



İSTANBUL
SANAYİ ODASI

Enerji Teknolojilerinde Dünyada ve Türkiye'de Görünüm ve Beklentiler Raporu

MAYIS 2025



**İSTANBUL
SANAYİ ODASI**

ENERJİ TEKNOLOJİLERİNDE DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE GÖRÜNÜM VE BEKLENTİLER RAPORU

2025

ISBN numarası: 978-625-6720-15-2

Baskı 500 Adet

Basım Yeri:

İMAK OFSET BASIM YAYIN A.Ş.

Akçaburgaz Mh. 137. Sk. No:12 34522

Esenyurt/İstanbul

Tel: (212) 800 13 13

<https://www.imakofset.com.tr>

Yayın No: 2025/3

Sertifika No: 52731

Mayıs 2025 / İstanbul

İSO Adresi: Meşrutiyet Cad. No:63 Odakule, 34430 Beyoğlu/İSTANBUL

Grafik Tasarım ve Uygulama:

Ersin GÜLEÇ

Tüm hakları İstanbul Sanayi Odası'na aittir.

Bu yayındaki bilgiler ancak kaynak gösterilmek suretiyle kullanılabilir.

RAPORUN HAZIRLANMASINA KATKIDA BULUNAN İSTANBUL SANAYİ ODASI ENERJİ YÖNETİMİ MECLİS ÇALIŞMA GRUBU ÜYELERİ

Rıdvan MERTÖZ

Meclis Çalışma Grubu Başkanı

İSO 49. Grup Enerji ve Elektrik Ekipmanları Sanayii Meclis Üyesi

Adem GENÇ

Meclis Çalışma Grubu Başkan Yardımcısı

İSO 4. Grup İnşaat Amaçlı Ürünler Sanayii Meclis Üyesi

Osman Sait GÜNTEKİ

Meclis Çalışma Grubu Üyesi

İSO 15. Grup Konfeksiyon Yan Sanayii Meclis Üyesi

Yalçın AYAYDIN

Meclis Çalışma Grubu Üyesi

İSO 17. Grup Dış Giyim Sanayii Meclis Üyesi

Mustafa Sabri TEVER

Meclis Çalışma Grubu Üyesi

İSO 23. Grup Orman Ürünleri Sanayii Meclis Üyesi

Kadir EFE

Meclis Çalışma Grubu Üyesi

İSO 36. Grup Demir Çelik ve Sıcak Hadde Ürünleri Sanayii Meclis Üyesi

Ayhan YEREKABAN

Meclis Çalışma Grubu Üyesi

İSO 37. Grup Alüminyum Ürünleri Sanayii Meclis Üyesi

Mehmet Reşit GÖĞÜŞ

Meclis Çalışma Grubu Üyesi

İSO 50. Grup Aydınlatma Donanımları Sanayii Meclis Üyesi

Cem SAVCI

Meclis Çalışma Grubu Üyesi

İSO 51. Grup İklimlendirme Ekipmanları Sanayii Meclis Üyesi

Proje Koordinatörü

İstanbul Sanayi Odası Genel Sekreterliği

Proje Danışmanı

APLUS Enerji Yatırım Danışmanlık Teknoloji ve Ticaret A.Ş.

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ	8
TABLolar LİSTESİ	8
KISALTMALAR	9
SUNUŞ	10
YÖNETİCİ ÖZETİ	12
İSO Enerji Yönetimi Meclis Çalışma Grubu	20
Enerji Teknolojilerinde Dünyada ve Türkiye’de Görünüm ve Beklentiler Projesi	21
Enerji Çalıştayı	22
GİRİŞ	24
1. MEVCUT DURUM ANALİZİ	26
1.1. Dünya’da Genel Görünüm	27
1.2. Türkiye’de Genel Enerji Görünümü ve Hedefleri	29
1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji Depolama	37
1.3.1. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Sektöründe Mevcut Durum	37
1.3.2. Enerji Depolama Sistemleri	40
1.3.3. Yerli Parça ve Ekipman Desteği	45
1.4. Termik Santraller	58
1.4.1. Dünyada Termik Enerji Görünümü	58
1.4.2. Türkiye’de Termik Enerjinin Tarihçesi ve Gelişimi	59
1.5. Nükleer Enerji, Mobil Santralleri ve Arz Güvenliği	67
1.5.1. Dünyada Nükleer Enerji Görünümü	67
1.5.2. Türkiye’nin Nükleer Enerji Tarihi ve Hedefleri	69
1.5.3. Türkiye’de Nükleer Sanayi ve Yerlilik	71
1.5.4. Mobil Enerji Kaynakları	73
1.6. Hidrojen Enerjisi ve Türkiye	75
1.6.1. Hidrojen Konusunda Dünyadaki Gelişmeler	75
1.6.2. Türkiye’de Hidrojen ve Hedefler	80
2. ENERJİ ÇALIŞTAYININ TEMEL ÇIKTILARI	84
2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji Depolama	85
2.1.1. Yenilenebilir Enerji Yatırımları Önündeki Engeller	85
2.1.2. Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji İmalat Sektörünün Gelişim Stratejileri ve Yerlilik Politikaları	86
2.1.3. Uluslararası Pazarlara Yönelik Rekabet ve İhracat	88
2.1.4. Üniversite-Sanayi İş Birliği	88
2.1.5. Karbon Fiyatlandırmasının Etkileri	89
2.1.6. Hidroelektrik Santrallerin Rolü	90
2.1.7. Akıllı Şebekeler	90

2.2. Termik Santraller	91
2.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Artışı ve Termik Santrallerin Rolü	91
2.2.2. Karbon Yakalama ve Depolama Teknolojilerinin Uygulanabilirliği	92
2.2.3. Karbon Ayak İzi Azaltma için Mevcut Teknolojilere Entegrasyon ve Düzenleyici Teşvikler	93
2.2.4. Âtıl Kapasitenin Yönetimi	94
2.3. Nükleer Enerji, Mobil Santralleri ve Arz Güvenliği	95
2.3.1. Arz Güvenliği ve Yeni Santral İhtiyacı	95
2.3.2. Nükleer Enerji ve Sanayi Gelişimi	95
2.3.3. Nükleer Santrallerin Proje Aşaması	96
2.3.4. Nükleer Santralin Güvenli Yönetimi	96
2.3.5. CERN'e Tam Üyelik Yoluyla Elde Edilebilecek Ek Bilgi Birikimi	97
2.3.6. Küçük Modüler Reaktörler	97
2.3.7. Uluslararası İş Birlikleri ve Ar-Ge Destekleri	97
2.3.8. Kamuoyu Bilinci ve İletişim Stratejileri	97
2.3.9. Mobil Enerji Kaynakları ve Jeneratör Üretimi	97
2.4. Hidrojen Enerjisi ve Türkiye	98
2.4.1. Hidrojenin Enerji Dönüşümünde Yeri	98
2.4.2. Türkiye'nin Hidrojen Hedefleri ve Hidrojenin Gelecekteki Yeri	98
2.4.3. Hidrojenin Kullanım Alanları	98
2.4.4. Yerli Üretim ve Ar-Ge Çalışmaları	99
2.4.5. Regülatif Çerçevenin Belirlenmesi ve Standardizasyon	99
2.4.6. Destekler	100
2.4.7. Hidrojen Sektöründeki Dünya Trendleri	100
2.4.8. Jeolojik Hidrojen	101
2.5. Özet Öneriler	101
2.5.1. Yenilenebilir Enerji Yatırım Süreçlerinin Hızlandırılması	101
2.5.2. Yenilenebilir Enerjide Yerlilik Politikaları	101
2.5.3. Yenilenebilir Enerjide Üniversite-Sanayi İş Birliğinin Artırılması	101
2.5.4. Termik Santrallerinin Yeni Enerji Sistemindeki Rolü	102
2.5.5. Âtıl Termik Kapasitenin Yönetimi	102
2.5.6. CCS Teknolojileri	102
2.5.7. Nükleer Enerjide Yerliliğin Geliştirilmesi	102
2.5.8. Küçük Modüler Nükleer Reaktörler	103
2.5.9. Yeşil Hidrojenin Enerji Dönüşümündeki Yerinin ve Kullanım Alanlarının Doğru Konumlandırılması	103
2.5.10. Yerli Elektrolizör Üretim Çalışmaları	103
2.5.11. Yeşil Hidrojen Konusunda Regülatif Çerçevenin Belirlenmesi ve Standardizasyon	103
KAYNAKÇA	104

ŞEKİLLER ve TABLOLAR

Şekil 1. 2023 Yılı Küresel Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılımı (Ekzajul)	27
Şekil 2. 2023 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılımı (BİN TEP)	29
Şekil 3. Türkiye'nin Yakın Dönem Enerji Hedefleri Tarihçesi	30
Şekil 4. Ulusal Enerji Planı'nda Kaynaklar Bazında Öngörülen Elektrik Üretiminin Dağılımı	31
Şekil 5. Ulusal Enerji Planı Altında Kaynaklara Göre Kurulu Güç Gelişimi	32
Şekil 6. Yıllık Sera Gazı Emisyonları	36
Şekil 7. Kaynak Türüne Göre Kurulu Güç Gelişimi	39
Şekil 8. Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Payı (%)	40
Şekil 9. Tamamlanan YEKA Rüzgâr İhaleleri	54
Şekil 10. Tamamlanan Güneş YEKA İhaleleri	55
Şekil 11. Ertelenen DRES (mavi) ve İptal Edilen GES-2 YEKA (sarı) İhaleleri	56
Şekil 12. Termik Santraller Kurulu Güç Kapasiteleri	62
Şekil 13. Türkiye'de Termik Kaynaklı Elektrik Üretimin Toplam Elektrik Üretimindeki Payı (TEİAŞ, 2014-2024)	63
Şekil 14. Küresel Emtia Fiyat Gelişimi	64
Şekil 15. Farklı Ülkelerin Belirledikleri Kömürden Çıkış Hedefleri	65
Şekil 16. Küresel Hidrojen Projeleri Gelişimi (Aralık 2020 – Mayıs 2024)	82

Tablo 1. Yakın Dönemli Resmi Enerji Hedefleri	30
Tablo 2. YEKDEM v1.0 Yerli Katkı Fiyatları	46
Tablo 3. YEKDEM v2.0 ve YEKDEM v3.0 için Yerli Katkı Oranları	48
Tablo 4. YEKDEM v3.0 ve Yerli Katkı Fiyatları	50
Tablo 5. 2024 Nihai YEK Listesine Göre YEKDEM'den ve Yerli Katkı Fiyatından Faydalanan Santraller	51
Tablo 6. Türkiye'de Faaliyet Gösteren 1 GW ve Üstü Yıllık Üretim Kapasitesine Sahip Panel Üreticileri	53
Tablo 7. Türkiye'de Faaliyet Gösteren Başlıca Kömür Santralleri	60
Tablo 8. Türkiye'de Faaliyet Gösteren Başlıca Doğal Gaz Santralleri	61
Tablo 9. Hidrojen Çeşitleri	76
Tablo 10. Üretim Kapasitelerine Göre Başlıca Hidrojen Elektrolizörü Üreticileri	77
Tablo 11. Elektrolizör Kapasite Hedefleri	79

KISALTMALAR

AB ETS: Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi

AB: Avrupa Birliği

Ar-Ge: Araştırma Geliştirme

BM: Birleşmiş Milletler

BMİDÇS: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

BOTAŞ: Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi

CCS: Carbon Capture and Storage (Karbon Yakalama ve Depolama)

CERN: Avrupa Atom Enerjisi Kurumu

ÇNAEM: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi

COP 29: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 29. Taraflar Konferansı

COP: Conference of Parties (Taraflar Konferansı)

DGKÇS: Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrali

DRES: Denizüstü Rüzgâr Enerjisi Santrali

EBRD: European Bank for Reconstruction and Development (Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası)

EPDK: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

EPIAŞ: Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi

ETKB: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

ETS: Emisyon Ticaret Sistemi

EÜAŞ: Elektrik Üretim Anonim Şirketi

EUR: Euro, Avrupa Birliği Para Birimi

EV: Electric Vehicle (Elektrikli Araç)

GES: Güneş Enerjisi Santrali

GTİP: Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu

GW: Gigawatt

HES: Hidroelektrik Santral

IEA: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)

İSO: İstanbul Sanayi Odası

KMR: Küçük Modüler Reaktörler

kWh: Kilowatt-saat

LNG: Liquefied Natural Gas (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz)

MMt: Milyon Metrik Ton

Mtep: Milyon Ton Petrol Eşdeğeri

MW: Megawatt, Kurulu Güç

MWe: Megawatt elektrik

MWh: Megawatt-saat

NDC: Nationally Determined Contributions (Ulusal Katkı Beyanı)

NGS: Nükleer Güç Santrali

NIATR: Nuclear Energy Association of Turkey (Nükleer Sanayi Derneği)

NSD: Nükleer Sanayi Derneği

NÜTED: Nükleer Teknik Destek Anonim Şirketi

OSB: Organize Sanayi Bölgesi

PV: Photovoltaic (Fotovoltaik)

RES: Rüzgâr Enerjisi Santrali

SKDM: Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması

TBMM: Türkiye Büyük Millet Meclisi

TEİAŞ: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

TEMSAN: Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş.

TES: Termik Enerji Santrali

TL: Türk Lirası

TOGG: Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu

TÜFE: Tüketici Fiyat Endeksi

TÜREB: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği

TWh: Terawatt-saat

UAEA: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı

ÜFE: Üretici Fiyat Endeksi

Ür-Ge: Ürün Geliştirme

USD: Amerikan Doları

YAL: Yük al

YAT: Yük at

YEK: Yenilenebilir Enerji Kaynakları

YEKA: Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları

YEKDEM: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması

YSİ: Yap-Sahip Ol-İşlet

Küresel bağlamda, elektrik talebindeki güçlü büyüme ve 2027 öngörülerindeki yükselme göz önüne alındığında yeni bir **"elektrik çağı"**nın yaşanacağını gösteriyor. 2027 için elektrik tüketimindeki bu artış; endüstriyel üretime, soğutma için daha fazla ihtiyaç duyulan klima kullanımına, elektrifikasyondaki artışa ve dijitalleşme sebebiyle dünyada veri merkezlerinin yaygınlaşmasına bağlıyor.

Küresel elektrik talebi 2024'te %4,3 artarken, 2027'ye kadar %4'e yakın bir oranda büyümeye devam etmesi bekleniyor. 2027'ye kadar artan elektrik talebinin çoğu, büyümenin %85'ini sağlaması beklenen gelişmekte olan ekonomilerden gelecek. Dolayısıyla, elektrik talebinin ana itici gücü konumundaki yükselen ekonomiler yakından takip edilmeli. Gelişmiş ekonomilerde, elektrik talebinin, ekonomilerde büyüme devam ederken bile 2009'dan beri nispeten sabit kalması ve hatta düşmüş olması, verimlilik kazanımlarının yanı sıra son on yılda enerji yoğun sektörlerin yeniden yapılandırılması ve taşınmasından kaynaklanıyor.

Yenilenebilir ve nükleerden elektrik üretiminin ilave küresel elektrik talebini giderek artan oranda karşılaması bekleniyor. Her geçen gün daha ucuz hale gelen güneş fotovoltaiklerinin (PV) hızla yaygınlaşmasının, 2027'ye kadar küresel elektrik talebi büyümesinin yaklaşık yarısını karşılaması bekleniyor. Nükleer güç üretiminde rekora giden artış Fransız nükleer güç üretimindeki toparlanma, Japonya'daki yeniden

başlama kararları ve Çin, Hindistan, Güney Kore ve diğer ülkelerde faaliyete geçen yeni reaktörlerle destekleniyor. COP 29'da da gündeme geldiği üzere, nükleer üretimindeki büyüme eğilimi, giderek artan sayıda ülke için düşük emisyonlu enerji sistemlerinde istikrarlı bir temel olarak karşımıza çıkarken, teknoloji adına politik arenaya güçlü bir şekilde geri döndüğüne şahit oluyoruz.

2024'te yaşanan fırtına, kuraklık ve sıcak hava dalgaları gibi aşırı hava koşulları; elektrik sistemleri üzerindeki etkileriyle iklim risklerine karşı altyapının dayanıklılığının artırılmasının önemini bir kez daha gösterdi. Kapasite yedekleme ve elektrik depolamaya sahip olmak, elektrik güvenliğini artırmak için elzem.

Yeşil hidrojen, geleceğin enerji dönüşümünde, karbon salımlarını minimize etme ve temiz enerjiye geçişi hızlandırma konusunda umut vaat eden kilit teknolojilerden biri. İlerleyen dönemlerde yeşil hidrojen üretimde kullanılan elektrolizörlerin maliyetlerinin hızla düşeceği ve üretim teknolojilerindeki gelişmelerle elektrik üretimi, ulaşım, ağır sanayi gibi pek çok sektörde yeşil hidrojenin yaygın olarak kullanılmaya başlanacağı öngörülmüyor.

Türkiye, son yıllarda küresel dönüşüm eğilimlerine paralel olarak enerji sektöründe büyük değişimlere imza atıyor. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığımız tarafından ortaya konan **"Enerji Dönüşümü-Yenilenebilir Enerji 2035"** vizyonu, fosil yakıtların yerini yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerjinin alacağına işaret ediyor.

Türkiye, yenilenebilir enerji bileşenlerinin üretiminde yerliliği ve sürdürülebilirliği artırmayı hedefleyen bir strateji izliyor. Bu çerçevede sağlanan yerli aksam destekleri, ülkenin enerji sektöründe dışa bağımlılığı azaltmak, yerli sanayiye güçlendirmek ve istihdamı artırmak için önemli bir araç olarak kullanılıyor.

Enerji depolama teknolojileri, Türkiye’de giderek artan yatırımlarla önemli bir sektör haline geliyor. Depolama sistemleri, mevcut enerji üretim ve tüketim dengesizliklerini giderme ve piyasadaki maliyetleri düşürme gibi avantajlar sunuyor.

İstanbul Sanayi Odası olarak; enerji alanındaki mevcut durumu, sektördeki yeni trendleri ve geleceğe dair öngörülerini analiz etmek amacıyla **"Enerji Teknolojilerinde Dünyada ve Türkiye’de Görünüm ve Beklentiler Raporu"** Projesini hayata geçirdik.

Katılımcı bir bakış açısını yansıtmak amacıyla 70’den fazla farklı kurumdan gelen temsilcilerin katılımıyla bir çalıştay düzenledik. Kamu kurumları, sanayi temsilcileri, akademisyenler, sektör profesyonelleri ve enerji alanında faaliyet gösteren çeşitli derneklerin temsilcilerinin katkılarıyla gerçekleşen bu çalıştayda enerji teknolojileri dört temada tartışıldı: Yenilenebilir Enerji ve Depolama, Termik Santraller, Hidrojen Enerjisi ve Nükleer Enerji.

2023 yılında **"İSO Enerji Yol Haritası"**nı ortaya koyduğumuzda, yenilenebilir enerjinin payının artırılması kadar sektörde yerli ve milli üretimi de önceliklerimizden biri olarak belirlemiştik. Bu bağlamda gerçekleştirilen rapor ve çalıştay, içinde bulunduğumuz enerji dönüşümü ve karbon sıfır hedefleri yolculuğunda Türkiye’de kapsamlı bir enerji ve sanayi stratejisinin oluşturulmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Fikir aşamasından itibaren yoğun bir emek içeren bu çalışma, çalıştay katılımcılarının sunduğu değerli katkıların ardından çok daha geniş bir bakış açısına ulaşmıştır.

Enerji vizyonumuza katkıda bulunan bu değerli çalışmanın ortaya çıkmasında emeği geçen; İSO Enerji Yönetimi Meclis Çalışma Grubumuza, raporun zenginleşmesine katkıda bulunan kamu ve özel sektörden tüm paydaşlarımıza ve raporun hazırlanmasına katkıda bulunan Aplus Enerji Danışmanlık firmasına teşekkür ediyor, raporun sanayimize ve tüm paydaşlarımıza faydalı olmasını ümit ediyorum.

Erdal BAHÇIVAN

İstanbul Sanayi Odası
Yönetim Kurulu Başkanı



Çalışma kapsamında enerji dönüşümüne yönelik mevcut durum değerlendirmesi ve politika önerileri, yenilenebilir enerji santralleri ve depolama tesisleri, termik santraller, nükleer enerji ve yeşil hidrojen başlıkları altında incelenmiştir.

İstanbul Sanayi Odası'nın girişimiyle hazırlanmış olan bu rapor, içinden geçmekte olduğumuz enerji dönüşümü sürecinde Türkiye'de kapsamlı bir enerji üretimi ve sanayi stratejisinin oluşturulmasına katkıda bulunma amacını taşımaktadır. Çalışma kapsamında 10 Aralık 2024 günü 'Enerji Teknolojilerinde Dünyada ve Türkiye'de Görünüm ve Beklentiler Projesi Çalıştayı' düzenlenmiş ve çalıştaya özel sektör, kamu ve akademiden katılımcılar katkı sağlamıştır. Düzenlenen bu çalıştayın sonucunda farklı sektörler üzerinden bir mevcut durum değerlendirilmesi yapılmış ve politikalar konusunda geliştirilebilecek alanlar tartışılmıştır. Bu kapsamda enerji dönüşümüne yönelik mevcut durum değerlendirmesi ve politika önerileri, yenilenebilir enerji santralleri ve depolama tesisleri, termik santraller, nükleer enerji ve yeşil hidrojen başlıkları altında incelenmiştir.

Küresel ölçekte fosil yakıtların çevresel maliyetleri, karbon emisyonlarının azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması gerekliliği; yenilenebilir, nükleer, hidrojen ve enerji depolama teknolojilerinin geliştirilmesiyle desteklenmekte, aynı zamanda dijitalleşme ve akıllı şebeke uygulamaları gibi yenilikçi yaklaşımlarla operasyonel verimlilik artırılmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2023 tarihli "Net Sıfır Yol Haritası" raporuna göre, küresel ısınmayı 1,5°C ile sınırlamak hâlâ mümkün olsa da her geçen gün daha zor hale gelmektedir. 2023 yılı itibarıyla dünya birincil enerji arzında hidroelektrik %6,4, yenilenebilir

kaynaklar %8,2, nükleer ise %4 oranında paya sahiptir. Buna karşın, enerji arzının %80'den fazlası hâlâ petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan sağlanmaktadır.

Karbonsuzlaşma hedeflerine ulaşabilmek için yenilenebilir ve nükleer enerji kaynaklarının payının artırılması, başta kömür olmak üzere termik kaynakların payının ise azaltılması gerekmektedir. Orta vadede kömürden çıkış sürecinde doğal gazın geçiş yakıtı olarak rolünü sürdürmesi beklenirken, uzun vadede onun da yenilenebilir veya nükleer kaynaklarla ikame edilmesi gerekecektir. Ancak rüzgâr ve güneş enerjisinin kesintili doğası, bu kaynakların enerji sistemlerine entegrasyonunu zorlaştırmaktadır. Bu sorunu aşmak için batarya depolama, yeşil hidrojen ve esneklik çözümlerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Ayrıca, yenilenebilir enerji sistemlerinin büyümesiyle birlikte nadir minerallerin önemi de artmaktadır ve bu kaynaklara erişim jeopolitik stratejilerin merkezine yerleşmiştir. Sanayide karbonsuzlaşma için elektrifikasyonun yaygınlaştırılması önem taşırken, tamamen karbonsuz bir enerji arzının sağlanamayacağı göz önüne alındığında karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojilerinin geliştirilmesi de kritik bir strateji olarak görülmektedir. Pek çok ülke, elektrifikasyon, yenilenebilir enerji, nükleer ve termik kaynakların dönüşen rolü, esneklik çözümleri ve CCS gibi unsurları dikkate alarak uzun vadeli karbonsuzlaşma stratejileri oluşturmaktadır.

Türkiye, son yıllarda küresel enerji dönüşüm eğilimlerine paralel olarak enerji sektöründe büyük değişimlere imza atmaktadır. 2023 yılı itibarıyla ülkenin birincil enerji arzı, büyük ölçüde kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlara dayanmaktadır. Ancak Türkiye, küresel enerji dönüşümüne uyum sağlamak ve çevresel etkileri azaltmak amacıyla bu yapıyı değiştirmeye yönelik stratejiler geliştirmektedir. Gelecekte, fosil yakıtların yerini yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerji alacaktır. Bu kapsamda özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi sektörlerinde hızlı bir büyüme hedeflenmektedir.

Enerji dönüşümünü hızla gerçekleştirme hedefi doğrultusunda Türkiye önemli adımlar atmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin 2053 yılına kadar net sıfır emisyon hedefi belirlemesi, karbon salımlarını azaltmayı amaçlayan çevre dostu bir enerji stratejisinin temel taşlarını oluşturmaktadır. Bu hedefe ulaşabilmek için yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması, fosil yakıt kullanımının azaltılması ve enerji verimliliği çalışmalarına daha fazla odaklanılması gerekmektedir. Orta vadede, Türkiye'nin enerji sektörü büyük ölçüde kömür kullanımından uzaklaşacak olsa da doğal gaz geçiş yakıtı olarak kullanılmaya devam edecektir.

Türkiye'nin enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı artmakla birlikte, hala termik kaynaklar çoğunluktadır. Ancak, uzun vadede yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payını artırma hedeflenmektedir. 2023'te yenilenebilir enerjiden elde edilen elektrik üretiminin payı %34,2 iken, 2035 yılında bu oran %69,1'e çıkarılacaktır. Bu hedef doğrultusunda, 2035 yılı itibarıyla güneş enerjisi kurulu gücünün 77 GW'a, rüzgâr enerjisi kurulu gücünün ise 43 GW'a ulaşması planlanmaktadır.

% 69.1

2023'te yenilenebilir enerjiden elde edilen elektrik üretiminin payı %34,2 iken, 2035 yılında bu oran %69,1'e çıkarılacaktır. 2035 yılı itibarıyla GES kurulu gücünün 77 GW'a, RES kurulu gücünün ise 43 GW'a ulaşması planlanmaktadır.

Ayrıca, batarya depolama kapasitesinin 7,5 GW'a çıkması, talep tarafı katılım kapasitesinin ise 1,7 GW'a yükselmesi hedeflenmektedir. Elektrikli araç sayısının ise 2030 yılında 1 milyon adede ulaşması hedeflenmiştir. Bu süreçte, Türkiye'nin enerji sektöründe büyük yatırımlar yapılacaktır. Bu yatırımların büyük bir kısmının özel sektör eliyle yapılması beklenmektedir.

Ayrıca, Türkiye'nin 2053 net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda yeşil hidrojen gibi yeni enerji teknolojilerine de yatırım yapılması hedeflenmektedir. Yeşil hidrojenin, özellikle sanayi sektöründe önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Bu süreçte, karbon piyasalarının geliştirilmesi, yeşil enerji projelerinin teşvik edilmesi ve yerli enerji üretiminin artırılması gibi adımlar atılacaktır. Karbon salımlarının azaltılmasına yönelik yenilikçi çözümler, Türkiye'nin gelecekteki enerji altyapısının temel unsurları arasında yer alacaktır.

Türkiye'nin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kullanımı, hidroelektrik kaynaklarıyla başlamış ve 2011'de döviz bazlı alım garantileri

sağlayan YEKDEM ile hız kazanmıştır. Verilen desteklerin ve yenilenebilir enerji maliyetlerinin düşmesinin etkisiyle son yıllarda Türkiye'nin yenilenebilir enerji kurulu gücü büyük bir artış göstermiştir. 2024 itibarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payı %46,1'e ulaşmış, rüzgâr ve güneş enerjisinin toplam üretimdeki payı ise %18,4 olmuştur. Gelecekte Türkiye'nin elektrik kurulu gücündeki artışların büyük kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması beklenmektedir. Yenilenebilir enerji maliyetlerinin düşmesi, fosil yakıt maliyetlerindeki belirsizlikler ve iklim değişikliği endişeleri, bu dönüşümü hızlandıran temel faktörlerdir.

Türkiye, yenilenebilir enerji bileşenlerinin üretiminde yerliliği ve sürdürülebilirliği artırmayı hedefleyen bir strateji izlemektedir. Bu çerçevede sağlanan yerli aksam destekleri, ülkenin enerji sektöründe dışa bağımlılığı azaltmak, yerli sanayiye güçlendirmek ve istihdamı artırmak için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji projelerinde kullanılan yerli ekipmanlar, maliyetlerin düşmesini sağlayarak Türkiye'nin enerji güvenliğine katkı sağlamakta ve yerli üreticilerin rekabet gücünü artırmaktadır. Bu destek, yalnızca ekonomik faydalar sağlamakla kalmaz, aynı zamanda yerli sanayinin gelişimine de ivme kazandırmaktadır.

Türkiye'deki yerli aksam üretiminin hızla büyüdüğü ve güçlü bir sanayi altyapısına dönüştüğü gözlemlenmektedir. Rüzgâr enerjisi sektöründe, yerli üreticiler Avrupa'da önemli bir pazar payına sahip olup, türbin ve bileşenlerinin üretimi 45 farklı ülkeye ihraç edilmektedir. Güneş enerjisi sektöründe ise Türkiye, fotovoltaik güneş paneli üretiminde büyük bir kapasiteye ulaşmış ve dünya çapında

stratejik bir konum elde etmiştir. Bu başarı, yerli üreticilerin sektördeki gelişimini hızlandırmış ve istihdamı artırmıştır. Türkiye'deki güneş paneli üretim sektörü, 15.000'in üzerinde doğrudan istihdam sağlamaktadır ve bu alanda yapılan yatırımların artarak devam etmesi beklenmektedir.

Enerji depolama teknolojileri, Türkiye'de giderek artan yatırımlarla önemli bir sektör haline gelmektedir. Batarya depolama sistemleri ve pompaj depolamalı hidroelektrik santraller, enerji sistemlerine esneklik sağlayarak yenilenebilir enerji entegrasyonunu kolaylaştıran başlıca teknolojilerdir. Bu teknolojiler, özellikle frekans düzenlemesi, bölgesel kısıtların yönetimi ve gün öncesi arbitraj gibi alanlarda kullanılmaktadır. Depolama sistemleri, mevcut enerji üretim ve tüketim dengesizliklerini giderme, elektrik fiyatları düşükken depolama yapıp, yüksek fiyatlarla satış yaparak piyasadaki maliyetleri düşürme gibi avantajlar sunmaktadır.

Türkiye'de enerji depolama faaliyetleri, üretim tesislerine entegre depolama, tüketim tesislerine entegre depolama, müstakil depolama tesisleri ve şebeke işletmecilerinin kurduğu depolama tesisleri olarak dört şekilde gerçekleştirilebilmektedir. 2022 yılında yapılan mevzuat değişiklikleri, depolama tesislerine entegre rüzgâr ve güneş enerjisi yatırımlarına teşvik sağladı, böylece rüzgâr ve güneş projeleri depolama ile birlikte önlisans alabilmektedir.

Batarya üretimi, Türkiye'de elektrikli araçlar gibi sektörlerin artan talepleri doğrultusunda gelişmektedir. Aspilsan, Farasis & TOGG, Pomega Enerji Depolama gibi büyük üreticiler, Türkiye'nin batarya üretim kapasitesini artırarak bu alanda önemli yatırımlar yapmaktadır. Ayrıca,

pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri de enerji depolama alanında bir seçenek olup, yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle şu an için sınırlı sayıda projeye sahiptir.

Türkiye’de termik enerji üretiminin kökenleri ise yenilenebilir kaynaklara kıyasla daha eskiye dayanmaktadır. Kömürlü termik santraller ülkede elektrifikasyonun başladığı 1920’li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle 1940’lı yıllardan itibaren pek çok kömürlü termik santral devreye alınmış ve 1960’lar ve sonrasında elektrik üretiminde bu santrallerin payı artmıştır. Günümüzde, Türkiye’de 69 kömürlü termik santral faaliyet göstermekte olup, bu santrallerin toplam kurulu gücü ülkenin elektrik üretiminde önemli bir paya sahiptir.

Özellikle son yıllarda ülkede yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmış olsa da bu kaynakların da bazı kısıtları bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili ve dalgalı bir enerji arzı sunması ilerleyen yıllarda önemli bir sorun haline gelecektir. Güneş enerjisinin gece kullanılamaması ve rüzgârın da her zaman yeterli hızda olmaması gibi sebeplerle, enerji arz güvenliğinin sağlanabilmesi için düzenli ve istikrarlı enerji kaynağı sağlayabilecek olan yakıtlar halen kritik rol oynamaktadır. Bu noktada ülkedeki barajlı hidroelektrik santrallerin yanında esnek doğal gaz santralleri, yenilenebilir enerjilerin dalgalanma dönemlerinde dengeleme görevi görmektedir. Bu dengeleme, enerji sisteminin güvenli bir şekilde çalışabilmesi için son derece önemlidir. Kömür santrallerinin önümüzdeki süreçte artan karbon maliyeti ve esnek bir enerji sistemine uygun olmamaları nedeniyle kademeli olarak devreden çıkması beklenmektedir. Buna karşın doğal gaz santrallerinin önümüzdeki on yıllar

15.000

Türkiye, fotovoltaik güneş paneli üretiminde büyük bir kapasiteye ulaşmıştır. Güneş paneli üretim sektörü, 15.000’in üzerinde doğrudan istihdam sağlamaktadır ve bu alandaki yatırımların artarak devam etmesi beklenmektedir.

için sistemde kalmaya devam etmesi ve sistemin gün içinde veya mevsimsel olarak yaşayabileceği risklere karşı bir sigorta görevi üstlenmesi beklenmektedir.

Nükleer enerji ise termik santrallere kıyasla daha yeni bir teknolojidir ve halihazırda Türkiye’de kullanılmamaktadır. 1970’lerde yaşanan petrol krizi, enerji arz güvenliği açısından nükleer enerjiye olan ilgiyi artırmıştır ve bu dönemde nükleer enerjinin çevre dostu ve düşük karbon emisyonu sağlama kapasitesi de vurgulanmaya başlanmıştır. Ancak, Çernobil (1986) ve Fukushima (2011) gibi büyük kazalar, nükleer enerjinin güvenliği hakkında ciddi endişelere yol açarak bazı ülkeleri bu teknolojiyi kullanmaya karşı temkinli hale getirmiştir. 2020’lerde ise küresel ısınma ve enerji arzı güvenliği kaygıları nedeniyle nükleer enerjiye olan ilgi yeniden artmıştır.

Küresel ölçekte, 2023 yılı itibarıyla Fransa, Slovakya ve Ukrayna gibi ülkeler, nükleer enerji ile elektrik üretimini yüksek oranlarda sürdürürken, Çin hızla nükleer enerji kapasitesini artırmaktadır. Bu ülkeler, nükleer

YÖNETİCİ ÖZETİ

enerjiyi iklim değişikliği ile mücadele ve enerji arz güvenliğini sağlama açısından önemli bir araç olarak görmektedir.

Türkiye, Akkuyu Nükleer Santralinde ilk nükleer santralini inşa etmek üzere Rusya ile bir anlaşma yapmıştır ve bu santralin ilk ünitesinin 2025 yılında faaliyete geçmesi beklenmektedir. Akkuyu Nükleer Santrali, Türkiye'nin enerji arz güvenliğini artırmayı, enerji bağımsızlığını güçlendirmeyi ve karbon salımlarını azaltmayı amaçlayan önemli bir projedir. Resmi hedeflere göre Türkiye, gelecekte daha fazla nükleer santral inşa etmeyi ve nükleer enerjiyi yerli kaynaklarla desteklemeyi hedeflemektedir. Özellikle küçük modüler reaktörler (SMR), Türkiye için gelecekte önemli bir alternatif enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Fakat ülkenin nükleer enerji hedefleri değerlendirilirken nükleer enerjinin nispeten maliyetli bir enerji kaynağı olduğu da unutulmamalı ve yeni yapılacak sözleşmelerde bu husus da dikkate alınmalıdır. Yapılacak nükleer enerji yatırımlarında yerlilik oranlarının mümkün olduğunca artırılması ülkenin ekonomik katma değerinin artırılması açısından büyük önem taşıyacaktır.

Mobil enerji kaynakları ise, taşınabilir enerji üretimi kapasiteleriyle kriz ve afet anlarında öne çıkabilecek önemli bir seçeneği oluşturmaktadır. Mobil enerji kaynakları, enerjiye kolay erişim sağlanması gerektiğinde esneklik ve sürdürülebilirlik sunmaktadır. İlerleyen dönemlerde özellikle acil durumlara müdahale kapsamında Türkiye'nin de enerji altyapısını güçlendirmek amacıyla bu kaynaklardan daha fazla yararlanması gerekmektedir.

Yeşil hidrojen, geleceğin enerji dönüşümünde, karbon salımlarını minimize etme ve temiz enerjiye geçişi hızlandırma konusunda umut vaat eden kilit teknolojilerden biridir. Dünyada hidrojen, günümüzde öncelikle kimya ve petrokimya sektörlerinde ham madde olarak kullanılmaktadır ancak bu sektörlerde kullanılan hidrojen ağırlıklı olarak fosil kaynaklardan temin edilmektedir. İlerleyen dönemlerde yeşil hidrojen üretmede kullanılan elektrolizörlerin maliyetlerinin hızla düşeceği ve üretim teknolojilerindeki gelişmelerle elektrik üretimi, ulaşım, ağır sanayi gibi pek çok sektörde yeşil hidrojenin yaygın olarak kullanılmaya başlanacağı öngörülmektedir. Ayrıca, hidrojenin depolanabilir olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının mevsimsel ve saatlik dalgalanmalarını dengeleyerek şebeke yönetiminde önemli bir esneklik sağlama potansiyeline de sahiptir.

Dünya genelinde hidrojen üretimi ve kullanımına yönelik teknolojik gelişmeler, büyük ölçekli elektrolizör üreticilerinin kapasite artışlarıyla desteklenmektedir. Çin, ABD, Avrupa ve diğer bölgelerde faaliyet gösteren lider elektrolizör üreticileri, seri üretim ve maliyet optimizasyonu konularında önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Küresel kapasite hedefleri de ülkelerin enerji stratejilerinde belirleyici rol oynayarak, Almanya, İngiltere, İspanya, Hollanda, Fransa ve diğer AB ülkelerinin 2030 yılına kadar kurmayı planladıkları elektrolizör kapasitesiyle hidrojenin enerji karışımındaki payını artırmayı hedeflemektedir. Avrupa Komisyonu, REPowerEU Planı kapsamında 2030 yılına kadar fosil yakıt kullanımını azaltıp, 65-80 GW elektrolizör kapasitesine ulaşmayı ve yeşil hidrojen üretimini önemli ölçüde desteklemeyi planlamaktadır.

Türkiye’de hidrojen teknolojisine ilişkin mevzuat ve stratejik planlamalar, 2007 yılında enerji verimliliği kanunu ve 2011’de hidrojenle çalışan motorlu araçlara ilişkin düzenlemelerle gündeme girmiştir. Daha sonra Türkiye Hidrojen Teknolojileri Yol Haritası ve Stratejisi elektrolizör kapasitesinin 2053’te 70 GW’e çıkarılması gibi somut hedefleri ortaya koymuştur. Bu hedefler, hidrojenin yalnızca enerji arz güvenliğini sağlamaya değil; aynı zamanda endüstriyel uygulamalarda (petrokimya, demir-çelik, gübre, çimento gibi) ve doğal gaz şebekelerine entegrasyon yoluyla karbon yoğunluğunun azaltılmasına da katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Hedeflenen bu kapasite artışında yerli bileşenlerin payının artırılması için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Dünyada yeni gelişmekte olan bu sektöre Türkiye’nin güçlü bir giriş yapması büyük önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında düzenlenmiş olan “Enerji Teknolojilerinde Dünyada ve Türkiye’de Görünüm ve Beklentiler Projesi Çalıştayı” altında sektör paydaşları, kamu kurumları, özel sektör ve akademik çevreler bir araya gelerek bu konularda çeşitli stratejik öneriler oluşturmuştur. Çalıştayda yenilenebilir enerji kaynakları ve depolama, termik santraller, nükleer enerji ve yeşil hidrojen konuları ele alınmış, mevcut durum analizi yapılmış ve geleceğe yönelik yol haritaları geliştirilmiştir. Çalıştaydan elde edilen temel çıktılar aşağıdaki gibidir:

- Türkiye’nin yenilenebilir enerji sektöründeki büyümesini sürdürülebilir kılabilmesi için karşılaştığı temel sorunların çözülmesi gerekmektedir. Bu sorunlar arasında mevzuat engelleri, teknik altyapı eksiklikleri, yerli üretimdeki yetersizlikler ve uluslararası

2030

Avrupa Komisyonu, REPowerEU Planı kapsamında 2030 yılına kadar fosil yakıt kullanımını azaltıp, 65-80 GW elektrolizör kapasitesine ulaşmayı ve yeşil hidrojen üretimini önemli ölçüde desteklemeyi planlamaktadır.

rekabet zorlukları öne çıkmaktadır. Yatırım süreçlerindeki bürokratik karmaşıklık, lisanssız güneş enerjisi santrallerinin ve hibrit santrallerin yaygınlaşmasını engellemekte, sanayiciler için piyasa öngörülebilirliğini azaltmaktadır. Piyasayı ilgilendiren konularda daha istikrarlı ve öngörülebilir bir yasal çerçevenin oluşturulması bu nedenle kritik önem taşımaktadır.

- Teknolojik altyapı açısından Türkiye, invertör, batarya depolama ve enerji yönetim sistemleri gibi kritik bileşenlerde dışa bağımlılığını sürdürmektedir. Yerli üretimin güçlendirilmesi için Ar-Ge yatırımları artırılmalı, özel sektör desteklenmeli ve bilgi transferi teşvik edilmelidir. Aynı zamanda üniversite-sanayi iş birliklerinin geliştirilmesi, yerli teknoloji üretimini destekleyerek sektörün inovasyon kapasitesini artıracaktır.
- Uluslararası rekabet gücünü artırmak için kalite standartlarının iyileştirilmesi ve ihracata yönelik teşviklerin artırılması gerekmektedir. Ancak, anti-damping vergileri gibi dış ticaret engelleri, Türkiye’nin yenilenebilir enerji

ekipmanları üretiminde küresel pazarlarda rekabet etmesini zorlaştırmaktadır. Karbon fiyatlandırmasının 2027 itibarıyla devreye girmesiyle birlikte, enerji projelerinde karbon maliyetlerinin de hesaplamalara dahil edilmesi kaçınılmaz hale gelecektir. Bu koşullar da göz önüne alınarak yeni politikaların oluşturulması gerekmektedir.

- Enerji dönüşümü sürecinde kömür santrallerinin rolü yeniden şekillenmekte, bu tesislerin çevresel etkilerinin azaltılması için dönüşüm stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Mevcut santrallerin modernizasyon ve rehabilitasyon çalışmalarıyla verimliliklerinin artırılması ve kömür rezervlerinin kontrollü kullanımı kritik öneme sahiptir. Rezervleri tükenen santrallerin yenilenebilir enerjiyle entegre edilmesi veya düşük karbon salımı gerçekleştiren doğal gaz santrallerine dönüştürülmesi önerilmektedir.

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili doğası göz önünde bulundurulduğunda, esnek termik santraller hızlı devreye girme yetenekleriyle arz güvenliğini sağlamada önemli bir destek mekanizması olarak değerlendirilmektedir. Bu santraller, hibrit sistemler ve enerji depolama çözümleriyle desteklendiklerinde, yenilenebilir enerjinin şebekeye entegrasyonunu kolaylaştırabilirler.

- Karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojileri, santrallerin karbon salımını azaltmak için önemli bir çözüm olarak görülse de yüksek maliyetler ve mevzuat belirsizlikleri nedeniyle yaygınlaşması sınırlıdır. Bununla birlikte, Aksaray'daki Tuz Gölü havzası ve Diyarbakır'daki tükenmiş petrol rezervleri gibi bölgeler, karbon depolama için uygun potansiyele sahiptir.

- Santrallerin verimliliğini artırmak için eski türbin ve kazanların daha verimli modellerle değiştirilmesi, retrofit uygulamaları ve karbon yakalama teknolojilerinin entegrasyonu gibi teknik çözümler uygulanmalıdır. Bu dönüşüm sürecinin hızlanması için devlet teşvikleri, düşük faizli krediler ve yatırım destekleri gibi mekanizmalar devreye alınmalıdır. Ayrıca, santrallerin yoğun olduğu Soma gibi bölgelerde tesislerin tamamen kapatılması yerine, yenilenebilir enerji ve düşük karbonlu üretim modellerine uygun hale getirilmesi daha sürdürülebilir bir yaklaşımdır. Yerel istihdamın devamı için eğitim ve mesleki gelişim programları uygulanmalı, rehabilitasyon süreçleri ile çevresel etkiler minimize edilmelidir.

- Nükleer enerji, Türkiye'nin uzun vadeli enerji dönüşüm hedeflerine ulaşmasında kilit bir rol oynamaktadır. Enerji arz güvenliğini sağlamak ve düşük karbonlu baz yük üretimini desteklemek için en az üç nükleer santral yatırımına ihtiyaç duyulduğu değerlendirilmiştir. İlk santralin tamamlanmasının ardından yerli üretime ağırlık verilerek teknolojik bağımsızlığın artırılması hedeflenmektedir. Bu süreçte, sanayi-üniversite iş birlikleri ve mesleki eğitim programları gibi adımlar, yerli sanayinin nükleer projelere entegrasyonunu destekleyecektir. Bu santraller geliştirilirken yüksek fiyatlı alım garantisi anlaşmalarından mümkün olduğunca kaçınılmalı ve sanayideki elektrik maliyetlerinin artışı sınırlanmalıdır.

- Nükleer enerji yatırımlarının başarılı olabilmesi için proje yönetiminin etkin yürütülmesi, yatırım maliyetlerinin kontrol edilmesi ve düzenleyici çerçevenin güçlendirilmesi kritik önem taşımaktadır. Özellikle atık yönetimi konusunda net politikalar belirlenmeli, güvenli işletme süreçleri için yerli firmalarla iş birlikleri teşvik

edilmelidir. Türkiye'nin nükleer teknolojilerdeki uzmanlığını artırabilmesi için CERN gibi uluslararası araştırma projelerine entegrasyonu ve gelişmiş ülkelerle Ar-Ge iş birlikleri büyük bir fırsat sunmaktadır. Küçük modüler reaktörler (KMR), esnek ve ölçeklenebilir yapılarıyla gelecekte nükleer enerji sistemine önemli katkılar sağlayabilir. COP29'da bu alandaki uluslararası finansman olanaklarının vurgulanması, yatırım sürecini hızlandırabilecek bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

- Yeşil hidrojen, Türkiye'nin enerji dönüşüm sürecinde stratejik bir bileşen olarak konumlandırılmaktadır. Bu kaynak, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen fazla enerjinin depolanmasını sağlayarak şebeke üzerindeki yükü azaltırken, uzun vadede sanayi, ulaşım ve elektrik üretimi gibi alanlarda kritik bir rol üstlenecektir. 2053 yılına kadar 70 GW elektrolizör kapasitesine ulaşma hedefi doğrultusunda, hidrojenin sanayide kısa vadede kimya ve gübre üretimi gibi sektörlerde kullanımı yaygınlaştırılmalı, uzun vadede ise ulaşım ve enerji üretimi gibi alanlarda altyapı yatırımları artırılmalıdır.

- Hidrojen teknolojilerinde Türkiye'nin rekabet gücünü artırmak için yerli üretim ve Ar-Ge çalışmaları önceliklidir. Elektrolizör üretiminin yerleştirilmesi, uluslararası teknoloji transferlerinin sınırlı olması nedeniyle uzun vadeli bir süreç gerektirmektedir. Bu nedenle, stratejik yatırımlara odaklanılması ve sektör paydaşları arasında koordinasyon sağlanması büyük önem taşımaktadır. Düzenleyici çerçevenin oluşturulması, hidrojen sektörünün sürdürülebilir büyümesini sağlamak için kritik bir gerekliliktir. Bu kapsamda sertifikasyon, lisanslama ve denetim süreçlerinin netleştirilmesi, piyasadaki belirsizlikleri azaltacaktır.

70 GW

Güneş paneli üretim 2053 yılına kadar 70 GW elektrolizör kapasitesine ulaşma hedefi doğrultusunda, yeşil hidrojenin sanayide kısa vadede kimya ve gübre üretimi gibi sektörlerde kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

- Devlet teşvikleri, özel sektör yatırımları ve Ar-Ge desteklerinin koordineli bir şekilde uygulanması, yeşil hidrojenin ticarileşmesini hızlandıracaktır. Avrupa'daki gelişmeler Türkiye için önemli bir referans noktası oluştururken, küresel hidrojen piyasasının büyümesine rağmen bazı ülkelerde elektrolizör kapasitesinin tam anlamıyla değerlendirilememesi dikkatle izlenmelidir. Ayrıca, doğal olarak oluşan jeolojik hidrojenin keşfi ve değerlendirilmesi, Türkiye için yeni fırsatlar sunabilir ve bu konuda da ek adımların atılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin enerji dönüşüm sürecinde sürdürülebilir büyüme sağlanabilmesi için mevzuat reformları, yerli üretimin desteklenmesi, üniversite-sanayi iş birlikleri, karbon fiyatlandırması ve enerji depolama stratejilerinin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir. Bu çok boyutlu yaklaşım, Türkiye'nin enerji arz güvenliğini artırırken, uluslararası pazarlarda rekabet gücünü artırarak küresel enerji dönüşümünde etkin bir aktör haline gelmesini sağlayacaktır.

İSO Enerji Yönetimi Meclis Çalışma Grubu



Sanayinin temel maliyet kalemlerinden biri olan enerji, sanayi kuruluşları açısından her geçen gün daha da kritik bir konuma gelmektedir. Enerji alanında ekonomimizi ve sanayimizi ilgilendiren konularda yaşanan sorunlara yönelik çözüm üretici çalışmalar yapma hedefleri doğrultusunda kurulan İSO Enerji Yönetimi Meclis Çalışma Grubu faaliyetlerine başladığı 6 Haziran 2023 tarihinden itibaren çalışmalarını bu vizyon çerçevesinde sürdürmektedir.

İSO Enerji Yönetimi Meclis Çalışma Grubu'nun faaliyetlerini;

- Enerji maliyetleri
- Yenilenebilir enerji kaynakları ve yatırımları
- Hidrojen başta olmak üzere yeni enerji kaynakları
- Enerji depolama
- Enerji verimliliği

başlıkları üzerinde odaklanarak gerçekleştirmektedir.

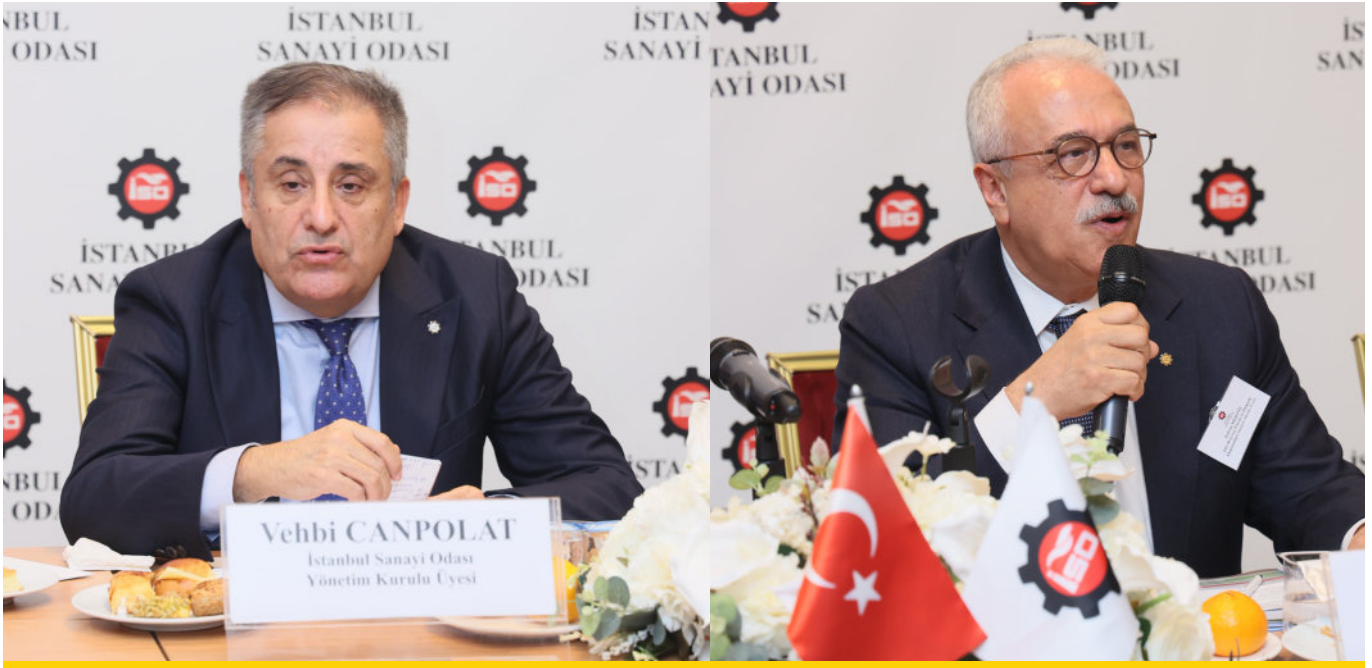


Enerji Teknolojilerinde Dünyada ve Türkiye’de Görünüm ve Beklentiler Projesi



İSO Enerji Yönetimi Meclis Çalışma Grubu enerji teknolojilerinin dinamik yapısını analiz etmek ve Türkiye’nin uluslararası enerji piyasasında daha rekabetçi bir konum elde etmesine katkıda bulunmak amacıyla bir proje çalışması yürütmüştür.

Proje kapsamında hazırlanan “Enerji Teknolojilerinde Dünyada ve Türkiye’de Görünüm ve Beklentiler Raporu” ile Dünyanın ve Türkiye’nin genel enerji görünümü ele alınmış, yenilenebilir enerjiden depolama sistemlerine, yerli üretimden arz güveline kadar konunun tüm boyutları titizlikle incelenmiştir.



Enerji Çalıştayı

Rapor çalışmalarını desteklenmesi ve enerji alanında sanayi başta olmak üzere tüm ilgili sektör paydaşlarının görüşlerinden oluşan bir durum tespiti yapılabilmesi için 10 Aralık 2024 tarihinde bir çalıştay düzenlenmiştir.



Sanayi temsilcileri, akademisyenler, sektör profesyonelleri, enerji alanında faaliyet gösteren çeşitli dernekler ile kamu kurum temsilcilerinden oluşan ve 70'den fazla farklı kurumdan gelen katılımcının katkılarıyla gerçekleşen bu çalıştayda enerji teknolojileri dört temada tartışılmıştır: Yenilenebilir Enerji ve Depolama, Termik Santraller, Hidrojen Enerjisi ve Nükleer Enerji.





Çalıştaylarımız kapsamında mevcut durum değerlendirilmesi yapılarak politikalar konusunda geliştirilebilecek alanlar tartışılmıştır.

Farklı alanlardan değerli katılımcıların katkı sağladığı tartışmalar Türkiye'nin gelecekteki politikaları açısından yol gösterici niteliğe sahiptir.



Raporda yer verilen mevcut durum analizi ve çalıştay çıktılarının özeti enerji teknolojilerinin dinamik yapısını anlamak ve Türkiye'nin uluslararası enerji piyasasında daha rekabetçi bir konum elde etmesine katkıda bulunacaktır.

Enerji sektörü, ülkelerin ekonomik kalkınmasının sağlanmasında ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasında kritik bir role sahip olacaktır. Günümüzde artan enerji talebi, kaynak çeşitliliği ihtiyacı ve iklim değişikliği gibi küresel sorunlar, enerji teknolojilerinde yenilikçi yaklaşımların benimsenmesini zorunlu kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi her geçen gün artarken, enerji depolama, şebeke esnekliği ve karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik stratejiler de geleceğin enerji dönüşümünde belirleyici unsurlar olarak ortaya çıkmaktadır.

Dünyanın geneliyle birlikte Türkiye'nin de içinden geçmekte olduğu enerji dönüşümü sürecinin önümüzdeki yıllarda hız kazanarak devam etmesi beklenmektedir. Bu geçişte yenilenebilir enerji, elektrik depolama sistemleri, nükleer enerji ve yeşil hidrojen gibi bazı yeni teknolojiler önem kazanacakken doğal gaz ve kömür gibi geleneksel termik kaynakların enerji sistemlerindeki rolünün yeniden değerlendirilmesi gerekecektir.

Bu durum Türkiye için birçok riski ve fırsatı aynı anda barındırmaktadır. Enerji dönüşüm sürecinin tamamlanabilmesi için önümüzdeki on yılda enerji sektörüne çok büyük çaplı yatırımların yapılması gerekecektir. Bu yatırımlarda kullanılacak olan sistemlerin ağırlıklı olarak ithal kaynaklı olması durumunda ülkemizin enerji sektöründeki kısmi dışa bağımlılık durumu yeni bir formda devam edecektir. Öte yandan, yenilenebilir enerji,

batarya sistemleri, nükleer enerji sistemleri ve yeşil hidrojen gibi teknolojilerin farklı bileşenlerinin Türkiye'de üretilmesi durumunda ülkenin sanayisinin gelişimi ve kalkınma alanlarında önemli bir potansiyel hayata geçirilebilir.

Bu kapsamda ülkedeki potansiyeli gerçekleştirmek adına kapsamlı bir enerji üretimi ve sanayi stratejisinin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bu stratejinin oluşturulma sürecinde öncelikle mevcut durumun net bir resminin çizilmesi, ülkenin rekabet avantajları olduğu noktalar değerlendirilerek farklı sektörler, konular ve tedarik zincirinin farklı halkaları arasında bir önceliklendirme yapılması ve geliştirilmesi hedeflenen alanlar için detaylıca hazırlanmış politikaların geliştirilmesi gerekmektedir.

İstanbul Sanayi Odası'nın girişimiyle yapılmış olan çalışma ve hazırlanmış olan bu rapor, önümüzdeki dönem için bahsi geçen stratejinin hazırlanmasına katkıda bulunma amacını taşımaktadır. Çalışma kapsamında 10 Aralık 2024 günü 'Enerji Teknolojilerinde Dünyada ve Türkiye'de Görünüm ve Beklentiler Projesi Çalıştay' düzenlenmiş ve çalışmaya özel sektör, kamu ve akademiden yaklaşık yetmişin üzerinde katılımcı katkı sağlamıştır. Düzenlenen bu çalıştayın sonucunda farklı sektörler üzerinden bir mevcut durum değerlendirilmesi yapılmış ve politikalar konusunda geliştirilebilecek alanlar tartışılmıştır.



Okumakta olduğunuz raporun ilk bölümü küresel enerji görünümünü kısaca özetlemekte ve Türkiye piyasası kapsamında enerji teknolojilerindeki mevcut durumun detaylı bir değerlendirmesini sunmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda Türkiye'nin enerji kaynaklarına ilişkin hedefleri ve buna ilişkin politikaları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Ayrıca, hidrojen ve nükleer enerji gibi gelecek vaat eden enerji kaynaklarının potansiyeli ve Türkiye'nin bu alanlardaki stratejik adımları incelenmiştir. Raporun ilk bölümü, yenilenebilir enerji ve depolama teknolojileri, termik santraller, nükleer enerji ve mobil enerji santralleri ve hidrojen teknolojileri olmak üzere dört alt başlık halinde organize edilmiştir.

Raporun ikinci bölümünde ise bahsi geçen çalıştayda öne çıkan tartışmalar ve çalıştayın temel çıktıları özetlenmiştir. Çalıştay çıktıları da birinci bölüme paralel olacak şekilde alt başlıklara bölünmüştür. Farklı alanlardan değerli katılımcıların katkı sağladığı tartışmalar Türkiye'nin gelecekteki politikaları açısından yol gösterici niteliğe sahiptir.

Raporda yer verilen mevcut durum analizi ve çalıştay çıktılarının özeti enerji teknolojilerinin dinamik yapısını anlamak ve Türkiye'nin uluslararası enerji piyasasında daha rekabetçi bir konum elde etmesine katkıda bulunmak için faydalı olacaktır. Önümüzdeki yıllarda ülkemizdeki enerji sektörünün yapısının temel değişimlerden geçeceği kesin görünmektedir. Bu dönüşümün olumlu etkilerinden yararlanmak ve bu dönüşümü sanayi sektörünün gelişimi için de itici bir güç haline getirmek için politika çerçevesinin ve planlamanın en baştan doğru tasarlanması çok kritik olacaktır.

1.

MEVCUT DURUM ANALİZİ

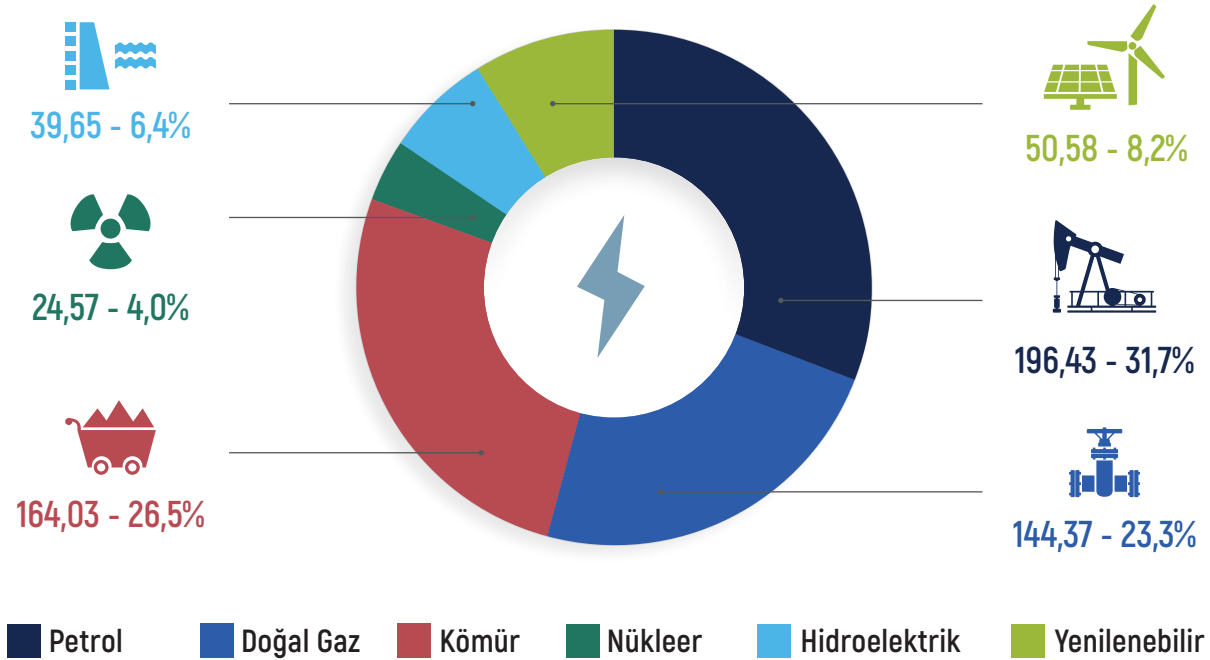
Ülkedeki enerji arzının %81,7'si kömür, petrol ve doğal gaz olmak üzere termik kaynaklardan karşılanmaktadır. Dünyadaki beklentilere de paralel olarak ilerleyen yıllarda nükleer enerjinin karışıma dahil olması ve temelde rüzgâr ve güneşten oluşan diğer yenilenebilir payının çok fazla artması gerekecektir.

1.1. DÜNYADA GENEL GÖRÜNÜM

Son yirmi yıl, dünya enerji sektöründe yenilenebilir enerji, nükleer enerji ve termik enerji alanlarında büyük dönüşümlere sahne olmuştur. İlerleyen yıllarda bu dönüşümün hızının artması beklenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2023 yılında yayımladığı "Net Sıfır Yol Haritası" raporu, 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefinin hala mümkün olduğunu, ancak bu hedefe ulaşılmasının her geçen gün daha karmaşık hale geldiğini vurgulamaktadır. Rapora göre, küresel ısınmayı 1,5°C sınırında tutabilmek için yenilenebilir enerji ve temiz enerji teknolojilerindeki ilerlemelerin hızla devam etmesi gerekmektedir¹. Bu kapsamda Şekil 1'de 2023 yılı için verilen dünya birincil enerji arzının kaynak bazlı dağılımı mevcut duruma ve

alınması gereken mesafeye dair önemli ipuçları içermektedir².

Şekilde görülebileceği üzere son yıllarda yaşanan yenilenebilir enerji kullanımındaki artışa rağmen 2023 yılı için hidroelektriğin toplam birincil enerji arzı içindeki payı %6,4 iken rüzgâr ve güneş başta olmak üzere diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise %8,2 seviyesindedir. Burada nükleerin %4'lük payı da çıkarılırsa kalan %80 üzerindeki kısmın petrol (%31,7), kömür (%26,5) ve doğal gaz (23,3%) temelli olmak üzere termik kaynaklardan karşılandığı görülmektedir. Bu durum önemli adımlar atılmış olsa da dünya için net sıfır hedefine henüz ne kadar uzak olduğumuzu ve bu minvalde yapılacak ne kadar çok iş olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. 2023 Yılı Küresel Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılımı (Ekzajul)

¹ Uluslararası Enerji Ajansı. (2023). Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>

² Energy Institute. (2024). Statistical Review of World Energy 73rd Edition. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2023.pdf>

İlerleyen yıllarda hedeflenen karbonsuzlaşma seviyelerine ulaşılabilmesi için bu grafikte görülen yenilenebilir ve nükleer enerji kısımlarının artması ve başta kömür olmak üzere termik kaynaklarının payının azalması gerekecektir. Burada özellikle kömürden çıkışın bir süreliğine doğal gaz ile ikame edilmesiyle birlikte doğal gazın daha uzun süre resmin içinde kalması ve orta vadede payının artması da beklenebilir. Buna rağmen net sıfır emisyonu ulaşmak için doğal gazın da uzun vadede yenilenebilir enerji ya da nükleer gibi kaynaklar tarafından ikame edilmesi gerekecektir.

Bu resmin geneline bakıldığında gelecekteki on yıllar için enerji dönüşümünde ana aktörün yenilenebilir enerji olacağı söylemek abartılı bir yaklaşım olmayacaktır. Ancak rüzgâr ve güneş gibi temel yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili doğası bu kaynakların enerji sistemlerine entegre edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu etkilerin minimize edilebilmesi ve sistemdeki yenilenebilir enerji payının artırılabilmesi için batarya depolama ya da alternatif elektrik depolama sistemleri ve yeşil hidrojen gibi teknolojiler kritik öneme sahip olacak, aynı zamanda bu yatırımların iletim sistemi yatırımları, talep tarafı katılımının yaygınlaştırılması ve diğer çeşitli yöntemlerle desteklenmesi gerekecektir.

Yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygınlaşması ve batarya gibi esneklik yatırımlarının büyük çapta yapılabilmesi için ise bu sistemlerin imalatında kullanılan nadir mineraller daha da önemli hale gelecektir. Bu kritik minerallere erişim konusu şimdiden pek çok ülkenin jeopolitik bakışlarında tayin edici bir konu olmaya başlamıştır.

Öte yandan petrol gibi kaynakların payının azaltılması ve sanayide karbonsuzlaşma için elektrifikasyonun artırılması da kritik olacaktır. Son olarak yüzde yüz karbonsuz bir enerji arzının mümkün olamayacağı düşünüldüğünden uzun vadede karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojilerinin geliştirilip uygulanması da temel beklentiler dahilindedir. CCS teknolojileri henüz kayda değer ölçeklerde uygulanmıyor da olsa gelecekte olası kullanım alanları için farklı seçenekler geliştirilmektedir.

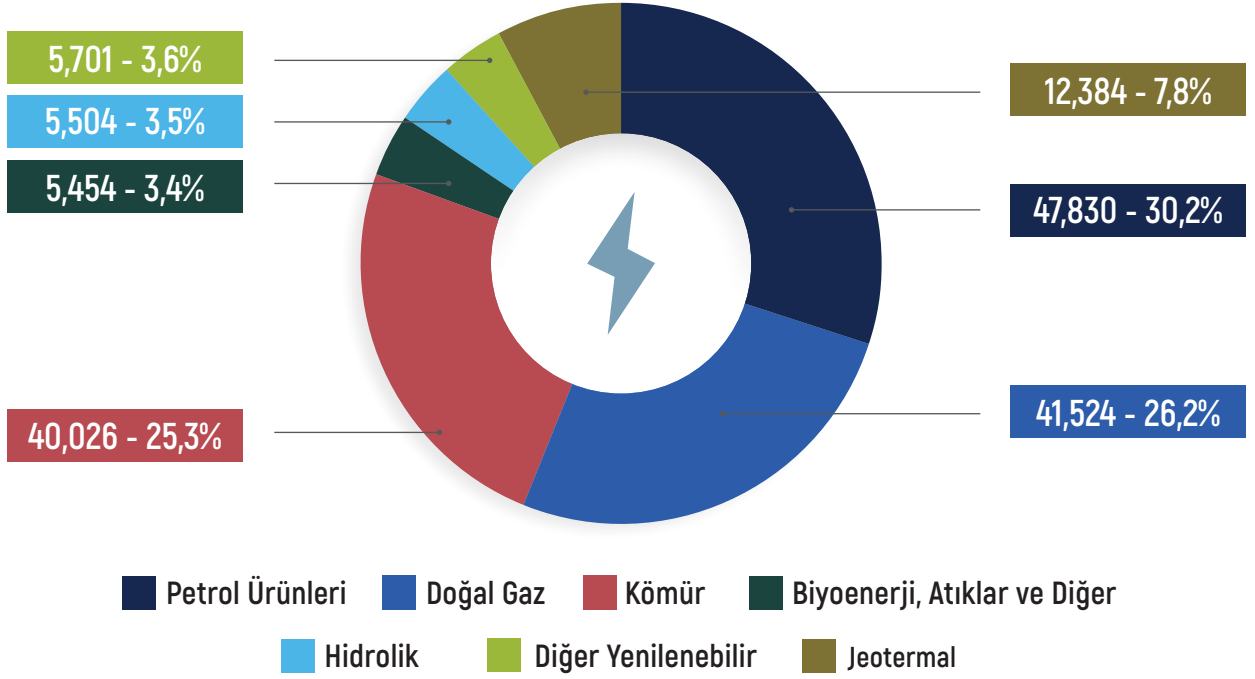
Dünyadaki pek çok ülke elektrifikasyon, yenilenebilir enerji, nükleer, termik kaynaklarının yeni rolü, esneklik seçenekleri, kritik mineraller ve CCS gibi enerji dönüşümünün farklı unsurlarını göz önüne alarak uzun dönemli karbonsuzlaşma stratejileri oluşturma aşamasındadırlar.



1.2. TÜRKİYE'DE GENEL ENERJİ GÖRÜNÜMÜ ve HEDEFLERİ

Dünyadaki enerji dönüşümünün daha küçük çaplı bir modeli Türkiye'de de son yıllarda gittikçe hızlanan bir şekilde gerçekleşmektedir. Bir önceki bölümde verilen şeklin Türkiye

için olan verilerinin gösterildiği Şekil 2'ye bakıldığında ülkedeki birincil enerji arzı durumunun küresel duruma kıyasla oldukça benzer olduğu görülecektir³.



Şekil 2. 2023 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılımı (BİN TEP)

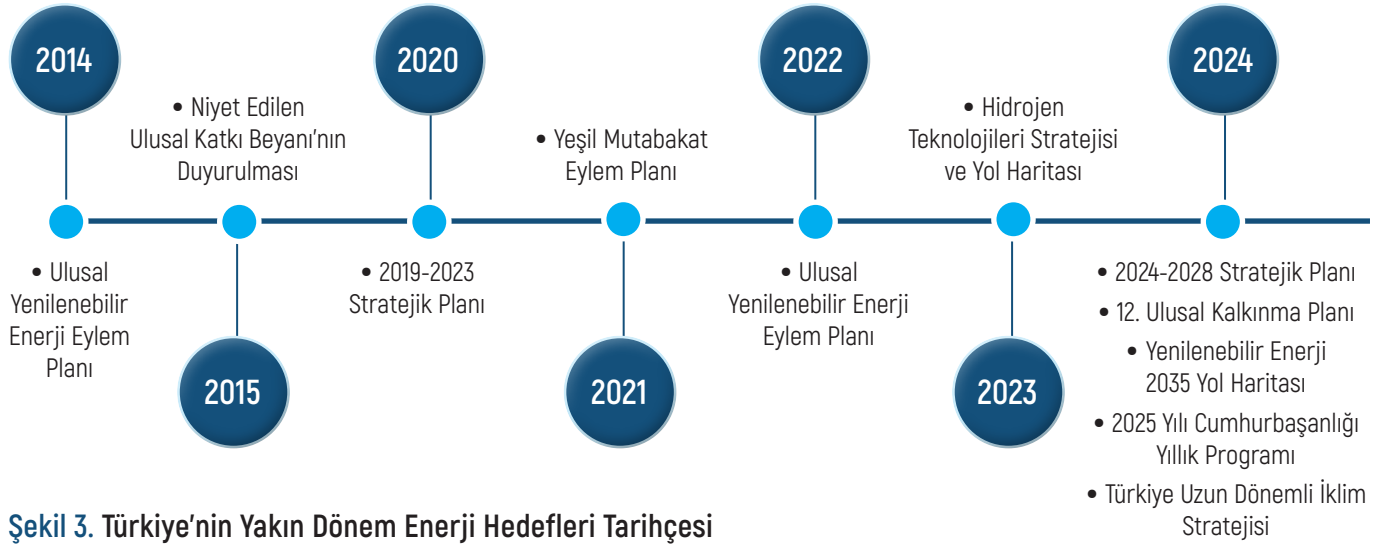
Şekilden görüleceği üzere ülkedeki enerji arzının %81,7'si kömür, petrol ve doğal gaz olmak üzere termik kaynaklardan karşılanmaktadır. Dünyadaki beklentilere de paralel olarak ilerleyen yıllarda nükleer enerjinin karışıma dahil olması ve temelde rüzgâr ve güneşten oluşan diğer yenilenebilir payının çok fazla artması gerekecektir. Orta vadede kömür kullanımının çok düşük seviyelere inmesiyle birlikte doğal gaz karbon salımı düşük bir geçiş yakıtı olarak varlığını daha uzun süre devam ettirecektir.

Ülkede yapılan uzun dönemli planlamalar 2053 net sıfır vizyonu dahilinde bu amaçlar

gözetilerek güncellenmektedir. Bu beklentilere paralel olarak ve değişen koşullara göre Türkiye'nin belirlediği enerji hedefleri de yıllar içinde güncellenmiştir. Yakın dönemde hedeflere dair açıklanan belgelerin kronolojik gösterimi Şekil 3'te yer almaktadır.

Türkiye'nin yenilenebilir enerji ve iklim değişikliği konusundaki hedefleri, yıllar içinde belirlenen çeşitli strateji ve taahhütlerle güçlendirilmiştir. Geçtiğimiz yıllarda belirlenmiş olan karbonsuzlaşmaya yönelik enerji hedefleri Tablo 1'de özetlenmektedir.

³ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2024). Enerji Denge Tablosu 2023.



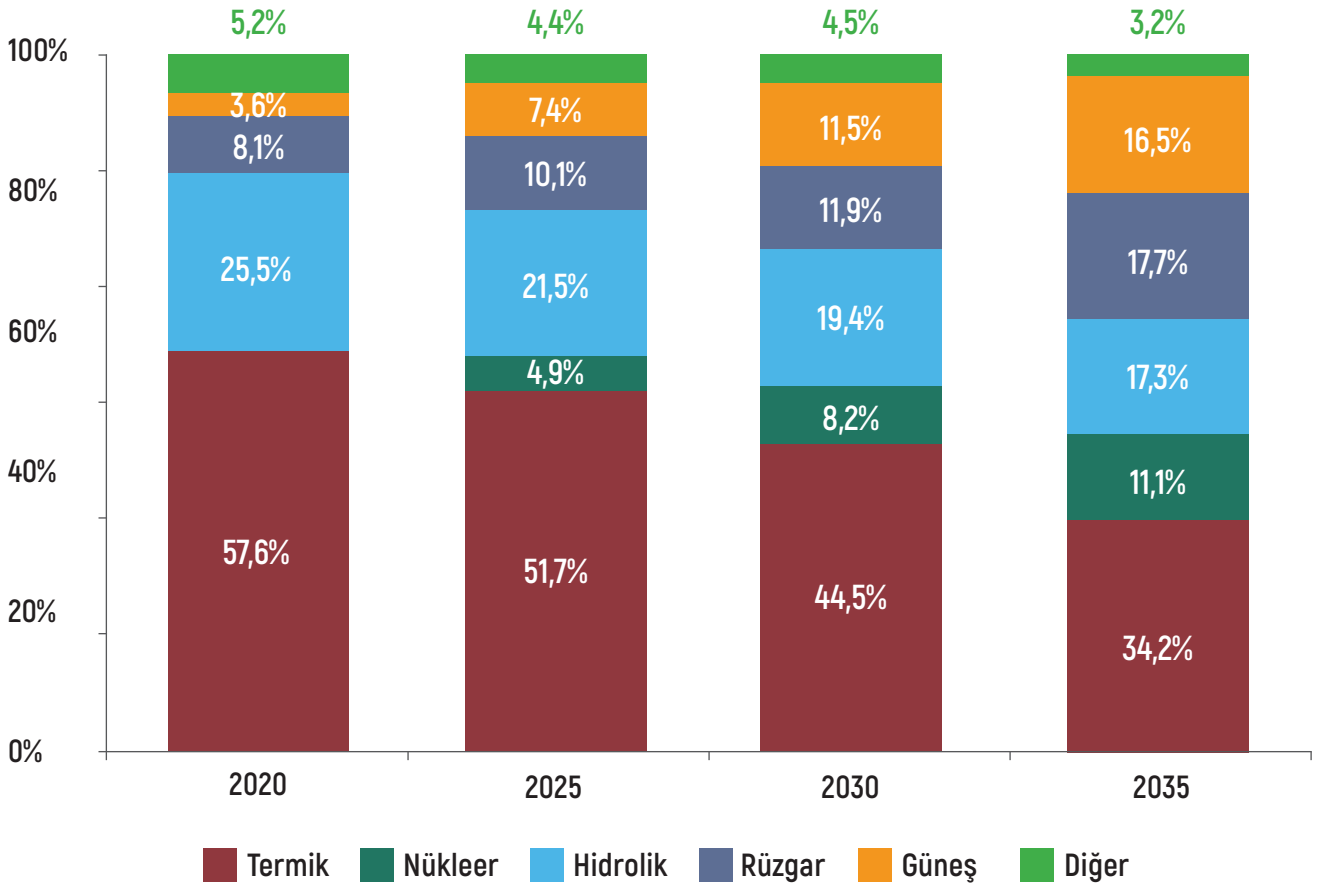
Şekil 3. Türkiye'nin Yakın Dönem Enerji Hedefleri Tarihçesi

Parametre	2023 Hedefi 2014 Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı (2013-2023)	2023 Hedefi 11.Kalkınma Planı (2019-2023)	2028 Hedefi 12.Kalkınma Planı (2024-2028)	2030 Hedefi Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanı (2020-2030)	2035 Hedefi Ulusal Enerji Planı (2022-2053)	2035 Hedefi Yenilenebilir Enerji Yol Haritası (2024-2035)
Elektrik Talebi (TWh)	-	325,0	430,0	-	510,5	1.271,4
Toplam Kurulu Güç (GW)	-	106,6	136,0	-	189,7	-
Rüzgâr Kurulu Güç (GW)	20,0	11,7	18,0	16,0	29,6	43,1
Güneş Kurulu Güç (GW)	5,0	11,4	30,0	10,0	52,9	76,9
Nükleer Kurulu Güç (GW)	-	-	4,8	-	7,2	-
Batarya Kapasitesi (GWh)	-	-	5,0	-	7,5	-
Yenilenebilir Enerjinin Elektrik Üretimindeki Payı (%)	-	40,0	50,0	-	54,8	69,1
Doğal Gazın Elektrik Üretimindeki Payı (%)	-	23,0	15,0	-	-	-

Tablo 1. Yakın Dönemli Resmi Enerji Hedefleri⁴

2022 yılı sonunda yayımlanan Ulusal Enerji Planı 2053 net sıfır hedefine ulaşmak için şimdiye kadarki en net yol haritasını içermektedir. Plan kapsamında, 2035 yılına kadar güneş enerjisi kurulu gücünün 52,9 GW'a, kara ve deniz üstü rüzgâr enerjisi kurulu gücünün ise toplam 29,6 GW'a çıkarılması hedeflenmiştir. Kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının artışıyla birlikte, sistem esnekliği ihtiyacının karşılanması için batarya depolama, elektrolizör teknolojileri ve talep tarafı katılımı gibi araçlara odaklanılmıştır. Bu doğrultuda,

2035'te batarya depolama kapasitesinin 7,5 GW'a, talep tarafı katılım kapasitesinin ise 1,7 GW'a yükselmesi öngörülmektedir. Ayrıca, 2020'de 147,2 Mtep olan birincil enerji tüketiminin 2035'e kadar %39,5 artarak 205,3 Mtep'e ulaşması beklenirken, fosil kaynakların payının %83,3'ten %70,4'e düşmesi, petrol, doğal gaz ve kömürün paylarının sırasıyla %26,5, %22,5 ve %21,4 seviyelerine gerilemesi planlanmaktadır⁵. Şekil 4'te Ulusal Enerji Planı'nda öngörülen yıllık elektrik üretiminin kaynaklar bazında dağılımı yer almaktadır.



Şekil 4. Ulusal Enerji Planı'nda Kaynaklar Bazında Öngörülen Elektrik Üretiminin Dağılımı

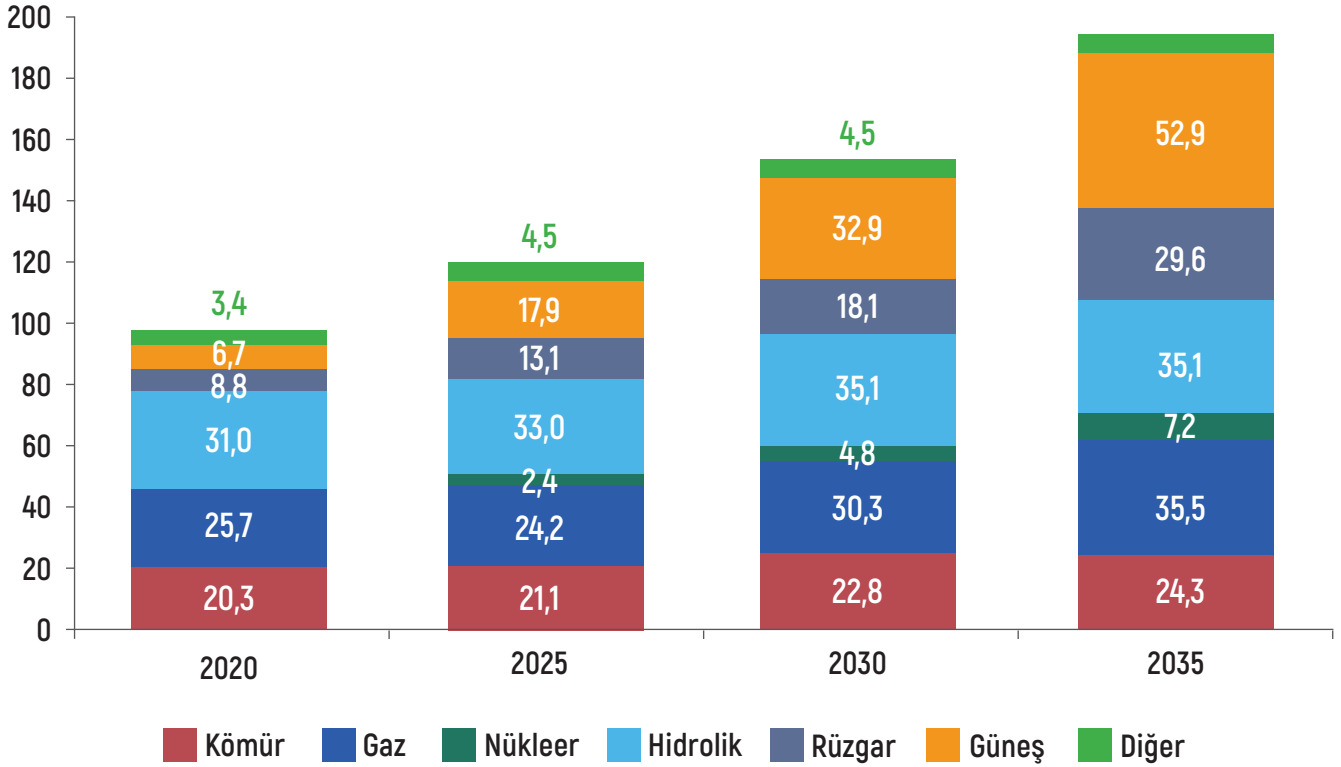
⁴ Orta Vadeli Program, 2023 ve 2028 değerleri 12.Kalkınma Planı'ndan, 2035 ETKB değerleri ise Ulusal Enerji Planı'ndan alınmıştır.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. 2035 Yenilenebilir Enerji Yol Haritasında verilen toplam 120 GW olan rüzgâr ve güneş kurulu gücü, İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayımlanan "2053 Uzun Dönemli İklim Stratejisi" raporunda verilen enerji sektörü hedeflerinde güneş kurulu gücü 76,9 GW ve rüzgâr kurulu gücü 43,1 GW olacak şekilde ayrıştırmıştır.

⁵ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Türkiye Ulusal Enerji Planı. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TU-EP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf

Şekil 5'te görülebileceği üzere 2020 yılında 95,9 GW seviyesinde olan elektrik kurulu gücü 2035 yılında %97,8 oranında ciddi bir artış göstererek 189,7 GW seviyesine çıkmaktadır. 2035 yılı itibarıyla, hidroelektrik santrallerin 35,1 GW, jeotermal ve biyokütle enerji santrallerinin toplam 5,1 GW kurulu güce ulaşması planlanmaktadır⁶.

2035 yılı itibarıyla nükleer kurulu gücünün 7,2 GW seviyesine ulaşacağı öngörülmekte olup, inşaatı devam etmekte olan Akkuyu Nükleer Güç Santraline ek olarak, Türkiye'nin enerji arz güvenliğini sağlamak amacıyla yeni nükleer enerji santrallerine ihtiyaç duyulduğu ifade edilmektedir.



Şekil 5. Ulusal Enerji Planı Altında Kaynaklara Göre Kurulu Güç Gelişimi

Ulusal Enerji Planı'nın 2022'de yayımlanmasını takip eden süreçte Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası ise 2023'te yayımlanmıştır. Bu dokümanda ülkenin 2053'e kadar yeşil hidrojen üretimi konusunda atması gereken adımlar ve temel hedefler ortaya konulmuştur⁷. Planın detaylarına raporun ilerleyen kısımlarında yer verilmiştir.

Ulusal Enerji Planı'na ek olarak 2024-2028 dönemini kapsayan, Türkiye 12. Ulusal Kalkınma Planı Ekim 2023'te yayımlanmış olup, planda

yer verilen başlıca yenilenebilir enerji hedefleri aşağıdaki gibidir⁸:

- 2028 yılı itibarıyla, güneş kurulu gücünün 30,0 GW'a, rüzgâr kurulu gücünün 18,0 GW'a ve batarya kapasitesinin 5,0 GW seviyesine ulaşacağı öngörülmüştür.
- 2028 yılı itibarıyla, toplam elektrik üretimi içerisindeki yenilenebilir enerji payının %50 seviyelerine yükseltilmesi hedeflenmiştir.

- 2053 yılı net sıfır emisyon hedefi kapsamında, artan elektrifikasyonun daha temiz kaynaklarla karşılanması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimini artırılacak ve şebekeye entegrasyonu sağlanacaktır.
- Yerli aksam yükümlülüğüne sahip olan YEKA ihalelerinin devamına ve deniz üstü YEKA projelerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yürütülecektir.
- Meskenlerde yenilenebilir enerji kaynağı kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik potansiyeller belirlenecek, fayda-maliyet açısından değerlendirilerek bir yol haritası çizilecek ve uygulamaya geçilecektir.
- Elektrik şebekelerinin, yenilenebilir enerji kaynakları ve ulaşım alanı elektrifikasyonundaki potansiyel artış kapsamında geliştirilmesine yönelik planlama ve yatırım çalışmaları yürütülecektir.
- Kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının, şebeke üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik şebeke esnekliği artırılacaktır.
- Kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilecek elektriğin maliyet etkin ve yüksek verimlilikte sağlanmasını teminen, üretimlerin en doğru şekilde tahmin edilebilmesine yönelik kurumsal kapasite geliştirilecektir.
- Pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri dahil olmak üzere enerji depolama sistemlerinin kurulumu artırılacaktır.
- Yenilenebilir enerji, nükleer enerji, enerji depolama ve hidrojen teknolojilerinde mevcut

durumdaki yerli üretim kabiliyetine ilişkin envanter çalışması yapılacak ve yol haritası belirlenecektir.

- Özellikle enerji teknolojilerinde kullanılan hammaddelerin arz güvenliğinin artırılması, yerli üretimin güçlendirilmesi ve bu hammaddelerin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin asgariye indirilmesi temel öncelikler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, kullanım ömrü tamamlanan güneş panelleri ve bataryalar gibi ekipmanların geri dönüştürülmesi ve döngüsel ekonomiye geçişin sağlanması amacıyla geri dönüşüm tesislerinin yaygınlaştırılması hedeflenmektedir.
- Enerji arz güvenliğinin sağlanması için yenilenebilir ve yerli enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar artırılacaktır. Ayrıca, 2053 yılına kadar net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda, enerji verimliliği artırılacak, nükleer enerji kullanımına da ağırlık verilecektir. Bu süreçte, Türkiye'nin enerji arzı daha çevre dostu hale getirilerek, enerji ticaretinde rekabetçi bir yapıya ulaşılması hedeflenmektedir.
- Enerji verimliliği alanında da önemli adımla atılacaktır. Özellikle kamu binalarının daha verimli hale getirilmesi, yenilenebilir enerjiyle desteklenen enerji verimli binaların yaygınlaştırılması, ısıtma/soğutma sistemlerinin güçlendirilmesi gibi konulara yönelik uygulamalara devam edilecektir. Ayrıca, elektrik şebekelerinin esnekliğini artırmak için enerji depolama sistemlerinin tesis edilmesi, akıllı şebeke altyapısının güçlendirilmesi ve akıllı sayaçların yaygınlaştırılması planlanmaktadır.
- Yeşil hidrojen ve diğer hidrojen teknolojilerinin geliştirilmesi için Ar-Ge faaliyetlerine

⁶ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). TÜRKİYE ULUSAL ENERJİ PLANI. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf

⁷ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Kurumsal_Politikalar/HSP/ETKB_Hidrojen_Stratejik_Plan2023.pdf

⁸ Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2024). On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028). www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/On-Ikinci-Kalkinma-Planı_2024-2028_11122023.pdf

ağırlık verilecektir. Hidrojenin taşınması ve depolanmasına yönelik çalışmalara da devam edilecektir.

- Enerji sektöründe ihtiyaç duyulan nitelikli personel sayısının artırılması, eğitim ve öğretim faaliyetlerinin niteliğinin iyileştirilmesi önem arz etmektedir. Yeni gelişen teknolojilerle uyumlu yükseköğretim programlarının artırılması ve enerji alanında yetişmiş insan kaynağının güçlendirilmesi için eğitim kurumları ile iş birlikleri yapılacaktır.

Ülkenin yenilenebilir enerji hedefleri en son yakın zamanda kapsamlı bir şekilde güncellenmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ekim 2024'te açıkladığı Enerji Dönüşümü: Yenilenebilir Enerji 2035 Yol Haritası'nda, 2035 yılına kadar rüzgâr ve güneş enerjisi için toplam 120 GW kurulu güç hedefi koymuştur. Hedefler arasında her yıl en az 2 GW YEKA kapasitesinin tahsis edilmesi, 2035'e kadar 5 GW deniz üstü rüzgâr enerjisi kurulması, uluslararası anlaşmalarla yenilenebilir projelerin hayata geçirilmesi, hibrit kapasitenin artırılması ve lisanssız projelerin kapasitesinin yükseltilmesi yer almaktadır. 120 GW'lık kapasiteye ulaşmak için gerekli olacak yatırımın 80 milyar USD seviyesini bulması beklenmektedir⁹.

30 Ekim 2024 tarihinde T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından 2025 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı yayımlanmıştır¹⁰. Bu kapsamda aşağıdaki hedeflere yer verilmiştir:

- Dış ticarete rekabetçiliğin korunarak daha ileriye taşınması için ulusal karbon fiyatlandırma mekanizmalarının oluşturulması ve öncelikli olarak AB ile uyumlu bir Emisyon Ticaret Sistemi'nin (ETS) uygulamaya konulması,
- Ulusal ETS'nin kurulmasına yönelik mevzuat ve diğer altyapı hazırlıklarının tamamlanarak sistemin uygulamaya geçirilmesi,

- Sınırdaki karbon düzenlemesi mekanizmasıyla ilgili sektörlerin emisyonlarının izlenmesi ve raporlanması konularında rehberlik faaliyetlerinin yürütülmesi,

- Ormancılıkla ilgili gönüllü karbon piyasası ve yeşil sertifikasyon uygulamalarının geliştirilmesi,

- Karbon piyasası ve yeşil sertifikasyon uygulamaları kapsamında mevzuat altyapısına yönelik çalışmaların devam etmesi,

- Gömülü karbon miktarı ve karbon ayak izi azaltılmış, sürdürülebilir inşaat malzemesi üretiminin ve kullanımının yaygınlaştırılması,

- Temiz enerji kaynaklı elektrik üretiminin toplam üretim içindeki payının artırılması ve enerjide karbon yoğunluğunun azaltılması konusunda çalışılması,

- Karbon emisyonlarını azaltmak için yenilenebilir enerji ve nükleer enerji teknolojilerine yatırım yapılmasının sağlanması,

- Sürdürülebilir enerji arz güvenliğinin sağlanması, dışa bağımlılığının azaltılması ve net sıfır karbon odaklı enerji dönüşümünün desteklenmesi.

Azerbaycan Bakü'de düzenlenen COP 29'da ise Türkiye'nin Uzun Dönemli İklim Stratejisi açıklanmıştır¹¹. Stratejiye göre:

- 2030'a kadar yenilenebilir enerjiye 59 milyar USD, enerji depolamaya 2,5 milyar USD, talep tarafı katılımına 4,1 milyar USD ve enerji verimliliğine 20,2 milyar USD yatırım yapılması planlanmaktadır.

- 2022'de yayımlanan Ulusal Enerji Planı'ndaki 2053 yılındaki elektrik talebi ve yenilenebilir enerji üretimindeki payı (1.271,39 TWh ve %69,1) değişmemiştir.

- 2035 için hedeflenen batarya, elektrolizör, jeotermal, biyokütle kapasiteleri ve talep tarafı katılımı kapasitesi aynı kalırken, güneş ve rüzgâr

kapasiteleri güncellenmiştir: güneş 76,9 GW, rüzgâr 43,1 GW olarak belirlenmiştir.

- Akkuyu Nükleer Enerji Santrali devreye girdiğinde Türkiye'nin elektrik talebinin %10'unu karşılayacak ve 30 milyon ton CO2 emisyonunu engelleyecektir.

- 2035'e kadar elektrikli araç sayısının (yüksek senaryoda) 4,2 milyona ulaşması ve yerlilik oranının %75'e çıkması hedeflenmiştir. Bu sayede kara yolu ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonları azaltılacaktır.

11 Kasım 2024'te yayımlanan ETKB 2024-2028 Stratejik Planı'na göre ise¹²:

- 2028 yılında güneş kurulu gücünün 33,1 GW'a, rüzgâr kurulu gücünün 19,3 GW'a ve nükleer kurulu gücü 4,8 GW'a ulaşması hedeflenmektedir.
- Yerli kaynaklardan üretilen elektrik enerjisinin yıllık 270 milyar kWh'ye ve yerli kaynakların toplam üretimdeki payının %63'e çıkması planlanmaktadır.
- Günlük ham petrol üretiminin 210 bin varile, doğal gaz üretiminin 42,5 milyon metreküpe ve doğal gaz depolama kapasitesinin 12 milyar metreküpe ulaşması hedeflenmektedir. Yıllık maden ihracatının ise 10 milyar USD seviyesine çıkarılması planlanmaktadır.

Türkiye'nin karbon emisyonu azaltım hedefleri ise daha önce bahsi geçen, ülkenin BMİDÇS'ye

80 MİLYAR \$

Yenilenebilir Enerji 2035 Yol Haritası'nda, 2035 yılına kadar rüzgâr ve güneş enerjisi için toplam 120 GW kurulu güç hedefi koymuştur. Bu kapasiteye ulaşmak için gerekli olacak yatırımın 80 milyar USD seviyesini bulması beklenmektedir.

sunduğu INDC dokümanında yer almaktadır. İlk kez 2016 yılında hazırlanan dokümanda 2030 yılına gelindiğinde baz senaryoya kıyasla sera gazı emisyonlarını %21 oranında indirme taahhüdü verilmiştir. Sonrasında ise 2021 yılındaki güncellemede bu azaltım oranı %41'e çıkartılmıştır ve emisyonların tepe noktasının 2038 yılında görülmesi hedefi eklenmiştir. Şekil 6'da Türkiye'nin NDC senaryoları kapsamında hedeflenen ve gerçekleşen yıllık sera gazı emisyonları yer almaktadır¹³.

Bu kapsamda daha önce uygulama dönemi 3 ay ertelenen karbon piyasasının pilot dönemi İklim Kanunu'nun halen TBMM'den geçmemiş olması nedeniyle 2025 Ocak'ta da başlatılamamıştır. 2027 yılında ise 1. Uygulama döneminin başlaması ve karbon fiyatının yürürlüğe girmesi

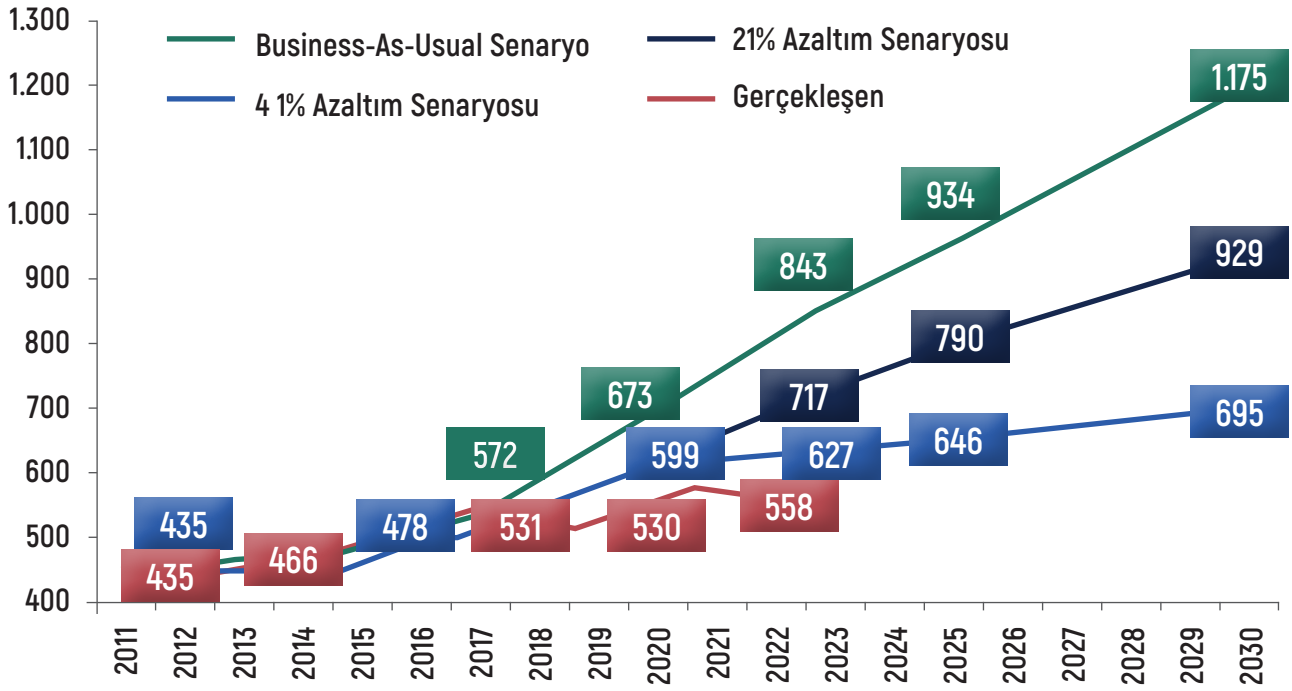
⁹ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Yenilenebilir Enerjide 2035 Yol Haritası. www.enerji.gov.tr/Media/Dizin/BHIM/tr/Duyurular/Yenilenebilir%20Enerjide%202035%20Yol%20Haritas%C4%B1%20Lansman%20Sunumu_202410221014.pdf

¹⁰ Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2024). 2025 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2024/11/2025-Yili-Cumhurbaskanligi-Yillik-Programi-05112024.pdf>

¹¹ T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (2022). Türkiye'nin Uzun Dönemli İklim Değişikliği Stratejisi ve Eylem Planı Bileşeni United Nations Climate Change (2024) <https://unfccc.int/documents/643012> <https://iklim.gov.tr/tukiye-nin-uzun-donemli-iklim-degisikligi-stratejisi-ve-eylem-plani-bileseni-proje>

¹² Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). 2024-2028 Stratejik Planı. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Kurumsal_Politika_kalar/ETKB_2024-2028_Stratejik_Planı.pdf

¹³ T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (2023). Türkiye Cumhuriyeti Güncellenmiş Birinci Ulusal Katkı Beyanı. [https://www.iklim.gov.tr/db/turkce/haberler/files/T%C3%BCrkiye%20Cumhuriyeti%20G%C3%BCncellenmi%C5%9F%20Birinci%20Ulusal%20Katk%C4%B1%20Beyan%C4%B1\(1\).pdf](https://www.iklim.gov.tr/db/turkce/haberler/files/T%C3%BCrkiye%20Cumhuriyeti%20G%C3%BCncellenmi%C5%9F%20Birinci%20Ulusal%20Katk%C4%B1%20Beyan%C4%B1(1).pdf)



Şekil 6. Yıllık Sera Gazı Emisyonları¹⁴

beklenmektedir. Ek bir gecikme olmaması durumunda 2027 yılında başlaması beklenen karbon fiyatlamasına dair pek çok belirsizlik bulunmaktadır. Bu bağlamda piyasada fiyatın ne seviyelerde oluşacağı, ne kadar serbest tahsisat sağlanacağı, karbon fiyatının ilk etapta hangi sektörlerle uygulanacağı ve ile yeri ve yabancı kaynaklar arasında bir ayırım yapıp yapılmayacağı konuları belirsizliğini korumaktadır.

2025 yılında tekrar güncellenmesi beklenen INDC taahhüdü, karbon piyasasının geleceği açısından kritik bir dönüm noktası olacaktır. Karbon piyasasındaki tahsisat dağılımlarının bu belgede belirlenecek ulusal emisyon hedefleriyle uyumlu olacağı düşünülmektedir. Bu nedenden dolayı INDC'de yapılacak güncelleme karbon piyasasının durumu

açısından önemli ipuçları verecektir. Karbon fiyatının yüksek olarak belirlenmesi durumunda yenilenebilir enerji santrallerinin ve bunlara bağlı olarak batarya depolama ve yeşil hidrojen gibi teknolojilerin rekabetçiliğinin önemli oranda artması beklenebilir. Burada karbonsuz teknolojilerinin karbon ticareti yoluyla önemli gelirler elde etmesi mümkün olacaktır. Öte yandan bu durum kömürden çıkışı hızlandıracak ve en azından orta vadede elektrik fiyatları üzerinde yukarı yönlü bir etkiye sahip olacaktır.

Bütün bu hedeflere ek olarak 2025 yılında enerji stratejisini tamamlayıcı nitelikte olması beklenen Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu Ocak 2025 ayında yayınlanmış olup Kritik Mineraller Raporu ve Türkiye'nin 2050 Nükleer Enerji Vizyonu raporlarının da yayımlanması beklenmektedir¹⁵.

¹⁴ TÜİK. (2022). Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2022-53701>

¹⁵ ETKB (2024). Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/TKDB/tr/Belgeler/Turkiye_Kritik_ve_Stratejik_Madenler_Raporu.pdf

1.3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ENERJİ DEPOLAMA

1.3.1. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Sektöründe Mevcut Durum

Türkiye elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kullanımı uzun bir geçmişe sahiptir ve ilk olarak hidroelektrik kaynaklarının kullanımıyla yaygınlaşmaya başlamıştır. Hidroelektrik santralleri dışındaki yenilenebilir enerji kurulu gücü ise 2011 yılında yürürlüğe girmiş olan Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) ile artış göstermeye başlamıştır. YEKDEM kapsamında 2011 - 2020 yılları arasında önlisans ihaleleriyle yenilenebilir enerji santralleri için kapasiteler dağıtılmış ve bu projeler için döviz bazlı bir alım garantisi tanımlanmıştır. Döviz bazlı olarak uygulanan YEKDEM ile özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu kapasitesinde büyük bir artış sağlanmıştır. Döviz bazlı ilk dönem YEKDEM uygulaması, 2021 yılı Haziran ayı sonuna kadar geçerli olmuştur¹⁶.

İlk YEKDEM uygulamasının sona ermesinin ardından 30 Ocak 2021 tarihinde yeni YEKDEM kapsamında uygulanacak tarifeler ve süreler açıklanmıştır. Yeni YEKDEM uygulaması 1 Temmuz 2021 ile 31 Aralık 2025 tarihleri arasında işletmeye girecek yenilenebilir enerji santrallerini kapsamıştır ve ilgili alım garantileri döviz yerine Türk Lirası (TL) bazında olacak şekilde güncellenmiştir. Bununla birlikte, açıklanan tarifelerin üç aylık dönemlerde belirlenmiş bir eskalasyon yöntemiyle güncelleneceği de açıklanmıştır¹⁷. Ancak yeni YEKDEM dahilinde bir kapasite ihalesi ilan edilmemiş olması ve teşvik mekanizmasının TL olarak kurgulanması nedeniyle, bu destek

mekanizmasından yararlanan hatırı sayılır bir kurulu güç olmamıştır.

Yeni YEKDEM uygulamasının yatırımcılar tarafında ilgi uyandırmamasının ardından 1 Mayıs 2023 tarihinde TL bazlı yeni YEKDEM’in uygulama dönemi 1 Temmuz 2021 ile 31 Aralık 2030 tarihleri arasına çekilmiş ve işletmeye girecek yeni tesisler için fiyatlar ve uygulama süreleri güncellenmiştir. Mayıs 2023 tarihinde yapılmış bu revizyonla yeni YEKDEM dönemi ile şebekeye satış fiyatlarında (feed-in tariff, FiT) belirgin bir artış meydana gelmiştir. Güncellenen YEKDEM fiyatlarının uygulama süresi jeotermal santraller ve pompaj depolamalı hidroelektrik tesisler için 15 yıl, diğer tesis türleri için ise 10 yıl olarak belirlenmiştir. Güncellenen mekanizma ile deniz üstü rüzgâr ya da batarya depolama tesisine entegre güneş ya da rüzgâr tesisleri gibi daha önce regülasyon altında tanımlanmamış yeni yenilenebilir enerji teknolojileri de ilk defa mekanizmaya dahil edilmiştir¹⁸.

YEKDEM dışında piyasada lisanslı yenilenebilir enerji yatırımı yapmanın ikinci yolu ise Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı (YEKA) ihaleleridir. Bu ihalelerin YEKDEM modelinden temel farkı alım garantilerinin tamamen ihale sonucunda belli olması ve ihalelerin daha geniş ölçekli alanları içermesidir. YEKA modeli çerçevesinde günümüze kadar tamamlanmış toplam 6 adet ihalenin 3 tanesi (toplam 3.000 MWe kurulu kapasite) güneş enerjisi kalan kısmı da (2.850 MWe) rüzgâr enerjisi projelerini kapsamaktadır¹⁹.

¹⁶ SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi. (2023). Net Sıfır 2053: Enerji Sektörü için Politikalar. <https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2023/12/SHURA-2023-11-Rapor-Enerji-Sektoru-icin-Politikalar.pdf>

¹⁷ Resmi Gazete, 2021. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/01/20210130-9.pdf>

¹⁸ Resmi Gazete, 2023. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/05/20230501-7.pdf>

¹⁹ Resmi Gazete, 2016. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/10/20161009-1.htm>



Türkiye’de yenilenebilir enerji santrallerinin geliştirilmesinde mevcut durumda YEKDEM ve YEKA modellerinin haricinde, güncellenen lisanssız yönetmeliği kapsamındaki projeler, hibrit santral yatırımları ve rüzgâr veya güneş enerjisi santrallerine entegre depolama santral kurulum imkanları bulunmaktadır.

Lisanssız elektrik üretimi, tüketicilerin kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf olarak elektrik üretim faaliyeti yapmalarını ifade etmektedir. 10 Mayıs 2019 tarihinde Resmî Gazete’de yayımlanan Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi’ne göre, lisanssız elektrik üretim santrallerinin durumuna ilişkin temel değişiklikler yapılmış ve kapasite limiti önceki değeri olan 1 MW’dan 5 MW’a yükseltilmiştir²⁰.

Sonraki dönemlerde mevzuat pek çok kez güncellenmiştir. En son düzenlemeye göre lisanssız üretim tesisleri “ilgili tüketim tesisi” ile aynı bağlantı noktasında olmalı ve kurulu güç, “ilgili tüketim tesisi” için belirlenen sözleşme gücünü aşmamalıdır²¹. Arazi tipi üretim tesisleri, tüketim tesisinin sözleşme gücünü aşmamak kaydıyla tüketim tesislerinden farklı bir bağlantı noktasında kurulabilir. Düzenleme ayrıca aylık net mahsuplaşma yöntemini de içermektedir. fark aylık olarak hesaplanmaktadır. Bu sistemle, üretim tesisinin şebekeye sattığı toplam üretim ile kendi öztüketimi arasındaki fark aylık olarak hesaplanmaktadır. Sisteme verilen enerji için elektrik tarifesindeki aktif enerji bedeli fiyatına göre gelir elde edilir. Bu sistem, çok elektrik tüketen işletmelerin maliyetini düşürür. 2019’daki kapsamlı güncellenmenin ardından lisanssız yatırımlarının çoğu hızlı kurulum, daha düşük maliyet, bakım kolaylığı ve düşük işletme giderleri gibi sebeplerden dolayı güneş enerji santrallerine yapılmıştır. Böylece 5,5 GW olan lisanssız güneş santrali kapasitesi 2024 sonuna kadar geçen süreçte yaklaşık 12 GW kapasiteli lisanssız güneş santralinin devreye girmesiyle

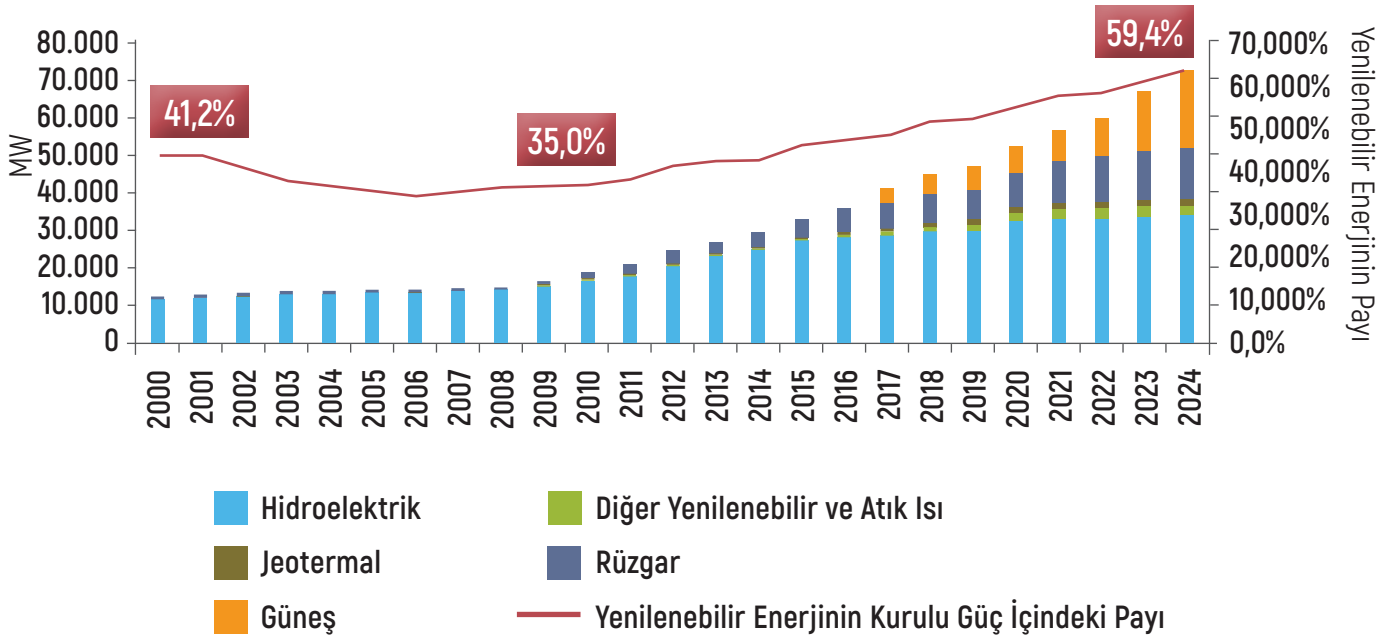
17,9 GW seviyesine ulaşması bu yatırım modeline olan ilgiyi ortaya koymaktadır²².

Hibrit üretim tesisleri, farklı teknolojileri kullanan üretim birimlerini birleştiren tesislerdir. 2020 yılı Mart ayında yapılan düzenlemenin 1 Temmuz 2020'de yürürlüğe girmesinin ardından piyasada hibrit uygulamalar mümkün hale gelmiştir. Bu yolla yatırımcılar yeni bir lisans alımına ya da şebeke bağlantısına ihtiyaç duymadan kapasitelerini artırmaktadır²³.

19 Kasım 2022 tarihinde Resmî Gazete'de yayımlanan değişiklikle elektrik depolama tesisi kuran tüzel kişilerin herhangi bir önlisans yarışmasına girmeksizin depolama tesisiyle

aynı kurulu güçte olmak koşuluyla rüzgâr ya da güneş enerjisi tesisi kurmasına ve piyasa fiyatı üzerinden satış yapmasına izin verilmiştir. Önümüzdeki yıllarda devreye girecek rüzgâr ve güneş kapasitesinin önemli bir kısmının bu yatırım modeli üzerinden devreye girmesi beklenmektedir²⁴.

Türkiye yenilenebilir enerji kurulu gücünde yaşanan artışlar Şekil 7'de görülmektedir. Buna göre, 2010'lu yıllardan önce ülkedeki yenilenebilir kurulu gücü yoğun olarak hidroelektrik santrallerden oluşurken YEKDEM uygulamasının etkisiyle yenilenebilir kurulu gücü çeşitlenmiş ve özellikle rüzgâr ve güneş kapasitesinde önemli artışlar yaşanmıştır.



Şekil 7. Kaynak Türüne Göre Kurulu Güç Gelişimi²⁵

²⁰ Resmî Gazete, 2019. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190510-10.pdf>

²¹ Belediyeler ve bunların bağlı kuruluşları ile sanayi tesisleri ve tarımsal sulama amaçlı tesisleri için sözleşme gücünün iki katına kadar çıkmasına izin verilmektedir.

²² TEİAŞ Kurulu Güç Verileri

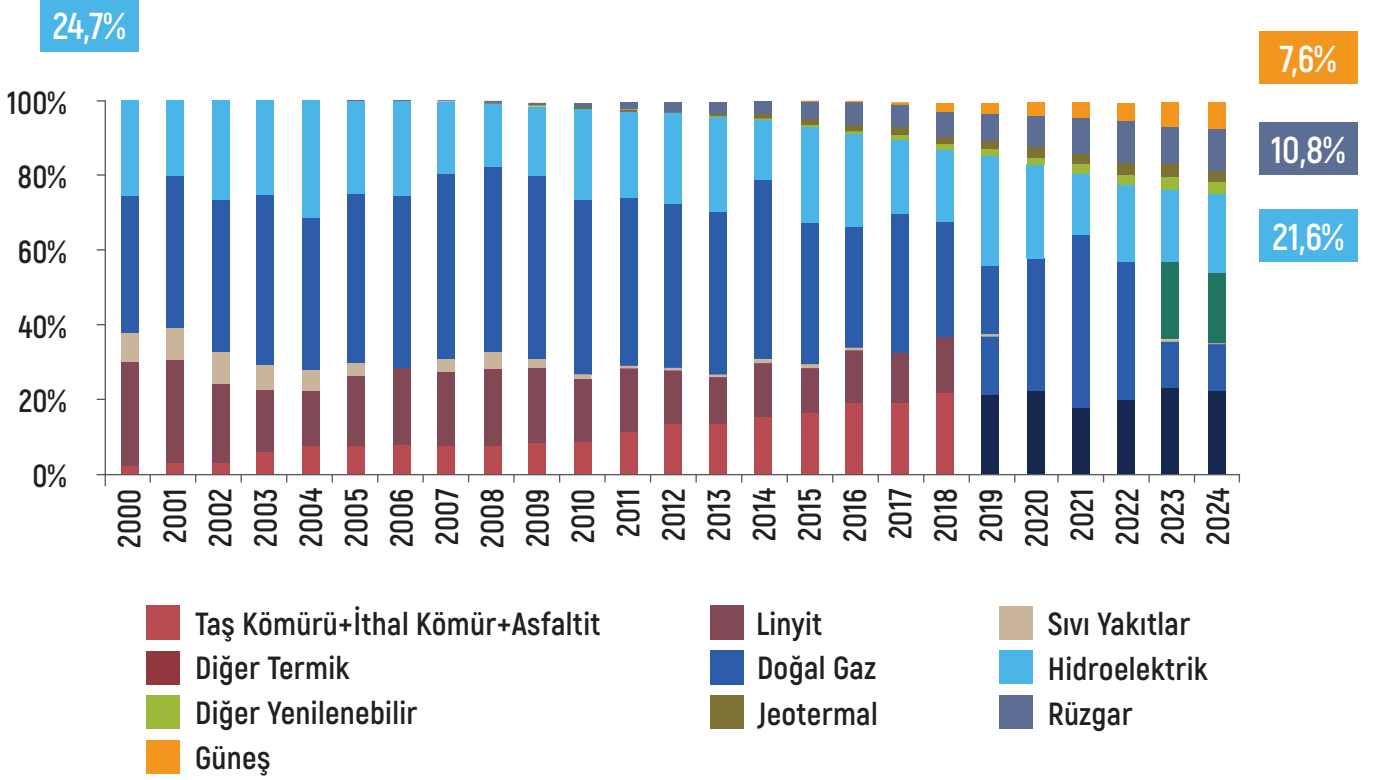
²³ Resmî Gazete, 2020. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/07/20200701-13.pdf>

²⁴ Resmî Gazete, 2022. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/11/20221119-4.htm>

²⁵ Kaynak türüne göre kurulu güç verileri TEİAŞ'tan alınmıştır.

Kurulu güçteki bu hızlı artışın sonucunda, Şekil 8'de de görüleceği üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimindeki payında da artış yaşanmıştır. Rüzgâr ve güneş enerjisinden elektrik üretimi kapsamında

yapılan son yatırımların da etkisiyle, 2024 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimindeki payı %46,1'e, rüzgâr ve güneşin toplam elektrik üretimindeki payı ise %18,4'e ulaşmıştır²⁶.



Şekil 8. Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Payı (%)

Gelecekte de Türkiye elektrik kurulu gücündeki artışların başta rüzgâr ve güneş olmak üzere ağırlıklı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından gelmesi beklenmektedir. Bunun temel nedenleri arasında yenilenebilir enerji maliyetlerinde yaşanmakta olan ve gelecekte de devam etmesi beklenen düşüşler, fosil yakıt maliyetlerindeki belirsizlikler ve artan iklim krizi kaygılarıyla birlikte uygulanmaya başlanacak olan emisyon ticaret sistemi nedeniyle fosil yakıtların maliyetlerinin artacak olması yer almaktadır.

1.3.2. Enerji Depolama Sistemleri

Enerji depolama teknolojileri ülkemizde her geçen gün yatırımların giderek arttığı bir alan haline gelmektedir. Mevzuatlarda yapılan değişiklikler ve batarya uygulamalarıyla beraber yapılacak yenilenebilir enerji yatırımları bu kapsamda büyük önem taşımaktadır. Batarya depolama sistemleri ve pompaj depolamalı hidroelektrik santraller, mevcut durumda enerji depolaması için nispeten yaygın olarak kullanılmaya başlanan iki seçenek olarak görülse de bu alanda gelecek vaat eden başka teknolojiler de bulunmaktadır.

²⁶ Kurulu güç verileri TEİAŞ'tan alınmıştır.

Girişte de değinildiği üzere, enerji depolama sistemleri, enerji sistemlerinde esnekliği artırmada kritik bir rol oynayacaktır. Enerji depolama teknolojilerinin Türkiye enerji piyasasının mevcut durumunda farklı potansiyel uygulama alanları bulunmaktadır. Bu alanlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir²⁷:

Frekans Düzenlemesi: Piyasada frekans düzenlemesi halihazırda TEİAŞ tarafından işletilen Yan Hizmetler Piyasası üzerinden yürütülmektedir. Günlük primer ve sekonder frekans kontrol ihaleleri TEİAŞ tarafından fiili rezerv kapasite yükümlülüğünden iki gün önce düzenlenmektedir. Mevcut durumda primer hizmeti sağlayan katılımcılar daha çok kömür santralleri ve hidroelektrik santrallerden oluşurken sekonder frekans hizmeti doğal gaz santralleri ve yine hidroelektrik santraller tarafından karşılanmaktadır. Depolama sistemleri ilerleyen yıllarda daha düşük fırsat maliyetleri nedeniyle bu piyasalardaki mevcut aktörlerin yerini alacak ve bu piyasalarda oluşan maliyetleri düşürecektir.

Bölgesel Kısıtların Yönetimi: Elektrik depolama seçenekleri, Türkiye iletim şebekesinin bölgesel kısıt yönetimi sorununu da hafifletme potansiyeline sahiptir. Elektrik iletim sisteminde görülebilen bölgesel tıkanıklıklar, ülkenin farklı bölgelerindeki üretim ve tüketim dengesizliklerinden kaynaklanmaktadır. Mevcut durumda bu gibi sorunlar piyasada faaliyet gösteren dengeleme birimlerine dengeleme güç piyasasında verilen yük al (YAL) veya yük at (YAT) talimatları yönetilmektedir. Bu durum sistem işletmecisi TEİAŞ için ekstra bir maliyet yaratmaktadır. Elektrik depolama teknolojileri farklı bölgelerdeki elektrik arzını düzenlemede daha uygun maliyetli seçenekler olarak göze çarpmaktadır.

Gün Öncesi Arbitraj: Depolama sistemleri, elektriği piyasada fiyatın düşük olduğu saatlerde çekebilir ve depolanan elektriği daha yüksek fiyatlı saatlerde şebekeye satabilir. Bu, enerji sistemi üzerindeki baskıları azaltabilen ve değişken enerji kaynaklarının sisteme daha kolay entegrasyonunu sağlayan bir “peak shaving” imkânı tanır. Bu şekilde artık talebin düzleşmesi yenilenebilir enerji entegrasyonunu kolaylaştırıcı bir etki yapacaktır. Bu yapı, teknik olduğu kadar finansal açıdan da stratejiktir. 20232024 döneminde PTF+YEKDEM fiyatları 13 TL/kWh arasında dalgalanmıştır. Bu oynaklık, depolama yatırımlarını sadece sistem güvenliği için değil, aynı zamanda gelir elde etmek için de cazip kılmaktadır.

9 Mayıs 2021 tarihinde yayımlanmış olan Elektrik Piyasasında Depolama Faaliyetleri Yönetmeliği’nde belirtilen elektrik depolama faaliyetleri; üretim tesisine entegre edilen depolama üniteleri, tüketim tesisine entegre edilen depolama tesisleri, müstakil (bağımsız) depolama tesisleri ve şebeke işletmecileri tarafından kurulan depolama tesisleri olmak üzere dört farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir²⁸:

1) Üretim Tesisine Bütünleşik Depolama Tesisi:

- Kapasite, üretim tesisinin lisanslı kapasitesini aşmamalıdır.
- Depolanan elektrik YEKDEM alım garantisi kapsamında değerlendirilemez. Ancak 5 Temmuz 2022 tarihli gelişme ile, YEKDEM’den faydalanan ya da faydalanan olacak olan santraller depolama ünitesi kurulumu yapıp ilgili kurulum kadar kapasite artırdığı takdirde depolanan elektrik enerjisi YEKDEM kapsamında değerlendirilecektir.

²⁷ TEİAŞ. (2024). Elektrik Depolama Tesislerine Ait Usul Esas ve Teknik Kriterler Hakkında Duyuru. Teias.gov.tr <https://www.teias.gov.tr/duyurular/elektrik-depolama-tesislerine-ait-usul-esas-ve-teknik-kriterler-hakkinda-duyuru>

²⁸ Resmî Gazete. (2021). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/05/20210509-3.htm>

2) Tüketim Tesisine Bütünleşik Depolama Tesis:

- Kapasite, tüketim tesisinin sözleşmeli bağlantı kapasitesini aşmamalıdır.
- Sadece tüketim amaçlı kullanılabilir.

3) Müstakil Depolama Tesis:

- Tedarikçi lisansı sahipleri tarafından kurulabilir.
- Kapasite 2 MW'tan yüksek olmalıdır.
- Elektrik Piyasası Yan Hizmetler Yönetmeliği'nde belirlenen şartları sağlayan müstakil depolama tesisleri Yan Hizmetlere, dengeleme birimi niteliğini taşıyanlar ise Dengeleme Güç Piyasası'na dahil olabilmektedir.

4) Şebeke İşletmecileri Tarafından Kurulan Depolama Tesis:

- Dağıtım sistemi operatörlerinin depolama yatırımlarının şebeke yatırımlarından daha az maliyetli olduğunu göstermeleri koşuluyla, depolama tesislerini devreye almalarına izin verilmektedir.
- İletim sistemi operatörünün ticari faaliyetlerde bulunmasına izin verilmeyen pilot projeler olarak depolama tesislerini işletmeye almasına izin verilmektedir.

9 Mayıs 2021 tarihinde yayımlanmış olan Elektrik Piyasasında Depolama Faaliyetleri Yönetmeliği'nde, 19 Kasım 2022 tarihinde Resmî Gazete'de yayımlanan değişiklikle birlikte elektrik depolama tesisi kuran tüzel kişilerin herhangi bir ön lisans yarışmasına girmeksizin depolama tesisiyle aynı kurulu güçte olmak koşuluyla rüzgâr ya da güneş enerjisi tesisi kurmasına ve piyasa fiyatı üzerinden satış

yapmasına izin verilmiştir. Değişiklikle birlikte yakın zamanda ortaya çıkması muhtemel arz krizlerine karşı hızlı bir şekilde devreye girebilecek bir proje stoğu oluşturulması hedeflenmektedir. Sektör katılımcıları yeni modele büyük bir ilgi göstermiştir. Önümüzdeki yıllarda devreye girecek rüzgâr ve güneş kapasitesinin bu yatırım modeli üzerinden devreye girmesi beklenmektedir. Yönetmeliğin detaylarına aşağıda yer verilmiştir²⁹:

- Depolama tesis işletmecisine depolama kurulu gücüyle eşdeğer bir rüzgâr ya da güneş tesisi kurulumu yapmasına izin verilmektedir.
- Mevcut rüzgâr ve güneş enerjisi tesislerinin ek depolama yatırımı yapmaları koşuluyla kurulu güçlerinin depolama kurulu gücü kademesinde artırmalarına izin verilmektedir.
- Bu şekilde yapılacak rüzgâr kurulumları için minimum kapasite 20 MW, güneş kurulumları içinse 10 MW olarak belirlenmiştir. Üst kapasite limiti ise her iki kaynak için de 250 MW seviyesindedir.
- Enerji depolama sisteminin minimum yük depolama süresi 1 saat olarak belirlenmiştir.
- Yatırımcıları her bir depolama ünitesi için yenilenebilir enerji kurulumu yapmasına izin verilmektedir.
- Kurulacak tesislerde rüzgâr ve güneş kaynakları için ölçüm zorunluluğu yoktur ve tesisler herhangi bir ön lisans yarışmasına katılmayacaktır.
- İşletme sırasında depolama sistemine aktarılacak enerji miktarı tesisin lisansında belirtilen kurulu gücü aşamaz.
- Lisansına müstakil elektrik depolama tesisi derç edilmesi uygun bulunan tedarik lisansı

²⁹ Elektrik Piyasasında Depolama Faaliyetleri Yönetmeliği. (2021). <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=38588&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

sahibi tüzel kişilikler değişikliğin yürürlüğe girmesinin ardından 3 ay içerisinde depolamalı bütünleşik yenilenebilir enerji tesisleri için ön lisans başvurusu hakkına sahip olacaktır. Değişiklik altında yapılacak olan başvurular için çeşitli kısıtlamalar bulunmaktadır.

- 250 MW veya altında kurulu güce sahip olan depolama tesisleri için ön lisans kurulu gücü olumlu görüş verilen kurulu gücü aşamaz.
- 250 MW ve üstünde kurulu güce sahip olan tesisler için ön lisans kurulu gücü olumlu görüş verilen toplam kurulu gücün 250 MW'ı aşan kısmının yarısına tekabül eden güç ilave edilerek bulunacak toplam gücü aşamaz.
- Toplam ön lisans kurulu gücü hiçbir şekilde 500 MW'ı aşamaz.

EPDK'ya göre, Aralık 2024 itibarıyla batarya entegreli rüzgâr ve güneş enerjisi projeleri için toplam 32,6 GW'lık ön lisans tahsis edilmiştir. Bu kurulu gücün 14,7 GW'lık kısmı güneş enerjisi projeleri, kalan 18,0 GW'lık kısmı ise rüzgâr enerjisi projelerinden oluşmaktadır. Önlisans alan projelerin sayısı 2024 yıl sonu itibarıyla 666'yı bulmuştur³⁰.

Bir diğer husus olan Türkiye'deki batarya üretimi, öncelikle yerli TOGG girişimi gibi elektrikli araçlardan kaynaklanan artan batarya talebini karşılamak amacıyla başlatılmıştır. Bununla birlikte, bu üretim artışının maliyetleri düşürmesi ve özellikle Kasım 2022'deki mevzuat değişikliğinin ardından batarya entegreli güneş ve rüzgâr santrallerinin ihalesiz önlisans alabilmesine olanak tanınmasıyla birlikte, elektrik üretim sektörüne de önemli faydalar sağlaması beklenmektedir.

Türkiye, düşük üretim maliyetleri ve Avrupa gibi önemli pazarlara yakınlığı sayesinde batarya sistemleri üretiminde dünya çapında lider bir ülke olma potansiyeline sahiptir. Bu doğrultuda, önemli yatırımcılar tarafından birçok adım atılmış ve ülkenin batarya üretim kapasitesi artırılmıştır. Hâlihazırda Türkiye'de faaliyet gösteren birkaç büyük batarya üreticisi bulunmaktadır:

• **Aspilsan:** Türkiye'nin en önemli üreticilerinden biridir. Haziran 2022'de seri üretime başlayan Kayseri'deki Aspilsan batarya üretim tesisi, ülkenin ilk Lityum-İyon batarya fabrikasıdır. Fabrikanın yıllık üretim kapasitesi 220 MWh olup, yılda 21.600.000 hücre üretme kapasitesine sahiptir. Üretilen batarya sistemleri ağırlıklı olarak askeri uygulamalarda, hibrit ve elektrikli araçlarda ve medikal alanlarda kullanılacaktır³¹.

• **Farasis & TOGG:** Çinli Farasis ve TOGG'un %50-%50 ortak girişimiyle kurulan Siro Silk Road şirketi, Gemlik'teki fabrikanın temelini Nisan 2023'te atmıştır. Fabrikanın 2026'da faaliyete geçmesi beklenmektedir. İlk etapta yıllık (2031 itibarıyla) 20 GWh üretim kapasitesiyle başlayacak olan üretimin 2035'e kadar 50 GWh'ye çıkarılması hedeflenmektedir. Fabrikada üretilen batarya hücreleri, öncelikli olarak TOGG elektrikli araçlarında kullanılacaktır³².

• **Pomega Enerji Depolama Teknolojileri:** Kontrolmatik'in %100 iştiraki olan şirket, Ankara Polatlı Organize Sanayi Bölgesi'nde kurulan Lityum-Demir Fosfat (LiFePO₄) tabanlı prizmatik batarya hücreleri ve enerji depolama ürünleri üretecek tesisi 29 Ağustos 2023'te devreye almıştır. Türkiye'nin özel sektör

³⁰ EPDK Önlisans Listesi.(2024). <https://lisans.epdk.gov.tr/epvys-web/faces/pages/lisans/elektrikUretimOnLisans/elektrikUretimOnLisansOzetSorgula.xhtml>

³¹ ASPİLSAN. (2021). Hakkımızda - ASPİLSAN. <https://www.aspilsan.com/kurumsal/hakkimizda/>

³² Farasis & TOGG (2022). Togg ve Farasis Energy ortaklığında kurulan Siro, ilk batarya prototipini üretti. <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/togg-ve-farasis-energy-ortakliginda-kurulan-siro-ilk-batarya-prototipini-uretti/2656427>

tarafından yapılan ilk enerji depolama yatırımı olan tesis, yıllık 2 GWh'in üzerinde üretim kapasitesine sahiptir ve bu alanda dünyadaki sayılı üretim tesislerinden biri haline gelmiştir. İlk etapta yıllık 500 MWh üretim kapasitesiyle üretime başlayan tesisin kapasitesi 2025 ilk çeyrekte itibaren 3 GWh'e ulaşacaktır. Bu kapsamda tesis hem elektrikli araçlar hem de elektrik üretim sektöründeki şebeke ölçekli tesisler için batarya sistemleri üretmeyi hedeflemektedir³³.

• **Ford, LG Energy Solutions ve Koç Holding:**

Bu üçlü, Türkiye'de büyük ölçekli bir batarya üretim tesisi kurmak için 2023 yılında bağlayıcı olmayan bir mutabakat zaptı imzalamıştır. Tesisin Ankara'da kurulması ve 2026'da üretime başlaması planlanmaktadır. Yıllık üretim kapasitesinin 25 GWh olması ve 45 GWh'ye kadar genişletilme potansiyeli bulunmaktadır³⁴.

• **Zorlu Holding & GSR Capital:** Zorlu Holding, Çinli GSR Capital ile 2018 yılında ortaklık kurarak Türkiye'de büyük ölçekli bir batarya üretim tesisi geliştirmeyi hedeflemiştir. 25 GWh yıllık üretim kapasitesine sahip olması planlanan tesisin, yaklaşık 4,5 milyar USD yatırım gerektirdiği hesaplanmıştır³⁵.

• **YEO Teknoloji:** Yenilenebilir enerji ve enerji teknolojileri markası olan YEO Teknoloji, Tuzla, İstanbul'da %100 iştiraki Reap Battery bünyesinde bir enerji depolama sistemleri fabrikası inşa etmeye devam etmektedir. Fabrikanın ilk yıl tek vardiyada 1 GWh kapasiteye

sahip olması beklenmekte olup, tesisin 2025 yılında devreye alınması planlanmaktadır³⁶.

• **Supracap:** Supracap, yerli ve milli süper kapasitör batarya teknolojisini Türkiye'ye taşımaktadır. Geleneksel batarya teknolojilerine alternatif yenilikçi teknolojiler geliştirmektedir³⁷.

Pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri, elektriğin gün içinde depolanması konusunda ikinci bir seçenek sunmaktadır. Basit bir prensiple çalışan bu santraller talebin ve elektrik fiyatlarının düşük olduğu saatlerde, alt rezervuarlardaki suyu daha yüksekte yer alan rezervuarlara pompalamaktadır. Üst rezervuarlara pompalanan su ise talebin ve elektrik fiyatlarının yüksek olduğu saatlerde elektrik üretim amacıyla kullanılmaktadır. Bu şekilde bu santraller gün içindeki piyasa fiyatlarının farkından yararlanarak bir arbitraj geliri elde edebilirler.

Türkiye'de henüz aktif olarak çalışan bir pompaj depolamalı hidroelektrik santrali bulunmamasına karşın daha önce gündeme gelmiş olan çeşitli projeler bulunmaktadır. EÜAŞ'ın yaptığı çalışmada Türkiye'de pompaj depolamalı hidroelektrik santrali geliştirmeye uygun 7 farklı baraj belirlenmiştir. Yüksek sermaye maliyetleri ve mevcut finansman eksikliği gibi çeşitli zorluklar nedeniyle henüz çok fazla ilerleme sağlanamamıştır ve yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle bu projelerin batarya depolama teknolojileriyle rekabet edebilmesi zor görünmektedir.

³³ POMECA. (2023). <https://tr.pomeca.com/tr/hakkimizda>

³⁴ Koç Holding. (2023). Koç Holding | Koç Holding, Ford Motor Company ve LG Energy Solution Batarya Hücresi Üretimi Tesisi Yatırımına İlişkin Bağlayıcı Olmayan Niyet Mektubu İmzaladı. <https://www.koc.com.tr/medya-merkezi/haberler/2023/koc-holding-batarya-hucresi-yatirimi>

³⁵ Zorlu Holding (2018). Zorlu Holding ve GSR Capital arasında dev anlaşma. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/zorlu-holding-ve-gsr-capital-arasinda-4-5-milyar-dolarlik-dev-anlasma/1073566>

³⁶ Rota Borsa. (2025). Yeo Teknoloji (YEOTK) yeni yatırımı açıkladı - Rota Borsa. <https://rotaborsa.com/yeo-teknoloji-yeotk-yeni-yatirimi-acikladi-5/>

³⁷ Supracap (2024). <https://supracap.com.tr/>



Yerli aksam desteđi ile yenilenebilir enerji projelerinde yerli ekipman kullanımı, sađlanan teřviklerle birlikte, hem maliyetlerin dűřmesine hem de yerli sanayinin gűçlenmesine katkı sađlayarak űlkemiz enerji gűvenliđini arttırmaktadır.

1.3.3. Yerli Parça ve Ekipman Desteği

Tűrkiye, yenilenebilir enerji bileřenlerinin űretiminde yerliliđi ve sűrdűrűlebilirliđi artırmak amacıyla yerli aksam desteklerine bűyűk ۆnem vermektedir. Bu destek, yerli űreticilerin rekabet gűcűnű artırmak, dıřa bađımlılıđı azaltmak ve yerli sanayinin geliřimini teřvik etmek için çeřitli stratejiler içermektedir.

Yerli aksam desteđi ile yenilenebilir enerji projelerinde yerli ekipman kullanımı, yerli űreticilere sađlanan teřviklerle birlikte, yerli malzeme ve ekipman kullanımını ۆzendirmektedir. Bu durum hem maliyetlerin dűřmesine hem de yerli sanayinin gűçlenmesine katkı sađlamakta, Tűrkiye'nin enerji gűvenliđini artırmaktadır. Ayrıca, yerli

űretim sayesinde istihdam artıřı sađlanmakta ve yerli sanayiye olan gűven artmaktadır.

Yenilenebilir enerji kurulu gűcűnűn artmasıyla birlikte YEKDEM kapsamında yerli aksam desteği de giderek artmıştır. Uygulamaya konulan ilk YEKDEM (v1.0) kapsamında, yerli aksam destek bedelleri USD/MWh olarak belirlenmiş olup, 31 Aralık 2020 itibarıyla bu kapsama yeni santrallerin katılımı sona ermiştir. Sonrasında işletmeye giren tesisler için destekleme mekanizması TL bazına çevrilmiş ve taban-tavan fiyat uygulaması getirilmiştir. YEKDEM (v1.0) uygulamasında yerli aksam kullanım oranlarına ve çeşitine gűre santraller ilave yerli katkı payından yararlanmış olup Tablo 2'de detaylar yer almaktadır³⁹.

³⁹ SHURA Enerji Dűnűřűmű Merkezi. (2022). Tűrkiye elektrik sisteminde esneklik uygulamalarına yۆnelik politika seçenekleri. <https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2022/12/Shura-Aralik-2022-Turkiye-elektrik.pdf>

Tablo 2. YEKDEM v1.0 Yerli Katkı Fiyatları

Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Tesis Türü	Yerli Aksam	Yerli Katkı Fiyatı [USD/MWh]
Hidroelektrik 	Türbin	13
	Jeneratör ve güç elektroniği	10
Rüzgar 	Kanat	8
	Jeneratör ve güç elektroniği	10
	Türbin kulesi	6
	Rotor ve nasele gruplarındaki elektronik aksamın tamamı	13
Biyokütle 	Akışkan yataklı buhar kazanı	8
	Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	4
	Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	6
	Buhar veya gaz türbin	20
	İçten yanmalı motor veya stirling motoru	9
	Jeneratör ve güç elektroniği	5
	Kojenerasyon sistemi	4
Jeotermal 	Buhar veya gaz türbini	13
	Jeneratör ve güç elektroniği	7
	Buhar enjektörü veya vakum kompresörü	7

Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Tesis Türü	Yerli Aksam	Yerli Katkı Fiyatı [USD/MWh]
Fotovoltaik Güneş 	PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	8
	PV modülleri	13
	PV modülünü oluşturan hücreler	35
	İnvertör	6
	PV modülü üzerine güneş ışığını odaklayan malzeme	5
Yoğunlaştırılmış Güneş 	Radyasyon toplama tüpü	8
	Yansıtıcı yüzey levhası	4
	Güneş takip sistemi	5
	Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı	20
	Kulede güneş ışığını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı	9
	Stirling motoru	5
	Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekaniği	4

Yerli aksam desteği ile yenilenebilir enerji projelerinde yerli ekipman kullanımı, teşviklerle birlikte, yerli malzeme ve ekipman kullanımını özendirir. Bu durum hem maliyetlerin düşmesine hem de yerli sanayinin güçlenmesine katkı sağlamakta, Türkiye'nin enerji güvenliğini artırmaktadır. Yerli üretim sayesinde istihdam artışı sağlanmakta ve yerli sanayiye olan güven artmaktadır.

2021 itibarıyla belirlenen yeni YEKDEM (v2.0) altında yerli aksam kullanan santraller kullandıkları aksam için belirtilen yüzdeye oranlı olarak ilave yerli katkı payından yararlanma hakkına sahiptirler. TL bazlı açıklanan yeni YEKDEM bedeline ek olarak santraller kullandıkları yerli aksama bağlı olarak 5 yıl boyunca ilave yerli aksam desteğinden faydalanabileceklerdir. Bu destek bedeli öncelikle 80 TL/MWh olarak açıklanmış ve her

çeyrekte enflasyon, ÜFE ve kura bağlı olarak güncelleneceği belirtilmiştir⁴⁰. İlan edilen yerli aksam destek bedelinin ne kadarının alınabileceği santralin ilave katkı oranına göre belirlenmektedir. İlave katkı oranının %100 olması durumunda santral bu bedelin tamamını alabilecektir. Tablo 3'te YEKDEM v2.0 (2021 başı revizyonu) ve YEKDEM v3.0 (2023 Mayıs ayında yapılan ve önceki bölümlerde açıklanan revizyon) için yerli katkı oranları yer almaktadır⁴¹.

Tablo 3. YEKDEM v2.0 ve YEKDEM v3.0 için Yerli Katkı Oranları

Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Tesis Türü	Yerli Aksam	Yerli Katkı Oranları (%)
Hidroelektrik 	Türbin	60
	Jeneratör ve güç elektroniği	40
Rüzgar (Dişli Kutulu) 	Kanat	10
	Jeneratör ve güç elektroniği	21
	Türbin kulesi	10
	Rotor ve nasel gruplarındaki elektronik aksamın tamamı	59
Jeoermal 	İçten yanmalı motor veya stirling motoru	30
	Jeneratör ve güç elektroniği	40
	Soğutma sistemi	15
	Buharlaştırıcı/Yoğuşturucu	15

⁴⁰ Resmî Gazete, 2021. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/01/20210130-9.pdf>

⁴¹ Resmî Gazete, 2023. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/05/20230501-7.pdf>

Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Tesis Türü	Yerli Aksam	Yerli Katkı Oranları (%)
Biyokütle 	İçten yanmalı motor veya stirling motoru	30
	Jeneratör ve güç elektroniği	40
	Diğer	30
Fotovoltaik Güneş 	PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	10
	PV panel	65
Rüzgar (Doğrudan Sürücülü) 	İnvertör	25
	Kanat	10
	Jeneratör ve güç elektroniği	21
	Türbin kulesi	10
	Rotor ve nasele gruplarındaki elektronik aksamın tamamı	59

2023 yılının Mayıs ayında yapılan güncellemeyle birlikte (YEKDEM v3.0) belirlenen yerli aksam fiyatları; ÜFE, TÜFE ve USD ve Euro döviz kurlarına bağlı olarak ayda bir revize edilmektedir. Deniz üstü rüzgâr tesisleri, rüzgâr veya güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri ile bütünleşik elektrik depolama tesisleri, pompaj depolamalı hidroelektrik tesisleri ve dalga veya akıntı enerjisine dayalı üretim tesisleri YEKDEM ve Yerli Katkı Fiyatı kapsamında ilk defa ayrı olarak fiyatlandırılmıştır. Yerli Katkı Fiyatı uygulama süresi hidroelektrik, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve güneş üretim tesisleri için 5 yıl, depolamalı rüzgâr veya güneş, pompaj depolamalı hidroelektrik ve dalga veya akıntı enerjisine dayalı üretim tesisleri

için 10 yıl olarak belirlenmiştir. Rüzgâr veya güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinde şebekeden çekilerek depolanan elektrik enerjisi için YEKDEM uygulama fiyatı ve yerli katkı fiyatı uygulanmayacaktır. Uygulanacak alım garantisi yalnızca yenilenebilir enerji üretimi için geçerli olacaktır. Biyokütleyle dayalı termal bertaraf üretim tesisleri için belirtilen YEKDEM uygulama fiyatı ve yerli katkı fiyatı karar tarihi (1 Mayıs 2023)ne kadar ön lisans almış olan tesisler için uygulanacaktır. Bu tarihten sonra ön lisans alan tesisler YEKDEM ve yerli katkı fiyatından yararlanamayacaktır. Tablo 4'te Mayıs 2023'te açıklanan YEKDEM v3.0 kapsamındaki fiyatlara dair detaylar bulunmaktadır.

Tablo 4. YEKDEM v3.0 ve Yerli Katkı Fiyatları

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi		YEKDEM Uygulama Fiyatı (TL/MWh)	YEKDEM Taban - Tavan Fiyatı (USD/MWh)	Yerli Katkı Fiyatı (USD/MWh)
Hidroelektrik	Rezervuarlı	1440,0	67,5 - 82,5	288,0
	Nehir Tipi	1.350,0	63,0 - 77,0	288,0
Rüzgar	Karasal	1.060,0	49,5 - 60,5	288,0
	Deniz Üstü	1440,0	67,5 - 82,5	384,5
Biyokütle	Çöp Gazı / Atıl	1.060,0	49,5 - 60,5	288,0
	Biyometanizasyon	1.730,0	81,8 - 99,0	288,0
	Termal Bertaraf	1.349,0	57,5 - 80,0	215,8
Jeotermal		2.020,0	94,5 - 115,5	288,0
Güneş		1.060,0	49,5 - 60,5	288,0
Depolamalı Rüzgâr ve Güneş		1.250,0	58,5 - 71,5	384,5
Pompaj Depolamalı HES		2.020,0	94,5 - 115,5	384,5
Dalga veya Akıntı		1.350,0	63,0 - 77,0	384,5

2023 yılının Mayıs ayında yapılan güncellemeyle birlikte (YEKDEM v3.0) belirlenen yerli aksam fiyatları; ÜFE, TÜFE ve USD ve Euro döviz kurlarına bağlı olarak ayda bir revize edilmektedir.

2024 yılı Nihai YEK Listesi incelendiğinde ise listeye göre 16.802 MW kurulu güce sahip 784 santralin YEKDEM'den yararlanmayı tercih ettiği görülmektedir. 2024 yılında YEKDEM'den faydalanan santrallerde kurulu güç açısından rüzgâr santrallerin baskınlığı dikkat çekmektedir. YEKDEM'e katılan 170 rüzgar santralinin 93 tanesi ayrıca yerli katkıdan faydalanmıştır. Biyokütle santralleri sayıca bu

mekanizmadan en çok yararlanan kaynak türü olmuştur. 3 barajlı ve 3 akarsu santrali kanun kapsamında yalnızca yerli katkı ilave fiyatından faydalanmaktadır. TL bazlı YEKDEM'den yararlanan yalnızca 1 santral bulunmaktadır. Tablo 5'te 2024 Nihai YEK listesinde YEKDEM'den ve yerli katkı fiyatından yararlanan santrallerin sayısı ve toplam kapasiteleri detaylı bir şekilde gösterilmektedir⁴².

Tablo 5. 2024 Nihai YEK Listesine Göre YEKDEM'den ve Yerli Katkı Fiyatından Faydalanan Santraller

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	YEKDEM'e Esas Güç (MWe)	YEKDEM'den Faydalanan Santral Sayısı	Yerli Katkı Fiyatından Faydalanan Santral Sayısı	Yerli Katkı Fiyatından Faydalanan Santrallerin Kapasitesi (MWe)
Akarsu	2.777,9	215 (USD bazlı) + 3 (TL bazlı)	215 (USD bazlı) + 3 (TL bazlı)	304,4
Barajlı	3.828,5	33 (USD bazlı) + 3 (TL bazlı)	15 (USD bazlı) + 3 (TL bazlı)	737,1
Rüzgar	6.706,7	170	93	3.868,6
Jeotermal	1.309,5	51	14	344,6
Güneş	468,8	36	26	378,1
Biyokütle	1.710,2	273	17	237,1

2024 yılında YEKDEM'den faydalanan santrallerde kurulu güç açısından rüzgâr santrallerin baskınlığı dikkat çekmektedir. YEKDEM'e katılan 170 rüzgar santralinin 93 tanesi yerli katkıdan faydalanmıştır.

⁴² 2024 Nihai YEK Listesi <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/5-14221/2024-yili-nihai-yek-listesi-yayinlanmistir>

2014 yılında ana ekipman imalatçısı 9, alt tedarikçi sayısı 18 iken 2024 yılında ana ekipman imalatçısı 150'ye ulaşmış olup 50.000 kişi istihdam edilmiştir. 10 yılda 9,8 GW kurulu gücünde 1,8 milyar USD destekle 382 tesis kurulmuştur.

Ekim 2024'te ETKB tarafından yayımlanan Enerji Dönüşümü: Yenilenebilir Enerji 2035 Yol Haritası'nda yerli aksam üretiminde de büyük ilerleme kaydedildiği görülmektedir. 2014 yılında ana ekipman imalatçısı 9, alt tedarikçi sayısı 18 iken 2024 yılında ana ekipman imalatçısı 150, alt tedarikçi sayısı 350'ye ulaşmış olup 50.000 kişi istihdam edilmiştir. 10 yılda 9,8 GW kurulu gücünde 1,8 milyar USD destekle 382 tesis kurulmuştur.

Yerli ekipman üretim sektörü, Türkiye'nin rüzgâr enerjisi sektöründeki başarısının temel unsurlarından biri sayılmaktadır. Türkiye, rüzgâr enerjisi ekipman üretiminde Avrupa'da 5. sırada yer almakta ve türbin ile bileşenlerini 45 ülkeye, 6 kıtaya ihraç etmektedir. Türkiye, rüzgâr enerjisi endüstrisinin inşaat, işletme, lojistik, bakım, rüzgâr mühendisliği, danışmanlık ve proje geliştirme gibi çeşitli alanlarında önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Uluslararası ortaklıklar büyümeye devam ederken, Türk rüzgâr enerjisi sektörü güvenilirlik ve yenilikçilik açısından itibar kazanmaktadır. TÜREB anketine göre, Türkiye'de üretilen tüm rüzgâr enerjisi ürünlerinin yerlilik oranı artık %50'nin üzerindedir. Bu durum, sektörün yerli üretim kapasitesinin arttığını ve enerji üretiminde dışa bağımlılığın azaldığını göstermektedir. Ancak, bu olumlu gelişmeye rağmen, sektör temsilcileri artan talebi karşılayacak ileri teknoloji ve üretim yöntemlerine uyum sağlayabilecek yüksek nitelikli bir iş gücüne olan ihtiyaca dikkat çekmektedir⁴³.

Güneş enerjisi sektörü incelendiğinde ise fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinin %80

oranında yerli imal edilebildiği görülmektedir. Türkiye'de özellikle güneş enerjisinden elektrik üretimini teşvik eden mevzuat düzenlemelerinin yayımlanmasının ardından, güneş enerjisine yönelik yerli imalat sanayisindeki gelişmeler hızlanmıştır. Eksiksiz bir PV güneş enerjisi santralinde yerlilik oranı %70 ila %80 oranındadır. Türkiye'deki PV modül üretimi 10 yıl içerisinde genişleyerek 3 panel fabrikasından 60'ın üzerinde üreticiye ulaşmıştır. Türkiye bulunduğu konum sebebiyle dünyada çok sayıdaki piyasaya ulaşabilecek stratejik bir konumdadır. Üretim maliyetleri, sektördeki son durum, gelişen bir pazar olması, yerli üreticinin nasıl korunduğu bu noktada çok önemlidir. Mevcut güneş paneli üreticilerinin toplamda 25-30 GW yıllık üretim kapasitesi olduğu bilinmektedir. Güneş paneli fabrikalarında yaklaşık 15.000 kişilik istihdam, panel fabrikaları yan sanayisinde ise yaklaşık 8.000 kişilik istihdam yaratılmıştır. Konstrüksiyon ve alüminyum sektöründe 5.000'e yakın kişi ve montaj-kurulum alanında da 15.000 kişinin istihdam edildiği düşünüldüğünde Türkiye'deki güneş paneli sektöründe toplam istihdamın 40.000 – 45.000 aralığında olduğu görülmektedir⁴⁴.

Piyasada üretim yapan aktörlerin sayısının fazla olmasına rağmen üretim kapasitesi önemli noktalara ulaşmış olan oyuncu sayısı fazla değildir. Tablo 6'da ülkede faaliyet gösteren yıllık 1 GW üstü üretim kapasitesine sahip olan panel üreticileri gösterilmektedir.

⁴³ TÜREB. (2024). Anasayfa | Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği - TÜREB. <https://www.tureb.com.tr/>

⁴⁴ GÜNDER (2023). Türkiye Güneş Enerjisi Sektör Raporu

Tablo 6. Türkiye’de Faaliyet Gösteren 1 GW ve Üstü Yıllık Üretim Kapasitesine Sahip Panel Üreticileri

Şirket	Hücre	Ingot	Wafer	Modül
Kalyon	x	x	x	x
Smart Güneş Teknolojileri	x			x
Sirius				x
Schmid Pekintaş Energy				x
CW Enerji				x
Alfa Solar Enerji				x
HSA				x
Daxler Energy				x

Yakın zamana kadar ülkedeki panel üretimi iç pazardaki talebi karşılamaya odaklanmış ve olsa da son yıllarda özellikle ABD’ye yapılan ihracatta artışlar görülmüştür. Solar modül ihracatının önemli bölümü Kalyon PV tarafından yapılmaktadır⁴⁵.

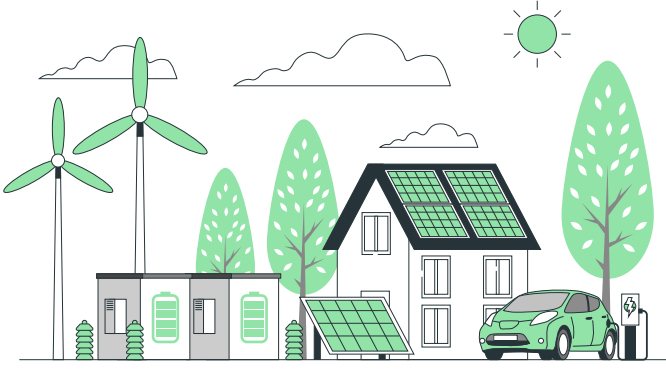
Türkiye’de hidroelektrik enerjisi sektöründe üretilen ürünlerin yerlilik oranı, santral türüne ve kullanılan ekipmanlara göre değişiklik göstermektedir. Baraj inşaatı, betonlama, boru hatları ve mekanik parçalar gibi altyapı süreçlerinde yerlilik oranı oldukça yüksektir. Türbin ve jeneratörlerde ise küçük ve orta ölçekli hidroelektrik santraller için kullanılan ekipmanların bir kısmı yerli olarak üretilirken, büyük ölçekli santrallerde ithalat gereksinimi

daha yüksektir. Halihazırda jeneratör üretiminde yerlilik oranı %30 seviyesindedir. Hidroelektrik santraller konusunda önümüzdeki dönemlerde büyük kapasite artışları beklenmese de bu sektörde yerliliğin artırılması ülkemizin menfaatine olacaktır⁴⁶.

Ülkede yenilenebilir enerji bileşenlerinde yerliliğin teşvik edildiği diğer bir alan YEKA ihaleleridir. YEKA ihalelerine bağlı olarak, teknik özellikler arasında enerji üretim tesislerinde kullanılacak ekipmanların yerli üretimine ilişkin yükümlülükler bulunmaktadır. Bu alanlarda “yerli üretim ekipman” kullanımı zorunluluğu, teknoloji bilgi transferine katkı sağlamayı ve araştırma-geliştirme alanındaki yatırımları artırmayı hedeflemektedir.

⁴⁵ GÜNDER (2023). Türkiye Güneş Enerjisi Sektör Raporu

⁴⁶ T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2018). 11.Kalkınma Planı (2019-2023). <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/EnerjiTeknolojilerindeYerliUretimCalismaGrubuRaporu.pdf>



45 ÜLKE

Türkiye, rüzgâr enerjisi ekipman üretiminde Avrupa'da 5. sırada yer almakta olup türbin ile bileşenlerini 45 ülkeye ve de 6 kıtaya ihraç etmektedir.

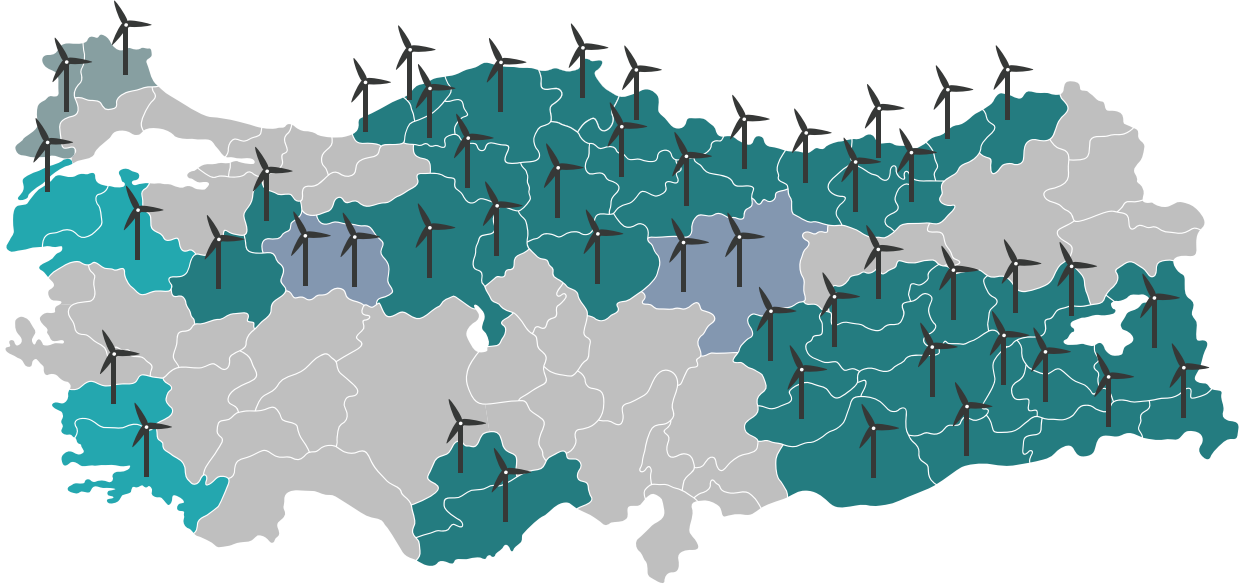
Aralık 2022 itibarıyla 2.850 MW rüzgâr ve 3.000 MW güneş enerjisi YEKA ihalesi sonuçlandırılmıştır.

Rüzgâr enerjisi için tamamlanan YEKA ihalelerinin konumları Şekil 9'da, güneş enerjisi için tamamlanan YEKA ihalelerinin konumları Şekil 10'da gösterilmektedir⁴⁷.

YEKA RES - 1

YEKA RES - 2

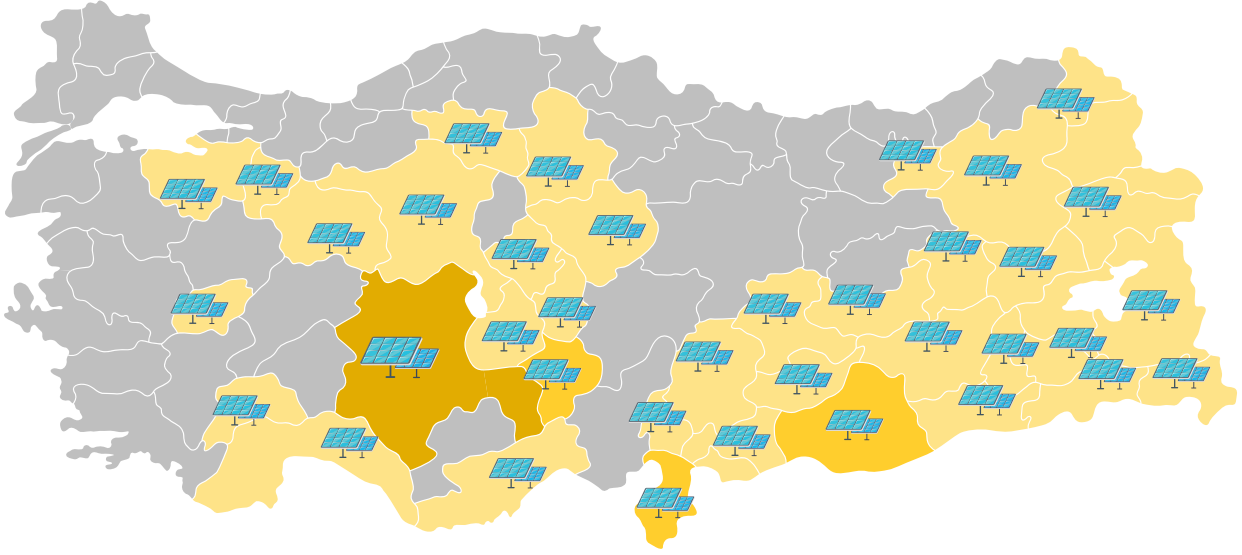
YEKA RES - 3



YEKA RES - 1 ve YEKA RES - 3'ün bulunduğu bölgeler göstermektedir.

Şekil 9. Tamamlanan YEKA Rüzgâr İhaleleri

⁴⁷ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2016). YEKA Modeli ve Uygulamaları- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-yeka-modeli>



Şekil 10. Tamamlanan Güneş YEKA İhaleleri

Yarışması tamamlanan YEKA'lardan Konya Karapınar'da kurulumu gerçekleşen YEKA GES-1 ve GES-4'ten santraller devreye girmiştir. Toplamda 1.000 MWe kapasiteye sahip GES-1'in tamamı devreye alınmıştır⁴⁸. Şekil 11'de ertelenen deniz üstü RES ve iptal edilen GES-2 YEKA ihaleleri yer almaktadır.

YEKA'larda yerlilik şartı incelendiğinde en eski ve önemli projelerden biri olan YEKA GES-1'den itibaren yerlilik hususunun hep büyük önem teşkil ettiği görülmektedir. Bu kapsamda, YEKA GES-1'i kazanan firmanın Karapınar'da kapsamlı bir güneş enerjisi üretim tesisi inşa etmesi zorunlu tutulmuştur. Karapınar tesisi, bölgenin en büyük güneş paneli üretim tesislerinden biri olup silikon külçeler, waferlar, güneş pilleri ve modüller gibi bileşenler üretmektedir. Üretim tesisinde kullanılan bileşenlerin

%65'inin yerli bileşenlerden oluşması zorunlu tutulmuştur⁴⁹. Şu anda tesis, fotovoltaik modülleri için %78'lik bir yerli katkı oranına ulaşmıştır. Tesis aynı zamanda beş kritik alanda on yıllık araştırma taahhüdüyle güneş teknolojisindeki ilerlemelere odaklanan özel bir Ar-Ge merkezine de ev sahipliği yapmaktadır. Karapınar'da üretim ve inovasyona yönelik bu entegre yaklaşım, tesisi Türkiye'de güneş enerjisi üretimi ve teknolojisi için önemli bir merkez haline getirmektedir.

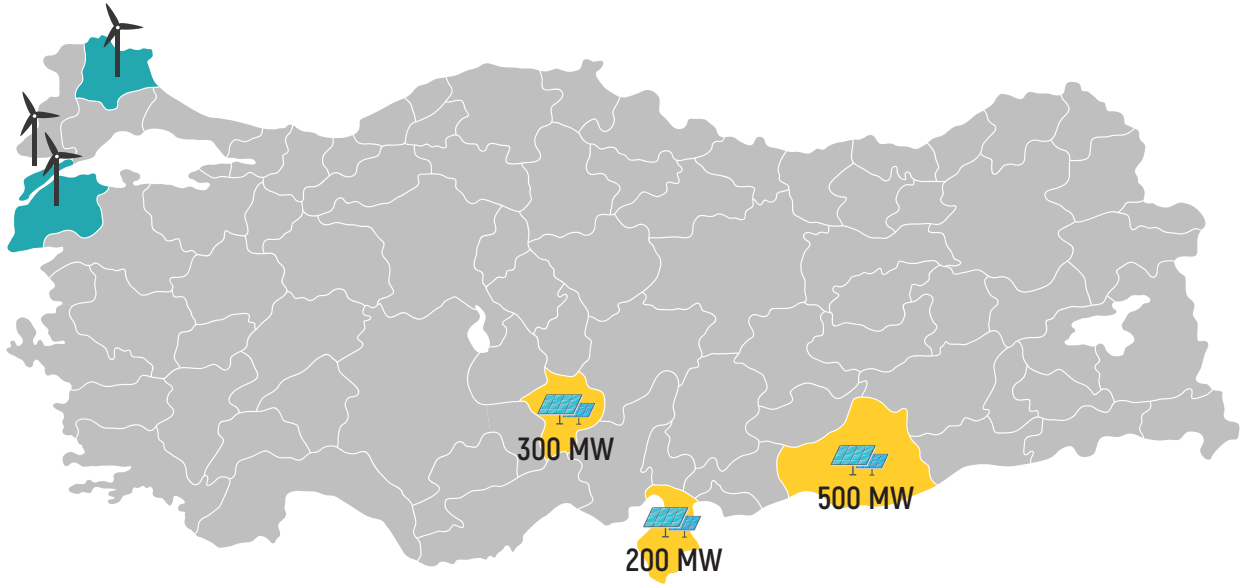
Öte yandan YEKA RES-1 projelerinin şartları arasında, rüzgâr türbini bileşenlerinin en az %60'ünün yurt içinden tedarik edilmesi veya yurt içinde üretilmesi gerekmesi bulunmaktadır⁵⁰.

2019'da başlatılan YEKA RES-2 kapsamındaki her proje, bölgesel ekonomik kalkınmayı teşvik etmek ve istihdam yaratmak için yerli

⁴⁸ 1.000 MWe kurulu güç değeri, EPDK "Elektrik Piyasası Üretim Lisansları" sorgulama sayfasından 4 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.

⁴⁹ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Güneş enerjisine dayalı yenilenebilir enerji kaynak alanları ve bağlantı kapasitelerinin tahsisine ilişkin şartname (YEKA GES-1 ŞARTNAMESİ).

⁵⁰ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Rüzgâr enerjisine dayalı yenilenebilir enerji kaynak alanları ve bağlantı kapasitelerinin tahsisine ilişkin şartname (YEKA RES-1 ŞARTNAMESİ).



Şekil 11. Ertelenen DRES (mavi) ve iptal Edilen GES-2 YEKA (sarı) ihaleleri

üretim gerekliliklerini güçlendirerek katı yerli içerik standartlarını sürdürmüştür. Koşullar, yerli bileşenlerin belirlenen asgari oranlarda kullanılmasını öngörmekteydi. Kuleler için %65, kanatlar için %60 ve diğer ekipmanlar için %51 oranında yerlilik aranmaktadır⁵¹.

“Mini YEKA” olarak da bilinen YEKA GES-3 girişimi, 2021 yılında gerçekleştirilen ihale ile katılımcı firmaların %70 oranında yerel olarak üretilen bileşenleri kullanmasını gerektirmiştir⁵².

2022’de yapılan ve 41 ilde toplam 850 MW’lık kapasiteyi içeren YEKA RES-3’te ise rüzgâr bileşenleri için zorunlu tutulan oran puan %55 olmuştur⁵³.

Aynı yıl düzenlenen YEKA GES-4’te ise önceki güneş santrali bileşen zorunluluğu artırılarak %75 olmuştur⁵⁴.

ETKB tarafından Ekim 2024 tarihinde yayımlanan Yenilenebilir Enerji 2035 Yol Haritası’nda, her yıl toplamda 2.000 MW kurulu güç değerinde rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesi içeren yeni YEKA’ların devreye alınması yer almaktadır. Bu YEKA’ların ilki, 2025 yılının başında iki ayrı ihale şeklinde gerçekleştirilecektir. Bu ihalelerden biri 1.200 MW’lık rüzgâr enerjisi projelerini, diğeri ise 800 MW’lık güneş enerjisi projelerini kapsayacaktır. Yeni oluşturulan YEKA’lar bir dizi önemli avantaj sunmaktadır. Bu YEKA’lar, serbest piyasada 49,5 USD/MWh asgari garanti fiyat üzerinden 5 ila 6 yıl süreyle elektrik satma yetkisine sahiptir. Ayrıca, TEİAŞ maliyetinden muafiyet avantajı

⁵¹ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2019). Rüzgâr enerjisine dayalı yenilenebilir enerji kaynak alanları ve bağlantı kapasitelerinin tahsisine ilişkin şartname (YEKA RES-2 ŞARTNAMESİ).

⁵² Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Güneş enerjisine dayalı yenilenebilir enerji kaynak alanları ve bağlantı kapasitelerinin tahsisine ilişkin şartname (YEKA GES-3 ŞARTNAMESİ).

⁵³ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Rüzgâr enerjisine dayalı yenilenebilir enerji kaynak alanları ve bağlantı kapasitelerinin tahsisine ilişkin şartname (YEKA RES-3 ŞARTNAMESİ).

⁵⁴ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024b). Güneş enerjisine dayalı yenilenebilir enerji kaynak alanları ve bağlantı kapasitelerinin tahsisine ilişkin şartname (YEKA GES-2024 ŞARTNAMESİ).

da bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, YEKA'lar için asgari yerlilik şartı bulunmakta olup, döviz bazlı fiyatlandırma ve uluslararası tahkim gibi ek avantajlar da sunulmaktadır⁵⁵.

Bu kapsamda Kasım ayı başında açıklanan YEKA GES-5, güneş modülleri için minimum %75 yerli içerik ile 800 MWe'lik toplam kapasite hedeflemektedir. YEKA GES-5 ihalesi 4 Şubat 2025 tarihinde sonuçlanmıştır⁵⁶. 800 MWe GES-5 için kilit güneş enerjisi sahaları arasında Karapınar (385 MWe), Karaman (200 MWe), Malatya (75 MWe), Van (60 MWe), Antalya (40 MWe) ve Kütahya (40 MWe) bulunmaktadır⁵⁷.

YEKA RES-4 ihalesi 28 Ocak 2025 tarihinde sonuçlanmıştır. 1.200 MWe'lik kapasiteye 18 kat talep gelen yarışmanın sonuçları Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından açıklanmıştır⁵⁸. İhalede YEKA'da kurulumu gerçekleştirilecek Rüzgâr Türbinleri için kazanılan Aksam yerlilik puanı toplamı asgari 55 (ellibeş) olarak belirlenmiştir. Yarışmada kazanılan bölge ve kapasiteler şu şekildedir: Edirne (410 MWe), Balkaya (340 MWe), Sergen (200 MWe), Yellice (160 MWe) ve Gürün (90 MWe) bulunmaktadır⁵⁹.

Yerli parça ve ekipman desteği söz konusu olduğunda önemli bir diğer teşvik ise bölgesel teşviklerdir. Bu desteklerin ana hedefleri arasında ithalatı yüksek ara malların yerli üretimini artırarak cari açığı azaltmak, ekonomik dönüşüm için yüksek ve orta-yüksek teknolojiyi teşvik eden yatırımları desteklemek ve bölgesel ekonomik eşitsizlikleri gidermek için daha az gelişmiş bölgelerde yatırımı teşvik etmek yer almaktadır. I. Bölge en gelişmiş

bölgeleri temsil ederken, VI. Bölge en az gelişmiş bölgeleri kapsamaktadır. Teşvik oranları ve süreleri, odak noktası gelişmiş bölgelerden daha az gelişmiş bölgelere doğru kaydıkça artmakta ve asgari yatırım eşikleri ekonomik olarak dezavantajlı bölgeler için daha düşük belirlenmektedir. Örneğin, Genel Teşvik Sistemi kapsamında asgari sabit yatırım tutarı I. ve II. bölgeler için 3 milyon TL olarak belirlenirken, III ila VI. bölgeler için 1,5 milyon TL'ye düşürülmüştür. Öte yandan Stratejik Yatırımlar için asgari 50 milyon TL'lik bir eşik değer gerekirken, Bölgesel Teşvikler sektörlere ve bölgelere göre değişmekle birlikte 1,5 milyon TL'den başlamaktadır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2023). Genel teşvik sistemi kapsamında bazı özel yatırımlar farklı bölgelerde yapılmalarına karşın daha düşük bölge teşviklerinden yararlanabilmektedir. Örneğin güneş ve rüzgâr enerjisi yatırımları 1 inci, 2 nci ve 3 üncü bölgelerde gerçekleştirilmeleri halinde 4 üncü bölgede uygulanan, 4 üncü, 5 inci ve 6 ncı bölgelerde gerçekleştirilmeleri halinde ise bulunduğu bölgede uygulanan bölgesel desteklerden yararlanabilmektedir⁶⁰.

Sonuç olarak, Türkiye'de yerli aksam desteği, ekonomik büyüme ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır. Bu destek, yerli üretim kapasitesinin artırılması, teknoloji transferinin sağlanması ve uluslararası rekabet gücünün yükseltilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin yerli aksam desteği ile birlikte, kendi kendine yeterli bir ekonomik yapı oluşturma hedefi daha da güçlenmektedir.

⁵⁵ https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/BHIM/tr/Duyurular/YEKA_GES-2024_%C5%9Earname_202411041002.pdf

⁵⁶ YEKA GES-2024 Yarışması Sonuçlandı, <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21445> (yayın 04.02.2025)

⁵⁷ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021). YEKA GES 5 Yarışma İlanı. <https://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=192>

⁵⁸ YEKA RES-2024 Yarışması Sonuçlandı, <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21442> (yayın 28.01.2025)

⁵⁹ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021). YEKA GES 5 Yarışma İlanı. <https://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=30484>

⁶⁰ Plus Global Danışmanlık. (2024). Güneş Enerjisi Teşvikleri ve GES Yatırım Teşvik Belgesi. <https://www.plusglobal.com.tr/gunes-enerjisi-ges-yatirim-tesvik-belgesi>

Her ne kadar çoğu ülke kömürden çıkma ve termik enerji kullanımını azaltma hedeflerini açıklasa da hala yeni termik santraller geliştirilmektedir.

1.4. TERMİK SANTRALLER

1.4.1. Dünyada Termik Enerji Görünümü

Termik enerji kaynakları, 18. yüzyılda Sanayi Devrimi ile enerji üretiminin ana kaynağı haline gelmiş ve sera gazı emisyonlarının salımını artırarak küresel ısınma ve iklim değişikliğine büyük ölçüde etki etmiştir. Enerji sektörü, toplam küresel CO₂ emisyonlarının %85'ini oluşturarak bu sorunun merkezinde yer almaktadır. 2023 yılında enerji sektörü kaynaklı CO₂ emisyonları %1,3 artarak 37,7 gigaton ile rekor bir seviyeye ulaşmıştır. Bu artışın büyük bir kısmı kömür kullanımından kaynaklanmıştır. Küresel ısınmayı 1,5°C ile sınırlayabilmek için termik enerji kaynaklarının azaltılması hayati bir öneme sahiptir. Dünyada yenilenebilir enerji kapasitesi her geçen gün artmasına rağmen, küresel elektrik arzı hala büyük ölçüde termik enerji kaynaklarına dayanmaktadır. 2023 yılında elektrik arzının %60'ı fosil yakıtlardan sağlanmıştır. Bu oran, son 50 yılın en düşük seviyesi olmasına rağmen, fosil yakıtlar elektrik üretiminde hâlâ baskın durumdadır. Elektrik arzında kömür %36 ile başı çekerken, doğal gaz %22 ile ikinci sırada yer almaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde fosil yakıt tüketimi artmaya devam etmekte ve bu durum enerji dönüşümü çabalarını zorlaştırmaktadır⁶¹.

2024'ün Temmuz ayında güncellenen verilere göre işletmede olan toplam 2.126 GW küresel kömür kapasitesinin %54'ü Çin'de

bulunmaktadır. Çin'i %11 ile Hindistan ve %9 ile Amerika Birleşik Devletleri takip etmektedir. 2024 Ağustos ayı itibarıyla ise 2.108 GW doğal gaz ve petrol santralinin işletmede olduğu belirtilmiştir. Bu kurulu gücün %26'sını Amerika Birleşik Devletleri oluştururken %7'sini Çin ve %5'ini Rusya oluşturmaktadır. Her ne kadar çoğu ülke ulusal enerji planlarında ve yol haritalarında kömürden çıkma ve termik enerji kullanımını azaltma hedeflerini açıklasa da hala yeni termik santraller geliştirilmektedir. 2024 yılı itibarıyla toplam 377 GW olmak üzere yeni kömür santralleri ve toplam 751 GW olmak üzere yeni doğal gaz ve petrol santralleri geliştirilme aşamasındadır. Geliştirilme aşamasında olan kömür santrallerinin %66'sının, doğal gaz ve petrol santrallerinin ise %21'inin Çin'de kurulması planlanmaktadır⁶².

Öte yandan, birçok ülke kömür kullanımını sonlandırmak için çalışmalarını sürdürmektedir. Birleşmiş Milletler Paris İklim Anlaşması'na uyum sağlamak için Avrupa ve OECD ülkelerinin en geç 2030 yılına kadar kömürle çalışan elektrik santrallerinden tamamen arınmış olmaları gerekmektedir. 2024 yılı sonu itibarıyla 9 Avrupa ülkesi elektrik üretiminde kömür kullanımını tamamen durdurmuştur. Birleşik Krallık'ın 2024'ün Ekim ayı itibarıyla kömürden çıkması da son zamanlarda yaşanan önemli gelişmelerden olmuştur⁶³.

⁶¹ Uluslararası Enerji Ajansı. (2024). World Energy Outlook 2024 – Analysis - <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>

⁶² Global Energy Monitor. (2024). Boom and Bust Coal 2024. [globalenergymonitor.org](https://globalenergymonitor.org/report/boom-and-bust-coal-2024/). <https://globalenergymonitor.org/report/boom-and-bust-coal-2024/>

⁶³ Beyond Fossil Fuels. (2024, September 29). The UK Exits Coal Power, Ushering in Era of Renewables. <https://beyondfossilfuels.org/2024/09/29/the-uk-exits-coal-power-ushering-in-era-of-renewables/>

1.4.2. Türkiye’de Termik Enerjinin Tarihçesi ve Gelişimi

Türkiye’deki ilk kömürlü elektrik santrali 1914 yılında faaliyete geçmiştir. O zamanki adıyla Silahtarağa elektrik santrali 15 MW kurulu güce sahipti ve 1983 yılına kadar İstanbul’un elektriğini karşılamak için faaliyet gösterdi. Yakıt olarak kullanılan yerli taşkömürü ise deniz yoluyla Zonguldak’tan getiriliyordu.

Cumhuriyet döneminde inşa edilen ilk termik santral ise Çatalağzı Termik Santral’idir. Zonguldak’ın Çatalağzı ilçesinde kurulan ve yakıt olarak taşkömürü kullanan Çatalağzı Termik Santrali A ünitesi 64,5 MW kurulu gücü ile 1946’da faaliyete başlamıştır. 1991 yılında ömrünü tamamlayan A ünitesi devreden çıkartılırken 1989-1991 yıllarında 300 MW kurulu güce sahip B üniteleri devreye alınmıştır ve santral halen faaliyetlerine bu ünitelerle devam etmektedir⁶⁴.

1990’lar öncesi dönemde ülkedeki elektrik üretim karışımı hidroelektriğin yanında özellikle bahsi geçen yerli kömür kaynaklarına dayanmaktaydı. 1980 sonrası dönemde elektrik tüketiminin artmasıyla birlikte kurulu güçte de hızlı bir artış yaşanmış ve özellikle 1990’lardan itibaren ülkedeki üretim kaynakları çeşitlenmeye başlamıştır. Fakat bu çeşitlenme ilk etapta daha çok termik bazlı ilerlemiştir.

Özellikle 1980’li yıllardan itibaren Türkiye’de linyit kömüründen elektrik üretimi yaygınlaşmıştır. Afşin Elbistan A, Yatağan gibi kurulu gücü yüksek linyit termik santralleri bu dönemde devreye alınmış, Soma B linyit termik santralinde ise yaklaşık 1 GW kurulu güç artışı

Türkiye’de toplam 48 linyit termik santrali olduğu görülmektedir.

Türkiye kömürlü termik santral kurulu gücü bakımından dünyada 8. sırada yer almaktadır.

yapılmıştır. 1980’lerin sonundan itibaren ise yeni yatırımlarla birlikte doğal gaz kaynaklı üretimde önemli artışlar yaşanmıştır. 2000’leri izleyen süreçte ise benzer bir artış ithal kömür santralleri kaynaklı üretimde görülmüştür. İthal kömür termik santral kurulu gücü özellikle 2005 yılından itibaren hızlı bir artış göstererek günümüzde linyit termik santral kurulu gücünü geçmiştir. Hidroelektrik dışı yenilenebilir kaynakların üretime katkısının kayda değer seviyelere gelmesi için ise 2010’lu yılları beklemek gerekmiştir⁶⁵.

TEİAŞ Yük Tevzi Bilgi Sistemi’nin 2024 Aralık sonu verilerine göre toplamda 21.931 MW kurulu güce sahip 69 kömürlü termik santrali Türkiye’de işletmede bulunmaktadır. Bu değerlerle birlikte Türkiye’deki kömürlü termik santrallerin toplam kurulu güçteki payı 2024 yıl sonu itibarıyla %18,9 olmuştur. Bu santralleri kömür çeşitlerine göre incelediğimizde Türkiye’de toplam 10.229 MW kurulu güce sahip 48 linyit termik santrali, 10.456 MW kurulu güce sahip 16 ithal kömür termik santrali, 841 MW kurulu güce sahip 4 taş kömürü termik santrali ve 405 MW kurulu güce sahip 1 asfaltit termik santrali olduğu görülmektedir⁶⁶. Bu değerlerle birlikte Türkiye kömürlü termik santral kurulu gücü bakımından dünyada 8. sırada yer almaktadır. Türkiye’de faaliyet gösteren başlıca kömür santralleri Tablo 7’de verilmiştir⁶⁷.

⁶⁴ Avcı, S. (2012). Türkiye’de Termik Santraller ve Çevresel Etkileri. Journal of Geography(13)

⁶⁵ Kömurder. (2024). Enerjideki Kömürün Yeri ve Yerli Kömüre Dayalı Termik Santral Kurulması Projesi Süreç Ve Model Önerisi. www.komurder.org/uploads/Haber-Galerisi/2024/euas-ve-komurder-isbirligi/euas_ve_komurder_isbirligi.pdf

⁶⁶ TEİAŞ YTBS. (2024) https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf

⁶⁷ EDPK Lisans ve Önlisans Alan Santraller. (2024).

Tablo 7. Türkiye’de Faaliyet Gösteren Başlıca Kömür Santralleri

Santral Adı	Kaynak Türü	Kurulu Güç (MW)	Şehir	Devreye Giriş Tarihi
ZETES	İthal Kömür	2.790	Zonguldak	30/06/2010
AFŞİN ELBİSTAN B TES	Linyit	1.440	Kahramanmaraş	15/02/2010
AFŞİN ELBİSTAN B TES	Linyit	1.355	Kahramanmaraş	13/05/1984
HUNUTLU TES	İthal Kömür	1.320	Adana	17/12/2022
CENAL TES	İthal Kömür	1.320	Çanakkale	04/11/2017
SUGÖZÜ İSKEN TES	İthal Kömür	1.308	Adana	22/11/2003
ATLAS TES	İthal Kömür	1.260	Hatay	08/08/2014
BEKİRLİ TES	İthal Kömür	1.200	Çanakkale	15/12/2011
SOMA-B	Linyit	990	Manisa	01/01/1990
KEMERKÖY TES	Linyit	675	Muğla	01/01/1994
YATAĞAN TES	Linyit	630	Muğla	01/01/1985
ÇAYIRHAN TES	Linyit	320	Ankara	01/01/1979

EPDK’nın 2024 lisans ve önlisans raporlarına göre Türkiye’de 2024 yılında herhangi bir kömürlü termik santral devreye girmemesine ve inşaatına başlanmamasına rağmen proje aşamasında üç kömürlü termik santral bulunmaktadır. Tablo 8’de ise ülkede faaliyet gösteren başlıca doğal gaz santralleri yer almaktadır.

Termik santral tipleri incelendiğinde kamu portföyü altında sadece doğal gaz ve linyit santralleri bulunduğu görülmektedir. Özel

ve EÜAŞ altında bulunan termik kurulu güç kıyaslaması Şekil 12’de yer almaktadır.

Kasım 2024’te açıklanan 2024–2028 Stratejik Planı’nda termik santrallerin kurulu gücünün 2028 yılında 49,1 GW’a ulaşması hedeflenmektedir. Ekim 2024’te güncellenen Enerji Dönüşümü: Yenilenebilir Enerji 2035 yılı hedefleri doğrultusunda ise termik santrallerinin kurulunu gücünün (doğal gaz, kömür vb.) 2035 yılında 59,8 GW olması hedeflenmektedir.

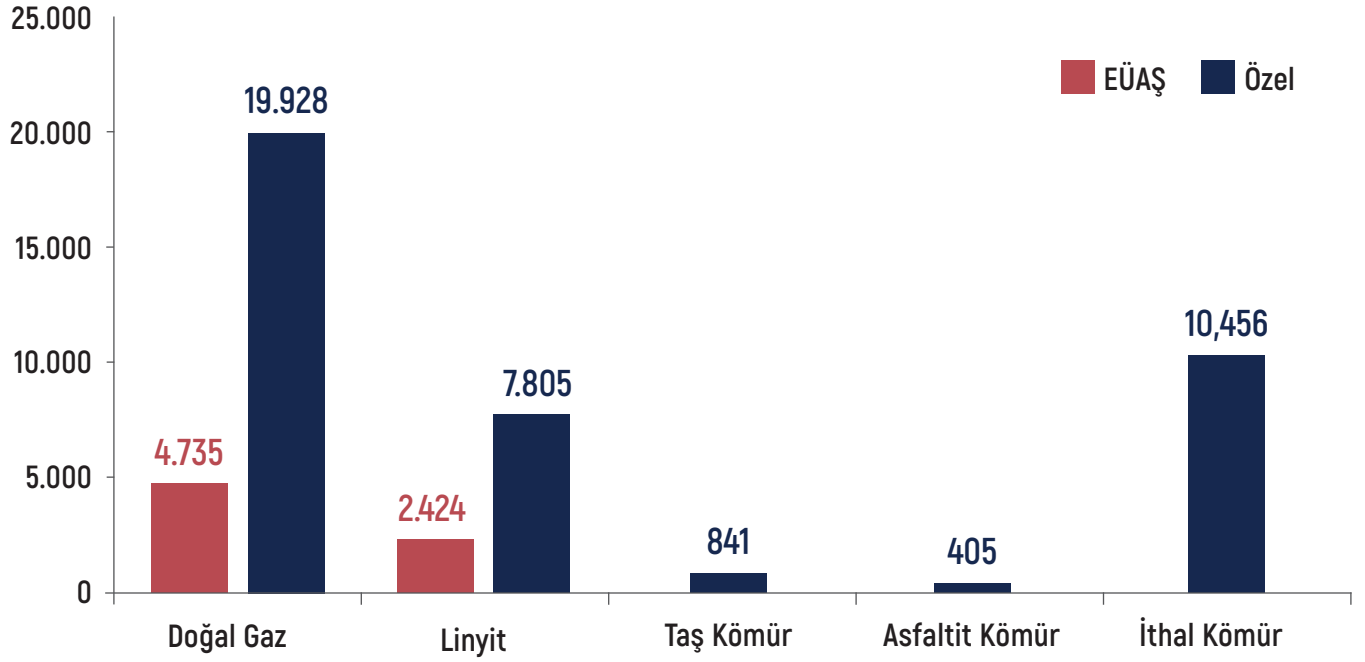


49.1 GW

Kasım 2024'te açıklanan 2024-2028 Stratejik Planı'nda termik santrallerin kurulu gücünün 2028 yılında 49,1 GW'a ulaşması hedeflenmektedir.

Tablo 8. Türkiye'de Faaliyet Gösteren Başlıca Doğal Gaz Santralleri

Santral Adı	Kurulu Güç (MW)	Şehir	Devreye Giriş Tarihi
ENKA GEBZE DGKÇS	1.631	Sakarya	01/01/2002
ENKA İZMİR DGKÇS	1.520	İzmir	01/03/2003
BURSA DGKÇS	1.432	Bursa	01/01/1995
İSTANBUL DGKÇS A	1.351	İstanbul	01/01/1999
HAMİTABAT DGKÇS	1.220	Kırklareli	05/05/2017
BANDIRMA DGKÇS	936	Balıkesir	01/01/2010
KIRIKKALE DGKÇS	927	Kırıkkale	28/04/2017
ERZİN DGKÇS	904	Hatay	01/01/2014
ANTALYA DGKÇS	900	Antalya	29/05/2009
BİLGİN SAMSUN DGKÇS	887	Samsun	01/06/2013
İÇ ANADOLU DGKÇS	870	Kırıkkale	23/06/2016
YENİ DGKÇS	865	Kocaeli	06/12/2013

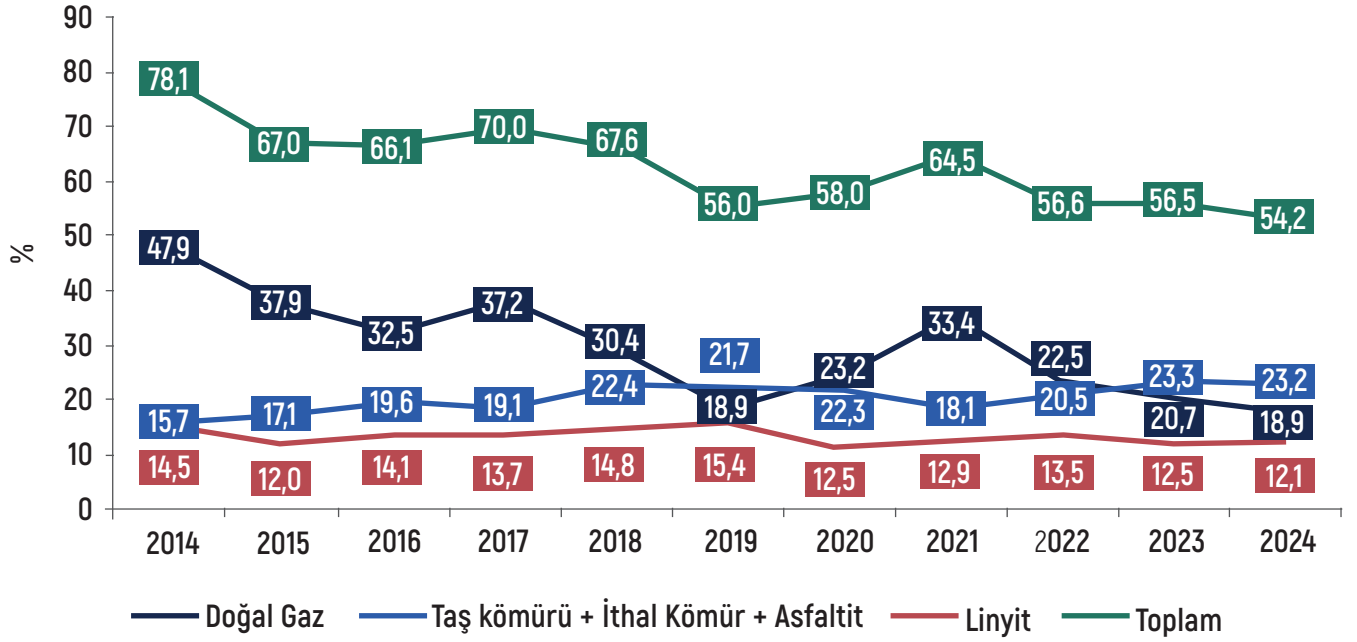


Şekil 12. Termik Santraller Kurulu Güç Kapasiteleri

Şekil 13'te görüldüğü gibi kömürlü termik santrallerinin Türkiye'nin elektrik üretimindeki payı TEİAŞ'ın üretim verilerine göre 2014 yılında

%31 seviyesindeyken doğal gaz santrallerinin payı %48 seviyesinde gerçekleşmiştir. 2024 yılı için kömürlü termik santraller %35'lik, doğal





Şekil 13. Türkiye’de Termik Kaynaklı Elektrik Üretimin Toplam Elektrik Üretimindeki Payı (TEİAŞ, 2014-2024)⁶⁸

gaz santralleriyse %18’lik bir seviyede toplam üretimde söz sahibi olmuştur. Linyitin toplam üretimdeki payı azalarak devam ederken ithal kömür, taş kömürü ve asfaltitin toplam üretimdeki paylarında ise artış söz konusudur.

Türkiye’de son 5 yılda yenilenebilir enerjinin üretimdeki payı artmasına rağmen bu artış marjinal maliyeti daha yüksek olan doğal gazın üretimdeki payını düşürürken kömürün üretimdeki payını etkilememiştir. Ayrıca, 2022 Aralık ayında EMBA Hunutlu Termik Santrali tam kapasite devreye girmiştir. Bu santralin devreye girmesi, ithal kömür kullanımını artırarak kömürün enerji üretimindeki payını yükseltmiştir. Linyitin üretimdeki payı ise azalmıştır.

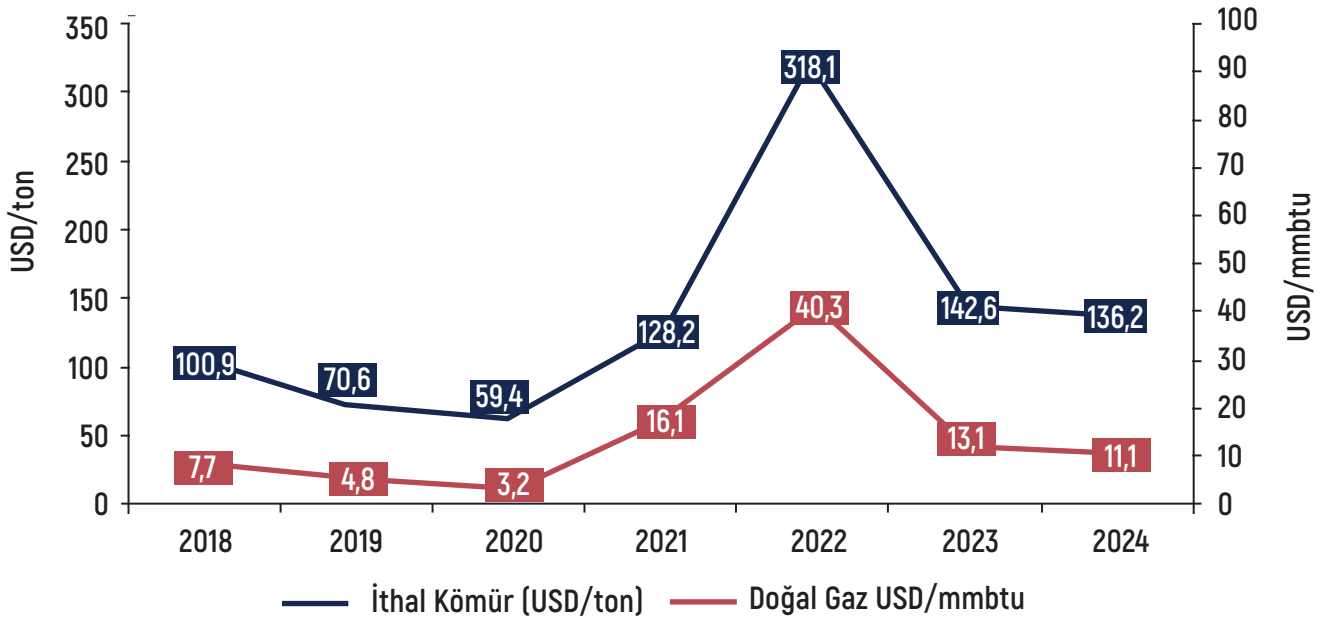
Linyit payının azalmasındaki önemli faktörler arasında artan hidroelektrik kapasitesi ve doğal gazın rakip bir üretim kaynağı olarak

öne çıkması kadar düşük ısıl değere sahip bu santrallerin ithal kömür kaynaklarıyla rekabet edememesi de bulunmaktadır.

İthal kömür gibi fosil yakıtlı kaynaklara bağımlılık ülke ekonomisi açısından önemli riskler barındırmaktadır. Doğal gaz ve ithal kömür gibi emtiaların fiyatları küresel piyasalardaki koşullara bağlı olarak büyük değişkenlik gösterebilmektedir. Bu durum hem doğal gaza ve petrole hem de son on yılda artan yatırımlar nedeniyle ithal kömüre olan bağımlılığı artırarak Türkiye ekonomisi üzerinde bazı zorluklar yaratmakta ve öngörülebilirliği azaltmaktadır. 2020 ve 2022 yılları arasında petrol, doğal gaz ve ithal kömür fiyatlarında yaşanan büyük dalgalanmalar buna önemli bir örnek teşkil etmektedir. Şekil 14’te emtia fiyatlarının son yıllardaki gelişimine ait detaylar bulunmaktadır⁶⁹.

⁶⁸ Veriler TEİAŞ’tan alınmıştır.

⁶⁹ Dünya Bankası. (2024). <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>



Şekil 14. Küresel Emtia Fiyat Gelişimi

1 Aralık 2019'da Çevre Kanunu gerekliliklerine uyum için termik santrallere verilen sürenin 2,5 yıl uzatılması için verilen teklif önerisinin veto edilmesi ile 2014 yılında yürürlüğe giren çevre mevzuatı kömürlü termik santraller için geçerli hale gelmiştir ve bu durum birçok kömürlü termik santral projesini etkilemiştir⁷⁰. Bu durum, santrallerin gerekli yatırımları yapmaması halinde üretimlerini kısmalarına, faaliyetlerini durdurmalarına ya da ağır para cezalarına çarptırılmaları durumuna yol açmıştır. Mevcut filtreleri olan santrallerin üretimlerini kısırarak çalışmaya devam etmeleri beklenirken, filtre yatırımı olmayan santrallerin üretimlerine ara vermesi öngörülmüştür. Baca gazı düzenlemeleri, kömür santrallerinin atmosfere saldırdığı zararlı gazların sınırlandırılması konusunda önemli bir çerçeve çizmektedir. Bu düzenlemeler, santrallerden salınan kükürt dioksit (SO₂), azot oksit (NO) ve partikül madde gibi kirleticilerin kontrol

edilmesini amaçlamaktadır. AB standartları ve Türkiye'nin iklim hedefleri doğrultusunda bu gazların emisyon sınırları belirlenmiştir.

Devlet kurumları ve mahkeme kararları sonucunda, Kirazlıdere, Alpu, Afşin-Elbistan C ve Ilgın gibi santrallerin hayata geçirilmesi durdurulmuştur. veya engellenmiştir. Bu projelerin iptal edilmesi, çevresel etkileri en aza indirmek ve karbon emisyonlarını kontrol altına almak amacıyla ortaya çıkan gerekliliklerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca finansman bulmanın zorluğu ve karbon fiyatlandırmasının yakında hayatımıza girecek olması gibi nedenlerle mevcut durumda planlarda yer alıyor olsa dahi yeni yerli kömür projelerinin hayata geçirilmesi pek mümkün görünmemektedir.

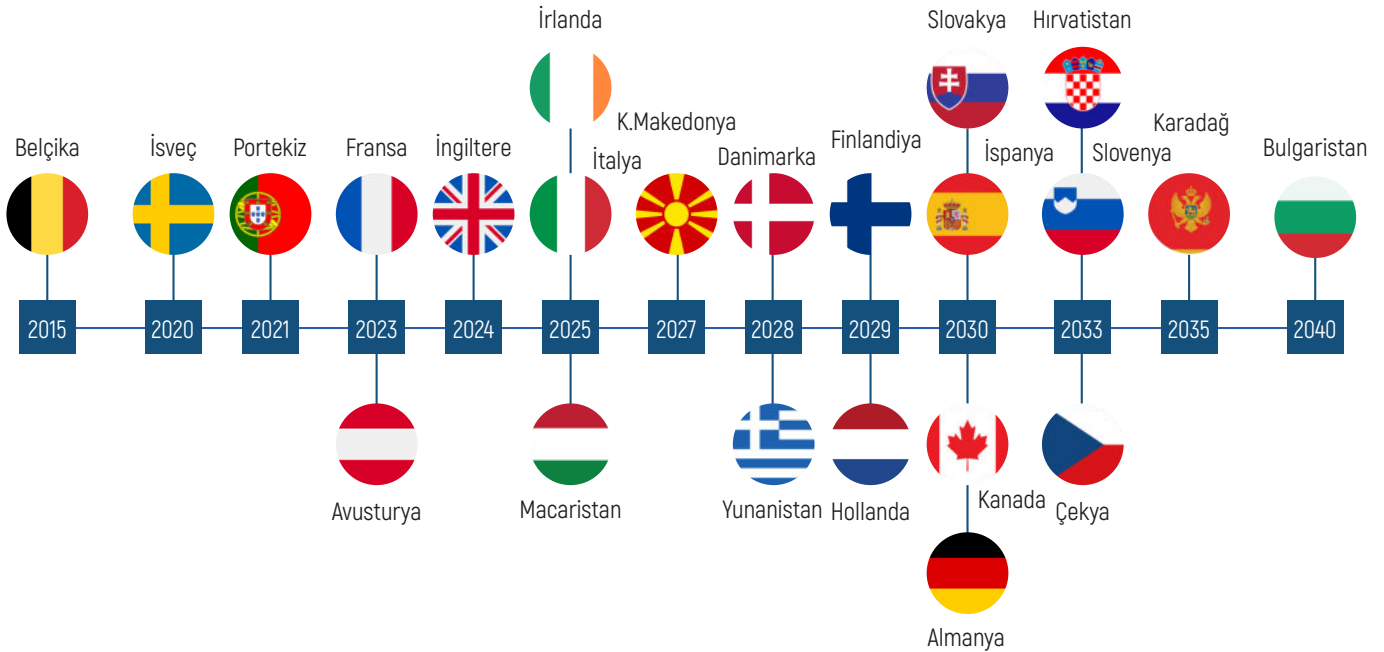
Öte yandan, Türkiye'de son 20 yıllık süreçte ithal kömür kurulu gücünün oldukça hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu artışın sebepleri arasında öncelikli olarak ithal kömürün ısı

⁷⁰ Termik Santrallerin Filtresiz Çalışmasına Dair Düzenleme Veto Edildi. (2019). <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-50653983>

değer potansiyelinin yerli kömürden daha fazla olması yer almaktadır. Bu artışın önlenmesi ve ithal yakıtların elektrik üretimindeki payının sınırlandırılması amacıyla çeşitli politikalar da oluşturulmuştur. 2016 yılında Resmî Gazete’de yayımlanan karara göre ithal kömür fiyatının ton başına 70 USD seviyesinin altında olması durumunda, ithal kömür maliyetiyle 70 USD arasındaki fark vergi olarak ödenmektedir. Bu politikanın öngörülebilir gelecekte sürdürülmesi beklenmektedir⁷¹. Artan ithal kömür maliyetleri ve kömür santrallerine uluslararası finansman sağlamanın giderek imkânsız hale gelmesi, yeni ithal kömür santrali yapmaya müsait limanların azlığı nedeniyle ilerleyen yıllarda yeni bir ithal kömür yatırımı yapılmasının zorlaştığı düşünülmektedir.

Kömür kaynaklı üretimin toplam elektrik üretimindeki payında yaşanan düşüş düşüş yaşanması; yenilenebilir enerji kaynakları veya doğal gaz gibi daha verimli teknolojilerin kullanılmaya başlanmasıyla mümkün hale

gelmiş ve karbonsuzlaşmaya dönük enerji dönüşümü pek çok farklı ülkede hayata geçmeye başlamıştır. Türkiye’nin net sıfır emisyon hedefine ulaşmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme azami ve hızlı entegrasyonu büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte linyit, taş kömürü ve ithal kömür gibi karbon yoğunluğu çok yüksek yakıtların kullanımının aşamalı olarak azaltılmasında sistemin dengeli bir şekilde çalışması için ilk etapta doğal gaz santralleri sistem esnekliğini artıran ‘geçiş teknolojisi’ olarak kullanılabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında görülen maliyet düşüşleri ve enerji depolama teknolojilerinde gözlemlenen gelişmelerle birlikte yakın bir gelecekte kömür kaynaklı elektrik üretilmesine ihtiyaç kalmayacağı düşünülmekte ve 2030 yılına kadar kömür kullanımından tamamen çıkılması pek çok ülke için gerçekçi bir hedef olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 15 dünyadaki farklı ülkeler tarafından belirlenmiş olan kömürden çıkış hedeflerini özetlemektedir.



Şekil 15. Farklı Ülkelerin Belirledikleri Kömürden Çıkış Hedefleri⁷²

⁷¹ Resmî Gazete, 2023. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/04/20230420-27.pdf>

⁷² Beyond Fossil Fuels. (2024a). Europe’s coal exit. <https://beyondfossilfuels.org/europes-coal-exit/>

Ülkelerin açıklamış olduğu hedefler, stratejik planlar, politikalar ve kömürün esnek olmayan yapısı nedeniyle doğal bir şekilde elektrik sistemlerinin dışına itiliyor olması nedeniyle orta vadeli gelecekte tüm dünyada kömür kullanımında büyük düşüşler yaşanacağı beklenmektedir. Ülkemizde de yakın gelecek için termik santrallerin payının azalmasında yenilenebilir enerji üretiminin artacak olması, karbon fiyatlama uygulamasının başlayacak olması ve kömür çıkarma maliyetlerinin yükselmesi etkili olacaktır.

Bütün bu faktörler nedeniyle yeni kömür santrali yapılması pek olanaklı görülmemesine karşın arz güvenliğinin sağlanması açısından daha verimli ve esnek olan doğal gaz santrallerine yatırım beklenmektedir. Termik kaynaklı üretimin yıllara göre toplam üretimdeki payı azalmasına rağmen sistemde baz yük ihtiyacı belli bir oranda devam etmektedir. Önümüzdeki dönemde yenilenebilir kaynakların toplam üretimdeki payı hızlı bir şekilde artacak da olsa bu ihtiyaç önemli oranda devam edecektir. Özellikle kış döneminde artan taleple beraber güneş ve rüzgâr kaynaklı üretimlerin de az olduğu günlerde arz güvenliğinin sağlanması için verimli termik santrallerin sistemde bir nevi garantör olarak kalması gerekmektedir.

Doğal gaz santralleri, diğer termik santral türlerine kıyasla sundukları çevresel ve operasyonel avantajlar nedeniyle yeni dönem için bu rolü üstlenmek konusunda öne çıkmaktadır. Bu santrallerin düşük karbon emisyonu üretmesinin yanında yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sistemlerine entegrasyonu ile ortaya çıkan dengesizlikleri hızlı bir şekilde telafi edebilmeleri, onları esnek ve güvenilir bir seçenek haline getirmektedir.

Rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması, enerji üretiminde giderek artan dalgalanmalara neden olmaktadır. Bu durum, hızlı devreye girip çıkabilen (esnek) enerji üretim tesislerine olan ihtiyacı artırmaktadır. Doğal gaz santrallerinin

Termik kaynaklı üretimin yıllara göre toplam üretimdeki payı azalmasına rağmen sistemde baz yük ihtiyacı belli bir oranda devam etmektedir. Önümüzdeki dönemde yenilenebilir kaynakların toplam üretimdeki payı hızlı bir şekilde artacak da olsa bu ihtiyaç önemli oranda devam edecektir. Özellikle kış döneminde artan taleple beraber güneş ve rüzgâr kaynaklı üretimlerin de az olduğu günlerde arz güvenliğinin sağlanması için verimli termik santrallerin sistemde bir nevi garantör olarak kalması gerekmektedir.

ani talep değişikliklerine yanıt verebilme kabiliyeti, kısa devreye alma süreleri ve yük dengeleme kapasitesi, bu santralleri enerji sistemindeki istikrarı sağlamak için önemli bir çözüm haline getirmektedir. Bütün bu nedenlerle dünya genelinde de genel olarak kabul edildiği üzere Türkiye’de de doğal gaz kaynaklı üretim tesislerinin kömürden çıkış süreciyle net sıfır karbon emisyonu durumu arasında bir geçiş yakıtı olarak rol oynaması beklenmektedir.

Yenilenebilir enerji santrallerinin sisteme daha fazla entegre olmasıyla birlikte, sistem esnekliği orta-uzun vadede teknoloji maliyetlerinde düşüş beklenen batarya teknolojileri, pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri ve elektrolizörlerle de sağlanabilir. Fakat kış mevsimlerinde rüzgâr ve güneş enerjisinin çok düşük olduğu günlerde yaşanabilecek arz krizlerine cevap verebilmek için mevsimsel depolamaya ihtiyaç olacaktır. Burada beklenen teknolojik gelişimlerin zamanını bilmek çok zor olduğu için sistemdeki doğal gaz kaynaklı baz yüke olan ihtiyacının daha uzun dönemde de devam edeceği söylenebilir.



1.5. NÜKLEER ENERJİ, MOBİL SANTRALLERİ VE ARZ GÜVENLİĞİ

1.5.1. Dünyada Nükleer Enerji Görünümü

Nükleer enerji, 19. yüzyılın sonunda uranyumun keşfi ve atomun parçalanmasıyla başlayan süreçte bilim insanlarının, politikacıların ve sanayicilerin ilgisini çekmiştir. Başlangıçta askeri alanda kullanılan bu teknoloji, altyapıların geliştirilmesiyle ticari amaçlara da hizmet etmiştir. Filyon reaksiyonlarıyla açığa çıkan ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü nükleer güç santralleri geliştirilmiştir. Nükleer enerji 1950'li yıllardan itibaren elektrik üretimi amaçlı olarak kullanılmasına karşın, özellikle 1970'lerde yaşanan petrol krizinde, fosil yakıt kaynaklarından yoksun ülkeler enerji arz güvenliğini sağlamak ve dışa bağımlılığı azaltmak için nükleer enerjiye daha yoğun olarak yönelmiştir⁷³. Günümüzde de enerji arz güvenliği kapsamında birçok ülkenin termik enerji kaynaklarından daha düşük bir karbon emisyonuna sahip ve çoğu yenilenebilir enerji kaynağının aksine meteorolojik faktörlerden etkilenmeyerek kesintisiz üretim yapabilen

nükleer enerjiye yönelimi devam etmektedir. Nükleer enerjiye yönelik bakış 1986 yılında yaşanan Çernobil felaketi ve 2011 Fukushima kazası gibi olayların etkisiyle dönem dönem kökten değişimlerden geçmiştir.

Nispeten yakın zamanlardan detaylı bahsetmek gerekirse 2011 yılında Tohoku eyaletinde yaşanan deprem ve tsunami felaketinin ardından Fukushima Daiichi nükleer santralinde yaşanan kaza, tüm dünyada nükleer enerjinin güvenliğinin sorgulanmasına sebep olmuş ve başta Japonya olmak üzere pek çok ülke nükleer enerji programlarını askıya almıştır⁷⁴.

Buna karşın Fukushima felaketini takip eden yıllar içerisinde iklim değişikliği ve arz güvenliği kaygılarının artması nedeniyle nükleer enerjiye olan ilgi pek çok ülkede tekrar canlanmıştır. Özellikle 2021 yılında Rusya-Ukrayna savaşı neticesinde başlayan enerji krizi birçok ülkenin nükleer enerji planlarını yeniden değerlendirmesine yol

⁷³ Türkiye Bilimler Akademisi.(2019). Nükleer Enerji Raporu.

<https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/T%C3%9CBA%20N%C3%BCKleer%20Enerji%20Raporu.pdf>

açmıştır. Son yıllarda nükleer enerjiye yönelik artan politika destekleri, bu alanda önemli gelişmeleri beraberinde getirmiştir. Örneğin, Avrupa'da İsviçre, yeni nükleer santrallerin geliştirilmesine yönelik yasağı kaldırarak bu alanda yeni yatırımlara kapı açmıştır. Belçika'da mevcut reaktörlerin kullanım sürelerinin uzatılması kararlaştırılmış, İsveç ve Polonya'da ise yeni nükleer santral projeleri öncelikli olarak belirlenmiştir. Ayrıca, küçük modüler reaktörlere (KMR) olan ilgi küresel ölçekte artmakta ve Çin ile Rusya dışındaki ilk projelerin 2030 yılı civarında devreye alınması planlanmaktadır⁷⁵.

2023 yılı itibarıyla nükleer enerji küresel elektrik üretiminin %9'unu karşılamaktadır. Bu oran, 30 yıl öncesine kıyasla yarıya düşmüş olsa da⁷⁶ nükleer enerji düşük karbonlu elektrik üretiminin %25'ini oluşturarak⁷⁷ bu alandaki önemli rolünü sürdürmektedir. 2023 yılında Fransa, elektrik tüketiminin %65'ini nükleer enerjiden karşılayarak bu alanda lider konumunda olmuştur. Fransa'yı %61 ve %51 ile sırasıyla Slovakya ve Ukrayna takip etmiştir. Buna ek olarak, 2023 yılında nükleer enerji ile toplam 14 ülke, elektrik ihtiyacının en az %25'ni karşılamıştır⁷⁸.

Dünyada en yüksek işletmedeki nükleer kurulu güç, 96.952 MWe ile Amerika Birleşik Devletleri'ne aittir. Amerika Birleşik Devletleri'ni 63.000 MWe ile Fransa, 56.888 MWe işletmedeki kapasitesiyle de Çin takip

etmektedir. Öte yandan, dünya genelinde inşası devam eden toplam 70.005 MWe'lik nükleer enerji santralinin 33.165 MWe'lik bölümü yalnızca Çin'de bulunmaktadır. Bu durum, Çin'in nükleer kurulu gücünde önemli bir artış yaşanacağını göstermektedir⁷⁹.

Son zamanlarda dünyada nükleer enerjinin gelişimini destekleyen önemli bir adım, 2023'te Dubai'de düzenlenen Birleşmiş Milletler (BM) İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 28. Taraflar Konferansı'nda (COP 28) ABD'nin başı çektiği 25 ülkenin "Nükleer Enerjiyi Üç Katına Çıkarma Deklarasyonu"nu imzalamasıydı. 2024 Kasım ayında Azerbaycan'ın başkenti Bakü'de gerçekleştirilen COP 29'da ise Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 6 ülke daha Deklarasyona imza atmıştır. Böylece 31 ülke, "Nükleer Enerjiyi Üç Katına Çıkarma Deklarasyonu"nu imzalamıştır. Deklarasyonu imzalayan ülkelerin toplam nükleer kurulu gücünün 400 GW seviyesinde olduğu ve bu kapasitenin 2050 yılına kadar 1.200 GW'a çıkarılmasının hedeflendiği açıklanmıştır⁸⁰.

Bu gelişmeler, nükleer enerjinin hem arz güvenliğinin sağlanmasında stratejik bir rol oynamaya devam edeceğini hem de gelecekteki net sıfır emisyon hedeflerine ulaşmada kritik bir katkı sunacağını ortaya koymaktadır fakat burada nükleer enerjinin enerji sisteminde oynayabileceği rolün iyi tanımlanması gerekmektedir. Yapısı gereği nükleer santraller esnek operasyona müsait

⁷⁴ Türkiye Bilimler Akademisi.(2019). Nükleer Enerji Raporu.

<https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/T%C3%9CBA%20N%C3%BCKleer%20Enerji%20Raporu.pdf>

⁷⁵ Uluslararası Enerji Ajansı.(2024). World Energy Outlook 2024.

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/fb481b31-df88-4f2c-a435-c8b075e992be/WorldEnergyOutlook2024.pdf>

⁷⁶ Uluslararası Enerji Ajansı.(2024). World Energy Outlook 2024.

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/fb481b31-df88-4f2c-a435-c8b075e992be/WorldEnergyOutlook2024.pdf>

⁷⁷ Dünya Nükleer Enerji Birliği. (2025). Nuclear Power in the World Today.

<https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today>

⁷⁸ Dünya Nükleer Enerji Birliği. (2025). Nuclear Power in the World Today.

<https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today>

⁷⁹ Dünya Nükleer Enerji Birliği. (2025). Nuclear Power in the World Today.

<https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today>

değillerdir. Bu nedenle nükleer enerji santralleri yenilenebilir enerji payının yükseldiği bir sistemde esneklik hizmeti sağlayamaz ve doğal gaz santrallerini ikame edemezler. Bu nedenle nükleer enerji santrallerinin sistemde oynayabileceği rolün daha çok günümüzdeki kömür santralleriyle kıyaslanabilecek bir baz yük rolü olduğu söylenebilir.

1.5.2. Türkiye'nin Nükleer Enerji Tarihi ve Hedefleri

Türkiye'nin artan enerji talebi ve dışa bağımlılık sorunlarına çözüm bulurken emisyonlarını da net sıfır seviyesine indirmek amacıyla oluşturduğu uzun dönemli stratejide nükleer enerji de temel bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda nükleer enerjinin de yerel olarak geliştirilmesi, ülkenin gelecekteki enerji planlarının temel unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir.

Türkiye'nin nükleer alandaki gelişimi, 1955 yılında Amerika Birleşik Devletleri ile yapılan atom enerjisinin barışçıl kullanımına yönelik iş birliği anlaşmasıyla başlamış ve 1956'da Başbakanlığa bağlı olarak kurulan Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ile kurumsal bir yapıya kavuşmuştur. Bu gelişmeleri takiben, Türkiye'nin ilk nükleer araştırma reaktörü TR-1, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde (ÇNAEM) inşa edilmiştir⁸¹. Türkiye'de ilk nükleer güç santralının kurulmasına yönelik çalışmalar ise, 1970'li yıllarda Mersin ilindeki Akkuyu sahasının nükleer santral için en uygun bölge olarak

belirlenmesiyle başlamıştır. Akkuyu'da nükleer güç santrali kurulumu için yıllar boyunca pek çok ihale ve müzakere sonuçsuz kalsa da 2010 yılında Türkiye ile Rusya arasında, Rosatom liderliğindeki bir konsorsiyumun dört adet 1.200 MWe VVER (AES-2006) ünitesinin inşası ve işletmesini içeren yaklaşık 20 milyar USD maliyetli Yap-Sahip Ol-İşlet (YSİ) modeliyle bir anlaşma imzalanmıştır⁸². 2018'de temeli atılan Akkuyu NGS'nin ilk reaktörünün 2023 yılında faaliyete geçmesi planlanmışsa da bu hedef gerçekleştirilememiştir.

Akkuyu'nun ardından, 2006 yılında Sinop ili de nükleer santral kurulumu için uygun bölge olarak belirlenmiştir. Sinop için 2013 yılında Mitsubishi Heavy Industries ve Areva'nın, Itochu ile birlikte oluşturduğu konsorsiyumun, her biri 1.120 MWe gücünde toplam 4.480 MWe kapasiteli dört ATMEA1 reaktörü için verdiği teklif, hükümet tarafından kabul edilse de 2019 yılında Cumhurbaşkanı Recep Tayyip Erdoğan'ın yaptığı açıklamalara göre anlaşma durdurulmuştur⁸³. Seneler içerisinde çeşitli ülkelerle müzakereler yapılsa da günümüz itibarıyla net bir anlaşma sağlanamamıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Alparslan Bayraktar'ın Sinop Nükleer Güç Santrali için yaptığı son açıklamalar Rusya'nın Akkuyu ardından Sinop'a geçmek istediğini ve bu proje kapsamında birçok ülkeden daha istekli olduğuna işaret etmiştir⁸⁴.

Üçüncü nükleer santrale ilişkin Türkiye'nin niyetini ortaya koyan açıklamalar yıllar boyunca dile getirilmiş olsa da henüz somut bir adım

⁸⁰ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Türkiye "Nükleer Enerjiyi Üç Katına Çıkarma Deklarasyonu"nu imzaladı. <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21400>

⁸¹ Kaya, F., Göral, E. (2016). Türkiye'nin Nükleer Enerji Politikası. Akademik Bakış Dergisi. 57. 1694-528X. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/383474>

⁸² Stein, A. (2012). Türkiye'nin Nükleer Enerjiye Dair Hedefleri: Büyük Planlar, Ufak Adımlar. <https://edam.org.tr/wp-content/uploads/2012/09/T%C3%BCrkiye%E2%80%99nin-N%C3%BCkleer-Enerjiye-Dair-Hedefleri-B%C3%BCy%C3%BCk-Planlar-Ufak-Ad%C4%B1mlar.pdf>

⁸³ Bulucu, M., Doğru, S. (2017). Nükleer Enerji ve Türkiye. <https://thinktech.stm.com.tr/tr/nukleer-enerji-ve-turkiye> ; Yetkin, M. (2019). Japonlarla Sinop nükleer santral projesi durdu: Erdoğan açıkladı. <https://yetkinreport.com/2019/06/27/japonlarla-sinop-nukleer-santral-projesi-durdu-erdogan-acikladi/>

atılamamıştır. 2024 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Alparslan Bayraktar, santralin Kırklareli İğneada'da kurulmasının planlandığını ve bu kapsamda Çin ile görüşmelerin sürdüğünü açıklamıştır. Ayrıca, yapılacak yeni santrallerde özel sektörle ya da kamu şirketleriyle ortak bir model geliştirilmesinin de gündemde olduğunu belirtmiştir⁸⁵.

Türkiye'nin Akkuyu sonrasında yeni nükleer enerji santrallerine ihtiyaç duyup duymayacağı tartışmalı bir konudur. Sanayi sektörünün perspektifinden bakıldığında, yeni nükleer santrallerin inşası, arz güvenliğini artıracak olsa da elektrik birim fiyatlarında olası artışlar, enerji maliyetlerini yükselterek sanayiciler için rekabetçiliği olumsuz etkileyebilir. Bu durum, ekonomik sürdürülebilirlik ve enerji maliyetlerinin dengelenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, yeni santrallerin planlanması sürecinde, üretim maliyetlerinin, yenilenebilir enerji kaynakları ile entegrasyonun ve enerji verimliliği politikalarının dikkate alınması kritik önem taşımaktadır. Bu kapsamda Türkiye'nin mevcut hedeflerinde belirtildiği gibi Akkuyu sonrasında ikinci ve üçüncü nükleer enerji santrallerinin proje süreçlerinde sözleşmeye ilişkin detaylara ve alım garantisinin fazla yüksek olmamasına dikkat edilmelidir. Nükleer enerji maliyetlerinin yüksek olması durumunda bu kaynak yerine alternatif kaynakların da incelenmesi bir seçenek olabilir.

Geçtiğimiz son birkaç yılda nükleer güç santrallere ek olarak küçük modüler reaktörler, nükleer enerji sektörü için ticari

olarak uygulanabilir bir yenilikçi çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Geleneksel nükleer enerji santrallerine göre fiziksel boyutu çok daha küçük olan bu santrallerin kurulu gücü 300 MWe'ye kadar çıkabilmektedir. Fiziksel boyutlarının küçüklüğü dolayısıyla bu tarz santraller geleneksel santrallere oranla çok daha hızlı bir şekilde inşa edilebilmektedirler. Buna ek olarak, küçük modüler reaktörlerin sermaye maliyetlerinin etkisini azaltma ve büyük şebeke sistemlerinden uzakta enerji sağlama yönünde sunduğu avantajlar da bu teknolojiye olan ilginin artmasını sağlamaktadır. Günümüz itibarıyla Çin'de ve Rusya'da olmak üzere 2 küçük modüler reaktörün işletmede olduğu bilinmektedir. Buna ek olarak, 4 küçük modüler reaktörün inşasına devam edilmektedir⁸⁶. Türkiye'de de bununla ilgili hedefler belirlenmeye ve görüşmeler yapılmaya başlanmıştır. Akkuyu Nükleer A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Anton Dedusenko'nun yaptığı açıklamaya göre ise, Türkiye ve Rosatom küçük modül reaktör projelerini görüşmeye başlamıştır⁸⁷.

Türkiye, nükleer enerjinin arz güvenliği açısından önemini kavrayarak, birçok ülke gibi yıllar boyunca yayımladığı enerji hedeflerinde nükleer enerjiyi arz kaynakları arasında dahil etmeyi ve bu kaynağın enerji arzındaki payını artırmayı hedeflemiştir. Son birkaç yılda nükleer enerji ile ilgili belirlenen hedefler kronolojik olarak aşağıdaki maddelerle özetlenebilir:

- 2022 yılının sonunda yayımlanan Ulusal Enerji Planı'nda 2021'den başlanılarak 2035'e kadar

⁸⁴ Uluslararası Enerji Ajansı. (2024). World Energy Outlook 2024 – Analysis - <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>

⁸⁵ Global Energy Monitor. (2024). Boom and Bust Coal 2024. [Globalenergymonitor.org. https://globalenergymonitor.org/report/boom-and-bust-coal-2024/](https://globalenergymonitor.org/report/boom-and-bust-coal-2024/)

⁸⁶ Dünya Nükleer Birliği. (2024). Small Nuclear Power Reactors. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors>

⁸⁷ Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı İletişim Başkanlığı. (2024). Rosatom Türkiye ile Küçük Modül Reaktör Projelerini görüşüyor. https://www.iletisim.gov.tr/turkce/dis_basinda_turkiye/detay/rosatom-turkiye-ile-kucuk-modul-reaktor-projelerini-gorusuyor

her 5 senelik dönem için 2,4 GW'lık nükleer kapasitenin devreye alınacağı belirtilmiştir. Böylelikle 2035 yılında toplam nükleer kurulu gücünün 7,2 GW'a ulaşması hedeflenmiştir. Ayrıca, 2053 yılında nükleer üretiminin toplam enerji arzı içindeki payının %29,3'e çıkacağı ifade edilmiştir.

- 2023 yılında Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın (IAEA) 67. Genel Konferansı'nda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Alparslan Bayraktar, Akkuyu Nükleer Güç Santral'i'nin ilk reaktörünün 2024 yılının sonunda devreye alınmasının planlandığını ve 2035'e kadar enerji portföyüne 7,2 GW, 2050 yılı sonuna kadar ise 20 GW'tan fazla nükleer enerji kapasitesi eklemeyi planladığını açıklamıştır⁸⁸.

- 2024 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Alparslan Bayraktar, Akkuyu Nükleer Güç Santral'i'nin ilk reaktörünün 2025 yılında faaliyete geçeceğini duyurmuştur. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Alparslan Bayraktar 2024 yılında, önümüzdeki 20 yıl içerisinde en az 5 GW'lık KMR'nin devreye alınacağını belirtmiştir⁸⁹.

- 2024 yılında yayımlanan 2024-2028 Stratejik Planı'nda nükleer kurulu gücünün 2028 yılında 4,8 GW'a ulaşması hedeflenmektedir. Nükleer enerjiye dayalı elektrik üretiminin toplam üretim içindeki payının 2028 yılı itibarıyla %4'e ulaşacağı belirtilmiştir. Buna ek olarak planda 2026 yılında ikinci ve üçüncü nükleer santralleri için anlaşmaların sonuçlanacağı ve küçük modüler reaktör teknolojilerine yönelik yasal ve kurumsal çerçevenin tamamlanacağı ifade

edilmiştir⁹⁰. Amerika Birleşik Devletleri ve Çin ile de görüşmeler yapıldığı da belirtilmiştir.

- Türkiye COP 29'da "Nükleer Enerjiyi Üç Katına Çıkarma Deklarasyonu"nu imzalayarak 2050 yılına kadar küresel nükleer enerji kapasitesini 3 katına çıkartmayı kabul eden ülkelerden biri olmuştur⁹¹.

- 2025 yılı içerisinde Türkiye Enerji Planı içinde çok detay verilmeden kendine yer bulan nükleer enerji hedeflerinin "2050 Nükleer Enerji Vizyonu" dokümanı altında detaylandırılması beklenmektedir.

1.5.3. Türkiye'de Nükleer Sanayi ve Yerlilik

Nükleer teknolojinin üretimi, kaliteli ve dayanıklı malzemeler ile ileri üretim tekniklerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Bu teknoloji, yüksek güvenlik standartları doğrultusunda, mühendislik tasarımlarında modern bilimsel ve analitik yöntemlerin uygulanmasını zorunlu tutmaktadır. Türkiye'nin, nükleer enerji alanındaki ilerleme çabalarına rağmen anlaşmaların ve ihalelerin sonuçlandırılmasının gecikmesi, bu alandaki potansiyel sanayi ve teknolojik gelişmeleri sektöre uğratmıştır. Öte yandan nükleer enerji projelerinde benzer gelişmelerin dünyanın pek çok ülkesinde devam eden genel bir trend olduğu da söylenebilir.

Türkiye'de nükleer enerji sanayisinin gelişebilmesinin ön koşullarından biri bu konuda eğitim veren lisans ve lisans üstü kurumların oluşturulmasıdır. Türkiye'de nükleer

⁸⁸ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). Bakan Bayraktar, IAEA 67. Genel Kurulu'na video mesaj gönderdi. <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21186>

⁸⁹ Türkiye Nükleer Enerji A.Ş. (2024). Bakan Bayraktar, Çinli CNOS ile Nükleer Enerji İş Birliğini Görüştü. <https://www.tunas.gov.tr/tr/haber-detay/bakan-bayraktar-cinli-cnos-ile-nukleer-enerji-is-birligini-gorustu>

⁹⁰ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2024-2028 Stratejik Planı yayımlandı. <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21398>

⁹¹ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Türkiye Nükleer Enerjiyi Üç Katına Çıkarma Deklarasyonunu imzaladı. <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21400>

eğitim ilk defa 1961 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü'nün kurulmasıyla lisans üstü olarak başlamıştır. 1970'li yıllardan itibaren ise Enstitü'de eğitim, akademik araştırma ve staj amaçlı bir nükleer reaktör işletilmektedir. İstanbul Teknik Üniversitesi'ndeki model Ege Üniversitesi ve Hacettepe Üniversitesi gibi kurumlar tarafından takip edilmiştir.

Türkiye'de lisans düzeyinde nükleer enerji konusunda eğitim veren ilk kurum ise 1982 yılında Hacettepe Üniversitesi olmuştur. 2015 yılında ise Sinop Üniversitesi nükleer alanında lisans seviyesinde eğitim veren ikinci kurum olmuştur.

Bu olanaklara ek olarak Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, ülkenin nükleer güç santralleri için insan kaynağını geliştirmek amacıyla öğrencilere yurtdışında eğitim alma imkânı sağlamaktadır. Ağırlıklı olarak Rusya ve Çin'e gönderilen öğrenciler mezuniyetlerinden sonra öncelikle Akkuyu santralinde istihdam edilerek Türkiye'de nükleer enerji yerlilik olanaklarının geliştirilmesinde rol alacaklardır⁹². Bu doğrultuda Akkuyu Nükleer A.Ş. Genel Müdürü Anastasia Zoteeva tarafından Akkuyu Nükleer Güç Santralinde Rusya'nın prestijli üniversitelerinden farklı yıllarda nükleer ve ilgili alanlarda mezun olmuş 319 genç Türk mühendisin çalıştığı ifade edilmiştir⁹³.

Akkuyu Nükleer Güç Santralinin yapımından elde edilen tecrübeler ile beraber Türkiye'de nükleer enerji sektörünün gelişmesi beklenmektedir. Akkuyu Nükleer A.Ş. Üretim ve İnşaat Organizasyon Direktörü Denis Sezemin'in yaptığı açıklamaya göre, Akkuyu

Nükleer Güç Santralinin inşasına katılan 350 şirketin yaklaşık yarısını Türk şirketler oluşturmaktadır. Bu şirketler inşaat ve montaj işlerine ek olarak saha ve çevresindeki nakliye faaliyetlerini de yürütmektedir. Ayrıca, santralin inşasında kullanılan yapı malzemelerinin büyük bir kısmının Türk malı olduğu ve bu inşaat ile birlikte yerel sanayi üretiminin de geliştiği ifade edilmiştir. Buna ek olarak, projedeki toplam iş hacminin Türk şirketleri tarafından üstlenileceğini vurgulayan Sezemin, mevcut durumda vergi ödemeleri de dahil olmak üzere yerlilik oranının 7 milyar USD seviyesini aştığını da belirtmiştir⁹⁴.

Burada yapılması gereken önemli bir ayırım nükleer santralin çekirdek kısmının imal edilmesi ile inşaat işleri arasındaki ayırmadır. Türk firmalarının şu anda proje altında ilgilendiği kısımlar inşaat kısımlarıdır. Çekirdek kısmının ve reaktörün daha katma değerli kısımlarının imal edilmesi için ise uluslararası sertifikasyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Şu anda Türkiye bu kapasiteye sahip değildir.

Projeye katılımcı olarak listelenen 16 şirketten 2 şirket Türk şirketleri olarak öne çıkmaktadır. IC İçtaş Anonim Şirketi, Rus Concern Titan-2 A.Ş. ile ortak bir girişimde bulunarak Titan 2 IC İçtaş İnşaat Anonim Şirketi'ni kurmuştur. Şirket, Akkuyu Nükleer Güç Santralindeki inşaat çalışmalarını yürütmektedir. Cengiz İnşaat Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi ise açık deniz hidrolik yapıları yüklenicisi olarak projede yer almaktadır.

Türkiye, bu gelişmeler doğrultusunda ilk kez nükleer hizmet ihracatını 2024 yılında gerçekleştirmiştir. Akkuyu Nükleer Güç

⁹² Türkiye Bilimler Akademisi.(2019). Nükleer Enerji Raporu.

<https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/T%C3%9CBA%20N%C3%BCleer%20Enerji%20Raporu.pdf>

⁹³ Ekonomim. (2024). Akkuyu NGS'ye personel yetiştirilmesi amaçlı öğrenci alımı yapılacak.

<https://www.ekonomim.com/sirketler/akkuyu-ngsye-personel-yetistirilmesi-amacli-ogrenci-alimi-yapilacak-haberi-725560>

⁹⁴ Ekonomi Gazetesi. (2024). Kibar Holding, alüminyumda ABD ve Avrupa'da iki dev yatırıma imza atacak. <https://www.ekonomigazetesi.com/sirket-haberleri/kibar-holding-aluminyumda-abd-ve-avrupada-iki-dev-yatirima-imza-atacak-34130/>

Santralinde saha, inşaat, imalat ve işletmeye alma süreçlerinde denetim, gözetim, değerlendirme, eğitim ve mühendislik hizmetleri olmak üzere birçok alanda çalışmalar yapan Nükleer Teknik Destek Anonim Şirketi (NÜTED), Macaristan'da bulunan PAKS-II Nükleer Santral Projesinde imalat denetim hizmeti vermek üzere anlaşmaya varmıştır⁹⁵.

Türkiye'nin nükleer enerji konusundaki yetkinliği ve deneyimi her geçen gün artmakla beraber teknoloji ve sanayi alanlarında yeterli gelişme gösterilememiştir. Ülkedeki nükleer kurulu gücünün hızla artması hedeflenirken büyük bir piyasanın da oluşması beklenmektedir. Ancak, yeni santrallerde yerlilik oranının artırılmaması ve teknoloji transferinin gerçekleşmemesi durumunda, Türk sanayisi için önemli bir potansiyel kaybı yaşanabileceği ifade edilmektedir.

Türkiye, 1961 yılında gözlemci ülke statüsüyle Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi'ne (CERN) kabul edilmiş ve 2009 yılında tam üyelik sürecini başlatmıştır. Ancak 2012 yılında bu süreç sonlandırılarak, 2015 yılında ortak üye statüsü kazanılmıştır. Uzmanlar, tam üyelik ile ortak üyelik arasında önemli farklar olduğunu ve Türkiye'nin CERN'e tam üye olmasının nükleer bilgi birikimini artırmak ve yerli teknolojilerin gelişimini desteklemek açısından önemli fırsatlar sunabileceğini belirtmektedir⁹⁶.

Nükleer Sanayi Derneği (NIATR) Yönetim Kurulu Başkanı Alikaan Çiftçi'nin 2024 yılında yaptığı açıklamalara göre, ikinci nükleer santralde yerlilik payının en az %50 olması hedeflenmektedir⁹⁷. Akkuyu Nükleer Güç

Santralinde kazanılan tecrübe ve ikinci nükleer santralin devreye girmesi ile yerli sanayiciler için ihracat potansiyelinin artacağını belirterek küçük modüler reaktör üretebilecek bir altyapının da geliştirilebileceğini belirtmiştir. Bunun için ilk aşamada teknoloji transferi ile uluslararası iş birlikleri geliştirilmesinin ve hem proje geliştirme hem de bu projelerde kullanılacak olan kritik ekipmanların, sanayi altyapısının, tedarik zincirinin Türkiye'de kurulmasının gerekliliğine dikkat çekmiştir.

1.5.4. Mobil Enerji Kaynakları

Son yıllarda mobil elektrik santralleri de enerji sisteminde oluşabilecek çeşitli sıkıntılara karşı olası bir çözüm olarak öne çıkmıştır. Aslında mobil enerji santrallerinden elektrik üretimi yüksek yakıt maliyetleri nedeniyle şebekeden elektrik almaya kıyasla oldukça pahalıdır ve bu yüzden bu santraller genel olarak yaygın bir kullanıma sahip değildir. Buna karşın mobil elektrik santralleri, bazı olağanüstü durumlarda sistem için kritik bir rol oynayabilirler. Burada öne çıkan durumlara afet durumlarında şebekelerde yaşanan arızalar ya da olağanüstü hava koşullarında bazı bölgeler için şebekenin yetersiz kalması ve pik talebin karşılanamaması örnek gösterilebilir.

Türkiye, özellikle depremler başta olmak üzere çeşitli doğal afetlerin sık yaşandığı bir ülkedir. Afet sonrası süreçte, arama kurtarma çalışmalarının yanı sıra temel ihtiyaçların karşılanması için kesintisiz ve sürdürülebilir elektrik temini hayati bir öneme sahiptir⁹⁸. Bu bağlamda, mobil enerji depolama ve üretim sistemleri, afet bölgelerine hızla

⁹⁵ T2 IC. (2019). Главная страница. <https://t2ic.com/tr/>

⁹⁶ Sözcü. (2012). Türkiye Cern'den vazgeçti. <https://www.sozcu.com.tr/turkiye-cernden-vazgecti-wp130031> ; Independent Türkçe. (2021). Türkiye CERN'de tam üyelikten çekildi, Güney Kıbrıs'a tam üyelik ve veto yolu açıldı. <https://www.indyturk.com/no-de/412746/bi%CC%87li%CC%87m/t%C3%BCrkiye-cernde-tam-%C3%BCyelikten-%C3%A7ekildi-g%C3%BCney-k%C4%B1br%C4%B1sa-tam-%C3%BCyelik-ve-veto-yolu>

⁹⁷ Yüksel. F. (2024). Nükleer enerji 2024'te küresel gündemdeki konumunu güçlendirdi. <https://www.aa.com.tr/tr/enerjiterminali/elektrik/nukleer-enerji-2024te-kuresel-gundemdeki-konumunu-guclendirdi/46530>

sevk edilebilmesi ve elektrik ihtiyacını karşılayabilmesi nedeniyle dikkat çekmektedir.

Mobil enerji sistemleri, doğal afetler veya çatışmalar gibi durumlarda kesintiye uğrayabilecek yakıt tedarik zincirlerine bağımlı olmadığından, kriz anlarında güvenilir bir enerji çözümü sunmaktadır. Benzin, dizel yakıt, doğal gaz, bataryalar, hidrojen yakıt hücreleri ve taşınabilir güneş enerjisi gibi kaynaklar bu sistemlere örnek olarak gösterilebilir. Özellikle taşınabilir güneş enerjisi sistemleri, hızlı kurulabilmeleri ve ürettikleri enerjiyi afet durumlarında kritik öneme sahip acil durum barınakları, sağlık tesisleri ve toplum merkezlerine yönlendirebilme kapasiteleriyle öne çıkmaktadır⁹⁹.

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde, elektrik altyapısının zarar görmesi sonucu birçok bölgede yaşanan elektrik kesintileri, afet bölgelerine sevk edilen mobil güneş enerjisi sistemleriyle kısmen giderilmiştir¹⁰⁰. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yaptığı açıklamalara göre, 6 Şubat 2023'te meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremlerin ardından benzer afetlere hazırlıklı olmak amacıyla Ar-Ge faaliyetleri yürütülmektedir. Örnek olarak, bu doğrultuda, Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş. (TEMSAN) doğal afet ve acil durumlarda kullanılmak üzere

MOBİTEM adlı mobil güneş enerji santrali geliştirmiştir. Yüzde 90'ın üzerinde yerlilik oranına sahip olan bu mobil santralin yaz aylarında 9, kış aylarında 6 saat kesintisiz üretim yapabileceği belirtilmiştir¹⁰¹.

Türkiye Afet Müdahale Planı'nda, gerektiğinde mobil jeneratör ve benzeri çözümlerin kullanımına yönelik stratejiler yer almaktadır¹⁰². Türkiye jeneratör sektörü, geniş bir üretim ağıyla 20'den fazla ana üretici, 100'den fazla yerel üretici ve 100'den fazla yerel işletmeyi bünyesinde barındırmaktadır. 800 milyon USD'lik bir pazar büyüklüğüne ulaşan sektör, küresel pazarın %5,7'sini oluşturmaktadır¹⁰³.

Özetlemek gerekirse, mobil enerji santralleri, kırsal bölgeler, uzak maden sahaları ve afetlerden etkilenen alanlar gibi ana elektrik şebekesine erişimi olmayan bölgelerde ve pik tüketim ve bölgesel yük ihtiyaç anlarında önemli bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Taşınabilir yapıları ve kolay kurulabilir olmaları, bu santralleri elektrik kesintilerini gidermek ve hizmetin sınırlı olduğu bölgelerde kalkınmayı desteklemek için ideal bir çözüm haline getirmektedir¹⁰⁴. Türkiye için de böylesi özel durumlara cevap vermek amacıyla bu santrallerin kullanımının artırılması hedeflenmektedir.

⁹⁸ Shura Enerji Dönüşüm Merkezi. (2023). Doğal Afetler Karşısında Elektrik Sisteminin Güçlendirilmesi. <https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2023/03/SHURA-2023-04-Dogal-Afetler-ve-Enerji-Guvenligi.pdf>

⁹⁹ Our Power. (2024). Renewable Energy's Role in Disaster Relief Efforts. <https://our-power.co.uk/renewable-energys-role-in-disaster-relief-efforts/>

¹⁰⁰ SEFİA. (2023). Deprem Acil Müdahale, Toparlanma ve Yeniden İnşa Sürecinde Güneş Enerjisinin Rolü. <https://sefia.org/wp-content/uploads/2024/08/deprem-acil-mudahale-ve-toparlanma-yeniden-insa-surecinde-gunes-enerjisinin-rolu.pdf>

¹⁰¹ Küçük. G. (2024). TEMSAN, doğal afet ve acil durumlar için mobil güneş enerji santrali geliştirdi. <https://www.aa.com.tr/tr/enerji-terminali/yenilenebilir/temsan-dogal-afet-ve-acil-durumlar-icin-mobil-gunes-enerji-santrali-gelistirdi/42365>

¹⁰² AFAD. (t.y.). Türkiye Afet Müdahale Planı. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-afet-mudahale-planı>

¹⁰³ Yılmaz. E. (2024). Jender ile Küresel Pazarda Türk Jeneratörleri. <https://www.jendertr.org/duyurular/jender-ile-kuresel-pazar-da-turk-jeneratörleri>

¹⁰⁴ Swati. J. (2023). Mobil Enerji Santrali Pazar Büyüklüğü, Payı, Büyüme ve Endüstri Analizi, Yakıt Türüne Göre (Dizel, Doğal Gaz, Yenilenebilir Enerji), Güç Derecesine Göre (1-10 MW, 11-20 MW, 20 MW Üzeri), Uygulamaya Göre ve Bölgesel Analiz, 2024-2031. <https://www.kingsresearch.com/tr/mobile-power-plant-market-304>

1.6. HİDROJEN ENERJİSİ VE TÜRKİYE

1.6.1. Hidrojen Konusunda Dünyadaki Gelişmeler

Bir enerji kaynağı olarak hidrojen günümüzde gelecek için karbonsuzlaşma yolunda en çok umut vaat eden teknolojilerden birisi olarak görünmektedir. Günümüzde daha çok kimya ve petrokimya sektörlerinde ham madde olarak kullanılan hidrojenin gelecekte maliyetinin hızla düşmesi beklenmektedir. Böylelikle hidrojen uygulamalarının elektrik üretimi, ulaşım sektörü ve ağır sanayi gibi pek çok farklı sektörde karbon azaltımı için yaygın olarak kullanılması beklenmektedir¹⁰⁵. Hidrojenin doğrudan kullanımı yanında hidrojenden üretilen metanol ve amonyak gibi kimyasalların hem yakıt olarak hem de çeşitli endüstriyel işlemlerde kullanım potansiyeli yüksektir. Hidrojenin depolanabilme özelliği ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili üretimini dengeleyebilecek önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hidrojen birincil bir enerji kaynağı olarak görülmemelidir, bu kaynağın üretiminde birincil bir enerji kaynağının kullanılması gerekmektedir. Bu süreçte fosil yakıtlar, nükleer enerji veya yenilenebilir enerji kaynakları kullanılabilir. Enerji literatüründe hidrojen, üretim süreçlerinde kullanılan birincil enerji kaynağına göre farklı renkler ile temsil edilmektedir. Gri hidrojen, metan reformlama veya kömürün gazlaştırılması gibi tekniklerle üretilmektedir ve önemli oranda CO₂ emisyonuna sebep olmaktadır. Dolayısıyla bu yöntemle üretilen hidrojen karbonsuzlaşmaya yönelik enerji dönüşümünde kullanılabilecek uygun bir



enerji taşıyıcısı değildir. Mavi hidrojen ise gri hidrojene benzer tekniklerle elde edilip, salınan CO₂ gazının atmosfere bırakılması yerine yakalanarak depolanmasıyla üretilmektedir. Bu yöntemin uygulanabilirliği "Karbon Yakalama" teknolojisinin gelişimine bağlı olarak gelecekte enerji dönüşümünün bir parçası olabilir. Yeşil hidrojen ise suyun elektroliz yoluyla ayrıştırılmasıyla üretilmektedir. Bu kimyasal işlemin, atmosfer üzerinde olumsuz bir etkisi yoktur ve ürün olarak yalnızca hidrojen ve oksijen üretilmektedir. Elektrolizi gerçekleştirmek için gerekli elektrik enerjisi, rüzgâr veya güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Bu nedenle yeşil hidrojenin, fosil yakıtların enerji sisteminin dışında bırakılacağı gelecek yıllarda en önemli enerji taşıyıcılarından olması beklenmektedir¹⁰⁶. Tablo 9, hidrojenin renklerine göre sınıflandırılması ve buna dair detayları göstermektedir¹⁰⁷.

¹⁰⁵ A Shura Enerji Dönüşüm Merkezi. (2021). Türkiye'nin Ulusal Hidrojen Stratejisi için Öncelik Alanları. <https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2021/02/SHURA-2021-02-Turkiyenin-Ulusal-Hidrojen-Stratejisi-icin-Oncelik-Alanlari.pdf>

¹⁰⁶ Götz, M., Lefebvre, J., Mörs, F., McDaniel Koch, A., Graf, F., Bajohr, S., ... Kolb, T. (2016). Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review. *Renewable Energy*, 85, 1371–1390. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.066>

¹⁰⁷ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Kurumsal_Politikalar/HSP/ETKB_Hidrojen_Stratejik_Plan2023.pdf

Tablo 9. Hidrojen Çeşitleri

Hidrojen Türü	Teknoloji	Birincil Enerji/Elektrik Kaynağı	Karbon Ayak İzi [kgCO ₂ /kgH ₂]	Maliyet [USD/kgH ₂]
Yeşil Hidrojen	Su elektrolizi	Yenilenebilir Enerji	<1	4,0 - 9,0
Pembe Hidrojen	Su elektrolizi	Nükleer Enerji	<2	3,5 - 7,0
Turkuaz Hidrojen	Piroliz	Fosil Yakıt	<3	1,25 - 2,20
Mavi Hidrojen	Buhar metan reformlama (karbon yakalama ile)	Doğal gaz, Kömür	<4	1,5 - 3,0
Gri Hidrojen	Buhar metan reformlama (karbon yakalama ile)	Doğal gaz	8-10	0,5 - 1,7
Kahverengi Hidrojen	Gazlaştırma	Kömür	>20	1,0 - 2,2

Yeşil hidrojenin en önemli avantajlarından birisi sıfır karbon salımı ile üretilebilmesidir. Bu, onu fosil yakıtlara dayalı hidrojen üretimi yöntemlerinden ayıran en belirgin farktır. Rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi mevsimsel veya saatlik dalgalanmalara bağlı iken, yeşil hidrojen depolanabilir ve ihtiyaç duyulduğunda talebe uygun şekilde kullanılabilir. Ayrıca yeşil hidrojen, elektrifikasyonun mümkün olmadığı ve yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulan ağır sanayi gibi sektörler için de temiz bir alternatif oluşturmaktadır. Bu sayede Türkiye'nin de aralarında bulunduğu birçok ülkenin ihracat sektörlerinin karbon yoğunluğunu düşürmesine ve böylece ETS ve SKDM gibi mekanizmalarda da ekonomik bir avantaj sağlamasına olanak tanıyabilmektedir.

Endüstriyel kullanım dışında doğal gaz şebekesinde de belirli oranlarda hidrojenin kullanılması ile ilgili çalışmalar hem dünya genelinde hem de Türkiye'de sürmektedir. Hidrojenin bir diğer kullanım alanı olarak ise ulaşım sektörü dikkat çekmektedir ve

ETS ve SKDM

Yeşil Hidrojen, birçok ülkenin ihracat sektörlerinin karbon yoğunluğunu düşürmesine ve böylece ETS ve SKDM gibi mekanizmalarda da ekonomik bir avantaj sağlamasına olanak tanıyabilmektedir.

bu alandaki kullanımın yaygınlaşması için hidrojenin hacimsel verimliliğinin artırılması ile ilgili önemli çalışmalar sürdürülmektedir. Olası verimlilik artışlarıyla, gelecekte hidrojenin deniz ve kara taşımacılığında önemli pay sahibi olması beklenmektedir.

Elektrolizörler, hidrojen oluşturmak için elektrik (tercihen yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik) kullanarak su moleküllerini

parçalayabilen cihazlardır. Bu hidrojen daha sonra fosil yakıtların sıfır emisyonlu ikamesi olarak kullanılabilir. Suyun elektrolizindeki önemi göz önüne alındığında, hidrojen elektrolizörleri düşük maliyetli, yüksek kaliteli yeşil hidrojen gazı üretmek için vazgeçilmezdir. Dünyanın en büyük elektrolizör üretim şirketleri, seri üretim ve benimseme için güçlü ve uygun maliyetli elektrolizörler

üretmek için sürekli olarak yenilik yapmaktadır. Son birkaç yılda, elektrolizörlerin üretimi ve kullanımında bir artış eğilimi görülmüştür. Çin, Avrupa ve Kuzey Amerika, gelişmiş elektrolizör teknolojisi ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak hidrojen elektrolizörü pazarında önemli oyuncular olarak büyümüş ve ortaya çıkmıştır. Bu aktörlere ait detaylar Tablo 10'da yer almaktadır¹⁰⁸.

Tablo 10. Üretim Kapasitelerine Göre Başlıca Hidrojen Elektrolizörü Üreticileri

Şirket Adı	Mevcut Elektrolizör Üretim Kapasitesi (MW)	Tesis Yeri
LONGi Hydrogen Technology Co., Ltd.	5.000	Çin
Plug Power, Inc.	2.500	Woodbine, Georgia, ABD
Hygreen Energy	2.000	Shandong, Çin
Bloom Energy Corporation	2.000	Newark, New Jersey, ABD
ITM Power Plc	1.500	Sheffield, İngiltere
ERIC Hydrogen Technologies Co., Ltd.	1.500	Handan City, Çin
McPhy Energy S.A.	1.300	San Miniato, İtalya
Electric Hydrogen Co.	1.200	Devens, Massachusetts, ABD
Thyssenkrupp Nucera AG & Co. KGaA	1.000	Almanya
John Cockerill S.A.	1.000	Suzhou, Çin
Cummins, Inc.	1.000	Fridley, Minnesota, ABD

¹⁰⁸ Blackridge Research.(2024). Top 15 Hydrogen Electrolyzer Manufacturers in the World. <https://www.blackridgeresearch.com/blog/list-of-global-top-hydrogen-electrolyzer-manufacturers-companies-makers-suppliers-in-the-world>



AB, 2050 yılına kadar hidrojenin Avrupa'nın enerji tüketimindeki payının %13-14'üne ulaşmasını hedeflemektedir. Bu hedeflere ulaşmak için, AB'nin en büyük ticaret ortaklarından ve dünya çapında yenilenebilir enerji alanında önemli bir oyuncu olan ülkemizin hidrojen alanında net bir ulusal strateji oluşturması ve bu stratejiler kapsamında teknolojilerde yetkinlik kazanarak küresel ölçekte rekabetçi konuma gelmesi çok önemlidir. Mart 2022'de, Avrupa Komisyonu üye ülkeleri tarafından 10 milyon ton yeşil hidrojen üretimi ve 10 milyon ton yeşil hidrojen ithalat hedefi konulan "REPowerEU Planı" yayımlanmıştır. Bu plan, 2030 yılına kadar fosil yakıt kullanımını sona erdirmeyi ve AB'nin kurulu elektrolizör kapasitesinin 65-80 GW olmasını hedeflemektedir¹⁰⁹.

AB, yenilenebilir hidrojen üretimini teşvik etmek için Avrupa Hidrojen Bankası'nı kurmuştur. Bu banka, AB'nin emisyon ticareti gelirlerinden sağlanan yaklaşık 800 milyon euro gibi önemli bir bütçeyi kullanarak yenilenebilir hidrojen üreticilerine destek sağlamaktadır. Bankanın temel amacı, yenilenebilir hidrojen için pazar oluşturmak, üretim kapasitesine yönelik yatırımları desteklemek ve üretimi artırmaktır. Bu amaca ulaşmak için destek ihale süreçleri başlatılmaktadır. Bu projeler, hidrojen satışlarından elde edilen gelirlere ek olarak uzun süre sübvansede edilecektir. Seçili ülkelerin mevcut durum ve hedeflerine ait detaylar Tablo 11'de yer almaktadır¹¹⁰.

¹⁰⁹ Avrupa Komisyonu.(t.y). REPowerEU. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en

¹¹⁰ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Kurumsal_Politikalar/HSP/ETKB_Hidrojen_Stratejik_Plan2023.pdf ; Amerika Birleşik Devletleri Enerji Departmanı. (2024). DOE Hydrogen Program Record. <https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/24001-electrolyzer-installations-united-states.pdf> Amerika Birleşik Devletleri. (2023). U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap. https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/us-national-clean-hydrogen-strategy-roadmap.pdf?sfvrsn=c425b44f_5 ; Tisheva, P.(2024). China's electrolyser manufacturing capacity may hit 50 GW by 2030 – IEA. <https://renewables-now.com/news/chinas-electrolyser-manufacturing-capacity-may-hit-50-gw-by-2030-iea-873198/> ; Yin, I.(2022). China's first hydrogen plan focused on lowering costs, building capabilities. <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/news-research/latest-news/energy-transition/032922-chinas-first-hydrogen-plan-focused-on-lowering-costs-building-capabilities> ; Green Hydrogen Organisation.(t.y.).India. <https://gh2.org/countries/india#:~:text=Capacity%20and%20price,by%202030%20of%20electrolysis%20capacity>.

Tablo 11. Elektrolizör Kapasite Hedefleri

Ülke	Mevcut Durum ve Hedefler
Almanya 	2030 yılı elektrolizör kapasite hedefi 10 GW'tır. Bu elektrolizör kapasitesinin desteklenmesi için 20 TWh gibi bir yenilenebilir enerji kaynağına (çoğunlukla rüzgâr) ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, Almanya'nın hidrojen talebinin 2030 yılında 95-130 TWh arasında olacağı tahmin ediliyor. Bu nedenle, ülkenin toplam hidrojen ihtiyacının %50-70'ini ithalat yoluyla karşılaması planlanmaktadır.
İngiltere 	2030 yılına kadar en az yarısı elektrolit hidrojen olmak üzere 10 GW düşük karbonlu hidrojen üretim hedefi belirlenmiştir.
İspanya 	2030 yılı elektrolizör kapasite hedefi 4 GW'tır. Bu alanda önemli bir potansiyele sahip olup güneş ve rüzgâr enerjisinden elde edilen düşük maliyetli yenilenebilir elektriği, hidrojen üretimi için kullanmayı planlamaktadır. Ayrıca, yeşil hidrojenin ihracatı için Avrupa'nın enerji geçişinde kritik bir oyuncu olmayı hedeflemektedir.
Hollanda 	2030 yılına kadar 3-4 GW elektrolizör kapasitesi kurulması hedeflenmektedir. 50 hidrojen dolum istasyonunun kurulması, 15.000 yakıt hücresi otomobil ve 3.000 kamyon kullanılması hedeflenmektedir.
Fransa 	2030 yılı elektrolizör kapasite hedefi 6,5 GW'tır. 2020 itibarıyla gri hidrojen için 44,6 Euro/ton CO2 karbon vergisi alınmaktadır. 2030'da bu tutarın 100 Euro/ton CO2 seviyesine yükseltilmesi öngörülmektedir.
Diğer AB Ülkeleri 	AB ülkelerinin 2030 yılına kadar kurulu elektrolizör kapasite hedefi 65-80 GW'tır. Danimarka 4-6 GW, İtalya 5 GW, İsveç 5 GW, Portekiz 2-2,5 GW ve Polonya 2 GW elektrolizör kapasite hedefi belirlemiştir.

Ülke	Mevcut Durum ve Hedefler
Avustralya 	2030 yılına kadar planlanan projelere dayalı olarak yaklaşık 50 GW'lık bir elektrolizör kapasitesine ulaşması beklenmektedir. Çin, Japonya, Güney Kore ve Singapur ile antlaşmalar yapmış olup 2030'da 3,8 Mt hidrojene (~9,5 milyar Avustralya doları) ulaşacak ihracat planlanmaktadır.
ABD 	Mevcutta 116 MW elektrolizör kapasitesi bulunmaktadır. 2024'ün Mayıs ayı itibarıyla toplam 657 MW elektrolizör inşa halinde bulunurken 3,8 GW ise planlama aşamasındadır. Buna ek olarak 2030 yılında 10 milyon metrik ton (MMt) (yaklaşık 100-125 GW) temiz hidrojen üretim kapasitesine ulaşmak ve temiz hidrojen üretim maliyetinin 1 USD/kg seviyesine çekilmesi hedeflenmektedir.
Çin 	2024 sonu değerleri açıklanmamış olmakla birlikte 3,6 GW elektrolizör kapasitesine ulaşacağı düşünülmektedir. 2030 yılında 80 GW'lık bir kapasiteye ulaşması ve yeşil hidrojen maliyetinin 2,4 USD/kg'ın altına düşmesi hedeflenmektedir. Dünya çapında 15 GW elektrolizör üretim kapasitesi ile lider konumda olup, küresel üretim kapasitesinin %60'ından fazlasını Çin'de yoğunlaştırmış durumdadır.
Hindistan 	2030 yılı elektrolizör kapasite hedefi 15 GW'tır. 2030 yılına kadar 5 MMt yenilenebilir hidrojen üretilmesi ve yeşil hidrojen üretim maliyetinin 1,5 USD/kg'a düşürülmesi hedeflenmektedir.

1.6.2. Türkiye'de Hidrojen ve Hedefler

Hidrojen teknolojisi, 2 Mayıs 2007 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanan "Enerji Verimliliği Kanunu" ile mevzuata girmiştir. Hidrojen teknolojisi her ne kadar enerji verimliliği mevzuatı ile Türkiye'nin gündemine girdiyse de hidrojenin ulaştırma sektöründe kullanımına yönelik ilk yasal düzenleme 7 Haziran 2011 tarihli ve 27957 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "Hidrojen ile Çalışan Motorlu Araçların Tip Onayına İlişkin Yönetmelik" ile belirlenmiştir. Yine ulaşım sektöründe, motorlu araçların birim yakıt

tüketiminin düşürülmesi ve enerji verimliliğinin artırılması kapsamında yayımlanan "Ulaşımın Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik" ile hidrojen, fosil yakıtlara alternatif olarak teşvik edilmesi planlanan alternatif yakıtlar arasında yer almıştır.

Yeşil hidrojen üretimi ve karbonsuzlaşmaya etkilerine ilişkin hedeflere ilk olarak 2022 yılında yayımlanan Türkiye Ulusal Enerji Planı'nda, ardından 2023 yılında yayımlanan 12. Kalkınma Planı ile Türkiye Hidrojen Teknolojileri Yol

Haritası ve Stratejisi raporunda yer verilmiştir. Bu belgelerde, gerekli altyapı ve teknolojilerin geliştirilmesi için atılması gereken adımlar tanımlanmış; ayrıca, Türkiye'nin Avrupa pazarlarına olan coğrafi yakınlığı göz önünde bulundurularak, yeşil hidrojen alanında bir ticaret merkezi haline gelmesini destekleyecek unsurlar vurgulanmıştır¹¹¹.

Ocak 2023 tarihinde ETKB tarafından yayımlanan "Türkiye Hidrojen Teknolojileri Yol Haritası ve Stratejisi" raporu ile Türkiye'nin uzun dönemli ekonomik büyüme hedefleri ve 2053 net sıfır emisyonlu ekonomiye geçiş sürecine uyumlu bir şekilde hidrojen üretimi ve kullanımı incelenmiştir.

Yayımlanan Hidrojen Yol Haritası'nda hidrojen teknolojisinin yurt içinde üretimini gerçekleştirmek için gerekli araştırma, destek ve uygulama programları ile ilgili hedeflere de yer verilmektedir. Yerel olarak üretilmesi planlanan düşük karbonlu hidrojenin çeşitli sektörlerde (ulaşım, petrokimya, demir-çelik, gübre ve çimento vb.) kullanılmasıyla, enerji arz güvenliği sağlanırken, çevresel sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesinin artırılmasına da katkıda bulunulacaktır. Yol Haritası'nda sanayideki emisyonları en düşük seviyeye indirebilmek için öncelikle doğal gaz, hidrojen ve sentetik metan karışımının kullanılmasının ve enerji talebini karşılamak için hidrojenin öncelikle yerinde kullanılmasının hedeflendiği belirtilmektedir (ETKB, 2023). Yayımlanan Yol Haritası'nda hidrojen teknolojisinin geliştirilmesinde dikkate alınan temel hedefler ve politikalar:

- Yeşil hidrojenin üretim maliyetinin 2035 yılına kadar 2,4 USD/kgH seviyesinin; 2053 yılına kadar ise 1,2 USD/kgH seviyesinin altına düşürülmesi,

- Toplam kurulu elektrolizör kapasitesinin 2030 yılında 2 GW, 2035 yılında 5 GW ve 2053'te 70 GW seviyesine çıkarılması,

- Yeşil hidrojenin üretimi ve depolanmasında yerli bileşenlerin kullanımına yönelik bir teşvik mekanizması oluşturulması,

- Yerli ve milli teknolojilerin (elektrolizör, yakıt pili vb.) geliştirilmesi ve üretilmesi için Ar-Ge'nin teşvik edilmesi,

- Linyit ve organik atıklardan hidrojen ve sentetik gaz üretimine yönelik Ar-Ge çalışmalarının yapılması,

- Karbon emisyonlarını azaltmanın zor olduğu endüstriler başta olmak üzere ilgili tüm sektörlerde yeşil hidrojenin yaygın olarak kullanımının teşvik edilmesi,

- Yeşil hidrojen üretimini artırmak için yenilenebilir enerji üretiminin ve kullanım payının artırılması

- Dünya ve özellikle Avrupa pazarına yerli teknolojilerimiz ile ihtiyaç fazlası yeşil hidrojen veya amonyak ihraç edilmesi,

şeklindedir.

Almanya merkezli ileri teknoloji şirketi Biga Hydrogen, Manisa Organize Sanayi Bölgesi'nde (OSB) Türkiye'nin ilk elektrolizör üretim tesisini kurmak için çalışmalara başlamıştır. Biga Hydrogen, Estonya merkezli Stargate Hydrogen Solutions ile iş birliği yaparak yeşil hidrojen üretiminde alkali teknolojisini kullanmayı tercih etmiştir. Şirket, ilk aşamada modüler 1.000 m³/h kapasiteli üniteler inşa etmeyi planlamaktadır. Bu üniteler, enerji yoğun ağır sanayi üretiminin yoğun olduğu Manisa ve İzmir bölgelerindeki şirketlere yönelik hizmet sunacaktır. Proje, yeşil

¹¹¹ Sabancı Üniversitesi IICEC.(2023). Türkiye Yeşil Hidrojen Geleceği 2023.

https://iicec.sabanciuniv.edu/sites/iicec.sabanciuniv.edu/files/inline-files/IICEC_T%C3%BCrkiye%20Ye%C5%9Fil%20Hidrojen%20Gelece%C4%9Fi.pdf

hidrojenin sanayi süreçlerine entegrasyonu ile karbonsuzlaştırmanın ekonomik olarak uygulanabilirliğini göstermeyi hedeflemektedir. Manisa OSB'deki fabrikanın 2025 yılının üçüncü çeyreğinde faaliyete geçmesi ve 2026 yılından itibaren üretimini hızlandırması planlanmaktadır.

Ayrıca

- TÜPRAŞ Yeşil Hidrojen Projesi,
- Hidrojen Teknolojisi Ar-Ge Projesi,
- HYSouthMarmara Projesi,
- GAZBİR Hyvillage Projesi

gibi projelerle de hidrojen alanında yatırımlar yapılmaya başlanmıştır. Dünyada ise Aralık 2020 itibarıyla toplam 228 hidrojen projesinin 102 tanesi onay almış iken Mayıs 2024'te başvuru

sayısı 1.572'ye çıkarken 434 proje uygulamaya geçme aşamasındadır. Şekil 16'da ise Dünyadaki hidrojen projelerine ilişkin projelerin ağırlıklı bulunduğu ülkeler yer almaktadır¹¹².

Hidrojen Yol Haritası özellikle 2035 yılına kadar hidrojen teknolojisinin geliştirilmesi, yerel olarak üretilmesi ve kullanımı için çeşitli detaylar vermekle birlikte, bu Plan doğrultusundaki hedeflerin gerçekleştirilmesi için mevzuat, hangi politikaların uygulanacağı ve ilgili yatırımların finansmanının ne şekilde sağlanacağı konularında belirsizlikler bulunmaktadır. Ayrıca Avrupa Hidrojen Bankası'nın uyguladığı gibi yatırımcılara teşvik ve özellikle elektrifikasyona uygun olmayan sanayi tesisleri için direkt bağlama ile hidrojenin doğrudan üretim süreçlerine entegre edilerek kullanılmasına yönelik çalışmalar hidrojen ekonomisinin büyümesine katkı sağlayacaktır.



Şekil 16. Küresel Hidrojen Projeleri Gelişimi (Aralık 2020 – Mayıs 2024)

¹¹² Hydrogen Insights.(2024). <https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-2024/>



2.

ENERJİ ÇALIŞTAYININ TEMEL ÇIKTILARI

Raporun ilerleyen bölümlerinde, çalıştaydan elde edilen bulgular ve katılımcıların görüşleri ana başlıklar altında özetlenmektedir. Raporda verilen özetle birlikte sonuçların ve önerilerin daha geniş paydaşlarla paylaşılması hedeflenmektedir.

Bu kısımda, 10 Aralık 2024 tarihinde düzenlenen 'Enerji Teknolojilerinde Dünyada ve Türkiye'de Görünüm ve Beklentiler Çalıştayı' kapsamında öne çıkan tartışmalar ve temel sonuçlar özetlenmektedir. Çalıştay, Türkiye ve dünya genelinde enerji teknolojilerindeki durumun kapsamlı bir değerlendirmesini sunma amacıyla sektör temsilcileri, uzmanlar, akademisyenler ve karar alıcıları bir araya getirmiştir.

Toplantıda, yenilenebilir enerji kaynakları ve depolama, termik santraller, nükleer enerji ve hidrojen konuları ele alınmış, mevcut durum analizi yapılmış ve geleceğe yönelik yol haritaları geliştirilmiştir. Bu amaçla tartışmalar ana konu

başlıklarına göre 4 ayrı masa üzerinden devam etmiştir.

Ayrı gruplar halinde yapılan değerlendirmenin ardından her bir masada konuşulan konulara ilişkin özetler hazırlanmış ve bu özetler tüm katılımcıların tekrar bir araya gelmesinin ardından genel grupla paylaşılmıştır. Bu şekilde çalıştay sonunda ele alınan başlıklar topluca değerlendirilip katılımcıların yorumları alınmıştır. Raporun ilerleyen bölümlerinde, çalıştaydan elde edilen bulgular ve katılımcıların görüşleri ana başlıklar altında özetlenmektedir. Raporda verilen özetle birlikte sonuçların ve önerilerin daha geniş paydaşlarla paylaşılması hedeflenmektedir.

2.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ENERJİ DEPOLAMA

2.1.1. Yenilenebilir Enerji Yatırımları Önündeki Engeller

Katılımcıların genel görüşü Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeline tam olarak erişilmesini engelleyen çeşitli etkenler bulunduğuudur. Özellikle sanayicilerin lisanssız GES kurmakta büyük zorluklarla karşılaştığı, konutlarda ise bu tür yatırımların neredeyse imkânsız hale geldiği vurgulanmıştır. Mevzuat engellerinin çözüme kavuşması, teşvikler olmasa bile, yatırım süreçlerini hızlandırabilir ve enerji dönüşümünde önemli ilerlemeler kaydedilebilir.

Dünya genelinde yenilenebilir enerji yatırımlarının geri dönüş süresi önemli ölçüde kısılmasına rağmen Türkiye'de yasal süreçlerin karmaşıklığı bu durumu zorlaştırmaktadır. Mevzuatın çok sık değiştirilmesi de yatırımcıların öngörülebilirliğini azaltmaktadır. Bununla birlikte, yasal düzenlemelerin bazı yönlerden haklı gerekçeleri olduğu da vurgulanmıştır. Örneğin, iç tüketimi desteklemek amacıyla yapılan mevzuat değişiklikleri olumlu bir adım olarak değerlendirilebilir. Fakat geçmişe dönük

uygulanması yatırım yapan birçok sanayiciyi derinden etkilemiştir. Bürokrasinin minimize edilmesi ve diğer konulara odaklanılması gerekmektedir. Bu süreçte, bürokratik engelleri aşarken daha açıcı ve yapıcı bir yaklaşım benimsenmelidir.

Mevzuatın ana sorun olarak değerlendirilmemesi gerektiğini de ifade eden katılımcılar olmuştur. edilmiştir. Bunun yerine, hibrit santrallerin mevcut durumuna dikkat çekilmelidir. Hem fiyatlandırma hem de mevzuat sorunları nedeniyle hibrit santrallerin yaygınlaşması engellenmiş ve bu tür santrallerin sayısı oldukça sınırlı kalmıştır. Bu durum, sektördeki gelişimin önündeki önemli bir engeldir.

Sürdürülebilirlik açısından, yakın gelecekte emisyon hesaplamalarının yanı sıra karbon ayak izi değerlendirmelerinin de zorunlu hale geleceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin yenilenebilir enerji sektöründeki altyapısını güçlendirmesi ve daha kapsamlı çevresel değerlendirmelere hazır hale gelmesi kritik önemdedir.

Bu noktada, bütünleşmiş bir bakış açısıyla tasarımlar yapılması önemli olacaktır. Yenilenebilir enerji santrallerinin belli durumlarda termik santrallerden daha fazla çevresel zarara yol açabildiği vurgulanmıştır. Bu duruma dikkat edilerek hem verimliliği artırmak hem de çevresel etkileri minimize etmek mümkün olabilir. Örneğin panel geri dönüşümünde kullanılacak sistemler konusunda detaylı bir sorgulama yapılmalıdır. Halihazırda, dünya genelinde bu alanda birçok uygulama ve bilgi birikimi bulunmaktadır.

2.1.2. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji İmalat Sektörünün Gelişim Stratejileri ve Yerlilik Politikaları

Çalıştayda yenilenebilir enerji ve depolama teknolojileri alt başlığında üzerinde durulan önemli bir husus yerli üretim konusu olmuştur. Yenilenebilir ve enerji depolama sistemlerinde yerli imalatın önemi tüm katılımcıların üzerinde mutabık kaldığı bir noktadır. Bu kapsamda mevcut politika çerçevesi altında değiştirilebilecek temel bazı öneriler oluşturulmuştur.

Yerlileştirme politikalarının bilgi birikimi (know-how) transferi ve insan kaynağı yönetimi açısından yeniden ele alınması gerekli görülmüştür. Özellikle Çin ve Tayvan gibi rekabetçi pazarların varlığı göz önüne alındığında, yerli yatırımın cesaret gerektirdiği ve sanayicilerin belli garantilere sahip olmadıkları durumda yatırım yapmaktan kaçındıkları ifade edilmiştir. Bu nedenle, devlet düzeyinde stratejik kararlarla yerli sanayiye destekleyecek bir pazarın oluşturulması ve hammaddenin yerel kaynaklardan teminini sağlayacak politikaların geliştirilmesi gerekmektedir.

Türkiye'de yenilenebilir enerji sektörünün gelişimi önündeki en büyük engellerden biri olarak Ar-Ge ve Ür-Ge (Ürün Geliştirme) çalışmalarının özel sektör tarafından yeterince yapılamaması gösterilmiştir. Bu durum, sektörel

bir konsorsiyum oluşturulması veya devlet desteğinin sağlanması ihtiyacını doğurmaktadır. Çin'deki panel fabrikaları örneğinde görüldüğü gibi, devlet destekli firmalar sektörde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Türkiye'de de teşvik mekanizmalarının genişletilerek birden fazla firmaya destek verilmesi büyük önem taşımaktadır. Halihazırda, Türkiye'de teknolojik olarak farklı bir güneş paneli üretimi bulunmamakta, inverter gibi kritik alanlarda ise üretim yapılmamaktadır. Bu durum, sektörü ithalata bağımlı hale getirmekte ve bu alandaki üretimi özel sektör için cazip hale getirememektedir.

Bu konularda başka sektörlerdeki uygulamaların da yenilenebilir enerji sektörü açısından yol gösterici olabileceği vurgulanmıştır. Geçmişte bazı sektörlerde yerli üretimi teşvik etmek için başarılı adımlar atılmıştır. Örneğin, aydınlatma sektöründe yerli malı kullanımı için uygulanan %15 fiyat farkı teşvik mekanizması sayesinde yerli üreticiler güç kazanmış, kaliteli ürünler piyasaya sürüldükçe yabancı şirketler pazardan çekilmiştir. Benzer bir modelin yenilenebilir enerji sektöründe de uygulanabileceği savunulmuştur. Doğru tasarlanmış teşvikler hem yerel sanayicilerin güçlenmesini hem de yabancı üreticilerin yerli alternatifler karşısında gerilemesini sağlayabilir.

Yenilenebilir enerjiye yönelik teşviklerin sanayicilere sağlanması, önemli bir adım olmakla birlikte, elektrik üreticileri için de motivasyon kaynağı olabilecek mekanizmaların geliştirilmesi gerekli görülmektedir. YEKA uygulamaları kapsamında yerlilikle ilgili şartların biraz daha katı bir şekilde ilerlemesi gerekli görülmüştür. Mevcut düzenlemelerle yerli üretim uygulamaları desteklenmiş olsa da sahada hala çeşitli eksiklikler bulunmaktadır. Ek olarak, YEKA modeli kapsamında, proje geliştiricilerin yerli ürün kullanım zorunlulukları üzerinde yerlilik oranını yakalamaları durumunda ek teşvik almasının hem sanayici



% 80

Yenilenebilir enerji sistemleri, fosil yakıtlara göre altı kat daha fazla maden ve mineral ihtiyacı doğurmaktadır. Bu alanda Çin'in dünya genelinde %80'in üzerinde bir hakimiyeti bulunmaktadır. Çin'in geliştirdiği teknolojiler maliyetleri düşürerek sektörde rekabeti artırmaktadır.

hem de elektrik üreticisi açısından süreci daha cazip hale getirebileceği vurgulanmıştır.

Yenilenebilir enerji sistemleri, fosil yakıtlara göre altı kat daha fazla maden ve mineral ihtiyacı doğurmaktadır. Bu alanda Çin'in dünya genelinde %80'in üzerinde bir hakimiyeti bulunmaktadır. Çin'in geliştirdiği teknolojiler maliyetleri düşürerek sektörde rekabeti artırmaktadır. Ancak bu durum, bazı durumlarda Çin'e de zarar verebilmektedir. Böyle bir denge oluştuğunda, Çin'den çıkan teknolojilerin Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelere daha kolay ulaşması mümkündür. Türkiye'nin, teknolojiyi sürekli geriden takip etme alışkanlığını aşması, kendi inovasyon altyapısını oluşturması gereklidir.

Örneğin, tracker (izleyici) sistemleri ve inverter teknolojileri gibi alanlarda hem üretim hem de bakım maliyetlerinin düşürülmesinin önem arz ettiği vurgulanmıştır. Güneş enerjisi özelinde, Türkiye'de 90'dan fazla panel üreticisi bulunmasına rağmen, inverter ve tracker teknolojilerinde sanayi gelişimi yetersizdir. Körfez bölgesinde yıkama robot teknolojileri gibi yenilikçi fırsatlar değerlendirilmelidir.

Bunun yanı sıra, Çin'e uygulanan anti dumping politikaları sebebiyle, hücre teknolojileri yatırımlarının hızlıca hayata geçirilmesi önemli görülmüştür. Bu konuda, Körfez ülkeleri (Suudi Arabistan, Umman gibi) Türkiye için rekabet riski oluşturmaktadır.

Yeni YEKA taslağında, inverter teknolojileri için yerli katkı payının öngörülmüş olması olumlu bir adım olarak değerlendirilmiştir. Bu durum, hem yenilenebilir enerjinin şebekeye entegrasyonunu artırabilir hem de dijitalleşme ve akıllı şebeke uygulamalarını destekleyebilir. Ancak, koruma sistemleri konusunda özellikle dağıtım şirketlerinde sorunlar yaşanabileceği öngörülmektedir. Bu nedenle, modern ve birbiriyle entegre çalışabilen sistemlerin kullanımı teşvik edilmelidir.

Enerji depolama teknolojileri açısından ise, batarya depolama sistemleri öne çıkmaktadır. Batarya teknolojilerinin geliştirilmesi için, devletin de içinde yer aldığı Ar-Ge komisyonları oluşturulmalıdır. Bunun yanı sıra, "ikinci yaşam" (second life) uygulamaları ile kullanılmış bataryaların şebekede yeniden değerlendirilmesi sağlanabilir. Depolama

teknolojilerinde hammadde kaynaklarına erişim yetersizliği, Türkiye'nin sanayi gelişimini sınırlamaktadır. Bu nedenle, madencilik sektörüyle iş birliği yapılarak lityum gibi kritik hammaddelerin tedarikine yönelik adımlar atılmalıdır.

Jeotermal enerji projelerinde egzoz sistemlerinin yerleştirilmesi sağlanmış olsa da bu yeterli değildir; özellikle türbinlerin yerleştirilmesi öncelikli bir hedef olmalıdır. Türbin üretimi için İtalyan ve İsrail-Amerikan şirketlerinden teknoloji transferi sağlanmış, ancak bu bilgi birikimi ülkede kalıcı olarak tutulamamıştır. Günümüzde Türkiye'de türbin üretebilecek kapasitede bir yerli firma bulunmamaktadır.

Sonuç olarak, Türkiye'nin enerji yatırımları katma değeri yüksek sektörlerle yönlendirilmeli ve ithalat bağımlılığını artıran yatırımlardan kaçınılmalıdır. Pazar dinamiklerine uygun şekilde stratejik seçimler yapılmalıdır. Yenilenebilir enerji sektöründe mevzuat, finansman ve teknik gerekliliklerin uyumlu bir şekilde ele alınması, sürdürülebilir büyümeyi destekleyecektir. Gelişmiş regülasyon politikaları ve yenilikçi yaklaşımlarla Türkiye'nin hem yerel üretim kapasitesini artırması hem de uluslararası rekabet gücünü yükseltmesi mümkündür.

2.1.3. Uluslararası Pazarlara Yönelik Rekabet ve İhracat

Yerli üretim kapasitesinin artırılması aynı zamanda uluslararası pazarlara yönelik ihracat potansiyelini de artıracaktır. Bu konu da çalıştayda üstünde durulan önemli bir husus olmuştur. Katılımcılara göre uluslararası hedefler belirlenmeli ve Türkiye'yi yalnızca yerel pazar olarak hedeflemektense, Avrupa gibi küresel pazarlara yönelik ürün üretimi yapılmalıdır. Avrupa pazarına yönelik üretim yapılması hem fiyatlandırma hem de davranışsal değişimleri beraberinde getirebilir, bu da kalite standartlarının yükselmesine ve sertifikasyon

süreçlerinin uygulanmasına olanak tanır. Ürün kalitesine büyük önem verilmeli ve uluslararası standartlara uyum sağlanmalıdır. Buna karşın rekabet konusunda ciddi sorunların bulunduğu ifade edilmiştir. Üretim ölçeğimizin yurtdışındaki rakiplere göre çok küçük olması önemli bir dezavantaj olarak görülmektedir. İhracatın artırılabilmesi için daha fazla destek sağlanması gereklidir.

Diğer ülkelerin başarılı örneklerini inceleyip uygulamaya almak, sektörde ilerleme kaydetmek adına kritik bir yaklaşımdır. Ancak mevcut durumda Türkiye'nin Avrupa'ya güneş panelleri gibi yenilenebilir enerji ekipmanları satışı oldukça güç görünmektedir. Bunun temel sebeplerinden biri, üretim teşviklerinin kWh bazlı verilmesi, üretici odaklı olmamasıdır. Elektrik üreticilerine sağlanan teşviklerin fiyatlara yeterince yansımadağı ve rekabet gücünü artırma konusunda yeterli fayda sağlamadağı gözlemlenmektedir.

Patent haklarının gelecekte daha da stratejik bir önem kazanacağı vurgulanmıştır. Dünyada patent kaynaklı yasal mücadelelerin başlaması beklenmektedir. Özellikle ABD'nin uygulamaya koyduğu anti-damping vergileri, diğer ülkeler için de emsal teşkil edebilir. Avrupa Birliği henüz benzer bir düzenleme uygulamasa da gelecekte benzeri düzenlemelerin devreye gireceğı öngörülmektedir. Yerel üreticiler, aldıkları teşviklerin etkisini patent eksikliği nedeniyle kaybetme riskiyle karşı karşıyadır. Türkiye'de üreticilerde Ar-Ge'ye ayrılan yetersiz kaynaklar, yenilikçi teknolojiler geliştirme ve patent oluşturma yetkinliğini sınırlamaktadır. Bu da uzun vadede sektörde rekabet gücünün zayıflamasına yol açmaktadır.

2.1.4. Üniversite-Sanayi İş Birliği

Üniversite-Sanayi iş birliğinin istenen düzeyde olmaması katılımcıların üzerinde durduğu engellerden biri olmuştur. Katılımcılara göre üniversitelerde geliştirilen yenilikçi fikirlerin ticarileştirilememesi, Türkiye'nin rekabet

gücünü olumsuz etkilemektedir. Sanayide, her sektöre girmeye çalışmak yerine, birkaç stratejik alana odaklanılmalı ve devlet teşviklerinde özellikle katma değeri yüksek alanlara (örneğin SCADA ölçüm teknolojileri) öncelik verilmelidir.

Üniversite-sanayi iş birlikleri ve kamu-özel sektör iş birlikleri oldukça kritik bir öneme sahiptir. Hollanda'da, üniversitelere entegre olmuş ve özel sektörden sipariş alan küçük işletmelerin sayısı çok fazladır ve bu durum kümeleşme yapıları ile desteklenmektedir. Türkiye'nin de bu tür kümelenme yapıları ve merkezleri oluşturması gerekmektedir. Ne yazık ki, yıllar içinde geliştirdiğimiz birçok potansiyel zayıflamış ve 1980'lerden itibaren rekabet öncesi iş birliği sağlanamamıştır. Devlet Planlama Teşkilatı'nın kapanması, yaşanan sorunların temel nedenlerinden biri olarak görülmektedir. Ayrıca, güçlü bir merkezi yapılanmaya sahip olmamak, ülkenin sanayi politikaları açısından büyük bir eksikliktir. Yönetişim, hukukun üstünlüğü, mevzuatın belirsizliği ve öngörülebilirliğin olmaması gibi yapısal sorunlar da Türkiye'nin kalkınmasında engeller teşkil etmektedir. Bu bağlamda, üniversitelerin ve sanayilerin Ankara'da daha güçlü bir şekilde seslerini duyurabilmesini sağlayacak kanallar yaratılmalı ve bu yapılanma OSB'ler gibi başarılı örneklerden ilham alınarak teşvik edilmelidir.

Yurtdışında pek çok ülkede üniversite projelerinin yüksek bir oranla özel sektör tarafından desteklendiği ve bu projelerin doğrudan katma değere dönüştüğü belirtilmiştir. Bu noktada özel sektör ve üniversite iş birliğinin önemi ve sanayicilerin üniversitelere daha fazla destek vermesinin olumlu sonuçları olacağı vurgulanmıştır. Aynı zamanda sadece katma değeri yüksek alanlara yatırım yapma yaklaşımının yanlış olduğu belirtilmiş ve Ar-Ge'ye yapılan yatırımları artırmanın önemli geri dönüşleri olabileceği savunulmuştur.

Üniversiteler bu tür programları başarılı bir şekilde uygulamakta ve başarılı öğrencilerini son altı ayda staja göndermektedir.

Üniversite yetkilileri, bu programları geliştirerek sanayiyle olan iş birliklerinin daha da arttırılabileceğini vurgulamışlardır. Öte yandan, üniversitelerdeki sanayi ile mevcut iş birliklerinin çoğu zaman iyi niyet anlaşmalarına dayandığı ve maddi boyutunun olmadığı belirtilmektedir.

Bununla birlikte, Türkiye'de bulunan mevcut mühendis ve üniversite sayısına gerçekten ihtiyaç olup olmadığı da sorgulanmıştır. Asıl önemli olan, öğrencilerin stajyer olarak yerleştirilmeye başlamadan önce ne öğrendikleri ve hangi bilgiye sahip olduklarıdır. Mevcut teknik lise mevzuatının yetersizliği, daha büyük bir sorunu teşkil etmektedir. Teknik lise müfredatının güncellenmesi ve iyileştirilmesi gereklidir. Bu okullarda hâlâ eski teknolojilere dayalı eğitim verilmektedir; ancak günümüz teknolojilerini içeren eğitim müfredatlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Ayrıca, "mavi yaka" ve "beyaz yaka" kavramlarına "yeşil yaka" kavramının da eklenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Yenilenebilir enerji sektöründe çalışan bireyler bu yeni kategoriyi temsil etmektedir ve bu çalışanlar, SCADA sistemlerinden ticaret yönetimine kadar birçok alanda bilgi sahibidirler.

2.1.5. Karbon Fiyatlandırmasının Etkileri

Katılımcılara göre karbon fiyatlandırmasının olası etkileri de yenilenebilir enerji piyasası için tayin edici olacaktır. Fizibilite çalışmaları yaparken, projelerdeki karbon salımlarının da dikkatle değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, karbon maliyetlerinin hesaplamalara dahil edilmesi gereklidir. Özellikle karbon fiyatının uygulanmaya başlanması, devlete ciddi gelir elde etme fırsatı sunmaktadır. 2027 yılından itibaren

karbon piyasasının ülkede devreye girmesi beklenmektedir. Tekstil gibi bazı sektörlerin karbon fiyatlandırması altındaki maliyetleri üstlenmekte zorlanacağı ve bu durumun sektörün rekabet gücünü %15 oranında azaltabileceği ifade edilmiştir. Mısır, bu olumsuz etkilerden kaçınmak isteyen Türk tekstilcilerinin tercih ettiği bir pazar olma yolundadır ve şu anda Türkiye, Mısır'ın en büyük ihracatçısı konumundadır. Ayrıca, Mısır'ın ürünleri karbon ayak izi değerlendirilmeden ithal edilmektedir; bu durum, Türkiye için de göz önünde bulundurulabilir.

Öte yandan, Türkiye'de Ar-Ge müdürlüklerinde yeterli kapasiteye sahip olmayan bir altyapı bulunduğu vurgulanmıştır. Karbon fiyatlandırmasının etkisinin sanayici için çeşitli riskler oluştururken, aynı zamanda bazı ülkelerde üretimin ekonomik verimliliğine yönelik fırsatlar da yarattığı sonucuna ulaşılmıştır.

2.1.6. Hidroelektrik Santrallerin Rolü

Türkiye için önemli bir üretim kaynağı olan hidroelektrik enerji de panelde çalıştayda üzerinde durulan konulardan olmuştur. Bu açıdan yeraltı su kaynaklarının ölçülmesi ve değerlendirilmesinin, enerji ve çevre yönetimi açısından önemli bir ilk adım olacağı vurgulanmıştır. Bu, özellikle yenilenebilir enerji santrallerinin yer seçimi ve yerel su kaynaklarıyla uyumlu çalışması açısından değerli bilgiler sunabilir.

Hibrit enerji sistemlerinin, özellikle pompaj depolamalı santrallerin sayısının artırılması gerektiğinin üzerinde durulmuştur. Özellikle batarya depolama sistemlerine bir alternatif olarak pompaj depolama seçeneği öne çıkmaktadır. Yakın zamanda Avrupa Birliği için yapılan çalışmalar da pompaj depolamalı

2027

2027 yılından itibaren karbon piyasasının ülkede devreye girmesi beklenmektedir. Tekstil gibi bazı sektörlerin karbon fiyatlandırması altındaki maliyetleri üstlenmekte zorlanacağı ve bu durumun sektörün rekabet gücünü %15 oranında azaltabileceği ifade edilmiştir.

sistemlerin geleceğin enerji sistemi için önemli bir seçenek olduğuna işaret etmektedir¹¹³. Öte yandan karşıt bir görüş olarak pompaj depolamanın eski bir teknoloji olduğu ve ekonomik açıdan zorlayıcı olabileceği vurgulanmıştır. Bu teknoloji için bulunan yüksek yatırım maliyetleri, uzun vadede yeterli geri dönüşü sağlayamamaktadır.

2.1.7. Akıllı Şebekeler

Çalıştayda öne çıkan konulardan bir diğeri akıllı şebekeler konusu olmuştur. Akıllı şebekeler, dünya genelinde uzun süredir araştırma ve geliştirme çalışmalarının odak noktası olmuş bir alan olarak öne çıkmaktadır. Bu konuda Almanya, akıllı şebeke uygulamalarında lider ülkelerden biri olarak kabul edilmektedir. Almanya, hangi seviyede ve ne miktarda akıllı şebekenin gerekli olduğuna dair adım adım bir yol haritası oluşturarak başarılı bir strateji geliştirmiştir. Benzer bir yaklaşım Türkiye için de uygulanabilir; ancak mevzuat düzenlemeleri bu sürecin önündeki en büyük engellerden biri olarak değerlendirilmektedir.

¹¹³ Avrupa Komisyonu. (2023). Hydropower and pumped hydropower storage in the European Union. https://setis.ec.europa.eu/hydropower-and-pumped-hydropower-storage-european-union-0_en



2.2. TERMİK SANTRALLER

2.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Artışı ve Termik Santrallerin Rolü

Yenilenebilir kaynakların üretimdeki payının artması, enerji üretiminde termik santrallerin rolünü ve bu santrallerin işlevini önemli ölçüde değiştirmektedir. Katılımcılara göre termik santraller hem çevresel etkilerini azaltmak hem de ekonomik sürdürülebilirliklerini korumak için verimliliklerini artırmaya yönelik yatırımlar yapmalıdır ve 2053 net sıfır karbon hedefine ulaşmak için, kömür potansiyeli kontrollü ve planlı bir şekilde kullanılarak rezervlerin tüketilmesi sağlanmalıdır. Rezervleri tükenen santraller ise, yerinde dönüşüm stratejileriyle yenilenebilir enerji entegrasyonuna uygun hale getirilmeli veya esnek yapıya sahip, daha düşük karbon salımı yapan doğal gaz santrallerine dönüştürülmelidir. Bu dönüşüm, enerji arz güvenliğinin sürdürülebilir bir şekilde sağlanmasına da katkı sunacaktır.

Termik santrallerin ekonomik ömrü genellikle 20-30 yıl arasında değişmektedir. Bu süre

kullanılan teknoloji, bakım ve yenileme çalışmaları, yakıt tipi (kömür, doğal gaz vb.), santralin verimliliği ve çevre düzenlemelerine uyum düzeyi gibi faktörlere bağlı olarak farklılık gösterebilir. Eski teknolojilere sahip ve düşük verimlilikle çalışan santrallerin ömrü daha kısa olurken, rehabilite edilen veya daha verimli çalışan tesisler santral ömürlerini uzatabilir.

Yenilenebilir enerjiye geçiş süreci, termik santrallerin üretim hacmini ve faaliyet sürelerini kademeli olarak azaltacaktır. Ancak bu santraller, geçiş dönemi boyunca enerji arz güvenliğini sağlamak için destekleyici bir rol üstlenebilir. Uzun vadede, daha temiz enerji kaynaklarına yapılan yatırımların artmasıyla termik santrallerin önemi azalacak ve enerji sektöründeki yerleri yenilenebilir enerji ve enerji depolama teknolojileri tarafından doldurulacaktır.

Türkiye'deki termik santrallerin ekonomik ömürlerini tamamlamalarının ardından, bu tesislerin dönüşümü hem enerji arz

güvenliğinin sürdürülebilirliği hem de çevresel etkilerin azaltılması açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu süreçte, eski santrallerin tamamen kapatılması yerine, yenilenebilir enerji teknolojileri ve esnek enerji sistemleriyle uyumlu bir şekilde dönüştürülmesi daha iyi bir seçenek olacaktır. Örneğin, Almanya'nın Hamburg kentinde, eski bir kömür santralini doğal gaz santraline dönüştürüldüğü ve bölgesel ısınma sistemine entegre edildiği bir proje, Almanya'nın enerji dönüşümü (Energiewende) stratejisi kapsamında önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Bu dönüşümle, bölgedeki hanelerin ısınma ihtiyaçlarının daha çevreci bir şekilde karşılanması hedeflenmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle güneş ve rüzgâr, kesintili ve öngörülemez enerji üretim profillerine sahip olduğundan, termik santraller, bu kaynakların daha güvenilir hale gelmesi için esnek ve dengeli bir destek sağlamak üzere devreye girmektedir. Bu noktada, termik santraller, yenilenebilir enerji üretiminin yetersiz olduğu zamanlarda devreye girerek enerji arzının sürekliliğini sağlar, böylece sistemdeki dengesizlikleri giderir. Ayrıca, yenilenebilir enerji sistemlerine entegre edilen enerji depolama çözümleri ile termik santraller daha verimli bir şekilde kullanılabilir, depolama tesislerinden gelen enerji talebini karşılamak için daha hızlı ve esnek şekilde devreye alınabilirler. Hibrit enerji sistemleri de bu entegrasyon sürecinin bir parçasıdır; termik santraller, güneş ve rüzgâr enerjisi santralleri ile entegre olarak, bu kaynakların üretim fazlasını depolayarak ihtiyaç duyulduğunda kullanabilir.

Ülkemizin enerji ihtiyacının büyük bir kısmı ithalatla karşılanırken, dışa bağımlılığı azaltmak ve arz güvenliğini sağlamak adına yerli kaynaklardan daha fazla faydalanmak önemlidir. Termik santraller, özellikle fosil yakıtların kullanımı konusunda çevresel etkileri ve karbon salımı gibi sorunlar yaratmakla

birlikte, enerji arzının sürekliliğini sağlamak adına kritik bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artan payı, kesintili üretim özellikleri nedeniyle zaman zaman güvenlik riski oluşturmaktadır. Bu noktada, termik santrallerin, yenilenebilir kaynakların tamamlayıcısı olarak esnek ve hızlı devreye giren kaynaklar olarak kullanılması büyük önem taşımaktadır. Arz güvenliği açısından termik santrallerin yalnızca bir üretim kaynağı olarak değil, yenilenebilir enerji sistemlerini destekleyen ve tamamlayan bir yapıda değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Böylece, yerli kaynakların daha etkin kullanılmasına katkı sağlanırken, enerji güvenliğini destekleyen dengeli bir sistem oluşturulabilir.

2.2.2. Karbon Yakalama ve Depolama Teknolojilerinin Uygulanabilirliği

Karbon yakalama ve depolama teknolojilerinin önümüzdeki dönemde termik santraller kapsamında daha çok gündeme gelmesi katılımcılar tarafından beklenmektedir. Teknik olarak bakıldığında, bu teknolojiler son yıllarda önemli ilerlemeler kaydetmiş olsa da verimlilik kayıpları ve yüksek enerji tüketimi nedeniyle santrallerin genel performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Karbon yakalama ve depolama süreçleri, yakalanan karbonun güvenli bir şekilde taşınmasını ve depolanmasını gerektirmektedir. Ekonomik açıdan ise yüksek kurulum maliyetleri, operasyonel giderler ve karbon depolama süreçlerine ilişkin mevzuat eksiklikleri veya mevcut mevzuattaki belirsizlikler, bu teknolojilerin yaygın şekilde benimsenmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, karbon fiyatlarının düşük olduğu piyasalarda karbon yakalama ve depolama yatırımının geri dönüşü genellikle uzun vadede gerçekleşmekte, bu da finansman bulmayı zorlaştırmaktadır. Öte yandan, karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik artan baskılar ve yenilikçi finansman modelleri sayesinde bu teknolojilere olan ilgi giderek artmaktadır. Dolayısıyla, karbon yakalama ve

depolamanın uygulanabilirliği, bölgesel koşullar, enerji politikaları ve piyasa dinamiklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Türkiye, CCS konusunda ilerleme sağlanabilecek bazı özel alanlara sahiptir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından araştırmalarda tükenmiş petrol ve doğal gaz rezervleri, derin tuz oluşumları ve çıkarılamayan kömür damarları dahil olmak üzere potansiyel depolama alanları belirlenmiştir. Kuzey Anadolu, Doğu Anadolu ve Ege ve Akdeniz'deki aktif tektonik hareketler nedeniyle bu bölgelerde karbonun güvenli bir şekilde depolanması mümkün görünmemektedir. Bu nedenle tektonik açıdan daha güvenli olan Aksaray ve çevresindeki Tuz Gölü havzası gibi alanlar ilerleyen yıllar için önemli bir potansiyeli barındırmaktadır. 2018 yılında yapılan çalışmalara göre ayrıca Diyarbakır bulunan tükenmiş petrol rezervleri ile stratejik konumunu nedeniyle karbon depolama için en uygun alanlardan biri olarak öne çıkmaktadır¹¹⁴.

2.2.3. Karbon Ayak İzi Azaltma İçin Mevcut Teknolojilere Entegrasyon ve Düzenleyici Teşvikler

Termik santrallerin karbon ayak izini azaltmak için mevcut teknolojilere entegrasyon sağlama konusunda sektörün öncelikli ihtiyaçlarının, finansal kaynaklara ve danışmalıklarla yenilikçi çözümlere erişim olarak görülmektedir. Karbon yakalama, depolama ve enerji verimliliği artırıcı teknolojilerin uygulanması yüksek maliyetler gerektirdiğinden, devlet teşvikleri, uluslararası fonlar ve özel sektör yatırımları kritik bir rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, sektördeki altyapının modernize edilmesi ve karbon azaltımına yönelik teknolojilerin uygulanabilirliğini artıracak şekilde yeniden yapılandırılması, profesyonel danışmanlık hizmetleriyle desteklenmelidir.

Danışmanlık firmaları, teknoloji üreticileri ve santral işletmecileri arasında köprü görevi görerek, en uygun çözümlerin belirlenmesi ve uygulanmasında rehberlik sağlayabilir. Ayrıca, eğitim programlarının tasarlanması ve teknik kadroların gelişimi için danışmanlık hizmetleri, sektörün ihtiyaçlarına özel bilgi birikimi ve uzmanlık sunarak sürecin daha etkin ve hızlı ilerlemesine katkıda bulunabilir.

Karbon ayak izini azaltmaya yönelik düzenleyici çerçevelerin netleştirilmesi ve uzun vadeli bir enerji politikası oluşturulması, sektördeki yatırımcıların güvenini artıracaktır. Mevcut durumda uzun dönemli planlar belirlenmiş olsa da bu planların içinde çözümü net olmayan bazı çelişkiler bulunmaktadır. Örneğin 2035 yılı için 120 GW güneş ve rüzgâr kurulu gücüne ulaşma hedefi talep içerisinde çok yüksek bir yenilenebilir payına işaret ederken aynı planda 12 GW dolayında yeni kömür ve doğal gaz santrali yapılacağı da ifade edilmektedir. Bu iki hedefin aynı anda gerçekleşmesi çelişkili gözükmemektedir çünkü yenilenebilir üretimi düşünüldüğünde böyle bir durumda termik santral kullanım oranlarının %30 seviyelerinin altına gerilemesi gerekecektir. Böylesi bir durumda mevcut olan pek çok santralin dahi piyasada karlı bir şekilde çalışması zor hale gelecek ve yeni termik yatırımları anlamsız hale gelecektir. Yeni planlar hazırlanırken kömür ve doğal gaz gibi kaynakların piyasada oynayacağı rolün daha net olarak ifade edilmesi gerekmektedir.

Düzenleyiciler, sektörü teşvik etmek amacıyla çeşitli ekonomik ve teknolojik destekler sunabilir. Özellikle, santrallerin karbon ayak izini küçültme hedeflerine yönelik dönüşüm projelerine kolaylaştırıcı fonlar sağlayarak, bu süreçlerin hızlanmasını sağlayabilirler. Yenilikçi ve verimlilik artırıcı projelere anlamlı düzeyde teşvikler sunulması, santrallerin daha çevre

¹¹⁴ PWC. (2023). Karbon Azaltım Teknolojileri İyi Uygulama Örnekleri

Termik santrallerin karbon ayak izini azaltmak için mevcut teknolojilere entegrasyon sağlama konusunda sektörün öncelikli ihtiyaçlarının, finansal kaynaklara ve danışmalıklarla yenilikçi çözümlere erişim olarak görülmektedir. Karbon ayak izini azaltmaya yönelik düzenleyici çerçevelerin netleştirilmesi ve uzun vadeli bir enerji politikası oluşturulması, sektördeki yatırımcıların güvenini artıracaktır.

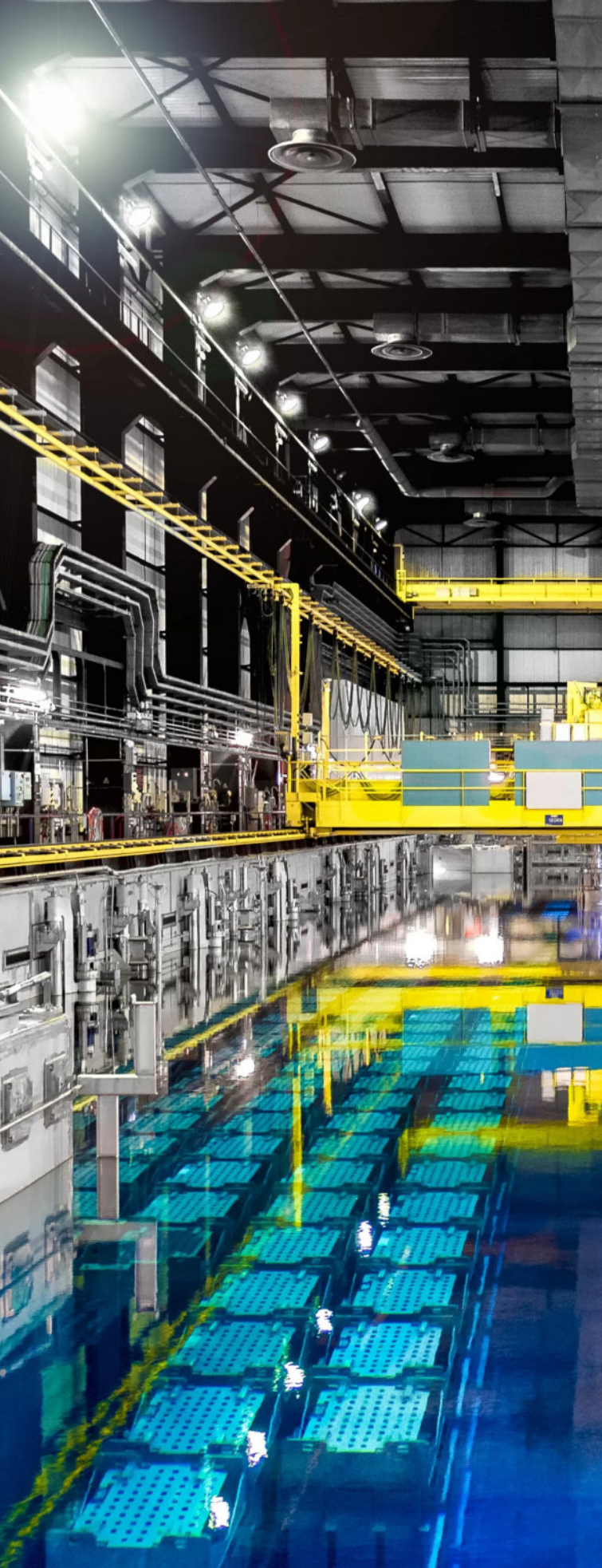
dostu hale gelmesini teşvik edebilir. Ayrıca, yerli teknoloji ve yerlilik oranlarının artırılmasına yönelik teşvikler, hem yerli sanayinin gelişmesine katkı sağlar hem de dışa bağımlılığı azaltır. Bu tür destekler, santralleri çevresel açıdan daha sürdürülebilir hale getirirken, aynı zamanda yerli üretimin güçlenmesi ve yenilikçi teknolojilerin kullanımı açısından da sektörü dönüştürür. Bununla birlikte, karbon salımını azaltmaya yönelik teknolojilerin entegrasyonu için vergi indirimleri, düşük faizli krediler veya uzun vadeli yatırım teşvikleri gibi finansal kolaylıklar da sunulabilir. Bu tür teşvikler, santrallerin karbon emisyonlarını düşürmesini özendirirken, sektördeki dönüşümü daha cazip ve uygulanabilir hale getirebilir.

Öncelikle, enerji verimliliğini artırmaya yönelik retrofit uygulamaları, santrallerin performansını iyileştirebilir. Bu doğrultuda, eski türbinlerin ve kazanların daha verimli modellerle değiştirilmesi veya iyileştirilmesi, ısı verimliliği artırarak daha düşük yakıt tüketimi ve daha yüksek enerji üretimi sağlanabilir. Bu projelerin yerli olarak geliştirilmesi durumunda hem yerli üreticiye hem de kullanıcıya teşvikler verilerek yerli üretim özendirilebilir. Ayrıca, emisyonları azaltmaya yönelik karbon yakalama ve depolama teknolojileri de retrofit uygulamaları ile entegre edilebilir. Santrallerin

mevcut altyapısının düşük karbonlu enerji üretim sistemleriyle entegrasyonu, ekonomik ömrün uzatılmasına katkı sağlayabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla hibrit sistemler oluşturulması, termik santrallerin verimliliğini artırarak daha çevre dostu bir enerji üretimi sağlanmasına yardımcı olabilir. Bu yenilikçi teknolojiler ve retrofit çözümleri, mevcut termik santrallerin ekonomik ömrünü uzatırken, aynı zamanda enerji güvenliğini ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyecektir.

2.2.4. Atıl Kapasitenin Yönetimi

Özellikle termik santrallerin bulunduğu bölgelerde yerel ihtiyaçlara duyarlı, kapsamlı bir planlama ve bölgesel odaklı tedbirler gerektiği katılımcılar tarafından vurgulanmıştır. Örneğin Soma termik santrali, yalnızca enerji üretiminde değil, aynı zamanda istihdam ve ısınma ihtiyaçlarının karşılanmasında da kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, bu bölgelerde istihdam kaybını önlemek için dönüşüm projeleri ve yeniden yapılandırma çalışmaları devreye alınmalıdır. Yerel halkın iş gücü piyasasında rekabet gücünü artırmak amacıyla eğitim ve mesleki gelişim programları düzenlenmeli, yenilenebilir enerji ve diğer sektörlerle geçiş için teşvikler sağlanmalıdır. Soma gibi bölgeler enerji bölgesi ilan edilerek, yeni yatırımların teşvik edilmesi ve enerji altyapısının modernizasyonu sağlanabilir. Bu süreçte, termik santrallerin bir kısmı enerji depolama tesislerine veya düşük karbonlu enerji üretim modellerine dönüştürülerek ekonomik yük hafifletilebilir. Ayrıca, santrallerin bulunduğu bölgelerdeki çalışanların, yenilenebilir enerji sektörü ve enerji teknolojileri alanında yeniden istihdam edilmesi için eğitim fırsatları sunulmalıdır. Çevresel açıdan ise, atıl kalan santrallerin geri dönüşüm ve rehabilitasyon süreçleriyle çevreye olası zararlar önlenabilir ve bu alanlar sürdürülebilir kullanımlar için yeniden değerlendirilebilir. Böylece hem ekonomik hem de çevresel etkiler dengelenerek, Soma gibi bölgelerde sosyal ve ekonomik kalkınma desteklenebilir.



2.3. NÜKLEER ENERJİ, MOBİL SANTRALLERİ VE ARZ GÜVENLİĞİ

2.3.1. Arz Güvenliği ve Yeni Santral İhtiyacı

Katılımcıların geneli nükleer enerjinin sisteme dahil edilmesinin arz güvenliği açısından önemli olacağını belirtmiştir. Elektrik tüketiminin artması arz güvenliğini kritik hale getirmektedir; yerinde üretim ve dağıtım altyapısı bu noktada önemlidir. Arz güvenliği açısından yüksek kurulu gücümüze rağmen yeterli bir seviyede olmadığımız vurgulanmıştır. Mikro şebeke, desantralizasyon ihtiyacımız bulunmaktadır. Baz yük noktasında nükleer rolü çok büyük olacaktır. Geçiş süreci sağlarken fosil yakıtlardan nükleer düşük karbonlu baz yük santrali görevini üstlenecektir. 4.800 MW'lık santral projelerinin etkisi hem enerji arzına hem de özel sektöre yansımaları açısından değerlendirilmelidir.

Türkiye'nin enerji arz güvenliğini sağlamak için ikinci ve üçüncü nükleer santral yatırımlarının elzem olduğu değerlendirilmektedir. Bu amaçlarla en az üç nükleer santrale ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Mikro şebeke ve desantralizasyon, enerji arz güvenliğini artırmada öncelikli alanlar olarak öne çıkmaktadır. Katılımcıların genel görüşüne göre Türkiye'nin enerji stratejileri, 2053 hedefleri doğrultusunda nükleer enerjinin katkısını da içermelidir.

2.3.2. Nükleer Enerji ve Sanayi Gelişimi

Katılımcılar Türkiye'de nükleer enerji alanında önemli bir pazar fırsatının mevcut olduğunu belirtmiştir. Bu, yerli sanayinin gelişimi için de büyük bir fırsattır. İyi bir örnek olarak İspanya

Katılımcıların geneli nükleer enerjinin sisteme dahil edilmesinin arz güvenliği açısından önemli olacağını belirtmiştir. Mikro şebeke ve desantralizasyon, enerji arz güvenliğini artırmada öncelikli alanlar olarak öne çıkmaktadır. Türkiye'nin enerji stratejileri, 2053 hedefleri doğrultusunda nükleer enerjinin katkısını da içermelidir. Katılımcılar, Türkiye'de nükleer enerji alanında önemli bir pazar fırsatının mevcut olduğunu belirtmiştir.

gösterilmiştir. İspanya'nın yabancı üretimle yapılmış 7 nükleer santrali bulunduğu ama adım adım kendi parçalarını üretecek kapasiteye sahip hale geldiği vurgulanmıştır.

Nükleer enerji teknolojilerinin yerleştirilmesi için sanayi-üniversite iş birliği artırılmalıdır. Nitelikli insan gücünün yetiştirilmesi ve meslek liselerinde eğitim programlarının yaygınlaştırılması şarttır. İstanbul Sanayi Odası (İSO) gibi kuruluşların eğitim destekleri, bu sürecin önemli bir parçasıdır. Tekniker gibi ara elemanlara da ciddi ihtiyaç bulunmaktadır. Sadece nükleer enerji santrali işletimi değil nükleer enerji ekosistemi oluşturulmalıdır.

Bu amaçla farklı zaman periyotları için net hedefler ortaya koymak gerekmektedir. Bu nedenle detaylı bir yerli nükleer enerji stratejisinin hazırlanması büyük önem arz edecektir. Hazırlanacak olan planlarda kısa vadeli hedefler, orta vadeli hedefler ve uzun vadeli hedefler arasında bir yarım yapılması gerekecektir. Önümüzdeki birkaç yılı kapsayabilecek kısa vadeli hedef ülkenin ilk nükleer enerji santralini tamamlanmasını

ve işletmeye geçmesini içermelidir. 10 yıl gibi bir zamanı kapsayacak orta vadeli hedefte ülkede ikinci nükleer santralin kurulması ve bu santralin mümkün olduğunca yerli ekipman kullanımıyla inşa edilmesi olmalıdır. Daha uzun vadeli hedef ise dünyada nükleer enerjinin barışçıl kullanımında söz sahibi olan ülkelerin arasına girmek ve başka ülkelere bu teknolojiyi ihraç etmeyi içermelidir¹¹⁵. Bu anlamda Güney Kore gibi ülkelerin kısa zaman içerisinde nükleer teknoloji ithalatından ihracatçı konumuna geçmesi Türkiye için önemli bir örnek teşkil edecektir.

2.3.3. Nükleer Santrallerin Proje Aşaması

Nükleer santrallerin yapım sürecinde projelerin zamanında bitirilebilmesi için yapılması gerekenler ve geçmiş deneyimler net olarak listelenmeli ve yeni projelerde bu hususlar dikkate alınmalıdır. Bu kapsamda proje yönetiminin doğru yapılabilmesi ile yatırım maliyetlerinin ve risklerin minimize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bütün bunların sağlanabilmesi için ise düzenleyici kuralların doğru olarak ortaya konmuş olması ve hukuki bürokratik engellerin aşılmış olması elzemdir. Burada önemli olan bir konu da atık yönetimi konusunda düzenleyici çerçevenin doğru olarak tasarlanmış olmasıdır.

2.3.4. Nükleer Santralin Güvenli Yönetimi

Nükleer santralin işletmeye girmesinden sonraki süreçte güvenli bir şekilde yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. Bunun için şebeke yük faktörünün yüksek olmasının sağlanması önemli olacaktır. Aynı zamanda santralin başlangıç arızalarının çözülebilmesi için tecrübeli elemanların varlığı, işletme ve bakım süreçlerinde dışarıya bağlı olmama ve ülke

¹¹⁵ Türkiye Bilimler Akademisi.(2019). Nükleer Enerji Raporu. <https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/T%C3%9CBA%20N%C3%BCKleer%20Enerji%20Raporu.pdf>

içinde santral yapımına katkıda bulunan alt yüklenici firmaların oluşturulmuş olması önemli konulardır¹¹⁶.

2.3.5. CERN'e Tam Üyelik Yoluyla Elde Edilebilecek Ek Bilgi Birikimi

Türkiye'nin nükleer enerji konusundaki bilgi birikimini ilerletmesi bakımından ülkenin uluslararası araştırma projelerine katılımı da kritik bir rol oynayacaktır. 1954 yılında kurulmuş olan Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi uzun yıllardır nükleer teknolojiler konusunda öncü çalışmalar yürüten uluslararası bir araştırma merkezidir. Bir süredir merkeze tam üyelik sürecinde olan Türkiye 2021 yılında tüm üyelikten vazgeçip kısmi üyeliğe geçmiştir¹¹⁷. Ülkenin merkeze tam üye olarak katılması durumunda elde edilebilecek bilgi birikimi ülkenin nükleer enerji konusunda teknik becerilerinin geliştirilebilmesi için önemli bir itici güç olacaktır.

2.3.6. Küçük Modüler Reaktörler

Küçük modüler reaktörlerin enerji arzına katkısı hem stratejik hem ticari açıdan önemlidir. KMR konusunun gelecekte Türkiye'nin de daha çok gündemine gireceği katılımcılar tarafından belirtilmiştir. Dünya genelinde 70'in üzerinde proje ve yatırım planı düzeyinde devam eden KMR projesi bulunduğu vurgulanmıştır. Buna rağmen işletmede olan yalnızca iki proje bulunmaktadır. 10-300 MW arasındaki santraller KMR sınıfına girerken, 10 MW altı reaktörler mini reaktör olarak adlandırılmaktadır. Türkiye, bu konuyu yakından takip etmektedir.

COP29'da da 1,5°C hedefi doğrultusunda nükleer enerjinin önemi vurgulanmış ve bu bağlamda KMR teknolojisi ön plana çıkmıştır.

Ancak, uluslararası finansman şu an KMR'ı desteklememektedir. Bu durum değiştiğinde yatırımların hızla artması beklenmektedir. Dünya Bankası ve Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD) gibi kurumlar, KMR'ların ticari projelere dönüşmesiyle projelere destek vereceklerini ifade etmiştir. Ayrıca, çıkarılması beklenen taksonomi mevzuatında nükleer enerji ve doğal gazın yer alması büyük önem taşımaktadır.

2.3.7. Uluslararası İş Birlikleri ve Ar-Ge Destekleri

Türkiye'nin yeni nükleer santral projelerinde yurt dışında gelişmiş pazara sahip ülkelerle iş birliği yapması ve uluslararası ortaklık modelleri gözden geçirilmelidir. Türkiye'nin birçok gelişmiş ülkelerden de ileri seviyede yerli desteği bulunmaktadır. Bu noktada mevcut Ar-Ge desteklerinin artırılması ve yerli teknoloji geliştirilmesi kritik öneme sahiptir.

2.3.8. Kamuoyu Bilinci ve İletişim Stratejileri

Nükleer enerjiye yönelik kamu bilincinin artırılması ve enerji alanında ortaöğretim seviyesinden itibaren eğitim müfredatına dahil edilmesi önemlidir. Nükleer enerjiye olan güveni artırmak için kamuoyuyla etkili bir iletişim stratejisi benimsenmelidir.

2.3.9. Mobil Enerji Kaynakları ve Jeneratör Üretimi

Türkiye, jeneratör üretimi konusunda güçlü bir ihracat kapasitesine sahiptir; ancak katma değerli ürünlere odaklanması gerekmektedir. Yakın coğrafyada düzenli bir jeneratör kullanımı mevcuttur. Yerli üretimin artırılması için teşvik mekanizmaları geliştirilmelidir.

¹¹⁶ Türkiye Bilimler Akademisi.(2019). Nükleer Enerji Raporu. <https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/T%C3%9CBA%20N%C3%BCkleer%20Enerji%20Raporu.pdf>

¹¹⁷ Türkiye Bilimler Akademisi.(2019). Nükleer Enerji Raporu. <https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/T%C3%9CBA%20N%C3%BCkleer%20Enerji%20Raporu.pdf>

2.4. HİDROJEN ENERJİSİ VE TÜRKİYE

2.4.1. Hidrojenin Enerji Dönüşümünde Yeri

Katılımcıların nispeten yeni bir teknoloji olan yeşil hidrojen konusundaki temel yorumu hidrojenin enerji dönüşümdeki rolünün Türkiye’de tam anlaşılmadığı ve bu teknoloji için temel konumlandırmanın doğru şekilde yapılması gerektiği üzerine olmuştur. Hidrojenin enerji sistemlerinde oynayacağı rol konusunda daha açık ve kararlı bir yaklaşım benimsememiz gerekmektedir. Bu konuda yenilenebilir enerji kullanımı ve enerji verimliliği enerji dönüşümünün ilk adımı, karbon yakalanması ve depolanması dönüşümün ikinci adımı, yeşil hidrojen kullanımı ise dönüşümün en son adımı ve tamamlayıcı unsuru olmalıdır. Hidrojen teknolojilerine geçişin sistemin tümünü tek başına değiştirecek bir unsur olmadığı ancak karbonsuzlaşması zor bazı spesifik sektörler için önemli roller oynayabileceği belirtilmiştir. Bu bağlamda, hidrojenin doğru ve sürdürülebilir bir şekilde konumlandırılması hayati bir öneme sahiptir.

Burada hidrojenin esnek ve depolanabilir bir kaynak olması önemli özellikler olarak öne çıkmaktadır. Güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, ancak ideal hava koşullarında en yüksek üretim kapasitesine ulaşabilir. Bu durum, enerji arz güvenliği ve şebeke yönetimi açısından zorluklar yaratmaktadır. Özellikle fazla üretim, çoğu zaman ceza almamak adına toprağa verilmektedir. Ancak burada hidrojen teknolojileri devreye girebilir. Yeşil hidrojen, yenilenebilir enerji üretimindeki fazla enerjinin depolanması için ideal bir çözüm sunmaktadır. Fazla enerji, hidrojen üretiminde kullanılarak depolanabilir ve daha sonra enerji ihtiyacı olan zamanlarda sisteme geri verilebilir. Bu sayede şebeke üzerindeki baskı azaltılır ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji daha verimli bir şekilde kullanılabilir. Depolanan hidrojen ise

farklı sektörde kullanılmak üzere tekrar sisteme dahil edilebilir.

2.4.2. Türkiye’nin Hidrojen Hedefleri ve Hidrojenin Gelecekteki Yeri

Hidrojen konusunda katılımcılar özellikle yeşil hidrojenin Türkiye ve Dünya için yeni bir faktör olduğunu ve gelecekte öneminin artacağını vurgulamıştır.

Geçmişte yakıt pili teknolojisine yapılan yatırımlar, Türkiye’nin hidrojen teknolojilerinde ilerlemesini olumsuz etkileyen bir tercih olmuştur. Özellikle elektrolizör üretiminde gerekli zaman ve teşvikler sağlanmadığı için dünya ülkelerine kıyasla geride kalınmıştır. Bu nedenle, gelecekte yatırım politikaları dikkatli bir şekilde planlanmalı ve doğru alanlara odaklanılmalıdır.

Türkiye’nin hidrojen hedefi, 2053 yılında 70 GW elektrolizör kapasitesine ulaşmaktır. Bu miktarın o yıl için tahmini enerji tüketiminin yaklaşık %10’una denk geldiği değerlendirilmektedir. Bu hedef, şu an için uzak görünse de büyük planlar ve hedefler belirlemek, stratejik gelişim açısından önemlidir. Öte yandan, 70 GW’lık bir elektrolizör kapasitesine ulaşılması durumunda dahi toplam enerji arzı içinde hidrojenin payının nispeten düşük kalması dikkat çekmektedir. Bunun yanında hedeflere ulaşmak için mevcut “Hidrojen Yol Haritası”, son bir yılda yaşanan teknolojik gelişmeler ışığında yeniden yazılmalıdır. Hidrojen sektöründe yaşanan hızlı gelişmeler bu güncellemelerin sık sık yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

2.4.3. Hidrojenin Kullanım Alanları

Hidrojenin kullanım alanları iyi tanımlanmalı ve bu alanların öncelikli hedefler belirlenerek sınırlandırılması gerekmektedir. Uygulanacak teşvik politikaları öncelik verilen alanlara göre belirlenmelidir.

Burada kısa vadeli kullanım alanları olarak halihazırda yeşil olmasa da hidrojen yakıtının kullanıldığı kimya sektörü ya da gübre üretimi gibi sektörlerden belli bir talep yaratılabileceği değerlendirilmektedir. Sanayinin geneli ve haneler için depolama konusundaki teknolojik yetersizlikler kullanımı kısıtlamaktadır. Özellikle ilk adımda daha kolay ve maliyet avantajı olan sektörlerle odaklanılmalıdır.

Öte yandan, hidrojen enerjisi, ulaşım ve gemicilik sektörleri açısından 2040'tan önce yaygın bir şekilde uygulanabilir olamayacaktır. Bu nedenle, teknolojik gelişmeler ve altyapı çalışmaları bu sektörlerle yönelik uzun vadeli planlara entegre edilmelidir.

Doğal gaz şebekesine karıştırılarak hanelerde ve elektrik üretiminde kullanım teknik olarak %20'lik bir karışıma kadar uygun olsa da maliyetler ve altyapı zorlukları nedeniyle bu kısa ve orta vade için çok gerçekçi görünmemektedir. Bu konuda teorik denemeler devam etse de bunlar pratiğe geçmiş durumda değildir.

2.4.4. Yerli Üretim ve Ar-Ge Çalışmaları

Sektör katılımcılarına göre elektrolizörlerde yerlilik konusu Türkiye'nin potansiyel olarak çözebileceği bir konu olarak görünmektedir. Türkiye'nin yerli elektrolizör üretimine başlayabilmesi için 10 yıllık bir zamana ihtiyacı olduğu değerlendirilmektedir. Bu süre zarfında bilgi birikimi geliştirilmeli ve üniversite-devlet-sanayi iş birlikleri ile çalışmalar desteklenmelidir.

Burada Türkiye'deki üretimin Çin gibi çok ucuz imalat potansiyeline sahip ülkelere karşı korunması önem kazanmaktadır. Örneğin, Avrupa Birliği, kendi yerli üreticilerini korumak amacıyla Çin'den ithal edilen ekipmanlara toplam talebin %25'i olacak şekilde kısıtlamalar uygulamaktadır. Türkiye için de benzer bir politikanın uygulanması söz konusu olabilir.

Hidrojen teknolojilerine geçişin sistemin tümünü tek başına değiştirecek bir unsur olmadığı ancak karbonsuzlaşması zor bazı spesifik sektörler için önemli roller oynayabileceği belirtilmiştir. Bu bağlamda, hidrojenin doğru ve sürdürülebilir bir şekilde konumlandırılması hayati bir öneme sahiptir. Hidrojenin esnek ve depolanabilir bir kaynak olması önemli özellikler olarak öne çıkmaktadır.

Buna karşın, Türkiye'nin %100 yerliliği hedeflemek yerine rekabet avantajını temel alarak belirli bileşenlerin üretimi için bir strateji belirlemesi gerekmektedir. Çin gibi ülkelerle tam bir rekabet ortamının oluşması oldukça zor görünmektedir. Çin, halihazırda ucuz maliyet avantajlarını kullanarak dünya elektrolizör üretiminin yaklaşık %50'sini karşılamaktadır. Türkiye'nin bu noktada rekabet avantajlarını iyi belirlemesi ve Ar-Ge'ye ayrılacak kaynakların bu avantajların en yüksek olduğu noktalara odaklanması gerekmektedir.

Yeşil hidrojen üretimi konusunda uluslararası örneklerle bakıldığında teknoloji transferi çok uzak bir ihtimal olarak görülmektedir. Bu nedenle Türkiye'nin bu yöndeki çabaları kendi kaynaklarıyla yapması gerekecektir. Fakat burada uluslararası iş birliklerinden de belli ölçüde yararlanarak TOGG modeline benzer şekilde yabancı ortakları da dahil eden bir oluşuma da gidilebilir.

2.4.5. Regülatif Çerçevenin Belirlenmesi ve Standardizasyon

Hidrojen teknolojileri ve tedarik zinciri ile ilgili faaliyetlerde regülatif belirsizliklerin giderilmesi gerekmektedir. Burada oluşacak olan hidrojen piyasasının denetleyecek ve düzenleyecek bir

kurumun ve kuralların net olmaması piyasanın gelişmesini engelleyen faktörler olarak öne çıkmaktadır. Bu kapsamda farklı kurumların ve bakanlıkların yetki alanlarının netleştirilmesi ve hidrojen standartlarının ve sertifikasyon süreçlerinin oluşturulması önem taşımaktadır. Hidrojen piyasası konusundaki yetkilendirme, lisanslama, denetim ve düzenleyici çerçevenin oluşturulmasından sorumlu olacak EPDK benzeri tek bir kurumun tasarlanıp faaliyet geçmesi bu konuda getirilen öneriler arasındadır.

Hidrojen ürünleri için gümrük tarife istatistik pozisyonu (GTİP) kodlarının bulunmaması ve bu nedenle dış ticarete sıkıntılar yaşanması bu düzenleyici regülasyon eksikliğine örnek olarak verilmiştir. Ayrıca böylesi bir kurumun eksikliği start-up firmalarının patent alma süreçlerini de etkilemektedir. Patent alımlardaki uzun bekleme süreleri, hidrojen alanındaki yenilikçi fikirlerin uygulamaya geçmesini yavaşlatmaktadır. Bu konuda hızlı ve etkin çözümler üretmek önemlidir.

2.4.6. Destekler

Katılımcıların geneli yeşil hidrojen gibi yeni ve yüksek maliyetli bir alanda piyasanın oluşması için en başta devlet teşviklerinin önemli bir rol oynayacağı konusunda hemfikirdir. Özellikle sanayici ve akademisyenler, özel yeşil hidrojen endüstri bölgelerinin kurulmasının önemine vurgu yapmaktadır. Bu bölgeler hem teknolojik altyapı hem de ekonomik katma değer sağlama açısından kritik önem taşıyacaktır. Bunun yanında yerli üretimde yakıt hücresi gibi konularda ölçüm ve test merkezlerinin kurulması üretilen ürünlerde belli bir standardın oturtulması için önemli olacaktır.

Beklenen dönüşüm, amonyak dönüşüm tesislerinin kurulmasını ve daha sürdürülebilir enerji iş modellerinin gelişmesini desteklemektedir. Amonyak dönüşüm tesisleri, hidrojenin daha verimli bir şekilde ve geniş

bir alanda kullanılmasını sağlamakta, yeşil hidrojenin sanayideki yerini pekiştirmektedir. Ancak, bu dönüşüm süreci yalnızca devlet desteği ile yeterli olmayacaktır. Entegrasyon sağlanabilmesi için özel sektör, sanayi ve yerel yönetimlerin de katkı sağlaması gerekmektedir.

İş modellerinin doğru şekilde geliştirilmesi ve yenilikçi çözümlerle desteklenmesi ve SKDM'den etkilenecek ihracat hacmimizin artmasıyla birlikte Türkiye'nin atacağı adımlar büyük önem taşımaktadır. Bu noktada, Türkiye'deki YEKA ihaleleri, hidrojen açısından önemli bir fırsat sunmakta, özellikle puant yük için alternatif depolamalı kaynaklar sağlayarak bu süreci güçlendirmektedir. Bu dönüşüm, yalnızca devletin desteğiyle değil, tüm paydaşların birlikte hareket etmesiyle başarılı olacaktır.

2.4.7. Hidrojen Sektöründeki Dünya Trendleri

Öte yandan özellikle Avrupa'da son yıllarda yeşil hidrojene olan ilginin çok hızlı bir şekilde arttığı fakat piyasanın gelişiminin bu ilgiyle aynı oranda olmadığı da belirtilmiştir. Avrupa'daki fazla elektrolizör üretim kapasitesi nedeniyle birçok firma halihazırda âtıl duruma gelmiştir.

Buna rağmen özellikle Almanya, hidrojen teknolojilerinde öncü bir ülke olarak bu alanda önemli yatırımlar yapmakta ve hidrojen ekonomisinin gelişmesini desteklemektedir. Bu yatırımlar, Almanya'nın enerji güvenliğini sağlama ve karbon salımını azaltma hedeflerinin bir parçasıdır. 2024 Şubat ayında, her ay 1 GW yenilenebilir enerji kapasitesinin eklenmesi hedefi belirlenmiş ve 2024 Mart ayında uygulanmaya başlanmıştır. Almanya'nın bu dönüşüm süreci, EBRD gibi uluslararası kredi kuruluşlarının desteğiyle hızlandırılmaktadır. Ayrıca, Almanya sanayide yeşil hidrojen tüketicilerine kamusal destek sağlayarak bu alandaki dönüşümü teşvik etmektedir. Katılımcılar Avrupa genelinde

yaşanan politik değişimlerin bu uzun vadeli politikalar üzerinde çok büyük etkiye sahip olmasını beklemediklerini belirtmişlerdir.

2.4.8. Jeolojik Hidrojen

Jeolojik hidrojen doğal süreçlerle oluşmuş olan ve doğada hazır bulunan hidrojeni ifade etmektedir. Bu enerji kaynağı dünyadaki farklı ülkeler için kayda değer bir potansiyele işaret edebilir. Dünya'da ve Türkiye'de bu konudaki çalışmalar henüz yeterli düzeyde

yürütülmemiştir ve dünyadaki bilim insanlarının konuya yaklaşımı değişkenlik göstermektedir. Burada temel sorun jeolojik hidrojenin genelde çıkartılması zor ve maliyetleri alanlarda bulunması olarak ifade edilebilir. Öte yandan jeolojik hidrojenin stratejik önemi ve dünyadaki ilgi giderek artmaktadır ve bu konu Türkiye'nin hidrojen stratejisinde de yer bulmalıdır. Burada en başta ülkedeki jeolojik hidrojen potansiyelini ortaya koyacak çalışmaların yapılarak piyasaya öncülük edilmesi önemli olacaktır.

2.5. ÖZET ÖNERİLER

2.5.1. Yenilenebilir Enerji Yatırım Süreçlerinin Hızlandırılması

Türkiye'deki yenilenebilir enerji projelerindeki süreçlerin uzunluğu temel bir problem olarak ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda mevzuat engellerinin çözüme kavuşmasının yatırım süreçlerini hızlandırabileceği ve enerji dönüşümünde önemli ilerlemeler kaydedileceği vurgulanmıştır. Yasal süreçlerin yeniden düzenlenmesi gerektiği ve bürokrasinin hızlandırılması gerektiği vurgulanmıştır. Burada izin süreçlerinden sorumlu olacak ve çok farklı kurumdan görüş alınmasını engelleyebilecek bir izin kurumunun oluşturulması ya da süper izinler gibi seçeneklerin kullanılması sorunun çözümüne katkı sağlayabilir.

2.5.2. Yenilenebilir Enerjide Yerlilik Politikaları

Yenilenebilir enerjide yerliliğin artırılması üzerinde durulan diğer bir konu olmuştur. Devlet düzeyinde stratejik kararlarla yerli sanayiye destekleyecek pazarların oluşturulması ve hammaddeyi yerel kaynaklardan teminini sağlayacak politikaların geliştirilmesi gerekmektedir. Türkiye'de teknolojik olarak farklı bir güneş paneli tipi üretiminin

bulunmamakta olmaması ve inverter ve tracker gibi kritik alanlarda üretim yapılmaması eksiklikler olarak göze çarpmaktadır. Bu alanlarda iyileştirme için bir sanayi politikası inşa edilmelidir.

YEKA uygulamaları kapsamında yerlilikle ilgili şartların biraz daha katı bir şekilde ilerlemesi de gerekli görülmüştür. Ek olarak, YEKA modeli kapsamında, proje geliştiricilerin yerli ürün kullanım zorunlulukları üzerinde yerlilik oranını yakalamaları durumunda ek teşvik almasının hem sanayici hem de elektrik üreticisi açısından olumlu etki yapacağı vurgulanmıştır.

Batarya teknolojilerinin geliştirilmesi için, devletin de içinde yer aldığı Ar-Ge komisyonlarının oluşturulması önerilmiştir. Kullanılmış bataryaların ise şebekede yeniden değerlendirilmesi için bir çerçeve sağlanmalıdır. Depolama teknolojilerinde hammadde kaynaklarına erişim yetersizliği önemli bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Bu sorunun aşılabilmesi için madencilik sektörüyle iş birliği yapılarak lityum gibi kritik hammaddelerin tedarikine yönelik adımlar atılmalıdır.

Sonuç olarak, Türkiye'nin enerji yatırımları katma değeri yüksek sektörlerle yönlendirilmeli ve

ithalat bağımlılığını artıracabilecek yatırımlardan kaçınılmalıdır. Bunun sağlanabilmesi için kritik yenilenebilir enerji sektörlerinde yerliliğin artırılması elzem görülmektedir.

2.5.3. Yenilenebilir Enerjide Üniversite-Sanayi İş Birliğinin Artırılması

Üniversite-Sanayi iş birliğinin istenen ve çeşitli ülkelerde sağlanan düzeyde olmaması katılımcıların üzerinde durduğu engellerden biri olmuştur. Üniversitelerde geliştirilen yenilikçi fikirlerin ticarileştirilememesi, Türkiye'nin rekabet gücünü olumsuz etkilemektedir. Bu kapsamda sanayi ve sektörün bağıni güçlendirecek çözümler bulunmalı ve bu yapılırken her alana dahil olmaya çalışmak yerine birkaç stratejik alan seçilmeli ve devlet teşviklerinde özellikle uzaktan ölçüm sistemleri gibi katma değeri yüksek alanlara öncelik verilmelidir.

2.5.4. Termik Santrallerinin Yeni Enerji Sistemindeki Rolü

Yenilenebilir enerji santrallerinin üretimdeki payının büyük oranlarda artmasıyla birlikte termik santrallerin elektrik sisteminde oynayacağı rolün önemli oranda değişecek olması katılımcıların üzerinde mutabık kaldığı bir durumdur. Bu artış ve karbon fiyatının uygulanacak olması özellikle kömür kaynaklı üretimi oldukça olumsuz etkileyecektir. Bu nedenle 2053 net sıfır karbon hedefine ulaşmak için, kömür potansiyeli kontrollü ve planlı bir şekilde kullanılarak rezervlerin tüketilmesi sağlanmalıdır. Daha esnek yapıya sahip gaz santrallerine ise ihtiyacın devam edeceği vurgulanmıştır. Özellikle enerji dönüşümü sürecinde bu santrallerin arz güvenliğini destekleyici bir rol üstlenmesi beklenmektedir. Bunun sağlanmasında kapasite piyasası gibi yapılardan yararlanılabilir.

2.5.5. Âtıl Termik Kapasitenin Yönetimi

Enerji dönüşümü ile birlikte önemli bir termik kurulu gücü en azından yılın pek çok ayında âtıl bir durumda olacaktır. Halihazırda şebekeye bağlı bulunan bu yatırımların başka şekillerde değerlendirilmesi en verimli çözüm olacaktır. Bu noktada ilgili bölgelerin enerji bölgesi ilan edilerek buralarda bölgesine göre rüzgâr, güneş, batarya ve hidrojen yatırımlarının planlanması hem bu bölgeler açısından hem de enerji sisteminin geneli açısından olumlu etkilere sahip olacaktır. Burada kömürden çıkış durumunda yerel halkın istihdam durumunu ve yerel ekonomiyi de göz önüne alarak çözümler bulunması gerekecektir.

2.5.6. CCS Teknolojileri

2053 net sıfır emisyon hedefine giden yolda termik enerji üretiminden yüzde yüz çıkılması çok zor görünmektedir. Termik üretimin bir miktar da olsa devam ettiği bir durumda net sıfır hedeflerine ulaşılabilmesi için buralardan kaynaklanacak emisyonların CCS teknolojileri yoluyla bertaraf edilmesi gerekecektir. Bu bağlamda Türkiye'nin orta ve uzun vade için CCS potansiyelinin incelenmesi ve en maliyet etkin seçeneklerin ortaya konması gerekmektedir.

2.5.7. Nükleer Enerjide Yerliliğin Geliştirilmesi

Nükleer enerjinin elektrik üretim karışımına dahil edilmesinden sonraki orta ve uzun vadeli ana amaç nükleer teknolojilerde yerliliğin artırılması olmalıdır. Bu kapsamda yeni yapılacak nükleer enerji anlaşmalarında teknoloji transferinin dahil edilmesi çok önemlidir. Uzun vadede hedef nükleer enerji ihraç eden bir ülke haline gelmek olmalıdır. Bu amaçla hedefler kısa, orta ve uzun vade olacak şekilde bölünmeli ve somutlaştırılmalıdır. Nükleer enerji için uzun vadeli detaylı bir stratejinin açıklanması bu konuda önemli bir adım olacaktır.

2.5.8. Küçük Modüler Nükleer Reaktörler

Küçük modüler reaktörlerin Türkiye için önemli bir enerji kaynağı olacağı katılımcılar tarafından üzerinde durulan bir konudur. Bu konuda dünyadaki gelişmelerin takip edilmesi önemlidir. Ticari projelerin oluşmasının ardından Türkiye bu taraftaki gelişmeleri kaçırmamalı ve kendi projelerini ilerleterek yeni oluşacak bu piyasada kendine bir yer açmalıdır.

2.5.9. Yeşil Hidrojenin Enerji Dönüşümündeki Yerin ve Kullanım Alanlarının Doğru Konumlandırılması

Yenilenebilir enerji kullanımı ve enerji verimliliği enerji dönüşümünün ilk adımı, karbon yakalanması ve depolanması dönüşümün ikinci adımı, yeşil hidrojen kullanımı ise dönüşümün en son adımı ve tamamlayıcı unsuru olarak görülmelidir. Hidrojen teknolojilerine geçişin sistemin tümünü tek başına değiştirecek bir unsur olmadığı ancak karbonsuzlaşması zor bazı spesifik sektörler için önemli roller oynayabileceği belirtilmiştir. "Hidrojen Yol Haritası", son bir yılda yaşanan teknolojik gelişmeler ışığında yeniden yazılmalıdır. Hidrojen sektöründe yaşanan hızlı gelişmeler bu güncellemelerin sık sık yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Hidrojenin kullanım alanları iyi tanımlanmalı ve bu alanların öncelikli hedefler belirlenerek sınırlandırılması gerekmektedir. Uygulanacak teşvik politikaları öncelik verilen alanlara göre belirlenmelidir.

Kısa vadeli kullanım alanları olarak halihazırda yeşil olmasa da hidrojen yakıtının kullanıldığı kimya sektörü ya da gübre üretimi gibi sektörler görünmektedir. Ulaşım ve gemicilik sektörleri açısından ise 2040'tan önce yaygın bir şekilde hidrojen kullanımı zor görünmektedir. Doğal gaz şebekesine karıştırılarak hanelerde ve elektrik üretiminde kullanım ise maliyetler ve altyapı

zorlukları nedeniyle kısa ve orta vade için çok gerçekçi görünmemektedir.

2.5.10. Yerli Elektrolizör Üretim Çalışmaları

Elektrolizörlerde yerlilik konusu Türkiye'nin potansiyel olarak çözebileceği bir konu olarak görünmektedir. Türkiye'nin yerli elektrolizör üretimine başlayabilmesi için 10 yıllık bir zamana ihtiyacı olduğu değerlendirilmektedir.

Türkiye'deki üretimin Çin gibi çok ucuz imalat potansiyeline sahip ülkelere karşı korunması önem kazanmaktadır. Örneğin, Avrupa Birliği, kendi yerli üreticilerini korumak amacıyla Çin'den ithal edilen ekipmanlara toplam talebin %25'i olacak şekilde kısıtlamalar uygulamaktadır. Türkiye için de benzer bir politikanın uygulanması söz konusu olabilir.

Buna karşın, Türkiye'nin %100 yerliliği hedeflemek yerine rekabet avantajını temel alarak belirli bileşenlerin üretimi için bir strateji belirlemesi gerekmektedir. Çin gibi ülkelerle tam bir rekabet ortamının oluşması oldukça zor görünmektedir. Türkiye'nin bu noktada rekabet avantajlarını iyi belirlemesi ve Ar-Ge'ye ayrılacak kaynakların bu avantajların en yüksek olduğu noktalara odaklanması gerekmektedir.

2.5.11. Yeşil Hidrojen Konusunda Regülatif Çerçevenin Belirlenmesi ve Standardizasyon

Hidrojen piyasası ile ilgili faaliyetlerde regülatif belirsizliklerin giderilmesi gerekmektedir. Burada oluşacak olan hidrojen piyasasının denetleyecek ve düzenleyecek bir kurumun ve kuralların net olmaması piyasanın gelişmesini engelleyen faktörler olarak öne çıkmaktadır. Bu kapsamda farklı kurumların ve bakanlıkların yetki alanlarının netleştirilmesi ve hidrojen standartlarının ve sertifikasyon süreçlerinin oluşturulması önem taşımaktadır.

- AFAD. (t.y.). Türkiye Afet Müdahale Planı. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-afet-mudahale-planı>
- Amerika Birleşik Devletleri Enerji Departmanı.(2024). DOE Hydrogen Program Record. <https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/24001-electrolyzer-installations-united-states.pdf>
- Amerika Birleşik Devletleri. (2023). U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap. https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/us-national-clean-hydrogen-strategy-roadmap.pdf?sfvrsn=c425b44f_5
- ASPİLSAN. (2021). Hakkımızda - ASPİLSAN. <https://www.aspilsan.com/kurumsal/hakkimizda/>
- Avcı, S. (2012). TÜRKİYE’DE TERMİK SANTRALLER VE ÇEVRESEL ETKİLERİ. Journal of Geography(13)
- Avrupa Komisyonu. (2023). Hydropower and pumped hydropower storage in the European Union. https://setis.ec.europa.eu/hydropower-and-pumped-hydropower-storage-european-union-o_en
- Avrupa Komisyonu.(t.y). REPowerEU. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en
- Beyond Fossil Fuels. (2024). Europe’s coal exit. <https://beyondfossilfuels.org/europes-coal-exit/>
- Beyond Fossil Fuels. (2024). The UK Exits Coal Power, Ushering in Era of Renewables. <https://beyondfossilfuels.org/2024/09/29/the-uk-exits-coal-power-ushering-in-era-of-renewables/>
- Blackridge Research.(2024). Top 15 Hydrogen Electrolyzer Manufacturers in the World. <https://www.blackridgeresearch.com/blog/list-of-global-top-hydrogen-electrolyzer-manufacturers-companies-makers-suppliers-in-the-world>
- Bloomberg HT. (2023). Bakan Bayraktar: 3. nükleer santral için Çin ile anlaşmaya yakınız. <https://www.bloomberght.com/bakan-bayraktar-3-nukleer-santral-icin-cin-ile-anlasmaya-yakiniz-2338396>
- Bloomberg HT. (2024). Bayraktar: Sinop Nükleer Santrali için Rosatom istekli ve önde. <https://www.bloomberght.com/bayraktar-sinop-nukleer-santrali-icin-rosatom-istekli-ve-onde-2356570>
- BP. (2023). BP Energy Outlook 2023 edition. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2023.pdf>
- Bulucu, M., Doğru, S. (2017). Nükleer Enerji ve Türkiye. <https://thinktech.stm.com.tr/tr/nukleer-enerji-ve-turkiye>
- Dünya Bankası. (2024). <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>
- Dünya Gazetesi (2021), “Pompaj depolamalı HES’ler yolda” <https://www.dunya.com/sektorler/enerji/pompaj-depolamali-hesler-yolda-haberi-644459>
- Dünya Nükleer Enerji Birliği. (2024). Small Nuclear Power Reactors. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors>
- Dünya Nükleer Enerji Birliği. (2025). Nuclear Power in the World Today. <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today>
- Ekonomi Gazetesi. (2024). Kibar Holding, alüminyumda ABD ve Avrupa’da iki dev yatırıma imza atacak. <https://www.ekonomigazetesi.com/sirket-haberleri/kibar-holding-aluminyumda-abd-ve-avrupada-iki-dev-yatirim-imza-atacak-34130/>
- Ekonomim. (2024). Akkuyu NGS’ye personel yetiştirilmesi amaçlı öğrenci alımı yapılacak. <https://www.ekonomim.com/sirketler/akkuyu-ngsye-personel-yetistirilmesi-amacli-ogrenci-alimi-yapilacak-haberi-725560>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2016). YEKA Modeli ve Uygulamaları- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-yeka-modeli>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2019). Rüzgâr enerjisine dayalı yenilenebilir enerji kaynak alanları ve bağlantı kapasitelerinin tahsisine ilişkin şartname (YEKA RES-2 ŞARTNAMESİ).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021). YEKA GES 5 Yarışma İlanı. <https://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=192>

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021). YEKA GES 5 Yarışma İlanı. <https://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=30484>

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Güneş enerjisine dayalı yenilenebilir enerji kaynak alanları ve bağlantı kapasitelerinin tahsisine ilişkin şartname (YEKA GES-1 ŞARTNAMESİ).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Güneş enerjisine dayalı yenilenebilir enerji kaynak alanları ve bağlantı kapasitelerinin tahsisine ilişkin şartname (YEKA GES-3 ŞARTNAMESİ).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Türkiye Ulusal Enerji Planı. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). Bakan Bayraktar, UAEA 67. Genel Kurulu'na video mesaj gönderdi. <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21186>

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Kurumsal_Politikalar/HSP/ETKB_Hidrojen_Stratejik_Plan2023.pdf

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Kurumsal_Politikalar/HSP/ETKB_Hidrojen_Stratejik_Plan2023.pdf

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Enerji Denge Tablosu 2023.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2024-2028 Stratejik Planı yayımlandı. <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21398>

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Türkiye “Nükleer Enerjiyi Üç Katına Çıkarma Deklarasyonu”nu imzaladı. <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21400>

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Türkiye Nükleer Enerjiyi Üç Katına Çıkarma Deklarasyonunu imzaladı. <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21400>

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Yenilenebilir Enerjide 2035 Yol Haritası. enerji.gov.tr/Media/Dizin/BHIM/tr/Duyurular/Yenilenebilir%20Enerjide%202035%20Yol%20Haritas%C4%B1%20Lansman%20Sunumu_202410221014.pdf

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024a). 2024-2028 Stratejik Planı. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Kurumsal_Politikalar/ETKB_2024-2028_Stratejik_Planı.pdf

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024b). Güneş enerjisine dayalı yenilenebilir enerji kaynak alanları ve bağlantı kapasitelerinin tahsisine ilişkin şartname (YEKA GES-2024 ŞARTNAMESİ). https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/BHIM/tr/Duyurular/YEKA_GES-2024_%C5%9Eartname_202411041002.pdf

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Rüzgâr enerjisine dayalı yenilenebilir enerji kaynak alanları ve bağlantı kapasitelerinin tahsisine ilişkin şartname (YEKA RES-1 ŞARTNAMESİ).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Rüzgâr enerjisine dayalı yenilenebilir enerji kaynak alanları ve bağlantı kapasitelerinin tahsisine ilişkin şartname (YEKA RES-3 ŞARTNAMESİ).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.(2022). Türkiye'nin 3. nükleer santrali için Trakya'da yer tespit çalışmaları başladı. <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21058>

EPDK Önlisans Listesi.(2024). <https://lisans.epdk.gov.tr/epvys-web/faces/pages/lisans/elektrikUretimOnLisans/elektrikUretimOnLisansOzetSorgula.xhtml>

Farasis & TOGG (2022). Togg ve Farasis Energy ortaklığında kurulan Siro, ilk batarya prototipini üretti. <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/togg-ve-farasis-energy-ortakliginda-kurulan-siro-ilk-batarya-prototipini-uretti/2656427>

- Global Energy Monitor. (2024). Boom and Bust Coal 2024. Globalenergymonitor.org. <https://globalenergymonitor.org/report/boom-and-bust-coal-2024/>
- Götz, M., Lefebvre, J., Mörs, F., McDaniel Koch, A., Graf, F., Bajohr, S., ... Kolb, T. (2016). Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review. Renewable Energy, 85, 1371–1390. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.066>
- Green Hydrogen Organisation.(t.y.).India. <https://gh2.org/countries/india#:~:text=Capacity%20and%20price,by%202030%20of%20electrolysis%20capacity.>
- GÜNDER (2023). Türkiye Güneş Enerjisi Sektör Raporu
- Hydrogen Insights.(2024). <https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-2024/>
- Independent Türkçe. (2021). Türkiye CERN’de tam üyelikten çekildi, Güney Kıbrıs’a tam üyelik ve veto yolu açıldı. <https://www.indyturk.com/node/412746/bi%CC%87li%CC%87m/t%C3%BCrkiye-cernde-tam-%C3%BCyelikten-%C3%A7ekildi-g%C3%BCney-k%C4%B1br%C4%B1sa-tam-%C3%BCyelik-ve-veto-yolu>
- Karadeniz Holding. (t.y.). Grup Şirketleri. <https://www.karadenizholding.com/grup-sirketleri-powership>
- Kaya, F., Göral, E. (2016). Türkiye’nin Nükleer Enerji Politikası. Akademik Bakış Dergisi. 57. 1694-528X. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/383474>
- Kaya. N. E. (2019). Elektrikte 175 megavatlık mobil santral atağı. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/elektrikte-175-megavatlik-mobil-santral-atagi-1518135>
- Koç Holding. (2023). Koç Holding | Koç Holding, Ford Motor Company ve LG Energy Solution Batarya Hücresi Üretimi Tesisi Yatırımına İlişkin Bağlayıcı Olmayan Niyet Mektubu İmzaladı. <https://www.koc.com.tr/medya-merkezi/haberler/2023/koc-holding-batarya-hucresi-yatirimi>
- Kömürder. (2024). Enerjideki Kömürün Yeri Ve Yerli Kömüre Dayalı Termik Santral Kurulması Projesi Süreç Ve Model Önerisi. www.komurder.org/uploads/Haber-Galerisi/2024/euas-ve-komurder-isbirligi/euas_ve_komurder_isbirligi.pdf
- Küçük. G. (2024). TEMSAN, doğal afet ve acil durumlar için mobil güneş enerji santrali geliştirdi. <https://www.aa.com.tr/tr/enerjiterminali/yenilenebilir/temsan-dogal-afet-ve-acil-durumlar-icin-mobil-gunes-enerji-santrali-gelistirdi/42365>
- Our Power. (2024). Renewable Energy’s Role in Disaster Relief Efforts. <https://our-power.co.uk/renewable-energys-role-in-disaster-relief-efforts/>
- Plus Global Danışmanlık. (2024). Güneş Enerjisi Teşvikleri ve GES Yatırım Teşvik Belgesi. <https://www.plusglobal.com.tr/gunes-enerjisi-ges-yatirim-tesvik-belgesi>
- POMEGA. (2023). <https://tr.pomega.com/tr/hakkimizda>
- PWC. (2023). Karbon Azaltım Teknolojileri İyi Uygulama Örnekleri
- Resmi Gazete, 2016. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/10/20161009-1.htm>
- Resmî Gazete, 2019. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190510-10.pdf>
- Resmî Gazete, 2020. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/07/20200701-13.pdf>
- Resmi Gazete, 2021. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/01/20210130-9.pdf>
- Resmî Gazete, 2021. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/01/20210130-9.pdf>
- Resmî Gazete, 2022. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/11/20221119-4.htm>
- Resmi Gazete, 2023. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/05/20230501-7.pdf>
- Resmî Gazete, 2023. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/05/20230501-7.pdf>

Resmî Gazete, 2023. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/04/20230420-27.pdf>

Resmî Gazete. (2021). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/05/20210509-3.htm>

Rota Borsa. (2025). Yeo Teknoloji (YEOTK) yeni yatırımı açıkladı - Rota Borsa. <https://rotaborsa.com/yeo-teknoloji-yeotk-yeni-yatirimi-acikladi-5/>

Sabancı Üniversitesi IİCEC.(2023). Türkiye Yeşil Hidrojen Geleceği 2023. https://iicec.sabanciuniv.edu/sites/iicec.sabanciuniv.edu/files/inline-files/IİCEC_T%C3%BCrkiye%20Ye%C5%9Fil%20Hidrojen%20Gelece%C4%9Fi.pdf

SEFİA. (2023). Deprem Acil Müdahale, Toparlanma ve Yeniden İnşa Sürecinde Güneş Enerjisinin Rolü. <https://sefia.org/wp-content/uploads/2024/08/deprem-acil-mudahale-ve-toparlanma-yeniden-insa-surecinde-gunes-enerjisinin-rolu.pdf>

Shura Enerji Dönüşüm Merkezi. (2021). Türkiye'nin Ulusal Hidrojen Stratejisi için Öncelik Alanları. <https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2021/02/SHURA-2021-02-Turkiyenin-Ulusal-Hidrojen-Stratejisi-icin-Oncelik-Alanlari.pdf>

Shura Enerji Dönüşüm Merkezi.(2023). Doğal Afetler Karşısında Elektrik Sisteminin Güçlendirilmesi. <https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2023/03/SHURA-2023-04-Dogal-Afetler-ve-Enerji-Guvenligi.pdf>

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi. (2022). Türkiye elektrik sisteminde esneklik uygulamalarına yönelik politika seçenekleri. <https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2022/12/Shura-Aralik-2022-Turkiye-elektirik.pdf>

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi. (2023). Net Sıfır 2053: Enerji Sektörü için Politikalar. <https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2023/12/SHURA-2023-11-Rapor-Enerji-Sektoru-icin-Politikalar.pdf>

Sözcü. (2012). Türkiye Cern'den vazgeçti. <https://www.sozcu.com.tr/turkiye-cernden-vazgecti-wp130031>

Stein, A. (2012). Türkiye'nin Nükleer Enerjiye Dair Hedefleri: Büyük Planlar, Ufak Adımlar. <https://edam.org.tr/wp-content/uploads/2012/09/T%C3%BCrkiye%E2%80%99nin-N%C3%BCKleer-Enerjiye-Dair-Hedefleri-B%C3%BCy%C3%BCK-Planlar-Ufak-Ad%C4%B1mlar.pdf>

Supracap (2024). <https://supracap.com.tr/>

Swati. J. (2023). Mobil Enerji Santrali Pazar Büyüklüğü, Payı, Büyüme ve Endüstri Analizi, Yakıt Türüne Göre (Dizel, Doğal Gaz, Yenilenebilir Enerji), Güç Derecesine Göre (1-10 MW, 11-20 MW, 20 MW Üzeri), Uygulamaya Göre ve Bölgesel Analiz, 2024-2031. <https://www.kingsresearch.com/tr/mobile-power-plant-market-304>

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (2022). Türkiye'nin Uzun Dönemli İklim Değişikliği Stratejisi ve Eylem Planı Bileşeni <https://iklim.gov.tr/turkiye-nin-uzun-donemli-iklim-degisikligi-stratejisi-ve-eylem-plani-bileseni-proje>

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (2023). Türkiye Cumhuriyeti Güncellenmiş Birinci Ulusal Katkı Beyanı. [https://www.iklim.gov.tr/db/turkece/haberler/files/T%C3%BCrkiye%20Cumhuriyeti%20G%C3%BCncellenmi%C5%9F%20Birinci%20Ulusal%20Katk%C4%B1%20Beyan%C4%B1\(1\).pdf](https://www.iklim.gov.tr/db/turkece/haberler/files/T%C3%BCrkiye%20Cumhuriyeti%20G%C3%BCncellenmi%C5%9F%20Birinci%20Ulusal%20Katk%C4%B1%20Beyan%C4%B1(1).pdf)

T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2018). 11.Kalkınma Planı (2019-2023). <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/EnerjiTeknolojilerindeYerliUretimCalismaGrubuRaporu.pdf>

T2 IC. (2019). Главная страница. <https://t2ic.com/tr/>

TEİAŞ YTBS. (2024) https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf

TEİAŞ. (2024). Elektrik Depolama Tesislerine Ait Usul Esas ve Teknik Kriterler Hakkında Duyuru.Teias.gov.tr <https://www.teias.gov.tr/duyurular/elektrik-depolama-tesislerine-ait-usul-esas-ve-teknik-kriterler-hakkinda-duyuru>

Tisheva, P.(2024). China's electrolyser manufacturing capacity may hit 50 GW by 2030 – IEA. <https://renewablesnow.com/news/chinas-electrolyser-manufacturing-capacity-may-hit-50-gw-by-2030-iea-873198/>

TÜİK. (2022). Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon->

Istatistikleri-1990-2022-53701

TÜREB. (2024). Anasayfa | Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği - TÜREB. <https://www.tureb.com.tr/>

Türkiye Bilimler Akademisi.(2019). Nükleer Enerji Raporu. <https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/T%C3%9CBA%20N%C3%BCkleer%20Enerji%20Raporu.pdf>

Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı İletişim Başkanlığı. (2024). Rosatom Türkiye ile Küçük Modül Reaktör Projelerini görüşüyor. https://www.iletisim.gov.tr/turkce/dis_basinda_turkiye/detay/rosatom-turkiye-ile-kucuk-modul-reaktor-projelerini-gorusuyor

Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2024). On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028). www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/On-Ikinci-Kalkinma-Plani_2024-2028_11122023.pdf

Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2024). 2025 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2024/11/2025-Yili-Cumhurbaskanligi-Yillik-Programi-05112024.pdf>

Türkiye Nükleer Enerji A.Ş. (2024). Bakan Bayraktar, Çinli CNOS ile Nükleer Enerji İş Birliğini Görüştü. <https://www.tunas.gov.tr/tr/haber-detay/bakan-bayraktar-cinli-cnos-ile-nukleer-enerji-is-birligini-gorustu>

Uluslararası Enerji Ajansı. (2022). Is the European Union on track to meet its REPowerEU goals? <https://www.iea.org/reports/is-the-european-union-on-track-to-meet-its-repowereu-goals>

Uluslararası Enerji Ajansı. (2024). World Energy Outlook 2024 – Analysis - <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>

Uluslararası Enerji Ajansı.(2024). World Energy Outlook 2024. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/fb481b31-df88-4f2c-a435-c8b075e992be/WorldEnergyOutlook2024.pdf>

Yetkin, M. (2019). Japonlarla Sinop nükleer santral projesi durdu: Erdoğan açıkladı. <https://yetkinreport.com/2019/06/27/japonlarla-sinop-nukleer-santral-projesi-durdu-erdogan-acikladi/>

Yılmaz, E. (2024). Jender ile Küresel Pazarda Türk Jeneratörleri. <https://www.jendertr.org/duyurular/jender-ile-kuresel-pazarda-turk-jeneratorleri>

Yin, I.(2022). China's first hydrogen plan focused on lowering costs, building capabilities. <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/news-research/latest-news/energy-transition/032922-chinas-first-hydrogen-plan-focused-on-lowering-costs-building-capabilities>

Yüksel, F. (2024). Nükleer enerji 2024'te küresel gündemdeki konumunu güçlendirdi. <https://www.aa.com.tr/tr/enerjiterminali/elektrik/nukleer-enerji-2024te-kuresel-gundemdeki-konumunu-guclendirdi/46530>

Zorlu Holding (2018). Zorlu Holding ve GSR Capital arasında dev anlaşma. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/zorlu-holding-ve-gsr-capital-arasinda-4-5-milyar-dolarlik-dev-anlasma/1073566>





İSTANBUL SANAYİ ODASI

İletişim Bilgileri

MERKEZ:

Meşrutiyet Cad. No:63, 34430 Beyoğlu/İstanbul

T: (0212) 252 29 00 (Pbx) **F:** (0212) 249 50 84 **www.iso.org.tr, iso@hs03.kep.tr**

YENİBOSNA TEMSİLCİLİĞİ: Çobançeşme Mah. Sanayi Cad. No:44 B Blok, Zemin Kat No:3
(Nish İstanbul) Bahçelievler/İstanbul

T: (0212) 603 65 58 **F:** (0212) 603 65 59 **yenibosna@iso.org.tr**

ÜMRANIYE TEMSİLCİLİĞİ:

Yukarı Dudullu İMES Sanayi Sitesi A Blok 107.Sk. No: 1/B Ümraniye/İstanbul

T: (0216) 420 51 74 **F:** (0216) 420 51 75 **umraniye@iso.org.tr**

TUZLA HİZMET BİRİMİ:

İstanbul Anadolu Yakası OSB İdari Binası Aydınli Mah. Gazi Bulvarı 5. Sok. No:2 Tuzla/İstanbul

T: (0216) 593 00 78 **F:** (0216) 593 00 79 **tuzla@iso.org.tr**

HADIMKÖY HİZMET BİRİMİ:

Alkent Mah. Mehmet Yeşilgöl Cad. Pelican Hill Residence Dükkan No: 145/F

Hadımköy, Büyükçekmece/İstanbul

T: (0212) 886 67 05 **F:** (0212) 886 67 07 **hadimkoy@iso.org.tr**

Sosyal Medya:

Linkedin: company/istanbulsanayiodasi/

Youtube: istanbulsanayiodasi

Instagram: istanbulsanayiodasi/

X: ist_sanayiodasi

Facebook: istanbulsanayiodasi



İSTANBUL SANAYİ ODASI

YASAL UYARI

İstanbul Sanayi Odası “Enerji Teknolojilerinde Dünyada ve Türkiye’de Görünüm ve Beklentiler Raporu” (Rapor) sadece bilgilendirme amacıyla hazırlanmış ve hazırlandığı dönemde doğru ve güvenilir olduğuna inanılan bilgi ve kaynaklar kullanılmıştır. Raporda yer alan içerikler herhangi bir beyan, garanti veya taahhüt olarak yorumlanamayacağı gibi bu içeriklerin eksiksiz ve değişmez olduğu da garanti edilmemektedir. İstanbul Sanayi Odası, yöneticileri, çalışanları ve raporun hazırlık sürecinde görev alan üçüncü şahıs ve kurumlar bu rapor ve içindeki bilgilerin kullanılması nedeniyle doğrudan veya dolaylı olarak oluşacak zararlarla ilgili hiçbir şekilde sorumlu tutulamaz.

Bu dokümanın her hakkı İstanbul Sanayi Odası’na aittir. İstanbul Sanayi Odası’nın yazılı izni alınmaksızın herhangi bir üçüncü kişi tarafından, herhangi bir amaçla, kısmen veya tamamen çoğaltılamaz, dağıtılamaz, satılamaz, görsel, sesli ya da yazılı platformlarda kullanılamaz veya yayımlanamaz.



İSTANBUL SANAYİ ODASI

ODAKULE (MERKEZ)

Meşrutiyet Cad. No:63, 34430 Beyoğlu/İSTANBUL

+90 212 252 29 00 (Pbx) | +90 212 249 50 84 | 90 212 293 43 98

www.iso.org.tr | info@iso.org.tr