği Yıllık Raporu 2023.

Global Wind Energy Council (GWEC). (2021). Global Wind Report 2021. <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>

Goldemberg, J., ve Coelho, S. (2004). Renewable Energy-traditional biomass vs. modern biomass . Energy Policy, 32 , 711-714.

Gülen, G. (2020). Renewable Energy in Turkey: A Review. Energy Policy, 146, 111819.

HSE, Science and Technology. Innovation. Information Society (2016). Pocket Data Book, Higher School of Economics, Moscow,

International Geothermal Association (IGA), Geothermal Power Database, <https://www.lovegeothermal.org/explore/our-databases/geothermal-power-database/>

International Energy Agency (IEA). (2022). Renewables 2021. <https://www.iea.org/reports/renewables-2021>

- International Energy Agency (IEA). (2020). World Energy Outlook 2020. Paris: IEA.  
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- EIA, (2016), International Energy Outlook 2016. With Projections to 2040, U.S. Energy Information Administration, Washington DC.
- International Energy Agency (IEA). (2013). FAQs: Renewable Energy. IEA:  
<http://www.iea.org/aboutus/faqs/renewableenergy/>
- IPCC. (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels.
- IPCC, (2021), "Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," Cambridge University Press, Cambridge UK,  
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- IEA. (2021). World Energy Outlook 2021. International Energy Agency.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). Renewable Energy Statistics 2020. <https://www.irena.org/Publications/2020/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2020>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2021. <https://www.irena.org/Publications/2021/Oct/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2021>
- The International Resource Panel: Global Resources Outlook (2019). Natural Resources for the Future We Want; (iv) European Environment Agency: the European environment — state and outlook 2020: knowledge for transition to a sustainable Europe
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). Global Warming of 1.5°C. Geneva: IPCC. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). Renewable Power Generation Costs in 2019. Abu Dhabi: IRENA. Retrieved from <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>

- Jones, G., (2017), Profits and Sustainability. A History of Green Entrepreneurship. Oxford: Oxford University Press.
- Kander, Astrid., Warde, Paul., Henriques, Sofia T., Nielsen, Hana, Kulionis, Viktoras and Hagen, Sven, (2017). International trade and energy intensity during European industrialization, 1870–1935. Ecological Economics, 139, 33-44.
- Külekçi, Ö.C. (2009). "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi", Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, Cilt:1,Sayı:2,Sayfa:83-91.
- Levin, K., D. Rich, K. Ross, T. Fransen and C. Elliott, (2020). "Designing and Communicating Net-Zero Targets," World Resources Institute, Washington DC, 2020. [www.wri.org/design-net-zero](http://www.wri.org/design-net-zero).
- Maguire, G. (2023). The top global solar power potential hotspots, Reuters, <https://www.reuters.com/business/energy/top-global-solar-power-potential-hotspots-maguire-2023-05-23/>
- McNeill, John. R., & Engelke, Peter, (2016). The great acceleration: An environmental history of the Anthropocene since 1945. Cambridge MA: Harvard University Press.
- MTA, (2022). Enerji Haritaları, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/jeotermal-harita/images/1.jpg>
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2021). Energy Storage. <https://www.nrel.gov/research/energy-storage.html>
- NRDC. (2013). Renewable Energy for America. NRDC: <http://www.nrdc.org/energy/renewables/hydropower.asp>
- Nuttall, William J. (2023) "The Changing Political Economy of Fusion", Journal of Fusion Energy 42 (1): 1-4.
- OECD/IEA, (2014) CO2 Emissions from Fuel Combustion, International Energy Agency, Paris,
- (2014). World Energy Outlook 2014, International Energy Agency, Paris.

- Özdemir, Z., Doğaner, A., & Çetin, G. (2022). Ekonomik büyüme ve karbon emisyonu ilişkisi: almanya örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 27(3), 509-521.
- Özkan, A. (2014). “Implementing International Environmental Law in the Black Sea Basin: An Analsis of Bucharet Convention”, Journal of World of Turks, Vol. 6 (1), Sayfa:229-240.
- Öztürel, R. Z. ve Ecevit A.(2001). “Türkiye ‘de Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin İzlenmesi Gereken Strateji Planlama Politikaları ve Bunların Sosyal ve Siyasi Etkileri”, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Sayfa:28-32, İzmir.
- Proskuryakova, L.P. ve Ermolenko, G.E. (2019). The future of Russia’s renewable energy sector: Trends, scenarios and policies, Renewable Energy, Volume 143.
- REN21. (2022). Renewables 2022 Global Status Report. <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>
- Karagöl, E. T. ve Kavaz, İ. (2017). Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf>
- Solomon, Barry D., and Karthik Krishna, (2011), “The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook.” Energy Policy 39 (11): 7422-7431.
- Siracusa, J. M. (2020) Nuclear Weapons. A very Short Introduction. Oxford University Press.
- Smil, V., (2014), “The long slow rise of solar and wind”. Scientific American, 310 (1): 52-57.
- (2010), Energy myths and realities. Washington, DC: AEI Press.
- Sovacool, B. K. (2014). Energy Studies: New Directions in Energy and Society. London: Routledge.
- (2016), “How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions” Energy Research & Social Science 13: 202-215.
- T.C. Enerji Bakanlığı, (2022), Güneş, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>
- Rüzgar, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar>
- Hidrolik, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik>

(2014), Türkiye'nin Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı

TEİAŞ. (2020). Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Yıllık Raporu 2020.

The B Team, (2015). B Team Calls for Net-Zero Greenhouse-Gas Emissions by 2050, <http://bteam.org/the-b-team/business-leaders-call-for-net-zero-greenhouse-gas-emissions-by-2050>

Turhan, E. (2020). Energy Efficiency Policies in Turkey. Journal of Cleaner Production, 258, 120774.

TÜREB. (2023). Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği Yıllık Raporu 2023.

UNFCCC, (2021). "The United States' Nationally Determined Contribution: Reducing Greenhouse Gases in the United States: A 2030 Emissions Target," Washington, DC, <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/United%20States%20of%20America%20First/United%20States%20NDC%20April%2021%202021%20Final.pdf>.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2015). The Paris Agreement. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

United Nations, (2023). The Sustainable Development Goals Report, <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023.pdf>

Unruh, G. C., (2000), "Understanding carbon lock-in", Energy policy 28.12 (2000): 817-830.

U.S. Department of Energy. (2021). Geothermal Technologies Office.

Wrigley, E. Anthony, (2010), Energy and the English Industrial Revolution. Cambridge: Cambridge University Press.

World Coal Association. (2020). Coal and the Environment. <https://www.worldcoal.org/coal/uses-coal/coal-environment>

World Health Organization (WHO). (2018). Air Pollution and Child Health: Prescribing Clean Air. Geneva: WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/air-pollution-and-child-health>

- World Nuclear Association. (2020). Nuclear Power in the World Today. <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>
- Yakıcı Ayan.T.,Pabuçcu.H. (2013). ”Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Değerlendirilmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt:18,Sayı:3,Sayfa:89-110.
- Yergin, Daniel, (2020), The new map: Energy, climate, and the clash of nations. New York: Penguin Press.
- Yeşil, M. A. (2015). “TRA2 Bölgesi Yeşil Enerji Kaynakları Sektör Raporu” SERKA Kalkınma Ajansı, Kars.
- Yeşil Düşünce, (2020). Avrupa Yeşil Mutabakatı, <https://www.yesildusunce.org/wp-content/uploads/2021/06/yesilavrupamutabakati.pdf>
- Zandt, F. (2022). How Water Powers the World, Statista, <https://www.statista.com/chart/28032/share-of-electricity-generated-through-hydropower-per-country/>

## ÖZET

### DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE YEŞİL ENERJİ

Küresel ısınma ve çevresel sorunların giderek artmasıyla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı tüm dünyada büyük önem kazanmıştır. Yeşil enerji, fosil yakıtlara alternatif olarak çevre dostu ve sürdürülebilir enerji üretim yöntemlerini kapsamaktadır. Dünya genelinde, güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar artmaktadır. Bu eğilim hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlamaktadır. Türkiye de bu küresel hareketin bir parçası olarak yeşil enerji alanında önemli adımlar atmaktadır. Özellikle son yıllarda, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kapasitesi büyük ölçüde artmış, güneş ve rüzgâr enerjisi yatırımları hız kazanmıştır. Bu çalışma, dünyada ve Türkiye'de yeşil enerji kullanımının mevcut durumu, gelişim süreçleri ve gelecekteki potansiyellerini incelemektedir. Ayrıca, yeşil enerjinin benimsenmesindeki zorluklar ve fırsatlar da ele alınarak, sürdürülebilir enerji politikalarının önemi vurgulanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji, Yeşil enerji, Yenilebilir enerji

## **ABSTRACT**

### **GREEN ENERGY IN THE WORLD AND TURKEY**

The use of renewable energy sources has gained great importance all over the world with global warming and environmental problems increasing. Green energy encompasses environmentally friendly and sustainable energy production methods as an alternative to fossil fuels. Investments in renewable energy sources such as solar, wind, hydroelectricity and biomass are increasing worldwide. This trend provides both environmental and economic benefits. As part of this global movement, Turkey is also taking important steps in the field of green energy. Especially in recent years, Turkey's renewable energy capacity has increased substantially and investments in solar and wind energy have gained momentum. This paper examines the current status, development processes and future potentials of green energy use in the world and in Turkey. It also addresses the challenges and opportunities in the adoption of green energy and emphasizes the importance of sustainable energy policies.

**Key Words:** Energy, Green energy, Renewable energy