SHURA
ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ MERKEZİ

TÜRKİYE İÇİN BATARYA ENERJİ DEPOLAMA SEÇENEKLERİ

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi Hakkında
Avrupa İklim Vakfı (ECF), Agora Energiewende ve İstanbul Politikalar Merkezi (IPC) tarafından Sabancı Üniversitesi'nde kurulan SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, yenilikçi bir enerji dönüşümü platformu aracılığı ile enerji sektörünün karbonsuzlaşmasına katkıda bulunmaktadır. Türkiye enerji sektörünün teknolojik, ekonomik ve politik boyutlarının tartışılması için sürdürülebilir ve geniş çapta tanınan bir platform ihtiyacını karşılamak için çalışmaktadır. SHURA, gerçeklere dayalı analizleri ve bulunabilen en doğru verileri kullanarak enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji vasıtasıyla düşük karbonlu bir enerji sistemine geçiş üzerindeki tartışmaları desteklemektedir. Birçok paydaşın konuya ilişkin bütün bakış açılarını dikkate alarak bu geçişin ekonomik potansiyeli, teknik fizibilitesi ve ilgili politika araçlarına yönelik bir anlayışın oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır.

Yazarlar: Alkım Bağ Güllü, Hasan Aksoy, Sena Serhadlıoğlu (SHURA), Kenan Sitti, Mevlüt Akdeniz, Yıldız Durukan (MRC Türkiye)

Teşekkürler
Raporun hazırlanmasına katkı sağlayan Zsuzsanna Pato'ya (RAP) teşekkür ederiz. Bu raporun taslak sonuçları, Nisan 2024 tarihinde TEİAŞ Ar-Ge Müdürlüğü ve EPDK Enerji Dönüşümü Dairesi ile gerçekleşen paydaş istişare toplantılarında değerlendirilmiştir; sağlanan tüm geri bildirimler için teşekkür ederiz. Ayrıca, Mayıs 2024 tarihinde düzenlenen paydaş danışma toplantısında çalışmanın taslak sonuçlarını değerlendiren enerji ve batarya sektörlerinin değerli paydaşlarına da teşekkür etmek istiyoruz. Sağlanan tüm incelemeler, görüşler ve geri bildirimler için teşekkür ederiz.

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, BMWK'nin bu rapor için sağladığı 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.

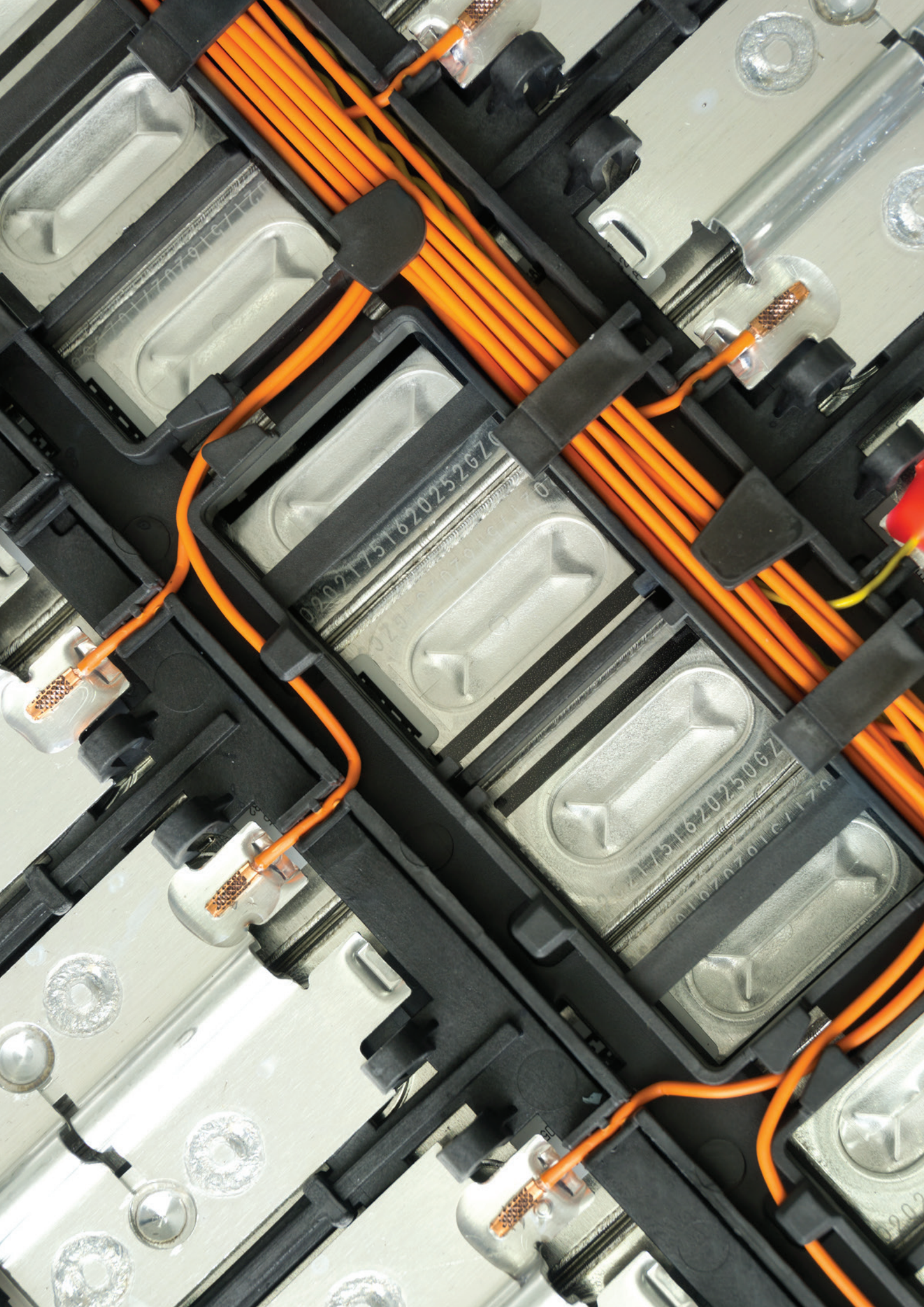
Telif Hakkı © 2024 Sabancı Üniversitesi

ISBN 978-625-6956-52-0

Sorumluluk Reddi
Bu rapor ve içeriği, çalışma kapsamında göz önünde bulundurulan kabuller, senaryolar ve 2023 yıl sonu itibarıyla mevcut olan piyasa koşulları doğrultusunda hazırlanmıştır. Bu kabullerin, senaryolar 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.

MRC TURKEY

TÜRKİYE İÇİN BATARYA ENERJİ DEPOLAMA SEÇENEKLERİ



Yönetici Özeti

A. Giriş

21. yüzyılın en önemli küresel sorunlarından biri olarak kabul edilen iklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla alınan önlemler, enerji politikalarında önemli bir dönüşümü beraberinde getirmiştir. Ana unsurlarını enerji verimliliği, elektrifikasyon ve yenileneblir enerji kaynaklarının oluşturduğu bu dönüşüm, iklim hedefleri yanısıra gelişen teknoloji ve azalan maliyetler sayesinde enerji arz güvenliği ve enerjiye ekonomik erişim için de kritik öneme sahiptir. Bu nedenle enerji sistemlerinin sürdürülebilir enerji kaynaklarıyla dönüşümü, tüm dünyada hükümetlerin ve uluslararası kuruluşların öncelikleri arasında yer almaktadır. Güçlü yenilenebilir enerji hedefleri, arz ve talebin her zaman dengede olması gerektiği elektrik sistemlerinde esnekliğin de artırılmasını gerektirmektedir. Esneklik, bir güç sisteminin hem beklenen hem de beklenmeyen arz ve talep değişkenliklerine tepki olarak elektrik talebini veya üretimini ayarlayabilme derecesini tanımlar. Batarya enerji depolama sistemlerinin geniş ölçekte uygulanmasının bu dengeleme sürecine önemli katkılar sağlaması beklenmektedir.

Kasım 2023 tarihinde Dubai'de düzenlenen 28. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Taraflar Konferansı'nda (COP28) toplam 138 ülke, Paris İklim Anlaşması hedeflerine paralel olarak, 2030 yılına kadar küresel yenilenebilir enerji kapasitesini 3 katına çıkarma konusunda birlikte çalışma taahhüdünde[1] bulunmuşlardır. Küresel gelişmelere paralel olarak 2053 yılı için net-sıfır karbon emisyonlu bir ekonomiye ulaşma taahhüdünde bulunan Türkiye de bu hedef doğrultusunda iddialı yenilenebilir enerji hedefleri belirlemiştir. 19 Ocak 2023 tarihinde T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yayınlanmış Ulusal Enerji Planı'nda (UEP) 2035 yılına kadar Türkiye'nin elektrik kurulu kapasitesinin yaklaşık 190 GW seviyesine çıkması ve bu kurulu gücün yaklaşık %65'lik kısmının (52,9 GW güneş enerjisi ve 29,6 GW rüzgar enerjisi) yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması hedeflenmektedir. Artan değişken üretimli yenilenebilir enerji santralleri ile birlikte elektrik sisteminin esnekliğinin artırılması için batarya enerji depolama kapasitesinin 2035 yılına kadar 7,5 GW'a, elektrolizör kapasitesinin ise 5 GW'a ulaşması hedeflenmektedir. Elektrolizörler, özellikle güneş ve rüzgar enerjisi santrallerinden üretilen fazla enerjinin e-yakıtlara dönüştürülmesi ile uzun dönemli (mevsimsel) depolama[2] imkanı sağladıklarından, batarya ihtiyacını kısmen azaltabilmektedir. Fakat şebekenin daha kısa süreli (saatlik) dengeleme ihtiyaçlarını karşılamak için batarya teknolojileri öne çıkmaktadır.

[1] COP28, 2023. Global Renewables and Energy Efficiency Pledge. https://www.cop28.com/en/global-renewables-and-energy-efficiency-pledge

[2] SHURA, 2023. Net Sıfır 2053: Türkiye Elektrik Sektörü için Yol Haritası. https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2023/05/SHURA-2023-02-Rapor-Net-Sifir-2053_04052023.pdf

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi'nin Şubat 2023 tarihinde yayımladığı "Net Sıfır 2053: Türkiye Elektrik Sektörü için Yol Haritası" raporu sonuçlarına göre 2035 yılına kadar yenilenebilir enerjinin kurulu güçteki payı % 70'e ve elektrik üretimindeki payı yine %70 seviyesine ulaşmaktadır. Değişken üretime sahip rüzgar ve güneş enerjisinin toplam elektrik üretimi içindeki payı ise mevcut durumdaki %17 seviyesinden, 2035 yılında %44'e çıkmaktadır. Değişken üretimin elektrik sistemi içindeki payının bu denli artabilmesi için şebeke esnekliği opsiyonlarının sisteme dahil edilmesi gerekmektedir. Model sonuçlarına göre Türkiye'nin 2035 yılında 7,2 GW/28,8 GWh batarya depolama ve 5,5 GW seviyesinde elektrolizör kapasitesine ihtiyacı olacaktır.

Günümüzde, düşen teknoloji ve malzeme maliyetleriyle birlikte batarya enerji depolama sistemleri tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de yoğun ilgi görmektedir. Türkiye'de batarya enerji depolama kurulumları için hayata geçirilen politikalarla, enerji depolama tesisi kurmayı planlayan yatırımcılara, kuracakları depolama tesisi kapasitesi kadar yenilenebilir enerji santrali kurma hakkı da tanımlanmıştır. Bu kapsamda yenilenebilir enerji santrallerine bütünleşik bataryalar için Haziran 2024 itibarıyla toplam 32 GW kurulu kapasite için önlisans verilmiştir.

B. Çalışmanın Amacı

Batarya enerji depolama sistemleri hem yatırımcı hem de elektrik şebekesi için çok yönlü faydalar sağlamaktadır. Sistem işletmecisi açısından değerlendirildiğinde bataryalar frekans kontrolü ve bölgesel kısıtların yönetiminde hizmet verebilirler. Frekans kontrolü bağlamında bataryaların Yan Hizmetler ve Dengeleme Güç Piyasaları'na katılımlarıyla, ilgili piyasalarda termik santrallerin kapasite kullanımları azaltılabilir. Böylelikle toplam sistem maliyetleri ve CO_2 emisyonları düşebilir. Sistem işletmecisi için önemli diğer kullanım alanı ise bölgesel kısıtların yönetimidir. Türkiye iletim şebekesi düşünüldüğünde, Kuzey Marmara bölgesinde talebin fazlalığına karşın arzın düşük kalması; doğu bölgelerinde talebin nispeten düşük olmasına karşın hidroelektrik kaynaklı arzın yüksek oluşu ve Batı Anadolu bölgesinde rüzgar enerjisinin yoğun olması gibi durumlar çeşitli sistemsel kısıtları meydana getirmektedir. Sistem işletmecisi, oluşan bölgesel kısıtların yönetilmesi için Dengeleme Güç Piyasası'nda Yük Al (YAL) ve Yük At (YAT) talimatları vermekte ve bu durum ilave maliyetlere neden olmaktadır. Batarya enerji depolama tesislerinin doğru yerlerlere konumlandırılmasıyla sistemin işletilmesinde karşılaşılan bu gibi kısıtların yönetimi kolaylaşabilir ve oluşan maliyetlerin düşmesi sağlanabilir. Yatırımcılar nezdinde ise batarya teknolojileri, hem değişken yenilenebilir enerji üretiminin dengelenmesinde hem de arbitraj ve piyasalara katılım yoluyla gelir amaçlı kullanılabildiğinden, son yıllarda yatırımların odağında olmuştur.

Batarya enerji depolama teknolojilerinde kullanılan farklı elektrokimyasal malzemelerin kullanım alanlarına göre farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu doğrultuda batarya enerji depolama sistemleri, planlanan coğrafi alanlar ve kullanım amacı (arbitraj, üretim tesisi dengesizliklerini yönetme, frekans düzenleme vb.) doğrultusundaki ihtiyaçları karşılayacak şekilde planlanmalı ve tasarlanmalıdır. Bu bağlamda çalışma; Türkiye'de yenilenebilir enerji potansiyelinden azami seviyede yararlanılmasını sağlayacak esneklik opsiyonlarından biri olan bataryalardan etkin olarak faydalanılması için, Türkiye genelinde batarya teknolojilerinin konumsal dağılımını, hangi hizmetlerde kullanılabileceğini ve iletim şebekesine olan etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır.

C. Yöntem

Metodoloji: Temel varsayımlar, batarya konumlandırma ve şebeke gelişimi

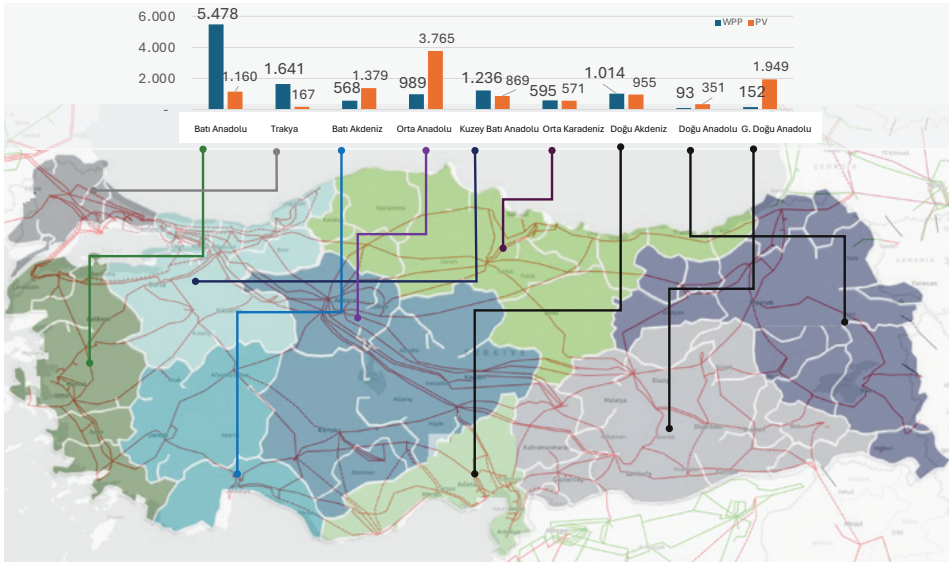
2023 yılı sonu itibarıyla Türkiye elektrik sisteminde yaklaşık 11,3 GW GES ve 11,8 GW'lık RES kurulu gücü bulunmaktadır (Şekil 1). Mevcut analiz kapsamında ileriye dönük kurulu güç gelişimi için SHURA net-sıfır yol haritası (NZ2053 Senaryosu) model sonuçları kullanılmıştır. İleri dönemli yeni kapasitelerin bölgesel dağılımları için hem kaynakların hem de arazinin uygunluğu dikkate alınmıştır. Bu kapsamda ilk önce, mevcut durumda tahsis edilmiş ama devreye alınmamış kapasiteler ve devam eden kurulumlar önceliklendirilmiştir. Daha sonra potansiyel kaynak atlasları dikkate alınarak çeşitli büyüme senaryoları oluşturulmuştur. GES kapasitesinin yıllara sari dağılımında, sürdürülebilir kentsel dönüşüm planı ve binalarda düşük karbon hedefi de düşünülerek, İstanbul ve çevresinde çatı üstü GES kurulumlarının artacağı öngörülmüştür.

Batarya enerji depolama sistemleri, kısa şarj-deşarj aralıklarına sahip olmaları sayesinde iletim hattının etkin yüklenmesini azaltmak ya da söz konusu iletim hattının beslendiği noktaya daha fazla RES-GES kapasitesinin entegre edilmesini sağlamak amacıyla kullanılabilirler. Mevcut çalışma kapsamında batarya sistemlerinin konumlandırmasında, öncelikle büyük kapasiteli GES ve RES projelerine yakın lokasyonlar seçilmiştir. Bu lokasyonlara depolama sistemleri modellenirken aşamalı şekilde batarya gücü artırılarak şebeke yük akış analizleri tekrarlanmıştır. Bu sayede hangi konuma ne kadar depolama sistemi eklenebileceği şebeke kısıtlarına göre optimize edilerek uygun kapasite dağılımı belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında, toplam batarya enerji depolama sistemlerinin %10'unun sayaç arkası olarak kurulacağı varsayılmıştır. İlgili sayaç arkası kapasitesinin tüm şebekeye eşit olarak yayılacağı öngörüsü ile modelleme yapılmıştır. Batarya kapasitesinin yaklaşık %30'u tüketimin yüksek olduğu büyük şehirlere

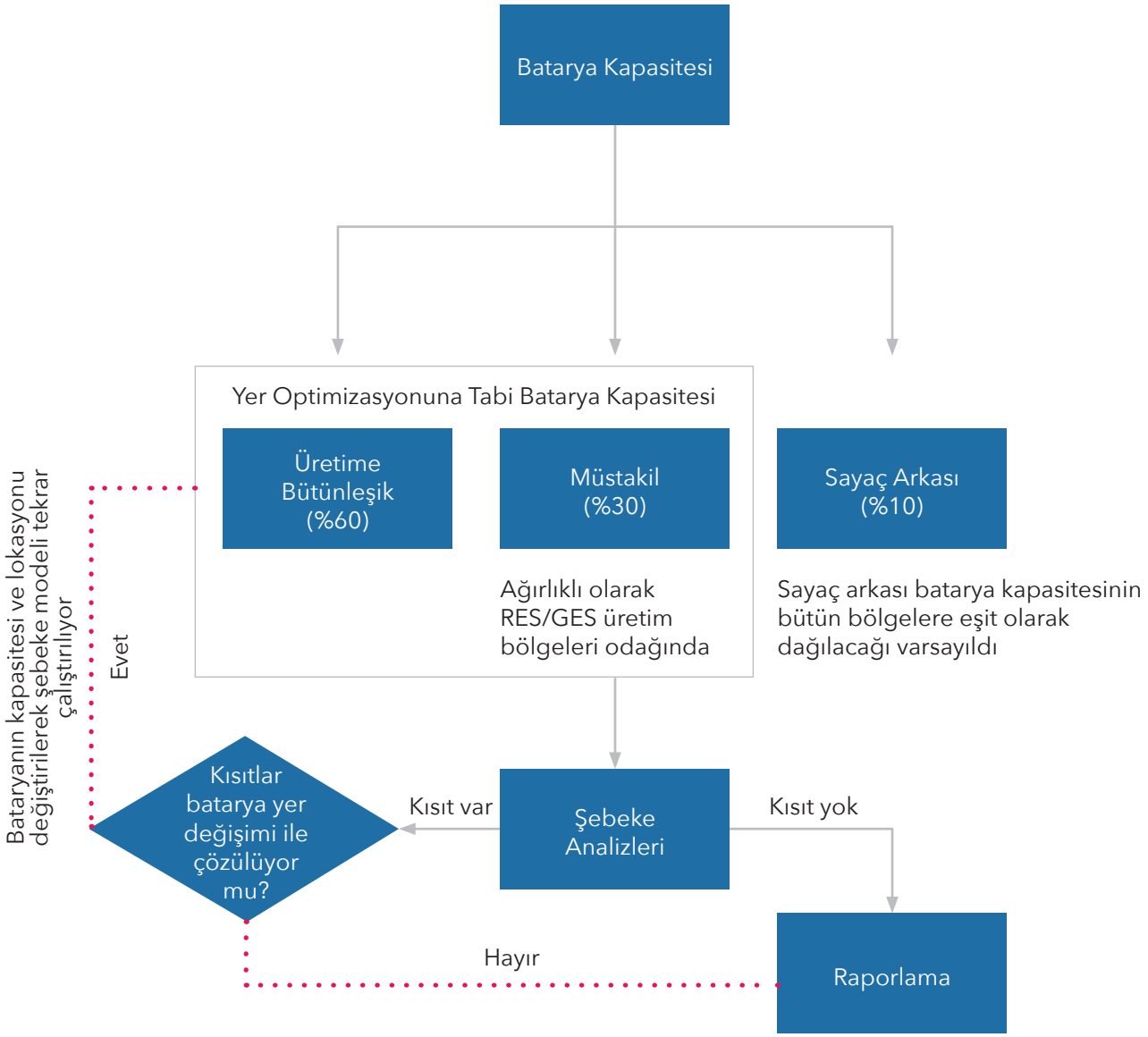
ve yenilenebilir üretim kapasitesine sahip bölgelere dağıtılmıştır. Kalan %60'lık kapasite ise şebeke ölçekli yenilenebilir enerji santrallerine bütünleşik olarak konumlandırılmıştır. Ayrıntılı kapasite dağılımı, şebeke altyapısının bataryaların şarj/deşarj yapabilmeleri için optimum yüklemelere sahip olduğu yinelemeli yük akışına göre analiz edilmiştir. Batarya konumlandırması için dikkate alınan temel algoritma Şekil 2'de, bölgesel batarya kapasite projeksiyonları ise Şekil 3'te gösterilmiştir.

Şekil 1. 2023 yılı sonu itibarıyla bölgelere göre GES ve RES kurulu güç[3] dağılımı (MW)

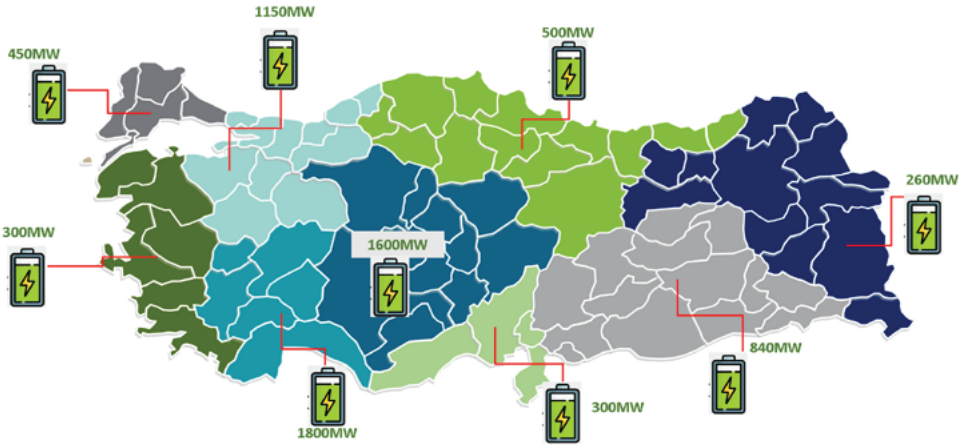


[3] EPDK Elektrik Piyasası Sektör Raporu ve Üretim Lisans listesinden alınmıştır.

Şekil 2. Batarya kapasitesi konumlandırma algoritması

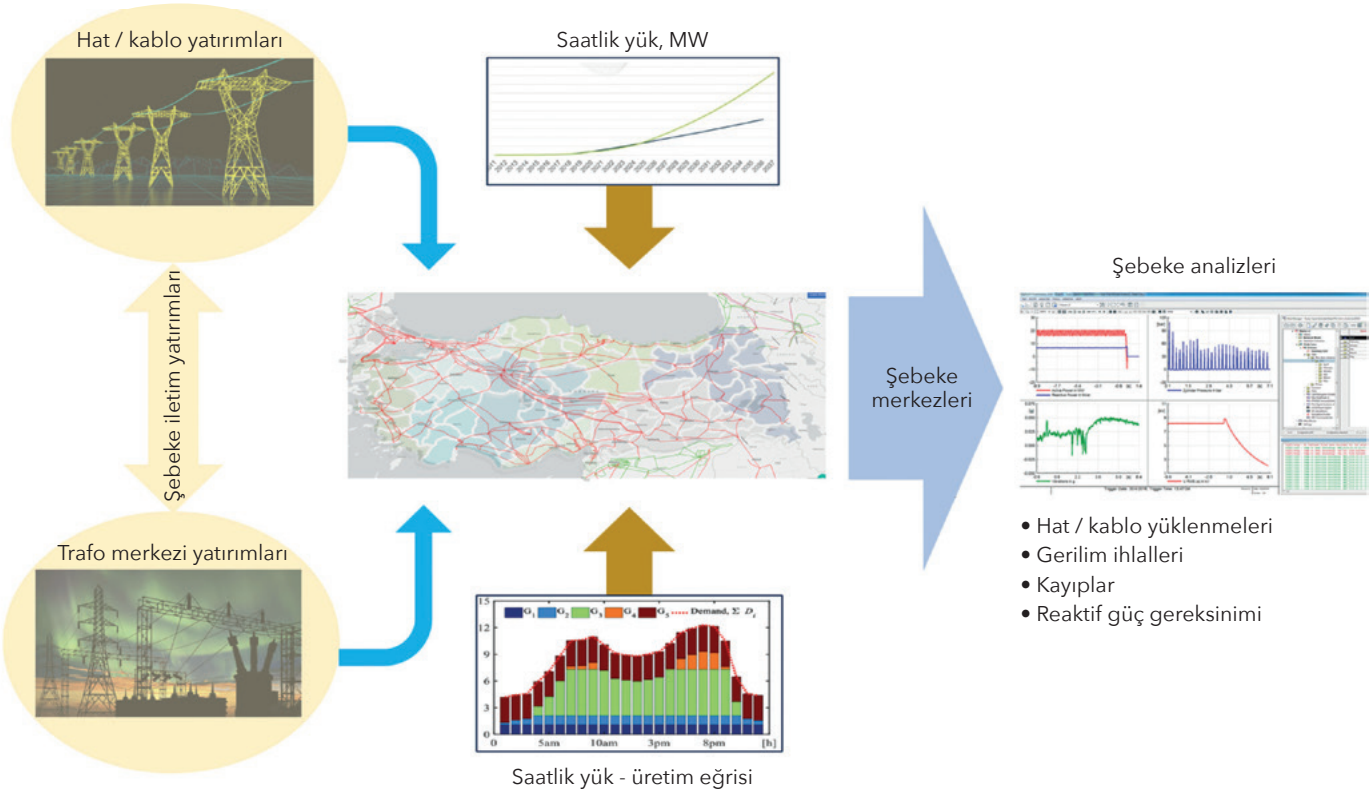


Şekil 3. Şebeke modeli kapsamında modellenen 2035 yılı bölgesel batarya toplam kapasiteleri



Batarya enerji depolama sistemlerinin şebekeye etkilerinin analizi için, mevcut şebeke altyapısı ve orta-uzun dönemli şebeke gelişimi, yük projeksiyonları, üretim profilinin gelişimi ve tevzi (dispatch) öngörüleri kullanılmıştır (Şekil 4).

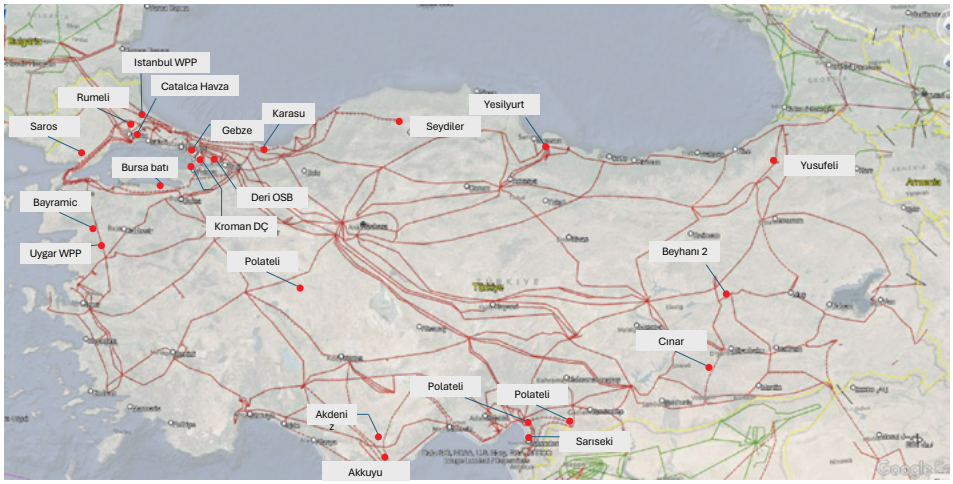
Şekil 4. Şebeke modelinin geliştirilmesi



Çalışma kapsamında ilk önce batarya enerji depolama sistemlerinin elektrik iletim sistemine olan etkileri analiz edilmiştir. Bu bağlamda, Türkiye elektrik sisteminin 154kV şebekesi sadeleştirilerek modellenmiş ve ana 400kV'luk iletim şebekesi ile birleştirilmiştir. Böylelikle analizler 400kV şebeke üzerinden yürütülmüştür. Bu yöntemle, üretim veya tüketim faaliyetinin etkisi 400kV şebekede temsil edilebilmekte ve simülasyonların daha hızlı bir şekilde hesaplanması sağlanabilmektedir.

Şebekenin orta-uzun vadede gelişimini modellemek için makro seviyede projeksiyonlar ve tahmini/varsayımsal parametrelere bağlı olarak senaryolar oluşturulmuştur. Böylelikle, elektrik şebekesinin herhangi bir kısmında oluşabilecek aşırı yük ve/veya gerilim ihlali analizi yük akışı hesaplamalarıyla incelenmiştir. Orta-uzun vadeli şebekenin modellenmesinde, mevcut iletim sistemi modeli olan *as-is* modelinden[4] yararlanılmış ve ileriye dönük yatırımlar TEİAŞ yatırım planları, yıllık raporlar ve EKAP web portalı gibi kamuya açık kaynaklar kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 5).

Şekil 5. 2035 yılında devreye alınması öngörülen yeni 400 kV'luk trafo merkezlerinin (kırmızı) şebekedeki konumları



Fayda-Maliyet Analizi

Çalışma kapsamında halihazırda ticari olarak kullanılmakta olan batarya teknolojileri ve bu teknolojilerin kullanım alanları değerlendirilmiştir. Şebeke ölçeğinde lityum-demir-fosfat (LFP), akış bataryalar ve sodyum sülfür (NaS) batarya teknolojilerinin; sayaç arkası bataryalarda ise lityum-nikel-manganez-kobalt-oksit (NMC) batarya teknolojisinin öne çıkacağı varsayılarak analizler yürütülmüştür. Bu teknolojilerin teknik parametreleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Çalışma kapsamında farklı hizmetler için seçilmiş batarya

[4] As-is: Terim, olduğu gibi anlamında kullanılmakta olup mevcut durumdaki şebeke modelinin yansıtıldığını belirtmek amacıyla kullanılmıştır.

teknolojileri dikkate alınarak fayda-maliyet analizleri yürütülmüştür. Fayda maliyet analizleri kapsamında batarya enerji depolama sistemi yatırımlarının geri dönüş süreleri değerlendirilmemiş; sadece yıllara sari olarak seviyelendirilmiş hizmet maliyetlerinin, ilgili yıl özelinde tahmini elektrik satış fiyatlarına göre ekonomik olarak uygulanabilirliği incelenmiştir.

Tablo 1. Fayda maliyet analizinde esas alınmış batarya teknik parametreleri

Batarya Teknolojisi	Devir Sayısı	Kapasite (saat)	Çevrim Kaybı (AC'den AC'ye)	Tepki Süresi
LFP	5.000	4	%12	Milisaniye
NMC	2.000	4	%14	Milisaniye
Akış Batarya	15.000	20	%32	Pompalar çalışır durumdayken milisaniye, aksi halde ~10 saniye
NaS	4.500	6	%22	Milisaniye

Fayda maliyet analizlerinde kullanılan batarya birim yatırım maliyeti projeksiyonları, Bloomberg NEF'in (BNEF) çalışması[5] baz alınarak oluşturulmuştur. Batarya hariç yatırıma ait diğer maliyet kalemleri (örneğin, proje geliştirme, EPC, trafo, enerji yönetim sistemi kurulumu vb.) de toplam maliyete eklenmiştir. Bununla birlikte, 01/01/2024 tarihinde yürürlüğe giren ve LFP bataryaların Avrupa Birliği, Güney Kore ve Singapur dışındaki ülkelerden ithal edilmesi halinde uygulanan ilave %30 gümrük vergisi hesaplamaya dahil edilmemiştir. Son olarak, fayda maliyet analizinde ölçek ekonomisinden dolayı, tüketime bütünleşik (sayaç arkası) depolama tesislerinin birim maliyeti, şebeke ölçeği depolama tesislerine göre meskenlerde %50, sanayi için ise %10 fazla alınmıştır.

Fayda maliyet analizi kapsamında, bataryaların gün içinde gerçekleştireceği şarj/deşarj çevrimini belirleyebilmek için 2025 ila 2035 yılları arasındaki saatlik bazda Gün Öncesi Piyasa (GÖP) fiyatları tahmin edilmiştir. Gelecek dönemli piyasa fiyatı varsayımları oluşturulurken, gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) gelişimi, elektrikli araç yaygınlaşması ve elektrifikasyon artışı gibi etkenler dikkate alınarak öncelikle talep tahminleri oluşturulmuştur. Arz kısmı için, kaynak bazında kurulu güç gelişimi (özellikle yenilenebilir enerji kurulu güçleri), Dünya Bankası tahminlerine[6] göre doğalgaz fiyat projeksiyonları ve santrallerin günlük/mevsimsel kapasite faktörleri dikkate alınarak üretim kaynak projeksiyonları oluşturulmuştur. Saatlik olarak arz ve talebin kesiştiği noktalar için fiyat tahminleri hesaplanmış ve modelde kullanılmıştır.

[5] BNEF, 2023. Lithium-Ion Battery Pack Prices Hit Record Low of $139/kWh. https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-hit-record-low-of-139-kwh/

[5] Dünya Bankası, World Bank Commodities Price Forecast (nominal US Dollars). https://thedocs.worldbank.org/en/doc/ff5bad98f52ffa2457136bbef5703ddb-0350012021/related/CMO-October-2021-forecasts.pdf

Fayda maliyet analizinde, şebekeden alınan ve şebekeye satılan enerji bedeli için Piyasa Takas Fiyatı (PTF) esas alınmıştır. Düzenlemeye tabi tarifeler (mesken, sanayi, ticarethane vb.) dikkate alınmamıştır. Analizlerde bu metodun kullanılmasının temel nedeni, 2035 yılına kadar bütün abonelerin serbest tüketici niteliğini kazanacağı ve ikili anlaşmalarla enerji tedariki yapacağı varsayımına dayanmaktadır. Düzenlemeye tabi tarifelerin sadece sosyal tarife olarak yapılandırılacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte, elektrik fiyatlarındaki sübvansiyon düzeylerinin tahmin edilmesindeki güçlükler nedeniyle analizde, serbest piyasa perakende enerji satış fiyatları esas alınmıştır. Bu bağlamda, tedarikçi kar marjı olarak PTF'ye mesken abonelerinde %2 , sanayiciler için ise %1' marj eklenmiştir. Elektrik fiyatlarına, mesken aboneleri için %10 Katma Değer Vergisi (KDV) ve %5 ETV (Elektrik Tüketim Vergisi veya belediye tüketim vergisi); sanayiciler için ise %1 ETV eklenmiştir. Bununla birlikte, 01/01/2024 tarihinde yürürlüğe giren ve LFP bataryaların Avrupa Birliği, Güney Kore ve Singapur dışındaki ülkelerden ithal edilmesi halinde uygulanan ilave %30 gümrük vergisi[7] hesaplama dahil edilmemiştir.

Son olarak, analiz kapsamında seviyelendirilmiş hizmet maliyeti[8] (levelized cost of service, LCOS) hesaplamaları için:

$$LCOS = \frac{Yatırım\ Maliyeti\ (CAPEX) * Yatırım\ Geri\ Dönüş\ Katsayısı + İşletme\ Maliyeti(OPEX)}{Deşarj\ Edilen\ Enerji\ Miktarı\ (MWh)}$$

$$Yatırım\ Geri\ Dönüş\ Katsayısı = \frac{i * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

formülü kullanılmıştır. Formüldeki Yatırım Geri Dönüş Katsayısı hesaplamasında, iskonto oranı (i) %7 olarak alınmıştır. Aynı formülde n ile yatırımın toplam ömrü için baz alınan yıl sayısı belirtilmektedir.

D. Analiz Sonuçları

Yapılan analizlerde, brüt puant yükün 2035 yazında yaklaşık 73 GW olacağı hesaplanmıştır. Analizlerde, bataryalar üretim fazlası güneş enerjisini depolamakta ve bunun sonucunda da eğer yenilenebilir santrallere bütünleşik değillerse şebekede ilave tüketim yükü yaratabilmektedir. Örneğin, 2035 yılı yaz puantı modellemesinde, depolama sistemleri şebekeden enerji alacak (şarj modu) şekilde modellenmiş ve elektrolizör (PtX) sistemlerinin de fazla GES-RES üretimini dengelemek adına tam kapasiteyle çalışacağı

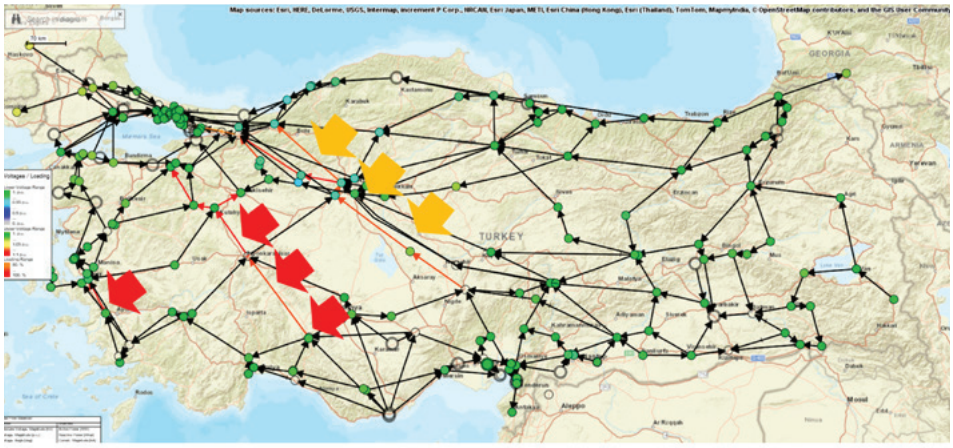
[7] 31.12.2023 tarih ve 8044 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı, 31.12.2023 tarih ve 32416 (3. Mükerrer) sayılı Resmi Gazete

[8] NREL, 2024. https://www.nrel.gov/analysis/tech-lcoe-documentation.html#:~:text=The%20simple%20levelized%20cost%20of,rate)%20%2B%20variable%20O%26M%20cost.

varsayılmıştır. Böyle bir şebeke yük senaryosunda, özellikle çift demet iletkenli ve daha küçük kapasiteli eski hatlarda çeşitli yüklenme ihlalleri oluşmaktadır.

Şekil 6'da gösterilen kırmızı ok işaretleri, kapasitesinin üzerinde yüklenen eski ikili demet iletim hatlarını göstermektedir. Sarı oklar ise kapasitesine çok yakın yüklenen iletim hatları göstermektedir. Şebeke operasyonunda, kapasite üzerinde yüklenme istenmemektedir. Bununla birlikte, kapasiteye yakın yüklenme durumları da operasyonel esnekliği azalttığı için tercih edilen bir durum değildir.

Şekil 6. 2035 yılı yaz dönemi şebeke yükleme koşulları – Puant gün



Kapasitesinin üzerinde yüklenen düşük kapasiteli eski 2'li demet iletim hatları

Kapasitesine çok yakın yüklenen iletim hatları

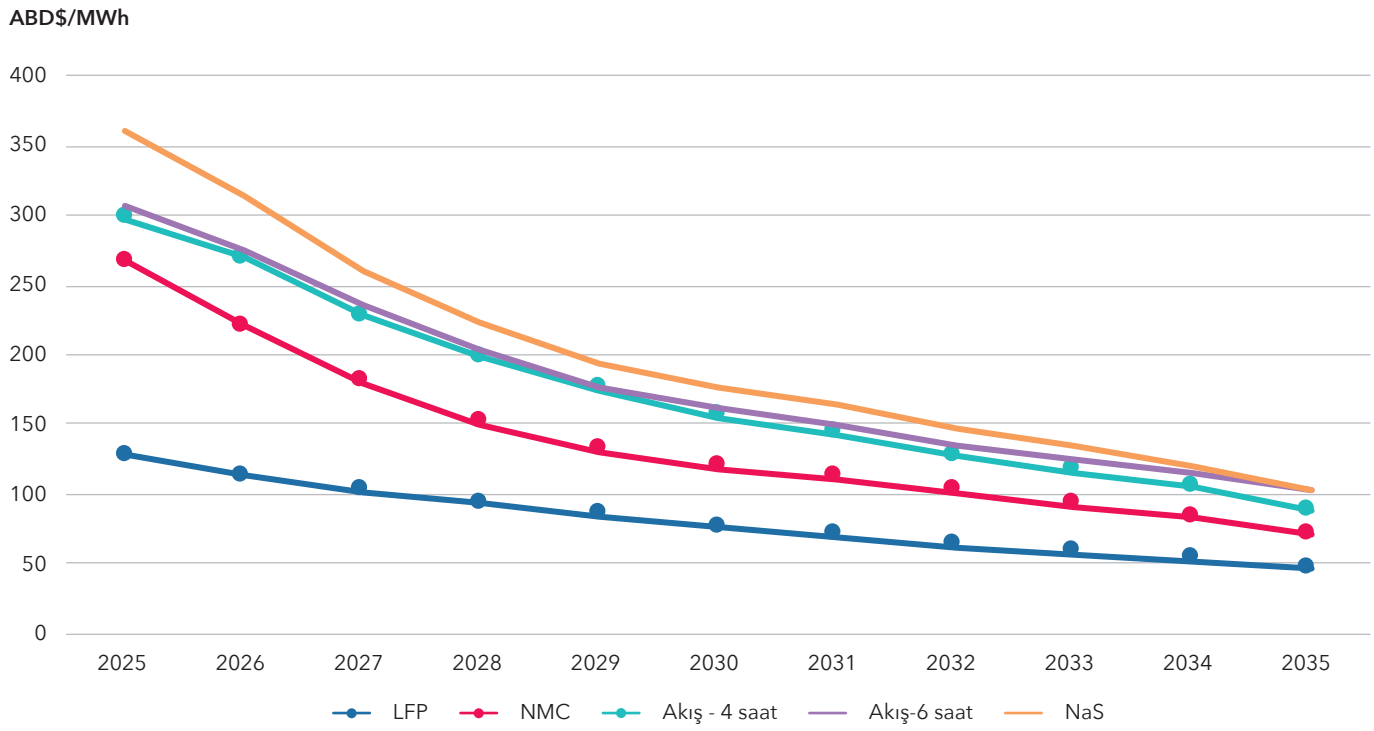
Bu durumun şebeke üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak amacı ile 500 MW ek depolama kapasitesi Kütahya-Afyon Bölgesi'nden Konya'ya taşınmış ve yük akışı yeniden hesaplanmıştır. Artan depolama kapasitesi, Konya'yı Afyon bölgesine bağlayan hatta olumlu etki yapmıştır.

Çalışmada, fayda-maliyet analizleri kapsamında seçilen kullanım alanları için öne çıkan teknolojiler de değerlendirilmiştir. Yenilenebilir enerji santrallerine bütünleşik bataryaların yatırımcı perspektifinden değerlendirildiği örnek kapsamında, 10 MW_p/10MW_e kurulu gücünde bir güneş enerjisi santraline bütünleşik 10 MW/40MWh (4 saat şarj/deşarj) depolama tesisi kurulumu için fayda-maliyet analizi yürütülmüştür.

Modellenen saatlerde arbitraj imkânı olması durumunda depolama tesisi GES'in kendi üretimini ve/veya şebekeden çektiği elektriği depolayarak fiyatların daha yüksek olduğu saatlerde deşarj etmektedir. Depolama tesisinin bütünleşik çalıştığı GES tesisinin üretiminden depolama yapması durumunda, iletim/dağıtım bedeli söz konusu olmayacaktır. Simülasyonda depolama tesisi bütünleşik olduğu santralde üretilen elektriği depoladıktan

sonra boş kapasite kalması durumunda, şebekeden de elektrik çekerek şarj edilmektedir. Bu durum için hazırlanan simülasyonlar, 2025-2035 arasında saatlik bazda çalıştırılmıştır. Bu hizmet bağlamında hesaplanan en düşük seviyelendirilmiş hizmet maliyeti (LCOS), LFP bataryalarda oluşmaktadır.

Şekil 7. Yenilenebilir enerji santraline bütünleşik depolama tesisleri için LCOS projeksiyonu



Yürütülen tüm analizler kapsamında 2035 yılında toplam 7,2 GW/28,8 GWh batarya depolama kapasitesine ulaşılacağı öngörülmüştür. Analizlerde toplam depolama kapasitesinin %30'unu (2,16 MW/8,64 MWh) müstakil, %60'ını (4,32 MW/17,28 MWh) yenilenebilir enerji tesisine bütünleşik ve %10'unu (0,72 MW/2,88 MWh) sayaç arkası batarya sistemleri oluşturmaktadır. Fayda maliyet analizleri kapsamında bu kapasitenin yenilenebilir enerji kesintisini en az seviyeye indirme amacıyla çalıştırıldığı durumda, 2035 yılında toplam 6,9 TWh[9] seviyesinde yenilenebilir kaynaklı elektrik üretim kesintisinin önleyebileceği hesaplanmıştır. Bu sayede, 2035 yılında doğalgaz santrallerindeki tüketim yaklaşık 11,7 TWh[10] azaltılmış olacaktır. 2035 yılında ortalama doğal gaz fiyatının 31,4 ABD$/MWh olacağı varsayıldığında, doğal gaz ithalatının 369 milyon ABD$[11] azalacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda, doğalgaz kaynaklı karbon emisyonların da 2035 yılında 2,3 milyon ton[12] azalacağı hesaplanmaktadır.

[9] 2035 yılı için yürütülmüş analizlerde toplam yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik kesintisi önlenmesinde 2,2 TWh müstakil, 4 TWh yenilenebilir enerji tesisine bütünleşik ve 0,7 TWh sayaç arkası depolama tesislerinden katkı olacağı hesaplanmaktadır.

[10] Hesaplamalarda %60 brüt verim ve %1,5 iç tüketime sahip doğalgaz çevrim santrali dikkate alınmıştır.

[11] Doğal gaz fiyatı hesaplamalarında Dutch TTF, 2027 Teslim Fiyatı (31,4 USD$/MWh) baz alınmıştır (ICE, 2024).

[12] Doğal gaz emisyon faktörü 55,4 t/TJ olarak alınmıştır (ETKB, 2024).

E. Türkiye'de Batarya Enerji Depolama Sistemlerinin Kurulumlarını Hızlandırmak için Politika Önerileri

- Türkiye'de yapılan mevzuat düzenlemeleri ile yenilenebilir enerji santrallerine bütünleşik batarya enerji depolama tesisi kurulumları mümkün hale gelmiştir. Bu düzenleme ile net sıfır emisyon hedefine ulaşmak için daha fazla yenilenebilir enerji santrali kapasitesinin hızlı bir şekilde devreye alınması hedeflenmektedir. Bununla birlikte bu düzenlemelerin, depolama tesislerinin kurulum amacına, teknolojisine ve lokasyonuna yönelik olarak, ikincil mevzuatlarla detaylandırılması önerilmektedir.

- Üretim tesisine bütünleşik depolama tesisleri yenilenebilir enerji santrallerinin şebeke üzerinde yarattığı dengesizliği yönetmek amacıyla kurulacaksa, dengesizlik cezalarının da şebeke maliyetlerini yansıtacak şekilde belirlenmesi ve yatırımcının depolama tesisini santralin dengesizliğini yönetecek ölçüde ve kapasitede projelendirmesine yönelik iyileştirmelerin yapılması önerilmektedir. Böylelikle yatırımcı üretim tesisi dengesizliğini mevzuatta belirtilen depolama kapasitesi kriterinden (1 MW/1 MWh) daha düşük bir kapasite ile gerçekleştirebilecekse, bu yönde proje geliştirmelerinin önü açılabilecektir.

- Üretime bütünleşik depolama tesisi yenilenebilir enerji santralinin baz yük santrali gibi çalışması için kurulacaksa mevzuatın, depolama tesislerinin en az 2 saat ve daha üstü şarj-deşarj kapasiteye sahip olacak şekilde projelendirilmesini destekleyecek şekilde düzenlenmesi faydalı olacaktır. Mevzuattaki iyileştirmelerin yanı sıra bu kapsamda yatırımcılara çeşitli finansal teşvikler ve vergi muafiyetlerinin sağlanması, depolama yatırımlarının artmasına yardımcı olacaktır.

- Sisteme entegre edilmesi değerlendirilen batarya depolama tesislerinin hem sistem odaklı hem de yatırımcı açısından faydalarının birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. Seçilen yer ve teknoloji kapsamında bataryaların sisteme olan faydaları yüksek fakat, yatırımcıların batarya depolama tesisi kurma ve işletme maliyetlerinin, elde edecekleri gelirlerinin üstünde olduğu durumlarda, yatırımcılara çeşitli sübvansiyon ve/veya teşviklerin sağlanması değerlendirilmelidir.

- Batarya enerji depolama yatırımlarının vaktinde kurulabilmesi için yatırımcıların projeleri gerçekleştirebilecek teknik ve finansal kriterleri sağladıklarının kontrol edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, yeni batarya depolama kapasite tahsisatı yapılması durumunda, bataryaların optimum bir şekilde konumlandırılması gerekecektir. Bu bağlamda, batarya enerji depolama tesislerinden alınacak hizmet ve uygun teknolojinin belirlendiği teknik bir yol haritası oluşturulabilir.

- İletim ve dağıtım hatlarında gözlemlenen kısıt ve tıkanıklıkların azaltılmasında batarya depolamalı sistemlerinin kullanıldığı "Sanal Güç Hattı[13]" (Virtual power lines, VPL) kurulumları değerlendirilebilir. Örnek pilot proje bölgeleri seçilerek bu teknolojinin kullanımı üzerine deneyim kazanılabilir ve daha sonraki aşamalarda VPL uygulamaları yaygınlaştırılabilir.

- Elektrik toptan satış piyasalarında yapılacak iyileştirmelerle, depolama tesislerinin arbitraj imkanından yararlanarak gelirlerini artırmaları mümkün olabilir. Mevcut piyasa koşullarında uygulanan azami ve asgari fiyat limitleri depolama tesislerinin arbitraj potansiyelini kısıtlamaktadır. Piyasada oluşan fiyatların maliyetleri yansıtması ve negatif fiyat oluşumuna izin verilmesi arbitraj imkanını artıracağı gibi, tüketicilerin de depolama ünitesi kurmasını teşvik edecektir. Bu noktada çok zamanlı tarifelerin yaygınlaştırılması da oldukça önemlidir.

- Türkiye'de elektrik üretim ve tüketim alanlarının farklılaşmasından dolayı bazı bölgelerde zaman zaman kısıtlar meydana gelmektedir. Net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda artması beklenen değişken üretimli yenileneblir enerji kaynaklarının (rüzgar ve güneş) belli başlı bölgelerde yoğunlaşmasından dolayı ileride bölgesel kısıtların artması öngörülmektedir. Depolama tesis kurulumlarının kısıt yaşanan bölgelerde önceliklendirilerek bölgesel kısıtların yönetilmesi için bölgesel fiyatlandırma uygulaması oluşturulabilir. Şebekenin fiziksel özelliklerini yansıtan bölgesel bir fiyatlandırma sistemine kademeli geçiş sağlanmasıyla bölgesel olarak dengesizlikler yönetilebilir.

- Mevcut tarifeler kapsamında depolama tesisleri hem enerji alışlarında hem de enerji verişlerinde iletim/dağıtım bedeli ödemektedir. Depolama tesislerinin ülke ekonomisine faydaları da düşünülerek (yenilenebilir enerji kesintisini azaltma, fosil yakıt tüketimini azaltma, şebeke yatırımlarını azaltma vb.) bu sistemler için yeni bir kullanım tarifesinin oluşturulması ve şebeke bedellerinin diğer kullanıcılara göre indirimli olması önerilmektedir. Alternatif olarak, depolama tesislerinin sadece gerçek tüketimleri (teknik kayıp miktarları) esas alınarak şebeke bedeli ödemesi ya da enerji veriş/çekişi kapsamında yalnızca tek yön için şebeke bedeli ödeme seçeneklerş düşünülebilir.

- Yan Hizmetler Piyasası'nda iyileştirmeler yapılarak daha küçük kapasiteli enerji depolama sistemlerinin piyasaya katılımı sağlanabilir. Mevcut mevzuat uyarınca Yan Hizmetler'e katılacak enerji depolama sistemlerinin

[13] VPL kurulumlarıyla birlikte hem üretim hem de tüketim noktalarında batarya enerji depolama tesisleri kurulmakta ve yenilenebilir enerji kaynaklı şebeke frekans dalgalanmalarının ve şebekede oluşan yüklenmelerin depolama tesisleri ile dengelenebilmesi sağlanmaktadır.

en az 10 MW kurulu kapasiteye sahip olması gerekmektedir. İleriki dönemlerde küçük ölçekli ve yük kaydırma imkanını artıracak sayaç arkası bataryaların da piyasaya katılımını sağlamak amacıyla, belirlenmiş bu teknik kriterin öncelikle 1 MW seviyesine daha sonraları ise birkaç yüz kilovat (kW) seviyelerine düşürülmesi değerlendirilebilir. Böylelikle, toplayıcılık faaliyetleri ile birleştirilen batarya tesislerinin piyasalara katılımı kolaylaştırılabilir.

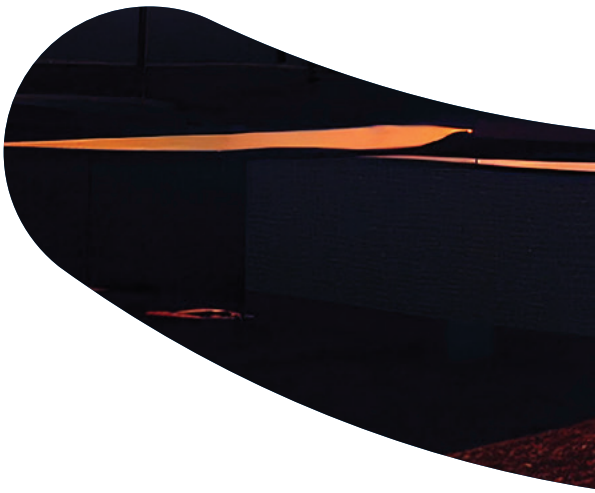
- Belirli bir yenilenebilir enerji entegrasyonu sağlandıktan sonra lisanssız santrallerin tabi olduğu aylık mahsuplaşmanın yerini faturalandırma (net-billing) veya al-sat yöntemi (buy-all sell-all) gibi fiyatlandırma modellerine bırakması önerilmektedir. Bu durumda sistemin gerçek maliyeti üreten tüketicilere (prosumers) yansıyacağından, sayaç arkası batarya kurulumlarında artış meydana gelecek ve depolamanın sistem esnekliğine katkısı daha belirgin hale gelecektir.

- Enerji depolama tesis kurulumlarını teşvik etmek için düşük faizli krediler, vergi muafiyetleri, hibe uygulamaları vb. çeşitli finansal araçların kullanımı etkili olacaktır. Bahsedilen doğrudan finansal araçların yanı sıra teknoloji bazlı teşvikler ya da finansman da uygulanabilir. Örneğin, bataryaların gün içinde şarj-deşarj esnasında oluşan verimlilik kaynaklı kayıplarını telafi etmek için bir mali sübvansiyon mekanizması düzenlenebilir ya da düşük maliyetli finansmana erişimde ilgili bataryanın vereceği hizmetler doğrultusunda belirli çevrim sayılarını tutturması gibi teknik kriterler belirlenebilir. Dolaylı olarak da batarya üreticilerinin daha yüksek teknolojili batarya üretimi teşvik edilebilir.

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 Arabuluculuk. 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 adamıştır.



SHURA
ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ MERKEZİ

Bankalar Caddesi, No:2, Minerva Han,
Kat:3, 34420 Karaköy/İstanbul
T: 0 (212) 292 49 39
E-posta: info@shura.org.tr
www.shura.org.tr

SHURA Kurucu Ortakları

İPM | IPC İSTANBUL POLİTİKALAR MERKEZİ
SABANCI ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ
İSTANBUL POLICY CENTER
AT SABANCI UNIVERSITY

European Climate Foundation

Agora Energiewende

SHURAEDM SHURAEDM SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi /company/shura @shuraedm