

# TÜRKİYE YENİLENEBİLİR ENERJİ GÖRÜNÜMÜ | 2022



Sabancı  
Üniversitesi

IICEC

SABANCI UNIVERSITY  
ISTANBUL INTERNATIONAL  
CENTER FOR ENERGY AND CLIMATE



**TÜRKİYE  
YENİLENEBİLİR ENERJİ  
GÖRÜNÜMÜ | 2022**

# Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü 2022

**Bora Şekip Güray**

**Ersin Merdan**

## **Sabancı Üniversitesi IICEC**

İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi

Minerva Palas, Bankalar Caddesi, No:2

Karaköy 34420

İstanbul / Türkiye

**Tel:** +90 212 292 49 39

## **Kitap Tasarım:**

CEEN Enerji Bilgi Servisleri Dan. ve Org. ve Tic. Ltd. Şti.

Kavacık Mah. FSM Cad. Tonoğlu Plaza No: 3/4

Beykoz 34810 İstanbul / Türkiye

**Tel:** +90 216 510 12 40

## **Kitap Baskı:**

G.M. Matbaacılık ve Tic. A.Ş.

100 yıl Mah. Matbaacılar Sitesi 1.Cad. No:88 Bağcılar/İstanbul / Türkiye

**Tel:** +90 212 629 00 24 **Fax:** +90 212 629 20 13

**Matbaa Sertifika No:** 45463

## **Aralık 2022**

**ISBN:** 978-625-7329-97-2

# IICEC Hakkında

*Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi (IICEC), geleceğe yönelik bir bağımsız araştırma ve politika merkezi olarak, enerji ve iklim konularında nesnel, kaliteli araştırmalar yapmak üzere kurulmuştur.*

*IICEC, kamu-sanayi-akademi iş birliklerini destekleyen başarı üçgeni modeli içerisinde, enerji ve iklim gündeminde gerçekleştirdiği ulusal, bölgesel ve uluslararası çalışmalar ile daha temiz ve güvenli enerji geleceğine katkı sunmaktadır.*

*Bölgedeki en seçkin üniversitelerden birinin bünyesinde yer alan IICEC, Türkiye enerji sektörüne stratejik ve bütüncül bakış perspektifiyle analitik çalışmalar gerçekleştirmekte, aynı zamanda enerji ve iklim alanlarında kilit paydaşları bir araya getiren seçkin bir platform sağlayarak fikir alışverişini ve gelişimini de teşvik etmektedir. IICEC tarafından 2020 yılında Türkiye’de bir ilk olarak yayımlanan “Turkey Energy Outlook”, enerji sektörünün verimli, güvenli, rekabetçi, teknoloji-odaklı ve sürdürülebilir geleceğini somut öneriler ile desteklemektedir.*

<https://iicec.sabanciuniv.edu>

[in](#) iicec-sabanci-university-istanbul-international-center-for-energy-and-climate

[t](#) sabanciu\_iicec



## Önsöz

2010 yılında Dr. Fatih Birol ile yaptığım görüşmelerden ilham alarak kurduğumuz Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi (IICEC), benim başarı üçgeni olarak tanımladığım ve Türkiye'nin gelişimi için çok önemli olduğuna inandığım, kamu-özel sektör-akademi iş birlikleri modeliyle, daha temiz ve güvenli bir enerji geleceğine katkısını artırmaya devam etmektedir.

IICEC'in, Dr. Fatih Birol'un fikri önderliğinde hazırlayarak 2020 yılında Türkiye'de bir ilk olarak yayımladığı, ülkemizin enerji geleceği ile ilgili stratejik bir bakış içeren "Turkey Energy Outlook" (TEO) çalışması, sektörde tüm paydaşlar tarafından geniş bir kabul gördü. TEO, daha verimli, güvenli, rekabetçi, teknoloji odaklı ve sürdürülebilir bir enerji geleceğine ulaşılabilmesi için sunduğu somut önerilerle referans niteliği kazanırken, aynı zamanda gelişmekte olan ülkeler için de güzel bir örnek oluşturdu. Geçtiğimiz yıl da IICEC tarafından yine Türkiye'de bir ilk olarak "Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü" çalışması yayımlanarak e-mobilitede güçlü bir büyüme perspektifinin Türkiye'nin enerji dengeleri ve çevresel performansına önemli katkıları sunuldu.

Dünya enerji krizinden geçerken yenilenebilir enerji teknolojilerine, iş modellerine ve finansmanına olan yönelimin de geliştiğini görüyoruz. Küresel enerji dönüşümü içerisinde rolünü güçlendiren ve Türkiye için de gerek enerji güvenliği gerekse de temiz enerji geleceği bakımından yüksek gelişim potansiyeli ve önemli fırsat alanları sunan yenilenebilir enerji, Dr. Birol'un IICEC'e bu yıl için verdiği projenin konusu oldu.

**Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü** çalışmasında, analitik ve bütüncül bir yaklaşımla, Türkiye'nin rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarındaki yüksek potansiyelinin ve büyüme perspektifinin, Türkiye'nin enerji dengelerine ve daha güvenli ve temiz enerji geleceğine katkıları irdelenerek, çok boyutlu faydaların gerçekleştirilebilmesi için somut öneriler sunuluyor.

IICEC tarafından, yine Türkiye'de bir ilk olarak gerçekleştirilen bu çalışmanın, Türkiye enerji sektörü, sanayi sektörleri ve enerji tüketicisi tüm sektörler, araştırmacılar ve ekosistemin tüm paydaşları için bir referans oluşturmasını, temiz enerji kaynaklarına ve teknolojilerine dayalı, daha verimli, güvenli, rekabetçi ve sürdürülebilir bir enerji geleceğine önemli katkılar sunmasını bekliyorum. Bu çalışmanın, dünyanın derin bir enerji krizinden geçtiği, Türkiye'nin de enerji talebindeki artışa ek olarak temiz enerji dönüşümü fırsatlarına odaklandığı yeni bir dönemin başlangıcında zamanlama olarak da ayrıca değer taşıdığını düşünüyorum.

**Güler Sabancı**

**Sabancı Üniversitesi Kurucu Mütevelli Heyeti Başkanı**

## Yazarlar

IICEC Direktörü Bora Şekip Güray tarafından yönetilen IICEC “Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü 2022” çalışması, **Bora Şekip Güray** ve IICEC Enerji Analisti **Ersin Merdan** tarafından kaleme alınmıştır. Çalışmada IICEC “Turkey Energy Outlook” çalışmasının kritik bulgularından ve bütüncül modelleme altyapısından geniş ölçüde faydalanılırken, enerji, ulaştırma, sanayi, binalar ve tarım sektörlerine ilişkin detaylı bir veri tabanı kullanılmıştır.



## Teşekkürler

**Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü** çalışması, yenilenebilir enerji sektörü ve diğer ilgili sektörlerden çok sayıda liderin ve uzmanın destekleri ve iş birlikleri ile hazırlanmıştır.

- **Sabancı Üniversitesi Kurucu Mütevelli Heyeti Başkanı Güler Sabancı'ya**, IICEC'in gelişimine liderlikleri, Türkiye'nin daha temiz ve güvenli enerji geleceğine yönelik analitik çalışmaları destekleyen vizyonları için,
- **Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) Direktörü ve IICEC Onursal Başkanı Dr. Fatih Birol'a**, IICEC'in iş planlarına ve bu çalışmaya fikri liderlikleri için,
- **Sabancı Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Yusuf Leblebici'ye**, IICEC'e bağımsız bir araştırma ortamı ve olanağı sağlayan destekleri için,
- **IICEC Yönetim Kurulu'nun değerli üyeleri ALJ Türkiye, Borusan EnBW Enerji, Enerjisa, Eren Holding, ING Türkiye, Sanko Enerji, Shell, Socar ve Zorlu Enerji'ye** IICEC'e destekleri için

teşekkür ederiz.

Katılımcı bir anlayışla hazırlanan bu çalışma süresince yakın iş birlikleri için,

- Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneğine (ELDER),
- Elektrik Üreticileri Derneğine (EÜD),
- Güneş Enerjisi Yatırımcıları Derneğine (GÜYAD),
- Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu Türkiye Bölümüne (GÜNDER),
- Güneş Enerjisi Sanayicileri ve Endüstrisi Derneğine (GENSED),
- Hidroelektrik Santralleri Sanayi İş Adamları Derneğine (HESİAD),
- Jeotermal Enerji Derneğine (JED),
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliğine (TÜREB),
- Analizleri ile çalışmaya destek veren Alper Özmumcu'ya,
- Çalışmaya değerli görüş ve önerileri ile destek sağlayan, aşağıda isimleri sunulan sektör paydaşlarına

teşekkür ederiz<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> İsimler alfabetik olarak belirtilmiştir.

- Ali Kindap JED
- Alkım Bağ Güllü Shura
- Alper Baba İYTE
- Alper Özmumcu İYTE
- Altuğ Karataş VAT
- Arif Günyar Enercon
- Arkın Akbay Polat Enerji
- Asaf Oğuz Nordex
- Atacan Gülbay ELDER
- Ayşe Yasemin Örucü World Bank
- Ayşegül Akay ING Bank
- Bahar Özay UN SDSN
- Başak Avcı Kaya Togg
- Barış Oluç Sanko Enerji
- Bengisu Özenç Sefia
- Bilal Tuğrul Kaya Entek
- Budak Dilli Kıdemli Enerji Danışmanı
- Bülent Caner Shell
- Can Hakyemez TSKB
- Can Tezcan EBRD
- Can Yurtseven EBRD
- Cem Aşık EÜD
- Cem Bahar Eşarj
- Cem Özkök GÜYAD
- Cengiz Güneş CGD
- Cihangir Gençoğlu Yeşilırmak EDAŞ
- Egemen Yamankurt Enerjisa Üretim
- Elvan Tuğsuz Güven HESİAD
- Emrah Özsavaşçı Shell

- Emre Erdoğan Enerjisa Üretim
- Emre Okuyan İş Enerji
- Emre Yıldız Shell
- Enis Amasyalı Borusan EnBW
- Erman Erek Ateş Wind
- Ersan Tüfekçi Kalyon PV
- Ersin Esentürk Enerjisa Enerji
- Ertuğrul Şen İZODER
- Esen Erkan GÜNDER
- Evren Aktaş Borusan EnBW
- Ezgi Deniz Enerjisa Üretim
- Fahrettin Arman HESİAD
- Fakir Hüseyin Erdoğan EPDK
- Fidan Öztürk CK Enerji
- Furkan Çallıalp Enerjisa Enerji
- Füsün Tut Haklıdır Bilgi Üniversitesi
- Gökhan Apay Fırat EDAŞ
- Gökhan Serdar TPI Composites
- Görkem Kiriş Rolls-Royce
- Habib Babacan Mature Capital
- Hakan Birhan Garanti BBVA
- Hakan Yıldırım Sanko Enerji
- Halil Demirdağ GENSED
- Hasan Aksoy Shura
- Hasan Hepkaya TSKB
- İbrahim Erden TÜREB
- İhsan Erbil Bayçol Enerjisa Üretim
- İstemi Mavi ELDER
- Kemal Uslu Modus Enerji

- Kıvanç Zaimler Sabancı Holding
- Konca Kalcivik SKD
- Koray Göyten TurSEFF
- Kubilay Kavak Escarus
- Kutay Kaleli GÜNDER
- Levent İshak Vestas
- Levent Özgür Caner Borusan EnBW
- Mahmut Güldoğan Ateş Wind
- Mehmet Erdem Yaşar EBRD
- Mehmet Hüseyin Yılmaz World Bank
- Muhsin Mazman Tegnetia
- Murat Solmaz JED
- Mustafa Tırıs T-Dinamik
- Nurşen Numanoğlu TÜSİAD
- Oğuzcan Samsun Enerjisa Enerji
- Onur Taylan ODTÜ GÜNAM
- Osman Tufan Doğan INNOVA
- Ömer Buğer Eren Enerji
- Ömer Emre Orhan Jacobs
- Ömer Erdem ETKB
- Özge Özden ELDER
- Özgür Barış Yılmaz T-Dinamik
- Öztürk Selvitop ETKB
- Sacit Akbaş Fichtner Türkiye
- Selen İnal Stantec
- Selim Okutur Toyota
- Semih Bucak Enerjisa Üretim
- Serhan Günel Danfoss
- Serhat Koçak ING Bank

- Serhat Metin
  - Serhat Yeşilyurt
  - Serkan Duruduygu
  - Serkan Kükrek
  - Seyran Hatipoğlu
  - Sinan Ak
  - Şehmus Altan
  - Şule Kılıç
  - Taner Ercömert
  - Timur Diz
  - Umut Murat Yazıcı
  - Ülfet Türkmen
  - Üner Çolak
  - Vecih Yılmaz
  - Volkan Aktürk
  - Yener Büyükgürsan
  - Yiğit Erzan
  - Yiğit Paşa
- TEİAŞ  
Sabancı Üniversitesi  
Akbank  
Başkent EDAŞ  
TurSEFF  
Zorlu Enerji  
Zorlu Enerji  
EBRD  
Blue Energy  
İZODER  
Başkent EDAŞ  
GDZ EDAŞ  
İTÜ  
Akçansa  
Entek  
Entek  
GE Yenilenebilir Enerji  
CK Enerji

**Çalışmaya katkı sağlayan kurumlar ve uzmanlar, burada yer verilen görüşlerden sorumlu değildir.**

**Sorularınız ve görüşleriniz için:**

Bora Şekip Güray

Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi (IICEC)

Bankalar Caddesi, No:2

Karaköy, İstanbul,

Türkiye

treo.iicec@sabanciuniv.edu

Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü ile ilgili detaylı bilgilere

<https://iicec.sabanciuniv.edu> adresinden ulaşabilirsiniz.

## İÇİNDEKİLER

Yönetici Özeti

19

BÖLÜM 1: Giriş

27

BÖLÜM 2: Yenilenebilir Enerjiye Küresel ve Bölgesel Bakış

41

BÖLÜM 3: Türkiye Enerji Sektörüne Genel Bakış

71

BÖLÜM 4: Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Gelişimi

99

BÖLÜM 5: IICEC Senaryoları

143

BÖLÜM 6: IICEC Senaryolarında Elektrik Sektöründe  
Yenilenebilir Enerji Geleceği

185

BÖLÜM 7: IICEC Senaryolarında Nihai Enerji Talebinde  
Yenilenebilir Enerji Geleceği

217

BÖLÜM 8: Sonuç ve Öneriler

239

EKLER

255

IICEC Hakkında	3
Önsöz	5
Yazarlar	6
Teşekkürler	7
Yönetici Özeti	19
<b>1 Giriş</b>	<b>27</b>
1.1 Neden Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü ?	28
1.2. Türkiye Enerji Sektörünün Karekodu Nedir ?	32
1.3. IICEC Senaryolarında Yenilenebilir Enerjide Büyüme Ne Gösteriyor ?	34
1.4. IICEC Senaryolarında Fayda ve Maliyet Analizleri Neye İşaret Ediyor ?	35
1.5. Yenilenebilir Enerjide Verimli ve Yüksek Büyüme İçin Gelişim Alanları Neler ?	38
1.6. Çalışmanın İçeriği	39
<b>2 Yenilenebilir Enerjiye Küresel ve Bölgesel Bakış</b>	<b>41</b>
2.1. Dünya Enerji Sektörünün Genel Görünümü	42
2.2. Enerji Krizi, Küresel ve Bölgesel Enerji Güvenliği & Yenilenebilir Enerji	43
2.3. Temiz Enerji Dönüşümü ve Yenilenebilir Enerji	47
2.4. Yeni Sanayi Paradigması ve Yenilenebilir Enerji	48
2.5. Yenilenebilir Enerjide Sürdürülebilir Büyüme İçin Zorluklar ve Fırsatlar	50
2.5.1. Elektrik Sistemlerinin Dönüşümü	51
2.5.2 Kritik Malzemeler & Tedarik Zincirlerinin Güvenliği	52
2.5.3 Teknoloji & Dijitalleşme	55
2.5.4 Yetkin İnsan Kaynağı Gelişimi	58
2.6. Bütüncül Sürdürülebilirlik Perspektifi İçerisinde Yenilenebilir Enerji	62
2.7. Sonuç	66
<b>Referanslar</b>	<b>67</b>



<b>3</b>	<b>Türkiye Enerji Sektörüne Genel Bakış</b>	<b>71</b>
	<b>3.1. Enerji Talebi ve Temel Dinamikleri</b>	<b>72</b>
	3.1.1. Nihai Enerji Talebinin Sektörel Gelişimi	77
	3.1.2. Nihai Enerji Talebinin Kaynaklara Göre Gelişimi	79
	<b>3.2. Enerji Arzının Gelişimi</b>	<b>82</b>
	<b>3.3. Enerji İthalatı</b>	<b>83</b>
	<b>3.4. Enerji Sektöründen Kaynaklı Emisyonlar</b>	<b>88</b>
	<b>3.5. Enerji Stratejilerinde Türkiye'nin Öncelikleri ve Kritik Trendler</b>	<b>90</b>
	<b>3.6. Enerji Dinamiklerine Bütüncül Bakış ve Enerjinin Karekodu</b>	<b>93</b>
	<b>3.7. Sonuç</b>	<b>95</b>
	<b>Referanslar</b>	<b>96</b>
<b>4</b>	<b>Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Gelişimi</b>	<b>99</b>
	<b>4.1. Genel Enerji Dengeleri İçerisinde Yenilenebilir Enerjiye Bakış</b>	<b>100</b>
	<b>4.2. Nihai Enerji Talebinde Yenilenebilir Enerji</b>	<b>102</b>
	<b>4.3. Elektrik Enerjisi Arzında Yenilenebilir Enerji</b>	<b>105</b>
	4.3.1 Elektrik Enerjisi Arz Talep Dinamiklerinin ve Dengesinin Görünümü	105
	4.3.2 Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Enerji Gelişimi	109
	4.3.3. Yenilenebilir Enerji Yarışında Türkiye'nin Küresel ve Bölgesel Durumu	115
	4.3.4. Yenilenebilir Enerjiden Elektrik Üretiminde Yatırım Modellerinin Değerlendirmesi	121
	<b>4.4. Enerjide Karekod &amp; Yenilenebilir Enerjinin Katkıları</b>	<b>128</b>
	4.4.1. Elektrik Arz Güvenliği ve İthal Yakıt Faturası Katkıları	128
	4.4.2 Elektrik Sektörü Sera Gazı Emisyonları ve Temiz Enerji Dönüşümü Katkıları	131
	4.4.3. Sanayide Yerleşme Gelişimi Katkısı	133
	4.4.4. Elektrik Sektörünün Ötesinde Katkılar	134
	<b>4.5. Enerji ve İklim Politika Belgelerinde ve Hedeflerinde Yenilenebilir Enerji</b>	<b>135</b>

4.6. Yenilenebilir Enerjide Potansiyel ve Performans Değerlendirmesi	136
4.7. Sonuç	139
Referanslar	140
<b>5</b> IICEC Senaryoları	143
5.1. Giriş ve IICEC Senaryolarının ereveleri	144
5.2. IICEC Senaryoları Sonuçları	146
5.2.1. IICEC Senaryolarında Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Enerji Geleceği	146
5.2.1.1 Elektrik Talebi Geleceği	146
5.2.1.2. Kurulu Güç ve Elektrik Üretimi Geleceği	149
5.2.1.3. şebekeler ve Elektrik Sistemi Geleceği	158
5.2.1.4. Yatırımlar	160
5.2.1.5. Enerji İthalatı Gelişimi	162
5.2.1.6. Sera Gazı Emisyonları Gelişimi	166
5.2.1.7. Hava Kirletici Emisyonları Gelişimi	170
5.2.1.8. IICEC Senaryolarında Nihai Enerji Tüketiminde Yenilenebilir Enerji	171
5.3. IICEC Senaryoları Sonuçları Özet Değerlendirme	177
Referanslar	183
<b>6</b> IICEC Senaryolarında Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Enerji Geleceği	185
6.1. Elektrik Talebi Geleceği	186
6.2. Elektrik Arzı Geleceği	189
6.3. Güneşten Elektrik	191
6.4. Rüzgardan Elektrik	195
6.5. Hidroelektrik	199
6.6. Jeotermal Elektrik	203
6.7. Biyokütle ve Atıktan Elektrik	204
6.8. şebekeler ve Elektrik Sistemi Perspektifi	204

6.9. Yatırımlar	207
6.10. Emisyonlar	209
6.11. Maliyet ve Tasarruf Analizleri	210
6.12. Piyasa Gelişimi	212
Referanslar	214

<b>7</b> IICEC Senaryolarında Nihai Enerji Talebinde Yenilenebilir Enerji Geleceği	217
7.1. Nihai Enerji Talep Sektörlerinde Yenilenebilir Enerji Geleceği	218
7.2. Nihai Enerji Talebinde Jeotermal Enerji Kullanımı Geleceği	221
7.3. Nihai Enerji Talebinde Doğrudan Güneş Enerjisi Kullanımı Geleceği	225
7.4. Nihai Enerji Talebinde Doğrudan Biyokütle Enerjisi Kullanımı Geleceği	228
7.5. Nihai Enerji Talebinde Toplam Yenilenebilir Enerji Katkısı	229
7.6. Temiz Enerji Geleceği ve Net-Sıfır Emisyon Perspektifi	233
7.6.1. Hidrojen Geleceği	233
7.6.2. Karbon Yakalama ve Depolama Teknolojileri Geleceği	235
Referanslar	237

<b>8</b> Sonuç ve Öneriler	239
8.1. Yenilenebilir Enerjide Verimli ve Güçlü Büyüme Destekleyecek Gelişim Alanları	240
8.1.1. Politika Hedefleri ve Yol Haritaları	241
8.1.2. Enerji Piyasaları ve Yatırımlar	243
8.1.3. Elektrik Şebekeleri	245
8.1.4. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ve Diğer Temiz Enerji Teknolojileri	246
8.1.5. Nihai Enerji Tüketicisi Sektörler	248
8.1.6. Bütüncül Verimlilik ve Dijitalleşme	249
8.1.7. İnsan Kaynakları ve Girişimcilik	250
8.2. IICEC Önerileri	253

<b>EKLER</b>	<b>255</b>
<b>EK A: Temel Politika Belgeleri ve Veri Kaynakları</b>	<b>257</b>
<b>EK B: Dönüşüm Faktörleri</b>	<b>258</b>
<b>EK C: Kısaltmalar</b>	<b>259</b>
<b>EK D: Fosil Yakıt Fiyatları</b>	<b>261</b>
<b>EK E: Senaryo Sonuçları</b>	<b>263</b>

# Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü (Türkiye Renewable Energy Outlook) Yönetici Özeti

## Genel Bakış ve TREO Senaryoları

Yenilenebilir enerji, enerji verimliliği ile birlikte Türkiye'nin artan enerji talebinin sürdürülebilir koşullarda sağlanabilmesi ve gelişen enerji sisteminin güvenli ve temiz enerji geleceği için en kritik başarı faktörlerinden biridir. Geçtiğimiz otuz yıl içerisinde kaynaklar bazında dağılımı önemli değişkenlik göstermiş olmakla birlikte yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki katkısı genelde %35-%45 seviyesinde gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerjinin 1990 yılında nihai enerji talebine, büyük bölümü geleneksel biyokütle kaynaklarından gelmek üzere yaklaşık %20 olan doğrudan katkısı ise, doğrudan modern yenilenebilir enerji kullanımındaki büyümenin nihai tüketici sektörlerin talebinde doğal gaz başta olmak üzere diğer yakıtlardaki büyüme hızından düşük seyretmesi sonucunda %5 seviyesine gerilemiştir. Yenilenebilir enerji günümüzde Türkiye'nin toplam nihai enerji talebinin %12'sini karşılamakta olup, henüz değerlendirilmemiş olan yüksek yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin, enerji, iklim ve sanayi politikaları, piyasalar, yatırım ortamı ve teknolojik fırsatlar yoluyla hızla performansa dönüştürülmesi durumunda bu oranda yüksek artışlar ile çok boyutlu fırsatlar sağlanacağı sağlanabileceği görülmektedir.

**Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü (TREO)**, IICEC tarafından Türkiye'de bir ilk olarak yayımlanan *Turkey Energy Outlook* (Türkiye Enerji Görünümü) çalışmasının ve *IICEC Enerji Modeli* ile Türkiye enerji ekonomisinin detaylı bir envanteri üzerine kurulmuştur. Enerjide arz ve talep zincirinin tamamını kapsayan bir veri tabanından yararlanan bütüncül modelleme çerçevesi, küresel ve bölgesel enerji ve iklim dinamiklerini, Türkiye'nin güncel enerji, sanayi ve iklim politikalarındaki yönelimleri, enerji piyasalarındaki ve yatırımlardaki gelişmeleri, teknolojilerdeki ilerlemeleri yansıtmaktadır. Elektrik sektörünün ve enerji tüketicisi tüm sektörlerin, yenilenebilir elektrik üretimine ve doğrudan yenilenebilir enerji kullanımına ilişkin büyüme ve gelişim perspektifi, kaynaklar ve sektörler bazında Türkiye'nin çok yüksek yenilenebilir enerji potansiyeli ve çok boyutlu fırsat alanları ile birlikte detaylı olarak irdelenerek analiz edilmiştir.

Sektörde bir ilk olan ve senaryo bazlı bir yaklaşımla gerçekleştirilen bu çalışmada, iki farklı TREO Senaryosu ile yenilenebilir enerjide 2050 yılına kadar olan dönemde büyüme perspektifinin, Türkiye'nin enerjide kaynak çeşitlendirmesine ve enerji güvenliğine, enerji ithalat faturasına, temiz enerji dönüşümü amaçlarına ve net-sıfır emisyon perspektifine, hava kalitesine, toplam sistem verimliliğine ve geniş ölçekte sürdürülebilirliğe katkıları somut sayısal göstergeler ile değerlendirilmiştir.

Enerji ve iklim politikalarının, enerji piyasalarının ve yatırım ortamının yenilenebilir enerjide güçlü büyümeyi destekleyecek yönde geliştiği, elektrik sektöründe ve nihai enerji tüketici sektörlerde enerji verimliliği potansiyelinin etkin şekilde değerlendirildiği, yenilenebilir enerji ve diğer temiz enerji teknolojilerindeki küresel teknolojik gelişmelerden azami şekilde yararlandırıldığı Yüksek Senaryoda, tüm bunları sağlayabilmek üzere geniş bir ekosistem, yenilikçilik ve insan kaynakları boyutları da dahil olmak üzere, somut enerji ve iklim hedefleri ve yol haritaları ile desteklenmektedir. Böylelikle de zengin yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli, mevcut trendlerden çok daha yüksek hızda ve artan oranlarda değerlendirilirken, yenilenebilir enerjinin payında sağlanabilen yüksek artışın, enerji güvenliğine, enerji ile ilgili makro ekonomik dengelere, temiz enerji dönüşümü hedeflerine ve sürdürülebilirliğe sağlayacağı çok boyutlu kritik katkılar somut sayısal göstergeler ile sunulmaktadır.

Tüm bu alanlarda ilerlemenin daha yavaş geliştiği, politika çerçevesinin ve piyasaların yatırımlarda öngörülebilir büyümeyi yeterince desteklemediği, bu nedenle de yenilenebilir enerji potansiyelinin kısmen değerlendirilebildiği Yavaş Senaryo ise, Türkiye'nin yüksek potansiyeli ile karşılaştırıldığında enerji ve çevre performansına sınırlı katkı sağlayabilmektedir.

## **TREO Senaryoları Özeti**

Yüksek Senaryoda elektrik talebi, binalarda yalıtım, elektrikli aletlerde verimlilik, elektrik motorlarında verimli dönüşüm, sanayide öz-tüketim odaklı dağıtık üretimin gelişimi, tarımsal sulamada dağıtık ve verimli yenilenebilir enerji çözümlerinde yaygınlaşma gibi faktörlerin katkısıyla, daha verimli bir büyüme patikasında gelişmektedir. Şebeke kayıplarında daha yüksek iyileşmeler ve elektrik üretim sisteminin bütünündeki verimlilik kazanımlarının da neticesinde, 2050 yılında Yavaş Senaryoya göre %15 daha düşük brüt elektrik talebi, elektrik enerjisi hizmetlerini aynı konfor ve kalitede sağlayabilmektedir.

Kurulu güçte mevcut büyüme ivmesinde önemli bir artışın sağlanmadığı Yavaş Senaryoda, yenilenebilir enerjinin kurulu güç ve üretimdeki payı 2050 yılında sırasıyla %76 ve %61 olarak gerçekleşmektedir. Yüksek Senaryoda ise elektrik kurulu gücü 2050 yılında 294 GW'a ulaşırken kurulu güç içerisinde yenilenebilir enerji payı, ağırlıklı bölümü güneş ve rüzgar enerjisinden gelecek şekilde 2040 yılında %80'e ve 2050 yılında %90'a ulaşmaktadır. Yenilenebilir enerjinin elektrik üretiminde halen %43 seviyesinde olan payının 2040 yılında dörtte-üçün üzerine çıktığı, 2050 yılında da bugüne göre iki kat artarak %86'ya ulaştığı Yüksek Senaryoda, 2050 yılına kadar elektrik üretiminde rüzgar ve güneş enerjisinin toplam payı ise dört katın üzerinde artarak üçte-ikiye ulaşmaktadır. 2050 yılında üretim portföyünün tamamına yakının düşük karbonlu duruma geldiği Yüksek Senaryo Türkiye'nin net-sıfır emisyon perspektifini desteklemekte, sanayilerin ve ekonominin rekabetçiliği için de önemli avantaj yaratmaktadır.

Yüksek Senaryoda 2050 yılına kadar olan dönemde yenilenebilir enerjide daha verimli ve hızlı büyümeyi destekleyen yıllık yatırım tutarı gereksinimi, Yavaş Senaryodaki 14,1 milyar 2022\$'ın sadece %6 üzerinde öngörülmektedir (14,9 milyar 2022\$). Ancak yatırımların sektörel dağılımında önemli bir değişim gerçekleşmekte, yatırımlar içerisinde son dönemde %30'un altında, Yavaş Senaryoda ise %30'lar seviyelerinde olan şebeke, enerji depolama ve talep verimliliği yatırımlarının payı Yüksek Senaryoda %40'lar seviyesinde gerçekleşmektedir. Yüksek Senaryoda 2050 yılına kadar olan dönemde yenilenebilir elektrik üretimi için yıllık yatırım miktarı ortalama 5,5 milyar \$ olarak hesaplanmaktadır.

Yüksek Senaryoda enerji güvenliği, temiz enerji dönüşümü ve bunlara ilişkin maliyetler bakımından, toplam elektrik yatırım gereksinimindeki artışın çok üzerinde katkılar elde edilebilmektedir. Örneğin, Yavaş Senaryo ile kıyaslandığında, yıllık 800 milyon \$ yatırım fazlasına karşın enerji ithalat faturasında yıllık 2 milyar \$<sup>1</sup> tasarruf sağlanabilmektedir (Yakıt ithalatı tasarrufu çarpanı 2,5). Yüksek Senaryoda elektrik üretiminden kaynaklı emisyonlar 2030 yılından önce tepe noktasına ulaşmakta ve 2050 yılında mevcut düzeyinin %85 altına düşmektedir. 100 \$/ton karbon fiyatı seviyesinde, Yavaş Senaryoya göre yıllık ortalama ekonomik karşılığı 6,7 milyar \$'a ulaşan emisyon tasarrufu sağlanabilmektedir (Emisyon maliyeti tasarrufu çarpanı 8,4). 2050 yılına doğru, kükürt-dioksit ve azot-oksitler gibi önemli hava kirleticilerin yıllık emisyon hacmi Yavaş Senaryoda 2022 seviyesine göre üçte-bir azalırken, Yüksek Senaryoda ise sadece sınırlı doğal gaz tüketiminden kaynaklı olacak şekilde 2040 yılından sonra neredeyse tümüyle ortadan kaldırılabilir.

Yüksek Senaryoda, nihai enerji talebi içerisinde elektrik enerjisinin halen beşte-bir olan payı, elektriğin fosil kaynakları ikamesi yoluyla 2050 yılına doğru %40'lar seviyesine gelmektedir. Özellikle binalarda ve tarımda jeotermal enerji, sanayide ve binalarda güneş enerjisi ve havayolu ulaşımında sürdürülebilir biyoyakıtların gelişimiyle, nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin halen %5 olan doğrudan katkısı ise 2050 yılında %15'in üzerine çıkmaktadır. Böylelikle nihai enerji talebinde yenilenebilir enerjinin toplam payı %12'den 2030 yılında %22'ye, 2040 yılında %35'e ve 2050 yılında bugüne göre dört katın üzerinde artışla %50'ye ulaşmaktadır.

---

<sup>1</sup> IEA Announced Pledges Senaryosu fiyat öngörülleri ile. Mevcut emtia fiyatlarıyla 8,4 milyar \$

## Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Enerji Geleceği

GW		Mutlak Değer					TWh		Mutlak Değer				
	2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek		2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek		
<b>Elektrik</b>						<b>Elektrik</b>							
Puant Talep	56,3	77,0	73,7	160,5	134,3	Tüketim	331,7	451,7	432,5	878,1	747,6		
Kurulu Güç	99,8	146,2	155,1	296,3	294,1	Üretim	334,7	451,7	432,5	878,1	747,6		
Yenilenebilir	53,6	91,6	101,9	224,9	264,5	Yenilenebilir	119,9	219,5	257,0	539,5	647,8		
Hidro	31,5	35,6	36,1	41,5	42,0	Hidro	55,9	76,1	77,2	68,3	70,7		
Rüzgar	10,6	22,0	25,9	65,9	80,2	Rüzgar	31,4	63,6	74,9	190,5	235,4		
Güneş	7,8	28,4	32,2	105,7	128,9	Güneş	13,9	52,2	62,1	217,3	268,4		
Biyokütle	2,0	3,5	3,6	6,2	6,8	Biyokütle	7,8	13,8	14,2	24,4	26,8		
Jeotermal	1,7	2,1	4,1	5,6	6,6	Jeotermal	10,8	13,8	28,7	38,9	46,5		
Nükleer	-	4,8	4,8	18,3	12,4	Nükleer	-	33,6	33,6	128,2	86,9		
Kömür	20,4	21,8	21,8	16,8	-	Kömür	03,4	114,4	76,2	88,1	-		
Doğal Gaz	25,6	28,0	26,5	36,4	17,2	Doğal Gaz	111,2	84,1	65,4	122,2	12,9		
Petrol	0,3	-	0,1	-	-	Petrol	0,3	-	0,2	-	-		
Yerli	63,7	101,7	112,0	230,0	264,5	Yerli	168,3	272,8	292,5	566,5	647,8		
İthal	36,1	44,4	43,0	66,3	29,6	İthal	166,4	178,8	139,9	311,5	99,8		
Düşük Karbon	53,6	96,4	106,7	243,2	276,9	Düşük Karbon	119,9	253,2	290,7	667,7	734,7		
Fosil Yakıtlar	46,2	49,8	48,4	53,2	17,2	Fosil Yakıtlar	214,8	198,5	141,8	210,3	12,9		
Güneş ve Rüzgar	18,4	50,4	58,1	171,6	209,1	Güneş ve Rüzgar	45,4	115,8	136,9	407,8	503,8		

%		Pay					%		Pay				
	2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek		2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek		
<b>Elektrik Kurulu Gücü</b>						<b>Elektrik Üretimi</b>							
Yenilenebilir	54%	63%	66%	76%	90%	Yenilenebilir	36%	49%	59%	61%	87%		
Hidro	32%	24%	23%	14%	14%	Hidro	17%	17%	18%	8%	9%		
Rüzgar	11%	15%	17%	22%	27%	Rüzgar	9%	14%	17%	22%	31%		
Güneş	8%	19%	21%	36%	44%	Güneş	4%	12%	14%	25%	36%		
Biyokütle	2%	2%	2%	2%	2%	Biyokütle	2%	3%	3%	3%	4%		
Jeotermal	2%	1%	3%	2%	2%	Jeotermal	3%	3%	7%	4%	6%		
Nükleer	0%	3%	3%	6%	4%	Nükleer	0%	7%	8%	15%	12%		
Kömür	20%	15%	14%	6%	0%	Kömür	31%	25%	18%	10%	0%		
Doğal Gaz	26%	19%	17%	12%	6%	Doğal Gaz	33%	19%	15%	14%	2%		
Petrol	0%	0%	0%	0%	0%	Petrol	0%	0%	0%	0%	0%		
Yerli	64%	70%	72%	78%	90%	Yerli	50%	60%	68%	65%	87%		
İthal	36%	30%	28%	22%	10%	İthal	50%	40%	32%	35%	13%		
Düşük Karbon	54%	66%	69%	82%	94%	Düşük Karbon	36%	56%	67%	76%	98%		
Fosil Yakıtlar	46%	34%	31%	18%	6%	Fosil Yakıtlar	64%	44%	33%	24%	2%		
Güneş ve Rüzgar	18%	34%	37%	58%	71%	Güneş ve Rüzgar	14%	26%	32%	46%	67%		



## Toplam Nihai Enerji Talebinde Yenilenebilir Enerji Geleceği

TWh
<b>Elektrik Üretimi</b>
Yenilenebilir
Hidro
Rüzgar
Güneş
Biyokütle
Jeotermal

2021	2030 Yüksek	2050 Yüksek
334,7	432,5	747,6
119,9	257,0	647,8
55,9	77,2	70,7
31,4	74,9	235,4
13,9	62,1	268,4
7,8	14,2	26,8
10,8	28,7	46,5

Elektrik Üretimi (%)	2021	2030 Yüksek	2050 Yüksek
----------------------	------	-------------	-------------

Yenilenebilir	36%	59%	87%
Hidro	17%	18%	9%
Rüzgar	9%	17%	31%
Güneş	4%	14%	36%
Biyokütle	2%	3%	4%
Jeotermal	3%	7%	6%

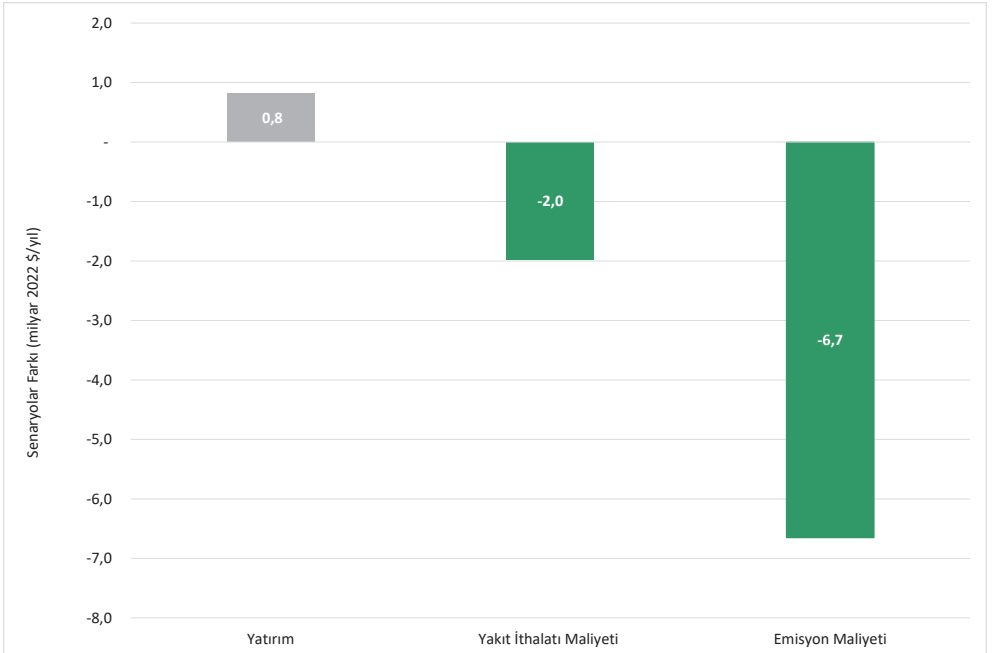
Mtep
<b>Nihai Enerji Tüketimi</b>
Elektrik
Yenilenebilir Elektrik
Doğrudan Yenilenebilir
<b>Toplam Yenilenebilir</b>

2021	2030 Yüksek	2050 Yüksek
115,4	123,5	146,5
24,4	31,7	58,1
8,8	18,8	50,3
5,6	8,8	23,0
14,4	27,6	73,3

Nihai Enerji Tüketimi (%)	2021	2030 Yüksek	2050 Yüksek
---------------------------	------	-------------	-------------

Elektrik	21%	26%	40%
Yenilenebilir Elektrik	8%	15%	34%
Doğrudan Yenilenebilir	5%	7%	16%
<b>Toplam Yenilenebilir</b>	<b>12%</b>	<b>22%</b>	<b>50%</b>

## Yüksek Senaryoda Yavaş Senaryoya Göre Yıllık Ortalama Değişim (milyar 2022\$)



Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü, bir net-sıfır emisyon perspektifi çalışması olmamakla birlikte, enerji verimliliğinin, temiz elektrifikasyonun ve doğrudan yenilenebilir enerjinin yüksek katkısı, birincil enerji arzında halen çok yüksek olan fosil yakıt yoğunluğunu büyük ölçüde sınırlandırabilmekte, 2050 yılında nihai enerji tüketiminin %60'a yakını, sadece bu üç alandaki fırsatların değerlendirilmesi ile karbondan arındırılmış olmaktadır. Bu önemli gelişim, temiz hidrojen ve karbon-yakalama-depolama teknolojileri gibi yenilikçi alanlarda atılabilecek diğer adımlarla net-sıfır emisyon perspektifinin temel zeminini oluşturmaktadır. Yüksek Senaryo, güvenli ve temiz enerji geleceğine sunacağı bu somut katkıların yanı sıra, küresel ve bölgesel trendlerle uyum içerisinde temiz enerji teknolojileri odaklı ekonomik büyümeye, sosyal gelişime, yenilikçi sanayi, ihracat ve girişimcilik modellerine de önemli bir açılım sağlamaktadır. Tüm bu kazanımlar, kamu, özel sektör, akademi iş birlikleri içerisinde, uzun vadeli hedefler ve yol haritaları, piyasa gelişimi ve yatırım ortamı, şebekeler ve bütüncül elektrik sistemi, kritik teknolojilerde Ar-Ge ve imalat yetkinlikleri, enerjide verimli büyüme gibi kritik gelişim alanlarında önemli iyileşmeler ile hayata geçirilebilecektir.

## IICEC Önerileri

**IICEC, Türkiye'nin yenilenebilir enerjide ve ilgili teknolojilerde, enerji güvenliği, temiz enerji dönüşümü, rekabetçi ve teknoloji-odaklı sanayi gelişimi için çok boyutlu fırsatlar sunan, yüksek büyüme potansiyelinin değerlendirilmesi için,**

- 1.** 2050 yılında 250 GW'ın üzerinde toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü ile %85'in üzerinde yenilenebilir elektrik üretim payına, nihai enerji talebinde %50 toplam yenilenebilir payına ulaşılmasını ve buna yönelik yol haritalarının, kaynaklar, teknolojiler ve sektörler bazında belirlenmesini,
- 2.** Verimli, derinlikli, maliyetleri yansıtan, öngörülebilir bir elektrik piyasası işleyişinin sağlanmasını, sürdürülebilir yatırım ve finansman modellerinin geliştirilmesini, böylelikle proje stokunda güçlü büyümenin sağlanmasını,
- 3.** Elektrik sisteminin omurgasını oluşturan şebekelerin kapasitesinin ve esnekliğinin, uzun vadeli dinamik planlama ile desteklenen, teknoloji-odaklı yatırımlar ile güçlendirilmesini,
- 4.** Rüzgar ve güneş teknolojilerinde gelişimin, tedarik zincirlerinin sürdürülebilirliğini, Türkiye'nin bölgesel temiz enerji teknolojileri üretim üssü olmasını destekleyecek şekilde sürdürülmesini; enerji depolama ve yeşil hidrojen üretimi teknolojilerinde geliştirmelerin hayata geçirilmesini,
- 5.** Binalarda, sanayide, ulaşımda ve diğer enerji tüketicisi sektörlerde, temiz elektrifikasyona ek olarak, doğrudan yenilenebilir enerji katkısının da en az üç kat artırılmasını temin ederek enerji güvenliği ve temiz enerji dönüşümünün desteklenmesini,
- 6.** Değer zincirinde enerji verimliliği potansiyelinden ve dijitalleşme çözümlerinden faydalanılarak yenilenebilir enerji ekosistemindeki büyümenin yüksek katma değerli fırsatlara dönüştürülmesini,
- 7.** Yenilenebilir enerjide güçlü ve sürdürülebilir büyümeyi ve rekabetçiliği destekleyecek, nitelikli insan kaynağının ve girişimcilik ekosisteminin geliştirilmesini önermektedir.



# BÖLÜM 1:

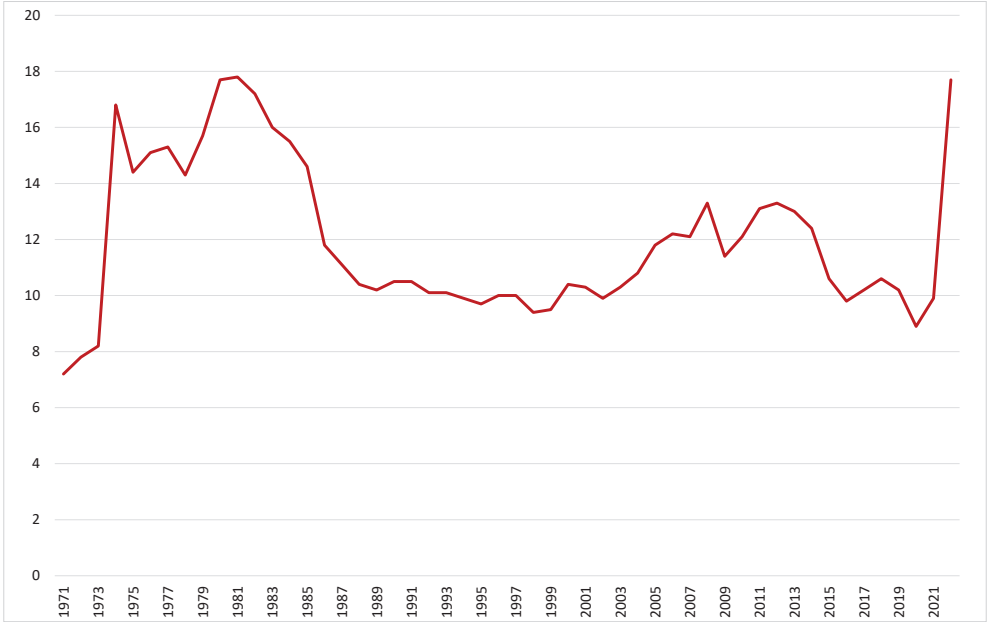
Giriş

## 1.1. Neden Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü ?

Dünya tarihin en derin enerji krizinden geçerken, enerji arzına ilişkin yeni sorunlar, çok boyutlu bir enerji paradigmasına ilişkin yeni arayışları öne çıkarmaktadır. 1970'lerin petrol krizi ile karşılaştırıldığında, gerek kapsam alanındaki enerji kaynakları gerekse de enerji tüketicisi sektörler üzerinde çok daha yüksek etkileri sahip olan bu enerji krizinde, artan enerji maliyetleri neticesinde enerji harcamalarındaki hızlı yükseliş, ekonomik büyüme ve sürdürülebilir kalkınma için önemli riskleri de beraberinde getirmektedir.

Hızla artan enerji maliyetleri neticesinde enerji harcamalarının GSYİH içerisindeki payı hızla artış göstermektedir. 2021 yılında dünya genelinde petrol, doğal gaz, kömür, elektrik ve diğer enerji kaynaklarına ilişkin nihai harcamalar toplam GSYİH'nın beştebirine yaklaşmıştır. Bu, petrol krizinin ekonomik büyüme trendlerini büyük ölçüde etkilediği 1970'lerden bu yana ölçülen en yüksek orana karşılık gelmektedir<sup>1</sup> (Şekil 1.1). Enerji krizinden çıkış, fosil yakıtlar ağırlıklı enerji sistemlerinin arz tarafındaki maliyetler bakımından daha öngörülebilir yapılara dönüşümünü zorunlu kılarken, özellikle enerji arzında ithal fosil yakıtlara bağımlılığı yüksek olan ekonomilerde, dış ticaret dengelerinde bozulma, ekonomik büyümede yavaşlama, yükselen enflasyon gibi çok boyutlu olumsuz etkilerin yönetilebilmesi, modern enerjiye daha güvenli ve uygun maliyetli koşullarda erişim seçeneklerine yönelimi pekiştirmektedir.

Şekil 1.1. Enerji Harcamalarının Küresel GSYİH İçerisindeki Payı (1970 – 2021, %)



<sup>1</sup> OECD Economic Outlook, November 2022: Confronting the Crisis

Diğer taraftan, küresel iklim değişikliğinin neden olacağı yıkıcı etkilerin önlenmesi için küresel sıcaklık artışının 1,5 °C ile sınırlandırılabilmesine ilişkin hedefler de geçerliliğini korumaktadır. Paris Anlaşması ile genel çerçevesi çizilen net-sıfır emisyon perspektifi, 2030 yılına kadar küresel sera gazı emisyonlarının 2019 seviyesine göre %43 azaltılması ile olanaklı olacaktır. Enerji sisteminde iklim-dostu bir dönüşümünün sağlanabilmesi için de temiz ve güvenli enerji arz ve talep alternatiflerinin hızla yaygınlaştırılması gerekmektedir. Enerji güvenliği ve temiz enerji dönüşümü hedeflerinin kesişiminde, fosil yakıtlara ilişkin maliyet ve erişim risklerini bertaraf eden yenilenebilir enerji çözümlerinin, enerji verimliliği ile birlikte en kritik katkıyı sağlaması beklenmektedir.

Temiz enerji dönüşümü hedeflerine ulaşılabilmesi, enerji güvenliğinin iyileştirilmesi ve daha geniş bir düzlemde sürdürülebilir kalkınma amaçlarının desteklenmesi bakımından en kritik fırsat alanlarından birisi olan yenilenebilir enerji, son dönemde sanayi ve teknoloji stratejilerinin de önemli bir bileşeni durumuna gelmektedir. Bu çerçevede, iklim hedefleri ve sanayilerin rekabetçiliği arasındaki ilişki de belirginleştirirken yenilenebilir enerji teknolojilerinin ve bu teknolojileri destekleyici ve tamamlayıcı nitelikte temiz enerji teknolojilerinin geliştirilmesine, üretimine ve yaygınlaştırılmasına yönelik girişimler özellikle büyük ekonomiler arasında hızla olgunluk kazanmaktadır.

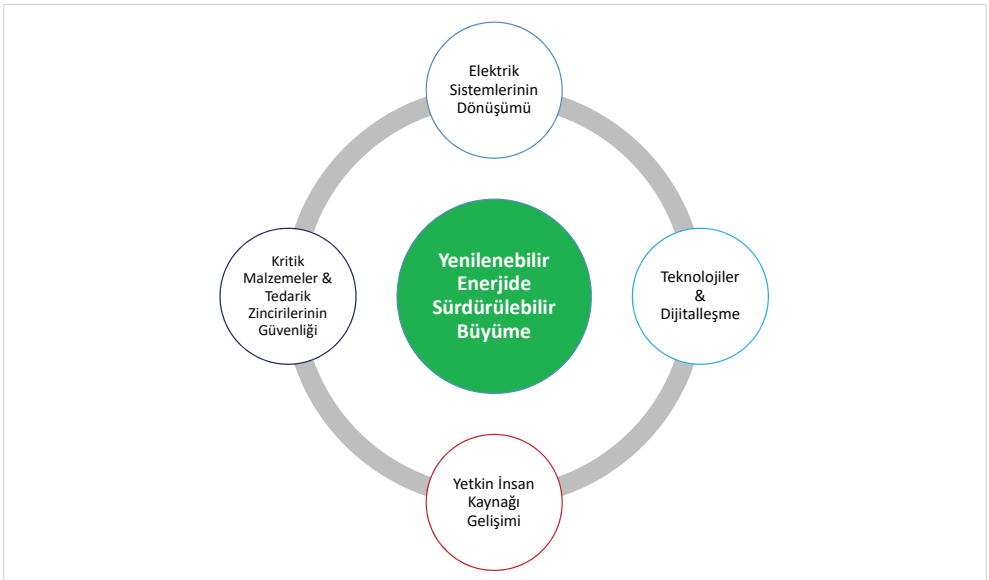
Yenilenebilir enerjide büyümenin sürdürülebilirliği için çeşitli zorluk alanları da mevcuttur. Kesintili elektrik üretiminde artış kaynaklı arz değişkenliklerinin yönetimi elektrik sistemlerinin güvenliği ve esnekliğinde yeni teknolojilerin ve iş modellerinin gelişimini gerektirmektedir. Yenilenebilir enerjide yüksek büyümenin sürdürülebilirliği, güneş hücreleri ve batarya sistemleri gibi önemli teknolojilere girdi oluşturacak kritik madenlerde ve tedarik zincirlerinde çeşitliliğinin güçlendirilmesi ile olanaklı olabilecektir. Tüm bu çok boyutlu zorluklar ve fırsat alanları, enerji, sanayi ve iklim politikalarında uzun vadeli hedefler, sürdürülebilir yatırımlara zemin oluşturacak piyasa kurguları ve işbirliklerinin yaygınlaşmasının önemini artıracaktır. İnsan kaynaklarının, teknolojilerin, yenilikçi iş modellerinin ve girişimcilik ekosistemlerinin gelişiminin, yenilenebilir enerji odaklı verimli büyümenin gerçekleştirilmesinde en önemli başarı faktörleri olacağı değerlendirilmektedir (Şekil 1.2 ve Şekil 1.3.).

Türkiye de, enerji güvenliği ve temiz enerji dönüşümü ekseninde son dönemde elektrik üretiminde yenilenebilir enerji odaklı stratejilerin ve yatırımların katkısıyla yenilenebilir enerjinin elektrik üretiminde yaygınlaşmasında önemli aşama kaydetmeye devam etmektedir. Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payı %40'ın üzerine çıkarken, rüzgar ve güneşin toplam katkısı %20'ye yaklaşmaktadır. Diğer taraftan, jeotermal ve güneş gibi kaynakların nihai enerji tüketiminde doğrudan katkısı %5 seviyesinde gerçekleşmeye devam etmekte, bu nedenle yenilenebilir enerji toplam nihai enerji talebinin sadece %12'sini karşılamaktadır. Türkiye'nin birincil enerji arzında ithal fosil yakıt ağırlığı %70'ler seviyesinde gerçekleşmeye devam ederken, sera gazı emisyon envanterinde de düşüş sağlanamamaktadır. Türkiye güneş, rüzgar ve jeotermal başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları bakımından çok avantajlı bir konumda olmakla birlikte potansiyelin ekonomiye kazandırılma oranları henüz arzu edilen seviyeye ulaşmamıştır. Büyüyen ve gelişen Türkiye enerji sektöründe, daha güvenli, temiz, rekabetçi ve sürdürülebilir enerji geleceğinin desteklenmesinde yenilenebilir enerji kaynakları ve ilgili teknolojiler kritik işleve sahip olacaktır.

Şekil 1.2. Yenilenebilir Enerji ve Kritik Enerji, İklim, Sanayi ve Kalkınma Kesişimleri



Şekil 1.3. Yenilenebilir Enerjide Sürdürülebilir Büyüme İçin Zorluk ve Fırsat Alanları



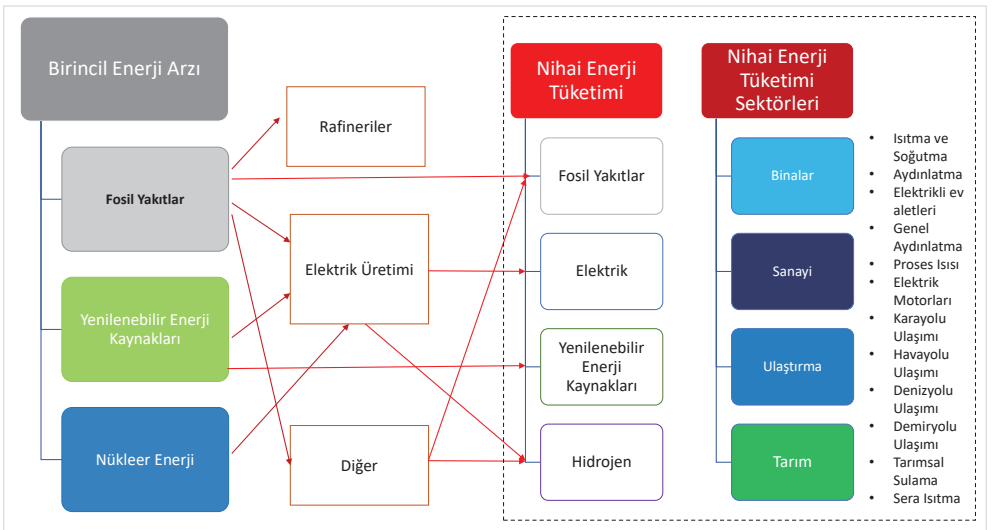


**Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü**, yenilenebilir enerjide yüksek kaynak potansiyelinin enerji sisteminin genelinde daha yüksek bir hızda ve artan oranlarda değerlendirilmesine ilişkin analitik bir gelişim perspektifi sunmaktadır. Senaryo yaklaşımıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, 2050 yılına kadar olan dönemde elektrik sisteminde ve enerji tüketicisi sektörlerde yenilenebilir enerjide büyüme fırsatları detaylı olarak analiz edilmiştir. Bütüncül modelleme çerçevesi, birincil enerji arzından nihai enerji talebini oluşturan sektörler kadar değer zincirinin tüm bileşenlerinde yapısal özellikleri, enerji kaynakları bazında kullanım durumlarını, ilgili teknik ve ekonomik faktörleri, kaynak bazında değerlendirilebilecek potansiyeli ve gelişim alanlarını yansıtmaktadır

Çalışmada Türkiye enerji sektörü ve ilişkili sektörlerle ilişkin detaylı bir veri altyapısından faydalanılmış, küresel ve bölgesel enerji ve iklim trendlerinde son dönemde öne çıkan hedefler, maliyet ve fiyat beklentileri de dikkate alınmıştır. Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü Modeli, Türkiye'nin enerji, sanayi ve iklim politikalarında ana hedefler ve yönelimler, yakın vadede işlerlik kazanması beklenen yatırımlar ve altyapı gelişmelerini de yansıtmaktadır (Şekil 1.4). (Detaylar için lütfen EK'e bakınız.).

İki IICEC Senaryosu ile yenilenebilir enerjide büyümenin Türkiye'nin enerji arzında kaynak çeşitlendirilmesinin artırılmasına, ithalat yoğunluğunun düşürülmesine, enerji ithalat faturasının iyileştirilmesine, sera gazı emisyonu envanterinin, karbon yoğunluğunun ve hava kirliliğinin azaltılmasına ve toplam ithal fosil yakıt ve emisyon maliyetlerinin iyileştirilmesine katkıları detaylı olarak sunulmaktadır. Yenilenebilir enerjide verimli büyüme perspektifini de yansıtan Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü çalışmasında, elektrik sektöründe ve binalar ve sanayi başta olmak üzere enerji tüketicisi tüm sektörlerde enerji verimliliği potansiyelinin değerlendirilmesine ilişkin fırsat alanları da kapsamlı olarak irdelenmektedir.

**Şekil 1.4. IICEC Enerji Modeli**

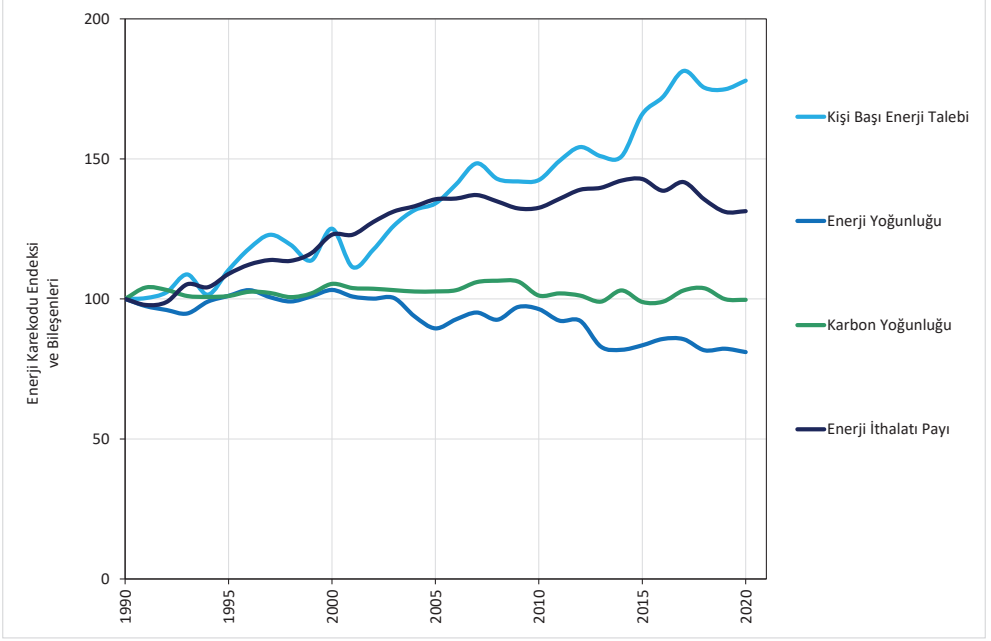


## 1.2. Türkiye Enerji Sektörünün Karekodu Nedir ?

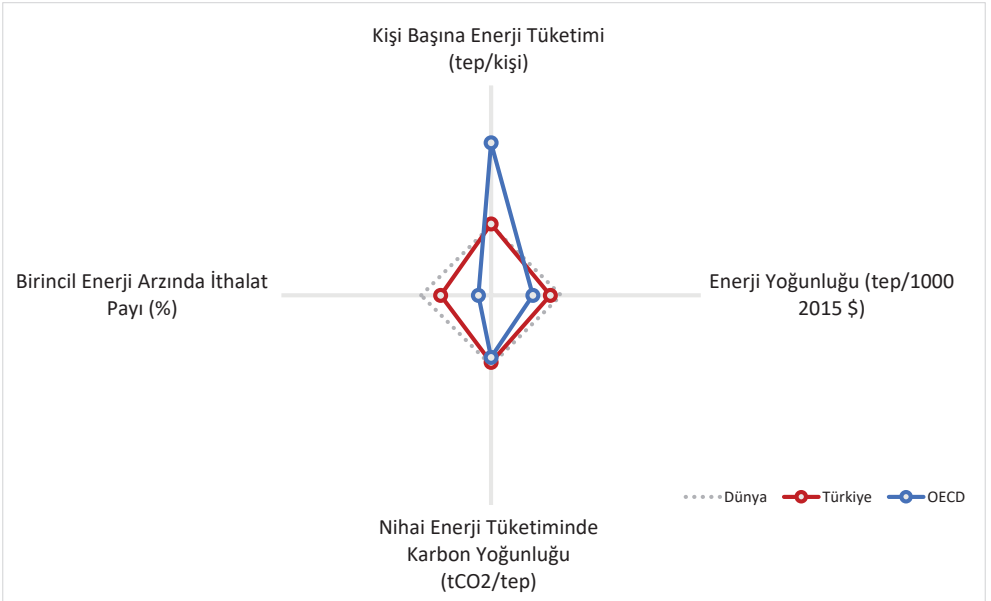
Türkiye, Avrupa'nın enerji talebi artışı ve enerji altyapılarının büyüklüğü bakımından önde gelen enerji piyasalarından birine sahiptir. IICEC analizlerine göre, Türkiye enerji sektörünün, önümüzdeki dönemde daha güvenli, temiz ve sürdürülebilir enerji geleceğine ulaştırılabilmesi bakımından kritik olan performans göstergeleri ve bunların gelişmiş ekonomiler ile karşılaştırılması aşağıda özetlenmektedir (Şekil 1.5. ve Şekil 1.6.).

- **Kişi başına enerji tüketimi:** OECD ve AB ortalamalarının yaklaşık yarısı (OECD ortalamasının %45'i ve AB ortalamasının ise %55'i) seviyelerinde olan ve yüksek büyüme potansiyeline sahip kişi başına enerji tüketiminin güvenli, sürekli, uygun maliyetli ve rekabetçi koşullarda sağlanması,
- **Enerji yoğunluğu:** Enerji verimliliğinde sağlanan iyileşmelerin sonucunda dünya ortalamasının %20 altında, fakat halen OECD ortalamasının ve sanayide rekabetçilik bakımından öne çıkan ülkelerin %30- 40 üzerinde seyreden enerji yoğunluğunun iyileştirilmesi, bu çerçevede enerjide verimli büyümenin desteklenmesi ve enerji tüketiminin katma-değeri yüksek sanayi üretimine dönüşüm fırsatlarının değerlendirilmesi,
- **Nihai enerji tüketiminde karbon yoğunluğu:** OECD ortalamasının %10 üzerinde olan karbon yoğunluğunun, büyüyen bir enerji arz-talep ekosistemi içerisinde, temiz enerji kaynaklarına dayalı elektrifikasyon, yenilenebilir enerjinin doğrudan kullanımı, enerji verimliliğinde ve yenilikçi temiz enerji teknolojilerinin kullanımında yaygınlaşma fırsatları değerlendirilerek, aynı zamanda dünyadaki ve bölgedeki temiz enerji odaklı girişimler, iş birlikleri ve hedefler de gözetilerek düşürülmesi,
- **Birincil enerjide ithalat yoğunluğu:** Birincil enerji arzının %70'inden fazlasını oluşturan ithal fosil kaynak payının, yukarıdaki üç faktör ile de yakından ilişkili olarak düşürülmesi, enerjide sürdürülebilir ve rekabetçi büyümenin güçlendirilmesi yoluyla, dış ticaret dengelerinin ve cari işlemler açığının iyileştirilmesi.

**Şekil 1.5. Enerji Sektörünün Karekodunun Gelişimi (1990–2021)**



**Şekil 1.6. Enerji Sektörünün Kardekodu (Türkiye, Dünya, OECD, 2021)**

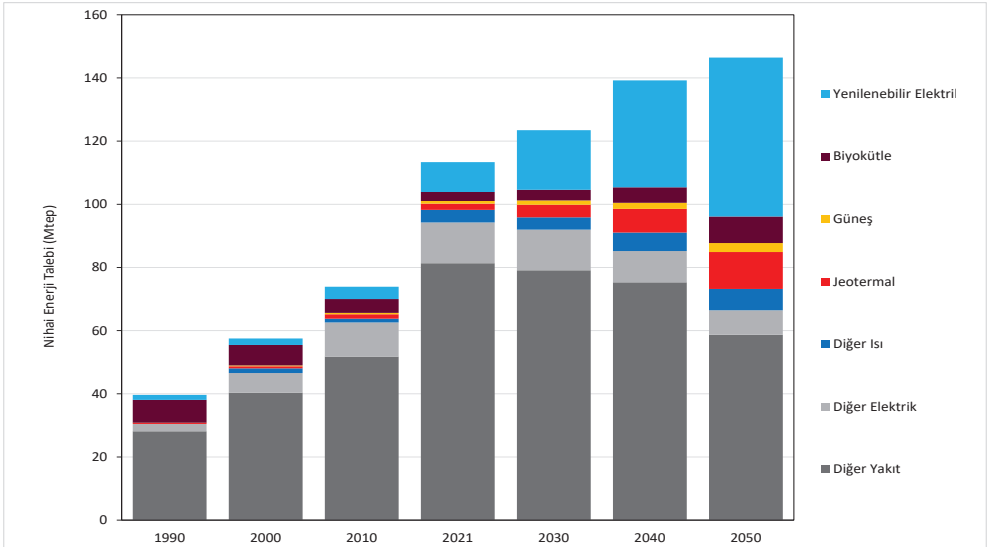


### 1.3. IICEC Senaryolarında Yenilenebilir Enerjide Büyüme Ne Gösteriyor ?

Türkiye'nin yenilenebilir enerjide zengin kaynak potansiyelinin mevcut trendlere göre daha yüksek hızda ve artan oranlarda değerlendirilmesinde, yenilenebilir enerjide güçlü büyümeyi destekleyici politikaların ve yol haritalarının, yatırımlarda sürdürülebilir büyümeyi sağlayan piyasa mekanizmalarının ve ekosistemde yenilik temelli teknolojik gelişimin etkin rol oynadığı Yüksek Senaryo'da 2050 yılında yenilenebilir elektriğini toplam elektrik kurulu gücündeki payı %90'a, üretimdeki payı ise yaklaşık iki kat artışla %87'e, rüzgar ve güneşin üretime toplam katkısı ise dört kat artışla %67'ye ulaşmaktadır. Güneş 2030'larda elektrik üretiminde lider teknoloji konumuna gelirken, 2050 yılına doğru Türkiye'nin rüzgar ve güneş potansiyelinin üçte-ikisinden fazlası değerlendirilebilmektedir.

Nihai enerji talep sektörlerinde güçlü elektrifikasyon trendi fosil yakıtların ikamesini artırırken, temiz elektriğe dayalı ulaşım çözümleri, sanayide ve binalarda temiz elektrik kullanımında yaygınlaşma enerji ekonomisinde ithal fosil yakıt ağırlığını düşürmektedir. Yüksek Senaryoda, elektrik üretimine ek olarak jeotermal, güneş ve biyokütle enerjisinde doğrudan tüketime yönelik fırsatlar da etkin şekilde değerlendirilmekte, günümüzde nihai enerjide %5 seviyesinde olan doğrudan yenilenebilir enerji katkısı üç kat artışla %15'e çıkmaktadır. Böylelikle, 2050 yılında nihai enerji talebinde toplam yenilenebilir enerji katkısı dört katın üzerinde artışla %12'den %50'ye ulaşmaktadır (Yavaş Senaryoda %38). Yenilenebilir enerjide enerji verimliliği ile de desteklenen bu çarpıcı büyüme yoluyla nihai enerji talebinde fosil yakıt tüketimi 2030 yılından önce tepe noktasına ulaşırken 2050 yılında mevcut seviyesinin %25 altına düşmektedir (Şekil 1.7 ve Şekil 2.8).

Şekil 1.7. Nihai Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Gelişimi (1990 – 2050, Mtep)

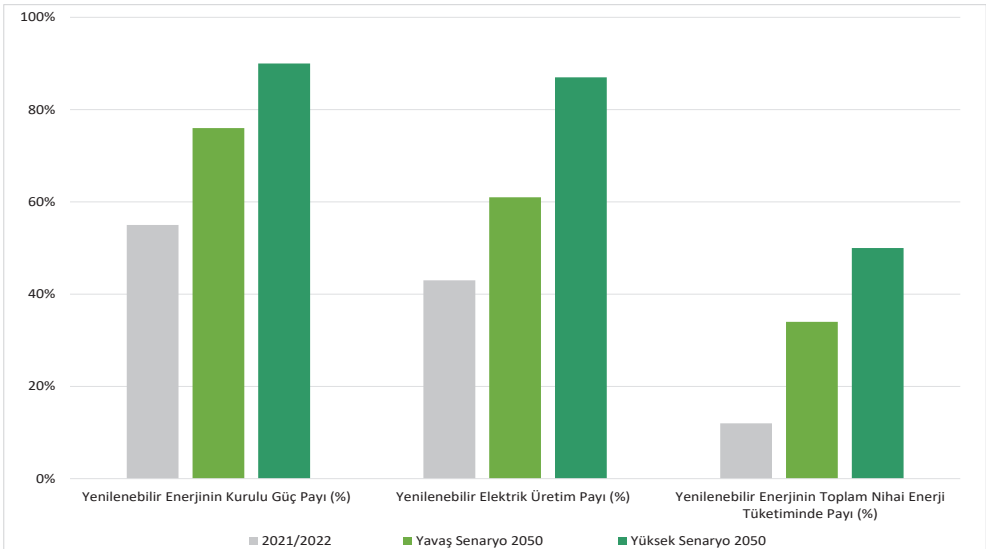


## 1.4. IICEC Senaryolarında Fayda ve Maliyet Analizleri Neye İşaret Ediyor ?

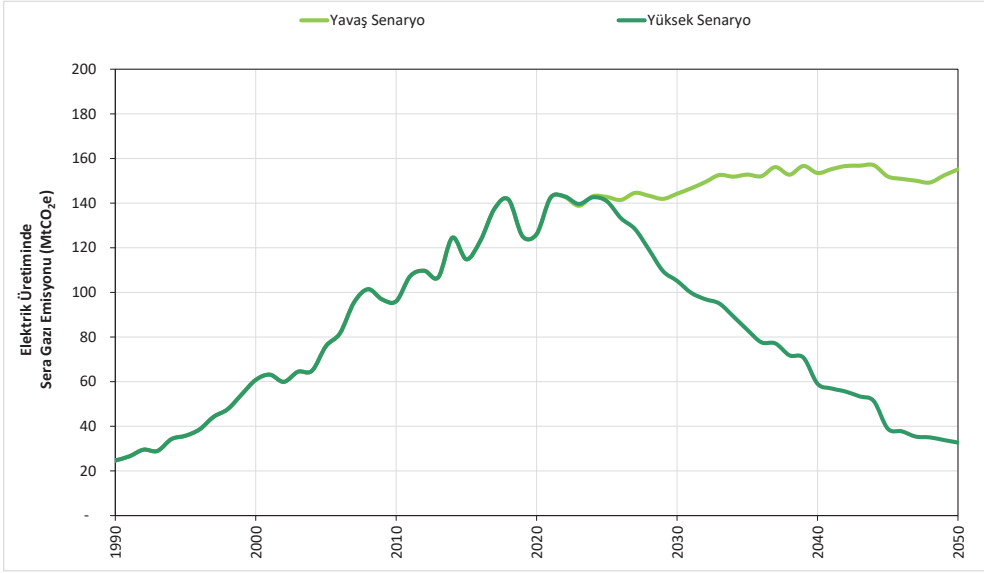
Yüksek Senaryo ile sağlanan en kritik gelişmelerden biri elektrik sektörünün emisyon envanterinde yüksek azaltım sağlanabilmesidir. Elektrik üretiminden kaynaklı emisyonlar 2030 yılından önce tepe noktasına ulaşarak 2030 yılına kadar mevcut seviyesinden %35 civarında azalırken 2040 yılında yaklaşık %45 azalimla 60 Mton CO<sub>2</sub>e seviyesine, 2050 yılında ise 30 Mton CO<sub>2</sub>e seviyesine kadar düşmektedir (2050 yılına kadar %85 düşüş). Bu gelişim patikası, doğal gaz santrallerine eklenebilecek karbon yakalama ve depolama teknolojileri yoluyla elektrik sektöründe 2050 yılından önce mutlak-sıfır emisyon perspektifinin gerçekleştirilebilmesi ve enerjide net-sıfır hedeflerine ulaşılabilmesi için önemli fırsatlara işaret etmektedir. Yavaş Senaryoda ise talep artışı ile karşılaştırıldığında temiz elektrik üretiminde sağlanabilen sınırlı artış nedeniyle elektrik sektörünün emisyon envanterinde önemli bir düşüş sağlanamamaktadır (Şekil 1.9).

Yüksek Senaryonun Türkiye enerji ekonomisine en kritik katkılarından birisi enerji ithalat hacminde ve maliyetlerinde sağlanabilecek önemli iyileşmelerdir. Güçlü yenilenebilir enerji potansiyelinin hızlı ve etkin değerlendirildiği Yüksek Senaryoda Türkiye'nin fosil yakıt ithalatı 2030 yılında %42 ve 2040 yılında %75 azalmakta ve 2050 yılına kadar olan dönemde sadece sınırlı doğal gaz tüketiminden kaynaklı olarak mevcut seviyesinin yirmide-birine düşmektedir. Yavaş Senaryo ise fosil yakıt ithalat hacimlerinde belirgin bir iyileşme kaydetmemektedir. IICEC analizlerine göre Yavaş Senaryoda elektrik üretimi kaynaklı yıllık ithalat faturası mevcut emtia fiyatları ile 15-20 milyar 2022\$ bandında gerçekleşmeye devam ederken, Yüksek Senaryoda 2030 yılında yarısına, 2040 yılında ise dörtte-birine düşmektedir.

Şekil 1.8. IICEC Senaryolarında Yenilenebilir Enerji Katkısının Gelişimi (2021-2050, %)



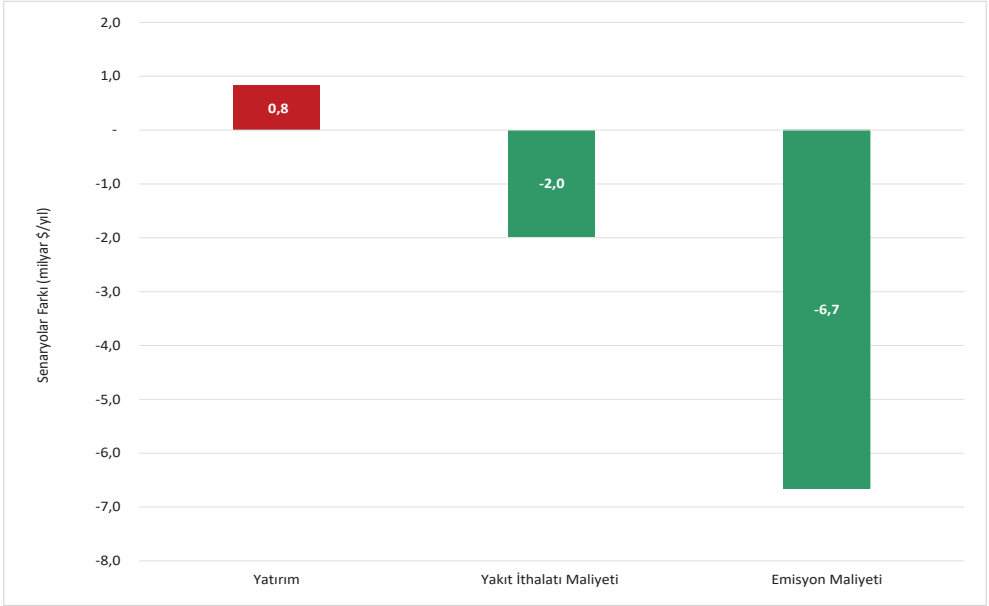
**Şekil 1.9. IICEC Senaryolarında Elektrik Üretiminden Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının Gelişimi (1990–2050, Mton CO<sub>2</sub>e)**



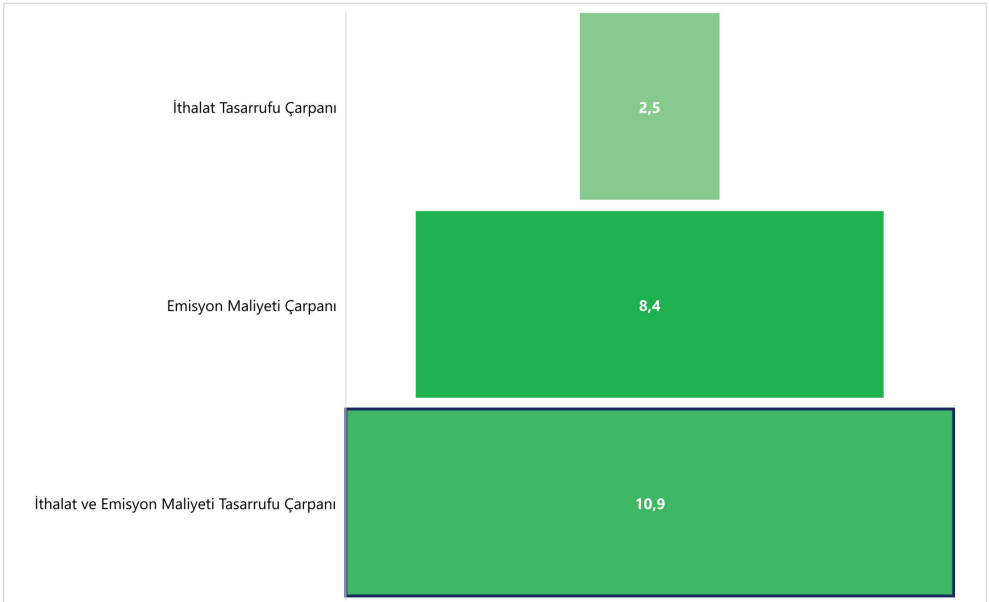
Yüksek Senaryo, 2050 yılına kadar olan dönemde ithalat faturasında 8,4 milyar 2022\$/yıl azaltım sağlayabilmektedir. Mevcut emtia fiyatlarının, iklim değişikliği ile hedefler çerçevesinde düşüşünü öngören APS<sup>2</sup> fiyat serileri ile yapılan analizlerde ise Yüksek Senaryoda yıllık ithalat faturasının 2040–2050 döneminde ortalama 2 milyar 2022\$/yıl seviyesine düşebileceği görülmektedir (Yavaş Senaryoda 4 milyar \$/yıl). IICEC senaryolarında emisyon envanterindeki gelişimin ekonomik etkileri de analiz edilmiştir. Emisyonların maliyetleri çerçevesinde yapılan analizlerde ise, 100 \$/ton karbon fiyatı varsayımıyla Yavaş Senaryoda mevcut emtia fiyatlarıyla yıllık 30 – 35 milyar \$ fosil yakıt ithalatı ve emisyon maliyeti oluşurken, Yüksek Senaryoda bu tutar 2030 yılında 15 milyar 2022\$ ve 2050 yılında yaklaşık 5 milyar 2022\$'a kadar düşmektedir. Yavaş Senaryoda 2050 yılına kadar olan dönemde ortalama 21,1 milyar 2022\$ olarak hesaplanan fosil yakıt ithalat faturası ve emisyon maliyeti Yüksek Senaryoda 12,4 milyar 2022\$'a inmektedir. Yüksek Senaryo, Düşük Senaryoya göre yıllık 800 milyon 2022\$ daha fazla yatırım ile ithal fosil yakıt ve emisyon maliyetlerinde 8,7 milyar 2022\$ düşüş sağlayabilmektedir (Tasarruf çarpanı 10,9) (Şekil 1.10 ve Şekil 1.11).

<sup>2</sup> IEA Announced Pledges Scenario

**Şekil 1.10. IICEC Yüksek Senaryosunun Yavaş Senaryo ile Karşılaştırması  
(2022-2050, milyar 2022\$)**



**Şekil 1.11. IICEC Yüksek Senaryosunun Düşük Senaryoya Göre Fayda/Maliyet Çarpanları**



## 1.5. Yenilenebilir Enerjide Verimli ve Yüksek Büyüme İçin Gelişim Alanları Neler ?

Türkiye'nin yenilenebilir enerjide yüksek büyüme potansiyelinin sürdürülebilir koşullarda değerlendirilebilmesi için enerji, sanayi ve iklim politikalarında, üretimde, şebekelerde ve nihai enerji tüketim sektörlerinde yatırımlarda, temiz enerji teknolojilerinde ve tüm bunları destekleyici geniş bir ekosistemde önemli gelişim alanları bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımına ilişkin olarak kaynak potansiyeli ile uyumlu, ulaşılabilir orta ve uzun vadeli hedeflerin belirlenmesi ve bu hedeflerin yol haritaları ile desteklenmesi, yenilenebilir enerjinin temiz ve güvenli enerji geleceğine çok boyutlu katkıları için en önemli itici unsuru oluşturacaktır.

Elektrik sisteminin omurgasını oluşturan elektrik şebekelerinde, sanayide, binalarda, ulaşımda ve tarımda yatırım ve verimlilik fırsatlarının değerlendirilmesi, özellikle güneş, rüzgar, jeotermal, enerji depolama ve hidrojen alanlarında yenilik temelli teknolojik gelişim ve imalat yetkinliklerinin güçlendirilmesi ve tüm bunları destekleyecek insan kaynaklarının ve yetenek havuzlarının geliştirilebilmesi, yenilenebilir enerjide güçlü büyüme hikayesinin temel sütunlarını oluşturacaktır. (Şekil 1.12.)

Şekil 1.12. Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü Çalışmasında Belirlenen Gelişim Alanları



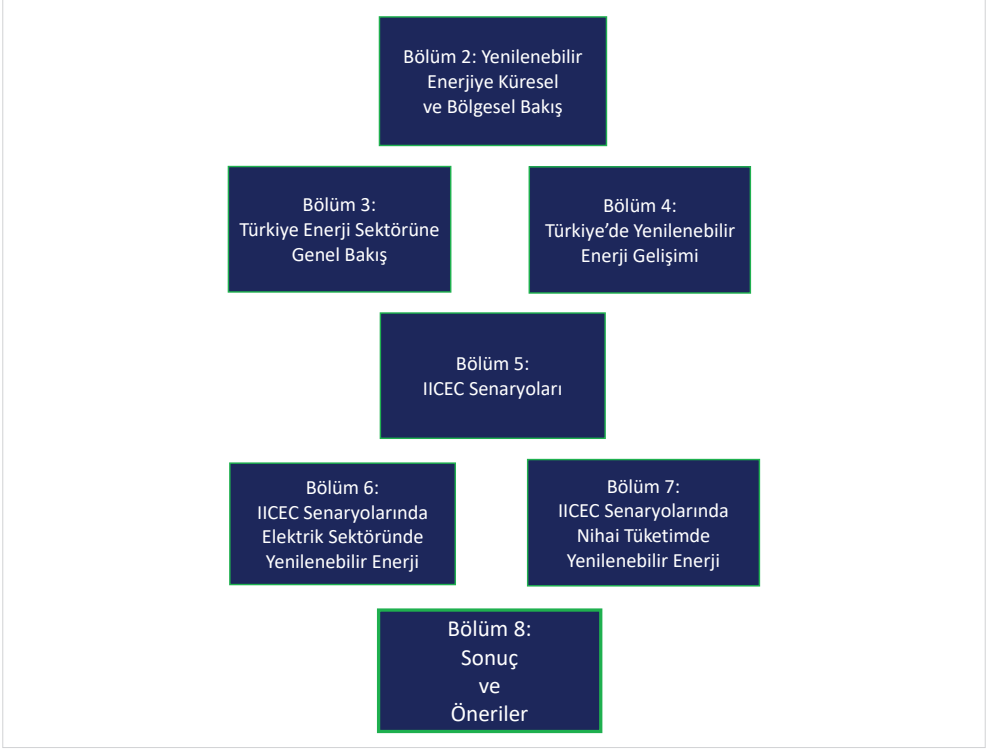


## 1.6. Çalışmanın İçeriği

Çalışma 8 Bölümden oluşmaktadır.

- Bölüm 2'de Yenilenebilir enerjide gelişim bakımından öne çıkan küresel ve bölgesel trendler ve güncel dinamikler, sürdürülebilir kalkınma perspektifi ile birlikte sunulmaktadır.
- Bölüm 3'de Türkiye enerji sektörüne bütüncül bir bakış çerçevesinde, enerji arzında ve talebinde gerçekleştirmeler, güvenli, temiz ve sürdürülebilir enerji geleceği için iyileşme alanları ile birlikte analiz edilmektedir.
- Bölüm 4'te Türkiye'de yenilenebilir enerji kullanımının gelişimi analiz edilerek, kaynak potansiyeli ile gerçekleştirme performansının değerlendirilmesi sunulmaktadır.
- Bölüm 5'te IICEC Senaryoları, senaryolarda yenilenebilir elektrik üretimi ve doğrudan yenilenebilir enerji kullanımının geleceği, yatırım gereksinimleri, emisyon envanterinin ve fosil yakıt ithalatının gelişimi ile birlikte sunulmaktadır.
- Bölüm 6'da IICEC Senaryolarında elektrik sektöründe yenilenebilir enerji gelişimi için öne çıkan talep, üretim ve şebeke fırsatları sunulmaktadır.
- Bölüm 7'de IICEC Senaryolarında nihai enerji talebinde yenilenebilir enerji gelişimi için öne çıkan sektörler ve uygulama alanları bütüncül bir perspektif ile sunulmaktadır.
- Bölüm 8'de gelişim alanları irdelenerek yüksek büyümeyi sağlayacak iyileşme fırsatları ve IICEC önerileri sunulmaktadır.

**Şekil 1.13. IICEC Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü Bölümleri**



# BÖLÜM 2:

Yenilenebilir Enerjiye  
Küresel ve Bölgesel Bakış

## 2.1. Dünya Enerji Sektörünün Genel Görünümü

Küresel enerji sektörü, Covid-19 pandemisinden çıkışla birlikte yükselişe geçen enerji talebi ve sonrasında Rusya-Ukrayna savaşının enerji güvenliği bakımından çok boyutlu etkileri neticesinde, arz ve talep dengeleri bakımından dikkatle yönetilmesi gereken bir dönemden geçmektedir. Dünya, daha önce benzeri görülmemiş olan, doğal gaz başta olmak üzere tüm fosil enerji kaynaklarına, elektrik sektörlerinin işleyişine, tedarik zincirlerinin güvenliğine ve sürdürülebilirliğine yansıyan bir enerji krizi ile karşı karşıyadır.

Enerjiye fiziksel erişim risklerinde artış ve maliyetlerdeki hızlı yükselişler, enerjiye sürekli ve güvenli koşullarda erişimin sağlanabilmesini enerjiye ilişkin stratejilerin en üst seviyesine çıkarmaktadır. Enerji maliyetlerinde hızlı artışların enerji ithalatçısı ülkeler başta olmak üzere tüm ekonomiler ve enerjiden girdi olarak faydalanan sanayilerin rekabetçiliği üzerindeki etkileri oldukça belirgin duruma gelmektedir. Aynı zamanda küresel iklim değişikliği ile mücadele ekseninde temiz enerji dönüşümü hedeflerinin aksatılmadan yerine getirilebilmesi de sürdürülebilir bir gelecek için önemini korumaktadır. Tüm bu zorluklar içerisinde, güvenli ve temiz enerji geleceğini temin edecek stratejilerin, yol haritalarının, piyasa mekanizmalarının ve kritik temiz enerji teknolojilerinin yaşamsal önemi pekişmektedir.

Dünya enerji sektörünün geleceğinde belirleyici olacak dinamikler incelendiğinde, yenilenebilir enerjinin, enerji verimliliği ve diğer temiz enerji teknolojileri ile birlikte daha güvenli, temiz ve sürdürülebilir enerji geleceği hedeflerinin tümüne katkı sağlayabilecek alanların başında geldiği görülmektedir (Şekil 2.1).

- **Enerji güvenliğinin güçlendirilmesi:** Yenilenebilir enerji kaynakları yerlilik avantajları ve değişken yakıt giderlerinin olmaması çerçevesinde enerjide ithalatın azaltılmasına ve nihai enerji tüketicisi enerji maliyetlerinde öngörülebilirliğe katkı sağlamaktadır.
- **Temiz enerji dönüşümünün sağlanması:** Yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik üretiminde ve doğrudan kullanımda karbon salımına neden olmayarak küresel enerji talebinin net-sıfır emisyon perspektifinde karşılanabilmesinde en kritik temiz enerji çözümleri arasında yer almaktadır.
- **Yenilikçi ve teknoloji odaklı sanayi stratejileri ile yüksek katma değer yaratılması:** Temiz enerji odaklı dönüşüm, teknolojilerde ve tedarik zincirlerinde rekabetçiliğin önemini pekiştirirken, yenilenebilir enerji üretim teknolojileri yüksek katma değerli büyüme fırsatları oluşturmaktadır.
- **Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına ulaşılması:** Yenilenebilir enerjinin modern enerjiye erişimin artırılmasında, temiz enerji hedeflerine ulaşılmasında ve iklim değişikliği ile mücadelede kritik rolü, ekonomik ve sosyal gelişim bakımından daha sürdürülebilir bir geleceği de desteklemektedir.

Şekil 2.1. Yenilenebilir Enerji ve Kritik Enerji, İklim, Sanayi ve Kalkınma Kesişimleri

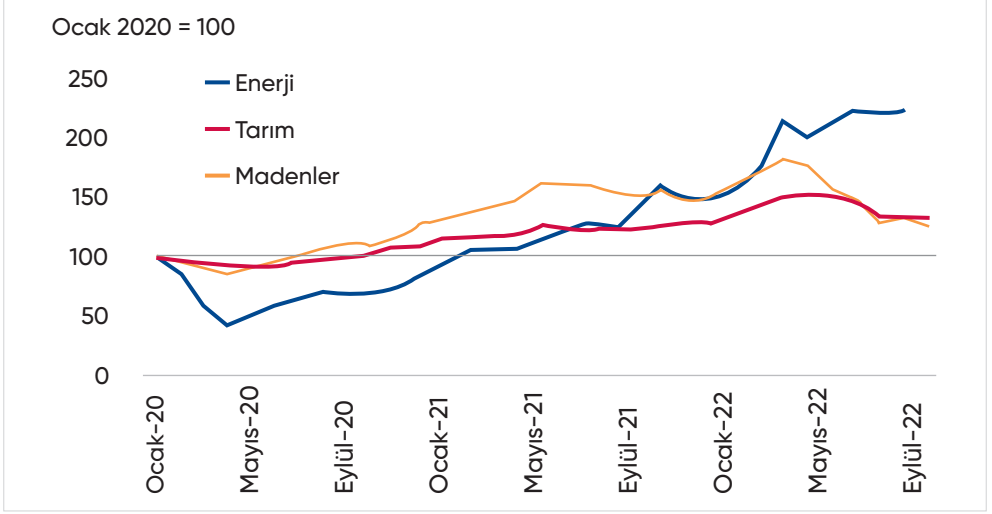


## 2.2. Enerji Krizi, Küresel ve Bölgesel Enerji Güvenliği & Yenilenebilir Enerji

Dünya enerji sistemi, 1970'lerde yaşanan petrol krizinin etkilerini derinden hissetmiştir. Makro ekonomik dengelere önemli yansımaları olan bu kriz, petrol ürünleri tüketiminde azalma sağlayacak enerji verimlilik uygulamalarında yaygınlaşma, petrolün çeşitli sektörlerde diğer enerji kaynaklarıyla ikamesi ve nükleer enerjinin enerji üretim portföylerine eklenmesi gibi açılımlar ile enerji arz ve talep dinamiklerinde önemli bir dönüşümü beraberinde getirmiştir. Son dönemde yaşanan enerji krizi ise, petrole ek olarak diğer fosil yakıtları da içeren kapsamı, elektrik üretiminden tedarik zincirlerine uzanan etki alanı bakımından 1970'lerin petrol krizi ile önemli farklılıklar taşımaktadır. Özellikle enerji ithalatçısı ekonomilerde enerji kaynaklarına kesintisiz ve uygun maliyetli erişim risklerini ön plana çıkaran bu kriz, tüm enerji girdilerinde hızlı maliyet artışları ile birlikte sosyo-ekonomik gelişimin sürdürülebilirliği için de önemli bir tehdit oluşturmaktadır.

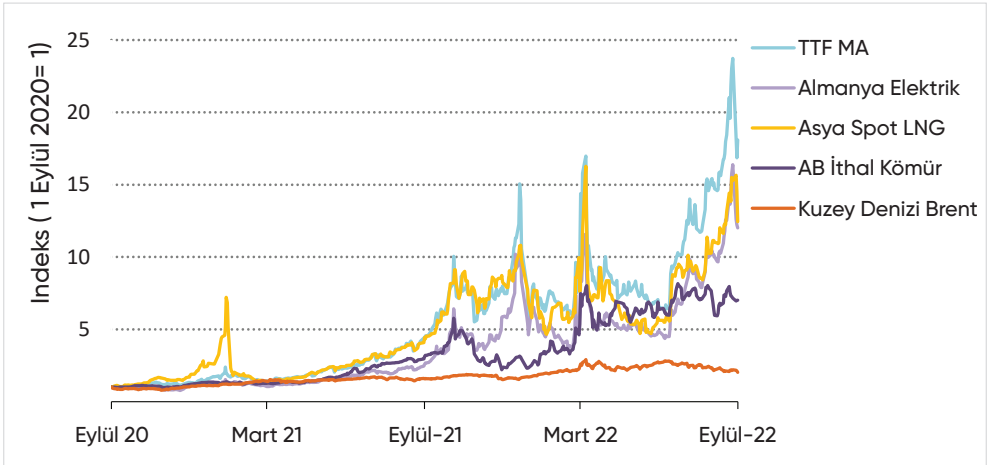
Son dönemde emtia fiyat hareketleri incelendiğinde, enerji emtia sepeti fiyatının 2020 yılı başından bu yana iki kat artış gösterdiği görülmektedir (World Bank, 2022). Emtia fiyat artışlarında doğal gaz fiyatlarındaki hızlı yükseliş ve bununla bağlantılı olarak elektrik fiyatlarında artış ivmesi oldukça belirgindir. Son iki yıl içerisinde Avrupa'da gösterge doğal gaz hub fiyatlarında ve spot elektrik piyasası fiyatlarında on beş katın üzerinde artışlar gerçekleşmiştir (IEA, 2022a). Dünya genelinde ortalama elektrik üretim maliyetlerinde son dönemde yaşanan artışların %90'lık bölümünün yakıt fiyatlarındaki artışlardan kaynaklandığı tespit edilmektedir (Şekil 2.2 ve Şekil 2.3).

**Şekil 2.2. Emtia Fiyatlarının Son Dönemde Gelişimi**  
(Ocak 2020 – Eylül 2022, Ocak 2020 = 100)



Kaynak: World Bank Group, 2022

**Şekil 2.3. Bazı Enerji Fiyatlarının Son Dönemde Gelişimi**  
(Eylül 2020 – Eylül 2022, Eylül 2020 = 1)

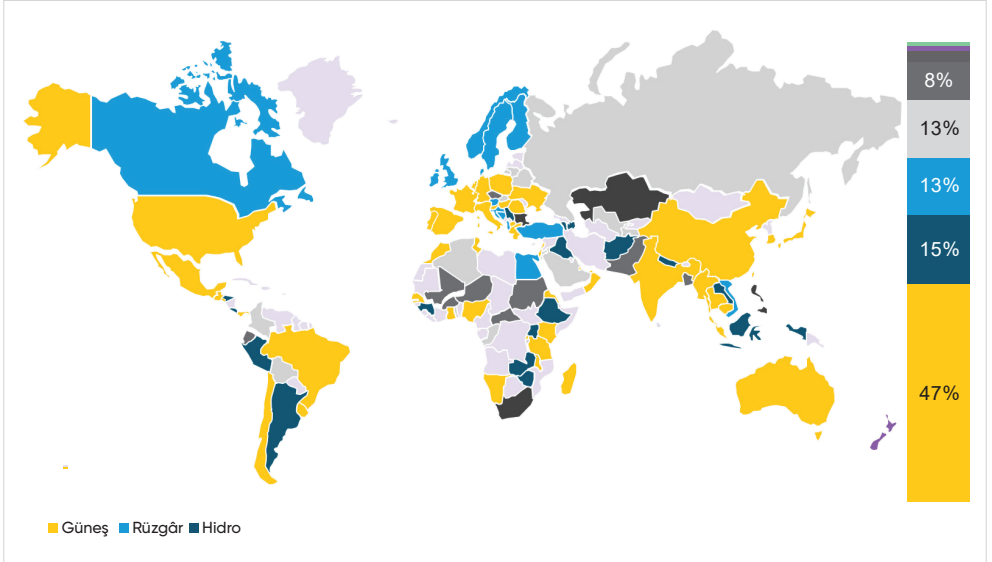


Kaynak: IEA, 2022a

Enerji krizinin, pek çok ekonomide, özellikle doğal gazla alternatif olabilecek kömür ve petrole olan talebi artırdığı görülmekle birlikte, enerjiye güvenli erişim için temiz enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin önemi giderek daha fazla öne çıkmaktadır. Sanayi ve teknoloji politikaları da bu alanlarda güçlü büyümeyi destekleyecek şekilde yeni bir düzleme taşınmaktadır. Dünya enerji krizi, geçmiş arz güvenliği sorunlarında etkin bir çözüm olarak gündeme gelen kaynak çeşitliliği perspektifinin ötesinde, enerji sistemlerinin tasarımında ve işleyişinde bütüncül bir paradigma değişimini de başlatmıştır.

2021 yılında rüzgar ve güneş, pek çok bölgede yeni kapasite artışlarına liderlik etmiştir (Şekil 2.4). Yenilenebilir enerji ile sağlanan büyümenin, enerji krizinin etkilerini azaltıcı yönde katkı sunduğu, bazı ülkelerde elektrik üretiminde hızla artan payıyla doğal gaz arzı kaynaklı etkilerin elektrik sisteminin geneline yansımaları da önemli ölçüde engellediği görülmektedir. Yenilenebilir enerji, 2021 yılında kapasitede %6 ve üretimde 500 TWh eşdeğeri artış ile kaydedilen güçlü büyüme ivmesini, enerji krizinin etkilerinin derinden yaşandığı 2022 yılı içerisinde de sürdürmektedir. 2022 yılında yenilenebilir enerji kurulu gücünün %8 artışla 320 GW'a ulaşması beklenmektedir (IEA, 2022b). 2022 - 2027 döneminde, dünya genelinde yenilenebilir kapasite artışının 2.400 GW olarak gerçekleşmesi öngörülmektedir (IEA, 2022c).

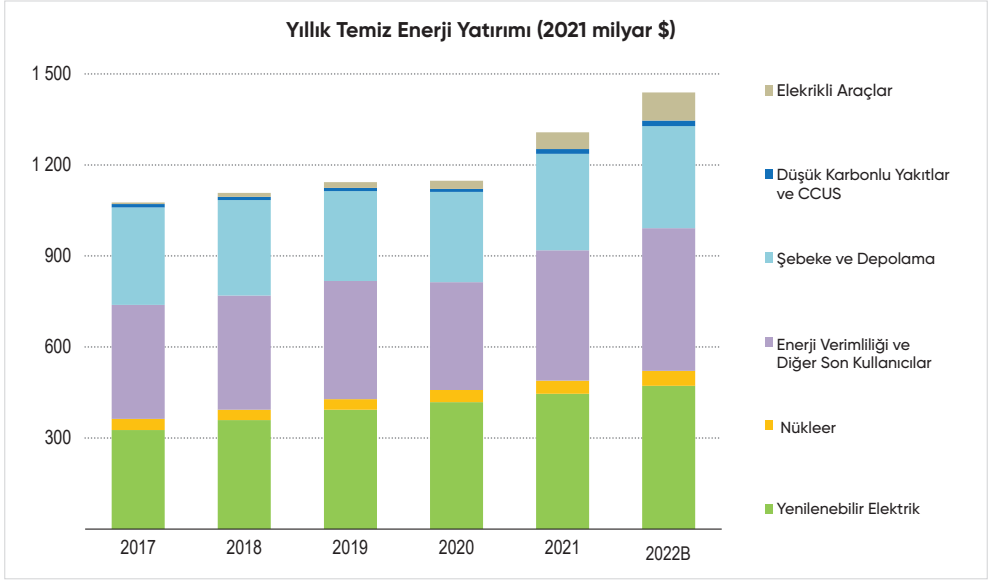
**Şekil 2.4. Elektrik Kurulu Güç Artışında Lider Teknolojiler (2021)**



Kaynak: BNEF, 2022

Yenilenebilir enerji yatırımları, temiz enerji yatırımlarında son dönemde kaydedilen güçlü büyüme içerisinde konumunu da pekiştirmektedir. 2022 yılında 1,4 trilyon \$'a ulaşması öngörülen temiz enerji yatırım büyüklüğünün üçte-bire yakını yenilenebilir elektrik üretimi oluşturmaktadır (Şekil 2.5). Günümüzde dünya genelinde elektrik sektörü yatırımlarının %80'i yenilenebilir elektrik üretimi, şebekeler ve enerji depolamada gerçekleşmektedir (IEA, 2022c). Yatırımlardaki temiz enerji odaklı dönüşüm, temiz enerji hedeflerinin gerçekleştirilebilmesine ek olarak, enerji sistemlerini kriz durumlarına daha hazırlıklı ve dayanıklı duruma getirebilmek bakımından da kritiktir. Son dönemde enerji yatırımları küresel GSYH'nin yaklaşık %2'si seviyesinde gerçekleşmektedir. IEA NZE<sup>1</sup> Senaryosu, bu payın 2030 yılına kadar iki kat artmasını, 2030 yılına kadar olan dönemde yıllık temiz enerji yatırımlarında üç kat büyüme sağlanabilmesini gerektirmektedir (IEA, 2021a). Bu çerçevede, yenilenebilir elektrik üretimi yatırımlarının, son dönem ortalaması olan yaklaşık 400 milyar \$/yıl seviyesine göre üç katın üzerinde artarak 1,3 trilyon \$/yıl'a çıkması öngörülmektedir (IEA, 2022a).

**Şekil 2.5. Temiz Enerji Yatırımlarının Yıllık Gelişimi**  
(2017 – 2022, milyar \$)



Kaynak: IEA, 2022c

<sup>1</sup> 2050 yılında enerji sisteminin net-sıfır emisyonu ulaşmasını hedefleyen IEA Net-Zero-Emissions Senaryosu

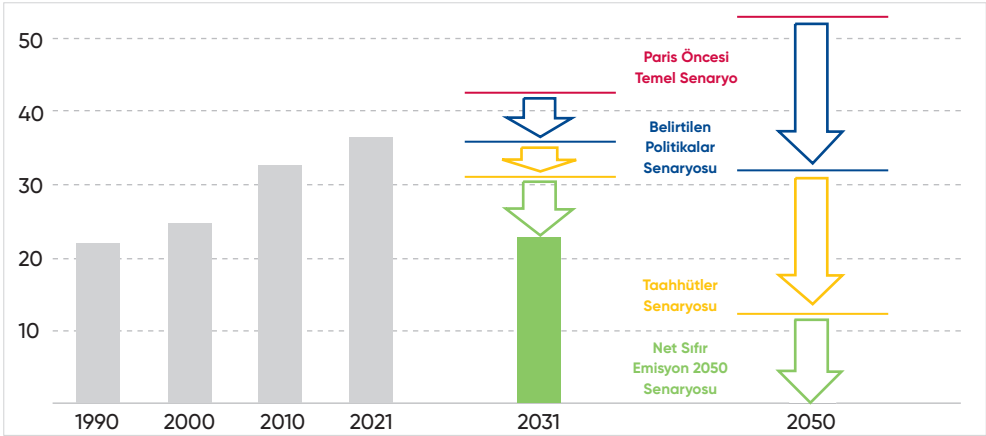


### 2.3. Temiz Enerji Dönüşümü ve Yenilenebilir Enerji

Küresel ekonomi Covid-19 pandemisinin 2020 yılındaki etkileri sonrasında 2021 yılında %5,9 büyürken, dünya enerji talebinde %5,4 artışı beraberinde getirmiştir. Bu yüksek artışta fosil yakıtların etkisi neticesinde, emisyonlar yıllık bazda 1,9 Gton artış göstermiş, tarihsel olarak kaydedilen en yüksek artışa karşılık gelen bu büyüme ile birlikte enerji sektöründen kaynaklı emisyonlar 36,6 Gton seviyesine ulaşmıştır. 2022 yılında ekonomik büyümede yavaşlamanın da sonucunda emisyonlarda yıllık artış hızının %1'in altına düşmesi beklenmektedir (IEA, 2022a).

Küresel sıcaklık artışını azami 1,5 °C ile sınırlayabilmek için gereken NZE patikası ise, CO<sub>2</sub> emisyonlarının önümüzdeki birkaç yıl içinde plato seviyesine getirilerek 2030 yılında 23 Gton seviyesine düşürülebilmesi ile olanaklı olacaktır (Şekil 2.6). COP27 toplantılarında, 1,5 °C hedefi ve temiz enerji geleceği portföyünün gelişiminde yenilenebilir enerjinin rolü tekrar vurgulanmıştır (UNFCCC, 2022). NZE perspektifi, uygulanan politikalar ve gerçekleştirmeler ile kıyaslandığında, enerji sisteminin karbon yoğunluğunda çok daha hızlı düşüşler sağlanmasını gerektirmektedir.

Şekil 2.6 Enerjiden Kaynaklı Emisyonların Gelişimi (1990 – 2050, Gton)



Kaynak: IEA, 2022a

- Fosil yakıtların toplam enerji arzında halen %80 civarında olan payının NZE patikasında %20'ye kadar düşmesi öngörülmektedir. Sektörel kullanımı oldukça daralan fosil yakıt kullanımının, ağırlıklı olarak karbon Yakalama ve depolama teknolojileri ile entegre edilmesi beklenmektedir.
- Elektrifikasyon dünya enerji sektörünün genelinde en güçlü trendlerden birisi olmayı sürdürmektedir. Elektrik enerjisinin toplam küresel nihai enerji tüketiminde %20 olan payının 2050 yılında %50'ye ulaşması, talepteki büyümenin büyük bölümünün gelişmekte olan enerji piyasalarından gelmesi beklenmektedir.

- Elektrik enerjisinin toplam enerji sisteminde artan ağırlığı, elektrik arz güvenliği ile risklerin önemini pekiştirirken, değişken arz ve talep dinamikleri içerisinde elektrik sistemlerinin esnekliğine ilişkin yeni politika, piyasa ve teknoloji arayışlarını beraberinde getirmektedir (Detaylar için lütfen Bölüm 2.5.1.'e bakınız.)
- NZE patikasında en güçlü büyüme yenilenebilir enerjiden elektrik üretiminde gerçekleşmektedir. Yenilenebilir enerjinin dünya toplam elektrik üretiminde günümüzde %29 olan payının 2030 yılında %60'a ulaşması, 2050 yılında ise küresel elektrik üretiminin %90'lık bölümünün yenilenebilir elektriğe dayalı olarak karşılanması beklenmektedir.
- Yenilenebilir elektrik üretiminde bu çarpıcı büyüme, yenilenebilir enerjiye dayalı kurulu güç büyümesinin 2022 yılında beklenen yaklaşık 340 GW/yıl seviyesine göre dört kat artışla 2030 yılında 1.200 GW/yıl'a ulaşmasını gerektirecektir. Güneş ve rüzgarın elektrik üretimine toplam katkısının ise, yüksek potansiyelin, teknolojik gelişmelerin ve maliyet performansında iyileşmelerin de desteğiyle 2050 yılına kadar üçte-ikinin üzerine ulaşması öngörülmektedir. 2030 yılına kadar olan dönemde her yıl 630 GW güneş ve 290 GW rüzgar kapasitesinin sisteme eklenmesi gerekmektedir.
- Yenilenebilir enerjinin doğrudan kullanımı da enerji dengeleri içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Küresel nihai enerji talebinin %14'ü yenilenebilir enerjiden sağlanmaktadır. (%10 biyokütle, %4 jeotermal ve güneş). Bu katkının önemli bir bölümü geleneksel biyokütle kaynaklarından gelmektedir. OECD nihai enerji talebinde doğrudan yenilenebilir enerji payı ise ağırlıklı bölümü modern biyokütle olmak üzere %8 seviyesindedir. NZE Senaryosunda, yenilenebilir enerjinin dünya nihai enerji tüketimine doğrudan katkısının %19 seviyesine gelmesi beklenmektedir. Böylelikle 2050 yılında dünya nihai enerji talebinin yaklaşık üçte-ikisinin yenilenebilir enerjiden sağlanması öngörülmektedir. Binalarda ve sanayide ısıtma talebinin karşılanmasında yenilenebilir enerji katkısı 2050 yılında %40'a çıkmaktadır. (2020 yılında sırasıyla %10 ve %15). Bu artışlarla birlikte, doğrudan yenilenebilir enerji kullanımı elektrik enerjisinin ardından nihai enerji talebinde en büyük ikinci kaynak durumuna gelecektir. (IEA, 2022a).

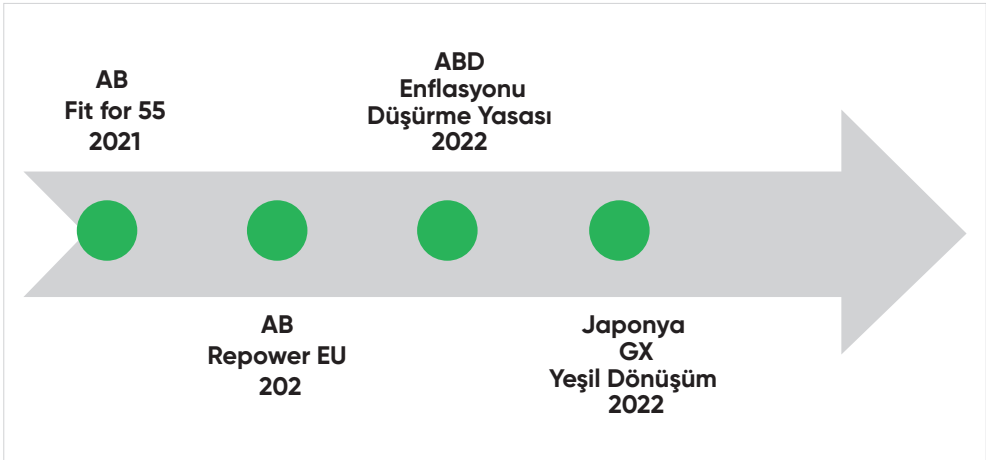
## 2.4. Yeni Sanayi Paradigması ve Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerjinin son dönemde enerji dengelerinde daha fazla öne çıkan rolü, bu teknolojilerin geliştirilmesine ve üretime odaklı stratejileri de kapsayacak şekilde genişlemektedir. Ar-Ge ve inovasyona dayalı bir ekosistem içerisinde, rüzgar türbinlerinin, güneş panellerinin, diğer pek çok yenilenebilir enerji tedarik teknolojisinin ve bunları destekleyici enerji depolama gibi yenilikçi teknolojilerin, güçlü ekonomik büyüme, yetkin istihdam, sürdürülebilir dış ticaret dengeleri gibi parametreler ekseninde önemi pekişmektedir.

Özellikle büyük ekonomiler tarafından son dönemde yenilenebilir enerji tedarik zincirlerinde ve teknolojilerinde yerleşmeyi odağına alan özel açılımlar geliştirildiği, önemli ölçekte yatırım destekleri de içeren bu gelişmelerin enerji krizi ile birlikte stratejik öneminin arttığı görülmektedir (Şekil 2.7). 2020 yılında Covid-19 pandemisinin başlamasından bu yana hükümetler tarafından temiz enerji dönüşümü için ayrılan kaynak 1,1 trilyon \$'a ulaşmıştır (IEA, 2022a).

Bu çerçevede öne çıkan AB Yeşil Mutabakatı, "RePowerEU" Planı, "Fit for 55" Paketi, ABD Enflasyonu Düşürme Yasası<sup>2</sup>, Avustralya İklim Değişikliği Kanunu, Japonya GX Yeşil Dönüşümü, Hindistan'ın Make in India programı ve Çin'in temiz enerji dönüşümü ile ilgili programları, yenilenebilir enerji teknolojilerine ilişkin yetkinliklerini güçlendirmeye öncelik vermekte, sanayi ve araştırma paydaşlarına insan kaynaklarının buna paralel şekilde gelişimini temin edecek fırsatlar da sunmaktadır (European Commission 2022a; European Council 2021; European Council 2022; METI, 2022; US DOE, 2022). Örneğin ABD Enflasyonu Düşürme Yasası, enerji güvenliğine ve iklim değişikliği ile mücadeleyle odaklı temiz enerji teknolojilerine 370 milyar \$ kaynak aktarmaktadır. Sanayi politikalarında yerli tedarik zincirlerini güçlendirecek bu tür adımların, yenilenebilir enerjide büyüme yoluyla temiz enerji hedeflerinin yanı sıra, enerjide kendine yeterliliğe katkısı ile enerji krizinden çıkışa ve sürdürülebilir enerji güvenliğine ve istihdama da önemli katkılar sağlaması beklenmektedir (Detaylar için lütfen Bölüm 2.5.4'e bakınız.)

**Şekil 2.7. Büyük Ekonomilerde Temiz Enerji ve Sanayi Dönüşümü Odaklı Politika Belgeleri**



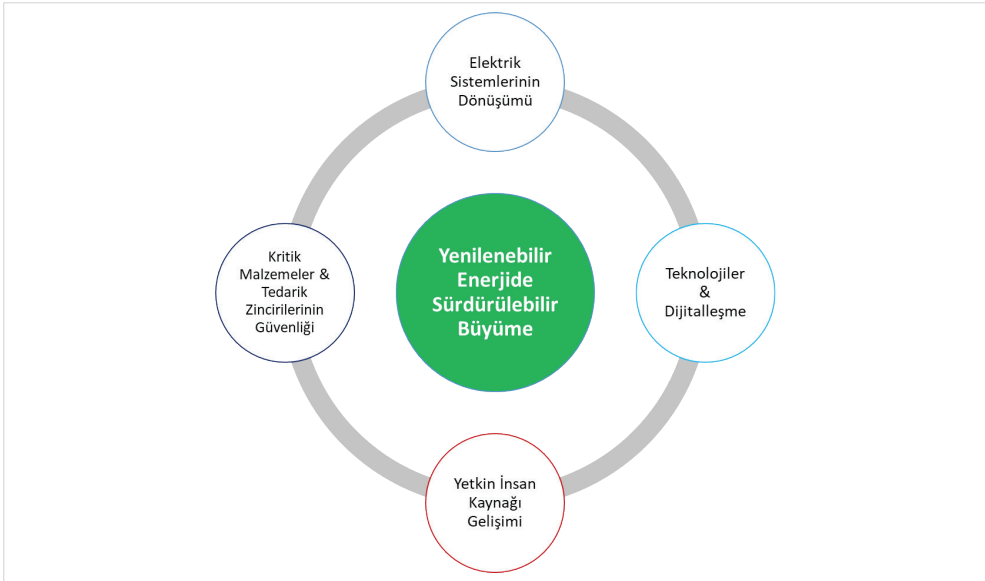
<sup>2</sup> Inflation Reduction Act.

## 2.5. Yenilenebilir Enerjide Sürdürülebilir Büyüme İçin Zorluklar ve Fırsatlar

Enerji krizinden çıkılması, enerji sisteminin dayanıklılığın iyileştirilmesi, enerji güvenliğinin güçlendirilmesi ve iklim değişikliği ile mücadele için kritik olan temiz enerji hedeflerinin gerçekleştirilebilmesi için çok boyutlu katkılar sunan yenilenebilir enerjide beklenen büyümenin sürdürülebilir şekilde sağlanabilmesi, dünya enerji sisteminin yenilenebilir enerji ağırlıklı bir geleceğe hazırlanması bakımından kritik zorluklara ve fırsat alanlarına işaret etmektedir. Kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarından üretimin artışı, elektrik şebekeleri başta olmak üzere elektrik sistemlerinin esnekliğinin güçlendirilmesini gerektirirken, pek çok yenilenebilir enerji üretim teknolojisinin kritik minerallere olan ihtiyacı da tedarik sistemlerinin güvenliğine ilişkin riskleri daha görünür duruma getirmektedir.

Teknoloji ve yenilikçilik ekosisteminde fırsatların değerlendirilebilmesi, insan kaynakları ve yetenek havuzlarının bu büyümeyi destekleyecek şekilde yapılandırılabilmesi, yenilenebilir enerjide büyümenin kritik başarı faktörleri olacaktır (Şekil 2.8). Teknolojiyi üreten ve kullanan yetkinlikte insan kaynakları gelişiminin sağlanabilmesi ve yenilikçilik ile desteklenen bir ekosistemin kamu-sanayi-akademi iş birlikleri içerisinde geliştirilebilmesi, özellikle fosil yakıtlar bakımından zengin olmayan enerji ekonomilerinin, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın kullanımı ve ilgili teknolojilerde yerli imkanlara dayalı gelişim yoluyla makro ekonomik dengelerde sağlayabileceği uzun vadeli avantajların en temel dayanaklarını oluşturacaktır.

Şekil 2.8. Yenilenebilir Enerjide Sürdürülebilir Büyüme İçin Zorluk ve Fırsat Alanları



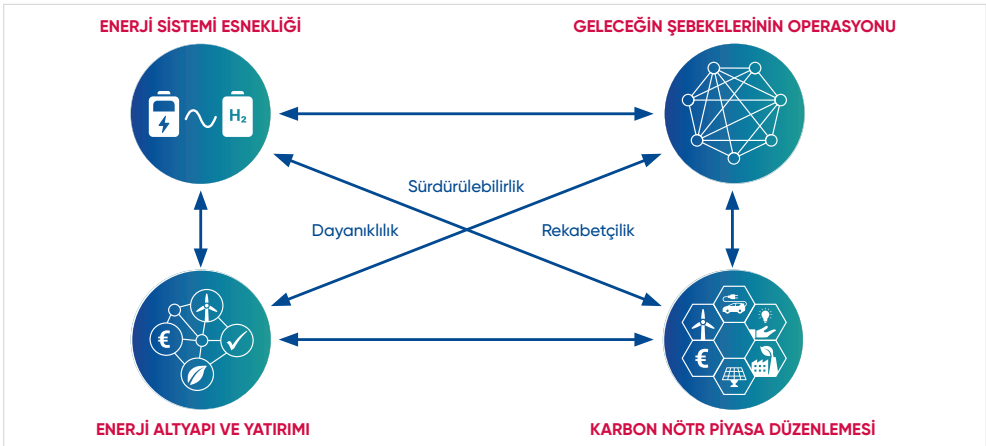
Kaynak: IICEC analizleri

### 2.5.1. Elektrik Sistemlerinin Dönüşümü

Elektrik şebekeleri, artan elektrifikasyonla birlikte enerji sistemlerinin belkemiğini oluşturmaktadır. Elektrik enerjisinin toplam enerji sisteminde artan payı, elektrikli araçların yaygınlaşması ile gelişen talep dinamikleri ve kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarından üretimdeki artışla birlikte arzda gelişen değişkenlikler, elektrik sistemlerinin esnekliğini elektrik arz güvenliğinin kritik bir unsuru konumuna getirmektedir. Günümüzde, bu esneklik, doğal gaz başta olmak üzere yük takibi yapabilen fosil yakıtlı santrallerden karşılanırken, geleceğin enerji sistemlerinde enerji depolama teknolojilerinin, talep tarafı katılımının, arz ve talep dengelerinin etkin yönetimini sağlayacak akıllı şebeke mimarilerinin önemi artmaktadır. Pek çok ülkede rüzgar ve güneş enerjisinin üretimdeki toplam payı %10 seviyesinin üzerine çıkmış olup, yenilenebilir enerji entegrasyonunda daha hızlı artışlar, esneklik seçeneklerinin şebeke planlamalarının kritik bir bileşeni olarak hayata geçirilmeleri ile sağlanabilecektir (IEA, 2022a).

Geleceğin elektrik sistemi, karbon yoğunluğunda azalma sağlayacak yenilenebilir elektrik üretim seçeneklerinin ve e-mobilite çözümlerinin yayılımını hızlandırırken, şebeke ve depolama yatırımlarındaki artışlar ile birlikte elektrik sisteminin esnekliğini güçlendirmelidir (ENTSO-E, 2022, MITe, 2022). Belirsizliklerin modellenmesi ve risklere dayanıklı bir elektrik sisteminin geliştirilmesi, şebekelerin yeterliliğine ilişkin Monte Carlo analizleri gibi yenilikçi yöntemleride öne çıkarmaktadır (IEA, 2022d). Piyasa tasarımının da yenilenebilir elektrik üretiminin yanı sıra şebeke ve depolama yatırımlarını da destekleyerek karbon-nötr bir elektrik sistemine dönüşümü sağlayacak şekilde işlerliğini sürdürmesi gerekmektedir (Şekil 2.9). Bu dönüşüm, iletim ve dağıtım şebekelerinin önemini artırırken, şebeke işletmeciliğinde yeni iş modellerini ve yatırım ihtiyaçlarını da beraberinde getirecektir (OIES, 2022; Eurelectric 2021a).

**Şekil 2.9. Elektrik Sisteminde Esneklik, Dayanıklılık ve Sürdürülebilirlik Perspektifi**



Kaynak: ENTSO-E, 2022

## 2.5.2 Kritik Malzemeler & Tedarik Zincirlerinin Güvenliği

Temiz enerji dönüşümü, geleneksel olarak fosil yakıtlara dayalı gelişen enerji sisteminden farklı olarak, kritik madenlerin önemini oldukça artırmaktadır. Lityum, nikel, kobalt, manganez ve grafit, enerji depolama için batarya çözümlerinin performansında kritik rol oynarken, nadir toprak elementleri elektrikli araç motorları ve rüzgar türbinleri için önemli bir girdi durumundadır. Büyüyen ve giderek daha dağıtık duruma gelen elektrik şebekeleri ise büyük miktarda bakır ve alüminyum talebi oluşturmaktadır. Bakır aynı zamanda, rüzgar ve güneş enerjisi sistemleri için de önemli girdiler arasında yer almaktadır Çinko, rüzgardan elektrik üretiminin önemli girdileri arasında yer alırken, yaygın olarak kullanılan güneş PV sistemlerinde silikon önemli rol oynamaktadır (Şekil 2.10).

Temiz enerji teknolojilerinin ihtiyaç duyduğu mineral yoğunluğu da fosil yakıtlı sistemlere kıyasla yüksektir. Örneğın, karasal bir rüzgar santrali birim kurulu güç başına doğal gaz çevrim santraline göre dokuz kat daha fazla mineral girdisine ihtiyaç duymaktadır. Tipik bir güneş PV üretim tesisinin mineral yoğunluğu ise aynı güçte bir kömür santraline kıyasla iki kat daha yüksektir (Şekil 2.11) (IEA, 2021b; IEA, 2022f; IEA, 2022g).

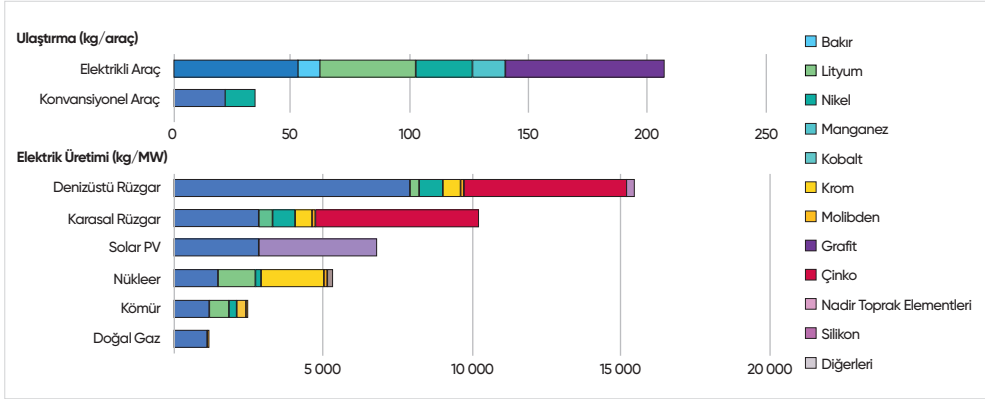
Şekil 2.10. Temiz Enerji Teknolojileri ve Kritik Mineraller

	Bakır	Kobalt	Nikel	Lityum	Nadir Toprak Elementleri	Krom	Çinko	Platin Grubu Metaller	Alüminyum*
Güneş PV	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Rüzgar	●	○	●	○	●	●	●	○	●
Hidro	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi	●	○	●	○	○	●	○	○	●
Bioenerji	●	○	○	○	○	○	○	○	○
Jeotermal	○	○	●	○	○	●	○	○	○
Nükleer	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Elektrik Şebekeleri	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Elektrikli Araçlar ve Batarya Depolama	●	●	●	●	●	○	○	○	●
Hidrojen	○	○	●	○	○	○	○	●	○

Notlar: Gölgelendirme temiz enerji teknolojileri için madenlerin göreceli önemini göstermektedir. (●= Yüksek ; ○= Orta ; ○= Düşük)

Kaynak: IEA, 2021b

**Şekil 2.11. Bazı Fosil Yakıtlı ve Temiz Enerji Teknolojilerinin Mineral Yoğunluğu (kg/MW ve kg/araç)**

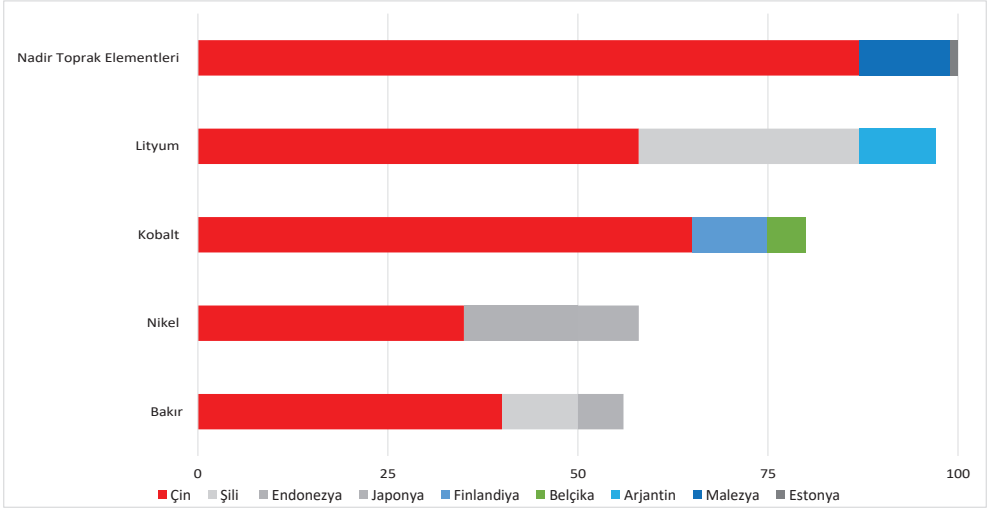


Kaynak: IEA, 2022f

Kritik minerallere yüksek bağlılık nedeniyle enerji güvenliği paradigmasına yeni sınamalar getiren temiz enerji dönüşümü içerisinde yenilenebilir enerji teknolojilerine girdi oluşturan malzemelerin sürekli, uygun maliyetli ve güvenli tedariki önemli bir gelişim alanı olarak ortaya çıkmaktadır. NZE Senaryosu, temiz enerji teknolojilerini destekleyebilmek üzere mineral talebinde 2050 yılına kadar dört kat artış öngörmektedir. Bunun ekonomik karşılığı yıllık 400 milyar \$ olarak hesaplanmaktadır. Bu büyük çaplı yeni ekonomi, enerji güvenliği ve maliyetleri bakımından bazı yeni risklerin yönetilmesi ihtiyacını gündeme getirmektedir.

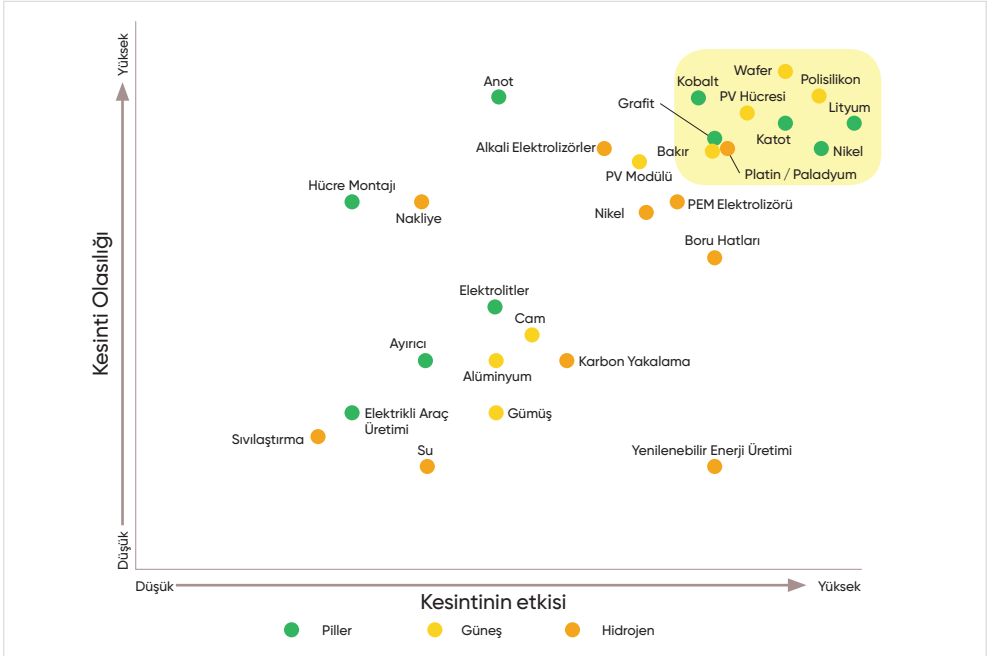
İlgili arz ve talep zincirlerindeki dalgalanmalar nedeniyle, 2022 yılı içerisinde deneyimlendiği üzere, fiyatlarda önemli değişkenlikler oluşabilmektedir. Söz konusu kaynakların coğrafi dağılımı ve işlenmesinde ise Çin başta olmak üzere birkaç ülkenin ağırlıklı payı sürmektedir. Lityum kaynaklarının %90'ı, kobaltın %70'inden fazlası, nikelin %60'ı ve nadir toprak elementlerinin %85'e yakını sadece üç ülkenin kontrolündedir (Şekil 2.11). Bu durum, tedarik zincirlerinde çeşitlendirmenin yanı sıra madenler ve malzemeler bazında daha sürdürülebilir bir geleceğe zemin oluşturabilecek alternatif politikalara ve teknolojilere yönelik arayışları da güçlendirmektedir (IEA, 2022a). Mevcut teknolojiler irdelendiğinde, güneş PV sistemlerinde wafer ve polisilikon, batarya sistemlerinde ise lityum, nikel ve kobalt arzında kesintilerin, yenilenebilir enerjide güçlü büyümeyi etkileyebilecek kritik risk alanları olduğu değerlendirilmektedir (Şekil 2.12 ve Şekil 2.13). Tedarik güvenliği ile risklerin asgari seviyede tutulabilmesi ve hızla artan talep karşısında maliyetlerin etkin şekilde yönetilebilmesi için döngüsel ekonomi fırsatlarının da önümüzdeki dönemde yenilenebilir enerji ekosisteminin gündeminde daha fazla yer bulabileceği düşünülmektedir (Şekil 2.14).

Şekil 2.12 . Kritik Minerallerin İşlenmesinde Öne Çıkan Ülkeler ve Payları (%)



Kaynak: IEA, 2022a

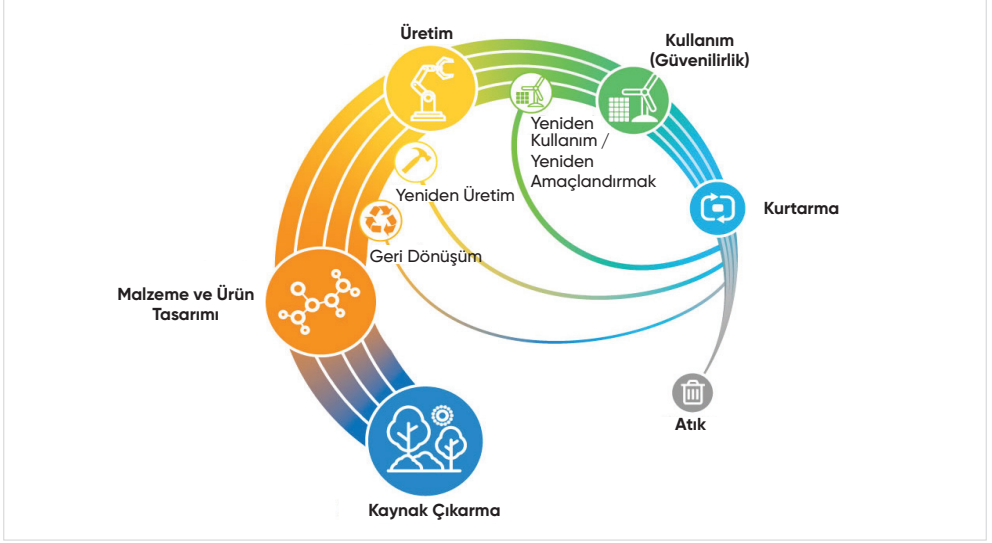
Şekil 2.13. Temiz Enerji Tedarikinde Kesintilerin Olasılık ve Etki Dağılımı



Kaynak: IEA, 2022e



Şekil 2.14. Temiz Enerji Teknolojilerinde Döngüsel Ekonomi Çerçevesi



Kaynak: NREL, 2022

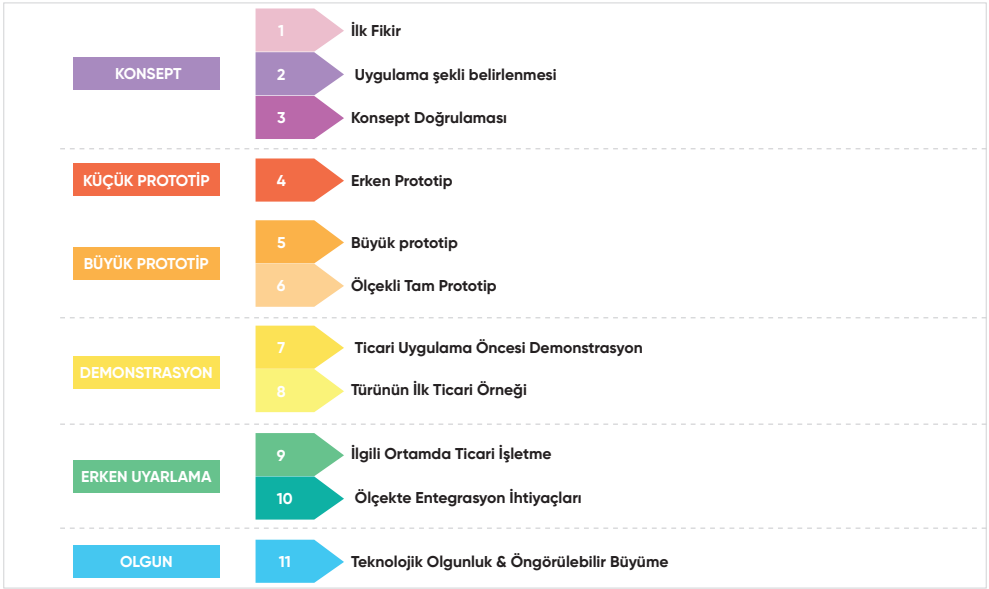
### 2.5.3 Teknoloji & Dijitalleşme

Teknoloji süreçlerinde kaydedilecek gelişim, yenilenebilir enerjide güçlü büyümeyi destekleyecek en kritik faktörlerden birisi olacaktır. Yenilenebilir enerjiden elektrik üretimine ilişkin çok sayıda teknoloji ticarileşme aşamasına geçerken önemli maliyet düşüşleri ile birlikte rekabetçilik bakımından önemli kazanımları beraberinde getirmiştir. IEA TRL<sup>3</sup> skalasına göre incelendiğinde, silikona dayalı PV panel teknolojileri, karasal rüzgar teknolojileri, hidroelektrik üretim sistemleri gibi alanların özellikle son yirmi yıl içerisinde kaydedilen gelişmeler sonucunda çoğunlukla teknolojik olgunluğa ulaşarak yenilenebilir enerjiden elektrik üretiminin ana omurgasını sağladığı görülmektedir (TRL 10 ve 11).

Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynak potansiyelinin daha etkin kullanılabilmesini sağlamak, kritik mineraller ve bunlara ilişkin tedarik süreçlerinde çeşitlilik oluşturabilmek ve maliyetlerde daha çarpıcı düşüşler gerçekleştirebilmek üzere bir dizi yenilenebilir elektrik üretim teknolojisi üzerinde geliştirme çalışmaları da sürmektedir. Bu kapsamda öne çıkan yeni teknoloji alanları arasında, perovskite güneş hücreleri (TRL 4-5), derin sularda yüksek deniz üstü rüzgar potansiyelini hayata geçirebilecek yüzer rüzgar türbinleri (TRL 8) ve büyük derinliklere erişim sağlayarak daha yüksek sıcaklıklarda jeotermal enerji eldesi sunabilecek gelişmiş jeotermal sistemleri (TRL 6) sayılabilir (Şekil 2.15 ve Şekil 2.16).

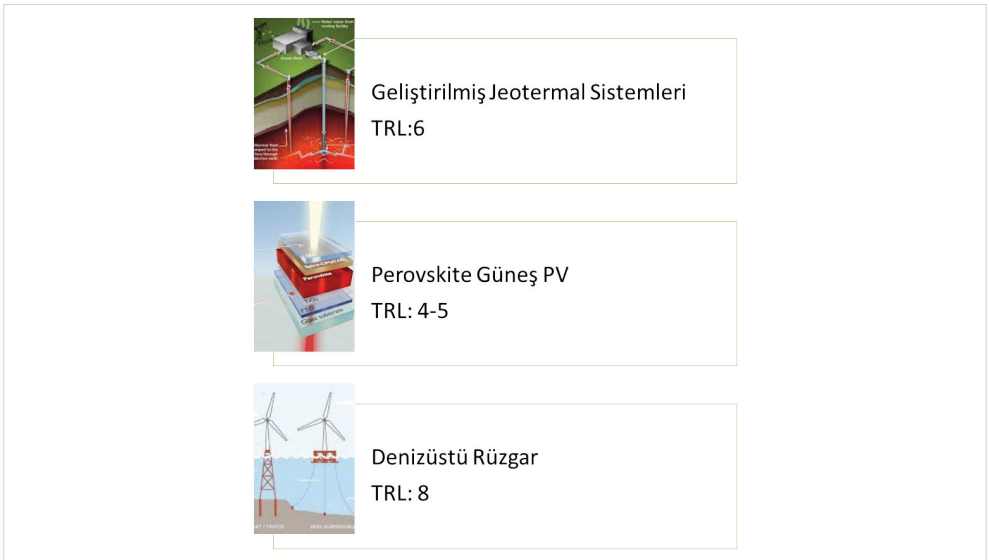
<sup>3</sup> Technology Readiness Level

## Şekil 2.15. Teknoloji Hazırlık Seviyeleri (TRL)



Kaynak: IEA, 2022g

## Şekil 2.16. Yenilenebilir Enerjide Büyüme Güçlendirecek Yenilikçi Teknolojiler

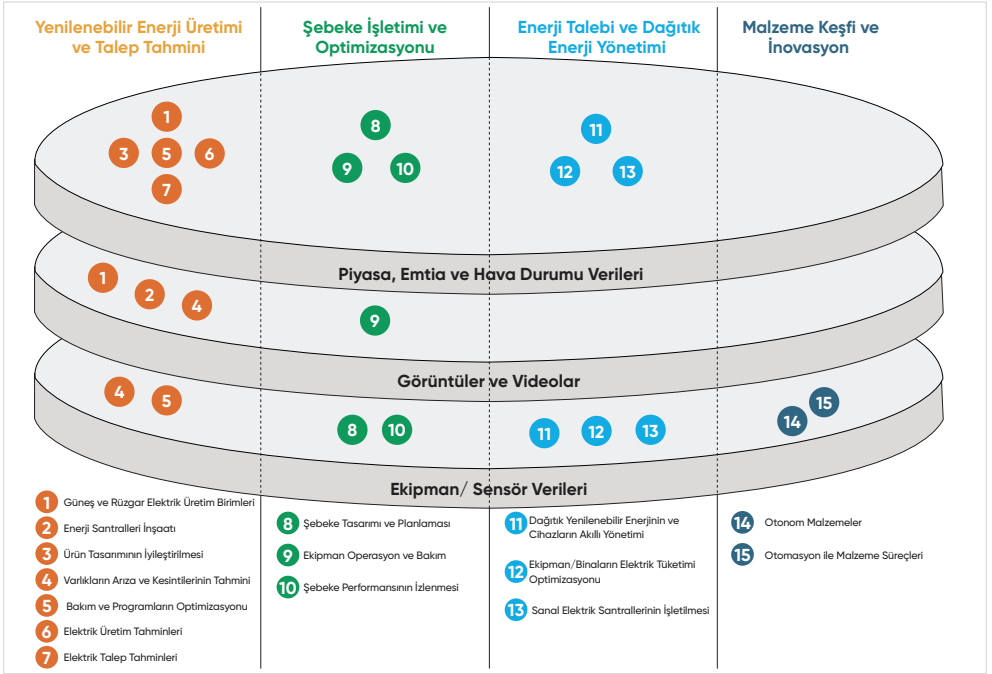


Kaynak: IEA, 2022g

Geçmişte ağırlıklı olarak fosil yakıtlara, merkezi planlamaya ve büyük ölçekli üretim birimlerine dayalı olan elektrik sistemi mimarisi, yenilenebilir enerjide, özellikle rüzgar ve güneş enerjisinde, hızlı büyüme ile birlikte, değişken arz dinamiklerini içeren, aynı zamanda e-mobilite ve güneş PV uygulamalarındaki büyüme ile daha dağıtıklaşan bir yapıya doğru gelişmektedir. Bu gelişimde, ileri veri analitiği ve dijitalleşme fırsatlarından etkin şekilde yararlanılabilmesi önemli olacaktır.

Nesnelerin interneti ve blok zinciri uygulamaları ile özellikle dağıtık yenilenebilir enerji sistemlerinde veri üretimi ve akışları etkin şekilde yönetilirken, yapay zeka uygulamaları da hava durumlarına bağlı arz ve talep öngörülerinden üretim sahalarının seçimine, üretim planlamalarına, varlık yönetimine, şebeke planlamaları ve optimizasyonuna kadar çok çeşitli alanlarda yaygın şekilde kullanılmaktadır (Şekil 2.17) (WEF, 2021; Eurelectric 2021b). Talep tarafının enerji piyasasına etkin katılımının sağlanabilmesinde ve yerinde üretim ile öz tüketime dayalı iş modellerinin geliştirilmesinde de dijitalleşmenin önemli işlev görmesi beklenmektedir (IRENA, 2022a).

**Şekil 2.17. Yenilenebilir Enerjide Yapay Zeka Uygulama Alanları**

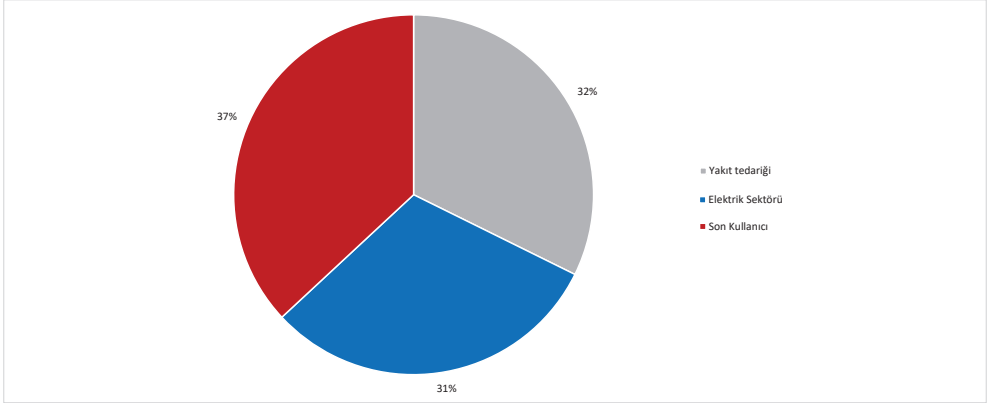


**Kaynak:** WEF, 2021

## 2.5.4 Yetkin İnsan Kaynağı Gelişimi

Yaklaşık 65 milyon kişiye istihdam sağlayan enerji sektöründe<sup>4</sup>, diğer temiz enerji teknolojileriyle birlikte yenilenebilir enerjide istihdam artış trendleri de güçlü seyretmektedir (IEA, 2022g; IRENA 2022b; REN21, 2022). Günümüzde enerji sektörü istihdamı incelendiğinde, elektrik sektörü, yakıt tedariki ve enerjinin son tüketici ile buluşturulduğu alanların yaklaşık olarak eşit paya sahip olduğu görülmektedir (Şekil 2.18). 2030 yılına kadar olan dönemde, e-mobilite, ısı pompası gibi teknolojilerde yaygınlaşmayı da içeren hızlı elektrifikasyon, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği trendleri ile birlikte bu dağılımda önemli değişimler gerçekleşmesi beklenmektedir. NZE Senaryosunda 2030 yılına kadar enerji sektöründe istihdamın yaklaşık %40 artarak 90 milyona ulaşması, temiz enerji endüstrilerinin sağlayabileceği 40 milyon yeni iş olanağı ile istihdam ve yetenek havuzlarında önemli bir değişimin gerçekleşmesi öngörülmektedir. Enerji sistemlerinin karbonsuzlaştırılmasına yönelik çabalar çerçevesinde, halen küresel enerji iş gücünün %55'ini oluşturan temiz enerji sektörleri, küresel istihdamda en yüksek büyüme potansiyeline sahip alanlar arasında değerlendirilmektedir (IEA, 2022g).

Şekil 2.18. Enerji Sektörü İstihdamının Sektörel Dağılımı (2020, %)



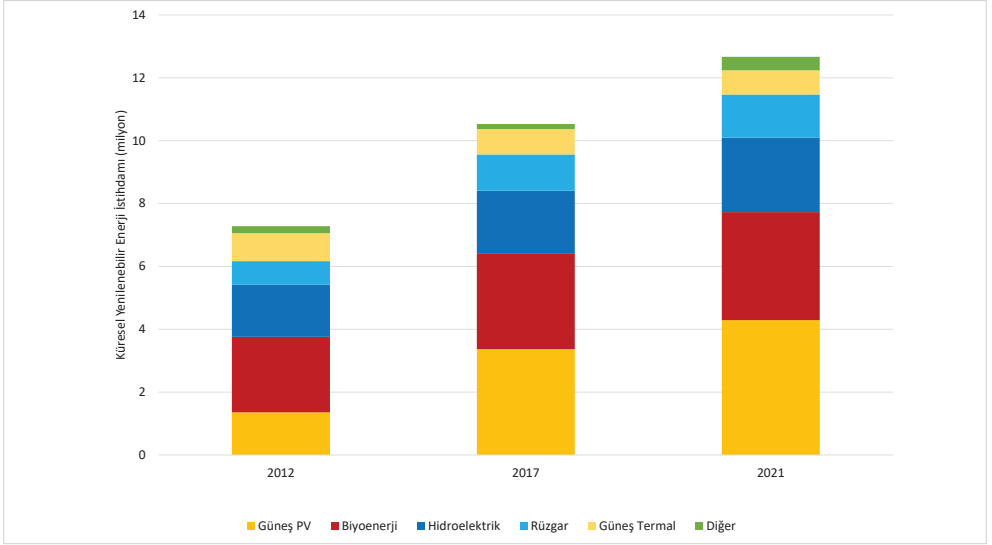
Kaynak: IEA, 2022g

Yenilenebilir enerjide istihdam büyümesi kurulu güç artışına paralel şekilde gelişirken son beş yıl içerisinde dünya genelinde rüzgar, güneş, hidroelektrik ve diğer yenilenebilir enerji alanlarında 2 milyonun üzerinde yeni istihdam gerçekleşmiş, 2012 yılından bu yana yenilenebilir enerji işgücü piyasası %50'nin üzerinde büyümüş ve 2021 yılında dünya genelinde yenilenebilir enerji istihdamı 12,7 milyona ulaşmıştır. Güneş PV sektörü liderliğini sürdürerek bu istihdamın yaklaşık üçte-birine karşılık gelmektedir. Güneş PV ve termal teknolojileri, sıvı biyoyakıtlar, hidroelektrik ve rüzgar sektörleri günümüzde toplam yenilenebilir enerji istihdamının %90'lık bölümünü oluşturmaktadır<sup>5</sup>. (IRENA, 2022b) (Şekil 2.19 ve Şekil 2.20).

<sup>4</sup> Enerji sektörü dünya genelinde kayıtlı istihdamın %2'sini oluşturmaktadır.

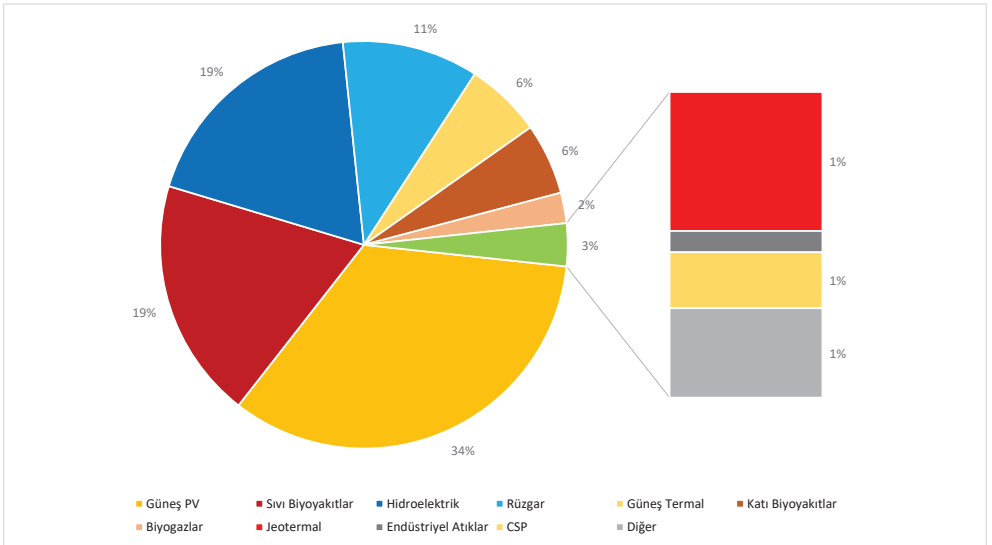
<sup>5</sup> Tüm yenilenebilir enerji istihdamının yaklaşık üçte ikisi Asya'da olup, Çin tek başına küresel istihdamın %42'sini oluşturmaktadır.

**Şekil 2.19. Yenilenebilir Enerjide İstihdamın Gelişimi (2012-2021, milyon)**



Kaynak: IRENA, 2022b

**Şekil 2.20. Yenilenebilir Enerjide İstihdamın Sektörel Dağılımı (2021, %)**



Kaynak: IRENA, 2022b

Yenilenebilir enerjide hedeflenen yüksek büyüme, bunu destekleyecek insan kaynakları altyapısının niteliğini ve çeşitliliğini güçlendiren, bütüncül sanayi, işgücü ve eğitim politikaları ile desteklenen ve adil dönüşüm perspektifini gözetilen bir planlama gerektirmektedir (IRENA, 2022b). 2022 yılında enerji istihdamında belirleyici olan enerji talebi ve yatırım portföyü gibi göstergelerde önemli büyüme görülmeyle birlikte, yatırım hacmindeki yükselişin yaklaşık yarısının girdi maliyetlerindeki artışlar kaynaklı olması, insan kaynağında sürdürülebilir büyüme için talep veya yatırım artışlarının tek başına yeterli olamayabileceğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji sektörü değişen enerji dinamikleri içerisinde mevcut işgücünü korurken, talepte öngörülen güçlü büyümeyi karşılayacak yetkinlikte insan kaynakları ve yetenek havuzunu da geliştirebilmelidir.

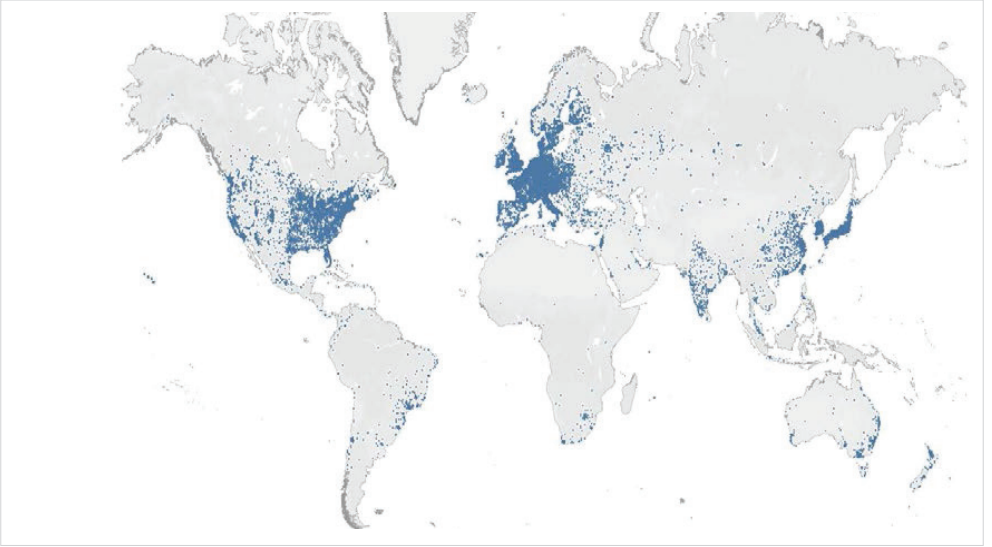
Son dönemde, bu alanda iyileştirmelere odaklı girişimlerin sayısı artmaktadır. Örneğin, AB tarafından oluşturulan Temiz Enerji Sanayi Forumu ile mesleki beceri kazandırma programları için doğrudan mali destekler önceliklendirilmektedir (European Commission, 2022b). ABD Enflasyon Düşürme Yasası'nın yalnızca iklim hedefleri ile sınırlı kalmayarak önümüzdeki on yıl içerisinde temiz enerjide yaklaşık 5 milyon yeni istihdam fırsatı yaratması da beklenmektedir (Blue Green Alliance (2022).

Enerji sektörü, diğer pek çok sektörle karşılaştırıldığında yüksek nitelikli işgücü ihtiyacı göstermektedir. Enerji istihdamının %45'i yüksek nitelikli sınıfa girmekte olup, ekonomi genelinde bu oran dörtte-birden daha azdır. Enerji sektöründe istihdamın %10'dan az bir bölümünün düşük kalıfilyasyonda işler gerektirdiği hesaplanmaktadır (IEA, 2022g). Özellikle yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişiminde, kalifiye iş gücü ihtiyacı daha belirgin bir nitelik kazanmaktadır. Bu nedenle, dünyanın yenilenebilir enerji ağırlıklı enerji geleceğine hazırlanması bakımından kritik unsurlardan bir diğeri, eğitime ilişkin alanlarda güçlendirmeler sağlanabilmesi, sanayi ve eğitim stratejilerinde sinerjilerin değerlendirilmesi yoluyla sosyal ve ekonomik gelişim hedeflerinin desteklenebilmesidir. Mesleki eğitim programlarının farklı yenilenebilir enerji türleri bazında yaygınlaştırılabilmesi, üniversitelerde yenilenebilir enerji üretim teknolojilerine ve bunları destekleyecek piyasa modellerine odaklı programların geliştirilmesi ve çeşitlendirilmesi, sanayi ve eğitim kurumları arasında sektöre yeni yeteneklerin kazandırılmasını temin edecek iş birliklerinin güçlendirilmesi önemli fırsat alanları olarak değerlendirilmektedir. İstihdam bakımından kritik bir diğeri ise, kadın istihdamının güçlendirilmesidir. Ekonomi genelinde %40'a yakın seyreden kadın istihdamı yenilenebilir enerji dahil enerji sektöründe sadece %15 paya sahiptir (IEA, 2022g). Kadın istihdamını artıracak programlara odaklanılması, yenilenebilir enerjide kapsayıcı büyüme için en kritik gelişim alanlarından birisi olacağı düşünülmektedir.

Fosil yakıtlar ağırlıklı bir enerji sisteminden, yenilenebilir enerjiyi ve bunu destekleyecek teknolojileri merkezine alan, daha yenilikçi bir enerji sistemine dönüşüm için en kritik başarı faktörlerinden birisini *adil dönüşüm* oluşturmaktadır. Fosil yakıt alanında istihdam edilmiş olan işgücünün yenilenebilir enerji geleceğini destekleyecek şekilde yeniden eğitilmesi ve toplam istihdamda herhangi bir azalma olmaksızın işgücü piyasasının gelişiminin sağlanabilmesi, bu dönüşümün sosyal kabulünü ve ekonomik kazanımlarını destekleyecektir. Bunu sağlayabilmek üzere, temiz enerji dönüşümüne ilişkin hedeflerin, aynı zamanda istihdamda, adil dönüşüme ve bu dönüşümün çevresel ve sosyal faydalarını azami seviyede gerçekleştirmeye yönelik stratejilerle desteklenmesi önem taşımaktadır (IEA, 2021c).

Yenilenebilir enerji odaklı dönüşüm, Ar-Ge ve inovasyon ekosisteminde de güçlü bir gelişim gerektirmektedir. Yenilenebilir elektrik üretim teknolojilerinin yanı sıra, yenilikçi batarya teknolojilerinde, akıllı şebekelerde, hidrojen ve yakıt hücresi sistemlerinde teknoloji gelişim ivmesi, son dönemde özellikle ABD, Almanya, Japonya, Güney Kore ve Çin'de yüksek seyretmektedir. Bu teknolojilerde patent başvurularının dağılımı, bir taraftan yenilikçilik ekosisteminin büyüklüğünün ve etki alanının, diğer taraftan da nitelikli insan kaynağı ile desteklenen kamu-sanayi-akademi iş birliklerinin temiz enerji dönüşümü için rolünü ortaya koymaktadır (IEA, 2021d). Geleceğin daha dağıtık, dijital ve tüketici-odaklı enerji sisteminde, yenilikçi teknolojilerin çevresel ve ekonomik performansa, temiz enerjiye erişimin yaygınlaşmasına, rekabetçi ve sürdürülebilir enerji arzına katkısı daha kritik konuma gelecektir. Bu çerçevede, tüketici ihtiyaçlarına odaklı, esnek, modüler ve daha dinamik enerji sistemlerinin önemi artarken, bu tür teknolojilerin imalatında yenilikçi tekniklerin ve dijitalleşme olanaklarının kullanımı da bölgesel rekabetçilik ekseninde önemini pekiştirecektir.

**Şekil 2.21. Düşük Karbonlu Enerji Teknolojilerinde Uluslararası Patent Başvurularının Coğrafi Dağılımı**



Kaynak: IEA, 2021d

## 2.6. Bütüncül Sürdürülebilirlik Perspektifi İçerisinde Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji, sürdürülebilir kalkınma amaçlarının önemli destekleyicileri arasındadır. Özellikle modern enerjiye erişimin gelişimi, temiz enerji dönüşümünün sağlanması, dolayısıyla da iklim değişikliği ile ilgili hedeflerin sağlanabilmesi bakımından yenilenebilir enerjinin önemi giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımında yaygınlaşma, fosil yakıt kullanımını ikame ederek hava kalitesinde iyileştirmelere ve ilgili sağlık etkilerin azaltılmasına, daha sürdürülebilir yaşam alanlarının gelişimine, sanayinin yenilikçiliğinin güçlendirilmesine, sosyal gelişim hedefleri ile uyumlu ekonomik büyümenin desteklenmesine de kritik katkılar sunmaktadır.

Çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları ile yenilenebilir enerji ekosistemi, BM Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nın (SKA) büyük bölümü ile kritik etkileşime sahiptir (Şekil 2.22). Sürdürülebilir gelecek için öne çıkan yenilenebilir enerji performans göstergeleri aşağıda özetlenmektedir:

- **SKA 3, 13, 14 ve 15:** Hava kirliliğinde, çevresel etkilerde ve sera gazı emisyonlarında azaltım
- **SKA 8 ve 10:** Sosyal boyut, adil dönüşüm ve nitelikli istihdam
- **SKA 3 ve 7:** Modern enerjiye sağlıklı erişim ve enerjide kendine yeterlilik
- **SKA 8:** Ekonomik etkiler ve yatırımlarda büyüme
- **SKA 8, 9, 11, 12:** Kentleşme, sanayi, eğitim stratejileri ile entegre sürdürülebilirlik (Şekil 2.22, Şekil 2.23 ve Şekil 2.24)

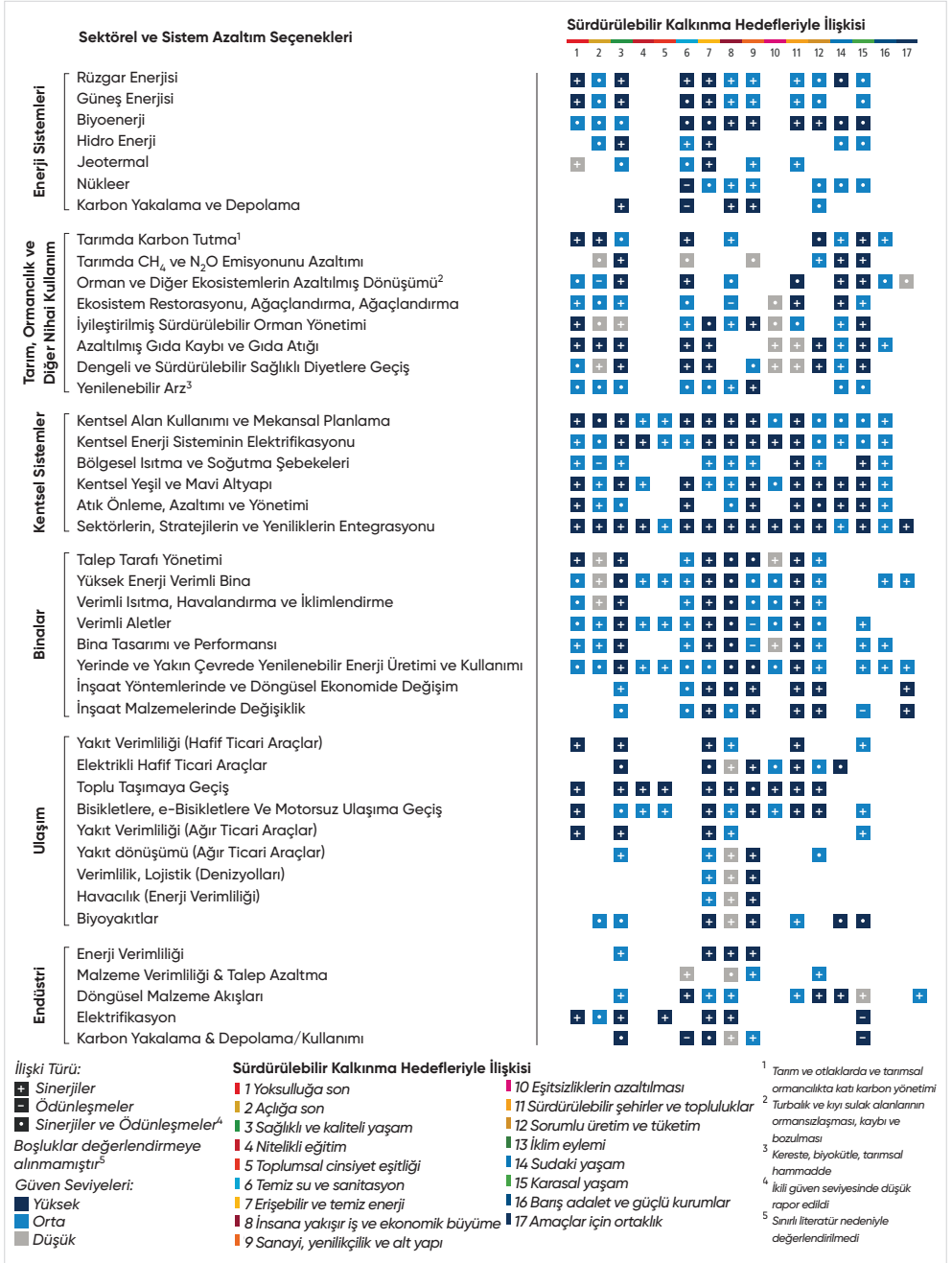
Şekil 2.22. Sürdürülebilir Kalkınma İçin Küresel Amaçlar



Kaynak: UN 2020a

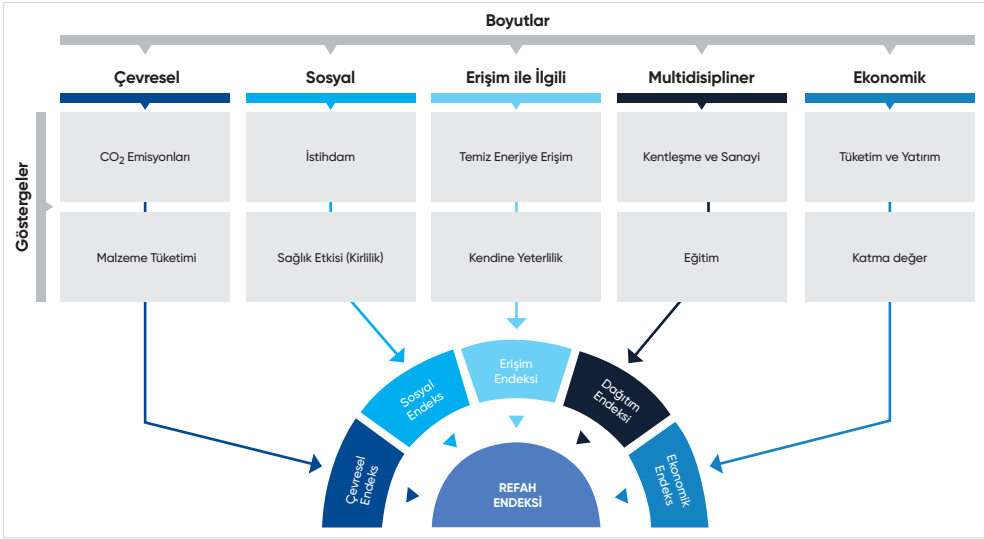


## Şekil 2.23. İklim Değişikliği ile Mücadelede Kritik Alanlar ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ile İlişkileri



Kaynak: IPCC, 2022

**Şekil 2.24. Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilirlik İçin Kritik Başarı Faktörleri**

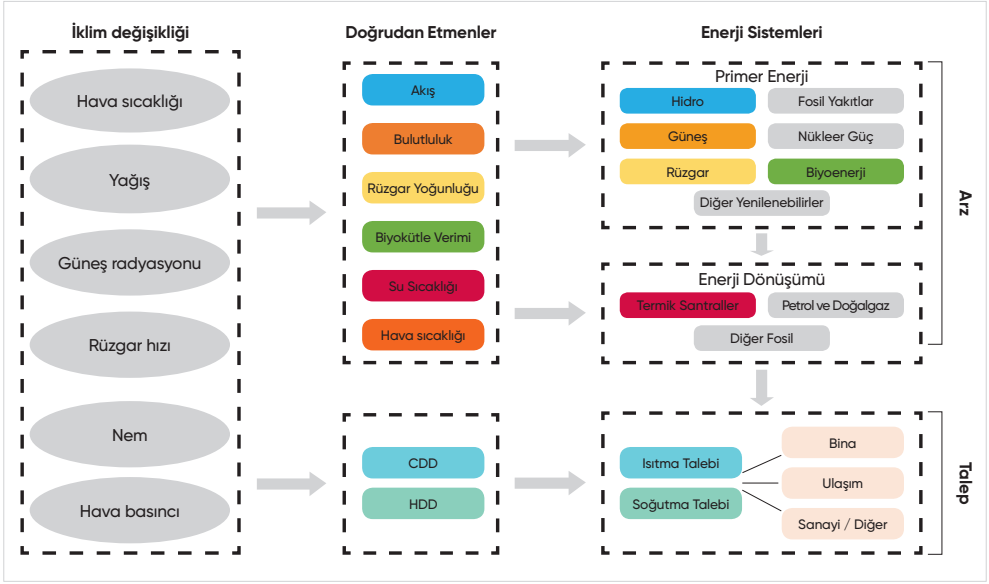


**Kaynak:** IRENA, 2022c'den uyarlanmıştır.

Enerji ve iklim ilişkisinin sürdürülebilirliğe ilişkin etkileri, enerjiden kaynaklı emisyonların iklim değişikliğine etkileri ile sınırlı değildir. İklim değişikliği, hava sıcaklıklarında, yağışlarda, güneş ışınımında, rüzgar rejimlerinde ve hızlarında neden olduğu etkiler kapsamında yenilenebilir enerji arzında doğrudan belirleyici olmaktadır. Arz tarafında belirsizlikleri artıran bu etkilerin yanı sıra, özellikle sıcaklık ve neme ilişkin değişimler, ısınma ve soğutma ile ilgili enerji taleplerini etkilerken, talep dinamiklerini de daha değişken konuma getirmektedir (Şekil 2.25). Yenilenebilir enerjinin payındaki artış ile birlikte, bu tür iklim etkilerinin enerji arz ve talep dengeleri üzerindeki yansımaları daha belirgin hale gelecektir. Bu nedenle, daha güvenli ve temiz enerji geleceği hedeflerine ilerlerken, enerji planlamalarının ve enerji sistemi dönüşümünün ilgili belirsizlikleri gözeterek şekilde hayata geçirilmesi önem taşıyacaktır.

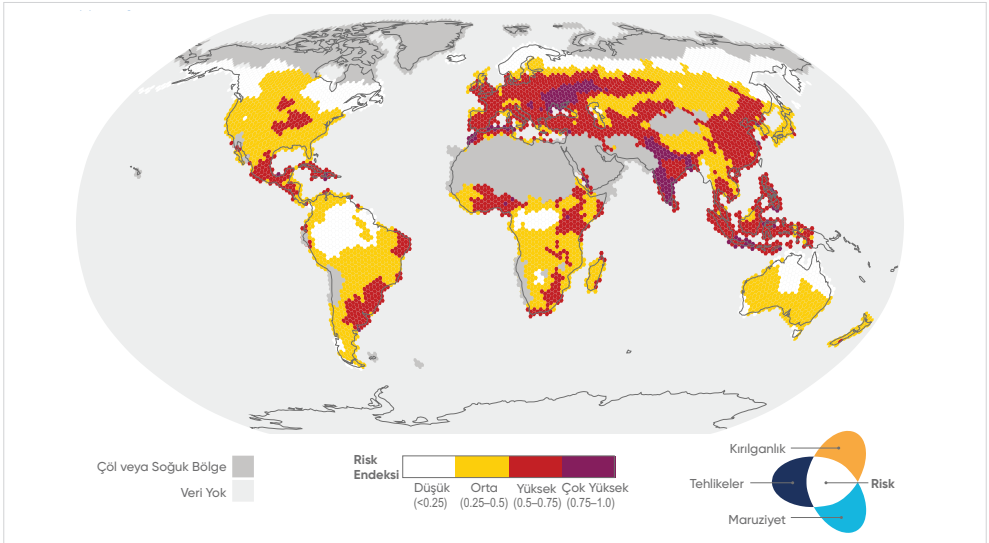
İklim değişikliğinin enerji sistemine etkileri bakımından dikkate alınması gereken bir diğer husus, aşırı hava olayları ile birlikte enerji altyapılarının güvenli işleyişine ilişkin risklerin yönetilmesi gerekliliğidir. Örneğin, IEA tarafından yapılan en son analizler, sel kaynaklı finansal etkilerin 2050 yılında toplam varlık değerinin %1,2'sine kadar ulaşabileceğini göstermektedir (IEA, 2022a). Yağışlarda azalma da iklim değişikliği ile gelişen önemli bir trend durumdadır. Avrupa'nın önemli bir bölümü ve Akdeniz Havzası, iklim değişikliği kaynaklı kuraklık bakımından en riskli bölgeler arasında yer almakta olup, bu durumun hidroelektrik üretimin sürdürülebilirliğine etkilerinin de uzun vadeli planlamalar ve varlık yönetimi stratejilerinde dikkate alınması gerekmektedir (IPCC, 2022) (Şekil 2.26). İklim değişikliğinin enerji dönüşümüne etkileri bakımından öne çıkan bir diğer unsur, temiz enerji tedarik zincirlerinin seller ve fırtınalar gibi aşırı hava olaylarına etkileridir (Yale Environment 360, 2022).

**Şekil 2.25. İklim Değişikliğinin Enerji Sistemine Etkileri**



Kaynak: Yalew et al, 2020

**Şekil 2.26. İklim Değişikliği ve Bölgesel Kuraklık Riskleri**



Kaynak: IPCC, 2022

## 2.7. Sonuç

- Yenilenebilir enerji dünya genelinde elektrik üretiminde en hızlı büyüyen kaynak durumuna gelmiştir. Özellikle iklim değişikliği ile mücadele ekseninde temiz enerji dönüşümüne ilişkin stratejiler, yenilenebilir enerjide güçlü büyümeyi desteklemektedir. Teknolojideki gelişim ile sağlanan performans iyileştirmeleri ve maliyet düşüşleri yenilenebilir enerjinin rekabetçiliğini geliştirirken, özellikle rüzgar ve güneşte büyüme ivmesi kuvvetli seyretmektedir. Net-Sıfır emisyon perspektifi içerisinde, yenilenebilir enerjinin dünya elektrik üretimindeki payının 2050 yılına kadar üç kat artış ile %90'a ulaşması hedeflenmektedir. Bu çarpıcı büyüme, yenilenebilir elektrik yatırımlarında da en az üç kat artışı beraberinde getirecektir.
- Küresel enerji krizi, enerji güvenliğine ve enerji maliyetlerinde sürdürülebilirliğe yönelik pek çok riski beraberinde getirmektedir. Son dönemde doğal gaz ve kömür fiyatlarında yüksek artışlar ve bu artışların elektrik sistemine etkileri, özellikle fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasına yönelik arayışları öne çıkarırken, yenilenebilir enerji stratejileri, teknoloji geliştirmede yerleşme önceliklerini de içerecek şekilde pek çok gelişmiş ülkede sanayi stratejilerinin kritik bir bileşeni konumuna gelmiştir. Yeni açılımlar yoluyla yenilenebilir enerji teknolojilerinin üretimine odaklı yeni destekler hızla işlerlik kazanmaktadır.
- Yenilenebilir enerjinin daha güvenli ve temiz enerji geleceğini destekleyecek katkılarının gerçekleştirilebilmesi, bazı alanlarda önemli geliştirmeler sağlanmasını gerektirecektir. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin ve bunları destekleyici teknolojilerin tedarik zincirlerinin güvenliğinin sağlanması ve elektrik üretiminde değişken arz özelliklerinin etkin yönetilebilmesini temin edecek şekilde elektrik şebekelerinin esnekliğinin güçlendirilmesi, bu kapsamda öne çıkan kritik odak alanlarıdır. Teknolojilerde gelişim, dijitalleşme fırsatlarının özellikle şebekelerde iyileştirmeleri destekleyecek şekilde değerlendirilmesi ve yenilenebilir enerji potansiyeli ile uyumlu insan kaynağının gelişiminin ve sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi, yenilenebilir enerjide yüksek büyüme hedeflerinin hayata geçirilmesinde öne çıkan kritik başarı faktörleridir.
- Temiz enerji dönüşümünün en önemli bileşenlerinden olan yenilenebilir enerji, çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik bakımından da çok boyutlu fırsatlar sunmaktadır. Modern enerjiye erişimin yaygınlaştırılması ve hava kalitesinin iyileştirilmesi gibi önemli sürdürülebilir kalkınma amaçlarını doğrudan destekleyen yenilenebilir enerjinin geleceği, iklim değişikliğinin enerji sistemleri üzerindeki olası etkileri ile de yakından ilişkilidir. Yenilenebilir enerjinin payındaki artış ile birlikte, sıcaklıklarda ve yağışlarda değişimler ve aşırı hava olayları gibi iklim etkilerinin enerji arz ve talep dengelerine yansımaları daha belirgin hale gelecektir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji odaklı olarak güvenli ve temiz enerji geleceği hedeflerine ilerlerken, bütüncül enerji planlamalarının ilgili belirsizlikleri yönetebilecek şekilde hayata geçirilmesi önemli olacaktır.

## Referanslar

- Bloomberg New Energy Finance (BNEF) (2022), Energy Transition Factbook 2022  
<https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/BloombergNEF-CEM-2022-Factbook.pdf>
- Blue Green Alliance (2022) 9 Million Jobs From Climate Action: The Inflation Reduction Act  
<https://www.bluegreenalliance.org/site/9-million-good-jobs-from-climate-action-the-inflation-reduction-act/>
- ENTSO-E (2022), A Power System for a Carbon Neutral Europe  
<https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/tyndp-documents/ENTSO-E%20Vision%20A%20Power%20System%20for%20a%20Carbon%20Neutral%20Europe.pdf>
- Eurelectric (2021a), A Flexible Power System in Europe  
<https://cdn.eurelectric.org/media/5557/flexibility-final-report-2021-030-0531-01-e-h-9A846946.pdf>
- Eurelectric (2021b), AI Insights: The Power Sector in a Post-Digital Age  
<https://www.eurelectric.org/media/5016/ai-insights-final-report-26112020.pdf>
- European Commission (2022a), REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition  
[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_22\\_3131](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_3131)
- European Commission (2022b), Joint Declaration on Skills in the Clean Energy Sector [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/energy\\_climate\\_change\\_environment/ceif\\_joint\\_statement\\_on\\_skills.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/energy_climate_change_environment/ceif_joint_statement_on_skills.pdf)  
[https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/energy\\_climate\\_change\\_environment/ceif\\_joint\\_statement\\_on\\_skills.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/energy_climate_change_environment/ceif_joint_statement_on_skills.pdf)
- European Council (2021), European Green Deal  
<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/>
- European Council (2022), "Fit for 55": Council agrees on higher targets for renewables and energy efficiency  
<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/06/27/fit-for-55-council-agrees-on-higher-targets-for-renewables-and-energy-efficiency/>
- IEA (International Energy Agency) (2021a), NZE 2021  
<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

- IEA (2021b), The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions  
<https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- IEA (International Energy Agency) (2021c), Recommendations of the Global Commission on People-Centred Clean Energy Transitions  
<https://www.iea.org/reports/recommendations-of-the-global-commission-on-people-centred-clean-energy-transitions>
- IEA (International Energy Agency) (2021d), Patents and the Energy Transition  
[https://iea.blob.core.windows.net/assets/b327e6b8-9e5e-451d-b6f4-cbba6b1d90d8/Patents\\_and\\_the\\_energy\\_transition.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/b327e6b8-9e5e-451d-b6f4-cbba6b1d90d8/Patents_and_the_energy_transition.pdf)
- IEA (International Energy Agency) (2022a), World Energy Outlook 2022  
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- IEA (International Energy Agency) (2022b), Renewable Energy Market Update 2022  
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/d6a7300d-7919-4136-b73a-3541c33f8bd7/RenewableEnergyMarketUpdate2022.pdf>
- International Energy Agency (IEA) (2022c) Renewables 2022  
<https://www.iea.org/reports/renewables-2022>
- IEA (International Energy Agency) (2022d), World Energy Investment 2022  
<https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2022>
- IEA (International Energy Agency) (2022e), Energy Transitions Require Innovation in System Planning  
<https://www.iea.org/articles/energy-transitions-require-innovation-in-power-system-planning>
- IEA (International Energy Agency) (2022f), Securing Clean Energy Technology Supply Chains  
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/0fe16228-521a-43d9-8da6-bbf08cc9f2b4/SecuringCleanEnergyTechnologySupplyChains.pdf>
- IEA (International Energy Agency) (2022g), Security of Clean Energy Transitions 2022  
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/2b3b06b0-2bdc-4f4d-8fd9-f0846ba5ac99/SecurityofCleanEnergyTransitions2022.pdf>
- IEA (International Energy Agency) (2022h), ETP Clean Energy Technology Guide:  
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide>

- IEA (International Energy Agency) (2022h), World Energy Employment 2022  
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/a0432c97-14af-4fc7-b3bf-c409fb7e4ab8/WorldEnergyEmployment.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2022), IPCC Sixth Assessment Report  
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2022a), Smart Electrification with Renewables  
<https://www.irena.org/Publications/2022/Feb/Smart-Electrification-with-Renewables>
- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2022b), Renewable Energy and Jobs Annual Review 2022  
<https://www.irena.org/publications/2022/Sep/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2022>
- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2022c), Socio-economic Footprint of the Energy Transition, Japan  
<https://www.irena.org/publications/2022/Sep/Socio-economic-Footprint-of-the-Energy-Transition-Japan>
- Japanese Ministry of Economy and Trade (METI) (2022), GX League Basic Concept Announced, Call for Endorsing Companies Starts  
[https://www.meti.go.jp/english/press/2022/0201\\_001.html](https://www.meti.go.jp/english/press/2022/0201_001.html)
- MIT Energy Initiative (MITeI), (2022), The Future of Energy Storage  
<https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2022/05/The-Future-of-Energy-Storage.pdf>
- National Renewable Energy Laboratory (NREL)(2022) , Circular Economy for energy Materials  
<https://www.nrel.gov/about/circular-economy.html>
- Oxford Institute for Energy Studies (OIES), (2022), Energy Networks in the Energy Transition Era  
<https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2022/05/Energy-Networks-in-the-Energy-Transition-Era-EL48.pdf>
- REN 21 (2022), Renewables Global Status Report  
[https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf)

- UNFCCC, (2022), Sharm el-Sheikh Implementation Plan  
[https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop27\\_auv\\_2\\_cover%20decision.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop27_auv_2_cover%20decision.pdf)
- US DOE (Department of Energy) (2022), Bipartisan Infrastructure Law Programs at Department of Energy  
<https://www.energy.gov/bil/bipartisan-infrastructure-law-programs-department-energy>
- World Bank Group (2022), Commodity Markets Outlook October 2022  
<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/38160/CMO-October-2022.pdf>
- World Economic Forum (WEF) (2021), Harnessing Artificial Intelligence to Accelerate the Energy Transition  
[https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Harnessing\\_AI\\_to\\_accelerate\\_the\\_Energy\\_Transition\\_2021.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_AI_to_accelerate_the_Energy_Transition_2021.pdf)
- Yale Environment 360, Yale School of the Environment, (2022), How Climate Change Is Disrupting the Global Supply Chain  
<https://e360.yale.edu/features/how-climate-change-is-disrupting-the-global-supply-chain>
- Yalew et al., (2020), Impacts of Climate Change on Energy Systems in Global and Regional Scenarios, Nature Energy, Volume 5, October 2020  
<https://www.nature.com/nenergy/>



# BÖLÜM 3:

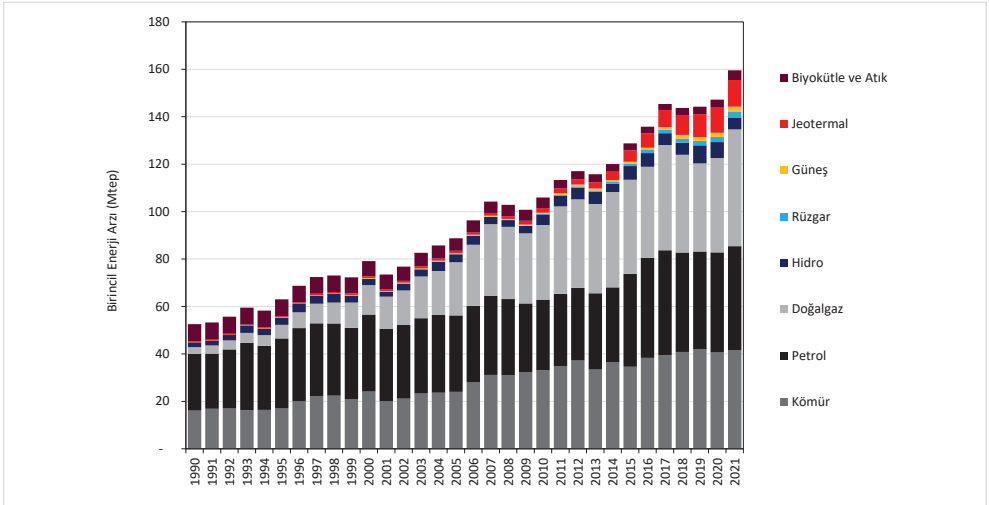
## Türkiye Enerji Sektörüne Genel Bakış

### 3.1. Enerji Talebi ve Temel Dinamikleri

Gelişen ve büyüyen bir enerji sektörüne sahip olan Türkiye'nin enerji tüketimine ilişkin temel büyüklükler bakımından dünyadaki yeri, nüfus ve ekonomiye ilişkin başlıca göstergelerdeki konumu ile benzer nitelik göstermektedir. Hem dünya nüfusunun, hem de küresel ekonominin yaklaşık %1'ine karşılık gelen Türkiye enerji sektörü, 150 milyon ton petrol eşdeğeri (Mtep) seviyesine ulaşan birincil enerji arzı ile dünya toplam enerji tüketiminin de yaklaşık %1'ini oluşturmaktadır. 1990 yılından bu yana Türkiye'nin birincil enerji arzı %180, nihai enerji talebi ise %170 artış göstermiş, bu dönemde kişi başına birincil enerji tüketimi ise yaklaşık 1 tep'den 1,8 tep seviyesine ulaşmıştır (%185 artış). Bu yüksek büyüme geçmişine karşın, Türkiye'nin kişi başına birincil enerji tüketimi halen dünya ortalamasına oldukça yakın olup, AB ortalamasının %56'sı, OECD ortalamasının ise %45'i seviyesindedir (Şekil 3.1 ve 3.2.) Nüfus artışı, genç nüfus, sanayileşme ve endüstriyel sektörlerin yapısı, kentleşme ve mobilite dinamikleri, enerji talebinde güçlü büyümeyi destekleyen başlıca faktörlerdir.

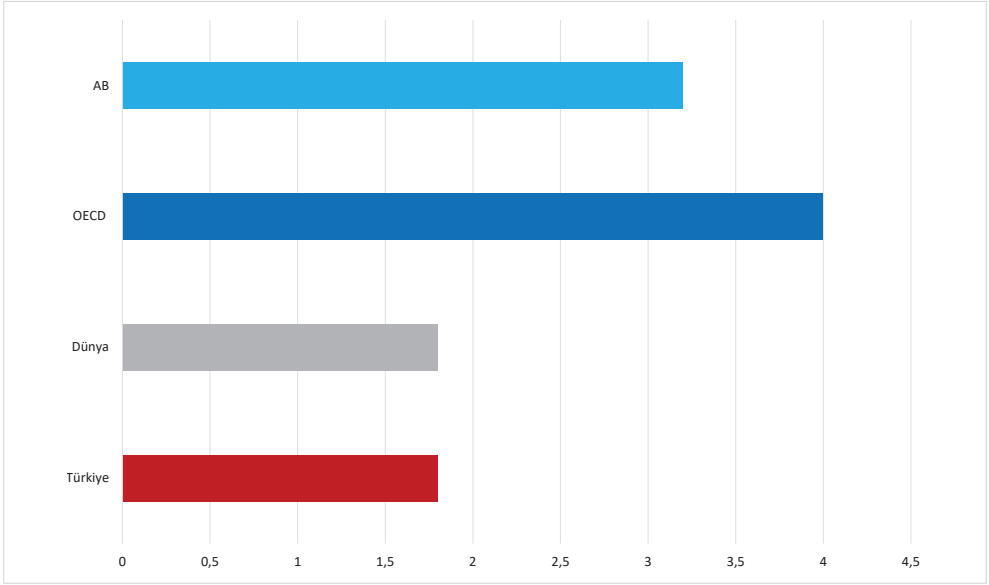
Gelişmekte olan bir ekonomi olarak Türkiye'nin enerji talebinde büyüme ile ekonomik büyüme arasındaki güçlü ilişki devam etmektedir (Şekil 3.3) Sosyo-ekonomik gelişim dinamiklerini de yansıtan bu etkileşim içerisinde sanayi sektörünün Türkiye Gayri Safi Yurt İçi Hasılası (GSYİH) içerisindeki ağırlığı ve sanayinin enerji-yoğun yapısı önemli etkenler arasındadır. Son dönemde gelişmiş ekonomilerin önemli bir bölümünde, sanayi sektörlerinin göreceli olarak daha az enerji-yoğun endüstriyel alanlara dönüşümünün ve enerji verimliliğinde sağlanan iyileşmelerin bir sonucu olarak enerji talebi büyüme hızının ekonomik büyüme hızı ile olan ilişkisi azalmıştır. 2000 yılından bu yana Türkiye ekonomisi yaklaşık üç kat büyürken enerji talebi de yaklaşık 2 kat artış göstermiştir.

Şekil 3.1. Birincil Enerji Talebi Gelişimi (1990-2021, Mtep)



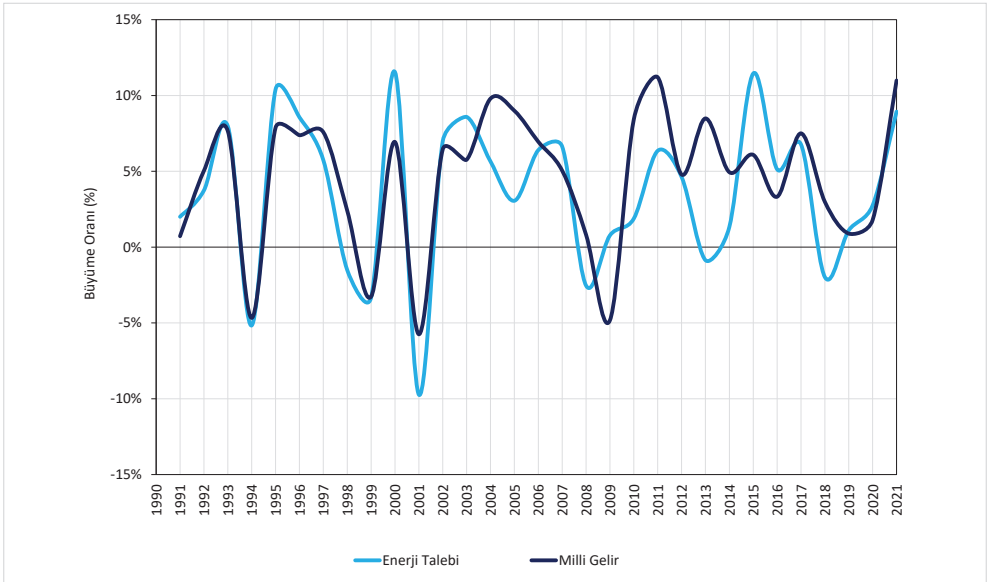
Kaynak: ETKB

**Şekil 3.2. Kişi Başına Birincil Enerji Tüketimi (2021, Mtep)**



Kaynak: OECD, IEA, ETKB

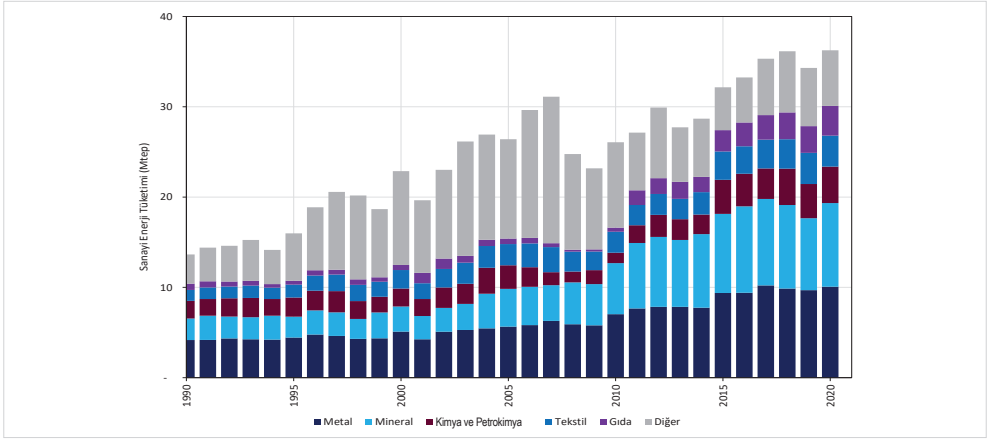
**Şekil 3.3. Birincil Enerji Talebinin GSYİH Esnekliği (1990 - 2021)**



Kaynak: ETKB, World Bank

Sanayi sektörü Türkiye ekonomisinde katma değerın yaklaşık üçte-birini oluşturmaktadır (OECD ortalaması %22 ve dünya ortalaması %28). Türkiye sanayi sektöründe enerji-yoğun sektörlerin önemli ağırlığı devam etmektedir. Sanayide tüketilen enerjinin çok büyük bölümü çimento, demir-çelik, kimya ve petrokimya, tekstil ve gıda endüstrilerinde gerçekleşmektedir. Bu beş sektörün sanayi sektörü enerji talebi içerisindeki yoğunluğu belirgin bir değişim göstermemiştir (1990 yılında %76 ve 2020 yılında %83) (Şekil 3.4). Bu yapısal karakteristiğın bir yansıması olarak, enerji verimliliğı alanında gelişen stratejiler ve yatırımların olumlu etkilerine karşın, sanayi sektörünün enerji yoğunluğu, enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki kuvvetli ilişkiyi değıştirecek oranda düşüş kaydetmemiştir.

**Şekil 3.4. Sanayide Enerji Tüketiminin Sektörel Kırılımı (1990-2021, %)**

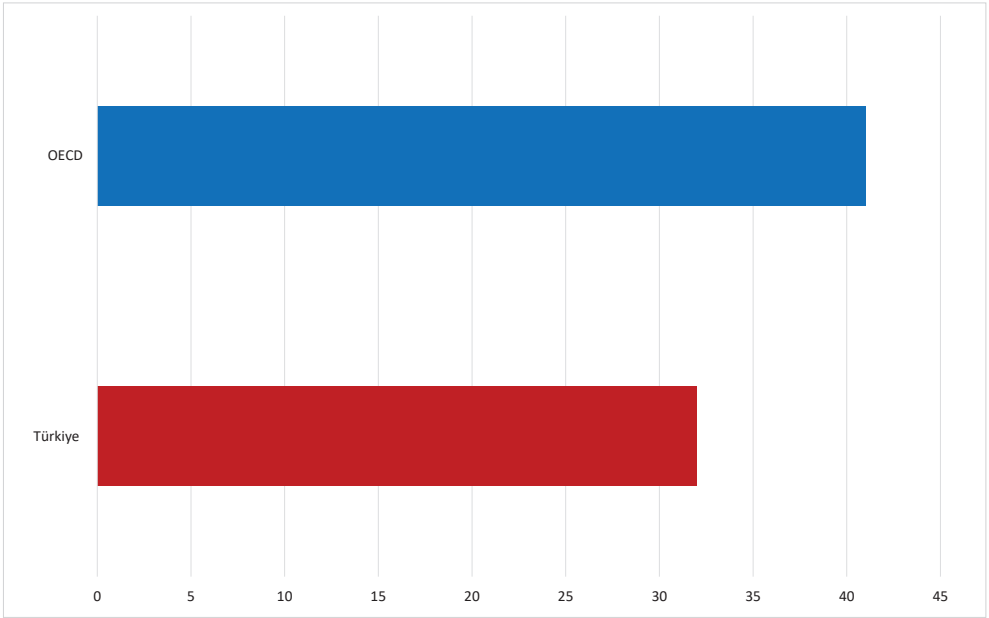


Kaynak: ETKB

Nüfus artışı ve kentleşme, enerji talebinde büyümeyi etkileyen diğer kritik faktörlerdir (IEA, 2022b). Türkiye OECD ve G-20 ülkeleri içerisinde en genç nüfusa sahip ülkelerden biridir (Türkiye 33 yaş, OECD ortalaması 41 yaş ve G-20 ortalaması 40 yaş). Türkiye'nin genç nüfusunun toplam nüfusa oranı %23 seviyesindedir<sup>1</sup> (OECD %18). Kentleşme ve kentsel dönüşüm süreçleri devam etmekte, yıllık kentsel nüfus artış hızı, toplam nüfus artış hızının oldukça üzerinde seyretmektedir (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6). Toplam nüfus içerisinde kentsel nüfusun oranı, 2021 sonu itibariyle %78'e ulaşmıştır. 2021 sonu itibariyle 84,6 milyona ulaşan Türkiye nüfusunda, 1 milyonun üzerinde nüfusa sahip illerin sayısı da artmaya devam etmektedir. Nüfus 24 ilde ise 1 milyonun üzerindedir (Şekil 3.7). Kişi başına otomobil sahipliğı halen AB ortalamasının %30'u seviyesindedir (ACEA, 2022). Ekonomik gelişimin ve artan mobilite ihtiyaçlarının destekleyicisi olan kentsel ulaşımında olduğu gibi, şehirlerarası yük ve yolcu trafiğında de hızlı artış sürmekte olup, motorlu araç parkı 2010 yılından bu yana %67 artarken karayolu ulaşım aktivitesi de %44 büyüme kaydetmiştir (KGM, 2022) (Şekil 3.8). Kentleşme ve sosyo-ekonomik gelişimin önemli bir yansıması olarak, binalarda ve ulaşımında enerji hizmetlerine olan talep hızlı artış göstermektedir.

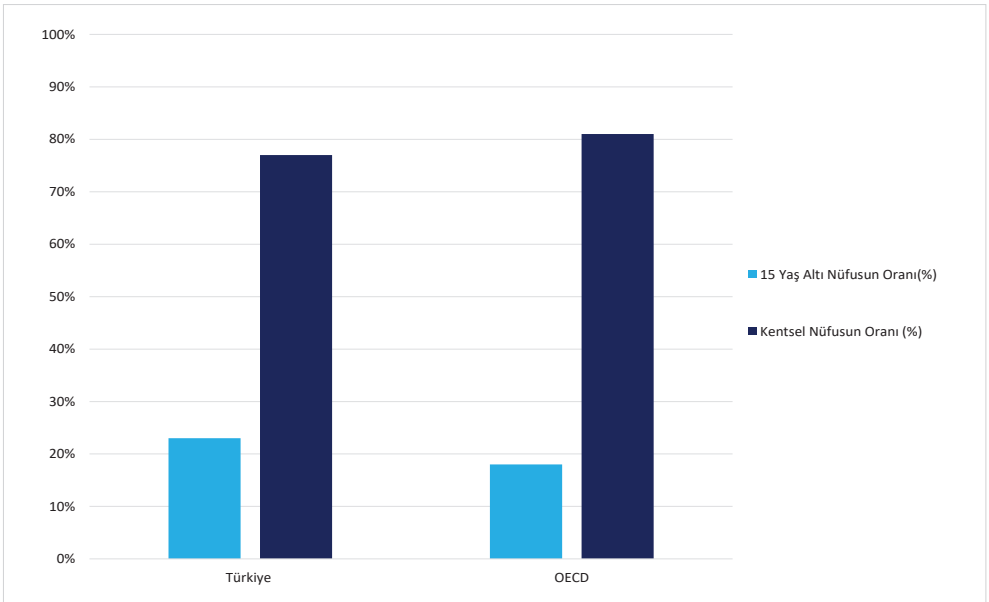
<sup>1</sup> 15 yaş altı nüfus

Şekil 3.5 Ortanca Yaş (2021, Türkiye ve OECD)



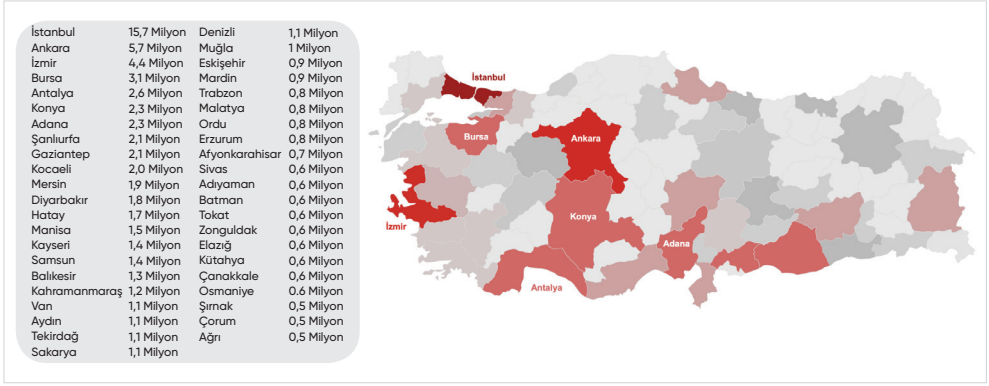
Kaynak: OECD

Şekil 3.6 Diğer Bazı Demografik Göstergelerde Türkiye ve OECD (2021)



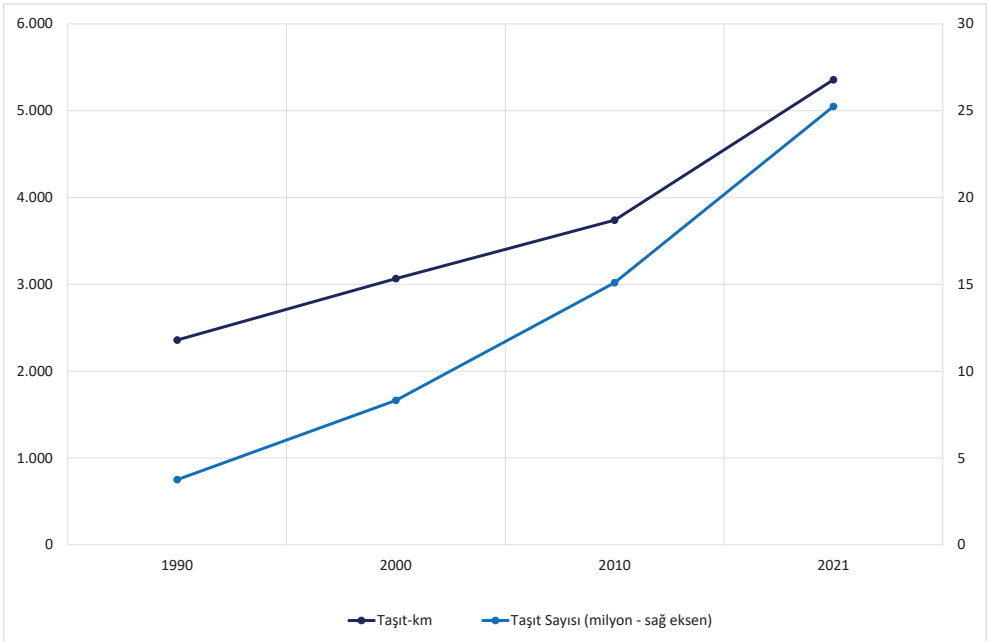
Kaynak: OECD

Şekil 3.7. İllere göre Nüfus Haritası (2021)



Kaynak: Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi, 2022

Şekil 3.8. Motorlu Taşıt Parkı ve Karayolu Ulaşım Aktivitesinin Gelişimi (1990-2021, milyon ve taşıt-km)

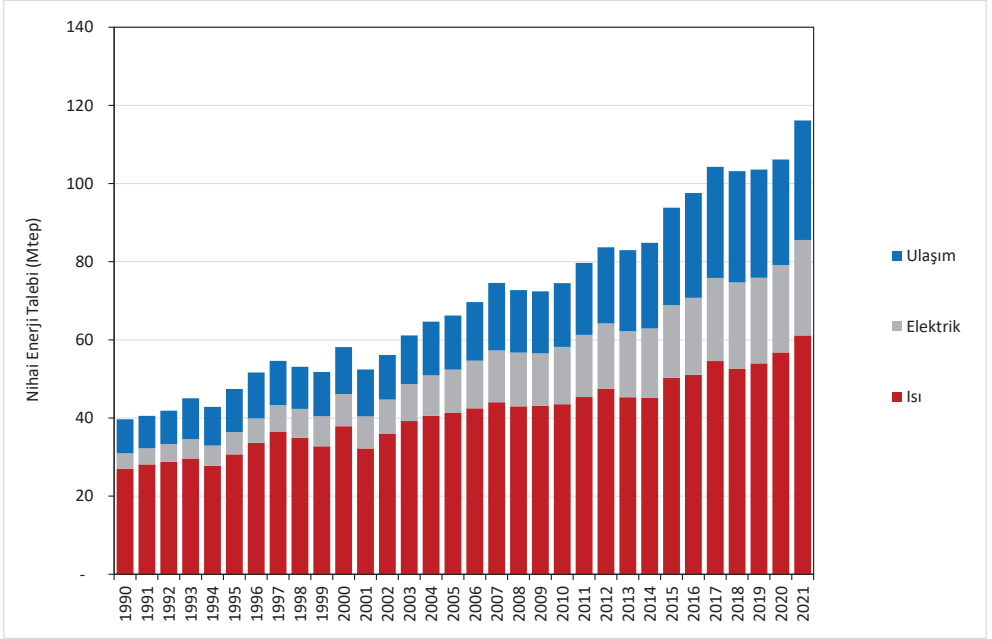


Kaynak: KGM

### 3.1.1. Nihai Enerji Talebinin Sektörel Gelişimi

Türkiye nihai enerji talebi 1990 yılından bu yana yıllık ortalama %3,3, son 10 yılda ise yıllık ortalama %3,6 artış göstermiştir. 1990 yılından bu yana sanayi enerji talebi %3,3, binalarda enerji talebi %3, ulaşım enerji talebi ile %3,8 artarken, tarım<sup>2</sup> enerji talebindeki artış oranı %3,1 seviyesinde gerçekleşmiştir (Şekil 3.9). Türkiye'nin 116,1 Mtep'e ulaşan nihai enerji talebinin %35'i binalarda, %34'ü sanayide, %25'i ise ulaştırma sektöründe gerçekleşmektedir. Tarım ise 5,0 Mtep seviyesinde olan tüketimiyle toplam nihai enerji tüketiminin %5'ini oluşturmaktadır. Nihai enerji hizmetlerine olan talebin %53'ü binalarda ve sanayide ısı formunda, %26'sı ise ulaştırma amaçlı olarak gerçekleşmektedir (2010 yılında sırasıyla %58 ve %22) (Şekil 3.10 ve Şekil 3.11) (2050 yılına kadar olan dönemde nihai enerji talebindeki gelişim perspektifine ilişkin detaylar ve senaryo analizleri Bölüm 5 ve Bölüm 7'de detaylı olarak sunulmaktadır).

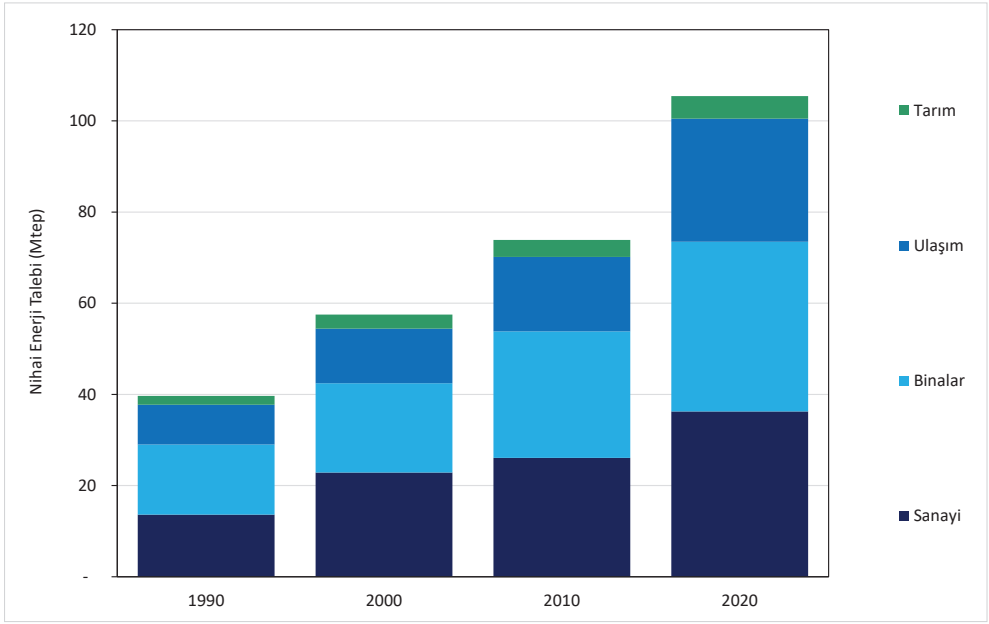
Şekil 3.9 – Nihai Enerji Talebinin Gelişimi (1990-2021, Mtep)



Kaynak: ETKB

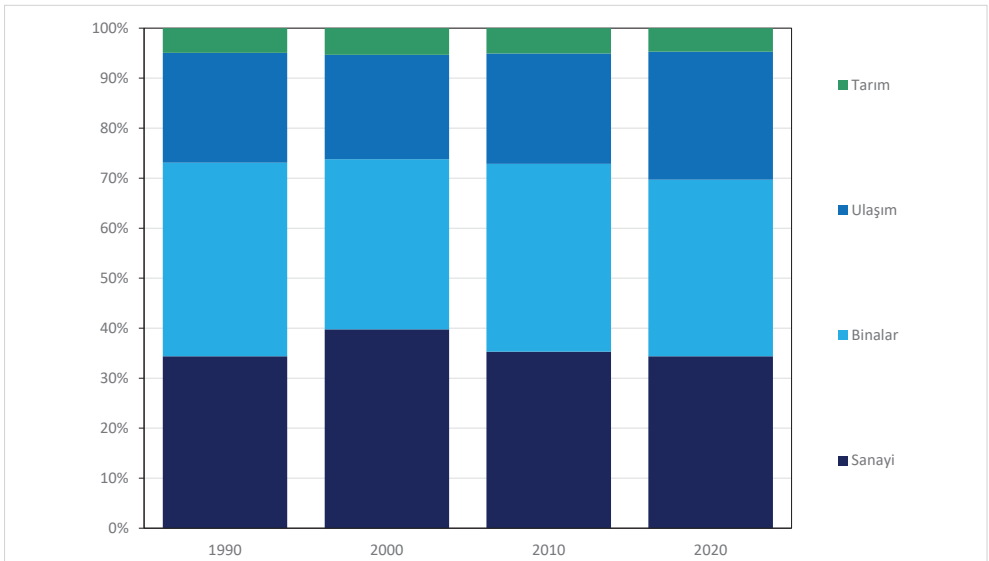
<sup>2</sup> Tarım, hayvancılık ve balıkçılık dahil

**Şekil 3.10 – Nihai Enerji Talebinin Sektörel Gelişimi (1990-2021, Mtep)**



Kaynak: ETKB

**Şekil 3.11 – Nihai Enerji Talebinin Sektörel Dağılımı (2021, %)**



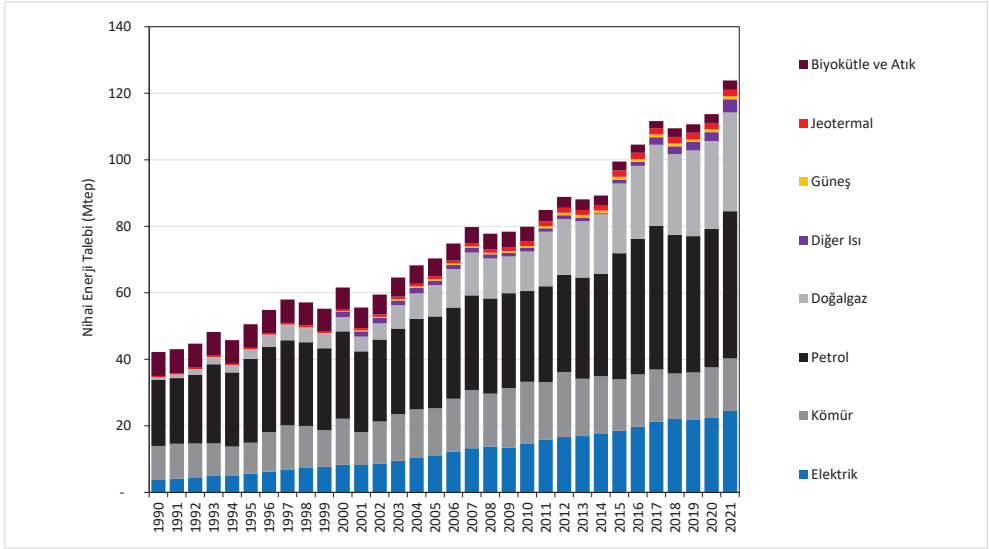
Kaynak: ETKB



### 3.1.2. Nihai Enerji Talebinin Kaynaklara Göre Gelişimi

Türkiye'nin nihai enerji talebi yıllar içerisinde kaynaklar bazında önemli değişimler göstermiş, fosil yakıtların nihai enerji talebindeki toplam ağırlığında kısmi daralma gerçekleşirken, doğal gaz özellikle binalarda kömürü geniş ölçüde ikame etmiş, elektrifikasyon güçlü bir büyüme ivmesi gösterirken, yenilenebilir enerjinin doğrudan katkısında ise kaynaklar bazında kompozisyondaki önemli değişime karşın önemli azalma gerçekleşmiştir (Şekil 3.12).

Şekil 3.12 – Nihai Enerji Talebinin Kaynaklara Göre Dağılımı (1990–2021, Mtep)

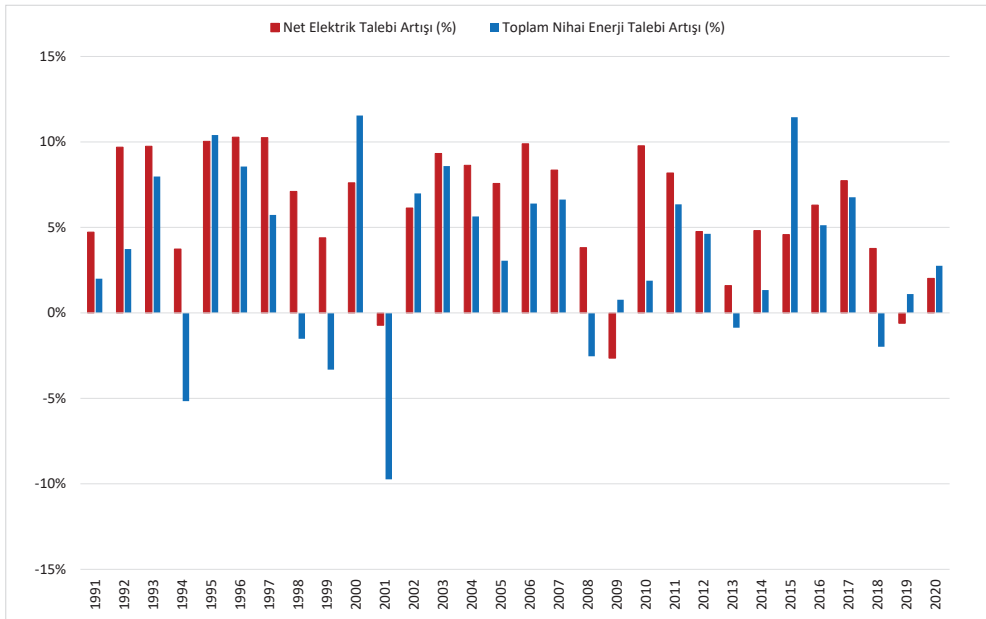


Kaynak: ETKB

- **Kömür, Petrol ve Doğal Gaz:** 1990 yılında nihai enerji talebinin 30,7 Mtep'lik bölümünü oluşturan fosil kaynaklar (%73), yaklaşık üç kat artış sonucunda günümüzde 85,9 Mtep/yıl ile nihai enerji tüketiminin %76'sına karşılık gelmektedir. Kömürün payı, özellikle bina ısıtmasında kullanımın azaltılması ile 1990 yılındaki %24 düzeyinden %13'e düşmüştür. Kömür, sanayi sektörünün enerji talebinin %27'sine (1990 yılında %50), konutlarda ve ticari binalarda ise enerji talebinin sırasıyla %16 ve %9'una karşılık gelmektedir. Ulaştırma sektörü, ağırlıklı olarak bir petrol hikayesi olmaya devam etmekte olup, petrolün ulaştırma sektörü enerji talebindeki payı %98 seviyesindedir. Doğal gazın nihai enerji talebindeki payı ise özellikle binalarda ısınma amaçlı yaygın kullanımı hedefleyen stratejilerin sonucunda 1990 yılından bu yana %2'den %23'e yükselmiştir. Bu dönemde doğal gazın binaların enerji tüketimindeki payı %3'den %50'ye, sanayi enerji talebindeki payı ise %5'den %25'e ulaşmıştır.

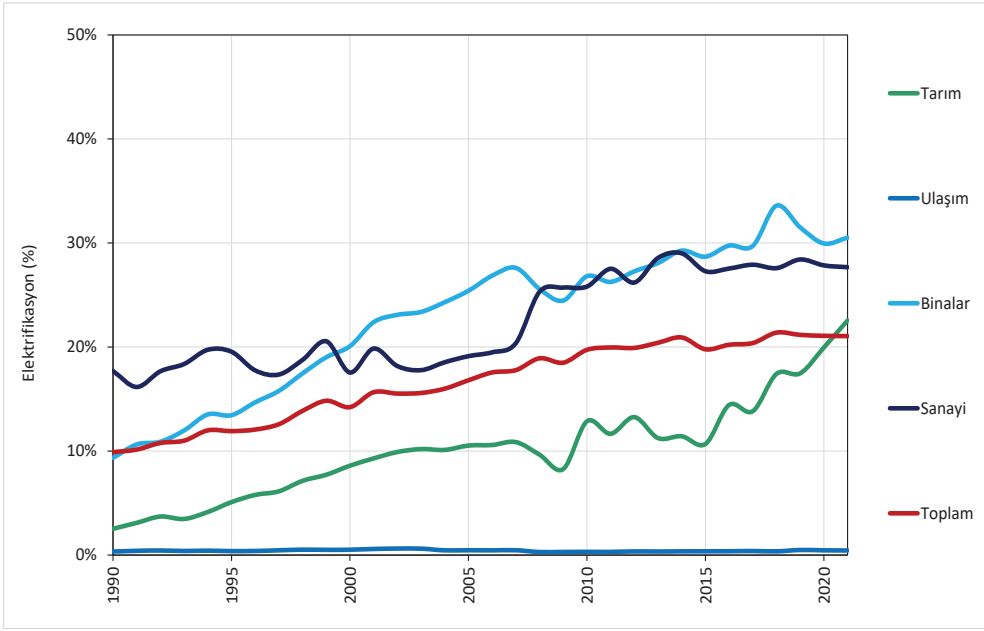
- **Elektrik:** Ekonomik ve sosyal gelişimin doğrudan bir yansıması olarak, tüm dünyada olduğu gibi elektrifikasyon trendi güçlü seyretmeye devam etmektedir. 1990 yılından bu yana net elektrik enerjisi talebi, yıllık ortalama %6 artış hızı ile nihai enerji talebindeki artış hızının yaklaşık iki kat üzerinde büyümüştür (Şekil 3.13). Bunun sonucunda, elektrik enerjisinin nihai enerji talebinde 1990 yılında %9 olan payı, 2000 yılında %13'e, 2010 yılında %18'e ulaşırken, günümüzde her beş birim enerjinin bir birimi elektrik formunda tüketilmektedir (Şekil 3.14). Elektrik enerjisi binaların enerji talebinde %30'luk katkı ile en fazla paya sahip kaynak olup, sanayi enerji talebinin %27'sine, tarımda toplam enerji tüketiminin ise beşte-birine karşılık gelmektedir. Elektrik enerjisinin ulaştırma sektörü enerji talebindeki payı ise, raylı ulaşımda elektrifikasyonun yaygınlaşmasına ve son dönemde elektrikli karayolu ulaşımında atılan önemli adımlara karşın halen %1 seviyesindedir (Elektrik talebinin gelişim perspektifi, nihai enerji tüketiminde diğer kaynaklar ile birlikte Bölüm 5, Bölüm 6 ve Bölüm 7'de detaylı olarak sunulmaktadır).

**Şekil 3.13 – Nihai Enerji Talebi ve Net Elektrik Talebi Büyüme Hızları (1990–2020, %)**



Kaynak: ETKB

Şekil 3.14. Enerji Tüketicisi Sektörlerde Elektrifikasyon Oranları (1990-2021, %)



Kaynak: ETKB

- **Yenilenebilir Enerji:** Yenilenebilir enerjinin 1990 yılında ağırlıklı bölümü geleneksel biyokütle kaynaklardan gelmek üzere nihai enerji talebinde %18 olan doğrudan katkısı, günümüzde %5'e gerilemiştir<sup>3</sup>. Bu dönemde biyokütlenin nihai enerji talebinde %18 olan payı %3'e düşerken, jeotermal enerjinin payı %1'den %2'ye yükselmiştir. 1990 yılında nihai yenilenebilir enerji talebinin çok küçük bir bölümünü oluşturan güneş enerjisinin payı ise günümüzde %1 seviyesinde gerçekleşmektedir. Nihai enerji tüketiminde 5,4 Mtep düzeyine ulaşan büyüklüğü ile yenilenebilir enerji, binalarda toplam nihai enerji talebinin %9'una, tarımda %13'üne ve sanayide %3'üne karşılık gelmektedir (Detaylar için lütfen Bölüm 4'e bakınız.)

<sup>3</sup> Yenilenebilir enerji kompozisyonunda özellikle jeotermal ve güneşte büyüme ile birlikte önemli değişim gerçekleşmektedir. İlgili dinamikler ve gelecek perspektifine senaryo analizleri ilerleyen bölümlerde sunulmaktadır. Türkiye, yenilenebilir enerjinin nihai enerji talebinde doğrudan kullanımında güçlü büyüme potansiyeline sahip olup, bu çalışmada elektrik üretimine ek olarak nihai tüketim sektörlerindeki büyüme potansiyeli ve fırsatlar da detaylı olarak irdelenmektedir.

### 3.2. Enerji Arzının Gelişimi

Türkiye'nin birincil enerji arzı, nihai enerji talebindeki büyüme ile orantılı olarak gelişmeye devam etmektedir. 150 milyon tep seviyesine ulaşan birincil enerji arz büyüklüğü içerisinde petrol %29 ile en ağırlıklı paya sahip olup, bunu %28 ile kömür ve %27 ile doğal gaz izlemektedir. Elektrik üretim portföyünün yapısı, son dönemde özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı gerçekleşen büyüme ile birlikte daha az ithal kaynak yoğun ve daha düşük karbon-yoğun bir yapıya doğru ilerlemekle birlikte, özellikle nihai enerji tüketiminde fosil yakıtların doğrudan kullanımına ilişkin dinamiklerin bir sonucu olarak, birincil enerji arzında fosil kaynakların payı %83 (1990 yılında %82), ithal fosil kaynakların toplam payı ise %70 seviyesindedir (Şekil 3.15). Yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı %40-45 seviyelerindeyken, toplam birincil enerji arzının ise sadece %17'si yenilenebilir enerjiden sağlanmaktadır.

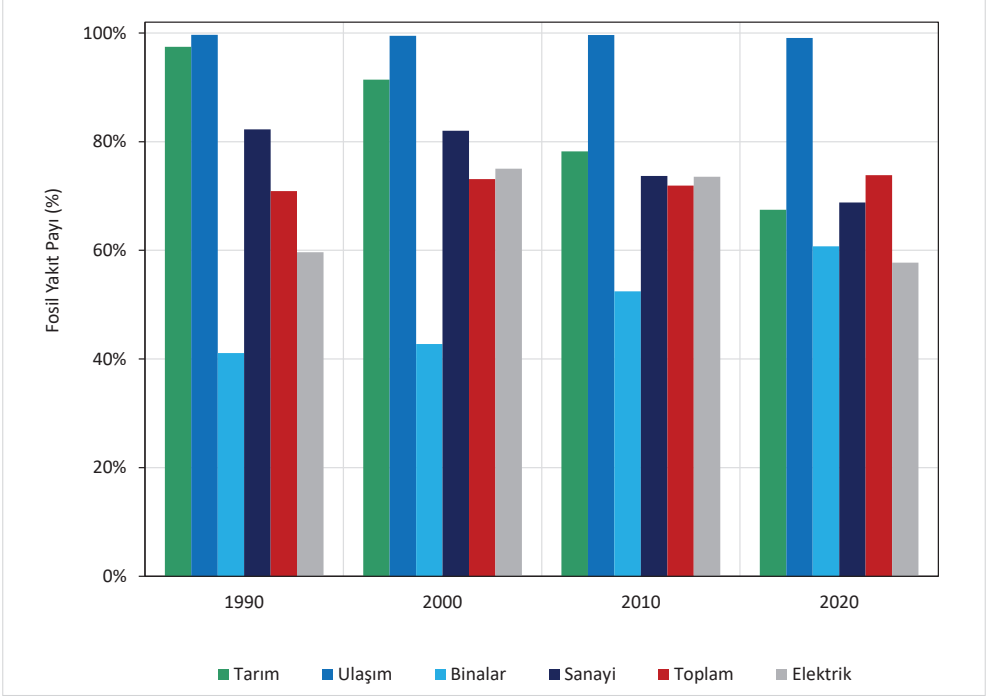
İthal fosil-yakıt ağırlıklı birincil enerji arzı yapısının Türkiye enerji sektörünün sürdürülebilir büyümesi bakımından iki kritik yansıması olmaktadır (Sabancı Üniversitesi IICEC, 2020):

- **Enerji Güvenliği ve Maliyetler:** Birincil enerjide yerli üretimin arzı karşılama oranı ise halen kömürde %40'ın, petrolde %10'un altında olup doğal gazda ise sadece %1'dir. Fosil yakıt ithalatının birincil enerji arzındaki ağırlıklı payı, enerji arzında yerli kaynakların payının artırılmasına ve ithal kaynaklarda daha yüksek çeşitlendirmeye yönelik stratejilerde, fosil yakıt fiyat değişimlerini de yansıtan enerji ithalat faturasında ve cari işlemler dengesinde, Türkiye enerji piyasalarındaki girdi maliyetlerinde, dolayısıyla da piyasa ve nihai tüketici fiyatlarının gelişiminde belirleyici olmaktadır.
- **Sera Gazı Emisyonları ve Temiz Enerji Dönüşümü:** "Net-sıfır emisyon" perspektifi<sup>4</sup>, enerji sektöründen kaynaklı emisyonların ve emisyon yoğunluğunun hızla azaltılmasını gerektirmektedir. Birincil enerji arz portföyünün yapısında bununla uyumlu bir dönüşümün sağlanabilmesi, temiz enerji dönüşümüne yönelik küresel ve bölgesel açılımlar ve Türkiye enerji ekonomisinin sürdürülebilir rekabetçiliği bakımından da daha kritik konuma gelmektedir.

---

<sup>4</sup> Detaylar için lütfen Bölüm 3.6'ya bakınız.

Şekil 3.15. Enerji Sisteminde Fosil Kaynak Ağırlığı (1990–2021, %)

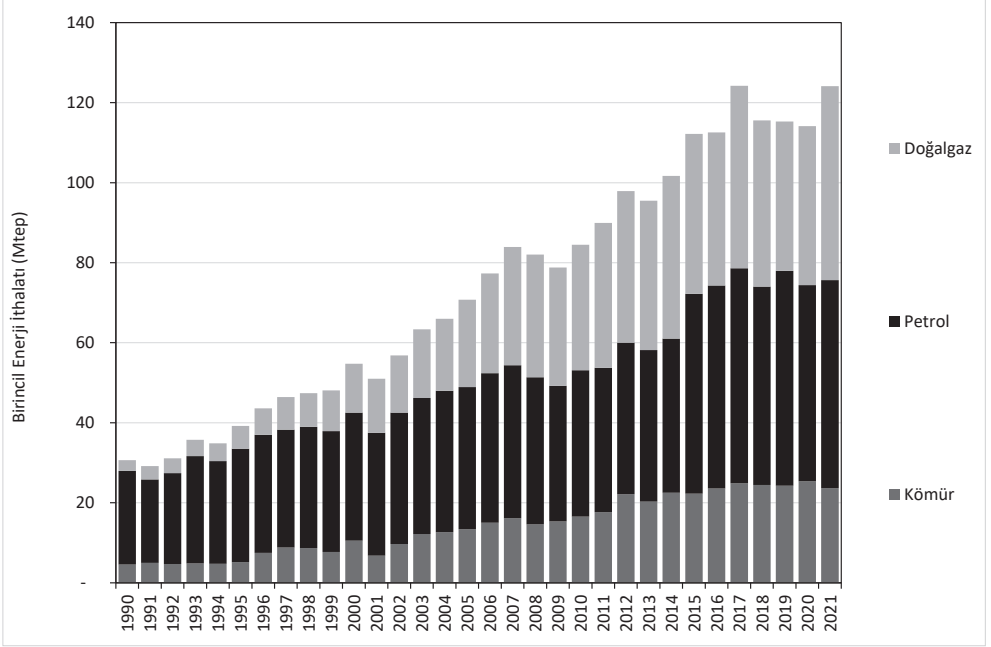


Kaynak: ETKB

### 3.3. Enerji İthalatı

1990 yılında 30,6 Mtep ve birincil enerjinin %58'i olan birincil enerji ithalatı, 2021 yılında 114,3 Mtep'e ulaşırken birincil enerji arzının %72'lik bölümü ithal fosil yakıtlardan karşılanmıştır. Bu dönem içerisinde fosil yakıt ithalatında doğal gazın payı hızla artarak %8'den %35'e gelirken, kömürün ve petrolün toplam fosil yakıt ithalatına katkısı sırasıyla %22 ve %45 olarak gerçekleşmektedir. Yüksek talep artışına karşın yerli üretimde önemli bir büyüme gerçekleşmiş olmakla birlikte, son otuz yıllık dönemde birincil enerji arzının ithalat yoğunluğunda belirgin bir azalma oluşmamıştır (Şekil 3.16). Enerji ithalatının ana bileşenlerini, doğal gazın elektrik üretiminde, binalarda ve sanayide kullanımı ve ulaşım sektörü için ham petrol girdisi ve dizel tüketimi oluşturmaktadır.

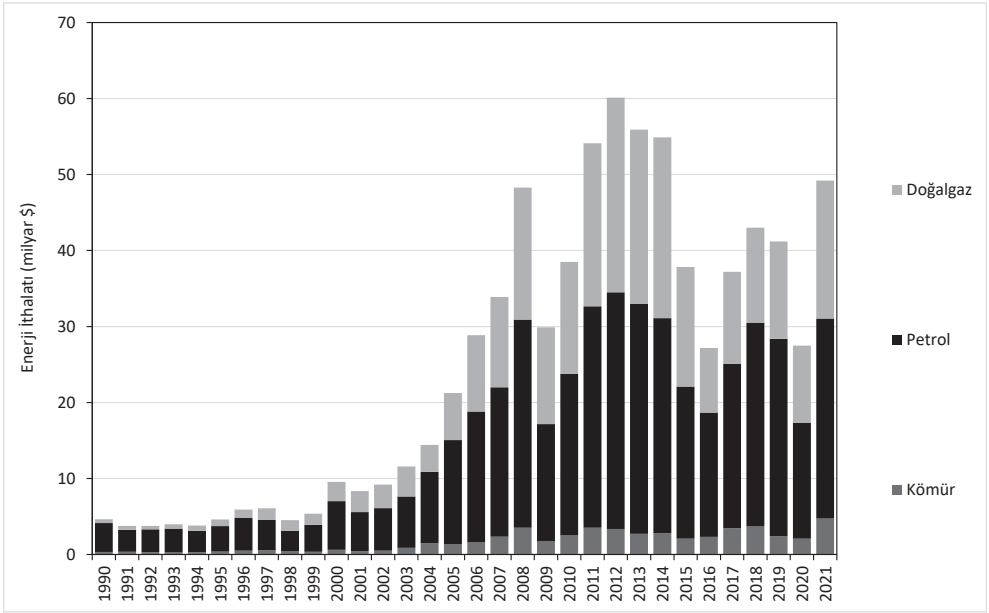
Şekil 3.16. Kaynaklara Göre Birincil Enerji İthalatı (1990–2021, Mtep)



Kaynak: ETKB

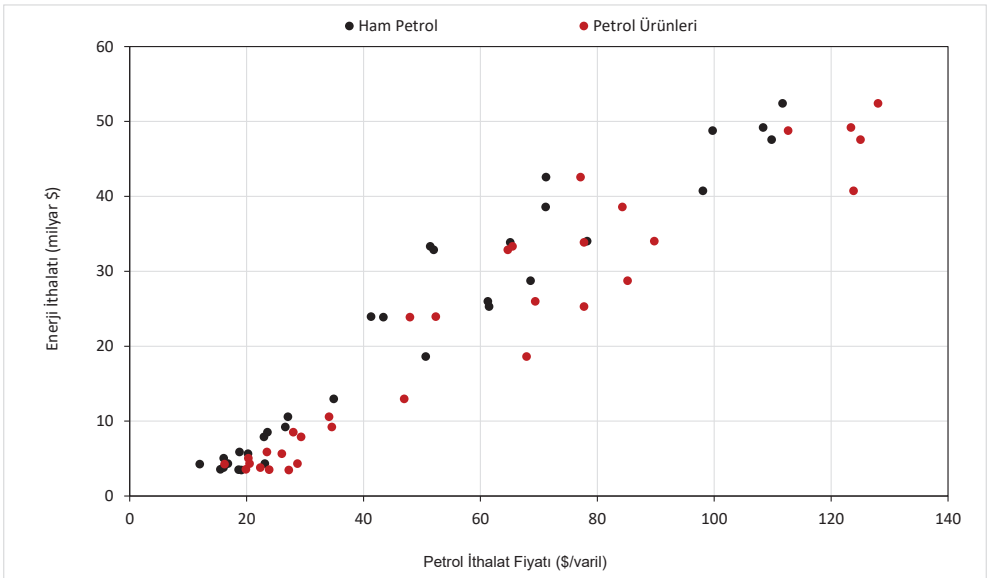
Enerji ithalat faturası, fosil yakıtların birincil enerji bileşimindeki payı ile orantılı olarak yüksek seviyelerde gerçekleşmeye devam etmektedir. Bu fatura, küresel ve bölgesel piyasalarda fosil yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalara oldukça duyarlıdır. Yıllık enerji ithalatı, 2011–2014 arası dönemde 50 milyar \$ seviyesinin üzerine çıkarken, 2010–2020 arası dönemde ortalama 30–40 milyar \$ olarak kaydedilmiştir. IICEC analizlerine göre son dönemde enerji ithalat faturasının yaklaşık %55'i petrolden, %43'ü ise doğal gazdan kaynaklanmıştır. Son dönemde, doğal gaz ithalat kompozisyonunda petrol fiyatları ile olan ilişkinin kısmen azalması ve petrol ürünleri marjlarında değişimlerin etkisiyle, enerji ithalat faturası ile Brent petrol göstergesi arasındaki ilişki kısmen zayıflamış, Avrupa doğal gaz fiyatlarının etkisi güçlenmiştir. Mevcut arz portföyünün yapısı içerisinde, 100 \$/varil civarında Brent petrol fiyatının 2022 yılında 100 milyar \$/yıl üzerinde ithalat faturası ile sonuçlandığı görülmektedir (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18).

**Şekil 3.17. Kaynaklara Göre Birincil Enerji İthalat Faturası (1990-2021, Mtep)**



Kaynak: IICEC Analizleri

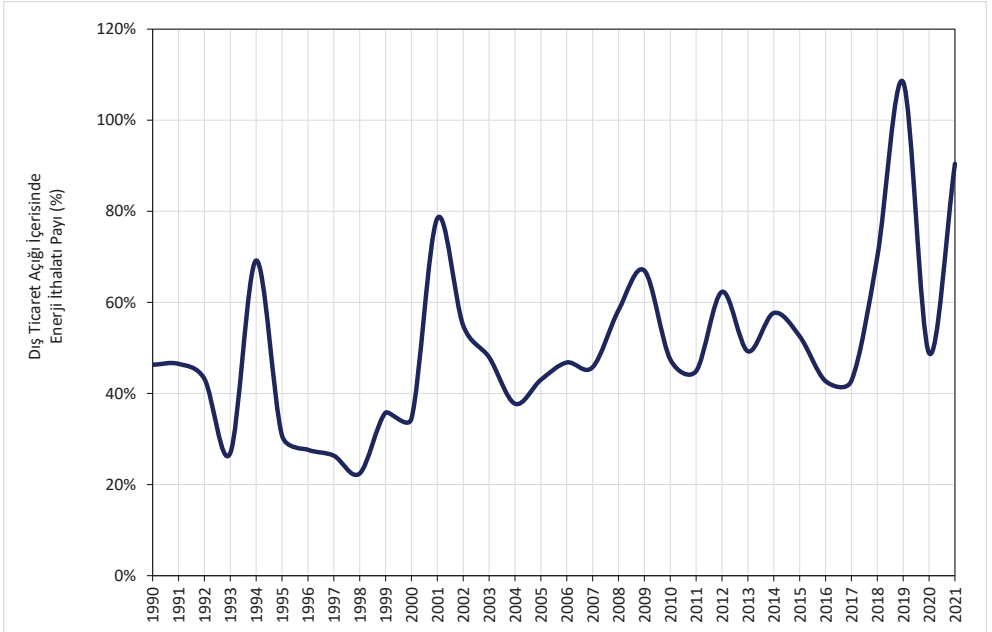
**Şekil 3.18. Enerji İthalat Faturası ve Ortalama Brent Petrol Fiyatı (2000 - 2020, milyar ABD\$ ve ABD\$/varil)**



Kaynak: TCMB İstatistikleri

Enerji ithalatı, ticaret aktivitesi hızla büyüyen Türkiye ekonomisinin dış ticaret dengeleri içerisinde de önemli paya sahiptir. Geçmiş otuz yıllık dönemde dış ticaret açığının yaklaşık yarısı enerji ithalatından gelirken, 2021 yılında enerji ithalatı 47,1 milyar \$ olarak gerçekleşen dış ticaret açığının %90'una karşılık gelmiştir (Şekil 3.19). Yine aynı dönemde cari işlemler dengesi enerji ithalatı hariç tutulduğunda çoğunlukla pozitif seyrederken, cari işlemler açığının büyük bölümünü enerji ithalatı oluşturmuştur (Şekil 3.20). Son dönemde jeopolitik gelişmelerin de sonucu olarak, Bölüm 2'de de sunulduğu üzere emtia fiyatlarında yüksek artış trendi, enerji ithalat faturasında çok hızlı bir büyümeyi beraberinde getirmiştir. 2022 ilk 9 ayı içerisinde enerji ithalatı 2021 yılının aynı dönemine göre %135 artarak 85 milyar \$'a ulaşmıştır. 2022 yılı toplam enerji ithalat faturasının 100 milyar \$ seviyesini aşabileceği öngörülmektedir. IICEC analizlerine göre, yıllık enerji ithalatının yaklaşık yarısı elektrik üretimi ve karayolu ulaşımı kaynaklı gerçekleşmekte olup, elektrik üretiminde yenilenebilir enerji gelişimi ve ulaştırma sektörü ve binalar başta olmak üzere tüm enerji tüketicisi sektörlerde temiz enerjiye dayalı elektrifikasyonun güçlenmesi, Türkiye'nin daha güvenli ve temiz enerji geleceği için enerji ithalatı ile ilgili arz güvenliği ve maliyet risklerinin yönetimi bakımından en kritik başarı faktörlerinden biri olacaktır (Şekil 3.21) (Detaylar için lütfen sonraki bölümlere bakınız).

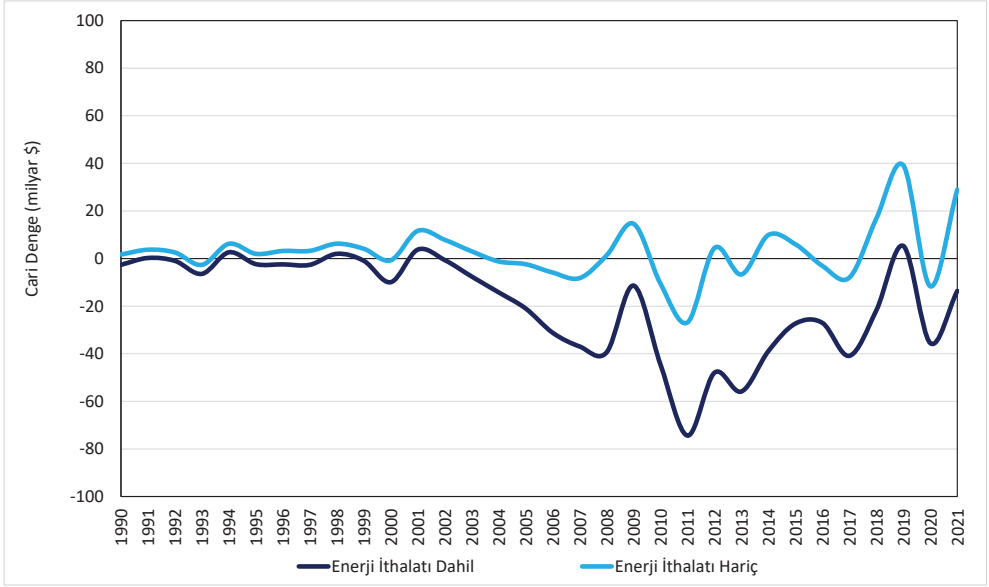
**Şekil 3.19. Enerji İthalatı ve Dış Ticaret Açığı (1990-2021)**



Kaynak: TÜİK

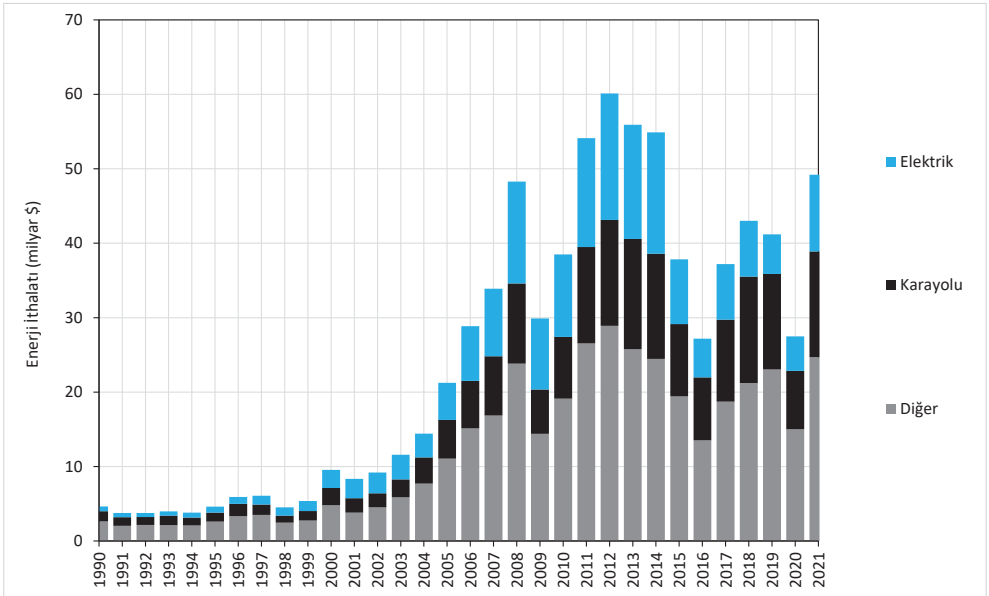


Şekil 3.20. Cari İşlemler Dengesi ve Enerji İthalatı Etkisi (1990-2021%)



Kaynak: TCMB

Şekil 3.21. Enerji İthalatının Sektörel Kullanımına göre Kırılımı (1990-2021, milyar \$)

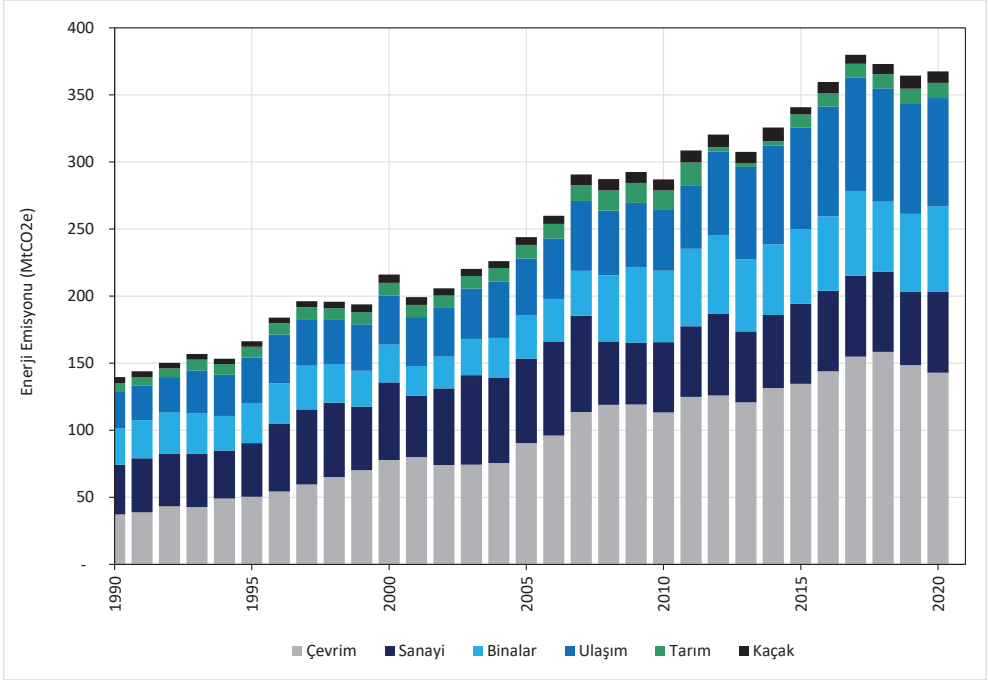


Kaynak: IICEC Analizleri

### 3.4. Enerji Sektöründen Kaynaklı Emisyonlar

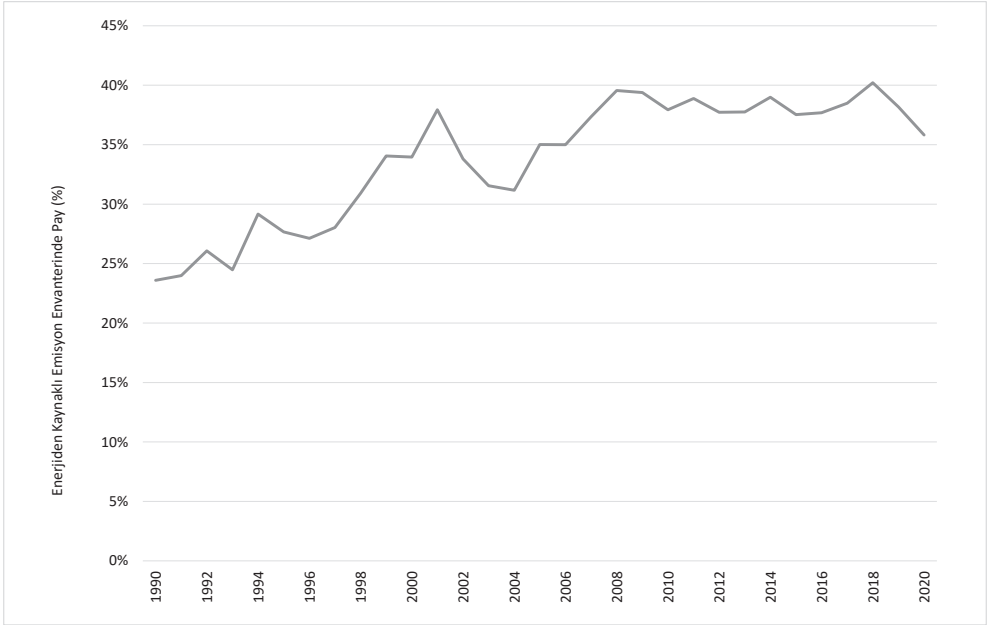
Türkiye enerji sisteminde fosil kaynakların ağırlıklı payı, enerjiden kaynaklı emisyonlarda hızlı artışı beraberinde getirmiştir. 1990 yılında 139,6 milyon ton CO<sub>2</sub>e (MtCO<sub>2</sub>e) olan enerji kaynaklı emisyon envanteri 2020 yılına kadar olan dönemde %163 artışla 367,6 milyon ton CO<sub>2</sub>e üzerine ulaşmıştır (Şekil 3.22). (UNFCCC, 2022). Bu dönemde emisyonlardaki kümülatif artış oranı, birincil enerji arzındaki büyüme ile benzer seviyede gerçekleşmiştir. Çevrim sektörünün emisyon envanteri içerisindeki payı bu dönemde %17'den %27'ye çıkarken, tamamına yakını petrol ürünlerine dayalı olan ulaştırma sektörü emisyon büyüklüğü bakımından en büyük ikinci sektör durumundadır (%15). Sanayi ve binalar, emisyon envanteri içerisindeki %12'şer paya sahiptir (Şekil 3.22 ve Şekil 3.23).

Şekil 3.22. Enerji Sektöründen Kaynaklı Sera Gazı Emisyon Envanterinin Gelişimi (1990 – 2020, MtCO<sub>2</sub>e)



Kaynak: ÇŞB

**Şekil 3.23. Elektrik ve Isı Üretimi Emisyonlarının Enerji Emisyonları İçerisindeki Payının Gelişimi (199-2020, %)**

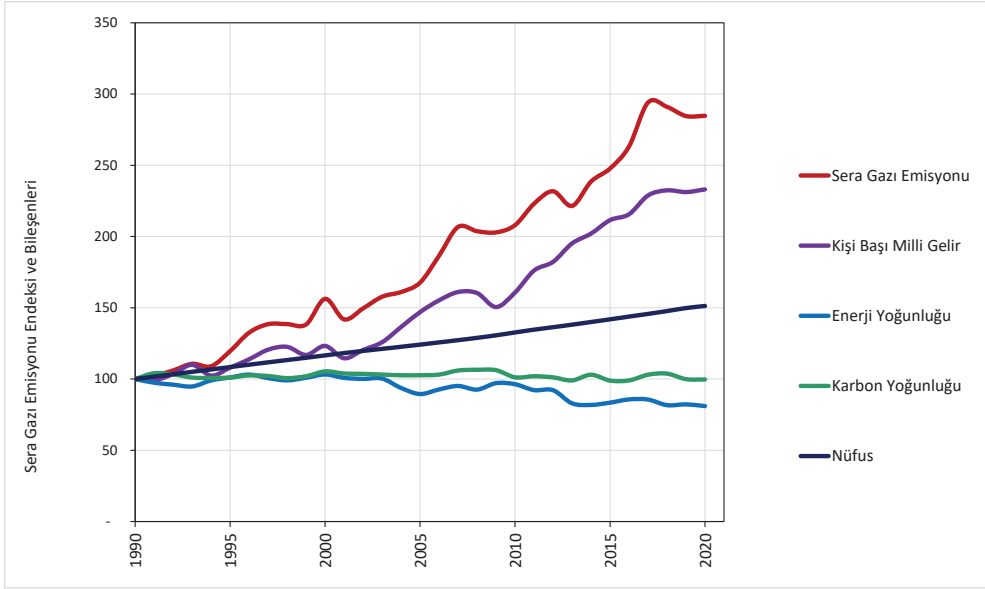


**Kaynak:** IICEC Analizleri

Emisyon yoğunluğunun gelişimi kapsamında bir değerlendirme yapıldığında ise elektrik üretiminde emisyon yoğunluğundaki iyileşmenin enerji sektörünün geneline kıyasla daha görünür olduğu görülmekle birlikte, elektrik üretiminin emisyon yoğunluğunda da belirgin bir düşüş olmadığı görülmektedir. Elektrik sektöründe yenilenebilir enerjinin katkısının kaynaklar bazında bileşimi 1990 yılından bu yana önemli şekilde değişmekle birlikte, halen %35-45 aralığında seyretmeye devam etmektedir. Toplam nihai enerji tüketiminde fosil kaynakların payı da son otuz yıllık dönemde %80-85 bandında gerçekleşmeye devam etmektedir (Detaylar için lütfen Bölüm 4'e bakınız).

Emisyonların gelişiminde belirleyici unsur, ekonomik büyüme ve büyümeye girdi oluşturan enerji arzının karbon-yoğun yapısının devam etmesidir. Türkiye enerji sisteminde, gerek enerji yoğunluğu (birim GSYİH başına harcanan enerji), gerekse de karbon yoğunluğu (birim enerji tüketimi başına harcanan enerji) parametrelerinde, enerji verimliliği, elektrik üretiminde yenilenebilir enerjiye yönelim ve sektörlerde artan oranda elektrifikasyon ile iyileşmeler sağlanmıştır. Bununla birlikte, emisyonların ekonomik büyüme ile güçlü ilişkisi sürmektedir (Şekil 3.24). Gelişmekte olan enerji ekonomilerinde yaygın olarak gözlemlenen bu yakın ilişki, temiz enerji dönüşümü odaklı bölgesel dinamikler içerisinde ekonomik büyümenin rekabetçiliği bakımından da daha kritik duruma gelmektedir.

**Şekil 3.24. Enerjiden Kaynaklı Sera Gazı Emisyon Envanteri Gelişimine Bakış (1990=100)**



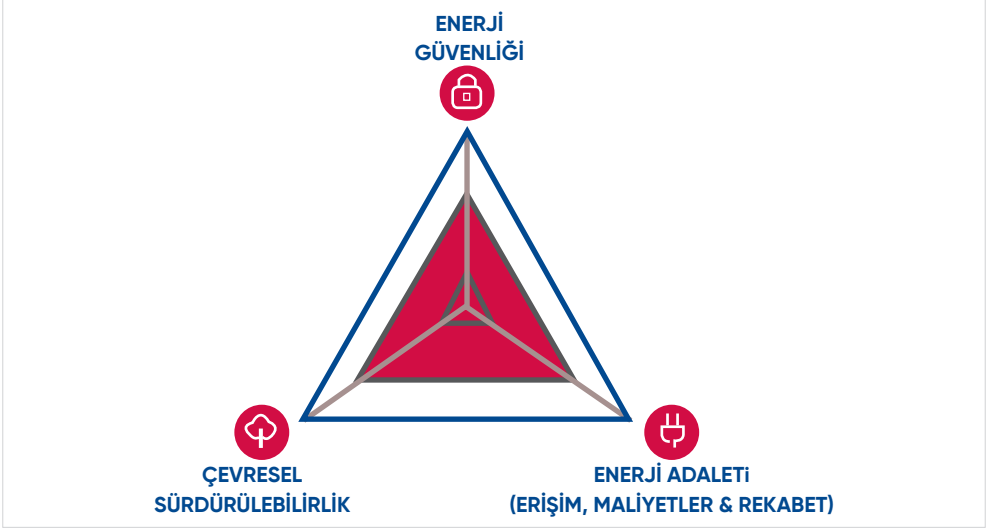
Kaynak: IICEC Analizleri

### 3.5. Enerji Stratejilerinde Türkiye'nin Öncelikleri ve Kritik Trendler

Bölüm 2'de sunulduğu üzere, dünya artan enerji maliyetleri ve tedarik zincirlerindeki zorluklar ile birlikte tarihin ilk enerji krizini yaşamaktadır. Enerjiye erişim riskleri, enerji maliyetlerinin makro ekonomik etkileri gibi pek çok alanda etkisini sürdüren bu kriz döneminde, enerji güvenliğini güçlendirmeye yönelik stratejilerin önemi artmakta, iklim değişikliği ile mücadele hedefleri ve temiz enerji dönüşümü vizyonu da geçerliliğini korumaktadır. Daha güvenli ve temiz enerji geleceğinin kesişiminde, yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, ulaşımda ve binalarda özellikle e-mobilite ve ısı pompası çözümleri ile yaygın elektrifikasyona ek olarak emisyon yoğunluğu görece daha zorlu olan alanlarda hidrojen, karbon yakalama ve depolama gibi yenilikçi alanlar öne çıkarken, yeni sanayi paradigması içerisinde temiz enerji teknolojilerinin gelişimi ve tedariki de rekabetçiliğin temel unsurlarından birisi durumuna gelmektedir.

Güvenli ve temiz enerji geleceğinin sağlanabilmesi, enerji tüketicisini odağına alan bir dönüşümü gerektirirken, enerjinin maliyet, fiyat ve rekabetçilik unsurlarının da enerji ekosisteminin genelinde ekonomik ve sosyal gelişimi ve sürdürülebilir büyümeyi güçlendirecek şekilde dikkate alınması ile mümkün olacaktır (Şekil 3.25). Güvenli enerji, temiz enerji ve rekabetçi enerji üçlemesi içerisinde azami ekonomik ve toplumsal fayda, söz konusu her üç alanda birbirini destekleyen stratejilerin, yatırımların, piyasa kurgularının, iş modellerinin ve teknolojilerin gelişimi ile sağlanabilecektir.

Şekil 3.25. Enerjide Üçlü Hedef Seti



Kaynak: World Energy Council'den uyarlanmıştır

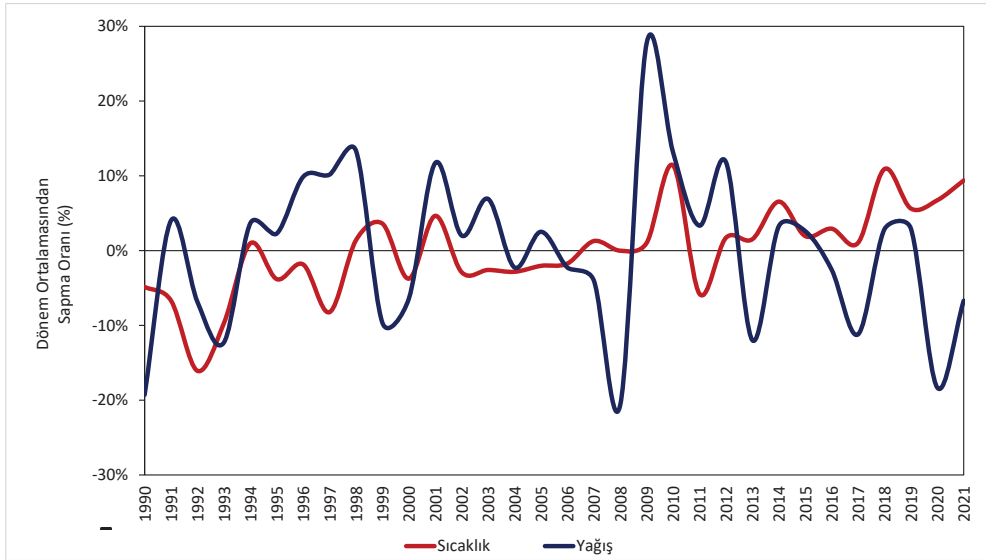
Türkiye'nin enerji ve iklim geleceğine yönelik temel politika belgeleri ve hedefleri aşağıda özetlenmektedir.

- **Enerji Planı Taslağı:** Türkiye'nin enerji güvenliği hedefleri ve 2053 Net-sıfır emisyon perspektifine yönelik kapsamlı bir enerji planının açıklanması beklenmektedir. Planda enerji arzı ve talabına ilişkin sayısal hedeflerin yer alması öngörülmektedir.
- **Niyet Edilen Ulusal Katkı (NDC):** COP 27 Konferansında açıklanan Ulusal Katkı Beyanı 2030 yılında mevcut trendlerin ve politikaların devamına göre %41 azaltım öngörmekte, mevcut t emisyon envanteri ile karşılaştırıldığında ise 2030 yılına kadar %32 mutlak artışa işaret etmektedir. Türkiye ayrıca toplam emisyonların 2038 yılında tepe noktasına ulaştırılması hedefini beyan etmiştir.
- **11.Kalkınma Planı (2019-2023):** Enerjide arz güvenliğinin güçlendirilmesini, enerji piyasalarının gelişimini, enerji verimliliğini, yenilenebilir enerjiyi, nükleer elektrik üretimini, elektrik altyapısının gelişimini ve doğal gaz ve petrolde Türkiye'nin bölgesel konumunun güçlendirilmesini hedefleyen Plan, 2023 yılında Türkiye'nin birincil enerji arzının 174,3 Mtep, brüt elektrik talebinin ise 375,8 TWh seviyesine ulaşmasını, yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payının %39'a çıkmasını hedeflemektedir (2018 yılında sırasıyla 148,0 Mtep, 303,3 TWh ve %33). Yenilenebilir enerjinin katkısı 2018-2022 döneminde yükselmiş olup, buna ilişkin detaylar Bölüm 4'te sunulmaktadır.

- **12. Kalkınma Planı (2024-2028):** 2024-2028 dönemine yönelik Kalkınma Planı hazırlıkları başlamış olup, enerji arz güvenliği, verimlilik, enerji teknolojilerinin gelişimi ve yaygınlaştırılması alanlarında hedeflerin ve net-sıfır emisyon hedefine yönelik unsurların, Planın önemli bileşenleri arasında yer alması beklenmektedir.

Diğer taraftan, Bölüm 2'de belirtildiği üzere, Akdeniz havzası iklim değişikliğinin etkileri en fazla duyarlı bölgeler arasında yer almakta olup, IPCC tarafından yapılan en son çalışmalarda, 2 °C ve üzeri küresel sıcaklık artışı durumunda Türkiye'nin de içinde olduğu Akdeniz Havzasında, kuraklık ve sıcaklık artışları, yağışlarda azalma ve rüzgar hızında azalma gibi etkiler öngörülmektedir. Yüksek sıcaklık dönemleri ve hidrolojik koşullarda bozulma, aşırı iklim olayları içerisinde öne çıkan dinamiklerdir (IPCC, 2022a; IPCC, 2022b). Son dönemde, uzun dönemli ortalamalara göre sıcaklıklarda belirgin bir artış trendi gözlenirken, yağışlarda da geçmiş yıllar ortalamalarına göre önemli düşüşler gerçekleşmektedir. Bu durum, enerji sisteminin iklim değişikliğinin etkilerine karşı dayanıklılığını artırabilecek stratejilerin önemini pekiştirirken, hidroelektrik üretiminde azalma ve elektrik talebinde soğutma kaynaklı artış gibi uzun dönemli etkileri de beraberinde getirebilecektir (Şekil 3.26).

**Şekil 3.26. Sıcaklık ve Yağışlarda Ortalamalara göre Değişim (1990-2021, %)**



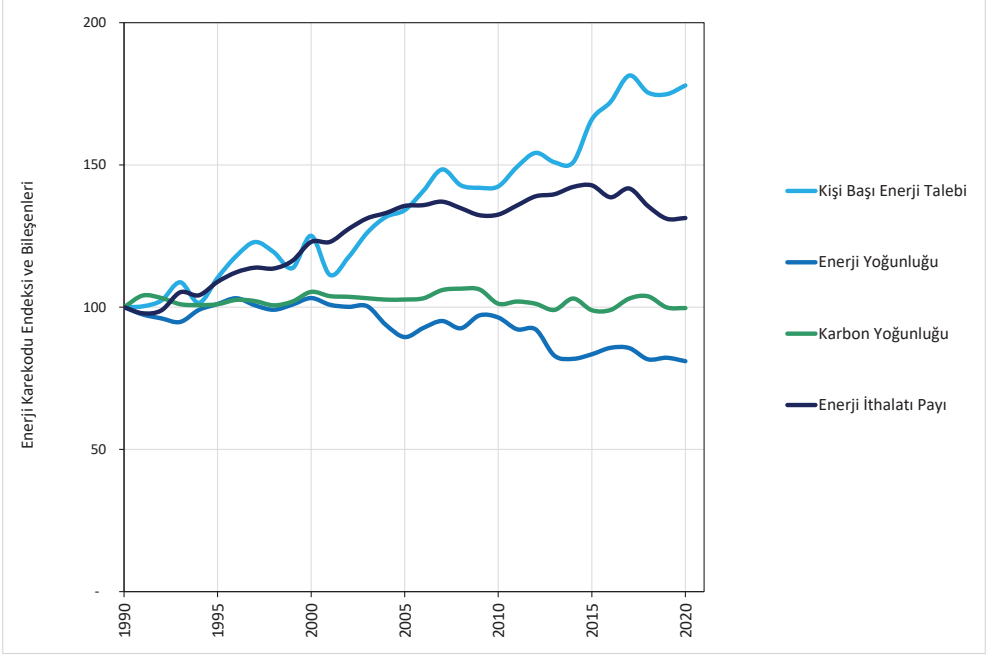
Kaynak: MGM

### 3.6. Enerji Dinamiklerine Bütüncül Bakış ve Enerjinin Karekodu

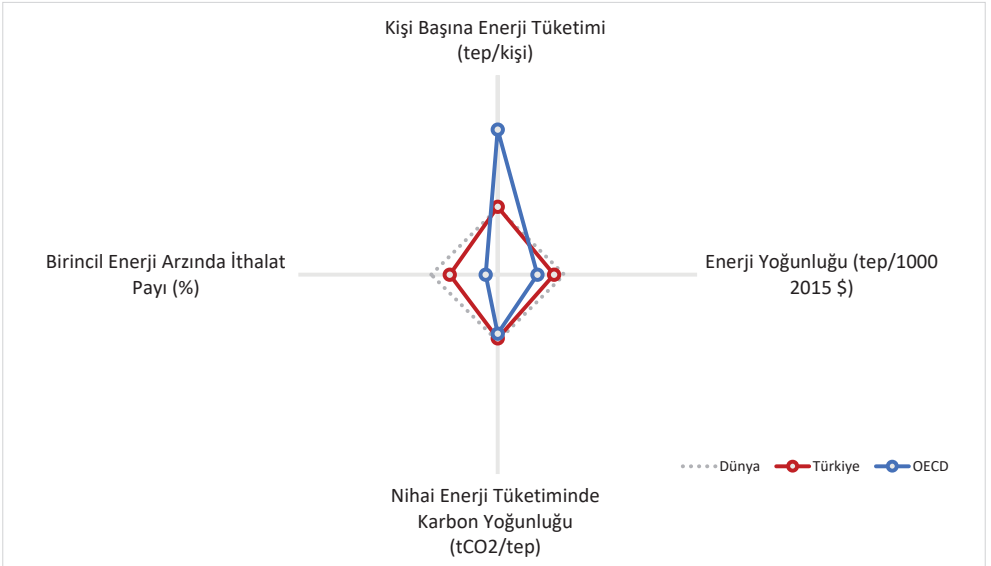
IICEC analizlerine göre, Avrupa'nın büyüklük ve enerji tedarik altyapısı gelişimi bakımından önde gelen enerji piyasalarından birine ve enerjide güçlü talep büyümesi dinamiklerine sahip olan Türkiye enerji sektörünün, önümüzdeki dönemde daha güvenli, temiz ve sürdürülebilir enerji geleceğine ulaştırılması bakımından kritik olan performans göstergeleri aşağıda özetlenmektedir (Şekil 3.27 ve Şekil 3.28).

- **Kişi başına enerji tüketimi:** OECD ve AB ortalamalarının yaklaşık yarısı (OECD ortalamasının %45'i ve AB ortalamasının ise %55'i) seviyelerinde olan kişi başına enerji tüketiminin güvenli, sürekli, uygun maliyetli ve rekabetçi koşullarda sağlanması,
- **Enerji yoğunluğu:** Enerji verimliliğinde sağlanan iyileşmelerin sonucunda dünya ortalamasının %20 altında, fakat halen OECD ortalamasının %30-40 üzerinde seyreden enerji yoğunluğunun iyileştirilmesi, enerjide verimli büyümenin desteklenmesi ve enerji tüketiminin katma-değeri yüksek sanayi üretimine dönüşüm fırsatlarının değerlendirilmesi,
- **Nihai enerji tüketiminde karbon yoğunluğu:** OECD ortalamasının %10 üzerinde olan karbon yoğunluğunun, büyüyen bir enerji arz-talep ekosistemi içerisinde, temiz enerji kaynaklarına dayalı elektrifikasyon, yenilenebilir enerjinin doğrudan kullanımı ve yenilikçi temiz enerji teknolojilerinin kullanımında yaygınlaşma fırsatları değerlendirilerek, zamanda dünyadaki ve bölgedeki temiz enerji odaklı girişimler, iş birlikleri ve hedefler de gözetilerek düşürülmesi,
- **Birincil enerjide ithalat yoğunluğu:** Birincil enerji arzının yaklaşık dörtte-üçünü oluşturan ithal fosil kaynak payının, yukarıdaki üç faktör ile de yakından ilişkili olarak düşürülmesi ve enerjide sürdürülebilir ve rekabetçi büyümenin güçlendirilmesi.

Şekil 3.27. Enerji Sektörünün Karekodunun Gelişimi (1990-2021)



Şekil 3.28. Enerji Sektörünün Karde Kodu (2021)





### 3.7. Sonuç

- Kişi başına enerji tüketimi halen OECD ortalamasının yarısından daha az olan Türkiye’de, genç nüfus, kentleşme ve mobilite dinamikleri modern enerjiye olan talepte yüksek büyümeyi ve yeni yatırım ve iş fırsatlarını desteklemektedir. Bununla birlikte, enerji sisteminin daha güvenli ve temiz bir geleceğe ulaştırılması için enerji arz portföyünün yapısında ve değer zincirinde verimlilik ve yenilenebilir enerji katkısında önemli gelişim fırsatlarının hayata geçirilmesi gerekmektedir.
- Son dönemde yenilenebilir elektrik üretiminde sağlanan ivmeye karşın, Türkiye’nin birincil enerji arzının yaklaşık %70’i halen ithal fosil yakıtlardan sağlanmakta olup, nihai enerji talebinde doğrudan yenilenebilir enerji katkısı sadece %5 düzeyindedir. Enerji arzının ithal fosil yakıtlar bakımından yoğun bu yapısı çerçevesinde, küresel ve bölgesel enerji piyasalarındaki fiyat hareketleri enerji ithalat faturasını yükselterek cari işlemler dengesi üzerinde olumsuz etkilere neden olurken, büyüyen bir ekonomi içerisinde fosil yakıt ağırlıklı enerji sistemi yapısı nedeniyle sera gazı emisyon envanterinde de düşüş sağlanamamaktadır.
- IICEC analizlerinde Türkiye enerji sektörünün karekodu dört başlıkta irdelenmekte, enerji sisteminin en kritik başarı faktörü olarak ise enerji talebindeki artış potansiyelinin, enerji ve karbon yoğunluklarında azaltımlar ve ithalat oranının düşürülmesi ile sağlanabilmesi görülmektedir. Bu unsurlar, Türkiye ekonomisinin sürdürülebilir rekabetçiliği bakımından da kritik öneme sahiptir.
- Türkiye’nin yüksek yenilenebilir enerji potansiyeli, enerji verimliliği ile birlikte karekodun tüm bileşenlerinin eş zamanlı olarak iyileştirilmesinde en güçlü fırsat alanı olarak öne çıkmaktadır. Güvenli, temiz ve rekabetçi enerjiye yönelik arayışların tüm dünyada öncelik kazandığı bu dönemde, enerji politikası hedefleri ve ilgili düzenleyici çerçeve de, yenilenebilir enerji odaklı bir büyüme perspektifini destekleyecek şekilde gelişmeye devam etmektedir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, yenilenebilir enerjide ve enerji verimliliğinde yüksek potansiyelin artan oranlarda performansa dönüşümünü sağlayarak bu başlıklarda güçlü ve sürdürülebilir büyümeye öncelik veren bir enerji geleceği perspektifi, yüksek gelişim patikasını destekleyecek iyileşme alanları ve somut öneriler ile birlikte sunulmaktadır.

## Referanslar

- European Automobile Manufacturers Association (ACEA) (2022), Motorisation Rates in the EU by Country and Vehicle type  
<https://www.acea.auto/figure/motorisation-rates-in-the-eu-by-country-and-vehicle-type/>
- ETKB (2022), Denge Tabloları  
<https://enerji.gov.tr/Preview/tr/63d0007a-f593-458b-9610-353eb2545897>
- Eurostat (2022), Database  
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>
- International Energy Agency (IEA) (2022a) Data and Statistics  
<https://www.iea.org/data-and-statistics>
- International Energy Agency (IEA) (2022b), Turkey 2021 Energy Policy Review  
[https://iea.blob.core.windows.net/assets/cc499a7b-b72a-466c-88de-d792a9daff44/Turkey\\_2021\\_Energy\\_Policy\\_Review.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/cc499a7b-b72a-466c-88de-d792a9daff44/Turkey_2021_Energy_Policy_Review.pdf)
- IPCC (2022a), Sixth Assessment Report, Regional Fact Sheet: Europe  
[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Regional\\_Fact\\_Sheet\\_Europe.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC_AR6_WGI_Regional_Fact_Sheet_Europe.pdf)
- IPCC (2022b), Sixth Assessment Report, Climate Information Relevant for the Energy Sector  
[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Sectoral\\_Fact\\_Sheet\\_Energy.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC_AR6_WGI_Sectoral_Fact_Sheet_Energy.pdf)
- KGM (2022), Karayolu Ulaşım İstatistikleri 2021  
<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Yayinlar/YayinPdf/KarayoluUlasimIstatistikleri2021.pdf>
- MGM (2022), Meteorolojik Parametrelerin Türkiye Analizi  
<https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=parametrelerinTürkiyeAnalizi>
- OECD (2022), OECD Stat  
<https://stats.oecd.org/>
- Sabancı Üniversitesi IICEC (2020), Turkey Energy Outlook  
<https://iicec.sabanciuniv.edu/teo>

- TCMB (2022), Ödemeler Dengesi İstatistikleri  
<https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Odemeler+Dengesi+ve+Ilgili+Istatistikler/Odemeler+Dengesi+Istatistikleri/>
- TEİAŞ (2022) Türkiye elektrik Üretim İletim İstatistikleri  
<https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>
- TÜİK (2022), İstatistik Veri Portalı  
<https://data.tuik.gov.tr/>
- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi (2022)  
<https://www.invest.gov.tr/tr/library/sayfalar/default.aspx>
- UNFCCC (2022), Turkey 2021 National Inventory Report (NIR)  
<https://unfccc.int/documents/271544>
- World Bank, Open Data  
<https://data.worldbank.org/>
- World Energy Council (2022)World Energy Trilemma Index  
<https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/world-energy-trilemma-index>



# BÖLÜM 4:

Türkiye'de Yenilenebilir

Enerji Gelişimi

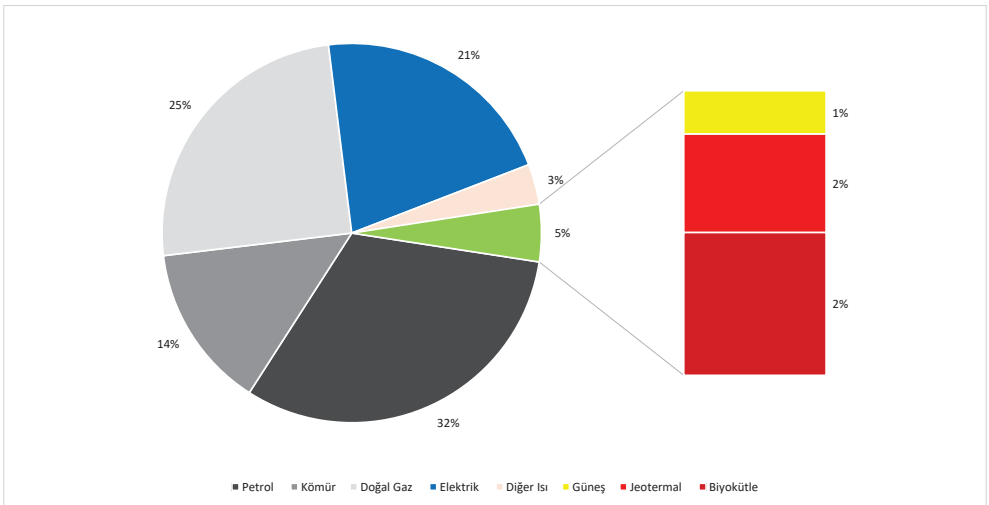
## 4.1. Genel Enerji Dengeleri İçerisinde Yenilenebilir Enerjiye Bakış

Türkiye'nin nihai enerji tüketimi 2021 yılında 123,9 Mtep'e ulaşırken, petrol ulaştırma sektöründeki hakimiyeti çerçevesinde nihai enerji tüketiminde en fazla paya sahip olan kaynak konumunu sürdürmektedir (%32). Petrolü %25 ile doğal gaz, %21 ile elektrik ve %14 ile kömür izlemektedir. Nihai talep sektörlerinde 1990 yılında 7,6 Mtep olan doğrudan yenilenebilir enerji tüketimi, %26 azalışla 2021 yılında 5,6 Mtep seviyesine ulaşmış, toplam talepte gerçekleşen çok daha hızlı büyümenin sonucunda yenilenebilir enerjinin nihai enerji tüketiminde 1990 yılında olan %19 olan payı da yaklaşık 14 puan azalarak %5'e düşmüştür. (Jeotermal %2, biyokütle %2 ve güneş %1). (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).

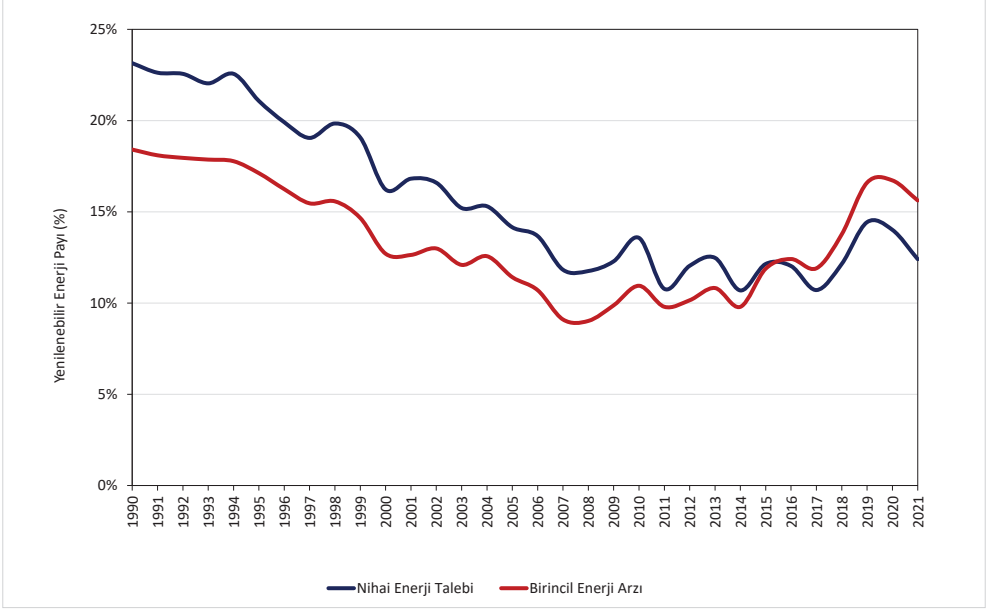
Bölüm 3'de sunulduğu üzere, artan elektrifikasyonun ve elektrik enerjisi içerisinde yenilenebilir enerjinin ağırlığının neticesinde, dolaylı yenilenebilir katkısı ise aynı dönemde %4'den %8'e çıkmıştır (Son dönemde yenilenebilir enerji kaynaklardan elektrik üretiminde gerçekleşen ağırlıklı büyümeye karşın, yenilenebilir enerjinin nihai enerji tüketimindeki toplam katkısı halen %12 seviyesindedir (1990 yılında %23 ve 2010 yılında %14).

Talepteki ve enerji tüketicisi sektörlerdeki bu dinamiklerin bir yansıması olarak, Türkiye'nin birincil enerji arzında yenilenebilir enerjinin payı 1990, 2000 ve 2010 yıllarında sırasıyla %18, %11 ve %13 olarak gerçekleşirken günümüzde %16 seviyelerinde seyretmektedir (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3). Türkiye, G20 üyesi Avrupa ülkeleri ile benzer bir seviyede olan bu oranı, yenilenebilir enerjiden elektrik üretiminde güçlü büyüme potansiyeli ve nihai tüketici sektörlerin tümünde değerlendirilebilecek önemli jeotermal ve güneş enerjisi potansiyeli ile önümüzdeki dönemde hızla yükseltebilme fırsatlarına sahiptir (Detaylar için lütfen Bölüm 4.3.3. ve Bölüm 4.6'ya bakınız.)

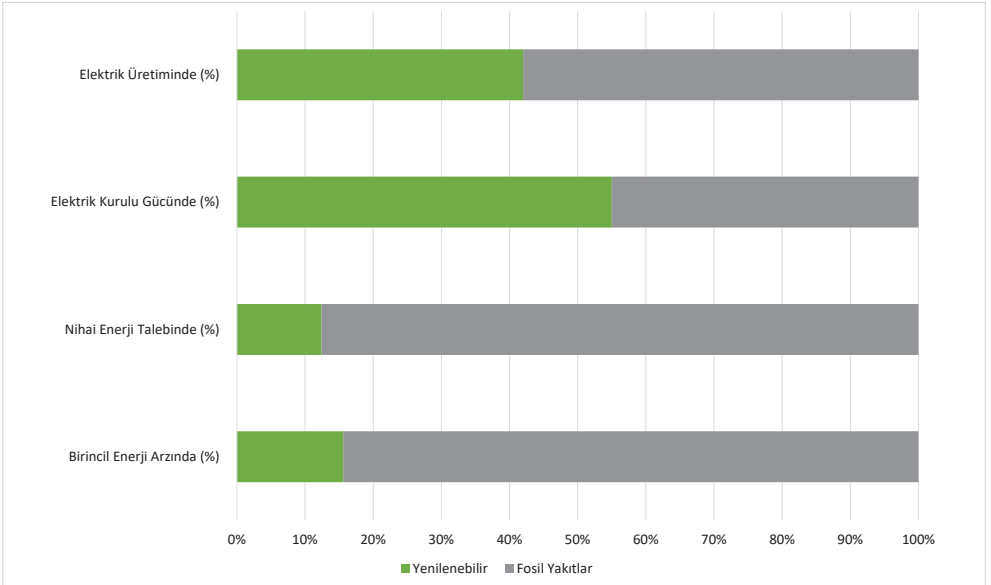
Şekil 4.1. Nihai Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı (2021, %)



**Şekil 4.2. Birincil Enerji Arzında ve Nihai Enerji Talebinde Yenilenebilir Payı Gelişimi (1990-2021, %)**



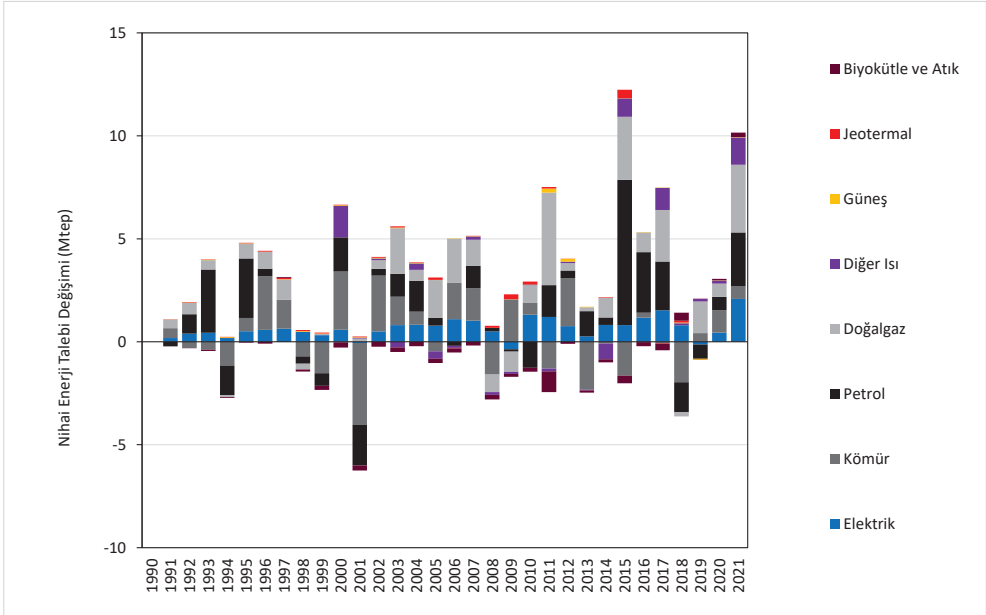
**Şekil 4.3. Yenilenebilir Enerjinin Enerji Arz-Talep Değer Zincirinde Payı (2021/2022, %)**



## 4.2. Nihai Enerji Talebinde Yenilenebilir Enerji

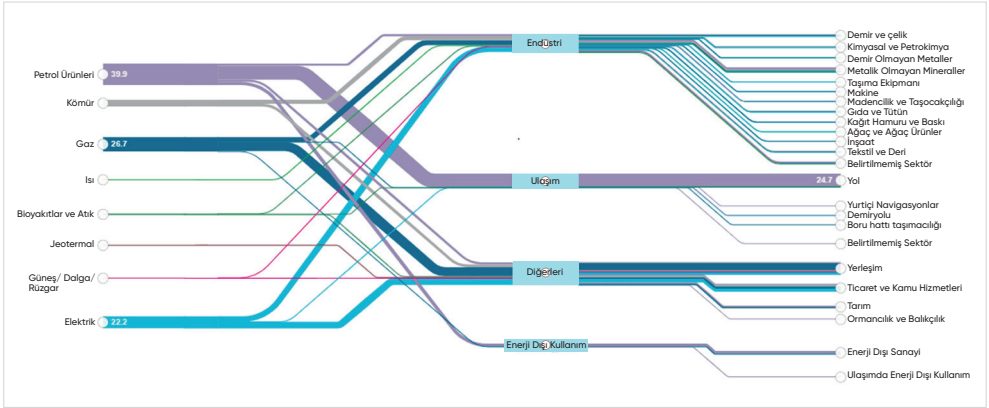
Enerji talep hizmetlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının doğrudan kullanımı, hem büyüklük, hem de kaynaklara göre dağılım bakımından enerji tüketicisi sektörler arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Tarihsel olarak, geleneksel biyokütle enerjisinin ısınma amaçlı kullanımı ile şekillenen dönüşüm süreci, zaman içerisinde güneş ve jeotermal kaynaklarının özellikle binalarda ısı talebine yönelik kullanımında artış ile yeni bir boyut kazanmıştır. Bununla birlikte, ulaştırma talebi için petrol ürünleri tüketiminde yüksek büyüme, doğal gazın binalarda ve sanayide yaygınlaşan kullanımı, tüm sektörlerde artan elektrifikasyon neticesinde nihai enerji talebinde yenilenebilir enerji kullanımındaki büyüme, Türkiye'nin yüksek kaynak potansiyel ile kıyaslandığında oldukça sınırlı kalmıştır. 2010 yılından bu yana nihai enerji talebinde doğal gaz katkısı 18,7 Mtep artarken, petrol ürünleri tüketimindeki artış da benzer seviyede olmuştur. Bu dönemde yenilenebilir enerjinin nihai enerji tüketiminde net değişimi -0,6 Mtep olarak gerçekleşmiştir (Biyokütlede 1,8 Mtep azalma) (Şekil 4.4.). (Detaylar için lütfen Bölüm 4.4'e bakınız.)

Şekil 4.4. Nihai Enerji Talebinin Kaynaklar Bazında Yıllık Değişimi (1990- 2021, Mtep)





Şekil 4.5. Nihai Enerji Tüketimi Sankey Şeması (2020, %)



Kaynak: IEA, ETKB

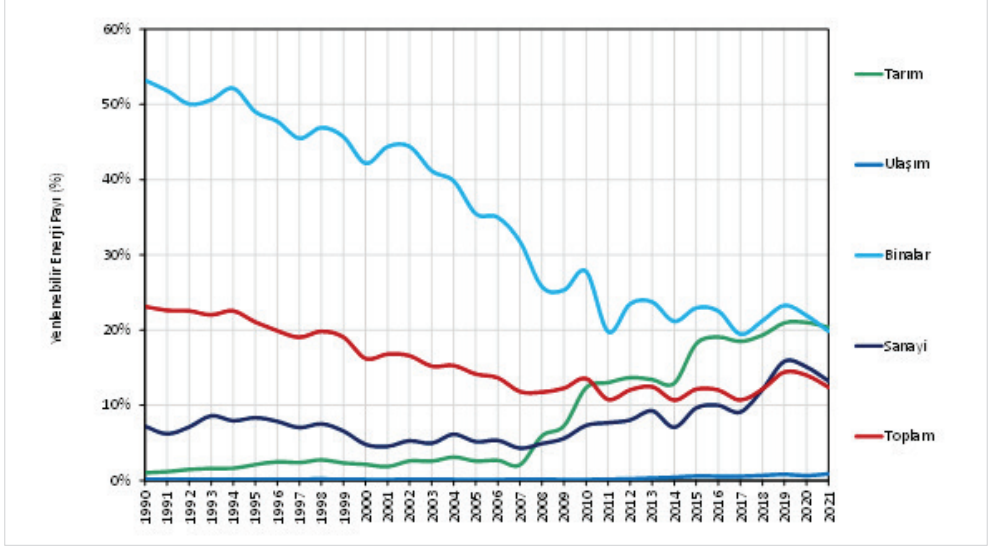
Enerji tüketicisi sektörlerde yenilenebilir enerji kaynakları bazında öne çıkan dinamikler aşağıda özetlenmektedir (Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8.)

- **Biyokütle enerjisi:** Toplam doğrudan yenilenebilir enerji tüketiminin yarısı biyokütle enerjisi formunda gerçekleşmektedir. Biyokütle kullanımında binalar ve sanayi sektörleri öne çıkmaktadır. Toplam biyokütle enerjisi tüketiminin sırasıyla %54 ve %38'i bu sektörlerde gerçekleşmektedir. Karayolu ulaşımda biyoyakıt kullanımı ise nihai talepte toplam biyokütle enerji tüketiminin %8'ine karşılık gelmektedir.
- **Jeotermal enerji:** Toplam doğrudan yenilenebilir enerji kullanımının %35'ini oluşturan jeotermal enerji tüketiminin %68'i binalarda, %32'si tarımda gerçekleşmektedir.
- **Güneş enerjisi:** Yenilenebilir enerjinin doğrudan katkısı içerisinde güneş enerjisi %15 paya sahiptir. Çatılarda kolektör kullanımı ile sağlanan bu tüketimin %65'i binalarda, %35'i ise sanayide gerçekleşmektedir.
- **Elektrik enerjisi ile yenilenebilir enerji katkısı:** Elektrik enerjisinin toplam enerji talebi içerisindeki payı 1990 yılında yaklaşık %10 seviyesinden, gelişen elektrifikasyon ve doğrudan yenilenebilir tüketimindeki azalma neticesinde günümüzde %21'e ulaşmıştır. Yenilenebilir elektrik, nihai enerji talebindeki %12 toplam yenilenebilir enerji katkısının yarısından fazlasını oluşturmaktadır. (2021 yılında %7).

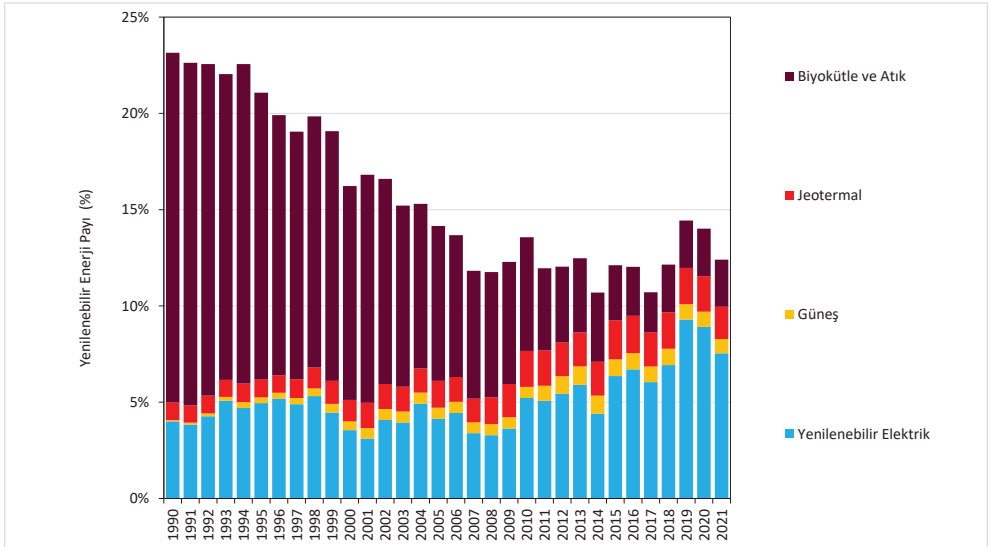
<sup>1</sup> Sankey şeması, enerji sistemi içerisinde birincil enerji girdisinden nihai enerji tüketimine kadar olan tüm aşamaları kaynaklar, çevrim sektörleri ve nihai enerji tüketicisi sektörler bazında göstermektedir. Enerji akışlarına bütüncül bir bakış getiren bu gösterim, enerji arz ve talep dengelerindeki gelişmelere ve iyileşme noktalarına ilişkin önemli bir baz oluşturmaktadır.

Yenilenebilir enerjide yüksek potansiyelin gelecekte enerji hizmetlerinde artan oranlarda değerlendirilmesine ilişkin IICEC Senaryoları gelişim perspektifi Bölüm 5,6 ve 7'de ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

**Şekil 4.6. Nihai Enerji Talebinde Doğrudan Yenilenebilir Enerji Katkısının Sektörlere Göre Gelişimi (1990–2021, %)**



**Şekil 4.7. Nihai Enerji Talebinde Yenilenebilir Enerji Katkısının Kaynaklara Göre Dağılımı (1990–2021, %)**



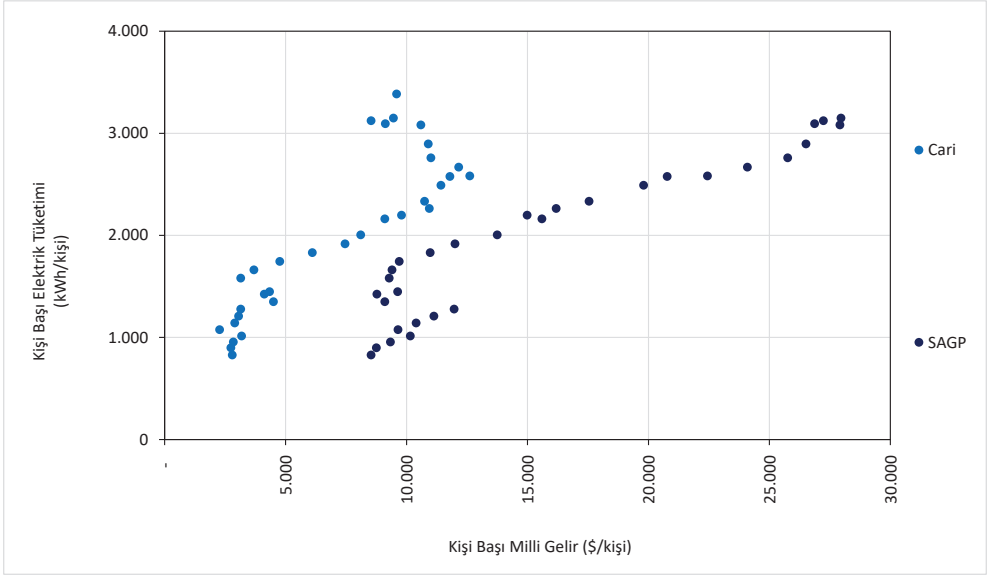
### 4.3. Elektrik Enerjisi Arzında Yenilenebilir Enerji

#### 4.3.1 Elektrik Enerjisi Arz Talep Dinamiklerinin ve Dengesinin Görünümü

Türkiye, Bölüm 3'de temel dinamikleri ile irdelendiği üzere, dünyanın en hızlı büyüyen elektrik piyasalarından birine sahiptir. Elektrik tüketim artışı ile ekonomik büyüme arasındaki yakın ilişki sürmekte olup, 1990 yılında 50 TWh seviyesinde olan brüt elektrik talebi 2010 yılına kadar olan yirmi yıllık dönemde dört kat artışla 200 TWh'a, 2010 yılından bu yana ise %67'nin üzerinde büyümeyle 2021 yılında 334,7 TWh'e ulaşmıştır. Aynı dönemde kişi başına GSYİH (SAGP<sup>2</sup> ile) üç kat artış göstermiştir.

Puant talepteki büyüme de yıllık brüt talep artışına benzer gelişirken, 1990 yılında 10 GW olan ani puant, 2010 yılında 30 GW seviyesine gelmiş, 2010 yılından bu yana da yaklaşık iki kat artarak 60 GW'a yaklaşmıştır (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9).

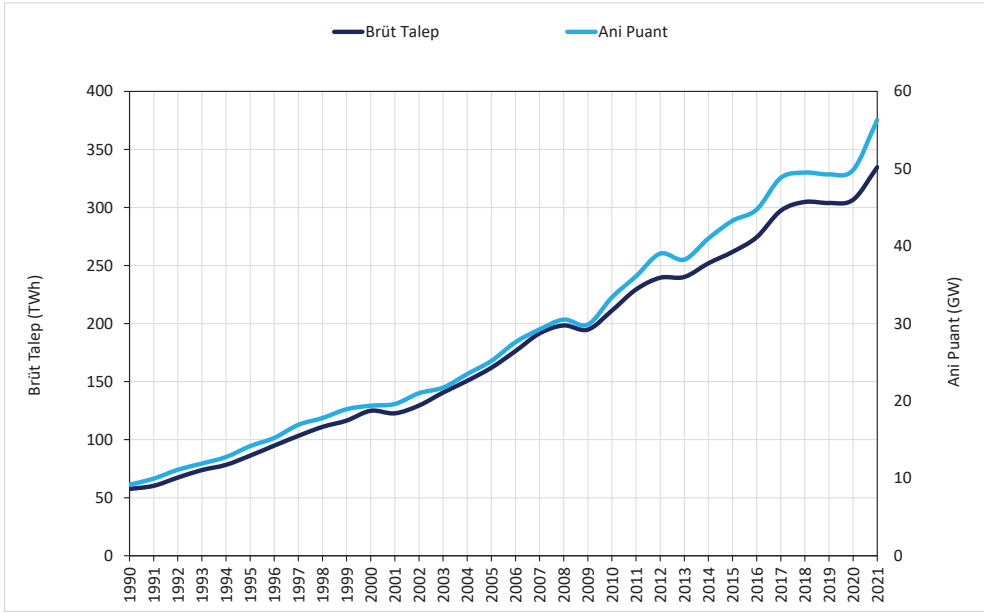
Şekil 4.8. Kişi Başına Elektrik Talebinin GSYİH ile İlişkisi (ABD\$/kişi ve kWh/kişi)



Kaynak: TEİAŞ, World Bank

<sup>2</sup> Satın alma Gücü Paritesi

**Şekil 4.9. Elektrik Enerjisi Brüt Talep ve Ani Puant Gelişimi (1990-2021, TWh)**

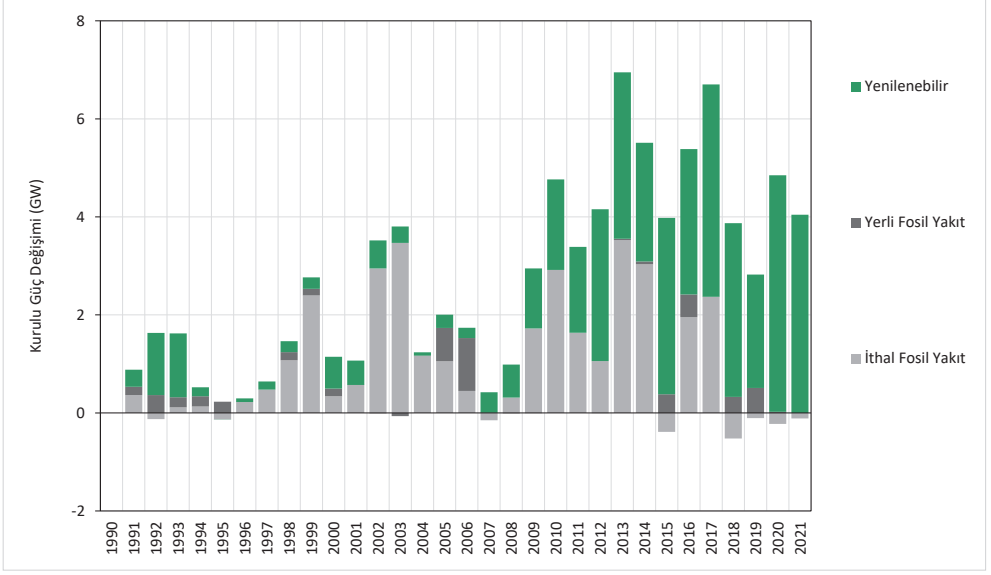


**Kaynak:** TEİAŞ

Türkiye, 2001 yılında işleyişe geçirilen rekabetçi elektrik piyasası öncesi dönemde çok ağırlıklı olarak kamu kaynakları ile kurulu güçte büyümeye öncelik verirken, son yirmi yıllık dönemde gelişen yeni elektrik piyasası dinamikleri içerisinde özel sektör üretim yatırımları ile kurulu güçte çarpıcı bir büyüme kaydedilmiştir. Özellikle 2009 yılı sonrasında yıllık kurulu güç büyümesi daha yüksek seviyelere taşınabilmiş, 2010 yılından bu yana yıllık kurulu güç artışı ortalama 4,6 GW olarak gerçekleşmiştir. Bu dönemde kapasite büyümesi ağırlıklı olarak doğal gazdan ve özellikle YEKDEM mekanizmasının destekleyici rolü ile yenilenebilir enerjiden gelmiştir. 1990-2021 arası dönemde Türkiye kurulu gücü altı katın üzerinde artarak 16,3 GW'dan 104 GW'a yaklaşmıştır (Detaylar için lütfen Bölüm 4.3.2'ye bakınız).

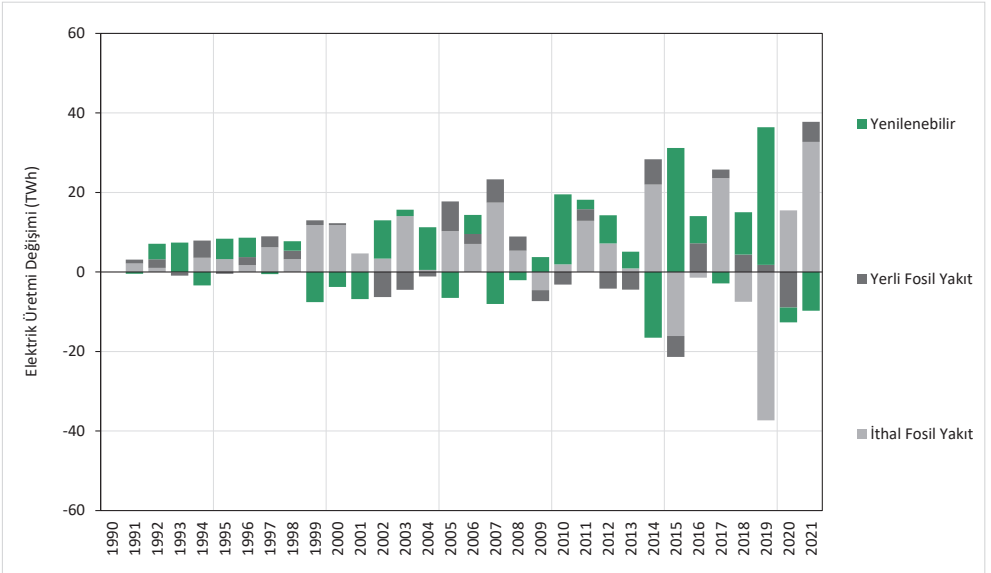
Elektrik üretimi de kurulu güçte büyüme ve portföyün gelişimine paralel şekilde gelişim kaydederken, 2010 yılından sonra yıllık bazda bazı dönemlerde 20 TWh üzerinde net brüt üretim artışları sağlanabilmiş, 2010-2021 arası dönemde yıllık ortalama net üretim artışı 11,6 TWh olarak gerçekleşmiştir. 1990 yılında 57,5 TWh olan brüt elektrik üretimi yaklaşık altı kat artışla 2021 yılında 334,7 TWh seviyesine gelmiştir (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11). Türkiye'nin elektrik dış ticareti ise, arz talep dengesinin oldukça küçük bir bölümünü oluşturmakta olup, net dış ticaretin brüt talebe oranı %1 seviyesinde seyretmektedir (Elektrik sisteminin detaylarına ilişkin analizler için lütfen Bölüm 6'ya bakınız.)

**Şekil 4.10. Kurulu Gücün Enerji Kaynak Gruplarına Göre Yıllık Gelişimi (1990-2021, GW/yıl)**



Kaynak: TEİAŞ

**Şekil 4.11. Elektrik Üretiminin Enerji Kaynak Gruplarına Göre Yıllık Gelişimi (1990-2021, TWh/yıl)**

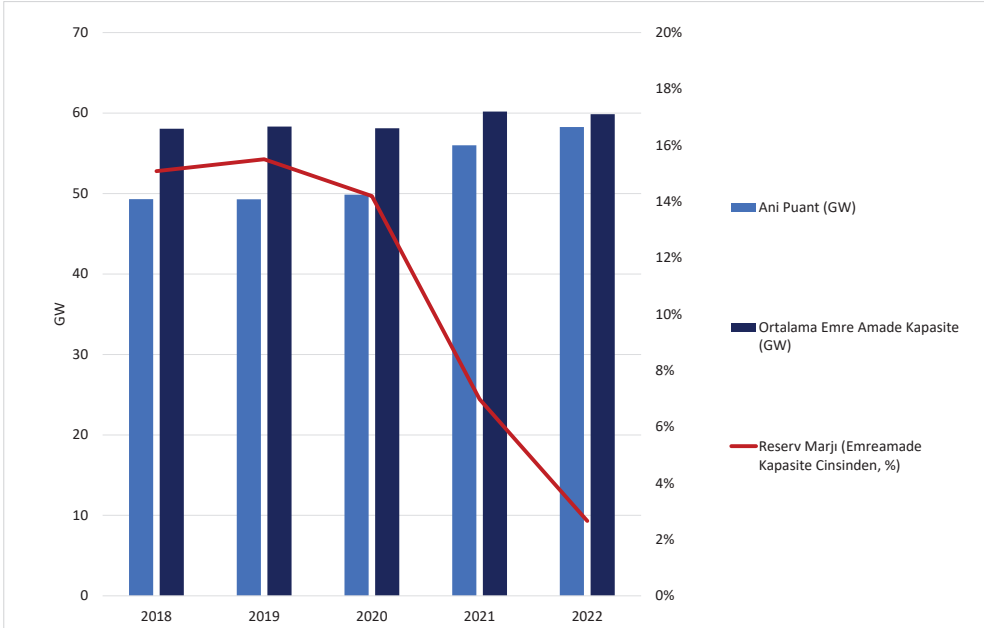


Kaynak: TEİAŞ

Son dönemde kurulu gücün ve yıllık üretim artışının hızında yavaşlamanın arz-talep dengesine etkileri daha belirgin duruma gelmektedir.

- 2018 yılından bu yana yıllık ani puantta gerçekleşen %18 artışa karşın (yaklaşık 10 GW), emreamade kapasitede toplam büyüme %5'in altında olmuştur.
- Bunun sonucunda sistemin emreamade kapasite bazında rezerv marjı hızla daralarak %15-20 seviyelerinden %2-3 seviyelerine gerilemiştir (Şekil 4.12).
- Elektrik arz güvenliğinin sürdürülebilirliği, talepteki büyüme hızı ile orantılı kapasite artışlarının sağlanabilmesini gerektirmektedir. Yakın dönemde elektrik enerjisi arz-talep dengesinde hızlı iyileşmeler sağlanabilmesi, güçlü talep büyümesi dinamiklerine ve verimlilik potansiyeline sahip Türkiye elektrik sektörünün sürdürülebilir büyümesi bakımından kritiktir. Güvenilir rezerv marjının sürdürülebilir koşullarda sağlanabilmesi için yapılabılır üretim proje stokunun hızla genişletilmesi ve şebekelerde bunu destekleyecek gelişmelerin sağlanabilmesi gerekmektedir.

**Şekil 4.12. Emreamade Kapasite Cinsinden Rezerv Marjı Değişimi (2018-2022, %)**



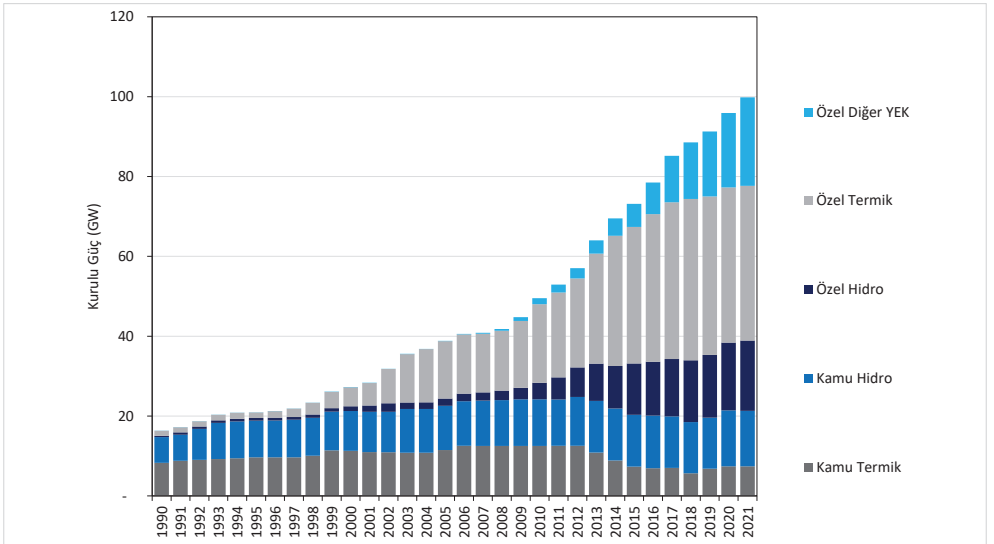
Kaynak: TEİAŞ, IICEC analizleri

### 4.3.2 Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Enerji Gelişimi

1990 yılında tamamına yakını kamu işletmeciliğinde olan elektrik kurulu güç kompozisyonu, 2000'li yılların başından itibaren üretim özelleştirmeleri ve özel sektör yeni üretim yatırımları ile ağırlıklı olarak özel sektör işletmeciliğinde büyümüştür. Kamu 13,9 GW hidro ve 7,4 GW termik kapasite ile toplam kurulu gücün %20'sine karşılık gelmektedir. Özel sektör kurulu gücünün ise yarısını yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim birimleri oluşturmaktadır (Hidroelektrik %22 ve diğer yenilenebilirler %28) (Şekil 4.13).

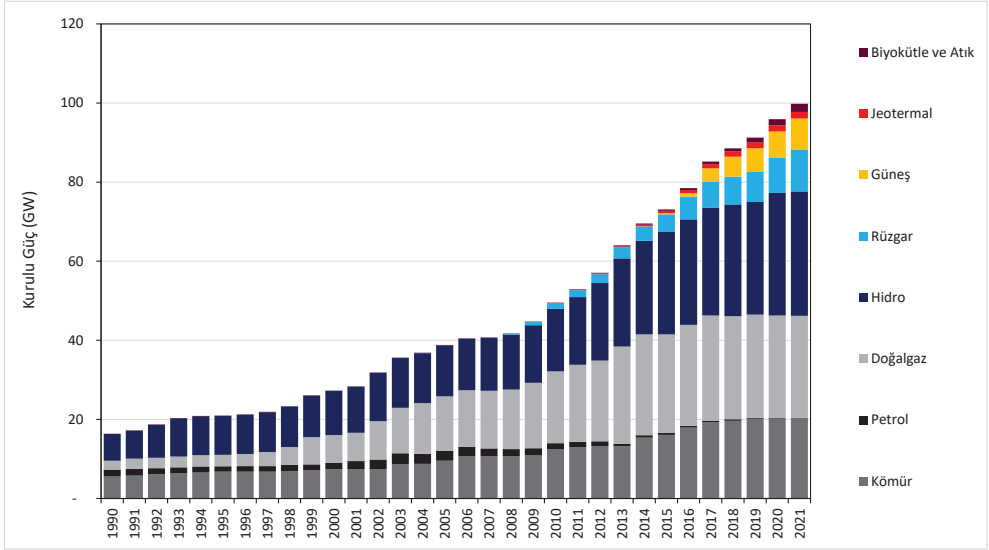
Türkiye elektrik sektörünün tarihçesinde yenilenebilir enerji başından bu yana önemli yer tutmuş, hidroelektrik kapasitede sağlanmaya başlanan hızlı genişleme ile 1990 yılında toplam kurulu güç içerisinde 6,8 GW hidroelektrik kapasite ile yenilenebilir kaynaklar %42 katkıya sahip olmuştur. 1990'ların sonlarında ilk rüzgar santrallerinin sisteme entegrasyonu başlarken, özellikle 2010'ların ortalarından itibaren güneş enerjisi de elektrik üretiminin bileşeni konumuna gelmiştir. 2010 yılından itibaren, kurulu güç yenilenebilir enerji kaynakları bazında daha çeşitlendirilmiş bir nitelik kazanmaktadır. Hidroelektrik dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güç içerisindeki payı 2010 yılında %3 seviyesindeyken günümüzde %20'i aşmıştır. Son dönemde kurulu kapasitede büyümenin itici gücünü rüzgar ve güneş oluştururken, bu iki teknolojinin yıllık kurulu güç artışındaki payı hızla büyümektedir. 2016–2021 döneminde yıllık bazda net kapasite artışının %53'ünü oluşturan rüzgar ve güneş, 2022 yılının ilk 10 aylık döneminde toplam 2 GW civarında büyüme ile bu dönemde 3,5 GW'lık net kapasite artışının yaklaşık %60'ına karşılık gelmiştir (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15).

Şekil 4.13. Kurulu Gücün Temel Üretici Gruplarına Göre Gelişimi (1990-2021,GW)



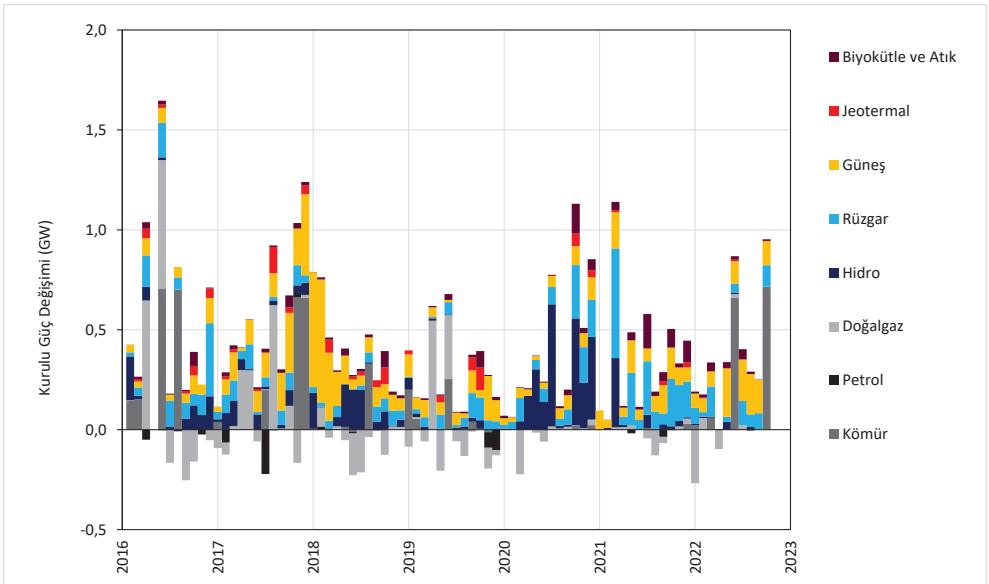
Kaynak: TEİAŞ

**Şekil 4.14. Kaynaklara Göre Kurulu Gücün Yıllık Gelişimi (1990-2021, GW)**



Kaynak: TEİAŞ

**Şekil 4.15. Teknolojilere Göre Kurulu Gücün Aylık Gelişimi (2016-2022, GW)**

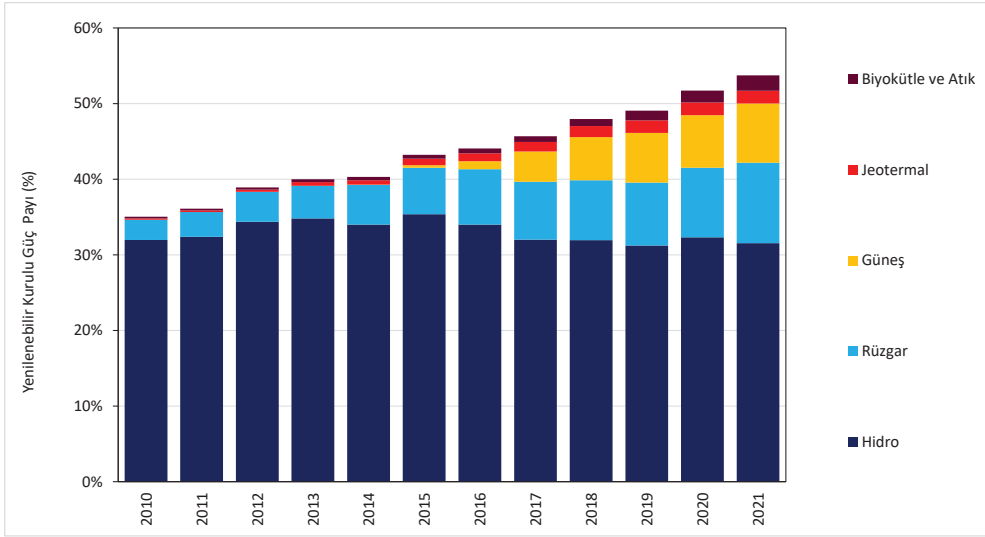


Kaynak: TEİAŞ, EPDK



Son dönemdeki büyüme ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik kurulu gücü içerisinde 2010 yılında %35 olan toplam payı 2020 yılında %50 seviyesini aşmış, 2021 yılında %53'e, günümüzde ise %55 düzeyine gelmiştir (Şekil 4.16). Yenilenebilir kurulu gücü içerisinde hidro dışındaki kaynakların 2010 yılında %10 civarında olan payı, 2022 yılı içerisinde %40'ı aşmıştır. Hidroelektrik dışındaki yenilenebilir kapasitenin %85'e yakını ve toplam kurulu gücün %20'sini rüzgar ve güneş oluşturmaktadır (2022 Ekim sonu itibarıyla rüzgar %11 ve güneş %9).

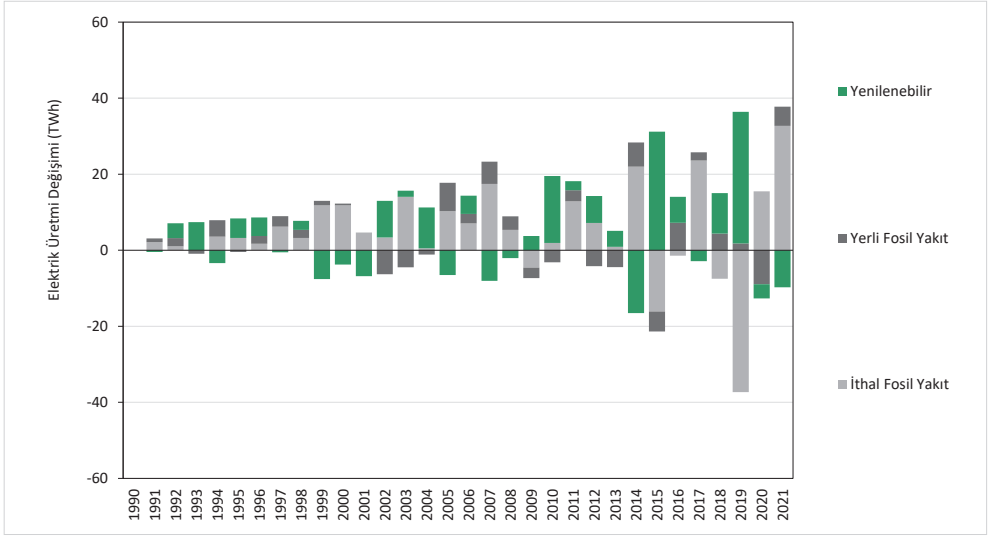
**Şekil 4.16. Yenilenebilir Enerjinin Kurulu Güç Katkısının Gelişimi (2010-2022, %)**



**Kaynak:** TEİAŞ

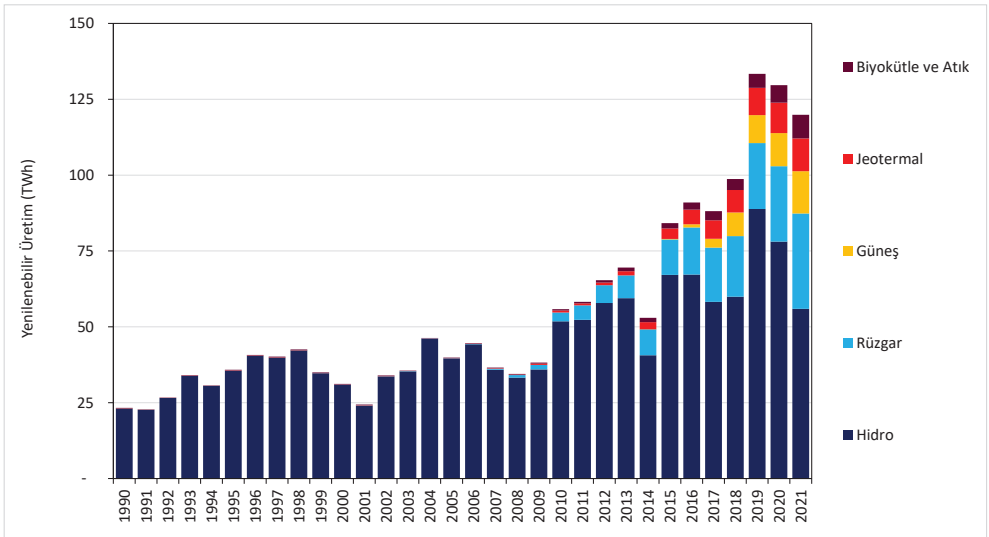
Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji katkısı ise, kurulu güçteki büyüme eğrisini yansıtmakla birlikte, gerek hidrolojiye bağlı dalgalanmalar, gerekse de hidro, rüzgar ve güneş santrallerinin doğaları gereği fosil yakıtlı santrallere göre daha düşük olan kapasite faktörleri nedeniyle dalgalı bir seyir izlemiştir. 1990 yılında tamamı hidroelektrik kapasiteye dayalı olarak 25 TWh olan yenilenebilir elektrik üretimi, toplam üretimin %40'ını karşılamıştır. 2010 yılında yenilenebilir elektrik üretimi 50 TWh'in üzerine çıkarken, toplam üretimdeki payı %30'lar seviyesine gerilemiştir. Özellikle rüzgar ve güneş ağırlıklı olmak üzere, hidro, jeotermal ve biyokütle kaynaklarına dayalı kapasitede 2010 yılından sonra hızlanan artışın neticesinde yenilenebilir enerjinin üretimdeki payı, hidrolojiye bağlı olarak, kurak dönemler dışında %35-%45 bandına yerleşmiştir (Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19). Kuraklığın etkilerinin yoğun yaşandığı 2014 ve 2021 yıllarında hidro kaynakların toplam üretime katkısı %16-17 seviyesinde kalırken, 2021 yılında %35 olan yenilenebilir üretim katkısı 2022 yılında hidrolojinin pozitif etkisi ile %45'e yaklaşmıştır (yaklaşık %25 hidro ve %20 diğer yenilenebilir enerji kaynakları). (Şekil 4.20).

**Şekil 4.17. Elektrik Üretiminde Kaynaklara Göre Yıllık Büyümenin Gelişimi (1990-2022, TWh/yıl)**



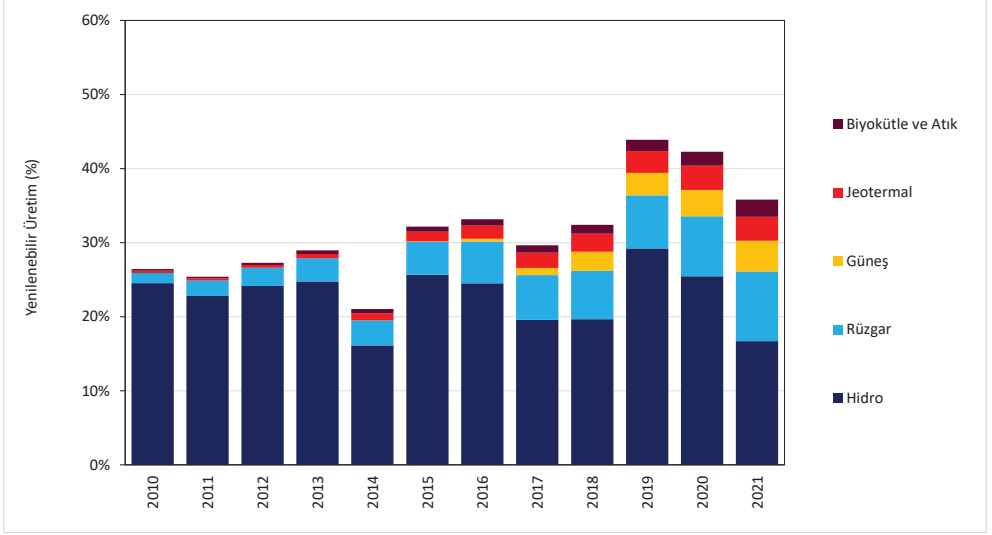
Kaynak: TEİAŞ

**Şekil 4.18. Yenilenebilir Enerjiden Elektrik Üretimine Kaynaklara Göre Gelişimi (1990-2022, TWh)**



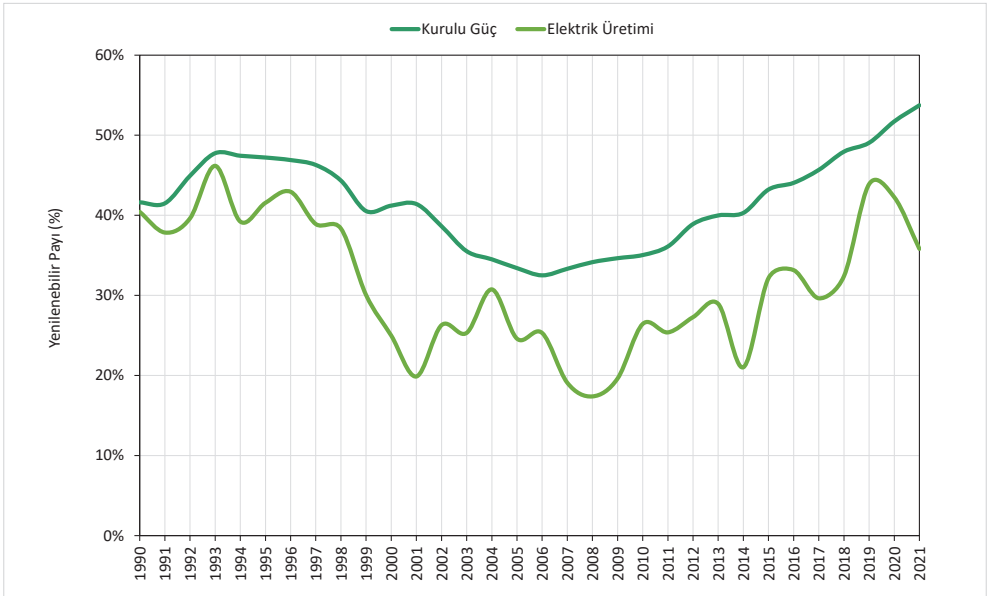
Kaynak: TEİAŞ

**Şekil 4.19. Yenilenebilir Enerjinin Elektrik Üretimine Katkısının Gelişimi (2010-2021, %)**



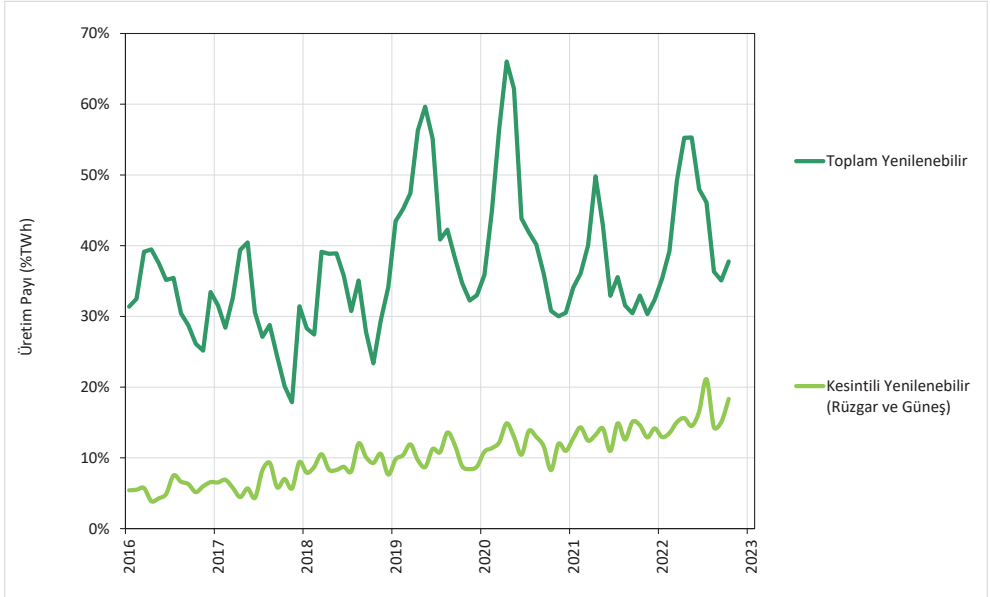
Kaynak: TEİAŞ

**Şekil 4.20. Yenilenebilir Enerjinin Kurulu Güç ve Elektrik Üretimine Katkısının Gelişimi (1990-2022, %)**



Türkiye enerji sektöründe en çarpıcı gelişmelerden birisi, rüzgar ve güneşten elektrik üretime olan yoğun yönelim ile yaşanmaktadır. Bu iki kaynağın toplam elektrik üretiminde beş yıl önce toplam %5 olan payı, 2016 yılından bu yana üç kat artış ile %15 seviyesini aşmıştır. Rüzgar ve güneş enerjisi katkısının yüksek olduğu aylarda, bu iki kaynak Türkiye elektrik üretiminin altıda-birden fazlasını karşılayabilir duruma gelmiştir (Şekil 4.21). Rüzgar ve güneş elektrik üretiminin geldiği aşamada, kesintili üretim karakteristiklerinin sistem işleyişi ile entegrasyonun sağlanmasında da yeni bir faza geçilmiştir. Bu büyümenin sürdürülebilirliği, şebekelerde ve enerji depolama sistemlerinde uygun yatırım ve iş modellerinin önemini kritik hale getirmektedir. Son dönemde, elektrik sisteminin zamana göre değişkenliği artan arz özelliklerini yansıtacak şekilde esnekliğin güçlendirilmesi arayışları öne çıkmaktadır. Bu kapsamda, enerji depolamaya ilişkin düzenleyici çerçevenin olgunlaşmasının, bunu destekleyecek yatırım ikliminin, finansman ve iş modellerinin gelişimi önem taşımaktadır. 2022 yılının son çeyreğinde, rüzgar ve güneş üretimine entegre depolama tesisleri kurulmasına dair düzenleyici genel çerçeve oluşturulmuş, bu yılın son dönemlerinde de depolama ile destekli rüzgar ve güneş yeni kapasitelerinin sisteme bağlanmasına ilişkin yeni bir açılım ortaya konulmuştur (Detaylar için lütfen Bölüm 4.3.4'e bakınız). Bu adımların, bütüncül planlama ve yatırım perspektifleri ile desteklenmesi durumunda önümüzdeki dönemde rüzgar ve güneşte güçlü büyümeyi destekleyecek en önemli unsurlardan biri olabileceği değerlendirilmektedir (Detaylar için lütfen Bölüm 5 ve Bölüm 6'ya bakınız).

**Şekil 4.21. Toplam Yenilenebilir Enerjinin ve Kesintili Yenilenebilir Enerjinin Elektrik Üretimindeki Payının Aylık Gelişimi (2016-2022, %)**



Kaynak: TEİAŞ, EPDK

### 4.3.3. Yenilenebilir Enerji Yarışında Türkiye'nin Küresel ve Bölgesel Durumu

Yenilenebilir enerji kaynakları, Türkiye'nin halen %70 seviyesinde ithal fosil yakıtlara bağlı olan birincil enerji arzında yaklaşık %16 paya sahiptir (Elektrik üretiminde %40-45 ve nihai enerji talebinde %5). Türkiye bu oranla, birincil enerji arz kompozisyonuna yenilenebilir enerji katkısı bakımından G-20 ülkeleri arasında Avrupa ortalamasına yakın bir seviyede olup, ABD, Japonya ve Avustralya gibi büyük ekonomilere kıyasla yenilenebilir enerjiden daha yaygın olarak faydalanabilmektedir<sup>3</sup>.(Şekil 4.22.)

Şekil 4.22. G-20 Ülkelerinde Birincil Enerji Arzında Yenilenebilir Enerji Payı (2020)



Kaynak: World Bank

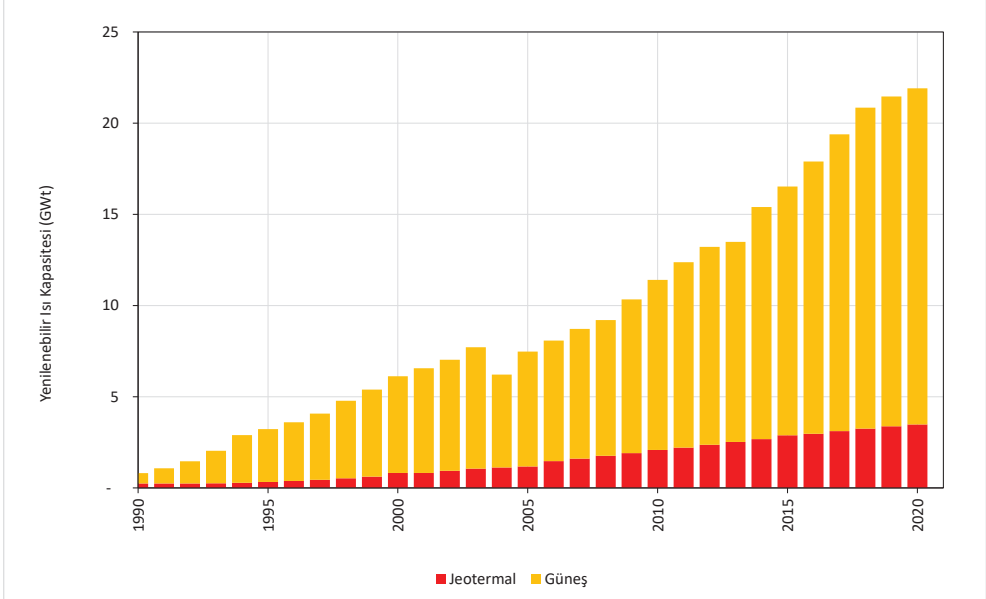
Türkiye jeotermal ve güneş kaynakları bakımından dünyanın en avantajlı ülkeleri arasında olup, doğrudan yenilenebilir enerji arzının ana eksenlerini bu iki kaynak oluşturmaktadır. 2010 yılında toplam 10 GWt'a ulaşan jeotermal ve güneş ısıl kapasitesi, 2020 yılında 20 GWt'ı aşmıştır. (Şekil 4.23 ve Tablo 4.1).

- **Güneş enerjisinin doğrudan kullanımı:** Güneş kolektörlerinin binalarda ve sanayide enerji girdisi toplam 1 Mtep'in üzerindedir. Özellikle konut binalarında çatılarda kullanımın enerji eşdeğeri 18 TWh seviyesindedir. 30 milyon m<sup>2</sup>'ye yaklaşan kolektör alanıyla Türkiye güneş enerjisi ile su ısıtmasında nüfusa oranla dünya lideridir (IEA SHC, 2022) .

<sup>3</sup> Bu kapsamda G-20 içerisinde öncü olan Brezilya birincil enerji talebinin yarısını, Endonezya ve Hindistan ise yaklaşık dörtte-birini, ağırlıklı bölümü biyokütle ve güneşten gelmek üzere, yenilenebilir enerjiden sağlamaktadır.

- **Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı:** Türkiye, Çin'in ardından jeotermal ısı çıktısı bakımından dünyada 2.sırada yer almaktadır. Nüfusa oranlandığında bu alanda da dünya lideri olan Türkiye 2021 yılında nihai enerji tüketiminde yaklaşık 2 Mtep jeotermal enerji girdisi sağlamıştır.

**Şekil 4.23. Jeotermal ve Güneş Isı Kapasitesi Gelişimi (1990-2020, GWt)**



**Tablo 4.1 Güneş Kolektörü Kapasitesinde ve Jeotermal Isı Çıktısında Türkiye'nin Dünya Sıralamasında Yeri (2021-2022)**

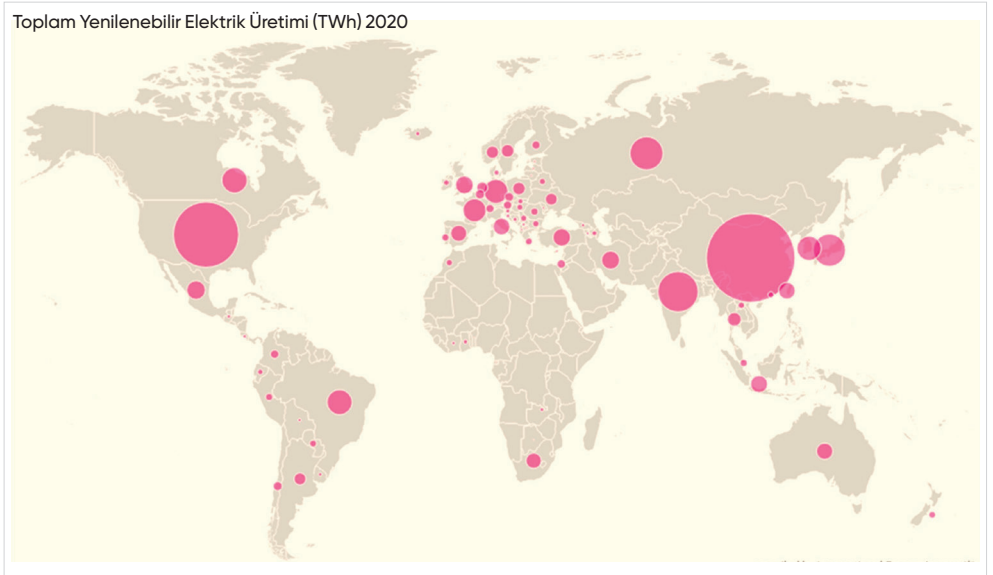
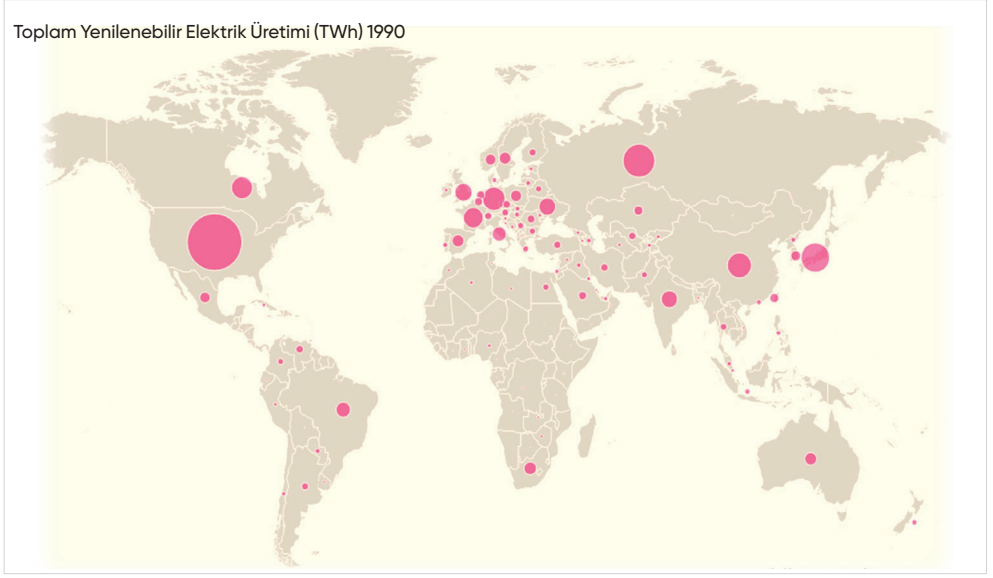
	1.	2.	3.	4.	5.
<b>Güneş Kolektörü Kapasitesinde İlk 5 Ülke</b>	Çin	ABD	Türkiye	Almanya	Brezilya
<b>Jeotermal Isı Çıktısında İlk 5 Ülke</b>	Çin	Türkiye	İzlanda	Japonya	Yeni Zelanda

Kaynak: REN21

- Güneş ve jeotermal enerjinin doğrudan katkısındaki gelişim performansı, genel enerji dengelerinde yenilenebilir enerjinin rolünün güçlenmesinde oldukça önemli olmakla birlikte, Türkiye'nin yenilenebilir enerji hikayesinde geçtiğimiz otuz yıllık dönemde en hızlı büyüme elektrik sektöründe gerçekleşmiş ve Türkiye dünyanın önde gelen yenilenebilir elektrik sektörleri arasına girmiştir (Şekil 4.24).
- Türkiye, bu dönemde öncelikle hidroelektrik kapasitesinde artış ve son on yıllık dönemde diğer yenilenebilir elektrik üretim teknolojilerindeki büyüme neticesinde Avrupa'nın en büyük yenilenebilir elektrik kurulu gücüne sahip piyasalarından birisi durumuna gelmiştir.
- Toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü bakımından dünyada 12. ve Avrupa'da 5. sıraya ulaşan Türkiye, jeotermal enerji kurulu gücünde ve elektrik üretiminde ise dünyanın en büyük 4. ülkesidir. Şekil 4.25).
- Hidro kaynaklarda kurulu güç ve elektrik üretiminde dünyada ilk 10 ülke arasında bulunan Türkiye, rüzgar, güneş ve biyokütle kapasitelerinde de dünyada ilk 20 ülke arasına girmiş, rüzgardan elektrik üretim hacmi bakımından ise ilk 10 sıraya doğru yükselmiştir (Şekil 4.25).
- Yenilenebilir enerji kurulu gücünde hidroelektriğin ağırlıklı payı devam etmekte olup, yenilenebilir kapasite portföyünün yapısı bu bakımdan Norveç, Kanada ve Brezilya ile benzerlik göstermektedir. Yenilenebilir enerji kurulu gücünde lider bölgeler sıralamasındaki diğer ülkelerin pek çoğuna benzer şekilde rüzgar kapasitesi halen güneş kurulu gücünden daha yüksek olmakla birlikte<sup>4</sup> yakın gelecekte bu durumun değişmesi beklenmektedir.
- Hidro dışındaki kaynakların kurulu güce katkısı kapsamında bir değerlendirme yapıldığında ise, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kurulumunda lider ülkeler içerisinde kaynak çeşitlendirmesi bakımından öne çıktığı görülmektedir (Şekil 4.26).
- Nüfusa orantılı bir değerlendirme yapıldığında ise Türkiye'de kişi başına düşen toplam yenilenebilir enerji kurulu gücünün dünya ortalamasının %62 üzerinde olduğu görülmektedir. Henüz değerlendirilmemiş olan zengin yenilenebilir kaynak potansiyeli, bu metrik çerçevesinde de önümüzdeki dönemde hızlı büyüme fırsatlarına işaret etmektedir. Türkiye özellikle rüzgar ve güneş enerjisi kurulu gücünde Avrupa ülkeleri ile karşılaştırıldığında önemli bir büyüme potansiyeline sahiptir. Örneğin, zengin güneş enerjisi potansiyeline karşın Türkiye'de kişi başına güneş kurulu gücü dünya ortalamasından %15 küçük olup, Almanya'nın onda biri seviyesindedir. Türkiye ile benzer enlemlerde yer alan İspanya ve İtalya'da güneş kurulu gücü Türkiye'nin iki katının üzerindedir. (Şekil 4.27 ve Şekil 4.28).

<sup>4</sup> Japonya, Hindistan ve İtalya'da güneş kurulu gücü rüzgar kurulu gücünden daha yüksek seviyededir.

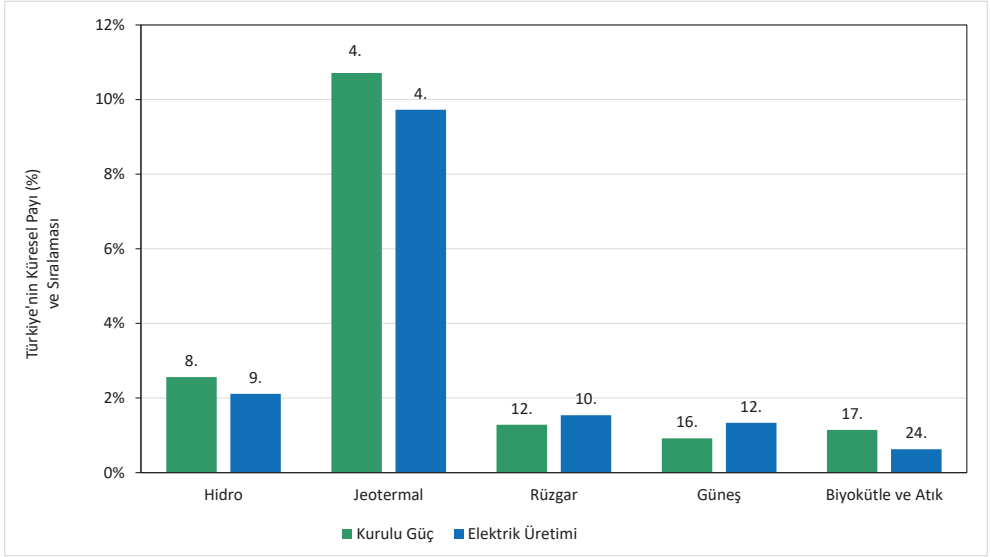
**Şekil 4.24. Yenilenebilir Enerjiden Elektrik Üretiminde Küresel Büyüme (1990-2022)**



Kaynak: IEA

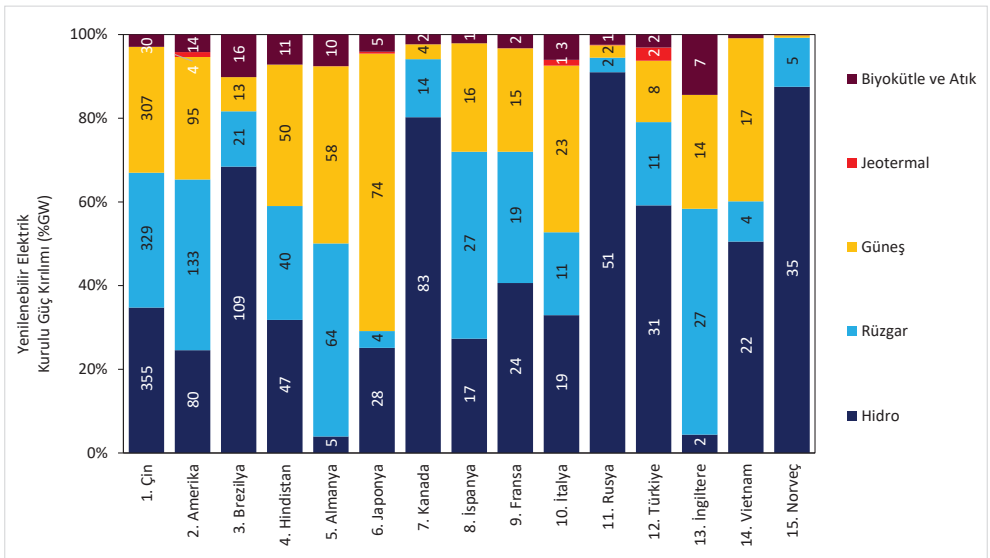


**Şekil 4.25. Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Enerji Katkısında Türkiye'nin Küresel Payı ve Sıralaması (% , sıra)**



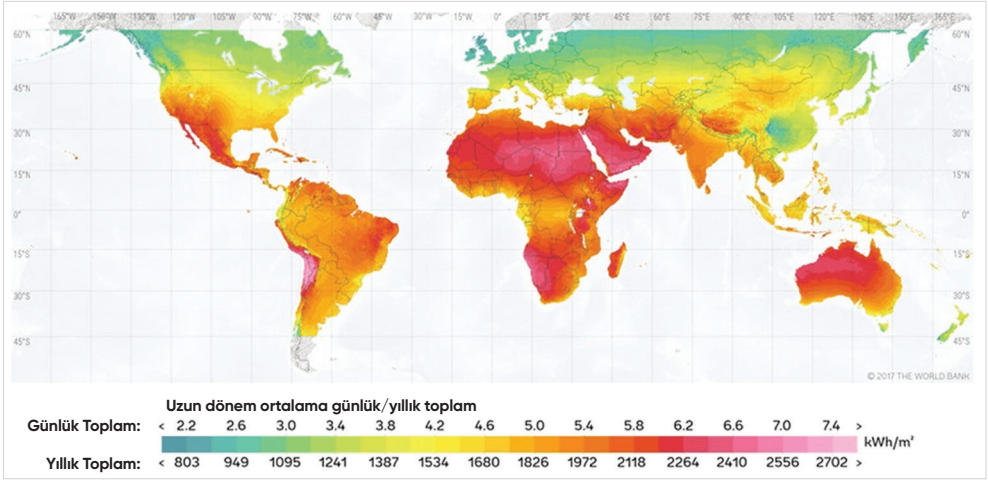
Kaynak: IRENA

**Şekil 4.26. Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücünde İlk 15 Ülke & Kurulu Güç Teknoloji Kırımları (% , sıra) (2021, GW)**



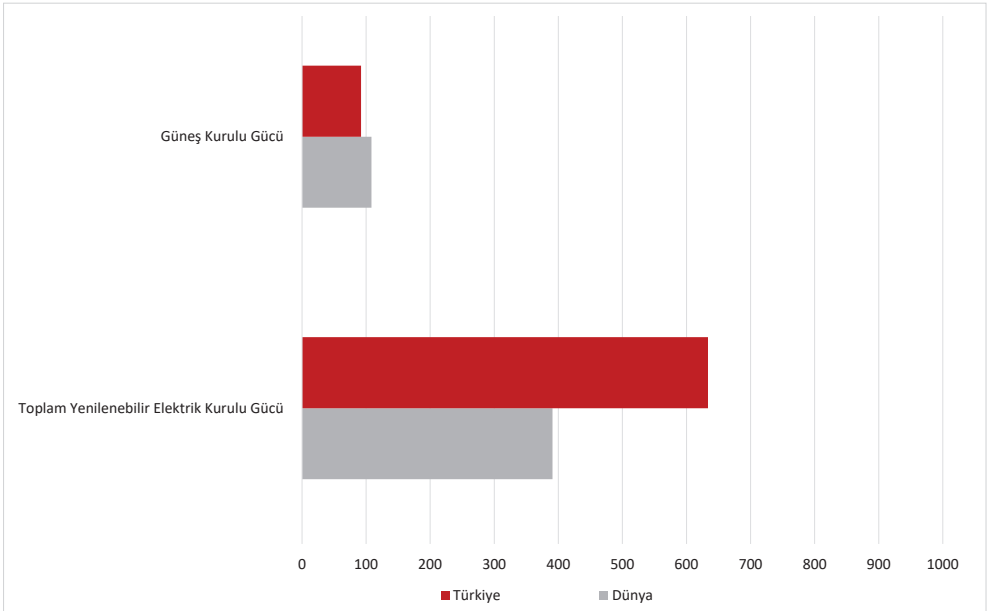
Kaynak: IRENA

Şekil 4.27. Dünyada Güneş Işınımına Bakış (kWh/m<sup>2</sup>)



Kaynak: IEA

Şekil 4.28. Kişi Başına Toplam Yenilenebilir Elektrik ve Güneş Kurulu Gücü (2021, MW/milyon)

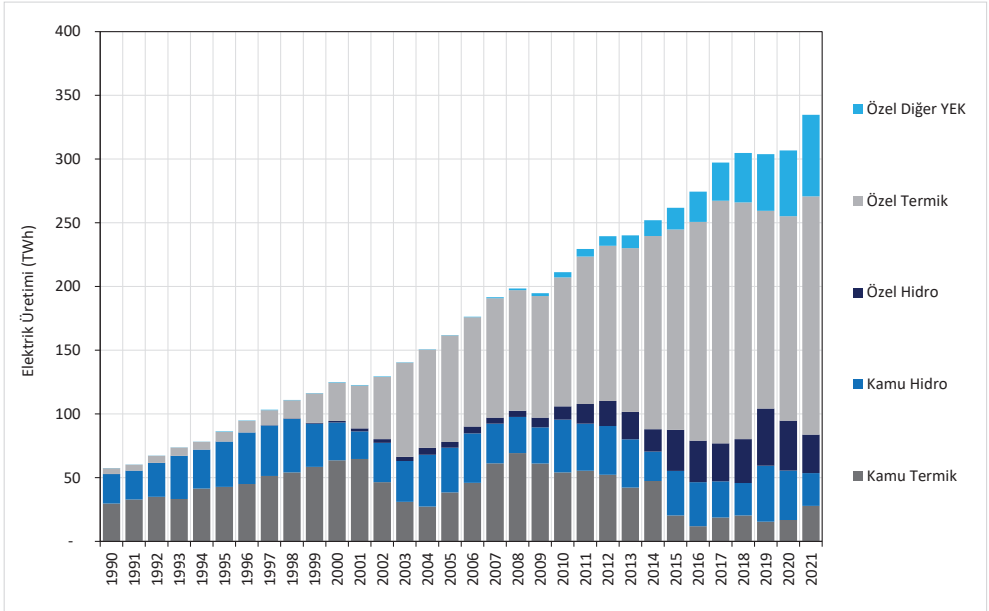


Kaynak: IRENA, TEİAŞ

#### 4.3.4. Yenilenebilir Enerjiden Elektrik Üretiminde Yatırım Modellerinin Değerlendirmesi

2001 yılında rekabete dayalı elektrik piyasası gelişiminin ilk yasal çerçevesinin oluşmasıyla birlikte, Türkiye elektrik üretimi sektöründe büyüme ağırlıklı olarak özel sektör tarafından gerçekleştirilmiş, özelleştirmelerin de etkisiyle kamunun elektrik üretiminde 2000 yılında %70 olan payı 2010 yılında %45'e düşmüş ve günümüzde %15 seviyesine gelmiştir. 2021 yılında kamu elektrik üretim şirketi EÜAŞ tarafından gerçekleşen üretimin yaklaşık yarısı hidro kaynaklara dayalıdır. Özel sektör, Türkiye hidroelektrik üretiminin %55'ini, toplam yenilenebilir elektrik üretiminin ise %80'ini oluşturmaktadır. (Şekil 4.29).

Şekil 4.29. Elektrik Üretiminin Temel Üretici Gruplarına Göre Gelişimi (1990-2021, TWh)

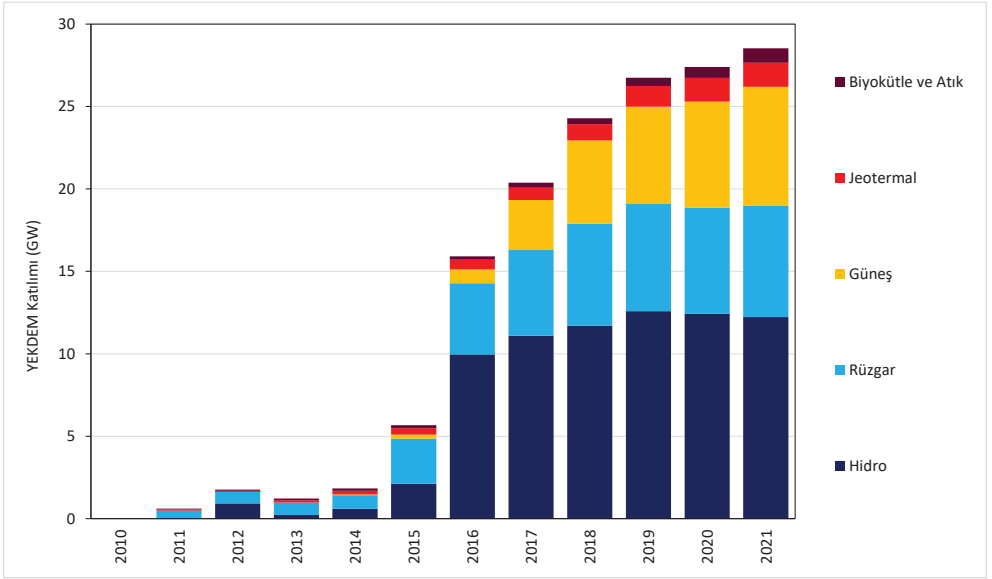


Kaynak: TEİAŞ

Elektrik üretiminde özel sektör yatırımları modelini benimseyen Türkiye'de, yenilenebilir enerjiden elektrik üretimine özel çeşitli piyasa ve yatırım modelleri hayata geçirilmiştir. Bunların bir bölümü yenilenebilir enerji yatırım ivmesinin gelişiminde ve kapasite artışlarında oldukça etkin olurken, bazı modeller ise aradan geçen süre içerisinde kapasite gelişimine arzu edilen ölçüde katkı verememiştir. Uygulanan destek ve yatırım modellerinin kapsamlı bir etki analizinin yapılması yoluyla, finansmana erişimi güçlendirerek proje stokunun hacmini ve çeşitliliğini artıracak yeni modellere işlerlik kazandırılmasının, yenilenebilir enerjide kaynak potansiyeli ile uyumlu ve güçlü bir büyüme için kritik başarı faktörlerinden birisi olacağı değerlendirilmektedir.

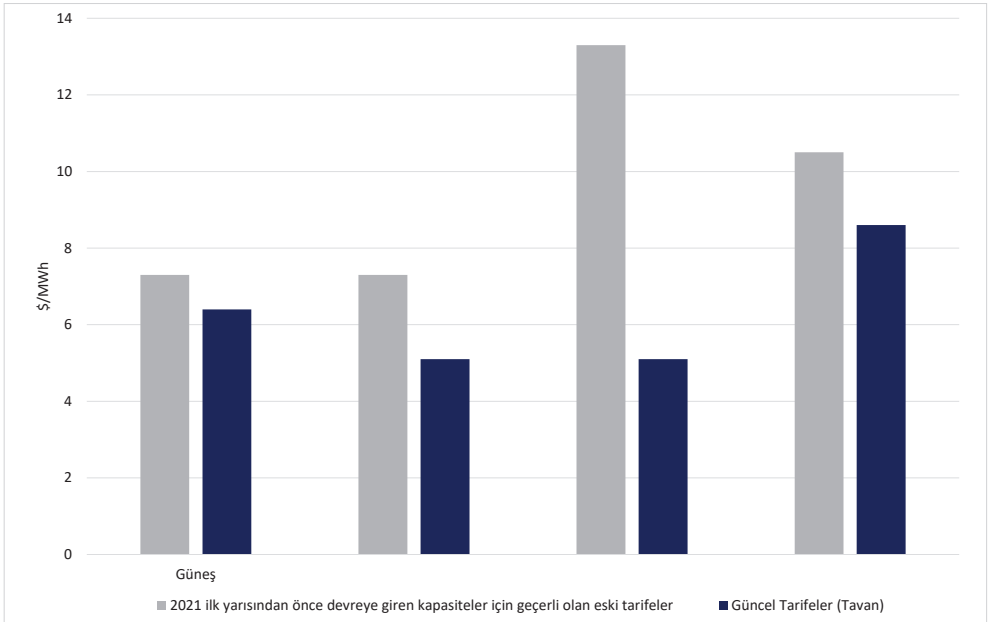
- **YEKDEM (Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması):** Üretime uzun dönemli ve MWh/\$ bazında alım garantisi sunulan YEKDEM modeli, yenilenebilir enerjide kurulu güç büyümesinin ana dinamosunu oluşturmuştur. 2015 yılında 5 GW seviyesinde olan YEKDEM katılımcısı toplam kapasite, 2019 yılında 25 GW'ı aşarken günümüzde 30 GW'a yaklaşmaktadır (Şekil 4.30). \$-bazlı alım garantileri ile uzun bir dönem piyasa fiyatlarının üzerinde olan YEKDEM tarifeleri, yatırımların finansmanında ve sürdürülebilirliğinde önemli bir işlev üstlenmiş, baz YEKDEM garantilerine ek olarak sunulan yerli katkı teşvikleri de yenilenebilir kaynaklara dayalı proje stokunda güçlü büyümeyi desteklemiştir. 2020 yılı içerisinde \$ bazlı tarifelerin TL'ye dönmesi ile birlikte, yeni yatırım ivmesinde önemli bir yavaşlama gözlenmektedir. (Şekil 4.31). YEKDEM ile hayata geçirilmiş olan kapasite, 2030'ların başlarında ilgili YEKDEM sürelerinin sonlanması ile birlikte piyasaya geçmiş olacaktır. Bu çerçevede, piyasa fiyatlarının seyri, karbon fiyatlaması ile ilgili gelişmeler ve ikili anlaşmalara dayalı etkin bir piyasa gelişimi gibi unsurların bu kapasitenin Türkiye enerji ekosistemine katkısı bakımından önemli olacağı değerlendirilmektedir.
- **YEKA (Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları):** 2017 yılında, rüzgar ve güneşe dayalı kapasite gelişiminde yerli ekipman kullanımına ilişkin şartlar getiren, GW ölçeğinde yatırımlara odaklı yeni bir modele işlerlik kazandırılmıştır. Şimdiye dek 3 güneş ve 2 rüzgar YEKA yarışması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda toplamda 5 GW'a ulaşan kapasite hedefinin 1 GW'a yakını devreye girebilmiştir (Şekil 4.32 ve Şekil 4.33). Proje gelişmeleri irdelendiğinde yarışmalarla neticelenen toplam kapasitenin önümüzdeki dönemde bir bölümünün işletmeye geçmesi beklenmektedir.
- **Lisanssız Üretim:** Kurulu güçte belirlenen eşik değer altındaki yatırımlar için lisans şartını ortadan kaldıran ve özellikle dağıtık üretimde büyümenin desteklenmesini hedefleyen lisanssız elektrik üretimi modeli kapsamında 2017 yılında sadece 1 GW düzeyinde olan lisanssız kurulu güç, 8 GW'ı aşmış bulunmaktadır. Bu kapasitenin tamamına yakını güneş enerjisine dayalı üretim birimleri oluşturmakta olup, lisanssız kapasitenin toplam yenilenebilir enerji kurulu gücüne oranı %15'e ulaşmıştır (Şekil 4.34 ve Şekil 4.35). Lisanssız üretimin, enerjinin talep edildiği yerde üretimi yoluyla kayıpları azaltarak verimli büyümeyi destekleyecek şekilde ve özellikle öz-tüketim uygulamalarına odaklı olarak sürdürülmesi toplam sistem verimi bakımından önem taşımaktadır.

**Şekil 4.30. YEKDEM Katılımcısı Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Gelişimi (2010-2021, GW)**



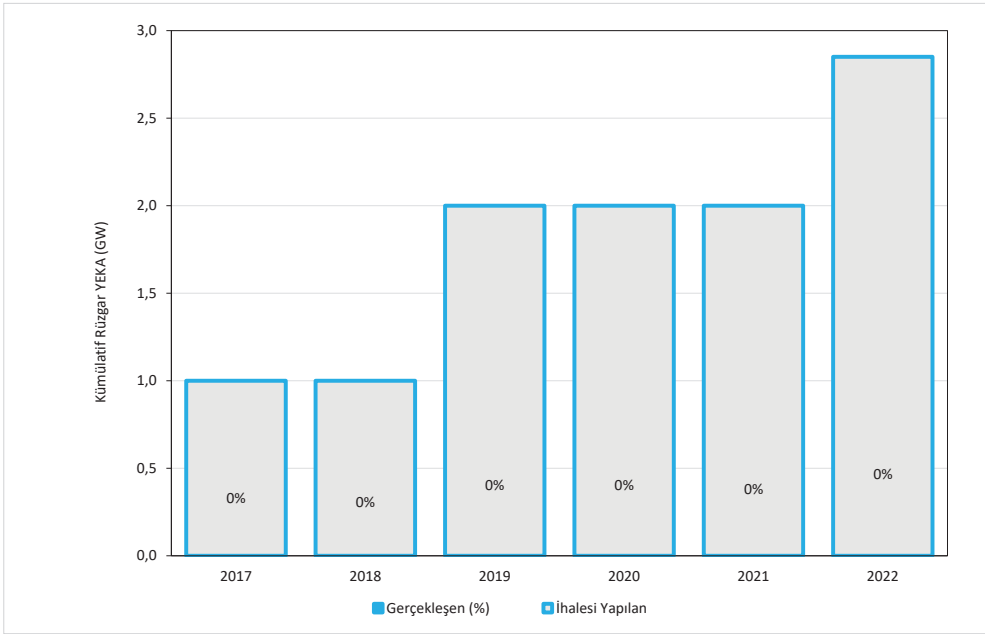
Kaynak: EPIAŞ

**Şekil 4.31. YEKDEM Alım Garantili Fiyatlarının Gelişimi (\$/MWh)**

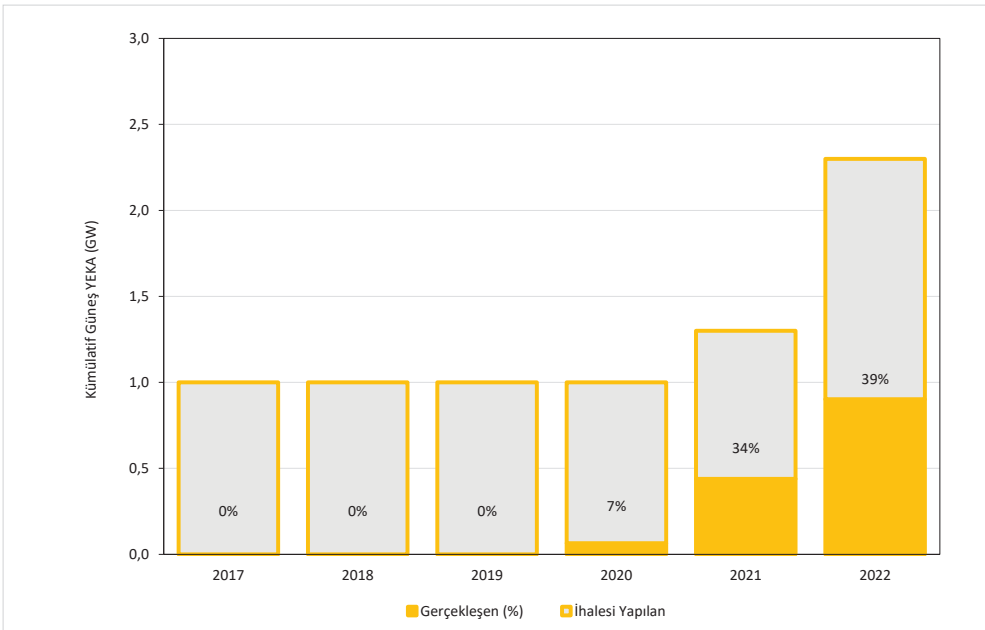


Kaynak: EPDK

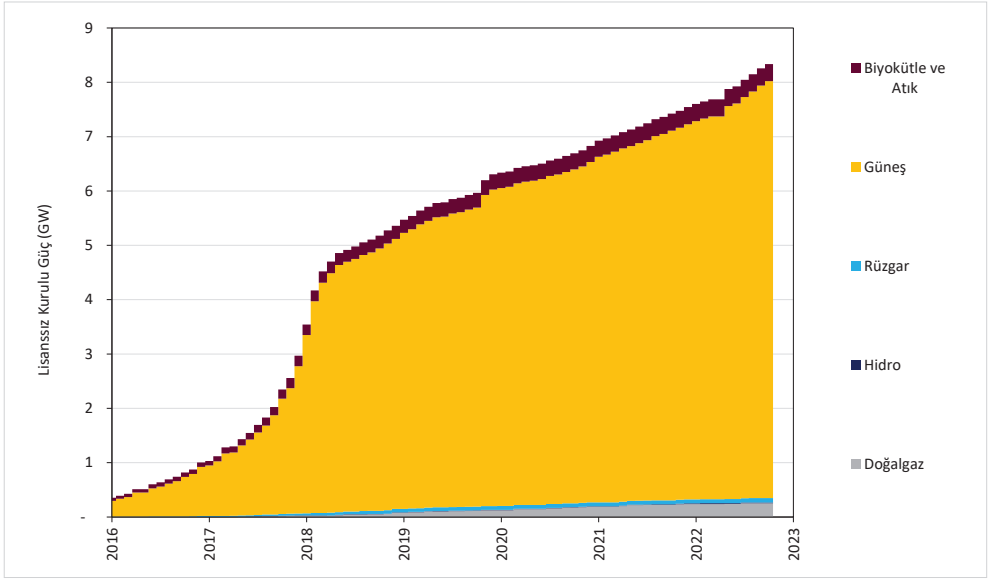
Şekil 4.32. YEKA Rüzgar Yarışmaları ve Gerçekleşen Kapasitenin Kümülatif Gelişimi (GW)



Şekil 4.33. YEKA Güneş Yarışmaları ve Gerçekleşen Kapasitenin Kümülatif Gelişimi (GW)

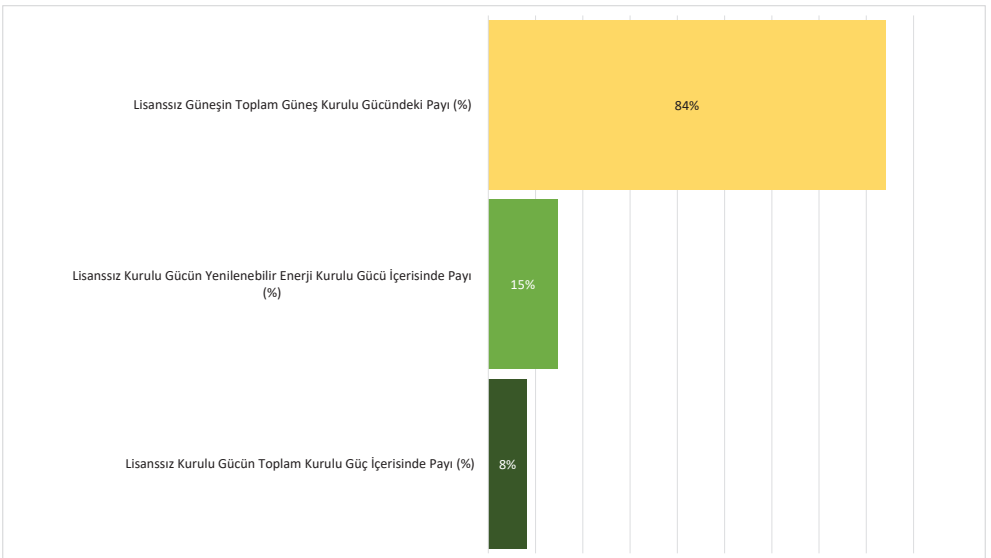


**Şekil 4.34. Lisanssız Kurulu Gücün Teknolojilere Göre Gelişimi (2016-2022, GW)**



Kaynak: EPDK

**Şekil 4.35. Lisanssız Kurulu Gücün Toplam Kurulu Güç ve Yenilenebilir Kurulu Gücündeki Payı (2022 Ekim sonu, %)**



Kaynak: TEİAŞ, EPDK

- **Depolama ile birlikte rüzgar ve güneş kapasite bağlantıları:** İletim sisteminde yeni rüzgar ve güneş kapasitelerinin bağlantısına ilişkin kısıtlar, depolama sistemleri ile entegre üretimi düzenleyici çerçevenin öncelikli alanlarından birisi durumuna getirmiştir. Bu yıl içerisinde, yeni rüzgar ve güneş kapasitelerinin depolama tesisleri ile birlikte kurulmaları durumunda kapasite tahsisinden yararlanabilmesi yönünde yeni bir düzenleme hayata geçirilmiş ve başvuru süreci yoğun bir talep ile neticelenmiştir<sup>5</sup>. Depolama ile entegre kesintili yenilenebilir üretim kapasitesinde gelişimin, önümüzdeki dönemde proje stokunda güçlü büyümenin sağlanabilmesi ve yenilenebilir elektrik üretiminde büyüme hızı bakımından kritik faktörlerden birisi olacağı düşünülmektedir.
- **Maliyetler ve Fiyatlar:** Türkiye elektrik piyasasında maliyet oluşumu, doğal gaz santrallerinin elektrik fiyatlarına belirleyici etkisi çerçevesinde, doğal gaz alım maliyetleri ile yakın ilişki göstermeye devam etmektedir. 2016 yılında ortalama 150 TL/MWh olan Piyasa Takas Fiyatı (PTF), 2021 yılında 500 TL/MWh'in üzerine ve 2022 yılının ilk 10 aylık döneminde 2000 TL/MWh seviyesine yükselmiştir. Bu dönemde, sanayi ve ticarethanelerin düzenlemeye tabi tarifeleri, zaman içerisinde maliyet bazını yansıtan seviyelere yaklaşırken, mesken tarifeleri piyasa fiyatlarının altında düzenlenmeye devam etmektedir (Şekil 4.36).

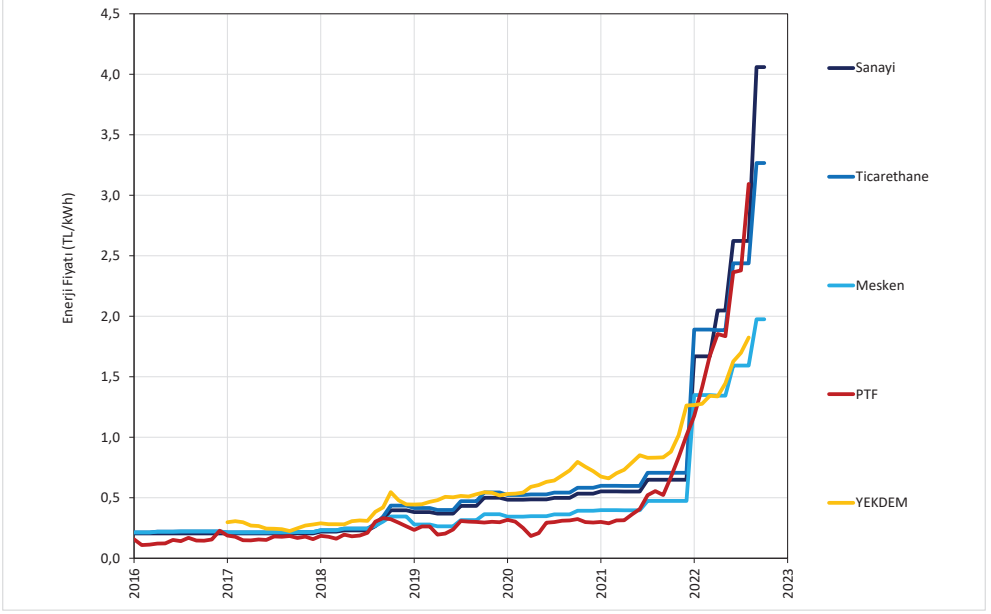
Fiyatlardaki gelişmeler \$ bazında incelendiğinde, küresel ve bölgesel emtia fiyatlarında 2021 yılından bu yana gerçekleşen yüksek artışların Türkiye elektrik piyasasına da önemli oranda yansıdığı, 2016-2020 döneminde 50 \$/MWh seviyelerinde gerçekleşen ve YEKDEM tarifelerinin daha altında seyreden PTF'nin 2022 yılı başlarında 100 \$/MWh seviyesini aştığı 160-180 \$/MWh bandına doğru yükseldiği görülmektedir (Şekil 4.37). Bu hızlı maliyet artışları karşısında, 2022 yılı içerisinde fiyat oluşumuna ilişkin düzenlemelerde elektrik üretim kaynakları bazında tarife modeline geçilmiş, yenilenebilir enerjiye dayalı üretim fiyatlandırması altı aylık dönem için 1.200 TL/MWh ve sonrasında yine altı aylık bir dönemde geçerli olmak üzere 1.540 TL/MWh olarak belirlenmiştir (Şekil 4.38). Asgari Uzlaştırma Fiyatı (AUF) olarak belirlenen bu sabit fiyat düzenlemesinin gelişimi, yenilenebilir enerji üretiminde öngörülebilirlik ve finansal sürdürülebilirlik bakımından önemli bir parametre durumuna gelmiştir.

---

<sup>5</sup> 60 GW üzerinde başvuru gerçekleşmiştir.



Şekil 4.36. Elektrik Fiyatları ve Tarifelerde Enerji Bedelinin Gelişimi (2016-2022, TL/kWh)



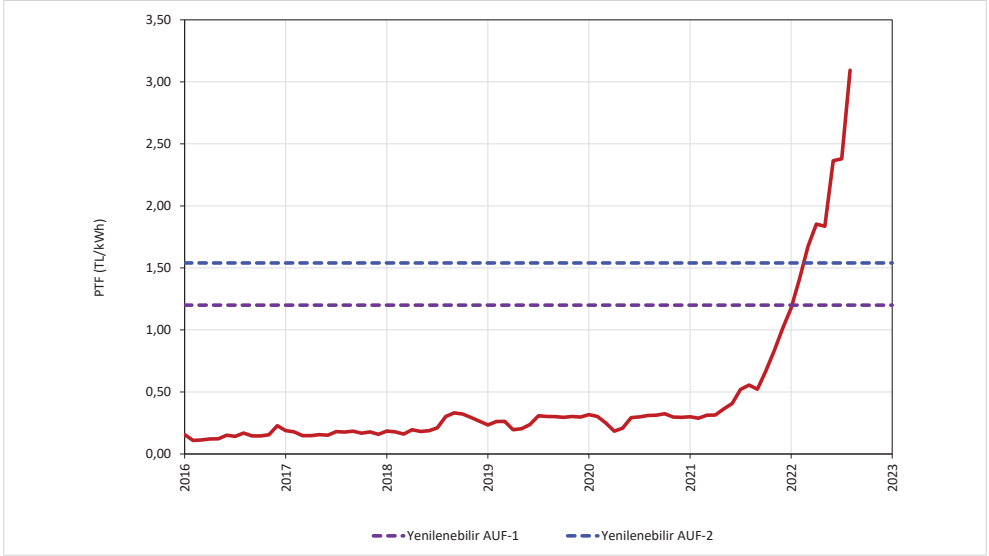
Kaynak: EPDK, EPIAŞ

Şekil 4.37. Elektrik Piyasasında PTF Gelişimi (2016-2022, \$/kWh)



Kaynak: EPIAŞ

**Şekil 4.38. Elektrik Piyasasında PTF ve Yenilenebilir Üretim İçin Belirlenen Asgari Uzlaştırma Fiyatları (TL/kWh)**



**Kaynak:** EPDK, EPIAŞ

## 4.4. Enerjide Karekod & Yenilenebilir Enerjinin Katkıları

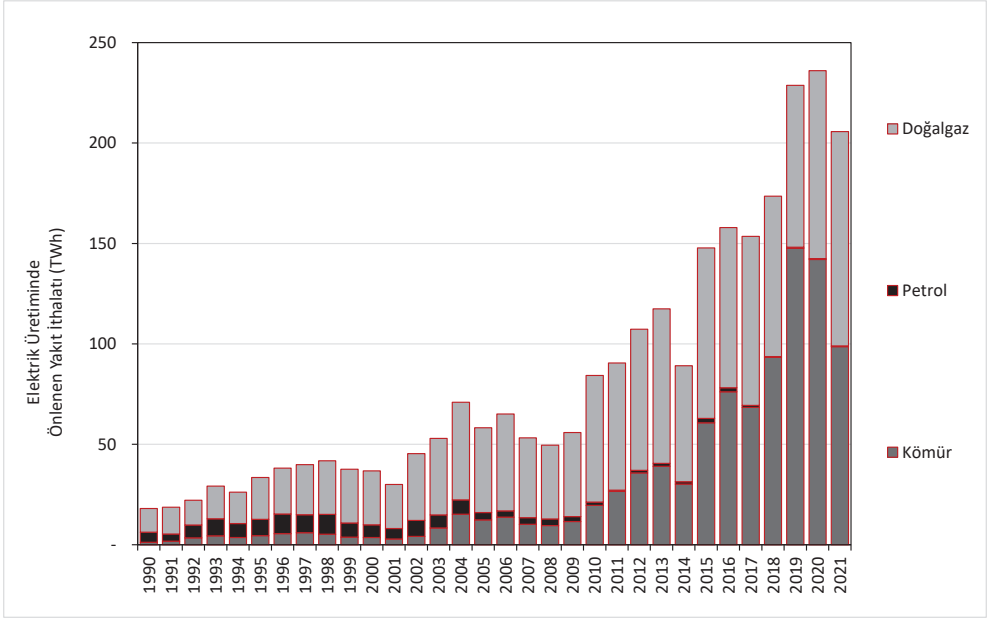
### 4.4.1. Elektrik Arz Güvenliği ve İthal Yakıt Faturası Katkıları

Bölüm 3'de sunulduğu gibi, verimli ve düşük karbonlu büyüme ile bunu destekleyecek enerji arzının ithalat yoğunluğunun düşürülebilmesi, Türkiye enerji ekonomisinin gelecekte daha güvenli, temiz ve sürdürülebilir büyümesi bakımından en kritik unsurlardır. Yenilenebilir enerji, elektrifikasyon oranı hızla artan Türkiye'nin büyüyen enerji talebinin karşılanmasında %35-45 aralığında değişen yıllık elektrik üretimi katkısıyla, ithalata dayalı elektrik üretiminin belirli bir seviyede tutulmasına önemli katkı sağlamıştır.

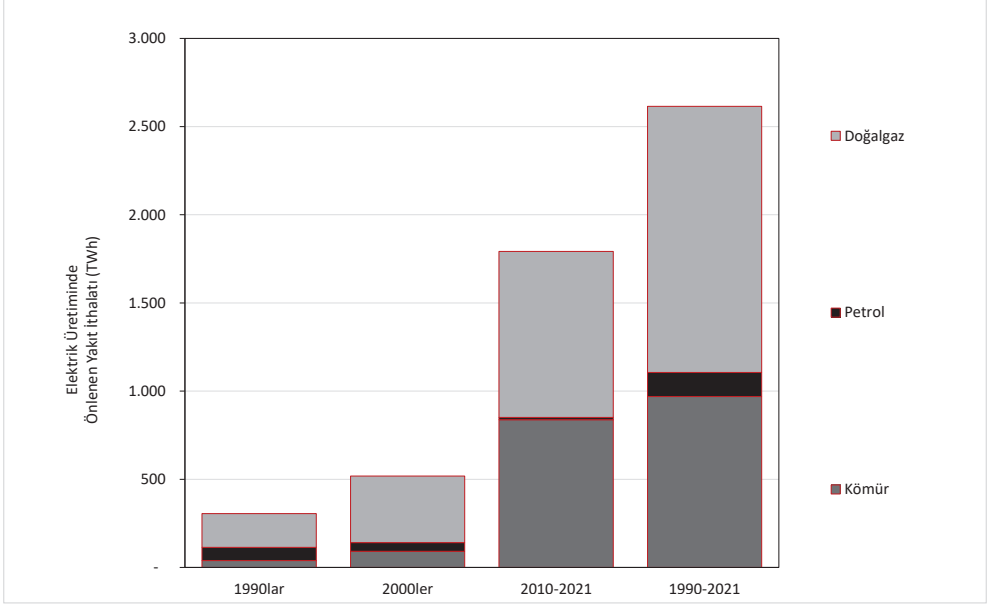
- IICEC tarafından yapılan analizler, 1990 yılından bu yana fosil yakıtla dayalı toplam elektrik üretiminin yaklaşık 4.000 TWh olarak gerçekleştiğini, yenilenebilir enerji üretimi yoluyla toplam 2.615 TWh eşdeğeri fosil yakıt üretiminin önlendiğini göstermektedir. Bu tasarrufun yaklaşık %70'lik bölümü 2010-2021 arası dönemde gerçekleşmiştir. Türkiye'nin enerji arzında neredeyse tamamen dışa bağımlı olduğu doğal gaz, son dönemde yenilenebilir enerji katkısıyla eşdeğeri cinsinden önlenecek ithalatın %60'a yakınına oluşturmuştur (Şekil 4.39 ve Şekil 4.40).

- Yakıt fiyatları üzerinden yapılan analizler, 1990–2021 döneminde elektrik üretimi amaçlı fosil yakıt ithalat faturasının 263 milyar \$ olarak gerçekleştiğini, bu dönemde yenilenebilir elektrik üretiminin ithalat faturasında toplam 74 milyar \$ tasarruf sağladığını göstermektedir (Şekil 4.41). Diğer bir ifadeyle, yenilenebilir elektrik üretimi sayesinde Türkiye'nin elektrik üretimi amaçlı fosil yakıt ithalat faturası son otuz yılda %22 daha düşük gerçekleşmiştir.
- 2022 yılının ilk 9 aylık döneminde ise toplam 110,8 TWh yenilenebilir elektrik üretimi ile yaklaşık 17 bcm doğal gaz ithalatının önüne geçilmiştir. Bunun parasal karşılığı da yaklaşık 15 milyar \$ olarak hesaplanmaktadır. Türkiye, 55 GW'a yaklaşan yenilenebilir enerji kurulu gücü ile, mevcut fosil yakıt fiyatlarıyla enerji ithalatından 25 milyar \$/yıl tasarruf etmektedir (2022 için öngörülen toplam enerji ithalat faturasının yaklaşık dörtte-biri) .

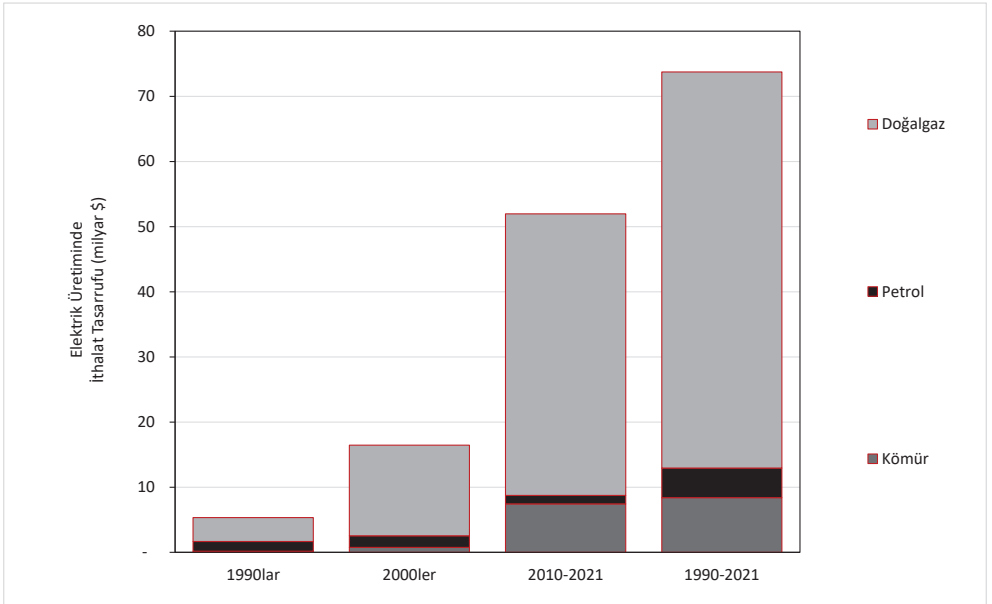
**Şekil 4.39. Yenilenebilir Elektrik Üretimi ile Önlenen Fosil Kaynaklı Elektrik Üretimi (1990–2021, TWh)**



**Şekil 4.40. Yenilenebilir Üretim ile Önlenebilir Fossil Kaynaklı Elektrik Üretiminin Dönemsel Gelişimi (1990-2021, TWh)**



**Şekil 4.41. Yenilenebilir Elektrik Üretimi ile Önlenebilir Dönemsel İthalat Harcaması (1990-2021, Milyar \$)**

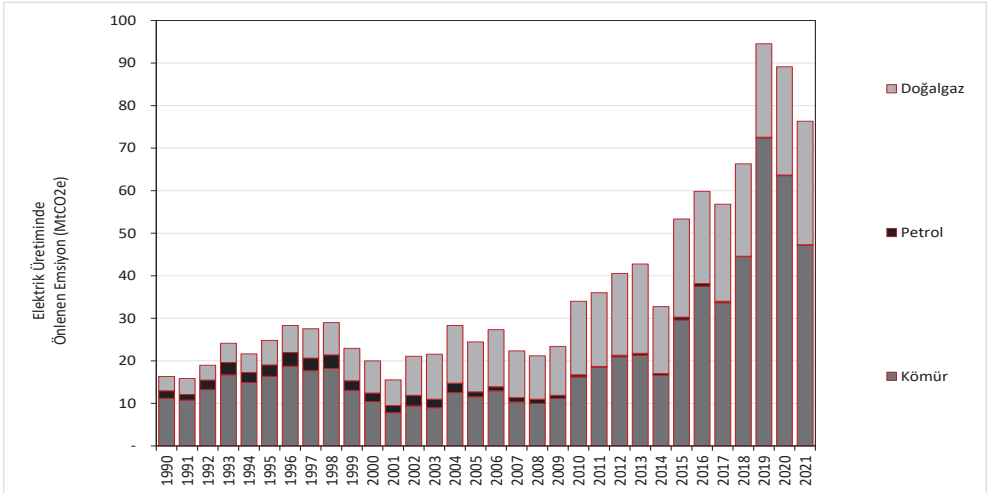


#### 4.4.2 Elektrik Sektörü Sera Gazı Emisyonları ve Temiz Enerji Dönüşümü Katkıları

Yenilenebilir enerjinin Türkiye elektrik sisteminin çevresel performansına da önemli katkıları olmuştur. 1990 yılından bu yana 1.138 Mton CO<sub>2</sub>e emisyonu önleyen yenilenebilir elektrik üretimi, bu dönemde toplam emisyonlarda yaklaşık %25 azalma sağlamıştır. Son dönemde yenilenebilir elektrik üretiminde artan hacimler ile birlikte önlenen sera gazı emisyonu miktarı yıllık 90 Mton CO<sub>2</sub>e seviyesine kadar ulaşmıştır<sup>6</sup> (Şekil 4.42 ve Şekil 4.43). Elektrik sisteminin toplam emisyon envanterinde büyümeyi yarıya yakın azaltan bu önemli katkıya karşın, yenilenebilir elektriğin toplam üretimdeki payının uzun yıllardır belirli bir aralık içerisinde seyretmiş olması nedeniyle emisyon yoğunluğunda sınırlı iyileşme sağlanabilmiştir. Elektrik üretiminin karbon yoğunluğu, hidrolojiye bağlı hidroelektrik üretimi katkısı ile değişmekle birlikte son dönemde 500-550 gCO<sub>2</sub>e/kWh bandında gerçekleşmektedir (Şekil 4.44). Karbon yoğunluğunda, net-sıfır emisyon perspektifini destekleyen anlamlı bir düşüş trendi, yenilenebilir enerjinin üretime katkısında önemli artış gerektirecektir.

IICEC analizlerinde, elektrik üretiminden kaynaklı hava kirleticiler de irdelenmiş, 1990 yılından bu yana yenilenebilir elektrik üretimi yoluyla 12,5 Mton SO<sub>2</sub> emisyonunun ve 2,6 Mton NO<sub>x</sub> emisyonunun önlendiği hesaplanmıştır<sup>7</sup>. Son dönemde yenilenebilir elektrik üretimi sayesinde bu iki kirleticide önlenen toplam azaltım 1 Mton/yıl seviyesindedir (Türkiye'nin toplam SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonu 3,5 milyon ton seviyesindedir) (ÇŞB, 2021).

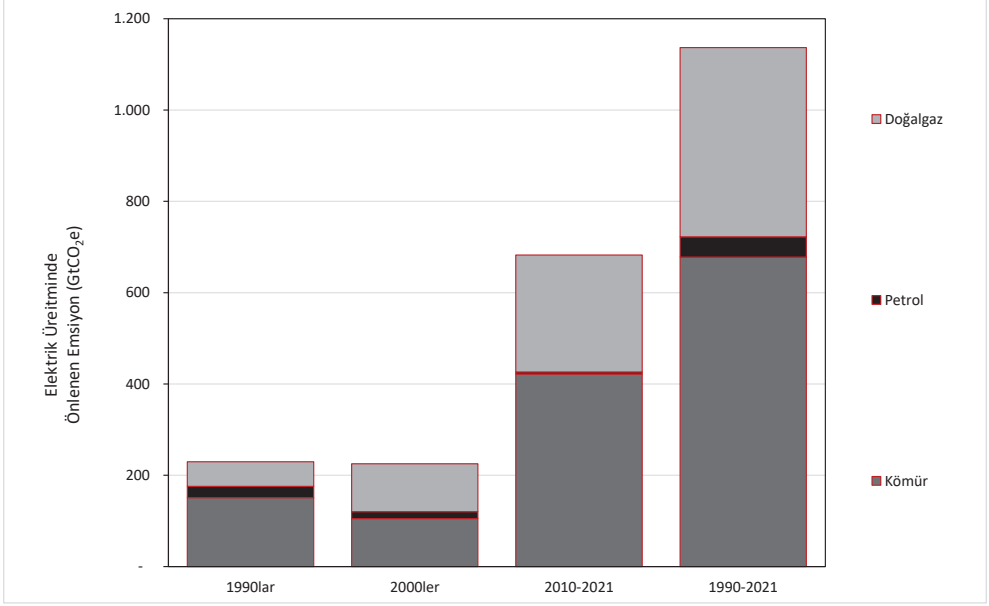
**Şekil 4.42. Yenilenebilir Elektrik Üretimi ile Elektrik Sektöründe Önlenen Sera Gazı Emisyonu (1990-2021, MtCO<sub>2</sub>e)**



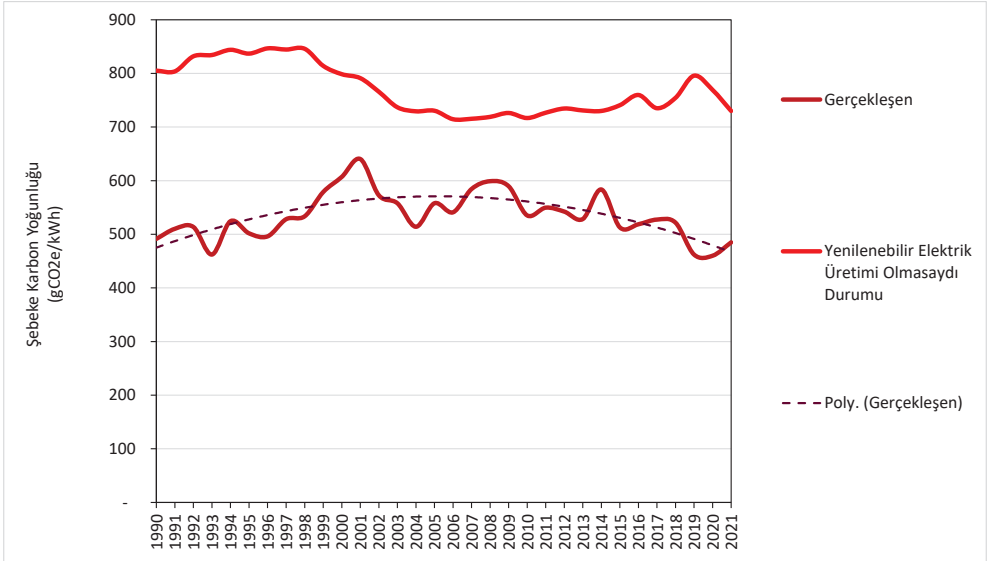
<sup>6</sup> 2020 yılında elektrik ve ısı üretiminin gerçekleşen emisyonu yaklaşık 166 Mton CO<sub>2</sub>e olup, IICEC analizlerinde yenilenebilir elektrik üretimi sayesinde önlenen sera gazı emisyonuyaklaşık 90 Mton CO<sub>2</sub>e seviyesinde hesaplanmaktadır.

<sup>7</sup> SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>, insan sağlığına olumsuz etkiler bakımından kritik iki kirleticisi olup, SO<sub>2</sub> emisyonları elektrik üretiminden ve sanayide yaka tesislerinden, NO<sub>x</sub> emisyonları ise ağırlıklı olarak ulaşıtırmada enerji tüketiminden, binalardan ve elektrik üretiminden kaynaklanmaktadır (WHO, 2022)

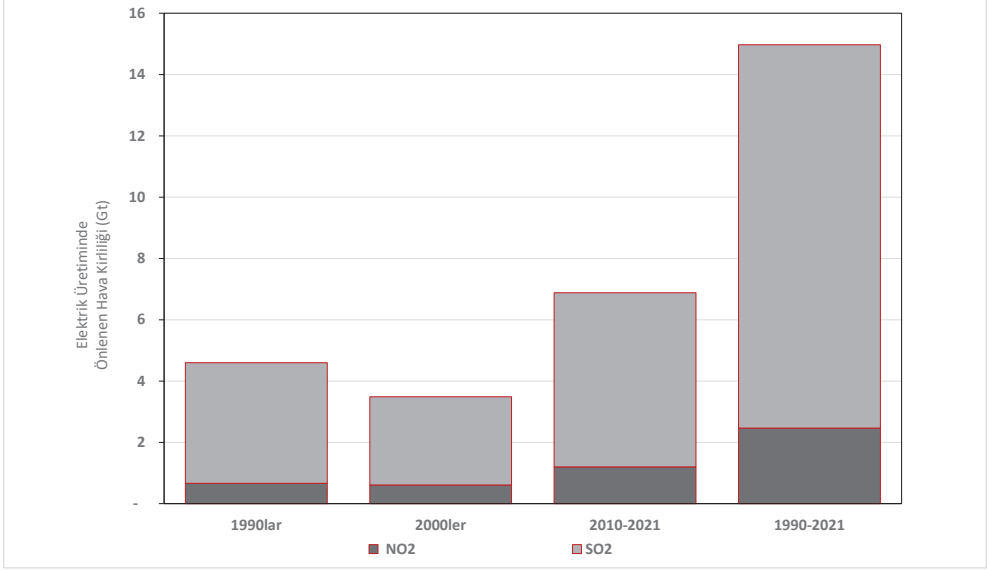
**Şekil 4.43. Yenilenebilir Üretim ile Elektrik Sektöründe Önlenebilir Sera Gazı Emisyonunun Dönemsel Gelişimi (1990-2021, MtCO<sub>2</sub>e)**



**Şekil 4.44. Elektrik Üretiminin Karbon Yoğunluğunun Gelişimi (2016-2021, gCO<sub>2</sub>e/kWh)**



**Şekil 4.45. Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Enerji ile Önlenen Hava Kirliliği (1990-2021, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub>, Mt)**

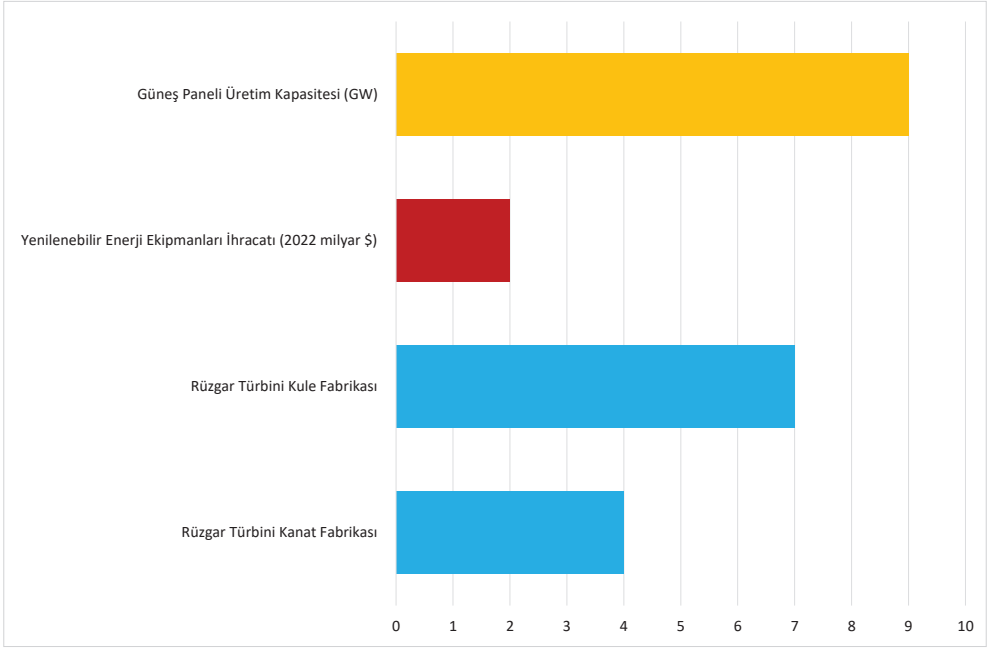


#### 4.4.3. Sanayide Yerleşme Gelişimi Katkısı

Yenilenebilir elektrik üretiminde büyüme hamlesi, Türkiye’de yerli ekipman üretimi ekosisteminde önemli gelişmeleri de beraberinde getirmiştir. Türkiye son on yıllık dönemde büyüyen iç pazarı ile birlikte rüzgarda bölgenin önemli bir ekipman üretim merkezi durumuna gelirken, güneş teknolojilerine odaklı yeni yatırımlar yoluyla da tedarik zincirlerindeki konumunu pekiştirmektedir. 4 kanat, 7 kule fabrikası başta olmak üzere çok sayıda üretim birimi ile rüzgar santralleri ekipmanları üretiminde Avrupa’da 5.sırada yer alarak toplam 25.000 kişilik istihdam yaratan rüzgar santralleri ekipmanlarında ihracat hacmi 2021 yılında 1,5 milyar \$’a ulaşmıştır. Yaklaşık 9 GW olarak raporlanan güneş PV panel üretim kapasitesi ile Türkiye aynı zamanda Avrupa’nın ve Orta Doğu’nun en büyük entegre güneş PV imalat tesisine de ev sahipliği yapmaktadır (Şekil 4.46).

Rüzgar ve güneş teknolojilerinde gelişen imalat sanayi yetkinlikleri, önümüzdeki dönemde yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretimi büyümesi için kritik bir zemin oluşturmaktadır. Tedarik zincirlerinde önemli bir dönüşümün yaşandığı, küresel enerji krizi ile birlikte enerji güvenliği paradigmasının temiz enerji teknolojileri tedarikini de kapsayan daha geniş bir düzleme doğru şekillenmekte olduğu bu dönemde yerli sanayinin üretim ve teknoloji yetkinliklerinin güçlenerek sürdürülmesi, küresel ve bölgesel temiz enerji dönüşümünde Türkiye için yeni fırsat alanlarını da beraberinde getirebilecektir. Rüzgar ve güneş teknolojilerinde imalat yetkinliklerinin, enerji depolama ve hidrojen tedarik teknolojilerini de kapsayacak şekilde geliştirilmesi Türkiye’nin güvenli ve temiz enerji geleceği için kritik bir başarı faktörü olacaktır (Detaylar için lütfen Bölüm 6’ya bakınız).

**Şekil 4.46. Yenilenebilir Enerjide Teknoloji Yerleşmesinde Öne Çıkanlar**



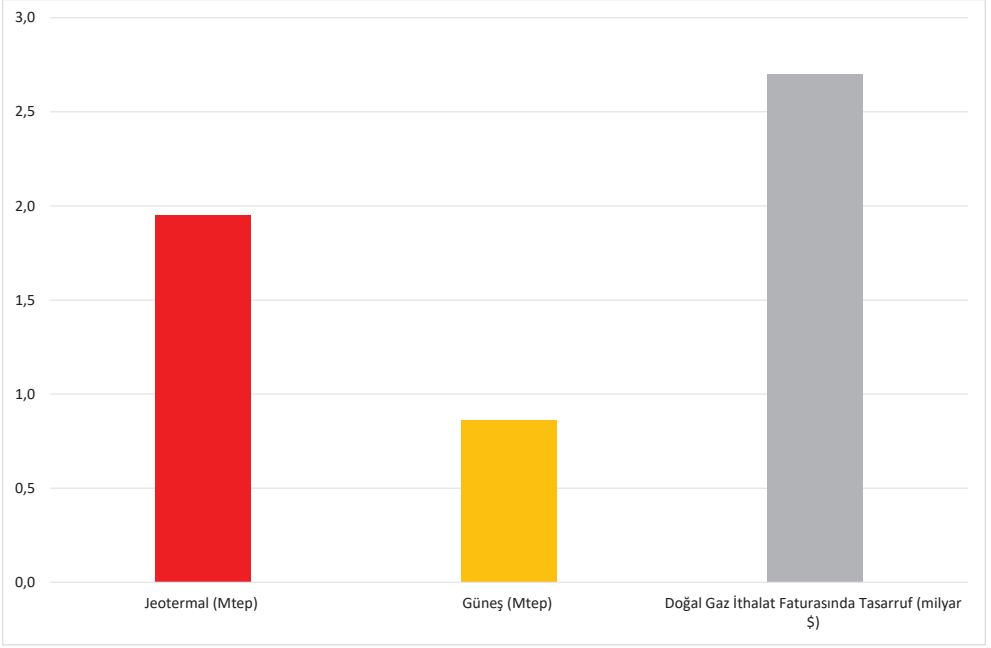
#### 4.4.4. Elektrik Sektörünün Ötesinde Katkılar

Yenilenebilir enerjinin Türkiye enerji ekonomisine katkıları, elektrik üretimi ile sınırlı değildir. Örneğin, son dönemde konut ısıtmasında jeotermal enerjiden 0,9 Mtep/yıl ve güneş enerjisinden 0,6 Mtep/yıl katkı sağlanmaktadır (Toplam konut enerji tüketiminin %5'i). 2021 yılında bu iki kaynak ile konutlara sağlanan nihai enerji arzı 1 bcm/yıl doğalgaza eşdeğerdir (Türkiye'nin 2021 yılında konutlarda doğal gaz tüketiminin %6'sı).

Güneş ve jeotermal enerjinin nihai enerji tüketimine katkısı 2021 yılında toplam 2,8 Mtep olarak gerçekleşmiş olup, böylelikle 3,2 milyar bcm/yıl ve güncel doğal gaz maliyetlerinde ekonomik karşılığı 2,5-3 milyar \$/yıl olan doğal gaz ithalatından tasarruf edilmektedir (Şekil 4.47). (Türkiye'nin 2022 yılı öngörülen toplam enerji ithalatının %2-3'ü) (Yenilenebilir enerjinin nihai enerji tüketiminde rolü ve gelecek perspektifine ilişkin detaylar için lütfen Bölüm 5'e ve Bölüm 7'ye bakınız.)



**Şekil 4.47. Jeotermal ve Güneş Enerji Nihai Enerji Tüketiminde Doğrudan Katkısı ve Önlenebilir Doğal İthalat Faturası (2021, Mtep ve milyar \$)**



#### 4.5. Enerji ve İklim Politika Belgelerinde ve Hedeflerinde Yenilenebilir Enerji

- **Enerji Planı:** Türkiye'nin 2053 net-sıfır hedefine ve enerji güvenliği stratejilerine yönelik kapsamlı bir enerji planının açıklanması beklenmektedir. Planda enerji talebi ve kaynak bazında kapasite gelişimine ilişkin orta ve uzun vadeli hedeflerin yer alması öngörülmektedir.
- **Ulusal Katkı Beyanı (NDC), 2022 :** Türkiye COP 27 Konferansında Ulusal Katkı Beyanı'nı açıklamıştır. 2030 yılında mevcut politikaların devamına (BAU ) göre %41 azaltım öngören NDC, mevcut emisyon envanteri ile kıyaslandığında 2030 yılına kadar %32 artışa işaret etmektedir. Türkiye ayrıca toplam emisyonların 2038 yılında tepe noktasına ulaştırılması hedefini beyan etmiştir.
- **Kalkınma Planları:** Bölüm 3'de belirtildiği üzere, beş-yıllık bütüncül kalkınma planları içerisinde enerji güvenliği ve verimliliği alanlarının yanı sıra son dönemde net-sıfır emisyon perspektifine ilişkin odak alanları öne çıkmaktadır. 12. Kalkınma Planı'nın 2023 yılı içerisinde tamamlanması öngörülmektedir.

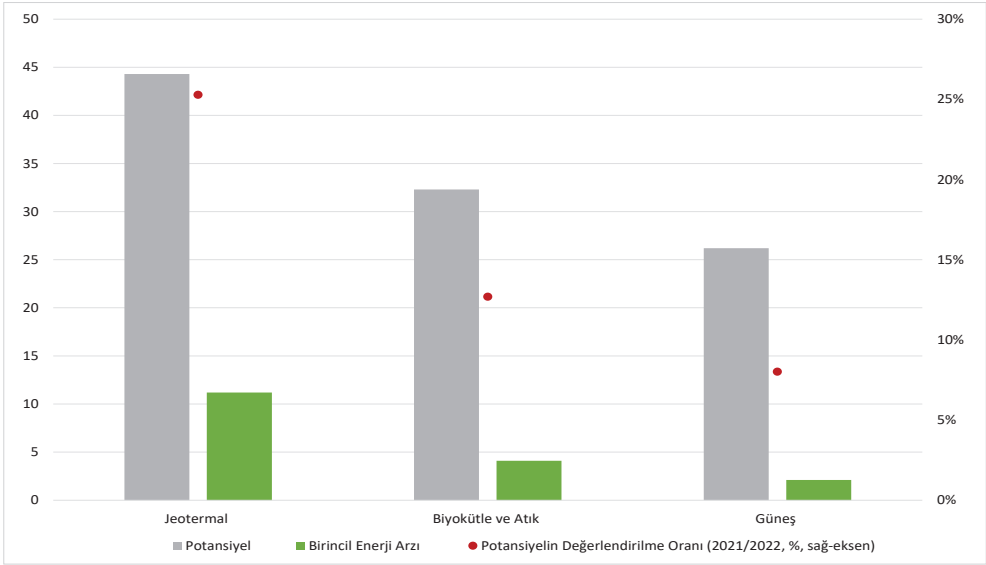
- **İklim Kanunu** : 2053 net-sıfır hedefini destekleyecek düzenlemelere yer verilmesi beklenen Kanunun, karbon fiyatlandırması ve karbon ticareti gibi unsurlarda öncelikleri de içermesi beklenmektedir.
- **Yeşil Mutabakat Eylem Planı**: Plan AB'nin son dönemde yeşil dönüşüm ile ilgili stratejilerini dikkate alarak enerji ekosisteminde temiz ve güvenli enerji arzına, iklim finansmanına, sınırda karbon düzenlemelerine ilişkin eylemleri tanımlamaktadır.
- **Hidrojen Teknolojileri Stratejisi Yol Haritası**: Hidrojenin üretiminden nihai enerji sektörlerinde kullanımına kadar süreçlerde teknolojik gelişim fırsatlarına odaklanan bir yol haritası çalışması gerçekleştirilmektedir.

#### 4.6. Yenilenebilir Enerjide Potansiyel ve Performans Değerlendirmesi

IICEC analizlerine göre, Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelinin değerlendirilme durumu aşağıda özetlenmektedir:

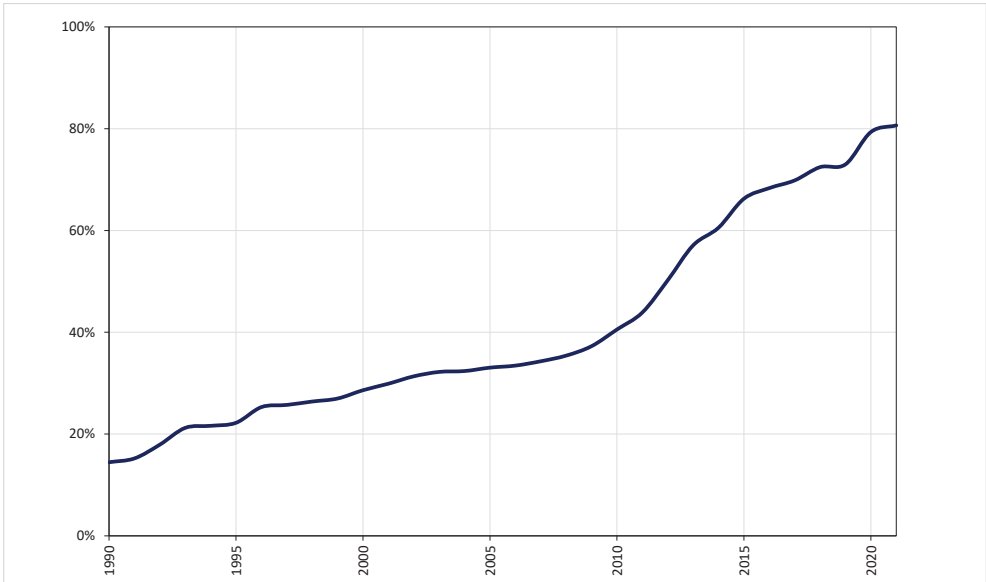
- Jeotermal enerjide 40 Mtep/yıl üzerinde hesaplanan potansiyele karşın birincil enerji arzı 11,2 Mtep seviyesinde olup, potansiyelin yaklaşık dörtte-biri kullanılmaktadır.
- Biyokütle ve atıktan enerjide toplam 32-33 Mtep/yıl potansiyelin %13'lük bölümü kullanılmaktadır.
- Güneş enerjisinde toplam 26 Mtep/yıl üzerinde potansiyele karşın toplam birincil enerji arzı 2,1 Mtep seviyesindedir (%8) (Şekil 4.48).
- 32 GW'a yaklaşan ve yağışlı dönemlerde 120 TWh/yıl'a yaklaşan hidroelektrik kapasitesi ve üretimi ile ekonomik hidroelektrik potansiyelinin %80'lik bölümü değerlendirebilmiş durumdadır.
- Güneş enerjisinde 380 TWh olarak hesaplanan elektrik üretim potansiyelin %4'lük bölümü değerlendirilmektedir.
- 40 TWh seviyesine ulaşan rüzgardan yıllık elektrik üretimi, potansiyelin yaklaşık %10'una karşılık gelmektedir.
- En az 5.000 MW ve 40 TWh'in üzerinde olarak belirlenen jeotermal elektrik kurulu güç potansiyelin üçte birden azı değerlendirilmektedir.
- Biyokütle ve atık enerjisinden elektrik üretim potansiyeli 100 TWh olarak hesaplanmakta olup, işletmedeki santraller ile bu potansiyelin yaklaşık %10'luk bölümü değerlendirilmektedir. (Şekil 4.49 ve Şekil 4.50)

**Şekil 4.48. Güneş, Jeotermal ve Biyokütle Enerjisi Toplam Potansiyelinin Kullanım Durumu (2021/2022, Mtep ve %)**



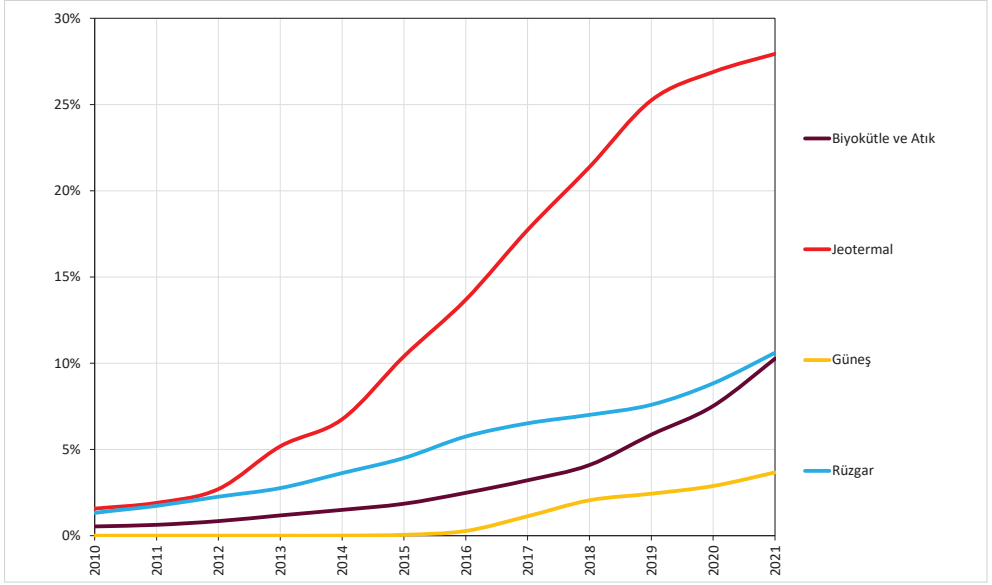
Kaynak: ETKB, IICEC Analizleri

**Şekil 4.49. Ekonomik Hidroelektrik Potansiyel Kullanım Durumu (1990 – 2022, %)**



Kaynak: ETKB, DSİ, IICEC Analizleri

**Şekil 4.50. Hidroelektrik Harici Yenilenebilir Kaynakların Elektrik Üretim Potansiyellerinin Kullanım Durumu (1990 – 2021, %)**



**Kaynak:** ETKB, IICEC Analizleri

## 4.7. Sonuç

- Türkiye özellikle 2010 yılından bu yana hidroelektrik, rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretiminde önemli bir büyüme gerçekleştirmiştir. Hidrolojinin yüksek seyrettiği dönemlerde yenilenebilir elektriğin toplam elektrik arzındaki payı %45'e yaklaşmıştır. Hacimsel olarak 1990 yılına göre yaklaşık beş kat artan toplam yenilenebilir elektrik üretimine karşın, talepteki yüksek büyüme çerçevesinde yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı 1990'lardaki seviyesinin üzerine çıkamamıştır. Nihai enerji tüketiminde ise, büyük bölümü jeotermal ve güneş enerjisine dayalı ısı uygulamalarından gelmek üzere yenilenebilir enerjinin payı son dönemde %5 civarında gerçekleşirken, yenilenebilir elektrik üretimi de eklendiğinde Türkiye'nin nihai enerji tüketiminde toplam yenilenebilir enerji katkısı %12'ye yaklaşmaktadır.
- 1990 yılından bu yana, yenilenebilir elektrik üretimi Türkiye'nin toplam elektrik üretimi amaçlı fosil yakıt ithalat faturasında yaklaşık 75 milyar \$ tasarruf sağlarken, elektrik üretiminden kaynaklı yıllık toplam sera gazı emisyonu envanterindeki artış hızını da önemli oranda azaltmakta, böylelikle de büyüyen elektrik sisteminde karbon yoğunluğunda sağlanan kısmi düşüşün en önemli destekleyicisi olmaktadır. Hava kirleticilerin emisyonlarında da önemli azalmalar sağlayan yenilenebilir elektrik üretimi, daha güvenli, temiz ve sürdürülebilir bir enerji sistemi için kritik rol üstlenmeye devam etmektedir.
- Türkiye, son dönemde yenilenebilir enerjiye dayalı kurulu güçte sağlanan büyüme ile birlikte kurulu güç bakımından dünyanın en büyük 12. ve Avrupa'nın en büyük 5. yenilenebilir elektrik piyasası durumuna gelmiştir. Hidroelektrik ve jeotermal enerjide kurulu güç bakımından dünyada ilk 10 ülke arasında yer alan Türkiye, rüzgar ve güneş kurulu gücünde de dünyada ilk 20, Avrupa'da ise ilk 10 ülke arasında kalıcı olmak üzere konumunu pekiştirmektedir. Rüzgar ve güneş ekipmanları tedarikinde yerleşme konusunda son dönemde atılan adımlar ile birlikte, Türkiye'nin toplam yenilenebilir enerji değer zincirinde rolü güçlenmektedir.
- Bu çarpıcı gelişim performansına karşın, zengin kaynak potansiyelinin henüz oldukça sınırlı bir bölümünün değerlendirilmiş olduğu görülmektedir. IICEC analizlerine göre, Türkiye güneş, jeotermal ve biyokütle enerjisinde toplam potansiyelin henüz %17'sini değerlendirmiş durumdadır. Elektrik üretimi amaçlı kullanım incelendiğinde, Türkiye'nin jeotermalden elektrik üretim potansiyelinin yaklaşık dörtte-birini kullanmakta olduğu rüzgar, güneş, rüzgar, biyokütle ve atıktan enerjiden elektrik üretimine uygun potansiyelin değerlendirilme oranının ise henüz %10'u geçmediği görülmektedir. Potansiyelin harekete geçirilmesinde, uzun vadeli politika hedeflerinin ve yönlendirici mekanizmaların, enerji piyasaları işleyişinin, yatırım ortamında sürdürülebilir büyümeyi destekleyecek gelişmelerin ve teknolojik gelişimin kritik rol üstleneceği değerlendirilmektedir. Sonraki bölümlerde Türkiye'nin güçlü potansiyelinin daha yüksek oranlarda ve artan bir hızda performansa dönüştürülebileceği bir gelecek perspektifi, daha güvenli, temiz ve sürdürülebilir enerji sistemine sağlayacağı somut katkılar ile birlikte analiz edilmektedir.

## Referanslar

- ÇŞB, 2021, Türkiye'nin Bilgilendirici Envanter Raporu (IIR) 2021  
[https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/menu/turkey-s-irr-2021\\_tr\\_20211101034946.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/menu/turkey-s-irr-2021_tr_20211101034946.pdf)
- EPDK, 2022, Elektrik Piyasası Aylık Sektör Raporları  
<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar>
- EPIAŞ, 2022, Şeffaflık Platformu  
<https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/>
- ETKB, 2022a, Denge Tabloları  
<https://enerji.gov.tr/Preview/tr/63d0007a-f593-458b-9610-353eb2545897>
- ETKB, 2022b, Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası  
<https://bepa.enerji.gov.tr/>
- International Energy Agency (IEA), 2019, Solar Energy: Mapping the Road Ahead  
<https://www.iea.org/reports/solar-energy-mapping-the-road-ahead>
- International Energy Agency (IEA), 2022a, Sankey Diagrams  
<https://www.iea.org/sankey/>
- International Energy Agency (IEA), 2022b, Atlas of Energy  
<http://energyatlas.iea.org/#!/topic/DEFAULT>
- International Energy Agency (IEA), 2022c, Solar Heating and Cooling Program (SHC), Status of Solar Heating/Cooling and Solar Buildings – 2021  
<https://www.iea-shc.org/countries/turkey/report>
- International Renewable Energy Agency (IRENA), 2022a, Statistics Data  
<https://www.irena.org/Data>
- International Renewable Energy Agency (IRENA), 2022b, Renewable Capacity Statistics 2022  
<https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022>
- MAPEG, 2022, Türkiye Jeotermal Kaynaklar Strateji Raporu  
<https://www.mapeg.gov.tr/Home/Announcement/1424>
- REN21, Renewables 2022 Global Status Report  
[https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf)

- TEİAŞ, 2022a, Aylık Elektrik Üretim-Tüketim Raporları  
<https://www.teias.gov.tr/aylik-elektrik-uretim-tuketim-raporlari>
- TEİAŞ, 2022b, Türkiye Elektrik Üretim İletim İstatistikleri  
<https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>
- World Bank, 2022, Open Data  
<https://data.worldbank.org/>
- World Health Organization (WHO), 2022, Air Quality and Health  
<https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>





# BÖLÜM 5:

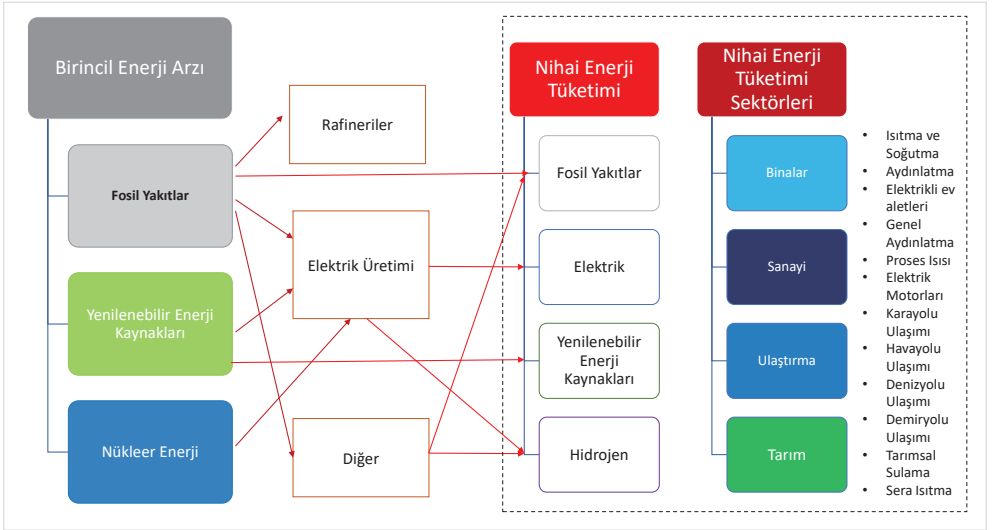
## IICEC Senaryoları

## 5.1. Giriş ve IICEC Senaryolarının Çerçevesi

IICEC tarafından 2020 yılında Türkiye’de bir ilk olarak gerçekleştirilen “Türkiye Enerji Görünümü 2020” çalışmasının çıktılarını ve modelleme altyapısını esas alan bu çalışmada, Türkiye enerji sektöründe 2050 yılına doğru yenilenebilir enerji geleceği perspektifi, iki IICEC senaryosu ile değerlendirilmiştir. Bu çerçevede, birincil enerji arzından nihai enerji tüketicisi sektörler kadar enerji akışlarının ve enerji talep hizmetlerinin detaylı bir envanteri bütüncül bir perspektif ile oluşturulmuş, enerji ve iklim politikalarına ilişkin güncel stratejiler ve hedefler dikkate alınarak, Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynak potansiyelinin değerlendirilmesine ilişkin gelişim fırsatları analiz edilmiştir (Şekil 5.1.) (Sabancı Üniversitesi IICEC, 2020). (Temel politika belgeleri ve veri kaynakları için lütfen EK’e bakınız.)

Farklı gelişim seviyelerinde yenilenebilir elektrik üretiminde ve doğrudan kullanımında büyümenin ve bunları destekleyecek enerji verimliliği gelişmelerinin Türkiye enerji ekonomisine ve çevresel performansına etkileri sayısal olarak analiz edilmiştir. Senaryoların sonuçları, genel enerji dengeleri, elektrik sistemi işleyişi, yatırım gereksinimi ve sektörel dağılımları, enerji ithalatında tasarruflar, sera gazı emisyon envanterinin ve hava kirlenici emisyonlarının gelişimi, enerji ithalatının ve karbon emisyonlarının maliyetleri kapsamında irdelenmiştir. Çok boyutlu etkilere dair çeşitli hassasiyet analizleri de gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5.1. IICEC Senaryoları Modelleme Perspektifine Genel Bakış



Yavaş Senaryoda, enerji piyasaları ve yatırım ivmesi Türkiye'nin yenilenebilir kaynak potansiyeli ile orantılı bir gelişme göstermezken, ilgili altyapılarda ve enerji verimlilik performansında iyileşmeler arzu edilen seviyeye ulaşmamakta ve temiz enerji teknolojileri ekosistemindeki gelişim fırsatları kısmen değerlendirilebilmektedir. Bu senaryoda, küresel trendler ile uyum seviyesi de sınırlı kalırken Türkiye'nin net-sıfır emisyon perspektifi ile uyumlu bir elektrik üretim ve nihai enerji tüketim kompozisyonuna 2050 yılına kadar olan dönemde ulaşamamaktadır. Enerji sisteminde ithal fosil yakıt ağırlığının kısmen devam ettiği bu senaryoda, Türkiye'nin enerji ithalat faturasında sınırlı iyileşme kaydedilebilmektedir.

Yüksek Senaryoda ise, Türkiye'nin yenilenebilir enerjide yüksek potansiyeli, uzun vadeli ve bütüncül enerji, sanayi ve iklim politikaları, öngörülebilir, rekabetçi ve serbest enerji piyasası işleyişi, sürdürülebilir yatırım performansında güçlü gelişmeler, etkin bir düzenleyici çerçeve ve ilgili altyapılarda gelişim ile daha hızlı ve yaygın olarak değerlendirilebilmektedir. Bu senaryoda, yenilenebilir enerji üretim teknolojilerinde ve temiz enerji dönüşümünü destekleyici diğer teknolojilerde uluslararası ve bölgesel iş birlikleri, yerleşme fırsatları, girişimcilik ekosistemi, yenilikçi iş modelleri ve insan kaynakları gelişimi de hızlı büyümeyi desteklemektedir. Türkiye'nin elektrik değer zincirinde ve enerji tüketicisi tüm sektörlerde verimlilik potansiyeli de etkin şekilde değerlendirilebilmekte, Türkiye enerji sektörünün karekodunun tüm bileşenlerinde kritik gelişmeler sağlanabilmektedir. Avrupa pazarları ile uyumun seviyesinin ve hızının da yükseldiği bu senaryo, aynı zamanda daha teknoloji-yoğun, daha az ithal fosil yakıt - yoğun ve daha az karbon-yoğun bir gelişim patikası sunarak büyüyen ve gelişen Türkiye enerji sisteminin enerji güvenliğini ve net-sıfır emisyon perspektifini daha güçlü şekilde desteklemektedir (Şekil 5.2.).

**Şekil 5.2. IICEC Senaryoları**



## 5.2. IICEC Senaryoları Sonuçları

### 5.2.1. IICEC Senaryolarında Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Enerji Geleceği

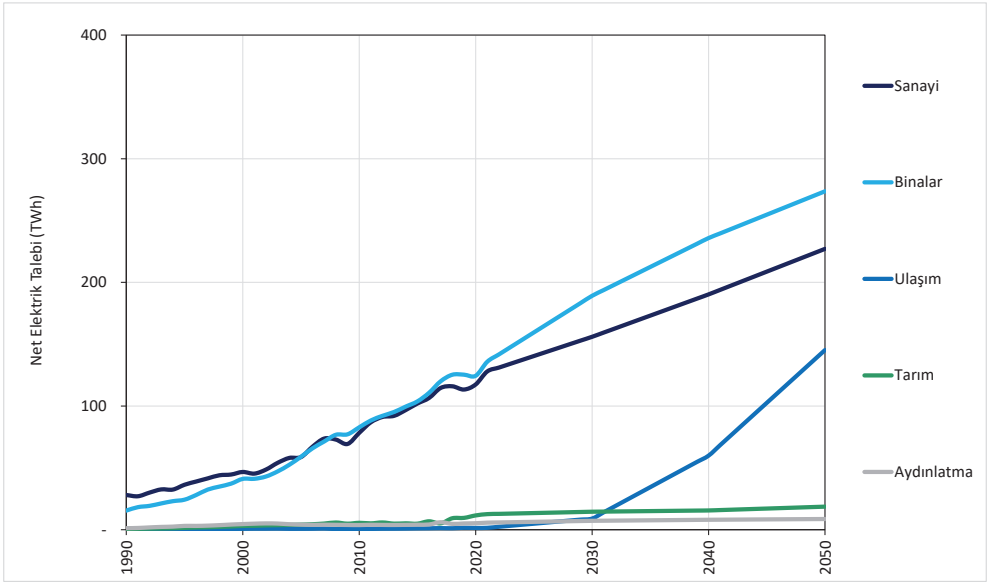
#### 5.2.1.1 Elektrik Talebi Geleceği

Türkiye'nin 2021 yılında net elektrik talebi 283,7 TWh olarak gerçekleşmiştir. Son on yılda yıllık ortalama %3,9 olarak büyüyen net talep içerisinde binalar %48 ile ilk sırayı almakta, bunu %45 ile sanayi, %4 ile tarım ve %2 ile genel aydınlatma izlemektedir. Ulaşımında elektrifikasyonun henüz yeni gelişim aşamasında olması nedeniyle, 2021 yılında ulaşımında elektrik tüketimi 1,6 TWh ile toplam net tüketimin %1'den azına karşılık gelmektedir. Yavaş Senaryoda net elektrik talebi 2050 yılına kadar olan dönemde yıllık ortalama %3,5 artışla 777,1 TWh'e çıkmaktadır. Şebekelerde ve nihai enerji tüketicisi sektörlerde verimlilik potansiyelinde gelişimin sınırlı olduğu bu senaryoda brüt elektrik talebi 2030 yılında 451,7 TWh ve 2050 yılında 878,1 TWh olarak gerçekleşmektedir (2050 yılında 2021 yılına göre 2,7 kat artış).

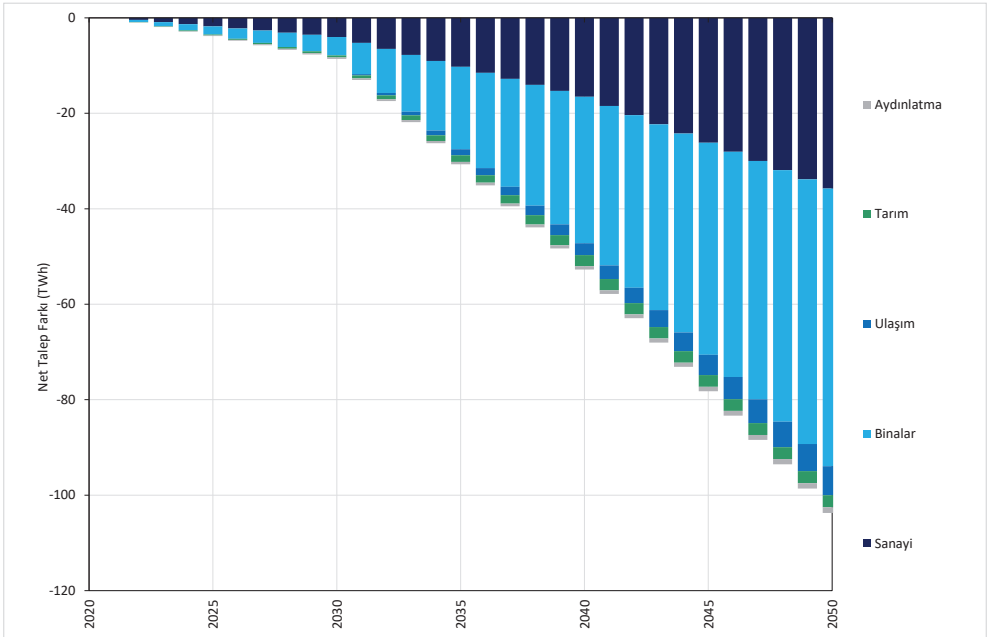
Yüksek Senaryoda, binalarda yalıtım performansı, sanayide elektrik motorlarında dönüşüm, tarımsal sulamada güneş PV ile entegre verimli çözümlerde yaygınlaşma gibi faktörlerin sonucunda 2050 yılında Yavaş Senaryoya göre %13 daha düşük net elektrik talebini (673,4 TWh), enerji hizmetlerinde aynı kalite ve konfor düzeyi ile sağlanabilmektedir (Şekil 5.3.). Şebeke kayıplarında iyileşmeler ve üretim birimlerinde verimlilik artışlarının da katkısıyla, Yüksek Senaryoda brüt elektrik talebi 2030 yılında 432,5 TWh ve 2050 yılında Yavaş Senaryonun %15 altında 747,6 TWh olarak gerçekleşmektedir (2050 yılında 2021 yılına göre 2,2 kat artış). Her iki senaryoda da, elektrikli araçlarda büyüme perspektifi ve ısı pompalarının ısıtma talebinin verimli karşılanmasında yeni bir teknoloji seçeneği olarak sisteme dahil edilmesi ile birlikte talebin sektörel dağılımında da önemli değişimler gerçekleşmekte, ulaşım sektörünün net elektrik talebi içerisinde payı 2040 yılında %12'ye, 2050 yılında %22'ye ulaşmakta, binaların payı da artmaktadır (Şekil 5.4 ve Şekil 5.5.) Yüksek Senaryoda, enerji güvenliği ve temiz enerji dönüşümünün destekleyicisi olan elektrifikasyonda verimli büyüme, elektrik sisteminin mimarisinde ve yatırımlarda önemli bir dönüşüm ile sağlanabilmektedir (Detaylar için lütfen bölüm 5.2.1.4.'e bakınız).

Yüksek Senaryo, puant elektrik talebinin gelişiminde de verimlilik ve talep tarafı yönetimi katkıları ile önemli kazanımları beraberinde getirmektedir. Düşük Senaryo ile kıyaslandığında, ani puant 2030 yılında 3,3 GW ve 2050 yılında 26,2 GW daha düşük gerçekleşirken 2050 yılına kadar olan dönemde ani puantta toplam artış %138 ile sınırlandırılabilir (Yavaş Senaryoda %185). Bu gelişim, bütüncül bir elektrik sistem planlaması perspektifiyle artan yenilenebilir enerji katkısının desteklenmesinde kritik rol oynamaktadır (Şekil 5.6.)

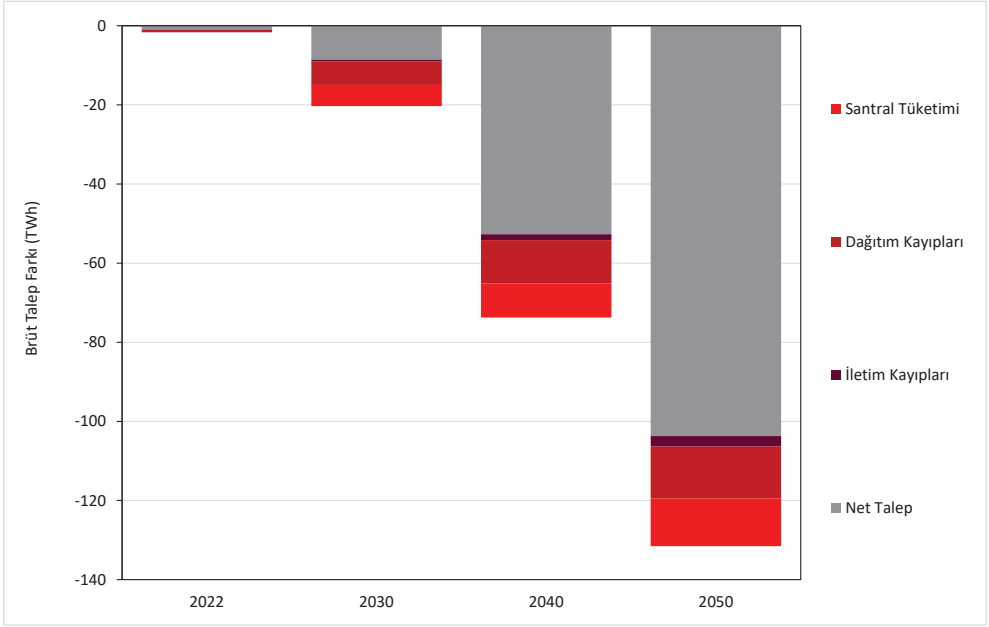
Şekil 5.3. Yüksek Senaryoda Net Elektrik Talebinin Sektörel Gelişimi (1990 – 2050, TWh)



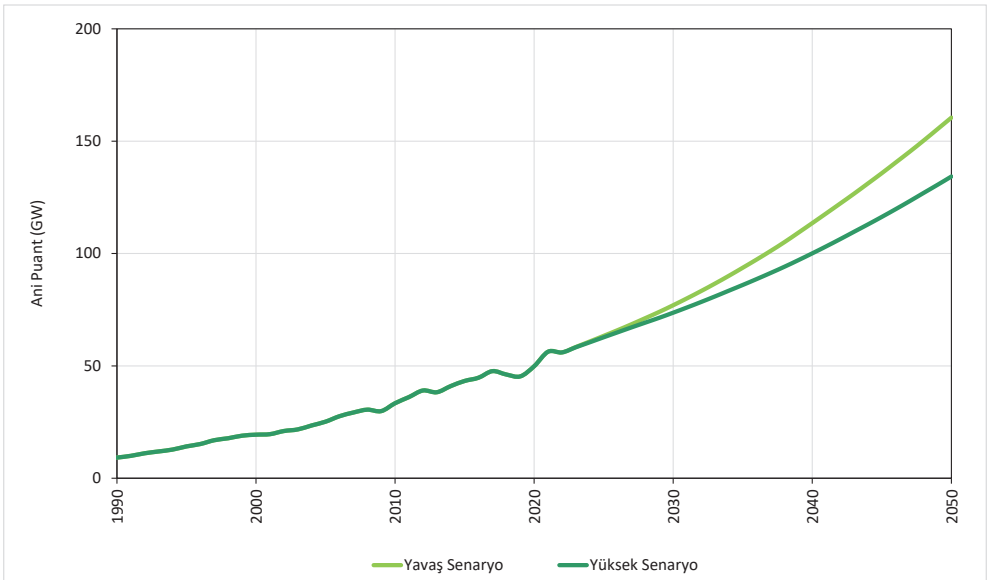
Şekil 5.4. Yüksek Senaryoda Net Elektrik Talebinin Düşük Senaryoya Göre Sektörel Farkları (2000 – 2050, TWh)



**Şekil 5.5. Yüksek Senaryoda Brüt Elektrik Talebinin Düşük Senaryoya Göre Farkları (1990 – 2050, TWh)**



**Şekil 5.6. Senaryolarda Ani Puant Gelişimi (1990 – 2050, GW)**

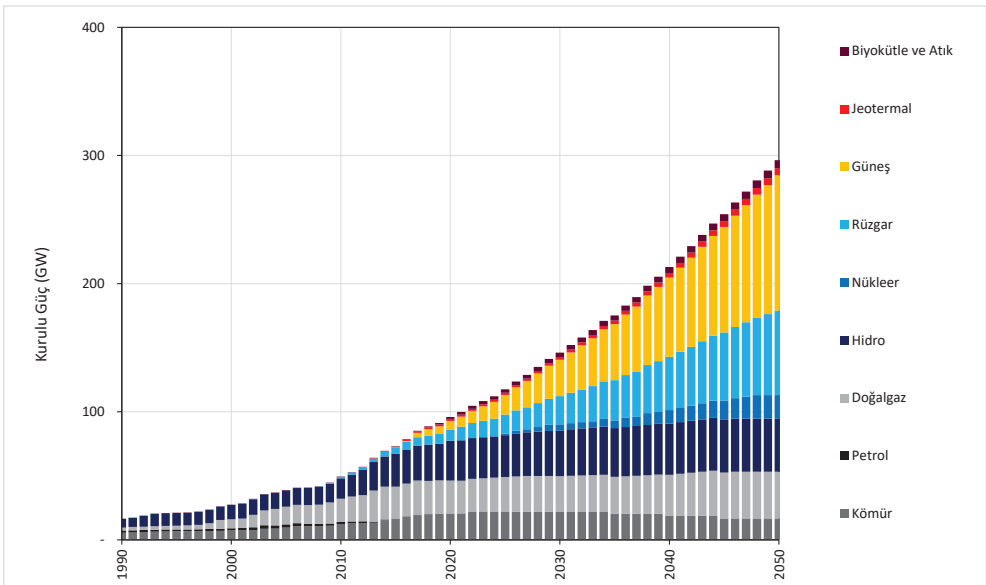


### 5.2.1.2. Kurulu Güç ve Elektrik Üretimi Geleceği

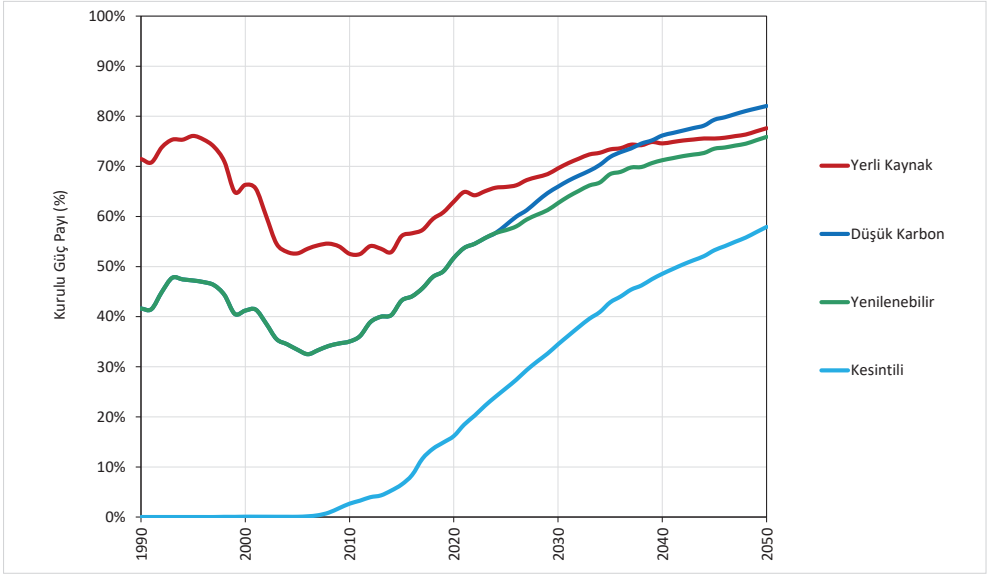
Yenilenebilir elektrik gelişiminde büyümenin mevcut trendler ile kıyaslandığında çok hızlı gelişim göstermediği Yavaş Senaryoda, kurulu güç 2030 yılında 146,2 GW ve 2050 yılında 296,3 GW'a ulaşmaktadır (2050 yılında 2022 yılına göre 2,8 kat artış). Yenilenebilir elektrik kurulu gücü 2050 yılına kadar olan dönemde yaklaşık 170 GW artarak 224,9 GW seviyesine gelirken 2050 yılında kurulu güç içerisinde yenilenebilir kaynakların payı %76 olarak gerçekleşmektedir (2022 yılında %55). Güneş 2050 yılında kurulu güç içerisinde %36 pay ile ilk sırayı alırken, bunu %22 ile rüzgar ve %18 ile diğer yenilenebilir enerji kaynakları izlemektedir. 2050 yılına kadar olan dönemde kömür santrallerinin önemli bir bölümü işletmede kalmaya devam ederken, 18,3 GW nükleer kapasite ilavesi gerçekleşmekte, nükleer enerjinin elektrik üretimindeki payı 2040 yılında %11'e ve 2050 yılında %15'e ulaşmaktadır.

Yavaş Senaryoda 2050 yılına kadar olan dönemde yıllık ortalama kapasite artışları güneşte 3,4 GW, rüzgarda 1,9 GW ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında 700 MW olarak gerçekleşirken, bu dönemde 191,6 GW net kapasite artışının %87'si yenilenebilir enerjiden sağlanmaktadır. Aynı dönemde brüt elektrik üretiminde artış içerisinde yenilenebilir enerji katkısı %63 olurken, elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların toplam payı 2030 yılında %49 ve 2050 yılında %61'e çıkmakta, güneş ve rüzgarın toplam elektrik üretimine katkısı 2050 yılında %46'ya ulaşmaktadır (2022 yılında %16). Nükleer elektrik ile birlikte 2050 yılında düşük karbonlu enerjinin kurulu güç içerisinde payı %82'ye, toplam üretimdeki payı ise dörtte-üçe çıkmaktadır (Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10)

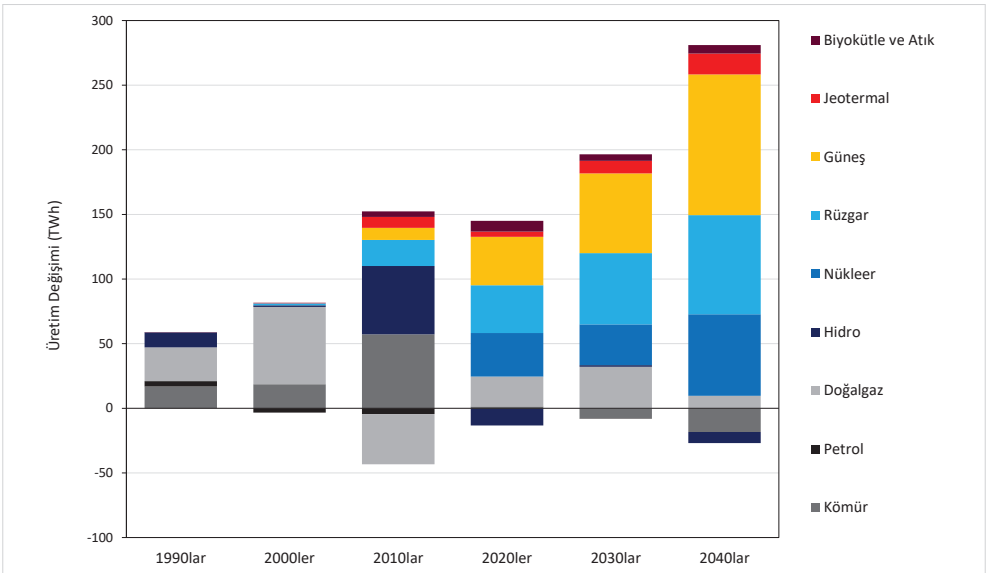
Şekil 5.7. Yavaş Senaryoda Kaynaklara Göre Kurulu Güç Gelişimi (1990 – 2050, GW)



**Şekil 5.8. Yavaş Senaryoda Elektrik Kurulu Güç Paylarının Gelişimi (1990 – 2050,%)**

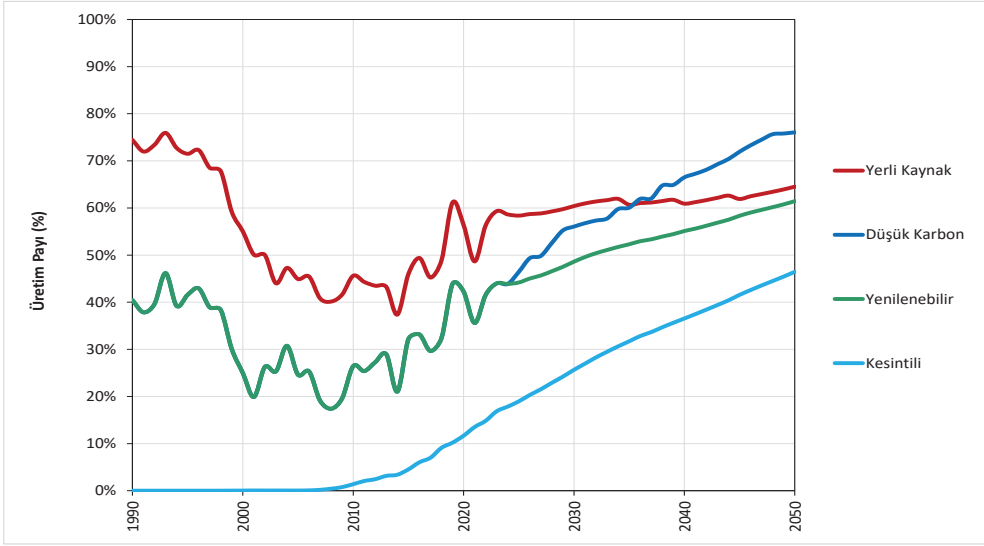


**Şekil 5.9. Yavaş Senaryoda Kaynaklara Göre Dönemsel Net Üretim Gelişimi (1990 – 2050 TWh/yıl)**





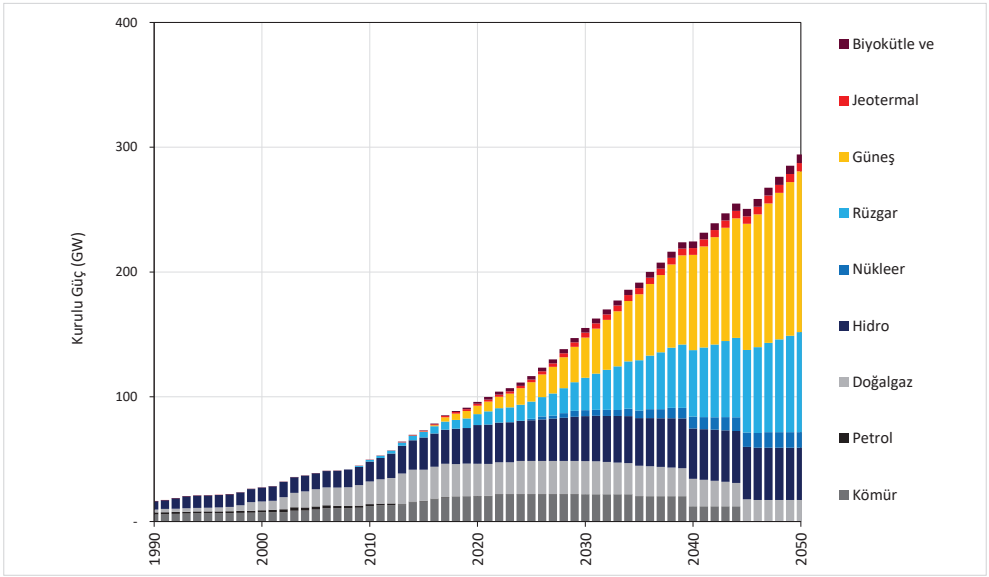
Şekil 5.10. Yavaş Senaryoda Elektrik Üretim Paylarının Gelişimi (1990 – 2050,%)



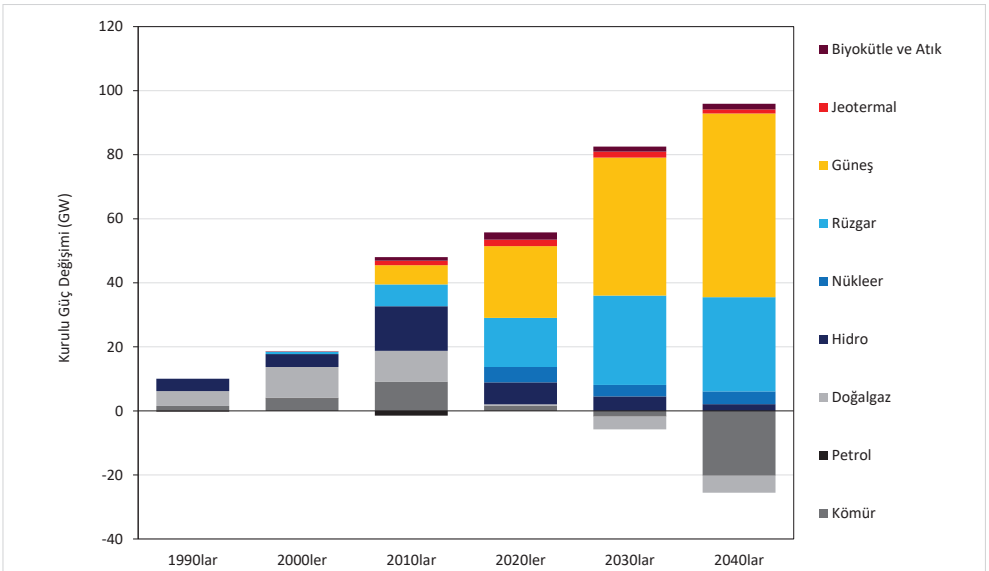
Enerji ve iklim politikalarında uzun vadeli hedefler, enerji güvenliği ve temiz enerji dönüşümü perspektifi içerisinde yenilenebilir elektrik yatırımlarında öngörülebilir ve rekabetçi bir enerji piyasası içerisinde güçlü büyüme ile desteklenen Yüksek Senaryoda yenilenebilir elektrik kurulu gücü 2030 yılında 101,9 GW ve 2050 yılında 264,5 GW'a ulaşmaktadır. 2050 yılına kadar olan dönemde yıllık ortalama yenilenebilir elektrik kurulu gücü artışı 7,5 GW olarak gerçekleşirken, yenilenebilir kaynakların kurulu güç içerisindeki payı 2050 yılında %90'a çıkmaktadır. Güneş kurulu gücü 2050 yılına kadar olan dönemde yıllık ortalama 4,3 GW artışla 2030 yılında 32,2 GW ve 2050 yılında 128 GW'a çıkmakta, rüzgar kurulu gücü de 2050 yılına kadar yıllık ortalama yaklaşık 2,5 GW büyümeyle 7 katın üzerinde artış göstermektedir (Şekil 5.11 ve Şekil 5.12). Güneş ve rüzgarın toplam kurulu güç içerisindeki payı 2030 yılında %37 ve 2050 yılında %71 seviyesine gelirken, nükleer elektrik de eklendiğinde 2050 yılında kurulu güç içerisinde düşük karbonlu teknolojilerin payı %94'e ulaşmaktadır (Şekil 5.13)

Yüksek Senaryoda elektrik üretim portföyü içerisinde yenilenebilir enerjinin payı, kurulu güçte yüksek büyümenin ve enerji teknolojilerindeki gelişmelerin sağladığı performans iyileştirmelerinin katkısıyla hızla gelişmektedir. Örneğin, 2030 yılına kadar olan dönemde yenilenebilir kaynakların elektrik üretimindeki payı yaklaşık %40 artışla %60'a yaklaşmakta, 2050 yılında toplam elektrik talebinin %87'si yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanabilmektedir. Güneş ve rüzgarın elektrik üretiminde toplam payı 2050 yılına kadar dört katın üzerinde artış göstermekte, 2050 yılında toplam elektrik üretiminin yaklaşık üçte-ikisi güneş ve rüzgardan karşılanmaktadır (Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16.) Yenilenebilir enerji potansiyelinin hızlı ve yüksek oranda değerlendirildiği Yüksek Senaryo, böylelikle temiz enerji dönüşümüne ve net-sıfır emisyon perspektifine önemli katkı sağlayabilmektedir (Detaylar için lütfen Bölüm 5.2.1.5.'e bakınız.)

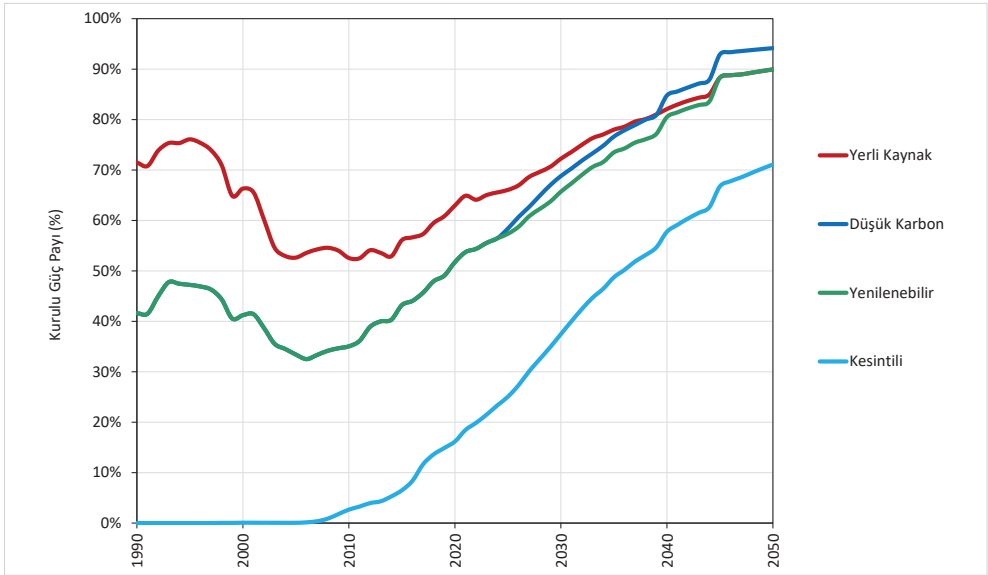
**Şekil 5.11. Yüksek Senaryoda Kaynaklara Göre Kurulu Güç Gelişimi (1990 – 2050, GW)**



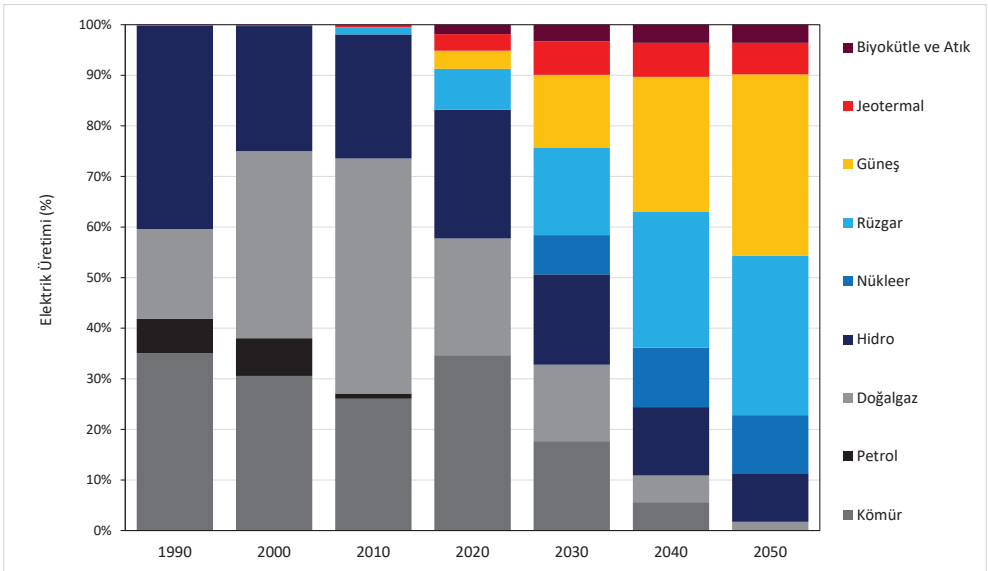
**Şekil 5.12. Yüksek Senaryoda Kaynaklara Göre Dönemsel Kurulu Güç Gelişimi (1990 – 2050, GW)**



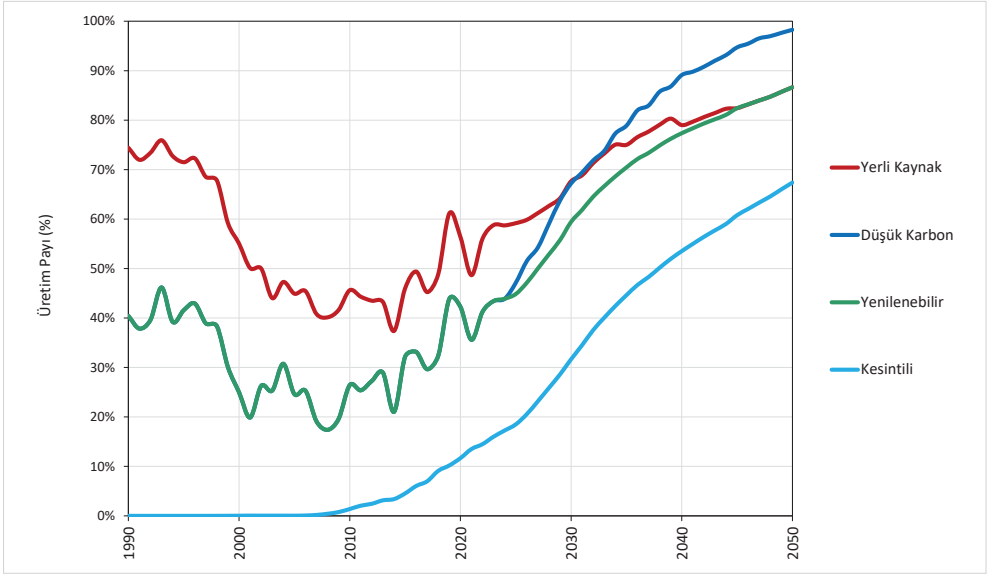
**Şekil 5.13. Yüksek Senaryoda Elektrik Kurulu Güç Paylarının Gelişimi (1990 – 2050, %)**



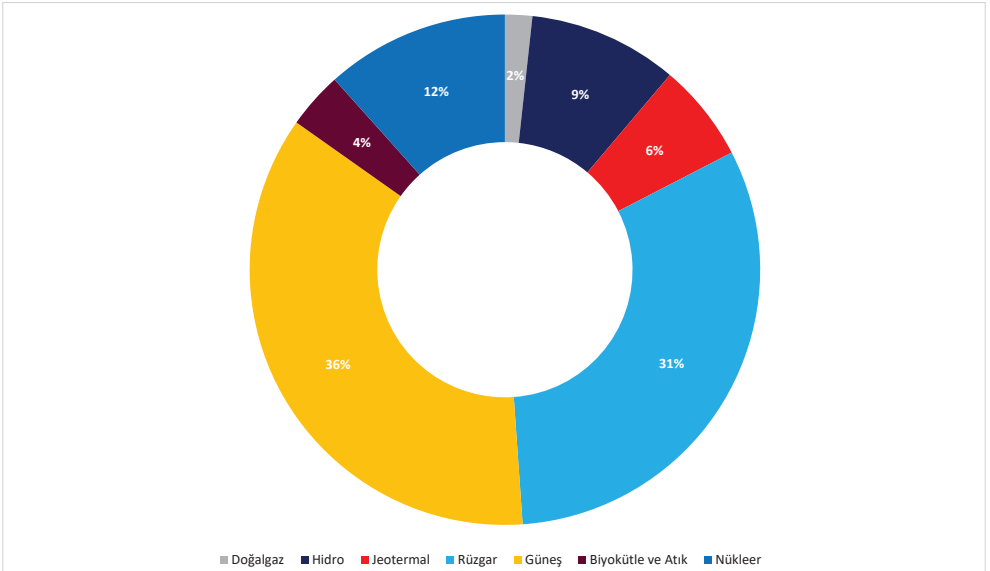
**Şekil 5.14. Yüksek Senaryoda Kaynaklara Göre Elektrik Üretimi Gelişimi (1990 – 2050, %)**



Şekil 5.15. Yüksek Senaryoda Elektrik Üretim Paylarının Gelişimi (1990 – 2050, %)



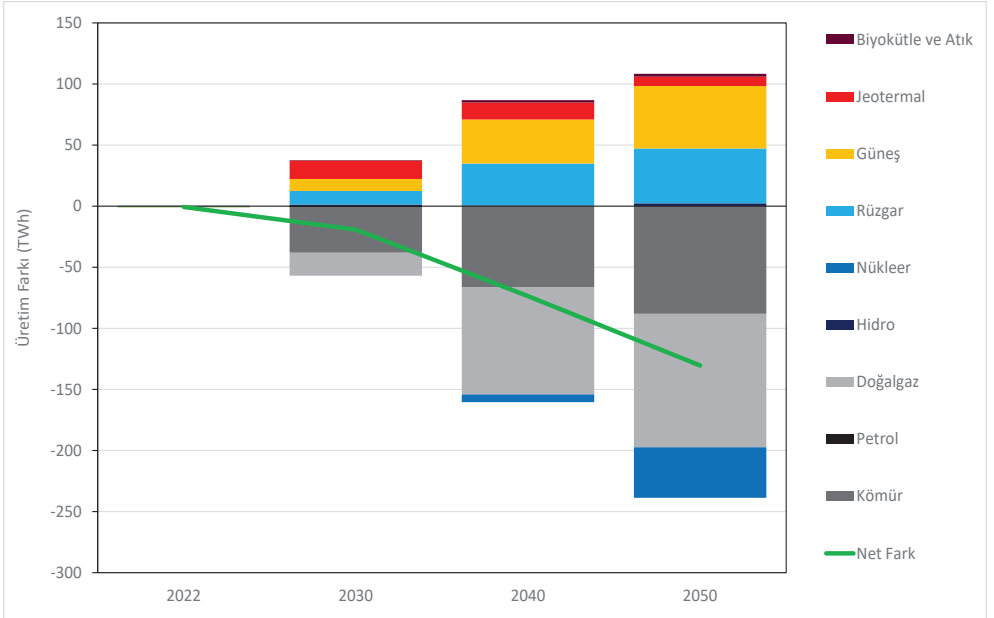
Şekil 5.16. Yüksek Senaryoda 2050 Yılında Elektrik Üretimi Kompozisyonu (1990 – 2050, %)



Yüksek Senaryoda yenilenebilir enerji ağırlıklı elektrik portföyü 2050 yılında enerji verimliliği katkıları ile 130,4 TWh daha düşük brüt elektrik talebini karşılayacak şekilde gelişmektedir (Şekil 5.17).

- Yavaş Senaryo ile karşılaştırıldığında fosil yakıtlara dayalı üretimde 2040 yılında 154,1 TWh ve 2050 yılında 197,4 TWh azaltım sağlanmaktadır. (Yüksek Senaryoda fosil yakıt yoğunluğunda sağlanan azalmanın enerji ithalatına ve sera gazı emisyon envanterine katkıları için lütfen Bölüm 5.2.1.5. ve Bölüm 5.2.1.6'ya bakınız).
- Rüzgar ve güneşten üretim 2050 yılında 96 TWh daha yüksek gerçekleşmekte, diğer yenilenebilir kaynakları da elektrik üretimine 10 TWh daha fazla katkı vermektedir.
- Yüksek Senaryoda nükleer elektrik üretimi ise Yavaş Senaryoya göre 2040 yılında 6,3 TWh ve 2050 yılında 41,4 TWh daha düşük gerçekleşmektedir.

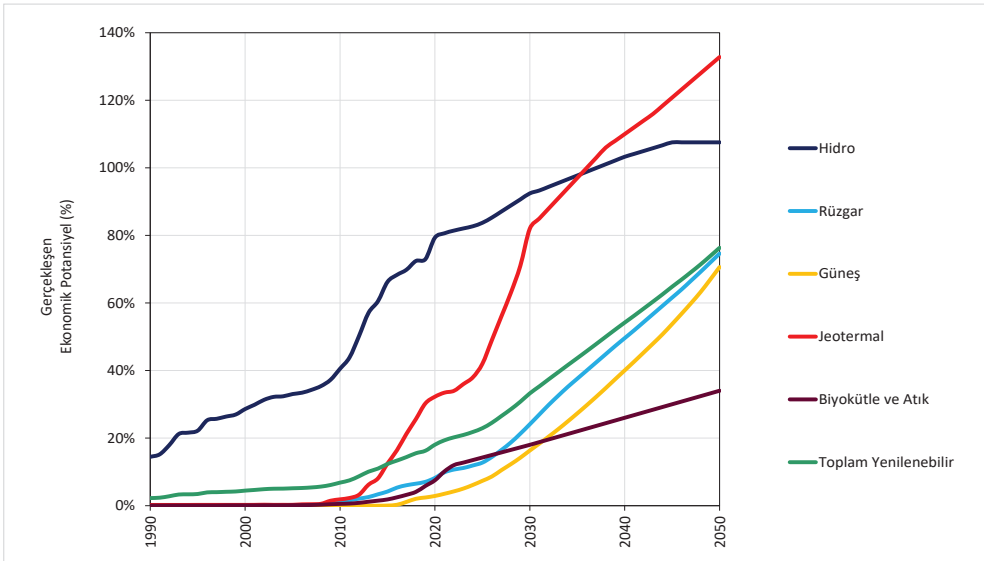
**Şekil 5.17. Yüksek Senaryoda Yavaş Senaryoya göre Kaynaklar Bazında Üretim Farkları Gelişimi (2022 – 2050, TWh)**



Yüksek Senaryo, Türkiye'nin yüksek yenilenebilir enerji potansiyeli ile uyumlu bir gelişim patikası sunmaktadır (Şekil 5.18).

- Günümüzde rüzgar ve güneşte sadece %10 seviyelerinde olan potansiyel gerçekleşme oranları, 2040 yılında rüzgarda %70'e yaklaşırken güneşten de %40'a ulaşmaktadır.
- Mevcut teknolojilerle belirlenmiş olan rüzgar potansiyelinin tamamına yakını 2050 yılı itibariyle değerlendirilmekte, güneş potansiyelinde gerçekleşme oranı üçte-ikiye çıkmaktadır.
- Hidroelektrik potansiyelin değerlendirilme seviyesi, kapasite kullanımında artışlar ile birlikte artarken, jeotermal enerjide yenilikçi teknolojilerin katkısıyla önümüzdeki dönemde mevcut potansiyel envanterinin genişlemesi beklenmektedir. Yüksek Büyüme Senaryosunda, günümüzde belirlenmiş jeotermal potansiyelin 2040 yılından önce tümüyle harekete geçirilmesi, 2050 yılında üretimin ise bu potansiyel seviyesinin üçte-bir üzerinde gerçekleşmesi öngörülmektedir (Jeotermalde yüksek büyümeyi destekleyecek teknoloji gelişim perspektifi için lütfen Bölüm 7'ye bakınız.)
- Elektrik üretimine uygun toplam yenilenebilir enerji potansiyelinin %84'ü 2050 yılına kadar doğrudan elektrik talep hizmetlerine yönelik değerlendirilmekte olup, rüzgar ve güneşte yeşil hidrojen üretimine yönelik önemli bir potansiyel de varlığını sürdürmektedir (Nihai enerji tüketicisi sektörlerde hidrojen kullanımı perspektifi ve yeşil üretim kapasitesi analizleri için lütfen Bölüm 7'ye bakınız.)

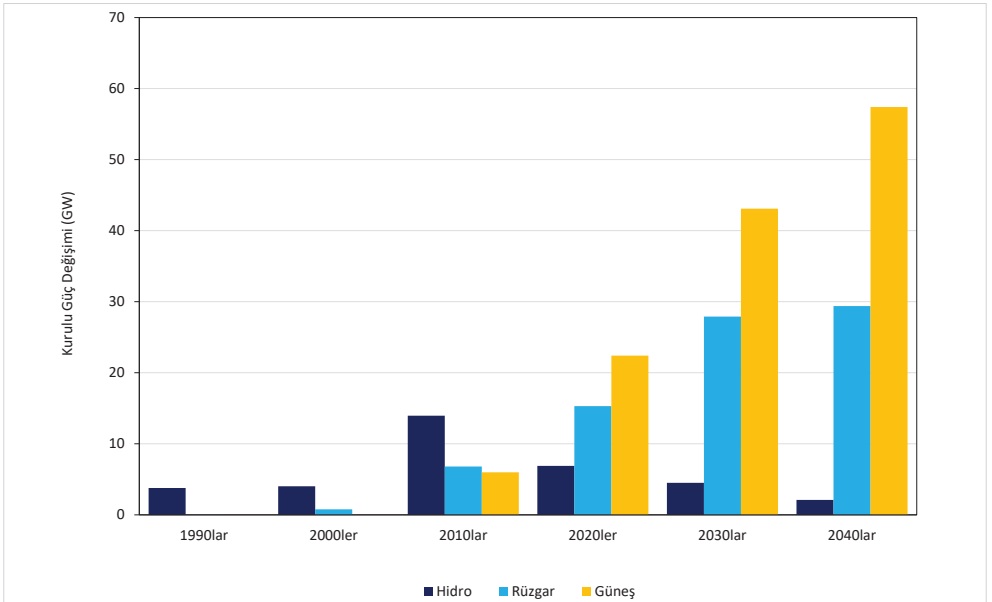
**Şekil 5.18. Yüksek Senaryoda Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Kaynak Potansiyelinde Gerçekleşmeler (1990 – 2050, %)**



Güneş, Türkiye'nin elektrik üretiminin temiz enerji odaklı gelişiminde en yüksek potansiyele sahip enerji kaynağıdır. Yüksek Senaryoda 2050 yılına kadar olan dönemde güneş kurulu gücü yaklaşık 120 GW artış göstermektedir. Kurulu güç içerisinde güneşin payı 2030 yılında %20, 2040 yılında %34 ve 2050 yılında %44'e ulaşmaktadır. Rüzgar en hızlı büyüyen ikinci kaynak olurken, kurulu güçteki payı 2040 yılına kadar yaklaşık iki kat artışla %24'e, 2050 yılında ise %27'ye çıkmaktadır (Şekil 5.19). 2030-2040 arası dönemde üretim bakımından hidroelektriği geçerek lider konumuna gelen rüzgar, 2050 yılında toplam elektrik üretiminin %30'dan fazlasını karşılamaktadır. Güneşten elektrik üretimi katkısı ise 2040 yılında 150 TWh'i aşarak dörtte-birin, 2050 yılında ise yaklaşık 270 TWh ile üçte-birin üzerine çıkmaktadır.

Yüksek Senaryoda hidroelektriğin toplam yenilenebilir kurulu gücündeki payı yaklaşık %60'dan 2030 yılında %35'e ve 2050 yılında altıda-bire düşerken, kesintili enerji kaynaklarının toplam kurulu güç ve üretimdeki payı sırasıyla %71 ve %67'ye çıkmakta, rüzgar ve güneşte yüksek potansiyeli harekete geçiren bu kritik büyümenin güvenli ve sürdürülebilir koşullarda gerçekleşebilmesi, elektrik şebekelerinin esnekliğinde ve enerji depolama sistemlerinde önemli gelişmeler ile sağlanabilmektedir (Şekil 5.19). Bu dönüşüm aynı zamanda, yenilenebilir enerji üretim teknolojilerinde maliyet iyileşmeleri fırsatlarından da faydalanmak üzere elektrik sektörü yatırım portföylerinin yapısında şebekelere, enerji depolamaya ve nihai-tüketimde verimlilik alanlarına doğru hızlı bir dönüşümü gerektirecektir (Detaylar için lütfen Bölüm 5.2.1.3. ve Bölüm 5.2.1.5'e bakınız.)

**Şekil 5.19. Yüksek Senaryoda Hidroelektrik, Rüzgar ve Güneş Kurulu Gücünün Dönemsel Gelişimi (1990 – 2050, GW)**



### 5.2.1.3. Şebekeler ve Elektrik Sistemi Geleceği

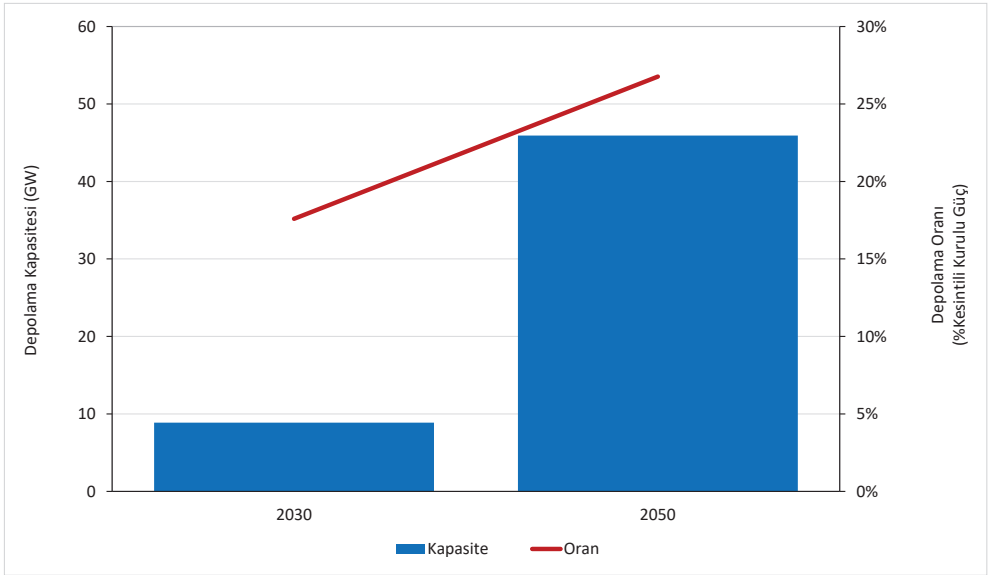
Yenilenebilir elektrik odaklı büyüme, elektrik sisteminin omurgasını oluşturan iletim ve dağıtım şebekelerinde güçlü gelişim ile olanaklı olabilecektir. Bölüm 2'de sunulduğu üzere, kesintili yenilenebilir üretimin payındaki artışın getirdiği arz değişkenlikleri, ekosistem içerisinde e-mobilite ve ısı pompaları gibi teknolojilerin yaygınlaşması ile birlikte elektrik talebinin de saatlik ve mevsimsel olarak daha değişken bir nitelik kazanmasına neden olurken, şebekelerin tüm bu değişken arz ve talep dinamiklerini en etkin yönetecek esneklik mekanizmalarını kazanabilmesi, Türkiye enerji ekonomisinin daha temiz ve güvenli enerji geleceğine doğru en kritik performans göstergelerinden birini oluşturacaktır. Kesintili yenilenebilir üretimin payı 2030 yılında Yavaş Senaryoda ve Yüksek Senaryoda sırasıyla %26 ve %32 seviyelerine çıkmakta, 2050 yılına doğru ise %46 ve %67'ye yükselmektedir. Mevcut sistem içerisinde toplam üretimdeki payı %16 olan rüzgar ve güneş üretiminde anlık ve dönemsel düşüşler, barajlı hidroelektrik kapasitelerinin ve esnek doğal gaz santrallerinin katkısı ile yönetilirken, geleceğin rüzgar ve güneş ağırlıklı elektrik sisteminin sürdürülebilir büyümesi, henüz ilk gelişim aşamalarında olan enerji depolama yatırımlarında hızlı bir büyüme sağlanabilmesini gerektirecektir.

IICEC analizlerine göre elektrik sisteminin güvenli ve esnek işleyişi için, Yavaş Senaryoda 2030 yılında 8,9 GW ve 2050 yılında 45,9 GW toplam enerji depolama kapasitesi gerekmektedir. Bu kapasiteler toplam kesintili yenilenebilir elektrik kurulu gücünün 2030 yılında %18 ve 2050 yılında ise %27'sine karşılık gelmektedir. Rüzgar ve güneşte toplam kurulu gücün Yavaş Senaryoya göre 2030 yılında %18 (3,9 GW), 2050 yılında %22 (14,3 GW) daha fazla olduğu Yüksek Büyüme Senaryosunda toplam enerji depolama gereksinimi ise bu yıllarda 4,4 GW ve 50,5 GW olarak hesaplanmaktadır. Bu büyüklükler toplam kesintili yenilenebilir enerji kapasitesinin sırasıyla %8 ve %24'üne eşdeğerdir.

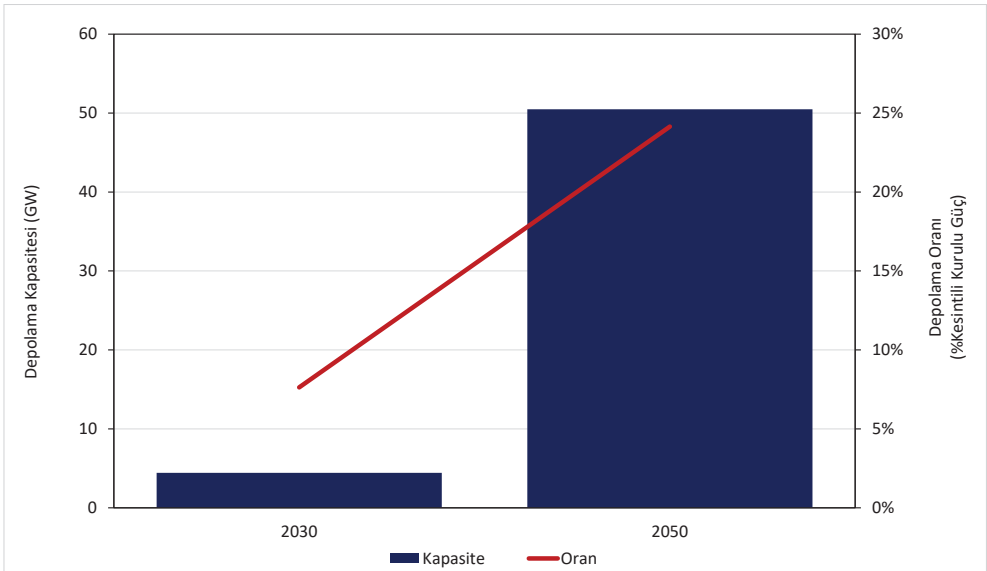
Diğer bir ifadeyle, 2030 yılından sonraki dönemde her dört-beş birim toplam rüzgar veya güneş kapasitesi için bir birim enerji depolama kapasitesinin sisteme eklenmesi öngörülmektedir. Yüksek Büyüme Senaryosu, 2050 yılına kadar olan dönemde sadece 4,5 GW daha yüksek enerji depolama kapasitesi ile çok daha yüksek rüzgar ve güneş entegrasyonu için gerekli esnekliği sağlayabilmektedir. Bölüm 5.2.1.1'de sunulduğu gibi, nihai tüketici sektörlerde verimlilik ve şebeke kayıplarında iyileşmeler kaynaklı olarak puant talepte sağlanan düşüğe ek olarak (2050 yılında Yavaş Senaryoya göre 26,2 GW daha düşük ani puant), talebin saatlik ve günlük yönetimini destekleyici mekanizmaların hayata geçirilmesi, nükleer elektrik ve doğal gaz üretim birimlerinin verimli gelişimi de sistem esnekliğinin enerji depolama kapasitesinde önemli bir artış gereksizsin güçlendirilmesini desteklemektedir (Enerji depolamada batarya, pompaj depolamalı hidroelektrik kapasite ve termal depolamada gelişim perspektifine ilişkin detaylar için lütfen Bölüm 6'ya bakınız.)



Şekil 5.20. Yavaş Senaryoda Enerji Depolama Kapasitesi Gelişimi (2030 – 2050, GW, %)



Şekil 5.21. Yüksek Senaryoda Enerji Depolama Kapasitesi Gelişimi (2030 – 2050, GW, %)

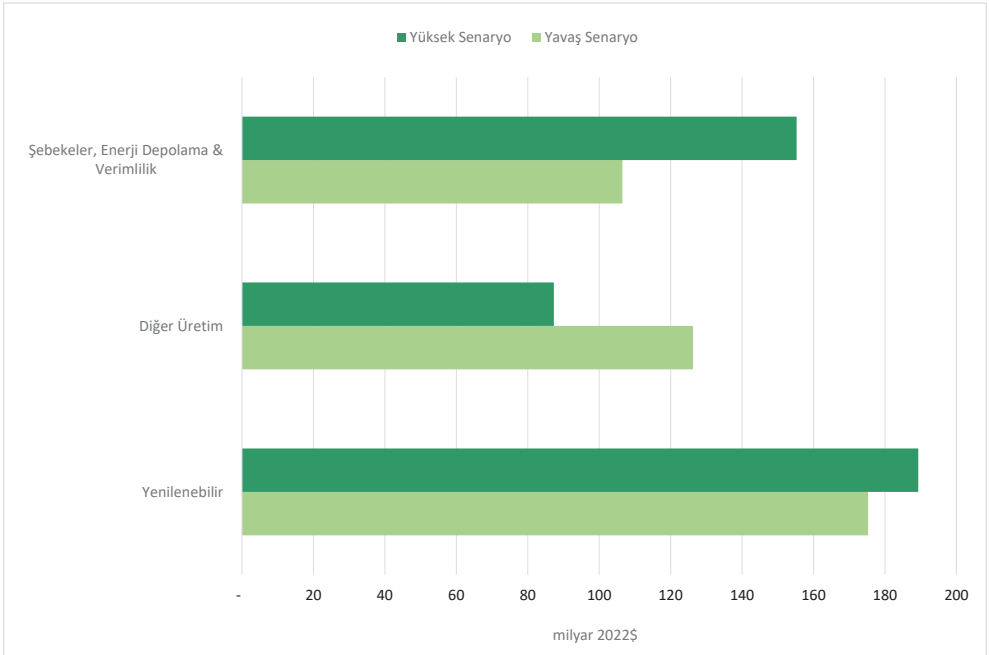


#### 5.2.1.4. Yatırımlar

Elektrik sektöründe yenilenebilir enerji odaklı gelişim perspektifi, yatırım ortamında öngörülebilirlik ve sürdürülebilirliğin güçlendirilmesini gerektirmektedir. Talepteki büyüme ve kaynak potansiyeli ile karşılaştırıldığında, son dönemde kapasite artışlarında büyümenin yavaşladığı, yapılabılır proje stokunun azaldığı ve 2025 yılına kadar olan dönemde devreye girebilecek yeni üretim kapasite portföyünün oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. 2050 yılına kadar olan dönemde talepte ve kurulu güçte iki katın üzerinde artışın sağlanabilmesi için, önümüzdeki dönemde elektrik sektöründe yatırımların da en az iki kat artış göstermesi gerekmektedir. IICEC senaryolarında yatırım perspektifi, üretim teknolojilerinin yatırım maliyetleri, şebekelerin ihtiyaçları ve nihai tüketici sektörlerde verimlilik fırsatlarına odaklı olarak değerlendirilmiş ve her iki senaryoda öngörülen talep, kapasite ve üretim artışları için gereken yatırım miktarları ve sektörel kısımları analiz edilmiştir.

Yavaş Senaryoda 2050 yılına kadar olan dönemde elektrik sisteminde yıllık ortalama yatırım gereksinimi 14,1 milyar 2022\$ olarak hesaplanmaktadır (Elektrik üretimi 10,4 milyar \$ ve şebekeler, depolama ve nihai tüketimde verimlilik 3,7 milyar \$). Yüksek Senaryoda aynı dönemde ortalama yıllık yatırım gereksinimi ise bunun sadece %6 üzerindedir (14,9 milyar \$). Bununla birlikte iki senaryoda yatırım portföyünün sektörel kırılımında önemli farklılıklar gerçekleşmektedir (Şekil 5.22 ve Şekil 5.23).

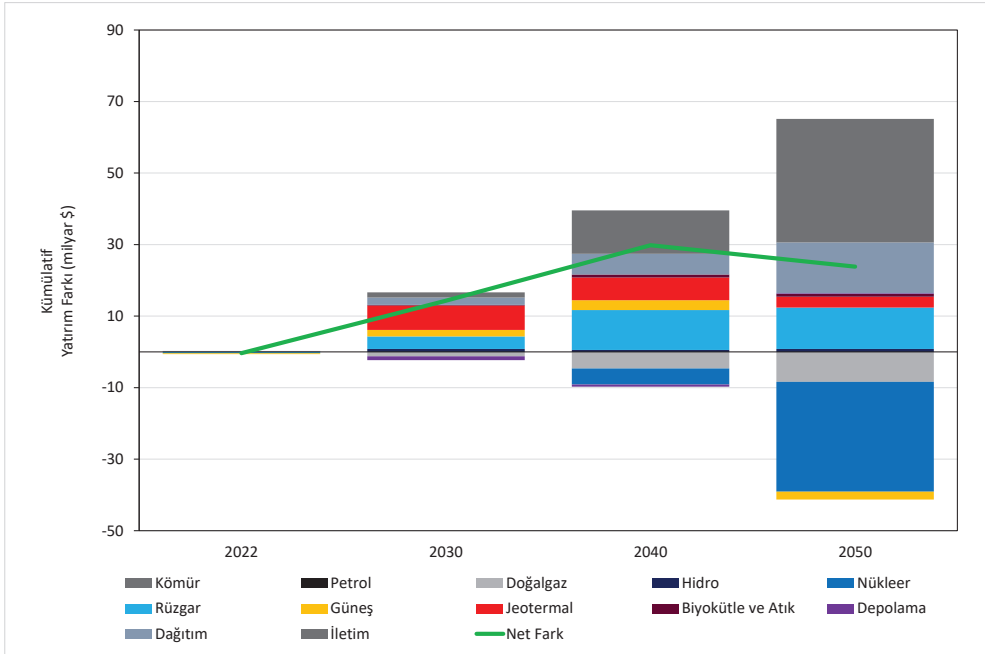
**Şekil 5.22. Senaryolarda Kümülatif Yatırım Gereksinimi (2022-2050, milyar 2022\$)**



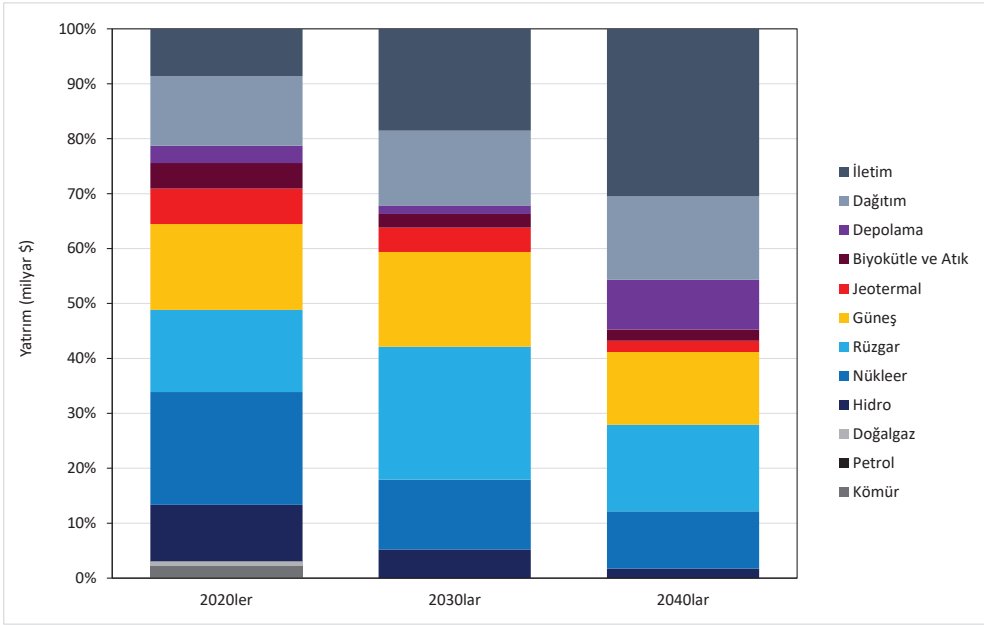
Teknolojik gelişim fırsatlarının daha etkin değerlendirildiği Yüksek Senaryoda rüzgar ve güneş birim yatırım maliyetlerinde düşüş Yavaş Senaryoya göre daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu gelişim elektrik üretiminde yıllık net artışlar için gereken yatırım miktarını azaltmaktadır. Senaryolarda yatırımlar içerisinde yenilenebilir elektrik üretiminin payında önemli bir farklılık bulunmamaktadır (%43 ve %44). 5,9 GW daha fazla nükleer kapasite ile, Yavaş Senaryoda yatırımlarda toplam elektrik üretiminin payı, Yüksek Senaryoya göre 10 puan daha yüksektir (%74 ve %64).

Yüksek Senaryoda yatırım kırılımı içerisinde şebekeler ve enerji depolamanın ağırlığı artmakta ve esnekliği güçlendirilmiş elektrik sistemi yenilenebilir elektrikte yüksek büyümeyi desteklemektedir. 2050 yılına kadar olan dönemde yatırımların üçte-birden fazlası şebekeler, enerji depolama ve nihai elektrik tüketiminde verimlilik alanlarında gerçekleşmektedir (2040-2050 döneminde %55). Yatırım portföylerindeki bu önemli dönüşüm, şebeke işletmeciliğinde değer-odaklı, yenilikçi ve sürdürülebilir yatırım modellerinin geliştirilmesinin önemini artırırken, enerji depolamada teknolojik gelişim fırsatlarına odaklanılmasını ve bütüncül bir elektrik sistemi planlama perspektifine işlerlik kazandırılmasını da gerektirecektir (Şekil 5.24).

**Şekil 5.23.Yüksek Senaryoda Yavaş Senaryoya Göre Kümülatif Yatırım Farklarının Gelişimi (2022-2050, milyar 2022\$)**



Şekil 5.24. Yüksek Senaryoda Yatırım Portföylerinin Gelişimi (2020-2050, milyar 2022\$)

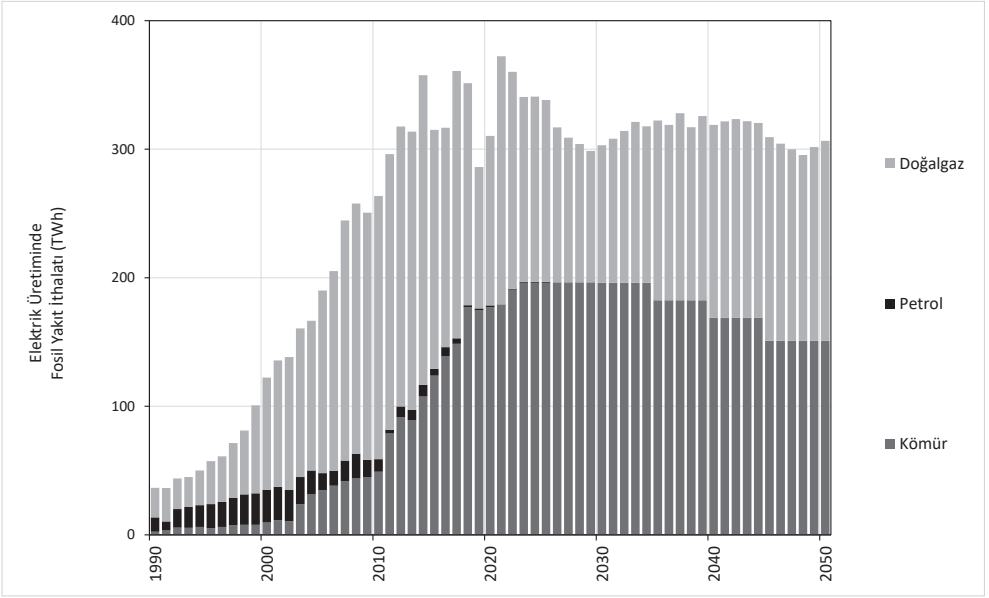


### 5.2.1.5. Enerji İthalatı Gelişimi

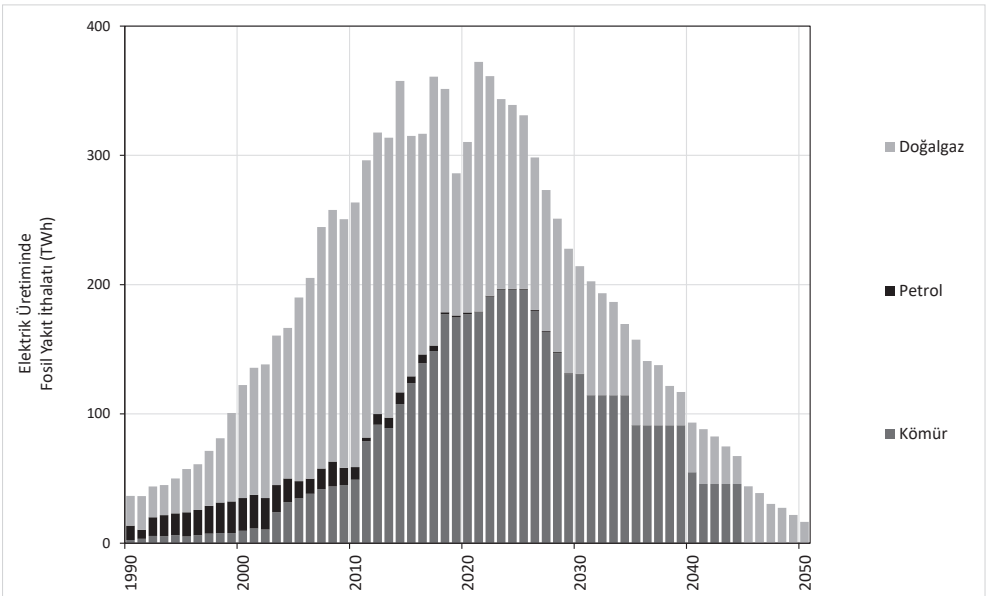
Yavaş Senaryoda elektrik üretiminde fosil yakıt ithalatında önemli azalma sağlanamamaktadır. 2050 yılına kadar olan dönemde nükleer kapasitede önemli artışa ve yenilenebilir elektrik üretiminin payında yaklaşık bir-buçuk kat artışa karşın ithal fosil yakıt enerji girdisi 300 TWh seviyesinde gerçekleşmeye devam etmektedir. Kömür kapasitesinin bir bölümünün kademeli olarak devreden çıkması sonucunda kömürün ithalat içerisindeki payı azalırken, 2040-2050 döneminde enerji girdisi cinsinden fosil yakıt ithalatının yarısından fazlasını doğal gaz oluşturmaktadır<sup>1</sup>. 2050 yılına kadar kümülatif ithal fosil yakıt ithalatının enerji eşdeğeri Yavaş Senaryoda 9.200 TWh'e ulaşırken Yüksek Senaryo güvenli elektrik arz işleyişini bunun yarısı kadar kümülatif fosil yakıt ithalatı ile sağlayabilmektedir. Yüksek Senaryoda verimlilik gelişimleri ile talep artış hızında sağlanan yavaşlamanın, yüksek yenilenebilir gelişimini destekleyici yatırımların, elektrik sisteminde şebekeler odaklı dönüşümün ve nükleer elektriğin artan katkısının desteğiyle fosil yakıt ithalatı 2030 yılında mevcudun üçte-ikisi, 2040 yılında ise yaklaşık dörtte-biri seviyesine düşmektedir. 2045 yılında ithal fosil yakıt girdisi 50 TWh'e kadar düşerken 2050 yılında sınırlı doğal gaz tüketiminden kaynaklı olarak 20 TWh seviyesinde gerçekleşmektedir (Şekil 5.25 ve Şekil 5.26).

<sup>1</sup> IICEC Senaryolarında Karadeniz'deki doğal gaz keşfinin katkısıyla 2050 yılına kadar olan dönemde doğal gaz arzının %30'unun yerli kaynaklardan sağlanması öngörülmektedir.

Şekil 5.25. Yavaş Senaryoda Elektrik Üretiminde Fosil Yakıt İthalatı (1990 – 2050, TWh)



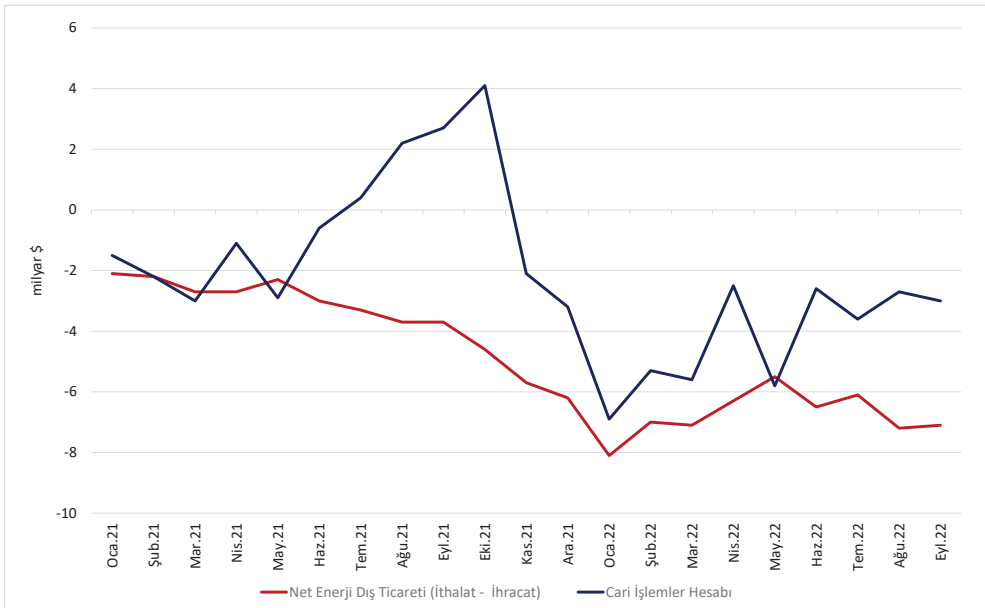
Şekil 5.26. Yüksek Senaryoda Elektrik Üretiminde Fosil Yakıt İthalatı (1990 – 2050, TWh)



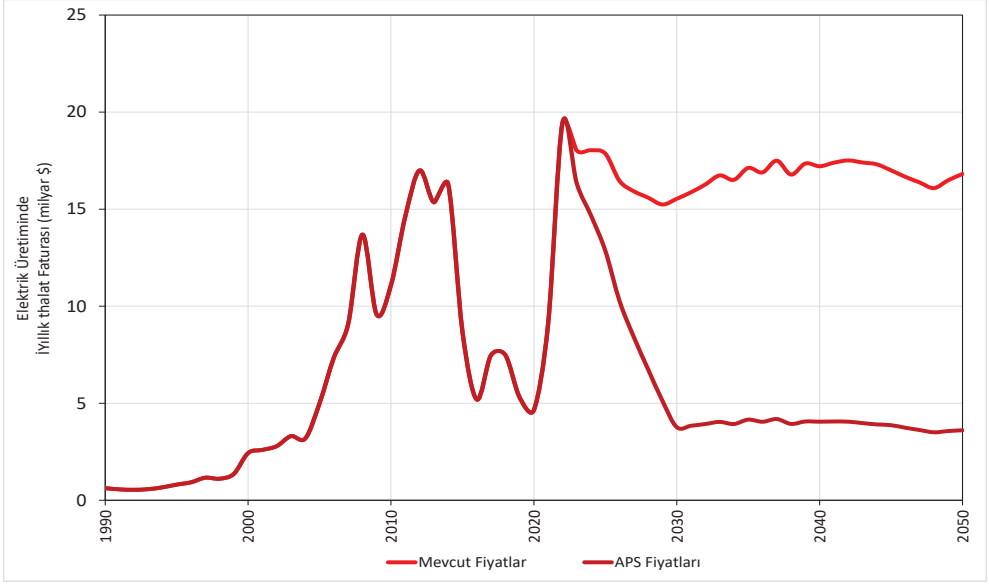
Bölüm 3 ve Bölüm 4'te belirtildiği gibi, Türkiye enerji ekonomisinin en kritik sorunlarından birisi, enerji arzında yüksek fosil-yakıt yoğunluğundan kaynaklı enerji ithalat faturası ve bunun cari işlemler dengesine etkisidir. 2022 yılının ilk 9 aylık döneminde net enerji dış ticaret, 2021 yılının aynı dönemine göre 35,2 milyar \$ daha yüksek gerçekleşirken (%37 artış), cari açıkta da 38 milyar \$ dönemsel artış kaydedilmiştir (TCMB, 2022) (Şekil 5.27). 2021 yılının ilk 9 aylık döneminde yenilenebilir elektrik üretiminin enerji ithalatında 15 milyar\$ azalma sağladığı hesaplanmakta olup, IIEEC senaryolarında artan yenilenebilir elektrik üretimi katkısı, önümüzdeki dönemde enerjide ithalat bağımlılığın ve ithalat faturasının düşürülmesinde, dolayısıyla daha güvenli bir enerji sisteminin, öngörülebilir maliyetlerle gelişiminde kritik rol üstlenmektedir.

Yavaş Senaryoda elektrik üretimi kaynaklı yıllık ithalat faturası mevcut emtia fiyatları ile 15-20 milyar \$ bandında gerçekleşmeye devam ederken, Yüksek Senaryoda 2030 yılında yarıya, 2040 yılında ise dörtte-birine düşmektedir. Yüksek Senaryo, 2050 yılına kadar olan dönemde ithalat faturasında 8,4 milyar \$/yıl azaltım sağlayabilmektedir. Mevcut emtia fiyatlarının, iklim değişikliği ile hedefler çerçevesinde düşüşünü öngören APS fiyat serileri ile yapılan analizlerde ise Yüksek Senaryoda yıllık ithalat faturasının 2040-2050 döneminde ortalama 2 milyar \$/yıl seviyesine düşebileceği görülmektedir (Yavaş Senaryoda 4 milyar \$/yıl). Yüksek Senaryo, Yavaş Senaryoya kıyasla 2050 yılına kadar olan dönemde yıllık ortalama ithalat faturasını 2 milyar \$ düşürmektedir (Şekil 5.28 ve Şekil 5.29). (Yıllık ortalama yatırım gereksiniminde 800 milyon \$ artış çerçevesinde ithal fosil yakıt faturası tasarrufu çarpanı 2,5'e karşılık gelmektedir.)

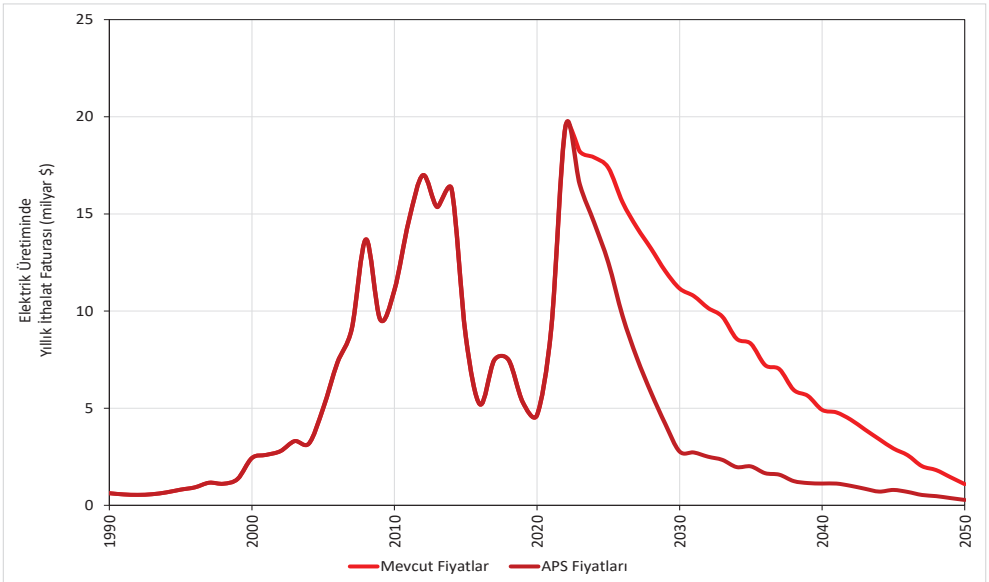
**Şekil 5.27. Net Enerji Dış Ticareti ve Cari İşlemler Dengesi Gelişimi (2021-2022 Eylül, milyar \$)**



**Şekil 5.28. Yavaş Senaryoda Elektrik Üretimi Kaynaklı Enerji İthalat Faturası (1990 – 2050, TWh)**



**Şekil 5.29. Yüksek Senaryoda Elektrik Üretimi Kaynaklı Enerji İthalat Faturası (1990 – 2050, TWh)**

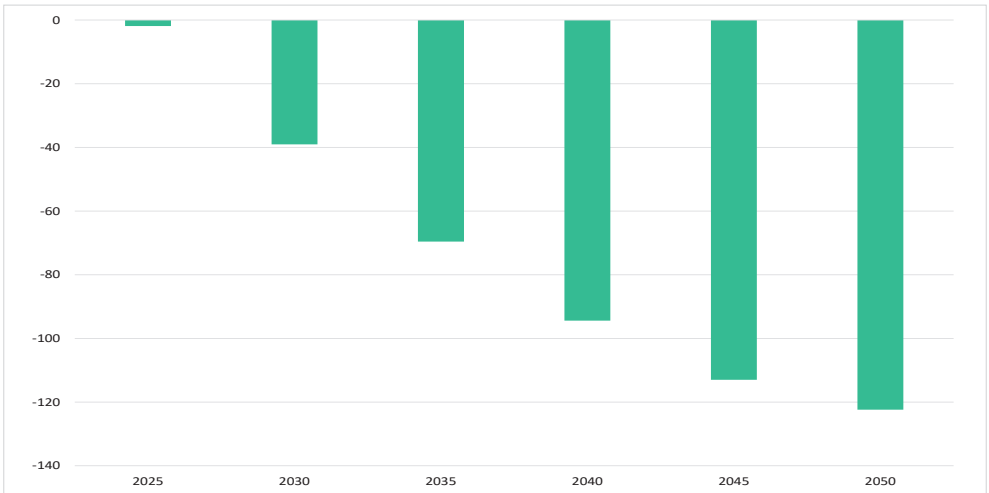


### 5.2.1.6. Sera Gazı Emisyonları Gelişimi

Yüksek Senaryo ile sağlanan en kritik gelişmelerden biri elektrik sektörünün emisyon envanterinde yüksek azaltım sağlanabilmesidir. Emisyonlar 2030 yılından önce tepe noktasına ulaşarak 2030 yılına kadar mevcut seviyesinden %35 civarında azalırken 2040 yılında 60 Mton CO<sub>2</sub>e seviyesine düşmektedir. 2050 yılında elektrik üretiminden kaynaklı emisyon envanteri 30 Mton CO<sub>2</sub>e seviyesine kadar inmektedir (2050 yılına kadar %85 düşüş.). Bu gelişim patikası, doğal gaz santrallerine eklenebilecek karbon yakalama ve depolama teknolojileri yoluyla elektrik sektöründe 2050 yılından önce mutlak-sıfıra yakın emisyon perspektifinin gerçekleştirilebilmesi için önemli fırsatlara işaret etmektedir. Fosil yakıtların elektrik üretim portföyündeki ağırlığının 2030 yılında %44 ve 2050 yılında %24 olarak gerçekleştiği Yavaş Senaryoda ise elektrik sektörünün emisyon envanterinde önemli bir değişim gerçekleşmemektedir. Yüksek Senaryo, Yavaş Senaryoya göre emisyonları 2030 yılında yaklaşık 40 Mton CO<sub>2</sub>e, 2030 – 2040 döneminde yılda ortalama yaklaşık 65 Mton CO<sub>2</sub>e ve 2040 – 2045 döneminde yılda ortalama 100 Mton CO<sub>2</sub>e düşüş kaydetmektedir (Şekil 5.30 , Şekil 5.31 ve Şekil 5.32).

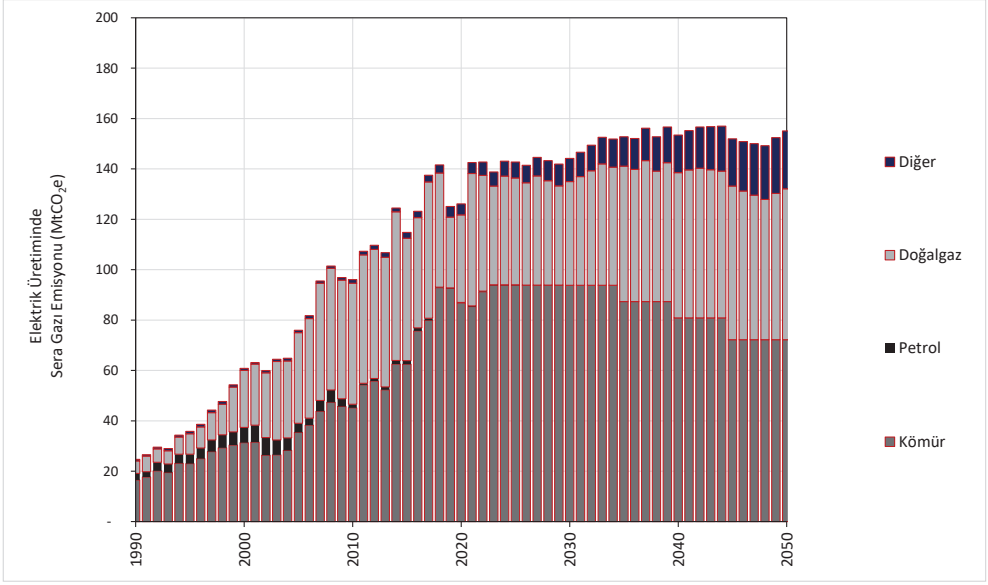
Emisyonların maliyetleri çerçevesinde yapılan analizlerde ise, 100 \$/ton karbon fiyatı varsayımıyla Yavaş Senaryoda mevcut emtia fiyatlarıyla yıllık 30 – 35 milyar \$ fosil yakıt ithalatı ve emisyon maliyeti oluşmaktadır. Yüksek Senaryoda ise bu tutar 2030 yılında 15 milyar \$'a ve 2050 yılında yaklaşık 5 milyar \$'a kadar düşmektedir. APS fosil yakıt fiyat serileri ile yapılan analizler ise Yavaş Senaryoda 2050 yılına kadar olan dönemde ortalama 21,1 milyar \$ olarak hesaplanan fosil yakıt ithalat faturası ve emisyon maliyetinin Yüksek Senaryoda 12,4 milyar \$'a düşebildiğini göstermektedir (Şekil 5.33, Şekil 5.34 ve Şekil 5.35) (Yıllık ortalama yatırım gereksiniminde 800 milyon \$ artış çerçevesinde ithal fosil yakıt faturası ve emisyon maliyeti tasarrufu çarpanı 10,9'a karşılık gelmektedir.)

**Şekil 5.30. Yüksek Senaryoda Yavaş Senaryoya Göre Sera Gazı Emisyon Azaltımları (2025 – 2050, Mton CO<sub>2</sub>e)**

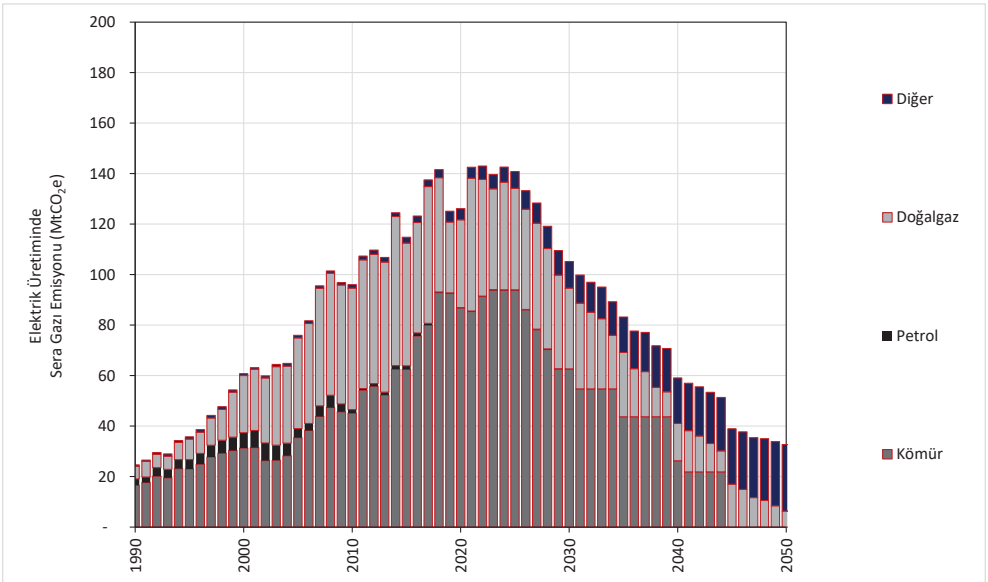




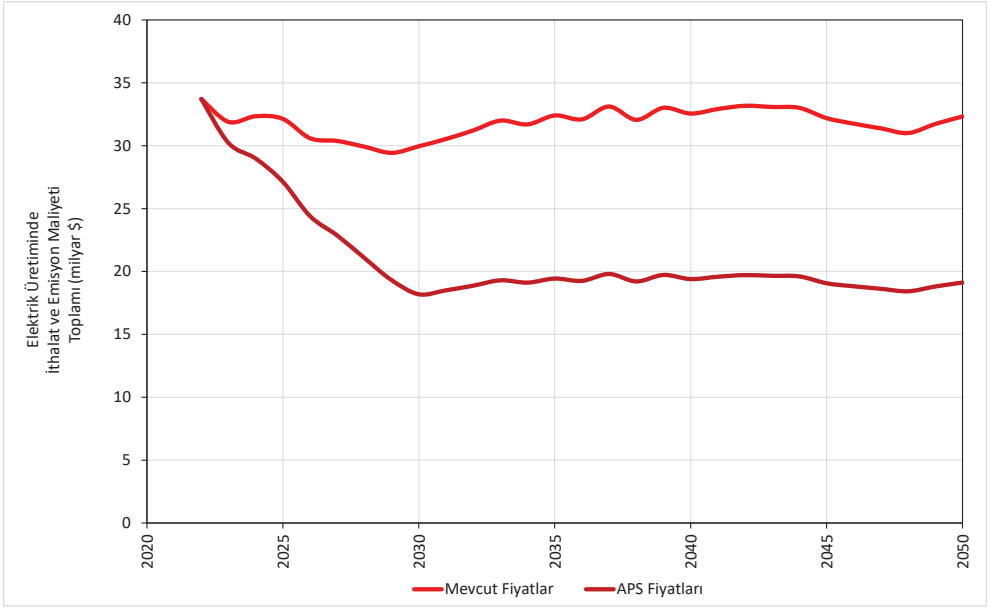
**Şekil 5.31. Yavaş Senaryoda Elektrik Üretimi Sera Gazı Envanterinin Gelişimi (1990-2050, Mton CO<sub>2</sub>e)**



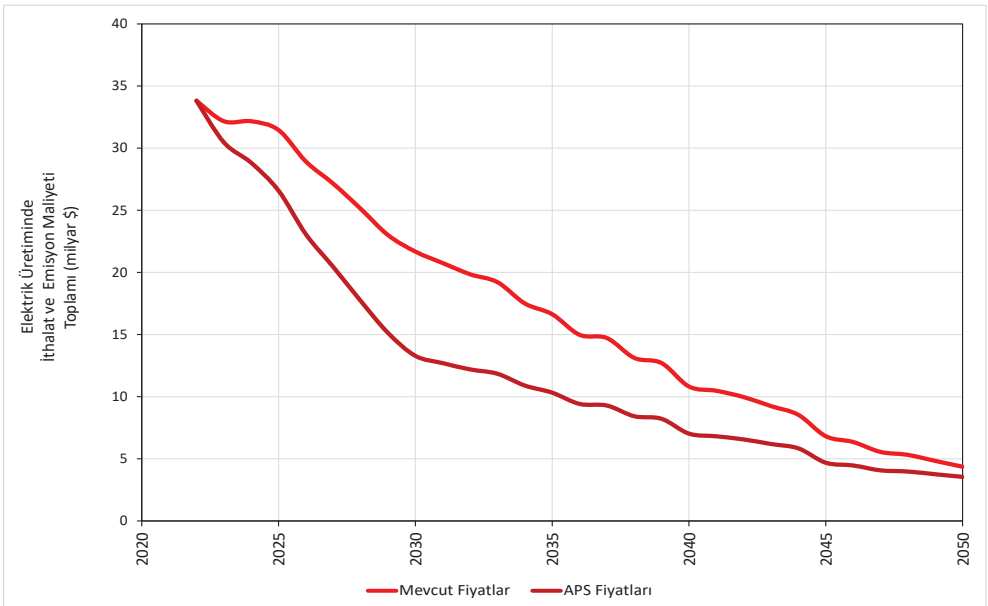
**Şekil 5.32. Yüksek Senaryoda Elektrik Üretimi Sera Gazı Envanterinin Gelişimi (1990-2050, Mton CO<sub>2</sub>e)**



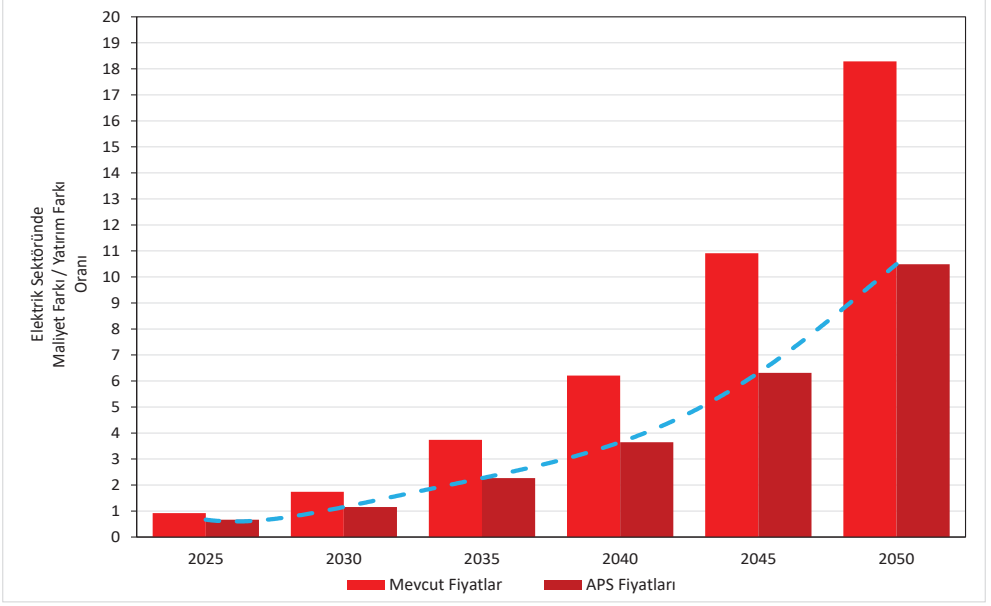
**Şekil 5.33. Yavaş Senaryoda Elektrik Üretiminden Kaynaklı İthalat ve Emisyon Maliyeti (2022- 2050, milyar \$)**



**Şekil 5.34. Yüksek Senaryoda Elektrik Üretiminden Kaynaklı İthalat ve Emisyon Maliyeti (2022-2050, milyar \$)**



**Şekil 5.35. Yüksek Senaryoda Yavaş Senaryoya Göre Kümülatif Yatırım – Maliyet Performansı (2025 – 2050)**



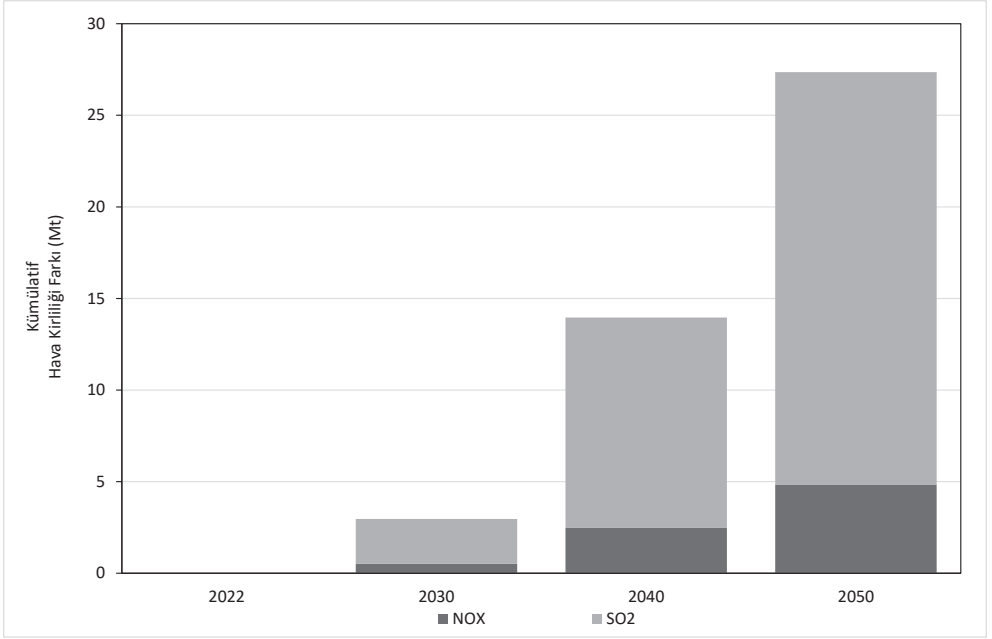
**Tablo 5.1. Yüksek Senaryoda Yavaş Senaryoya Göre Kümülatif Yatırım – Maliyet Performansı (2025 – 2050, Performansı; APS Fosil Yakıt Fiyat Serileri ile)**

2025	0,7
2030	1,2
2035	2,3
2040	3,6
2045	6,3
2050	10,9

### 5.2.1.7. Hava Kirletici Emisyonları Gelişimi

Yüksek Senaryo fosil yakıt kullanımında önemli azalış ile hava kirletici emisyonlarında kalıcı düşüşler de sağlamaktadır. Yüksek Senaryoda 2040 yılına kadar olan dönemde 11 Mton SO<sub>2</sub> ve 2 Mton NO<sub>x</sub> emisyonunun önüne geçilmekte, 2050 yılına kadar bu iki kirleticide önlenen kümülatif emisyon 27 Mton'a ulaşmaktadır<sup>2</sup> (23 Mton SO<sub>2</sub> ve 4 Mton NO<sub>x</sub>) (Şekil 5.36). Bu rakamlar Türkiye'nin mevcut değerleri ile toplam 10 yıllık SO<sub>2</sub> emisyonuna ve 5 yıllık NO<sub>x</sub> emisyonuna eşdeğerdir (ÇŞB, 2021). Kirletici emisyonlarında sağlanan ciddi azaltımların, solunum yolu hastalıkları başta olmak üzere insan ve toplum sağlığına ciddi etkilerinin bertaraf edilmesine katkıları da yenilenebilir enerjide ve enerji verimliliğinde güçlü büyüme perspektifinin sosyal ve çevresel faydalarına eklenmekte, böylelikle çok daha sürdürülebilir bir gelecek vizyonunu desteklenmektedir.

**Şekil 5.36. Yüksek Senaryoda Yavaş Senaryoya Göre Hava Kirletici Emisyonlarında Kümülatif Azaltımlar (2021 – 2050, Mton)**



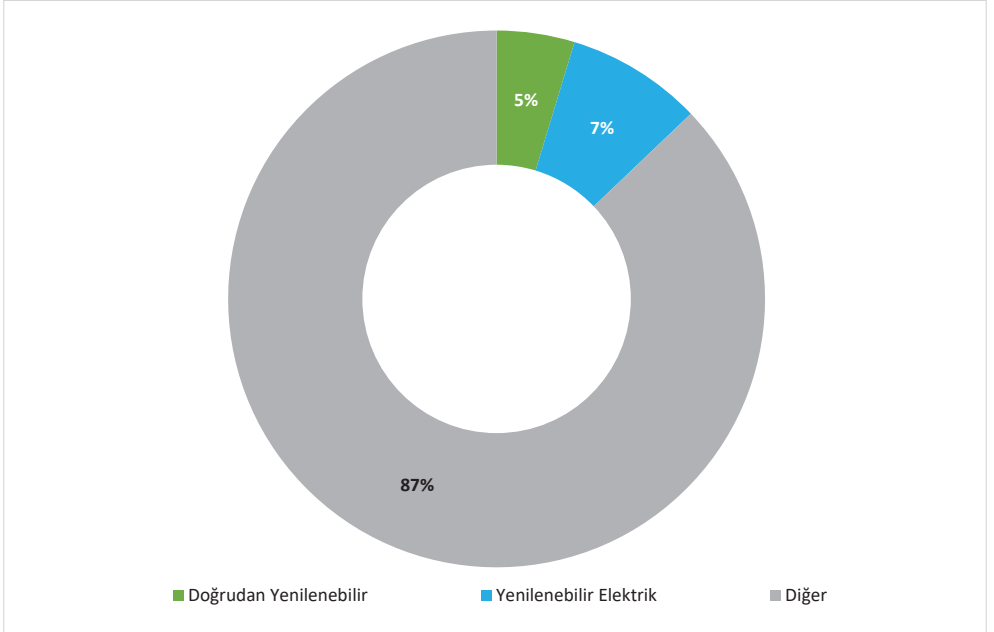
<sup>2</sup> Çalışmada makro analizler gerçekleştirilmiş olup, bu değerler bölgesel olarak değişim gösterebilmektedir.

### 5.2.1.8. IIcec Senaryolarında Nihai Enerji Tüketiminde Yenilenebilir Enerji

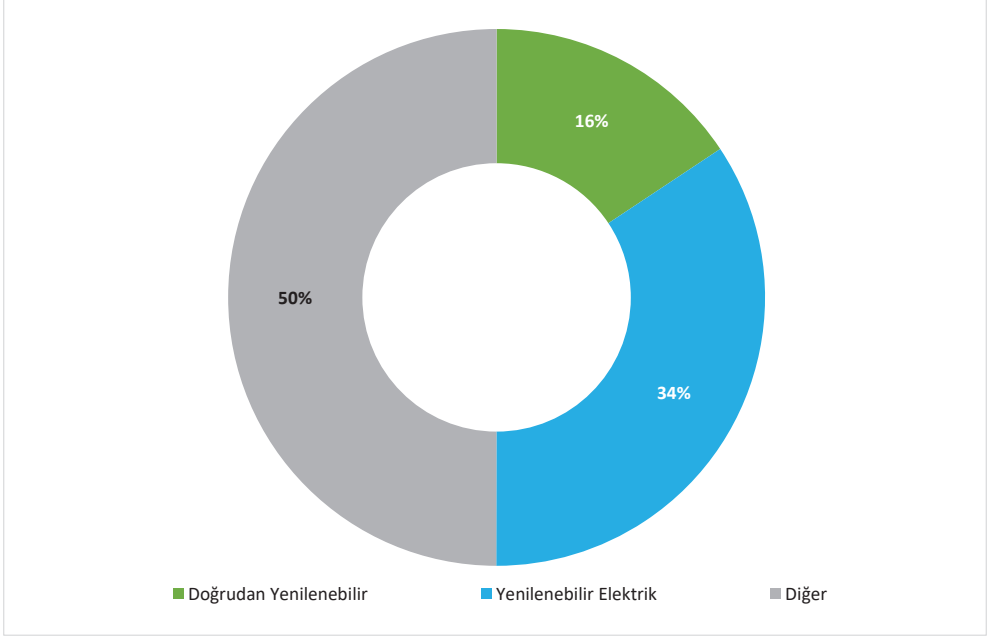
IIcec Senaryolarında genel enerji dengeleri içerisinde yenilenebilir enerji potansiyeli de kaynaklar ve nihai enerji tüketicisi sektörler bazında değerlendirilerek yüksek büyüme perspektifini destekleyecek kullanım alanları irdelenmiştir. Bölüm 4'de sunulduğu üzere yenilenebilir enerjinin nihai enerji talebine doğrudan katkısı 1990 yılında %19'dan 2021 yılında %5'e gerilemiştir. Bu dönemde nihai enerji talep hizmetlerinde elektrik enerjisi kullanımında artış ile birlikte (1990 yılında %10 ve 2021 yılında %21) nihai enerji talebinde toplam yenilenebilir enerji katkısı 2021 yılında %12 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'nin doğrudan biyokütle, jeotermal ve güneş enerjisi kullanımında yüksek potansiyeline karşın nihai enerjide yenilenebilir katkısı tüm fosil yakıtlardan daha düşük seyretmeye devam etmektedir.

Bütüncül sanayi, tarım, kentleşme ve enerji stratejilerini, uzun vadeli çevresel etkileri ve iklim değişikliğine karşı daha dirençli altyapı planlamalarını öne çıkaran Yüksek Senaryoda yenilenebilir enerjinin nihai enerji talebine toplam katkısı 2030 yılında %22'ye çıkarken, ısıtma taleplerinde doğal gaz alternatif jeotermal ve güneş enerjisine dayalı doğrudan yenilenebilir enerji fırsatlarının değerlendirilmesi ve havayolu ulaşımında sürdürülebilir yakıtların işlerlik kazanması ile birlikte 2050 yılında bu oran %50'ye kadar çıkmaktadır (Yavaş Senaryoda 2050 yılında doğrudan %10 ve elektrik enerjisi ile %24 olmak üzere toplam %34)

Şekil 5.37. Nihai Enerji Talebinin Kaynaklara göre Dağılımı (2021, %)



Şekil 5.38. Yüksek Senaryoda Nihai Enerji Talebinin Kaynaklara Göre Dağılımı (2050, %)

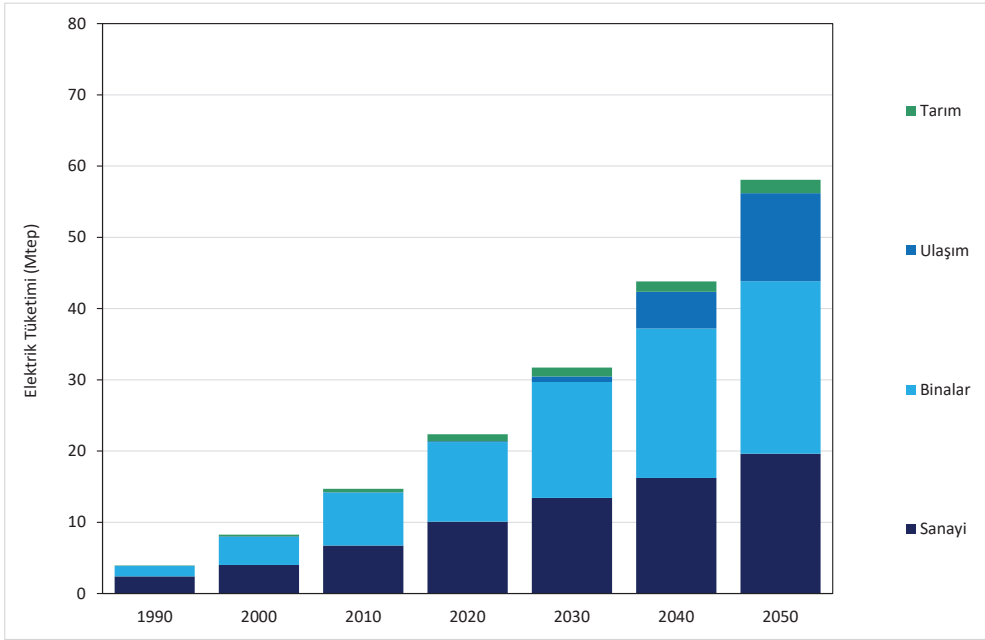


- **Elektrifikasyon:** Elektrifikasyon Türkiye enerji ekonomisinde en güçlü trendlerden birisi olmayı sürdürecektir. IICEC analizlerine göre 2050 yılına kadar olan dönemde elektrik enerjisinin nihai enerji tüketimindeki payı yaklaşık iki kat artışla %40'a ulaşacaktır. E-mobilitede yüksek gelişim potansiyeli ile birlikte en hızlı artış ulaşımın elektrifikasyonunda gerçekleşirken (Sabancı Üniversitesi IICEC, 2021), ulaştırmanın elektrik enerjisi talebindeki payı 2030 yılında %3'e, 2040 yılında %12'ye ve 2050 yılında %22'ye ulaşmaktadır. Türkiye'nin artan nüfusu, kentleşme ve sanayileşme dinamikleri ile birlikte, binalar ve sanayi sektörleri elektrik talebinde en yüksek paya sahip olmayı sürdürecektir (2050 yılında binaların payı %42 ve sanayinin payı %34).

Binalarda elektrik talebi gelişimi, verimli büyümeyi destekleyen Yüksek Senaryoda ısı pompalarında öngörülen yaygınlaşmanın etkisi ile hızlı artış gösterirken, sanayi elektrik talebinde artış hızı ise elektrik motorlarında verimli dönüşüm başta olmak üzere uygulamaya geçirilebilecek verimli-tüketim odaklı yatırımlar yoluyla önemli oranda yavaşlayabilecektir (Yüksek Senaryoda 2050 yılına kadar binalarda yıllık ortalama %2,6 ve sanayide yıllık ortalama %2,3 artış).

IICEC Senaryoları, binalarda ve tarımda yenilenebilir enerji talebinin, kaynak potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerde özellikle ısıtma taleplerinin karşılanmasında ağırlıklı olarak doğal gazı ikame edecek şekilde gelişmesini öngörmektedir. Tarımda elektrik tüketimi 1 Mtep seviyesinden (nihai enerji talebinin yaklaşık %5'i) 2050 yılında 1,9 Mtep'e çıkarken (nihai enerji talebinin %3'ü), tarımsal sulamada mikro-şebekelerde yaygınlaşma ve dağıtık güneş üretimi yoluyla yerinde üretim fırsatları ile dah verimli bir gelişim patikasına ulaşılacaktır.

**Şekil 5.39. IICEC Yüksek Senaryosunda Elektrik Enerjisi Talebinin Sektörel Gelişimi (1990 - 2050, Mtep)**



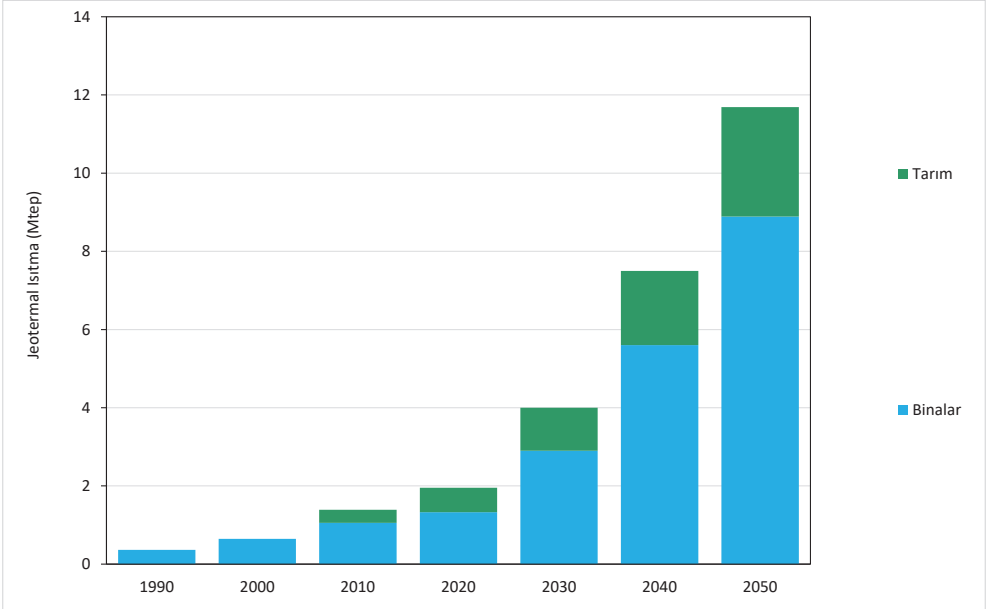
- **Doğrudan Yenilenebilir Enerji Kullanımı:** Yüksek Senaryoda nihai enerji talebinde doğrudan yenilenebilir enerji kullanımı 2050 yılına kadar dört katın üzerinde artış göstererek yaklaşık 5 Mtep'ten 2030 yılında 8,8 Mtep ve 2050 yılında 23 Mtep'e çıkmaktadır (Nihai enerji talebinin %5 ve %15'i).

En hızlı büyüme jeotermal enerjide gerçekleşirken, 2050 yılında doğrudan yenilenebilir enerji katkısının yaklaşık yarısı, konutlar ve ticari binalarda, sera ısıtmasında jeotermal enerji kullanımından oluşmaktadır (2020 yılında %36) Bu dönemde binaların nihai jeotermal enerji talebindeki payı üçte-ikiden dörtte-üçe ulaşmaktadır (Şekil 5.40).

Biyokütle, sanayide mevcut kullanımın genişlemesine yönelik adımlara ek olarak özellikle ulaşımda temiz enerji odaklı sürdürülebilir havacılık yakıtlarına dönüşüm süreci ile yaygınlaşmaktadır. Biyokütle ve atık enerjisi kullanımı 2030 – 2050 arası dönemde doğrudan nihai enerji katkısının %35-40'ına karşılık gelmektedir (Şekil 5.41). Ulaştırma sektöründe biyokütle kullanımı 2030 yılında 0,5 Mtep ve 2050 yılında 3,1 Mtep'e çıkmaktadır (Mevcut durumda karayolu ulaşımında sınırlı kullanım ile yaklaşık olarak 0,1 Mtep).

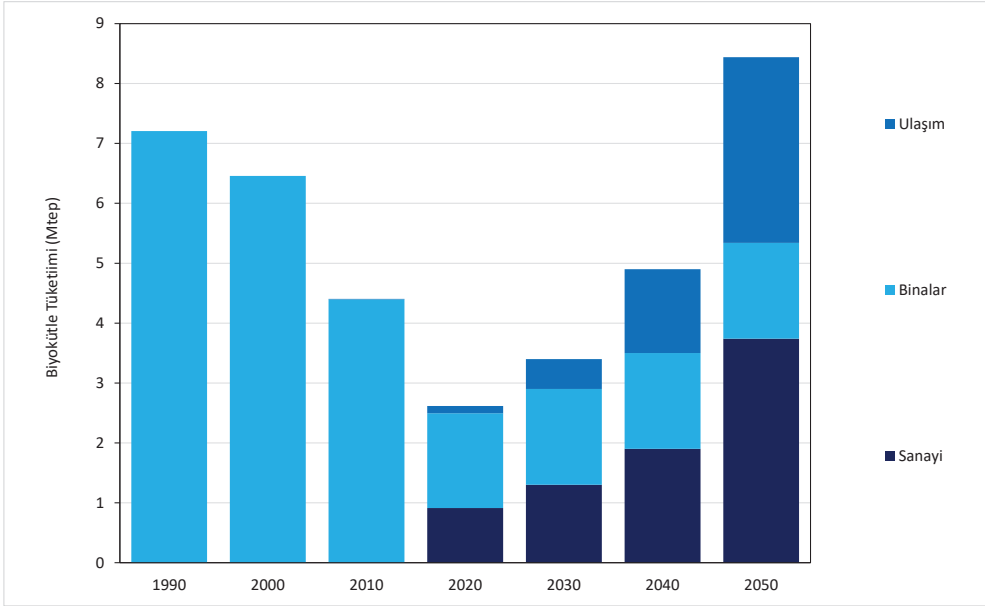
Günümüzde 0,9 Mtep ile nihai enerji talebinin binde-yedisini karşılayan güneş enerjisi kullanımı ise 2050 yılına kadar yaklaşık üç-buçuk kat artışla 2,8 Mtep'e ulaşmaktadır. Binalar, toplam nihai güneş enerjisi talebinin yaklaşık üçte-ikisini oluşturmaya devam etmekte, sanayi sektörlerinde kullanım ise temiz enerji ve enerji arz güvenliği eksenli yatırım perspektiflerinin etkisi ile artmaktadır (2020 yılında 0,3 Mtep ve 2050 yılında yaklaşık 1 Mtep) (Şekil 5.42).

**Şekil 5.40. IICEC Yüksek Senaryosunda Jeotermal Enerji Talebinin Sektörel Gelişimi (1990 - 2050, Mtep)**

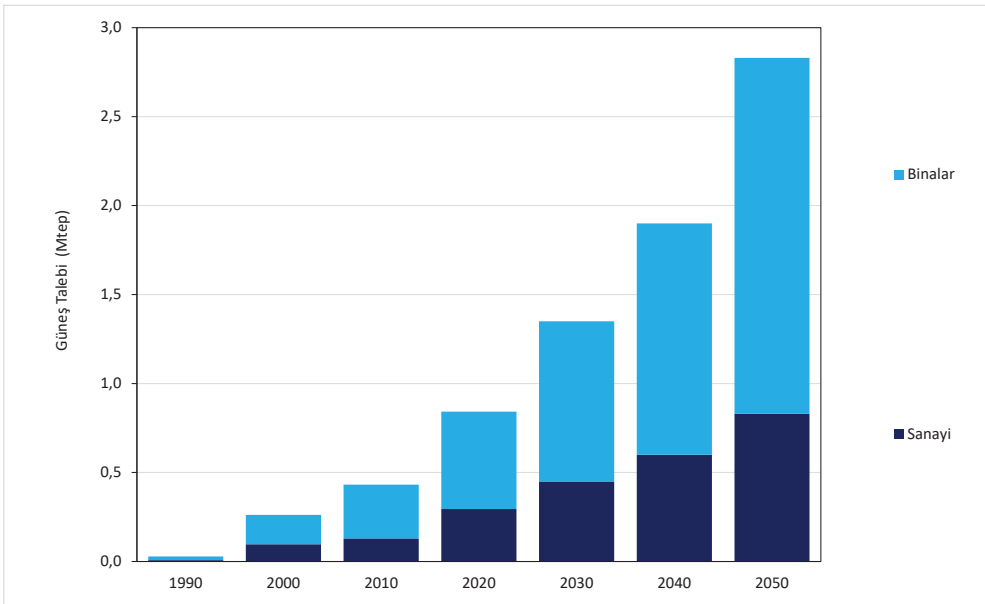




**Şekil 5.41. IICEC Yüksek Senaryosunda Biyokütle ve Atık Enerjisi Talebinin Sektörel Gelişimi (1990 - 2050, Mtep)**



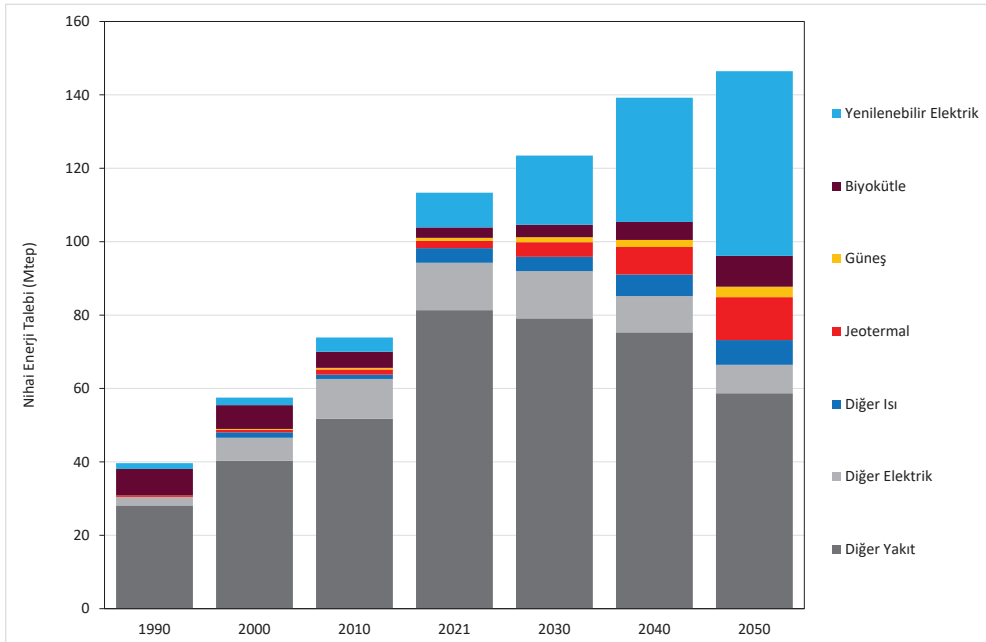
**Şekil 5.42. IICEC Yüksek Senaryosunda Güneş Enerjisi Talebinin Sektörel Gelişimi (1990 - 2050, Mtep)**



- **Fosil Yakıtlar ve Temiz Enerji Taşıyıcıları:** Bölüm 3 ve Bölüm 4'te sunulduğu gibi, Türkiye enerji sistemi fosil-yakıt ağırlıklı arz yapısını sürdürmektedir. 2021 yılında nihai enerji talebinin yaklaşık dörtte-üçü petrol, doğal gaz ve kömürden karşılanmıştır (1990 yılında %71). IICEC Senaryolarında elektrifikasyon ve yenilenebilir enerjide büyüme perspektifi, özellikle binalarda ve sanayide fosil yakıt tüketimini azaltmaktadır. Karayolu ulaşımında elektrifikasyon ve havayolu ulaşımında biyokütle enerjisinin yaygınlaşması ile birlikte 2021 yılında nihai enerjide 85,3 Mtep olan fosil yakıt tüketimi, 2030 yılında 79,1 Mtep'e ve 2050 yılında 65,5 Mtep'e düşmektedir.

Yüksek Senaryoda nihai enerjide fosil yakıt tüketimi 2030 yılından önce azalmaya başlamaktadır. Fosil yakıt payı 2040 yılında %54 ve 2050 yılında %45'e düşmektedir. Diğer bir ifadeyle, verimlilik, yenilenebilir enerji ve elektrifikasyon, enerji tüketicisi sektörlerde fosil yakıt yoğunluğunu 2050 yılına kadar olan dönemde yarıdan daha fazla azaltabilmektedir. 2021-2050 arası dönemde toplam nihai enerji talebinde 31 Mtep artışa karşın fosil yakıt tüketimi yaklaşık 20 Mtep düşmektedir. Bu dönemde elektrik talebi 33,6 Mtep ve doğrudan yenilenebilir talebi 17,3 Mtep artış göstermektedir (Şekil 5.43).

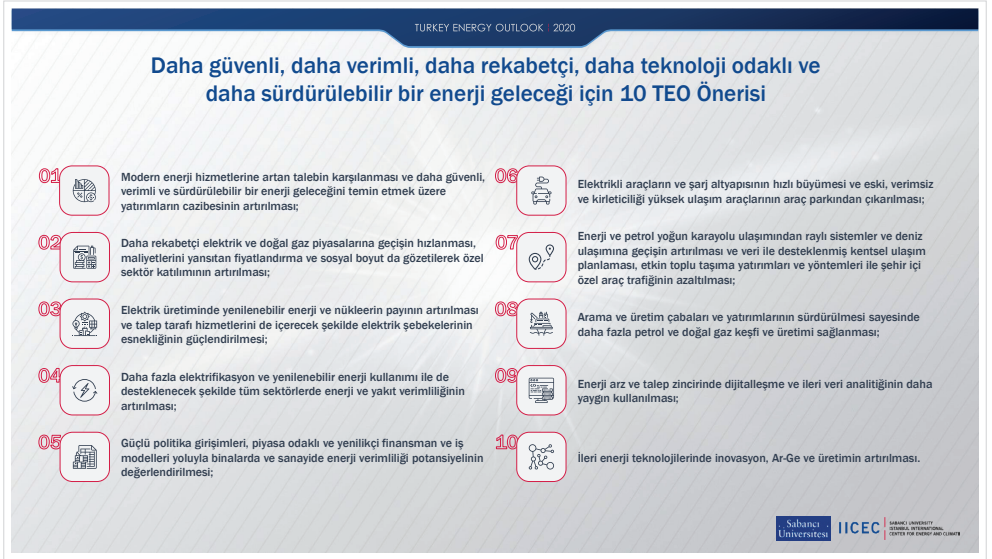
**Şekil 5.43. IICEC Yüksek Senaryosunda Nihai Enerji Talebinin Kaynaklara Göre Gelişimi (1990 - 2050, Mtep)**



### 5.3. IICEC Senaryoları Sonuçları Özet Değerlendirme

Türkiye Enerji Görünümü çalışmasının enerji verimliliğinde yaygınlaşmaya, elektrik üretiminde ve nihai enerji talebinde yüksek yenilenebilir enerji kullanımına ilişkin önerilerini 2050 perspektifiyle geliştiren Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü çalışmasında (Şekil 5.44), yüksek büyüme potansiyeline sahip olan Türkiye enerji sisteminde yenilenebilir enerji-odaklı ve verimli gelişim perspektifinin enerji güvenliğine ve temiz enerji geleceğine katkıları somut göstergelerle sunmaktadır.

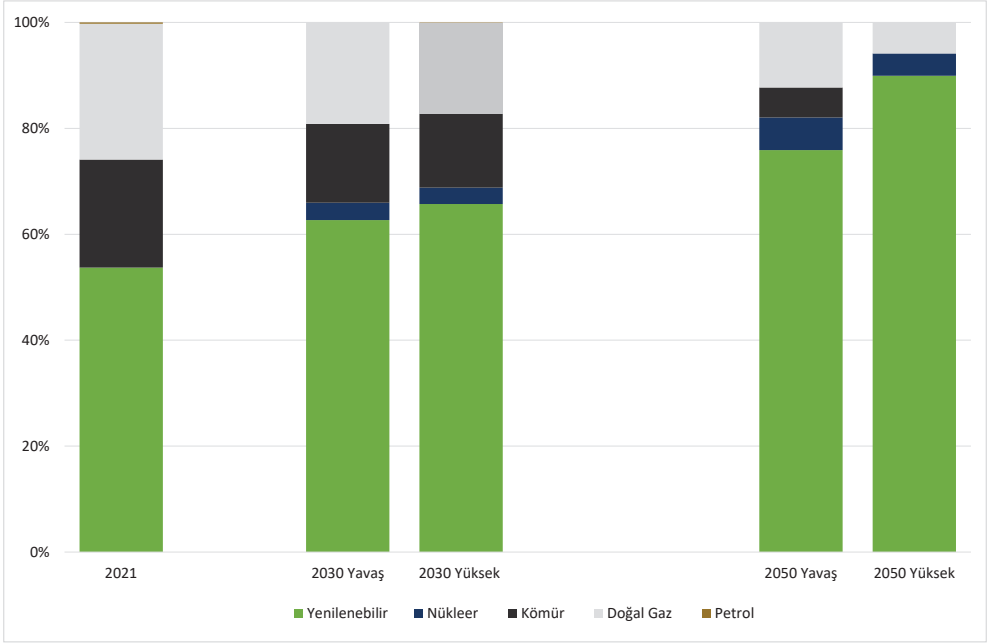
Şekil 5.44. IICEC Türkiye Enerji Görünümü Önerileri (2020)



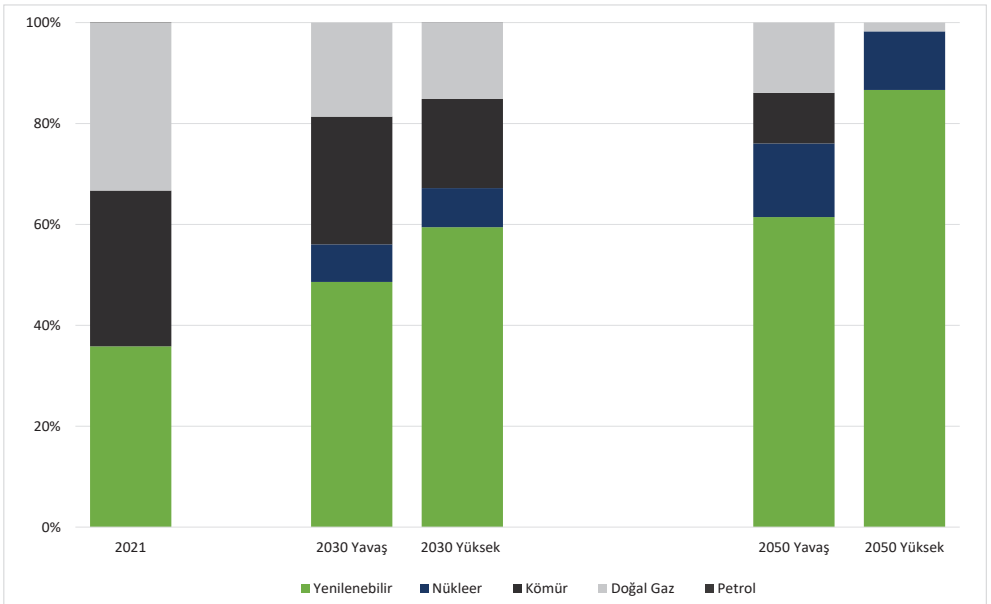
Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü çalışmasının temel bulguları aşağıda özetlenmektedir:

- Yavaş Senaryoda yenilenebilir enerjinin kurulu güç içerisindeki payı %76'ya, Yüksek Senaryoda %90'a çıkmaktadır. Yüksek Senaryoda elektrik üretiminin 2030 yılında %59'u ve 2050 yılında %87'si yenilenebilir elektrikten karşılanmaktadır (Şekil 5.45 ve Şekil 5.46) Güneş ve rüzgar, elektrikte büyümenin ana eksenini oluştururken, Yüksek Senaryoda 2050 yılında kurulu gücün %71'i, elektrik üretiminin ise üçte-ikisi bu iki kaynaktan sağlanabilmektedir. Nükleer elektrik de eklendiğinde 2050 yılında elektrik üretim portföyünün %95'inden fazlası düşük karbonlu niteliğe ulaşmaktadır.
- Güçlü yenilenebilir enerji potansiyelinin hızlı ve etkin değerlendirildiği Yüksek Senaryoda Türkiye'nin elektrik üretimi kaynaklı fosil yakıt ithalatı 2030 yılında %42 ve 2040 yılında %75 azalmakta ve 2050 yılına kadar olan dönemde sadece sınırlı doğal gaz tüketiminden kaynaklı olarak mevcut seviyesinin yirmide-birine düşmektedir. Yavaş Senaryo ise fosil yakıt ithalat hacimlerinde belirgin bir iyileşme kaydetmemektedir (Şekil 5.47).
- Yüksek Senaryoda elektrik sektörünün sera gazı emisyon envanteri 2030 yılından önce azalım patikasına girerken nükleer elektriğin de katkısıyla 2035 yılına kadar %42 ve 2050 yılına kadar %85 azaltılmakta ve net-sıfır emisyon geleceğine önemli bir zemin oluşturulmaktadır (Şekil 5.48).
- Yüksek Senaryoda, yenilenebilir enerjinin elektrik üretim kompozisyonundaki payında iki kat artışa ek olarak nihai enerji talebinde jeotermal, güneş ve biyokütle payı da 2050 yılına kadar olan dönemde üç kat artış göstermektedir. Nihai enerji talebinde jeotermal kullanımı altı kat, güneş ve biyokütle enerjisi kullanımı ise üçer kat artarken, nihai enerji talebinde yenilenebilir enerjinin günümüzde %12 olan toplam katkısı 2030 yılında %2'nin üzerine çıkmaktadır. 2050 yılında Türkiye'nin her iki birim nihai enerji talebinden biri yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (Şekil 5.49 ve Şekil 5.50).

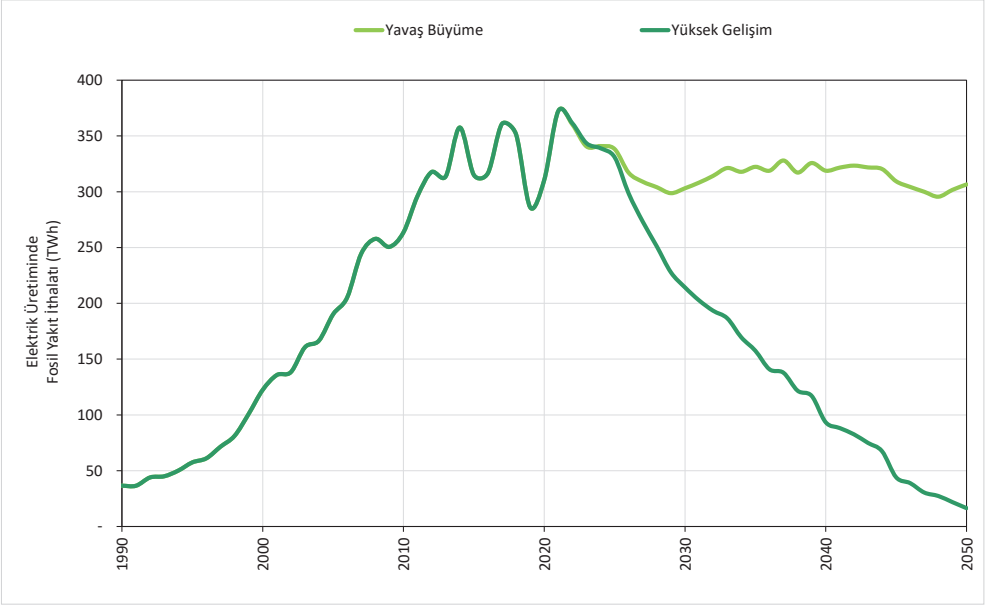
**Şekil 5.45. IICEC Senaryolarında Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Gelişimi (2021, 2050, %)**



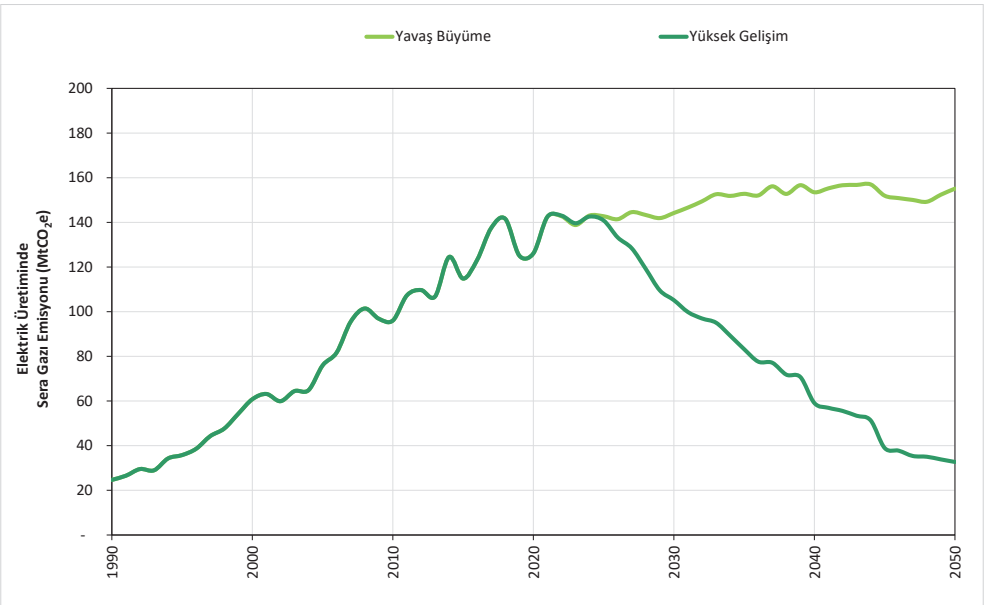
**Şekil 5.46. IICEC Senaryolarında Elektrik Üretim Kaynaklarına Göre Gelişimi (2021, 2050, %)**



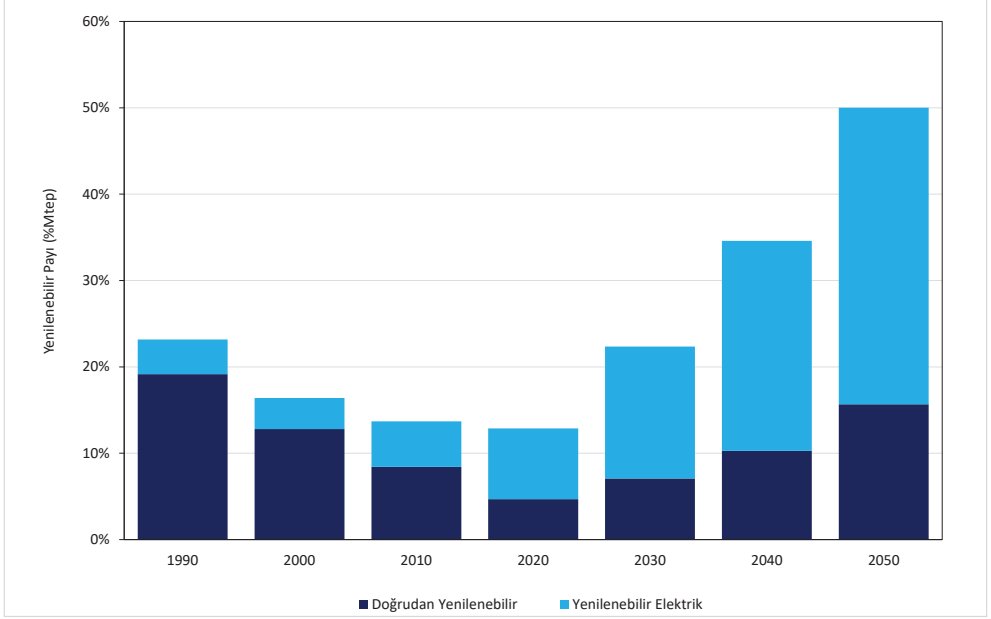
Şekil 5.47. IICEC Senaryolarında Fosil Yakıt İthalat Girdisi Gelişimi (1990 - 2050,TWh)



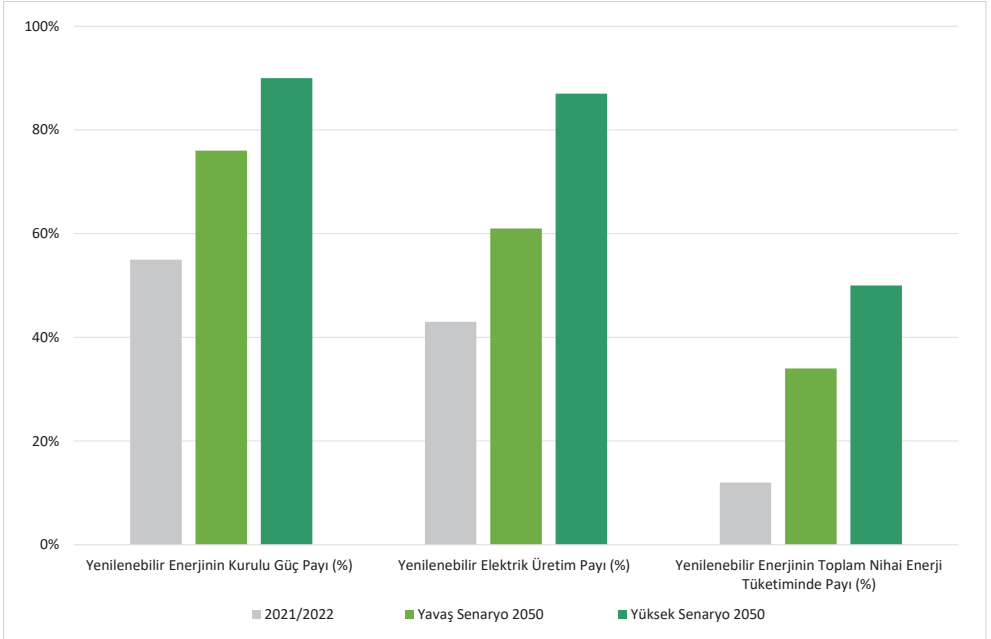
Şekil 5.48. IICEC Senaryolarında Sera Gazı Emisyonu Envanteri Gelişimi (1990 - 2050, Mton CO<sub>2</sub>e)



**Şekil 5.49. IICEC Yüksek Senaryosunda Nihai Enerji Talebinde Yenilenebilir Enerji Katkısı Gelişimi (1990 - 2050, Mtep)**

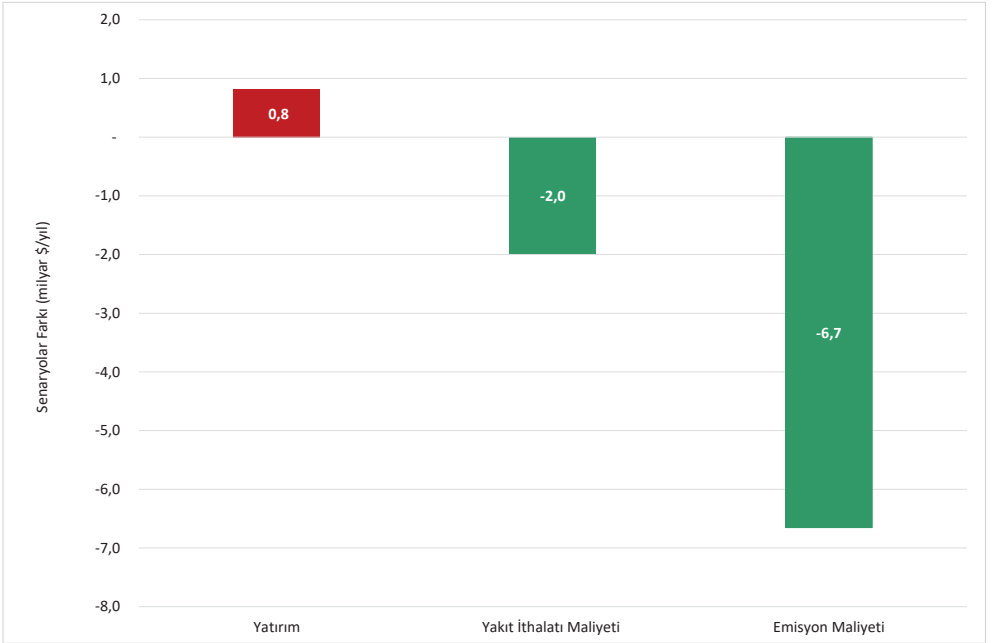


**Şekil 5.50 IICEC Senaryolarında Yenilenebilir Enerji Büyümesi (2021/2022- 2050, Mtep)**



- Verimli büyümeyi ve yenilenebilir enerji odaklı gelecek perspektifini destekleyen Yüksek Senaryo, ithal fosil yakıt faturasında ve emisyon maliyetlerinde enerji ekonomisi bakımından kritik kazanımları da beraberinde getirmektedir. Yüksek Senaryo, güvenli ve sürdürülebilir bir elektrik sistemi geleceğini 2050 yılına kadar olan dönemde Yavaş Senaryoya göre yıllık ortalama 800 milyon 2022\$ daha fazla yatırım ile sağlayabilmektedir. Buna karşın aynı dönemde enerji ithalat faturasında Yavaş Senaryoya göre yılda ortalama 2 milyar 2022\$<sup>3</sup> tasarruf getiren Yüksek Senaryo, emisyonlar kaynaklı maliyetleri de Yavaş Büyüme Senaryosuna göre 6,7 milyar 2022\$/yıl düşürebilmektedir<sup>4</sup>. Dolayısıyla Yüksek Senaryo, birim yatırım karşılığı maliyet tasarrufları bakımından 10,9 çarpana ulaşmakta, Türkiye'nin daha güvenli ve temiz enerji geleceği için çok boyutlu ekonomik kazanımlara işaret etmektedir (Şekil 5.51). (Yüksek Senaryo için kritik gelişim alanları ve öneriler Bölüm 8'de sunulmaktadır.)

**Şekil 5.51. IICEC Yüksek Senaryosunun Yavaş Senaryo ile Karşılaştırması (2022-2050, milyar 2022\$)**



<sup>3</sup> IEA APS Senaryosu fosil yakıt fiyat varsayımları ile.

<sup>4</sup> 100\$/ton karbon fiyatı varsayımı ile.



## Referanslar

- ÇŞB (2021), Türkiye'nin Bilgilendirici Envanter Raporu (IIR) 2021

[https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/menu/turkey-s-irr-2021\\_tr\\_20211101034946.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/menu/turkey-s-irr-2021_tr_20211101034946.pdf)

- Sabancı Üniversitesi IICEC, Turkey Energy Outlook 2020

<https://iicec.sabanciuniv.edu/tr/teo>

- Sabancı Üniversitesi IICEC, Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü 2021

<https://iicec.sabanciuniv.edu/tr/tevo>

- TCMB (2022), Ödemeler Dengesi İstatistikleri

<https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/609ef884-3b3c-4bc3-84fe-9254244c3490/odemelerdengesi.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-609ef884-3b3c-4bc3-84fe-9254244c3490-ohBWv4x>



# BÖLÜM 6:

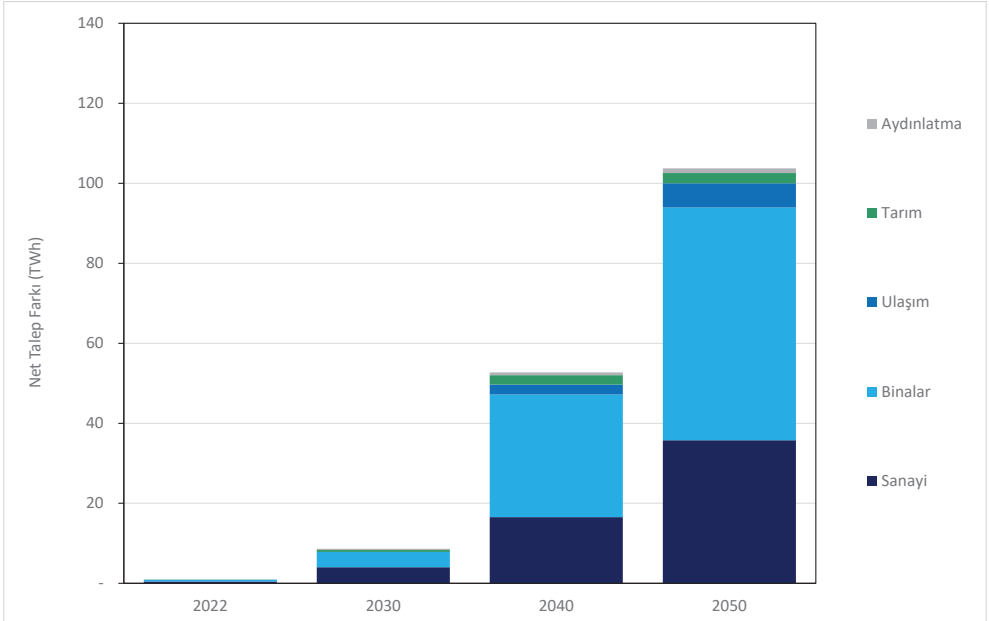
IICEC Senaryolarında  
Elektrik Sektöründe  
Yenilenebilir Enerji  
Geleceği

## 6.1. Elektrik Talebi Geleceği

Yüksek Senaryo, tüm nihai enerji tüketicisi sektörlerde verimlilik potansiyeline öncelik vermekte ve Yavaş Senaryoya göre enerji talebinde önemli kazanımlar sağlamaktadır. Yüksek Senaryo 2040 yılında elektrik talebinde aynı konfor ve kaliteyi, e-mobilitede ve ısı pompaları gibi yenilikçi sistemlerde yaygınlaşmayı da destekleyecek şekilde Yavaş Senaryo'ya göre 50 TWh daha düşük bir net tüketim ile gerçekleştirebilmektedir. 2050 yılında Yüksek Senaryo, Yavaş Senaryo ile karşılaştırıldığında %14 daha düşük net talep ve %16 daha düşük brüt talep ile sonuçlanmaktadır (Şekil 6.1). Verimli talep gelişimi, arz tarafında yatırım gereksinimini azaltırken şebeke gelişimi ve talep tarafının yönetimi için de yeni fırsat alanları sunmaktadır.

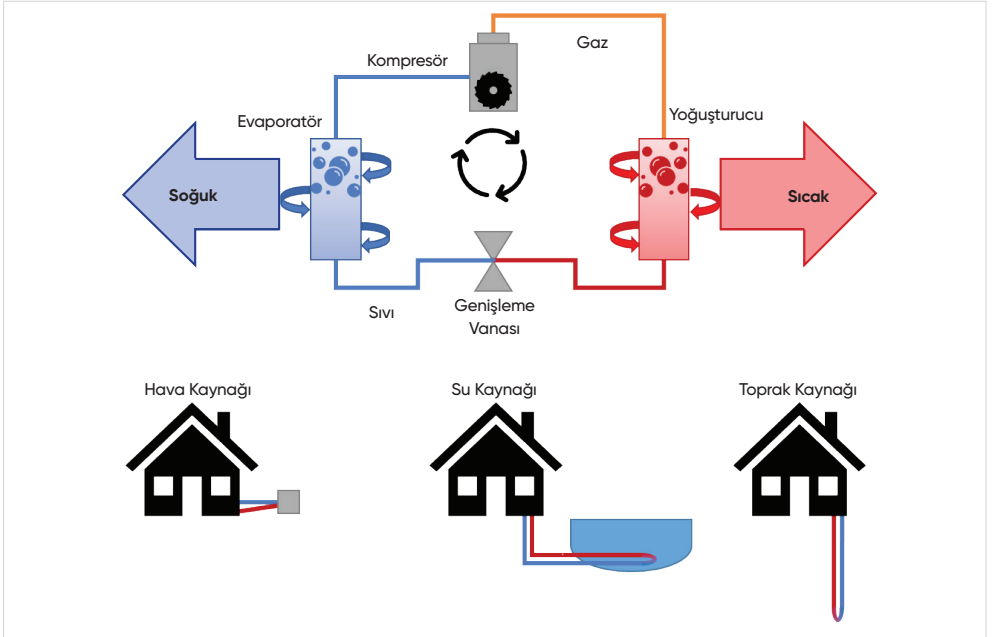
IICEC Senaryolarında, elektrikli araçlarda yüksek büyüme potansiyeli ve binaların enerji talebinde önemli verimlilik iyileşmeleri sunan ısı pompası sistemlerinde yayılım perspektifi detaylı olarak ele alınmıştır. 2030 yılından sonra karayolu ulaşımında elektrifikasyon trendi güçlenirken, 2035 yılı sonrasında fosil yakıtlı hafif araç satışlarının devreden çıkması sonucunda ulaşım sektörünün elektrik talebi içerisindeki payı 2050 yılına doğru %20'ye yaklaşmakta, ağır ticari araçlarda elektrifikasyon ve hidrojen fırsatları da ulaşım da fosil yakıt yoğunluğu yüksek yapıyı daha sürdürülebilir bir geleceğe taşımaktadır.

**Şekil 6.1. Yavaş Senaryoda Yüksek Senaryoya Göre Net Talepte Sektörel Farklar (2022-2050, TWh)**



Isı pompaları, binaların enerji taleplerinin karşılanmasında son dönemde önemi pekişen önemli bir verimli büyüme fırsatıdır (IEA, 2022). Isı pompaları bir birim elektrik enerjisi ile üç-dört birim kullanılabilir enerji çıktısı sağlayabilirken, pek çok ülke bu sistemlerin yaygınlaşmasını, kentleşme ve enerji stratejilerinin önemli bir bileşeni olarak konumlamaktadır. Önümüzdeki dönemde elektrik enerjisi maliyetlerinde öngörülebilirliğin güçlendirilmesinin, ısı pompası sistemlerinin maliyet performansına olumlu yansımaları beklenmektedir. Bu sistemlerin geniş kullanımı, Türkiye'nin enerji ithalat faturasında önemli kazanımları da beraberinde getirebilecektir (Şekil 6.2.)

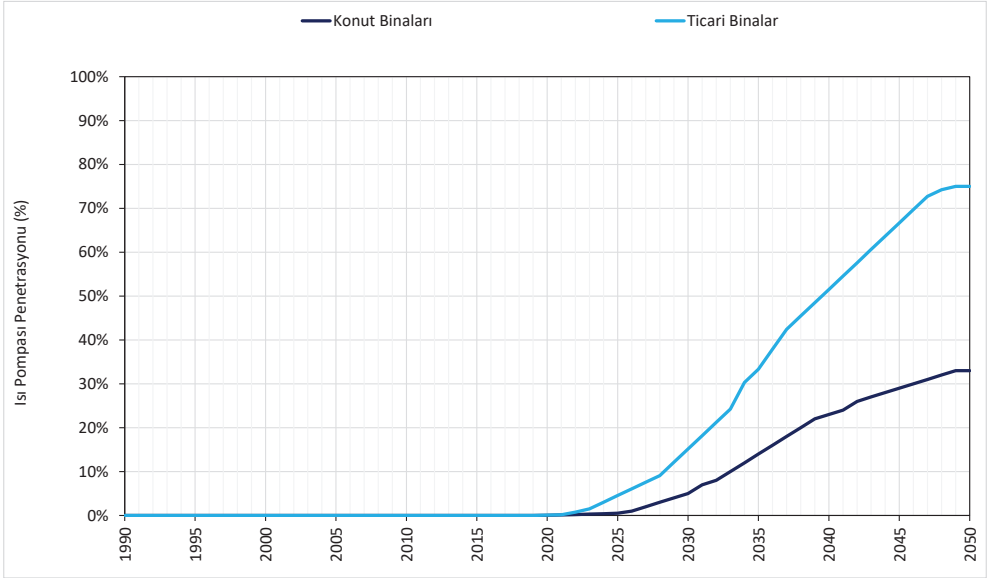
**Şekil 6.2. Isı Pompası Sistemine Genel Bakış**



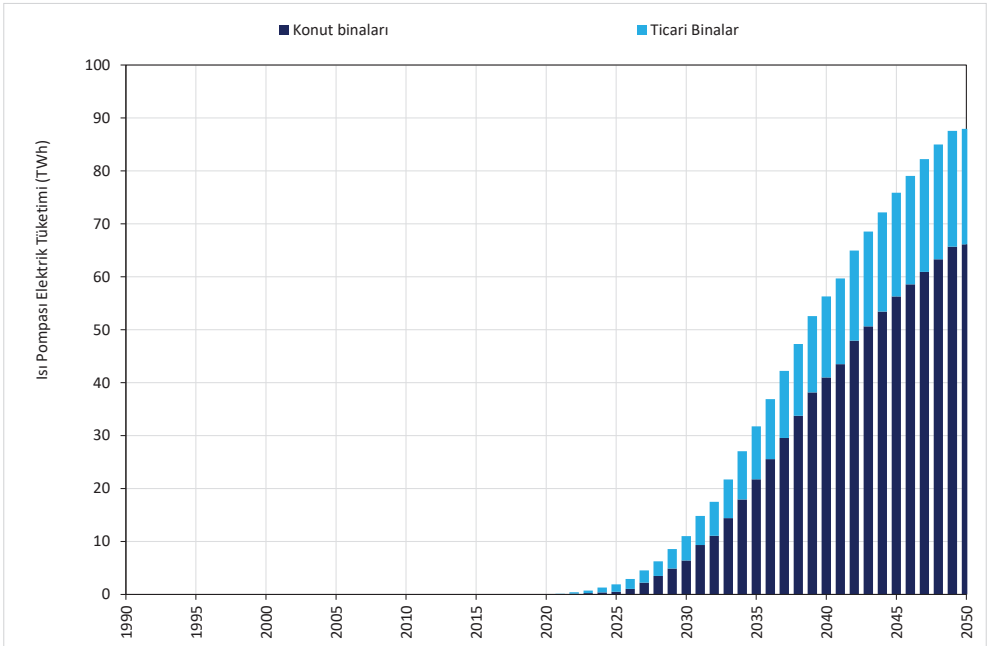
**Kaynak:** West Suffolk Council

IICEC Senaryolarında, 2050 yılına kadar olan dönemde konut binalarının yaklaşık üçte-biri, oteller, AVM'ler, hastaneler, ofis plazaları başta olmak üzere ticari binaların dörtte-üçü ısı pompaları kullanımına geçmektedir (Şekil 6.3). Özellikle 2030 yılından sonra kullanımda yaygınlaşma ile birlikte ısı pompaları kaynaklı elektrik talebinin 2035 yılı sonrasında 50 TWh'in üzerine, 2050 yılında ise 87 TWh'e ulaşacağı hesaplanmaktadır (Şekil 6.4). Bu gelişim, binalarda yalıtım performansında önerilen önemli iyileşmelere karşın binaların toplam elektrik tüketiminde önemli bir artışı beraberinde getirmektedir. 2050 yılına kadar olan dönemde ulaştırmadan sonra en hızlı elektrik talep büyümesi binalarda gerçekleşirken, sanayide elektrik motorlarında dönüşüm, dağıtık yenilenebilir üretim sistemlerinde yaygınlaşma ve yapısal dönüşüm gibi faktörlerin etkisiyle daha düşük bir büyüme hızı öngörülmektedir.

Şekil 6.3. Isı Pompalarının Binalarda Penetrasyonu (2022 – 2050, %)



Şekil 6.4. Isı Pompalarından Kaynaklı Elektrik Talebi Gelişimi (2022 – 2050, TWh)

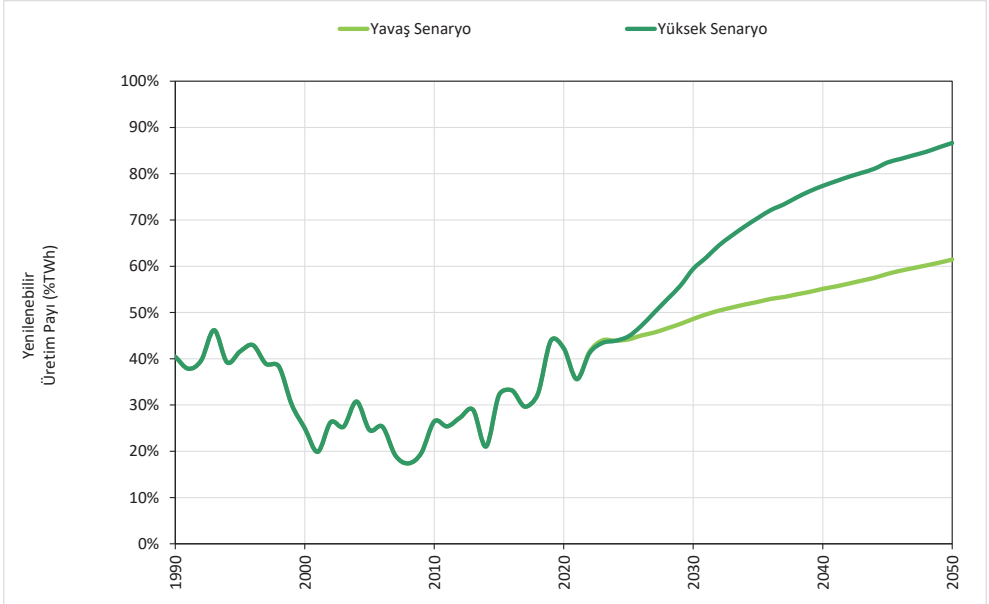


## 6.2. Elektrik Arzı Geleceği

Bölüm 5’de sunulduğu üzere, Yüksek Senaryoda yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç içerisindeki payı 2050 yılında %90’a ulaşmaktadır. 2050 yılında elektrik üretiminin %87’si ağırlıklı bölümü rüzgar ve güneşten gelmek üzere yenilenebilir enerjiden sağlanırken, bu gelişim emisyon performansına ve ithal fosil yakıt faturasına kritik kazanımlar sunmaktadır. Yenilenebilir enerjide yatırımlarının arzu edilen seviyede gerçekleşmediği ve şebekelerin rüzgar ve güneşte büyüme perspektifini yeterince desteklemediği Yavaş Senaryoda yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payı %60 civarında gerçekleşirken, elektrik üretiminden kaynaklı emisyonlarda ve ithalat faturasında bir düşüş sağlanamamaktadır (Şekil 6.5) (Detaylar için lütfen Bölüm 6. Bölüm 10 ve Bölüm 6.11’e bakınız.)

Yüksek Senaryodaki verimli gelişim perspektifi, elektrik sistemini üretim odaklı bir yapıdan, arz ve talebin bütüncül olarak planlandığı, daha yenilikçi ve teknoloji-odaklı bir sisteme doğru geliştirmektedir. Bu dönüşüm içerisinde şebekelere, enerji depolama sistemlerine ve elektrik talep hizmetlerine ilişkin ekipmanlarda verimlik iyileştirmelerine yatırım hacmi önemli oranda artmaktadır. Ayrıca, daha dağıtık ve modüler şebeke mimarileri, modüler üretim ve tüketim birimleri toplam kaynak verimliliği bakımından da yeni fırsat alanları oluşturmaktadır (Detaylar için lütfen Bölüm 6.5, Bölüm 6.8 ve Bölüm 6.9’a bakınız.)

**Şekil 6.5. Senaryolarda Yenilenebilir Elektrik Üretim Payının Gelişimi (1990 – 2050, %)**



**Tablo 6.1. Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Enerji Geleceği**

GW		Mutlak Değer			
	2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek
<b>Elektrik</b>					
Puant Talep	56,3	77,0	73,7	160,5	134,3
Kurulu Güç	99,8	146,2	155,1	296,3	294,1
Yenilenebilir	53,6	91,6	101,9	224,9	264,5
Hidro	31,5	35,6	36,1	41,5	42,0
Rüzgar	10,6	22,0	25,9	65,9	80,2
Güneş	7,8	28,4	32,2	105,7	128,9
Biyokütle	2,0	3,5	3,6	6,2	6,8
Jeotermal	1,7	2,1	4,1	5,6	6,6
Nükleer	-	4,8	4,8	18,3	12,4
Kömür	20,4	21,8	21,8	16,8	-
Doğal Gaz	25,6	28,0	26,5	36,4	17,2
Petrol	0,3	-	0,1	-	-
Yerli	63,7	101,7	112,0	230,0	264,5
İthal	36,1	44,4	43,0	66,3	29,6
Düşük Karbon	53,6	96,4	106,7	243,2	276,9
Fosil Yakıtlar	46,2	49,8	48,4	53,2	17,2
Güneş ve Rüzgar	18,4	50,4	58,1	171,6	209,1

TWh		Mutlak Değer			
	2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek
<b>Elektrik</b>					
Tüketim	331,7	451,7	432,5	878,1	747,6
Üretim	334,7	451,7	432,5	878,1	747,6
Yenilenebilir	1199	219,5	257,0	539,5	647,8
Hidro	55,9	76,1	77,2	68,3	70,7
Rüzgar	31,4	63,6	74,9	190,5	235,4
Güneş	13,9	52,2	62,1	217,3	268,4
Biyokütle	7,8	13,8	14,2	24,4	26,8
Jeotermal	10,8	13,8	28,7	38,9	46,5
Nükleer	-	33,6	33,6	128,2	86,9
Kömür	03,4	114,4	76,2	88,1	-
Doğal Gaz	111,2	84,1	65,4	122,2	12,9
Petrol	0,3	-	0,2	-	-
Yerli	168,3	272,8	292,5	566,5	647,8
İthal	166,4	178,8	139,9	311,5	99,8
Düşük Karbon	1199	253,2	290,7	667,7	734,7
Fosil Yakıtlar	214,8	198,5	141,8	210,3	12,9
Güneş ve Rüzgar	45,4	115,8	136,9	407,8	503,8

%		Pay			
	2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek
<b>Elektrik Kurulu Gücü</b>					
Yenilenebilir	54%	63%	66%	76%	90%
Hidro	32%	24%	23%	14%	14%
Rüzgar	11%	15%	17%	22%	27%
Güneş	8%	19%	21%	36%	44%
Biyokütle	2%	2%	2%	2%	2%
Jeotermal	2%	1%	3%	2%	2%
Nükleer	0%	3%	3%	6%	4%
Kömür	20%	15%	14%	6%	0%
Doğal Gaz	26%	19%	17%	12%	6%
Petrol	0%	0%	0%	0%	0%
Yerli	64%	70%	72%	78%	90%
İthal	36%	30%	28%	22%	10%
Düşük Karbon	54%	66%	69%	82%	94%
Fosil Yakıtlar	46%	34%	31%	18%	6%
Güneş ve Rüzgar	18%	34%	37%	58%	71%

%		Pay			
	2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek
<b>Elektrik Üretimi</b>					
Yenilenebilir	36%	49%	59%	61%	87%
Hidro	17%	17%	18%	8%	9%
Rüzgar	9%	14%	17%	22%	31%
Güneş	4%	12%	14%	25%	36%
Biyokütle	2%	3%	3%	3%	4%
Jeotermal	3%	3%	7%	4%	6%
Nükleer	0%	7%	8%	15%	12%
Kömür	31%	25%	18%	10%	0%
Doğal Gaz	33%	19%	15%	14%	2%
Petrol	0%	0%	0%	0%	0%
Yerli	50%	60%	68%	65%	87%
İthal	50%	40%	32%	35%	13%
Düşük Karbon	36%	56%	67%	76%	98%
Fosil Yakıtlar	64%	44%	33%	24%	2%
Güneş ve Rüzgar	14%	26%	32%	46%	67%

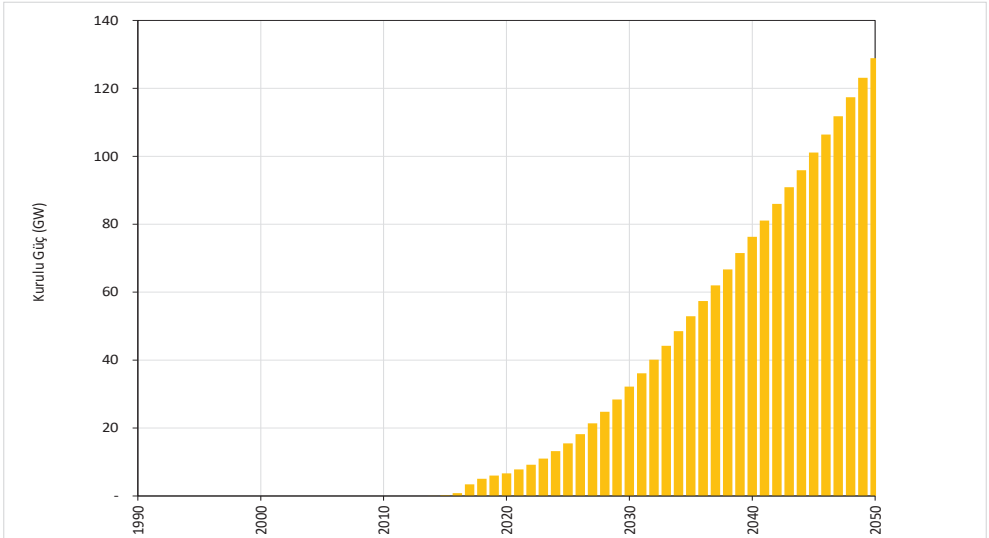


### 6.3. Güneşten Elektrik

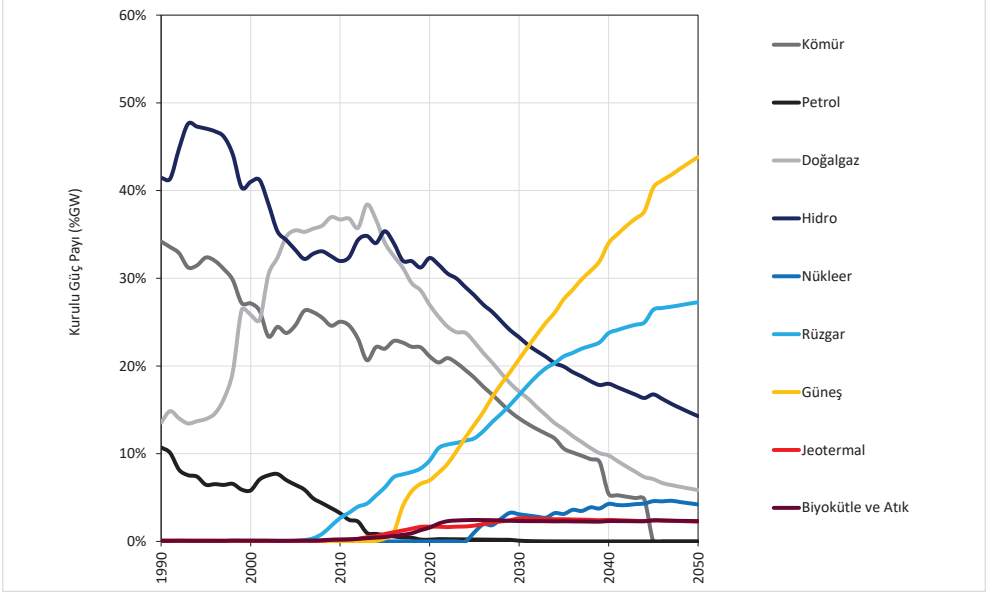
Türkiye elektrik sektöründe en hızlı büyüme güneş enerjisinde gerçekleşmektedir. Yüksek Senaryoda güneş kurulu gücü 2030 yılında 30 GW'ı aşarken 2040 yılında 80 GW'a yaklaşmakta, 2050 yılında ise 130 GW'ı aşmaktadır. Yüksek kaynak potansiyeli, teknolojik gelişim, düşük güçlerde ve çatılarda kurulabilme avantajı gibi faktörler, güneş enerjisinde yüksek büyüme fırsatlarını desteklemektedir. Böylelikle, güneş kurulu gücü 2030 yılından önce rüzgarı geçmekte, 2030 yılında toplam kurulu güç içerisinde %20 paya ulaşmakta, 2035 yılı öncesinde de kurulu güç içerisinde lider konuma ulaşmaktadır. 2040 yılında her üç birim kurulu gücün bir birimi güneş enerjisine dayalı olurken, 2050 yılında güneş enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki payı %40'ı aşmaktadır. (Şekil 6.6 ve Şekil 6.7).

Güneş enerjisi elektrik üretiminde de hızlı şekilde lider konumuna yükselmektedir. 2040 yılında 150 TWh'e ulaşan güneşten elektrik üretimi rüzgar enerjisi ile başabaş noktasına gelirken, 2050 yılında 250 TWh'i aşmaktadır (Şekil 6.8). Güneş ve rüzgarın toplam elektrik üretimindeki payı 2050 yılında üçte-ikiye ulaşmaktadır (Rüzgar elektrik üretiminin gelişimi için Bölüm 6.4'e bakınız). Çatılardaki güneş potansiyelinin önümüzdeki dönemde güneş kapasitesindeki gelişim içerisinde önemini koruması, sanayi tesislerindeki uygulamaların zaman içerisinde konut birimlerinde de yaygınlaşması yoluyla kapasitede önemli büyüme sağlanması beklenmektedir. IICEC'in nüfus projeksiyonlarını dikkate alan ve bina stokundaki gelişmeleri yansıtan analizlerine göre mevcut durumda 40 GW ve 68 TWh olarak hesaplanan potansiyelin 2050 yılında 80 GW ve teknolojiye bağlı olarak 145 TWh seviyesine çıkabileceği beklenmektedir. Bu potansiyelin sadece yarısının gerçekleştiği durumda, 2050 yılında toplam güneş kapasitesinin %25-30'u çatılarda kurulmuş olabilecektir (Şekil 6.9)

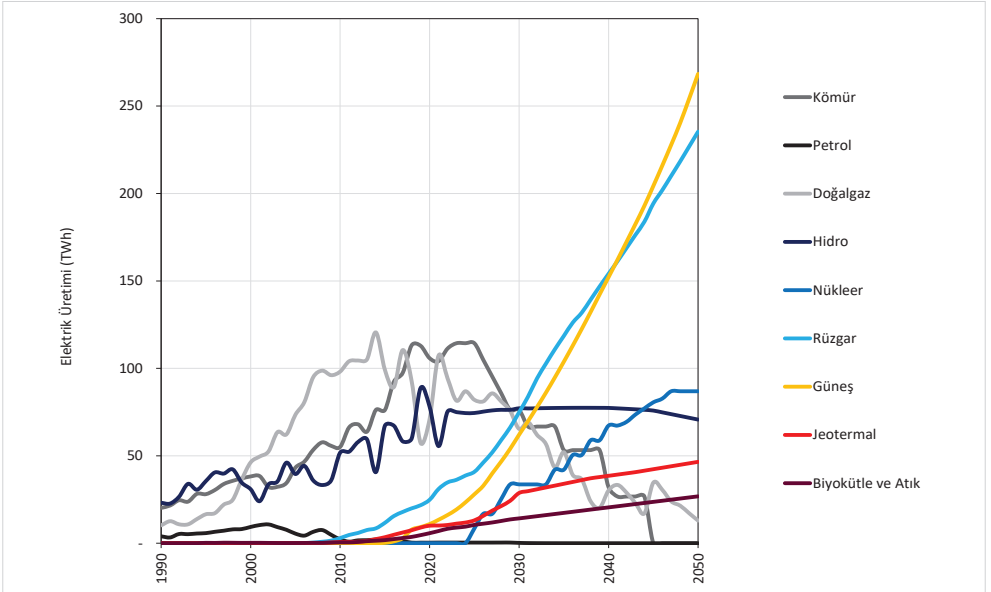
**Şekil 6.6. Yüksek Senaryoda Güneş Kurulu Gücü Gelişimi (1990 – 2050, GW)**



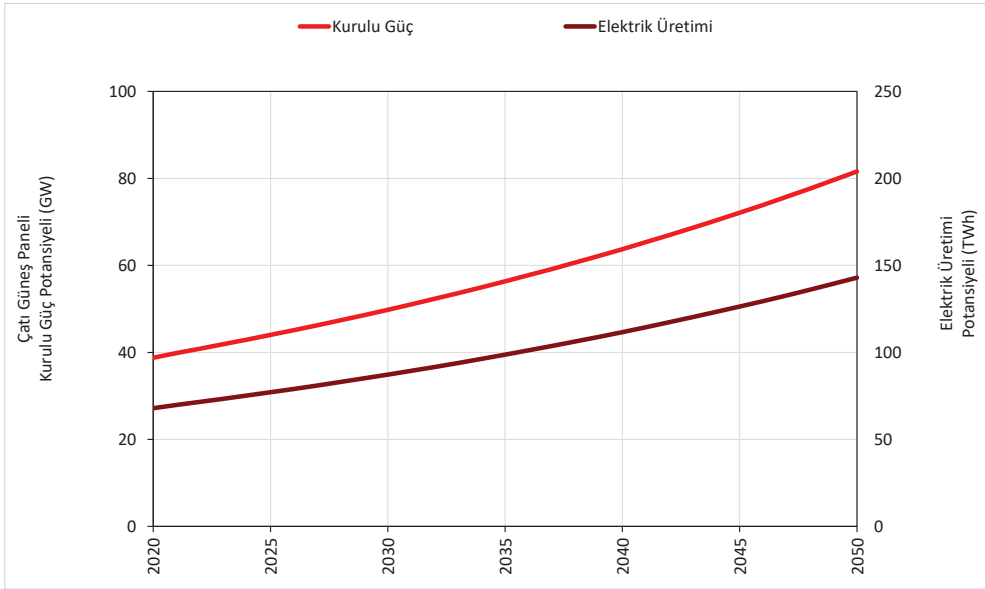
**Şekil 6.7. Yüksek Senaryoda Kaynaklara Göre Kurulu Güç Gelişimi (1990 – 2050, %)**



**Şekil 6.8. Yüksek Senaryoda Kaynaklara Göre Elektrik Üretimi Gelişimi (1990 – 2050, TWh)**



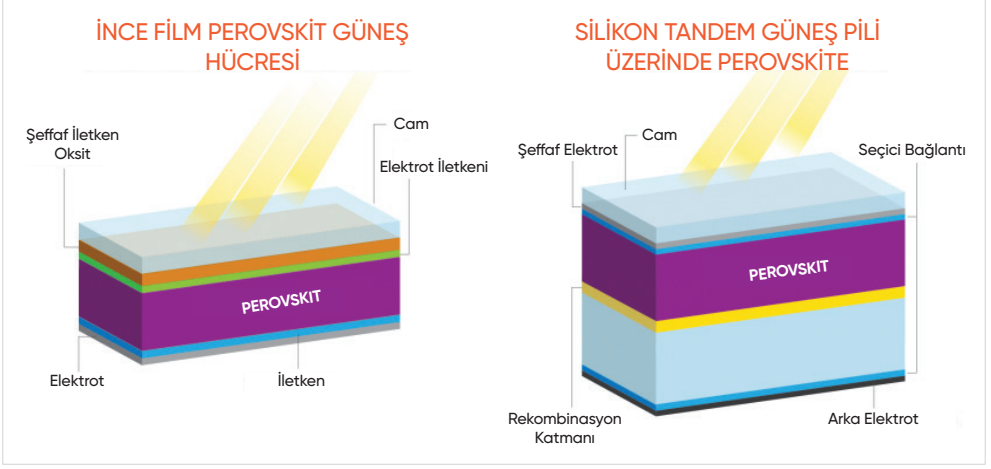
**Şekil 6.9. Çatı Güneş PV Kapasite ve Elektrik Üretimi Gelişimi (2020- 2050, GW, TWh)**



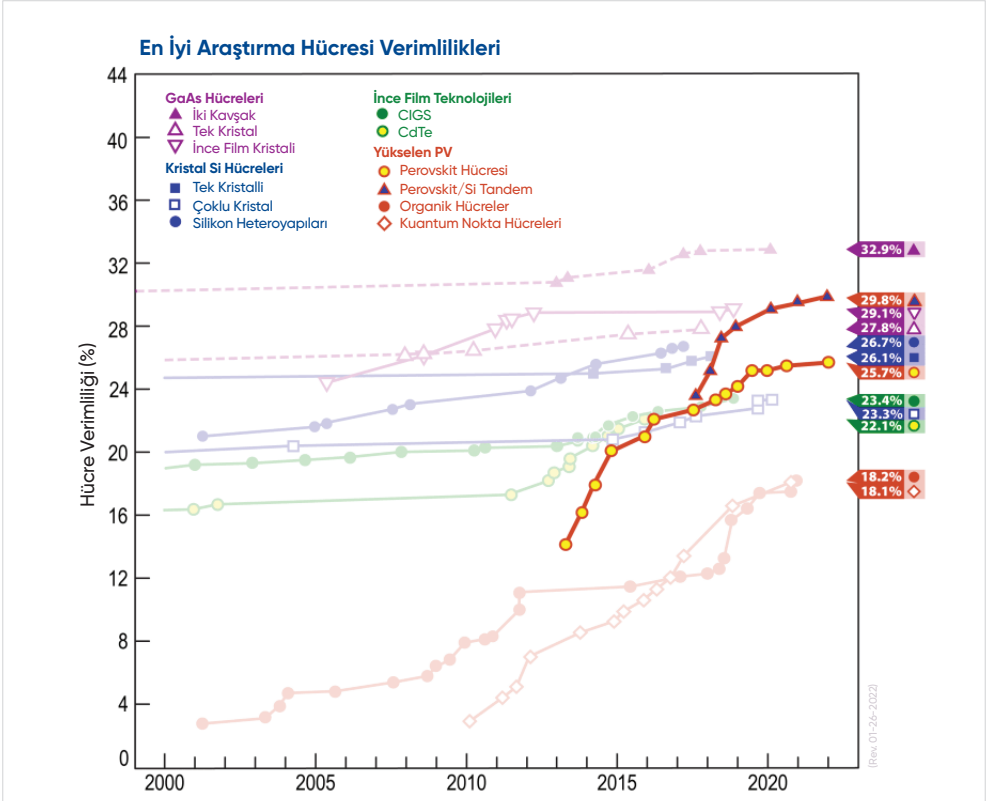
Güneş enerjisi teknolojilerinde gelişim devam etmektedir. Bu kapsamda verimlilik ve kullanım sürelerinde artışlara, kritik mineral bazlarında çeşitlendirmeye ve maliyet düşüşlerine odaklı çalışmalar sürerken güneş endüstrisinin elektrik sektörlerinde yaratmakta olduğu değer, inovasyon ve Ar-Ge kazanımlarını desteklemektedir.

Son dönemde öne çıkan enerji teknoloji başlıklarından birisi, perovskite güneş enerjisi hücrelerinde performans geliştirmeleridir. Bu teknolojilerde laboratuvar ortamında verimlilikler %25'e ulaşırken, %30'ün üzerinde verim performansını göstermiş olan teknolojilerde de gelişim sürmektedir (Şekil 6.10 ve Şekil 6.11). Performans kazanımlarının, birim alandan elde edilebilecek enerjiyi artırarak önümüzdeki dönemde büyümeyi güçlendirmesi, tüketici maliyetlerini de düşürerek güneş elektriğinin rekabetçiliğini pekiştirmeye devam etmesi beklenmektedir.

Şekil 6.10. Perovskite Güneş Hücresine Bakış



Şekil 6.11. Güneş Enerjisi Hücre Teknolojilerinde Verimlilik Gelişmeleri (2000 – 2022)



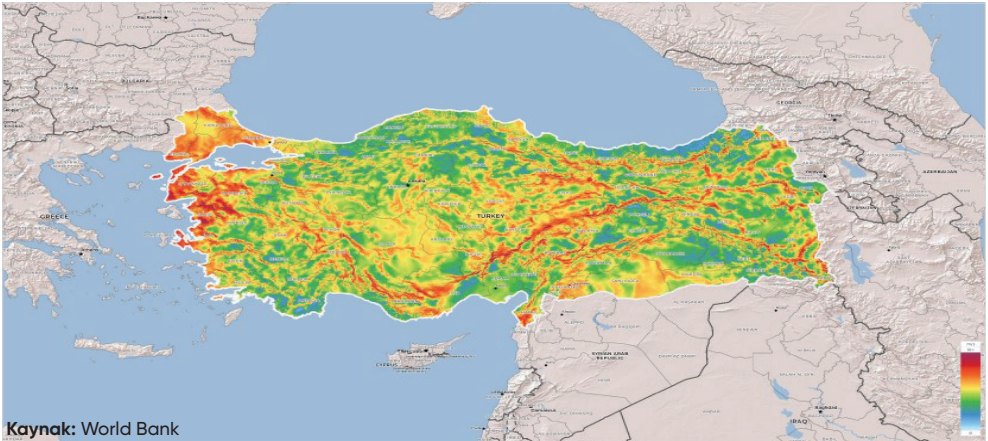
Kaynak: US DOE

## 6.4. Rüzgardan Elektrik

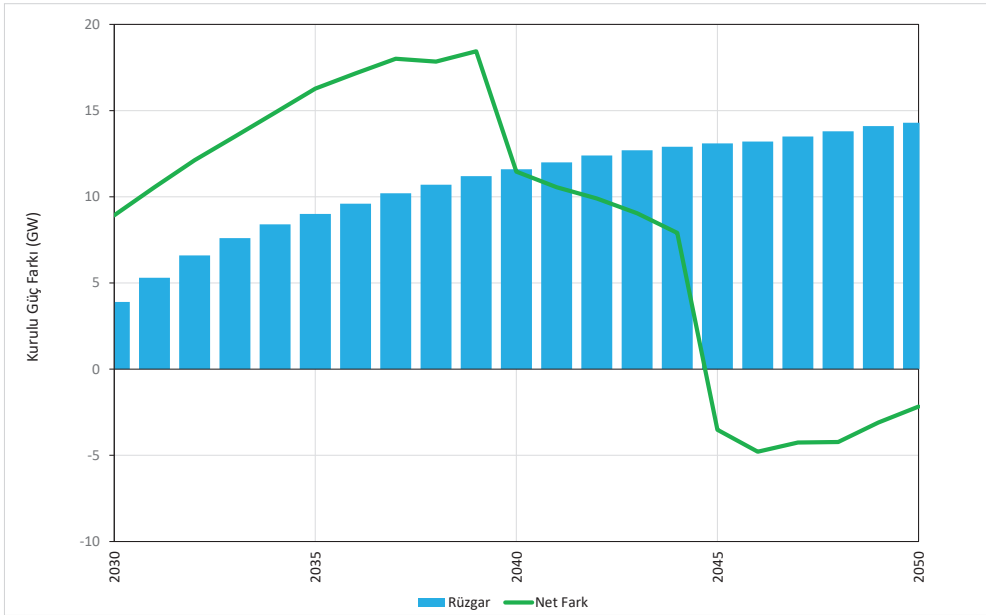
Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından da önümüzdeki dönemde önemli büyüme fırsatları sunmaktadır. En son yapılan analizlere göre karasal rüzgar potansiyeli 100 GW mertebesinde hesaplanmakta, henüz yeterince araştırılmamış olan ve teknolojik gelişimin sürdüğü deniz üstü de eklendiğinde toplam potansiyelin 150 GW'ın üzerinde olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 6.12). 2022 Kasım ayı itibarıyla Türkiye henüz bu potansiyelin yaklaşık on ikide-birini işletmeye geçirebilmiş durumdadır. Son yıllarda bazı dönemlerde yıllık 2 GW'a ulaşabilen aylık kurulumlar gerçekleştirilmiş olmakla birlikte, sektörün önümüzdeki dönemde en az 3 GW net büyüme sağlama potansiyeli bulunmaktadır. Yüksek Senaryoda rüzgar kurulu gücü 2030 yılında 30 GW'a yaklaşırken, 2050 yılında günümüze göre yedi kat artışla 85 GW'a ulaşmaktadır (Yıllık ortalama 2,6 GW artış). IİCEC analizlerine göre, hidrojen üretimi için değerlendirilebilecek potansiyel ile birlikte toplam kurulumun 2050 yılına kadar olan dönemde 100 GW'ı aşması beklenmektedir (Detaylar için lütfen Bölüm 7'ye bakınız.)

Yüksek Senaryoda rüzgar kurulu gücünde büyüme Yavaş Senaryonun yaklaşık 15 GW (%20) daha üzerindedir. Yüksek Senaryo, Yavaş Senaryo ile karşılaştırıldığında 2050 yılında 40 TWh'in üzerinde ek rüzgar elektrik üretimi fırsatı sağlayabilmektedir (Bölüm 6.1'de sunulduğu üzere 2050 yılında ısı pompası kaynaklı elektrik talebinin yaklaşık yarısı.). Yüksek Senaryodaki güçlü büyüme, deniz üstü potansiyelini daha erken ve daha yüksek oranda değerlendirmeyi hedeflerken, mevcut sahalarda ekonomik ömrünü dolduran türbinlerin mevcut teknolojiler ışığında çok daha yüksek verimli sistemler ile değiştirilmesi yoluyla birim alandan azami rüzgar elektriği çıktısı alabilme imkanlarını da geliştirmektedir. Özellikle yüzer deniz üstü sistemlerde ticarileşmenin artmasının, Türkiye rüzgar portföyüne ve rüzgar endüstrisinin teknoloji-odaklı, güçlü gelişimine yeni yetkinlikler eklemesi öngörülmektedir. Bu çerçevede sektöre örnek oluşturacak model niteliğinde öncü yatırımların en etkin şekilde hayata geçirilmesine yönelik iş birliklerinde de yarar görülmektedir (Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15 ve Şekil 6.16).

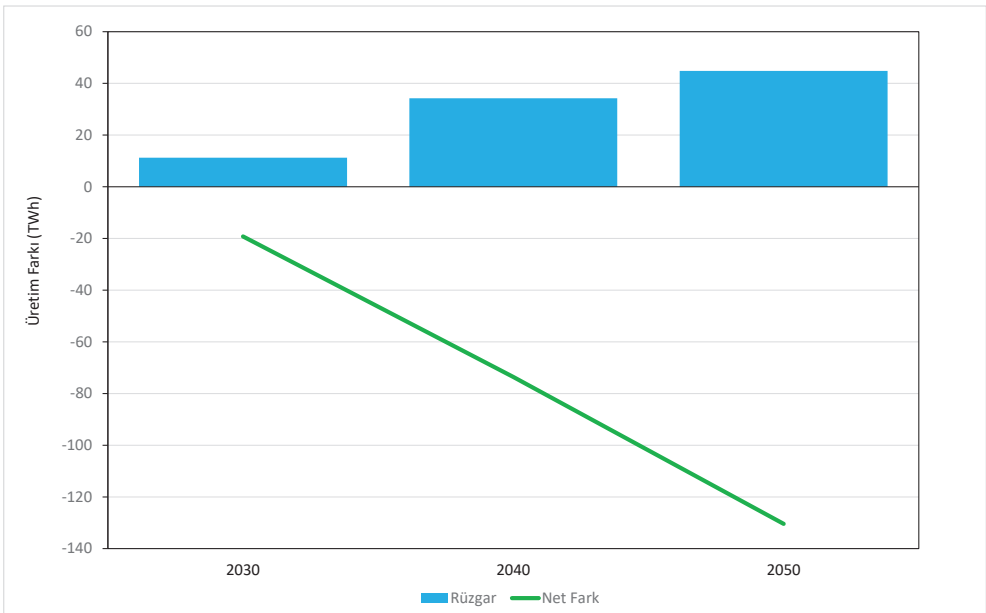
Şekil 6.12. Türkiye Karasal Rüzgar Potansiyeli



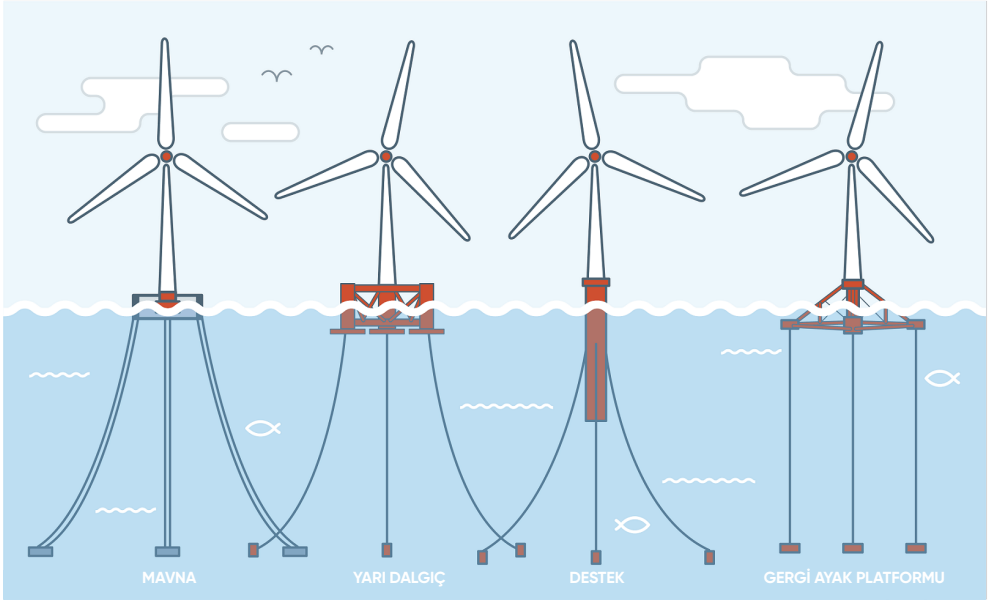
**Şekil 6.13. Yüksek Senaryoda Yavaş Senaryoya Göre Rüzgar Kurulu Gücü ve Toplam Kurulu Güç Farkları Gelişimi (2030 – 2050, GW)**



**Şekil 6.14. Yüksek Senaryoda Yavaş Senaryoya Rüzgar Elektrik Üretimi ve Toplam Elektrik Üretimi Farkları Gelişimi (2030 – 2050, TWh)**

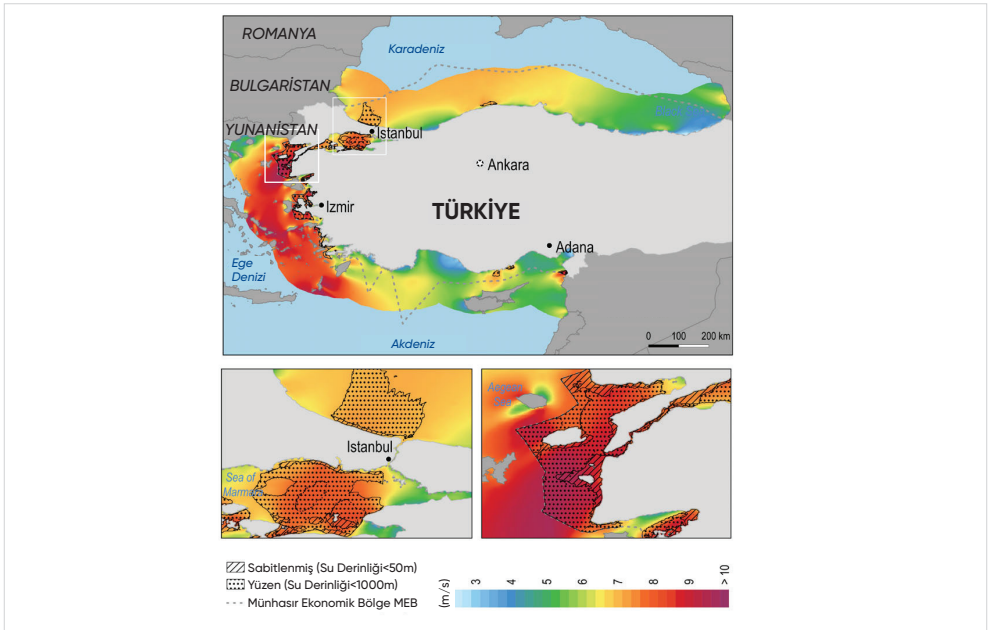


Şekil 6.15. Deniz Üstü Rüzgar Sistemine Genel Bakış



Kaynak: COWI

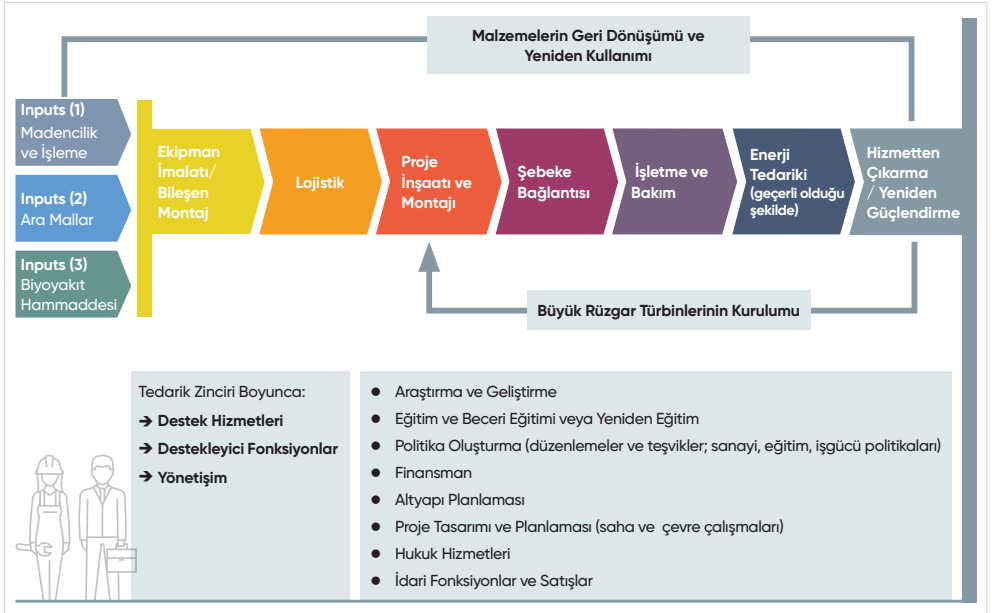
Şekil 6.16. Deniz Üstü Rüzgar Potansiyeli



Kaynak: World Bank

Rüzgar elektrik üretim sistemleri, çok sayıda bileşenden oluşmaktadır. Kritik minerallerinden yönetiminden lojistiğe, santral işletmeciliğinde teknik performanstan farklı bakım modellerine ve işletmeden çıkarma aşamalarına uzanan oldukça geniş bir ekosistem içerisinde, sürdürülebilir tedarik zincirlerinin önemi artmaktadır. Özellikle son dönemde Avrupa piyasalarında yaşanan gelişmeler ile birlikte, Türkiye iç pazarında büyümenin güçlenmesine yönelik beklentiler ve sanayide kazanılan yetkinliklerin korunarak daha üst seviyelere taşınmasına ilişkin çabalar, Türkiye'nin enerji ve sanayi politikalarında ihracat odaklı yeni fırsatlara zemin oluşturmaktadır. Bu çerçevede iki kritik alanda önemli fırsat görülmektedir : İmalat sanayi ve diğer paydaşlar arasında kümelenme ve özel bölgeler gibi oluşumlar yoluyla yeni değer önermeleri oluşturulması ve sanayi ile üniversiteler arasında iş birliklerinde iyi örneklerin, rüzgar kapasitelerinde ve ekipman üretiminde büyümeyi daha fazla destekleyecek şekilde yaygınlaşması (Gelişim alanlarına ilişkin değerlendirmeler için lütfen Bölüm 8'e bakınız.)

**Şekil 6.17. Rüzgar Türbini Tedariki Değer Zincirine Bakış**



**Kaynak:** IRENA

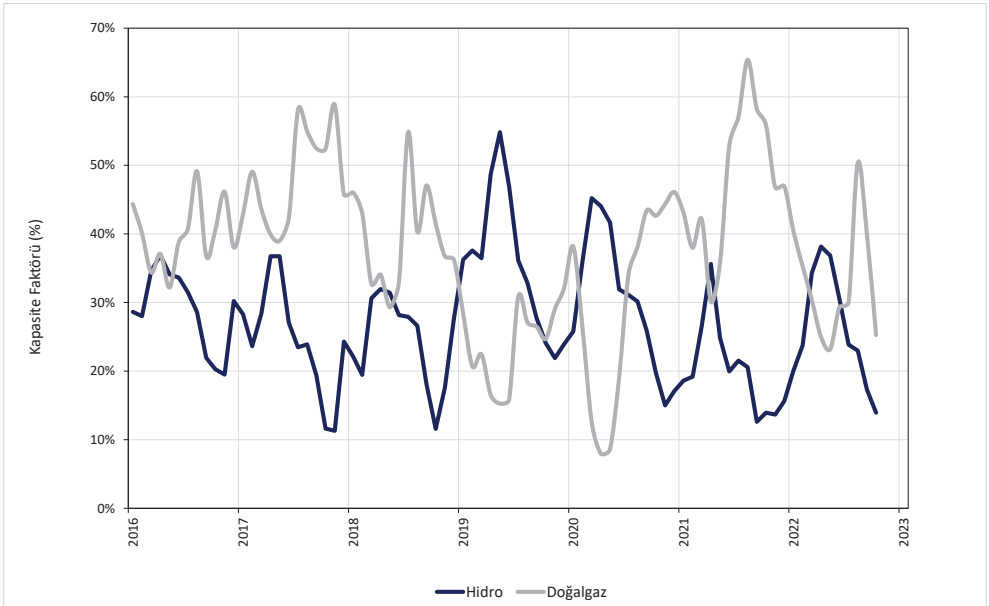


## 6.5. Hidroelektrik

Türkiye çok uzun süredir hidroelektrik enerjisinden yaygın şekilde faydalanmaktadır. Bölüm 5'te sunulduğu üzere gerek hidroelektrik kurulu güç, gerekse hidroelektrik kaynaklara dayalı üretim bakımından dünyada ilk 10 sırada yer alan Türkiye, ekonomik potansiyelinin de anlamlı bir bölümünü değerlendirebilmiş durumdadır. Artan elektrik enerjisi talebi ve diğer kaynaklarda büyüme ile birlikte hidroelektriğin elektrik üretiminde 1990 yılında %40 olan payı son dönemde %20-25 bandında gerçekleşmektedir. 2022 yılında hidroelektrik üretimi toplam yenilenebilir elektrik üretiminin yarısından fazlasını karşılayarak Türkiye elektrik üretiminde payının %25 olarak gerçekleşmesi beklenmektedir.

Yağış rejimlerindeki değişimler, hidroelektrik kapasite faktörlerinde önemli dönemsel değişimleri de beraberinde getirmektedir. Yağışların kuvvetli seyrettiği dönemlerde yüksek hidroelektrik katkısı, Türkiye'nin doğal gaz ithalatını azaltıcı yönde önemli işlev görürken arz güvenliğini güçlendirmektedir. Diğer taraftan, kurak yıllarda hidroelektrik kapasite faktörleri %20'ni altına kadar düşerken, sınırlı hidroelektrik katkısı ithal fosil yakıtların kullanımını artırmaktadır (Şekil 6.18). Ayrıca, rezervuarlı santraller Türkiye'de toplam hidroelektrik kapasitesinin ağırlıklı kısmını oluştururken arz ve talep dinamiklerinde dengelemeye de önemli katkı sağlayarak arz esnekliğini güçlendirmektedir. Önümüzdeki dönemde iklim değişikliği kaynaklı aşırı hava olaylarında artışların, hidroelektrik üretiminde dönemsel dalgalanmaların frekansını artırabileceği düşünülmektedir. Bu dinamiklerin genel elektrik planlaması çalışmalarında daha fazla öne çıkması beklenmektedir.

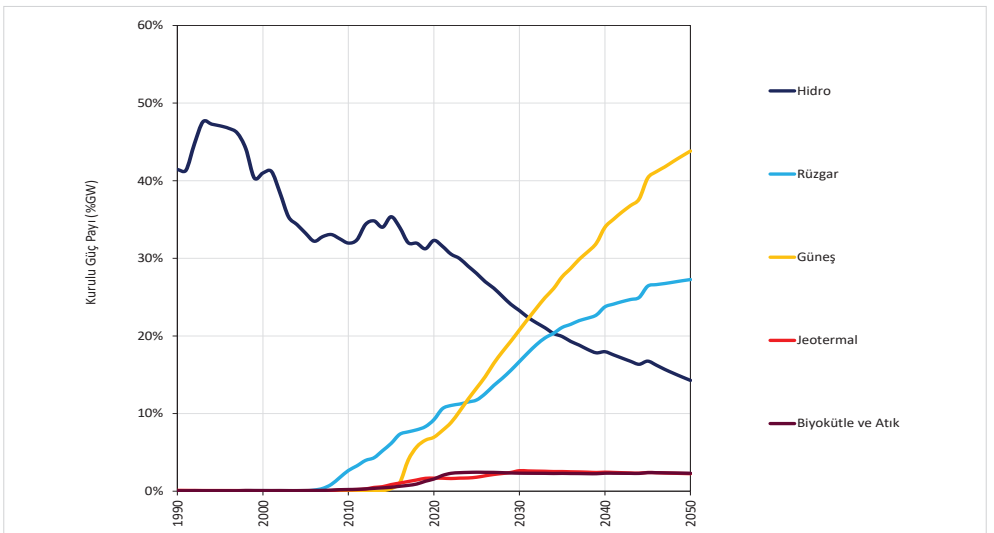
Şekil 6.18. Hidroloji ve Kapasite Faktörlerine Etkisi (2016 – 2022, %)



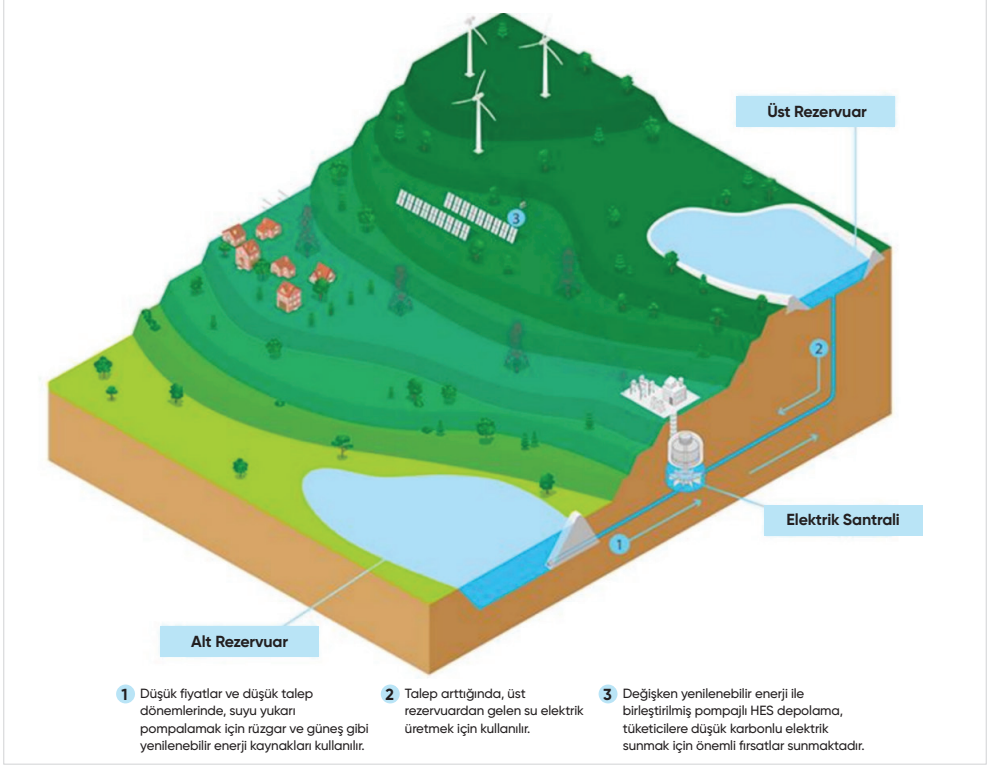
Hidroelektrik potansiyelinde değerlendirilme oranları çerçevesinde, IICEC senaryolarında hidroelektrik kapasitede büyüme hızı, rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları kadar güçlü seyretmemektedir. Bununla birlikte Yüksek Senaryoda 2030 yılına kadar olan dönemde hidroelektrik Türkiye kurulu gücü içerisinde lider konumunu sürdürmektedir (2030 yılında toplam kurulu gücün beşte-birinden fazlası). Hidroelektrik kaynakların kurulu güçteki payı 2030 yılına doğru %20'nin altına, 2050 yılında da %15'e düşmektedir (Şekil 6.19). Hidrolojide beklenen azalma, kapasite faktörlerinde daha düşük gerçekleştirmeleri yansıtmaktadır. 2050 yılında yenilenebilir elektrik kurulu gücünün %16'sı, üretiminin ise %11'i hidroelektrikten karşılanmaktadır (2050 yılında 71 TWh).

Hidroelektrik kapasite gelişiminde Türkiye için önem taşıyan bir alan, enerji depolama amaçlı pompaj depolamalı tesislerin kurulumlarıdır. Henüz faaliyete geçmiş herhangi bir tesis bulunmamakla birlikte uzun zamandır Türkiye'nin gündeminde olan bu sistemlerin yakın gelecekte, uygun yatırım modelleriyle elektrik sistemine kazandırılabilmesi beklenmektedir. Özellikle dönemsel depolama yetkinlikleri bakımından batarya depolama sistemlerine göre farklı imkanlar sunan bu teknolojinin, Türkiye'nin enerji depolama envanterindeki gelişimin önemli bileşenlerinden birisi olması beklenmektedir (Sabancı Üniversitesi IICEC, 2020) (Şekil 6.20 ve Şekil 6.21). IICEC, enerji depolama teknolojileri portföyünün gelişiminde, termal depolama sistemleri de yeni bir çözüm olarak önermektedir. Mevcut fosil yakıtı santrallerin devreden çıkarılmaları durumunda sistemlerde çok büyük değişiklik yapılmaksızın depolama birimlerine dönüştürülme olanakları gelişebilecektir. Bu dönüşüm, temiz enerji hedeflerini desteklerken, sistemin esnekliğini güçlendirecek ve adil dönüşüm perspektifinden de yeni açılımlara zemin oluşturabilecektir (Şekil 6.20, Şekil 6.21 ve Şekil 6.22).

**Şekil 6.19. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Toplam Kurulu Güçte Paylarının Gelişimi (1990 – 2050, %)**



Şekil 6.20. Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Sistemlerine Genel Bakış

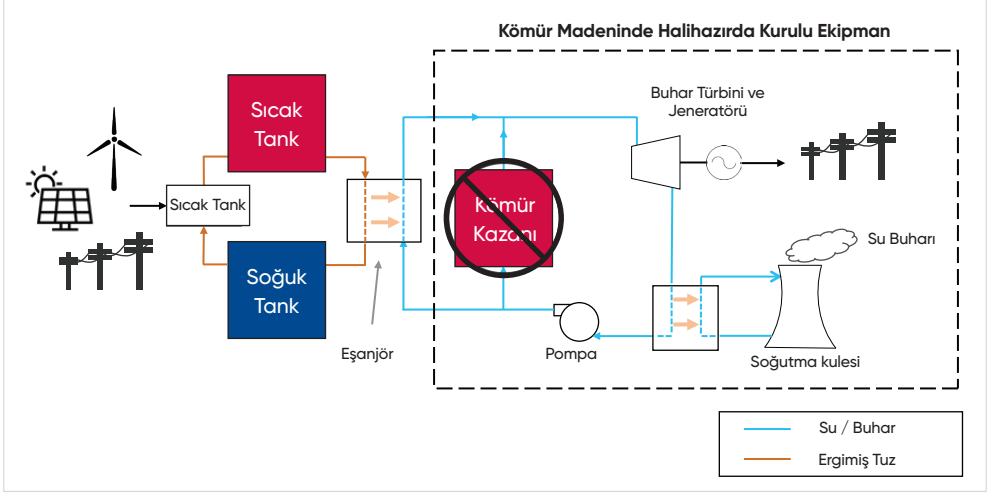


Kaynak: IHA

Şekil 6.21. Dengeleme ve Esneklik Kabiliyetlerinin Genel Karşılaştırması

	Batarya Depolama	Pompaj Depolamalı Hidro	Esnek Doğal Gaz Santralleri
Konum Bağımlılığı	●	○	●
Şebekeden Elektrik İhtiyacı	○	○	●
Birim Yatırım Maliyeti	◐	◐	◐
İnşaat Süresi	●	○	◐
Ölçeklenebilirlik	●	○	◐

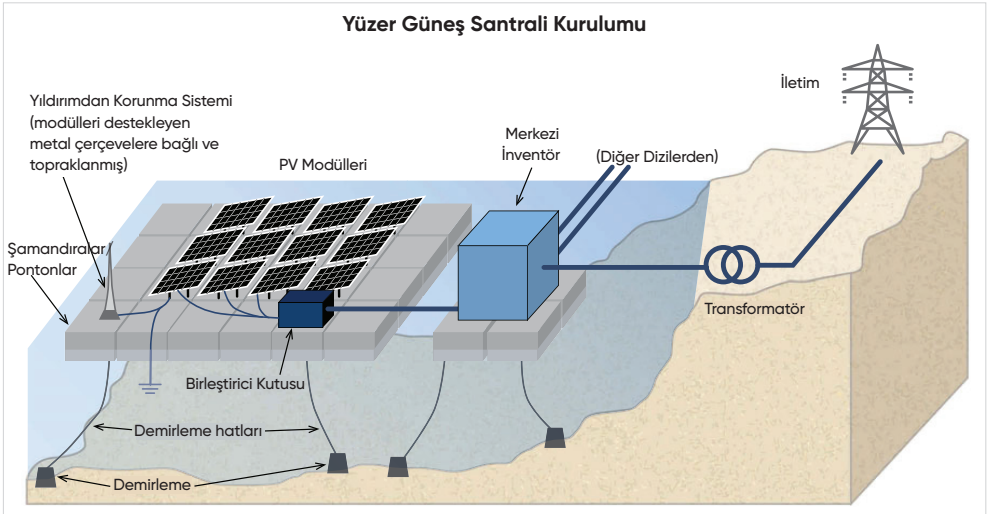
## Şekil 6.22. Termik Santrallerin Termal Depolama Sistemlerine Dönüşümü



Kaynak: MİTeİ, 2022

Türkiye'nin mevcut hidroelektrik kapasitesi, yüzer güneş santrali çözümleri için de hibrit üretime yönelik fırsatlar sunmaktadır. Pek çok ülkede yaygın olarak kullanılmaya başlayan bu teknolojinin, uygun santrallerde yaygınlaşması yoluyla yenilenebilir enerji kapasitesinde hızlı artışları desteklemesi beklenmektedir (Şekil 6.23).

## Şekil 6.23. Yüzer Güneş Enerjisi Sistemlerine Bakış



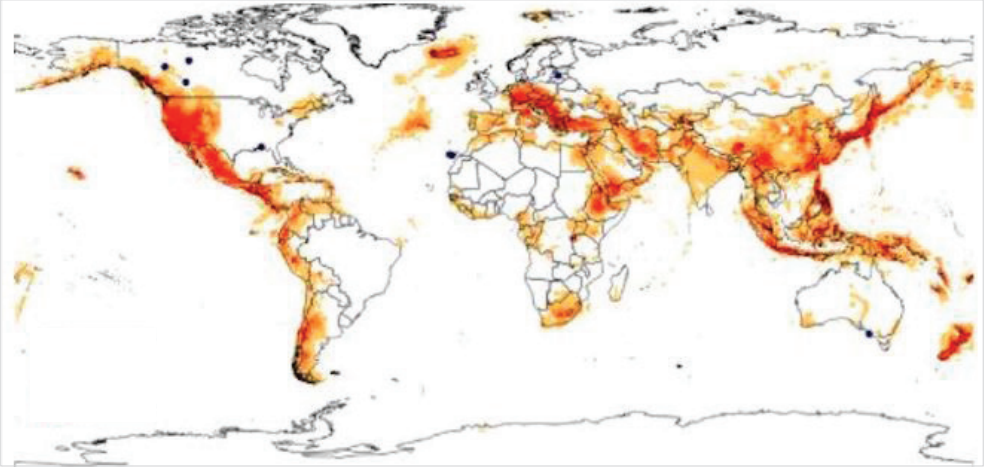
Kaynak: TERİ

## 6.6. Jeotermal Elektrik

Türkiye jeotermal enerji bakımından dünyanın en zengin potansiyele sahip bölgeleri arasındadır (Şekil 6.24). Bölüm 7'de sunulduğu üzere elektrik üretiminin yanı sıra nihai enerji tüketiminin önemli bir bölümünü de jeotermalden karşılama fırsatlarına sahip olan Türkiye'de jeotermal kurulu gücü 1,7 GW seviyesine ulaşmıştır. YEKDEM çerçevesinde sunulan öngörülebilir yatırım modeli jeotermal enerji yatırımlarında hızlı büyümeyi desteklemiştir. YEKDEM mekanizmasında yapılan değişiklikler sonrasında yatırımlarda belirgin bir yavaşlama gözlenmektedir.

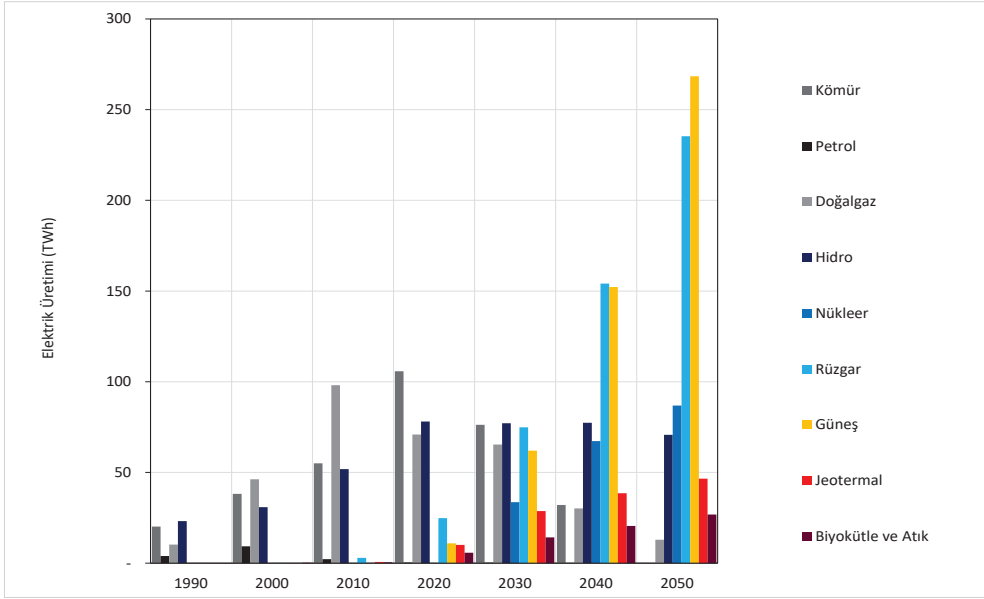
Yüksek potansiyel ile karşılaştırıldığında çok yetersiz bir seviyeye gelen proje stoku, bu alanda yeni yaklaşımları olan ihtiyacı pekiştirmektedir. Yatırımlarda öngörülebilirliği artıracak finansman modellerini öne çıkaran IICEC Yüksek Senaryosunda jeotermal kurulu gücü 2050 yılına kadar 6,6 GW'a ulaşmaktadır (Yavaş Senaryoda 5,6 GW). Bu değer toplam kurulu gücün %2'sine karşılık gelmektedir. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında daha yüksek kapasite faktörlerine sahip olan jeotermal elektrik üretim seçenekleri böylelikle elektrik üretiminde jeotermal katkısını 2050 yılında %6'ya çıkarmaktadır. 2050 yılında toplam yenilenebilir elektrik üretiminin yaklaşık %8'i jeotermalden sağlanmaktadır (Şekil 6.25).

**Şekil 6.24. Dünyada Jeotermal Potansiyel Bakımından Öne Çıkan Bölgeler**



**Kaynak:** Think Geoenergy

**Şekil 6.25. Yüksek Senaryoda Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Enerji Ağırlıklı Büyüme (1990 – 2050, TWh)**



## 6.7. Biyokütle ve Atıktan Elektrik

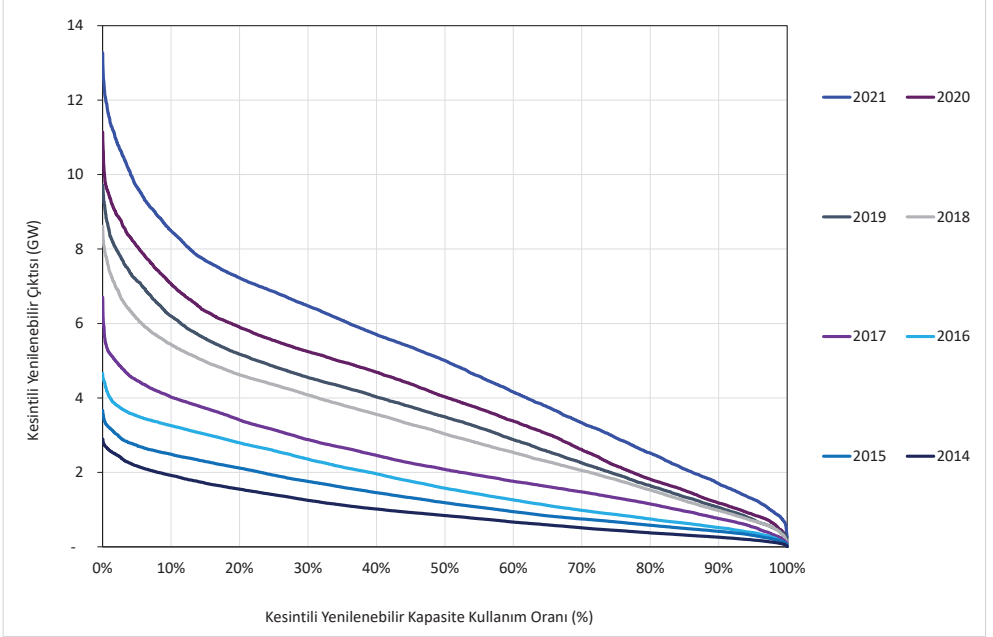
2022 itibariyle biyokütle ve atık enerjisine dayalı tesislerin kurulu gücü 1.8 GW'ı aşmıştır. Önümüzdeki dönemde yakıt girdisinde sürdürülebilir gelişim fırsatlarının sağlanması yoluyla bu kapasitede önemli bir artış gerçekleştirilebilir. Yüksek Senaryoda biyokütle ve atık enerjisine dayalı kurulu güç 2030 yılına kadar iki kat artmakta, 2050 yılında ise 7 GW'a yaklaşmaktadır.

## 6.8. Şebekeler ve Elektrik Sistemi Perspektifi

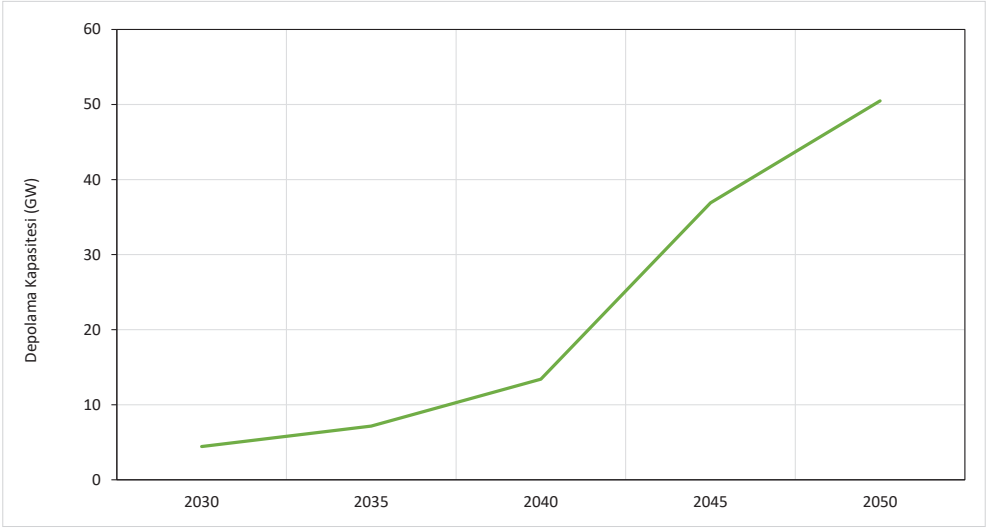
Geleceğin daha fazla yenilenebilir enerjiye dayalı, elektrifikasyonu artan, dağıtık ve dijital enerji sistemlerinin omurgasını elektrik şebekeleri oluşturacaktır. Bu çalışma ile sunulan verimli ve yenilenebilir enerji odaklı büyüme perspektifi, iletim ve dağıtım şebekelerinin bir taraftan üretim ve talep tarafında yeni bağlantıları ve arz güvenliği ve kalitesinde iyileşmeleri sağlarken diğer taraftan da geleceğin sistemlerine yönelik planlamalar ile sağlanabilecektir. Özellikle rüzgar ve güneş kapasitelerindeki güçlü büyüme, kesintili üretimi elektrik sisteminin en temel unsurlarından birisi durumuna getirecektir (Şekil 6.26). Talep yönetiminde etkin mekanizmaların işleyişini, mevcut esneklik seçeneklerinden daha fazla faydalanmayı, özellikle batarya depolama sistemlerinde ve destekleyici diğer depolama çözümlerinde ticari uygulama fırsatlarında artışı gerektiren bu kritik dönüşüm, şebekelerde sürdürülebilir yatırım zemininin güçlendirilmesi ile sağlanabilecektir.

Yüksek Senaryoda ve Yavaş Senaryoda 2050 yılına kadar olan dönemde sistemin arz güvenliği ve esnekliği için gerekli olabilecek depolama kapasiteleri benzer düzeyde gerçekleşmektedir. Rüzgar ve güneş kurulu gücünün 2050 yılında Yavaş Senaryonun %22 üzerinde olduğu Yüksek Senaryoda depolama kapasitesinin Yavaş Senaryo ile çok yakın seviyede beklenmektedir (Yaklaşık 50 GW). Toplam kesintili kurulu gücün yaklaşık dörtte-birine karşılık gelen bu büyüklüğün, özellikle 2030 yılı sonrası dönemde batarya depolama, pompaj depolamalı hidroelektrik, termal depolama ve hidrojen depolama çözümlerinden oluşan bir portföy ile yönetilmesi öngörülmektedir (Şekil 6.27 ve Şekil 6.28). Teknolojilerde maliyet düşüşleri kurulumları hızlandırabilecek bir faktör olmakla birlikte, bu teknolojilere yatırım çekebilecek finansman modellerinin de hızla uygulamaya geçirilebilmesi önemli olacaktır.

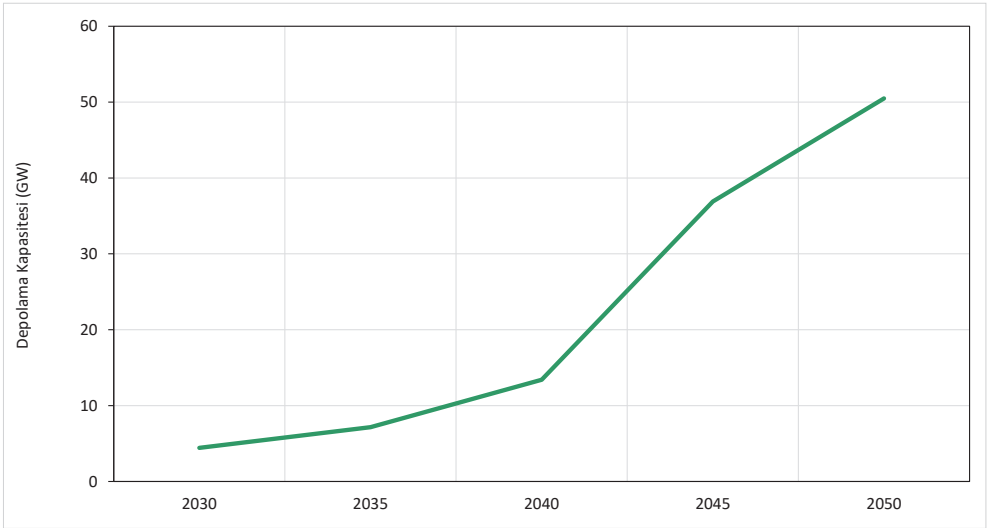
**Şekil 6.26. Rüzgar ve Güneş Elektrik Üretiminde Kesintili Karakteristik (2014 – 2021, GW, %)**



**Şekil 6.27. Yavaş Senaryoda Enerji Depolama Kapasitesi Gelişimi (2030 – 2050, GW)**



**Şekil 6.28 Yüksek Senaryoda Enerji Depolama Kapasitesi Gelişimi (2030 – 2050, GW)**





Türkiye elektrik sisteminin önümüzdeki dönemde büyümesi bakımından kritik bir diğer başlığı da bölge ülkeleri ile enterkoneksiyon kapasitelerinin geliştirilmesi oluşturmaktadır. Özellikle ENTSO-E sistemi ile Avrupa piyasaları olan elektrik ticaretinin artması, kesintili yenilenebilir enerji üretiminden kaynaklı arz ve talep dengesizliklerinin yönetimi için yeni bir fırsat yaratabilecektir (Şekil 6.29). Elektrik dış ticaretinde artışlar, elektrik portföylerinde optimizasyon fırsatlarını da geliştirirken rüzgar, güneş ve diğer jeotermal enerji kaynaklarına dayalı kapasitelerde ortak fırsatlara da zemin yaratabilecektir.

**Şekil 6.29. Türkiye Elektrik Sisteminin Enterkoneksiyonları**

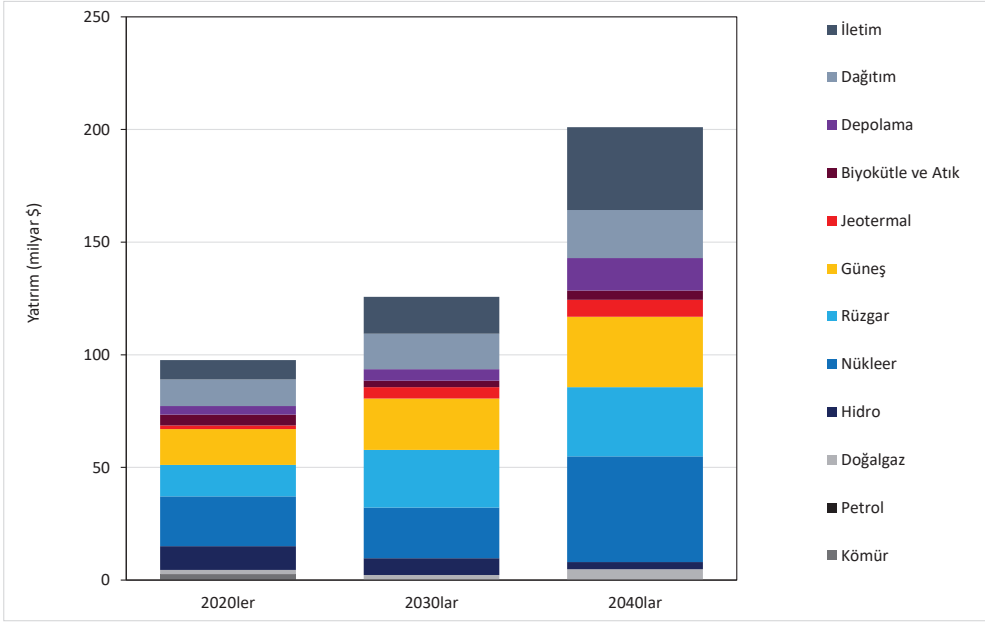


Kaynak: TEİAŞ

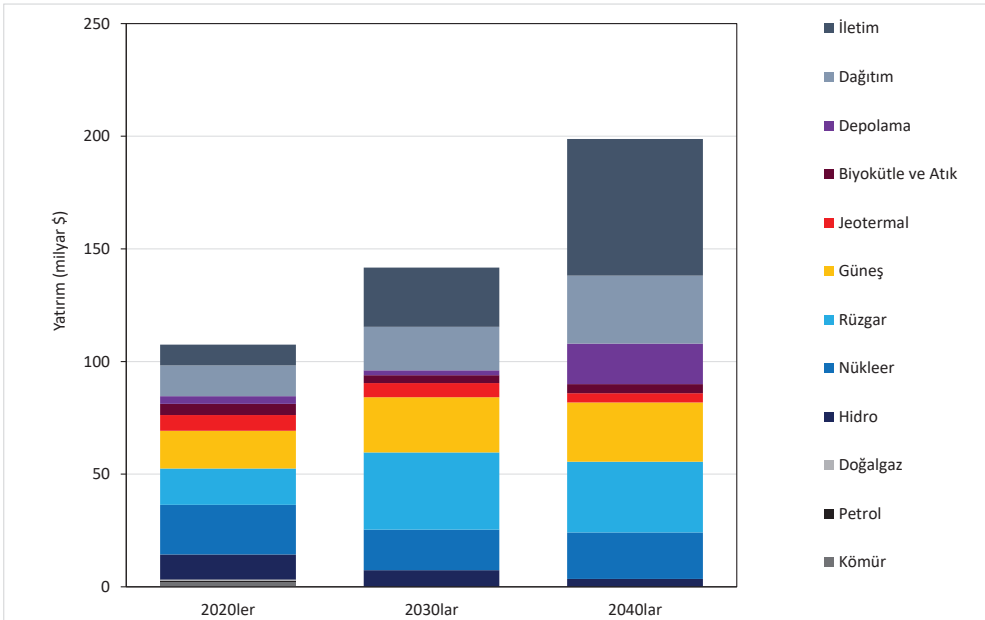
## 6.9. Yatırımlar

IICEC Senaryolarında elektrik sisteminin büyümesi ve dönüşümü için yatırım gereksinimi de sektörler ve kaynaklar bazında detaylı olarak analiz edilmiştir. Yüksek Büyüme Senaryosunda 2050 yılına kadar olan dönemde yıllık ortalama yatırım ihtiyacı 14,9 milyar \$ olarak hesaplanmaktadır (Yavaş Senaryoda 14,1 milyar \$). Yüksek Senaryoda yatırımlarda şebekelerin ve depolama çözümlerinin payı hızla artmakta ve 2050 yılına doğru %40'lara çıkmaktadır (Yavaş Senaryoda yaklaşık %30). Yüksek Senaryoda 2030 – 2050 arası dönemde toplam elektrik sistemi yatırımının yaklaşık yarısının şebekeler, depolama sistemleri ve talep sektörlerinde verim uygulamalarında gerçekleşmesi beklenmektedir. Böylelikle daha verimli ve yenilenebilir enerji odaklı büyümede arz kalitesi, güvenliği ve düşük karbon yoğunluğu, bütüncül bir perspektif gözetilerek temin edilmektedir. Yüksek Senaryo, Yavaş Senaryoya göre yatırımlarda %6 artış ile enerji güvenliği, çevresel performans gibi alanlarda çok boyutlu fırsatlar sağlayabilmektedir (Detaylar için Bölüm 6.10 ve Bölüm 6.11'e bakınız).

**Şekil 6.30. Yavaş Senaryoda Kümülatif Yatırım Gelişimi (2022 – 2050, 2022 milyar \$)**



**Şekil 6.31. Yüksek Senaryoda Kümülatif Yatırım Gelişimi (2022 – 2050, 2022 milyar \$)**

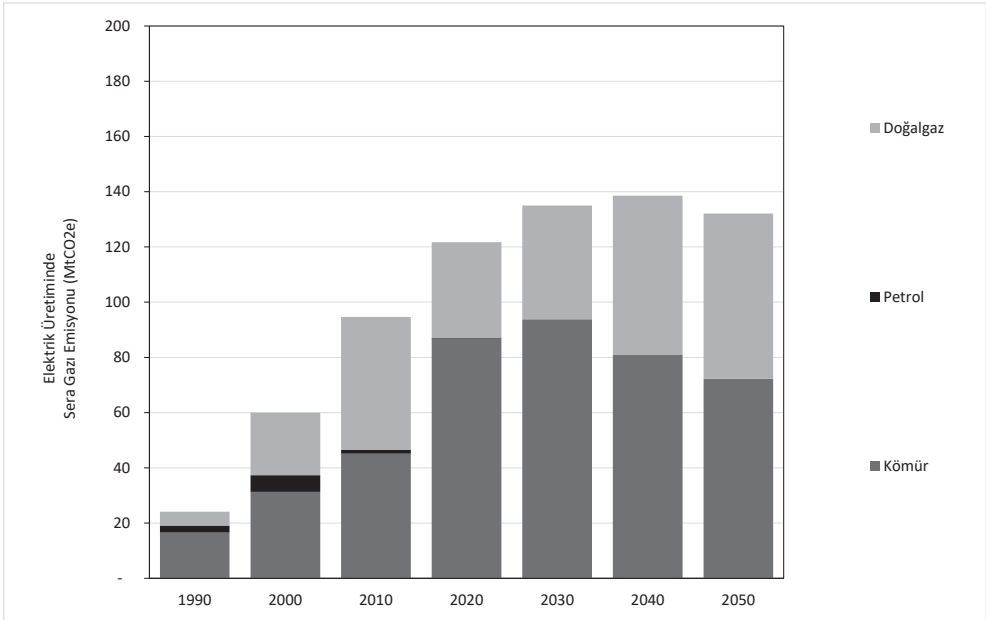


## 6.10. Emisyonlar

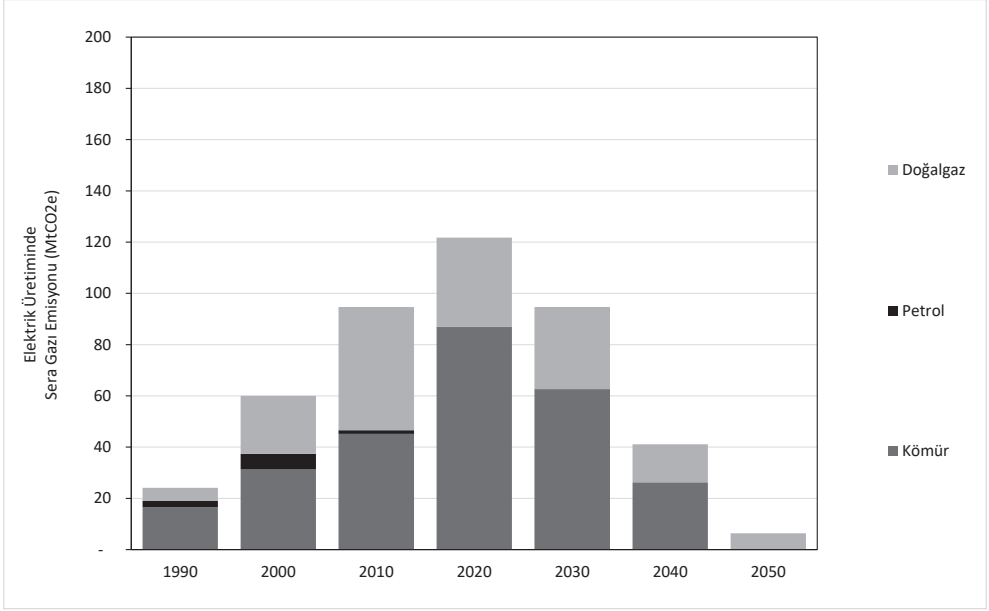
Yavaş Senaryoda elektrik üretiminde halen %50'nin biraz üzerinde olan fosil yakıt payı 2050 yılında dörtte-bire düşerken, elektrik sektöründen kaynaklı emisyonlarda azaltım sağlanamamaktadır. Yüksek Senaryoda ise fosil yakıtların elektrik üretimindeki payı 2030 yılında %33'e, 2050 yılında ise sistem dengelemesi bakımından önem taşıyan esnek doğal gaz üretim birimlerinin çalışmaları ile sınırlı olmak üzere %3'ün altına düşmektedir. Nükleer elektriğin elektrik üretiminde 2050 yılında %12'ye ulaşan katkısı ile birlikte, toplam elektrik üretim portföyünün 2030 yılında üçte-ikisi, 2050 yılında ise tamamına yakını karbondan arındırılmış noktaya gelmektedir.

Yüksek Senaryoda elektrik sektöründen kaynaklı emisyonlar 2030 yılından önce tepe noktasına ulaşmaktadır. 2050 yılına kadar olan dönemde de hızlı bir düşüşle 1990 seviyelerine gelmektedir (Şekil 6.32 ve Şekil 6.33). Doğal gaz tüketiminden kaynaklı emisyonların ise, 2050 yılına doğru yaklaşırken teknolojik gelişime bağlı olarak karbon yakalama ve depolama teknolojileri yoluyla yönetilebileceği öngörülmektedir.

**Şekil 6.32. Yavaş Senaryoda Elektrik Sektöründen Kaynaklı Emisyonlar (2022 – 2050, MtCO<sub>2</sub>e)**



**Şekil 6.33. Yüksek Senaryoda Elektrik Sektöründen Kaynaklı Emisyonlar (2022 – 2050, MtCO<sub>2</sub>e)**

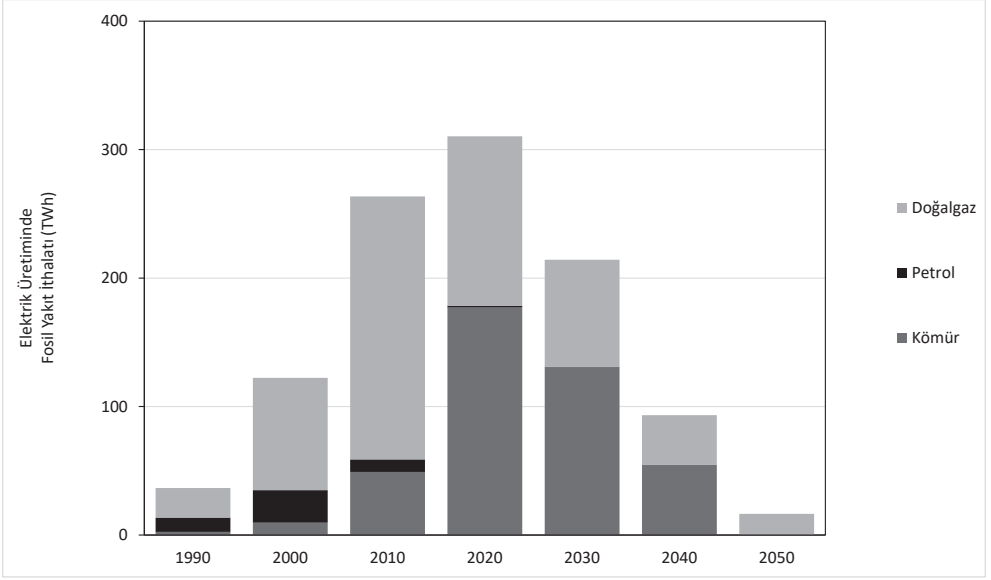


## 6.11. Maliyet ve Tasarruf Analizleri

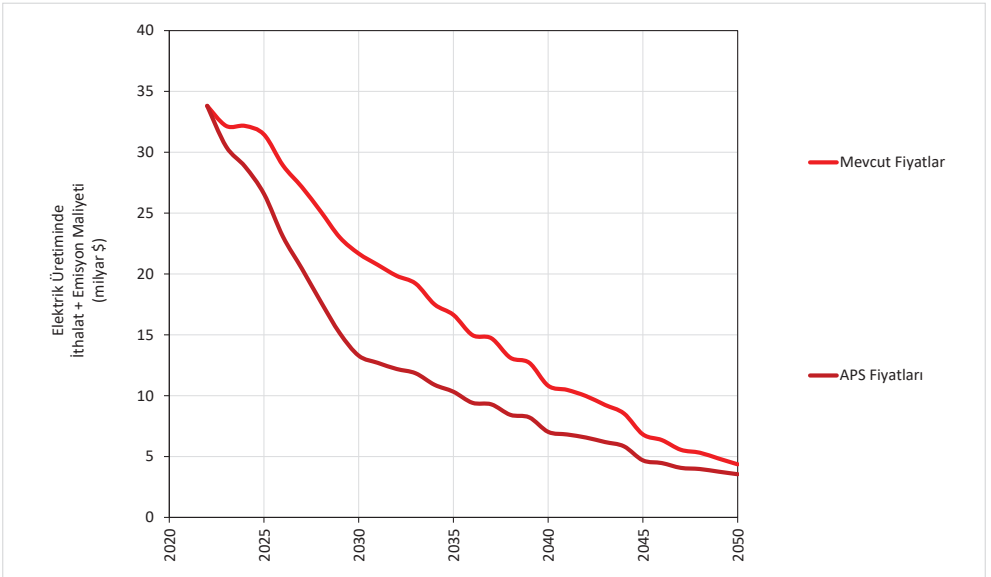
Fosil yakıt ithalatını büyük ölçüde azaltan Yüksek Senaryoda 2050 yılında 1990 yılına göre yaklaşık 13 kat daha yüksek elektrik talebi, daha az fosil yakıt gereksinimi ile sağlanabilmektedir. Fosil yakıt enerji ithalat girdisi 2050 yılında 2020 yılı seviyesinden onda-birinden daha düşük bir seviyeye ulaşırken, yenilenebilir enerji ve nükleer enerjinin elektrik üretimindeki toplam payı %98'e yaklaşmaktadır (Yavaş Senaryoda %76). Bu önemli gelişim, ithal yakıt faturasasını hızla düşürmektedir. Buna ek olarak, emisyon envanterinde karbon fiyatlandırması nedeniyle önemli ekonomik avantajlar yaratmaktadır. APS fiyat serileri ve 100\$/ton karbon fiyatı varsayımıyla yapılan analizlerde, elektrik üretimi kaynaklı fosil yakıt ithalat ve emisyon faturasası 2050 yılında 5 milyar \$'ın altına düşmektedir (Yavaş Senaryoda 20 milyar \$) (Şekil 6.34)

Yüksek Senaryo, Yavaş Senaryo ile karşılaştırıldığında yıllık ortalama 8,7 milyar \$/yıl ithal yakıt ve emisyon maliyeti düşüşünü, 800 milyon \$/yıl yatırım fazlası ile sağlayabilmektedir (Toplam tasarruf çarpanı 10,9). (Şekil 6.36). Buna ek olarak, nihai enerji tüketicisi sektörlerde fosil yakıt yoğunluğunu azaltan jeotermal ısıtma, güneş enerjisi çözümleri, sürdürülebilir biyoyakıtlar gibi alanlar yoluyla yenilenebilir enerji ekosisteminin enerji güvenliğine ve çevresel performansa katkıları genişlemektedir. Hava kalitesinde iyileşme, yerli sanayinin gelişimi, yenilenebilir elektrığe dayalı ihracatta ve ekipman ihracatında artış fırsatları gibi kazanımlar da bunlara eklendiğinde, Yüksek Senaryo daha temiz ve güvenli bir enerji geleceğini güçlü şekilde desteklemektedir.

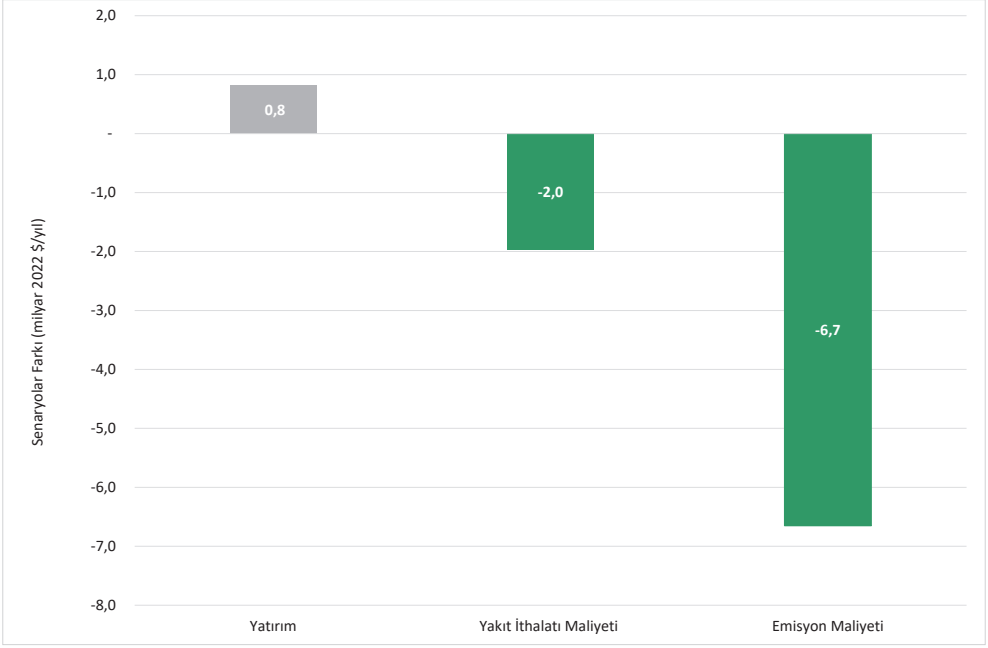
**Şekil 6.34. Yüksek Senaryoda Elektrik Üretiminde Fosil Yakıt İthalatı (2022 – 2050, TWh)**



**Şekil 6.35. Yüksek Senaryoda Elektrik Üretimi Kaynaklı İthal Fosil Yakıt ve Emisyon Maliyetleri Gelişimi (2022 – 2050, TWh)**



**Şekil 6.36. Yüksek Senaryoda Yavaş Senaryoya Göre Yıllık Ortalama Değişim (milyar 2022\$)**



## 6.12. Piyasa Gelişimi

Yenilenebilir elektrik üretiminde hızlı ve güçlü büyüme, Türkiye'nin fosil yakıt ithalat faturasını azaltarak sürdürülebilir ekonomik büyümeyi desteklemekte, fosil yakıt kullanımındaki hızlı düşüş temiz enerji dönüşümünü güçlendirmektedir. Ayrıca, yenilenebilir elektrik üretim maliyetlerindeki düşüşler, nihai tüketici fiyatlarında öngörülebilirlik için önemli kazanımları da beraberinde getirmektedir. Yenilenebilir enerjide büyümenin, Yüksek Senaryo ile çerçevesi çizilen güçlü gelişimi gösterebilmesi için piyasa tasarımı, işleyişi, yatırım ortamı gibi alanlarda önemli iyileşmeler sağlanması gerekecektir. Özellikle son dönemde uygulanmış ve uygulanmakta olan YEKDEM ve YEKA gibi yarışma ve kapasite tahsis modellerinin kapsamlı bir etki değerlendirmesinin yapılması yoluyla kapasite büyümesini temin edecek yeni yatırım ve finansman modellerinin geliştirilmesinde fayda görülmektedir. Elektrik piyasasının maliyet-bazlı işleyişi, özellikle rüzgar ve güneş enerjisi teknolojilerinde geline aşamada rekabetçi büyüme için önemli bir zemin oluşturmaktadır. Bununla birlikte, yatırımların öngörülebilirliği ve finansman seçeneklerinin yaygınlaşması için yeni modellerin sektör gündeminde yer alabileceği değerlendirilmektedir.

Karbon piyasaları, fosil yakıt tabanlı üretim modelinden temiz enerjiye geçişte en kritik piyasa mekanizmaları arasında yer almaktadır. Türkiye’de de bu yönde bir mekanizmanın oluşumunun, yenilenebilir kaynaklara dayalı yatırımlarda fizibiliteleri destekleyici yönde etki yapması beklenmektedir. Ayrıca, merkezi yarışma ve alım modellerine ek olarak, piyasa katılımcılarının kendi aralarında yenilenebilir enerji-odaklı elektrik alım-satım anlaşmaları yapabilmelerine yönelik fırsatların da önümüzdeki dönemde daha fazla gündeme gelebileceği düşünülmektedir. Üreticiler ve özellikle enerji yoğun sanayi tüketicileri için kazan-kazan yaklaşımıyla, sürdürülebilir enerji tedarik çözümlerini destekleyecek bu modelin, 2030 yılı sonrası dönemde Yüksek Senaryodaki gelişim patikasının önemli bir bileşenini oluşturması beklenmektedir (Gelişim fırsatları ve ICEC önerileri için lütfen Bölüm 8’e bakınız.)

## Referanslar

- COVi (2022), Oceans Unlocked a Floating Wind Future  
<https://www.cowi.com/insights/oceans-unlocked-a-floating-wind-future>
- Global Wind Atlas (2022), Turkey  
<https://globalwindatlas.info/en/area/Turkey>
- Information Technology & Innovation Foundation (ITIF) (2022), Enhanced Geothermal Systems  
<https://www2.itif.org/2021-enhanced-geothermal.pdf>
- International Energy Agency (IEA) (2022), The Future of Heat Pumps  
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/2cf6c5c5-54d5-4a17-bfbc-8924123eebcd/TheFutureofHeatPumps>.
- International Hydropower Association (2022), Pumped Hydro: Water Batteries for Solar and Wind  
<https://www.hydropower.org/factsheets/pumped-storage>
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2022), Renewable Energy and Jobs, Annual Review 2022  
<https://www.irena.org/publications/2022/Sep/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2022>
- MITei (2022), The Future of Energy Storage  
<https://energy.mit.edu/research/future-of-energy-storage/>
- Sabancı Üniversitesi IICEC (2020), Turkey Energy Outlook  
<https://iicec.sabanciuniv.edu/teo>
- TEİAŞ (2022), Enterkoneksiyonlar  
<https://www.teias.gov.tr/enterkoneksiyonlar>
- The Energy and Resources Institute (2019), Floating Solar PV Report  
<https://www.teriin.org/sites/default/files/2020-01/floating-solar-PV-report.pdf>
- Think Geoenergy (2022), Global Map to Identify Areas Suitable for Geothermal Power Plants  
<https://www.thinkgeoenergy.com/global-map-to-identify-areas-suitable-for-geothermal-power-plants/>



- US DOE (2022), Perovskite Solar Cells

<https://www.energy.gov/eere/solar/perovskite-solar-cells>

- West Suffolk Council (2022), Heat Pumps

<https://www.westsuffolk.gov.uk/environment/reduce-your-impact/heat-pumps.cfm>

- World Bank ESMAP (2022), Expanding Offshore Wind to Emerging Markets

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/716891572457609829/pdf/Going-Global-Expanding-Offshore-Wind-To-Emerging-Markets.pdf>



# BÖLÜM 7:

IICEC Senaryolarında  
Nihai Enerji Talebinde  
Yenilenebilir Enerji  
Geleceği

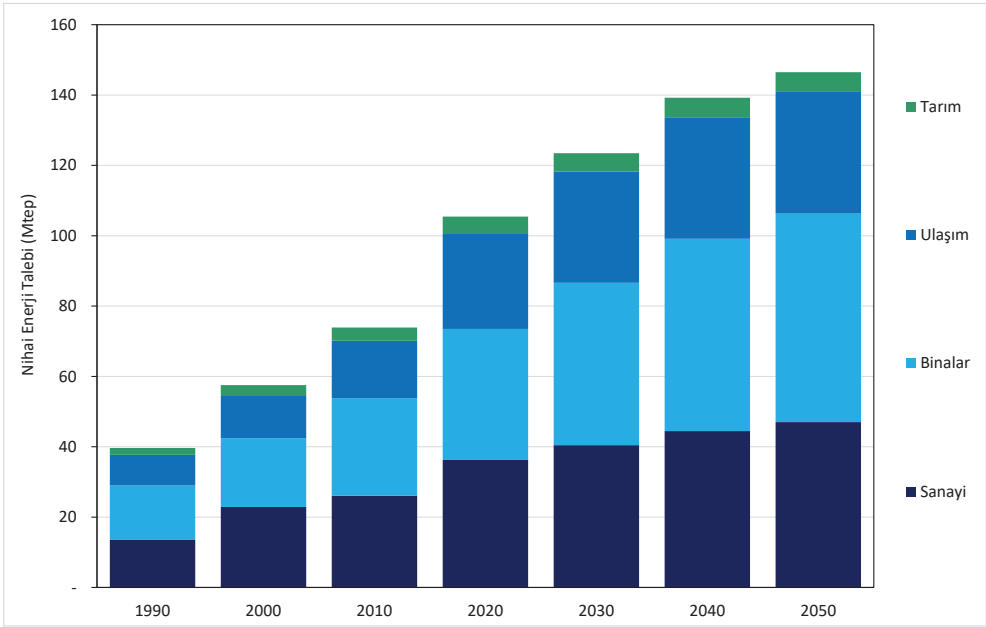
## 7.1. Nihai Enerji Talep Sektörlerinde Yenilenebilir Enerji Geleceği

Türkiye'nin nihai enerji talebi Yüksek Senaryoda 2021-2050 arası dönemde %27 artış göstermektedir (Yavaş Senaryoda %78). Yavaş Senaryoya göre yaklaşık %29 daha düşük kümülatif artışa karşılık gelen bu büyümede çeşitli verimlilik fırsatlarının değerlendirilmesi etkili olmaktadır. Örneğin Türkiye'nin %70'ye yakını verimsiz olan bina stoku bu dönemde yüksek verimli bir yapıya dönüşürken, sanayi elektrik talebinin üçte-ikisinden fazlasını oluşturan elektrik motorlarında verim seviyesi yükselmekte ve tarımsal sulamada dağıtık güneş enerjisi ile entegre çözümler verimlilik artışına önemli katkı sağlamaktadır. Ulaştırma sektöründe elektrikli araçlara dönüşümün getirdiği verimlilik iyileşmelerine ek olarak özellikle yük taşımacılığında karayolundan deniz yolları ve demir yollarına geçiş yoluyla da ulaşım enerji ekonomisini daha verimli ve sürdürülebilir bir nitelik kazanmaktadır. Ayrıca, eskiyen araç parkının yenilenmesini destekleyen piyasa mekanizmaları ile karayolu ulaşımında yakıt verimliliği iyileşirken toplu taşıma çözümleri de yolcu taşımacılığını enerji verimliliği bakımından daha ileri bir noktaya taşımaktadır.

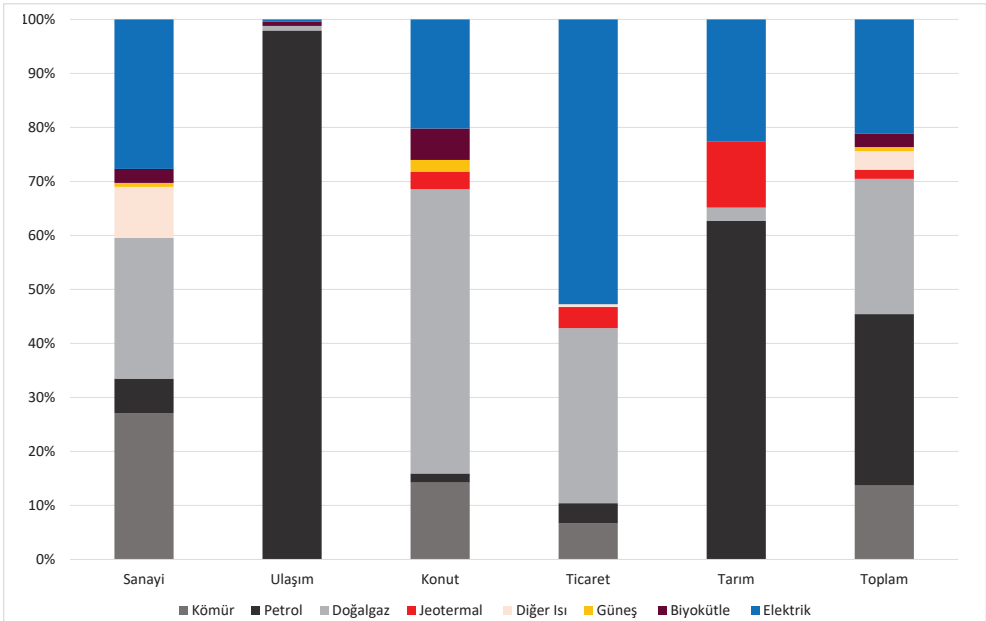
Verimlilik potansiyelinin değerlendirilmesine odaklanan politikalara ek olarak yenilenebilir enerjiden nihai enerji talep sektörlerinde yaygın olarak faydalanılmasına ilişkin politika hedefleri, bütüncül ve uzun vadeli planlamalar, bilgilendirme faaliyetleri ve piyasa mekanizmaları ile desteklenen Yüksek Senaryoda, güneş, jeotermal ve biyokütlenin Türkiye'nin nihai enerji tüketimindeki payı %5'ten 2030 yılında %7'ye ve 2050 yılında %16'ya çıkmaktadır. En hızlı büyüme binalarda potansiyelin yüksek olduğu bölgelerde bölgesel ısıtma amaçlı jeotermal kullanımında (yaklaşık yedi kat) ve ulaşımda sürdürülebilir havacılık yakıtlarına olan yönelimle (yaklaşık altı kat) gerçekleşmektedir.

Güneş enerjisinin 2021 yılında nihai enerji talebinde %1'den az olan payı 2050 yılında %3'e ulaşırken jeotermal enerjinin payı %2'den %8'e yükselmektedir. Nihai enerji talebinin %3'ünü oluşturan biyokütle enerjisi katkısı ise iki kat artışla %6'ya çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji 2050 yılında sanayi, binalar ve ulaşım enerji talebinin sırasıyla %10, %21 ve %9'unu oluşturmaktadır (2021 yılında sırasıyla %3, %11 ve %1). Tarım sektöründe yenilenebilir enerji payı ise 2021 yılında %12'den seracılıkta jeotermal uygulamaların yaygınlaşmasıyla 2030 yılında %21'e ve 2050 yılında yaklaşık %50'ye ulaşmaktadır (Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3). 2050 yılında toplam doğrudan yenilenebilir enerji katkısının %34'ü binalarda, %34'ü sanayide, %28'i ulaşımda ve %4'ü tarımda gerçekleşmektedir (Şekil 7.4.). 2050 yılında doğrudan yenilenebilir enerji tüketiminin %51'ini binalarda ve tarımda güçlü potansiyeli ile jeotermal oluşturmakta, biyokütle ise özellikle ulaşımdaki ve sanayi sektörlerindeki katkısı ile doğrudan yenilenebilir enerji talebinin %37'sine karşılık gelmektedir (2021 yılında sırasıyla %35 ve %50).

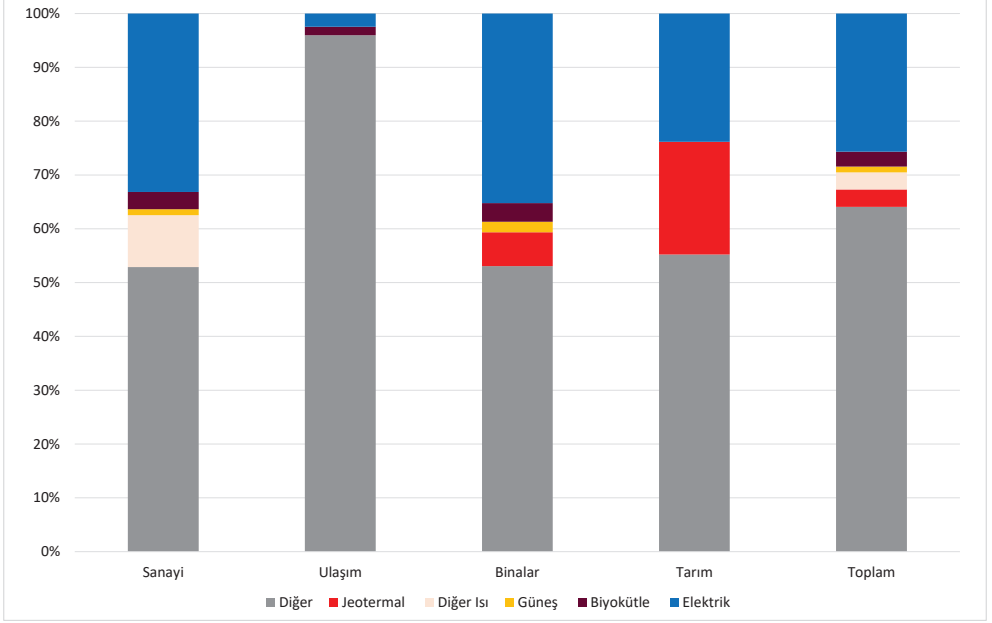
**Şekil 7.1. Nihai Enerji Talebinin Sektörel Gelişimi (1990 – 2050, Yüksek Senaryo, Mtep)**



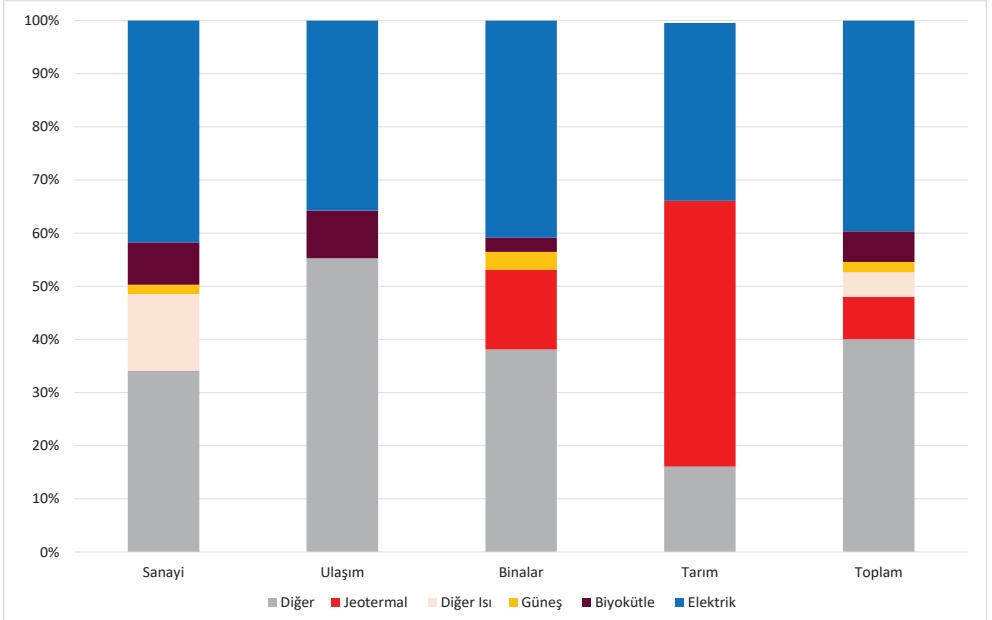
**Şekil 7.2. Nihai Enerji Talebinin Kaynaklara Göre Sektörel Dağılımı (2021, %)**



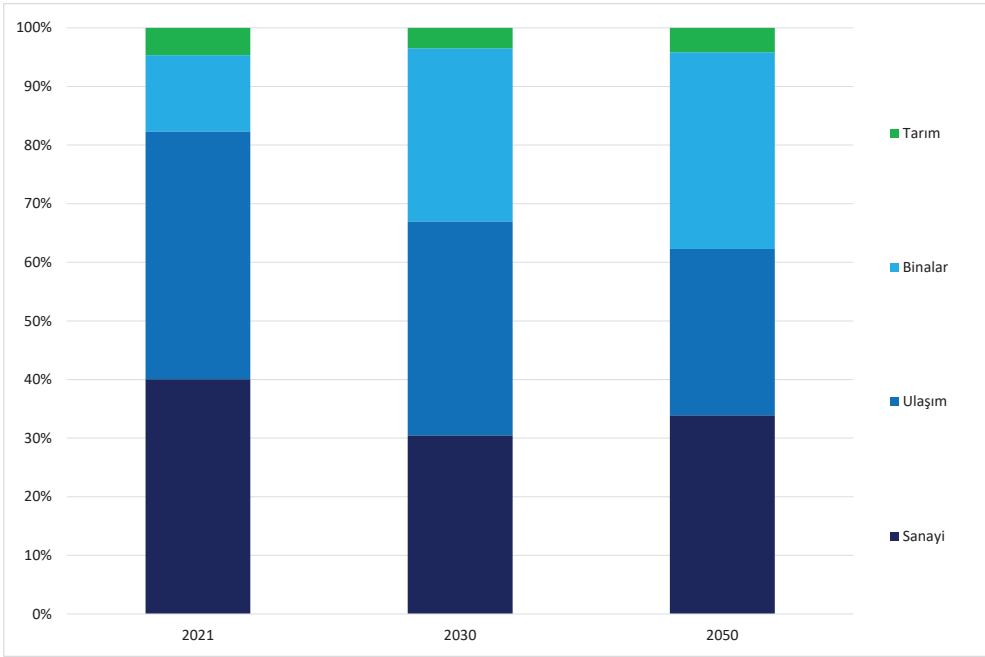
**Şekil 7.3. Nihai Enerji Talebinin Kaynaklara Göre Sektörel Dağılımı  
(2030 Yüksek Senaryo, %)**



**Şekil 7.4. Nihai Enerji Talebinin Kaynaklara Göre Sektörel Dağılımı  
(2050 Yüksek Senaryo, %)**



**Şekil 7.5. Nihai Enerji Talebinde Doğrudan Yenilenebilir Enerji Katkısının Sektörel Dağılımı (2021, 2030 & 2050 Yüksek Senaryo, %)**

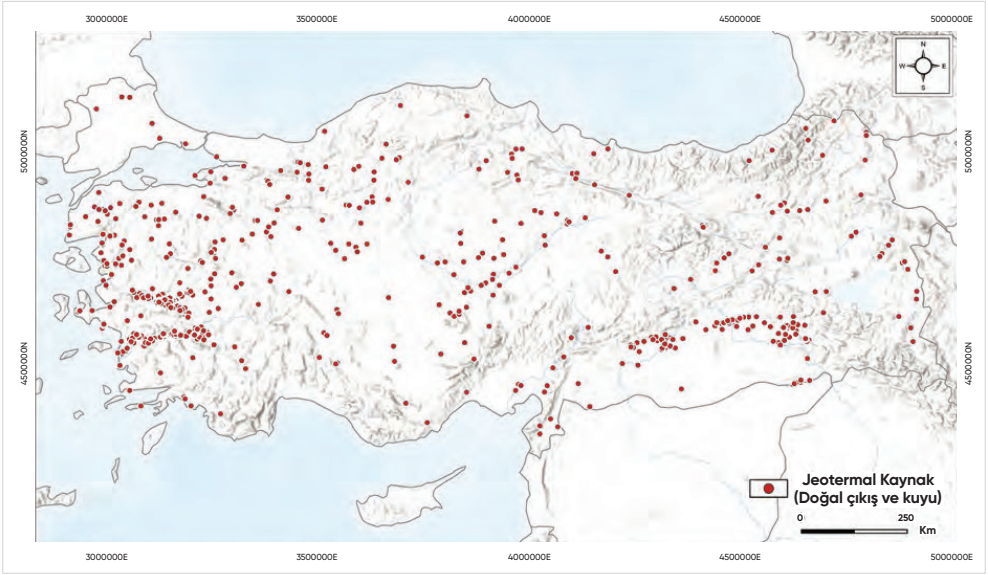


## 7.2. Nihai Enerji Talebinde Jeotermal Enerji Kullanımı Geleceği

Türkiye Bölüm 6'da belirtildiği gibi jeotermal enerji kaynakları bakımından dünyada önde gelen ülkeler arasındadır. Sıcaklığı 30 °C üzerinde olan 415 jeotermal alanına sahip olan Türkiye'de en son yapılan çalışmalarla potansiyelin 62 GWt düzeyinde olduğu hesaplanmaktadır (MAPEG, 2022). Jeotermal alanlarının %84'nün sıcaklığı 341 °C'ye kadar çıkan yüksek sıcaklıklı sahalardan oluştuğu hesaplanmaktadır. Sahaların üçte-birinden fazlasının ısıtma için uygun olduğu öngörülmekte olup, kaplıca gibi termal uygulamalara elverişli saha sayısı da 250'nin üzerinde tahmin edilmektedir (Şekil 7.6).

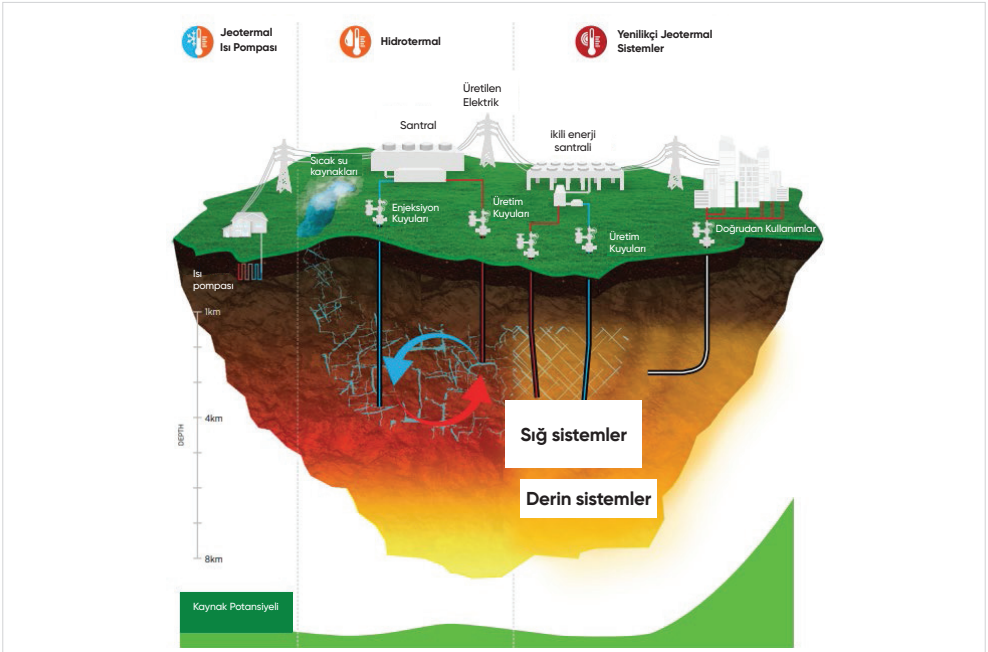
Doğrudan ısı kaynağı olarak kullanılabilir potansiyel 5,1 GWt olarak hesaplanmakta olup, bunun 2,4 GWt'lik bölümünü termal turizm ve ticari uygulamalara uygun alanlar, 1,4 GWt'lik bölümünü bina ısıtmasına uygun alanlar, 1,2 GWt'lik bölümünü ise tarımsal uygulamalara elverişli sahalardan oluşmaktadır. Bu analizlere göre, bina ısıtmasında değerlendirilebilecek potansiyel yaklaşık 160.000 konut eşdeğerine karşılık gelmektedir. Çalışmaların genişletilmesi ve özellikle derin kaynaklarda potansiyelin değerlendirilmesini sağlayacak geliştirilmiş jeotermal teknolojilerden yararlanılması durumunda toplam potansiyelin 100 GWt seviyesine kadar ulaşabileceği öngörülmektedir (Şekil 7.7).

Şekil 7.6. Türkiye Jeotermal Kaynak Dağılımı (Doğal Çıkışlar ve Kuyular)



Kaynak: MAPEG, 2022

Şekil 7.7 Geliştirilmiş Jeotermal Sistemleri

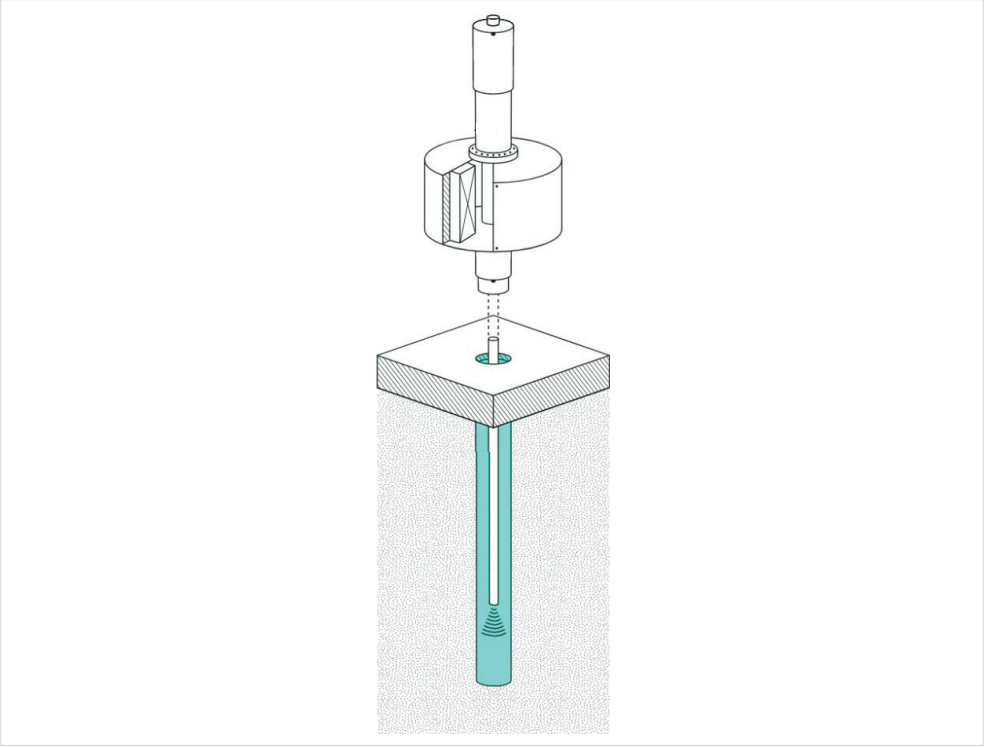


Kaynak: ITIF, 2021



Derin jeotermal kaynakların enerji tedarikine kazandırılmasına yönelik olarak son dönemde öne çıkan teknolojilerden birisi füzyon enerjisine dayalı olarak mm boyunda dalgalarda derin kayalardan jeotermal eldesine odaklanmaktadır (Şekil 7.8). 20 km derinliği ve 500 °C'ye kaar ulaşan sıcaklıkları hedefleyen bu teknolojiye 2026 yılında ilk ticari uygulamanın gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. İşletmede olan fosil yakıtlı santrallerin jeotermal buharına dönüşümü ile temiz enerji hedeflerine uyumunu da hedefleyen bu teknoloji yoluyla dünya genelinde 500 °C üzerindeki sahaların %90'una erişilebilmesi amaçlanmaktadır (MIT News, 2022; QUAISE, 2022).

**Şekil 7.8. Geliştirilmiş Jeotermal Sistemleri**



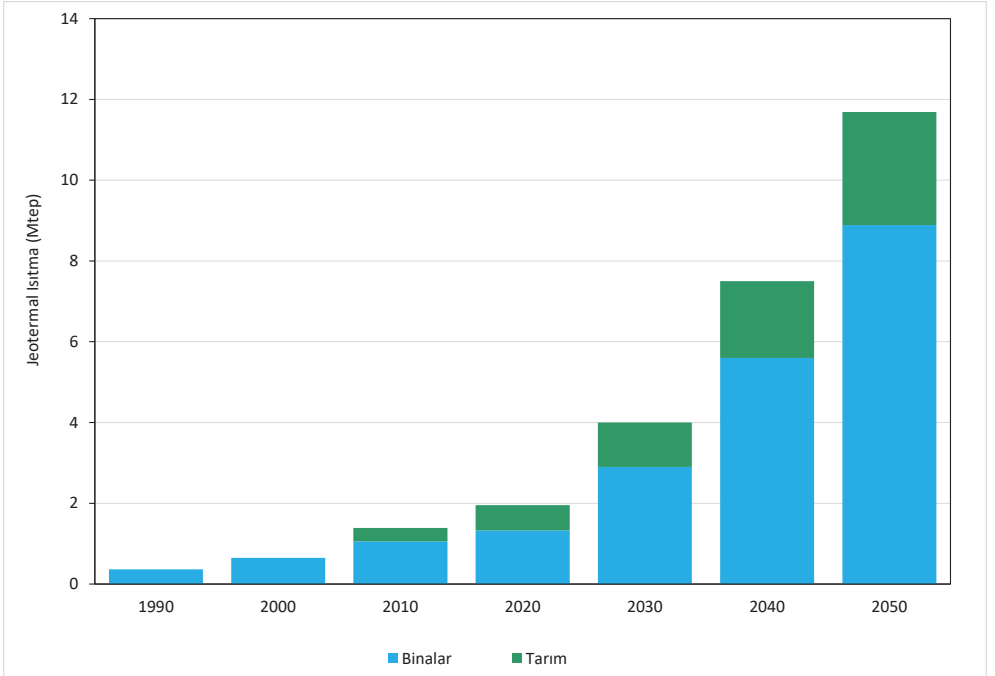
**Kaynak:** QUAISE, 2022

Yüksek Senaryoda binalarda jeotermal enerji kullanımının 2021 yılında 1,3 Mtep'ten 2030 yılında 2,9 Mtep ve 2050 yılında 8,9 Mtep seviyesine ulaşması öngörülmektedir (2030 yılında öngörülen kullanım sürelerine göre yaklaşık 2 GWt ve 2050 yılında yaklaşık 6 GWt). Tarımda jeotermal kullanımı ise 2021 yılında 0,7 Mtep'ten 2050 yılında seracılık ve tarımsal kurutma uygulamalarında yaygınlaşma ile 2,8 Mtep'e çıkmaktadır (Toplam doğrudan jeotermal enerji tüketiminin 2021 yılında %32'si ve 2050 yılında %24'ü) (Şekil 7.9). Bu gelişim perspektifi, jeotermal enerjiden kentsel ısıtmada yararlanan şehir sayısında önemli bir artış da beraberinde getirecektir (Şekil 7.10).

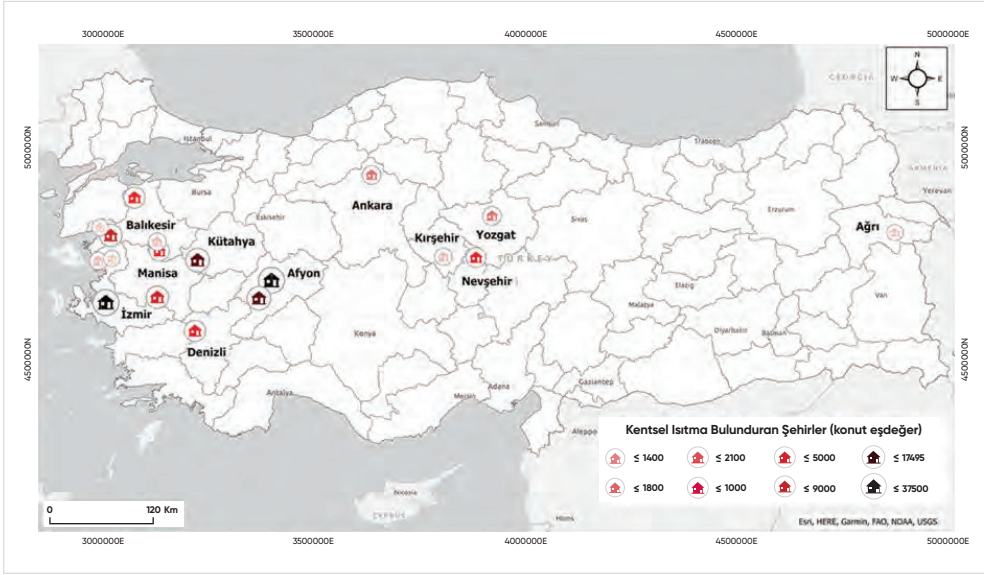
Bunlara ek olarak jeotermal kaynaklardan hidrojen kazanımı ve lityum gibi kritik minerallerin üretilmesi de teknik olarak uygulanabilir bir seçenektir. Önümüzdeki dönemde temiz enerji dönüşümünün güvenliği bakımından bu alanda yeni fırsatlara odaklanılmasının da Türkiye enerji ekonomisi için önemli katkı sunabileceği değerlendirilmektedir. Jeotermal enerjide bölgesel ısıtma, sera ısıtma, tarımsal kurutma, sağlık turizmi gibi çok boyutlu uygulama alanlarının jeotermal elektrik üretimi ile entegre uygulama örneklerinin artırılmasında da önemli fırsatlar bulunmaktadır. Mevcut jeotermal elektrik üretim birimlerinde entegre uygulama örnekleri az olup, kaynak kullanım verimliliğinin artırılmasını da desteklemek üzere, yeni kurulacak elektrik üretim santrallerinde ilgili bölgelerin enerji talep hizmetlerine olan ihtiyaçları ile uyumlu entegre kullanım seçeneklerin de planlamalara dahil edilmesinin jeotermal ekosistemin gelişimi bakımından yararlı olacağı düşünülmektedir.

Elektrik üretiminde artan payı ile birlikte, jeotermal enerjinin nihai enerji tüketiminde toplam katkısı 2021 yılındaki yaklaşık %2 seviyesinden 2030 yılında %4'e ve 2050 yılında %10'a ulaşmaktadır. Böylelikle jeotermal, 2050 yılında güneş (%16) ve rüzgardan (%12) sonra Türkiye'nin toplam nihai enerji talebinde en fazla paya sahip üçüncü kaynak durumuna gelmektedir.

**Şekil 79. Sektörlere Göre Jeotermal Isıtma Gelişimi (1990 – 2050 Yüksek Senaryo, Mtep)**



Şekil 7.10. Jeotermal Enerjinin Kentsel Isıtmada Kullanımı (2022)



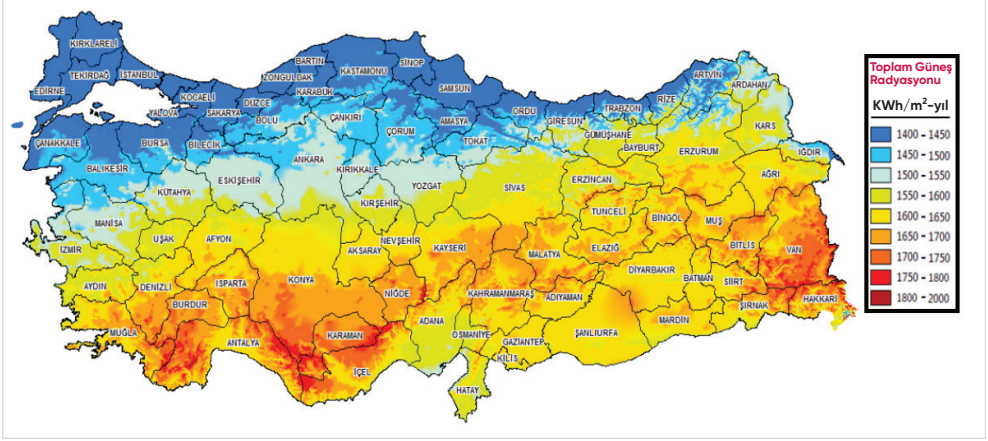
Kaynak: MAPEG, 2022

### 7.3. Nihai Enerji Talebinde Doğrudan Güneş Enerjisi Kullanımı Geleceği

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça zengin olmakla birlikte nihai enerji talep sektörlerinde doğrudan güneş enerjisi kullanımı halen çok sınırlı durumdadır. Bölgelerin büyük bölümünde yıllık güneş radyasyonu 1500 kWh/m<sup>2</sup>'nin üzerindedir. Ortalama güneşlenme süresi 7 saate kadar çıkmakta, en düşük ışınım değerlerine sahip olan kuzey bölgelerde dahi güneş potansiyeli Avrupa ülkelerinin pek çoğundan daha yüksek seyretmektedir (1100-1200 kWh/m<sup>2</sup>). (Şekil 7.11).

Yüksek Senaryo, elektrik üretiminin yanı sıra, güneş enerjisinin binalarda ve sanayide doğrudan kullanımında önemli fırsatların değerlendirilmesine de odaklanmaktadır. 2030 yılında nihai enerji talebine toplam katkısı %6'ya çıkan güneş enerjisi, 2050 yılında %16 pay ile Türkiye'nin toplam nihai enerji talebinde lider kaynak konumuna ulaşmaktadır (Binalarda doğrudan kullanım %4, sanayide doğrudan kullanım %2, binalarda ve sanayide güneşten elektrik %10). Tarımda güneş enerjisi katkısı ise tarımsal sulamada teknoloji-odali ve verimli çözümleri öne çıkaran dağıtık güneş PV uygulamalarında ve bunları destekleyen mikro şebeke çözümlerinde yaygınlaşma ile güçlenmektedir.

Şekil 7.11. Güneş Atlası

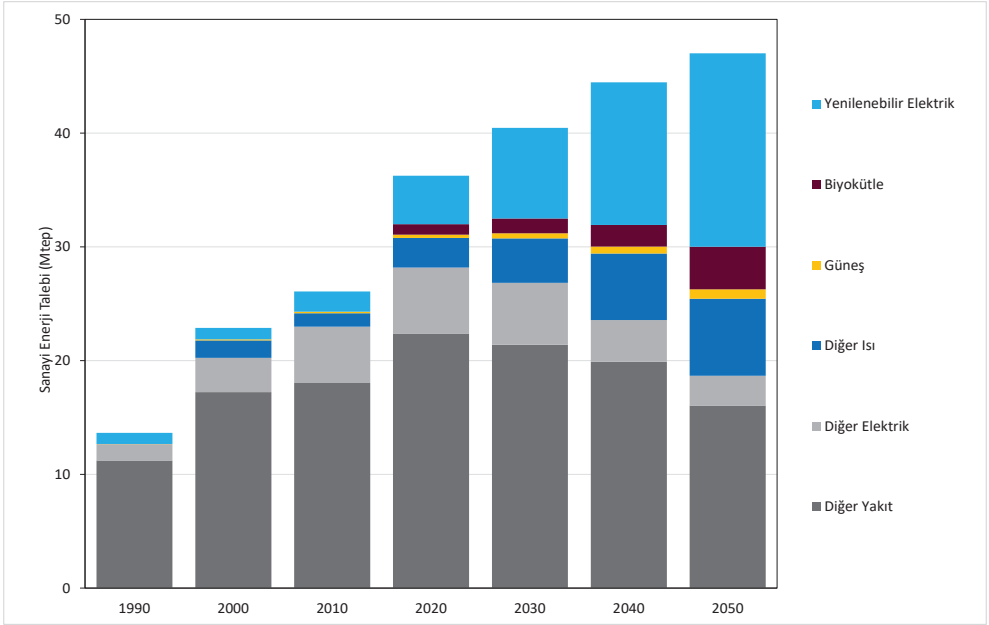


Kaynak: ETKB, 2022

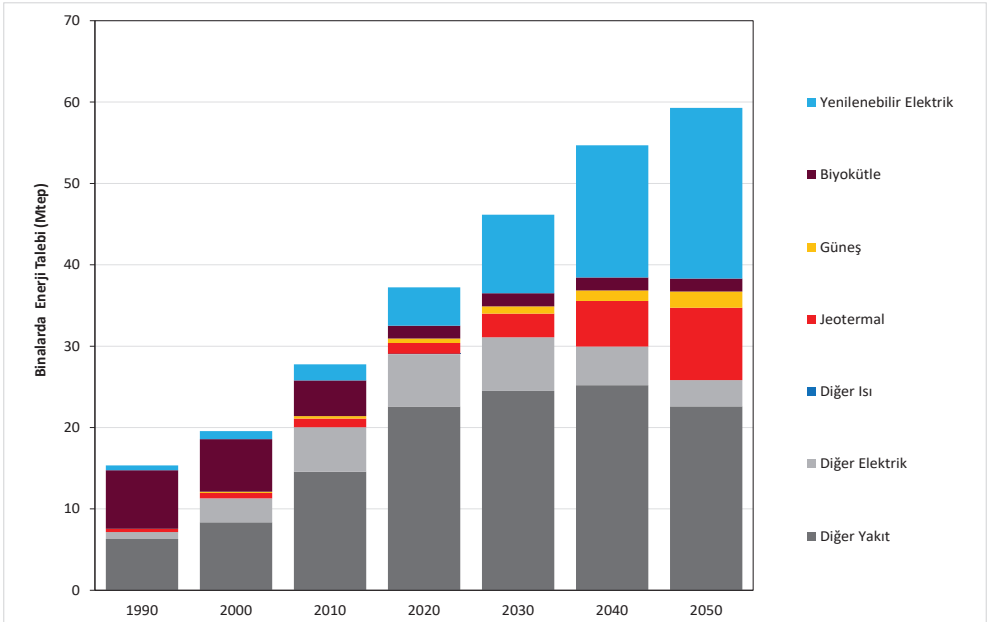
2021 yılında 105,4 Mtep'e ulaşan toplam nihai enerji talebi içerisinde güneş enerjisi katkısı 0,9 Mtep olarak gerçekleşmiştir (0,3 Mtep sanayi ve 0,6 Mtep binalar). Güneş enerjisinin uygun sıcaklıklarda kullanımının yaygınlaşmasına öncelik veren Yüksek Senaryoda güneş enerjisi tüketimi 2030 yılına kadar %57 ve 2030-2050 arası dönemde %110 artarak 2050 yılında 2,8 Mtep'e ulaşmaktadır (Toplam nihai enerji tüketiminin %2'si ve doğrudan yenilenebilir enerji tüketiminin %12'si).

Yüksek Senaryoda sanayide enerji talebi, enerji verimliliğinde artış ve sanayi sektörlerinde enerji-yoğunluğunda azalma gerçekleştiren yapısal dönüşümle 2021-2050 döneminde %17 azalırken, sanayide güneş enerjisi kullanımı %176 artış göstermektedir. Özellikle 150 °C altındaki sıcaklıklardaki uygulamalarda güneş enerjisi kullanımında artış güçlü büyümeyi desteklemektedir. Sanayi enerji talebinde güneş enerjisinin payı 2021 yılında binde-bir seviyesinden 2050 yılında %2'ye çıkmaktadır (Şekil 7.12). Binalarda ise daha güçlü bir büyüme öngörülmektedir. Türkiye halihazırda güneş enerjisinin bina ısıtmasında kullanımında dünyada öncü ve lider ülkeler arasında yer almaktadır (IEA SHC, 2021). 2019 sonunda güneş kolektörü alanı, büyük bölümü konutlarda olmak üzere 26 milyon m<sup>2</sup>'ye ulaşmıştır. Yüksek Senaryoda binalarda güneş enerjisi katkısı 2021 yılında 0,6 Mtep seviyesinden 2030 yılında 0,9 Mtep ve 2050 yılında 2 Mtep'e çıkmaktadır. Bunun sonucunda 2050 yılında binalarda enerji talebi içerisinde güneş enerjisinin payı %4'e yaklaşmaktadır (Şekil 7.13).

**Şekil 7.12. IICEC Yüksek Senaryosunda Sanayide Enerji Talebinin Kaynaklara Göre Gelişimi (1990 – 2050, Mtep)**



**Şekil 7.13. IICEC Yüksek Senaryosunda Binalarda Enerji Talebinin Kaynaklara Göre Gelişimi (1990 – 2050, Mtep)**

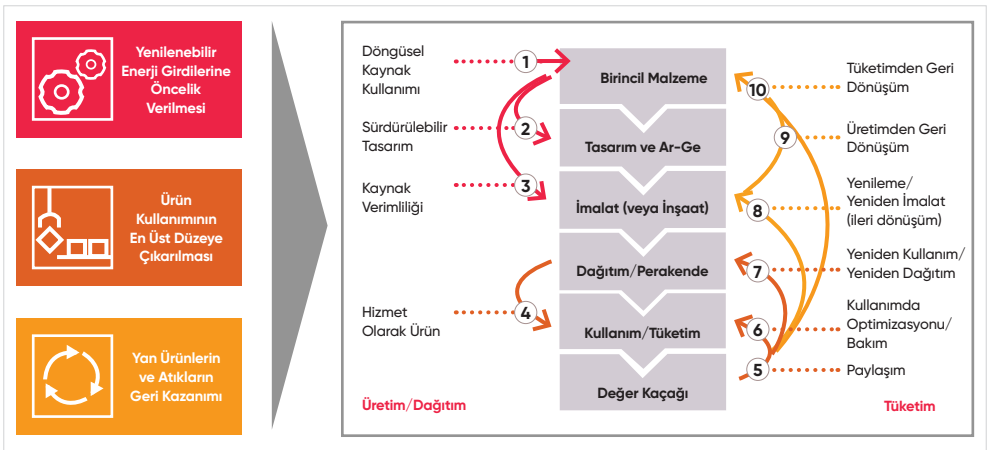


Binalarda güneş enerjisi ve jeotermal enerji kullanımında artış, Türkiye'nin ithal doğal gaz tüketiminde önemli düşüşleri beraberinde getirecektir. Yüksek Senaryoda binalarda jeotermal enerji tüketimi 2050 yılında 10,7 bcm/yıl doğal gaz tüketimine karşılık gelmektedir. Güneş enerjisinin katkısı ile birlikte 13,1bcm/yıl doğal gaz tüketimine eşdeğer olan bu hacmin mevcut enerji fiyatlarıyla ekonomik karşılığı yaklaşık 10 milyar \$/yıl olarak hesaplanmaktadır. 2050 yılında binalarda doğal gaz talebinin 2021 yılına göre yaklaşık 5 Mtep artışla 22,7 Mtep'e ulaşması öngörülmekte olup, binalarda güneş enerjisi ve jeotermal ile ısıtma yoluyla ikame edilebilecek doğal gaz tüketimi 2050 yılı için doğal gaz talebini yaklaşık üçte-iki oranında azaltmaktadır.

## 7.4. Nihai Enerji Talebinde Doğrudan Biyokütle Enerjisi Kullanımı Geleceği

2021 yılında Türkiye'nin nihai enerji talebinde biyokütle kullanımı 2,8 Mtep olarak gerçekleşmiştir (1990 yılında 7,2 Mtep). Geçmişte geleneksel biyokütle kaynaklarının yaygın kullanımı zaman içerisinde yerini sanayi uygulamalarına ve karayolu ulaşımda biyoyakıt kullanımına bırakırken biyokütle enerjisinin nihai enerji talebindeki payı 1990 yılında %18'den 2021 yılında %3'e gerilemiştir. Yüksek Senaryoda biyokütle talebi 2021-2050 arası dönemde yaklaşık üç kat artışla 8,4 Mtep'e çıkmaktadır. En hızlı büyüme havayolu taşımacılığında gerçekleşirken 2050 yılında sürdürülebilir havacılık yakıtlarına dayalı tüketim 3,4 Mtep öngörülmektedir. Sanayide biyokütle tüketimi de 2021-2050 arası dönemde dört kat artışla 1,1 Mtep'ten 3,7 Mtep'e çıkmaktadır. Özellikle çimento sektöründe enerji arz güvenliğinin güçlendirilmesi ve temiz enerji dönüşümüne yönelik girişimlerde biyokütle enerjisinin rolünün artması beklenmektedir (Türk Çimento EÇKA, 2019; Kusuma et al., 2022). Biyokütle ve yenilenebilir atık potansiyelinin değerlendirilmesinde, döngüsel ekonomi fırsatları ile değer yaratılmasına odaklı yeni işbirliklerinin yaygınlaşması önem taşıyacaktır (Şekil 7.14). Havacılık sektöründe sürdürülebilir yakıtlara yönelimin de önümüzdeki dönemin önemli dinamiklerinden birisi olacağı düşünülmektedir (IACA, 2022; ICAO, 2022).

Şekil 7.14. Döngüsel Ekonomi Prensiplerine Bakış



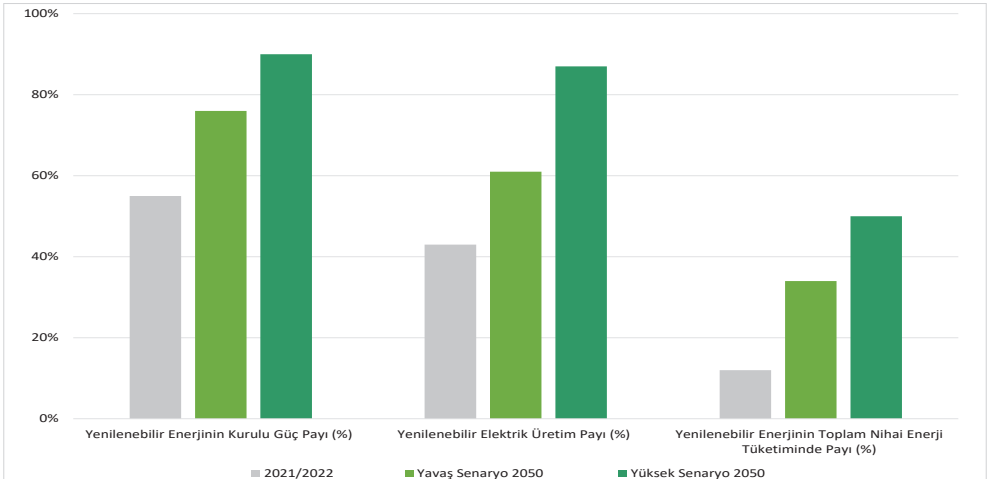
Kaynak: PwC, 2022

## 7.5. Nihai Enerji Talebinde Toplam Yenilenebilir Enerji Katkısı

Bölüm 6'da sunulduğu üzere, nihai enerji tüketicisi sektörlerin tamamında elektrik enerjisinin payı hızla artarken, topla nihai enerji tüketimine elektrik enerjisi katkısı yaklaşık iki kat artışla %21'den %40'a çıkmaktadır (Sanayide %42, binalarda %41, ulaşımda %36 ve tarımda %34). 2050 yılında elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin payı Yüksek Senaryoda %87'ye çıkarken nihai enerji talebinde yenilenebilir elektrik katkısı 2021 yılındaki %7'den 2021-2050 arası dönemde %35'e yükselmektedir. ICEC analizleri, Yüksek Senaryoda doğrudan yenilenebilir enerjinin %16'lık payı ile birlikte 2050 yılında Türkiye'de tüketilmesi öngörülen her iki birim enerjiden birinin Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanabileceğine işaret etmektedir (2021 yılında %12). Potansiyelin kısmen değerlendirilebildiği Yavaş Senaryoda ise doğrudan yenilenebilir enerji katkısı toplam nihai enerji talebinin %10'una karşılık gelirken, toplam yenilenebilir enerji payı %34 olarak gerçekleşmektedir (Şekil 7.15).

Yenilenebilir enerjide verimli ve yüksek büyümeyi destekleyen Yüksek Senaryoda nihai enerji talebinde geleneksel fosil kaynakların payı %71'den 2030 yılında %64'e ve 2050 yılında %45'e düşmekte, 2050 yılında nihai enerji tüketiminin %40'ı elektrik enerjisinden ve %15'i doğrudan yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır (Tablo 7.1 ve Tablo 7.2). Güvenli ve temiz enerji geleceği için çok kritik olan bu dönüşüm, enerji ithalat faturasında ve sera gazı emisyon envanterinde önemli iyileşmeleri beraberinde getirecektir. Yüksek Senaryoda 2050 yılında Türkiye'nin nihai enerji talebinin yarısından fazlası sadece enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji yoluyla karbondan arındırılmış olmaktadır. Bazı ulaşım türlerinde ve sanayi sektörlerinde elektrifikasyon ve doğrudan yenilenebilir enerji tüketimi yoluyla dönüştürülmesi teknik olarak mümkün olmayan uygulamaların da hidrojen ve yenilikçi karbon teknolojileri yoluyla net-sıfır emisyon patikasına ulaştırılabilecekleri değerlendirilmektedir.

**Şekil 7.15. ICEC Senaryolarında Nihai Enerji Talebinde Doğrudan ve Dolaylı Yenilenebilir Enerji Katkısı Gelişimi (2021 – 2050, %)**



**Tablo 7.1. IICEC Yüksek Senaryosunda Nihai Enerji Talebinin Kaynaklara Göre Gelişimi (2021 – 2050, Mtep)**

<b>2021</b>									
<b>mtep</b>	<b>Kömür</b>	<b>Petrol</b>	<b>Doğalgaz</b>	<b>Jeotermal</b>	<b>Diğer Isı</b>	<b>Güneş</b>	<b>Biyokütle</b>	<b>Elektrik</b>	<b>Toplam</b>
Sanayi	11,2	2,6	10,8	0,0	3,9	0,3	1,1	11,5	41,5
Ulaşım	0,0	29,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	30,6
Konut	3,7	0,4	13,8	0,9	0,0	0,6	1,5	5,3	26,1
Ticaret	0,8	0,5	3,9	0,5	0,1	0,0	0,0	6,4	12,1
Tarım	0,0	3,2	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0	1,1	5,1
<b>Toplam</b>	<b>15,8</b>	<b>36,7</b>	<b>28,9</b>	<b>2,0</b>	<b>4,0</b>	<b>0,9</b>	<b>2,8</b>	<b>24,4</b>	<b>115,4</b>

<b>2030</b>									
<b>mtep</b>	<b>Diğer</b>		<b>Jeotermal</b>	<b>Diğer Isı</b>	<b>Güneş</b>	<b>Biyokütle</b>	<b>Elektrik</b>	<b>Toplam</b>	
Sanayi	21,4		0,0	3,9	0,5	1,3	13,4	40,5	
Ulaşım	30,3		0,0	0,0	0,0	0,5	0,8	31,6	
Binalar	24,5		2,9	0,0	0,9	1,6	16,3	46,2	
Tarım	2,9		1,1	0,0	0,0	0,0	1,3	5,3	
<b>Toplam</b>	<b>79,1</b>		<b>4,0</b>	<b>3,9</b>	<b>1,4</b>	<b>3,4</b>	<b>31,7</b>	<b>123,5</b>	

<b>2050</b>									
<b>mtep</b>	<b>Diğer</b>		<b>Jeotermal</b>	<b>Diğer Isı</b>	<b>Güneş</b>	<b>Biyokütle</b>	<b>Elektrik</b>	<b>Toplam</b>	
Sanayi	16,0		0,0	6,8	0,8	3,7	19,6	47,0	
Ulaşım	19,1		0,0	0,0	0,0	3,1	12,4	34,6	
Binalar	22,6		8,9	0,0	2,0	1,6	24,2	59,3	
Tarım	0,9		2,8	0,0	0,0	0,0	1,9	5,6	
<b>Toplam</b>	<b>58,7</b>		<b>11,7</b>	<b>6,8</b>	<b>2,8</b>	<b>8,4</b>	<b>58,1</b>	<b>146,5</b>	



**Tablo 7.2. IICEC Yüksek Senaryosunda Nihai Enerji Talebinin Kaynaklara ve Sektörlere Göre Dağılımı (2021 – 2050, %)**

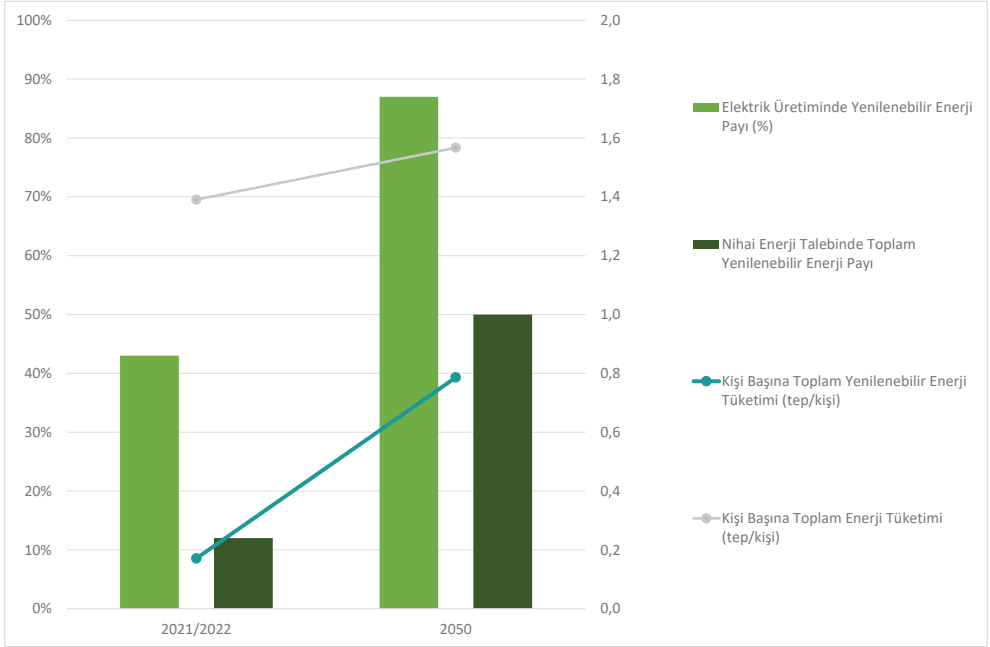
<b>2021</b>						
<b>%</b>	<b>Diğer</b>	<b>Jeotermal</b>	<b>Diğer Isı</b>	<b>Güneş</b>	<b>Biyokütle</b>	<b>Elektrik</b>
Sanayi	60%	0%	9%	1%	3%	28%
Ulaşım	99%	0%	0%	0%	1%	0%
Konut	69%	3%	0%	2%	6%	20%
Ticaret	43%	4%	1%	0%	0%	53%
Tarım	65%	12%	0%	0%	0%	23%
<b>Toplam</b>	<b>70%</b>	<b>2%</b>	<b>3%</b>	<b>1%</b>	<b>2%</b>	<b>21%</b>

<b>2030</b>						
<b>%</b>	<b>Diğer</b>	<b>Jeotermal</b>	<b>Diğer Isı</b>	<b>Güneş</b>	<b>Biyokütle</b>	<b>Elektrik</b>
Sanayi	53%	0%	10%	1%	3%	33%
Ulaşım	96%	0%	0%	0%	2%	2%
Binalar	53%	6%	0%	2%	3%	35%
Tarım	55%	21%	0%	0%	0%	24%
<b>Toplam</b>	<b>64%</b>	<b>3%</b>	<b>3%</b>	<b>1%</b>	<b>3%</b>	<b>26%</b>

<b>2050</b>						
<b>%</b>	<b>Diğer</b>	<b>Jeotermal</b>	<b>Diğer Isı</b>	<b>Güneş</b>	<b>Biyokütle</b>	<b>Elektrik</b>
Sanayi	34%	0%	14%	2%	8%	42%
Ulaşım	55%	0%	0%	0%	9%	36%
Binalar	38%	15%	0%	3%	3%	41%
Tarım	16%	50%	0%	0%	0%	33%
<b>Toplam</b>	<b>40%</b>	<b>8%</b>	<b>5%</b>	<b>2%</b>	<b>6%</b>	<b>40%</b>

Yenilenebilir enerjide yüksek büyüme fırsatlarının, enerji verimliliği potansiyelini de harekete geçirecek şekilde değerlendirilmesi, Türkiye’de enerji tüketicisi tüm sektörlerde fosil yakıt yoğunluğunu azaltan,, böylelikle de maliyetler bakımından daha sürdürülebilir ve temiz enerji dönüşümü ile uyumlu bir gelişim patikası sunmaktadır. 2050 yılına kadar olan dönemde kişi başına enerji tüketimi %13 artarken kişi başına yenilenebilir enerji tüketiminde dört katın üzerinde artış gerçekleşmektedir (Şekil 7.16). Türkiye’nin önümüzdeki dönemde yenilenebilir enerjinin yaygın kullanımında lider ülkeler arasında konumlanmasını sağlayabilecek olan bu gelişim potansiyeli, temiz enerji üretim teknolojileri ve geniş bir ekosistem içerisinde yeni istihdam ve iş modelleri fırsatlarına da zemin oluşturabilecektir. Sanayi sektörlerinde fosil yakıt yoğunluğunda azalma ile sağlanacak ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik fırsatları ihracat ve dış ticaret için rekabetçi büyümeyi desteklerken, yenilenebilir enerjiye dayalı büyüme binalarda, ulaşımda ve tarımda hava kirliliğinde azalma, yeni teknolojilerin kullanımında yaygınlaşma gibi fırsatları da beraberinde getirecektir.

**Şekil 7.16. Yüksek Senaryoda Yenilenebilir Enerji Büyümesi (2021 – 2050)**



## 7.6. Temiz Enerji Geleceği ve Net-Sıfır Emisyon Perspektifi

### 7.6.1. Hidrojen Geleceği

IICEC analizlerinde nihai enerji talep hizmetlerinin gelişimi detaylı olarak incelenmiştir. Enerji verimliliğinden ve doğrudan yenilenebilir enerji tedarikinden yüksek oranda faydalanan Yüksek Senaryoda 2050 yılında toplam nihai enerji talebinin yaklaşık %45'inin elektrifikasyon ve yenilenebilir enerji dışındaki temiz enerji kaynakları ve teknolojilerden sağlanması öngörülmektedir (58,7 Mtep). Söz konusu talep seviyesi, 2021 yılında toplam fosil yakıt tüketimine göre hacimsel olarak %28 azalışa işaret etmekle birlikte, karbon-nötr bir enerji sistemi geleceği 2050 yılına kadar olan dönemde özellikle sanayide ve ulaşıtırmada hidrojen ve yenilikçi temiz enerji teknolojilerinin yaygın gelişimini gerektirecektir.

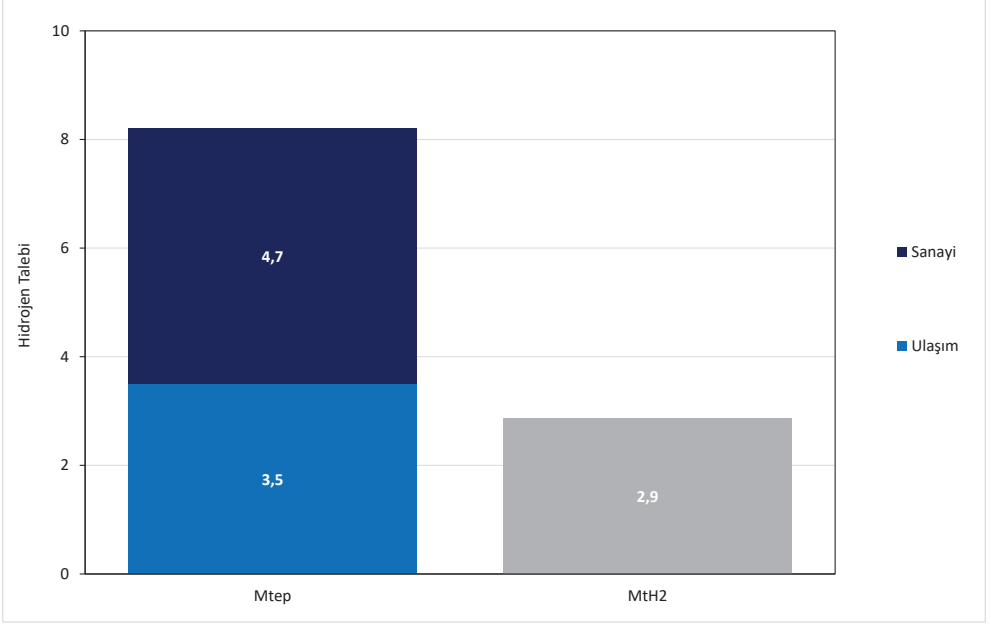
Ulaşıtırma sektöründe elektrik enerjisinin 2021 yılında %1 olan payı 2050 yılında %36'ya çıkarken, havayolu ulaşıtımda sürdürülebilir yakıtlarda gelişim ile birlikte biyokütle enerjisi toplam enerji talebinin 2050 yılında %9'unu karşılamaktadır. Karayolu yük taşımacılığı ve deniz yolu yük taşımacılığı başta olmak üzere ulaşıım sektöründe temiz hidrojen kullanımının yaygınlaşması ile ilgili önemli fırsat alanları oluşabilecektir. IICEC analizlerinde 2050 yılında ulaşıtırma sektörü enerji talebinin 2,8 – 4,2 Mtep'lik bölümünün hidrojenden sağlanabileceği öngörülmektedir (2050 ulaşıtırma enerji talebinin %15-%22'si). Hidrojenin bu katkısı ile birlikte ulaşıtırma sektörü enerji talebinin yaklaşık üçte-ikisi düşük karbon tabanlı yakıtlara geçmektedir. Karayolu ulaşıtımda bu çalışmada sunulan gelişim patikasında daha hızlı bir elektrifikasyon dönüşümünün gerçekleşebilmesi durumunda söz konusu oran daha yukarılara taşınabilecektir.

Sanayi sektöründe ise elektrifikasyon sonucunda elektrik enerjisinin toplam enerji talebindeki payı 2050 yılına kadar olan dönemde bir-buçuk kat artışla %28'den %42'ye çıkarken, doğrudan yenilenebilir enerjinin 1,4 Mtep'ten 4,5 Mtep'e ulaşan katkısı da eklendiğinde sanayi enerji talebinde elektrik enerjisi ve yenilenebilir enerjinin toplam katkısı %50'nin üzerine ulaşmaktadır. IICEC analizlerinde 2050 yılında sanayi enerji talebinin 3,5 – 5,9 Mtep'lik bölümünün hidrojen kullanımından sağlanabileceği hesaplanmaktadır (%22 - %36). Böylelikle 2050 yılında sanayi sektörlerinin toplam enerji talebinin yaklaşık dörtte-üçlük bölümü elektrifikasyon, hidrojen ve doğrudan yenilenebilir enerji kullanımı ile karşılanmaktadır (Sanayide karbon yakalama ve depolama teknolojileri perspektifi için lütfen Bölüm 7.6.2'ye bakınız.)

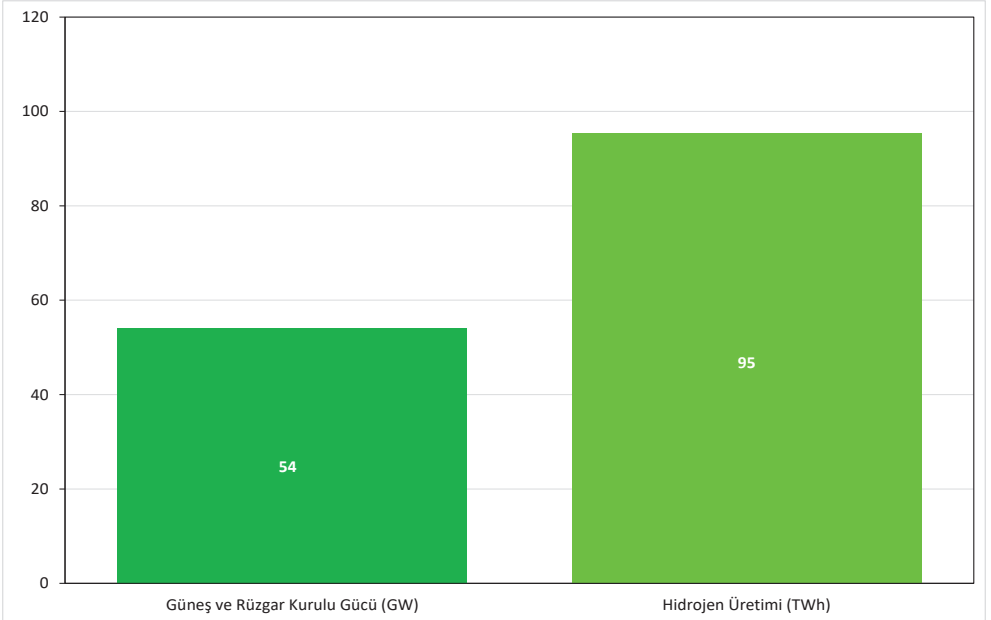
Ulaşıtırma ve sanayi sektörlerinde hidrojen kullanımında söz konusu gelişim için gereken hidrojen miktarı 2050 yılında 3 Mton olarak hesaplanmaktadır. Bunu üretmek için gereken elektrik girdisi 142 TWh, yenilenebilir enerji kurulu gücü ise 54 GW<sup>1</sup> seviyesinde olacaktır (Şekil 7.17 ve Şekil 7.18).

<sup>1</sup> Rüzgar ve güneşten yeşil hidrojen üretimi

Şekil 7.17. IICEC Analizlerinde Nihai Tüketimde Hidrojen Talebi (2050, Mtep ve Mton)



Şekil 7.18. IICEC Analizlerinde Yeşil Hidrojen Üretimi ve Kurulu Güç (2050, GW ve TWh)

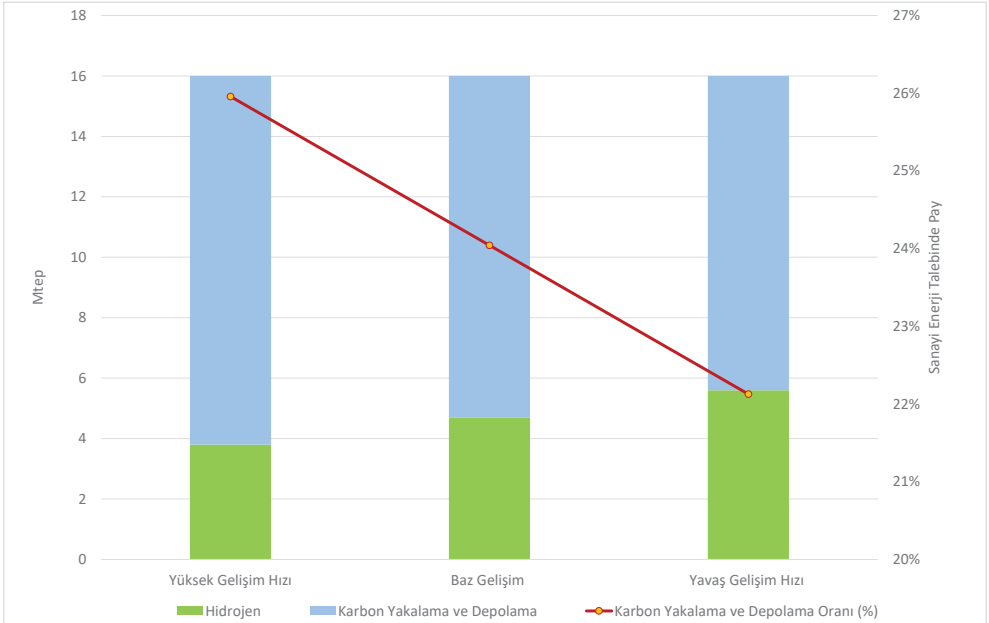


Amonyak ve sentetik yakıtların da Türkiye enerji sistemine entegrasyonu net-sıfır emisyon perspektifi için önemli bir alandır. Hidrojen üretimine yönelik elektrolizör kapasitelerinin ve ilgili teknolojilerin maliyet ve teknik performans gelişimi için tüm paydaşlara değer yaratabilecek önemli fırsatlar gelişebileceği düşünülmektedir (IRENA, 2022).

### 7.6.2. Karbon Yakalama ve Depolama Teknolojileri Geleceği

Çimento, demir-çelik ve kimyasallar gibi fosil yakıt yoğun endüstrilerde ürün eldesinde gerekli çeşitli süreçlerde ihtiyaç duyulan ısı düzeyi, karbon-nötr bir gelecek perspektifi için elektrifikasyonun ötesinde çözümlerin ticarileşmesini gerekli kılacaktır. IICEC Yüksek Senaryosunda 2050 yılında sanayi sektörlerinin toplam enerji talebinin yaklaşık üçte-birinin yenilenebilir enerji ve elektrifikasyon dışında kaynaklar ve teknolojilerden sağlanabilmesi gerekmektedir (2021 yılında %60). Bunun üçte-ikilik bölümünün hidrojen uygulamalarından karşılanabileceği öngörülmekte olup, 2050 yılında karbon yakalama odaklı teknolojilere entegre fosil yakıt tüketiminin 10 Mtep seviyesinde gerçekleşebileceği hesaplanmaktadır (Şekil 7.19). Bu çerçevede önümüzdeki dönemin temiz enerji dönüşümü yol haritasının karbon yakalama ve depolama teknolojilerine yönelik araştırmaları da içerecek şekilde tasarlanması önem taşımaktadır.

**Şekil 7.19. Sanayi Enerji Tüketiminde Hidrojen ve Karbon Teknolojilerinin Payı (2050, %)**



Karbon yakalama ve depolama teknoloji proje envanterinde dünya genelinde hızlı gelişim sürmektedir. 2030 yılına kadar işletmeye geçmek üzere 200'ün üzerinde yeni projenin gelişim aşamasında olduğu raporlanmaktadır. Bu projeler ile tutulabilecek CO<sub>2</sub> miktarı 220 Mton/yıl olarak hesaplanmaktadır. 2022 Haziran ayı itibariyle yaklaşık 10 proje için nihai yatırım kararı alınmıştır (IEA, 2022a).

ABD'de Enflasyon Düşürme Yasası, AB'de Yenilikçilik Fonu gibi girişimler temiz enerji dönüşümü teknoloji portföylerinde karbon yaklama ve depolama teknolojilerin geliştirilmesine ve yaygınlaştırılmasına kaynak aktarmaya devam etmektedir (Global CCS Institute, 2022). Teknolojik gelişimin ticari yaygınlaşmaya dönüşme ivmesinin artırılabilmesi için, karbon fiyatlandırma piyasalarının gelişiminin yanı sıra, karbon depolama ve taşıma altyapılarının oluşturulması ve düzenlenmesi gibi başlıklarda da önümüzdeki dönemde önemli iyileşmeler sağlanabilmesi gerekecektir.

Doğrudan karbon yakalama (DAC<sup>2</sup>) teknolojileri üzerinde de AR-GE faaliyetleri sürmektedir (IEA, 2022b). Kimyasal tepkimelere dayalı olarak tasarlanan ve henüz ticarileşme öncesi prototip aşamasında olan bu teknolojiler, atmosferden karbonun doğrudan alınabilmesini sağlamaları ve böylelikle de çok geniş bir kullanım için geniş bir zemin oluşturmaları bakımından temiz enerji dönüşümü için kritik görülmektedir (Sabancı Üniversitesi IICEC, 2020). Modüler tasarım özellikleri de bu teknolojilerin gelişim potansiyelini desteklemektedir.

---

<sup>2</sup> Direct Air Capture. Katı DAC teknoloji hazırlık seviyesi 7, Sıvı DAC teknoloji hazırlık seviyesi 6.

## Referanslar

- Global CCS Institute (2022), Global Status of CCS 2022  
<https://status22.globalccsinstitute.com/>
- IATA (2022), Net Zero 2050: Sustainable Aviation Fuels  
<https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet---alternative-fuels/>
- ICAO (2022), Decarbonising Aviation in the IEA's Net Zero Emissions by 2050 Scenario  
[https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/ENVReport2022\\_Art48.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/ENVReport2022_Art48.pdf)
- Information Technology and Innovation Foundation (ITIF) (2021), Enhanced Geothermal Systems: Climate Tech to Watch  
<https://www2.itif.org/2021-enhanced-geothermal.pdf>
- International Energy Agency (IEA) (2021), Solar Heating and Cooling Program, Turkey Country Report  
<https://www.iea-shc.org/countries/turkey/report>
- International Energy Agency (IEA) (2022a), Low-Emission Fuel Supply  
<https://www.iea.org/reports/low-emission-fuel-supply>
- International Energy Agency (IEA) (2022b), Carbon Capture, Utilization and Storage  
<https://www.iea.org/reports/carbon-capture-utilisation-and-storage-2>
- International Energy Agency (IEA) (2022c), ETP Clean Energy Technology Guide  
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide?selectedSector=Direct+air+capture>
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2022), Innovation Trends in Electrolysers for Hydrogen Production  
[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA\\_EPO\\_Electrolysers\\_H2\\_production\\_2022.pdf?rev=647d930910884e51b60137bcf5a955a6](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA_EPO_Electrolysers_H2_production_2022.pdf?rev=647d930910884e51b60137bcf5a955a6)
- Kusuma et al. (2022), Sustainable Transition Towards Biomass-Based Cement Industry: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 163  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032122004075>

- MAPEG (2022), Türkiye Jeotermal Kaynaklar Strateji Raporu  
<https://www.mapeg.gov.tr/Home/Announcement/1424>
- MIT (2022), MIT News, Tapping into the Million-year Energy Source Below Our Feet  
<https://news.mit.edu/2022/quaise-energy-geothermal-0628>
- PwC (2022), The Rise of the Circular Economy: Planning for Tomorrow's Energy Transitions Today  
<https://www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/future-energy/energy-circularity.html>
- QUAISE (2022), Quaise Energy Timeline  
<https://www.quaise.energy/news>
- Sabancı Üniversitesi IICEC (2020), Turkey Energy Outlook 2020  
<https://iicec.sabanciuniv.edu/sites/iicec.sabanciuniv.edu/files/inline-files/TEO.pdf>
- Türk Çimento EÇKA (2019), Çimento Üretiminde Sıfır Karbonlu Yakıtlara Geçiş  
<https://www.ecka.com.tr/ekler/c-imento-u-retiminde-sifir-karbonlu-yakitlara-gec-is1613474668.pdf>



# BÖLÜM 8:

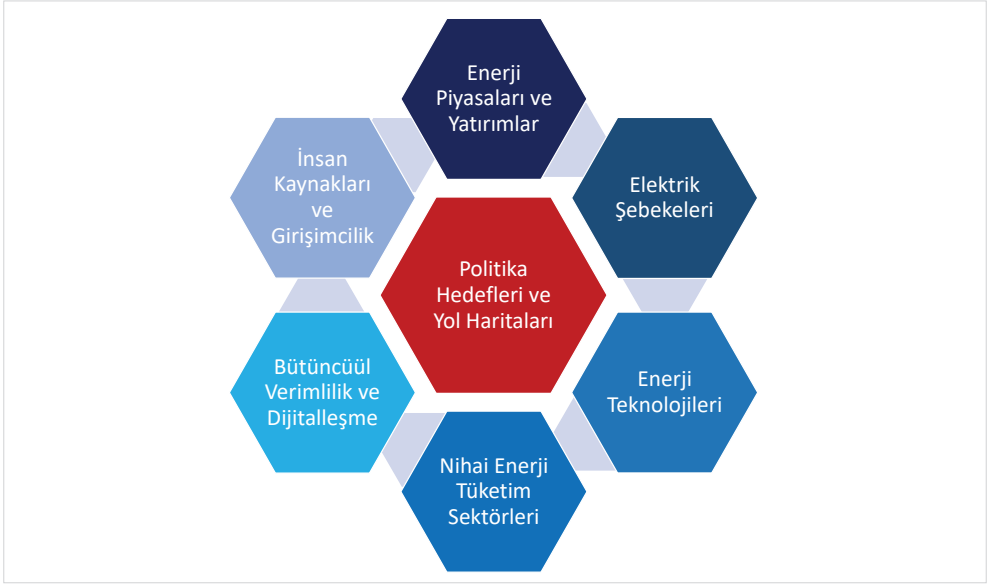
## Sonuç ve Öneriler

## 8.1. Yenilenebilir Enerjide Verimli ve Güçlü Büyüme yi Destekleyecek Gelişim Alanları

Türkiye'nin yenilenebilir enerjide yüksek gelişim potansiyelini odağına alan bu çalışmada sunulan çok boyutlu katkıların gerçekleşebilmesi için sektörü şekillendiren çeşitli alanlarda önemli iyileşmeler sağlanması gerekmektedir. Türkiye'deki mevcut fırsatlar ve zorluklara ek olarak dünyadaki iyi uygulama örneklerinin de incelenmesi ile tespit edilen gelişim alanları aşağıda özetlenmektedir (Şekil 8.1):

1. Politika hedefleri ve yol haritaları
2. Enerji piyasaları ve yatırımlar
3. Elektrik şebekeleri
4. Enerji teknolojileri
5. Nihai enerji tüketicisi sektörler
6. Bütüncül verimlilik ve dijitalleşme
7. İnsan kaynakları ve girişimcilik

Şekil 8.1. Gelişim Alanlarına Genel Bakış



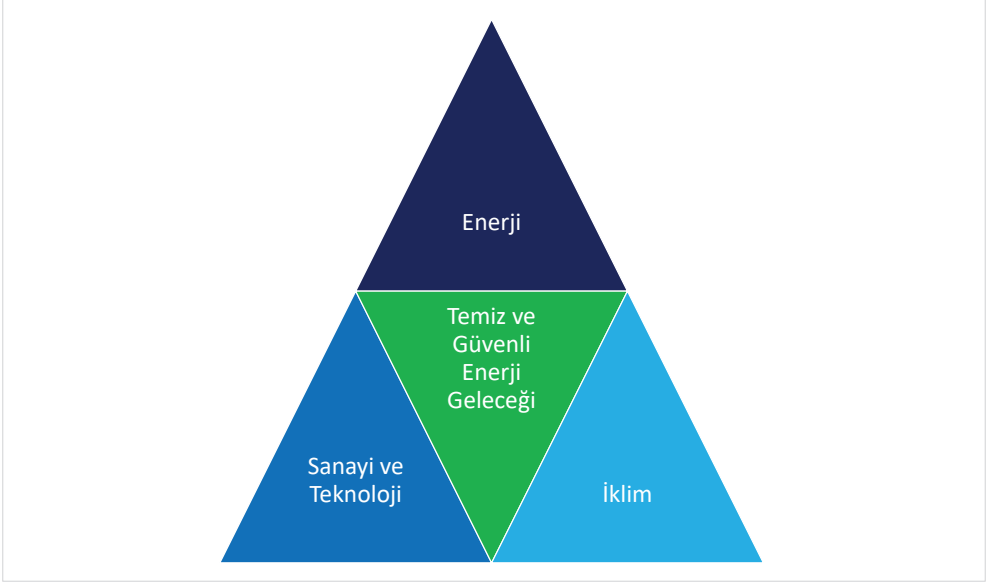
### 8.1.1. Politika Hedefleri ve Yol Haritaları

Dünya derin bir enerji krizinden geçerken, yenilenebilir enerjinin enerji ekonomisine katkıları dünya genelinde daha belirgin duruma gelmektedir. Sanayilerde rekabetçi ve öngörülebilir elektrik tedarikini güçlendiren ve konutlarda enerji maliyetlerindeki yükselişleri azaltıcı yönde etki yapan yenilenebilir enerji, teknolojik gelişim, maliyet iyileşmeleri ile birlikte elektrik piyasalarında lider yatırım alanı niteliğini güçlendirerek sürdürmektedir. Enerji depolama teknolojilerindeki gelişmeler ve temiz enerji dönüşümünde yeşil hidrojen üretimine yönelik oluşan yeni ihtiyaçlar da yenilenebilir elektrik geleceğinde güçlü büyümeyi desteklemektedir.

Türkiye’de yenilenebilir enerjinin yaygın kullanımı uzun dönemdir enerji politikalarının ana öncelikleri arasında yer almaktadır. Kurulu güç içerisinde yenilenebilir kaynak payı %50’yi aşarken, hidrolojinin olumlu geliştiği dönemlerde yenilenebilir enerjinin toplam elektrik üretimine katkısı %40’ın üzerine çıkmaktadır. Hazırlanan uzun vadeli yeni Enerji Planı’nın da yenilenebilir elektrik üretimini öncelikli gelişim alanları içerisinde konumlandırması öngörülmektedir. Hazırlıkları başlayan 12. Kalkınma Planı’nın, enerji arz güvenliği, enerji teknolojileri gibi başlıklarda daha güvenli ve temiz enerji geleceğine ilişkin stratejilere öncelik vermesi, hazırlıkları devam eden Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı’nın da tüm sektörlerde verimli enerji talep gelişimini desteklemesi beklenmektedir.

Diğer taraftan, Türkiye 2053 yılında net-sıfır emisyon düzeyine ulaşmak ile ilgili hedefini açıklamıştır. 2022 yılı içerisinde gerçekleşen COP27 toplantılarında da emisyonların 2038 yılında tepe noktasına ulaşması yönünde niyet beyan edilmiştir. Karbondan arındırılması elektrik üretimine göre daha zorlu olan sanayi ve ulaştırma gibi nihai enerjisi tüketicisi sektörler dikkate alındığında, söz konusu perspektif elektrik üretim portföyünün 2038 yılından önce net-sıfır emisyon noktasına ulaştırılması gerekliliğine işaret etmektedir. Bu gelişim yenilenebilir enerji katkısında önemli bir büyüme ile sağlanabilecektir.

**Şekil 8.2. Güvenli ve Temiz Enerji Geleceğinde Kritik Politika Alanları**



Bu çalışmada sunulan modelleme perspektifi ve destekleyici analizler, Türkiye'nin yüksek yenilenebilir enerji potansiyelinin 2050 yılına kadar olan dönemde 250 GW'ın üzerinde yenilenebilir elektrik kurulu gücü oluşturabileceğini göstermiştir (2022 Kasım sonu itibarıyla yaklaşık 56 GW). Yenilenebilir enerji-odaklı elektrik üretim hamlesine ek olarak, nihai enerji tüketicisi tüm sektörlerde de henüz arzu edilen seviyede olmayan yenilenebilir enerji kullanımını artırmak yönünde önemli fırsatlar bulunmaktadır.

Örneğin sanayide biyokütle enerjisine dayalı alternatif yakıt kullanımının artırılması, jeotermal enerjinin bölgesel ısıtmada daha etkin ve yaygın kullanılması, güneş enerjisinin binalarda ve sanayide ısı amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması ve havacılık sektörünün temiz enerji dönüşümünü destekleyecek sürdürülebilir yakıtlar ile desteklenmesi bu kapsamda öne çıkan yüksek potansiyelli fırsat alanlarıdır. IICEC analizleri, yenilenebilir enerjinin doğrudan kullanımda %5 olan payının üç kat artabileceğini, yenilenebilir enerjinin toplam katkısının da dört kat artışla %12'den %50'ye çıkabileceğini göstermektedir. Yüksek Senaryo ile sadece elektrik sektöründe yatırımlar yoluyla ithal fosil yakıt faturasında ve emisyon maliyetlerinde sağlanabilecek yıllık tasarruf çarpanı 10,9 olarak hesaplanmakta olup, net-sıfır emisyon perspektifini de güçlü şekilde destekleyen Yüksek Senaryo sanayinin temiz enerji odaklı büyümesi için de önemli fırsatlara zemin oluşturabilecektir.

Enerji güvenliğinde, enerjiye ilişkin dış ticaret dengelerinde, emisyonlarda ve temiz enerji dönüşümünde bu çok boyutlu katkıların uzun vadeli, somut ve ulaşılabilir hedefler ve yol haritaları ile desteklenmesi gerekmektedir. Özellikle enerji, iklim ve sanayi politikaları ve bunlar arasındaki ilişkiler, bu gelişim için kritik önem taşıyacaktır. 2030 ve 2050 yıllarına ilişkin somut hedeflerin açıklanması ve bu hedeflere yönelik performans göstergelerinin belirlenmesi yoluyla, elektrik üreticilerine, şebeke işletmecilerine, yatırımcılara ve finansman kuruluşlarına, teknoloji geliştiricilere ve ekosistemin diğer paydaşlarına finansman ve insan kaynağı gelişimi için yön gösterilmesi, ilgili yol haritalarının da söz konusu hedefleri destekleyecek yatırım ve iş modellerini, düzenleyici çerçeve prensiplerini, rekabetçi enerji piyasaları gelişimini ve teknoloji önceliklerinde etkin teşvik modellerini içererek enerji güvenliğini ve enerji sisteminin temiz enerji geçişini güçlendirmesi beklenmektedir (Şekil 8.2).

Türkiye’de katma-değeri yüksek sanayi sektörlerine dönüşüm içerisinde de temiz enerji teknolojilerinde önemli bir bölgesel aktör olma fırsatı bulunmaktadır. Enerji güvenliği denkleminin yeni bir düzeye taşındığı küresel enerji sisteminde, tedarik zincirlerinin güvenliğinin sağlanmasına ve enerjide ithalatçı konumun değer-odaklı ihracat fırsatlarına dönüştüğü önemli bir paradigma değişikliği yeni kazanımları da beraberinde getirecektir. E-mobilite ekosisteminin gelişimi, ısı pompaları yoluyla enerji verimli çözümlerin yaygınlaşması ve dağıtık yenilenebilir enerji üretimiyle gelişecek elektrik sistemleri, enerjide ithal fosil yakıt ağırlığının azaldığı daha sürdürülebilir bir enerji geleceğinin merkezinde konumlanacaktır.

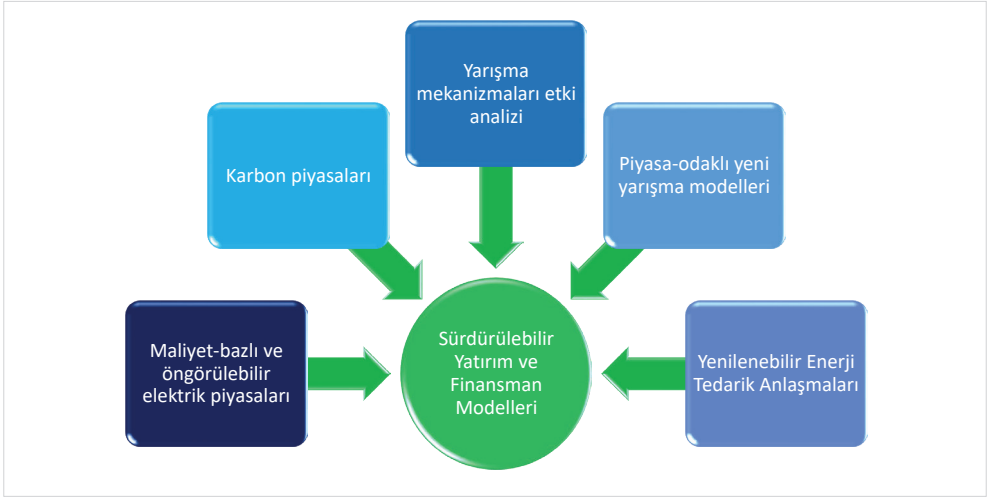
### 8.1.2 Enerji Piyasaları ve Yatırımlar

Türkiye elektrik sektörü son dönemde yıllık ortalama 4 GW büyüme kaydederken, 2017-2022 döneminde toplam artışın dörtte-üçünden fazlası yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak gerçekleşmiştir. Bu büyümede özellikle YEKDEM modeli ile geliştirilen projeler önemli katkı sunarken, son dönemde yapılabilir proje stoku daralmış ve arz-talep dengelerindeki sıkışma çerçevesinde kapasite artışlarının önemi artmıştır. Piyasada gözlenen temel zorluk, yenilenebilir enerji yatırımlarına finansman çekebilecek piyasa kurgularının yeterli işlerliği ve çeşitliliği sağlayamamasıdır.

Dolayısıyla, uygulanan teşvik ve yarışma modellerine ilişkin kapsamlı bir etki analizi yapılarak, yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli uyumlu, kalıcı büyümeyi destekleyecek yatırım ve finansman modellerinin geliştirilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Halen doğal gaz fiyatlarına yüksek oranda bağımlı olan elektrik piyasasında fiyat oluşumu da, küresel ve bölgesel piyasalardaki arz ve talep değişkenlikleri nedeniyle öngörülebilirlik ve toplam maliyelerin yönetimi bakımından yeni zorluklar ortaya koymaktadır.

Elektrik piyasasında rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı yeni yatırımları güçlendirecek bir diğer gelişim alanı izin ve onay süreçlerinde görülmektedir. Bu süreçlerin mümkün olan seviyede sadeleştirilmesi, projelerin elektrik üretimine dönüşüm sürelerini kısaltırken elektrik arz talep dengesinde fosil yakıt ağırlığını azaltarak enerji ithalatının ve karbon yoğunluğunun eş zamanlı olarak düşürülmesine katkı sunacaktır.

**Şekil 8.3. Yenilenebilir Enerjide Yüksek Büyüme İçin Gelişim Alanları**



Dünya genelinde temiz enerji odaklı yeni girişimler, net-sıfır emisyon taahhütleri ve çevresel ve sosyal yönden daha sürdürülebilir yatırım seçeneklerine olan finansman yönelimi, Türkiye’de yenilenebilir enerji proje stokunun gelişimi için önemli fırsatlar sunabilecektir. Bu çerçevede yenilenebilir enerjide kapasite, üretim ve üretim katkısına ilişkin somut hedefler, elektrik sektörünün karbondan arındırılmasına ilişkin yol haritaları, yeni finansman modelleri, yatırımları artan oranlarda Türkiye piyasasına çekebilecektir. Avrupa’da yapısal olarak hızlı bir gelişim gösteren karbon piyasalarının da, Türkiye koşullarına uygun şekilde hayata geçirilmesi yenilenebilir enerji yatırımlarının ekonomisini güçlendirecek bir diğer önemli gelişme alanı olacaktır.

Merkezi yarışma modellerine ek olarak son dönemde gelişmiş piyasalarda öne çıkan bir diğer model ise kurumsal yenilenebilir enerji tedarik anlaşmaları (YETA) yaklaşımıdır. Yenilenebilir elektrik üreticilerine yatırımlarında öngörülebilirlik sağlayan bu model, enerji talebinin karşılanmasında gerek arz güvenliğine ilişkin maliyetlerin gerekse de temiz enerji dönüşümü maliyetlerinin yönetimi bakımından sanayi sektörlerine de önemli fırsatlar sunmaktadır. Söz konusu modele ilişkin altyapının ve genel çerçevenin oluşumunun rüzgar, güneş, jeotermal ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında hem mevcut yatırımlar hem de yeni yatırım fırsatları için piyasa-bazlı bir seçenek olarak rekabetçi ve sürdürülebilir büyümeye katkı sağlaması beklenmektedir.

Gelecekte yenilenebilir enerji ağırlıklı bir yapıya doğru gelişecek elektrik piyasasının maliyet bazlı gelişimi de önem taşımaktadır. İhtiyaç duyan tüketici gruplarına belirlenen desteklerin piyasa işleyişini bozmayan doğrudan katkılar şeklinde gerçekleştirilmesi piyasanın öngörülebilir gelişimini güçlendirecektir (Şekil 8.3).

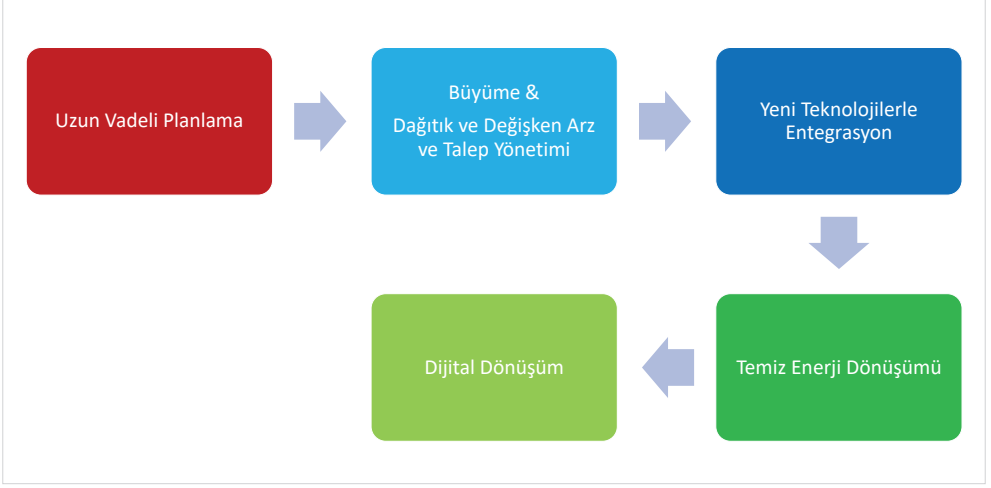
### 8.1.3. Elektrik Şebekeleri

Elektrik şebekeleri, arzdan talebe iyi işleyen elektrik sistemlerinin an omurgasını oluşturmaktadır. Türkiye elektrik iletim sistemi 73.000 km'nin üzerine ulaşan hat uzunluğu ve 800'e yakın trafo sayısı ile Avrupa'nın en büyük yüksek ve orta gerilim şebekeleri arasında yer almaktadır. Elektrik dağıtım sistemi ise 2021 yılı sonu itibarıyla 1.400 km'ye yaklaşan hat uzunluğu ve 500.000'in üzerinde trafo ile gelişen elektrik altyapısını desteklemeye devam etmektedir. Enerji ekonomisi içerisinde artan elektrifikasyon, dijitalleşme, e-mobilite gibi trendler ile birlikte elektrik şebekelerinin güçlendirilmesi gerekliliğini pekiştirmektedir.

Son dönemde bağlantı kapasitelerinin Türkiye'nin yüksek rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ile uyumlu gelişim göstermemiş olması, günümüzde elektrik şebekeleri ile ilgili temel zorlukların başında gelmektedir. Yarışmalara konu bağlantı kapasiteleri için oluşan fiyatlar yapılabılır proje stokunda arzu edilen büyümeyi sağlamazken yarışmasız kapasite tahsislerine yönelik girişimler de beklenen yatırım gerçekleştirmeleri ile sonuçlanmamaktadır. Kullanılmayan kapasiteler, kapasite tahsislerinin yetersizliği gibi etkenler yenilenebilir enerjide büyümeyi yavaşlatmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir elektrik üretiminin katkısının artırılmasında, şebekelere yönelik iyileştirmelerin kritik rol üstlenmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji odaklı üretim gelişim perspektifini destekleyecek uzun vadeli iletim sistem planlamalarının hayata geçirilmesinin ve iletim sisteminde gerekli genişleme, dönüşüm ve modernleşme yatırımlarının söz konusu büyümeyi sağlayacak şekilde gerçekleştirilmesinin önem taşıyacağı düşünülmektedir. Dağıtım şebekelerinin de önümüzdeki dönemde dağıtık elektrik üretiminde artış, e-mobilite gelişmeleri, ısı pompaları gibi sistemlerde yaygınlaşma yoluyla artan elektrifikasyon sonucunda mevcut kurgunun ötesinde bir yaklaşım ile geliştirilerek, daha yenilikçi bir düzleme taşınması gerekmektedir. Elektrik dağıtım sistem işletmeciliği perspektifiyle, dijitalleşmeyi ve yenilikçi iş modellerini odağına alan, uzun vadeli planlamalar ile desteklenen yatırım ve işletme mekanizmalarına daha fazla işlerlik kazandırılması beklenmektedir.

Kesintili yenilenebilir elektrik üretimi ile arz tarafında, elektrikli araçlar ve ısı pompaları ile talepte artacak değişkenlikler, arz güvenliğinin ve sistem dengesizliklerin yönetimine ilişkin ekonomik çözümlerin önemini artıracaktır. Bu kapsamda, uzun süredir üzerinde çalışılmakla birlikte henüz yeterli işlerlik kazanmayan talep tarafı uygulamalarının, enerji depolama çözümlerinin gelişimine ilişkin mevzuat altyapılarının geleceğin daha dağıtık ve dijital elektrik sistemlerinde önemli rol üstlenmesi öngörülmektedir. Türkiye elektrik sisteminin esnekliğinin güçlendirilmesi bakımından kritik bir diğer gelişme de Avrupa elektrik sistemi ile enterkoneksiyon kapasitelerinin artırılması yoluyla sağlanabilecektir. Böylelikle gelişen bir elektrik sistemi içerisinde daha değişken arz ve talep dengelerinin yönetiminde, komşu elektrik sistemleri ile elektrik ticaretinde artış yoluyla da değer yaratılabilecektir.

**Şekil 8.4. Şebekelerde Gelişim ve Dönüşüm Perspektifi**



Nüfus artışı, genç nüfus, kentleşme ve mobilite trendleri, enerji ekonomisi içerisinde elektrik enerjisinin önemini güçlendirmektedir. Bu çalışmada sunulduğu gibi, 2050 yılına kadar olan dönemde nihai enerji tüketiminde elektrik enerjisinin payının iki kat artması ve bu artışın ağırlıklı olarak yenilenebilir enerjiden sağlanması, şebekelere ve nihai elektrik tüketiminde verimlilik çözümlerine yönelik yatırımlarda önemli artış sağlanması ile gerçekleşebilecektir. IICEC analizlerine göre toplam elektrik yatırımları içerisinde şebekelerin ve nihai elektrik tüketiminde verimlilik çözümlerinin %30 seviyesinde olan payının 2050 yılına doğru %40'lara taşınması gerekecektir. Dolayısıyla, düzenleyici çerçevenin ve şebeke işletmeciliğinin yeni yatırım modellerini öne çıkaran, aynı zamanda verimlilik fırsatları ile yenilenebilir enerjiyi buluşturan teknoloji çözümlerini teşvik edici yönde gelişiminin Türkiye'nin daha temiz ve güvenli enerji geleceği için değerli olacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan tüm sektörlerde gerçekleşmekte olan dijital dönüşüm elektrik talebini artırırken, şebekelerin geleceğe taşınmasında da önemli rol üstlenecektir. Geleceğin akıllı şebeke sistemlerinin sistem perspektifi içerisinde şebeke yatırımlarında, işletmecilikte ve özellikle kaynakların verimli kullanımında önemli optimizasyon fırsatları da sunması beklenmektedir (Şekil 8.4).

#### **8.1.4. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ve Diğer Temiz Enerji Teknolojileri**

Türkiye rüzgarda 12 GW kurulu güce yaklaşırken, rüzgar ekipmanları üretimi alanında da önemli aşama kaydetmiştir. Dört kanat ve yedi kule fabrikasına ek olarak Ar-Ge birimleri ve çeşitli imalat yetkinlikleri ile desteklenen sanayi envanteri gelişimini sürdürmektedir. Rüzgar ekipmanları ihracatının 2022 sonunda 1,5 milyar €'ya ulaşması beklenirken, henüz değerlendirilmemiş olan yüksek rüzgar potansiyelinin önümüzdeki dönemde Ar-Ge, istihdam ve yeni iş modelleri boyutları ile Türkiye ekonomisi için önemli fırsatlar sunabileceği düşünülmektedir.

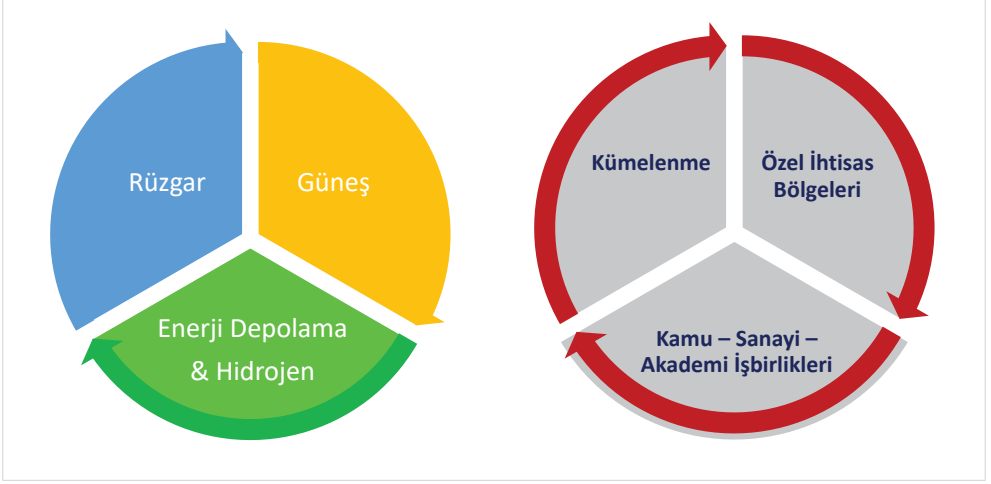


İzmir ve Kuzey Marmara gibi rüzgar üretim birimlerinde öncü yatırımların gerçekleştiği, imalat sanayi gelişiminin devam ettiği ve istihdamın yoğunlaştığı bölgelerin, yeşil hidrojen üretimi bakımından da değerli olacak lojistik altyapıları ile gelecekte daha fazla öne çıkabileceği görülmektedir. Türbin teknolojilerindeki önemli gelişmelerin ise Türkiye genelindeki tüm sahaların verimini artırarak ekonomik kaynak potansiyelini güçlendireceği tahmin edilmektedir. Türkiye'nin 100 GW üzerinde hesaplanan rüzgar potansiyeline dayalı kapasite gelişim perspektifi, yerli sanayi gelişim ivmesini ve rekabetçi Ar-Ge fırsatlarını da güçlendirmelidir. Örneğin, deniz üstü rüzgar teknolojilerinin önümüzdeki dönemde yeni bir teknoloji ve yatırım alanı olarak Türkiye sanayisinin gündemine gelmesi öngörülmektedir.

Güneş enerjisinde son dönemde yapılan yatırımlar neticesinde kurulu gücü 9 GW'ın üzerine ulaşan, panel üretim kapasitesi ise 10 GW'a yaklaşan Türkiye bu alanda Avrupa'da lider ve dünyada sayılı ülkeler arasına girmiştir. Mevcut teknolojilere göre daha verimli panellerin gelişimine yönelik çalışmalar dünya genelinde devam ederken, Türkiye'nin de bu alanlara kaynak ayırmasının potansiyelinin etkin değerlendirilmesine, iç pazardaki büyümenin desteklenmesine ve komşu bölgelerdeki güneş potansiyeli kapsamında rekabetçi ihracat yetkinliklerine de önemli fayda sağlaması beklenmektedir. Rüzgar teknolojilerinde olduğu gibi, güneş potansiyelinin de Türkiye'nin önümüzdeki dönemde ulaşım ve sanayi sektörlerinde oluşacak hidrojen talebinin karşılanmasında ve Avrupa'nın artan hidrojen talebinde önemli bir tedarikçi konumuna ulaşılmasında önemli rol oynayacağı düşünülmektedir.

Rüzgar ve güneş teknolojilerinin üretiminde sağlanan önemli gelişmelere karşın, enerji depolama, hidrojen üretimi gibi daha yeni alanlarda yerli sanayinin gelişimi henüz arzu edilen seviyede değildir. Yenilenebilir enerjide sürdürülebilir büyüme için kritik olan bu teknolojilere yönelik kurulumların artmasının hem sanayi envanterinin, hem de bunu destekleyecek insan kaynağının gelişimini hızlandıracağı düşünülmektedir. Önümüzdeki dönemde rüzgar ve güneş alanında yenilikçi teknolojileri öne çıkarması beklenen yatırım modellerinin, aynı zamanda batarya depolama, verimli elektrolizör teknolojileri gibi sistemlerde yetkinlikleri de içerecek şekilde kurgulanmasının Türkiye enerji sisteminin temiz enerji hedeflerinde bölgesel ve küresel rekabetçiliğini güçlendireceği düşünülmektedir. Bu alanlarda kümelenme benzeri yaklaşımlar ve özel ihtisas bölgeleri modelleri kamu ve sanayi iş birliklerini zenginleştirecektir (Şekil 8.5). Sanayi ve akademi ortaklığında geliştirilecek tematik projeler yoluyla da yetkin insan kaynağının temiz enerji teknolojileri üretimine kazandırılması sağlanabilecektir. Net-sıfır emisyon perspektifini destekleyecek bu tür iş birlikleri, ulusal ve uluslararası kaynaklardan finansman sağlayabilmesine yönelik imkanları da artıracaktır.

Şekil 8.5. Kritik Teknolojiler ve Gelişim Platformları



### 8.1.5. Nihai Enerji Tüketicisi Sektörler

Kişi başına enerji tüketimi halen OECD ortalamasının yaklaşık yarısı olan Türkiye’de, yenilenebilir enerjinin nihai enerji talep hizmetlerine doğrudan katkısı %5 seviyesindedir. Henüz değerlendirilmemiş yüksek jeotermal ve güneş potansiyeli ile bu katkının hızla artırılması yönünde önemli fırsatlar bulunmaktadır. Türkiye jeotermal kaynaklar bakımından dünya liderleri arasında olmakla birlikte bölgesel ısıtma yapılan şehir sayısı oldukça sınırlıdır. Jeotermal enerjinin binaların toplam enerji talebindeki payı %3 seviyesindedir. IICEC analizleri, verimli bölgesel ısıtma ve elektrik üretimi ile entegre jeotermal sistemler yoluyla bu katkının önemli oranda artabileceğine işaret etmektedir. Güneş enerjisinin sanayide ve binalarda kullanımında kısmen yaygınlık kaydedilmiş olmakla birlikte güneş enerjisinin nihai enerji talebine toplam katkısı %1’in altında gerçekleşmektedir. Biyokütle enerjisinin sürdürülebilir kullanımı ise mevcut uygulamalar ile çimento gibi sanayi sektörlerinde, gelecekte de sürdürülebilir yakıtların gelişimi ile havayolu taşımacılığında daha güvenli ve temiz enerji geleceği için önemli gelişim fırsatları sunmaktadır (Şekil 8.6).

Sanayide temiz elektrifikasyona ek olarak doğrudan yenilenebilir enerji tüketiminin artırılması ithal fosil yakıt yoğunluğunu düşürecektir. Bunun maliyetlere ilişkin risklerin yönetimine sağlayacağı katkılar aynı zamanda düşük karbonlu temiz enerji dönüşümü kapsamında ihracat-odaklı rekabetçilik kazanımlarına da önemli zemin oluşturabilecektir. Tarımsal sulamada verimli güneş enerjisi çözümleri ile yerinde tüketimin gelişimi, modern biyogaz tesislerinde gelişmeler, jeotermal seracılık ve kurutma sistemlerinin yaygınlaşması, gelecekte jeotermal ile lityum madenciliği gibi yenilikçi alanların gelişimi gibi başlıklar da yenilenebilir enerjinin Türkiye enerji dengeleri içerisindeki ağırlığını pekiştirecektir.

IICEC analizlerinde 2050 yılına kadar olan dönemde doğrudan yenilenebilir enerji katkısının üç kat artışla %15'e ulaşması ve 2050 yılında (Şekil 8.6) yenilenebilir elektrik de eklendiğinde toplam enerji talebinin yarısının yenilenebilir enerjiden karşılanabileceği görülmektedir. Bu yüksek büyüme patikası, sanayi, tarım, ulaşım, kentleşme gibi alanlarda yenilikçi enerji çözümlerini öne çıkaran iş birliklerinin ve yeni iş modellerinin gelişimi ile sağlanabilecektir.

### Şekil 8.6. Nihai Enerji Tüketiminde Yenilenebilir Enerjide Yüksek Potansiyel Alanları



#### 8.1.6. Bütüncül Verimlilik ve Dijitalleşme

Türkiye son dönemde nihai enerji tüketim sektörlerinde önemli verimlilik iyileşmeleri kaydetmektedir. Bununla birlikte sanayi sektörünün enerji-yoğun yapısı, eskiyen bina stoku, yaşlanan motorlu taşıt parkı, toplu taşıma seçeneklerinin azlığı gibi faktörler nedeniyle pek çok alanda önemli verimlilik iyileşme potansiyeli bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji odaklı yatırımların öncelikle enerjiye olan talep hizmetlerinde verimlilik anlayışı ile değerlendirilmesi Türkiye için kritik bir kazanım olacaktır. Böylelikle aynı kalitede ve konforda enerji talebi, arz tarafında daha az yatırım ile sağlanabilirken verimli talep büyümesi uzun vadeli maliyetlerin öngörülebilir yönetimi ve temiz enerji perspektifinin gerçekleştirilebilmesi için de önemli bir zemin oluşturacaktır.

Bu çalışmada Yüksek Senaryoda da öncelik verildiği üzere, binalarda yalıtım performansını iyileştirecek yeni finansman modellerinin, e-mobilitede büyümeye ek olarak araç parkında verimsiz araçların devreden çıkarılmasını teşvik edecek piyasa mekanizmalarının, ulaşım modları arası geçişleri ve toplu taşımayı arttıracak bütüncül enerji, ulaşım ve kentsel planlama politikalarının, sanayide düşük verimli elektrik motorları stokunda tematik bir verimlilik hamlesi yoluyla verimli dönüşümün Türkiye enerji sektörünün verimli büyümesine önemli katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Sanayide ve binalarda verimlilik yatırımlarında daha güçlü büyüme, dünyada iyi uygulama örnekleri yaygınlaşan ESCO modeli üzerinden sağlanabilecektir. Böylelikle, enerji tüketimlerinin ölçümlerinden doğru ekipman seçimine kadar pek çok teknik konuda yetkinliğe sahip piyasa aktörlerinin tüketici ihtiyaçları odaklı verimlilik yatırımlarının paydaşı olması sağlanırken, enerji yoğunluğunda düşüşler yoluyla enerji maliyetlerinde ve karbon ayak izinde kalıcı düşüşler gerçekleştirilebilecektir.

Enerji değer zincirinde arzdan talebe bütüncül yönetimin etkinliği için dijitalleşme önemli fırsatlar sunmaktadır. Sistem perspektifiyle sanayi kümelenmelerinde, kentsel trafikte mobilite davranışlarında olduğu gibi bina ve tesis bazında ileri veri analitiği ve dijitalleşme çözümlerinde yaygınlaşma, enerji arz güvenliği, hava kalitesi, enerji maliyetleri gibi alanlarda çok boyutlu fırsatlar sağlayabilecektir. Bu yönde farkındalığın artırılmasına yönelik çalışmaların, sektörün ana gündem maddeleri arasında yer almasında yarar görülmektedir (Şekil 8.7).

### Şekil 8.7. Yenilenebilir Enerjide Verim Odaklı Büyüme Modeli



#### 8.1.7. İnsan Kaynakları ve Girişimcilik

Enerji arzında yenilenebilir enerjinin rolünün arttığı bir enerji sisteminin başarısı için, uzun süredir konvansiyonel fosil kaynaklara dayalı gelişim gösteren ekosistemin nitelikli insan kaynağı perspektifini de içerecek şekilde sürdürülebilir dönüşümü gerekmektedir. Dünya genelinde yenilenebilir enerjide istihdam artmakla birlikte, gerek ilgili teknolojilerin geliştirilmesi gerekse de enerji sistemlerinin kurulumu ve işletilmesi bakımından yeni yetenek setlerinin önemi pekişmektedir. Dağıtıklaşan üretim sistemlerinin etkin işleyişi, büyük ölçekli üretim birimlerine göre daha modüler ve esnek yapıda olan tasarımların geliştirilmesi, değişken arz dinamiklerinin yönetimi için gerekli piyasa ve şebeke mimarilerinin oluşumu, enerji ekosisteminde disiplinler arası gelişmeler ile sağlanabilecektir. Önümüzdeki otuz yıllık dönemde yenilenebilir enerji kurulu gücünde beş kata yakın artış, istihdam için yeni fırsatları beraberinde getirirken, teknolojik, rekabetçi ve verimli kapasite gelişiminde yetenek havuzlarında büyümenin bu değişimi desteklemesi gerekecektir.

Türkiye için bu alanda öne çıkan odak alanları arasında yenilenebilir enerji sistemlerine odaklı mesleki gelişim programlarının yaygınlaştırılması ve üniversite – sanayi iş birlikleri içerisinde yenilenebilir enerji-odaklı profesyonel eğitim programlarının çeşitlendirilmesi sayılabilir. Özellikle yenilenebilir enerjide büyümenin güçlü gelişim göstermesi beklenen bölgelerde, yerel sanayi paydaşları ile eğitim kurumları arasındaki iş birlikleri, sosyal ve ekonomik kalkınmaya önemli girdi oluşturabilecektir.

Fosil yakıtlar bakımından zengin olmayan Türkiye son otuz yılda enerjide ithalat faturasından kaynaklı olarak makro ekonomik dengelere ve nihai enerji maliyetlerine etki eden zorlukları yaşamaktadır. Bununla birlikte Türkiye'nin yenilenebilir enerjide verimli ve yüksek büyüme için kritik potansiyelleri bulunmaktadır: zengin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve insan kaynağı potansiyeli. Yenilenebilir enerjide güçlü büyümeyi harekete geçirecek teknolojilerin önemli bir bölümünün henüz dünya genelinde gelişim aşamasında olması da, Türkiye'nin teknoloji-odaklı insan kaynakları altyapısına yatırım yapması için önemli bir gerekçe oluşturmaktadır.

Enerji gündeminde son dönemde öne çıkan başlıklardan birisini de temiz enerjide adil dönüşüm oluşturmaktadır. Fosil yakıt tabanlı istihdamın yenilenebilir enerji ve ilgili piyasa alanlarına yönlendirilmesi yoluyla istihdamda azalma olmaksızın sosyal gelişimi destekleyecek politikalara olan ihtiyaç artacaktır. Özellikle yenilenebilir enerji katkısının yüksek olacağı gelecekte, kömür santrallerine olan ihtiyaç azalırken bu alandaki istihdamın güneş, rüzgar, jeotermal enerji, termal depolama gibi alanlara kaydırılabilmesi, daha güvenli ve temiz enerji geleceğinin toplumsal kabulüne katkı sağlarken sosyal ve çevresel faydaları da güçlendirecektir.

Dünyada yenilenebilir enerji teknolojileri, son dönemde dijitalleşme çözümleri, e-mobilite, enerji depolama gibi alanlarla birlikte girişim sermayesinin değer yaratmak üzere en fazla odaklandığı alanlar arasında başta gelmektedir. Girişimcilik ekosisteminde örnek uygulamaların sayısında artış sağlanabilmesinin de Türkiye'nin yenilenebilir enerjide yüksek büyüme hikayesinin ana aktörlerinden birisi olabileceği değerlendirilmektedir (Şekil 8.8).

**Şekil 8.8. Yenilenebilir Enerjide Potansiyeli Performansa Dönüştürecek İnsan Kaynakları ve Girişimcilik Fırsatları**



## 8.2. IICEC Önerileri

IICEC, Türkiye'nin yenilenebilir enerjide ve ilgili teknolojilerde, enerji güvenliği, temiz enerji dönüşümü, rekabetçi ve teknoloji-odaklı sanayi gelişimi için çok boyutlu fırsatlar sunan, yüksek büyüme potansiyelinin değerlendirilmesi için,

1. 2050 yılında 250 GW'ın üzerinde toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü ile %85'in üzerinde yenilenebilir elektrik üretim payına, nihai enerji talebinde %50 toplam yenilenebilir payına ulaşılmasını ve buna yönelik yol haritalarının, kaynaklar, teknolojiler ve sektörler bazında belirlenmesini,
2. Verimli, derinlikli, maliyetleri yansıtan, öngörülebilir bir elektrik piyasası işleyişinin sağlanmasını, sürdürülebilir yatırım ve finansman modellerinin geliştirilmesini, böylelikle proje stokunda güçlü büyümenin sağlanmasını,
3. Elektrik sisteminin omurgasını oluşturan şebekelerin kapasitesinin ve esnekliğinin, uzun vadeli dinamik planlama ile desteklenen, teknoloji-odaklı yatırımlar ile güçlendirilmesini,
4. Rüzgar ve güneş teknolojilerinde gelişimin, tedarik zincirlerinin sürdürülebilirliğini, Türkiye'nin bölgesel temiz enerji teknolojileri üretim üssü olmasını destekleyecek şekilde sürdürülmesini; enerji depolama ve yeşil hidrojen üretimi teknolojilerinde geliştirmelerin hayata geçirilmesini,
5. Binalarda, sanayide, ulaşımda ve diğer enerji tüketicisi sektörlerde, temiz elektrifikasyona ek olarak, doğrudan yenilenebilir enerji katkısının da en az üç kat artırılmasını temin ederek enerji güvenliği ve temiz enerji dönüşümünün desteklenmesini,
6. Değer zincirinde enerji verimliliği potansiyelinden ve dijitalleşme çözümlerinden faydalanılarak yenilenebilir enerji ekosistemindeki büyümenin yüksek katma değerli fırsatlara dönüştürülmesini,
7. Yenilenebilir enerjide güçlü ve sürdürülebilir büyümeyi ve rekabetçiliği destekleyecek, nitelikli insan kaynağı ve yetenek havuzunun ve girişimcilik ekosisteminin geliştirilmesini önermektedir.





EKLER

- **EK A:** Temel Politika Belgeleri ve Veri Kaynakları
- **EK B:** Dönüşüm Faktörleri
- **EK C:** Kısaltmalar
- **EK D:** Fosil Yakıt Fiyatları
- **EK E:** Senaryo Sonuçları

## EK A:

### Temel Politika Belgeleri ve Veri Kaynakları

- Cumhurbaşkanlığı Kalkınma Planları
- Bakanlıkların Stratejik Planları (2019 – 2023)
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) Enerji Denge Tabloları (1990 – 2021)
- ETKB Raporları
- EPDK Sektör Raporları
- TEİAŞ İstatistikleri ve Raporları
- EPIAŞ Şeffaflık Platformu
- UNFCCC'ye sunulan Türkiye Emisyon Envanteri Raporları
- ELDER İstatistikleri ve Raporları
- TÜREB İstatistikleri ve Raporları
- JED İstatistikleri ve Raporları
- TÜİK İstatistikleri
- IEA İstatistikleri
- OECD İstatistikleri
- UN İstatistikleri
- Eurostat İstatistikleri
- World Bank Group İstatistikleri
- IICEC Turkey Energy Outlook Modeli
- IICEC veri tabanı ve pazar araştırmaları
- Sektör paydaşları ile görüşmeler ve diğer sektörel raporlar

## EK B:

### Dönüşüm Faktörleri

	EJ	Gcal	Mtep	Mbtu	GWh	
EJ	1	$2.388 \times 10^{-8}$	23,88	$9,478 \times 10^8$	$2,788 \times 10^5$	
Gcal	$4,1868 \times 10^{-9}$	1	$10^{-7}$	3,968	$1,163 \times 10^{-3}$	
Mtep	$4,1868 \times 10^{-2}$	$10^7$	1	$3,968 \times 10^7$	11630	
Mbtu	$1,0551 \times 10^{-9}$	0,252	$2,52 \times 10^{-8}$	1	$2,931 \times 10^{-4}$	
GWh	$3,6 \times 10^{-6}$	860	$8,6 \times 10^{-5}$	3412	1	

## EK C:

### Kısaltmalar

ACEA:	Avrupa Otomobil Üreticileri Birliği
APS:	IEA Announced Policies Scenario
BM:	Birleşmiş Milletler
BNEF:	Bloomberg New Energy Finance
BNEF:	Bloomberg Yeni Enerji Finansmanı
CCUS:	Karbon Yakalama ve Depolama
CO2e:	Karbon Dioksit Eşdeğeri
ÇŞB:	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DAC:	Direct Air Capture
ELDER:	Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneği
ENTSO-E:	Avrupa Elektrik İletim Sistemi Operatörleri Ağı
EPDK:	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPIAŞ:	Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
ETKB:	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EU:	Avrupa Birliği
EÜAŞ:	Elektrik Üretim A.Ş.
EÜD:	Elektrik Üreticileri Derneği
GENSED:	Güneş Enerjisi Sanayicileri ve Endüstrisi Derneği
GSYİH:	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GÜNDER:	Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu Türkiye Bölümü
GÜYAD:	Güneş Enerjisi Yatırımcıları Derneği
HESİAD:	Hydroelektrik Santralleri Sanayi İş Adamları Derneği
IEA:	Uluslararası Enerji Ajansı
IRENA:	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı

IPCC:	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
JED:	Jeotermal Enerji Derneği
KGM:	Karayolları Genel Müdürlüğü
MAPEG:	Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
MIT:	Massachusetts Institute of Technology
NDC:	Niyet Edilen Ulusal Katkı
NOx:	Azot Oksitler
NREL:	Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı
NZE:	IEA Net Zero Emissions Scenario
OECD:	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OIES:	Oxford Enerji Araştırmaları Enstitüsü
PDH:	Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral
PTF:	Piyasa Takas Fiyatı
SKA:	Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları
SO2:	Kükürt Dioksit
TCMB:	Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası
TEİAŞ:	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TÜİK:	Türkiye İstatistik Kurumu
TÜREB:	Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
UNFCCC:	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
US DOE:	ABD Enerji Bakanlığı
WEC:	Dünya Enerji Konseyi
WEF:	Dünya Ekonomik Forumu
WHO:	Dünya Sağlık Örgütü
World Bank:	Dünya Bankası
YEKA:	Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları
YEKDEM:	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

## EK D:

### Fosil Yakıt Fiyatları

2021\$ reel	IEA APS <sup>1</sup> Senaryosu			
	2010	2021	2030	2050
IEA ham petrol (\$/varil)	96	69	64	60
Doğal Gaz (AB, \$/MBtu)	9	9,5	7,9	6,3
Kömür (AB, \$/ton)	113	120	62	53

<sup>1</sup> IEA Announced Policies Scenario (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/global-energy-and-climate-model-2022-key-input-data>)





**EK E:**

Senaryo Sonuçları

## Senaryolarda Kurulu Güç Gelişimi

GW	Mutlak Değer				
<b>Elektrik</b>	<b>2021</b>	<b>2030</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2050</b>
		<b>Yavaş</b>	<b>Yüksek</b>	<b>Yavaş</b>	<b>Yüksek</b>
<b>Puant Talep</b>	<b>56,3</b>	<b>77,0</b>	<b>73,7</b>	<b>160,5</b>	<b>134,3</b>
<b>Kurulu Güç</b>	<b>99,8</b>	<b>146,2</b>	<b>155,1</b>	<b>296,3</b>	<b>294,1</b>
Yenilenebilir	53,6	91,6	101,9	224,9	264,5
Hidro	31,5	35,6	36,1	41,5	42,0
Rüzgar	10,6	22,0	25,9	65,9	80,2
Güneş	7,8	28,4	32,2	105,7	128,9
Biyokütle	2,0	3,5	3,6	6,2	6,8
Jeotermal	1,7	2,1	4,1	5,6	6,6
Nükleer	-	4,8	4,8	18,3	12,4
Kömür	20,4	21,8	21,8	16,8	-
Doğal Gaz	25,6	28,0	26,5	36,4	17,2
Petrol	0,3	-	0,1	-	-
Yerli	63,7	101,7	112,0	230,0	264,5
İthal	36,1	44,4	43,0	66,3	29,6
Düşük Karbon	53,6	96,4	106,7	243,2	276,9
Fosil Yakıtlar	46,2	49,8	48,4	53,2	17,2
Güneş ve Rüzgar	18,4	50,4	58,1	171,6	209,1

## Senaryolarda Brüt Elektrik Üretimi Gelişimi

TWh	Mutlak Değer				
Elektrik	2021	2030 Yavaş	2050 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek
Tüketim	331,7	451,7	432,5	878,1	747,6
Üretim	334,7	451,7	432,5	878,1	747,6
Yenilenebilir	1199	219,5	257,0	539,5	647,8
Hidro	55,9	76,1	77,2	68,3	70,7
Rüzgar	31,4	63,6	74,9	190,5	235,4
Güneş	13,9	52,2	62,1	217,3	268,4
Biyokütle	7,8	13,8	14,2	24,4	26,8
Jeotermal	10,8	13,8	28,7	38,9	46,5
Nükleer	-	33,6	33,6	128,2	86,9
Kömür	103,4	114,4	76,2	88,1	-
Doğal Gaz	111,2	84,1	65,4	122,2	12,9
Petrol	0,3	-	0,2	-	-
Yerli	168,3	272,8	292,5	566,5	647,8
İthal	166,4	178,8	139,9	311,5	99,8
Düşük Karbon	1199	253,2	290,7	667,7	734,7
Fosil Yakıtlar	214,8	198,5	141,8	210,3	12,9
Güneş ve Rüzgar	45,4	115,8	136,9	407,8	503,8

## Senaryolarda Kurulu Güç Portföyünün Gelişimi (%)

%	Pay				
<b>Elektrik Kurulu Gücü</b>	<b>2021</b>	<b>2030 Yavaş</b>	<b>2030 Yüksek</b>	<b>2050 Yavaş</b>	<b>2050 Yüksek</b>
Yenilenebilir	54%	63%	66%	76%	90%
Hidro	32%	24%	23%	14%	14%
Rüzgar	11%	15%	17%	22%	27%
Güneş	8%	19%	21%	36%	44%
Biyokütle	2%	2%	2%	2%	2%
Jeotermal	2%	1%	3%	2%	2%
Nükleer	0%	3%	3%	6%	4%
Kömür	20%	15%	14%	6%	0%
Doğal Gaz	26%	19%	17%	12%	6%
Petrol	0%	0%	0%	0%	0%
<i>Yerli</i>	64%	70%	72%	78%	90%
<i>İthal</i>	36%	30%	28%	22%	10%
<i>Düşük Karbon</i>	54%	66%	69%	82%	94%
<i>Fosil Yakıtlar</i>	46%	34%	31%	18%	6%
<i>Güneş ve Rüzgar</i>	18%	34%	37%	58%	71%

## Senaryolarda Elektrik Üretim Portföyünün Gelişimi (%)

%	Pay				
	2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek
<b>Elektrik Üretimi</b>					
Yenilenebilir	36%	49%	59%	61%	87%
Hidro	17%	17%	18%	8%	9%
Rüzgar	9%	14%	17%	22%	31%
Güneş	4%	12%	14%	25%	36%
Biyokütle	2%	3%	3%	3%	4%
Jeotermal	3%	3%	7%	4%	6%
Nükleer	0%	7%	8%	15%	12%
Kömür	31%	25%	18%	10%	0%
Doğal Gaz	33%	19%	15%	14%	2%
Petrol	0%	0%	0%	0%	0%
<i>Yerli</i>	50%	60%	68%	65%	87%
<i>İthal</i>	50%	40%	32%	35%	13%
<i>Düşük Karbon</i>	36%	56%	67%	76%	98%
<i>Fosil Yakıtlar</i>	64%	44%	33%	24%	2%
<i>Güneş ve Rüzgar</i>	14%	26%	32%	46%	67%

## Senaryolarda Kurulu Güç Farkları

GW									2050 Senaryo Farkları	
Elektrik	1990	2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2040 Yavaş	2040 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek	Oran	Mutlak Değer (GW)
Puant Talep	9,2	56,3	77,0	73,7	113,6	100,1	160,5	134,3	-16%	- 26,2
Kurulu Güç	16,3	99,8	146,2	155,1	213,0	224,4	296,3	294,1	-1%	- 2,2

Yenilenebilir	6,8	53,6	91,6	101,9	151,7	180,6	224,9	264,5	18%	39,7
Hidro	6,8	31,5	35,6	36,1	40,0	40,3	41,5	42,0	1%	0,5
Rüzgar	-	10,6	22,0	25,9	41,7	53,3	65,9	80,2	22%	14,3
Güneş	-	7,8	28,4	32,2	61,7	76,3	105,7	128,9	22%	23,2
Biyokütle	0,0	2,0	3,5	3,6	4,7	5,2	6,2	6,8	10%	0,6
Jeotermal	0,0	1,7	2,1	4,1	3,6	5,5	5,6	6,6	20%	1,1
Nükleer	-	-	4,8	4,8	10,5	9,6	18,3	12,4	-32%	- 5,9
Kömür	5,6	20,4	21,8	21,8	18,8	12,2	16,8	-	-100%	- 16,8
Doğal Gaz	2,2	25,6	28,0	26,5	32,0	22,0	36,4	17,2	-53%	- 19,2
Petrol	1,7	0,3	-	0,1	-	-	-	-	0%	-

## Senaryolarda Elektrik Üretimi Farkları

TWh	Mutlak Değer								2050 Senaryo Farkları	
	1990	2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2040 Yavaş	2040 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek	Oran	Mutlak Değer (TWh)
<b>Elektrik</b>										
<b>Brüt Tüketim</b>	56,4	331,7	451,7	432,5	645,8	572,2	878,1	747,6	-15%	-130,4
<b>Brüt Üretim</b>	57,5	334,7	451,7	432,5	645,8	572,2	878,1	747,6	-15%	-130,4
Yenilenebilir	23,3	119,9	219,5	257,0	355,9	442,7	539,5	647,8	20%	108,3
Hidro	23,1	55,9	76,1	77,2	76,7	77,4	68,3	70,7	3%	2,4
Rüzgar	-	31,4	63,6	74,9	119,8	154,1	190,5	235,4	24%	44,9
Güneş	-	13,9	52,2	62,1	116,2	152,2	217,3	268,4	24%	51,1
Biyokütle	0,0	7,8	13,8	14,2	18,5	20,5	24,4	26,8	10%	2,4
Jeotermal	0,1	10,8	13,8	28,7	24,6	38,5	38,9	46,5	20%	7,6
Nükleer	-	-	33,6	33,6	73,6	67,3	128,2	86,9	-32%	- 41,3
Kömür	20,2	103,4	114,4	76,2	98,6	32,0	88,1	-	-100%	- 88,1
Doğal Gaz	10,2	111,2	84,1	65,4	117,7	30,2	122,2	12,9	-89%	- 109,3
Petrol	3,9	0,3	-	0,2	-	-	-	-		
<b>Toplam</b>	<b>57,6</b>	<b>334,7</b>	<b>451,7</b>	<b>432,5</b>	<b>645,8</b>	<b>572,2</b>	<b>878,1</b>	<b>747,6</b>	<b>-15%</b>	<b>-130,4</b>
<i>Yerli</i>	42,8	168,3	272,8	292,5	393,4	452,1	566,5	647,8	14%	81,3
<i>İthal</i>	14,7	166,4	178,8	139,9	252,4	120,1	311,5	99,8	-68%	- 211,7
<i>Düşük Karbon</i>	23,2	119,9	253,2	290,7	429,5	510,0	667,7	734,7	10%	67,0
<i>Fosil Yakıtlar</i>	34,3	214,8	198,5	141,8	216,3	62,2	210,3	12,9	-94%	- 197,4
<i>Güneş ve Rüzgar</i>	-	45,4	115,8	136,9	236,0	306,3	407,8	503,8	24%	95,9
<i>Depolama</i>	-	-	6,5	3,2	13,0	9,8	33,5	36,9	10%	3,3

## Yüksek Senaryo Sonuçları Özeti

### Yüksek Senaryo

### Mutlak Değer

TWh	1990	2000	2010	2021	2030	2040	2050
<b>Elektrik Üretimi</b>	<b>57,5</b>	<b>124,9</b>	<b>211,2</b>	<b>334,7</b>	<b>432,5</b>	<b>572,2</b>	<b>747,6</b>
Yenilenebilir	<b>23,3</b>	<b>31,2</b>	<b>55,8</b>	<b>119,9</b>	<b>257,0</b>	<b>442,7</b>	<b>647,8</b>
Hidro	23,1	30,9	51,8	55,9	77,2	77,4	70,7
Rüzgar	-	0,0	2,9	31,4	74,9	154,1	235,4
Güneş	-	-	-	13,9	62,1	152,2	268,4
Biyokütle	0,0	0,2	0,5	7,8	14,2	20,5	26,8
Jeotermal	0,1	0,1	0,7	10,8	28,7	38,5	46,5
Nükleer	-	-	-	-	33,6	67,3	86,9
Kömür	20,2	38,2	55,0	103,4	76,2	32,0	-
Doğal Gaz	10,2	46,2	98,1	111,2	65,4	30,2	12,9
Petrol	3,9	9,3	2,2	0,3	0,2	-	-

Mtep	1990	2000	2010	2021	2030	2040	2050
<b>Nihai Enerji Tüketimi</b>	<b>39,7</b>	<b>57,5</b>	<b>73,9</b>	<b>115,4</b>	<b>123,5</b>	<b>139,2</b>	<b>146,5</b>
Elektrik	3,9	8,3	14,7	24,4	31,7	43,8	58,1
Yenilenebilir Elektrik	1,6	2,1	3,9	8,8	18,8	33,9	50,3
Doğrudan Yenilenebilir	7,6	7,4	6,2	5,6	8,8	14,3	23,0
<b>Toplam Yenilenebilir</b>	<b>9,2</b>	<b>9,4</b>	<b>10,1</b>	<b>14,4</b>	<b>27,6</b>	<b>48,2</b>	<b>73,3</b>



## Yüksek Senaryo Sonuçları Özeti

TWh	2021	2030 Yüksek	2050 Yüksek	Elektrik Üretimi (%)	2021	2030 Yüksek	2050 Yüksek
<b>Elektrik Üretimi</b>	<b>334,7</b>	<b>432,5</b>	<b>747,6</b>				
Yenilenebilir	<b>119,9</b>	<b>257,0</b>	<b>647,8</b>	Yenilenebilir	<b>36%</b>	<b>59%</b>	<b>87%</b>
Hidro	55,9	77,2	70,7	Hidro	17%	18%	9%
Rüzgar	31,4	74,9	235,4	Rüzgar	9%	17%	31%
Güneş	13,9	62,1	268,4	Güneş	4%	14%	36%
Biyokütle	7,8	14,2	26,8	Biyokütle	2%	3%	4%
Jeotermal	10,8	28,7	46,5	Jeotermal	3%	7%	6%

Mtep	2021	2030 Yüksek	2050 Yüksek	Nihai Enerji Tüketimi (%)	2021	2030 Yüksek	2050 Yüksek
<b>Nihai Enerji Tüketimi</b>	<b>115,4</b>	<b>123,5</b>	<b>146,5</b>				
Elektrik	24,4	31,7	58,1	Elektrik	21%	26%	40%
Yenilenebilir Elektrik	8,8	18,8	50,3	Yenilenebilir Elektrik	8%	15%	34%
Doğrudan Yenilenebilir	5,6	8,8	23,0	Doğrudan Yenilenebilir	5%	7%	16%
<b>Toplam Yenilenebilir</b>	<b>14,4</b>	<b>27,6</b>	<b>73,3</b>	<b>Toplam Yenilenebilir</b>	<b>12%</b>	<b>22%</b>	<b>50%</b>

## Nihai Enerji Talebinin Sektörel ve Kaynaklara Göre Gelişimi

1990									
mtep	Kömür	Petrol	Doğalgaz	Jeotermal	Diğer Isı	Güneş	Biyokütle	Elektrik	Toplam
Sanayi	6,8	3,8	0,7	-	-	0,0	-	2,4	13,6
Ulaşım	0,0	8,7	-	-	-	-	-	0,0	8,7
Binalar	3,3	3,0	0,0	0,4		0,0	7,2	1,4	15,3
Tarım	-	1,9	-	-	-	-	-	0,0	2,0
<b>Toplam</b>	<b>10,0</b>	<b>17,4</b>	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>	<b>-</b>	<b>0,0</b>	<b>7,2</b>	<b>3,9</b>	<b>39,7</b>

2000									
mtep	Kömür	Petrol	Doğalgaz	Jeotermal	Diğer Isı	Güneş	Biyokütle	Elektrik	Toplam
Sanayi	11,7	3,9	1,6	-	1,5	0,1	-	4,0	22,9
Ulaşım	0,0	11,9	0,0	-	-	-	-	0,1	12,0
Binalar	2,0	3,7	2,7	0,6		0,2	6,5	3,9	19,6
Tarım	-	2,8	-	-	-	-	-	0,3	3,1
<b>Toplam</b>	<b>13,7</b>	<b>22,4</b>	<b>4,3</b>	<b>0,6</b>	<b>1,5</b>	<b>0,3</b>	<b>6,5</b>	<b>8,3</b>	<b>57,5</b>

2010									
mtep	Kömür	Petrol	Doğalgaz	Jeotermal	Diğer Isı	Güneş	Biyokütle	Elektrik	Toplam
Sanayi	11,0	1,3	5,8	-	1,2	0,1	-	6,7	26,1
Ulaşım	-	16,0	0,3	-	-	-	0,0	0,1	16,3
Binalar	7,5	1,3	5,8	1,1		0,3	4,4	7,4	27,8
Tarım	-	2,9	0,0	0,3	-	-	-	0,5	3,7
<b>Toplam</b>	<b>18,5</b>	<b>21,4</b>	<b>11,8</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>	<b>0,4</b>	<b>4,4</b>	<b>14,7</b>	<b>73,9</b>

2021									
mtep	Kömür	Petrol	Doğalgaz	Jeotermal	Diğer Isı	Güneş	Biyokütle	Elektrik	Toplam
Sanayi	11,2	2,6	10,8	0,0	3,9	0,3	1,1	11,5	41,5
Ulaşım	0,0	29,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	30,6
Konut	3,7	0,4	13,8	0,9	0,0	0,6	1,5	5,3	26,1
Ticaret	0,8	0,5	3,9	0,5	0,1	0,0	0,0	6,4	12,1
Tarım	0,0	3,2	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0	1,1	5,1
<b>Toplam</b>	<b>15,8</b>	<b>36,7</b>	<b>28,9</b>	<b>2,0</b>	<b>4,0</b>	<b>0,9</b>	<b>2,8</b>	<b>24,4</b>	<b>115,4</b>

Yüksek Senaryo							
2030							
mtep	Diğer	Jeotermal	Diğer Isı	Güneş	Biyokütle	Elektrik	Toplam
Sanayi	21,4	-	3,9	0,5	1,3	13,4	40,5
Ulaşım	30,3	-	-	-	0,5	0,8	31,6
Binalar	24,5	2,9	-	0,9	1,6	16,3	46,2
Tarım	2,9	1,1	-	-	-	1,3	5,3
<b>Toplam</b>	<b>79,1</b>	<b>4,0</b>	<b>3,9</b>	<b>1,4</b>	<b>3,4</b>	<b>31,7</b>	<b>123,5</b>

Yüksek Senaryo							
2040							
mtep	Diğer	Jeotermal	Diğer Isı	Güneş	Biyokütle	Elektrik	Toplam
Sanayi	19,9	-	5,9	0,6	1,9	16,2	44,5
Ulaşım	28,0	-	-	-	1,4	5,1	34,5
Binalar	25,2	5,6	-	1,3	1,6	21,0	54,7
Tarım	2,2	1,9	-	-	-	1,4	5,5
<b>Toplam</b>	<b>75,3</b>	<b>7,5</b>	<b>5,9</b>	<b>1,9</b>	<b>4,9</b>	<b>43,8</b>	<b>139,2</b>

Yüksek Senaryo									
2050									
mtep	Kömür	Petrol	Doğalgaz	Jeotermal	Diğer Isı	Güneş	Biyokütle	Elektrik	Toplam
Sanayi	3,2	1,8	11,0	-	6,8	0,8	3,7	19,6	47,0
Ulaşım	-	18,7	0,4	-	-	-	3,1	12,4	34,6
Binalar	-	-	22,6	8,9	-	2,0	1,6	24,2	59,3
Tarım	-	0,7	0,2	2,8	-	-	-	1,9	5,6
<b>Toplam</b>	<b>3,2</b>	<b>21,2</b>	<b>34,3</b>	<b>11,7</b>	<b>6,8</b>	<b>2,8</b>	<b>8,4</b>	<b>58,1</b>	<b>146,5</b>

## Nihai Enerji Talebinin Sektörel Gelişiminin Kaynaklara Dağılımı (%)

1990						
%sektör	Doğrudan Diğer	Diğer Elektrik	Toplam Diğer	Doğrudan Yenilenebilir	Yenilenebilir Elektrik	Toplam Yenilenebilir
Sanayi	82,3%	10,5%	92,8%	0,1%	7,2%	7,2%
Ulaşım	99,7%	0,2%	99,9%	0,0%	0,1%	0,1%
Binalar	41,1%	5,6%	46,7%	49,5%	3,8%	53,3%
Tarım	97,5%	1,5%	99,0%	0,0%	1,0%	1,0%
<b>Toplam</b>	<b>70,9%</b>	<b>5,9%</b>	<b>76,8%</b>	<b>19,2%</b>	<b>4,0%</b>	<b>23,2%</b>

2000						
%sektör	Doğrudan Diğer	Diğer Elektrik	Toplam Diğer	Doğrudan Yenilenebilir	Yenilenebilir Elektrik	Toplam Yenilenebilir
Sanayi	82,0%	13,2%	95,2%	0,4%	4,4%	4,8%
Ulaşım	99,5%	0,4%	99,9%	0,0%	0,1%	0,1%
Binalar	42,7%	15,1%	57,8%	37,2%	5,0%	42,2%
Tarım	91,4%	6,4%	97,9%	0,0%	2,1%	2,1%
<b>Toplam</b>	<b>72,8%</b>	<b>10,8%</b>	<b>83,6%</b>	<b>12,8%</b>	<b>3,6%</b>	<b>16,4%</b>

2010						
%sektör	Doğrudan Diğer	Diğer Elektrik	Toplam Diğer	Doğrudan Yenilenebilir	Yenilenebilir Elektrik	Toplam Yenilenebilir
Sanayi	73,7%	19,0%	92,7%	0,5%	6,8%	7,3%
Ulaşım	99,7%	0,2%	99,9%	0,0%	0,1%	0,1%
Binalar	52,5%	19,7%	72,2%	20,7%	7,1%	27,8%
Tarım	78,2%	9,5%	87,7%	8,9%	3,4%	12,3%
<b>Toplam</b>	<b>71,7%</b>	<b>14,6%</b>	<b>86,3%</b>	<b>8,4%</b>	<b>5,3%</b>	<b>13,7%</b>

2021						
%sektör	Doğrudan Diğer	Diğer Elektrik	Toplam Diğer	Doğrudan Yenilenebilir	Yenilenebilir Elektrik	Toplam Yenilenebilir
Sanayi	69,0%	17,8%	86,8%	3,3%	9,9%	13,2%
Ulaşım	98,8%	0,3%	99,1%	0,7%	0,2%	0,9%
Konut	68,6%	13,0%	81,5%	11,2%	7,2%	18,5%
Ticaret	43,4%	33,9%	77,2%	3,9%	18,9%	22,8%
Tarım	65,1%	14,5%	79,6%	12,3%	8,1%	20,4%
<b>Toplam</b>	<b>73,9%</b>	<b>13,6%</b>	<b>87,5%</b>	<b>4,9%</b>	<b>7,6%</b>	<b>12,5%</b>

Yüksek Senaryo						
2030						
%sektör	Doğrudan Diğer	Diğer Elektrik	Toplam Diğerler	Doğrudan Yenilenebilir	Yenilenebilir Elektrik	Toplam Yenilenebilir
Sanayi	62,5%	13,4%	76,0%	4,3%	19,7%	24,0%
Ulaşım	96,0%	1,0%	97,0%	1,6%	1,5%	3,0%
Binalar	53,1%	14,3%	67,4%	11,7%	20,9%	32,6%
Tarım	55,2%	9,7%	64,9%	20,9%	14,2%	35,1%
<b>Toplam</b>	<b>67,2%</b>	<b>10,4%</b>	<b>77,6%</b>	<b>7,1%</b>	<b>15,3%</b>	<b>22,4%</b>

Yüksek Senaryo						
2040						
%sektör	Doğrudan Diğer	Diğer Elektrik	Toplam Diğer	Doğrudan Yenilenebilir	Yenilenebilir Elektrik	Toplam Yenilenebilir
Sanayi	57,9%	8,3%	66,2%	5,6%	28,2%	33,8%
Ulaşım	81,0%	3,4%	84,4%	4,1%	11,5%	15,6%
Binalar	46,1%	8,7%	54,8%	15,5%	29,7%	45,2%
Tarım	39,6%	5,9%	45,6%	34,2%	20,2%	54,4%
<b>Toplam</b>	<b>58,3%</b>	<b>7,1%</b>	<b>65,4%</b>	<b>10,3%</b>	<b>24,3%</b>	<b>34,6%</b>

Yüksek Senaryo						
2050						
%sektör	Doğrudan Diğer	Diğer Elektrik	Toplam Diğer	Doğrudan Yenilenebilir	Yenilenebilir Elektrik	Toplam Yenilenebilir
Sanayi	48,5%	5,6%	54,1%	9,7%	36,2%	45,9%
Ulaşım	55,3%	4,8%	60,1%	9,0%	31,0%	39,9%
Binalar	38,1%	5,4%	43,6%	21,1%	35,4%	56,4%
Tarım	0,0%	4,5%	4,5%	50,0%	29,0%	79,0%
<b>Toplam</b>	<b>44,1%</b>	<b>5,3%</b>	<b>49,4%</b>	<b>15,7%</b>	<b>34,3%</b>	<b>50,6%</b>





# TÜRKİYE YENİLENEBİLİR ENERJİ GÖRÜNÜMÜ | 2022



Sabancı  
Universitesi

IICEC

SABANCI UNIVERSITY  
ISTANBUL INTERNATIONAL  
CENTER FOR ENERGY AND CLIMATE

