



## DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ DURUMU VE KURULUM MALİYETLERİ

Seyda ÖZBEKTAŞ<sup>1</sup>, Mahmut Can ŞENEL<sup>2\*</sup>, Bilal SUNGUR<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Böl., Samsun,  
ORCID No : 0000-0001-7399-733X

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,  
Samsun, ORCID No : 0000-0001-7897-1366

<sup>3</sup>Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun,  
ORCID No : 0000-0002-7320-1490

### Anahtar kelimeler

### Öz

*Yenilenebilir enerji,  
yenilenemez enerji, fosil  
yakıt, kurulum maliyeti*

*Günümüzde artan enerji talebinin büyük bir kısmı halen yüksek miktarda hidrokarbon içeren fosil yakıt kaynaklarından sağlanmaktadır. Bu durum hava kirliliği ve küresel ısınma gibi birçok çevresel probleme yol açmaktadır. Bu sorunlar karşısında tüm dünya yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarına ağırlık vermiştir. Bu çalışmada, dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım durumları ve kurulum maliyetleri güncel verilerle incelenmiştir. Çalışma neticesinde yenilenemez enerji kaynağı olan kömürün küresel çapta %36'lık payla günümüzde hala en çok tüketilen enerji kaynağı olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın toplam temiz enerjinin elektrik üretimindeki payının %38 seviyelerine geldiği belirlenmiştir. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kullanımının dünyada ve Türkiye'de hızlı bir şekilde yaygınlaşması, yenilenemez enerjiye olan talebin hızla azaltılması hem çevresel hem de kaynak çeşitliliği açısından oldukça önem arz etmektedir.*

<sup>1</sup> Sorumlu yazar; e-posta: mahmutcan.senel@omu.edu.tr  
doi : muhendismakina.1319183

---

## RENEWABLE ENERGY STATUS AND INSTALLATION COSTS IN THE WORLD AND TURKEY

---

### Keywords

*Renewable energy, non-renewable energy, fossil fuel, installation cost*

### Abstract

*Today, most of the increasing energy demand is still supplied by fossil fuel sources containing high amounts of hydrocarbons. This situation leads to many environmental problems, such as air pollution and global warming. In the face of these problems, the world has focused on research and development studies on renewable energy sources. In this study, the utilization statuses and installation costs of renewable energy sources in the world and Turkey were examined with current data. As a result of the study, it was determined that coal, which is a non-renewable energy source, is still the most consumed energy source, with a share of 36% globally. On the other hand, it was observed that the share of total clean energy in electricity generation had reached 38%. In this context, the rapid expansion of renewable energy utilization in the world and Turkey and the rapid reduction of the demand for non-renewable energy is significant in terms of environmental and resource diversity.*

---

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 20.12.2022

Kabul Tarihi : 08.03.2023

Research Article

Submission Date : 20.12.2022

Accepted Date : 08.03.2023

---

## Extended Abstract

### Introduction

The demand for energy is increasing by 4-5% every year due to increasing industrialization, population, consumption expenditures, technological developments, and high living standards worldwide (Kaya, Şenel ve Koç, 2018). Non-renewable energy sources generally meet this increasing demand due to their low cost and easy accessibility. As a result, the decreases in biodiversity and agricultural production, the climate changes and the increases in erosion become inevitable (Çınar ve Yılmaz, 2015). In the face of the negative consequences of supplying energy demand from non-renewable energy sources, the trend towards renewable energy sources is increasing worldwide. In this study, a comprehensive evaluation of renewable energy sources widely used in the world and Turkey was performed. In this context, the changes in the installed capacity, electrical energy generation and installation cost over the years were examined.

### General Energy Status in the World and Turkey

Coal remained the most used primary energy source globally for electricity generation in 2021, with 10244 TWh. The second largest share in electricity generation belonged to the gas source. In 2021, the renewable energy sources producing the most electricity in the world, excluding hydraulic energy, were wind and solar. Together, they have started to meet more than 10% of the world's electricity. On the other hand, electric energy obtained from total clean energy sources met 38% of the world's electricity in 2021, surpassing coal, which corresponds to 36% (Global Electricity Review, 2022).

The electrical energy consumed in Turkey in 2021 increased by 8.74% compared to the previous year and reached 332.9 TWh, while electricity production increased by 9.14% to 334.7 TWh. As of 2022, the total installed capacity has reached 103276 MW. The largest shares in terms of installed capacity belonged to hydraulic energy (30.6%), natural gas (24.5%), coal (21.1%), wind energy (10.9%), solar energy (8.8%) and geothermal energy (1.6%), respectively. In this context, the highest electricity generation was obtained from natural gas (33.2%), coal (30.9%), hydraulic energy (16.7%), wind energy (9.4%), solar energy (4.2%), geothermal energy (3.2%), respectively (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

### Renewable Energy Status and Installation Costs in the World and Turkey

The highest installed capacity among renewable energy sources in the world and Turkey belongs to hydraulic energy. In 2021, hydraulic energy constituted 58.6% of the installed capacity based on renewable energy in Turkey and 42.5% in the world. The largest installed capacities in the world after hydraulic energy were solar (26.7%), wind (25.8%), bioenergy (4.5%) and geothermal (0.5%), respectively. In Turkey, the largest installed capacities after hydraulic energy were expressed as wind (19.7%), solar (14.5%), bioenergy (4.1%) and geothermal energy (3.1%) (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022).

In the last ten years, electrical energy generation from renewable energy sources has generally shown an increasing trend in the world. In Turkey, on the other hand, while the electrical energy generated from wind, solar, bioenergy and geothermal energy is incre-

asing every year, the electrical energy generated from hydraulic energy has shown high variability depending on drought and, therefore, water level. In 2021, the highest electricity generation from renewable energy sources in the world was obtained from hydraulic (4273.8 TWh), wind (1861.9 TWh), solar (1032.5 TWh), bioenergy (583.7 TWh) and geothermal energy (94.9 TWh), respectively. In Turkey, the highest electricity generation was obtained from hydraulic (55.7 TWh), wind (31.1 TWh), solar (12.8 TWh), geothermal (10.0 TWh) and bioenergy (4.44 TWh), respectively (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022).

Between 2010 and 2021, the general trend in global weighted average total installation costs for photovoltaic solar, concentrated solar, onshore wind and offshore wind was downward. In the same period, hydraulic energy installation costs generally showed an increasing trend. On the other hand, installation costs for bioenergy showed high variability, with installation costs falling in 2021 compared to 2010. In this context, the highest global weighted average total installation costs for renewable energy in 2021 were concentrated solar (\$4746/kW), geothermal (US\$3991/kW), offshore wind (US\$2858/kW), bioenergy (2353 USD/kW), hydraulic (2135 USD/kW), onshore wind (1325 USD/kW), photovoltaic solar (857 USD/kW), respectively (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022).

## Results

Within the scope of this study, after examining the general energy status in the world and Turkey, the status and installation costs of renewable energy sources, which are thought to replace non-renewable energy sources in the future, were examined on the world and Turkey scales. When the general energy status was evaluated, it was determined that the highest electrical energy generation from non-renewable energy was obtained from coal, and the highest electrical energy generation from renewable energy was obtained from hydraulic energy. In addition, it was determined that the installation costs of onshore wind and photovoltaic solar energies were cheaper than other renewable energy sources and their installation costs continue to decrease with each passing year. In this context, rapidly increasing the installed capacity based on wind and solar energy in the world and Turkey is of great importance due to reducing the dependence on fossil fuel resources and the positive contribution it will create in terms of the environment.

## 1. Giriş

Dünya çapında artan sanayileşme, nüfus, tüketim harcamalarının yanı sıra teknolojik gelişmeler ve yüksek yaşam standartları gibi sebeplerden dolayı enerjiye olan talep her geçen yıl %4-5 oranında artmaktadır (Kaya, Şenel ve Koç, 2018). Artan bu talep genellikle maliyetinin düşük ve ulaşılabilirliğinin kolay olması nedeniyle yenilenemez enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Özellikle petrol, doğalgaz ve kömür gibi yüksek hidrokarbon içeren fosil yakıtların kullanımından kaynaklı olarak çevreye karbondioksit ve benzeri sera gazları salınmaktadır. Bu durum çevre kirliliğine ve küresel ısınmanın hızlanmasına yol açmaktadır. Buna bağlı olarak biyolojik çeşitlilikte ve tarımsal üretimde azalmalar, iklim değişiklikleri, erozyonlarda artışlar kaçınılmaz bir hale gelmektedir (Çınar ve Yılmaz, 2015). Enerji talebinin yenilemez enerji kaynaklarından sağlanmasının getirmiş olduğu olumsuz sonuçlar karşısında dünya çapında yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim giderek artmaktadır. Bu alanda yatırımlar yapmak hükümetlerin politikaları arasına girmiştir.

Enerji kaynakları kullanım türlerine göre yenilenemez ve yenilenebilir olmak üzere ikiye ayrılırlar. Dönüştürülebilirliklerine göre ise birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılırlar. Bu durum Şekil 1’de detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Dönüştürülebilirliklerine göre kömür, petrol, doğal gaz, nükleer, biyokütle, hidrolik, güneş, rüzgar, dalga ve gel-git gibi herhangi bir dönüşüme ya da değişime uğramamış enerji kaynakları birincil (primer) enerji olarak adlandırılır. Diğer taraftan, elektrik, benzin, motorin, ikincil kömür, kok, petrokok, hava gazı ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) gibi birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerji kaynakları ikincil (sekonder) enerji olarak adlandırılır (Koç ve Kaya, 2015; Koç ve Şenel, 2013). Dünyada ve Türkiye’de günümüzde kullanılmakta olan enerjinin çoğu birincil enerji kaynaklarından elde edilmektedir (Kaya, İl ve Carlak, 2021).

Yenilenebilir enerji, doğal kaynaklardan elde edilen ve doğada kendi evrimi içerisinde bir sonraki zaman diliminde kendini yenileyebilen enerji türüdür. Güneş, rüzgar, biyoenerji, jeotermal, gel-git, dalga, hidrojen ve hidrolik en temel yenilenebilir enerji kaynaklarıdır (Ellabban, Abu-Rub ve Blaabjerg, 2014). Çevreye zarar vermemeleri sebebiyle temiz enerji kaynağı olmaları, enerjide dışa bağımlılığı azaltmaları ve istihdam artışı sağlamaları bu tür enerji kaynaklarının en önemli özellikleridir. Getirdiği bu avantajlar nedeniyle ülkemizde ve dünyada yenilenebilir enerji kaynağı potansiyelinin ortaya konması oldukça önem arz etmektedir. Bu bağlamda dünyada ve ülkemizdeki yenilenebilir enerji kullanımına yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Güllü ve Kartal (2021) yenilenebilir enerjinin dünyada ve Türkiye’deki istihdamı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Ülkemizde hidrolik enerjiden sonra rüzgar ve güneş enerjisinin istihdam üzerinde kayda değer bir etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Ağır, Özbek ve Türkmen (2020) ye-

nilenebilir enerji kaynaklarının ülkemiz üzerine olan etkisini tespit etmek için ampirik bir çalışma yapmışlardır. Gerçekleştirdikleri eş bütünleme analizinde yenilenebilir kaynakların kullanımı sonucunda elde edilen enerjinin kentleşme, enerji tüketimi ve kişi başı milli gelirle uzun dönemde bağlantılı olduğunu bulmuşlardır. Işık ve Yavuz (2022) biyokütlenin dönüşümünden elde edilen biyoyakıtlar hakkında detaylı bir inceleme yapıp, biyoyakıtların Türkiye'deki durumu hakkında bilgi vermişlerdir. Gielen, Boshell, Saygin, Bazilian, Wagner ve Gorini (2019) yenilenebilir enerji için yeni veri kümeleri kullanarak, 2050 yılına hızlandırılmış bir enerji geçişini teknik ve ekonomik açıdan incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda bu geçişin ana unsurunun enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji teknolojileri olduğunu tespit etmişlerdir. Li, Lin, Wu, Xie, Meng, Zheng, Wang ve Zhao (2022) yenilenebilir enerjinin dünyadaki durumunu sistematik olarak incelemişlerdir. Jaiswal, Chowdhury, Yadav, Verma, Dutta, Jaiswal, SangmeshB ve Karuppasamy (2022) fosil yakıt kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin iklim değişimini ve buna bağlı etkileri azaltmada nasıl bir katkı sağlayacağını araştırmışlardır. Hosseini (2020) COVID-19 salgınının yenilenebilir enerji üretimi ve sürdürülebilir enerjiye geçiş süreci üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Wang, Sun ve Iqbal (2022) gelişmekte olan büyük ekonomilerden oluşan E7 ülkelerinde (Çin, Hindistan, Brezilya, Türkiye, Rusya, Meksika ve Endonezya) yeşil finansmanın yenilenebilir enerji bağımlılığı ve geçiş süreci üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Wu (2023) OECD ekonomilerinde yenilenebilir enerji yatırım kaynaklarının ve yeşil finansın ekonomik performans üzerinde önemli ve pozitif bir etkisi olduğunu tespit etmiştir. Hassan, Al-Hitmi, Tabar, Sameen, Salman ve Jaszczur (2023) Orta Doğudaki enerji tüketimini ve potansiyel yenilenebilir enerji kaynaklarının durumunu incelemişlerdir. Orta Doğunun gelecekteki enerji talebinin güneş ve rüzgar enerjisinden karşılanabileceği sonucuna varmışlardır. Kayışoğlu ve Diken (2019) Türkiye'de yenilenebilir enerjinin mevcut durumunu ve sahip olduğu potansiyeli güncel verilerle değerlendirmiştir. Ayrıca, çalışmalarında yenilenebilir enerji kullanımının arttırılmasında karşılaşılan engeller için çözüm önerileri de sunmuşlardır. Sen ve Ganguly (2017) dünyada yenilenebilir enerjiyle ilgili sorunlar, engeller ve fırsatlar üzerine bir araştırma yapmış ve çözüm önerilerinde bulunmuşlardır. Chen, Pinar ve Stengos (2020) yenilenebilir enerji kullanımı ile ekonomik büyüme arasındaki nedensel bağı incelemişlerdir. Gelişmiş ülkelerde yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerine etkisinin kısıtlı olduğunu ancak OECD ülkelerinde önemli ve pozitif bir etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir. Pacesila, Burcea ve Colesca (2016) Avrupa Birliği üyesi ülkelerde yenilenebilir enerji sektörünü incelemişlerdir. Yenilenebilir enerji üretiminin her bir devletin enerji bağımlılığını azaltmasına yardımcı olduğunu ancak tek faktörün bu olmadığını öne sürmüşlerdir. Koyuncu ve Karabulut (2021) yenilenebilir enerjinin Türkiye ekonomisindeki büyümeye olan etkisini 1961 ve 2015 yılları arasındaki uzun dönemli veriler kullanarak araştırmıştır.

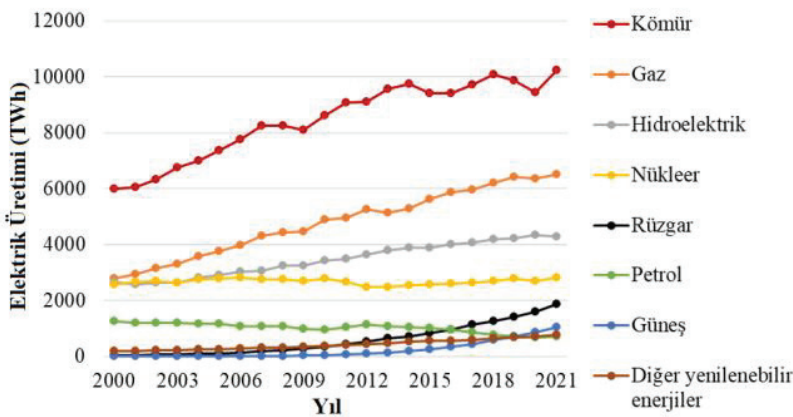
Çalışmalarında yenilenebilir enerji üretimindeki artışın ekonomik büyümeyi arttıracığı ve bu sayede sürdürülebilir kalkınmanın sağlanacağı sonucuna varmışlardır. Özkan, Uslu ve Gedikli (2022) ülke elektriğinin %48'ini rüzgar enerjisinden sağlayan Danimarka'nın rüzgar enerjisi ile ilgili düzenlemelerinin Türkiye'de uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Özbek ve Tunç (2021) Edremit körfezinde inşa edilecek 50-90 MW kapasitesindeki açık deniz rüzgar enerjisi santralının fizibilite çalışmasını kapsamlı simülasyonlar ve analizlerle gerçekleştirmişlerdir. Bilgili ve Alphan (2022) Türkiye'de rüzgar enerjisi üretimindeki büyümeyi farklı açılardan değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda Türkiye'de rüzgar türbini sayısında ve boyutundaki artışa bağlı olarak rüzgar gücü üretim kapasitesinin arttığını tespit etmişlerdir. Koç, Yağlı, Koç ve Uğurlu (2018) dünyada ve Türkiye'deki enerji kaynaklarının rezerv miktarlarını, kalan ömürlerini, üretim ve tüketim değerlerini belirtmiş ve bu kaynaklardan elde edilen enerjinin üretim ile tüketim oranlarını karşılaştırarak, kurulu güçleri hakkında bilgi vermiştir. Ayrıca yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynakları bakımından da karşılaştırmalar yapmıştır. Kaya ve Koç (2015) çalışmalarında Türkiye'deki genel enerji durumunu ve enerji santrallerinin kurulum maliyetlerini araştırmışlardır.

Enerji Kaynakları	
Kullanışlarına Göre	Dönüştürülebilirliklerine Göre
<b>A) Yenilenemez (Tükenir)</b> <b>1) Fosil Kaynaklı</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kömür</li> <li>➤ Petrol</li> <li>➤ Doğal Gaz</li> </ul> <b>2) Çekirdek Kaynaklı</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Uranyum</li> <li>➤ Toryum</li> </ul>	<b>A) Birincil (Primer)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kömür</li> <li>➤ Petrol</li> <li>➤ Doğal gaz</li> <li>➤ Nükleer</li> <li>➤ Biyokütle</li> <li>➤ Hidrolik</li> <li>➤ Güneş</li> <li>➤ Rüzgar</li> <li>➤ Dalga, Gel-Git</li> </ul>
<b>B) Yenilenebilir (Tükenmez)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Hidrolik</li> <li>➤ Güneş</li> <li>➤ Biyokütle</li> <li>➤ Rüzgar</li> <li>➤ Jeotermal</li> <li>➤ Dalga, Gel-Git</li> <li>➤ Hidrojen</li> </ul>	<b>B) İkincil (Sekonder)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Elektrik, Benzin, Motorin</li> <li>➤ İkincil Kömür</li> <li>➤ Kok, Petrokok</li> <li>➤ Hava Gazı</li> <li>➤ Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG)</li> </ul>

Şekil 1. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması (Koç ve Şenel, 2013)

## 2. Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu

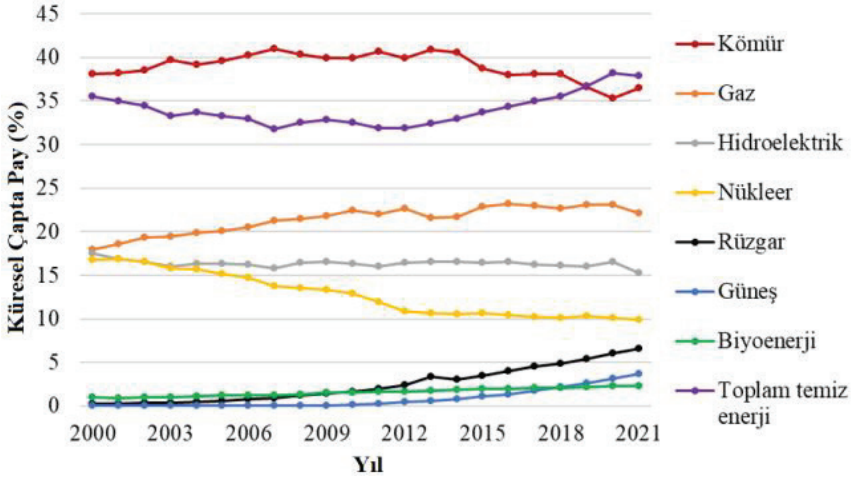
Farklı enerji kaynaklarından elde edilen elektrik üretim miktarları Şekil 2’de verilmiştir. Şekilde diğer yenilenebilir enerji kaynakları olarak gösterilen veri seti; biyokütle, atık, jeotermal, dalga ve gelgit enerjilerini içermektedir. Kömürden elde edilen elektrik enerjisinin genel olarak artış eğiliminde olduğu gözlemlenmektedir. 2018 yılından sonra kömüre bağlı elektrik üretimi 2020’ye kadar azaldıktan sonra tekrar artarak 2021’de en yüksek değerine ulaşmıştır. Buna bağlı olarak günümüzde elektrik üretimi için küresel çapta en çok kullanılan birincil enerji kaynağı 10244 TWh ile kömür olmaya devam etmektedir. Elektrik üretiminde ikinci büyük pay ise gaz kaynağına aittir ve gazdan elektrik üretimi giderek artmaya devam etmektedir. Yenilenemez enerji kaynaklarından diğer ikisi olan nükleer ve petrolden elde edilen elektrik üretiminde 2000’li yıllar boyunca kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları açısından durum incelendiğinde, 2010 yılı öncesinde rüzgar ve güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi üretimi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının altında kalsa da, 2021 yılına gelindiğinde hidrolik enerji hariç en çok elektrik üretiminin gerçekleştiği yenilenebilir enerji kaynakları rüzgar ve güneş olmuştur. Rüzgardan elde edilen elektrik enerjisi 2000’li yılların başından itibaren düzenli olarak artış eğilimindedir. Güneş enerjisinden ise 2009 yılına kadar kayda değer bir elektrik üretimi gözlemlenmemiş ancak son yıllarda artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, hidrolik enerji en fazla elektrik üretiminin yapıldığı yenilenebilir enerji kaynağı olmaya devam etmektedir (Global Electricity Review, 2022). 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşmak için dünya çapında yıllık temiz enerji yatırımının 2030 yılına kadar üç kattan fazla artarak yaklaşık 4 trilyon dolara ulaşması öngörülmektedir (Net Zero by 2050, 2021).



Şekil 2. Küresel çapta yıllara göre farklı enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi üretim miktarları (Global Electricity Review, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; BP Statistical Review of World Energy, 2022)



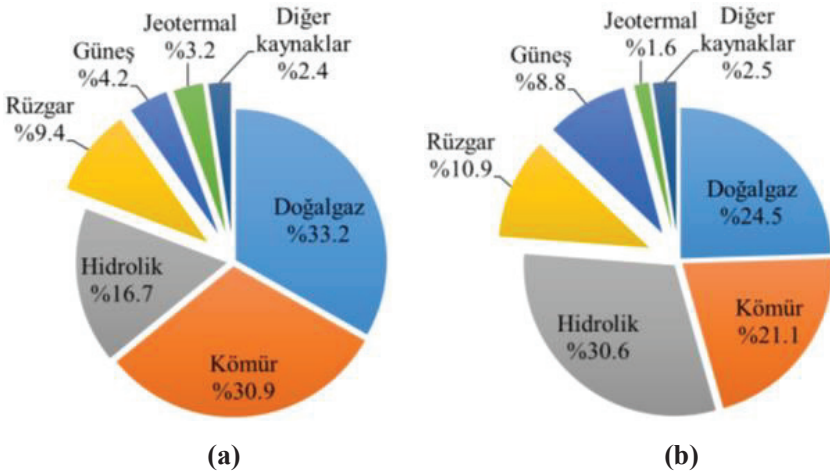
Farklı enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi üretiminin küresel çapta sahip olduğu paylar Şekil 3'de verilmiştir. 2021'de rüzgardan ve güneşten elde edilen elektrik üretiminin dünya çapında payları sırasıyla %6.6 ve %3.7'ye yükselerek ikisi birlikte küresel çapta elektrik üretiminin %10'undan fazlasını karşılamaya başlamıştır. Tüm temiz enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi ise 2021'de dünya elektriğinin %38'ini karşılayarak %36'sına denk gelen kömürü geçmiştir. 2019'da 36 ülke, 2020'de 43 ülke ve 2021'de 50 ülke kendi elektriğinin %10'undan fazlasını rüzgar ve güneşten elde edebilir duruma gelmiştir. 2021'de Çin, Japonya, Moğalistan, Vietnam, Arjantin, Macaristan ve El Salvador ilk kez bu eşiği aşmıştır. Hollanda, Avustralya ve Vietnam son iki yılda toplam elektrik ihtiyaçlarının %8'ini fosil yakıtlardan rüzgar ve güneş enerjisine geçirmiştir. 2021'de dünya %5.4'lük bir oranla 2010'dan bu yana elektrik enerjisi talebindeki en hızlı artışı tecrübe etmiştir. Bu talep artışının %29'u rüzgar ve güneş enerjisinden karşılanmıştır. Geriye kalan talep, son iki yılda diğer temiz enerji kaynaklarında büyüme olmaması, nükleer ve hidroelektrik seviyelerinin değişmemesi nedeniyle fosil yakıtlı kaynaklardan sağlanmıştır. Fosil yakıtlar içerisinde %59'luk oranla en yüksek elektrik üretimi yine kömür ile sağlanmıştır. Bu durum, kömürün dünya çapında elektrik üretimindeki payının 2021'de bir miktar artmasına sebep olmuştur (Global Electricity Review, 2022).



Şekil 3. Farklı enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi üretiminin küresel çapta sahip olduğu paylar (Global Electricity Review, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; BP Statistical Review of World Energy, 2022)

Türkiye'de 2021'de tüketilen elektrik enerjisi bir önceki yıla kıyasla %8.74 ar-

tarak 332.9 TWh'a, elektrik üretimi ise %9.14 artarak 334.7 TWh'a yükselmiştir. 2022 yılı itibarıyla toplam kurulu güç ise 103276 MW seviyesine ulaşmıştır. Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporuna göre elektrik enerjisi tüketiminin 2025'de 370 TWh'a, 2040'da ise 591 TWh seviyesine ulaşması beklenmektedir. 2021'de Türkiye'de üretilen elektriğin ve 2022 Kasım ayı itibarıyla kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu bağlamda kaynaklara göre en yüksek elektrik üretimi sırasıyla doğalgaz (%33.2), kömür (%30.9), hidrolik enerji (%16.7), rüzgar enerjisi (%9.4), güneş enerjisi (%4.2), jeotermal enerji'den (%3.2) elde edilmektedir. Kurulu güç açısından en büyük paylar ise sırasıyla hidrolik enerji (%30.6), doğalgaz (%24.5), kömür (%21.1), rüzgar enerjisi (%10.9), güneş enerjisi (%8.8) ve jeotermal enerjiye (%1.6) aittir. 2022 Ekim ayı itibarıyla Türkiye'de 9203 güneş, 750 hidroelektrik, 358 rüzgar, 344 doğal gaz, 68 kömür, 63 jeotermal ve 490 diğer kaynaklı santral aktif halde çalışmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).



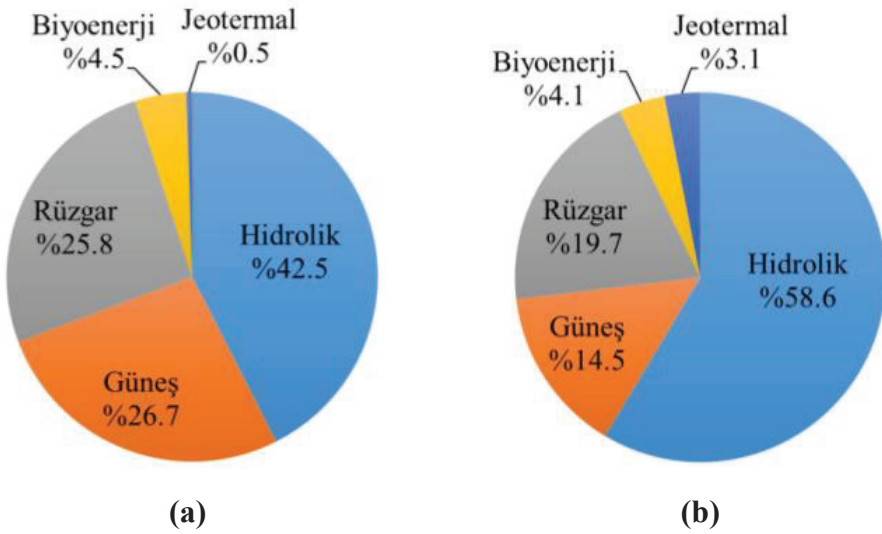
Şekil 4. (a) 2021'de Türkiye'de üretilen elektrik enerjisinin ve (b) 2022 Kasım ayı itibarıyla kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022)

### 3. Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Durumu ve Kurulum Maliyetleri

#### 3.1 Yenilenebilir Enerjinin Genel Durumu

Fosil yakıtlı enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve çevreye verdiği zarar nedeniyle dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim gün

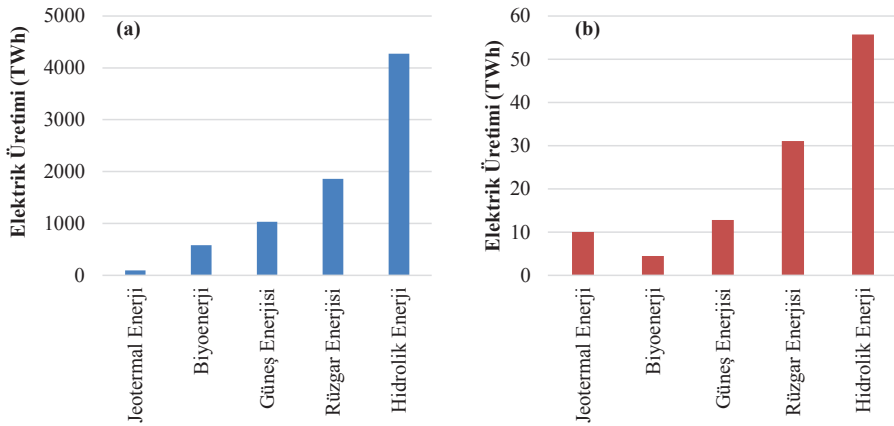
geçtikçe artmaktadır. Türkiye sahip olduğu coğrafi konumundan dolayı büyük bir güneş enerjisi potansiyeline, yer şekil özelliklerinden dolayı önemli derecede rüzgar ve hidrolik enerji potansiyeline sahiptir. Ayrıca jeotermal enerji açısından dünya potansiyelinin %8'ini oluşturmaktadır (Yılmaz, 2012). Yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının 2021'de dünyada ve Türkiye'deki kurulu güç dağılımı Şekil 5'te verilmiştir. Dünyada ve Türkiye'de en yüksek kurulu güç hidrolik enerjiye aittir. Türkiye'de yenilenebilir enerjiye dayalı kurulu gücün %58.6'sını, dünyada ise % 42.5'ini hidrolik enerji oluşturmaktadır. Türkiye'de hidrolik enerjiden sonra en büyük kurulu güçler sırasıyla rüzgar (%19.7), güneş (%14.5), biyoenerji (%4.1) ve jeotermal (%3.1) enerjiye aittir. Dünyada ise hidrolik enerjiden sonra sırasıyla güneş (%26.7), rüzgar (25.8), biyoenerji (%4.5) ve jeotermal (%0.5) enerji gelmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022).



Şekil 5. 2021'de (a) Dünyada ve (b) Türkiye'de yenilenebilir enerjiye dayalı kurulu gücün dağılımı (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022)

Son 10 yılda dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi üretimi genel olarak artış trendi göstermiştir. Türkiye'de ise rüzgar, güneş, biyoenerji ve jeotermal enerjiden üretilen elektrik enerjisi her geçen yıl artarken, hidrolik enerjiden üretilen elektrik enerjisi kuraklığa ve dolayısıyla su seviyesine bağlı olarak yüksek değişkenlik göstermiştir. 2021'de dünyada ve

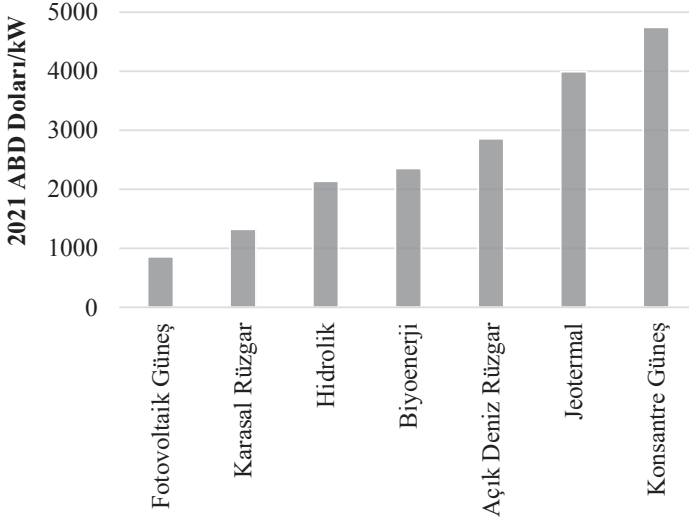
Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi seviyeleri Şekil 6’da gösterilmiştir. Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yüksek elektrik enerjisi üretimi hidrolik enerjiden sağlanmıştır. Bu bağlamda dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarından en yüksek elektrik enerjisi üretimi sırasıyla hidrolik (4273.8 TWh), rüzgar (1861.9 TWh), güneş (1032.5 TWh), biyoenerji (583.7 TWh) ve jeotermal enerjiden (94.9 TWh) sağlanmıştır. Türkiyede ise sırasıyla hidrolik (55.7 TWh), rüzgar (31.1 TWh), güneş (12.8 TWh), jeotermal (10.0 TWh) ve biyoenerji (4.44 TWh) gelmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022).



Şekil 6. 2021’de (a) Dünyada ve (b) Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022)

2021’de yenilenebilir enerjiye ait küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyetleri Şekil 7’de gösterilmiştir. Şekilde 2021 ABD Doları, belirtilen yıldaki dolarların değerini ifade etmektedir. 2010 ve 2021 yılları arasında fotovoltaik güneş, konsantre güneş, karasal rüzgar ve açık deniz rüzgar enerjisi için küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyetlerinde trend genel olarak azalış yönünde olmuştur. Aynı zaman aralığında hidrolik enerji için kurulum maliyetleri genel olarak artış trendi göstermiştir. Diğer taraftan, biyoenerji için kurulum maliyetleri yüksek bir değişkenlik göstermiş olup 2010 yılına kıyasla kurulum maliyeti 2021’de düşüş göstermiştir. Jeotermal enerji santrallerinin kurulum maliyetlerinde 2012 yılından itibaren büyük bir değişim gözlenmemiş olup, 2010 yılına kıyasla kurulum maliyeti artmıştır. Bu bağlamda 2021’de yenilenebilir enerjiye ait en yüksek küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyetleri sırasıyla

konsantre güneş (4746 ABD doları/kW), Jeotermal (3991 ABD doları/kW), açık deniz rüzgar (2858 ABD doları/kW), biyoenerji (2353 ABD doları/kW), hidrolik (2135 ABD doları/kW), karasal rüzgar (1325 ABD doları/kW), fotovoltaik güneş (857 ABD doları/kW) enerjisinde görülmüştür (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022).



Şekil 7. 2021’de yenilenebilir enerjiye ait küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyetleri (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022)

### 3.2 Rüzgar Enerjisi

Güneşin yaymış olduğu radyasyon yer yüzeyini homojen ısıtmayarak, hava sıcaklığı, basınç ve nem üzerinde farklılıklara sebep olur. Basınç farklılığından dolayı hava hareketinin meydana gelmesiyle rüzgar oluşmaktadır (Şenel ve Koç, 2015). Yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün eşit bir şekilde ısınmaması nedeniyle rüzgar özellikleri zamana ve konuma bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Rüzgar gücü popüler, sürdürülebilir, yenilenebilir ve temiz enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisinden elektrik üretmek için kullanılan ana yapı elemanı rüzgar türbinleridir. Bir rüzgar türbini hareket halindeki havanın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye daha sonra elektrik enerjisine dönüştürür. Rüzgar türbinlerinin karada olduğu gibi kıyıdan uzak bölgelerde de kurulumları yapılabilmektedir. Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesini sağlayan uygulamalar yüksek kurulum maliyeti, düşük kapasite ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajlara sahipken, çevreci, temiz ve yenilenebilir olması, tükenme riski ve fiyat değişiminin olmaması, düşük bakım ve işletme maliyeti,

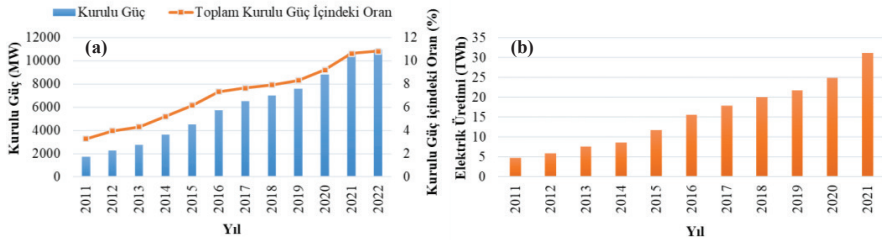
kısa sürede işletmeye alınması gibi birçok avantaja sahiptir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

Küresel çapta rüzgar enerjisinden en yüksek elektrik enerjisi üretimi sırasıyla Asya (%42), Avrupa (%27), Kuzey Amerika (%24), Güney ve Merkez Amerika'da (%6) görülmektedir. Küresel çapta elektrik enerjisi ihtiyacı sırasıyla %3 ve %4 olan Afrika ve Orta Doğu ülkelerinin rüzgardan elektrik enerjisi üretimindeki payı kabaca %1 ve %0.1'e karşılık gelmektedir. Rüzgar enerjisinin ülkeler bazında durumu Tablo 1'de verilmiştir. Tabloya göre 2021 itibarıyla en büyük pay %35.2 ile Çin'e ve sonrasında %20.6 ile ABD'ye aittir. Türkiye ise dünya genelinde %1.7'lik bir paya sahiptir. 2021'de küresel çapta rüzgar enerjisindeki büyümenin %65'i Çin'de gerçekleşmiştir ve elektrik üretimine 148 TWh'lık güç eklemiştir. Bu değer Arjantin'in tüm elektrik ihtiyacına denk gelmektedir (Global Electricity Review, 2022). Hindistan'da rüzgardan ve güneşten elde edilen elektrik enerjisi üretimi ilk kez eşitlenmiştir. Güney Kore ve Japonya ise elektrik ihtiyaçlarının %1'inden daha azını rüzgardan karşılamaktadır. 2021 yılı içerisinde çoğunluğu ABD ve Çin'de olmak üzere, eklenen 100 GW'lık güç ile küresel çapta kurulu rüzgar gücü kapasitesi 800 GW'ı aşmıştır (Wind Electricity, 2022). Buna ek olarak, 2021'de dünyada rüzgar enerjisinden toplamda 1861.9 TWh elektrik enerjisi üretilmiştir. Bu değer küresel çapta üretilen elektriğin yaklaşık %6.5'ine ve enerjinin ise yaklaşık %2'sine denk gelmektedir (Global Electricity Review, 2022). 2050'ye kadar sıfır emisyon hedefinin gerçekleşmesi için rüzgar enerjisi üretiminin 2030 yılına kadar yaklaşık 4 kat artarak dünya çapında elektriğin %21'ini üretir duruma gelmesi gerekmektedir. Bu da rüzgar enerjisi üretim gücünün 2030 yılına gelindiğinde 8008 TWh seviyesine çıkması anlamına gelmektedir. Bu hedefin gerçekleştirilebilmesi için son 10 yılda ortalama %15 olan rüzgar enerjisindeki büyümenin yıllık bazda %18'lere yükseltilmesi gerekmektedir (Net Zero by 2050, 2021). Ülkelerin toplam elektrik enerjisi üretimi içerisinde en yüksek rüzgar enerjisi payına sahip ülke %48 ile Danimarka olmuştur. Kenya payını %11'den %16'ya çıkararak yıllık bazda en büyük artışı elde etmiştir. Türkiye, ABD, Avustralya ve Brezilya 2015'deki %5'lik paylarını yaklaşık iki katına çıkararak 2021'de üretilen elektriğin yaklaşık %10'unu rüzgardan üretmiştir (Global Electricity Review, 2022).

Karasal rüzgar türbin teknolojisinin gelişmesiyle günümüzde daha büyük ve güvenilir türbinler üretilmektedir. Bu durum türbinlerin kapasite faktörlerini de arttırmıştır. Ayrıca, ölçek ekonomisi, artan rekabet ve sektördeki büyüme nedeniyle kurulum, işletme, bakım ve seviyelendirilmiş enerji maliyetleri de düşme eğilimi göstermiştir. Bir karasal rüzgar türbini projesinde toplam kurulum maliyetinin en büyük payı toplam maliyetin %64 ila %84'üne denk gelen rüzgar türbinlerine aittir (Renewable Power Generation Costs in 2018, 2019). Rüzgar türbinlerinde maliyetlerin önemli bir kısmını kuleler, kurulum, şebeke bağlantısı,

Tablo 1. Rüzgar enerjisinin ülkeler bazında durumu (Global Electricity Review, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022; BP Statistical Review of World Energy, 2022)

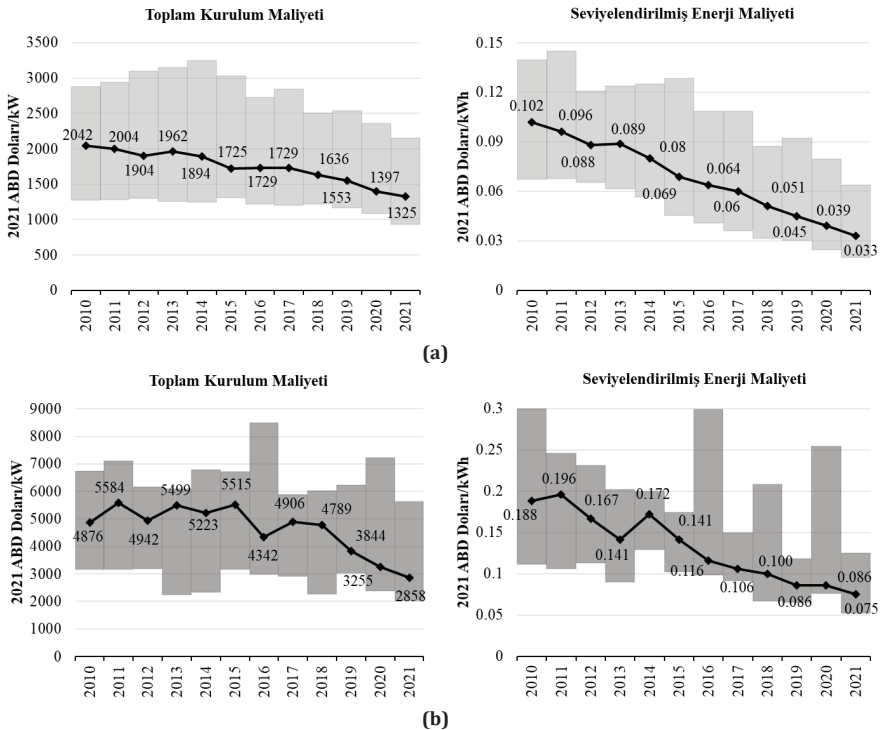
Ülkeler	Yıllar	Kurulu Güç (GW)	Elektrik Enerjisi Üretimi (TWh)	Toplam Elektrik Üretimi İçindeki Payı (%)	Dünya Rüzgar Enerjisi Üretimindeki Payı (%)
Çin	2019	209.6	405.3	5.4	28.5
	2020	282.1	466.5	6.0	29.2
	2021	329.0	655.6	7.7	35.2
ABD	2019	104.1	298.9	6.8	21.0
	2020	118.7	341.4	8.0	21.4
	2021	132.7	383.6	8.7	20.6
Almanya	2019	60.7	125.9	20.7	8.9
	2020	62.2	132.1	23.0	8.3
	2021	63.8	117.7	20.1	6.3
İngiltere	2019	24.1	63.8	19.7	4.5
	2020	24.5	75.4	24.2	4.7
	2021	27.1	64.5	20.8	3.5
Hindistan	2019	37.5	63.3	3.9	4.5
	2020	38.6	60.4	3.9	3.8
	2021	40.1	68.1	4.0	3.7
Türkiye	2019	7.6	21.7	7.2	1.5
	2020	8.8	24.8	8.1	1.6
	2021	10.6	31.1	9.3	1.7



Şekil 8. Türkiye'de yıllara göre rüzgar enerjisine dayalı (a) kurulu güç ve (b) elektrik enerjisi üretimi (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022; BP Statistical Review of World Energy, 2022)

teslimat ve geliştirme çalışmaları oluşturmaktadır. Toplam kurulum maliyetinin en küçük payını ise proje ve arazi maliyetleriyle birlikte çevresel etki değerlendirilmesi ve diğer planlama gereksinimleri oluşturmaktadır (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022).

Karasal rüzgar enerjisine ait küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti ve seviyelendirilmiş enerji maliyetinin yıllara göre değişimi Şekil 9 (a)'da gösterilmiştir. 2010 ve 2021 yılları arasında küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti %35'lik düşüşle 2042 ABD doları/kW'dan 1325 ABD doları/kW seviyelerine gelmiştir. Hindistan (926 ABD doları/kW), Brezilya (1150 ABD doları/kW) ve Çin (1157 ABD doları/kW) 2021'de en rekabetçi ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyetlerine sahip ülkeler olmuştur. 2010 ve 2021 arasında ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyetleri Hindistan'da %53, Brezilya'da %58 ve Çin'de %26 düşmüştür. Türkiye'de ise karasal rüzgar enerjisinden ilk veri 1998'de alınmış olup, bu tarihten günümüze kadar olan süreçte ağırlıklı ortalama toplam



Şekil 9. (a) Karasal rüzgar ve (b) açık deniz rüzgar enerji santrallerine ait küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti ve seviyelendirilmiş enerji maliyetinin yıllara göre değişimi. Sol taraf: toplam kurulum maliyeti; sağ taraf: seviyelendirilmiş enerji maliyeti (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022)



kurulum maliyeti %29'luk bir düşüşle kabaca 1255 ABD doları/kW seviyelerine gelmiştir. Küresel ağırlıklı ortalama seviyelendirilmiş enerji maliyeti ise 2010 ve 2021 arasında %68'lik düşüşle 0.102 ABD Doları/kWh'dan 0.033 ABD Doları/kWh seviyesine gelmiştir (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022).

Açık deniz rüzgar enerjisi kapasitesi 2010 yılından itibaren hızlı bir şekilde büyümüştür. 2010 ve 2021 yılları arasında kümülatif konuşlandırılmış kapasite 3.1 GW'tan 55.7 GW'a yükselerek 18 katlık bir artış meydana gelmiştir. Açık deniz rüzgar enerji santrali projelerinde kurulum, işletme ve bakımın zorlu deniz ortamlarında yapılması gerektiğinden karasal rüzgar enerji santrali projelerine göre daha fazla maliyetlidirler. Açık deniz rüzgar enerji santraline ait küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti ve seviyelendirilmiş enerji maliyetinin yıllara göre değişimi Şekil 9 (b)'de gösterilmiştir. Küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti 2010'da 4876 ABD doları/kW iken; 2021'de yaklaşık %42'lik bir düşüşle 2858 ABD doları/kW seviyelerine inmiştir. En büyük kümülatif konuşlandırılmış kapasiteye sahip olan Çin'de (yaklaşık 9 GW) 2010 ile 2021 arasında toplam kurulum maliyeti 4638 ABD doları/kW'dan 2857 ABD doları/kW'a gerileyerek yaklaşık %38'lik bir düşüş görülmüştür. 2021'de ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti Avrupa'da 2775 ABD doları/kW ve Asya'da ise 2876 ABD doları/kW seviyelerindedir. Açık deniz rüzgar enerjisine ait küresel ağırlıklı ortalama seviyelendirilmiş enerji maliyeti 2010 ve 2021 arasında %60 azalarak 0.075 ABD Doları/kWh olmuştur (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022).

### 3.3 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde meydana gelen füzyon reaksiyonu sonucu hidrojen gazının helyuma dönüşmesiyle açığa çıkan çok güçlü bir ışınım enerjisidir. Güneş yaydığı yaklaşık  $3.9 \times 10^{17}$  TW güç ile temiz ve tükenmez bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu güç değeri atmosferin dışında  $1370 \text{ W/m}^2$  seviyesinde, yeryüzünde ise  $0-1100 \text{ W/m}^2$  aralığında değişmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Koç ve Kaya, 2015; Koç ve Şenel, 2013). Güneş enerjisinden doğrudan ısı enerjisi olarak faydalanılabileceği gibi, dolaylı yoldan elektrik enerjisine dönüştürülerek de yararlanılabilir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi, fotovoltaik hücrelerle ya da konsantre güneş enerjisi sistemleri kullanılarak yapılmaktadır. Fotovoltaik hücrelerde, fotovoltaik etkiyi kullanarak ışığı elektrik akımına çevirir. Başlangıçta küçük ve orta ölçekteki uygulamalar için elektrik kaynağı olarak kullanılırken, günümüzde fotovoltaik güç santrallerinden gigawatt saat ölçeğinde elektrik enerjisi elde edilmektedir. Konsantre güneş enerjisi sistemlerinde ise, geniş bir alandaki güneş ışığını bir noktada odaklamak için lensler, aynalar ve güneş takip sistemleri kullanılır. Genellikle üretilen ısıyla bir elektrik güç jeneratörüne bağlı buhar türbinini harekete geçirmek için kullanılırlar.

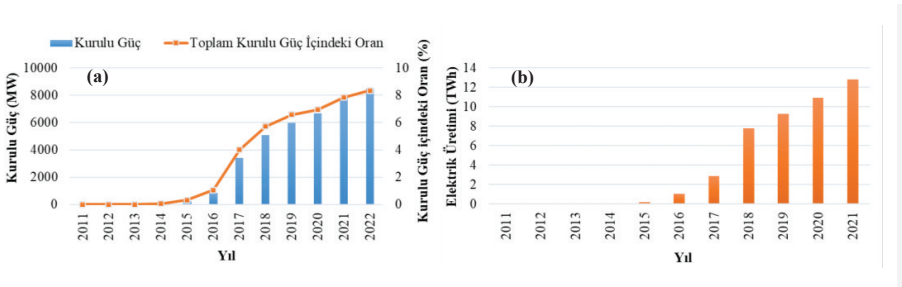
2021’de dünya çapında güneş enerjisine dayalı üretim %22 artmıştır. Bu bağlamda yıllık bazda üretilen güç 186.3 TWh artarak 1032.5 TWh olmuştur. Ayrıca 2015’de Paris Antlaşması imzalandığında güneş enerjisi, dünya elektriğinin %1.1’ini karşılarken; 2021’de %3.6’sını üretir duruma gelmiştir. Diğer taraftan küresel çapta güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi Afrika ülkelerinde %1, Orta Doğu ülkelerinde ise %2 ile sınırlı kalmıştır. Bu bağlamda en yüksek üretim payına sahip bölgelerin sırasıyla; Asya (%56), Avrupa (%19), Kuzey Amerika (%18), Güney ve Merkez Amerika (%4) olduğu görülmektedir. Güneş enerjisinin ülkeler bazında durumu Tablo 2’de verilmiştir. Bu bağlamda dünyada en yüksek üretim payı %31.7 ile Çin’e, hemen ardından %16’lık bir payla ABD’ye aittir. Diğer taraftan, Türkiye’nin dünya çapında üretim payı ise %1.2’dir. 2050’ye kadar net sıfır emisyon hedefinin gerçekleşmesi için güneş enerjisi üretiminin 2030

Tablo 2. Güneş enerjisinin ülkeler bazında durumu (Global Electricity Review, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022; BP Statistical Review of World Energy, 2022)

Ülkeler	Yıllar	Kurulu Güç (GW)	Elektrik Enerjisi Üretimi (TWh)	Toplam Elektrik Üretimi İçindeki Pay (%)	Dünya Güneş Enerjisi Üretimindeki Payı (%)
Çin	2019	204.6	224.0	3.0	31.8
	2020	253.4	261.1	3.4	30.9
	2021	306.4	327.0	3.8	31.7
ABD	2019	59.1	108.0	2.4	15.3
	2020	73.8	132.0	3.1	15.6
	2021	93.7	165.4	3.8	16.0
Japonya	2019	63.2	67.8	6.4	9.6
	2020	69.8	75.1	7.5	8.9
	2021	74.2	86.3	8.5	8.4
Hindistan	2019	34.9	46.3	2.9	6.6
	2020	39.0	58.7	3.8	6.9
	2021	49.3	68.3	4.0	6.6
Almanya	2019	48.9	44.4	7.3	6.3
	2020	53.7	48.6	8.5	5.7
	2021	58.5	49.0	8.4	4.7
Türkiye	2019	6.0	9.3	3.0	1.3
	2020	6.7	11.0	3.6	1.3
	2021	7.8	12.8	3.8	1.2

yılına kadar yaklaşık 7 katına çıkarak 6970 TWh seviyesine ve dünya çapında elektriğin %19'unu üretir duruma gelmesi gerekmektedir. Bu hedefin gerçekleştirilebilmesi için son 10 yılda ortalama %33 olan güneş enerjisindeki büyümenin yıllık bazda %24 seviyelerinde tutulması gerekmektedir (Global Electricity Review, 2022; Net Zero by 2050, 2021). Dünyadaki büyük ülkeler arasında Avustralya kendi elektriğinin %11.7'sini güneş enerjisinden sağlayarak bu alanda en yüksek orana sahiptir. Vietnam ise 2020'de elektriğinin %2'sini güneş enerjisinden sağlarken, 2021'de bu oranı %10'a yükselterek bu alanda en büyük artışı sağlamıştır. Aynı şekilde İspanya ve Hollanda da toplam elektrik üretimleri içerisindeki güneş enerjisi payını yaklaşık %10 seviyelerine yükseltmişlerdir. Tüm ülkeler açısından değerlendirildiğinde; Yemen kendi elektriğinin %15'ini güneş enerjisinden sağlayarak bu alanda birinci ülke konumundadır. Ancak küçük ve nüfusu düşük bir ülke olması nedeniyle, üretim kapasitesi diğer büyük ülkelerle karşılaştırıldığında oldukça düşük kalmaktadır.

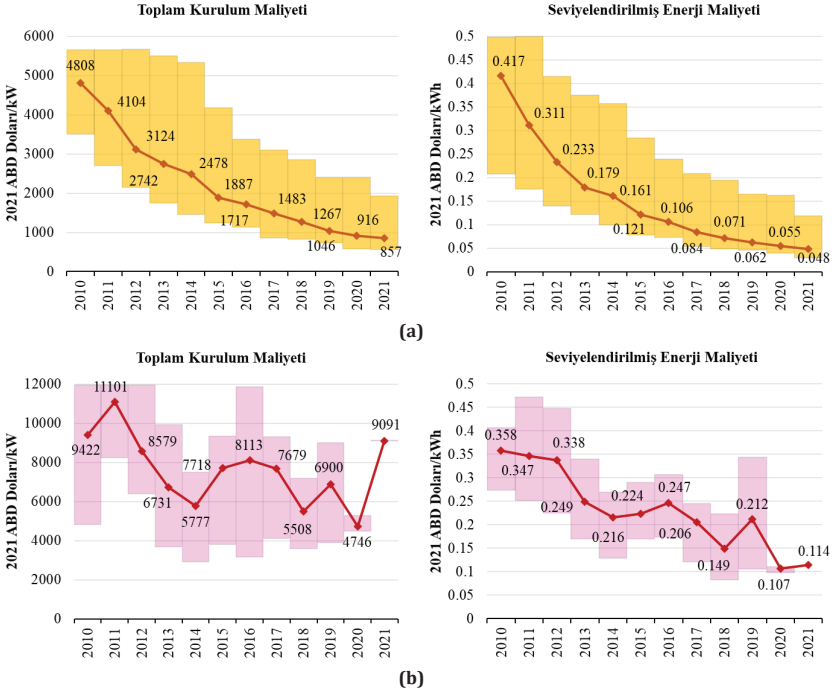
Güneş Enerji Potansiyeli Atlasında (GEPA) gerçekleştirilen hesaplamalara göre, Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresinin ortalama 2741 saat, yıllık toplam ışınım miktarının ortalama 1527.46 kWh/m<sup>2</sup> olduğu belirlenmiştir. Raporda aylara göre hesaplanan ortalama radyasyon miktarları da belirlenmiştir. Bu bağlamda sırasıyla 6.57 kWh/m<sup>2</sup> ve 6.50 kWh/m<sup>2</sup> değerleriyle Haziran ve Temmuz ayları en yüksek radyasyonun olduğu aylar, 1.59 kWh/m<sup>2</sup> değeriyle Aralık ayı en düşük radyasyonun olduğu ay olarak tespit edilmiştir. Türkiye'de yıllara göre güneş enerjisine dayalı kurulu güç ve elektrik enerjisi üretimi Şekil 10'da verilmiştir. Türkiye 2014'te 40 MW olan kurulu gücünü 2022 Haziran ayı itibarıyla 8479 MW'a çıkarmıştır. Buna bağlı olarak, toplam kurulu güç içerisinde güneş enerjisinin payı da %0.06'dan %8.35'e yükselmiştir. Güneşten elde edilen elektrik enerjisi ise 2021 yılı itibarıyla 12.83 TWh seviyelerine ulaşmıştır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022; BP Statistical Review of World Energy, 2022).



Şekil 10. Türkiye'de yıllara göre güneş enerjisine dayalı (a) kurulu güç ve (b) elektrik enerjisi üretimi (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022; BP Statistical Review of World Energy, 2022)

Fotovoltaik güneş enerjisine ait küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti ve seviyelendirilmiş enerji maliyetinin yıllara göre değişimi Şekil 11 (a)'da gösterilmiştir. Şebeke ölçekli projelerin küresel ağırlıklı toplam kurulum maliyeti 2010 ile 2021 yılları arasında yaklaşık %82 düşerek 857 ABD doları/kW seviyesine gelmiştir. Aynı zaman aralığında şebeke ölçekli fotovoltaik güneş enerjisi toplam kurulum maliyeti ABD'de %77 (1085 ABD doları/kW), Çin'de %83 (628 ABD doları/kW), İspanya'da %83 (816 ABD doları/kW), Hindistan'da %89 (590 ABD doları/kW), Almanya'da %82 (694 ABD doları/kW) ve Kore Cumhuriyeti'nde %90 (940 ABD doları/kW) oranında düşmüştür. Türkiye'de ise toplam kurulum maliyeti 2020 ve 2021 arasında %5, 2016 ve 2021 arasında %51 düşerek yaklaşık 810 ABD doları/kW seviyelerine gelmiş ve küresel ağırlıklı ortalamanın altında kalmıştır. Şebeke ölçekli fotovoltaik tesislerin küresel ağırlıklı ortalama seviyelendirilmiş enerji maliyeti ise 2010 ve 2021 arasında %88 düşerek 0.417 ABD Doları/kWh'dan 0.048 ABD Doları/kWh seviyelerine gelmiştir (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022).

Konsantre güneş enerjisi gelişiminin ilk yıllarında, genellikle termal enerji depolama sisteminin ekonomik olmaması nedeniyle kullanımı kısıtlıydı. Ancak 2015 yılından itibaren neredeyse tüm projelerde termal enerji depolama sistemi kullanılmaya başlanmıştır. Bu durum kapasite faktörlerini arttırmannın ve seviyelendirilmiş enerji maliyetini düşürmenin bir yoludur. Bu bağlamda parabolik oluklu kollektör tesislerinin termal depolama kapasitesi 2010 ve 2014 yılları arasında 3.3 saat iken, 2015 ve 2019 arasında %84'lük bir artışla 6.1 saate yükselmiştir. Güneş kuleleri için bu değer 2010 ve 2014 arasında 5 saat iken, 2015 ve 2019 arasında %53'lük artışla 7.7 saate yükselmiştir. Konsantre güneş enerjisine ait küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti ve seviyelendirilmiş enerji maliyetinin yıllara göre değişimi Şekil 11 (b)'de gösterilmiştir. Konsantre güneş enerjisi tesisleri için küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti termal enerji depolama sistemlerinin boyutunun artmasına rağmen 2010 ve 2020 arasında yaklaşık %50 düşerek 9422 ABD doları/kWh'dan 4746 ABD doları/kW seviyesine gelmiştir. 2021'de ise bu trend bozularak toplam kurulum maliyeti 9091 ABD doları/kW seviyesine yükselmiştir. Ancak bu veri sadece bir projeden alınmış olup, Latin Amerika'da ilk kez geliştirilen ve 2021 Haziran ayında açılışı yapılan güneş enerjisi santralının kurulum maliyetine denk gelmektedir. Konsantre güneş enerjisine ait küresel ağırlıklı ortalama seviyelendirilmiş enerji maliyeti 2010 ve 2021 arasında %68'lik düşüş gerçekleştirerek 0.114 ABD Doları/kWh olmuştur (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022).



Şekil 11. (a) Fotovoltaik ve (b) konsantre güneş enerjisine ait küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti ve seviyelendirilmiş enerji maliyetinin yıllara göre değişimi. Sol taraf: toplam kurulum maliyeti; sağ taraf: seviyelendirilmiş enerji maliyeti (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022)

### 3.4 Hidrolik Enerji

Hidrolik enerji, su gücünün kullanıldığı yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Genellikle nehirler üzerine inşa edilen barajlar ile suyun potansiyel enerjisinden faydalanarak hidroelektrik santraller yoluyla türbinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılırlar (Koç ve Kaya, 2015). Hidroelektrik santraller (HES), çevreye uyumlu, uzun ömürlü, yüksek verimli, işletme maliyeti çok düşük, yakıt gideri olmayan temiz ve yenilenebilir enerji kaynağıdır.

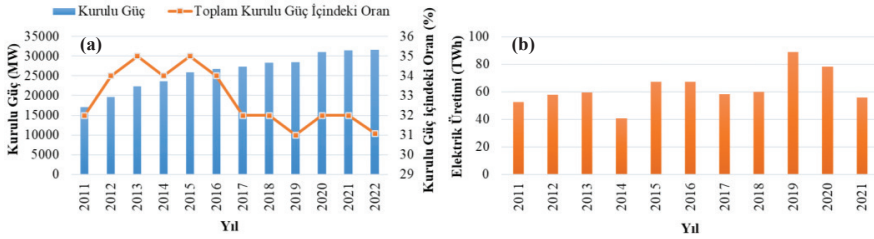
Hidrolik enerjiden faydalanma oranı yağmur yağışlarına bağlı olarak değişmektedir. Bu bağlamda Çin, Brezilya, ABD ve Türkiye gibi hidroelektrik üretimi açısından önemli ülkelerdeki düşük yağış oranları nedeniyle, hidroelektrik üretimi 2021'de dünya çapında %1.66'ya düşmüştür. Bu bağlamda, hidrolik enerji 2000'de dünya elektrik enerjisinin %18'ini üretirken, 2021'de bu oran %15'e düşmüştür. Çin 2000 yılından itibaren küresel çapta hidroelektrik üretimindeki büyümenin üçte ikisini sağlayarak, bu alanda bir sonraki en büyük ülke olan Kanada'nın yaklaşık üç katı üretime sahip olmuştur. En yüksek hidrolik enerji üretiminin sırasıyla Asya

(%43), Kuzey Amerika (%16), Avrupa (%15), Güney ve Orta Amerika (%15) kıtalarında olduğu görülmektedir. Hidrolik enerjinin ülkeler bazında durumu Tablo 3'te verilmiştir. Hidrolik enerjiden elde edilen elektriğin küresel çapta en yüksek paya sahip olduğu ülke %30.4 ile Çin'dir. Çin'in ardından yaklaşık %9'luk payla Brezilya ve Kanada gelmektedir. Türkiye ise hidrolik enerjiyi kullanarak dünya elektriğinin %1.3'ünü üretmektedir. Paraguay ve Orta Afrika Cumhuriyeti kendi elektriğinin %100'ünü hidrolik enerjiden sağlayarak bu alanda en büyük paya sahip ülkelerdir. Bu ülkeleri %99 ile Kongo, %97 ile Nepal ve %96 ile Etiyopya takip etmektedir (Global Electricity Review, 2022). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'nın net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda hidrolik enerji üretiminin 2030 yılına kadar yaklaşık %40 artması ve elektrik talebi arttıkça pazar payını neredeyse değiştirmemesi gerekmektedir. Bu bağlamda 2021'de dünya çapında 4273.8 TWh olan hidroelektrik enerji üretiminin, 2030 yılına gelindiğinde 5870 TWh seviyesine gelmesi beklenmektedir (Net Zero by 2050, 2021).

Tablo 3. Hidrolik enerjinin ülkeler bazında durumu (Global Electricity Review, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022; BP Statistical Review of World Energy, 2022)

Ülkeler	Yıllar	Kurulu Güç (GW)	Elektrik Enerjisi Üretimi (TWh)	Toplam Elektrik Üretimi İçindeki Pay (%)	Dünya Hidrolik Enerjisi Üretimindeki Payı (%)
Çin	2019	358.0	1272.5	17.0	30.1
	2020	370.3	1321.7	17.0	30.4
	2021	390.9	1300.0	15.2	30.4
Kanada	2019	81.4	381.8	23.5	9.0
	2020	81.4	386.5	24.7	8.9
	2021	82.7	380.9	22.2	8.9
Brezilya	2019	109.1	397.88	148.7	9.4
	2020	109.3	396.38	150.5	9.1
	2021	109.4	362.82	133.3	8.5
ABD	2019	102.6	285.5	6.5	6.7
	2020	105.8	282.8	6.6	6.5
	2021	101.9	257.7	5.8	6.0
Rusya	2019	52.3	194.4	18.5	4.6
	2020	52.4	212.4	21.3	4.9
	2021	52.5	214.5	21.0	5.0
Türkiye	2019	28.5	88.8	29.2	2.1
	2020	31.0	78.1	25.5	1.8
	2021	31.5	55.7	16.7	1.3

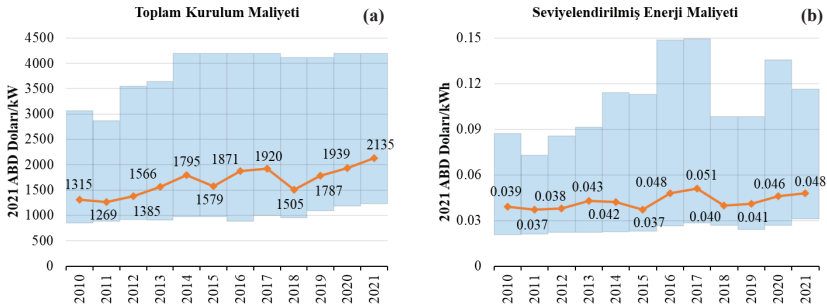
Türkiye’de teorik hidroelektrik potansiyel 433 TWh/yıl olarak hesaplanırken, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel 216 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Ancak sosyal, çevresel, ekonomik ve teknik açılardan değerlendirildiğinde 180 TWh/yıl’lık kısmı yapılabılır durumdadır. Türkiye’de bugüne kadar geliştirilen hidroelektrik potansiyeli yaklaşık olarak 160 TWh/yıl seviyelerindedir. Bunun 2021 yılı sonu itibariyle üretim potansiyeli olarak işletmeye alınan kısmı 109 TWh/yıl’a ulaşmıştır. Türkiye’nin teknik hidroelektrik potansiyeli dünya hidroelektrik potansiyelinin %1.5’ine denk gelirken, Avrupa teknik hidroelektrik potansiyelinin %18’ine denk gelmektedir (DSİ Genel Müdürlüğü 2021 Faaliyet Raporu, 2022). Türkiye’de yıllara göre hidrolik enerjiye dayalı kurulu güç ve elektrik enerjisi üretimi Şekil 12’de gösterilmiştir. Türkiye’de hidrolik enerjiye dayalı kurulu güç her geçen yıl artmaya devam etmiştir. Bu bağlamda 2011’de 17137 MW olan kurulu güç, 2022 Haziran ayına gelindiğinde 31558 MW’a ulaşmıştır. Buna karşın toplam kurulu güç içindeki oran 2013 ve 2015 yıllarında %35 ile en yüksek değerlerine ulaştıktan sonra düşüşe geçmiştir ve 2022 Haziran ayı itibariyle %31,09’a gerilemiştir. 2021’de Türkiye’de hidroelektrik enerjiden 55.7 TWh elektrik üretilirken, bu değer 2022 Haziran ayı itibariyle 35.2 TWh seviyelerindedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022; BP Statistical Review of World Energy, 2022). Bu durum kuraklık etkisiyle santrallerdeki su seviyesinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 12. Türkiye’de yıllara göre hidrolik enerjiye dayalı (a) kurulu güç ve (b) elektrik enerjisi üretimi (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022; BP Statistical Review of World Energy, 2022)

Hidroelektrik santrallerin kurulum maliyetinde en büyük paylar inşaat işleri ve elektro-mekanik ekipmanlara aittir. Ayrıca işletme sermayesi ihtiyacı ve inşaat sırasındaki faiz nedeniyle uzun teslim süreleri de toplam kurulum maliyetinde önemli bir paya sahiptir. Toplam maliyeti önemli derecede etkileyecek diğer kalemler ise ön fizibilite ve fizibilite çalışmaları, yerel paydaşlar ve politika yapıcılarla istişareler, çevresel ve sosyo-ekonomik hafifletme önlemleri ve arazi temi-

nidir. Hidroelektrik santrellerine ait küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti ve seviyelendirilmiş enerji maliyetinin yıllara göre değişimi Şekil 13'de gösterilmiştir. 2010 ve 2021 yılları arasında küresel ağırlıklı toplam kurulum maliyeti %62 artarak 1315 ABD doları/kW'dan 2135 ABD doları/kW seviyesine yükselmiştir. 2010 ve 2014 arasında istikrarlı yükselişten sonra toplam kurulum maliyeti 2014 ve 2020 arasında yıllık bazda 1500 ABD doları/kW ile 1940 ABD doları/kW gibi bir aralıkta değişkenlik göstermiştir. 2021'deki artış sadece farklı bölgelerde konuşlandırma payından değil, aynı zamanda projeye özgü maliyetlerdeki artış trendinden kaynaklanmıştır. 2021'de devreye alınan projelerin küresel ağırlıklı ortalama seviyelendirilmiş enerji maliyeti 2010 yılına göre %23 artarak 0.048 ABD Doları/kWh seviyesine yükselmiştir (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022).



Şekil 13. Hidroelektrik santrallerde küresel ağırlıklı ortalama (a) toplam kurulum maliyeti ve (b) seviyelendirilmiş enerji maliyetinin yıllara göre değişimi (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022)

### 3.5 Biyoenerji

Biyoenerji, elektrik ya da ısı üretmek için içerisinde karbonhidrat bileşikleri bulunan hayvansal ve bitkisel kökenli biyolojik maddelerin yakıt olarak kullanılmasından elde edilen bir enerji kaynağıdır. Biyodizel, biyoetanol ve biyogaz gibi yakıtlar biyolojik kaynaklardan yaygın olarak elde edilen yakıt türleridir. Biyodizel ve biyoetanol hayvansal yağlardan ya da bitkilerden elde edilirken, biyogaz ise hayvansal, bitkisel, endüstriyel ve kentsel atıklar gibi organik maddelerin oksijensiz ortamda fermantasyonuyla ortaya çıkan ve çoğunlukla metan ve karbondioksit gazlarından oluşan yakıt türüdür (Koç ve Kaya, 2015).

Dünyada biyoenerji üretimi 2021'de %6 artarak 646 TWh'a yükselmiştir. Bu bağlamda biyoenerji üretimi 2015 yılından bu yana dünya çapındaki elektrik ihtiyacıyla paralel artarak küresel üretimdeki %2'lik payını korumuştur. Diğer yenilenebilir enerji türlerinde olduğu gibi biyoenerji üretiminde de en yüksek paya

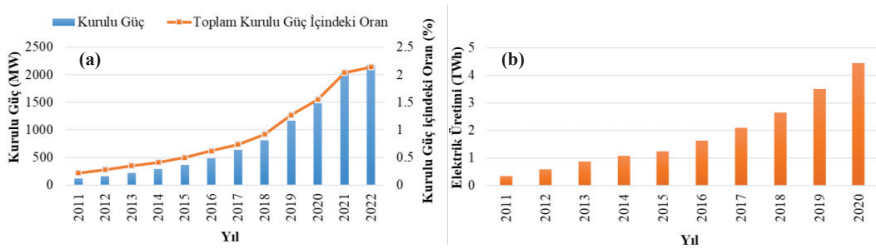


Asya (%43) ve Avrupa (%31) sahiptir. Çin küresel çapta biyoenerji üretiminde %23'lük pay ile açık ara en yüksek paya sahiptir ve Japonya dışında biyoenerji üretimini kayda değer bir şekilde arttıran tek ülke konumundadır. Çin 2015 yılından itibaren üretimini üç katına çıkararak küresel çaptaki büyümenin üçte ikisini sağlamıştır. Japonya, sadece 2021'de gerçekleştirdiği %29'luk büyümeye İngiltere'yi geçerek beşinci en büyük biyoenerji üreticisi konumuna gelmiştir. Biyoenerji üretiminde en büyük paya sahip ABD, Almanya ve Brezilya gibi diğer büyük ülkelerde 2015 ve 2021 yılları arasında neredeyse büyüme görülmemiştir. Türkiye ise küresel üretimde %1'lik bir paya sahiptir. Danimarka, kendi elektriğinin %23'ünü biyoenerjiden sağlayarak bu alanda en büyük paya sahip ülke konumundadır. Danimarka'yı %19'luk payla Finlandiya, %16'lık payla Guetemala takip etmektedir (Global Electricity Review, 2022). 2020'de dünyada biyoyakıt ve atıklardan üretilen elektrik miktarları Tablo 4'te verilmiştir. Tabloya göre birincil katı yakıtlardan 113961 GWh ile Çin, endüstriyel atıklardan 18522 GWh ile Japonya, biyogazdan 33041 GWh ile Almanya, sıvı yakıtlardan 555 GWh ile Brezilya ve belediye atıklarından 7120 GWh ile ABD en yüksek elektrik üretimine sahip ülkelerdir. Biyoyakıt ve atıklardan toplamda 124336 GWh elektrik üretimiyle Çin birinci ülke konumundadır. Uluslararası enerji ajansının raporuna göre, küresel ısınmanın 1.5 oC'de tutulması için biyoenerji üretiminin 2020'den 2030 yılına kadar yaklaşık iki katına çıkması gerekmektedir. Bu durum 2021'de yıllık 646 TWh olan biyoenerji üretiminin 2030'da 1407 TWh seviyesine yükselmesi gerektiği anlamına gelmektedir (Net Zero by 2050, 2021).

Tablo 4. 2020'de dünyada biyoyakıt ve atıklardan üretilen elektrik enerjisi [GWh] (Renewables 2022, 2023)

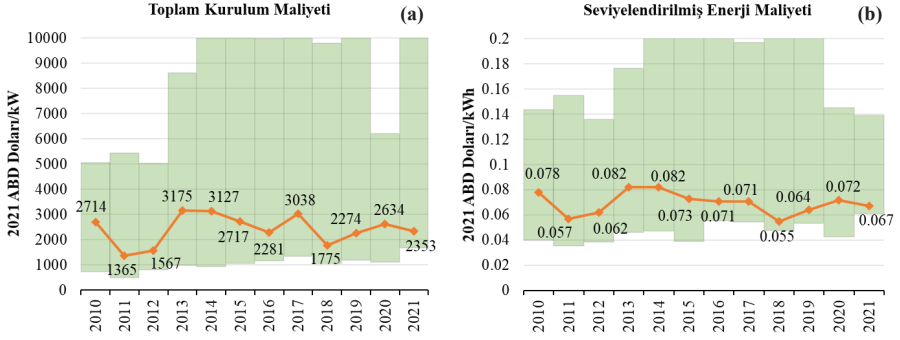
Ülkeler	Birincil katı biyoyakıtlar	Endüstriyel atıklar	Biyogaz	Sıvı biyoyakıtlar	Belediye atıkları	Toplam
Çin	113961	10301	31	0	43	124336
ABD	40692	1512	12070	335	7120	61729
Brezilya	56231	2269	1956	555	0	61011
Almanya	11327	772	33041	383	5811	51334
Japonya	22181	18522	136	0	1824	42663
İngiltere	27523	1246	7571	0	4304	40644
Hindistan	30170	0	1144	0	798	32112
Türkiye	1321	15	3032	38	14	4420
OECD ülkeleri	192996	24995	82269	7562	33927	341749

Türkiye Cumhuriyeti Enerji Bakanlığı tarafından hazırlanan Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) verilerine göre, Türkiye’de toplanabileceği düşünülen atıkların toplam ekonomik enerji eşdeğeri yaklaşık 3.9 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP)/yıl’dır. Türkiye’de yıllara göre biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç ve elektrik enerjisi üretimi Şekil 14’te verilmiştir. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu gibi biyokütle enerjisine dayalı kurulu güç her geçen yıl artmaya devam etmiştir. 2011’de biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç 115 MW ve bunun toplam kurulu güç içerisindeki oranı %0.22’iken, 2022 Haziran ayına geldiğinde kurulu güç 2172 MW’a, toplam kurulu güç içerisindeki oranı ise %2.14’e ulaşmıştır. Biyokütle ve atık ısıdan üretilen elektrik enerjisi ise 2020 yılı itibarıyla 4.44 TWh seviyesine yükselmiştir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022).



Şekil 14. Türkiye’de yıllara göre biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı (a) kurulu güç ve (b) elektrik enerjisi üretimi (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022)

Biyokütle enerji üretim maliyeti hem teknoloji bileşeni hem de yerel maliyet bileşeni açısından bölgesel olarak değişkenlik göstermektedir. Bir biyokütle enerji santralinin kurulum maliyetindeki ana etkenler planlama, mühendislik ve inşaat maliyetleri, yakıt taşıma ve hazırlama sistemleri, ana taşıyıcı ve yakıt dönüştürme sistemleridir. Bunlara ek olarak şebeke bağlantısı ve altyapı da kurulum maliyetlerini etkilemektedir. Biyoenerji için küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti ve seviyelendirilmiş enerji maliyetinin yıllara göre değişimi Şekil 15’te gösterilmiştir. 2010 ve 2021 arasında küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti yüksek bir değişkenliğe sahip olmakla birlikte yaklaşık %13’lük bir düşüşle 2714 ABD doları/kW’dan 2353 ABD doları/kW’ya düşmüştür. Aynı zaman aralığında en yüksek ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti 2013’te 3175 ABD doları/kW iken en düşük kurulum maliyeti 2011’de 1365 ABD doları/kW seviyesindedir. Biyoenerjiye ait küresel ağırlıklı ortalama seviyelendirilmiş enerji maliyeti 2010’da 0.078 ABD Doları/kWh iken 2021’de 0.067 ABD Doları/kWh seviyesine düşmüştür (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022).



Şekil 15. Biyoenerji için küresel ağırlıklı ortalama (a) toplam kurulum maliyeti ve (b) seviyelendirilmiş enerji maliyetinin yıllara göre değişimi (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022)

### 3.6 Jeotermal Enerji

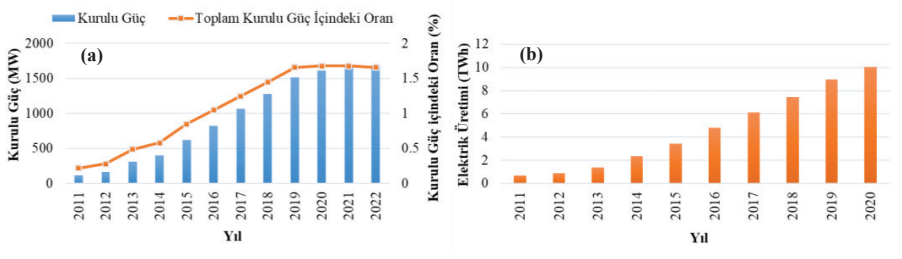
Jeotermal enerji, gezegenin oluşumundan ve malzemelerin radyoaktif bozunmasından kaynaklanan, yerkürenin çeşitli derinliklerinde birikmiş basınçlı sıcak akışkan (su, buhar, gaz) ve kuru kayaların taşıdığı termal enerjidir (Koç ve Kaya, 2015). Bu enerji doğrudan ısıtma amacıyla kullanılabilmesi gibi dolaylı olarak elektrik enerjisi üretiminde de kullanılmaktadır. Jeotermal enerji, güvenilir, sürdürülebilir, tükenmez, çevreci ve herhangi bir enerji dönüşümden geçmemiş birincil enerji kaynağıdır.

Dünyada jeotermal enerjiye dayalı en büyük kurulu güç kapasitesine sahip ülkeler Tablo 5'te verilmiştir. 2021'de sahip olduğu 3889 MW kurulu güç ile ABD en büyük kurulu güç kapasitesine sahip ülke olmaya devam etmektedir. ABD'yi sırasıyla Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda takip etmektedir. Türkiye 2021 yılı itibarıyla 1676 MW kurulu güç ile Avrupa'da birinci, dünyada ise dördüncü ülke konumundadır. Tabloda verilen ülkeler arasında Japonya 2012 yılına kıyasla kurulu güç kapasitesini düşüren tek ülkedir. Dünyada ise jeotermal enerjiye dayalı toplam kurulu güç kapasitesi her geçen yıl artmaya devam ederek 2021'de 15644 MW seviyesine yükselmiştir. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi 2020'de kurulu güç kapasitesindeki 335 MW'lık artışla birlikte yaklaşık %2 artarak son beş yıldaki ortalama büyümenin altında kalmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın net sıfır emisyon hedefleri doğrultusunda 2021-2030 yılları arasında yıllık elektrik üretimindeki büyümenin %13 olması gerekmektedir. Bu durum kurulu güç kapasitesinde yıllık ortalama 3.6 GW'lık artışa denk gelmektedir (Net Zero by 2050, 2021).

Tablo 5. Dünyada jeotermal enerjiye dayalı en büyük kurulu güç kapasitesine sahip ülkeler [MW] (Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022)

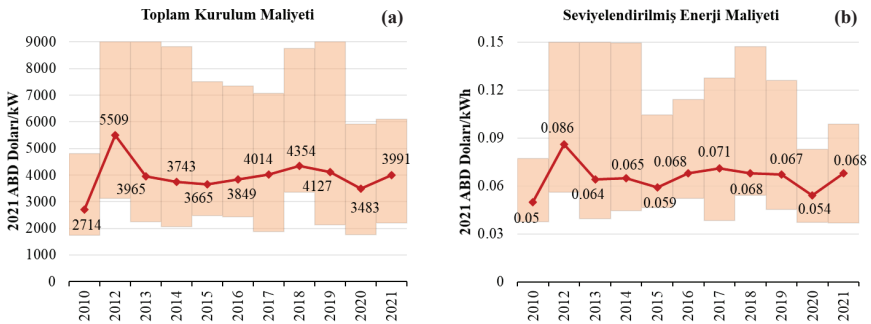
Ülkeler	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ABD	2592	2607	2514	2542	2517	2483	2444	2555	2587	3889
Endonezya	1336	1344	1404	1438	1533	1808	1948	2131	2131	2277
Filipinler	1847	1847	1916	1916	1916	1916	1928	1928	1928	1928
Türkiye	162	311	405	624	821	1064	1283	1515	1613	1676
Yeni Ze-landa	726	798	924	941	941	941	965	965	984	984
Meksika	824	823	813	906	926	926	951	951	951	976
Kenya	206	206	366	619	653	673	684	684	863	863
İtalya	728	729	768	768	767	767	767	767	772	802
İzlanda	665	665	665	665	665	710	756	756	756	756
Japonya	512	512	508	516	526	476	473	481	481	481
Dünya	10479	10717	11157	11812	12137	12697	13169	13738	14073	15644

Türkiye jeolojik ve coğrafik konumuyla aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer aldığı için jeotermal enerji potansiyeli yüksek bir ülke konumundadır. Ancak bu potansiyelin %90'ı düşük ve orta sıcaklıkta olup ısıtma ve termal turizm gibi doğrudan uygulamalarda, geriye kalan %10'luk kısım ise elektrik enerjisi üretimi gibi dolaylı uygulamalarda kullanılmaktadır. Jeotermal enerji potansiyeli en yüksek bölgelerin sırasıyla Batı Anadolu (%78), İç Anadolu (%9), Marmara (%7), Doğu Anadolu (%5) olduğu görülmektedir. Şehirler bazında değerlendirildiğinde en yüksek jeotermal enerji kurulu güç kapasiteleri sırasıyla; Aydın (850.4 MW), Denizli (353.8 MW), Manisa (349.2 MW), Çanakkale (28 MW) ve Afyonkarahisar (3 MW) illerinde bulunmaktadır. Türkiye'deki jeotermal kaynakların toplamda ısı potansiyeli açısından 35500 MWt, elektrik potansiyeli açısından 4500 MWe kapasiteye sahip olduğu tahmin edilmektedir. Sahip olduğu bu potansiyele bağlı olarak Türkiye'deki kurulu güç her geçen yıl hızlı bir şekilde artmaya devam etmektedir. Türkiye'de yıllara göre jeotermal enerjiye dayalı kurulu güç ve elektrik enerjisi üretimi Şekil 16'da gösterilmiştir. 2012'de 162 MW olan kurulu güç 2022 Haziran ayı itibariyle 1686 MW'a, toplam kurulu güç içerisinde oranı ise %0.28'den %1.66'ya yükselmiştir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022). Jeotermal enerjinin ülkenin enerji arzındaki payı ise 2015'te %1.3 iken; 2020'de %3.3'e yükselmiş ve üretim neredeyse üç katına çıkarak 10 TWh'a ulaşmıştır.



Şekil 16. Türkiye'de yıllara göre jeotermal enerjiye dayalı (a) kurulu güç ve (b) elektrik enerjisi üretimi (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Renewable Energy Statistics, 2022)

Jeotermal güç üretim tesisinin kurulumunda proje geliştirme, saha hazırlığı, üretim ve reenjeksiyon kuyuları, enerji santrali ve ilgili inşaat mühendisliği gibi ön maliyetler bulunmaktadır. Jeotermal projeler ayrıca sondaj maliyetindeki değişiklikten de etkilenmektedir. Özellikle, enerji santralının tipini (flaş, doğrudan buhar, ikili, hibrit) ve belirli bir kapasite için gereken kuyu sayısını belirleyen rezervuar kalitesi de proje maliyetini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu duruma daha düşük sıcaklıktaki kaynaklardan elektrik üretiminde diğer santral tiplerinden daha pahalı olan ikili (binary) santral kullanılması örnek gösterilebilir. Toplam kurulum maliyeti içerisinde ayrıca arama ve kaynak değerlendirme faaliyetleri de bulunmaktadır. 2009'da konvansiyonel yoğunlaşmalı flaş (flash) jeotermal enerji üretim projelerinin toplam kurulum maliyeti 2097 ABD doları/kW ile 4183 ABD doları/kW arasındayken, ikili (binary) enerji santrallerinin toplam kurulum maliyeti 2481 ABD doları/kW ve 6062 ABD doları/kW arasında değişmektedir. 2010 yılından itibaren toplam kurulum maliyetleri flaş enerji santral-



Şekil 17. Jeotermal enerji için küresel ağırlıklı ortalama toplam (a) kurulum maliyeti ve (b) seviyelendirilmiş enerji maliyetinin yıllara göre değişimi (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022)

leri için 2260 ABD doları/kW ve 5580 ABD doları/kW arasında değişirken, ikili enerji santralleri için 2890 ABD doları/kW ve 5210 ABD doları/kW aralığında değişkenlik göstermektedir. Jeotermal enerji için küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti ve seviyelendirilmiş enerji maliyetinin yıllara göre değişimi Şekil 17’de gösterilmiştir. 2013 yılından itibaren ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti en yüksek 4354 ABD doları/kW ve en düşük 3483 ABD doları/kW olmakla birlikte nispeten ortalama 4000 ABD doları/kW seviyesinde sabit kalmıştır. 2021’de jeotermal enerjiye ait küresel ağırlıklı ortalama seviyelendirilmiş enerji maliyeti bir önceki yıla göre %26 artarak 0.068 ABD Doları/kWh seviyesine yükselmiştir (Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022).

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında Dünyada ve Türkiye’de genel enerji durumu incelendikten sonra gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının yerini alacağı düşünülen yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu ve kurulum maliyetleri Dünya ve Türkiye ölçeğinde incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. Günümüzde küresel çapta elektrik üretiminde kömür %36’lık pay ile en fazla kullanılan kaynak olmaya devam etmektedir. 2021’de kömürden elektrik üretimi 10244 TWh seviyesine yükselmiştir. Diğer taraftan toplam temiz enerjinin küresel çapta elektrik üretimindeki payı ise %38 seviyesindedir. Türkiye’de ise elektrik üretiminde en büyük pay %33.2 ile doğal gaz ve hemen peşinden %30.9 ile kömüre aittir. Kurulu güç açısından en büyük pay ise %30.9 ile hidrolik enerjiye aittir. Türkiye’de 2021’de 332.9 TWh elektrik tüketilmiştir. Bu tüketimin 2025’de 370 TWh’a, 2040’ta ise 591 TWh’ çıkacağı beklenmektedir.
2. IRENA’nın raporuna göre 2021’de eklenen yenilenebilir kapasitenin 2020’de sağlayacağı toplam tasarrufun 55 milyar ABD doları olacağı tahmin edilmektedir. Bu tasarrufun en büyük destekçisinin ise toplam tasarrufun %42’sine denk gelen karasal rüzgar enerjisi olması beklenmektedir. Ülke bazında bakıldığında 2022’deki toplam tasarrufa en büyük katkıyı %56 ile Çin’in vermesi beklenmektedir.
3. 2021’de bölgelere göre rüzgar enerjisi üretiminde en büyük paya %42 ile Asya, ülke bazında bakıldığında ise en büyük paya %35.2 ile Çin sahiptir. 2021’de dünya çapında rüzgar enerjisine dayalı toplam kurulu güç 824.9 GW, rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi ise 1861.9 TWh’dır. Bu üretim miktarı dünya elektrik enerjisi ihtiyacının %6.5’ine denk gelmektedir. 2010 ve 2021 arasında küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti karasal rüzgar enerjisi için %35’lik düşüşle 1325 ABD doları/kW, açık deniz rüzgar

enerjisi için %42'lik bir düşüşle 2858 ABD doları/kW seviyesine gelmiştir. 2022 Haziran ayı itibariyle Türkiye'de rüzgar enerjisine dayalı kurulu güç 10976 MW, toplam kurulu güç içerisindeki payı ise %10.81'dir. 2021'de Rüzgar enerjisinden üretilen elektrik enerjisi ise 31.1 TWh seviyesiyle ülkenin toplam elektrik enerjisi üretiminin %9.3'üne denk gelmektedir. Türkiye'de karasal rüzgar enerjisinin ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti 1998 yılından bu yana %29 azalarak yaklaşık 1255 ABD doları/kW seviyelerine gelmiştir (Global Electricity Review, 2022; T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; Renewable Power Generation Costs in 2021, 2022; BP Statistical Review of World Energy, 2022).

4. 2021'de bölgelere göre güneş enerjisi üretiminde en büyük paya %56 ile Asya, ülke bazında bakıldığında ise en büyük paya %31.7 ile Çin sahiptir. 2021'de dünya çapında güneş enerjisine dayalı toplam kurulu güç 843.1 GW, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi ise 1032.5 TWh'dır. Bu üretim dünya elektrik enerjisi ihtiyacının %3.6'sında denk gelmektedir. 2010 ve 2021 arasında şebeke ölçekli projelerin küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti fotovoltaik güneş enerjisi için %82 düşerek 857 ABD doları/kW seviyesine gelmiştir. Diğer taraftan konsantre güneş enerjisi için 2010 ve 2020 yılları arasında toplam kurulum maliyeti %50 düşerek 4746 ABD doları/kW seviyesine gelmiştir. 2022 Haziran ayı itibariyle Türkiye'de güneş enerjisine dayalı kurulu güç 8479 MW, toplam kurulu güç içerisindeki payı ise %8.35'dir. 2021'de güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisi ise 12.8 TWh seviyesiyle ülkenin toplam elektrik üretiminin %3.8'ine denk gelmektedir. Türkiye'de fotovoltaik güneş enerjisinin ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti 2016 ve 2021 arasında %51 azalarak yaklaşık 810 ABD doları/kW seviyelerine gelmiştir.
5. 2021'de bölgelere göre hidrolik enerji üretiminde en büyük paya %43 ile Asya, ülke bazında bakıldığında ise en büyük paya %30.4 ile Çin sahiptir. 2021'de dünya çapında hidrolik enerjiye dayalı toplam kurulu güç 1360.1 GW, hidrolik enerjiden elektrik üretimi ise 4273.8 TWh'dır. Bu üretim dünya elektrik enerjisi tüketiminin %15'ine denk gelmektedir. 2010 ve 2021 yılları arasında hidroelektrik santrallerinin küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti %62 artarak 2135 ABD doları/kW seviyesine gelmiştir. 2022 Haziran ayı itibariyle Türkiye'de hidrolik enerjiye dayalı kurulu güç 31558 MW, toplam kurulu güç içerisindeki payı ise %31.09'dur. 2021'de hidrolik enerjiden üretilen elektrik ise 55.7 TWh seviyesiyle ülkenin toplam elektrik üretiminin %16.7'ine denk gelmektedir.
6. Dünyada biyoenerji üretimi 2021'de 646 TWh seviyesine yükselmiştir. Küresel üretimdeki %43'lük payı ile Asya biyoenerji üretiminde en yüksek paya sahip bölge konumundadır. Ülke bazında ise Çin küresel üretimde %23'lük

bir paya sahiptir. Türkiye’de 2022 Haziran ayı itibariyle biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç 2172 MW’a yükselmiş ve toplam kurulu güç içerisindeki payı %2.14 seviyesine gelmiştir. Biyoenerji için küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti 2021 yılı itibariyle 2353 ABD doları/kW seviyesindedir.

7. 2021’de sahip olduğu 3889 MW kurulu güç ile ABD jeotermal enerji açısından açık ara en büyük kurulu güce sahip ülke konumundadır. Türkiye ise 2021’de sahip olduğu 1676 MW kurulu güç ile Avrupa’da birinci, dünyada ise dördüncü sırada yer almaktadır. Jeotermal enerji için küresel ağırlıklı ortalama toplam kurulum maliyeti 2013 ve 2021 yılları arasında ortalama 4000 ABD doları/kW seviyesinde sabit kalmıştır.

Dünyada ve Türkiye’de genel enerji durumu değerlendirildiğinde, yenilenemez enerjiden en yüksek elektrik enerjisi üretiminin kömürden, yenilenebilir enerjiden en yüksek elektrik enerjisi üretiminin ise hidrolik enerjiden elde edildiği belirlenmiştir. Son yıllarda kurulu güçteki ve buna bağlı elektrik enerjisi üretimindeki artışla rüzgar ve güneş enerjisi birlikte dünya elektriğinin %10’undan fazlasını üretir hale gelmiştir. Ayrıca, karasal rüzgar enerjisi ve fotovoltaik güneş enerjisi kurulum maliyetlerinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha ucuz olduğu ve her geçen yıl kurulum maliyetlerinin düşmeye devam ettiği belirlenmiştir. Bu bağlamda dünyada ve Türkiye’de rüzgar ve güneş enerjisine dayalı kurulu gücün hızla artırılması hem fosil yakıt kaynaklarına olan bağımlılığın azaltılması hem de çevresel açıdan yaratacağı olumlu katkı nedeniyle büyük önem arz etmektedir. Gelecek çalışmalarda enerji analizi ile dünya ve ülkemiz için simülasyon çalışmaları yapılarak literatüre katkı sağlanabilir.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynakça

- Ağır, H., Özbek, S., ve Türkmen, S. (2020). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belirleyicileri: Ampirik Bir Tahmin. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 6(4), 39-48. doi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ead/issue/59522/792382>
- Bilgili, M., ve Alphan, H. (2022). Visual Impact and Potential Visibility Assessment of Wind Turbines Installed in Turkey. *Gazi University Journal of Science*, 35(1), 198-217. doi: <https://doi.org/10.35378/gujs.811568>
- BP Statistical Review of World Energy. (2022). British Petroleum (BP). Erişim adresi: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>.



- Chen, C. Y., Pinar, M., ve Stengos, T. (2020). Renewable energy consumption and economic growth nexus: Evidence from a threshold model. *Energy Policy*, 139. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111295>
- Çınar, S., ve Yılmaz, M. (2015). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belirleyicileri ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Gelişmekte Olan Ülkeler Örneği. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 30(1), 55-78. doi: <https://dergipark.org.tr/pub/deuibfd/issue/22716/242449>
- DSİ Genel Müdürlüğü 2021 Faaliyet Raporu. (2022). DSİ Genel Müdürlüğü. Erişim adresi: [https://cdnis.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/Sayfa/759/1107/DosyaGaleri/2021\\_yili\\_faaliyet\\_raporu.pdf#page=46](https://cdnis.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/Sayfa/759/1107/DosyaGaleri/2021_yili_faaliyet_raporu.pdf#page=46).
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., ve Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.113>
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., ve Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38-50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>
- Global Electricity Review. (2022). EMBER. Erişim adresi: <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2022/>.
- Güllü, M., ve Kartal, Z. (2021). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının İstihdam Etkisi. *Sakarya İktisat Dergisi*, 10(1), 36-65. doi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/sid/issue/61134/849831>
- Hassan, Q., Al-Hitmi, M., Tabar, V. S., Sameen, A. Z., Salman, H. M., ve Jaszczur, M. (2023). Middle East energy consumption and potential renewable sources: An overview. *Cleaner Engineering and Technology*, 12, 100599. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100599>
- Hosseini, S. E. (2020). An outlook on the global development of renewable and sustainable energy at the time of COVID-19. *Energy Research & Social Science*, 68, 101633. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101633>
- Işık, S., ve Yavuz, S. (2022). Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 193-201. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.1079255>
- Jaiswal, K. K., Chowdhury, C. R., Yadav, D., Verma, R., Dutta, S., Jaiswal, K. S., ve Karuppasamy, K. S. K. (2022). Renewable and sustainable clean energy development and impact on social, economic, and environmental health. *Energy Nexus*, 7, 100118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100118>
- Kaya, K., ve Koç, E. (2015). Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi. *Mü-*

- hendis ve Makina*, 56(660), 61-68. doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendismakina/issue/54192/733604>
- Kaya, K., Şenel, M. C., ve Koç, E. (2018). Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi. *Technological Applied Sciences*, 13(3), 219-234. doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nwsatecapsci/issue/38517/410134>
- Kayar, E., İl, N., ve Carlak, H. (2021). Türkiye Elektrik Enerjisi Görünümü ve Yenilenebilir Enerjinin Global Ölçekte Mevcut Konumu. *EMO Bilimsel Dergi*, 11(Özel Sayı), 70-83. doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/emobd/issue/63482/669980>
- Kayıoğlu, B., ve Diken, B. (2019). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kullanımının Mevcut Durumu ve Sorunları. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 15(2), 61-65. doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tarmak/issue/52226/682863>
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., ve Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(692), 86-114. doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendismakina/issue/48388/614281>
- Koç, E., ve Kaya, K. (2015). Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47. doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendismakina/issue/54338/736171>
- Koç, E., ve Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 54(639), 32-44.
- Koyuncu, T., ve Karabulut, T. (2021). Türkiye’de Sürdürülebilir Kalkınma ve Yeşil Ekonomi Açısından Yenilenebilir Enerji: Ampirik Bir Çalışma. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 17(2), 466-482. doi: <https://doi.org/10.17130/ijmeh.800169>
- Li, L., Lin, J., Wu, N., Xie, S., Meng, C., Zheng, Y., ve Zhao, Y. (2022). Review and outlook on the international renewable energy development. *Energy and Built Environment*, 3(2), 139-157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.12.002>
- Net Zero by 2050. (2021). International Energy Agency (IEA). Erişim adresi: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
- Özbek, M., ve Tunç, K. (2021). Feasibility of Offshore Wind Energy in Turkey; A Case Study for Gulf of Edremit at the Aegean Sea. *Gazi University Journal of Science*, 34(2), 423-437. doi: <https://doi.org/10.35378/gujs.734895>
- Özkan, A., Uslu, Y. D., ve Gedikli, E. (2022). Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Potansiyelinde Rüzgâr Gücü ve Danimarka Örneği. *Akdeniz İİBF Dergisi*, 22(2), 26-35. doi: <https://doi.org/10.25294/aiibfd.1111423>
- Pacesila, M., Burcea, S. G., ve Colesca, S. E. (2016). Analysis of renewable energies

- in European Union. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 56, 156-170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.152>
- Renewable Energy Statistics. (2022). International Renewable Energy Agency (IRENA). Erişim adresi: <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2022>.
- Renewable Power Generation Costs in 2018. (2019). International Renewable Energy Agency (IRENA). Erişim adresi: <https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018>.
- Renewable Power Generation Costs in 2021. (2022). International Renewable Energy Agency (IRENA). Erişim adresi: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA\\_Power\\_Generation\\_Costs\\_2021\\_Summary.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Generation_Costs_2021_Summary.pdf).
- Renewables 2022. (2023). International Energy Agency (IEA). Erişim adresi: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ada7af90-e280-46c4-a577-df2e4fb44254/Renewables2022.pdf>.
- Ritchie, H., Roser, M., ve Rosado, P. (2022). Energy. *Our World in Data*. Erişim adresi: <https://ourworldindata.org/energy>.
- Sen, S., ve Ganguly, S. (2017). Opportunities, barriers and issues with renewable energy development - A discussion. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 69, 1170-1181. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.137>
- Şenel, M. C., ve Koç, E. (2015). Dünyada Ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirmesi. *Mühendis ve Makina*, 56(663), 46-56. doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendismakina/issue/54195/733672>
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Enerji. Erişim adresi: [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr)
- Wang, S., Sun, L., ve Iqbal, S. (2022). Green financing role on renewable energy dependence and energy transition in E7 economies. *Renewable Energy*, 200, 1561-1572. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.10.067>
- Wind Electricity. (2022). International Energy Agency (IEA). Erişim adresi: <https://www.iea.org/reports/wind-electricity>.
- Wu, H. (2023). Evaluating the role of renewable energy investment resources and green finance on the economic performance: Evidence from OECD economies. *Resources Policy*, 80, 103149. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103149>
- Yılmaz, M. (2012). Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54. doi: [https://doi.org/10.1501/Csa-um\\_0000000064](https://doi.org/10.1501/Csa-um_0000000064)