



SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi Hakkında

European Climate Foundation (ECF), Agora Energiewende ve Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi (IPM) tarafından kurulan SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, yenilikçi bir enerji dönüşüm platformu olarak enerji sektörünün karbonsuzlaşmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda Türkiye'deki enerji sektörünün politik, teknolojik ve ekonomik yönleri üzerine yapılan tartışmalarda sürdürülebilir ve kabul görmüş bir ortak zemine olan ihtiyacını karşılamayı hedeflemektedir. SHURA gerçeklere dayalı analizler ve en güncel veriler ışığında, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji üzerinden düşük karbonlu bir enerji sistemine geçişi desteklemeyi odağına almaktadır. Farklı paydaşların bakış açılarını göz önünde bulundurarak bu geçişin ekonomik potansiyeli, teknik fizibilitesi ve ilgili politika araçlarına yönelik bir anlayışın oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.

Yazarlar: Hasan Aksoy, Sena Serhadlıoğlu (SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi), Kerim Gökşin Bavbek, Ali Barışcan Kaya, Elif Koyuncuoğlu Toma ve Meriç Tokyay (APlus Enerji)

Teşekkürler

Raporun hazırlanma sürecinde birebir görüşmelerde değerli görüşlerini paylaşan Merden Yeşil, Ümit Çetinkaya ve Bilgehan Tekşut (TEİAŞ), İbrahim Erden (TÜREB), Ateş Uğurel (SolarBaba), Doç. Dr. Muhsin Mazman (T Dinamik Enerji), Önder Akar (SmartPulse), Tamer Çalışır'a (Gama Enerji) teşekkürlerimizi sunarız. Volkan Yiğit ve Ozan Korkmaz (APlus Enerji) taslak metinleri değerlendirerek önerilerini paylaşmıştır. SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi Direktörü Alkım Bağ Güllü raporu inceleyerek geri bildirimde bulunmuştur. Sağlanmış olan tüm değerli inceleme, geri bildirim ve görüşler için teşekkür ederiz.

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, bu rapor için ECF tarafından sağlanan cömert finansmana müteşekkirdir.

Bu rapor, www.shura.org.tr sitesinden indirilebilir. Daha ayrıntılı bilgi almak veya geri bildirimde bulunmak için info@shura.org.tr adresinden SHURA ekibiyle temasa geçiniz.

Tasarım

Tasarımhane Tanıtım Ltd. Şti.

Telif Hakkı © 2022 Sabancı Üniversitesi

ISBN 978-625-6956-01-8

Sorumluluk Reddi

Bu rapor ve içeriği, çalışma kapsamında göz önünde bulundurulmuş kabuller ve 2021 yılsonu itibarıyla mevcut olan piyasa koşulları doğrultusunda hazırlanmıştır. Bu kabuller ve piyasa koşullarının değişime açık olması nedeniyle, rapor kapsamındaki gelecek dönem öngörülerinin, gerçekleşecek sonuçlarla aynı olacağı garanti edilemez. Bu raporun hazırlanmasına katkı yapan kurum ya da kişiler, raporda sunulan öngörülerin gerçekleşmemesi ya da farklı şekilde gerçekleşmesinden dolayı oluşabilecek ticari kazanç ya da kayıplardan sorumlu tutulamazlar.

**Türkiye elektrik sisteminde
esneklik uygulamalarına yönelik
politika seçenekleri**





Şekiller listesi	4
Tablolar listesi	4
Kısaltmalar listesi	5
Ana mesajlar	7
Yönetici özeti	9
1. Giriş	13
2. Yenilenebilir Enerji ve Esneklik Seçenekleri için Düzenleme ve Politikalara İlişkin Mevcut Görünüm	17
2.1. Türkiye Elektrik Piyasasına Genel Bakış	17
2.2. İklim Değişikliği Politikaları ve Olası Karbon Fiyatlama Uygulaması	19
2.3. Enerji Verimliliği Hedefleri	23
2.4. Yenilenebilir Enerji Politikaları ve Hedefleri	24
2.5. Mevcut Yenilenebilir Enerji Politika Çerçevesine Genel Bakış	25
2.6. Elektrik Sisteminde Esneklik Seçenekleri	27
2.6.1. Enerji Depolama	27
2.6.1.1. Batarya Enerji Depolama Sistemleri	28
2.6.1.2. Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santralleri	30
2.6.2. Enerjinin Form Değiştirmesini (Power to X) Sağlayan Teknolojiler	30
2.6.3. Talep Tarafı Katılımı	32
2.6.4. Elektrikli Araçların Akıllı Şarjı ve Şebeke Etkileşimleri	34
2.6.5. Dijitalleşme ve Akıllı Şebekeler	36
2.6.6. İletim Sistemi ve Enterkonneksiyonlar	36
3. Elektrik Sistemi Esneklik Uygulamalarının Karşısındaki Zorluklar	39
3.1. Mevcut Piyasa Koşulları	39
3.2. Elektrik Piyasasındaki Asgari ve Azami Fiyat Limitleri	40
3.3. Fosil Yakıtlara Sağlanan Teşvikler	43
3.4. Teknolojik Gelişimle İlgili Belirsizlikler ve Altyapı Çalışmaları	43
4. Esneklik Politikalarının Etkinleştirilmesi	45
4.1. Toptan Satış Piyasası Mimarisinde Yapılabilecek Değişiklikler	45
4.2. Enerji Depolama	46
4.3. Enerjinin Form Değiştirmesini (Power to X) Sağlayan Teknolojiler	51
4.4. Talep Tarafı Katılımı	53
4.5. Elektrikli Araçlar	56
4.6. Dijitalleşme ve Akıllı Şebekeler	59
4.7. İletim Şebekesi ve Enterkonneksiyonlar	61
5. Temel Çıkarımlar	63
Kaynakça	66

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 2000 Yılı Sonrasında Piyasada Gözlenen Temel Gelişmeler	17
Şekil 2. Kaynak Bazlı Kurulu Güç (2021 Yıl Sonu)	18
Şekil 3. Kaynak Bazlı Yıllık Elektrik Üretimi (1970-2021)	19
Şekil 4. Türkiye İklim Değişikliği Politikalarının Gelişimi	20
Şekil 5. Enerji Verimliliği Eylem Planı Kapsamında Belirtilen Enerji ve Mali Kaynak Tasarrufları	23
Şekil 6. Türkiye Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücünün Yıllar İçerisindeki Gelişimi	24
Şekil 7. Yenilenebilir Enerji Yatırım Seçenekleri	26
Şekil 8. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Gelişimi Özet Tablosu	27
Şekil 9. Türkiye'de Elektrikten Yeşil Hidrojen ve Sıvı/Gaz Sentetik Yakıt Üretimine İlişkin Temel Gelişmeler	31
Şekil 10. Türkiye'nin Komşu Ülkelerle olan Enterkonneksiyonları (TEİAŞ)	37
Şekil 11. 2020 Yılından itibaren Gün Öncesi Piyasası'nda Uygulanan Farklı Azami Limit Uygulamaları ve Her Ay için Limit Fiyatın Azami Limit Çıktığı Saat Sayısı	41
Şekil 12. 400 kV ve 154 kV İletim Hatları Yıllık Genişleme Miktarı (km)	44
Şekil 13. Karbon Fiyatlandırma Uygulamasının 2040 yılı Günlük Fiyat Profili Üzerindeki Etkisi	47
Şekil 14. Sanal İletim Hatları	49
Şekil 15. Elektrikli Araç Talebinin Elektrik Talebi Profiline Etkisi (RAP, 2021)	57

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Stratejik Plan 2019-2023 Altında Belirlenmiş Olan Yenilenebilir Enerji Hedefleri	25
Tablo 2. Piyasada Talep Tarafı Katılımının Mevcut Durumu	34
Tablo 3. Yıllık Net Transfer Kapasiteleri	38
Tablo 4. Esnekliğin Artırılması Konusundaki Temel Seçenekler ve Atılması Gereken Adımlar	45
Tablo 5. AB Ülkelerinin Strateji Belgelerinde Hidrojene Entegre Etmeyi Planladıkları Alanlar	52

KISALTMALAR LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
AI	Yapay Zeka (Artificial Intelligence)
ARES	Hızlandırılmış Yenilenebilir Enerji Senaryosu (Accelerated Renewable Energy Sources)
AUF	Azami Uzlaştırma Fiyatı
BAU	Mevcut Durum Senaryosu (Business As Usual)
BM	Birleşmiş Milletler
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
COP	BM İklim Değişikliği Çerçeve sözleşmesi Taraflar Konferansı (UNFCCC Conference of the Parties)
CPD	Kömür Azaltım Senaryosu (Coal Phase Down)
DGP	Dengeleme Güç Piyasası
DSO	Dağıtım Sistemi Operatörü (Distribution System Operator)
EDAŞ	Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
ENTSO-E	Avrupa Elektrik İletim Sistemi Operatörleri Ağı (European Network of Transmission System Operators for Electricity)
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPIAŞ	Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
ETS	Emisyon Ticaret Sistemi (Emissions Trading System)
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
EV	Elektrikli Araç (Electric Vehicle)
GAZBİR	Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği
GAZMER	GAZBİR İktisadi İşletmesi ve Teknik Merkezi
GES	Güneş Enerjisi Santrali
GİP	Gün İçi Piyasası
GÖP	Gün Öncesi Piyasası
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GTŞ	Görevli Tedarik Şirketi
ICHET	Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi (International Centre for Hydrogen Energy Technologies)
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
IICEC	Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi
IoT	Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
INDC	Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanı (Intended Nationally Determined Contribution)
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (International Renewable Energy Agency)
JTM	Adil Geçiş Mekanizması (Just Transition Mechanism)
ktoe	Bin ton eşdeğer petrol
kWh	Kilovat saat
MIT	Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology)
ML	Makine Öğrenmesi (Machine Learning)
MW	Megavat
MWh	Megavat saat
PFK	Primer Frekans Kontrolü
PMR	Karbon Piyasasına Hazırlık Ortaklığı (Partnership for Market Readiness)

PTF	Piyasa Takas Fiyatı
RES	Rüzgâr Enerjisi Santrali
SCADA	Merkezî Denetleme Kontrol ve Veri Toplama (Supervisory Control And Data Acquisition)
SFK	Sekonder Frekans Kontrolü
SKDM	Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması
TBMM	Türkiye Büyük Millet Meclisi
TEHAD	Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TETAŞ	Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi (mülga)
TL	Türk Lirası
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TOGG	Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
TSO	İletim Sistem İşletmecisi (Transmission System Operator)
TWh	Teravat saat
UNIDO	Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (United Nations Industrial Development Organization)
V2G	Araçtan Şebekeye (Vehicle to Grid)
VoLL	Kayıp Yük Sistem Değeri (Value of Lost Load)
VPP	Sanal Elektrik Santrali (Virtual Power Plant)
YEKA	Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı
YEK-G	Yenilenebilir Enerji Kaynak Garanti Sistemi
Yİ	Yap-İşlet
YİD	Yap-İşlet-Devret
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması
YTBS	Yük Tevzi Bilgi Sistemi

- Elektrik piyasasının sağlıklı ve maliyet etkin işlemesi, hem verimliliğinin hem de düşük maliyetle sistem esnekliğinin artmasına katkı sağlayacaktır. Piyasalarda asgari ve azami fiyat limitlerinin sistem maliyetlerini yansıtacak şekilde belirlenmesi, negatif fiyatların oluşmasına imkân tanınması ve azami fiyatın kayıp yük değerine göre (VoLL) belirlenmesi, kapasite mekanizmalarında temiz ve esnek kaynakların önceliklendirilmesi, Gün İçi ve Dengeleme Güç Piyasaları'nda kapı kapanış sürelerinin gerçek zamana yaklaştırılması ve uzlaştırma sürelerinin kısaltılması gibi piyasa mimarisinde yapılacak ufak iyileştirmeler, esneklik ve verimlilik açısından büyük faydalar sağlayabilir.
- Enerji depolama teknolojileri sistem esnekliği açısından kritik öneme sahiptir. Enerji strateji planı içerisinde depolama teknolojilerine yönelik kısa/orta/uzun dönemli hedeflerin belirlenmesi ve piyasa temelli destekler, yatırımların artmasını sağlayacaktır.
- Sistem esnekliğinin sağlanmasında talep tarafı katılımı, hem ilk yatırım maliyetlerinin nispeten düşük olmasıyla hem de yaratacağı etkiyle öne çıkmaktadır. Talep tarafı katılımından etkin olarak yararlanabilmek için başta akıllı sayaçlar olmak üzere gerekli altyapı yatırımlarının hızlanması gerekecektir. Elektrikli araçlar da dahil talep tarafının doğrudan ya da toplayıcılar aracılığıyla piyasalara katılımını sağlayan ve çok zamanlı tarife mekanizmalarıyla yüklerini kaydırmaya teşvik eden düzenleyici bir çerçevenin oluşturulması önerilir.
- İletim şebekesi altyapısının ve enterkonneksiyon kapasitesinin geliştirilmesi, sistem esnekliğini artıracaktır. Bu doğrultuda, komşu ülkelerle enterkonneksiyon kapasitelerinin artırılması için işbirliklerinin yapılması ve dengesizlik yönetimi de dâhil olmak üzere elektrik ticaretinin geliştirilmesini sağlayacak düzenlemelerin hayata geçirilmesi önemli olacaktır.



Tüm dünya ile birlikte Türkiye enerji sistemi de kritik bir eşiğe doğru yaklaşmaktadır. COVID-19 salgını ile gerileyen talep ve ardından gözlemlenen ekonomik toparlanma süreciyle birlikte son olarak Rusya-Ukrayna Savaşı'nın etkileriyle iyice belirginleşen enerji krizi, enerji dönüşümünün gerekliliğini de belirgin hale getirmiştir. Küresel ölçekte yaşanan enerji krizi, fosil yakıtların maliyetlerini hızlı şekilde artırmıştır. Herhangi bir yakıt maliyeti olmayan yenilenebilir enerji santrallerinin yatırım maliyetlerinde ise, bunun tam tersi olarak, düşüşlerin devam ettiği gözlemlenmektedir. Mevcut durumdan ötürü arz güvenliği sorunlarıyla karşı karşıya kalan pek çok ülkenin, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak yatırımların hızla artmasını sağlayacak ve bu sayede ülkelerinin enerji üretiminde dışa bağımlılıklarını azaltacak stratejilere yönelecekleri öngörülmektedir. Bu doğrultuda Türkiye'nin 2053 net sıfır emisyon hedefine ulaşabilmesi de yenilenebilir enerji kaynaklarından büyük ölçüde faydalanılması ile gerçekleşebilecektir.

Temiz enerji dönüşümü ve net sıfır emisyon hedeflerine ulaşılabilmesinin, artan enerji talebinin karşılanması, emtia fiyatlarındaki artışlardan ve kaynak tedarik sıkıntılardan en az düzeyde etkilenecek arz sağlanmasının en güvenilir yolunun yenilenebilir enerji yatırımları olduğu, günümüzde hükümetlerin üzerinde hemfikir olduğu bir gerçektir. Rüzgâr ve güneş enerjilerinde görülen maliyet düşüşleriyle birlikte ülkemizde de ilerleyen yıllarda devreye girecek kapasitenin büyük çoğunluğunun bu kaynaklardan gerçekleşeceği beklenmektedir. Fakat bu artışın sağlanabilmesi ve artan değişken üretime sahip yenilenebilir enerji entegrasyonu için en önemli unsurlardan biri, mevcut elektrik sisteminin esnekliğinin artırılmasıdır.

Elektrik sistemi esnekliğinin artırılması için batarya enerji depolama teknolojilerinin, pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin, iletim ve dağıtım sistemlerinin iyileştirilmesi gibi teknolojik seçeneklerin yanında, talep tarafı katılımının etkinleştirilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik piyasasında etkinliğini artıracak düzenlemeler gibi piyasa temelli seçenekler de mevcuttur. Esneklik seçeneklerinin etkin şekilde kullanılması yenilenebilir enerji entegrasyonunu artıracaktır. Artan sistem esnekliğiyle birlikte, klasik elektrik sistemi yaklaşımı olan baz yük gerekliliği azalacak ve fosil yakıtlı santrallerin sistemden çıkışı da hızlanabilecektir. Elektrik sistemi esnekliğinin artmasını sağlayacak bu seçeneklerin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, yeni stratejilerin oluşturulması ve mevcut düzenlemeler ile politikaların ihtiyaçlar doğrultusunda iyileştirilmesi gerekecektir.

Bu kapsamda hazırlanan raporun ana hedefi, Türkiye elektrik sisteminin esnekliğini artıracak politika seçeneklerinin ve uygulamalarının saptanması ve kısa, orta ve uzun vadeler için önerilerin oluşturulmasıdır. Raporda ayrıca mevcut durumda yenilenebilir enerji artışlarını sınırlayan bazı engellere ve bu engellere ilişkin çeşitli çözüm önerilerine de yer verilmiştir. Bu amaçla hem uluslararası en iyi uygulama ve politika örnekleri hem de Türkiye enerji sisteminin mevcut durumu incelenmiştir. Politika önerilerinin oluşturulmasında paydaşlarla yapılan görüşmelerden elde edilen geri bildirimlerden de yararlanılmıştır.

Bu kapsamda, daha fazla yenilenebilir enerjinin elektrik sistemi entegrasyonunu mümkün kılan, elektrik sistemi esnekliğinin artması için uygulanabilecek politika ve strateji önerileri aşağıda sıralanmaktadır.

Elektrik piyasasında yapılacak çeşitli düzenlemelerle, esneklik seçeneklerinin piyasaya entegrasyonu daha hızlı bir şekilde sağlanabilir: Elektrik piyasasında yapılacak değişikliklere örnek olarak; Gün İçi Piyasası'ndaki kapı kapanış sürelerinin gerçek zamana yaklaştırılması, Gün Öncesi ve Dengeleme Güç Piyasaları'ndaki azami fiyat limitlerinin gerçek maliyetleri yansıtabilecek şekilde belirlenmesi, serbest ve rekabetçi piyasa yapısını engelleyen fosil yakıtlı santrallere verilen teşviklerin kaldırılması, Yan Hizmetler Piyasası'nın esnek santralleri ön plana çıkaracak şekilde düzenlenmesi gösterilebilir.

Enerji depolama teknolojilerinin gelişimi için strateji ve hedeflerin

belirlenmesi çok yönlü faydalar sağlayacaktır: Enerji depolama teknolojilerinin yaygınlaştırılmasının sistem esnekliğinin sağlanması açısından önemli bir katkı sunacağı anlaşılmaktadır. Bu kapsamda piyasada fiyat oluşumunun, maliyetleri yansıtabilecek bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak, atılacak ilk önemli adım olabilir. Karbon fiyatlandırma sisteminin hayata geçirilmesi de esnekliğe katkı sağlayabilir. Mevcut enerji depolama mevzuatında yatırımcı perspektifinden bakıldığında net olmayan bazı noktalar, depolama sistemleri için yatırım öngörülebilirliğini zorlaştırmaktadır. Sektör paydaşlarıyla istişare edilerek bu belirsiz noktaların ilave mevzuatlarla daha açık hale getirilmesi, depolama uygulamalarına yönelik yatırımları kolaylaştıracaktır. Bir başka önemli konu ise depolama tesislerinin Yan Hizmetler Piyasası, Dengeleme Güç Piyasası (DGP) ve spot piyasalar gibi farklı piyasalara katılımının tam olarak sağlanmasıdır. Aynı depolama biriminin farklı piyasalarda faaliyet göstermesinin önünün açılması, yatırımların yapılabilmesi açısından önem arz etmektedir. Enerji depolama yatırımlarının ilk aşamada çeşitli teşvik mekanizmalarıyla doğrudan desteklenmesi de depolama piyasasının gelişimine katkı sağlayabilir. Teknoloji olarak enerji depolama uygulamalarında bataryalar öne çıksa da, dünya genelinde enerji depolama alanında pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri de önemli bir rol oynamaktadır. Pompaj depolamalı hidroelektrik santral potansiyelinin en verimli şekilde değerlendirilebilmesi için yatırımcıları destekleyen stratejilerin oluşturulması fayda sağlayacaktır.

Elektriğin form değiştirmesini (Power to X) içeren teknolojiler için gerekli politika çerçevesinin hazırlanması, buna yönelik bir yol haritasının çıkarılması ve Ar-Ge çalışmalarının başlatılması önerilmektedir:

Yeşil hidrojenin üretimi ve depolanması gibi enerjinin form değiştirmesini içeren teknolojiler ile elektrik sisteminde uzun dönemli depolama sağlanması, sistem esnekliğini artırmada önemli bir rol oynayabilir. Türkiye, yüksek derecede yenilenebilir enerji potansiyeli sebebiyle önemli bir yeşil hidrojen üretim potansiyeline sahiptir. Yenilenebilir enerjinin elektrik sisteminde fazla olduğu zamanlarda yeşil hidrojen üretilerek depolanması; enerji arzının az olduğu zamanlarda ise depolanan bu hidrojenin kullanılması ile sistem esnekliği artacaktır. Türkiye'nin, hâlihazırda, yeşil hidrojen için açıklamış olduğu bir stratejisi bulunmamaktadır. Yeşil hidrojen ve türevlerinin Türkiye'deki gelişimi için öncelikle bir yol haritasının oluşturulması ve ilgili hedeflerin belirlenmesi gerekmektedir. Yeşil hidrojen üretim maliyetlerinin henüz istenen seviyelere gelmemiş olması nedeniyle hidrojen teknolojisinin gelişimi için ilk etapta farklı destekleme mekanizmalarına ihtiyaç duyulabilir ve bu alım garantileri ya da vergi indirimleri gibi seçenekler gündeme gelebilir. Ayrıca hidrojen kullanan sektörlerde uygulanacak minimum yeşil hidrojen kullanım yükümlülükleri, bu kaynağa talebi artırarak, hidrojen piyasanın kurulması için kritik bir öneme sahip olabilecekken, elektriğin form değiştirmesini sağlayan teknolojiler ise uzun dönemli enerji depolanmasında belirleyici bir rol oynayabilir.

Talep tarafı katılımı ile ilgili mevzuat altyapısının tamamlanması ve talep tarafının farklı piyasalara erişiminin sağlanması önerilir: Talep tarafı katılımının etkin bir şekilde kullanılması, sistem esnekliği ihtiyacının karşılanmasında az maliyetli ve etkili bir seçenek olarak ön plana çıkmaktadır. Bu noktada çok zamanlı tarifelerin kullanımı ve uzun vadede tarife yapısının yerini gerçek zamanlı fiyatlandırmanın alması gibi durumlar gündeme gelebilir. Ayrıca talep tarafı katılımı potansiyelinin artırılması için talep toplayıcılarının ilgili mevzuatta görevlerinin tanımlanması ve etkin şekilde piyasalarda yer almaları da bu konuda katkı sağlayacaktır. Gerekli düzenlemeler yapılarak, talep tarafının farklı piyasalara erişiminin ve arz tarafıyla eşit koşullarda rekabet etmesinin önünün açılması önerilmektedir. Talep tarafı katılımının etkin olarak sağlanabilmesi için gerekli ön koşul, tüketicilerin en azından saatlik çözünürlükte çalışan akıllı sayaçları kullanmalarıdır. Akıllı sayaç kullanımının artırılması için bir yol haritasının oluşturulması önceliklendirilebilir.

Elektrikli araçlar da talep tarafı katılımı olarak sistem esnekliğine katkı sunabilirler. Bu araçların yakın gelecekte gerçekleşmesi beklenen artışına paralel olarak, akıllı şarjı destekleyen şarj-deşarj planlamalarının yapılmasını sağlayacak tamamlayıcı bir mevzuatın oluşturulması önerilmektedir: Talep tarafı katılımıyla paralel şekilde elektrikli araçların akıllı şarjını sağlayacak mekanizmaların kurulması gerekecektir. Yeni yapılacak şarj istasyonlarının elektrik şebekesinin işleyişini etkilemeden en etkin şekilde kullanılmasını sağlayacak akıllı şarj uygulamalarına ve fiyatlandırmalarına ihtiyaç olacaktır. Bunlarla birlikte, şarj noktalarının dağıtım şebekesinde en uygun şekilde konumlandırılmasını sağlayacak mekanizmaların ve desteklerin tasarlanması da gerekmektedir. Elektrikli araçlar, aynı zamanda batarya gibi kullanıldığında sistem esnekliğine katkı sağlayabilirler. Bu kaynakların Yan Hizmetler ve Dengeleme Güç Piyasası gibi piyasalara katılımı içinse yine, talep toplayıcılarla ilgili gerekli mevzuatın hazırlanması bu sistemlerin piyasaya katılımını hızlandıracaktır.

Esneklik uygulamalarının büyük çoğunluğunun sisteme entegre olmasında dijitalleşme kolaylaştırıcı bir rol oynayacağından, mevzuatta ilgili düzenlemeler yapılarak dijitalleşme önceliklendirilebilir: Üretim ve tüketimin takibi, akıllı şebekelerin kurulması ve dijitalleşme ile sisteme dâhil olabilecek yeni iş modelleri için (arz toplayıcılar, talep toplayıcılar, enerji hizmet şirketleri vb.) mevzuat alt yapısının hazırlanması, atılması gereken önemli adımlar arasında yer almaktadır. Bu noktada enerji piyasasında faaliyet gösteren farklı kamu kurumlarının arasındaki veri paylaşımının artırılması ve veri kodlama sistemlerinin ortak bir standarda bağlanması önerilmektedir.

Dijitalleşme ile iletişim ve izleme altyapısı güçlendirilebilir ve dağıtık enerji santrallerinin sisteme entegrasyonu hızlandırılabilir. Böylelikle, sistemin işletilmesi de kolaylaştırılacaktır: Lisanssız santrallerde özellikle SCADA (Merkezî Denetleme Kontrol ve Veri Toplama) haberleşmesi ile veri takibinde kullanılmaktadır. Mevzuatta yapılacak ilave düzenlemelerle kurulması gereken sistemlerin eksiksiz bir şekilde tamamlanması sağlanabilir. Lisanssız santrallerin iletim sistemi işletmecisi ile veri paylaşımında geç kalması, hem sistem işletimini zorlaştırmakta hem de yeni dağıtık enerji sistem kapasitelerinin tahsis edilmesinde engel oluşturmaktadır.

Enterkonneksiyon hatları ile piyasa eşleştirme ve oluşan dengesizliklerin uzlaştırılması sağlanabileceğinden, iletim şebekesi yatırımları önceliklendirilebilir: TEİAŞ ile EDAŞ'lar arasındaki iş birliğinin ve veri paylaşımının

güçlendirilmesi, hem paylaşılan verilerin kalitesini artıracak hem de sistem işletimini kolaylaştıracaktır. Aynı zamanda dağıtım düzeyinde yapılacak düzenlemeler ile sistem dengesizliği daha küçük ölçekte yönetilebilecek ve bu da, enerji ve veri akışında çift taraflı bir düzene geçilerek enerji sisteminin daha sağlıklı bir şekilde işletilebilmesini sağlayacaktır. Komşu ülkelerle olan enterkonneksiyon kapasitelerin geliştirilmesi ve ticaretin artması da potansiyel olarak önemli bir esneklik seçeneğidir. Piyasa eşleştirme (market coupling) ve dengesizlik uzlaştırma gibi yöntemlerin kullanılmasıyla enterkonneksiyon kapasitelerinden azami derecede faydalanılabilir.

1. Giriş

Yenilenebilir enerjinin önemi, son yıllarda iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine dair artan endişeler ve yaşanmakta olan enerji krizi gibi sebeplerle bir kez daha anlaşılmuştur. Günümüzde dünya üzerindeki pek çok ulusal enerji piyasasında karbonsuzlaşmayı merkeze alan ve farklı sektörleri kapsayan bir dönüşüm süreci yaşanmakta ve bu amaca yönelik uzun dönemli stratejiler oluşturulmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin artırılmasının, hem ülkelerin enerji sistemleri için belirlediği karbonsuzlaşma hedeflerine ulaşılmasında hem de gelecekteki olası arz krizlerinin aşılmasında önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Bu dönüşüm süreci; yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonu, enerji verimliliğinin ve özellikle ulaşım ile ısınma sektörlerinde elektrifikasyonun artırılması, talep tarafı katılımının sağlanması gibi pek çok bileşeni içermektedir. Bahsi geçen dönüşümün tamamlanabilmesi için, enerji politikaları ve piyasa mimarisi açısından bazı temel değişikliklere ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Bu geçiş sürecinde elektrik sistemi bakımından yaşanacak zorluklardan biri, değişken üretime sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik sistemine entegre edilmesi olacaktır. Eski iletim şebekelerinin ve organize piyasaların yüksek oranda değişken yenilenebilir üretimi karşılayacak şekilde tasarlanmamış olması, sorunun temelini oluşturmaktadır. Elektrik arz güvenliği için arz ve talep dengesinin anlık olarak sağlanması gerekmektedir. Rüzgâr ve güneş gibi değişken üretime sahip yenilenebilir enerji kaynakları elektrik sistemi, arz-talep dengesinin sağlanmasını zorlaştırmakta ve arzın fazla olması durumunda bu kaynaklarda kesintilere gidilmesi gerekebilmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın verilerine göre 2020 yılında ortalama bir ülkenin elektrik tüketimine eşit 250 TWh'lık yenilenebilir enerji üretimi, sistem gereksinimleri nedeniyle kesilmek zorunda kalmıştır (IEA, 2022). Bu kapsamda, sistem esnekliği bahsi geçen kesintilerin engellenmesi, yenilenebilir enerji entegrasyonunun artırılması ve karbonsuzlaşmaya geçiş sürecinde kilit bir rol oynayacaktır. Piyasa yapısında yapılabilecek değişiklikler, enerji depolama, talep tarafı katılımı, iletim şebekelerinin güçlendirilmesi, yeşil hidrojen teknolojileri gibi farklı esneklik seçenekleri bulunmaktadır.

Geçtiğimiz on yılda uygulanan destek mekanizmalarının yardımıyla, Türkiye'de yenilenebilir enerjinin elektrik üretimi içerisindeki payında istikrarlı bir artış görülmüştür. 2010 ve 2021 yılları arasındaki dönemde yenilenebilir enerjinin yıllık toplam üretim içindeki payı %26'dan %36'ya ulaşırken¹, sadece rüzgâr ve güneş enerjilerine dayalı toplam üretimin payı %1'den %14 seviyesine kadar yükselmiştir (TEİAŞ, 2022). Türkiye'de önemli bir potansiyele sahip rüzgâr ve güneş kaynaklarına yapılacak yatırımlarla bu payın gelecekte daha da artması beklenmektedir.

Hızlı şekilde artan elektrik talebine sahip, gelişmekte olan bir ülke olan Türkiye, enerji politikaları bakımından bir yol ayrımına gelmiştir. Paris İklim Anlaşması'nın TBMM tarafından onaylanması ve 2053 net sıfır karbon hedefinin açıklanmasıyla beraber, 2021 yılı, Türkiye'nin enerji politikaları bakımından bir dönüm noktası haline gelmiştir. Türkiye'nin iklim değişikliği ile mücadele eylemlerini şekillendirici bir diğer gelişme ise, 2020 yılında onaylanan Avrupa Yeşil Mutabakatı'dır. Avrupa Birliği (AB) tarafından açıklanan plana göre AB dışı ülkeler tarafından AB ülkelerine yapılacak

¹ 2021 yılında yaşanan kuraklık nedeniyle bu yıl hidroelektrik üretimi düşük kalmıştır. Hidroelektrik üretimindeki yıllık farklılıklara bağlı olarak üretimde yenilenebilir enerji payı önemli değişiklikler gösterebilir. Yenilenebilir enerjinin üretimdeki payı 2020 yılında %42 seviyesinde olmuştur.

ihracat kalemleri, ihracatçı ülkede eş değer bir karbon fiyatlandırma mekanizması bulunmaması durumunda ilave bir Sınırdaki Karbon Vergisi'ne tabi tutulacaktır. 2026 yılından itibaren uygulanması beklenen bu vergi, Türkiye için kritik öneme sahip olan AB ile ticari ilişkilerin devamlılığı açısından önemli riskler içermektedir.

Türkiye'de iklim değişikliğine ilişkin politikalara artan ilgiye karşın henüz, hedeflenen enerji dönüşümünün nasıl gerçekleşeceğine dair kapsamlı bir stratejik plan bulunmamaktadır. Karbonsuzlaşma hedeflerinin gerçekleştirilebilmesi için net bir yol haritasının oluşturulması ve bu hedeflere ulaşmayı kolaylaştıracak bütüncül politikalar geliştirilmesi gerekmektedir. Geliştirilecek bu strateji, farklı sektörleri kapsayacak nitelikte olacaktır. Enerji dönüşümünün ana bileşenleri olan yenilenebilir enerji, elektrifikasyon ve enerji verimliliği, bu stratejinin de temelini oluşturacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik sistemine entegrasyonunun artmasıyla birlikte, bu kaynaklardan azami düzeyde faydalanılması ve sistemin sorunsuz işlemesi için, elektrik sistemi esnekliğinin de artması gerekecektir. Bu kapsamda farklı esneklik seçeneklerinin bütüncül olarak değerlendirilmesi, fayda maliyet analizlerinin yapılması ve bu konuyla ilgili politikaların belirlenmesi elzemdir. SHURA tarafından yürütülmüş olan 'Türkiye Elektrik Sistemine Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Entegrasyonu' çalışmasında, elektrik üretiminde rüzgâr ve güneş enerjileri payının 2030 yılında %35'in üzerindeki seviyelere gelmesinin teknik ve ekonomik açıdan mümkün olduğu gösterilmiştir (SHURA, 2022b). Çalışmanın bir diğer önemli sonucu ise, rüzgâr ve güneş üretim paylarının artışına paralel olarak elektrik sisteminin verimli ve güvenilir işleyebilmesi için, sistem esnekliğinin artması gerekliliğidir. Batarya enerji depolama, pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri, enterkonneksiyon kapasitelerinin kullanımı, iletim şebekesinde iyileştirmeler ve talep tarafı katılımı gibi esneklik seçenekleri modellenmiş, fakat bu kapasitelerin hangi politikalar ve uygulamalarla hayata geçirilebileceği irdelenmemiştir.

Bu kapsamda, bu çalışmanın temel amacı, hedeflenen yenilenebilir enerji üretim kapasitelerine ulaşılabilmesi için esneklik seçeneklerinin etkinleştirilmesini sağlayacak politikalara ve uygulamalara yönelik önerilerin oluşturulmasıdır. Öneriler oluşturulurken küresel ölçekte ülkelerin hayata geçirdiği politikalar ve uygulamalar detaylıca irdelenerek Türkiye elektrik sistemine uygun olabilecek politikalar geliştirilmeye çalışılmıştır.

Elektrik sektörünün mevcut durumu incelenirken, esneklik, fiyatlama politikaları, dağıtık enerji kaynakları, elektrikli araçlar, enerji depolama ve elektrikten gaza ya da ısıya geçiş fırsatları gibi çeşitli konular araştırılmıştır. Mevcut durumun irdelenmesinin ardından, piyasa mimarisi değişikliklerini de içeren sistem esnekliğini artıracak olası politikalara odaklanılmıştır. Bu doğrultuda, farklı ülkelerin uyguladığı politikalar ve mekanizmalar vaka analizi olarak değerlendirilmiştir.

Raporda, aşağıdaki konu başlıklarına ve esneklik uygulamalarına yönelik politika seçenekleri analiz edilmiştir:

- **Organize toptan elektrik piyasası mimarisinde yapılabilecek iyileştirmeler:** Gün Öncesi Piyasası (GÖP) ve Gün İçi Piyasası (GİP) gibi organize toptan elektrik piyasaları yapısında gerçekleştirilecek bazı iyileştirmeler, sistemin verimli ve güvenilir bir şekilde işlemesinde ve esneklik seçeneklerinin kullanılmasının desteklenmesinde önemli bir rol oynama potansiyeline sahiptir. Sisteme esneklik

sağlayan teknolojik çözümlere ek olarak elektrik piyasası tasarımı, yenilenebilir enerji entegrasyonu ve şebeke esnekliği için kilit rol oynamaktadır (SHURA, 2020b).

- **Enerji depolama:** Elektrik sistemi esnekliği enerjinin depolanmasını sağlayacak teknolojik yöntemler yoluyla artırılabilir. Bu teknolojik yöntemlerin arasında batarya enerji depolama sistemleri ve pompaj depolamalı hidroelektrik santraller gibi seçenekler mevcuttur. Enerji depolama seçeneklerinin maliyetleri hızlı bir şekilde düşme eğiliminde olsa da henüz istenilen seviyelere ulaşmamıştır ve önümüzdeki dönemde, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının sistem entegrasyonu ile birlikte sistem güvenliğinin sağlanmasında çok önemli rolleri olacaktır.
- **Enerjinin form değiştirmesi (Power to X) yoluyla esneklik:** Bahsi geçen enerji depolama seçeneklerinin dışında elektrik, yeşil hidrojene ya da sentetik gaz/ sıvı yakıtlara geçiş yoluyla da, sonradan kullanım için depolanabilmektedir. Bu uygulamalar ilerleyen dönemlerde elektrik sistemi esnekliği ve yenilenebilir enerji entegrasyonu için büyük önem taşıyacaktır.
- **Talep tarafı katılımı:** Talep tarafı katılımı, sistem esnekliğini artırmak için kullanılacak en düşük maliyetli seçeneklerin başında gelmektedir. Arz tarafı yerine talep tarafı esnekliğinin kullanılmasını sağlayarak sistem güvenilirliğini ve esnekliğini artırmayı hedefleyen bir yaklaşım olarak, talep tarafı katılımının farklı uygulamaları bulunmaktadır. Bu uygulamaların detaylı örnekleri SHURA'nın talep tarafı katılımı raporunda verilmiştir (SHURA, 2022c).
- **Elektrikli araçların akıllı şarjı ve şebeke etkileşimleri:** Önümüzdeki yıllarda ulaşım sektöründe elektrikli araçların payının ve bununla birlikte elektrik tüketiminin de hızlı şekilde artması beklenmektedir. Beklenen bu gelişme doğrultusunda, elektrikli araçlardan gelecek ilave elektrik talebinin etkin olarak yönetilmesinin (akıllı şarjın) ve gerekli olduğunda elektrikli araçların şebekeye geri beslemesi gibi uygulamaların kullanılmasının, esnekliği artırıcı etkileri olacaktır.
- **Dijitalleşme ve akıllı şebekeler:** Enerji sisteminin dönüşümü ve temiz enerjiye geçiş, sektörde yaşanan dijital devrime paralel olarak gerçekleşmektedir. Bir yandan yenilenebilir enerji ve dağıtık enerji kaynaklarının sistem entegrasyonu, elektrifikasyon ve enerji verimliliği uygulamaları daha yaygın hale gelmekteyken, diğer yandan da dijital teknolojiler tüm elektrik değer zincirini yeniden yapılandırmaktadır (SHURA, 2022a). Dijitalleşmenin sunduğu kolaylaştırıcılık ile akıllı şebeke, akıllı evler ve çeşitli iş modellerinin yaygınlaşması daha esnek, verimli ve güvenilir bir elektrik sisteminin kurulmasında anahtar role sahiptir.
- **İletim sistemi ve enterkonneksiyonlar:** İletim sisteminin genişlemesi ve iyileştirilmesi, sistem esnekliği açısından önemli bir konudur. Bu kapsamda elektrik üretim kaynaklarının en yoğun ve verimli olduğu bölgelere ilave hat yatırımlarının yapılmasının yanı sıra, sistemdeki tüketim bölgelerinin gözetilmesi ve yeni yapılacak yatırımların bu alanlara yoğunlaşması da sistem esnekliğini artırıcı bir diğer faktör olacaktır (SHURA, 2018). Ayrıca komşu ülkelerin elektrik sistemleriyle bağlantı kapasitesinin ve ticaretin geliştirilmesi, yine sistem esnekliğini artırmada önemli bir potansiyele sahiptir.

Raporun geri kalanı Şu Şekilde tasarlanmıŐtır;

İkinci bölümde Türkiye enerji piyasası özetlenmiŐ ve iklim değişikliği politikaları, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, enerji depolama, enerjinin form değiştirmesi, talep tarafı katılımı, elektrikli araçlar, dijitalleşme ve enterkonneksiyon gibi doğrudan karbonsuzlaşmayla ilgili konulara ilişkin, ülkedeki mevcut durum detaylandırılmıştır. Üçüncü bölümde, bir önceki bölümde değerlendirilmiş konular için karşılaşılan temel zorluklar sıralanmıştır. Belirlenen engellerin arasında hem teknik hem de uygulanan politikalara ve piyasa mimarisine ilişkin değerlendirmeler bulunmaktadır.

Dördüncü bölüm kapsamında, bir önceki bölümde belirlenen zorlukların aŐılabilmesi için çeşitli çözümler önerileri getirilmiştir. Buradaki temel amaç en az maliyetle en etkin sonuçlara ulaşılmasını sağlayacak çözümlerin bulunmasıdır. Politika ve uygulama önerilerinin oluşturulmasında farklı ülkelerde uygulanan vaka analizleri de yine bu bölümde değerlendirilmiştir.

En son bölümde ise, raporun temel çıkarımları özetlenmekte ve Türkiye özelinde uygulanabilecek politika önerileri sıralanmaktadır.

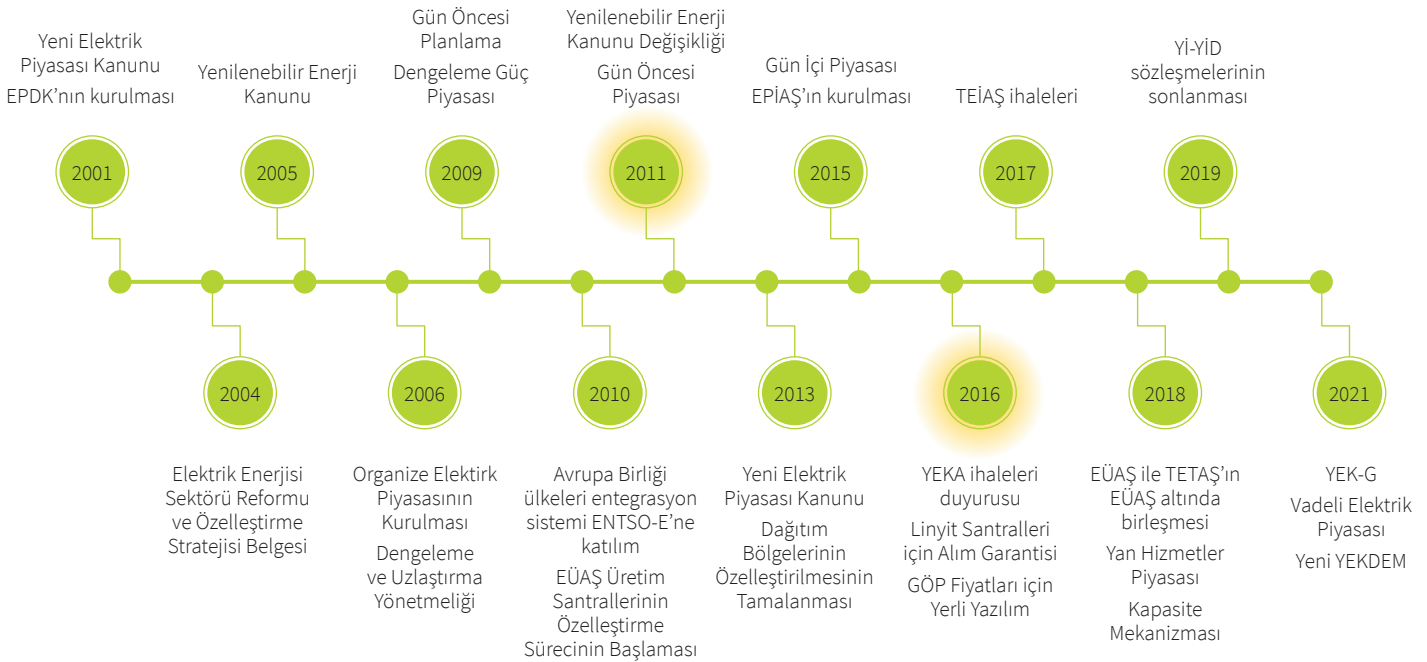
2. Yenilenebilir Enerji ve Esneklik Seçenekleri için Düzenleme ve Politikalara İlişkin Mevcut Görünüm

2.1. Türkiye Elektrik Piyasasına Genel Bakış

Türkiye elektrik piyasası 1980'li yıllardan itibaren liberalleşmeye yönelik bir reform sürecine girmiş ve bu süreç, 2001 senesinde 4682 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun yürürlüğe girmesiyle hız kazanmıştır. Elektrik piyasasında görülen hızlı talep artışı ve reform sürecinin etkileri sonucunda Türkiye'de şu an üretim, iletim, toptan satış, perakende satış ve dağıtım gibi tedarik zincirinin farklı aşamalarında birçok katılımcının dâhil olduğu karmaşık bir piyasa yapısı oluşmuştur. Piyasadaki elektrik üretim segmenti hem kamu hem de özel teşebbüs tarafından pek çok piyasa katılımcısını içeren ve farklı kaynaklardan üretim yapılan bir yapıya ulaşmıştır. Mevcut durumda piyasada elektrik üretim lisansı sahibi 1.242 özel sektör katılımcısı bulunmaktadır (EPIAŞ Şeffaflık Platformu, 2022). Bununla birlikte, Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) devlete ait elektrik santrallerini portfolyünde bulunduran ve bunların işletiminden sorumlu olan devlet kurumu konumundadır. Elektrik iletim sisteminin işletmecisi ise Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ)'dir. TEİAŞ ayrıca "Dengeleme Güç Piyasası"nın ve "Yan Hizmetler Piyasası"nın işletiminden de sorumludur.

2000 yılından itibaren piyasada gözlemlenen temel gelişmeler ve değişiklikler ise Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1: 2000 Yılı Sonrasında Piyasada Gözlenen Temel Gelişmeler



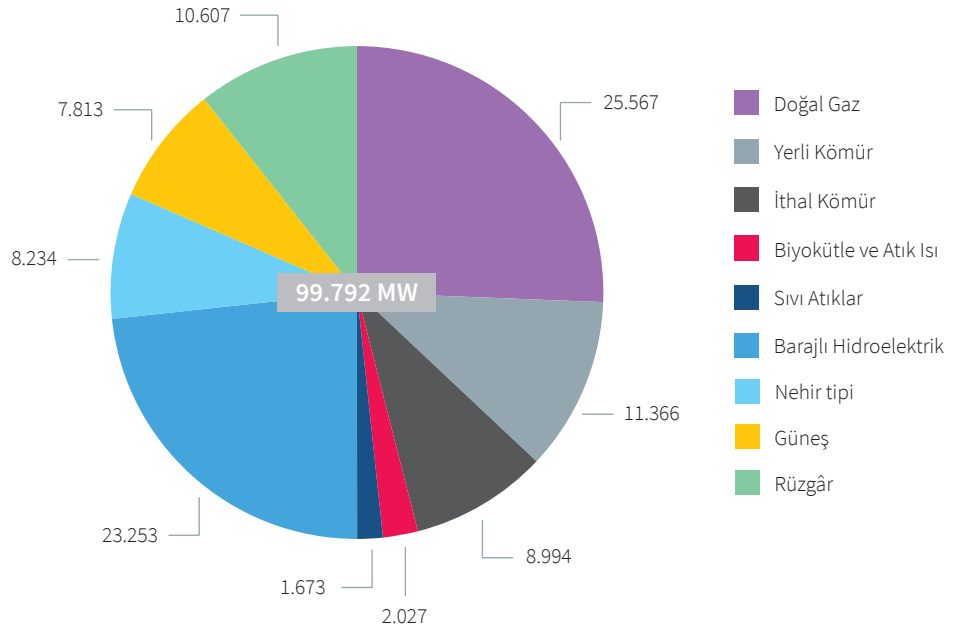
Toptan elektrik piyasasında hem kamu hem de özel şirketler aktif olarak faaliyet göstermektedir. Elektrik üretimindeki rolüne ek olarak EÜAŞ, TETAŞ'ın (Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A. Ş.) yürürlükten kaldırılması ve kurumun sorumluluklarının devredilmesinin ardından, Temmuz 2018'den itibaren dağıtım ve perakende şirketlerine elektrik satışından da sorumlu olmuştur². Hâlihazırda piyasada 166 özel

² Resmî Gazete No: 30473, 9 Temmuz 2018

elektrik tedarik şirketi faaliyet göstermektedir (EPIAŞ Şeffaflık Platformu, 2022). Dağıtım sektörü, 2013 yılı itibarıyla tamamen özelleştirilmiştir ve belirlenmiş bölgelerde faaliyet gösteren 21 dağıtım şirketi tarafından kontrol edilmektedir. Bu şirketler aynı zamanda kendi bölgelerinde son kaynak tedarikçileri olarak elektrik sağlamak da sorumludur. Üretim şirketleri ve elektrik tedarik (toptan/perakende) şirketleri de doğrudan serbest tüketicilere elektrik satma hakkına sahiptir.

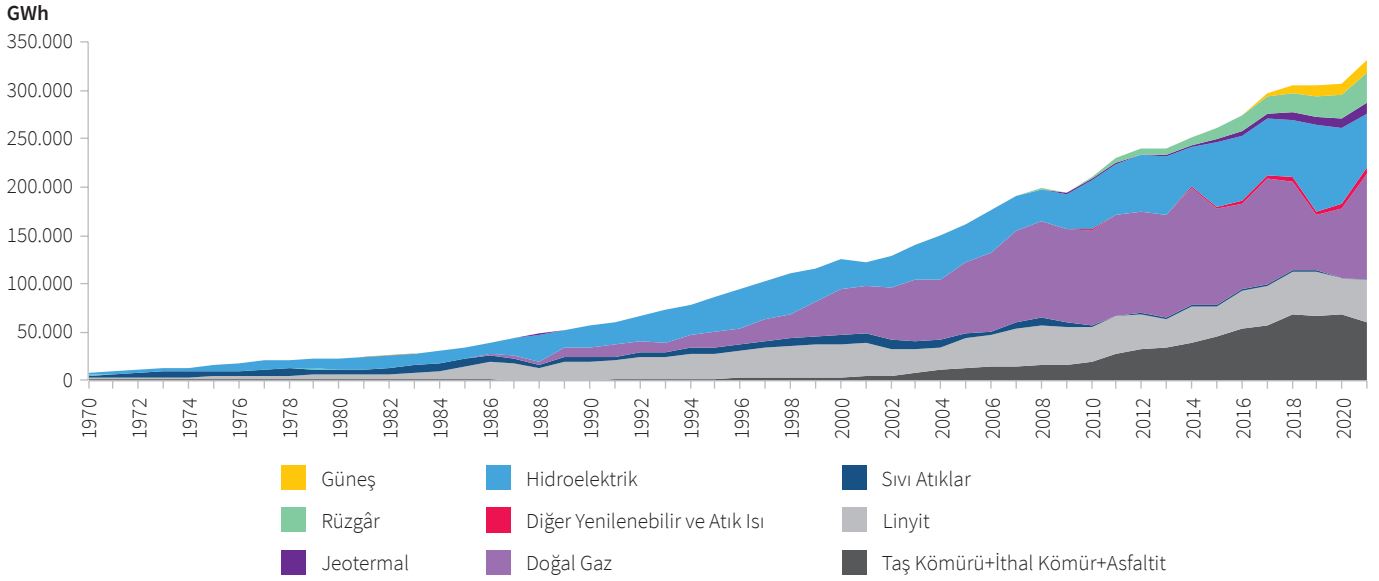
Kaynak bazlı bakıldığında 2021 sonu itibarıyla toplam kurulu gücün %46'sının termik kaynaklı olduğu görülmektedir. Kurulu güç içinde hidroelektrik kaynaklarının payı yaklaşık %32, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise yaklaşık %22 olmuştur. 2021 sonu kaynak bazlı kurulu güç dağılımı Şekil 2'de gösterilmiştir (YTBS, 2022).

Şekil 2: Kaynak Bazlı Kurulu Güç (2021 Yıl Sonu)



Geçtiğimiz on yıl içerisinde genellikle termik ve hidroelektrik kaynaklarından elde edilen elektrik üretimi, son yıllarda artan yenilenebilir enerji yatırımlarıyla oldukça çeşitlenmiştir. Bu değişimin gerçekleşmesinde rüzgâr ve güneş enerjileri gibi teknolojilerin düşen yatırım maliyetleri ve bu konuda uygulanan teşvik mekanizmaları etkili olmuştur. Kaynak bazlı elektrik üretiminin yıllar içerisindeki değişimi, Şekil 3'te gösterilmektedir (TEİAŞ, 2021).

Şekil 3: Kaynak Bazlı Yıllık Elektrik Üretimi (1970-2021)



Türkiye tarafından uygulanan enerji politikaları, çok sayıda politika hedefinin aynı anda takip edilmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda Türkiye'nin temel enerji hedeflerinin arasında;

- Arz güvenliği ve yerli kaynakların kullanımının artırılması,
- Küresel iklim değişikliğine neden olan karbon emisyonlarının sınırlandırılması,
- Elektrik üretiminin mümkün olan en ucuz şekilde yapılması yer almaktadır.

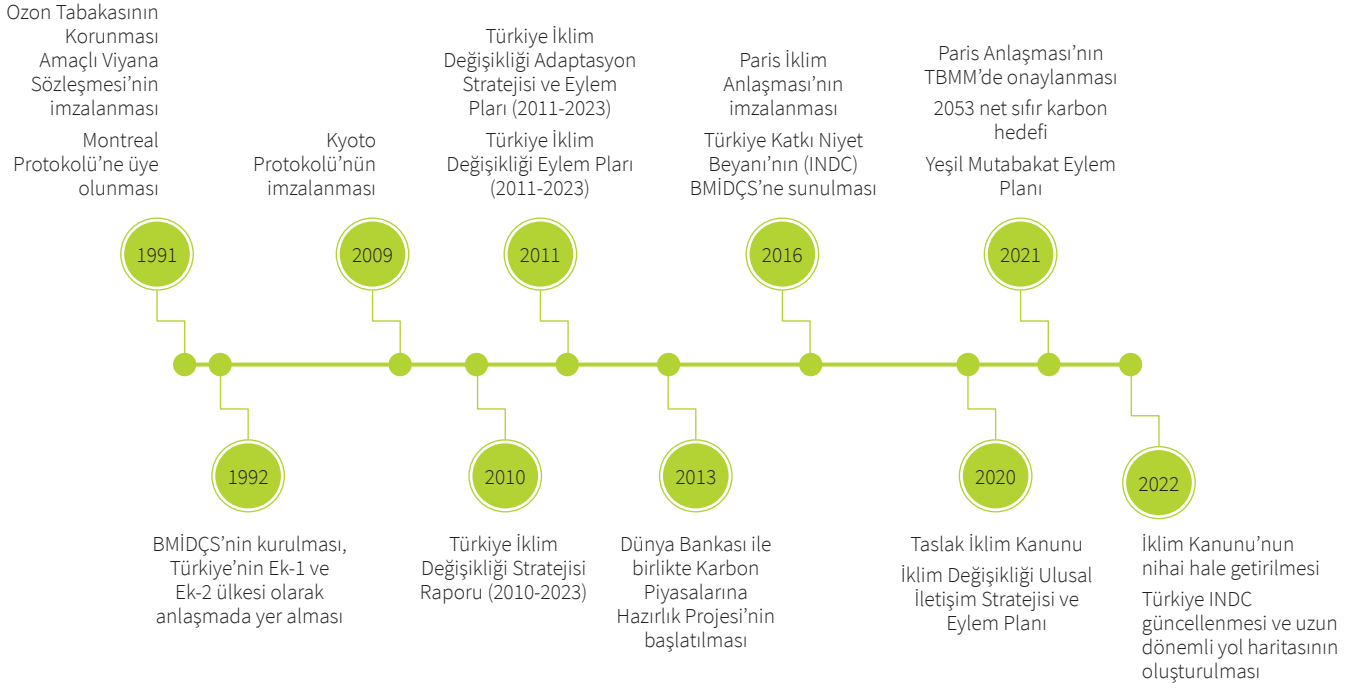
Bu hedeflere ulaşmak için geliştirilen temel politikalar arasında ise yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi, yerli bir kaynak olan linyit kullanımının artırılması ve nükleer enerji kaynaklı elektrik üretiminin sağlanması bulunmaktadır.

Türkiye organize elektrik piyasalarının detaylı incelemesi ve bu piyasalara yönelik olası iyileştirmeler, SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi'nin 2021 yılında tamamladığı çalışmada araştırılmıştır (SHURA, 2021b).

2.2. İklim Değişikliği Politikaları ve Olası Karbon Fiyatlandırma Uygulaması

Artan iklim değişikliği tehdidine ve bu tehdide orantılı şekilde artan küresel farkındalığa bağlı olarak Türkiye, 1990'ların başından itibaren çeşitli politika hedefleri geliştirmiş ve konuyla ilgili uluslararası müzakerelerde yer almıştır. Paris İklim Anlaşması'nın mecliste onaylanması ve İklim Kanunu'nun hazırlanmaya başlamasıyla beraber, Türkiye'nin iklim değişikliği politikaları, yeni bir şekil almıştır. 2016 yılında imzalanan Paris İklim Anlaşması, 2021 yılında Türkiye Büyük Millet Meclisi (TBMM) tarafından onaylanmıştır. Paris İklim Anlaşması'nın imzalanması akabinde hazırlanan Niyet Edilen Katkı Beyanı'na (INDC) göre, Türkiye 2030 yılında mevcut durum senaryosuna kıyasla %21 emisyon azaltım taahhütünde bulunmuştur. 2022 yılında düzenlenen İklim Şûrası'nda alınan kararlar incelendiğinde ise 2053 Net Sıfır Emisyon Hedefi'ne ve INDC'ye uyumlu bir Emisyon Ticaret Sistemi'nin (ETS) kurulmasına vurgu yapıldığı görülmektedir. Şûra sonuç kararları arasında, "ETS'nin uygulamaya alınmasına yönelik çalışmalar 2024 yılında tamamlanmalıdır" ibaresi yer almıştır. Ayrıca ETS'nin 2024'te pilot uygulamaya başlaması ve en az bir sene pilot uygulamanın devam etmesi de vurgulanan maddeler arasındadır. Türkiye iklim değişikliği politikalarına ilişkin temel gelişmelerin bir özeti Şekil 4'te verilmektedir.

Şekil 4: Türkiye İklim Değişikliği Politikalarının Gelişimi



Paris İklim Anlaşması, TBMM tarafından 6 Ekim 2021 tarihinde kabul edilmiş, 10 Kasım 2021 tarihinde de yürürlüğe girmiştir³. Beklenenden daha düşük gerçekleşen Gayri Safi Yurt İçi Hasılası (GSYİH) büyümesi gibi çeşitli nedenlerden dolayı mevcut emisyon seviyeleri beklentilerin ve hedeflerin oldukça altında kaldığından, ülkenin INDC'de belirtilen emisyon azaltım hedeflerinin de güncellenmesi gerekmektedir.

Geçtiğimiz yıl içinde ayrıntıları netleşen Avrupa Yeşil Mutabakatı, Türkiye'yi iklim değişikliğiyle mücadelede daha somut adımlar atmaya teşvik edecek bir diğer dış etken olarak önümüzde durmaktadır. Avrupa Yeşil Mutabakatı, Avrupa'nın 2050 yılına kadar ilk karbon nötr kıta olma hedefine ulaşmasını amaçlayan bir dizi politika ve stratejiden oluşmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2022). Yeşil Mutabakat, 2030'da sera gazı emisyonlarını 1990 seviyelerine kıyasla en az %50 ila %55 arasında azaltmak gibi AB için belirlenmiş net hedefler üzerinde ve belirli bir mevzuat çerçevesinde işleyecektir.

Yeşil Mutabakat sadece AB üyesi ülkeler için değil, AB ile ticari ilişkileri olan bütün ülkeler için büyük öneme sahiptir. Mutabakat kapsamında planlanan Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) ve Adil Geçiş Mekanizması (JTM) gibi bazı politikalar özellikle Türkiye için büyük önem taşımaktadır. JTM, yeşil politikalara geçiş yaparken daha az gelişmiş ülkelere finansal destek sağlamak için kurulmuş olan Yeşil Mutabakat Yatırım Planı'nın bir parçasıdır; ancak Türkiye'nin bu mekanizmaya erişimi şu anda belirsizliğini korumaktadır. Yeşil Mutabakat kapsamında tanımlanan Sınırdaki Karbon Vergisi ise Avrupa ile yoğun olarak ticaret yapan ülkeleri, karbon fiyatlandırması konusunda harekete geçmeye zorlayacaktır. Bu konudaki çalışmalar, Türkiye'de de devam etmektedir.

Avrupalı şirketler, karbon fiyatlandırma mekanizmalarına tabi oldukları için uluslararası ticarete bir karbon kaçağı riski oluşmuştur. Avrupalı şirketler ile uluslararası piyasalarda rekabet eden pek çok şirket, kendi ülkelerindeki regülasyonlar gereği hâlihazırda bir karbon fiyatlandırma mekanizmasına tabi değildir. Bu nedenle AB,

³ Resmî Gazete No: 31655, 10 Kasım 2021

kendi iç pazarındaki üretim payının büyük bölümünün daha az hırslı iklim değişikliği politikalarına sahip ülkelere kaymasıyla meydana gelebilecek ekonomik kayıpların önüne geçmek için Yeşil Mutabakat kapsamında SKDM'yi gündeme almıştır. Yeni mekanizma, AB dışından ithal edilecek belirli sektörlerle ilişkin ürünlere yönelik bir karbon fiyatı uygulayarak bu riski ortadan kaldırmayı hedeflemektedir. Mevcut plana göre, AB üyesi olmayan ülkelerden AB'ye yapılan ihracat mallarına sınırda bir karbon vergisi uygulanması kararlaştırılmıştır. Karbon vergisinin seviyesi, AB ETS'sinde oluşan haftalık karbon fiyatı ile ihracatçı ülkede uygulanan karbon fiyatı seviyesi arasındaki farka göre belirlenecektir. Mevcut plana göre, ihracat ürünlerinin karbon içeriğinin raporlanmasına 2023'te, verginin uygulanmasına ise 2026'da başlanacaktır. Vergi ilk etapta demir-çelik, çimento, alüminyum, gübre ve elektrik gibi karbon yoğun sektörlerle uygulanacaktır. Bu kapsamın gelecekte genişletilmesi muhtemel gözükmemektedir (Avrupa Komisyonu, 2022).

Gümrük Birliği kapsamında AB ile yoğun ticari ilişkisi bulunan Türkiye'nin de Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın sonuçlarından olumsuz etkilenmemek için sürdürülebilir bir enerji politikasına odaklanması gerekecektir. 2021 yılı için Türkiye toplam ihracatının %41,3'ü AB piyasasına yapılmıştır. AB'nin ithalatı bakımından ise Türkiye, demir-çelik ve çimento sektörü için ilk on; cam ve plastik sektörleri için ise ilk beş ülkeden biri konumuna gelmiştir (Ticaret Bakanlığı, 2022). Bu nedenle, yeni SKDM'na uyum sağlamak, Türkiye'nin AB'ye yaptığı ihracatın büyük bir bölümünü sürdürmesi ve Avrupa piyasasındaki rekabet gücünü koruması açısından kilit öneme sahip olacaktır.

Bu ihtiyaca cevap verecek şekilde, Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında oluşturulacak mekanizmalara Türkiye'nin uyumunu sağlamayı amaçlayan bir plan olan "Yeşil Mutabakat Eylem Planı" 16 Temmuz 2021 tarihinde açıklanmıştır. Planda yer alan ana konular arasında sınırda karbon düzenlemeleri, yeşil ve döngüsel ekonomi, yeşil finansman, temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı, sürdürülebilir tarım, sürdürülebilir akıllı ulaşım, iklim değişikliği ile mücadele, diplomasi ve Avrupa Yeşil Mutabakat bilgileri ve farkındalık faaliyetleri yer almaktadır. Sınırda karbon vergisinin etkilerinin sınırlandırılması, yeşil ve döngüsel bir ekonominin geliştirilmesi ve ulusal bir karbon fiyatlandırma sisteminin hazırlanması, planda yer alan hedefler arasındadır. Hedeflere ulaşmak için enerji yoğun sektörlerin emisyonlarının izlenmesi, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yol haritasının belirlenmesi, uygun bir karbon fiyatlandırma mekanizmasının benimsenmesi ve Ulusal Döngüsel Ekonomi Eylem Planı'nın hazırlanması gibi atılacak birçok adım belirlenmiştir (Ticaret Bakanlığı, 2021).

Bahsedilen gelişmelere paralel olarak Türkiye'nin net sıfır emisyona ulaşma hedefi Cumhurbaşkanı tarafından Birleşmiş Milletler 76. Genel Kurulu'nda 2053 yılı olarak açıklanmıştır. 2022 yılı Şubat ayında düzenlenen İklim Şûrası da Türkiye için kritik bir öneme sahiptir. İklim Şûrası Sonuç Bildirgesi içerisinde 'Sera Gazı Azaltım' ve 'Yeşil Finansman ve Karbon Fiyatlama' başlıkları altında yer alan önemli maddeler ise aşağıda özetlenmektedir:

- 2053 net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda 'Ulusal Yeşil Finans Stratejisi' 2023 yılının sonuna kadar hazırlanmalıdır.
- ETS'nin ülkemizde kurulması için çalışmalar hızlandırılmalı ve hazırlanacak İklim Kanunu, Avrupa Birliği (AB) mevzuatı gözetilerek tasarlanmalıdır.
- SKDM takvimi göz önünde bulundurularak, ETS pilot uygulaması 2024 yılında başlamalıdır.

- ETS uygulamaları göz önünde bulundurularak ve mevcut vergiler yeniden değerlendirilerek ilgili vergilerin karbon vergisine dönüştürülmesi konusu ele alınmalı, vergi tutarının belirlenmesi amacıyla ekonomik, sosyal ve mali analizler yapmak suretiyle, kurumlar/kuruluşlar arası kurulacak ortak bir sistem ile ulusal koşullara uygun bir yol haritası, 2025 yılına kadar oluşturulmalıdır.
- 2053 net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda Uzun Dönemli Enerji Planı COP27 öncesine kadar hazırlanmalıdır.
- Daha fazla yenilenebilir enerji kapasitesinin enerji sistemine entegrasyonu için sistem esnekliğinin artırılmasına yönelik gerekli çalışmalar yapılmalıdır.
- Elektrik üretimi kaynaklı emisyonun düşürülmesi doğrultusunda arz güvenliği, makroekonomik ve sosyal etkileri içeren çalışmalar yapılmalı ve bir yol haritası belirlenmelidir.
- Enerji sektöründe dönüşüme uyum sağlamak için dijital dönüşüm, depolama ve talep tarafı uygulamalarının hayata geçirilmesi sağlanmalıdır.
- Yeşil hidrojeni önceliklendiren hidrojen stratejisi ve yol haritası 2022 yılı sonuna kadar hazırlanmalıdır.
- ‘Ulusal Enerji Verimliliği 2030 Vizyonu ve Stratejisi’ 2022 yılı sonuna kadar, ‘Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024-2030)’ da 2023 yılı ortasına kadar hazırlanmalıdır.

Türkiye'nin değişen hedeflerine uyumlu, kapsamlı bir 'İklim Değişikliği Yasası'nın 2022 yılı içerisinde tamamlanması ve onaylanması hedeflenmektedir. Bu amaçla 2020 yılının sonunda, nihai hale getirilecek mevzuatın temelini oluşturan bir kanun taslağı hazırlanmıştır. Taslak belgede değinilen temel amaçlar, küresel sıcaklık artışını 1,5 C°'nin altında tutmak, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden korunmak, enerji verimliliğini artırmak, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve yenilenebilir enerji yatırımlarını teşvik etmek gibi maddeleri içermektedir (PMR ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020).

Bu kapsamda, önümüzdeki birkaç yıl içinde Türkiye'de bir karbon fiyatlandırma mekanizmasının uygulanması da muhtemeldir. Bu karbon fiyatlandırma mekanizmasının şeklinin nasıl olacağı henüz belli olmasa da karbon vergisi ve karbon ticareti iki ana seçenek olarak görünmektedir. Türkiye, bir karbon piyasasının kurulmasına ilişkin olarak Dünya Bankası ile hibe anlaşması imzalayan ilk ülke olmuştur. Proje 2013 yılından beri devam etmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022). Karbon Piyasasına Hazırlık Ortaklığı (PMR) kapsamında yürütülen çalışmalar sonucunda, Türkiye için en uygun karbon fiyatlandırma mekanizması olarak ETS önerilmiştir. Taslak iklim değişikliği kanununda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın ülke genelinde emisyonları azaltmak için piyasaya dayalı mekanizmalar kurmasına izin verileceği de belirtilmektedir. Taslak belgeye son şeklinin verilmesi ve karbon fiyatlandırma mekanizmasının oluşturulmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir.

Türkiye'de iklim değişikliği hedeflerinin netleşmesiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sistemindeki önemi daha da artacaktır. Yenilenebilir enerji gelişimi için belirlenen mevcut hedefler, sıfır karbonlu bir ekonomiye geçiş için yeterli ve yeterince kapsamlı değildir. 2053 net sıfır karbon hedefi ile 2022 yılında gerçekleşen İklim Şûrası ve Yeşil Kalkınma Yolunda Türkiye istişaresinde ortaya çıkan sonuçlar, mevcut hedeflerin kapsamının genişletilmesini ve yol haritasının netleştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu hedefler güncellendikçe, gelecekteki enerji sistemi çerçevesinde esneklik, daha da merkezî bir öneme sahip olacaktır.

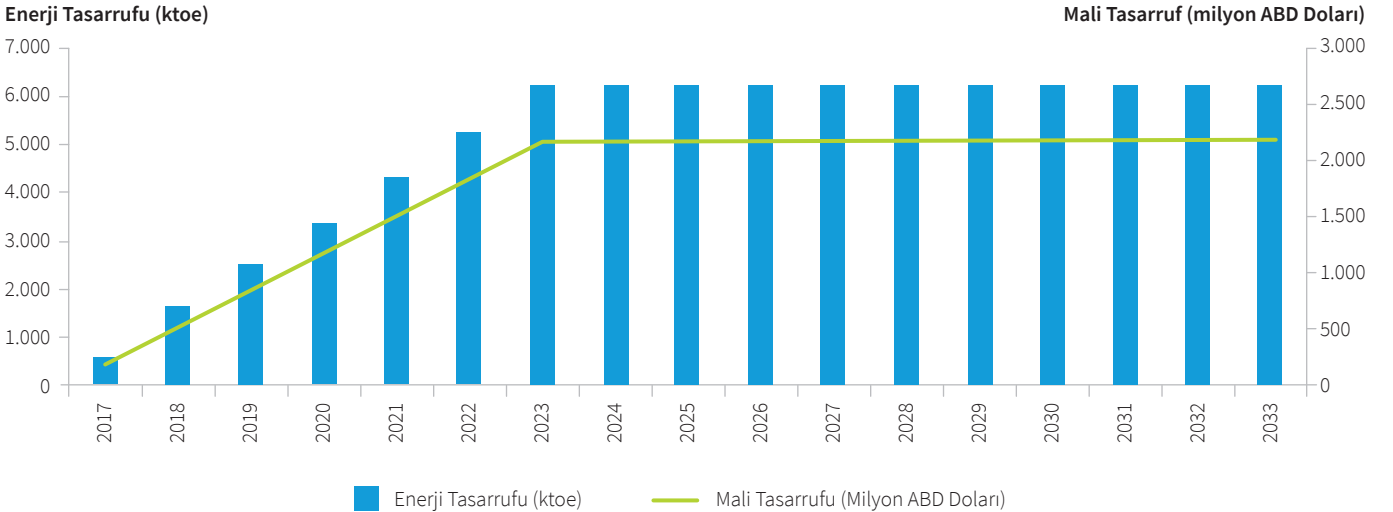
2.3. Enerji Verimliliği Hedefleri

Enerji dönüşümü için kritik bileşenlerden bir diğeri olan enerji verimliliği, genellikle dönüşüm için en az maliyetli seçeneklerden biri olarak görülmektedir. Enerji verimliliği, Türkiye'nin gelecekteki enerji dönüşüm planlarının kilit bileşenleri arasında yer almaktadır ve ülkenin enerji stratejileri arasında da dâhil edilmiştir. Enerji verimliliği ile ilgili mevzuat Türkiye'de 2007 yılında "Enerji Verimliliği Kanunu" olarak yürürlüğe girmiştir (SHURA, 2020a).

2010 yılında yayımlanan Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi (2010-2023) ve İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı (2011-2020), sera gazı emisyon azaltım planlarını içermiş ve enerji verimliliği bu amaca ulaşmak için bir politika aracı olarak sunulmuştur. 2012 yılında, enerji verimliliği açısından belirlenen amaçları, politika hedeflerini ve bu kapsamda alınacak önlemleri tanımlayan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, Resmî Gazete'de yayımlanmıştır (SHURA, 2020a). Bu strateji belgesine göre, Türkiye'nin, enerji ve elektrik yoğunluğunu 2023 yılına kadar 2011 yılına kıyasla %20 oranında azaltması planlanmıştır. On Birinci Kalkınma Planı'na (2019-2023) göre ise, Türkiye'nin enerji verimliliği konusundaki öncelikli hedefleri, sanayide enerji verimliliğinin artırılması, verimlilik yarışmaları düzenlenmesi, binalarda enerji verimliliğinin teşvik edilmesi ve yerli ev eşyalarında enerji verimliliğinin artırılmasıdır.

Son olarak ise Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023), 29 Aralık 2017 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanmıştır. Plan, 2033 yılı sonuna kadar toplam 86.369 ktoe enerji tasarrufu ve 30.226 milyon ABD Doları finansal tasarruf sağlamayı hedeflemektedir. Hedeflenen yıllık tasarruf miktarları Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu hedeflere ulaşmaya yönelik uygulanması planlanan çeşitli politika önlemleri ise eylem planında belirtilmektedir. Planda yer verilen 6 farklı kategori (binalar ve hizmetler, enerji, ulaşım, sanayi ve teknoloji, tarım ve sektörler arası) için toplam 55 farklı eylem belirlenmiştir.

Şekil 5: Enerji Verimliliği Eylem Planı Kapsamında Belirtilen Enerji ve Mali Kaynak Tasarrufları



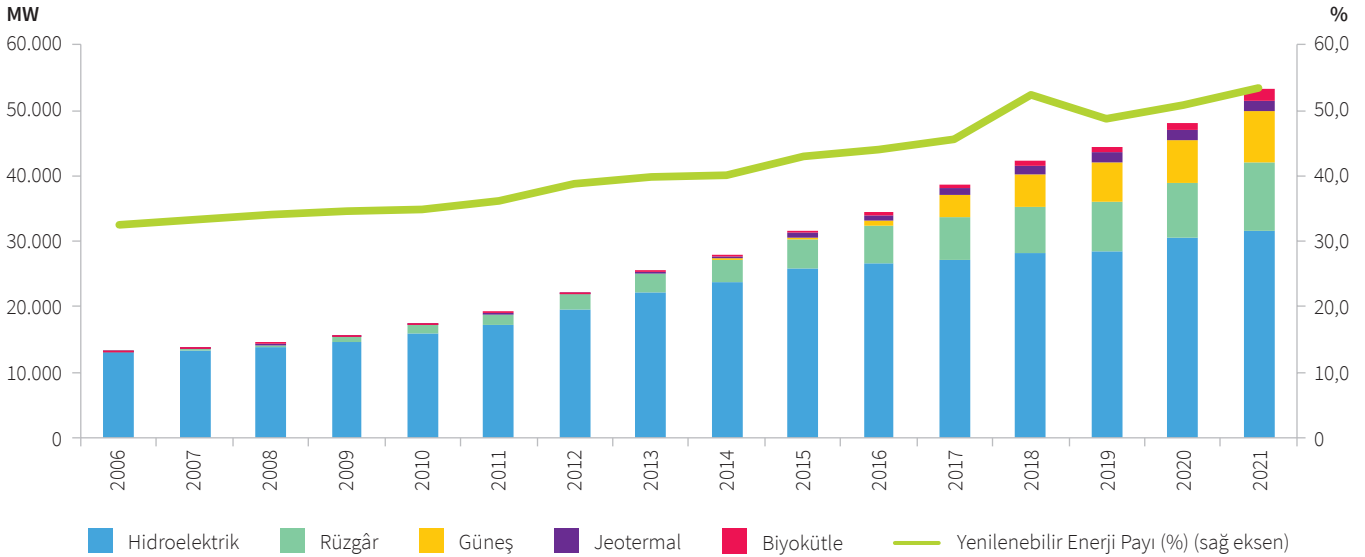
Plandaki enerji sektörü ile ilgili hedefler arasında elektrik üretimi, dağıtım ve iletiminde verimliliğin artırılması ile kayıpların ve zararlı emisyonların azaltılması yer almaktadır. Enerji sektörünün sürdürülebilirliğini ve verimliliğini artırmak için kojenerasyon, talep tarafı katılımı, akıllı sayaçlar ve ısıtmadan ve soğutmadan kaynaklanan pik yükün yönetimini içeren 10 eylem belirlenmiştir (ETKB, 2017). Belirlenen bu 10 eylem arasında yer alan elektrik araçlar ve ısı pompaları gibi teknolojilerin kullanımı ile

elektrik talebinin artması ve dağıtım düzeyindeki tüketicilerin talep tarafı katılımında daha aktif bir şekilde yer almaları beklenmektedir. Özellikle sayısı gittikçe artan elektrikli araçların doğru şekilde yönetilmesiyle, şarj yükünün puant zamana kaymasının önüne geçilebilecek ve böylece elektrikli araçlar sistem esnekliğini artırmada kullanılabilirlerdir. Farklı zamanlarda farklı fiyatlarla şarj imkânı sağlayan tarifeler (Time-of-Use) sayesinde hem yenilenebilir enerji üretiminin yoğun olduğu saatlerde araçlar şarj edilebilecek hem de araçların batarya kapasitesi dağıtım sistemi işletmecileri tarafından frekans kontrolü amacıyla kullanılabilir. Bu sayede yan hizmetlerde ve ulaşımda kullanılan geleneksel teknolojilerin yarattığı emisyon azaltılırken, sistem esnekliğine katkı sağlanabilecektir.

2.4. Yenilenebilir Enerji Politikaları ve Hedefleri

Önceki bölümlerde kısaca değinildiği üzere, yerli enerji kaynaklarının üretimdeki payının artırılması ve karbon emisyonlarının azaltılması, Türkiye enerji politikalarının iki önemli ayağını oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji, bu hedeflerin her ikisine de ulaşmak için anahtar konumdur. Bu amaçla, bu kaynaklara dayalı yatırımları teşvik etmek için son on yılda dövize (ABD Doları) dayalı bir alım garantisi sağlayan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM) uygulanmıştır. Şekil 6'da gösterildiği üzere YEKDEM'in devreye girmesinin ardından, yenilenebilir enerji santrallerinin kurulu gücünde önemli ölçüde artış meydana gelmiştir. Eski mekanizma yakın zamanda güncellenerek, yerini yeni bir TL/MWh bazlı mekanizmaya bırakmıştır. Türkiye, ayrıca, büyük ölçekli yenilenebilir enerji yatırımlarının yapılabilmesi için ihaleye dayalı bir yapıya sahip olan Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) modelini de uygulamaya almıştır.

Şekil 6: Türkiye Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücünün Yıllar İçerisindeki Gelişimi



Türkiye’de geçmişten günümüze belirlenmiş yenilenebilir enerji hedeflerinde farklılıklar gözlemlenmiştir:

- Aralık 2014’te yayımlanan ‘Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı’, ülkenin 2013-2023 yılları arasındaki yenilenebilir enerji kullanımı hedeflerini detaylandırmıştır (ETKB, 2014). Güneş enerjisi (5.000 MW), jeotermal (1.000 MW) ve biyokütle (1.000 MW) için plan kapsamında belirlenen 2023 kurulu güç hedefleri, 2021 yılında aşılmış; hidroelektrik (34.000 MW) ve rüzgâr enerjisi (20.000 MW) hedeflerine ise henüz ulaşılammıştır.
- Türkiye tarafından 30 Eylül 2015’te Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ne (BMİDÇS) sunulan INDC dâhilinde de güncellenmiş bir yenilenebilir enerji hedefi açıklanmıştır. Belge, ülkenin 2020 ve 2030 yılları arasında üstleneceği sera gazı azaltım taahhüdünü detaylandırmaktadır. Türkiye’nin INDC’de, 2030 yılına kadar güneş enerjisi kurulu gücünü 10 GW’a, rüzgâr enerjisi kurulu gücünü 16 GW’a çıkarma ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için ülkenin tüm hidroelektrik potansiyelinden yararlanma hedefleri bulunmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2016).
- Çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları için kurulu güç hedefleri, ETKB tarafından açıklanan “2019-2023 Stratejik Planı” (ETKB, 2020) kapsamında güncellenmiştir. Plan kapsamında altı çizilen hedefler, Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1: 2019-2023 Stratejik Planı’nda Belirlenmiş Yenilenebilir Enerji Hedefleri

Yıl	Hidroelektrik	Rüzgâr	Güneş	Jeotermal + Biyokütle
2019	29.748	7.633	5.750	2.678
2020	31.148	8.883	7.000	2,717
2021	31.688	9.633	7.750	2.772
2021 Yıl Sonu Gerçekleşen	31.487	10.607	7.813	3.310
2022	31.688	10.633	8.500	2.828
2023	32.037	11.883	10.000	2.884

- En güncel yenilenebilir enerji hedefleri, 2021’de (Ticaret Bakanlığı, 2021) açıklanan Yeşil Mutabakat Eylem Planı kapsamında yer almaktadır. Plana göre, 2027 sonuna kadar her yıl için 1.000 MW’lık rüzgâr ve güneş enerjileri kurulu gücü devreye alınması planlanmaktadır.

Hedeflenen iklim değişikliği azaltımı için mevcut durumda uygulanan planların ve belirlenmiş hedeflerin güncellenmesi gerekmektedir. Enerji politikası kapsamında belirlenmiş mevcut yenilenebilir enerji hedefleri, sistem esnekliği de düşünülerek gözden geçirilmeli, hatta yeniden belirlenmelidir.

2.5. Mevcut Yenilenebilir Enerji Politika Çerçevesine Genel Bakış

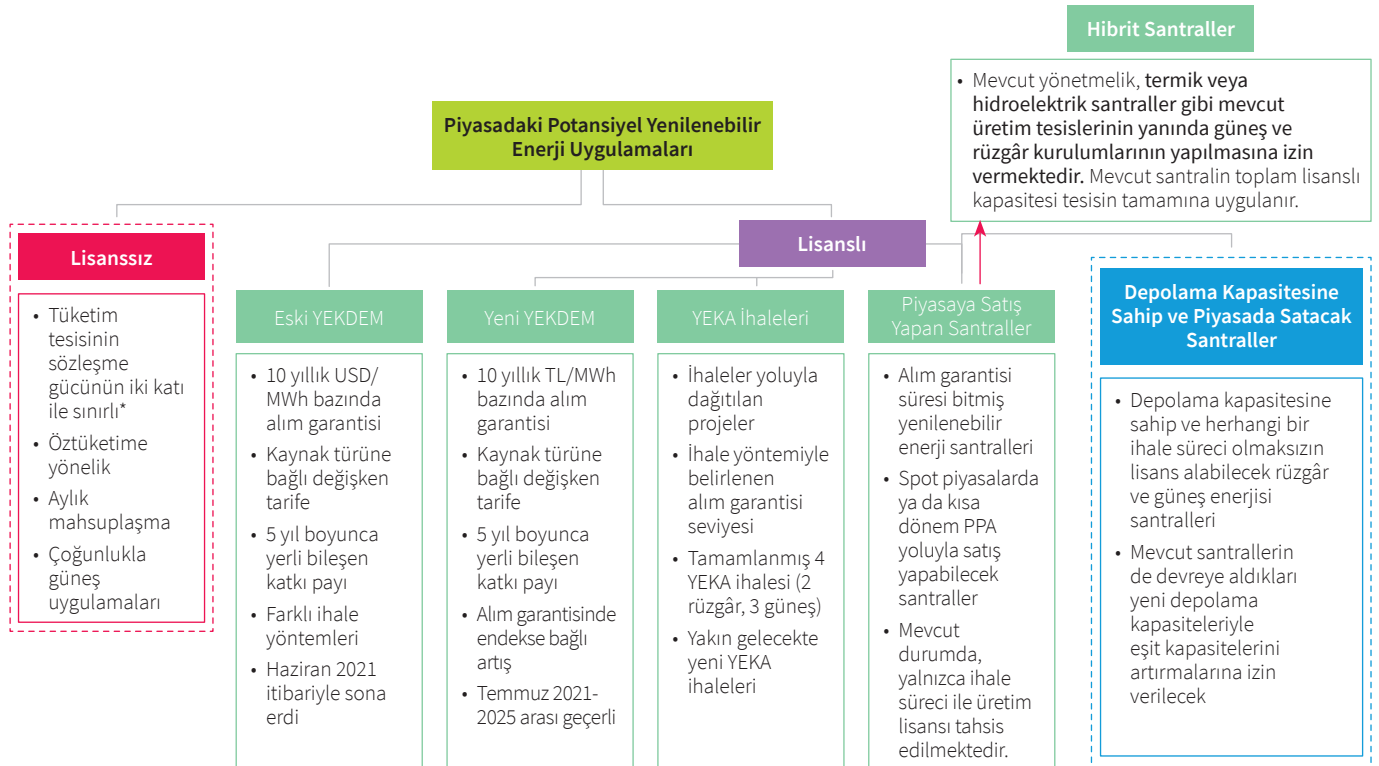
Mevcut yapıya göre Türkiye’deki potansiyel yenilenebilir enerji yatırımları lisanssız ve lisanslı projeler olarak sınıflandırılabilir. Lisanssız santraller, nispeten düşük kurulu güce sahip olan, esas olarak öz tüketime yönelik ve görece kolay devreye alma süreci olan uygulamalardır. Lisanslı kurulumlar ise YEKDEM ve YEKA projeleri altında sınıflandırılabilir. YEKDEM, ilk olarak 2005 yılında uygulamaya konulmuş, 2011 yılında

da güncellenmiştir. Mekanizma, 2021 yılının ilk yarısına kadar devreye giren santraller için döviz cinsinden uygulanmıştır. 2021 yılının ikinci yarısından itibaren devreye giren santraller için ise döviz bazlı alım garantisi yerine Türk Lirası (TL) bazlı alım garantisi uygulanmaya başlanmıştır. TL bazında belirlenen yeni YEKDEM kapsamında, özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi yatırımları için ne kadar kapasite tahsis edileceği ve ihale yapısının nasıl olacağı henüz belirsizliğini korumaktadır.

Diğer yandan, 10 Ekim 2016 tarihinde Resmî Gazete’de yayımlanan YEKA yönetmeliği, rüzgâr ve güneş enerjisi santral yatırımları için alternatif bir kanal açmıştır. Bu kapsamdaki projeler, bir ihale süreci ile tahsis edilmekte ve destek düzeyi her ihalenin sonucunda belirlenmektedir. Son olarak, YEKDEM veya YEKA uygulamaları kapsamında satın alım garanti süreleri sona eren yenilenebilir enerji santrallerinin ise üretimlerini toptan piyasada satmasına izin verilmektedir. Bununla birlikte, güneş ve rüzgâr enerjilerine yönelik projelerin, YEKDEM veya YEKA modelleri kapsamında ihaleye katılmaksızın yalnızca serbest piyasada rekabete dönük olarak işletmeye girmeleri, mevcut koşullar altında mümkün görünmemektedir.

Ancak 5 Temmuz 2022 tarihli Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren son düzenleme ile yatırımcılar herhangi bir ön lisans yarışmasına girmeksizin kuracakları depolama kapasitesi kadar Rüzgâr Enerjisi Santrali (RES) ve Güneş Enerjisi Santrali (GES) kurulumu yaparak piyasada faaliyet gösterebileceklerdir⁴. Aynı zamanda mevcut yenilenebilir enerji santrallerine ek olarak kuracakları depolama kapasitesi kadar kurulu güç artışına da gidilebilecektir. Bu sayede piyasa şartlarında rekabet edebilecek olan yenilenebilir enerji projelerinin, depolama ünitesine bütünlük olarak sisteme girmesinin önü açılmıştır. Piyasada uygulanmakta olan yenilenebilir enerji yatırım seçenekleri Şekil 7’de toplu olarak gösterilmektedir.

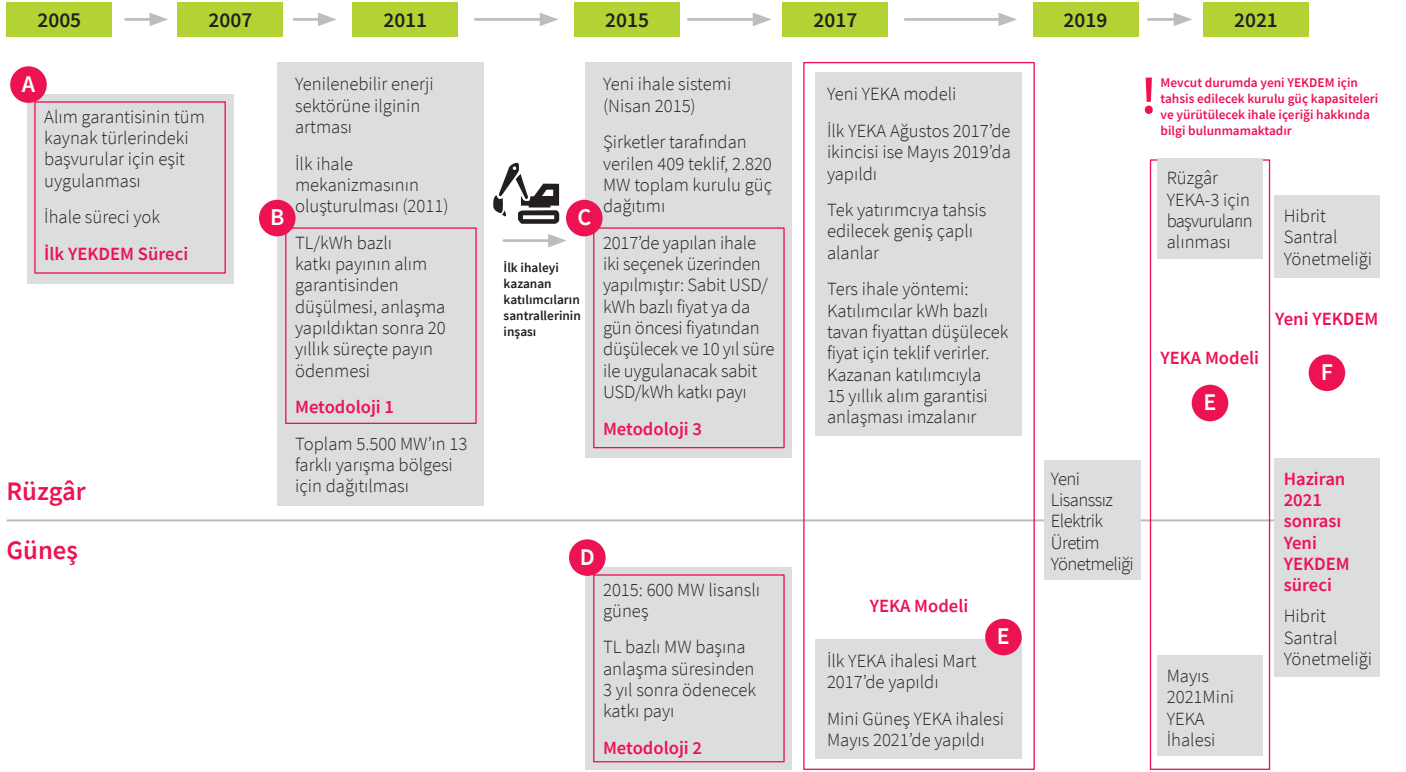
Şekil 7: Yenilenebilir Enerji Yatırım Seçenekleri



⁴ Resmî Gazete No: 31887, 5 Temmuz 2022

Rüzgâr ve güneş enerjisi yatırım projeleri için değişen yatırım ortamının bir özeti Şekil 8'de verilmiştir. Günümüze kadar lisanslı yatırımlar için kullanılmış olan farklı metodolojiler, A'dan F'ye kadar harflerle gösterilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi, lisanslı yatırımlar için iki ana yol YEKDEM ve YEKA uygulamaları olmuştur; ancak YEKDEM uygulamaları arasında farklı dönemler için önemli değişiklikler bulunmaktadır. Özellikle güneş enerjisi için ise lisanssız uygulamalar da büyük önem taşımaktadır. 2021'de yapılan yönetmelik değişikliğinden sonra ise hem rüzgâr hem güneş enerjisi tarafında daha fazla hibrit kurulum beklenmektedir.

Şekil 8: Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Gelişimi Özet Tablosu



2.6. Elektrik Sisteminde Esneklik Seçenekleri

2.6.1. Enerji Depolama

Enerji depolama sistemleri, enerji sistemlerinde esnekliği artırmada önemli rol oynama potansiyeline sahiptir. Enerji depolama teknolojilerinin Türkiye enerji piyasasında farklı potansiyel uygulama alanları bulunmaktadır.

Frekans Düzenlemesi: Piyasada frekans düzenlemesi hâlihazırda TEİAŞ tarafından işletilen Yan Hizmetler ve Dengeleme Güç Piyasaları üzerinden yürütülmektedir. Günlük primer ve sekonder frekans kontrol ihaleleri TEİAŞ tarafından fiili rezerv kapasite yükümlülüğünden iki gün önce yapılmaktadır. Doğal gaz ve barajlı hidroelektrik santralleri, mevcut koşullar altında YHP'nin ana katılımcılarıdır. Batarya kurulumu, pompaj depolamalı hidroelektrik gibi depolama seçenekleri de potansiyel olarak piyasada önemli bir rol oynayabilir ve YHP'de maliyetlerin düşürülmesine yardımcı olabilir.

Bölgesel Kısıtların Yönetimi: Elektrik depolama seçenekleri, Türkiye iletim şebekesinin bölgesel kısıt yönetiminde karşılaştığı temel sorunlardan birini de

hafifletme potansiyeline sahiptir. Elektrik iletim sisteminde görülebilen bölgesel tıkanıklıklar, Kuzeybatı Marmara bölgesindeki talebin fazlalığı, hidroelektrik kapasitesinin büyük bölümünün, talebin nispeten düşük olduğu Doğu bölgelerinde bulunması ve rüzgâr enerjisi kapasitesinin Batı Anadolu bölgesinde yoğunlaşması gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadır. Mevcut durumda tıkanıklık sorunları piyasada faaliyet gösteren dengeleme birimlerine verilen yük al (YAL) veya yük at (YAT) talimatları ile DGP tarafından yönetilmekte ve bu da sistem işletmecisi TEİAŞ için ekstra bir maliyet yaratmaktadır. Elektrik depolama teknolojilerinin maliyetlerinde görülmeye başlanan düşümlere de bağlı olarak bu yatırımlar farklı bölgelerdeki elektrik arzını düzenlemede daha uygun maliyetli seçeneklere dönüştürülebilir.

Arbitraj: Arbitraj amaçlı elektrik depolama kurulumları, bir gün içinde gözlemlenen toptan elektrik fiyatlarındaki saatlik değişimlerden yararlanma potansiyeline sahiptir. Depolama sistemleri, elektriği düşük fiyatlı 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. Yıllar içinde üretimdeki değişken enerji kaynaklarının payı arttıkça, günlük fiyat profilinde gözlemlenen değişkenliğin de artması beklenebilir ve bu da, toptan satış piyasalarında arbitraj amaçlı yapılacak depolama yatırımlarının çekiciliğini artıracaktır.

Batarya depolama sistemleri ve pompaj depolamalı hidroelektrik santraller, mevcut durumda enerji depolaması için nispeten yaygın olarak kullanılmaya başlanan iki seçenek olsa da bu alanda pek çok teknoloji seçeneği bulunmaktadır. Farklı teknolojilerde yaşanacak maliyet düşüşlerinin ve verimlilik artışlarının sonucunda başta yeşil hidrojen olmak üzere farklı enerji depolama seçeneklerinin önümüzdeki dönemde önem kazanması olası gözükmektedir.

2.6.1.1. Batarya Enerji Depolama Sistemleri

Değişken elektrik üretim kaynaklarının artan payı ve gündün güne düşen batarya maliyetleri sonucunda son yıllarda batarya depolama uygulamaları Türkiye’de daha fazla ilgi görmektedir. Bu ilgiye karşılık olarak EPDK tarafından Mayıs 2021 tarihinde Elektrik Depolama Yönetmeliği nihai şekliyle yayımlanmıştır. İlk kez Ocak 2019’da taslak olarak yayımlanan yönetmelik, piyasada batarya depolama sistemlerinin kullanılmasına ilişkin bir kurallar çerçevesini ortaya koymaktadır⁵. Bu yönetmelik, piyasa katılımcılarının üretim ve tüketim tesisleri için elektrik depolama tesislerinin kurulmasına zemin hazırlayacaktır. Yeni yönetmelik kapsamında, olası batarya depolama uygulamaları türleri de tanımlanmıştır:

1) Üretim Tesisine Bütünleşik Depolama Tesisi:

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

2) Tüketim Tesisine Bütünleşik Depolama Tesisi:

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

⁵ Resmî Gazete No: 31479, 9 Mayıs 2021

3) Müstakil Depolama Tesisi:

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

4) Şebeke İşletmecileri Tarafından Kurulan Depolama Tesisi:

- Dağıtım Sistemi Operatörleri'nin (DSO), depolama yatırımlarının şebeke yatırımlarından daha az maliyetli olduğunu göstermeleri koşuluyla, depolama tesislerini devreye almalarına izin verilmektedir.
- İletim Sistemi Operatörü'nün (TSO), ticari faaliyetlerde bulunmasına izin verilmeyen pilot projeler olarak depolama tesislerini işletmeye almasına izin verilmektedir.

Depolama üniteleri, mevcut düzenleme dâhilinde spot piyasalara satış yapabilmektedir. Ancak mevcut mevzuat kapsamında, şebekeden çekilip depolanan ve sonrasında tekrar şebekeye satılan elektrik enerjisi, ilgili üretim biriminin yararlandığı sabit alım garantileri kapsamında değerlendirilmemektedir. Yukarıda bahsedildiği üzere, 5 Temmuz 2022 tarihli yönetmelik değişikliği ile devreye giren ya da kapasite artıran santraller bu hükmün dışında tutulmuştur.

Türkiye'de henüz önemli kapasitede bir batarya depolama uygulaması bulunmamakla birlikte, bu durumun yakın gelecekte değişeceği değerlendirilmektedir. Türkiye'de ayrıca batarya teknolojilerinin maliyetini düşürme konusunda olumlu gelişmeler yaşanmaktadır. Kayseri'de 2 Ekim 2020 tarihinde bir lityum-iyon pil üretim tesisinin inşaatına başlanmıştır (Anadolu Ajansı, 2020). Batarya Depolama Yönetmeliği'nin yürürlüğe girmesinin ardından, 2022'nin başlarında bağımsız bir batarya kurulumu için ilk büyük ölçekli lityum-iyon depolama tesisi başvurusu da yapılmıştır. Batarya depolama projesinin, tamamlandığında, 250 MW'a kadar işletme gücüne ve 1 GWh kapasiteye sahip olması beklenmektedir. Yaklaşık 250 milyon ABD Doları'na mal olacak projenin İstanbul Silivri'de inşa edileceği belirtilmiştir (Balkan Green Energy News, 2022). İki örnekte de kullanılan lityum-iyon bataryalar en yüksek enerji yoğunluğuna sahip batarya teknolojileri arasında yer almaktadır. Ayrıca elektrik donanım desteğiyle kontrol altında tutulmaları sebebiyle güvenli olarak kabul edilmektedirler (SHURA, 2019b). Bahsedilen elektrokimyasal enerji depolama teknolojisine örnek lityum-iyon bataryalara ek olarak, kimyasal, mekanik ve termal enerji depolama teknolojileri de mevcuttur.

Çoğunlukla batarya olarak tanımlanan elektrokimyasal enerji depolama teknolojileri, elektrik ve kimyasal enerjii karşılıklı olarak birbirine dönüştürmektedir. Elektrokimyasal enerji depolama teknolojileri arasında, Teknoloji Hazırlık Seviyesi (Technology Readiness Level) 6 ve üzerinde olan veya gelecek için umut vadeden üç temel sistem mevcuttur. Bunlar lityum-iyon bataryalar, akışkan bataryalar ve metal-hava pilleridir (MIT, 2022). Bahsedilen teknolojiler, termal ve mekanik depolama teknolojilerine kıyasla daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler ve birim alanda diğer teknolojilere kıyasla daha yüksek enerji sağlayabilmektedirler. Bu tarz bataryalar özellikle küçük ölçekli uygulamalarda ekonomik avantajlara sahiptirler.

2.6.1.2. Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santralleri

Pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri, enerjinin depolamasında bir başka seçenek sunmaktadır. Bu santraller, talebin ve elektrik fiyatlarının düşük olduğu saatlerde, alt rezervuarlardaki suyun daha yüksekte yer alan rezervuarlara pompalandığı ve üst rezervuarlara pompalanan suyun ise talebin ve elektrik fiyatlarının yüksek olduğu saatlerde elektrik üretim amacıyla kullanıldığı, basit bir prensiple çalışmaktadır. Bu şekilde gün içerisinde depolama yapma kabiliyetine sahip olan 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 kurulması hedeflenen çeşitli projeler bulunmaktadır. EÜAŞ’ın Türkiye’de pompaj depolamalı hidroelektrik santrali geliştirmeye uygun 7 farklı baraj belirlediği ve bu projeleri yakın gelecekte gerçekleştirmeyi hedeflediği açıklanmıştır (Dünya Gazetesi, 2021). Yüksek sermaye maliyetleri ve mevcut finansman eksikliği gibi çeşitli zorluklar nedeniyle henüz çok fazla ilerleme sağlanamamış olmasına karşın enerji sisteminin artan esneklik ihtiyaçları dolayısıyla EÜAŞ’ın katılımıyla birlikte bu konuda hızlı gelişmeler yaşanması beklentiler dâhilindedir.

2.6.2. Enerjinin Form Değiştirmesini (Power to X) Sağlayan Teknolojiler

Elektrikten gaza ya da ısıya dönüşüm teknolojileri, sonradan farklı bir amaç için kullanılabilecek gaz ya da ısı üretmek için bir başka birincil enerji kaynağının kullanıldığı teknolojilerdir. Bu yöntem elektriğin başka bir formda depolanabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yolla değişken yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen artık üretim depolanabilir ve arz/talep dengesinin korunabilmesi için yenilenebilir enerjinin üretiminde kesintiye gidilmeksizin sistem esnekliğinin artırılması sağlanabilir. Elektrik, bu yöntem vasıtasıyla temel olarak hidrojene ya da ısı enerjisine çevrilebilmektedir (IRENA, 2019a).

Elektriğin çoğunlukla hidrojene ya da sentetik yakıtlara dönüştürülerek daha sonra kullanılmak üzere depolanabilmesi, endüstriyel kullanımlar ve doğal gaz şebekesine enjeksiyon da dâhil olmak üzere farklı şekillerde değerlendirilebilir. Başka bir ifadeyle, elektrikten hidrojen üretilmesi, üretilen hidrojenin depolanması ve daha sonra kullanılması, elektrik sistemi esnekliğini artırabilecektir. Bu sayede yenilenebilir enerji üretiminin sistemde fazla olduğu durumlarda, üretimde kesintiye (curtailment) gidilmeden, aynı zamanda sistemin dengesini bozmadan, yeşil hidrojen üretimi yapılabilecektir. Önümüzdeki yıllarda Türkiye enerji sisteminde yeşil hidrojenin yoğun olarak kullanılması beklenmektedir.

Yeşil hidrojen, güneş enerjisi elektrik üretimin yüksek olduğu öğle saatlerinde üretilir. Böylece bu santrallerin üretimlerinde kesintiye gidilmesi engellenmiş olur. Güneş enerjisi üretimin mevsimsel olarak daha düşük olduğu kış aylarında, daha önce depolanan yeşil hidrojenin tekrar elektrik üretilmesi mümkün olabilir. Bir başka deyişle, yeşil hidrojen mevsimsel enerji depolama işlevi görecektir ve böylelikle, değişken üretimin elektrik sistemi üzerindeki olası olumsuz etkilerinin sınırlandırılması ve yenilenebilir enerji üretim kesintilerinin engellenmesi sağlanabilecektir. Elektrolizörler aynı zamanda hızlı bir şekilde yük alma (YAL) ya da yük atma (YAT) özelliğine sahip olup, nispeten düşük bir maliyetle enerji dengeleme piyasasında hizmet verebilirler (IRENA, 2019a).

SHURA'nın 2021 yılında yayınladığı çalışmada, güneş ve rüzgâr enerjisi aracılığıyla yeşil hidrojen üretim maliyetinin (SHURA, 2021c) 2050 yılında kilogram başına ortalama 1,5 ABD Doları civarına kadar düşeceği öngörülmektedir.

Türkiye hidrojen alanında geçtiğimiz dönemde başlangıç aşaması olarak nitelendirilebilecek bazı adımlar atmıştır. Hidrojen enerjisinden resmî kaynaklarda ilk olarak 2 Mayıs 2007 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanan "Enerji Verimliliği Kanunu"nda bahsedilmiş ve bu belgede hidrojen, biyoyakıt ile birlikte kullanımı özendirilmesi gereken alternatif bir yakıt olarak belirtilmiştir⁶. Ayrıca, 2011 yılında hidrojen yakıtlı araçlara ilişkin bir yönetmelik çıkarılmış, hidrojen yakıtıyla çalışan araçların "tip onayına" yönelik düzenleme yapılmış ve bu teknolojiye sahip araçlar ile ilgili bir ön hazırlık gerçekleştirilmiştir (Resmî Gazete, 2011). Türkiye, 2010'lu yılların başında İstanbul'da UNIDO (Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü) öncülüğünde kurulan Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi'ni (ICHET) destekleyerek hidrojen alanında Ar-Ge çalışmalarını artırmaya çalışmıştır. Bu kapsamda, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (ETKB) da desteği ile 2011 yılında "Bozcaada Hidrojen Adası Projesi" hayata geçirilmiş ve 7 Ekim 2011 tarihinde devreye giren proje ile bölgedeki kaymakamlık binası ve sağlık ocağının elektrik ihtiyacı üretilen hidrojen ile karşılanmıştır. Buna karşın, projenin geliştirilmesine devam edilmemiştir (UNIDO-ICHET, 2011).

Bu çalışmaların ardından uzun bir süre sonra hidrojen ilk kez 15 Ocak 2020 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (ETKB) düzenlemiş olduğu bir başlangıç toplantısı (Hidrojen Arama Konferansı) ile gündeme gelmiş ve bu alanda kamuoyundan görüş alma dönemi başlatılmıştır. Toplantıda, 2021 yılına kadar Türkiye'nin dağıtım şebekesinde, hidrojenin doğal gazla karıştırılmasının test edileceği açıklanmıştır (EPDK, 2020).

Piyasada hidrojen teknolojilerini ilgilendiren temel gelişmelerin bir özetine Şekil 9'da yer verilmiştir. Konu hakkında daha detaylı bilgi sahibi olmak için, önceki SHURA çalışmaları da incelenebilir (SHURA, 2021a, 2021c).

Şekil 9: Türkiye'de Elektrikten Yeşil Hidrojen ve Sıvı/Gaz Sentetik Yakıt Üretimine İlişkin Temel Gelişmeler



⁶ Resmî Gazete No:26510, 2 Mayıs 2007

Elektrikten ısıya geçiş sistemleri ise, artık olan elektrik gücünün büyük elektrik kazanları ya da ısı pompaları aracılığıyla ısı enerjisi şeklinde depolanmasına olanak sağlamaktadır. Bu sistemler, merkezî ya da merkezî olmayan sistemler olarak kurgulanabilir. Üretilen ısı ise binalarda kullanılabilir ve yenilenebilir enerji kesintisi ihtiyacını gidermek için “peak shaving” ya da yükün kaydırılması gibi farklı esneklik olanaklarını mümkün kılabilir. Elektrikten gazla geçiş sistemlerine benzer şekilde yüksek yenilenebilir enerji üretimi olan saatlerde, talep fazlası enerji depolanabilir ve enerji sisteminin yenilenebilir enerjiye ihtiyaç duyduğu saatlerde durdurulabilir. Elektrikten ısıya geçiş sistemlerinin günler, haftalar ya da aylar gibi çeşitli uzunluktaki dönemler için de depolama imkânı sunması, önemli bir avantajdır (IRENA, 2019a). Bu özellikle Türkiye gibi farklı mevsimlerde değişken ısınma ihtiyacı duyulan bölgeler için çok yararlı bir özelliktir. Bu nedenle elektrikten ısıya geçiş sistemleri de gerekli düzenlemeler ve politikalar uygulandığı takdirde Türkiye için önemli bir esneklik seçeneği olacaktır.

2.6.3. Talep Tarafı Katılımı

Talep tarafı katılımı, elektrik talebinin piyasada oluşan fiyat sinyallerine göre hareket etmesini sağlayarak, elektrik sisteminde arz ve talebin dengelenmesine katkı sağlayan uygulamalar olarak tanımlanabilir.

Talep tarafı katılımı, yüksek ilk yatırım ve işletim maliyeti gerektirmemesi sebebiyle sistem esnekliğinin artırılması açısından özellikle son yıllarda en çok araştırılan seçeneklerden olmuştur. Bu alanda yapılacak yatırımları; akıllı sayaçlar, sensörler, kontrol sistemleri gibi teknik altyapı ekipmanlarının kurulumu ve işletimi oluşturmaktadır. Bu yatırımlar şebeke operatörü, tedarikçi, talep toplayıcı ve tüketici arasındaki iletişimin dijitalleşmesini sağlayacak olup, talebin belirli zamanlara kaydırılması ya da düşürülmesi yoluyla arz güvenliğinin sağlanmasında önemli katkı sunmaktadırlar.

Demir-çelik ve çimento sanayisi gibi elektrik ihtiyaçları yüksek olan sektörler, yüklerin kontrol edilebilmesi ve kolay kaydırılabilmesi sebebiyle talep tarafı katılımında öncü olabilirler. Endüstriyel elektrik talebi, Türkiye’deki toplam elektrik talebinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. 2020 yılında sanayi sektörü, Türkiye’deki toplam elektrik talebinin %42’sinden fazlasını oluşturmuştur (EPDK, 2020). Sonuç olarak, ülkedeki talep tarafı katılımı potansiyelinin önemli bir kısmının büyük endüstriyel tüketicilerin faaliyetlerinde toplandığı görülmektedir.

Talep tarafı katılımı uygulamalarının kullanılması, birçok resmî strateji belgesinde Türkiye enerji piyasası için önemli politika hedeflerinden biri olarak vurgulanmaktadır. 2017 yılında yayımlanan “I. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı”, enerji sisteminde kullanılacak politika araçlarından biri olarak talep tarafı katılımından bahsedilen ilk planlardan biridir (ETKB, 2017). Dokümanda Türkiye’nin enerji verimliliği hedeflerine ulaşabilmek için talep tarafının da bulunduğu yasal bir çerçeve oluşturması gerektiği belirtilmiştir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan “2019-2023 Stratejik Planı” kapsamında da bu konuya vurgu yapılmıştır (ETKB, 2019). Belgeye göre talep yönlü katılım için yasal altyapının oluşturulmasının gerekliliğinden bahsedilmiştir. Ayrıca, talep tarafı katılımı, “11. Kalkınma Planı 2019-2023” ve “2020 Yıllık Cumhurbaşkanlığı Programı” içeriklerinde de bir politika hedefi olarak yer almıştır (T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019).

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) ve Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneği (Elder) tarafından hazırlanan “Türkiye Akıllı Şebeke 2023 Vizyon ve Strateji Yol Haritası”, Türkiye’de talep tarafı katılımı uygulamalarının kullanımına yönelik bir diğer plan olarak ortaya çıkmaktadır. Belgede, Türkiye’de 2025 yılına kadar dağıtık üretim için gelişmiş ölçüm altyapısının kurulması ve 2035 yılına kadar nihai kullanıcıların %80’inin akıllı sayaçlara erişiminin sağlanması gibi hedefler koyulmuştur. Aynı belgeye göre, 2035 yılına kadar %40 oranında piyasa katılımı ile 10 GW düzeyinde talep tarafı katılımı beklenmektedir (EPDK & Elder, 2018). Talep tarafı katılımı, yaygınlaştırılmasına yönelik yukarıda belirtilen planlara rağmen, hâlihazırda yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Talep tarafı katılımı, elektrik tarifeleri yoluyla da gerçekleştirilebilir. Tüketicilerin, fiyat sinyallerine göre tüketimlerini gönüllü olarak farklı zamanlara kaydırması sağlanabilir. Mevcut durumda, düzenlemeye tabi elektrik tarifelerinde çok zamanlı tarife uygulaması bulunsa da, bu uygulama etkin ve yaygın şekilde kullanılmamaktadır.

Anlık talep kontrolü, Eylül 2020’de taslağı yayımlanan Yan Hizmetler Yönetmeliği’nde tanımlanan yan hizmetlerden biridir. Taslak belge, 9 Kasım 2020’ye kadar kamuoyunun görüşlerine açık bırakılmış ve 27 Ocak 2021’de nihai şeklini alarak yayımlanmıştır⁷. Bununla birlikte anlık talep kontrolü henüz piyasada aktif olarak uygulanmamaktadır.

Düzenlemeye göre TEİAŞ, belirlenen süreler için arz-talep eğrisi sistemiyle çalışan ihaleler açmakta ve katılımcılar bu dönemler için TL/MW bazında teklifler vermektedir. Bu ihalelere yalnızca, sisteme iletim şebekesi üzerinden bağlı olan ve yıllık tüketimi 10.000.000 kWh’in üzerinde olan tüketiciler katılabilmekte ve bu katılımcıların da piyasada 1 MW ve çarpanları için teklif vermelerine izin verilmektedir. Minimum teklif tutarı 0 TL/MW olarak belirtilmiştir ve ödemeler katılımcılara aylık olarak fatura edilmektedir. 2020 yılı için yapılan çalışmaya göre talep kontrol piyasasının mevcut şartları altında 1.734 MW’ı demir-çelik sektöründen, 1.495 MW’ı çimento sektöründen ve 902 MW’ı da diğer endüstriyel sektörlerden tüketiciler kaynaklı toplam 4.131 MW seviyesinde bir talep potansiyeli bulunmaktadır (Sağlam, M.A., 2020).

17 Aralık 2021 tarihinde TEİAŞ tarafından 31 Aralık 2021’de yapılması planlanan talep tarafı katılımı ihalesinin duyurusu yapılmıştır. Ancak 31 Aralık 2021 tarihinde belirlenen zaman dilimi içinde ihaleye başvuru olmamış, 3 Ocak 2022 ile 10 Ocak 2022 dönemlerine ilişkin düzenlenen ihale iptal edilmiştir. Aynı şekilde, 14 Ocak 2022 tarihinde yapılan duyuru ile 17 Ocak 2022’de talep tarafı yedeği başvurularının alınacağı belirtilmiş ve hizmet döneminin 18 Ocak ile 28 Ocak 2022 olacağı duyurulmuştur. Ancak yeterli rezerv kapasitesine ulaşılmamasının ardından bahsedilen tedarik süreci de iptal edilmiştir. Son olarak, TEİAŞ tarafından 19 Temmuz 2022 tarihinde 27 Temmuz ile 12 Ağustos 2022 dönemi için bir talep tarafı katılımı ihalesi daha açılacağına dair duyuru yayımlanmıştır. 22 Temmuz 2022 tarihinde alınan başvurular sonrasında yeterli kapasite oluşmadığı gerekçesiyle bu ihale de iptal edilmiştir.

Kesintili yük programı ise, sistem işletmecisinin büyük sanayi tesislerine belli yoğunluk zamanlarında tüketimlerini azaltma talimatı verebildiği bir mekanizmadır. Bu mekanizmada tüketicinin doğrudan iletim şebekesine bağlı olması gerekmektedir. Elektrik talebi 15 dakikalık aralıklarla azaltılmaktadır ve mekanizmaya katılım için asgari teklif büyüklüğü 1 MW olarak belirlenmiştir (SHURA, 2022c).

⁷ Resmî Gazete No: 31377, 27 Ocak 2021

Türkiye'deki talep tarafı katılımının mevcut durumu Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2: Talep Tarafı Katılımının Mevcut Durumu

Piyasa	Hizmet Türü	Talep Tarafı Tepkisi	Talep Tarafından Doğrudan Katılım	Talep Toplayıcı (Aggregator)
Yan Hizmetler	Primer Frekans Kontrolü	Hayır	Hayır	Hayır
	Sekonder Frekans Kontrolü	Hayır	Hayır	Hayır
	Anlık Talep Kontrolü	Evet	Evet	Hayır
Dengeleme Güç	Enerji	Evet	Hayır	Hayır
Gün Öncesi	Enerji	Evet	Hayır	Hayır
Gün İçi	Enerji	Evet	Hayır	Hayır

SHURA tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada, fayda/maliyet açısından talep tarafı katılımı optimum esneklik artırma yöntemi olarak dikkat çekmiştir (SHURA, 2019a). Talep tarafı katılımının etkinleştirilmesinde, 6 maddelik bir uygulama planı aracılığıyla önerilerin sıralandığı SHURA çalışması ayrıca incelenebilir (SHURA, 2022c).

2.6.4. Elektrikli Araçların Akıllı Şarjı ve Şebeke Etkileşimleri

İklim değişimiyle mücadele kapsamında karbonsuzlaşma stratejileri ile dünya genelinde elektrifikasyona geçiş hız kazanmıştır. Bu kapsamda elektrikli araçların yaygınlaşması en temel stratejilerin başında gelmektedir. Türkiye'nin yerli araç projesi TOGG'un sağladığı beklentiler de elektrikli araçlara olan ilgiyi daha da artırmıştır. Kişi başına otomobil sahiplik oranlarının iyileşmesi, kentleşme, sanayileşmenin yaygınlaşması ve tüm bunlarla birlikte toplumda artan çevre bilinci ile birlikte ilerleyen yıllarda elektrikli araç sayısında ciddi artışlar beklenmektedir. Ayrıca sera gazı emisyonu salımı bakımından elektrik üretiminden sonra ikinci sırada gelen kara yolu ulaşımının karbonsuzlaşması, 2053 yılı net sıfır hedeflerine ulaşılmasında kritik bir rol oynayacaktır.

Elektrikli araçlar, aynı zamanda elektrik sistemi esnekliğini artırmak için de önem taşımaktadır. Elektrikli araçların şarj zamanları ve süreleri, gün içindeki saatlik elektrik yük profilleri üzerinde mühim bir etkiye sahip olacaktır. Bu talebin birleştirilerek kümelenmesi, daha ucuz yan hizmet arzı sağlanması ve yükün yoğun saatlerden yoğun olmayan saatlere doğru kaydırılması anlamına gelecektir (Rauma ve diğerleri, 2021). Elektrikli mobilite için politika çerçevesi tasarlanırken bu potansiyel faydalar da dikkate alınmalıdır.

2021 yılı Kasım ayı itibarıyla Türkiye'de mevcut şarj soketi sayısı 3.036, elektrikli araç sayısı ise 6.000'in üzerindedir (Anadolu Ajansı, 2021a). EPDK'nın 2023 yılı için yaptığı tahminde elektrikli araç sayısının 75.000'i, soket sayısının ise 12.500'ü geçmesi beklenmektedir (Anadolu Ajansı, 2021a). Bu kapsamda, 25 Haziran 2018 tarihinde temelleri atılan ve 27 Aralık 2019 tarihinde tanıtılan millî otomobil projesi TOGG'un, 2022 yılının son çeyreğinde satışa hazır hale getirilmesi planlanmaktadır (Anadolu Ajansı, 2021b). Bu beklentinin de etkisiyle elektrikli araç sayısındaki artışın hızlanacağı

tahmin edilmektedir. Şirket tarafından yapılan açıklamalara göre TOGG'un 5 farklı modeli olacaktır. 30 dakikanın altında hızlı şarj ile pil kapasitesinin %80'ini dolduran araç, 300 ve 500 kilometre menzil seçenekleri ile piyasaya sürülecektir. TOGG'un batarya için çalışacağı iş ortağı ise Farasis Enerji olacaktır (Anadolu Ajansı, 2021b). T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın 2030 yılı için öngörüsü, elektrikli araç sayısının 1 milyon 600 bini geçeceği yönündedir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022).

İleriye dönük elektrikli araç büyüme projeksiyonları ve Türkiye özelindeki olumlu beklentiler, elektrikli araçları ve şarj altyapısını ilgilendiren mevzuatın tamamlanmasını gerekli kılmıştır. Elektrikli araçların yaygınlaşması açısından gerekli altyapının iyileştirilmesi için çeşitli adımlar atılmaktadır. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın "Teknolojik Ürün Yatırım Destek Programı Hakkında Yönetmelikte Değişiklikler Yapan Yönetmeliği" ise 22 Mart 2022 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanmıştır. Yapılan değişiklikler ile yönetmeliğe elektrikli araç şarj istasyonlarını ilgilendiren eklemeler yapılmıştır. Böylece Madde 3'e yapılan eklemeye "Teknolojik Ürün Yatırım Destek Programı" tanımı içerisine elektrikli araç yüksek hızlı şarj istasyonu yatırımları da dâhil edilmiştir. Yapılan eklemelere göre elektrikli araç hızlı şarj istasyonları için yapılacak olan yatırımlarda, desteklemeye esas yatırım proje tutarını oluşturan harcamaların %75'ine kadar geri ödemesiz olarak sağlanabilecektir. Sağlanacak ilgili destek için 20.000.000 TL üst sınır belirlenmiştir.

2 Nisan 2022 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanan "Şarj Hizmeti Yönetmeliği" ile konuya ilişkin usul ve esaslar düzenlenmiştir. 16 Nisan 2022 tarihinde ise T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 1.560 farklı noktaya yüksek hızlı şarj noktası kurulmasını hedefleyen 300 milyon TL bütçeli hibe programının detayları ve takvimi paylaşılmıştır. Aynı zamanda şarj hizmetinin fiyatlandırılmasında dakika bazlı yaklaşım yerine çekilen enerji miktarı (kWh) bazlı yaklaşıma geçilmiştir. Ek olarak, şarj istasyonunun konumuna bağlı olarak belirli oranlarda DC dolum noktası zorunluluğu uygulanacağı belirtilmiştir. Tüm bu gelişmeler paralelinde elektrikli araç şarj altyapısının Türkiye genelinde iyileşmesi beklenmektedir. Bahsedilen adımlara ek olarak serbest piyasa kurgusunu esas alan, kullanıcı odaklı bir yaklaşımla ilerlemeye devam edilmesi, elektrikli araçlar konusunda gerekli gelişmelerin sağlanması gerekmektedir. Konuya ilişkin temel düzenlemeler aşağıdaki gibidir:

- Şarj ağı işletmeci lisansı alma bedeli "300.000 TL" olarak belirlenmiştir.
- Şarj ağı işletmeci lisansı başvurusunda bulunacak tüzel kişiler için asgari sermaye tutarı "4.500.000 TL" olarak belirlenmiştir.
- Şarj ağı içerisindeki ünitelerin en az %5'inin, otoyol üzerindeki ünitelerin ise en az %50'sinin, DC 50kW ve üzeri güçte olması şartı getirilmiştir.
- Şarj ağı lisans sahibi işletmecinin, üçüncü taraflara şarj istasyonu kurma ve işletmesi için sertifika verebileceği eklenmiştir.
- Şarj bedelinin araca aktarımı yapılacak olan birim enerji (kWh) üzerinden fiyatlanacağı belirtilmiştir. (Önceki uygulamada şarj bedeli dakika bazlı fiyatlandırılmaktaydı (TEHAD, 2022))
- Şarj istasyonlarına tüketim tesisine bütünleşik depolama tesisi ve lisanssız yönetmeliği kapsamında üretim tesisi kurulabileceği de yapılan eklemeler arasındadır.

Bir diğer önemli gelişme ise Hollanda'nın öncülüğünde Glasgow'da düzenlenmiş COP 26 Konferansı'nda gerçekleşmiştir. Türkiye'nin de dâhil olduğu 13 ülke tarafından imzalanan anlaşmaya göre, 2040 sonrası satılacak olan tüm yeni kamyon ve otobüsler elektrikli veya hidrojenli olacaktır (BBC, 2021).

2.6.5. Dijitalleşme ve Akıllı Şebekeler

Dijitalleşme modern enerji piyasalarındaki en önemli parametrelerden biridir. Verimliliği artırmada, emisyonları azaltmada, artan elektrifikasyonu yönetmede ve yenilenebilir enerji santrallerinin sisteme entegrasyonunu artırmada dijitalleşme ve beraberinde gelen iş modellerinin rolü oldukça kritiktir. Akıllı şebeke olarak nitelendirilen yenilenebilir enerji üretim kaynaklarının yoğun olduğu, tüketicinin sisteme daha fazla dâhil olduğu, arızaların ve kaçakların teknoloji yardımıyla tespit edildiği sistemin sorunsuz işlemesi için makine öğrenmesi (ML), blokzincir, nesnelerin interneti (IoT) gibi dijital teknolojilerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu sayede dijitalleşme ve beraberinde gelen iş modelleri ile enerji sektörünün dönüşümü hızlandırılacaktır. IoT, blokzincir, büyük veri (big data), yapay zekâ (AI), ML gibi teknolojileri kullanan iş modelleri sayesinde dağıtık üreticiler sisteme dâhil edilebilecek, elektrikli araçlar ve ısı pompaları gibi artan elektrifikasyonla gelecek yüklerin dengelenmesi sağlanarak, son tüketicilerin de elektrik piyasalarına dâhil olabilmelerinin önü açılacaktır.

Dijitalleşme ve akıllı şebeke kavramları, resmî strateji belgelerinde de Türkiye enerji sektörü için en yeni politika hedeflerinden biri olarak vurgulanmaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yakın zamanda yayımlanan “2019-2023 Stratejik Planı”nda dijitalleşme vurgusu yapılmıştır (ETKB, 2019). Bu planda 2023 yılına kadar bulut sistemleri, dijitalleşme ve yönetim sistemi altyapılarına yönelik kademeli gelişim planı hedef olarak belirlenmiştir. Ayrıca, “On Birinci Kalkınma Planı 2019-2023” ve “2020 Yıllık Cumhurbaşkanlığı Programı” gibi stratejik plan belgelerinde de dijitalleşmeden bahsedilmiştir (Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019).

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu ve Elder tarafından hazırlanan “Türkiye Akıllı Şebeke 2023 Vizyon ve Strateji Yol Haritası”, Türkiye’nin dijitalleşme ve akıllı şebeke eylem hedeflerine yönelik bir plan ortaya koyan belgelerden bir diğeridir. Bu belgeye göre, Türkiye 2025 yılına kadar dağıtık üretim için gelişmiş bir ölçüm altyapısı kuracaktır. Plan, 2035 yılına kadar nihai tüketim tesislerinin %80’inde akıllı sayaçların kurulmasının yapılması olacağını öngörmektedir (EPDK ve Elder, 2018).

2.6.6. İletim Sistemi ve Enterkonneksiyonlar

İletim sistemi ve enterkonneksiyon bağlantıları, elektrik sistemi esnekliğinin geliştirilmesinde ve değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonunda kritik öneme sahiptir. Ayrıca, enerji dönüşümü iletim ve dağıtım sistemlerinin görece pasif bir yapıdan daha aktif bir konuma geçiş yapmasını gerektirecektir. Bu sayede daha etkili bir sistem yönetimi ve çok daha esnek bir şebeke yapısı sağlanacaktır. Her ne kadar mevcut elektrik şebeke gelişim planı enerji dönüşümü için sağlam bir temel hazırlasa da artan güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi üretimi ve esneklik ihtiyacı göz önünde bulundurularak, iletim şebekesi kapasitelerinin artırılması ve sistemdeki rolünün geliştirilmesi gerekmektedir (SHURA, 2022b). Türkiye’de tüm enterkonneksiyon kapasitelerinin etkin ve verimli şekilde kullanılması sistem esnekliği açısından çok yönlü faydalar sunacaktır. Ancak Türkiye’deki elektrik ticaretinin sadece küçük bir bölümü enterkonneksiyon bağlantıları üzerinden yapılmaktadır. Şekil 10’da komşu ülkelerle yapılmış enterkonneksiyon bağlantı hatları gösterilmektedir.

Şekil 10: Türkiye'nin Komşu Ülkelerle Olan Enterkonneksiyonları (TEİAŞ)



İthalat ve İhracat Yönetmeliği 17 Mayıs 2014 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Enterkonneksiyon bağlantı kapasitelerinin paylaşılması, bu kapasitelerin kullanımının izlenmesi ve kısıt yönetiminden, sistem işletmecisi TEİAŞ sorumludur.

Sınır ötesi bir elektrik ticareti, ancak uluslararası bir enterkonneksiyon bağlantı hattı bulunan ülkelerle yapılabilir. Öte yandan, ithalat veya ihracat yapmak isteyen piyasa katılımcılarının lisans sahibi olmaları gerekmektedir. Ayrıca sistem işletmecisi (TEİAŞ) ile lisans sahibi şirketler arasında sınır ötesi ticaret yapmak üzere bir “Enterkonneksiyon Bağlantı Kullanım Sözleşmesi” imzalanması zorunludur.

Türkiye, kendi ulusal elektrik sistemi ile Avrupa elektrik sistemi arasında bir enterkonneksiyon bağlantı hattı oluşturmak için “Avrupa İletim Sistemi Operatörleri Ağı” (ENTSO-E) ile bir proje de geliştirmiştir. ENTSO-E ile bu tür bir iş birliğinin kurulmasının temel nedeni, sadece ENTSO-E ülkeleri ile yapılacak elektrik ithalat ve ihracat faaliyetlerine işlevsellik kazandırmak değil, aynı zamanda bu ticari faaliyetleri yürütmek için teknik şartları yerine getirme isteğidir.

Ocak 2016’da TEİAŞ, Türkiye’nin ENTSO-E Kıta Avrupası Bölgesi ile başarılı senkronizasyonunun ardından ENTSO-E’nin ilk gözlemci üyesi olmuştur. 2000 yılında başlayan bu süreç, Nisan 2015’te TEİAŞ ile ENTSO-E’nin Kıta Avrupası üyeleri arasında kalıcı senkron operasyonlar konusunda uzun vadeli bir anlaşma imzalamasını sağlamıştır. TEİAŞ, kıtanın diğer şebeke operatörlerinde mevcut olan sistem operasyonlarından çok daha yüksek standartları uygulamayı taahhüt etmiştir. Gözlemci üye statüsü, TEİAŞ’a ağ içindeki gruplara ve görev güçlerine katılma imkânı sağlayacaktır. Bu durum, ENTSO-E ve TEİAŞ arasındaki iş birliğini kolaylaştıracaktır.

Türkiye’nin hâlihazırda Yunanistan, Bulgaristan, Suriye, İran, Gürcistan, Ermenistan, Azerbaycan ve Irak ile enterkonneksiyon bağlantıları bulunmaktadır. Tablo 3’te yıllar itibarıyla Türkiye’nin bu ülkelerle arasındaki net transfer kapasiteleri verilmektedir.

Tablo 3: Yıllık Net Transfer Kapasiteleri

Net Transfer Kapasitesi (Maksimum Değer)	2018		2019		2020		2021	
	İthalat (MW)	İhracat (MW)	İthalat (MW)	İhracat (MW)	İthalat (MW)	İhracat (MW)	İthalat (MW)	İhracat (MW)
ENTSO-E	650	500	650	500	650	350	650	400
Gürcistan	700	700	700	700	700	700	700	700
İran	450	0	450	0	0	0	Açıklanmadı	0
Irak	0	50	0	50	0	150	0	Açıklanmadı
Suriye	0	500	0	500	0	50	0	Açıklanmadı
Azerbaycan	0	50	0	50	0	0	0	0

2020 yılı sonu itibarıyla ithal edilen elektrik hacmi 1.888 GWh, ihraç edilen elektrik hacmi ise 2.484 GWh olarak gerçekleşmiştir (EPDK, 2020). EPDK tarafından yayımlanan aylık raporlara göre, 2011 yılından bu yana Türkiye’den ihraç edilen elektriğin büyük bir kısmı Yunanistan’a satılırken, Türkiye’nin ithal ettiği elektriğin büyük kısmı ise Bulgaristan’dan alınmaktadır. Türkiye’nin elektrik fiyatlarının Avrupa piyasalarında oluşan fiyatlara göre nispeten düşük olması nedeniyle yakın gelecekte net ihracatçı olmaya devam etmesi beklenmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan 2019-2023 Stratejik Planı’nda, enterkonneksiyon bağlantı kapasitelerinin genişletileceği ve sınır ötesi elektrik ticaretinin iyileştirileceği belirtilmektedir (ETKB, 2019).

Mevcut durum altında elektrik ithalatı ve ihracatı ülkede üretilen ve tüketilen elektrik hacminin çok küçük bir miktarını oluşturmaktadır. Bu durum temel olarak komşu ülkelerle enterkonneksiyon kapasitesinin sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Enterkonneksiyon kapasitelerinin artırılması ve azami düzeyde kullanılması, sistem esnekliğinin artırılması için önemli bir rol oynayabilir. Özellikle Avrupa piyasası ile gerçekleştirilecek piyasa eşleştirme (market coupling) sistem esnekliğine önemli katkılar sağlayabilir. Fakat bunun gerçekleşebilmesi için iletim hatlarına ilave yatırımlar yapılması ve ülkelerarası iş birliklerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

3. Elektrik Sistemi Esneklik Uygulamalarının Karşısındaki Zorluklar

3.1. Mevcut Piyasa Koşulları

Son yıllarda sanayideki büyümeyle doğru orantılı olarak artan elektrik talebi, 2020 yılında ortaya çıkan COVID-19 salgınının etkisiyle ivmesini kaybetmiştir. Ancak 2021'de salgın önlemlerinin hafiflemesiyle tekrar artan elektrik talebi, 2021 kışının mevsim normallerinden daha sert, yazının ise çok daha sıcak geçmesi sebebiyle yıl sonu verilerine göre 330 TWh (2020 yılına göre %8 daha yüksek) seviyesine yükselmiştir (TEİAŞ, 2021). Çok düşük sıcaklıkların görüldüğü 2021 kışına rekor kuraklıkların da eklenmesiyle, 2021 yazına doğal gaz depoları ve baraj doluluk oranları bakımından yetersiz bir kapasiteyle girilmiştir. Yine rekor sıcaklıkların görüldüğü 2021 yazında, küresel ölçekte yaşanan ekonomik ve politik olayların bir sonucu olarak emtia fiyatları rekor seviyelere yükselmiş ve bu durum, hâlihazırda daralmış olan yedek kapasite sebebiyle hızlı şekilde elektrik piyasasındaki fiyatların da yükselmesine sebep olmuştur. Ayrıca 2021 yılında görülen döviz kuru artışları da ithal yakıt maliyetlerinin artmasına neden olmuştur. 2021 yılı boyunca devam eden yüksek fiyatlar 2022'nin başında da önce İran doğal gaz boru hattında yaşanan arz kesintisi, ardından da önemli doğal gaz tedarikçilerinden olan Rusya'nın Ukrayna ile yaşadığı politik krizin savaşa dönüşmesi sebebiyle artmaya devam etmiştir. Maliyetlerdeki bu yükseliş nedeniyle 2022 yılına girilirken son kullanıcı elektrik tarifelerine yüksek oranlı bir zam yapılmıştır.

2022 Şubat sonunda başlayan Rusya-Ukrayna savaşını takip eden süreçte başta doğal gaz, kömür ve petrol olmak üzere fosil yakıt fiyatlarında yeniden hızlı yükselişler meydana gelmiştir. Bu durum, hidroelektrik santrallerindeki kısıtlı su miktarıyla birleşerek elektrik üretim maliyetlerinin tekrar yükselmesine ve spot piyasalardaki fiyatlarda özellikle Şubat ve Mart aylarında çok hızlı artışlara yol açmış; bunun sonucunda da Nisan ayından itibaren BOTAŞ tarafından elektrik santrallerinde kullanılan doğal gaz tarifesine %44,3 zam yapılmıştır.

Bahsi geçen maliyet artışları nedeniyle elektrik tarifelerine yeniden bir zam yapılarak Görevli Tedarik Şirketleri'nin (GTŞ) nakit akışlarının düzeltilmesi ihtiyacı oluşmuştur. Son kullanıcılar üzerindeki yükün hafifletilmesi için soruna mümkün olduğunca elektrik tarifeleri artırılmadan bir çözüm bulunması için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla tasarlanmış olan ilk uygulama, yükselen fiyatlar nedeniyle eksi çıkmaya başlayan YEKDEM maliyetinin tüketicilere yansıtılmayarak, düzenlemeye tabi tarife ile elektrik tedarik eden müşterilerinin tüketimi oranında bir hesapla, GTŞ'lere verilmesi olmuştur. Bunun ardından sanayideki elektrik maliyetleri artarken bu ek kaynak konutlar ve küçük işletmelerin sübvansede edilebilmesi için kullanılmıştır. Ancak bu değişiklik sorunun çözümü için yeterli olmamıştır.

Tasarlanan ikinci yöntem ise EÜAŞ tarafından yapılacak bir elektrik tedarik ihalesi yoluyla sorunun çözümüne katkı sağlamayı hedeflemektedir. Bu amaca yönelik olarak Nisan 2022'den itibaren başta yerli kömür gibi kaynaklar olmak üzere her yıl yaklaşık 75 TWh miktarında bir elektrik üretiminin 2025 yılına kadar yapılacak uzun dönemli anlaşmalarla EÜAŞ tarafından satın alınması ve bu elektriğin GTŞ'lere ucuz bir fiyattan satılması planlanmaktaydı. EÜAŞ, 8 Mart 2022 tarihinde resmî sitesinden yaptığı duyuru ile çeşitli kaynaklardan sağlanacak ve Nisan 2022-Aralık 2025 dönemi için geçerli olacak elektrik satın alım ihaleleri düzenleyeceğini belirtmiştir. Bu ihaleler kapsamında alım periyodu boyunca toplam 150 TWh'e kadar elektriğin yerli kömür santrallerinden,

toplam 44 TWh'e kadar elektriğin ithal kömür santrallerinden ve toplam 44 TWh'e kadar elektriğin de doğal gaz santrallerinden satın alınacağı açıklanmıştır. Ayrıca yine bu kapsamda EÜAŞ, yıllık baz yük dağılımıyla 17,5 TWh'e kadar elektrik ve çeyreklik baz yük dağılımıyla da 26 TWh'e kadar elektriği, yenilenebilir enerji santrallerinden satın alacağını duyurmuştur.

Ancak bu amaca yönelik olarak toplanan tekliflerin yeterli görülmemesi nedeniyle açılan bu ihale 28 Mart 2022 tarihinde yayımlanan bildiri ile iptal edilmiştir. EÜAŞ ihalelerinin iptalinin hemen ardından 29 Mart 2022 tarihinde EPDK elektrik piyasalarında uygulanacak yeni tavan fiyat uygulamasının ve üretim maliyeti artan santrallere verilecek destek mekanizmasının detaylarını duyurmuştur. Düzenlemeye göre, maliyeti yüksek üreticilere veya bu fiyatlardan negatif yönde etkilenen tüketicilere uygulanacak ek desteğe kaynak yaratılabilmesi için, maliyeti düşük santrallerin elektrik piyasasında elde edeceği gelire bir limit getirilmiştir. Bu uygulama, yakıt fiyatlarından etkilenmeyen ve marjinal maliyetleri doğal gaz ve ithal kömür kaynaklı santraller oranında artmayan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı santrallerin elde edeceği karlılığı azaltacağı için, bu alanda yapılacak yeni yatırımların hız kaybetmesine yol açabilir. Bu uygulamanın detaylarına, bir sonraki konu başlığı olan "Elektrik Piyasasındaki Asgari ve Azami Fiyat Limitleri" bölümünde yer verilmiştir.

Son dönemlerde piyasada sıkça yapılan yapısal değişiklikler piyasa aktörlerinin öngörü ve planlama yapabilmesini ve yeni yatırım kararlarının alınmasını zorlaştırabilir. Piyasada oluşan fiyatların gerçek sistem maliyetlerini yansıtacak şekilde yatırımcılara doğru sinyal verebilmesi, sağlıklı işleyen bir piyasa yapısı için öncelikli olmalıdır.

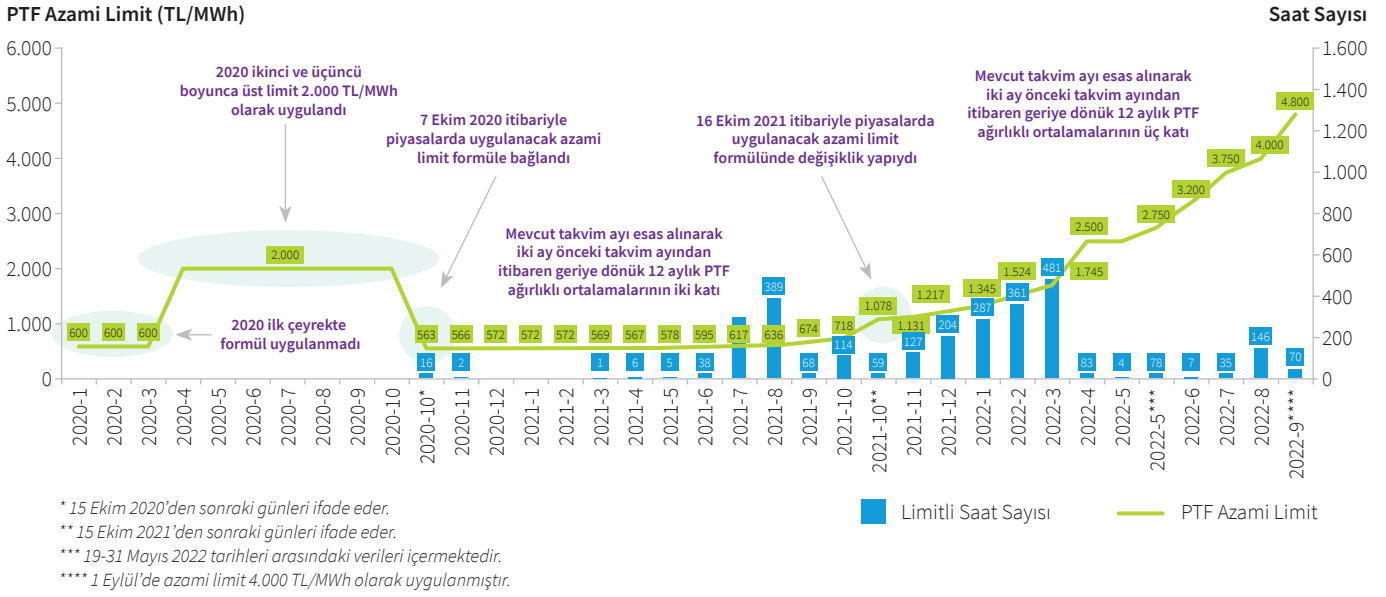
3.2. Elektrik Piyasasındaki Asgari ve Azami Fiyat Limitleri

Elektrik piyasasında uygulanmakta olan azami ve asgari fiyat limitleri, piyasa işleyişini etkileyen ve dolaylı olarak yeni yatırımlar açısından önem taşıyan bir faktördür. Son yıllarda Gün Öncesi Piyasası'nda ve Dengeleme Güç Piyasası'nda uygulanan azami fiyat limiti hesaplamalarında farklı uygulamalar getirilmiştir.

2020 itibarıyla gerçekleşmiş Gün Öncesi Piyasası ve Dengeleme Güç Piyasası azami limit seviyeleri ve hesaplama yöntemi Şekil 11'de; aynı zamanda her ay için fiyat limitinde oluşan saat sayısı ile birlikte gösterilmektedir.

2022 yılı ilk yarısında aylık ortalama 217 saat fiyat limitinde oluşmuştur. Fiyatların bu kadar çok saat için sınır değere gelmesi piyasa için belirlenmiş azami limitin olması gerekenden düşük olduğuna işaret etmektedir. Bu durum piyasada doğru fiyat sinyallerinin oluşmasında bir engel olduğu gibi serbest piyasa koşullarından uzaklaşmasına neden olarak, piyasayı olası yeni yatırımların yapılmama tehlikesi ile karşı karşıya getirebilir.

Şekil 11: 2020 Yılından İtibaren Gün Öncesi Piyasası'nda Uygulanan Farklı Azami Limit Uygulamaları ve Her Ay İçin Limit Fiyatın Azami Limit Çıktığı Saat Sayısı



Fiyat limitleriyle ilgili olarak uygulanan yeni düzenlemeler konusunda EÜAŞ kapasite ihalesinin iptal edilmesinin ardından “kaynak bazlı azami limit uygulaması” öne çıkmıştır. Bu düzenleme kapsamında Gün Öncesi Piyasası genelinde uygulanacak olan azami fiyat limiti güncellenmiş, kaynak bazında Azami Uzlaştırma Fiyatları (AUF) belirlenmiş ve daha önce yayımlanmış olan “Kaynak Bazında Destekleme Bedelinin Belirlenmesine ve Uygulanmasına İlişkin Usul ve Esaslar” güncellenerek son şeklini alarak 30 Mart 2022 tarihli Resmî Gazete’de yayımlanmıştır.

Usul ve esaslara göre elektrik piyasasında faaliyet gösteren farklı kaynaklı santraller arasında bir ayrım ve her kaynak türü için bir AUF tanımlanmıştır. Nispeten daha düşük maliyete sahip kaynaklar, belirlenmiş olan AUF ile Piyasa Takas Fiyatı (PTF) ya da ikili anlaşma fiyatı arasındaki farkı, sistem işletmecisine geri ödemekte ve bu miktar destekleme bedeli olarak toplanmaktadır. Aşağıda verilen tesislere ve anlaşmalara ilişkin üretim ise bu uygulamadan muaf tutulmuştur:

- YEKDEM altında alım garantileri devam eden santraller
- EÜAŞ Portföyü altındaki santraller
- EÜAŞ ile alım anlaşması yapmış olan santraller
- 8 Mart 2022 tarihinden önce Vadeli Elektrik Piyasası’nda yapılmış olan satış yönlü net pozisyonlara sahip üretim tesisi bazındaki miktarlar

Her ay toplanan bu destekleme bedeli ise, ihtiyaç olması durumunda, öncelikle olası arz sıkıntılarının önüne geçebilmek amacıyla maliyeti yüksek üretim tesisi sahiplerine üretim destekleme tutarı olarak yansıtılacaktır. Kalan destekleme bedeli tutarı ise GTŞ dağıtılacak ve böylelikle tüketiciler desteklenmiş olacaktır. Farklı kaynak türleri için belirlenen AUF’ların her ay belirlenen formüle göre güncellenmesine karar verilmiştir. İthal kömür, doğal gaz, nafta, motorin, LPG ve sıvı yakıt kaynaklı santraller adına Nisan ayında ilk uygulama dönemi için belirlenen AUF 2.500 TL/MWh iken, yenilenebilir ve yerli kömür kaynaklı santraller için 1.200 TL/MWh olarak açıklanmıştır. Belirlenen bu fiyatlara karşılık GÖP ve DGP için genel olarak uygulanacak fiyat azami limiti 2.500 TL/MWh, GİP içinse 3.000 TL/MWh olarak belirlenmiştir. Ekim ayı içinse yerli kömür ve

yenilenebilir enerji santralleri arasında da bir ayrıma gidilmiş ve AUF uygulamasının 6 ay daha uzatılacağı açıklanmıştır. 2022 Ekim ayı itibarıyla güncellenen AUF değerleri doğal gaz, ithal kömür, yerli kömür ve yenilenebilir kaynaklı santraller için sırasıyla 4.500 TL/MWh, 2.750 TL/MWh, 2.050 TL/MWh ve 1.540 TL/MWh olarak belirlenmiştir. Ekim ayı için belirlenen GÖP ve DGP azami limiti ise 4.800 TL/MWh olmuştur. Buna göre hâlihazırda uygulanmakta olan GÖP azami fiyat formülü de yürürlükten kaldırılmıştır. Belirlenen bu miktarlar herhangi bir hesaplama göre değişmeyecek ve yeni bir karara kadar sabit kalacaktır. Aylık azami uzlaştırma fiyatı ÜFE oranı, ABD Doları kuru, yakıt maliyetleri ve iletim tarifelerine göre güncellenecektir.

En son yapılan düzenlemeyle birlikte yeni sistemin 2023 ilk çeyreğinin sonuna kadar geçerli olacağı kesinleşmiştir. Artmaya devam eden enerji maliyetleri nedeniyle bu uygulamanın 2023 yılının sonuna kadar uzatılması da ihtimal dâhilindedir.

Bu değişikliklerle birlikte son kullanıcıların, özellikle de konut sektörünün, artan enerji maliyetlerinden bir ölçüde korunması mümkün olmuştur. Buna karşın, yeni sistemin uzun dönemli uygulamalarında bazı riskleri içerebileceği görülmektedir. Piyasada faaliyet gösteren santrallerin kârlılık oranlarının piyasa dışı müdahalelerle düşürülmesi, özellikle yenilenebilir enerji tarafında yatırım yapmak isteyen yatırımcıların ilgisini azaltıcı nitelikte olabilir. Belirlenecek azami uzlaştırma fiyatlarının piyasa için belirlenecek azami limitin üstünde olması durumunda doğal gaz ve ithal kömür gibi kaynaklar piyasa takas fiyatına bakılmaksızın üst limitten gelir elde edecektir. Bunun sonucunda piyasaya tekliflerin nasıl verileceği ve “merit order”ın nasıl oluşacağı belirsizliğini korumaktadır. Bu uygulamayla planlanmış faydalar elde edildikten sonra piyasanın kısa süre içerisinde normal işleyişine dönmesi, hem yenilenebilir enerji yatırımları hem enerji güvenliği, hem de sağlıklı işleyen bir piyasa için gereklidir.

Fiyat limiti düzenlemeleri, enerji sektörünün doğru piyasa sinyalleri doğrultusunda, enerji arzında verimliliği yüksek ve net sıfır emisyon hedefleriyle uyumlu bir sistemin oluşmasında uygun ortamın hazırlanmasını zorlaştırmaktadır.

Fiyatlandırma alt limitinin 0 TL/MWh seviyesinde sabitlenmesi ise düşük verimlilikteki santrallerin sistemde kalmasına olanak sağlayarak, bu santrallerin verimlilik artırıcı yatırımlar yapmasını gereksiz kılmaktadır. Pek çok gelişmiş enerji piyasasında negatif fiyatlara izin verilmesi durumunda, özellikle yenilenebilir enerji üretiminin yüksek olduğu saatlerde piyasa yapısı içerisinde negatif fiyatların ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Negatif fiyatların oluşması esnekliği teşvik edecektir. Elektrik piyasası fiyatlarının daha da düşmesiyle son kullanıcılara daha uygun maliyetli elektrik tedarigi sağlanabilecektir.

Piyasada uygulanan azami ve asgari limitlerin sistemin gerçek maliyetlerini yansıtacak şekilde belirlenmesi sistem esnekliği açısından da kritik bir konudur. Piyasa dinamiklerinin fiyatlara tam olarak yansımadağı durumlarda sistem dengesizliği maliyetleri artmasına rağmen bu maliyetlerin giderilmesinde rol oynayacak esneklik yatırımlarının hayata geçmesi güçleşmektedir.

3.3. Fosil Yakıtlara Sağlanan Teşvikler

Ülkelerin net sıfır emisyon hedefleri doğrultusunda yakın dönemde uygulanması muhtemel karbon fiyatlandırması da düşünüldüğünde, Türkiye’de güncel olarak fosil yakıt teşviklerinin devam ediyor olması hem sistemin karbonsuzlaştırılması hem de esnekliği çerçevesinde bir ikilem oluşturmaktadır.

Yerli kömür alım garantisi uygulaması, ithal kaynaklara karşı yerli kaynakların teşvik edilmesi için Türkiye’de 2016 yılında alınan kararla uygulanmaya başlamıştır⁸. Buna göre EÜAŞ, yerli kömür elektrik santrallerine yerli kömür kaynaklarından her sene başında belirlenecek bir elektrik üretim miktarını (üretimin yaklaşık %50’si) piyasa fiyatlarının üstünde bir fiyatla alma garantisi sunmuştur⁹. Geçtiğimiz yıllar içerisinde uygulanan formül değişmiş olsa da, bu santrallerin üretimlerinin yaklaşık yarısı piyasa fiyatlarının üstünde bir alım garantisine tabi olmaya devam etmiştir. Alım garantisi uygulamasının 2024 yılı sonuna kadar devam etmesi beklenmekteyken (TMMOB, 2020), 2022 yılında piyasa fiyatlarının yükselmesinin ardından uygulama şimdilik durdurulmuştur. Uygulamanın 2023 ve sonrası için devam edip etmeyeceği ise belirsizliğini korumaktadır.

Uygulanmakta olan bu mekanizma yerli kömür santrallerinin piyasada oluşan fiyatlardan bağımsız olarak baz yük olarak çalışmasına olanak vermektedir. Bu sayede bu santrallerin piyasa fiyatındaki gelişmelere göre santralin yük azaltıp artırımına ihtiyacı olmamaktadır. Bu durum, esnek olmayan kömür santrallerin puant dışı saatlerde de çalışmasına, hatta bazı durumlarda yenilenebilir enerji santrallerinde üretim kesintileri yapılmasına neden olmaktadır.

Özellikle doğal gaz ve yerli kömür santralleri için uygulanan bir diğer teşvik ise Kapasite Mekanizması uygulamasıdır. 2018 yılında başlatılmış olan Kapasite Mekanizması uygulaması yerli kömür, doğal gaz ve belirlenmiş kriterleri sağlayan hidroelektrik santralleri için emre amade kurulu güç başına sabit bir destek sağlamaktadır. Mekanizmanın temel amacı, emre amade kapasiteyi artırarak elektrik sisteminde oluşabilecek arz sıkıntılarının önüne geçmektir.

Kapasite mekanizmasından yararlanan santraller için belirlenmiş bir yaş, verimlilik ya da esneklik kriteri bulunmamaktadır¹⁰. Bu durum, enerji güvenliğine olan katkısına karşın verimsiz ve esnekliği düşük çeşitli santrallerin piyasa faaliyetlerini mevcut koşullarında sürdürmesini sağlayarak, yapabilecekleri esneklik yatırımlarının cazibesini azaltabilmektedir.

3.4. Teknolojik Gelişimle İlgili Belirsizlikler ve Altyapı Çalışmaları

Yenilenebilir enerji ve esneklik yatırımlarının artırılmasında batarya, elektrikli araçlar ve yeşil hidrojen gibi nispeten yeni gelişmekte olan teknolojiler önemli bir rol oynayacaktır. Bu teknolojilerin büyük bölümü için önümüzdeki yıllarda büyük oranda maliyet düşüşleri yaşanacağı tahmin edilmektedir. Batarya ve yeşil hidrojen gibi esneklik artırıcı uygulamaların piyasada yaygınlaşması, politika tercihlerinin yanı sıra, beklenen bu teknolojik gelişime de bağlıdır.

⁸ 2 Ağustos 2016 Tarihli ve 29789 Sayılı Resmî Gazete

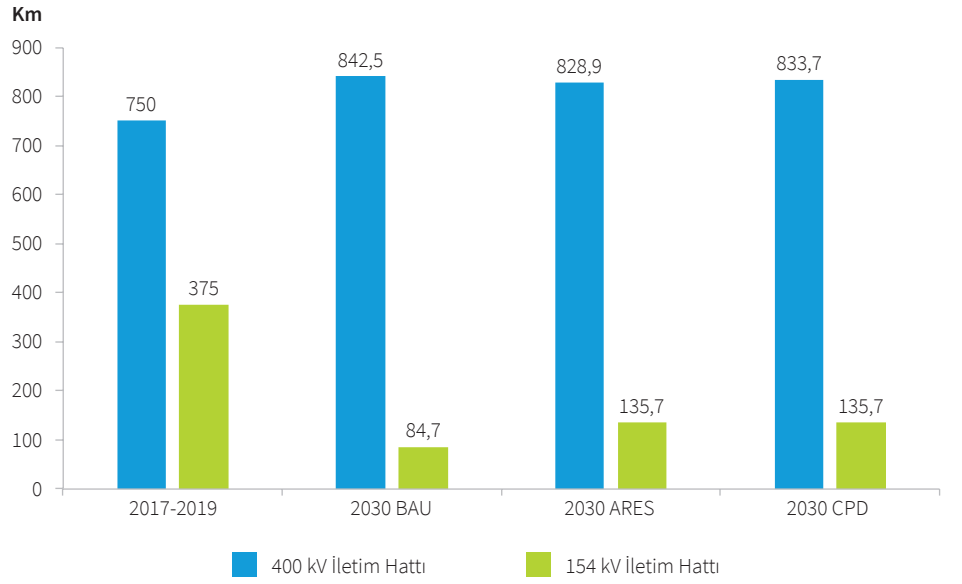
⁹ 2018 yılı öncesinde TETAŞ’ın yürüttüğü bu işlevi 2018 yılında TETAŞ ve EÜAŞ’ın birleştirilmesinin ardından EÜAŞ üstlenmiştir.

¹⁰ Verimlilik performans testi sonuçlarında verimlilik oranı %50’nin altında olduğu belirlenen, yerli kaynaklara dayalı olmayan santrallerin Kapasite Mekanizması’ndan yararlanmasına izin verilmemektedir.

Yeni teknolojilerin enerji sistemine entegre edilebilmesi için, altyapı konusunda da yeni yatırımların yapılması gerekecektir. Örneğin elektrikli araçların yaygınlaşması için gerekli şarj istasyonlarının ülke geneline yayılarak kurulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yeşil hidrojenin de kullanım alanlarına bağlı olarak farklı altyapı gereklilikleri bulunmaktadır. Örneğin belirli bir oranda yeşil hidrojenin doğal gazla karıştırılarak kullanılması durumunda ilave altyapı ihtiyacı sınırlı olacaktır. Gelecekte yalnızca hidrojenle çalışacak gaz türbinlerinin gündeme gelmesi durumundaysa, altyapı yatırımına ihtiyaç artacaktır.

İletim altyapısına yapılması gereken yatırımlar tüm sistemin esnekliği bakımından önemli olacaktır. Özellikle enterkoneksiyon kapasitesinin geliştirilmesi ve akıllı şebeke uygulamaları kapsamında önemli bir yatırım ihtiyacı doğacaktır. SHURA tarafından yapılan güncel şebeke çalışmasında, yer verilen farklı senaryolara göre 2030 yılına kadar ihtiyaç duyulacak olan 400 kV ve 154 kV şebeke yatırımları Şekil 12'de gösterilmiştir (SHURA, 2022b).

Şekil 12: 400 kV ve 154 kV İletim Hatları Yıllık Genişleme Miktarı



4. Esneklik Politikalarının Etkinleştirilmesi

Türkiye elektrik sisteminde, esnekliğin artmasını sağlayacak uygulamaların hayata geçirilmesinde karşılaşılan çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Bu zorlukların bazıları daha yapısal konular olmakla birlikte, esneklik seçeneklerine ilişkin engeller de mevcuttur. Temel esneklik seçeneklerinin ve atılması gereken adımların özeti Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Esnekliğin Artırılması Konusundaki Temel Seçenekler ve Atılması Gereken Adımlar

Temel Esneklik Seçenekleri	Atılması Gereken Temel Adımlar					
	Piyasa Mimarisinde Yapılabilecek Değişiklikler ve Liberalleşmenin Artırılması	Fosil Yakıt Teşviklerinin Kaldırılması	Yenilenebilir Enerji ve Karbonsuzlaşma Hedeflerine Ulaşmak İçin Kapsamlı Bir Yol Planı Oluşturulması	Mevzuat ve Düzenleyici Çerçeve Eksikliğinin Giderilmesi	Ar-Ge ve Altyapı İyileştirmeleri	Ek Finansal Teşviklerin Sağlanması
Piyasa Mimarisi Yoluyla Esneklik Artırımı	X	X				
Depolama Teknolojileri	X	X	X	X	X	X
Yeşil Hidrojen Teknolojileri	X	X	X	X	X	X
Talep Tarafı Katılımı	X		X	X		
Elektrikli Araçlar	X		X		X	
Dijitalleşme ve Akıllı Şebekeler	X		X	X		
İletim Şebekeleri ve Enterkonneksiyon			X		X	

4.1. Toptan Satış Piyasası Mimarisinde Yapılabilecek Değişiklikler

Elektrik piyasalarının işleyişi ve piyasa esnekliği konusunda 2021 yılında yayınlanmış SHURA çalışması yol gösterici niteliktedir. Çalışmanın sonuçları ve piyasa mimarisinde atılması önerilen adımların bir özeti, aşağıda verilmiştir:

- Karbon fiyatlandırma mekanizmasının uygulanması
- Şeffaflığın ve veri paylaşımının artırılması
- DGP'nin ve dengesizlik cezalarının sistem esnekliğini destekleyecek şekilde iyileştirilmesi
- Bölgesel fiyatlandırma sistemine geçilmesi
- Uygulanan azami fiyat limitinin Kayıp Yük Değerine (VoLL) göre belirlenmesi
- Piyasa koşullarında fiyat oluşumuna müdahaleden kaçınılması
- GiP'te kapı kapanış sürelerinin gerçek zamana yaklaşması
- Yan Hizmetler Piyasası'nda yapılacak iyileştirmeler
- Piyasada talep tarafı katılımının sağlanması
- Yerli kömür alım garantisi ve Kapasite Mekanizması uygulamalarının tekrar değerlendirilerek esnek ve temiz enerji kaynaklarını önceliklendirecek şekilde düzenlenmesi

Daha detaylı bilgi için ilgili çalışma incelenebilir (SHURA, 2021b).

4.2. Enerji Depolama

Değişken üretime sahip yenilenebilir enerji santrallerinin üretimdeki payının artması, elektrik sisteminin esneklik ihtiyacını da artırmaktadır. Yenilenebilir enerji üretim değişikliklerinin kontrol edilmesinde ve sistem esnekliğinin artırılmasında, enerji depolama teknolojileri önemli bir rol oynar. Enerji depolama, dünya genelinde kurulu güç kapasitesi bakımından çoğunlukla pompaj depolamalı hidroelektrik santraller tarafından sağlanıyor olsa da, güncel teknolojik gelişmeler doğrultusunda lityum-iyon bataryalar gibi elektrokimyasal enerji depolama sistemlerinin maliyetlerindeki düşüşler, batarya yatırımlarını artırmaktadır. Teknolojik gelişmelere paralel olarak, enerji yoğunluğu yüksek depolama sistemlerinin, birçok farklı amaç için değişen ölçeklerde kullanılabileceği öngörülmektedir.

Enerji depolama teknolojileri, Türkiye elektrik sistemi içerisinde Yan Hizmetler Piyasası ve DGP’de frekans ve güç kontrolü, bölgesel iletim kısıtlarının giderilmesi ve spot elektrik piyasalarında arbitraj amaçlarıyla kullanılabilir. Enerji depolama kurulumlarının artırılması ilgili piyasalarda esnekliği artıracak ve dengesizliğin neden olduğu maliyetleri azaltıcı bir etkide bulunacaktır.

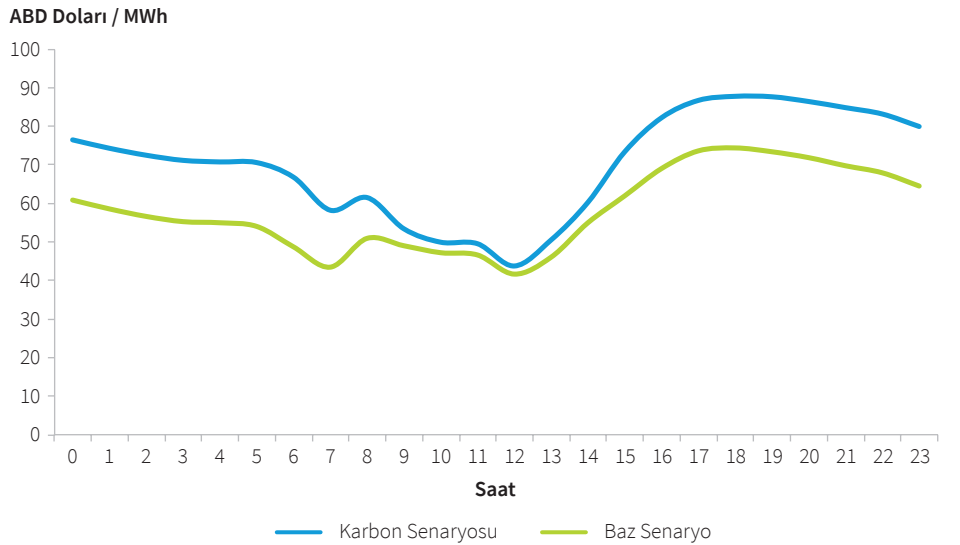
Enerji depolama teknolojilerinin Türkiye elektrik sistemine esneklik sağlayabileceği alanlar göz önünde bulundurularak, bu potansiyelin etkinleştirilmesinde uygulanabilecek politika önerileri aşağıda sıralanmıştır.

- **Türkiye’nin 2053 yılı net sıfır emisyon hedefine ulaşmasına katkı sağlayacak enerji depolama kapasite hedeflerinin oluşturulması önerilmektedir.** Enerji depolama teknolojileri sistem esnekliği açısından kritik bir öneme sahip olmakla birlikte, açıklanan uzun dönemli stratejilerde enerji depolama kapasitesine yönelik hedefler henüz belirlenmemiştir. Enerji strateji planı içerisinde depolama teknolojilerine yönelik kısa/orta/uzun dönemli hedeflerin belirlenmesi, bu alanda yapılacak yatırımların artmasına olanak sağlayacaktır.
- **Elektrik depolama mevzuatında yatırımcılar için açık olmayan noktaların netleştirilmesi yatırımları hızlandırıcı bir etki yaratacaktır.** Elektrik piyasasında depolama faaliyetlerine ilişkin ana mevzuat yayımlanmış olmasına karşın, çıkarılacak ikincil mevzuatın detaylarına ilişkin belirsizlikler bulunmaktadır. Bu belirsizliklere örnek olarak, sistem kullanım bedeli ve dağıtım bedeli gibi kalemlerin depolama sistemlerine uygulanıp uygulanmayacağı, depolama kurulumlarının bölgesel üretim teşviklerinden yararlanıp yararlanamayacağı gibi konular gösterilebilir. Bağımsız depolama kurulumlarının statüsü (üretici veya tüketici), oluşacak maliyetlerin hangi yönden (sisteme veriş ya da çekiş) değerlendirileceği ve vergilendirme detayları gibi konular belirsizlik bulunan başlıklardandır. Yeni kurulacak batarya enerji depolama tesislerinin kurulmasında öngörülebilirliğin sağlanabilmesi için yukarıda da bahsi geçen belirsizliklerin yayımlanacak ikincil bir mevzuatla netleştirilmesi beklenmektedir.
- **Piyasada oluşacak arbitraj olanaklarından yararlanılması için piyasa mimarisinde enerji depolama teknolojilerini destekleyecek iyileştirmelerin yapılması önerilmektedir.** Spot elektrik piyasalarında saat dilimleri arasındaki fiyat farklılığının düşük seviyede olması, depolama tesislerinin elde edebileceği potansiyel arbitraj gelirlerini sınırlayabilir. Bununla birlikte, piyasada uygulanan

azami fiyat limit mertebeleri ve negatif fiyat oluşumuna izin verilmemesi gibi faktörler, arbitraj imkânını azaltmaktadır. Piyasada oluşan fiyatların maliyetleri yansıttığı bir ortamda, enerji depolama yatırımlarının da cazibesi artabilir.

- **Karbon fiyatlandırma mekanizmasının uygulanması özellikle kısa ve orta vadede enerji depolama teknolojilerinin kullanılmasını daha cazip hale getirebilir.** Sera gazı salımlarının maliyetinin bu salımdan sorumlu olan taraflarca ödenmesi, fiyatın en düşük ve en yüksek olduğu saat dilimindeki farkın açılmasını sağlayarak, arbitraj olanaklarını artırıcı bir etki yaratacaktır. Bu sayede termik santrallerin yoğun olarak çalıştığı saatlerde karbon maliyetine bağlı olarak daha yüksek fiyatlar oluşurken artan piyasa fiyatları daha çok yenilenebilir enerji yatırımının yapılmasını olanaklı kılacak ve bu da yüksek yenilenebilir üretimi olan saatlerde sifıra yakın fiyatların oluşmasını sağlayarak, piyasadaki esneklik yatırımlarına olan ihtiyacı artıracaktır. Artan bu ihtiyaç ve ek arbitraj geliri, depolama yatırımlarını cazip hale getirebilir. Karbon vergisinin piyasadaki etkisini daha iyi anlamak adına, 2040 yılı için bir modelleme çalışması yapılmıştır. Model, 2040 yılı için öngörülen arz/talep değerlerinin yıllık ortalamasını dikkate almaktadır. Çalışmadaki bir diğer varsayım ise, Türkiye piyasasında karbon maliyetinin uygulanmasıdır. Bu durumda günde 4 saat depolama yapıp 4 saat şebekeye enerji verecek bir batarya kurulumunun yıllık ortalama arbitraj gelirinin 44,8 ABD Dolar/MWh seviyesinde olacağı hesaplanırken; karbon maliyetinin uygulanmadığı durumda ise aynı gelirin ortalama 36,9 ABD Dolar/MWh seviyesinde kalacağı öngörülmektedir. Şekil 13'te çalışma kapsamında değerlendirilmiş iki senaryonun 2040 yılı için ortalama fiyat profilleri gösterilmektedir. Şekildeki "Baz Senaryo" karbon fiyatlandırılmasının olmadığı durumu gösterirken, "Karbon Senaryosu" karbon vergisinin etkilerini göstermektedir. Şekilden görülebileceği üzere karbon fiyatlandırma uygulaması piyasada oluşan fiyatları yükseltirken bu etki her saate eşit olarak yansımamakta, bu durum da gün içindeki saatler arasındaki fiyat farklarını artırıcı etkide bulunmaktadır.

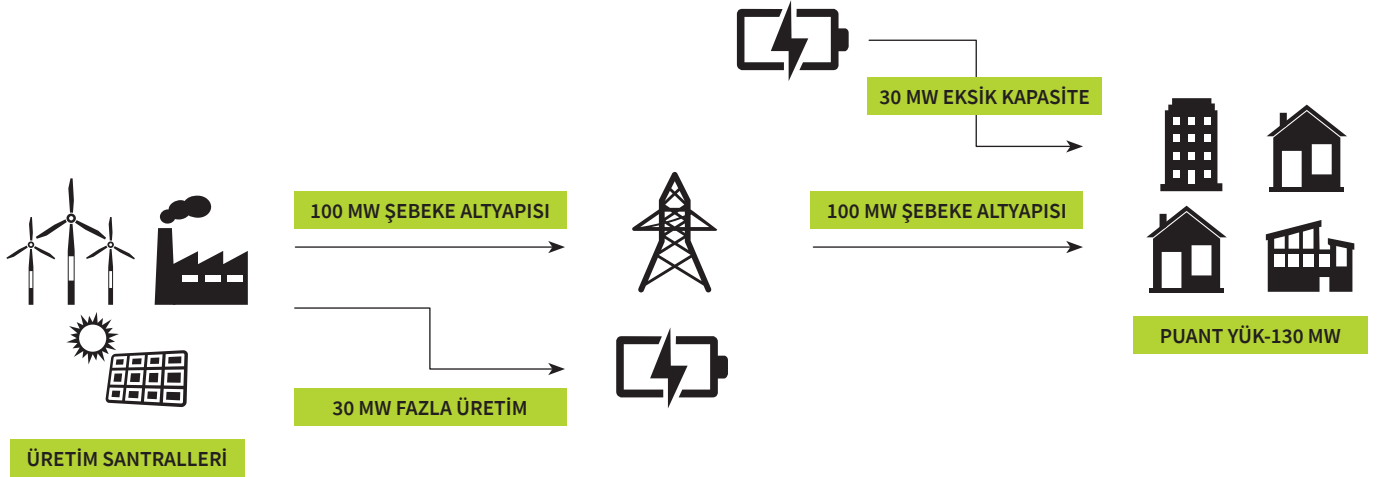
Şekil 13: Karbon Fiyatlandırma Uygulamasının 2040 yılı Günlük Fiyat Profili Üzerindeki Etkisi¹¹



¹¹ Gösterim için kamuoyuna kapalı olan örnek bir çalışmadan veriler kullanılmıştır, bu nedenle çalışmanın detayları raporun içinde verilmemektedir.

- DGP ve Yan Hizmetler Piyasası gibi farklı piyasalara katılım, enerji depolama sistemleri için gelir imkânları sunabileceğinden depolama sisteminin bu piyasalara katılımının sağlanması önerilmektedir.** Enerji depolama ünitelerinin farklı piyasalara dâhil olmasının önü açılarak gelir elde edebilecekleri kaynaklar çeşitlendirilmelidir. 2021 yılı içerisinde yüksek hızda artan Sekonder Frekans Kontrolü (SFK) maliyetleri, bu piyasada oluşan maliyetlerin düşürülmesinin önemini bir kez daha göstermiştir. Piyasanın mevcut koşullarında depolama kurulumlarının Yan Hizmetler Piyasası'nda faaliyet göstermesi, spot piyasalardaki faaliyetlere göre daha uygun durumdadır. Bu kapsamda kurulacak olan depolama tesislerinin birden çok piyasaya erişiminin sağlanması yatırımları artırabilir. Örneğin şu anki mevzuat altında tüketim tesislerine bütünleşik olarak kurulan bataryaların müstakil depolama tesisi olarak değerlendirilmesi ve gerektiğinde PFK-SFK hizmeti sunmalarının önünün açılması, yatırımların hızlanmasına katkı sağlayacaktır. 5 Temmuz 2022 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanan düzenlemeye göre, depolama yatırımı yapan yatırımcıların depolama kapasitesi kadar rüzgar veya güneş santrali önlisansı elde etmesi mümkündür. Bu kapsamda, kurulması planlanan depolama tesislerinden gerekli şartları sağlayanların Yan Hizmetler ve Dengeleme Güç Piyasaları'na katılımı mümkün olabilecektir. Bu düzenleme, depolama tesislerinin farklı piyasalara katılımı açısından önemlidir. Bununla birlikte, Yan Hizmetler Yönetmeliği'nde yapılacak değişikliklerle nispeten düşük kurulu güçteki enerji depolama tesislerinin Yan Hizmetler Piyasası'na katılımı da sağlanabilir. Mevcut yönetmeliğe göre, 30 MW ve üstü kurulu güce sahip üniteler, dengeleme birimi sayılmakta ve bu da nispeten küçük çaplı olan depolama kurulumlarının bu piyasaya katılımını engellemektedir. Söz konusu limitin 1 MW seviyesine çekilmesiyle enerji depolama sistemlerinin bu piyasaya katılımı sağlanarak yan hizmetler maliyetleri düşürülebilecektir. Farklı amaçlarla kurulacak bu depolama tesislerinin, Yan Hizmetler Piyasası'nın yanı sıra, Dengeleme Güç Piyasası'na katılımına da izin verilebilir. Depolama tesislerinin dengeleme birimi olarak kullanılması bu piyasadaki maliyetleri de azaltacaktır. Enerji depolama ünitelerinin, şebeke ölçeğindeki kullanımlarına benzer olarak tüketim noktalarında da farklı uygulamaları mevcuttur.
- Dağıtım ve iletim hatlarındaki yoğunluğun ve iletim kısıtlarının azaltılması için, enerji depolama sistemlerinin kullanıldığı “sanal elektrik hattı” düzenlemelerinin uygulanması önerilir.** Raporun önceki bölümlerinde belirtildiği üzere, Türkiye elektrik şebekesinde, üretim kaynaklarının ve tüketim merkezlerinin konumları nedeniyle ülkedeki farklı bölgeler arasında önemli iletim kısıtları meydana gelebilmektedir. Bu iletim kısıtları, mevcut durumda DGP'de verilen talimatlar yoluyla çözülmektedir. Öte yandan bu iletim kısıtlarının giderilmesinde enerji depolama sistemleri potansiyel olarak önemli bir rol oynayabilirler. Yenilikçi bir uygulama olarak enerji depolama sistemleri, sıkışık iletim hatlarının her iki tarafındaki kilit noktalara eklenmesi yoluyla “Sanal Elektrik Hatları” (Virtual Power Line) işlevi görebilir. Amerika'da hizmet veren Pacific Gas and Electric Company (PG&E) ve PJM Interconnection LLC (PJM) tarafından sanal iletim hatları uygulaması hayata geçirilmiştir (IRENA, 2020a). Bu yöntemde hem üretim hem de tüketim noktalarıyla etkileşimde bulunan enerji depolama tesislerinin kurulumu gerekmektedir. Üretim tarafına yakın tesis yenilenebilir enerji kaynaklı dalgalanmayı ve şebekedeki yüklenmeyi azaltmak için elektrik depolarken, sistem kapasitesinin izin verdiği durumlarda depolanan bu enerjiyi tüketim tarafındaki depolama tesisine göndermekte ve böylece şebeke kapasitesini aşan yükler, depolama sistemleri sayesinde beslenebilmektedir. Sanal iletim hatlarının çalışma biçimi Şekil 14'te gösterilmektedir. İletim sisteminde kısıtların en yoğun olduğu noktalar tespit edilerek, bu noktalarda benzer pilot uygulamalar hayata geçirilebilir.

Şekil 14: Sanal İletim Hatları



Bölgeler arası iletim tıkanıklıklarına ek olarak, dağıtım sistemi ölçeğinde de benzer uygulamalar kullanılabilir. İleride sıkışıklık yaşanması muhtemel bölgelerin dağıtım şirketleri tarafından tespit edilmesiyle ve bu bölgelere kurulacak olan depolama tesislerine yatırım teşvikleri sağlanması yoluyla dağıtım maliyetleri de azaltılabilir. Bu kapsamda dağıtım şirketleri tarafından farklı esneklik seçeneklerini içerecek esneklik ihaleleri açılması da gündeme gelebilir.

- **Enerji depolama tesislerinin sisteme entegrasyonu için düşük faizli krediler, vergi indirimleri ya da hibe uygulamaları gibi teşvikler uygulanabilir.**
Piyasa işleyişine etki eden uygulamaların sonlandırılması ve özellikle batarya sistemlerinde beklenen teknolojik gelişmelerle birlikte, enerji depolama sistemleri, piyasa koşulları içerisinde yatırım yapılabilir seviyelere ulaşacaktır. Fakat yatırımların ilk etapta hızlı şekilde artması adına dünyada da uygulama örnekleri bulunan değişik teşvik mekanizmalarından yararlanılabilir. Almanya'da hizmet veren KfW Bankası ve Alman Hükümeti, enerji depolama sistemlerini farklı uygulamalar ile teşvik etmektedir. KfW tarafından güneş enerjisi tesislerine bütünsel olarak kurulan depolama ünitelerine, düşük faizli kredi imkânı sağlanmaktadır. Finansal destek verilen bu projelerde en az %50 öz tüketim şartı vardır (Avrupa Komisyonu, 2018a). Ayrıca, Alman Hükümeti de farklı vergiler ve kesintiler üzerinden depolama tesislerini desteklemektedir. Şebekeye bağlı sayaç önlü depolama tesisleri (in-front-of-meters battery) depoladıkları elektrik enerjisini şebekeye verdiği ya da öz tüketim için kullandığı durumda, vergilerden ve şebeke tarifesinden muaf tutulmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2018a). Avusturya ve İtalya'da ise güneş enerjisi santrallerine bütünsel olarak kurulacak depolama tesislerinde yapılan harcamaların bir kısmı, devlet tarafından geri ödenecektir. Depolama teknolojisinin finansal olarak desteklenmesi, Türkiye'deki sistem esnekliğine ve yenilenebilir enerji santrallerinin değişken üretim yapısına da katkı sağlayacaktır. Gün içinde pek çok defa şarj ve deşarj yapacak olan depolama tesislerinde verimlilik nedeniyle kayıplar yaşanacaktır. Bu kayıptan kaynaklanacak olan zararların bir teşvik mekanizması yoluyla karşılanması da bir seçenek olarak değerlendirilebilir. Batarya kurulumlarının bölgesel yatırım teşviklerinden yararlanması da başka bir destekleme şekli olacaktır.

- **Tüketicilerin sayaç arkası batarya uygulamaları ile sistem esnekliğine katkı sağlaması desteklenebilir. Sayaç arkası batarya uygulamalarının işlerlik kazanması için çok zamanlı tarife yapısının kullanılması ve öz tüketim odaklı uygulamalara geçilmesi önerilmektedir.** Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan Clemson Üniversitesi'nin sayaç arkası depolama tesisi ile tüketimini kaydırarak çok zamanlı tarifeden faydalanması ve elektrik faturalarını düşürmesi bu uygulamaya örnek teşkil etmektedir. Aynı zamanda Şangay'da yer alan Johnson Control International'ın sayaç arkası batarya ile güneş PV üretimini depolayarak elektrikli araçları şarj etmede kullanması da, şarj yükünü ve öz tüketimi dengelemeye yönelik uygulamalara iyi bir örnektir (IRENA, 2019c). Türkiye'de de benzer kurulumların hayata geçirilebilmesi için çok zamanlı tarife uygulamasının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Eylül 2022 itibarıyla elektrik tarifelerinde uygulanan kademeli yapı ve çok zamanlı tarife ele alındığında, mevcut çok zamanlı tarifenin avantajlı olmadığı görülmektedir. Çok zamanlı tarife bu uygulamayı avantajlı kılacak şekilde tasarlanabilir. Uzun vadede ise elektrik tedarikinde gerçek zamanlı fiyatlandırmaya doğru gidilmesi yukarıda bahsedilen gelişmelere olanak sağlayacaktır.
- **YEKDEM süresini doldurmuş lisanssız santrallerin depolama teknolojileri ile desteklenmesi, hem santralin kârlılığını hem de sistem esnekliğini artırıcı bir etki yaratabilir.** 2019 yılındaki yönetmelik değişikliğinden önce kurulmuş olan lisanssız güneş enerjisi santralleri 10 yıllık alım garantilerinin tamamlanmasından ardından lisans elde ederek, toptan satış piyasasında piyasa fiyatlarının %85'i üzerinden gelir elde edecek ya da belirlenecek olan ve piyasa fiyatının üzerinde olmayacak alım garantisi üzerinden faaliyet göstereceklerdir. Mekanik kurulu kapasitesi elektrik kurulu kapasitesinden yüksek olan santrallerde kurulacak bütünleşik depolama tesisleri, hem bu santrallerin arbitraj olanaklarından yararlanmasını hem de sistemin esnekliğinin artmasını sağlayacaktır. Bu kapsamda bu santrallerin alım garantileri bittikten sonra lisanslı üretime geçilmesi esas alınmalıdır. Bu santraller mevcut seçenekteki gibi PTF değerinin %85'i üzerinden gelir elde edebilirler. Santrallerin alım garantisi süresi bitmeden de bu uygulamaya geçmeleri için bir seçeneğin sunulması, depolama yatırımlarının hızlandırılmasını da teşvik edebilir.
- **Şebeke dışı uygulamalarda batarya kurulumlarının cazip hale gelebilmesi için, teşvik mekanizmaları geliştirilebilir.** Türkiye enerji sisteminde şebeke dışı enerji depolama uygulamaları için potansiyel oldukça sınırlıdır. Bu tür uygulamalar şebekeden uzak bölgelerde daha çok küçük çaplı aydınlatma ve tarımsal sulama amacıyla kullanılabilir. Özellikle tarım sektöründe lisanssız santral (dağıtık üretim) ve batarya kurulumları ile elektrik maliyetlerinin düşürülmesi önemli bir fırsat olabilir. Bu potansiyelin gerçekleştirilebilmesi için vergi indirimi, düşük faizli kredi gibi teşvik mekanizmaları bu sektör özelinde uygulanabilir.
- **Pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri uzun dönemli depolamaya imkân tanıyan ve sistem esnekliğinin artırılmasına katkı sunabilecek önemli bir seçenektir. Dünyada yaygın uygulamaları bulunan bu tesislere yönelik fizibilite çalışmalarının ve pilot uygulamaların Ar-Ge ve proje geliştirme kapsamlarında yürütülmesi önerilmektedir.** Türkiye'nin hidroelektrik kurulu gücü göz önünde bulundurulduğunda, yüksek kapasitelerde ve uzun dönemli hizmet sunabilen bu teknoloji, sistem esnekliğini artırmada kullanılabilir. Bu tesislerin kurulumunda özellikle dağlık bölgelerde su havzaları arasında oluşan

kot farklarından yararlanılabilir. Bu kapsamda düşük maliyetli kurulumların yapılmasını sağlayacak coğrafi bölgelerin belirlenmesi için detaylı çalışmaların yürütülmesi ve bir potansiyel kaynak haritası oluşturulması önerilir. Uygunluğu tespit edilen havzalarda kurulacak olan pilot uygulamalar, daha geniş çaplı kurulumlar için de özendirici olabilir. İlk yatırım maliyetinin yüksek olmasına karşın elektrik depolamada kilovat-saat başına en düşük maliyete sahip olan pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerinin yaygınlaştırılması, yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılmasında ve sistem esnekliğinin sağlanmasında oldukça etkili olacaktır (IFPSH, 2021). Bu kapsamda, Türkiye özelinde ilk aşamada pompaj depolamalı hidroelektrik santral yatırımlarının artması için finansal teşvik ve vergi avantajlarının, sonraki aşamalarda ise, piyasa koşullarında oluşacak fiyat farklarından faydalanılarak, yatırımların teşviksiz hayata geçirilmesi sağlanabilir.

4.3. Enerjinin Form Değişirmesini (Power to X) Sağlayan Teknolojiler

Yeşil hidrojen, sürdürülebilir ve karbon emisyonu olmayan; elektrolizörler vasıtasıyla da elektrik sisteminin esnekliğini artırma özelliği olan önemli bir enerji taşıyıcısıdır. Sistem esnekliği sağlanmasında yeşil hidrojenin ve türevlerinin depolanarak farklı bir zaman diliminde kullanılması özellikle yenilenebilir enerji üretimlerinin mevsimsel değişimlerinin yönetilmesinde önemli olacaktır. Aynı zamanda yenilenebilir enerji üretiminin fazla olduğu zamanlarda kesintilere (curtailment) gidilmesi yerine, fazla olan enerji ile yeşil hidrojen üretilebilir. Değişken üretime sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının ve talep tarafında mevsimsel değişkenliklerin artmasıyla, daha uzun süreli enerji depolamaya ihtiyaç duyulacaktır. Yakın gelecekte yeşil hidrojenin uzun süreli depolanması ve depolanan hidrojenin doğal gaz şebekesine karıştırılması ya da direkt hidrojenle çalışan yakıt hücreleri ve türbinler yoluyla tekrar elektriğe dönüştürülmesi de uygulanabilir seçenekler olacaktır.

Çin, Almanya, Fransa, Avusturya, Danimarka, ABD, Japonya ve Kanada gibi gelişmiş ülkeler başta olmak üzere birçok gelişmekte olan ülke de yeşil hidrojen kapsamında projeler planlamakta ve geliştirmektedir. Fransa'da ve Danimarka'da geliştirilen yeşil hidrojen projeleri, yenilenebilir enerji üretiminin fazla olduğu zamanlarda yapılacak kesintilerin yeşil hidrojen üretmek için kullanılmasını ve üretilen hidrojenin ulaştırma, sanayi ve ısınma gibi çeşitli alanlarda yararlanılmasını amaçlamaktadır (Engie, 2018; IRENA, 2020b). Şili, Avusturya ve Almanya gibi ülkelerdeki yeşil hidrojen projesi örneklerinde ise şebekenin dengelenmesi amaçlanmaktadır (Enel, 2017; Brasington, 2018; Avrupa Komisyonu, 2018b; FCH JU, 2018). Almanya'da Thyssenkrupp tarafından üretilen elektrolizörlerde yük artırıp azaltma hızlarının primer hizmet vermeye uygun olduğu ortaya çıkmıştır. Birleşik Krallık'taki ve ABD'deki çeşitli örneklerde ise yeşil hidrojen, bir yenilenebilir enerji taşıyıcısı olarak kullanılmıştır (BIG HIT, t.y; Forni, 2017).

Bu projelerden bağımsız olarak, neredeyse tüm AB ülkelerinin Ulusal Enerji ve İklim Planları'nda beyan ettiği ve 2030 yılına kadar uygulamayı planladığı enerji ve iklim politikalarının arasında yeşil hidrojenden bahsedilmektedir. Bazı AB ülkelerinin eylem planları dâhilinde hidrojeni entegre etmeyi hedefledikleri sektörler, Tablo 5'te belirtilmiştir (Wolf ve Zander, 2021).

Tablo 5: AB Ülkelerinin Strateji Belgelerinde Hidrojeni Entegre Etmeyi Planladıkları Alanlar

Ülke	Isıtma	Enerji	Sanayi	Ulaştırma				
				Genel	Binek Araç	Ağır Vasıta	Havacılık	Denizcilik
Almanya	X	X	X	X	X	X	X	X
Avusturya	X	X	X	X	X	X		
Belçika		X	X	X	X	X		
Çekya	X	X		X	X	X		
Danimarka		X		X				
Fransa		X	X	X	X	X		
Hollanda	X	X	X	X		X		
İspanya		X		X				
İtalya			X	X	X	X		X
Polonya	X	X		X	X	X	X	X
Portekiz		X	X	X	X	X	X	X

Dünyada belirlenen bu hedeflere ve atılan adımlara paralel olarak ülkemizde de yeşil hidrojenin kullanımının yaygınlaşması ve uygun piyasa yapısının oluşturulması için adımlar atılmalıdır:

- **Yeşil hidrojen ile ilgili net bir yol haritası ve bu teknolojiye dair uygulamaların enerji piyasasına entegrasyonu ile ilgili yasal bir çerçeve çizilerek, bu kapsamda somut hedeflerin belirlenmesi önerilmektedir.** Türkiye’de hidrojen yol haritasının ülke şartları göz önünde bulundurularak oluşturulması ve kapasite hedeflerinin belirlenmesi, yapılacak yatırımları ve hidrojen ekosistemi gelişimini olumlu yönde etkileyecektir. Yeşil hidrojen potansiyelinden tam anlamıyla yararlanılabilmesi için başta güneş ve rüzgâr enerjileri olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından azami düzeyde faydalanılması gerekecektir. Bu kapsamda yeşil hidrojen stratejisi ülkenin genel enerji stratejisiyle birlikte bütüncül bir şekilde değerlendirilmelidir.
- **Çıkarılacak mevzuat kapsamında “Yeşil Hidrojen” kavramının net bir tanımı yapılarak, bu konuda bir sertifikasyon sistemi geliştirilmesi önerilmektedir.** Yeşil hidrojen kapsamında değerlendirilecek olan hidrojenin tanımı, çıkarılacak mevzuat içerisinde net olarak belirtilerek, getirilecek olan teşvikler yalnızca yenilenebilir enerjiden karbon emisjonsuz şekilde üretilen hidrojen için geçerli olması sağlanabilir. Bunun gerçekleştirilmesi için standartları şeffaf olarak belirlenmiş bir sertifikasyon sisteminin oluşturulması önceliklendirilebilir.
- **Yeşil hidrojen yatırımlarının artması için çeşitli teşvik mekanizmaları oluşturulabilir.** Mevcut durumda yeşil hidrojen üretim maliyetleri henüz istenen seviyelere düşmediğinden, bu yatırımların gerçekleştirilebilmesi için çeşitli teşvik mekanizmaları kurulabilir ve yatırımlar için vergi muafiyetleri getirilmesi değerlendirilebilir. İlgili destek mekanizması için gerekli finansal kaynak, çeşitli küresel fonlardan ve/veya uygulanması planlanan karbon fiyatlandırma mekanizmasından elde edilebilir. Özellikle yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle

finansmana erişim konusunda çeşitli kolaylıkların ve modellerin kurulması, yeşil hidrojen yatırımları için kritik olacaktır. Küresel ölçekte yeşil hidrojen uygulamaları için sağlanan finansal destek türleri, aşağıda özetlenmektedir:

- Kaliforniya’da güneş enerjisi santralleri ile yeşil hidrojen üretiminin bir arada yer aldığı üretim ve Ar&Ge projeleri, %3,9 vergi muafiyetine tabi tutulmaktadır (IRENA, 2021d).
- Almanya’da kurulu elektrolizörler yalnızca kullandıkları elektrik için ortalama aktif elektrik fiyatını ödemektedir. Vergiler ve yenilenebilir enerji destekleme bedellerinden muaf tutulan elektrolizör tesisleri, üretim maliyetlerini yüksek oranlarda düşürebilmektedir. Tüm vergilerin ve harçların dâhil edildiği durumda 7 ABD Doları/kg maliyetle üretim yapan bu tesisler, sağlanan muafiyetler sayesinde maliyetlerini 2,5 ABD Doları/kg seviyesine kadar düşürebilmektedir (IRENA, 2021). Özellikle sanayi tesisleri tarafından kullanılacak olan ve bu sebeple yüksek elektrik tarifeleri ile elektrik tüketen elektrolizör tesislerinin vergi indirimleri ile desteklenmesi, sektörün gelişimi açısından oldukça önemli olacaktır.
- Amerika’da “Build Back Better” yasal çerçevesi kapsamında yeşil hidrojen üretiminde kilogram başına 3 ABD Doları vergi muafiyeti getirilmesi yer almıştır. Sunulan bir diğer seçenek ise elektrolizör ve diğer ekipman maliyetinin yaklaşık %30’u vergi indiriminden (investment tax credit) yararlanılmasıdır (Norton Rose Fulbright,2021). Yatırımcı bu iki seçenekten yalnızca birini tercih edebilmektedir. Ancak teşvikten yararlanabilmek için üretilen her bir kilogram hidrojenin, yaşam döngüsü boyunca 6 kilogramdan daha az karbondioksit emisyonuna sebep olması gerekmektedir (Norton Rose Fulbright ,2021).
- Tüm hidrojen çeşitleri için getirilecek olan karbon vergisi ile yeşil hidrojenin rekabetçiliği artırılacaktır. Fransa’da 2020 yılında başlayan uygulama ile gri hidrojen üretimine 44,6 Euro/ton karbon vergisi uygulanmakta ve bu miktarın 2030 yılında 100 Euro/ton seviyelerine çıkarılması planlanmaktadır (IRENA, 2021). Yeşil hidrojen için uygulanan vergi miktarı ise 0,4 Euro/kg seviyelerindedir (IRENA, 2021). İki hidrojen türü arasında uygulanan vergi farkı, yeşil hidrojen maliyetinin %20-%40 arasında daha düşük olmasını sağlayarak yeşil hidrojenin rekabetçiliğini artırmaktadır (IRENA, 2021).
- **Karbonsuzlaştırması zor sektörlerde hidrojen kullanımı için belirli oranlarda yeşil hidrojen kullanım zorunluluğu getirilebilir. Bu doğrultuda uzun dönemli bir planlama yapılarak da bu uygulama hayata geçirilebilir.** Hidrojen, hâlihazırda, demir-çelik, kimya, gübre ve rafineleler gibi pek çok sektörde kullanılmaktadır. Bu sektörlerde kullanılan hidrojenin belli bir bölümünün yenilenebilir enerji ile üretilmesi, ancak bu konuda çeşitli standartlar getirilerek sağlanabilir. Farklı ülkelerde bu konuda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Örneğin Hindistan’da çelik, amonyak ve rafineri sektörlerinde toplam hidrojen tüketiminin %5 ile %10’unun yeşil hidrojen kaynaklı olması gündemdedir (Energyworld, 2022). Türkiye’de de benzer sektörlerde kullanılacak hidrojenin kaynağının belli standartlara bağlanması ve belli yüzdelerde yeşil hidrojen kullanımının zorunlu hale getirilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen hidrojen için önemli bir piyasa oluşmasını sağlayacaktır. Yeşil hidrojen kapasitesinin gelişimi ise yenilenebilir enerji kaynaklarının yönetimini kolaylaştırarak sistem esnekliğine katkı sağlayacak ve farklı sektörlerde karbonsuzlaşmayı hızlandıracaktır. Hidrojen kullanan sektörler için standartların uzun dönemli planlamalar dâhilinde önceden belirlenmesi, bu sektöre yapılacak yatırımları özendirici olabilir.

4.4. Talep Tarafı Katılımı

Türkiye talep tarafı katılımı bakımından büyük bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin kullanılabilmesi için gerekli mevzuatsal altyapı ve destek mekanizması çerçeveleri, henüz tam anlamıyla netleştirilmemiştir. Türkiye’de talep tarafı katılımının etkinleştirilmesi için yapılması gerekenler, SHURA çalışmasında detaylandırılmıştır (SHURA, 2022c). Aynı doğrultuda hazırlanan öneriler ve uluslararası örnekler aşağıda özetlenmektedir;

- **Talep tarafı katılımı piyasada uygulanan genel politikalarından doğrudan etkilenecek niteliktedir. Genel piyasa mimarisinde yapılacak iyileştirmeler, talep tarafı katılımı potansiyelinin etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayabilir.** Daha önceki bölümlerde değinildiği üzere bu noktada atılması gereken temel adımlar arasında, spot piyasalardaki asgari ve azami fiyatların tekrar değerlendirilmesi, piyasada oluşan fiyatların gerçek sistem maliyetlerini yansıtacak şekilde gelişmesinin sağlanması, kademeli olarak bölgesel bir fiyatlandırma sistemine geçilmesi ve gerçek zamanlı piyasaların yapısında yapılacak değişiklikler gösterilebilir.
- **Türkiye enerji mevzuatının tüketiciyi merkeze alan bir bakış açısıyla gözden geçirilerek, gerektiği takdirde bu husus odağında iyileştirmeler yapılabilir.** Mevzuatın özellikle dijitalleşme ve esnekliğe dönük bir bakış açısıyla yeniden ele alınması önerilmektedir. Talep tarafı katılımı kapsamında tüketicinin korunmasına dair hükümler, ASPIRE ilkeleri (Ekonomiklik, Sadelik, Koruma, Kapsayıcılık, Güvenilirlik ve Güçlendirme) göz önünde bulundurularak şekillendirilmelidir. Bunun yanında mevcut olan mevzuatta ve özellikle Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı’nda yer verilen faaliyetler de hızlandırılabilir.
- **Hem puant hem de toplam yük bakımından yoğun enerji talebinin olduğu sanayi bölgelerinde, talep tarafı katılımıyla elde edilebilecek tasarruflar belirlenebilir.** Enerji yoğun bölgeler ve büyük tüketicilerin bu alanda yapacağı yatırımların geri dönüşü görece daha kolay olduğundan, ilk aşamada bu grupları kapsayan teşvikler hayata geçirilebilir. İngiltere’de büyük ölçekli tüketicilerin yarım saatlik talep tarafı katılımı hizmeti vermesine imkân tanınmaktadır (Birleşik Krallık İşletme, Enerji ve Sanayi Stratejileri Dairesi, 2021). ABD özelinde yapılan bir çalışma, sanayi ve ticarethane grubunun, talep tarafı hizmeti içerisinde oldukça büyük bir paya sahip olduğunu göstermektedir. Smart Electric Power Alliance (SEPA) tarafından 2018 yılında yapılan bir çalışma, ABD’de esneklik seçeneği olarak talep tarafı katılımcılarının yarısından fazlasının sanayi ve ticarethane sektörlerinden geldiğini göstermektedir. Bahsedilen sektörlerden gelen yüklerin üçte ikisinin ise aydınlatma, pompalar ve iklimlendirme kaynaklı olduğu görülmüştür (Uzman Gözüyle Enerji Dergisi, 2021). Bu doğrultuda, Türkiye’de talep tarafı potansiyellerinin belirlenmesi için stratejiler oluşturulmalıdır.
- **Elektriğin son kullanım alanlarında çok zamanlı tarife kullanımının artırılması önerilir.** Düzenlemeye tabi tarifeler ve serbest piyasada son kullanıcı elektrik fiyatlandırmaları, şebeke ve piyasa maliyetlerini yansıtacak ve tüketicilerin fiyatlara yük kaydırma yoluyla tepki verebileceği şekilde çok zamanlı olarak belirlenmelidir. Tarifenin hacimsel ölçüm unsuru, elektrik şebeke maliyetini ve mümkün olduğunca tüketicinin puant şebeke kapasitesine katkısını da yansıtabilir. Burada farklı tüketici grupları için farklı uygulamalar söz konusu olacaktır. Küçük endüstriyel ve ticari

tüketici grupları için çok zamanlı tarife, standart seçenek olarak belirlenebilir. Diğer konut tipi tüketiciler için ise tarife tasarımı basit bir hacimsel ölçüm fiyatına dayalı olmalı ve bu tüketicilere kullanım zamanı veya dinamik tarife seçme seçenekleri sunulmalıdır. Elektrikli araçlar ve ısı pompaları gibi yeni, kontrol edilebilir yük grupları için de hacimsel çok zamanlı ve bölgelere göre değişen fiyat tarifeleri uygulanabilir.

- **Orta/Uzun vadede düzenlemeye tabi perakende tarifelerin kademeli olarak kaldırılarak tüketicilerin piyasaya geçişi desteklenebilir.** Elektrik üretim maliyetlerinin tüketicilere yansıtılması talep tarafı katılımını büyük oranda destekleyecek ve piyasa koşulları içinde en uygun talep tarafı katılım olanaklarının kullanılmasını sağlayacaktır. İdeal olarak, bu maliyetlere, özellikle karbon maliyeti olmak üzere çevresel maliyetlerin de eklenmesi gerekmektedir. Perakende elektrik tarifeleri kademeli olarak kaldırılırken, sosyal tarifieden yararlanan kırılgan tüketiciler için farklı bir tarife uygulanabilir..
- **Orta/Uzun vadede ulusal enerji piyasasının bölgesel fiyatlandırma sistemine geçmesi, talep tarafı potansiyelinin kullanılmasına fayda sağlayacaktır.** Bu değişikliğin yapılmasıyla birlikte bölgesel iletim kısıtlarının etkisi minimuma indirilecek ve özellikle küçük ve dağıtık santrallerin sisteme entegrasyonu açısından yaratacağı imkânlar, talep tarafı katılımına ilişkin potansiyeli önemli ölçüde artıracaktır. Daha uzun vadede trafo bazlı (nodal pricing) bir fiyatlandırma rejimine geçilmesinin olası fayda ve zararlarının tartışılması önerilir.
- **Talep tarafı kontrolü hizmetleri için piyasalar sanal ortamda açılarak, sanal uygulama yoluyla pilot projelerin uygulanması önerilir.** Mevcut talep tarafı kontrol uygulamasının piyasada beklenen etkiyi yaratamamış olmasında, tüketicilerin konu hakkında bilgi ve deneyim eksikliğinin bulunması ve ihale yapısının tam olarak anlaşılammış olduğu düşünülmektedir. Uygulamanın başarılı bir şekilde sürdürülebilmesi için bir deneme süresi ve bu süre içinde sanal uygulamalar yoluyla çeşitli denemelerin yapılması faydalı olacaktır. Kısa süreli olarak açılan ihalelerin en azından aylık dönemleri içerecek şekilde açılması da büyük tüketicilerin piyasaya olan ilgisini artırabilir.
- **Dağıtık enerji kaynaklarının gerçek zamanlı piyasalara, spot piyasalara ve her çeşit kapasite mekanizmasına adil bir şekilde katılımı, yapılacak yeni düzenlemelerle sağlanabilir.** Tüketiciler, bağımsız talep toplayıcılar ve lisanssız üreticiler gibi farklı dağıtık enerji birimlerinin tüm değer zincirine erişiminin sağlanması, bu kaynakların arz tarafıyla eşit şartlarda rekabet ederek sistemin en verimli çözümlere ulaşmasını sağlayacaktır. Bu konuda atılması gereken adımlar arasında en önemlilerinden biri, farklı piyasalar için tanımlanmış asgari büyüklük eşik değerlerinin değiştirilmesidir. Yüksek eşik değerleri genellikle arz tarafının lehine çalışmakta ve nispeten düşük kurulu güç ve elektrik tüketimine sahip olan tüketim tesislerinin bu piyasalara erişimini kısıtlamaktadır. Örneğin, Türkiye’de Yan Hizmetler Piyasası’na katılım için gerekli olan 30 MW kurulu güç gereksinimi, olası talep tarafı katılımcılarını sistemin dışında bırakmaktadır. Dünyadaki uygulamalara paralel olarak bu değerın 500 kW ya da bir ön adım olarak 1 MW değerine çekilmesi bu piyasalarda talep tarafı katılımı potansiyelini artıracaktır. Aynı şekilde mevcut mevzuatta, talep tarafı yedeği hizmeti sağlayabilecek tüketim tesisleri için yıllık asgari tüketim miktarı, 10.000.000 kWh olarak belirlenmiştir. Daha düşük tüketim değerleri olan tesislerin de gerekli altyapıya sahip olmaları durumunda piyasaya katılımına izin verilebilir.

- **Talep tarafı katılımında talep toplayıcıların görevlerini ve sorumluluklarını düzenleyen mevzuatın hazırlanması önerilir.** Bağımsız talep toplayıcıların piyasada etkin olarak yer alması, düşük tüketime sahip tüketicilerin talep tarafı katılımının önünü açarak, TEİAŞ'ın üzerindeki sistem işletme yükünü hafifletecek bir potansiyelindedir. Bu amaçla kapsamlı bir düzenleyici çerçeve kurulabilir. Talep tarafı katılımcıları için geliştirilecek tüm mekanizmalar ve öneriler, bağımsız talep toplayıcılar için de eşit şekilde geçerli olmalıdır. Piyasadaki talep toplayıcılarının tüketici rızasını alarak ilgili verileri toplayabilmesi için bir alt yapı oluşturulabilir. Ayrıca mevzuata, bağımsız talep toplayıcıların sistem işletmecisine dengeleme hizmeti vermesini sağlayacak hükümler de eklenebilir. Denge mekanizmalarının kurulması sağlanarak, dengeden sorumlu tarafın yaşayabileceği bir dengesizlik durumunda, bağımsız bir talep toplayıcının eylemleri nedeniyle durumun zorlaşmasının önüne geçilebilir.
- **Talep tarafı olanaklarından yararlanılabilmesi için tüm tüketicilerin en azından saatlik çözümlüğe sahip akıllı sayaç kullanımına geçmeleri gerekmektedir.** Türkiye enerji politikaları arasında akıllı şebeke ve akıllı sayaç konularında hedefler konulmuş olsa da, henüz bu hedefler tutturulamamıştır. Mevcut durumda tüketicilerin yalnızca %3'e yakın bir kısmı akıllı sayaçlara sahiptir. Talep tarafı katılımı potansiyelinden yararlanılabilmesi için tüketicilerin en az saatlik (bazı tüketiciler için daha da yüksek) çözümlükte güvenilirlik ve hızlı bir iletişim sağlayan akıllı sayaç sistemine geçmesi gerekmektedir. Akıllı sayaçlara geçişin hızlandırılması için çeşitli teşvik mekanizmaları uygulanabilir.
- **Akıllı sayaçlara erişiminin sağlanmasının yanında tüketicilerin sahip oldukları talep tarafı potansiyeli bakımından bilgilendirilmesi de önemli olacaktır. Bu amaç için çeşitli bilgilendirme kampanyaları yürütülebilir.** İngiltere hükümeti 11 milyon İngiliz Sterlini'ne yakın bir bütçeyi mesken ve diğer abone gruplarının bilgilendirilmesi ve farkındalığının artırılması için kullanmıştır (Birleşik Krallık İşletme, Enerji ve Sanayi Stratejileri Dairesi, 2021). Ülkemizde de toplumun bilinç düzeyini artıracak ve talep tarafı katılımı uygulamasının etkilerini somut olarak gösterecek bilgilendirme çalışmaları yürütülebilir. Ayrıca, tarife çeşitliliğinin ve talep tarafı katılımcısı olmayı teşvik eden koşulların belirlenmesi önerilmektedir.

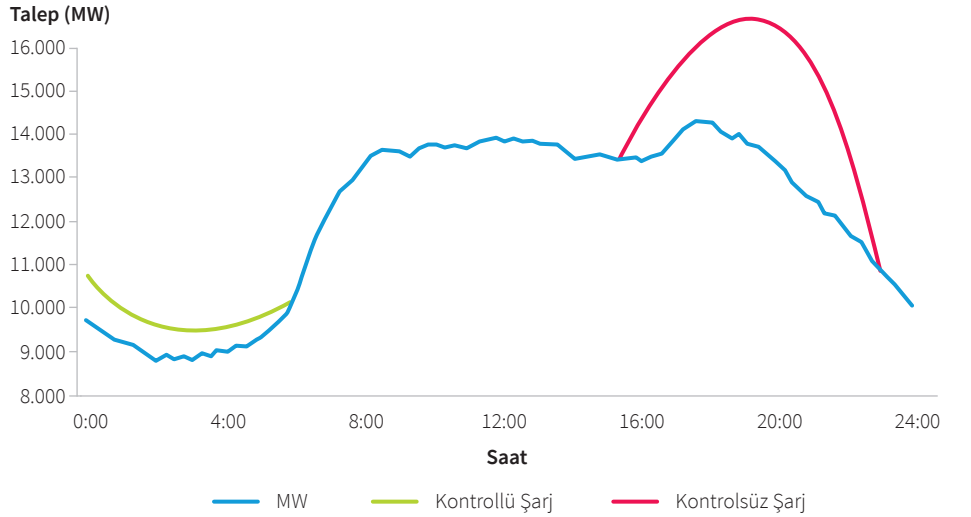
4.5. Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçlar, ulaştırma sektörünün karbonsuzlaşmasında ve fosil yakıtlarda dışa bağımlılığın azaltılmasında kritik öneme sahip olan bir diğer unsurdur. Maliyet açısından içten yanmalı motorlarla rekabet edebilecek seviyeye gelen elektrikli araçların sayısının, ilerleyen yıllarda artması beklenmektedir. Elektrikli araçlardan kaynaklanacak ilave elektrik tüketimi toplam elektrik talebini artıracığından, bu ilave talebin doğru yönetilmesi, sistem esnekliğinin de artırılmasını sağlayacaktır. Türkiye'de elektrikli araçların elektrik sistemi esnekliğini artırmaya yönelik öneriler aşağıda sunulmaktadır:

- **Gün içinde farklı zaman aralıklarında farklı fiyatlarla şarj etmeyi teşvik eden tarifeler (Time of Use, ToU) ve düzenlemeler hazırlanabilir.** Teşvik veya düzenlemelerle kontrol edilmeyen şarj yükü, puant zamana kaymaktadır. Şekil 15'te, Almanya'da düzenlenen şarj yükü ile kontrolsüz şarj yükünün talebe etkisi gösterilmektedir. Bu noktada, elektrikli araçlardan gelecek olan talebin teşviklerle beraber yenilenebilir enerjinin yoğun olduğu saatlere kaydırılması,

hem yenilenebilir enerji santrallerinden alınan faydayı artıracak hem de ulaşım sektörünün karbonsuzlaşmasında etkili olacaktır. Çin'in pek çok şehrinde ve bölgesinde hizmet veren devlet şebeke kurumu "State Grid" bünyesindeki şarj istasyonlarında benzer bir fiyatlandırma sistemi uygulanmaktadır. Gün içerisindeki talep yoğunluğuna bağlı olarak, pik (peak), gündüz (shoulder) ve gece (valley) şeklinde üç farklı zaman dilimi tanımlanmıştır. Bu zaman dilimlerinde, sırasıyla, 1,0044 Çin Yuanı/kWh, 0,6950 Çin Yuanı/kWh ve 0,3946 Çin Yuanı/kWh şarj ücreti belirlenmiştir (SIPA, 2019). Danimarka'da ise kritik puant fiyatlandırması (Critical Peak Pricing) ile mevsimsel puant yükün önlenmesi amaçlanmıştır. Uygulama dâhilinde Ekim ile Mart ayları arasında 17:00-20:00 zaman dilimlerini kapsayacak şekilde yüksek fiyat uygulaması yapılmaktadır (RAP, 2021). Bahsedilen zaman dilimlerinde, araçlar, puant dışı zamana kıyasla üç kat kadar daha yüksek fiyatlar ile şarj edilebilmektedir. Türkiye'de de benzer bir fiyatlandırma sisteminin uygulanması sayesinde, puant zamana kayması engellenen şarj yükü ile sistem esnekliği ihtiyacı azaltılabilecektir.

Şekil 15: Elektrikli Araç Talebinin Elektrik Talebi Profiline Etkisi (RAP, 2021)



- **Türkiye'de puant yüke kayabilecek olan elektrikli araç şarjı farklı uygulamalar ve düzenlemeler ile puant dışına taşınabilir.** Bunun sağlanabilmesi için gerekli altyapının oluşturulması gereklidir. İngiltere'deki yöntemde şarja takılan araçlar dağıtım şirketi tarifeleri üzerinden otomatize olarak şarj edilmekte ve böylece fiyatın uygun olduğu saatlerde sistemden çekiş yapılarak sistemin yönetilebilmesini kolaylaştırmaktadır. Elektrikli araçların mutlaka şarja takıldıkları anda şarj edilmelerine gerek yoktur. Şarj zamanları; aracın bataryasının anlık doluluk oranı, aracın hareket edeceği saat veya tarih, saatlik piyasa fiyatları ve şebekedeki anlık sıkışmalar gibi farklı faktörler göz önüne alınarak optimize edilebilir. Şarja takılı araçların dağıtım şirketlerinin yapmış olduğu optimizasyon çalışmasına uygun şekilde şarj ve deşarj edilmesi sistemdeki yükü azaltacak, aynı zamanda şebekenin işletilmesine katkı sağlayacaktır. Bu anlamda haberleşme ve takip konusu, elektrikli araçlar özelinde de büyük öneme sahip olacaktır. Türkiye'de oluşturulacak elektrikli araç şarj altyapısının, akıllı işlevsellikler içerecek ve dinamik tarifeleri mümkün kılacak şekilde tasarlanması, yeni kurulacak şarj istasyonları için bu tarz yükümlülüklerin uygulanması gerekmektedir. Bu kapsamda, akıllı şarj istasyonları, veri alıp verebilen, alınan verilere tepki gösterebilen ve herhangi bir anda şarj noktasından geçen enerji miktarını değiştirebilen istasyonlar olarak tanımlanabilir (Birleşik Krallık Hükümeti,

2021). Türkiye’de kurulacak olan şarj istasyonları için de benzer bir tanımın yapılarak, bu özellikler zorunlu tutulabilir. Yine İngiltere’deki uygulamaya benzer şekilde bu sistemlerin işletiminden dağıtım şirketleri sorumlu tutulabilir.

- **Elektrikli araçların sayısının artmasının ardından bu araçların ve akıllı şarjın şebekeye etkilerini ölçmek için belirlenecek bölgelerde pilot programlar uygulanabilir.** Green Flux tarafından İngiltere Batı Elektrik Dağıtım Bölgesi’nde 2016-2019 yılları arasında toplanan veriler yardımıyla, şarj edilen elektrikli araçların yük profilleri incelenmiş ve bu incelemelerden çıkarılan sonuçlara uygun şarj periyotları önerilmiştir. Akıllı telefonlar üzerinden çalışan uygulamada kullanıcılara elektrikli araçların şarjında zaman optimizasyonu, fiyat optimizasyonu ve acil şarj modu gibi farklı seçenekler sunulmuştur. Araştırmanın sonuçlarına göre uygulamayı kullanan kişilerin %60’ının şarj önceliği olarak düşük maliyeti tercih ettiği görülmüştür (GreenFlux, 2018). Bu sayede kaydırılan yüklerle yeni bir altyapıya ihtiyaç duyulmadan kontrolsüz şarja kıyasla 10 kat daha verimli bir araç şarjı gerçekleştirilmiştir. Benzer yenilikçi uygulamaların pilot programlar şeklinde Türkiye’de de uygulanması, elektrikli araç kaynaklı esnekliğin faydalarını göstererek, tüketicilerin katılımını teşvik edecektir.
- **Şarj optimizasyonu konusunda ötesinde elektrikli araçların şebekeyi geri beslemede de kullanılabilmesi sistem esnekliğini artırıcı bir etmendir. Bu potansiyelin hayata geçirilebilmesi için elektrikli araçlar da talep toplayıcı kapsamında değerlendirilebilir.** Günün %95’ini park halinde geçiren EV’lerin şebekeyi geri beslemede kullanılması ve böylelikle de yenilenebilir enerjiden azami bir şekilde faydalanılması mümkündür (IRENA, 2019b). Frekans piyasası PJM bünyesinde hizmet veren “Nuvve” firması, elektrikli araç sahiplerinin sağladığı uygunluk ve şarj durumu verilerini kullanan bir yazılım aracıyla, belirlenen araçlar için “araçtan şebekeye” (V2G) hizmeti sağlamaktadır (IRENA, 2019b). Hamburg’da 2019 yılında başlatılan “ELBE” projesi de talebe bağlı tarife ve V2G uygulamalarını içermektedir (IRENA, 2019b). Aynı şekilde frekans kontrolü için dağıtım şirketleri elektrikli araçlardan gelecek esnekliği etkili bir yolla kullanarak yatırım maliyetini düşürecektir. Jedlix ve Next Kraftwerke şirketleri, Hollanda dengeleme piyasasında, elektrikli araçların esnekliğini kullanarak hizmet vermektedir (USEF & Jedlix, 2020). Benzer uygulamalar Türkiye’de de hayata geçirilerek, yenilenebilir enerji üretiminin yoğun olduğu saatlerde EV’ler şarj edilebilir, şebekenin elektriğe ihtiyacı olduğu zamanda ise bu araçlar şebeke beslemesinde kullanılabilir. Bu kapsamda, dağıtım bölgeleri ölçeğinde esneklik piyasalarının kurulması ve elektrikli araçların bu piyasalardaki katılımı önemli olacaktır. Talep tarafı katılımının genelinde olduğu gibi burada da önemli olan bir nokta “talep toplayıcılara” izin verilmesidir. Elektrikli araçların da talep toplayıcı olarak hizmet verebilmesi için gerekli mevzuatsal değişiklikler yapılmalıdır. Next Kraftwerke ve Jedlix tarafından dengeleme piyasasına verilen hizmette, bu iki firma talep toplayıcı olarak da yer almaktadır. İtalya merkezli Enel firması ise benzer şekilde sunduğu toplayıcılık hizmeti ile elektrikli araçları yan hizmetlerde kullanmakta ve aynı zamanda dağıtık güneş enerjisi santrallerinden faydalanılmasını kolaylaştırmaktadır (IRENA, 2019b). Bahsedilen iş modelinin teşvik edilmesi ve mevzuat altyapısının hazırlanmasıyla, tekil olarak sisteme dâhil olamayacak olan araçlar, piyasa içerisinde aktif bir rol alabilecektir.

4.6. Dijitalleşme ve Akıllı Şebekeler

Türkiye’de ve dünyada enerji dönüşümünü destekleyecek ve hızlandıracak ana unsurlardan biri, dağıtık enerji kaynaklarının ve elektrifikasyonun yönetiminde, sistem esnekliğinin artırılmasında kilit role sahip olan dijitalleşmedir. Böylelikle dağıtık üretimin yaygınlaşması ile arz toplayıcılara ve enerji verimliliği konularında hizmet veren yeni iş modellerine ihtiyaç artacaktır. Bu noktada ilgili düzenlemeler için gerekli mevzuat altyapılarının hazırlanması gerekmektedir. Bahsedilen faydalara ek olarak, verilerin toplanmasını ve anlamlandırılmasını mümkün kılan yapay zeka (AI) ve nesnelerin interneti (IoT) gibi uygulamalarla birçok farklı iş modelinin enerji sektörüne dâhil edilmesi mümkün olmaktadır. SHURA tarafından yapılan çalışmada, enerji sektörünün ortalama dijital olgunluk sıralamasında 1,4 puanla sonlarda yer aldığını gösterilmektedir (SHURA, 2022a). Çalışma sonucuna istinaden enerji sektöründe dijitalleşme potansiyelinin oldukça yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Raporun bu kısmına kadar bahsi geçen politika önerilerinin büyük çoğunluğunun gerçekleştirilmesi dijitalleşme ve akıllı şebekelerin yaygınlaşmasına bağlıdır. Enerji piyasasında dijitalleşmenin faydalarından yararlanılabilmesi için atılabilecek adımlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- **Enerji sistemindeki haberleşme ve uzaktan takip konularında gerekli altyapının sağlanması, sistem esnekliğinin artırılmasında öncelikli bir konudur. Gerekli altyapı yatırımlarının planlanması ve özel sektöre ilgili yükümlülüklerin getirilmesinde kamunun öncü bir rol üstlenerek koordinasyon sağlaması, süreci hızlandırıcı bir etki yaratacaktır.** Özellikle kırsal bölgeler başta olmak üzere ülkedeki haberleşme teknolojilerinin ve altyapısının hızlı şekilde geliştirilmesi önceliklendirilebilir. Bu kapsamda elektrik hatlarından haberleşme (power line communication, PLC) teknolojisinin Türkiye’de de uygulanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.
- **Artan dağıtık üretimin takibinde, teknik eksiklikler nedeniyle sistem işletmecisinin sistemi yönetmesi daha zorlu bir hale gelebilir. Dağıtık üretim yapan lisanssız santrallerin üretimlerinin anlık olarak takip edilebilmesi için var olan düzenlemeler doğrultusunda gerekli yatırımların hızlıca yapılması önerilir.** Lisanssız santrallerin anlık üretim kontrolü konusunda mevcut bir yönetmelik bulunsa da, var olan yükümlülükler lisanssız santrallerin büyük çoğunluğu tarafından tam olarak uygulanmamaktadır. Üretimin anlık olarak izlenememesi ise sistem işletmecisinin sistemi yönetmesinde zorluklar meydana getirmektedir. Mevcut yönetmelikteki, özellikle anlık üretim veri akışını sağlayacak hükümlerin uygulanması, sistemin daha sağlıklı ve sorunsuz işletilmesini mümkün kılacaktır.
- **Enerji sektöründe aktif olan çeşitli kurumlar arasındaki iletişimi güçlendirmek için ortak bir veri havuzunun ve sanal platformun oluşturulması çok yönlü faydalar sağlayacaktır.** EDAŞ’lar, TEİAŞ ve EPDK gibi enerji sektöründe faaliyet gösteren temel kamu kurumlarının veri tutma yöntemleri ve kodlama sistemleri gibi konularda farklılıklar bulunmaktadır. Örnek olarak santrallerin isimleri, kodları gibi verilerde kurumlar arasında değişkenlik gözlemlenmektedir. İlgili kurumlar arasında ortak bir veri havuzu oluşturularak bir koordinasyon sağlanması, veri uyumsuzluklarını çözeceği gibi, piyasada gerekli verilere daha kolay ulaşılmasını da sağlayacaktır.

- **Yeni altyapı yatırımlarında akıllı sayaçların, akıllı eviricilerin (inverter) ve akıllı şarj istasyonlarının kullanılması için gerekli yükümlülükler ve standartlar oluşturulmalıdır.** Raporun önceki bölümlerinde değinildiği üzere enerji depolama, talep tarafı katılımı ve elektrikli araçların şarj optimizasyonu gibi konuların hayata geçirilebilmesi için ön koşul, akıllı bir şebeke altyapısının kurulmasıdır. Bu nedenle yapılacak yeni altyapı yatırımlarında kullanılmak üzere açık standartlar ve tanımlar belirlenerek, yeni yatırımların tamamı bu standartlar çerçevesinde yapılabilir. Ülke genelinde akıllı şebekelere geçilebilmesi için kapsamlı bir yol haritası hazırlanmalıdır. Bu konuda hedeflerin gerçekleştirilmesini sağlamak için ilgili taraflar saptanmalı ve gerekirse bunun için hızlandırıcı teşvik mekanizmalarının uygulanması önerilir.
- **Arz ve talep toplayıcılar ile sanal elektrik santralleri gibi yeni iş modelleri, sistem optimizasyonunun sağlanmasında ve dağıtık enerji kaynaklarının payının artırılmasında faydalı olacaktır. Yeni iş modellerinin avantajlarından yararlanılabilmesi için mevzuatta gerekli düzenlemelerin yapılması önerilir.** Arz ve talep toplayıcı iş modeli ile dağıtık üretim santralleri ile elektrikli araçlar ve sayaç arkası bataryalar gibi küçük ölçekli sistemler, toplu olarak optimize edilerek sisteme dâhil edilebileceklerdir. Bu noktada, mevcut mevzuatta talep ve arz tarafındaki toplayıcıların tekil üretim ve tüketim birimleriyle aynı şartlarda rekabet etmesi de sağlanabilir.

Arz toplayıcıların dört temel iş modeli aşağıda özetlenmektedir:

- Küçük ölçekli santrallere uygulanan hizmete benzer şekilde şebeke ölçeğindeki santraller için hizmet veren “yenilenebilir enerji portföyü” ilk alt iş modelidir. Emre amadeliği yüksek santrallerin, kesintili üretim yapan yenilenebilir enerji santrallerinin ve depolama tesislerinin sanal olarak bir araya getirilerek kontrol edilmesiyle, yenilenebilir enerji portföy yönetimi yapılabilmektedir. Elektronik ortamda izlenen santraller, piyasa sinyallerine göre uzaktan müdahale ile yönetilmekte, bu sayede kesintili üretim yapan kaynakların üretiminin toplu olarak optimize edilebilmesi sağlanmaktadır.
- Piyasa katılımcısı iş modeli ile küçük ölçekli santrallerin piyasaya erişimi sağlanabilecektir. Birden fazla noktadaki küçük ölçekli tesis tarafından gerçekleştirilen üretim, piyasa katılımcısı tarafından toplanarak organize veya tezgâh üstü piyasalarda satılabilecektir.
- Aynı şekilde arz toplayıcılar tarafından yönetilen portföy, Yan Hizmetler Piyasası’nda da işlem yapabilecektir. Statkraft, bahsedilen iş modelini kullanarak portföyündeki depolama tesisleri ile İngiltere şebekesi için 80 MW kapasite gücünde birincil dengeleme hizmeti vermektedir (SHURA, 2022a).
- Son olarak “dâhili dağıtık enerji üretimi optimizasyonu” ile dağıtım şirketi düzeyinde yerel optimizasyon hizmeti verilebilecektir. Almanya’da hizmet vermekte olan Sonnen, kurmuş olduğu “sonnenCommunity” ile bireysel tüketicilerin ürettikleri enerjiyi paylaşmalarını mümkün kılmaktadır (SHURA, 2022a). Tüm üyeleri bir yazılım ile izleyen sistem, fazla enerjinin sanal bir havuzda toplanmasını ve sabit bir fiyattan platformun diğer kullanıcılarına satılmasını sağlamaktadır.

Arz toplayıcılara benzer şekilde hizmet verecek olan talep toplayıcılar sayesinde elektrikli araçlar, klima üniteleri gibi küçük ölçekli yükler ve sanayi alanındaki büyük ölçekli yükler yönetilebilecektir (SHURA, 2022a). Yönetilen yüklerin gerçekleşme zamanı ayarlanarak talep zamana yayılabilecek, böylece şebekedeki yük, fiyat sinyallerine uygun şekilde dengelenebilecektir.

Sanal elektrik santralleri (VPP) sayesinde talepteki dalgalanmalara karşı büyük ölçekli santrallere olan ihtiyaç azaltılarak, marjinal enerji maliyetlerinin düşürülmesi sağlanabilecektir (SHURA, 2022a). VPP için yapılacak pilot projeler, bu uygulamanın gelişmesinde oldukça önemli olacaktır. Proje süresince toplanıp işlenen veriler, ileriki dönemlerde büyük ölçekli uygulamaların hazırlanmasında ve idari düzenlemelerin belirlenmesinde örnek teşkil edecektir.

Türkiye enerji piyasasında gerekli mevzuatsal değişikliklerinin yapılmasıyla bu tarz yenilikçi uygulamaların önü açılabilir. İş modelleri konusunda yürütülecek pilot çalışmalar, fayda ve maliyetin tam olarak anlaşılması açısından da yol gösterici olacaktır.

4.7. İletim Şebekesi ve Enterkonneksiyonlar

İletim şebekesinin geliştirilmesi ve enterkonneksiyon kapasitesinin genişletilmesi, sistem esnekliğinin artırılmasına önemli katkılar sağlar. Enterkonneksiyon kapasitelerinin etkin kullanılması sayesinde, puant saatlerde yükselen elektrik talebini karşılamak için ithalat, yenilenebilir enerji üretiminde yükseliş görülen ancak talebin artmadığı durumlarda ise ihracat artırılarak sistem dengesinin korunması sağlanacaktır.

- **Altyapı yatırımları, arz ihtiyacının yanı sıra yenilenebilir enerji santrallerindeki kapasite artış hedeflerini de içerecek şekilde planlanabilir.** Mevcut şebeke içinde uygun olan konumlarda kapasite tahsisi yapılmasından ziyade, arz ihtiyacını karşılayacak ve yenilenebilir enerji kapasite artışı hedeflerinin gerçekleşmesine imkân sağlayacak yerlerde, yeni yatırımlar yapılabilir. İletim sistemi ve üretim tesisi yatırımlarının bütüncül bir şekilde planlanması ve yenilenebilir enerji kapasite tahsisi yapılacak alanların bu plan dâhilinde belirlenmesi çok yönlü faydalar sağlayacaktır. Potansiyel dağıtık enerji yatırımları için ise mevcut şebeke kapasitesi ve bağlantı noktaları hakkında bilgileri içeren kapasite barındırma haritalarının oluşturulması ve yatırımların buradan çıkarılacak sonuçlara göre konumlandırılması gerekmektedir (SHURA, 2022c). Mevcut durumda iletim sistemi kısıtları ve yeni yenilenebilir enerji yatırımları için yeterince kapasite tahsisi yapılmaması, bu sektörün gelişmesinin önündeki bir engeldir. Bu kapsamda iletim sistemine yapılan yatırımların önemli ölçüde artırılması büyük faydalar sağlayacaktır.
- **Dağıtık üretim kapasitesinin artmasıyla dağıtım sistemi işletmecileri ile iletim sistemi işletmecisi arasındaki iş birliğinin güçlendirilmesi çok yönlü faydalar sağlayacaktır.** Dağıtık üretim kaynaklarının yaygınlaşması ve kapasitelerinin artmasıyla beraber, EDAŞ'lar ile iletim sistemi işletmecisi arasındaki iletişimin güçlenmesi ihtiyacı doğmuştur. Talep tarafı katılım ve dağıtık üretim gibi uygulamalar ile gelecekte elektrik şebekesinde daha aktif bir rol oynayacak olan tüketicilerin verilerinin tahmini için geliştirilecek araçlar ve sanal elektrik santrali

(VPP) uygulamaları, sistem işletimini daha sağlıklı bir hale dönüştürecektir.

Avrupa'da Horizon 2020 kapsamında desteklenen sistem esnekliğini artırıcı projelerden "Flexibility Hub" ve "Virtual Power Plant" kapsamında da tahmin ve optimizasyon yazılımlarının geliştirilmesi, aynı zamanda şartlar gereği pasif bir yapıdan daha dinamik bir yapıya geçen dağıtım sistemi ile iletim sistemi arasındaki koordinasyonun güçlendirilmesi hedeflenmektedir (EU-SysFlex, 2018). Bu noktada Türkiye'de EDAŞ'lar ile TEİAŞ arasındaki koordinasyonu düzenleyecek bir regülasyonun oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca çeşitli yurt dışı örneklerinde görüldüğü üzere, kurumlar arasındaki iş birliğini kolaylaştıracak yazılım platformlarının kurulması gerekmektedir. Kurumların aynı ekranları takip etmesi, SCADA veri paylaşımı ve kurumlar arası iletişimi düzenleyecek alt yapının hazırlanması ile sistem, daha sağlıklı ve sorunsuz bir şekilde işletilebilecektir.

- **Dağıtım sistemi işletmecilerinin sistem esnekliğine katkıda bulunmak amacıyla esneklik piyasaları kurmalarına izin verilebilir.** EDAŞ'ların PFK, SFK veya black start gibi yan hizmetlerden tedarik edeceği piyasalar kurmasını sağlayacak mevzuat değişikliklerinin yapılması, sistem esnekliğini sağlamak adına olumlu bir adım olacaktır. Yan hizmetler tedarikinin dağıtım bölgesi bazlı da yapılması, iletim sistemi işletmecisine sistem işletimi konusunda kolaylık sağlayacaktır. Bu konuda pilot uygulamaların başlatılması yararlı olacaktır. İlerleyen zamanda EDAŞ'ların kendi kapasite piyasalarının kurmalarına da izin verilebilir.
- **Komşu ülkeler ile enterkonneksiyon kapasitesinin artırılması için uzun dönemli planlamalar yapılabilir.** İletim hatları üzerinden yurt dışından ithal edilen elektriğin farklı piyasalarda işlem görmesinin önü açılabilir ve bu sayede sınır ötesi elektrik ticareti hacmi yükseltilebilir. Farklı tüketici alışkanlıklarına, talep profiline ve zaman dilimine sahip iki bölge arasında yer alan Türkiye'nin, enterkonnekte sistemin olumlu yanlarından faydalanması için bağlantı kapasitesini artırması faydalı olacaktır. Doğuda ve batıda yer alan komşu ülkeler ile artırılacak olan enterkonneksiyon kapasitesi, farklı zamanlarda oluşan pik yükün yönetilmesinde ve yenilenebilir enerji üretiminde oluşan dengesizliğin en aza indirilmesinde oldukça etkili olacaktır. Horizon 2020 kapsamına desteklenen ve Avrupa'daki sistem esnekliğini artırmayı hedefleyen projelerden Estonya özelinde yapılan veri değişim platformu, enterkonneksiyon kapsamında örnek alınabilir (EU-SysFlex, 2018). Bu proje ile, uluslararası boyutta veri paylaşımı platformu hazırlanarak, paydaşların şeffaf bir şekilde veriye erişiminin önünün açılması hedeflenmektedir. Türkiye özelinde de komşu ülkeler ile şeffaf veri paylaşımını esas alan bir platformun oluşturulması ve bu platform aracılığıyla enerji ticaretinin mümkün kılınması, sistem esnekliğini artırıcı bir etki oluşturacaktır.

5. Temel Çıkarımlar

Türkiye'nin Paris İklim Anlaşması'na taraf olmasının ve 2053 yılı net sıfır emisyon hedefi açıklamasının ardından, önümüzdeki süreçte enerji dönüşümünün hızlanması beklenmektedir. Bu doğrultuda, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke entegrasyonunun hızlandırılmasına paralel olarak elektrik sistemi esnekliğinin artırılması gerekecektir.

Türkiye'de esneklik seçeneklerinin etkinleştirilmesi için farklı politika ve uygulama önerileri aşağıda özetlenmektedir:

- Organize toptan elektrik piyasalarında yapılacak iyileştirmeler, elektrik sistemi esnekliğinin artmasında oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Bu kapsamda atılabilecek olan temel adımlar arasında Gün Öncesi, Gün İçi ve Dengeleme Güç Piyasaları'nda asgari ve azami fiyat limitlerinin sistem maliyetlerini yansıtacak şekilde belirlenmesinin sağlanması yer alabilir. Örneğin, negatif fiyatların oluşmasına imkân tanınması ve azami fiyatın kayıp yük değerine göre (VoLL) belirlenmesi, sistem esnekliğine katkı sağlamaya yardımcı olacaktır. Fosil yakıt teşvikinin ve mevcut kapasite mekanizmasında olduğu gibi fosil yakıtları önceliklendiren yapıların kaldırılması, serbest piyasa işleyişinin sağlanmasına faydalı olacaktır. Kapasite mekanizmasında temiz ve esnek enerji kaynaklarından faydalanılması önemlidir. Gün İçi ve Dengeleme Güç Piyasaları'nda kapı kapanış sürelerinin gerçek zamana yaklaştırılması ve uzlaştırma sürelerinin kısaltılması, bu konuda çok yönlü faydalar sağlayacaktır. Dengesizlik cezalarının sistem maliyetlerini yansıtacak şekilde belirlenmesi de yine önemli konulardan olacaktır. Piyasa mimarisinde yapılabilecek bu gibi iyileştirmeler, hem piyasaların verimliliğinin hem de düşük maliyetle sistem esnekliğinin artırılmasına katkı sağlayacaktır.
- Enerji depolama seçenekleri, sistem esnekliğinin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Enerji depolama teknolojilerinin kullanımının yaygınlaşması için uzun vadeli stratejilerin ve hedeflerin oluşturulması çok yönlü faydalar sağlayacaktır. Piyasada oluşan fiyatların maliyetleri tam olarak yansıtması, enerji depolama sistemlerinin oluşabilecek fiyat farklarından faydalanmasına ve serbest piyasa koşullarında yatırımların hızlanmasına etki edecektir. Bunun yanında, uygulanması planlanan karbon fiyatlandırması, sistemin karbonsuzlaşmasını teşvik edeceği gibi, kısa/orta vadede enerji depolama uygulamalarını da destekleyebilir. Enerji depolama sistemleri konusunda mevcut mevzuatta yatırımcı perspektifinden henüz netleşmemiş noktalar bulunmaktadır. Depolama sistemi yatırımlarının artırılması ve bu sistemlerin yatırım analizlerinin doğru olarak yapılabilmesi için açık olmayan noktaların ikincil bir mevzuat yoluyla açıklığa kavuşturulması da öne çıkan konulardandır. Henüz gelişim aşamasında olan elektrik depolama sistemlerinin, ilk aşamada, vergi indirimleri ve düşük faizli krediler gibi çeşitli yöntemlerle desteklenmesi de değerlendirilebilir.
- Enerjinin form değiştirmesini sağlayan teknolojiler, yenilenebilir enerji kaynaklı üretimin farklı bir formda depolanabilmesini sağlayarak sistem esnekliğine katkı sunabilirler. Bu uygulamaların başında "yeşil hidrojen" üretimi gelmektedir. Türkiye yüksek yenilenebilir enerji potansiyeli nedeniyle bu teknolojiye yararlanmak için elverişli konumdadır. Bu kapsamda yeşil hidrojen üretimi ve kullanımı için bir politika çerçevesinin ve net sıfır karbon emisyonu doğrultusunda yeşil hidrojen hedeflerinin oluşturulması önerilmektedir. Yönetmelikler içinde yeşil

hidrojenin net bir tanımının yapılabilir ve buna ilişkin bir sertifikasyon sistemi oluşturulabilir. Hidrojenin kullanıldığı sektörler için minimum yeşil hidrojen kullanım standartlarının belirlenmesi piyasada sabit bir talebin oluşturulması açısından önemli olacaktır. Mevcut teknolojik gelişim seviyesinde yeşil hidrojen sistemlerinin yüksek yatırım maliyetleri olmasından ötürü, bu kaynak çeşitli teşvik mekanizmalarıyla desteklenebilir.

- Sistem esnekliğinin sağlanmasında talep tarafı katılımı, hem ilk yatırım maliyetlerinin nispeten düşük olmasıyla hem de yaratacağı etkiyle öne çıkmaktadır. Talep tarafı katılımından etkin olarak yararlanabilmek için başta akıllı sayaçlar olmak üzere gerekli altyapı yatırımlarının yapılması gerekmektedir. Talep tarafı katılımının, Yan Hizmetler Piyasası ve DGP gibi piyasalara arz tarafı ile eşit koşullarda katılımı da, gerekli mevzuat değişiklikleriyle sağlanabilir. Hâlihazırda kullanılmayan bu potansiyelden yararlanılabilmesi için gerekli mevzuat düzenlemeleriyle talep toplayıcıların piyasada etkin olması, talep tarafı potansiyelini harekete geçirecektir. Talep tarafı uygulamalarından etkin olarak yararlanılabilmesi için tarife yapısında da değişiklikler yapılması önerilir.
- Talep tarafı katılımıyla ilgili diğer bir konu da elektrikli araçlar ve bu araçlardan kaynaklı elektrik talebinin yönetilmesi konusudur. Elektrikli araç sayısının ilerleyen yıllarda hızlı bir şekilde artması beklenmektedir. Bu artışın gerçekleşmesiyle birlikte şarj ihtiyaçları elektrik talep profili üzerinde önemli bir etkiye sahip olacaktır. Bu, aynı zamanda içinde sistem esnekliği bakımından fırsatları da barındıran bir durumdur. Bu ek elektrik talebinin doğru şekilde yönetilmesi, sistem üzerindeki baskıyı hafifletici bir etki yaratacaktır. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kesintilerinin engellenmesinde elektrikli araçların şarj-deşarj zamanlamaları önemli olacaktır. Bu olanaklardan yararlanılmasını ve şarj işlemlerinin belli zaman aralıklarında yapılmasını teşvik edecek “akıllı şarj” a öncelik verecek uygulamalara geçiş yapılması önerilir. Elektrikli araçların sunacağı esneklik potansiyelinden yararlanılabilmesi için, çok zamanlı tarife uygulamasının yaygınlaştırılması ve yeni kurulacak şarj istasyonlarının akıllı nitelikte olmasının sağlanması, önemli olacaktır. Bu konuda kamu tarafından çeşitli pilot uygulamalar da geliştirilebilir. Elektrikli araç şarjının optimizasyonu ve bu araçların bazı durumlarda şebekeyi geri beslemede kullanılması, sistem işleyişini kolaylaştıracak ve yenilenebilir enerji kesintilerini engelleyecek potansiyeldedir.
- Dijitalleşme, devam eden enerji dönüşümü sürecinde önemli bir kolaylaştırıcıdır. Akıllı sayaçlar vasıtasıyla tüketimin ve üretimin uzaktan izlenebilmesi gibi dijitalleşmenin sunacağı avantajlar, enerji sektöründe yeni iş modellerinin hayata geçirilmesini de olanaklı kılmaktadır. Bu kapsamda ülkedeki akıllı şebeke altyapısının geliştirilmesi ve yeni iş modellerine sağlanacak çeşitli destek mekanizmaları ile dijitalleşme, daha hızlı bir şekilde yaygınlaşabilir.
- Dijitalleşmeyle birlikte iletişim ve takip altyapıları da geliştirilebilir. Dijitalleşme sayesinde artacak olan veri paylaşımı ve takip sistemleri sayesinde EPDK, EPIAŞ, TEİAŞ, EDAŞ gibi kamu kurumları arasındaki iletişim güçlendirilebilecektir. Bu sayede, hem paylaşılan verilerdeki uyumsuzluk ortadan kalkabilecek hem de artan iletişim sayesinde sisteminin işletilmesi kolaylaştırılacaktır. İlerleyen dönemlerde artması öngörülen elektrikli araç sayısı da dağıtım ve iletim işletmecileri arasında veri paylaşımını artıracaktır. Dağıtık enerji sistemlerinde üretim verilerinin paylaşılmasında karşılaşılan zorluklar da bu yolla azalacağından, veri takibi

kolaylaşacak ve daha yüksek oranda yenilenebilir enerji kapasiteleri işletmeye alınabilecektir. Mevcut düzenlemede yer alan SCADA verisi yönetimi konusunda mevzuatsal gerekliliklerin ve cezai yaptırımların aktif olarak uygulanması gerekmektedir. Yönetmeliklerin ileriki dönemlerde de oluşacak yeni ihtiyaçları karşılayacak şekilde güncellenmeye devam etmesi, sistemin esnekliğini artıcı bir etkiye sahip olacaktır.

- İletim şebekesi altyapısının ve enterkonneksiyon kapasitesinin geliştirilmesi, sistem esnekliğini artıracaktır. Mevcut durumda yaşanılan arz güvenliği sorunlarının açılması ve net sıfır emisyon hedefleri doğrultusunda kurulması beklenen yüksek yenilenebilir enerji santrali kapasitesini karşılayacak şekilde, iletim hattı altyapısının güçlendirilmesini gündeme getirmektedir. TEİAŞ ile EDAŞ'lar arasındaki koordinasyonun artmasında yeni bir çerçeve mevzuat hazırlanabilir. Anlık veri paylaşımı gibi konularda iletim ve dağıtım sistemi işletmecilerinin koordinasyonun artırılması, sistem yönetimini kolaylaştırıcı bir etki yaratacaktır. Dağıtım sistemi işletmecilerinin kendi esneklik piyasalarını kurmalarına izin verecek düzenlemelerin geliştirilmesi ise iletim sistemi işletmecisine kolaylıklar sağlayacaktır. Orta/ Uzun vadede esnekliğin artırılması amacıyla komşu ülkelerle enterkonneksiyon kapasitelerinin artırılması için ikili anlaşmalar yapılması ve dengesizlik yönetimi de dâhil olmak üzere elektrik ticaretinin geliştirilmesine yönelik yeni düzenlemelerin uygulanması çok yönlü faydalar sağlayabilir.

- Anadolu Ajansı (2021a), “EPDK Başkanı Yılmaz, elektrikli araç şarj istasyonu altyapısına ilişkin detayları AA'ya açıkladı”, 21.11.2021
- Anadolu Ajansı (2021b), “TOGG kuruluşunun 3. yılında üretim çalışmalarına hız kesmeden devam ediyor”, 24.06.2021
- Anadolu Ajansı, 2 Ekim 2020, 09.02.2022 tarihinde <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-tek-noloji/turkiyenin-ilk-lityum-iyon-pil-uretim-tesisinin-temeli-kayseride-atildi-/1993400> adresinden erişilmiştir.
- Avrupa Komisyonu (2018a), “Battery Promoting Policies in Selected Member States”, 20.05.2022 tarihinde https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/policy_analysis_-_battery_promoting_policies_in_selected_member_states.pdf adresinden erişilmiştir.
- Avrupa Komisyonu (2018b), “Hydrogen meeting future needs of low carbon manufacturing value chains”, 5.04.2022 tarihinde <https://cordis.europa.eu/project/rcn/207465/reporting/en> adresinden erişilmiştir.
- Avrupa Komisyonu (2022), “A European Green Deal”, 07.02.2022 tarihinde https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en adresinden erişilmiştir.
- Balkan Green Energy News (2022), “Turkey gets first battery-only power project, worth USD 250 million”, January 27, 2022, 10.02.2022 tarihinde <https://balkangreenenergynews.com/turkey-gets-first-battery-only-power-project-worth-usd-250-million/> adresinden erişilmiştir.
- BBC (2021), “Hollanda'nın girişimiyle Türkiye de dâhil 13 ülke anlaştı: 2040 sonrası tüm yeni kamyon ve otobüsler elektrikli veya hidrojenli olacak”, 10.11.2021 tarihinde <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-59239468> adresinden erişilmiştir.
- BIG HIT, 5.04.2022 tarihinde www.bighit.eu/about adresinden erişilmiştir.
- Birleşik Krallık Hükümeti (2021), “Electric Vehicle Smart Charging 2021, Government Response to the 2019 Consultation on Electric Vehicle Smart Charging”
- Birleşik Krallık İşletme, Enerji ve Sanayi Stratejileri Dairesi (2021), “Transitioning to a net zero energy system, Smart Systems and Flexibility Plan 2021”
- Brasington, L. (2018), “European utilities support UN Development Goals”, Cleantech Group, 5.04.2022 tarihinde www.cleantech.com/european-utilities-support-un-development-goals/ adresinden erişilmiştir.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve Partnership for Market Readiness (2020), “Taslak İklim Kanunu”
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022), 09.02.2022 tarihinde <https://iklim.csb.gov.tr/karbon-piyasasina-hazirlik-ortakligi-pmr-i-4403> adresinden erişilmiştir.
- Dünya Gazetesi (2021), “Pompaj depolamalı HES'ler yolda”, 06.02.2022 tarihinde <https://www.dunya.com/sectorler/enerji/pompaj-depolamali-hesler-yolda-haberi-644459> adresinden erişilmiştir.
- Enel (2017), “Enel operates world's first 'plug and play' micro-grid powered by solar PV and hydrogen-based storage in Chile”, 5.04.2022 tarihinde www.enel.com/media/press/d/2017/05/enel-operates-worlds-first-plug-and-play-micro-grid-powered-by-solar-pv-and-hydrogen-based-storage-in-chile adresinden erişilmiştir.

Energyworld (2022), “India’s Green Hydrogen Policy: Unprecedented growth needed to achieve 2030 targets“, 30.05.2022 tarihinde <https://energy.economictimes.indiatimes.com/news/renewable/indias-green-hydrogen-policy-unprecedented-growth-needed-to-achieve-2030-targets/90154361?redirect=1> adresinden erişilmiştir.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (2020). “Hidrojen Araştırma Konferansı”. 15.02.2022 tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerjide-arama-etkinlikleri-ve-belgeler> adresinden erişilmiştir.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu ve Elder (2018), “Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Özet Raporu”

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2014), “Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı”

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2017), “Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı”

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2019). ‘Stratejik Plan 2019-2023’, 15.02.2022 tarihinde https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2019_2023_Stratejik_Planı.pdf adresinden erişilmiştir.

Engie (2018), “The GRHYD demonstration project”, 5.04.2022 tarihinde www.engie.com/en/innovation-energy- adresinden erişilmiştir.

EPIAŞ Şeffaflık Platformu (2022), 16.01.2022 tarihinde <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/> adresinden erişilmiştir.

EU-SysFlex (2018), “System operation and flexibility solutions for integrating 50% renewables by 2030”

FCH JU (2018), “Project REFHYNE”, Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking, 5.04.2022 tarihinde www.fch.europa.eu/project/clean-refinery-hydrogen-europe adresinden erişilmiştir.

Forni (2017), “Hydrogen in microgrids: Diverse business models begin to emerge”, Navigant Research, 5.04.2022 tarihinde www.navigantresearch.com/news-and-views/hydrogen-in-microgrids-diverse-business-models-begin-to-emerge adresinden erişilmiştir.

GreenFlux (2018), “ The largest smart charging trial in the world” 20.02.2022 tarihinde <https://www.greenflux.com/the-largest-smart-charging-trial-in-the-world/> adresinden erişilmiştir.

IFPSH, Uluslararası Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Forumu (2021), “Pump it up: Recommendations for urgent investment in pumped storage hydropower to back the clean energy transition”

Massachusetts Institute of Technology (2022), “The Future of Energy Storage”

Norton Rose Fulbright (2021), “Hydrogen funding and tax credits”, 30.05.2022 tarihinde Hydrogen funding and tax credits | Norton Rose Fulbright - December, 2021 (projectfinance.law) adresinden erişilmiştir.

Rauma, K.; Funke, A.; Simolin, T.; Järventausta, P.; Rehtanz, C. “Electric Vehicles as a Flexibility Provider: Optimal Charging Schedules to Improve the Quality of Charging Service” Electricity 2021, 2, 225–243.

Sağlam, M. A. (2020), "Status of Demand Side Management In Turkish Power Market Industry and Large Consumers' Perspective", Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Ankara.

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi (2018) "Türkiye'de kullanılan elektriğin %50'den fazlası yenilenebilir kaynaklardan sağlanabilir: Rüzgâr ve güneş enerjisi yatırımlarının sistem odaklı yerleştirilmesi"

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi (2019a), "Sistem esnekliğini artırmak için gereken seçeneklerin maliyet ve faydaları"

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi (2019b), " Enerji ve Ulaştırma Sektörleri Dönüşümünde Batarya Teknolojilerinin Rolü: Eğilimler, Fırsatlar ve Yenilikçi Uygulamalar"

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi (2020a), "Türkiye Elektrik Sistemi için En Ekonomik Katkı: Enerji Verimliliği ve Yeni İş Modelleri"

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi (2020b), "Sistem Esnekliğinde Elektrik Piyasalarının Rolü: Almanya enerji dönüşümünden örnekler"

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi (2021a), "Türkiye'nin Ulusal Hidrojen Stratejisi için Öncelik Alanları"

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi (2021b), "Yenilenebilir Enerji Entegrasyonunu Hızlandırmak için Türkiye Organize Toptan Elektrik Piyasalarında İyileştirmeler"

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi (2021c), "Türkiye'nin yeşil hidrojen üretim ve ihracat potansiyelinin teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi"

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi (2022a), "Türkiye'de enerji sektörünün dijitalleşmesi kapsamında iş modellerinin, teknolojilerin ve gerekli mevzuat altyapısının değerlendirilmesi"

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi (2022b), "Türkiye Elektrik Sistemine Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Entegrasyonu"

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi (2022c), "Türkiye elektrik piyasasında talep tarafı katılımının etkinleştirilmesi"

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2022), 16.04.2022 tarihi "Elektrikli Araçlar için Hızlı Şarj İstasyonları Hibe Programı" duyurusu

TEHAD (2022), 25.04.2022 tarihinde <https://www.tehad.org/2022/04/02/turkiye-sarj-istasyonlari-isletmeciligi-lisans-sartlari-resmi-gazetede-yayinlandi/> adresinden erişilmiştir.

Temiz Enerji (2022), 27 Mart 2022 tarihinde <https://temizenerji.org/2022/03/25/cin-2-025-yilina-kadar-50-bin-adet-hidrojen-yakitli-araci-yollara-cikaracak/> adresinden erişilmiştir.

Ticaret Bakanlığı (2021), "Yeşil Mutabakat Eylem Planı"

Ticaret Bakanlığı (2022), 13.02.2022 tarihinde <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/avrupa-birligi/yani-basimizdaki-dev-pazar-avrupa-birligi> adresinden erişilmiştir.

Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (2020), "Türkiye'nin Enerji Görünümü"

Türkiye Cumhuriyeti (2016), "Ulusal Katkı Niyet Beyanı", 17.02.2022 tarihinde https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Turkey%20First/The_INDC_of_TURKEY_v.15.19.30.pdf adresinden erişilmiştir.

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (2021), "2021 Yılı Aylık Elektrik Üretim-Tüketim Raporları"

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (2022), 09.02.2022 tarihinde <https://www.teias.gov.tr/> adresinden erişilmiştir.

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi Yük Tevzi Bilgi Sistemi (2022), 30.05.2022 tarihinde https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf adresinden erişilmiştir.

Uluslararası Enerji Ajansı (2022), 30.05.2022 tarihinde <https://www.iea.org/reports/renewables-2020/key-trends-to-watch> adresinden erişilmiştir.

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (2019a), “Hydrogen: A Renewable Energy Perspective”

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (2019b), “Electric Vehicles Smart Charging, Innovation Landscape Brief”

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (2019c), “Behind-the-meter batteries Innovation Landscape Brief”

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (2020a), “Virtual Power Lines Innovation Landscape Brief”

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (2020b), “Green Hydrogen Cost Reduction”

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (2021), “Green Hydrogen Supply, A Guide to Policy Making”

UNIDO (2011). “Bozcaada Hydrogen Island Project” 21.02.2022 tarihinde <https://www.unido.org/news/first-hydrogen-energy-production-turkish-island-has-startedbozcaada> adresinden erişilmiştir.

USEF ve Jedlix (2020), “USEF & Jedlix Case study: practical deployment of electric vehicle flexibility”

Uzman Gözüyle Enerji Dergisi (2021), Yıl:4, Sayı:22

Wolf, Andre ve Zander, Nils (2021), “Green Hydrogen in Europe: Do Strategies Meet Expectations?”, Intereconomics, Cilt 56, 2021 · Sayı 6 · sf. 316–323

NOTLAR

İstanbul Politikalar Merkezi

İstanbul Politikalar Merkez (İPM) demokratikleşmeden iklim değişikliğine, transatlantik ilişkilerden çatışma analizi ve çözümüne kadar, önemli siyasal ve sosyal konularda uzmanlığa sahip, çalışmalarını küresel düzeyde sürdüren bir politika araştırma kuruluşudur. İPM araştırma çalışmalarını üç ana başlık altında yürütmektedir: İPM-Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi, Demokratikleşme ve Kurumsal Reform, Çatışma Çözümü ve Arbuluculuk. 2001 yılından bu yana İPM, karar alıcılara, kanaat önderlerine ve paydaşlara uzmanlık alanına giren konularda tarafsız analiz ve yenilikçi politika önerilerinde bulunmaktadır.

European Climate Foundation

European Climate Foundation (ECF) Avrupa'nın düşük karbonlu bir toplum haline gelmesine yardımcı olabilmek ve iklim değişikliğiyle mücadelede uluslararası alanda güçlü bir lider rolü oynayabilmek amacıyla kurulmuştur. ECF, her türlü ideolojiden uzak kalarak düşük karbonlu bir topluma geçişin "nasıl" olacağı konusunu odağına alır. Ortaklarıyla yaptığı iş birliği kapsamında ECF, bu geçişte kilit rol oynayacak patikaları ve farklı alternatiflerin sonuçlarını ortaya çıkararak bu tartışmalara katkı sağlamayı hedefler.

Agora Energiewende

Agora Energiewende; Özellikle Almanya ve Avrupa olmak üzere tüm dünyada temiz enerjiye başarılı bir geçiş yapılmasını sağlamak amacıyla veri odaklı, politik açıdan uygulanabilir stratejiler geliştirir. Bir düşünce kuruluşu ve politika laboratuvarı olan Agora; yapıcı bir fikir alışverişi sağlarken siyaset, iş ve akademi dünyasından paydaşlarla da bilgi birikimini paylaşmayı hedefler. Kâr amacı gütmeyen ve bağışlarla finanse edilen Agora, kendini kurumsal ve siyasi çıkarlara değil, iklim değişikliğiyle mücadeleye adanmıştır.



Bankalar Caddesi,
Minerva Han, No:2, Kat:3
34420 Karaköy / İstanbul
Tel: +90 212 292 49 51
E-mail: info@shura.org.tr
www.shura.org.tr

SHURA Kurucu Ortakları:

