



Elektrik Depolama Bilgilendirme Notu

Kasım 2023

TSKB

Hazırlayanlar

Gözde Demirköprülü – Kurumsal Bankacılık Satış

Özgücan Cengiz – Kurumsal Uyum

Yiğit Kardeş – Mühendislik

Yunus Akşin Pınar – Hukuk İşleri

Zümray Şentürk – Kredi Analiz

İÇİNDEKİLER

Şekil Listesi	ii
Kısaltmalar	iii
1. Yönetici Özeti	1
2. Elektrik Depolama Teknolojileri	3
2.1.Yer Altında Gaz Depolama	3
2.2.Isıl Enerji Depolama Teknolojileri	3
2.3.Kimyasal Depolama Teknolojileri.....	3
2.4.Elektrokimyasal Enerji Depolama Teknolojileri	3
2.5.Elektriksel Enerji Depolama Hücreleri Teknolojisi	4
2.6.Mekanik Enerji Depolama Teknolojileri.....	5
3. Elektrik Depolamanın Uygulama Alanları	6
3.1.Elektrik Depolama Teknolojileri Şebeke Uygulamaları.....	6
3.2.Elektrik Depolama Teknolojileri Son Kullanıcı Uygulamaları	6
3.3.Elektrik Depolama Teknolojilerinin Diğer Uygulamaları.....	7
4. Elektrik Depolama Proje Örnekleri ile Finansman Yapısı	8
4.1.Büyük Ölçekli Elektrik Depolama Yatırımları	8
4.2.Türkiye ve Dünyadaki Büyük Oyuncular	8
4.3.Elektrik Depolama Projelerinde Finansman Yapısı	10
5. Düzenleyici ve Hukuki Çerçeve	12
5.1.Türkiye’de Elektrik Depolama Mevzuatı.....	12
5.2.Dünyada Başarılı Uygulamaları Destekleyen Mevzuat Örnekleri	13
6. Elektrik Depolama Teşvik ve Destek Uygulamaları.....	15
7. Trendler ve Öngörüler	17
7.1.Elektrik Depolamada Yeni Trendler	17
7.2.Türkiye’nin Potansiyel Yol Haritası	19
8. Sonuç ve Öneriler.....	21
8.1.Sektörün SWOT Analizi	21
8.1.1. Sürdürülebilirlik ve Çevresel Etkiler	21
8.1.2. Maliyetler ve Yatırım Getirisi	21
8.1.3. Teknolojik Zorluklar ve Güvenlik.....	22
8.2.Elektrik Depolama Sektörünün Geleceği	22
8.3.Endüstri Paydaşlarına Öneriler	23
EK: Elektrik Depolama Düzenlemeleri.....	24

Şekil Listesi

Şekil 1: Açık ve Kapalı Devre PDHES.....	5
--	---

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AB	Avrupa Birliği
AC	Alternatif Akım
Ar-Ge	Araştırma geliştirme
BESS	Batarya Enerji Depolama Tesisi
BMS	Batarya Yönetim Sistemi
BNEF	Bloomberg New Energy Finance
DC	Doğru Akım
EÇG	Enerji Çalışma Grubu
EMEA	Avrupa, Orta Doğu ve Afrika
EMS	Enerji Yönetim Sistemi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GW	Gigavat
GWh	Gigavatsaat
HESS	Hibrit Enerji Depolama Sistemi
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IFC	Uluslararası Finans Kurumu
kWh	Kilovatsaat
Li-ion	Lityum-iyon
MW	Megavat
MWe	Megavat elektrik
MWh	Megavatsaat
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
PCS	Güç Dönüşüm Sistemi
PDHES	Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TOGG	Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
TSKB	Türkiye Sınai Kalkınma Bankası
TW	Teravat
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

1. Yönetici Özeti

Enerji sektörünün arz tarafını kaynak tiplerine göre fosil yakıtlar, nükleer enerji ve yenilenebilir kaynaklar olarak sınıflandırmak mümkündür. Yenilenebilir enerji hem kaynakların çeşitlendirilmesi hem yerli kaynakların daha çok değerlendirilmesi hem de enerji talebinin daha yeşil seçeneklerle karşılanması açısından ayrı bir öneme sahiptir. Fosil enerji kaynaklarının tükenmekte olması, buna karşılık hızla artan nüfus, sanayileşme, büyüyen kentler ile daha fazla enerji ihtiyacının doğması, iklim krizi karşısında sera gazı emisyonlarının azaltılması zorunluluğu gibi unsurlar yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini daha da artırmaktadır. Büyük oranda ve kesintili ve kararsız bir yapıya sahip olan yenilenebilir enerjinin yaygınlaştırılması ihtiyacı, elektrik depolamayı son derece önemli hale getirmektedir.

Sadece belirli zamanlarda enerji verebilen yenilenebilir enerji santrallerinden üretilen elektriğin, enerji ihtiyaçlarına zamanında cevap verebilmesi ve elde edilen ihtiyaç fazlası elektriğin depolanabilmesi ve daha sonra talep olması halinde tekrar elektriğe dönüştürülerek tüketilmesi, yeni teknolojilerle artık olası bir hale gelmiştir. Depolanan elektrik, üretimin azaldığı veya tüketim ihtiyacının arttığı durumlarda şebekeye verilerek ihtiyacın karşılanmasına yardımcı olmaktadır. Bir anlamda anlık ve saatlik yük yönetiminde oluşan arz-talep dengesizliklerinin yönetilmesi kolaylaşmaktadır.

Depolama imkânları, artan talebe bağlı olarak, talep ve arz arasındaki dengeyi daha iyi sağlamak ve dinamik performans geliştirmek için desteklenmeye, büyümeye devam etmektedir. Bundan dolayı depolama; yenilenebilir kaynakların esneklik, güvenilirlik ve şebeke performansının genel verimliliğini artırmaktadır.

Özellikle lityum pillerinin üretim sürecinde çevreye sızabilecek toksik atıkların mevcudiyeti ve lityum madenciliğinin çok fazla su tüketmesi gibi konular elektrik depolamanın olumsuz çevresel etkileri olarak dikkat çekmekte, söz konusu olumsuz etkiler güvenlik ve yangın açısından da belirli risklere işaret etmektedir. Elektrik şebekeleri, ağırlıklı olarak ve genellikle fosil yakıtların sürekli kullanılmasıyla üretilen elektriği iletmek üzere tasarlandığından, depolama sistemlerinin yaygınlaşması elektrik şebekelerinin yenilenmesini de gerektirmektedir. Batarya ve pillerin kullanıldıkça performanslarının azalması, elektrik depolamada önemli kısıtlardan birisidir. Ancak bu kısıta rağmen elektrik depolama sistemleri, yenilenebilir kaynaklı elektrik üretimindeki kesikli arz fonksiyonunu düzleştirmekte ve yenilenebilir kaynakların arz sepeti içindeki payının artmasını desteklemektedir.

Türkiye’de son yıllarda depolama tesislerinin kurulması teşvik edilmektedir. Depolama için sunulan teşvikler, Türkiye'nin elektrik kurulu gücünün yarısından fazlasını oluşturan temiz enerji kaynaklarının kapasitesinin daha da artırılmasını kolaylaştıracaktır. Yenilenebilir enerji yatırımlarını harekete geçirebileceği öngörülen elektrik depolama tesisleri sayesinde kapasite artıran üretici firmalar ilave kapasite üzerinden ürettikleri elektriği Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kapsamında satabilecektir. Sahasına elektrik depolama tesisi kuracak her tüzel kişiye, elektrik depolama kapasitesi kadar (üst sınır ve alt sınırlar çerçevesinde) rüzgâr veya güneş enerjisi kapasitesi ekleme imkânı da getirilmiştir.

Türkiye’de 2022 yılında itibaren yönetmelik değişiklikleri ile depolama tesisi yatırımları desteklenmekle birlikte, her ne kadar son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler lityum pil fiyatlarının azalmasına neden olsa da yatırım maliyetlerinin hâlâ yüksek oluşu, lisans sürelerinin uzunluğu ve yüksek finansman

maliyetleri nedeniyle söz konusu yatırımların kısa zamanda başlayamayacağı değerlendirilmektedir. Diğer yandan, batarya teknolojilerinin maliyetlerinin devam eden araştırma geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları neticesinde düşmesi beklenmekte ve bunun elektrik depolama yatırımlarını gelecekte daha fizibil hale getireceği düşünülmektedir.

2. Elektrik Depolama¹ Teknolojileri

Enerji depolama, bir enerji türünün daha sonradan kullanılmak üzere, aynı veya farklı bir formda depolanması işlemidir. Elektrik enerjisi de günümüzde farklı şekillerde depolanabilmekte, depolama teknolojileri çok farklı şekillerde olabilmektedir. Elektrik enerjisi, elektrik formunda depolanabileceği gibi, farklı enerji formlarında depolanıp tekrardan elektrik enerjisine çevrilebilmektedir.

Elektrik depolama teknolojileri güç kapasiteleri ve depolama süreleri açısından farklılık göstermektedir. Depolama; saniye mertebesinde kısa süreli olabilirken, saat, ay ve hatta hafta mertebesinde uzun süreli de olabilmektedir.

2.1. Yer Altında Gaz Depolama

Elektrik enerjisi, doğal gaz santrallerinde üretilmeden önce yer altında doğal gaz formunda depolanabilmektedir. Doğal gaz yer altında, tükenmiş petrol veya gaz rezervuarlarında, akiferlerde, tuz mağaralarında ve bazı durumlarda boru hatlarında depolanabilmektedir. En yaygın doğal gaz depolama şekli üretimin tamamlandığı petrol ve doğal gaz rezervuarlarıdır.² Doğal su rezervuarları olan akiferler, petrol ve doğal gaz rezervuarlarına benzeyen yapılarıyla depolama için tercih edilmektedir.

2.2. Isıl Enerji Depolama Teknolojileri

Daha çok yapılarda, endüstriyel tesislerde, tarım ve ulaştırma sektörlerinde ısıtma-soğutma uygulamalarında kullanılan ısıl enerji depolama, elektrik enerjisinin termal enerjiye dönüştürülmesiyle elektrik depolama teknolojisi olarak da kullanılmaktadır.

2.3. Kimyasal Depolama Teknolojileri

Elektrik enerjisi talebi karşılandıktan sonra fazla olan arz ile hidrojen ve sentetik doğal gaz üretilmekte ve elektrik enerjisi kimyasal olarak depolanabilmektedir. Elektroliz ile üretilen hidrojenden gerektiği durumlarda, yakıt hücresi vasıtasıyla elektrik enerjisi üretilebilmekte ve yükün ihtiyaç duyduğu enerji karşılanabilmektedir.³ Kömür ve biyokütleden üretilen sentetik doğal gazın da temel kullanım alanı elektrik üretimidir. Arzın talebi geçtiği zamanlarda üretilen sentetik doğal gaz, elektrik enerjisine dönüştürülmeden depolanabilmektedir.

2.4. Elektrokimyasal Enerji Depolama Teknolojileri

Elektrokimyasal enerji depolama teknolojileri, elektrik enerjisinin batarya (pil, akü) ve yakıt hücrelerinde depolanması yöntemlerini içermektedir.

Bataryalar, iki elektrot arasında kimyasal bir reaksiyon gerçekleştirilmesi sonucu iyonların elektrolit içerisinde hareket etmesiyle elektrik akımının oluşması prensibi ile çalışmaktadır.⁴ Farklı batarya (pil)

¹ Bu bölümde nihai çıktısı elektrik olan depolama türlerine yer verilmiştir.

² <https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/T%C3%9CBA-Enerji%20Depolama%20Teknolojileri%20Raporu.pdf>

³ <https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2021/12/ENERJI-DEPOLAMA-TEKNOLOJILERI.pdf>

⁴ <https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2021/12/ENERJI-DEPOLAMA-TEKNOLOJILERI.pdf>

çeşitleri mevcuttur, ancak bunlardan en yaygın olanları sodyum sülfür ve lityum iyon (li-ion) bataryalardır.⁵ Bataryaların kullanıldığı farklı alanlar olmakla beraber enterkonnekte elektrik şebekesine bağlantılı sistemlerde daha çok vanadyum redoks, sodyum-iyon, magnezyum-iyon gibi akış pilleri kullanılmaktadır.⁶ Elektrikli araçlarda ise lityum-iyon ve lityum-sülfür gibi lityum pilleri daha çok tercih edilmektedir.

Yakıt hücreleri, hidrojen veya diğer yakıtların kimyasal enerjisi kullanılarak elektriğin depolanması ve üretilmesi prosesine dayanmaktadır. Anot ve katottan oluşan yakıt hücrelerinde anot ve katot kaynağı sağlandığı sürece elektrik üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Farklı türde yakıt hücreleri farklı içerik ve kullanım amaçlarına sahiptir.⁷

Bataryalar ve yakıt hücreleri dışında hibrit süperkapasitörler ve elektrokimyasal reküperatörler de elektrokimyasal enerji depolama sistemlerinde kullanılmaktadır. Kapasitörler, elektrik yükü ve reaktif güç kontrolü, bilgi kaybı engelleme, AC/DC arasında dönüşüm yapma gibi amaçlarla entegre elektronik devrelerde kullanılan ve günlük hayattaki pek çok elektronik cihazda bulunan devre elemanlarıdır. Kapasitörler, söz konusu işlevler kapsamında enerjiyi elektrostatik formda depolamakta ve elektrik enerjisi olarak geri bırakmaktadır. Depolama teknolojilerinde ise kapasitörler, kısa süreli enerji depolama ve filtreleme gibi amaçlar için kullanılmaktadır. Kapasitörler, yüksek güç talebinin olduğu zamanlarda, çok kısa bir süre içerisinde şebekeye gerekli yüksek akımı sağlayabilmektedir.

Reküperatörler, ısı geri kazanım amacıyla kullanılan, ısı transferi sağlayan sistemlerdir. Elektrokimyasal reküperatörler elektrik şebekesi, ağır sanayi ve elektrikli ulaşım endüstrilerinde enerji depolama olarak kullanılabilir.

Son dönemde depolamalı enerji santralleri için Ar-Ge çalışmaları hızlanmıştır ve farklı ihtiyaçlar için batarya sistemleri geliştirilmektedir. Yenilenebilir enerji santrallerinde kullanılan bataryalar farklı teknolojiler ile yönetilmektedir. Batarya Yönetim Sistemi (BMS: Battery Management System), batarya içindeki hücre setlerini organize ederek pilin ömrünü artırmaya yardımcı olmaktadır. Bu sistemler bataryanın performansını anlık olarak izleyerek hücrelerin korunmasını sağlamaktadır. Enerji Yönetim Sistemi (EMS: Energy Management System), batarya içindeki enerjinin yönetimini sağlayan teknolojilerdir. Güç Dönüşüm Sistemi (PCS: Power Conversion System) ise AC (Alternatif Akım) /DC (Doğru Akım) dönüşümü gibi enerji dönüşümü proseslerini sağlayan bir teknolojidir. Bunlar gibi farklı teknolojiler tüm batarya sistemlerinde kullanılabilir.

2.5. Elektriksel Enerji Depolama Hücreleri Teknolojisi

Kapasitörler ve süperkapasitörler güç kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla pillerin aksine saniyeler içinde şarj ve deşarj edilebilen teknolojilerdir. Neredeyse sınırsız şarj-deşarj çevrimine sahip bu teknolojiler standart akülerden daha düşük bir enerji yoğunluğuna sahiptirler.⁸

⁵ <https://www.nyserda.ny.gov/All-Programs/Energy-Storage-Program/Energy-Storage-for-Your-Business/Types-of-Energy-Storage#:~:text=There%20are%20various%20forms%20of,specific%20power%20and%20duration%20requirements.>

⁶ <https://energystorage.pnnl.gov/batterytypes.asp>

⁷ <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells#:~:text=Fuel%20cells%20work%20like%20batteries,%E2%80%94sandwiched%20around%20an%20electrolyte>

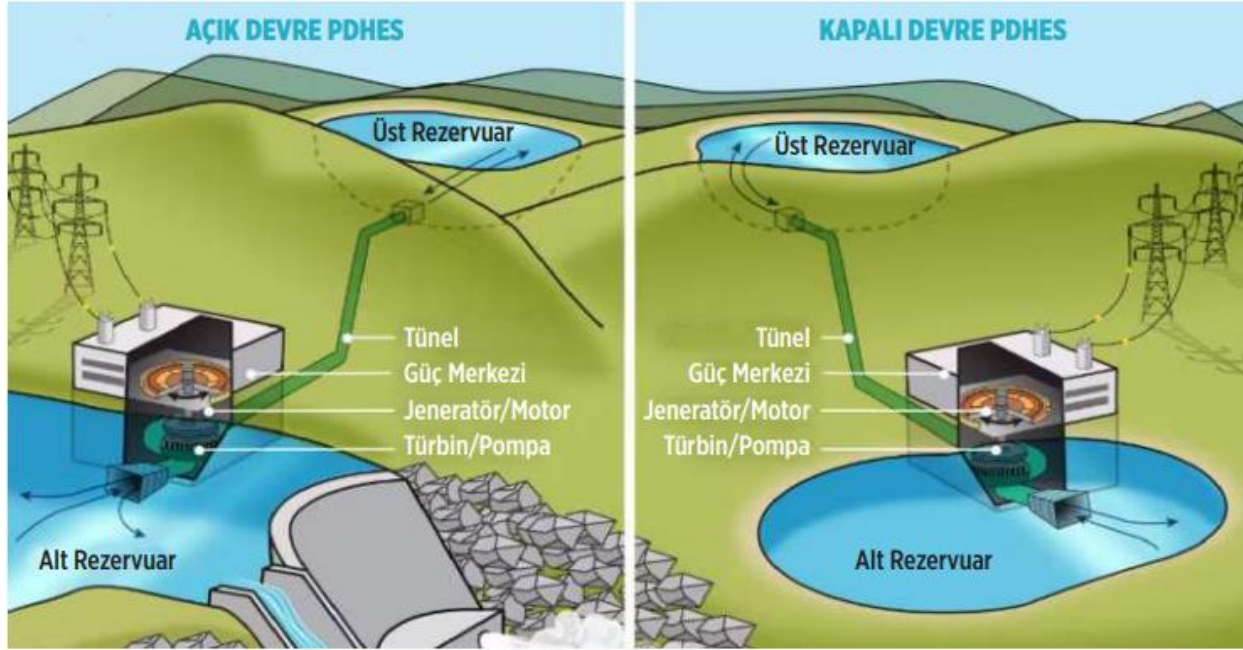
⁸ https://www.emo.org.tr/ekler/94fa14f2f00c178_ek.pdf?dergi=1289

2.6. Mekanik Enerji Depolama Teknolojileri

Mekanik enerji depolama, elektrik enerjisinin kinetik ve potansiyel enerji olarak depolanması temeline dayanan bir teknolojidir. Farklı türlerde mekanik enerji depolama türleri bulunmakla beraber en yaygın kullanılanları pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri, sıkıştırılmış hava enerjisi depolama ve volan enerji depolama teknolojileridir.

Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller, farklı rakımlarda bulunan iki farklı rezervuar arasında talebin yüksek olduğu saatlerde suyun aşağı yönlü akışıyla elektrik üretimi, arzın fazla olduğu saatlerde ise suyun yukarı pompalanmasıyla elektriğin depolanması döngüsüne dayanmaktadır. İşletme ve bakım maliyetleri ucuz olan pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerinin ömürleri uzundur. Bu teknoloji, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) enerji depolama kapasitesinin yaklaşık %93'ünü oluşturmaktadır.⁹ Sıkıştırılmış hava enerjisi depolama teknolojisi ise, coğrafi ve jeolojik yapının uygun olduğu yerlerde basınçlı havanın sıkıştırılması temeline dayanan teknolojidir.

Şekil 1: Açık ve Kapalı Devre PDHES¹⁰



⁹ <https://www.energy.gov/eere/water/pumped-storage-hydropower>

¹⁰ <http://tesab.org.tr/attachments/article/120/ENERJ~.pdf>

3. Elektrik Depolamanın Uygulama Alanları

Farklı ihtiyaçlardan doğan elektrik depolama teknolojilerinin gelişimi devam etmektedir. Enerji depolama sistemlerine yönelik çalışmalar eski tarihlere dayanmaktadır, fakat günümüzde elektriğin depolanması ve böylece yük yönetiminin daha güçlü şekilde yapılabilmesi önem kazanmıştır.

Konvansiyonel şebekelerde elektrik enerjisi, arz-talep dengesi dikkate alınarak planlanmakta ve yönetilmektedir, çünkü bu sistemlerde elektrik üretildiği anda tüketilmektedir. Fakat günümüzde elektrik enerjisinin kullanım alanlarının genişlemesi ve talepteki varyasyonların (dolayısıyla anlık kestirim zorluğunun) artması sebebiyle elektrik depolama teknolojilerinin kullanılması daha güçlü bir ihtiyaç haline gelmiştir.

3.1. Elektrik Depolama Teknolojileri Şebeke Uygulamaları

Elektrik depolama teknolojileri enterkonnekte şebeke sistemlerinde elektrik arbitrajı için kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi, piyasada talep ve fiyat yüksekken satılmak üzere, arzın yüksek ve fiyatın düşük olduğu zamanlarda satın alınıp depolanabilmektedir.

Elektrik tüketiminin elektrik üretimiyle eşit olmadığı zamanlarda, elektrik depolama sistemleri frekans regülatörü olarak kullanılmaktadır. Depolama teknolojileri elektrik arzının yüksek olduğu zamanlarda şarj olarak, düşük olduğu zamanlarda ise deşarj olarak şebeke frekansını dengeli tutmada önemli bir rol oynamaktadır. Şebeke işleticisi, frekans regülasyonu sağlamakla beraber voltaj seviyesini de belli bir seviyede tutmakla görevlidir. Elektrik depolama teknolojileri enterkonnekte sistemde voltaj desteği de sağlamaktadır.

Elektrik piyasası yan hizmetler yönetmeliğinde belirtilen, bazı santrallerin üretim kabiliyetlerine bağlı olarak bulundurmaları zorunlu olan rezerv kapasite, elektrik depolama teknolojilerinin de kullanım alanları arasındadır. Elektrik depolama teknolojilerinin rezerv kapasite olarak kullanılması, santrallerde bulunan verimsiz, ekstra maliyetli rezerv kapasitelerin azalmasını sağlamaktadır.

Şebeke sistemlerinde -olması asla istenmese de- tüm enterkonnekte sistemin elektriği bir sebepten ötürü kesilebilmekte ve şebeke çökebilmektedir. Geçtiğimiz yıllarda Türkiye’de de yaşanan bu tip durumlarda sistemin yeniden toparlanmasında (black-start) elektrik depolama sistemleri büyük rol oynamaktadır.

Elektrik depolama teknolojileri birçok şebeke sisteminde büyük ihtiyaç haline gelmiştir ve yukarıda sayılan uygulama alanları dışında şebeke sistemlerinde daha farklı kullanım alanları da mevcuttur. Gelişen teknoloji ve Ar-Ge çalışmalarıyla, elektrik depolama sistemleri her geçen gün daha çok şebeke sistemine entegre olmaktadır.

3.2. Elektrik Depolama Teknolojileri Son Kullanıcı Uygulamaları

Son tüketiciler elektrik depolama teknolojilerini bireysel olarak kullanmaktadır. Değişken elektrik fiyatlarının bulunduğu sistemlerde, son kullanıcılar, elektrik alış fiyatının ucuz olduğu dönemlerde elektriği depolayıp pahalı olduğu dönemlerde ise depoladıkları ucuz elektriği kullanmaktadır.

Off-grid (şebeke-dışı ve enterkonnekte sistemden izole) sistemlerde de kendi ihtiyacı için elektrik üreten son kullanıcılar açısından elektrik depolama olmazsa olmaz bir teknolojidir. İhtiyaç duyduğu elektriği sudan, güneşten veya rüzgârdan kendi izole sistemi içinde üreten bir son kullanıcı, bu sistemlerden elektrik üretilmediği ya da üretilen elektriğin ihtiyaca yetecek düzeyde olmadığı saatlerde depolanan elektriği kullanmaktadır. Elektrik depolama teknolojileri son kullanıcılara kesintisiz ve stabil bir güç kaynağı olarak hizmet vermektedir.

ABD’de gibi bazı ülkelerde elektrik tüketim miktarına ek olarak anlık pik elektrik tüketimi de faturaya bir bedel yansıtılmaktadır. Bu gibi uygulamaların olduğu yerlerde, pik elektrik tüketimi olduğu anlarda faturanın olumsuz etkilenmemesi için elektrik depolama teknolojileri kullanılmaktadır.

Elektrik depolama teknolojileri son kullanıcılar arasında giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle maliyetlerin düşmesiyle, şebekeden bağımsız elektrik üretimi popülerliğini giderek artırmaktadır. Son kullanıcılar elektrik depolama teknolojileriyle hem maliyetlerini düşürmeyi hem de kesintisiz elektrik kullanımını hedeflemektedir.

3.3. Elektrik Depolama Teknolojilerinin Diğer Uygulamaları

Elektrik depolama teknolojileri gün geçtikçe hayatın her alanına girmektedir. Genel olarak teknolojinin ilerlemesi ve bilişim imkânlarının çeşitlenmesiyle kısa veya uzun süreli elektrik depolama yaygınlaşmaktadır.

Fosil yakıtlı araçların çevreye olumsuz etkisini azaltacak elektrikli araçlara geçiş sürecinde bataryalar önemli rol oynamaktadır. Ayrıca ileriki dönemlerde, hidrojen gibi farklı yöntemlerle depolama teknolojilerinin de araçlarda kullanılmaya başlanması planlanmaktadır. Deniz ve hava ulaşımı/taşımacılığı, kara taşımacılığı gibi alanlarda da elektrik depolama teknolojileri kullanılmaktadır. Ayrıca bataryalar, elektrikli araç motorlarını çalıştırmak için güç sağlayan, uzun süreli elektrik depolama teknolojileri olarak kullanılmaktadır.

Elektrik depolama teknolojileri; askeri araçlarda, yedek güç sistemlerinde, modern tarım ekipmanlarında, çevre izleme araçlarında, oyuncak endüstrisinde ve deniz turizmindeki uygulamalarda güç kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Akış pilleri; kesintisiz güç kaynaklarında, bağımsız güç sistemlerinde ve güç dönüşüm sistemlerinde kullanılmakta olan elektrik depolama teknolojilerindedir.

Elektrik depolama teknolojileri, endüstriyel sistemlerde atık enerjiyi sisteme geri kazandırdığı için sistemin verimini yükselterek yakıt kullanımı azaltmaktadır.

Elektrik depolama sistemleri; güç üretim sistemleriyle birlikte endüstriyel uygulamalarda, mobil cihazlarla birlikte dizüstü bilgisayar ve cep telefonları gibi elektronik cihazlarda, otomotiv sektöründe, bağımsız elektrik sistemleri veya şehir şebekesi uygulamalarında, düşük güçlü acil durum sistemlerinin beslemesinde, kara, deniz, hava ve uzay araçlarının güç tahrik sistemlerinde, puant saatlerindeki enerji talebini karşılamak amacıyla şebeke bağlantısı uygulamalarında ve güç kalitesinin kontrol edilmesi için yapılan uygulamalarda kullanılmaktadır.

4. Elektrik Depolama Proje Örnekleri ile Finansman Yapısı

4.1. Büyük Ölçekli Elektrik Depolama Yatırımları

ABD uzun zamandır Amerika kıtasındaki en büyük elektrik depolama pazarıdır ve 2023 yılında uygulamaya konulan elektrik depolama projelerinde toplam kapasitenin 10 Gigavat (GW)'ın üzerinde bir seviyeye ulaşması beklenmektedir. Ancak aralarında Kanada, Meksika ve Şili'nin de bulunduğu ülkeler, elektrik depolama gelişimini teşvik edecek politikalar uygulayarak aradaki farkı hızla kapatmaktadır.

Hindistan, üretilen rüzgâr ve güneş enerjisi fazlası için depolama kapasiteleri oluşturmaya yönelik yeni bir plan kapsamında 2031'e kadar toplam 4.000 Megavatsaat (MWh) elektrik depolama projesi hayata geçirileceğini açıklamıştır.¹¹

Suudi Arabistan'ın kamu enerji şirketi ACWA ile Kazakistan yönetimi arasında 1 GW gücünde rüzgâr ve elektrik depolama projesi için Haziran ayında yol haritası anlaşması imzalanmıştır. 1,5 milyar ABD doları tutarında yatırım ile hayata geçecek olan projenin 2027 yılına kadar tamamlanması hedeflenmektedir.¹²

Avrupa Komisyonu, Macaristan'ın büyük ölçekli elektrik depolama yatırımları için 1,1 milyar Euro kaynak sağlayacağını duyurmuştur.¹³

Çinli firma CATL, 2022 yılında Macaristan'da 7,48 milyar ABD doları tutarındaki bir yatırımla lityum iyon pil fabrikası kuracağını, ayrıca Çin'de 1,9 milyar ABD doları ve 4,7 milyar ABD doları tutarında yatırımlar yapacağını açıklamıştır.¹⁴

Stellantis ve Samsung SDI ortak girişimi, ABD'de yeni bir batarya tesisi kurmak üzere 3,2 milyar ABD dolarının üzerinde yatırım yapacaklarını açıklamıştır. Kokomo şehrinde kurulması planlanan fabrikanın yıllık toplam üretim kapasitesinin 67 Gigavatsaat (GWh)'e ulaşması hedeflenirken, ikinci StarPlus fabrikasının üretime 2027 yılında başlaması planlanmaktadır. İlk StarPlus fabrikasının ise 2025'in ilk çeyreğinde üretime başlaması beklenmektedir. Yeni fabrika, Stellantis'in dünya genelindeki altıncı batarya tesisi olacaktır.¹⁵

4.2. Türkiye ve Dünyadaki Büyük Oyuncular

Türkiye'de elektrik depolama alanında batarya üreten faaliyette olan firmalar arasında Kontrolmatik ve Aspilsan bulunmaktadır. Kontrolmatik hem elektrik depolama tesisi hem de lityum pil üretimi alanında yatırımlar yapmaktadır. Firmanın Ankara Polatlı'da kurduğu elektrik depolama tesisinin ilk fazı 29 Ağustos 2023 tarihinde faaliyete geçmiştir. Tesis yıllık 500 MWh elektrik depolama sistemleri üretim kapasitesine sahiptir. 3 faz halinde ilerlemesi ve 2024 yılında tamamlanması planlanan yatırımın sonunda tesisin toplam

¹¹ https://www.businessstoday.in/industry/energy/story/india-rolls-out-scheme-for-building-robust-battery-energy-storage-backbone-for-wind-solar-projects-397216-2023-09-06?utm_source=topic&utm_medium=topic&utm_campaign=topic

¹² <https://www.acwapower.com/news/acwa-power-signs-roadmap-agreement-for-1gw-wind-energy-and-battery-storage-project-in-kazakhstan/>

¹³ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_2583

¹⁴ <https://www.fdiintelligence.com/content/news/catl-announces-hungarys-largest-ever-investment-81374>

¹⁵ <https://www.haberturk.com/stellantis-ve-samsung-sdi-dan-batarya-isbirligi-3634379-ekonomi>

kapasitesinin 3 GWh/yıl kapasiteye çıkması hedeflenmektedir. Firmanın iştiraki Pomega Enerji Depolama Teknolojileri A.Ş. hem ülkemizde hem de yurt dışında elektrik depolamaya yönelik yatırımlar yapmaktadır. Firma'nın ABD'de yapmayı planladığı lityum pil fabrikası yatırımı kapsamında bedelsiz arazi tahsis, istihdam desteği, vergi muafiyeti ve nakit hibe desteği gibi teşvik paketi Güney Carolina eyalet yönetimi tarafından onaylanmıştır.

Türk Silahlı Kuvvetleri'ni Güçlendirme Vakfı'nın bir firması olan Aspilsan, Haziran 2022 tarihinde Lityum İyon Sarj Edilebilir Silindirik Hücresi'nin seri üretimine başlamıştır. Tamamen yerli imkânlarla üretilen hücrelerin üretim kapasitesi yıllık 21.600.000 adettir. Firma, Avrupa ülkelerine bu pillerin satışını yapmaktadır.

2023 yılı Şubat ayında Koç Holding, Ford Motor Company ve LG Energy Solution ortaklığında batarya yatırımı kapsamında bağlayıcı olmayan mutabakat anlaşmasının imzalandığı duyurulmuştur. Ankara'da kurulacak tesisin, Avrupa'nın en büyük batarya hücresi üretim üslerinden biri olması hedeflenmiştir. Üretime 2026 yılında başlanması ve yıllık 25 GWh kapasiteye ulaşılması, 2029 yılında kapasitenin 20 GWh artırılarak toplam 45 GWh/yıl'a ulaştırılması planlanmıştır. Ancak 2023 yılı Kasım ayında batarya yatırımı için zamanlamanın uygun olmadığı ve anlaşmanın feshedildiği Koç Holding tarafından kamuoyuna duyurulmuştur.

TOGG ve Farasis Energy ortaklığında temiz elektrik depolama çözümleri geliştirmek üzere kurulan Siro Silk Road Temiz Enerji Depolama Teknolojileri (Siro), yönetim merkezinin de bulunduğu Gebze'de kurduğu Batarya Geliştirme Merkezi'nde batarya modül ve paketlerinin seri üretimine 2023 yılında başlamıştır. İkinci aşamada Batarya Geliştirme Merkezi ile Farasis Energy'nin en son teknolojisine dayalı Li-ion NMC batarya hücrelerinin geliştirilmesi, 2026 yılından itibaren üretime geçilmesi ve ilerleyen zamanlarda 20 GWh'lik kapasiteye ulaşılması planlanmaktadır.¹⁶

Türkiye'de elektrik depolama yatırımlarına yönelik yasal çerçeve 2022 yılının Kasım ayında açıklanmış olup depolamalı elektrik üretim tesisleri için ön lisans başvuruları da aynı tarihte başlamış ve başvurular 14 Ekim 2023 itibarıyla son bulmuştur. Haziran ayı sonu itibarıyla Türkiye'de batarya depolamalı rüzgâr ve güneş enerjisi projeleri için depolama yatırımları kapsamında yapılan ön lisans başvurularının adedinin 5 bini, toplam gücünün ise 270 GW'ı aştığı görülmektedir.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) kaynaklarına göre, enerji yatırımcıları depolamalı Rüzgâr Enerji Santrali ve Güneş Enerji Santrali yatırımları için Kurum'a şimdiye kadar toplam kurulu güçleri yaklaşık 278 GW olan 5.034 proje için başvuru yapmıştır. Depolamalı rüzgâr ve güneş enerjisinde en çok başvuru İç Anadolu Bölgesi'nde yapılmıştır. Bu başvuruların 3.351 adedini güneş, 1.683 adedini ise rüzgâr enerjisi projeleri oluşturmaktadır.

Başvuru yapılan güneş enerjisi projelerinin toplam gücü 155,3 GW, rüzgâr enerjisi projelerinin toplam gücü ise 122,6 GW'tır. Bununla birlikte EPDK bu başvurulardan toplam kurulu güçleri 17,3 GW olan projelerin 260 adedi için ön lisans sağlamış durumdadır. Ön lisans sağlanan depolamalı güneş enerjisi toplam kurulu

¹⁶ <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/togg-ve-farasis-energy-ortakliginda-kurulan-siro-ilk-batarya-prototipini-uretti/2656427>

gücü yaklaşık 9 GW ve proje sayısı 144 adettir. Depolamalı rüzgâr enerjisi alanında ön lisans sağlanan projelerin toplam kurulu gücü ise 8,4 GW ve sayısı 116 adettir.¹⁷

Türkiye’de bu girişimler öne çıkarken, dünyada elektrik depolama alanındaki çalışmalar hız kaybetmeden sürmektedir. Halihazırda dünyanın en büyük batarya enerji depolama tesisi (BESS-battery energy storage station) olan Manatee Energy, Florida’da kurulu olup 409 MW/900 MWh kapasiteye sahiptir.¹⁸

ABD’de bulunan Moss Landing Enerji Depolama Tesisi 750 MW/3.000 MWh kapasiteye sahiptir. 2020 yılında Kaliforniya şebekesine bağlı olarak faaliyetlerine başlayan ve Vistra Enerji’nin sahibi olduğu tesis, şu anki kapasitesine 3 fazlık bir yatırım süreci sonunda ulaşmıştır.

Çin’de ülkenin en büyük bağımsız kapasitesi olan 200 MW’lık elektrik depolama tesisi 2022 yılından beri faaliyet göstermektedir.¹⁹

Avustralya’da bulunan elektrik depolama tesisi Victorian Big Battery, 300 MW/450 MWh kapasiteye sahiptir.²⁰

Batarya üreticileri ise ayrı bir pazar olarak gelişimini sürdürmektedir. Dünyanın en büyük batarya üreticisi olan CATL, 2022 yılında pazar payını %34’e çıkartmıştır. Çin merkezli bir firma olan CATL, Tesla, Peugeot, Hyundai, Honda, BMW, Toyota ve Volvo gibi firmalara lityum iyon pili tedarik etmektedir. Firma pil tedarikinin yanında pil geri dönüşümü ve elektrik depolama alanlarında da faaliyet göstermektedir.

Kore menşeli bir firma olan LG Energy Solutions, batarya üretimi ve elektrik depolama teknolojileri alanında faaliyet göstermektedir. Pazar payı bakımından dünyanın en büyük ikinci pil üreticisi olan firmanın payı %14’tür.

Faaliyetlerine pil ve batarya üreterek başlayan Çin menşeli BYD firması ise günümüzde dünyanın en büyük elektrikli otomotiv ve batarya üreticilerinden biri haline gelmiştir.²¹

4.3. Elektrik Depolama Projelerinde Finansman Yapısı

Mevcut koşullar altında elektrik depolamanın yatırım maliyetlerinin yüksekliği ve lisanslama süreçlerinin uzunluğu nedeniyle Türkiye’de elektrik depolama tesisi yatırımları henüz istenen düzeylerde değildir. Lityum iyon pil teknolojilerinin gelişmesi ile düşen yatırım maliyetleri ve uygun finansman koşulları sayesinde yatırımların geri dönüş süresinin kısalması ve yatırımların yapılmaya başlanması beklenmektedir.

Türkiye’de elektrik depolama finansmanı ağırlıklı olarak bankalar ve finansal kuruluşlar aracılığı ile uzun vadeli kredi kullanımı yoluyla yapılmaktadır. Elektrik depolama yatırımlarının yüksek maliyetli olması nedeniyle bu alanlara yatırım yapan firmalar projelerin finansmanını devlet teşvikleri ve uygun maliyetli

¹⁷ <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/depolamali-ruzgar-ve-gunes-enerjisinde-en-cok-basvuru-ic-anadolu-bolgesinde-yapildi/2930144>

¹⁸ <https://www.energy-storage.news/worlds-biggest-solar-charged-battery-storage-system-unveiled-in-florida/>

¹⁹ <https://www.world-energy.org/article/28464.html>

²⁰ <https://www.saurenergy.com/solar-energy-news/the-top-5-largest-battery-energy-storage-systems-worldwide>

²¹ <https://www.visualcapitalist.com/the-top-10-ev-battery-manufacturers-in-2022/>

yatırım kredileri ile yapmayı tercih etmektedir. Sektörün ABD’de devlet tarafından teşvik edildiği bilinmektedir.

Enerji depolama sistemleri finansmanında uluslararası finans kurumlarının finansman imkânları önem taşımaktadır. 2023 yılı Temmuz ayında Uluslararası Finans Kurumu (IFC-International Finance Corporation), yeni enerji depolama sistemlerinin kurulmasını finanse etmek için Engie Energía Chile S.A.’yla (ENGIE Chile) 400 milyon ABD doları değerinde bir kredi anlaşması imzaladığını duyurmuştur. Depolama projesinin, Şili’nin ulusal elektrik sistemine temiz enerji tedarikini kolaylaştırmaya yardımcı olması beklenmektedir.²²

Türkiye’de de hem uluslararası finans kurumlarının hem de yerel finansal kurumların finansman ürünlerini geliştirmesi elektrik depolama yatırımlarının finansmanı konusunda önem taşımaktadır. Diğer yandan, finansman modellerinin çeşitlendirilmesi, teknoloji, teknik uygulama gibi riskleri azaltmak açısından kapsayıcılığı yüksek sigorta ürünlerinin finansmanda yer alması, yatırım teşvikinin bulunması da fark yaratacak unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

²² <https://solarvizyon.org/ifc-400-milyon-dolar-krediyle-veni-bir-enerji-depolama-projesini-finanse-ediyor/>

5. Düzenleyici ve Hukuki Çerçeve

5.1. Türkiye’de Elektrik Depolama Mevzuatı²³

30.03.2013 tarihli Resmî Gazete’de yayınlanan 6446 sayılı **Elektrik Piyasası Kanunu**’na 27.03.2018 tarihinde eklenen bent ile elektrik depolamanın Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın görüşü alınarak Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu’nun belirleyeceği koşullarda lisanssız yürütülebilecek faaliyetler arasında sayılması elektrik depolama faaliyetlerine ilişkin ilk düzenlemedir.

19.02.2020 tarihli Resmî Gazete’de yayınlanan **Elektrik Üretim ve Elektrik Depolama Tesisleri Kabul Yönetmeliği** ile elektrik depolama tesislerinin kabul süreçleri ile tesislerin işletme döneminde uyması gereken hususlar düzenlenmiştir. Elektrik depolama tesisi, sistemden çektiği elektrik enerjisini başka bir enerji türüne çevirerek depolayabilen ve depolanan enerjiyi kullanılmak üzere tekrar elektrik enerjisine çevirerek sisteme verebilen tesis olarak tanımlanmıştır. Yönetmeliğe göre, Proje Onay Birimi tarafından onaylanan projesine uygun olarak yapılan elektrik depolama tesisleri kabulleri sonrasında faaliyete geçebilecektir.

Elektrik depolama üniteleri veya tesislerinin kurulmaları, iletim veya dağıtım sistemine bağlanmaları ile bu ünite veya tesislerin piyasa faaliyetlerinde kullanılmasına ilişkin usul ve esasları düzenleyen **Elektrik Piyasasında Depolama Faaliyetleri Yönetmeliği** ise 09.05.2021 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Elektrik depolama faaliyetinin üretim tesisine bütünleşik elektrik depolama üniteleri, tüketim tesisine bütünleşik elektrik depolama tesisleri, müstakil elektrik depolama tesisleri ve şebeke işletmecileri tarafından kurulan elektrik depolama tesisleri vasıtasıyla yürütülebileceği düzenlenmiştir.

19.11.2022 tarihinde Resmî Gazete’de yayınlanan yönetmelik değişiklikleri ile ise elektrik depolama mevzuatında güncel durumu yansıtan kapsamlı düzenlemeler gerçekleştirilmiştir:

Elektrik Piyasasında Depolama Faaliyetleri Yönetmeliği ile **Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği**’ne depolamalı elektrik üretim tesisi tanımı eklenmiş, depolamalı elektrik üretim tesislerinin lisans usullerine ilişkin düzenlemeler gerçekleştirilmiş, söz konusu üretim tesisleri ile bu tesislerdeki depolama üniteleri tek bir lisansa tabi sayılmıştır.

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği çerçevesinde çağrı mektubu alan ve ihtiyaç fazlası enerji için aylık mahsuplaşma yapılan lisanssız elektrik üretim tesislerinde elektrik depolama tesisi kurulmasına imkân sağlanmıştır.

Ayrıca, yine aynı tarihte EPDK tarafından yayınlanan **Ön Lisans Süreleri ile Tesis Tamamlanma Tarihinin Belirlenmesinde Referans Alınacak İnşaat Sürelerine İlişkin Karar** uyarınca elektrik depolama ünitesi/tesisi kurulumlarına ilişkin inşaat süreleri düzenlenmiştir.

²³ Elektrik depolamaya ilişkin düzenlemelerin detayı için EK: Elektrik Depolama Düzenlemeleri

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik'te yapılan değişiklik ile depolamalı elektrik üretim tesislerinin YEKDEM'den faydalanmasına ilişkin usuller düzenlenmiştir.

Son olarak, **Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği**'ne 14.10.2023 tarihinde eklenen geçici bir madde ile EPDK tarafından karar alınincaya kadar Yönetmelik ile belirtilen depolamalı elektrik üretim tesislerine ilişkin ön lisans başvuruları alınmayacaktır.

Depolama faaliyetinin kanunlaşma süreci ve kanun koyucunun düzenleme biçimleri açısından dikkat çekici temel hususları üç başlıkta özetlemek mümkündür:

- Özellikle lisanssız elektrik üretimi ve elektrik üretim ön lisansı süreçlerinde piyasanın sıhhatli işleyişini sağlamak için alınan önlemlerde önceki yıllarda, 6446 sayılı Kanun'da düzenleme yapılmadan önce ilgili yönetmeliklerde kısıtlamalar ve dayanağı olmayan düzenlemeler gözlenmişti. Bu düzenlemeler, hukuki açıdan şüphe uyandırmış, durumun kamu otoritelerine aktarılması sonucunda Elektrik Piyasası Kanunu'nda değişiklik yapılarak ilgili yönetmeliklerdeki duruma uyum sağlanmıştı. Kanun yapma tekniği açısından sakıncalı bu yaklaşımlar elektrik depolama faaliyeti bakımından devam ettirilmemiş, önce Elektrik Piyasası Kanunu'nda düzenlemelerin yasalaşmasını müteakip ikincil mevzuatta değişikliklere gidilmiştir.
- Elektrik depolama faaliyeti, Elektrik Piyasası Kanunu'nda ayrı bir faaliyet türü ve ayrı bir lisans türü olarak tanımlanmamış, şartların sağlanması halinde üretim veya tedarik lisansına bağlı olarak veya lisanssız olarak yürütülecek bir faaliyet olarak öngörülmüştür. Kanun koyucunun bu tercihi, nihai tüketicilerin elektrik depolama faaliyetine katılmasına müsaade etme ve teşvik etme amacıyla tutarlıdır.
- Özel sektör etkinliğinin azami seviyeye çıkarıldığı ve tekelden rekabet ortamına geçişin büyük ölçüde tamamlandığı mevcut elektrik piyasasında şaşırtıcı bir tercih olmamakla birlikte, depolama faaliyeti geniş bir özel sektör katılımına açık biçimde tasarlanmıştır. Aksinin tercih edilmesi de teknik anlamda mümkün olabilirdi, zira elektrik depolama faaliyetlerinin getirilmesinde bir amaç şebeke verimliliğini ve direncini (grid efficiency and resilience) artırmak olduğundan, depolama düzenlemelerinin elektrik dağıtım şirketlerine mahsus düzenlenmesi de imkân dahilindeydi; ancak Avrupa Birliği (AB) düzenlemelerine uyum ve depolama sistemine katılımı artırmak amaçları doğrultusunda özel sektörün farklı kesimlerinin rol alabileceği genişlikte bir sistem tasarımı öngörülmüştür.

5.2. Dünyada Başarılı Uygulamaları Destekleyen Mevzuat Örnekleri

Türkiye'deki yasal düzenlemelere en yakın ve önemli örnek, 2019/944 sayılı AB Direktifidir. İç pazarda elektrik depolama faaliyetlerine ilişkin temel esasları elektrik piyasası direktiflerine ekleyen bu düzenleme, doğrudan uygulama alanı bulmamakta ve üye devletlere kendi iç mevzuatlarını uyumlaştırma yükümlülüğü getirmektedir. Direktif, aşağıdaki temel prensipleri ihtiva etmektedir:

- Enerji verimliliği, dışa bağımlılığın azaltılması ve şebeke etkinliğinin artırılması için enerji depolama faaliyetlerinin teşviki ve artırılması elzem konumdur.

- Rekabetin artırılması maksadıyla dağıtım şirketleri ve iletim şebekesinin sahibi (Türkiye’de Türkiye Elektrik İletim A.Ş.-TEİAŞ) depolama faaliyetine girişmemelidir; Direktif bu bağlamda satış yapılmaması, şebeke verimliliğinin muhafazası ve düzenleyici otoritenin izni koşulları gerçekleşmedikçe bu kurumlara depolama faaliyetini yasaklamaktadır.
- Depolama tesisleri, bizatihi şebeke dengelemesine tahsis edilmediyse, iletim şirketlerinin maruz kaldığı idari kısıtlamalara tabi tutulmamalı ve teşvik edilmelidir.
- Üreticilerin kendi verimliliklerini ve rekabetçiliğini artırmasının teşvik edilmesinin yanı sıra, tüketicilerin depolama faaliyetine girmesi de teşvik edilmelidir; bu bağlamda, depolama yapacak gerçek kişilerin etkin şebeke bağlantısı imkânına sahip olması, aşırı zorlaştırıcı lisans yükümlülüklerine katlanmaması ve fazladan idari masraflara tabi tutulmamasına yönelik kurallar Direktifte mevcuttur.
- Uygun gördükleri teşvikleri sağlamak için üye devletlere takdir yetkisi tanınmaktadır.

ABD’de 16 Ağustos 2022 tarihinde ABD Kongresi’nde “Enflasyonu Düşürme Yasası” çıkarılmış, enflasyonla mücadele üst başlığı altında Biden hükümetinin yenilenebilir enerji geçişini hızlandırma projesi en kapsamlı yasal zeminine ulaşmıştır. Bu doğrultuda, diğer yenilenebilir enerji teşviklerinin yanı sıra, pil hücresi üretimi için 35 USD/kilovatsaat (kWh), batarya paketi üretimi için 10 USD/kWh olan “Üretim Vergisi Kredisi”nden yararlanılması; 2030 yılına kadar devam edecek bu desteğin 2031 ve 2032 yıllarında her yıl %25 oranında azaltılmasıyla 2032’de son bulması ve bu kapsamda 2032 yılına kadar yaklaşık 900 milyon ABD doları tutarından fazla federal teşvikten yararlandırılması planlanmaktadır.²⁴ Teşvikler, yatırımcıların seçimlik olarak ya yatırım aşamasında ya da üretim aşamasında federal vergi indiriminden faydalandırılması biçiminde öngörülmüştür.²⁵ Düzenlemelerin başarısı müteakip yıllarda ve ikincil düzenlemelerle belli olacaktır, ancak her halükarda Çin bataryaları ile rekabet etme bağlamında, bu bataryaların fiyatları, bunlara uygulanan ek ithalat vergileri ve ABD’nin yeni teşvikleri birlikte değerlendirilerek tahlil yapılması gerekmektedir.

²⁴ <https://www.dunya.com/ekonomi/abd-afrika-birligi-zirvesi-8-yil-aradan-sonra-yeniden-toplaniyor-haberi-676987>

²⁵ <https://www.epa.gov/green-power-markets/summary-inflation-reduction-act-provisions-related-renewable-energy>

6. Elektrik Depolama Teşvik ve Destek Uygulamaları

6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun üretim faaliyeti kapsamındaki düzenlemesine 05.07.2022 tarihinde eklenen fıkra ile, elektrik depolama tesisi kurmayı taahhüt eden tüzel kişilere, kurmayı taahhüt ettikleri elektrik depolama tesisinin kurulu gücüne kadar EPDK tarafından rüzgâr ve/veya güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisi kurulmasına ilişkin ön lisans verilebilecektir. Söz konusu tesislere YEKDEM'den yararlanma imkânı da sağlanmıştır. 04.04.2023 tarihli değişiklik ile ise bu tesislere yerli katkı desteği sunulması imkânı da oluşturulmuştur.

05.07.2022 tarihi itibarıyla, kısmen veya tamamen işletmede bulunan üretim tesislerinden elektrik depolama tesisi kurmayı taahhüt eden rüzgâr ve/veya güneş enerjisine dayalı elektrik üretim lisansı sahibi tüzel kişilerin kurmayı taahhüt ettikleri elektrik depolama tesisinin kurulu gücüne kadar, lisanslarında belirlenen sahalara dışına çıkılmaması, işletme anında sisteme verilen gücün lisanslarında belirtilen kurulu gücü aşmaması ve TEİAŞ ve/veya ilgili dağıtım şirketinden alınan tadil kapsamındaki bağlantı görüşünün olumlu olması hâlinde kapasite artışına izin verilmektedir. Bu çerçevedeki kapasite artışları için 5346 sayılı **Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun**'da yer alan "Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim lisansları için 28.02.2019'dan sonra 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun 7'nci maddesi kapsamında yapılacak kapasite artışı lisans tadili EPDK tarafından uygun görülenler söz konusu kapasite artışı için YEK Destekleme Mekanizmasından yararlanamaz" hükmü uygulanmayacaktır.

19.11.2022 tarihinde Resmî Gazete'de yayınlanan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik kapsamındaki değişiklik ile YEKDEM'den yararlanabileceklere ilişkin düzenlemeler yapılmıştır.

- Depolamalı elektrik üretim tesisi bünyesinde kurulan elektrik depolama ünitesi ile YEKDEM kapsamındaki üretim tesisine bütünleşik elektrik depolama ünitesinin uzlaştırmaya esas veriş miktarına ilişkin olarak;
 - a. Üretim tesisinde üretilerek depolandıktan sonra şebekeye verilen enerjinin YEKDEM kapsamında olduğu,
 - b. Depolamalı elektrik üretim tesisi bünyesinde kurulan elektrik depolama ünitesi ile YEKDEM kapsamındaki üretim tesisine bütünleşik elektrik depolama ünitesine herhangi bir uzlaştırma döneminde enerji çekilmesi halinde, söz konusu enerjinin öncelikle şebekeden çekildiği ve şebekeden çekilen miktar kadar enerjinin YEKDEM'e tabi olmaksızın elektrik depolama ünitesinden verildiği,
 - c. Şebekeden çekilen miktarın üzerinde elektrik depolama ünitesinden şebekeye verilen enerjinin YEKDEM kapsamında olduğu kabul edilmektedir.
- Depolamalı elektrik üretim tesisi ile YEKDEM kapsamındaki üretim tesisine bütünleşik elektrik depolama ünitesinin bulunduğu üretim tesislerinde; şebekeye üretim tesisinin elektriksel kurulu gücü ile üretebileceği enerjiden fazla enerji verilmesi halinde, söz konusu enerji öncelikle ilgili üretim tesisinin uzlaştırmaya esas veriş miktarından düşülecektir.

- Depolamalı elektrik üretim tesisi bünyesindeki elektrik depolama ünitelerinin işletmede olmadığı uzlaştırma dönemlerinde, sisteme verilen enerji uzlaştırma hesaplamalarında dikkate alınmayacaktır.

7. Trendler ve Öngörüler

7.1. Elektrik Depolamada Yeni Trendler

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artması, üretilen elektrik enerjisinin depolanması konusuna da dikkatleri çekmiştir. Yenilenebilir enerji üretiminin doğası gereği sürekli olmaması, üretilen enerjinin depolanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda elektrik depolanması için farklı teknolojiler araştırılmaktadır. Örneğin Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) raporuna göre, elektrik depolaması üzerine patent faaliyetleri, genel patent faaliyetlerinden daha fazla artmıştır. Yeni teknolojilerin geliştirilmesi konusunda Japonya ve Güney Kore oldukça öne çıkmaktadır.

Günümüzde özellikle lityum pillerin yaygın kullanılması, lityum pilleri geliştirmeye yönelik çalışmaların artmasına sebep olmuştur. Örneğin, yaygın kullanımından dolayı lityum pillerin geri dönüştürülebilirliğine yönelik araştırmalar hız kazanmıştır. Ancak lityum pillerinin çevre üzerindeki potansiyel olumsuz etkileri farklı elektrik depolama sistemlerinin de geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

Gelişmiş lityum piller; elektrikli arabalar ve elektronik cihazlar için geliştirilmiş, taşınabilirlik, yüksek kapasite ve uzun ömürlülük gibi avantajlara sahip olan lityum pillerdir. Üretimi oldukça esnek gerçekleştirilebilen bu piller; dizüstü bilgisayarlar, cep telefonları, elektrikli araçlar ve hava araçları gibi pek çok farklı ürüne uygun olacak şekilde dizayn edilebilmekte ve üretilebilmektedir. Geleneksel lityum pillerine göre daha uzun ömürlü ve daha ucuz olan bu piller, ısıya karşı oldukça duyarlıdır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda yanma riski bulunmaktadır. Gelişmiş lityum pillerin bir diğer dezavantajıysa kullanıma bağlı olarak tükenmeye maruz kalmaları ve zaman içinde performanslarının azalmasıdır.²⁶ **Akış pilleri**, lityum pillerine göre daha güvenli ve daha uzun ömürlü bir alternatif olarak görülmektedir. Bu özellik, akış pillerini bilhassa konutlarda veya sabit uygulamalarda tercih edilebilecek bir teknoloji haline getirmektedir. Ancak şu anki akış pili modelleri lityum pillerine göre daha verimsiz çalışmaktadır.

Lityum pillere göre çok daha hızlı elektrik depolanmasına sağlayan **süper kapasitörler**, genellikle elektrikli araçlarda tercih edilmektedir. Lityum pillere kıyasla çok daha uzun ömürlü olmalarına rağmen, daha az enerji depolamaktadırlar.

Doğada en yaygın bulunan elementlerden biri olan **hidrojen**, enerji üretimi ve depolanması konusunda da önemli seçeneklerden birisidir. Hidrojen hem enerji üretimi hem de farklı kaynaklardan üretilen enerjinin depolanması ve taşınması için kullanılabilir. Hidrojen fiziksel olarak gaz veya sıvı şeklinde depolanabilmektedir. Hidrojenin gaz olarak depolanabilmesi için yüksek basınçlı tanklar gerekirken, sıvı olarak depolanabilmesi için kriyojenik tanklar gerekmektedir. Hidrojen enerjisi hem yenilenebilir kaynaklardan hem de fosil yakıtlardan elde edilebilmektedir. Dolayısıyla hidrojen enerjisinin yenilenebilir enerji kaynağı olarak görülebilmesi için, üretiminin yenilenebilir kaynaklardan yapılması gerekmektedir. Suyun elektrolize edilmesiyle üretilen hidrojen, yenilenebilir enerji kapsamındadır. Bu şekilde elektrik enerjisinin hidrojen şeklinde depolanması da mümkündür. Hidrojen enerjisi depolama, elektrik enerjisinin elektroliz kullanılarak hidrojene dönüştürüldüğü bir tür kimyasal enerji depolamadır. Bu enerji daha sonra

²⁶ <https://tlo.mit.edu/technologies/advanced-lithium-ion-battery-self-assembles-using-viral-particles>

gazın bir yanmalı motorda veya yakıt hücresinde yakılmasıyla geri kazanılmaktadır.²⁷ Enerji üretiminde ağırlıklı biçimde fosil kaynaklara bağlı olan Türkiye'nin 1990'lı yıllarda Prof. Dr. Veziroğlu ve UNIDO'nun girişimleriyle başlayan hidrojen enerjisi yolculuğuna, gündemde olan iklim politikaları çerçevesinde, başta AB olmak üzere diğer ülkelerin yaptığı çalışmaları gözetererek ve özel sektörün desteğini alarak ulusal hidrojen stratejisi ile devam etmesi gerektiği değerlendirilmektedir.²⁸

BESS farklı kaynaklardan enerji toplayan, biriktiren ve daha sonra kullanılmak üzere pillerde depolayan bir elektrik depolama sistemidir. İhtiyaç duyulması halinde depolanan bu enerji evlere, araçlara, endüstriyel ve ticari tesislere verilebilmektedir. BESS, donanım bileşenlerinin yanında yazılım sistemlerinin de içeren bileşik bir sistemdir. Özellikle elektrik talebinin az olduğu saatlerde satın alınabilecek elektrik enerjisinin depolanması, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin saklanması ve elektrik kesintilerine anında müdahale imkânı sunması gibi konulardan avantajlı olan BESS'ler, yatırım maliyetlerinin fazla olmasından dolayı bir dezavantaja sahiptir.²⁹

Özellikle büyük binalar için tercih edilen termal enerji depolama, ısı değişimleri neticesinde ortaya çıkan enerjinin depolanmasıdır. Bu enerji elektrik üretiminde kullanılabilir. Operasyon maliyetlerini azaltması ve verimli bir yöntem olması en büyük avantajlarıken, yatırım maliyetlerinin yüksek olması başlıca dezavantajdır.³⁰

Bugün piyasada yaygın olarak kullanılan silisyum pillerin verimliliğinin yaklaşık %27'lik bir pratik üst sınırı bulunmakta olup buna yakın zamanda ulaşılabileceği düşünülmektedir. Küresel yeşil enerji dönüşümünde güneş pillerinden daha fazla faydalanmak ve bu dönüşüm sürecini hızlandırmak için yeni ve daha verimli teknolojiler geliştirilmesi gerekmektedir. Tandem güneş pilleri, bu noktada önemli fırsatlar sunabilecektir.

Tandem güneş pilleri, güneş ışınlarından en yüksek seviyede faydalanmayı sağlamaktadır. Kırmızı ışığı daha iyi soğuran silisyum güneş pillerinin, mavi ışığı daha iyi soğuran perovskit tabanlı güneş pilleri ile birleştirilmesi sonucunda daha çok enerji üretilebilmektedir. Bu sayede güneş enerjisinin daha da ucuzlaması ve yeşil enerji dönüşümünün hızlanması hedeflenmektedir.

Küresel güneş enerjisi kurulu gücü 2022 yılında 1,2 Teravat (TW)'a yükselmiş olsa da bu değer hâlâ küresel elektrik üretiminin yalnızca yaklaşık %5'ine tekabül etmektedir. IEA'ya göre, küresel ısınmanın etkilerini sınırlandırmak için kurulu gücün, 2030 yılına kadar her yıl %25 oranında artması gerekmektedir. Tandem güneş pilleri gibi, bu dönüşümü hızlandıracak teknolojik gelişmeler büyük önem taşımaktadır.³¹

Scitech Daily'de yer alan habere göre, konsantre güneş enerjisi olarak bilinen yeni bir yaklaşımla güneşten gelen ısı depolanmakta ve ardından gıdaları kurutmak veya elektrik üretmek için kullanılabilir. ACS

²⁷ <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage#:~:text=Hydrogen%20can%20be%20stored%20physically,pressure%20is%20%E2%88%92252.8%C2%BC>

²⁸ TSKB Enerji Çalışma Grubu, Hidrojen Enerjisi Bilgilendirme Notu Güncellemesi, Ağustos 2023.

<https://www.tskb.com.tr/uploads/file/bilgi-notu-guncelleme-hidrojen-enerjisi-final.pdf>

²⁹ <https://www.integrasources.com/blog/energy-management-and-energy-saving-bess/>

<https://www.greyb.com/blog/energy-storage-innovation-trends/>

³⁰ <https://celsiustcity.eu/thermal-energy-storage/>

<https://www.greyb.com/blog/energy-storage-innovation-trends/>

³¹ <https://www.iklimhaber.org/tandem-gunes-pilleri-yesil-enerji-donusumunde-devrim-yaratabilir/>

Omega’da rapor veren bir ekip, Tanzanya’dan gelen bazı sabuntaşı ve granit örneklerinin, yüksek enerji yoğunlukları ve yüksek sıcaklıklarda bile kararlılığa sahip olan bu güneş ısısını depolamak için çok uygun olduğunu bulmuştur.³² Elektrik depolama teknolojilerinin her birinin farklı özellikleri olması ve farklı ihtiyaçlara çözüm yaratması sebebiyle, hibrit enerji depolama sistemleri (HESS: Hybrid Energy Storage Systems) de dikkat çeken konulardan biri haline gelmiştir. Akıllı şehir örneklerinde daha çok görülen hibrit depolama sistemlerinde; akıllı şebeke uygulamaları sayesinde şarja takılı elektrikli araçların ihtiyaca göre elektrik depolama sistemleri olarak kullanıldığı, bataryaların, süper kapasitörlerin ve diğer enerji depolama sistemlerinin birlikte uyumlu bir şekilde çalıştırıldığı, birden fazla depolama ortamının entegre edildiği ve böylece yüksek verimlilik, anlık güç arzı ve çevrim ömrü elde edilebildiği izlenmektedir.

Uzun süreli enerji talebi oluşmayan durumlarda, ihtiyacı karşılamak için elektrik depolama hizmeti veren girişimler de son dönemlerde görülmeye başlanmıştır. Elektrik depolama teknolojileri, ilk yatırım maliyeti yüksek sistemler oldukları için, yatırımın ekonomik olmadığı durumlarda kurulmaları tercih edilmemektedir. Bu sebeple kısa süreli ve anlık ihtiyaçlar için elektrik depolama hizmeti veren girişimler de her geçen gün artmaktadır.

7.2. Türkiye’nin Potansiyel Yol Haritası

Türkiye 2015 yılında imzalanan Paris İklim Antlaşması’na taraf olmuş ve 2053 yılında net sıfır emisyon hedefini benimsemiştir. Bu kapsamda 2022 yılında yayınlanan Ulusal Enerji Planı’nda³³, 2035 yılına gelindiğinde elektrik enerjisinin nihai enerji tüketimi içindeki payının %24,9 olması hedeflenmektedir. Elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının payınınsa %54,7’ye çıkması planlanmaktadır.

Türkiye’nin ulusal hedefleri doğrultusunda elektrifikasyon ve elektrik depolaması büyük önem taşımaktadır.

Elektrik depolama tesisi kurmak isteyen firmalara devlet tarafından teşvik sağlanmaktadır. Örneğin elektrik depolama tesisi kurma taahhüdü veren firmalara Güneş Enerji Santrali ve/veya Rüzgâr Enerji Santrali ön lisansı verilmekte ve bu tesisler YEKDEM’den faydalanabilmektedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı “Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası” raporunu yayınlamış ve bu raporda ülkemizde hidrojen enerjisi üretilmesi ve depolanması konusundaki hedefler ve politikaların yol haritasını açıklamıştır. Rapordaki hedefler arasında hidrojen enerjisi üretimi için yerli teknolojilerin kullanılması, bor madeni ile hidrojen üretilmesi için çalışmaların yapılması, yeşil hidrojen üretimi için teşvik mekanizması oluşturulması gibi hususlar bulunmaktadır.³⁴

TÜBA tarafından hazırlanan “Enerjide Depolama Teknolojileri Raporu” da ülkemiz için potansiyel bir yol haritası önermektedir. Rapora göre ülkemiz için bir enerji depolama programı ve pilot uygulama örnekleri

³² <https://temizenerji.org/2023/06/13/kayalar-gunes-enerjisi-depolamasi-icin-iyi-bir-alternatif-olabilir-mi/>

³³ https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf

³⁴ https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Kurumsal_Politikalar/HSP/ETKB_Hidrojen_Stratejik_Plan2023.pdf

oluşturulmalı, yerli üretim için akademik destek sağlanmalı ve ulusal enerji depolama merkezi kurulmalıdır.³⁵

Yenilenebilir enerjiye yönelik değişim motivasyonu neticesinde hedeflerin karşılanması için şebeke ölçeğinde elektrik depolama çözümlerinin şart olması nedeniyle teşvik programlarının artırılması gerekmektedir.

Dünyada ve Türkiye’de elektrik depolama sistemleri her geçen gün gelişmekte ve değişmektedir. Bu teknolojik değişimleri, hukuk ve yönetmeliklerin de aynı hızda takip ediyor olması gerekmektedir. Kanun koyucuların ilgili yönetmelikler hazırlanırken teknolojileri takip ederek hem üreticiler ile hem de yatırımcılar ile beraber, ihtiyaçları karşılayacak, iyi bir yatırım ortamı yaratacak ve rekabeti maksimize edecek şekilde kuralları belirlemesi önem taşımaktadır.

³⁵ <https://www.tuba.gov.tr/tr/yayinlar/suresiz-yayinlar/raporlar/tuba-enerji-depolama-teknolojileri-raporu>

8. Sonuç ve Öneriler

8.1. Sektörün SWOT Analizi

8.1.1. Sürdürülebilirlik ve Çevresel Etkiler

Elektrik depolama sistemleri, enerji sektörünün çevresel etkileri ve sürdürülebilirliği konusunda kilit role sahiptir. Elektrik depolama sistemlerinin çevreye olan en olumlu etkisi, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasına olan katkısıdır. Güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji seçenekleri doğaları gereği kesintili ve kararsız bir üretim profiline sahiptirler. Elektrik depolama sayesinde üretimin yüksek olduğu dönemlerde üretilen enerji depolanabilecek, depolanan enerji üretimin düşük olduğu dönemlerde kullanılacaktır. Bu sayede yenilenebilir enerjinin kesintili ve kararsız yapısı dengelenmiş olacak, fosil yakıt bazlı yedek enerji üretimi azalacaktır. Bu da sera gazı emisyonlarının azaltılması anlamına gelmektedir.

Diğer yandan, özellikle lityum pillerinin üretim sürecinde çevreye sızabilecek toksik atıkların mevcudiyeti, lityum madenciliğinin çok fazla su tüketmesi, lityum madenciliği sırasında ortaya çıkan toksik atıkların doğal yaşamı riske atması gibi konular elektrik depolamanın olası olumsuz çevresel etkileri olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca elektrik depolama tesisinin kurulumu ve işletilmesi sırasında araziye verilebilecek zararlar, su tüketimi kaynaklı olası etkiler, gerekli malzemelerin imalatı ve nakliyesinden kaynaklanabilecek atıklar ve kirlilik de göz önüne alınmalıdır.³⁶

Batarya üretimlerinin artmasıyla maden kaynaklarının kullanımı da artmaktadır. Lityuma ek olarak nikel, kobalt, manganez ve grafit madenleri de batarya performansında büyük rol oynamakta, enerji yoğunluğu ve batarya ömrü için önem arz etmektedir. Paris Anlaşması hedeflerince oluşturulan senaryolarda, önümüzdeki 20 yılda batarya kaynaklı madencilikte, bakır ve nadir elementlerin %20, nikel ve kobaltın %60-70 ve lityumun ise neredeyse %90 oranında kullanım payına ulaşacağı öngörülmektedir.³⁷

8.1.2. Maliyetler ve Yatırım Getirisi

Elektrik depolama yatırımlarında maliyetler, yatırımın boyutuna göre farklılık göstermektedir. Depolanmak istenen enerji miktarı, teknik ihtiyaç, kullanılacak olan teknoloji, batarya tipi ve depolama tesisinin kurulacağı alan maliyetleri etkilemektedir. Her ne kadar son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler lityum pil fiyatlarının azalmasına neden olsa da maliyetler hâlâ en önemli faktörlerden biridir. Ayrıca şebeke bakımları ve devletlerin regülasyonları da maliyetler üzerinde artışa sebep olabilmektedir. Mevcut durumda geri dönüş süreleri uzun olsa da elektrik depolama tesislerinin yatırım maliyetinin yüksek, operasyon maliyetlerinin düşük olması yatırımın geri dönüş süresini yine de kısaltan bir etkidir. Üretilen ve depolanan elektriğin fiyatının piyasa koşullarına göre değişebileceği de göz ardı edilmemelidir.³⁸

³⁶ <https://www.veolia.co.uk/sustainability-energy-storage-systems>

<https://yesilgazete.org/lityum-piller-temiz-bir-alternatif-mi-yoksa-cevre-icin-yeni-bir-tehdit-mi-batuhan-sarican/>

³⁷ <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/executive-summary>

³⁸ <https://www.irena.org/->

/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf?rev=a264707cb8034a52b6f6123d5f1b1148

Ülkemizde güneş ve rüzgâr santrallerine dayalı elektrik depolama lisansı alan firmalar YEKDEM garantisinden faydalanabilmektedir.

Hukuk güvenliği açısından, yenilenebilir enerji kaynaklarına benzer şekilde, maliyetler ve yatırım getirisi diğer enerji kaynaklarıyla rekabetçi duruma gelene kadar, YEKDEM garantilerinin istikrarlı ve belirsizlik yaratmayacak şekilde uygulanması gerekmektedir. Bu bağlamda yatırımcıların YEKDEM ve teşvikler bakımından kazanılmış haklarını ihlal etmeyecek şekilde piyasanın düzenlenmesi ve düzenleme değişikliklerinin geçmiş etkili olmayacak şekilde uygulanması önem arz etmektedir.

8.1.3. Teknolojik Zorluklar ve Güvenlik

Elektrik depolamasındaki en büyük ve temel problemlerden birisi, elektrik şebekelerinin dizaynidir. Konvansiyonel elektrik şebekeleri, çoğunlukla fosil yakıtların üretimde ağırlıklı biçimde kullanıldığı arz mimarisine göre tasarlandığından, depolama sistemlerinin yaygınlaşması birçok durumda elektrik şebekelerinin de yenilenmesini gerektirmektedir. Bir diğer problemse batarya ve pillerin kullanıldıkça azalan performanslarıdır.

Elektrik depolama sistemleri güvenlik açısından da belirli riskler barındırmaktadır. Bunların başında yangın riski gelmektedir. Elektrik depolamada yaygın bir şekilde kullanılan lityum piller ısıya karşı oldukça duyarlıdır ve yüksek sıcaklıklarda yangınlara ve patlamalara yol açabilmektedir, üstelik pillerden çıkan dumanların zehirli olma ihtimali de bulunmaktadır. Ayrıca depolama tesislerindeki pil hücresi sayısı arttıkça, voltaj seviyeleri de artacak, bu da çalışanlar için risk oluşturacaktır. Bataryaların üretiminde kullanılan bazı maddelerin çevre ve insanlar üzerinde toksik etkiler oluşturabileceği de düşünülmektedir.³⁹

Bataryalar yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygınlaşmasında önemli bir role sahip olsalar da günümüzde verimlilik açısından hâlâ yeterli seviyeye ulaşamadıkları görülmektedir. Bataryaların sorunsuz bir şekilde elektrik depolamaları için soğutulmaya, performans yönetimleri için BMS sistemlerine, enerji yönetimleri için EMS sistemlerine, yangın riskine karşı önlem için yangın sistemlerine ve enerji dönüşümleri için PCS sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemler, depolanan enerjiyi kullanmakta ve enerjinin depolanma/sisteme geri verilme verimini düşürmektedir. Ayrıca bataryalar depolanan enerjiyi tekrar sisteme verirken, enerjinin bir kısmını ısı enerjisine dönüştürmekte ve verim kaybına neden olmaktadır.

8.2. Elektrik Depolama Sektörünün Geleceği

Son yıllarda dünya çapında elektrik depolamaya yönelik yatırımlar artmıştır. Fosil yakıtların genellikle yüksek maliyetli olması, Rusya-Ukrayna savaşı sonrası enerji sektöründe yaşanan problemler ve çevresel kaygılar yenilenebilir enerjiye olan talebi artırmış, bu da elektrik depolama yatırımlarını hızlandıran bir faktör olmuştur.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan Türkiye Ulusal Enerji Planı'nda 2020-2035 yılları arasında üretim ve tüketim senaryoları yer alırken aynı zamanda depolama sistemlerine yönelik hedefler de belirtilmiştir. "Kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile sistemdeki esneklik

³⁹ <https://www.futurebridge.com/industry/perspectives-energy/safety-challenges-energy-storage-technologies/>.
<https://reglobal.org/energy-storage-technologies-challenges-and-future-outlook/>

gereksiniminin arttığı⁴⁰ vurgulanan raporda batarya depolama ile elektrik sistemine ilave esneklik sağlanabileceği ve Türkiye'deki batarya üretim kapasitesinin 2035 yılında 7,5 GW'a ulaşmasının beklendiği belirtilmiştir. 12. Kalkınma Planı'na göre Türkiye'de batarya depolama kapasitesinin 2028 yılında 5 GW'a ulaşması beklenmektedir.

BloombergNEF'in Enerji Depolama Görünümü'ne⁴¹ göre; 2022 yılında 42 GW/99 GWh olarak gerçekleşen küresel enerji depolama kapasitesinin 2030 yılında 650 GW/1.877 GWh'e ulaşacağı tahmin edilmektedir. 2030 yılına kadar olan dönemde küresel kapasitenin %27 oranında yıllık birleşik büyüme oranı ile artması, 2030 yılına gelindiğinde ise yıllık artışta Asya Pasifik Bölgesi'nin %47, Avrupa, Ortadoğu ve Afrika (EMEA) bölgesinin payının %24 ve Amerika kıtasının ise %18 olması beklenmektedir. 2030 yılında dünya genelinde en yüksek kapasiteye ABD'nin, Çin ve Hindistan'ın sahip olacağı öngörülmektedir. Avrupa ülkeleri arasında Almanya, İngiltere ve Fransa'nın ilk üç sırayı alacağı projekte edilmektedir. Bölgelerin aldığı söz konusu büyük paylarda, devletlerin yeni kapasite ihaleleri ve teşviklerinin etkisi büyüktür. Çin bölgesel yönetimleri enerji depolama hedefleri açıklamış; Japonya büyük ölçekli bataryalar için yıllık teşvik programları açıklamış; Güney Kore 2036 için 25 GW/127 GWh kapasite hedefi getirmiş; Hindistan ise 2023-2024 mali yılı bütçesinde şebeke ölçeğindeki 4 GWh kapasiteli bataryalar için fon ayırmıştır. 2022 yılında EMEA bölgesinde konut tipi uygulamalarının beklentilerin ötesinde gerçekleşmesi nedeniyle depolama kapasitesi 2022 yılında 4,5 GW/7,1 GWh düzeyine yükselmiştir. EMEA bölgesinde 2030 yılında 114 GW/285 GWh seviyesinde enerji depolama kapasitesine ulaşılacağı ve bölgedeki artıştaki en büyük payın ise Birleşik Krallık, Almanya, İtalya, Yunanistan ve Türkiye'nin olacağı öngörülmektedir.⁴²

IEA'ya göre toplam küresel enerji depolama kapasitesi 2030 yılında 967 GW'a çıkacaktır.

Avicenne Energy'nin 2018 yılında açıklamış olduğu tahminlere göre 2025 yılı itibarıyla dünya lityum iyon batarya pazarının ise 490 GWh seviyesine ulaşması beklenmektedir.

8.3. Endüstri Paydaşlarına Öneriler

Ülkemizde enerji yatırımları her geçen gün artmaktadır. Bu yatırımların artması ve devlet tarafından sağlanan teşvikler firmalar için büyük fırsatlar yaratsa da özellikle piyasa koşulları, teknolojik yeterlilik, pazar payı hedefi, yapılacak yatırımın Türkiye'ye ne gibi bir fayda sağlayacağı, teşviklerden yararlanabilme durumu, hangi tip enerji üretimi ve depolama teknolojisine yönelik yatırım yapılacağı gibi faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir.

Özellikle yenilenebilir enerji üretimi ve elektrik depolaması yatırımlarında, yatırımın yapılacağı bölgenin coğrafi koşulları ve iklimi göz önüne alınmalıdır. Coğrafya ve iklim enerji üretimi, depolanması ve iletimine yönelik maliyetler üzerinde etkili olacaktır.

⁴⁰ T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Ulusal Enerji Planı, 2022.

⁴¹ <https://yesilekonomi.com/kuresel-depolama-kapasitesi-2030-sonuna-kadar-15-kattan-fazla-artacak/>

⁴² <https://about.bnef.com/blog/2h-2023-energy-storage-market-outlook/>

EK: Elektrik Depolama Düzenlemeleri

6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu

- Elektrik depolama, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın görüşü alınarak EPDK'nın belirleyeceği koşullarda lisanssız yürütülebilecek faaliyetler arasında sayılmıştır. (27.03.2018)
- Elektrik depolama tesisi kurmayı taahhüt eden tüzel kişilere kurmayı taahhüt ettikleri elektrik depolama tesisinin kurulu gücüne kadar EPDK tarafından rüzgâr ve/veya güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisi kurulmasına ilişkin ön lisans verilecektir. (05.07.2022)
- Kısmen veya tamamen işletmede bulunan üretim tesislerinden elektrik depolama tesisi kurmayı taahhüt eden rüzgâr ve/veya güneş enerjisine dayalı elektrik üretim lisansı sahibi tüzel kişilere, kurmayı taahhüt ettikleri elektrik depolama tesisinin kurulu gücüne kadar, lisanslarında belirlenen sahalardan dışına çıkılmaması, işletme anında sisteme verilen gücün lisanslarında belirtilen kurulu gücü aşmaması ve TEİAŞ ve/veya ilgili dağıtım şirketinden alınan tadil kapsamındaki bağlantı görüşünün olumlu olması hâlinde kapasite artışına izin verilecektir. (05.07.2022)

Elektrik Üretim ve Elektrik Depolama Tesisleri Kabul Yönetmeliği

Elektrik depolama tesislerinin kabul süreçleri ile tesislerin işletme döneminde uyması gereken hususlar düzenlenmiştir. Proje Onay Birimi tarafından onaylanan projesine uygun olarak yapılan elektrik depolama tesisleri kabulleri sonrasında faaliyete geçebilecektir. (19.02.2020)

Elektrik Piyasasında Depolama Faaliyetleri Yönetmeliği

- Elektrik depolama üniteleri veya tesislerinin kurulmaları, iletim veya dağıtım sistemine bağlanmaları ile bu ünite veya tesislerin piyasa faaliyetlerinde kullanılmalarına ilişkin usul ve esaslar düzenlenmiştir. (09.05.2021)
- Depolama faaliyetlerine ilişkin dört ayrı elektrik depolama ünitesi/tesisi tanımlanmıştır:
 1. **Üretim Tesisine Bütünleşik Elektrik Depolama Ünitesi:** Santral sahası sınırları içerisinde, üretim tesisinde üretilen veya sistemden çekilen elektrik enerjisini depolayabilen ve depolanan enerjiyi tekrar kullanılmak üzere sisteme verebilen elektrik depolama ünitesini ifade eder. Üretim lisansı sahibi tüzel kişiler, lisanslı bir üretim tesisine bütünleşik elektrik depolama ünitesi kurabilecektir. Söz konusu depolama ünitesi açısından;
 - Kayıp enerji, ilgili üretim tesisinin ürettiği enerji için verilen herhangi bir teşvik veya alım garantisi kapsamına girmez, bu kapsamdaki kayıp enerji için herhangi bir bedel ödenmez.

- Elektrik depolama ünitesine şebekeden çekilip tekrar şebekeye verilen enerji, ilgili üretim tesisinin ürettiği enerji için verilen herhangi bir teşvik veya alım garantisi kapsamına girmemektedir.
- Uzlaştırma dönemi bazında sisteme verilecek enerji miktarı, üretim tesisinin lisansına derç edilen elektriksel kurulu gücü ile yapabileceği üretim miktarını geçmemelidir. Bu tesislerde kurulan elektrik depolama ünitesi ayrı bir uzlaştırmaya esas veriş çekiş birimi olarak kaydedilecektir.

2. Tüketim Tesisine Bütünleşik Elektrik Depolama Tesis: Bir tüketim tesisine aynı ölçüm noktasına bağlı elektrik depolama tesisidir. Tüketiciler tarafından; ilgili şebeke işletmecisi tarafından uygun bağlantı görüşü verilmesi, kurulu gücünün ilgili tüketim tesisinin bağlantı anlaşmasındaki sözleşme gücünü aşmaması ve aynı ölçüm noktasında olması kaydıyla elektrik depolama tesisi kurulabilecektir. Tesis sadece ilgili tüketim tesisinin ihtiyacı için kurulabilecektir. Şebekeye enerji verilmesi durumunda bu enerji, ilgili tedarikçinin uzlaştırmaya esas veriş miktarlarında dikkate alınmayacaktır. Organize sanayi bölgesi (OSB) tüzel kişiliği tarafından OSB sınırları içerisinde kurulan elektrik depolama tesisleri de bu kapsamda sayılmaktadır.

3. Müstakil Elektrik Depolama Tesis: Herhangi bir üretim veya tüketim tesisine irtibatı olmaksızın doğrudan şebekeye bağlı elektrik depolama tesisidir. Tedarik lisansına sahip olmak ve 2 MW kurulu gücünden düşük olmamak kaydıyla, aynı tedarik lisansı kapsamında kurulabilecektir. Sisteme verdiği ve sistemden çektiği enerji, ilgili piyasa katılımcısının uzlaştırmaya esas veriş çekiş miktarlarında dikkate alınacaktır.

4. Şebeke İşletmecileri Tarafından Kurulan Elektrik Depolama Tesisleri: Dağıtım şirketleri tarafından fayda-maliyet analizleriyle yeni şebeke yatırımından daha ekonomik olduğunu ispat etmek kaydıyla tesis bazında EPDK onayı ile kurulabilir. Dağıtım faaliyeti dışında kullanılamayacaktır. (09.05.2021)

- Üniversiteler, teknoloji geliştirme bölgeleri ve endüstri bölgeleri tarafından Ar-Ge faaliyetlerinde kullanılmak amacıyla azami 1 MW kurulu gücünde elektrik depolama tesisi kurulmasına imkân tanınmıştır. Bu tesislerin sisteme verdikleri enerji, ilgili piyasa katılımcılarının uzlaştırmaya esas veriş miktarlarında dikkate alınmayacaktır. (09.05.2021)
- Depolamalı elektrik üretim tesisi tanımı Yönetmeliğe eklenmiş; depolamalı elektrik üretim tesisi bünyesinde kurulan elektrik depolama ünitesinde de üretim tesisine bütünleşik depolama ünitesine benzer şekilde; şebekeden çekilip tekrar şebekeye verilen enerji ve kayıp enerjinin, ilgili üretim tesisinin ürettiği enerji için verilen herhangi bir teşvik veya alım garantisi kapsamına girmeyeceği; uzlaştırma dönemi bazında sisteme verilecek enerji miktarının, üretim tesisinin lisansına derç edilen elektriksel kurulu gücü ile yapabileceği üretim miktarını geçemeyeceği düzenlenmiştir. (19.11.2022)
- Depolamalı elektrik üretim tesislerinde üretilen elektrik enerjisinin, iletim veya dağıtım sistemine elektrik depolama ünitesi üzerinden verilmesi zorunlu tutulmuştur. Elektrik depolama ünitelerinden;

ilgili mevzuat uyarınca gerekli şartları sağlayanlar yan hizmetlere, dengeleme birimi niteliğini haiz olanlar dengeleme güç piyasasına katılabilecektir. (19.11.2022)

- Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği çerçevesinde çağrı mektubu alan ve ihtiyaç fazlası enerji için aylık mahsuplaşma yapılan lisanssız elektrik üretim tesislerinde elektrik depolama tesisi kurulmasına imkân sağlanmıştır. (19.11.2022)

Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği

- Müstakil elektrik depolama tesisi ve üretim tesisine bütünleşik elektrik depolama ünitesi tanımları Yönetmeliğe eklenmiş, ön lisans veya üretim lisansına konu tesise elektrik depolama ünitesi eklenmesi ile tedarik lisansı sahibi tüzel kişilerin, müstakil elektrik depolama tesisi kurmak istemeleri halinde söz konusu tesisin lisansa eklenmesine yönelik tadil başvuru süreci düzenlenmiştir. (09.05.2021)
- Üretim lisansına konu tesise elektrik depolama ünitesi eklenmesi veya mevcut tedarik lisansına müstakil elektrik depolama tesisi eklenmesi başvurularında elektrik depolama ünitesinin gerekli teknik kriterlere uygunluğu hakkında TEİAŞ'tan görüş istenmesi zorunlu kılınmıştır. (10.03.2022)
- Depolamalı elektrik üretim tesisi tanımı Yönetmeliğe eklenmiştir. Depolamalı elektrik üretim tesisi bünyesindeki elektrik depolama ünitesi ve üretim tesisine bütünleşik elektrik depolama ünitesi, ana kaynağa dayalı tesisin ünitesi olarak kabul edilecek ve tesis tek bir ön lisans veya lisans kapsamında değerlendirilecektir. (19.11.2022)
- Depolamalı elektrik üretim tesisi kapsamındaki ön lisans başvurularında, teminat ve sermayeye ilişkin yükümlülüklerin belirlenmesinde, rüzgâr veya güneş enerjisine dayalı mekanik kurulu güç ile elektrik depolama ünitesinin kapasitesine denk gelen bedeller toplanarak birlikte değerlendirilecektir. (19.11.2022)
- Ön lisans başvurularında talep edilen mekanik kurulu güç, elektriksel kurulu gücün iki katını aşamayacaktır. (19.11.2022)
- Depolamalı elektrik üretim tesisi kapsamında ön lisans başvurusunda bulunulması halinde;
 - a. Rüzgâr veya güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisinin elektriksel kurulu gücünün, kurulması taahhüt edilen elektrik depolama ünitesi kurulu gücüne oranının azami 1 olması,
 - b. Başvuruların, rüzgâr enerjisine dayalı başvurular için asgari 20 Megavat elektrik (MWe), güneş enerjisine dayalı başvurular için ise asgari 10 MWe kurulu güçte olması ve 250 MWe'yi aşmaması,
 - c. Taahhüt edilen elektrik depolama kapasitesinin söz konusu elektrik depolama ünitesi kurulu gücüne oranının asgari 1 olması,
 - d. Taahhüt edilen elektrik depolama ünitesinin başvuruya konu santral sahası sınırları içerisinde olması zorunludur. (19.11.2022)

Yönetmeliğe eklenen geçici madde ile EPDK tarafından karar alınıncaya kadar yukarıdaki kapsamda depolamalı elektrik üretim tesisleri ile elektrik depolama ünitesi kurmayı taahhüt eden rüzgâr veya güneş enerjisine dayalı elektrik üretim lisansı sahibi tüzel kişilerin kapasite artışı kapsamındaki depolamalı elektrik üretim tesislerine ilişkin başvuru alınmayacaktır. (14.10.2023)

Ön Lisans Süreleri ile Tesis Tamamlanma Tarihinin Belirlenmesinde Referans Alınacak İnşaat Süreleri

- Depolamalı elektrik üretim tesisi kapsamındaki üretim lisansı başvurularında kurulması planlanan elektrik depolama ünitesi için elektrik depolama ünite sayısı ve kurulu güçlerinden bağımsız olarak 24 ay inşaat süresi verilecek,
- Üretim tesisine bütünlük elektrik depolama ünitesi kurulması kapsamında;
 - a. Ön lisans başvurusu aşamasında ve mevcut ön lisans kapsamındaki üretim tesisine bütünlük elektrik depolama ünitesi eklenmesi kapsamındaki tadiller için ilave ön lisans süresi verilmeyecek,
 - b. Üretim tesisine bütünlük elektrik depolama ünitesi olan ön lisanslar için üretim lisansı başvurusunda bulunulması halinde veya mevcut üretim lisansları kapsamındaki üretim tesislerine bütünlük elektrik depolama ünitesi kurulması kapsamındaki tadiller için; üretim tesisinin işletmede olup olmadığına bakılmaksızın, kurulması planlanan elektrik depolama ünitesi için elektrik depolama ünite sayısı ve kurulu güçlerinden bağımsız olarak 24 ay inşaat süresi, tesis tamamlanma süresi olarak verilecek,
- Tedarik lisansları kapsamında kurulması planlanan müstakil elektrik depolama tesisleri için 24 ay inşaat süresi, tesis tamamlanma süresi olarak verilecek ve bu süre lisansa eklenecek her bir elektrik depolama tesisi için ayrıca uygulanacak,
- Mevcut üretim lisansı kapsamındaki üretim tesisinin depolamalı elektrik üretim tesisine dönüştürülmesi kapsamında tadillerde, kurulması planlanan elektrik depolama ünitesi için elektrik depolama ünite sayısı ve kurulu güçlerinden bağımsız olarak 24 ay inşaat süresi, üretim tesisi için ise değişime konu kurulu güce karşılık gelen inşaat süresi tesis tamamlanma süresi olarak verilecektir. (19.11.2022)



MECLİSİ MEBUSAN CAD.
NO:81 FINDIKLI İSTANBUL 34427, TÜRKİYE
T: +90 (212) 334 50 50 F: +90 (212) 334 52 34

Bu rapor, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası (TSKB) A.Ş.'nin uzman kadrosunca güvenilir olarak kabul edilen kaynaklardan elde edilen veriler kullanılarak hazırlanmıştır. Raporunda yer alan görüşler ve öngörüler, teknik ve akademik bilgiler ile sektör temsilcileriyle yapılan görüşmelerden elde edilen sonuçları yansıtmakta olup bu verilerin tamlığı ve doğruluğu konusunda TSKB'nin herhangi bir sorumluluğu bulunmamaktadır. Raporunda yer verilen değerlendirme, görüş, düşünce ve öngörüler, TSKB nezdinde açık ya da gizli bir garanti ve beklenti oluşturmaz. Diğer bir ifadeyle; bu raporda yer alan tüm bilgi ve verileri kullanma ve uygulama sorumluluğu, doğrudan veya dolaylı olarak, bu rapora dayanarak yatırım kararı veren ya da finansman sağlayan kişilere aittir ve ortaya çıkan sonuçtan dolayı üçüncü kişilerin doğrudan ya da dolaylı olarak zarara uğramaları durumunda TSKB hiçbir şekilde sorumlu tutulamaz.

©2023 Bu raporun tüm hakları saklıdır. TSKB'nin izni olmadan raporun içeriği herhangi bir şekilde basılamaz, çoğaltılamaz, fotokopi veya teksir edilemez, dağıtılamaz.