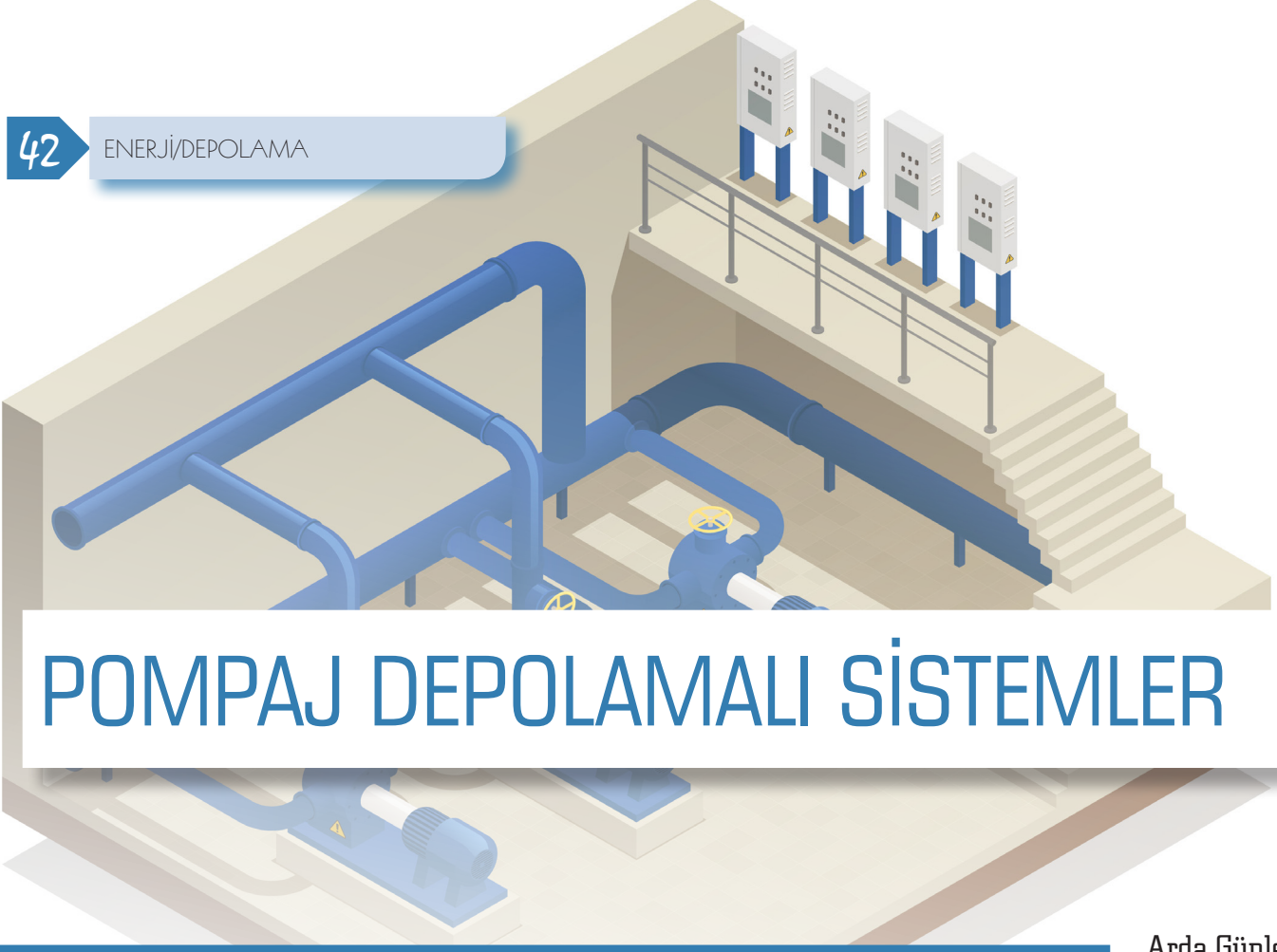




POMPAJ DEPOLAMALI SİSTEMLER

Arda Günlr*

1. GİRİŞ

Dünya'da hızla artan nüfusa karşın kaynakların kısıtlı olması, ülkelerarası su ve enerji stratejilerini daha da komplice hale getirdi. Hidroelektrik enerji kaynaklarının doğru ve verimli bir şekilde kullanımı her zamankinden daha da önemli hale gelmiştir.

En yüksek potansiyel hidroelektrik enerji kapasitesi gelişmekte olan ülkelere aittir. Bu potansiyelin bir an önce kullanılması, su kaynaklarının doğru planlanması ve enerji üretimi için hayata geçirilmesi, ülkemizin de dahil olduğu gelişmekte olan ülkelere yaşam kalitesi ve sosyo ekonomik kalkınma açısından son derece önemlidir.

Ülkemiz hidroelektrik kaynak açısından olağanüstü bir zenginliğe sahiptir. Kurulu hidro elektrik santral (HES) gücünde geline nokta oldukça iyi olmakla beraber, ekonomik kapasitenin halen % 60'ı kullanılmaktadır [1]. Diğer bir deyişle, ülkemizin gerçekte ekonomik HES potansiyeli 50 GW'ın üzerinde olup, mevcut kurulu gücümüz 29 GW'ın üzerindedir. [2], [3], [4]

Buradaki hassasiyet yeni kurulacak HES'lerin doğru yerde, maksimum verim ile, en yeni ve yüksek teknoloji ile,

çevreye en az zarar verecek şekilde ve sürdürülebilir bir şekilde projelendirilmesidir.

2016 yılında dünya üzerinde tüm HES'lerin toplam kurulu gücü 1.246 GW'a ulaştı, gene 2016 yılında 31,5 GW yeni HES devreye girdi. Gene 2016 yılında toplam hidroelektrik enerji üretimi 4.102 TWh ile yenilenebilir kaynaklar arasında en yüksek üretimi gerçekleştirdi. [5]

2017 yılında ise toplam 1267 GW kapasite devrede idi. 2017 yılında 21,9 GW yeni devreye alınan toplam HES kurulu gücünün 3,2 GW'ı PHES lerdir [5].

2018 yılında ise toplam devrede olan Hidroelektrik kapasitesi 1292 GW olmak üzere, bu kapasitenin 1,9 GW'ı PHES olarak gerçekleşmiştir. [5]

2019 yılı yeni devreye alınan Hidroelektrik santraller açısından nispeten düşük bir yıl olmuştur. Toplam devrede olan santral kapasitesi 1310 GW olarak kaydedilmiştir. Tüm dünyada yeni devreye giren Hidroelektrik santral kapasitesi 13 GW olmakla beraber, 1,21 GW PHES olarak gerçekleşmiştir. [5]

Ülkemizin toplam kurulu gücü Nisan 2020 itibarı ile

* GE Hidro Türkiye Satış Lideri - arda.gunler@ge.com

91.380 MW'tır, bunun 32,43 GW'ını HES'ler oluşturmaktadır [2], [3], [4]

Son 5 yıllık ortalama cari açığımızın neredeyse tamamına yakını toplam yıllık enerji ithalatına eşittir. Kur risklerine karşı kırılgan, dövize endeksli büyüyen ekonomimizin yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları ile güçlendirilmesi şarttır.

Isınma ve ulaşım amaçlı kullanılan ithal fosil kaynaklarının, kademeli olarak modern, çevreci ve dışarıya bağımlılığı azaltan elektrik enerjisi'ne geçişi planlanmalıdır. Halen kişi başı elektrik tüketimimiz uluslararası enerji ajansına üye 29 ülke ortalamasının % 40'ı seviyesindedir. Gelişmiş ülkelerde elektrikli araç kullanımının hızla artacağı gözönüne alındığında bu oran daha da düşecektir. [3], [7], [4]

Kişisel enerji tüketimimizin içindeki elektrik payı teşvik ve önlemler ile artırılmalıdır.

Yenilenebilir enerji ve depolama teknolojileri modern şebeke sistemlerinin ayrılmaz iki unsurudur.

2. POMPAJ DEPOLAMALI SİSTEMLER

Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (PHES) ya da PSP¹ tanımı

PHES'ler, alt rezervuardan üst rezervuara pompalanarak biriktirilen su hacminin ters akış ile değerlendirilip tekrar türbinde kullanılarak enerji üretilmesini sağlarlar. [6]

Genel çalışma prensiplerine göre iki ana kategoriye ayrılırlar.

Kapalı devre PHES: Bu projelerde daha önce üst rezervuara pompalanmış su hacmini kullanılır. Alt ve üst rezervuarı besleyen harici doğal bir akış yoktur.

Açık devre PHES: Bu projelerde üst ya da alt rezervuar doğal bir akış ile beslenir. Bazı açık devre PHES'lerde üst rezervuar büyük ölçüde doğal kaynaklardan beslenir. Diğer bir deyişle, üst rezervuarda su biriktirilmesi gereken zamanlarda alt rezervuardan pompa yapmadan depo yüklenebilir.

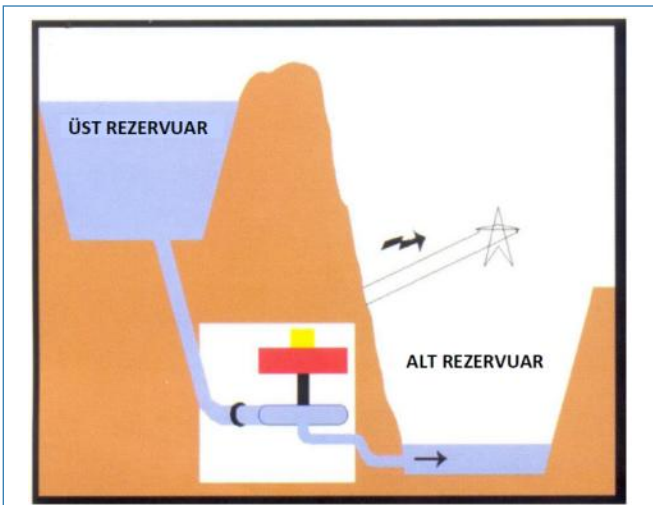
PHES'lerin gücü iki sayısal büyüklük ile tanımlanır. Bunlar, kullanılan türbin büyüklüğü ve üst rezervuarın enerji depolama kapasitesidir.

Örneğin, iki olimpik havuz hacminde (5000 m³) bir üst rezervuar var ise (Olimpik havuz boyutları 25m x 50m x 2m, 2 x 2500 m³) ve alt üst rezervuar arası net düşü 500 metre ise; bu PHES santralinin üretim gücü 6 MW, depolama gücü 6 MWh olarak tanımlanabilir. Şayet aynı üst rezervuar 1 saat yerine örneğin 120 sn içinde boşaltılırsa, iki dakika boyunca 180 MW gücünde enerji üretir. Bu şekilde ihtiyaca göre en uygun PHES modelleri tasarlanır.

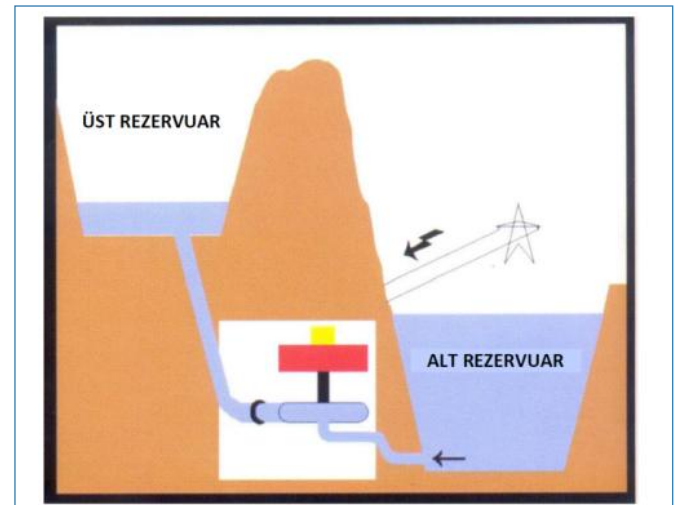
3. TARİHÇE

Modern PHES'ler yirminci yüzyılın son dönemlerinde geliştirilmiştir. Ancak PHES'lerin ilk büyük ölçekli örnekleri 2. Dünya savaşı sonrasında geliştirilmiş ve yapılmıştır. [6]

Tüm dünyayı altüst eden bu insanlık trajedisi sonrasında



Şekil 1. PHES'nde Enerji Üretimi [6].



Şekil 2. PHES'nde Pompaj Yapılması [6].

¹ PSP: Pumped Storage Power Plants

nüfus çok hızlı bir şekilde artmış, ekonomiler hızlı şekilde büyümüştür. Artan hayat standartları, elektrik arz talep dengesinde de dalgalanmalara yol açmış, gün içinde ve sezonsal baz yük – pik yük farklılıkları ciddi oranda artmıştır.

Böyle bir dönemde PHES'ler çok amaçlı çözümler olarak gündeme gelmiştir. Örneğin gene bu dönemde Kanada ile ABD sınırındaki Lewiston projesi, Niagara şelalesinin turistik sezonda akışının bir garantörü olmuştur. Dengeleme özelliği sayesinde, Niagara şelalesini besleyen kaynaklar turistik sezon saatlerinde açılmış bu sayede hem üretim optimizasyonu sağlanmış hem de şelalenin görsel güzelliği sürdürülmüş, turizm gelirlerine de katkısı olmuştur. [8]

1960'lı yılların sonunda devreye giren termik santrallerin çoğu yüksek kapasiteli, yüksek sıcaklık ve basınçta çalışan, verimlilikleri düşük santrallerdi. Jeneratörler sürekli maksimum yükte çalışacak şekilde dizayn edilmişti. Şebekede bir dengeleyici unsur gerekliydi. Bu sayede dönen parça yükleri azaltılacak ve servis bakım maliyetleri asgari düzeyde tutulabilecekti. PHES'ler tam da bu dönemde fazla yükün depolanması, talep döneminde de şebeke beslemesi kabiliyetleri nedeni ile popülerliğini devam ettirmiştir. Bu dönemde yapılan tüm PHES'ler devlet iş-tirakleridir.

PHES'lerin bir diğer önemli özelliği olan su kaynak yönetimi (sulama sistemi desteği) sayesinde ABD Kaliforniya ve Güney Afrika'da kullanımları artmıştır. [9]

Bu dönemlerde PHES'lerin işletmesi oldukça basitti. Arz fazlası üretim enerji fiyatının düşük olduğu saatlerde üst rezervuara su pompalanarak depolanmış ve talebin yüksek olduğu pik saatlerde ise alt rezervuara iletilerek üretim yapılmıştır. 1960 – 1980'li yıllar arasında devreye alınan PHES'lerin büyük çoğunluğu enerji güvenliği ve 1970 petrol krizinden sonra hızla devreye alınan nükleer santraller nedeni ile planlanmıştır.

1990'lı yıllarda ise gelişmiş ülkelerdeki PHES yatırımları göze çarpmaktadır. Japonya, ABD ve AB ülkelerinde artan sayıda PHES devreye alınmıştır.

Yeni nükleer santrallerin azalması ve enerji piyasası dengeleme (özellikle arz) nedeni ile yeni devreye giren PHES immesinde düşüş gözlemlenmiştir. Ancak PHES'leri sadece nükleer santraller ile de özdeşleştirme-

mek gerekir. Örneğin nükleer kurulu gücü olmayan Avusturya, kurulu hidroelektrik gücünü dengelemek ve çevre ülkeler ile enerji ticaret hacmini artırmak için PHES'lere yönelmiştir. Gene Norveç, sezonsal dengeleme amaçlı PHES kurulumları yapmıştır. Yaz sezonunda özellikle kar erimesi ile oluşan akışlardan kaynaklı arz fazlası enerjiyi pompaj depolayarak kış sezonunda üretim amaçlı kullanmışlardır.

2000'li yıllar ise PHES'lerin yıldızının tekrar parladığı dönemin başlangıcı olmuştur.

Özellikle Çin, bazı Avrupa ülkeleri ve gelişmekte olan birçok ülkede PHES'ler yoğun ilgi görmüştür. Değişken yenilenebilir enerji kaynakları şebekelere entegre edildikçe PHES'ler önemini artırmıştır. PHES'ler ulusal şebekelere yenilenebilir enerji entegrasyonu için bir anahtardır.

2019 yıl sonu itibarı ile toplam dünya PHES kurulu gücü 158 GW'a ulaşmıştır. Tüm PHES'lerde tahmini depolanan enerji 9.000.000 MWh'lere ulaşmıştır. Bu da neredeyse tüm Türkiye'nin 10 günlük enerji tüketimini karşılayacak bir kapasitedir. [5]

Konvansiyonel aküler ile depolanan enerji ise 7.000 MWh büyüklüğündedir.

Sadece Çin'de 2010 yılından itibaren 15.000 MW yeni PHES kurulumu gerçekleşmiştir. Günümüz itibarı ile, Çin'in toplam PHES kurulu gücü 30.000 MW'ın üzerindedir.

2030 yılına kadar tüm Dünya'da yaklaşık 78 GW ek PHES kurulması öngörülmektedir. [5]

HES'ler, alt rezervuardan üst rezervuara pompalanarak

4. POMPAJ DEPOLAMA TİPLERİ

Enerji depolama sistemleri 2015 yılında ortaya konan Paris ve New York anlaşmaları ile belirlenen iklim değişikliği ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin tutması için de bir anahtar rolündedir.

Küresel ısınmayla ilgili yakın zamanda yayınlanan özel bir rapora göre [10, 11], dünya ortalama sıcaklığındaki artışın 1,5 °C'lik sınırın altında kalabilmesi için küresel ölçekte hızlı bir dönüşüm yapılmalıdır. Sadece elektrik üretimi amaçlı değil, birincil enerji ihtiyaçlarının da hızla elektriğe çevrilmesi gerekiyor. Bu hedefleri gerçekleştirmek için artan yenilenebilir enerji ihtiyacı ile PHES'lerin önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır.

Dünya üzerinde kurulu depolama teknolojilerinin %94'ü PHES'tir. Yine toplam depolama kapasitesinin %99'u PHES'ler tarafından sağlanmaktadır. [12,13]

Geçtiğimiz sene küresel ölçekte devreye alınan tüm enerji santrallerinin %60'ı rüzgar ve güneş santralleri idi. Global bir enerji dönüşümü yaşıyoruz. [14,12]

Gene anı dönemde devreye alınan yenilenebilir enerji gücü tüm dönemlerin rekorunu kırdı. Yeni devreye alınan santrallerde rüzgar jeneratörleri ve fotovoltaik (PV) güneş enerjisi panelleri toplam kapasitenin %60'ını oluşturdu. Bu da, küresel bir transformasyonun ya da dönüşümün önemli bir göstergesi oldu. Birçok bölgede rüzgar ve güneş enerji santralleri ekipman maliyetlerinde termik santraller ile rekabet edecek kadar hatta onları rakipsiz kılacak seviyelerde önemli oranda düşüş olmuştur, dolayısı ile enerji maliyeti (fiyat /kWh) oldukça rekabetçi hale gelmiştir. [13]

Ulusal teşvik mekanizmaları ile de desteklenen değişken kaynaklı yenilenebilir enerji santralleri olağanüstü bir hızla entegre edilmektedir, şebekelerde bazı ek tedbirler ve planlamalar yapılması kaçınılmazdır. [8]

PHES'ler, rüzgar ve güneş enerjisinin dalgalı enerji üretimini dengeler. Değişken kaynakların fosil yakıtlı santrallere gittikçe artan oranda alternatif oluşturması ve çok hızlı bir ivme ile artan kurulum oranları, gün içi elektrik piyasalarında anormal fiyat dalgalanmalarına neden olabilir. Bu gibi etkileri bertaraf etmek için PHES'ler en uygun dengeleme sistemleridir.

Yukarıda da bahsettiğim gibi, günümüzde PHES'lerin dünyadaki kurulu gücü 150 GW'ın üzerindedir. 2030 yılına kadar ilave olarak 78.000 MW'lık ek PHES devreye alınması öngörülmektedir. [5]

Değişken kaynaklı yenilenebilir enerji olarak tanımlanan (Variable Renewable Energy - VRE), güneş ve rüzgar gibi enerji üretim santrallerinin gittikçe artan oranları, şebeke operatörlerini belirsizlik ve dalgalanmalara karşı önlem almaya yöneltmiştir.

Elektrik şebekelerinde esneklik dört ana şekilde sağlanır: [15]

- Değişken güç tedariği: Gaz santralleri ve hidroelektrik santraller, ani güç taleplerine cevap verebilecek yapıda, çok hızlı devreye girebilmektedir.

- Tüketim tarafında esneklik: Tüketicilerin taleplerini şebeke dinamiklerine göre ayarlamalarını teşvik eder.
- Yakın güç santrallerine enterkonnekte bağlantı: Tedarik ve tüketimin dengelenmesi için kullanım alanının genişletilmesi. Bu esnek yapılandırma ile talebin her zaman tam olarak karşılanması sağlanır.
- Değişken kaynaklı yenilenebilir enerji'nin PHES'ler ile dengelenmesi

Konvansiyonel hidroelektrik santraller şebekelerde dengeleme ve esneklik için en verimli çözümlerdir. Üretim ve talep tarafında oluşan salınımlar, konvansiyonel hidroelektrik santrallerde çıkış gücünün modüle edilmesi sayesinde ayarlanabilir. Aslında rezervuarı olan tüm hidroelektrik santraller bir çeşit sanal enerji depolama sistemidir. Doğal akış sayesinde şebekede üretim fazlası olan zamanlarda potansiyel enerji rezervuara biriktirilir. PHES'lerin ise ilave avantajları vardır, üretim fazlası enerjiyi absorbe eder. PHES'ler ilk olarak 1960'lı yıllarda termik santrallerin baz yük dengelenmesi amacı ile şebekelere entegre edilmiştir. İlerleyen zamanlarda ise PHES'lerin şebeke faydaları daha geniş bir dengeleme ve yan hizmet sağlamıştır.

Değişken devirli PHES'ler ve tersiyer sistemler, güç regülasyonu ve yük dengelemesinde konvansiyonel sabit devirli ünitelere göre daha geniş bir şebeke esnekliği sağlarlar. [15, 8]

Değişken devirli sistemlerin sabit devirli PHES'lere göre çok daha geniş bir aralıkta çalışabilmeleri, daha yüksek verimde çalışabilmeleri ve daha hızlı tepki süreleri ile avantajlıdır. Değişken devirli PHES'ler pompa döngüsünde enerji tüketimlerini de kontrol edebilirler ve gelişmiş bir frekans kontrolü sağlarlar.

Değişken devirli pompalar Japonya'da 1990'lı yıllardan itibaren kullanılmaktadır. Şebekede frekans kontrolü sağlamak amaçlı fosil yakıt tüketimine alternatif olması için geliştirilmişlerdir.

Değişken devirli PHES'lerin değişken üretimli yenilenebilir enerji santrallerine uyumu en yüksek mertebededir. Ancak sabit devirli PHES'ler de bu konuda başarılıdır. En eski uygulama olan tersiyer pompaj depolama uygulamalarında türbin ve pompa aynı shafta bağlıdır. Pompa ve üretim döngülerinde rotasyonel yön değiştirmesi gerekmez. Türbin ve pompanın eşzamanlı çalışmasına imkan

verir. Bu şekilde çalışmaya, hidrolik kısa devre döngüsü de denir. Çok daha hızlı ve esnek cevap süreleri elde edilebilir. Çift yönlü PHES türbinler ile de bu hidrolik kısa devre içinde çalışmak mümkündür, ancak optimum frekansa getirmek zaman alır. [15]

Yenilenebilir enerjilerin şebekelere entegrasyonundan çok önceleri de, şebekelerde güç dengelemesi önemli bir konu idi. Dağıtım ve iletim hatlarındaki ani kesilmeler veya ani devreye girmeler nedeni ile, devreye alınıp devreden çıkartılabilen senkron jeneratörler şebeke esnekliğini geleneksel olarak sağlardı. Ancak güç sistemlerinin merkezi senkron termik santraller yerine asenkron jeneratörlü yenilenebilir kaynaklara doğru ilerlemesi, şebeke esnekliği ile ilgili önemli tedbirler alınması gerekliliğini ortaya koymuştur.

Şebeke sisteminde esneklik ve dengeleme unsurları olmadığı zaman, konvansiyonel dengeleme mekanizması eksik olur ya da yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı kısıtlanır. Elektrik şebekelerinde üretim tesisleri dinamikleri, gerek mikrosaniyeler içinde gerekse sezonsal olarak dalgalanırlar. Arz talep dengeleme için farklı yöntemler kullanılır. Geleneksel olarak termik santraller ile depolama sistemlerinin birlikte çalışmaları daha basit bir döngü içindedir. Gün içi yüksek tüketimde depolama sistemleri üretim tarafında çalışır, gece talep düşük saatlerde ise pompa devreye girerek depolama olarak çalışırlar.

Güneş ve fotovoltaik enerjinin yaygınlaşması sonucu, gün içi pik talep bir şekilde dengelenmektedir. Pik talep daha çok sabahın ilk saatlerine ya da akşamüstü güneşin batmaya yakın olduğu saatlere çekilmiştir. Bu etki, güneş santrallerinin yoğun olduğu şebekelerde gözlemlenebilir. Gün için tüketim eğrisinin aldığı bu özel şekil nedeni ile, bu eğri "ördek boynu" olarak da anılmaktadır.

Bu tip öngörülebilir dengesizliklerin yanı sıra, daha kısa dönemli etkiler de olabilir. Örneğin ani fırtınalar, ya da ani bulutlanmalar yenilenebilir enerji üretiminde kısa süreli dengesizlik nedenleridir. [16]

Sonuç olarak, 30-40 yıl önce inşa edilen PHES sistemlerin çoğu operasyonlarını daha sık döngüler içinde, daha hassas ve yüksek bir işletme bandında çalışmaya yönelik ayarlamışlardır. Güvenilir dengeli ve sabit bir şebeke için, frekansın çok hassas bir aralıkta dengelemede tutulması gerekmektedir.

Geleneksel merkezi üç sistemli şebekelerde, frekans den-

gelemesi termik ve hidroelektrik santrallerin senkronize rotasyonu ile yapılmaktadır. Şebeke frekansı, sürekli bir değişkendir. Arz ve talebin temel neden olduğu frekans dalgalanmalarında, arz yüksek ve talep düşük ise frekans düşer, aksi durumda ise yükselir.

Çok kısa zaman aralıklarından incelenecek olursa, senkron jeneratörlerin şebeke ile bağlantıları elektromekanik ve direkt olarak yapılmakta iken, modern değişken devirli PHES sistemlerde şebeke bağlantıları tamamen yazılım kontrollü ve elektronik olarak yapılmaktadır. [8]

Değişken devirli PHES'ler genellikle asenkron olarak tasarlanırlar. Senkron jeneratörler ile tasarlanırlarsa, çok kısa süre aralıklarında şebeke tepkimeleri zayıflar. Senkron jeneratörlerin fiziki olarak dönen ağır yükleri nedeni ile şebekedeki ani değişimlere karşı bir atalet direnci oluştururlar. Bu nedenle, daha düşük atalet momentine sahip sistemler bir dalgalanma esnasında daha hızlı frekans tepkisi verirler.

Sabit hızlı ve tersiyer PHES'lerde mekanik atalet tepkisi direkt olarak dönen jeneratör tarafından verilir. Bir sistem dengesizliğinin, milisaniyelerden dakikalara kadar olan kısa süreli zaman ölçeğinde normal voltaj ve frekans değerlerine geri getirilmesi beklenir. Türbin bazında otomatik tepkime yapılabileceği gibi, birkaç jeneratörün senkronize şekilde otomasyonu ile de bu yapılabilir.

Değişken devirli ve tersiyer üniteler, frekans kontrolünde daha geniş ve hızlı bir aralıkta elektrik üretimi ve pompalama ile depolama sunarlar. Orta ölçekte (saat ve günler ile belirtilen) zaman aralıklarında ise, ani kesinti gibi geçici şokların tolere edilmesi beklenir. Genellikle pik desteği veya sistem yedekleme olarak tanımlanırlar.

Yedekleme işlevi, otomatik frekans tepkisine göre tanımlanır ve öngörülemeyen sistem kesintileri ve kayıplarına karşı etkilidir.

Portekiz'de 2017 yılında işletmeye alınan 780 MW'lık Frades 2 PHES santralinde, değişken devirli modern teknoloji türbinleri kullanılmıştır. Portekiz'in hızla artan rüzgar santrallerini dinamik olarak dengelemek amacı ile inşa edilmiştir. Portekiz'de kurulu rüzgar santrali gücü, ulusal şebekenin % 20'sini oluşturmaktadır. [17]

Zaman aralığı genellikle teknik emre amadelik ve alternatif seçeneklerin güvenilirliği ile belirlidir. PHES'ler çok yüksek hacimde su tutabilmelerinin yanı sıra, çok yüksek

verimler ile çalışabilmektedir. Dolayısı ile uzun süreli taleplerde de son derece başarılı bir çözümdür.

Günler ve haftalar ile tanımlanan uzun zaman aralıklarındaki taleplerde ise genellikle sebep hava koşullarıdır. Örneğin uzun süreli düşük rüzgarlı günler veya uzun süreli soğuk – sıcak hava akımları buna neden olabilir. Sonuç olarak uzun süreli mevsimsel veya birkaç mevsim sürebilen arz dalgalanmaları meydana gelebilir.

Değişken devirli PHES'ler ve konvansiyonel hidroelektrik santrallerde, mevsimsel değişkenlikler önemli boyutta olabilir. Uzun dönem emre amadelikler gerektiren düşük rüzgar sezonları, dönemselsel kuru veya ıslak sezonlarda PHES ve hidroelektrik santrallere önemli görev düşmektedir. Ancak HES'ler de yapı itibarı ile sezonsal ve yıllık değişimlerden etkilenirler. PHES'lerin dengeleme sisteminde gün içi piyasa fiyatlarını dengeli hale getirmek gibi bir özellikleri vardır. Aslında PHES'lerin bu getirdiği fayda, gelir elde etmelerinin önünde olan bir engeldir aynı zamanda. Dolayısı ile PHES'lerin sadece arbitraj piyasası değil, farklı şekilde de gelirlerinin düzenlenmesi gerekmektedir.

Yüksek gerilim hatları ve transmisyon ağları ile ulusal şebekeler birbirleriyle bağlanabilir. Elbette uluslararası şebeke bağlantılarının bazı zorlukları vardır. Yüksek güç taşınması, şebekede oluşan ani yenilenebilir kaynak değişimleri ve ani kesintiler, diğer ulusal şebekeyi de etkiler. Uluslararası transmisyon sistemlerinde bağlantı noktalarına yakın PHES'ler, bu türden risklerin azaltılması ve -teknik problemlerin aşılması için son derece faydalıdır. Litvanya'da 2016 yılında İsveç ile aralarında bir denizaltı transmisyon hattı yapılmıştır. 2017 ve 2018 yıllarında bu hatta birçok kez kesinti olmuştur. Anlık 700 MW'lık bir kapasite eksikliği, Litvanya'da bulunan Krunos PHES sistemi ile yedeklenmiş ve anında telafi edilmiştir. Aynı PHES sadece iki ülke arasında değil, diğer enterkonnekte bağlantılar üzerinden Avrupa kıtası ve Baltık ülkeleri arasında transmisyon dengelemelerinde etkin bir rol almaktadır. [18]

Bir diğer örnek de şudur. Tazmania ile Avustralya kıtası arasındaki HVDC Bazlink hattı bulunmaktadır. Tazmania'da zengin bir hidroelektrik kapasite mevcuttur. Aynı zamanda yüksek PHES kapasiteleri vardır. Uluslararası transmisyon hattı üzerinden Tazmania hem ihracat hem ithalat yapabilmektedir. Tazmania'da gelişen yeni insiyatif, ülkesel depolama ile, Avustralya ile önemli bir ticaret hacminin yanı sıra, milyarlarca dolarlık bir iş hacmi ve istihdam yaratılacaktır. [19,16]

Gene güzel bir örnek olarak Çin'i gösterebiliriz. Yenilenebilir enerjide rüzgar ve güneş santral kurulumlarında rekorlar kıran Çin'in, iletim hatlarındaki dengesizlikleri bertaraf edebilmek için 2016 yılında açıkladığı 5 yıllık kalkınma planında, 2020 yılı sonuna kadar 40 GW'lık pompaj depolamalı tesisinin kurulması hedeflenmektedir. Bunun için gerekli alyatı ve yönetmelikler hazırlanmıştır. Bu hedef doğrultusunda doğru adımlar ile ilerlenmektedir. 2019 yılında, Çin'de toplam 4,17 GW HES devreye girmiş ve bu kapasitenin 0,3 GW'lık kısmı PHES olarak devreye alınmıştır. [17]

5. PHES'LERİN DİĞER DEPOLAMA SİSTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Dünyada depolama sistemlerinin %94'ü PHES'lerden oluşmaktadır. Ancak depolama teknolojileri sadece PHES'ler ile sınırlı değildir. Yaygın diğer bir enerji depolama teknolojisi, Lithium – İon (Li-İon) akülerdir. Özellikle 100 MW'lık Avustralya'da kurulan ünlü Tesla santrali sonrasında, Li-İon akülerin pazar payı önemli ölçekte artmıştır.

Li-İon akülerin maliyetleri konusunda çok önemli gelişmeler kaydedilse de, gerek büyüklük gerekse depolama kapasitesi olarak PHES'ler ile karşılaştırılmaz. Buna rağmen, her sistemin kendine göre avantajları bulunmaktadır.

Dünyada mega PHES uygulamalarına bakarsak, kapalı devre bir PHES olan Bath County (ABD) 3.060 MW'lık gücü ile ve 24.000 MWh'lik depolama kapasitesi ile oldukça etkileyicidir. Açık devre PHES'lerde depolama kapasitesi 100 GWh'lerin üzerine çıkabilir (Portekiz Vilarinho das Furnas santrali). [15]

Çin'de yapımı devam eden 3.600 MW'lık Fengning PHES, devreye gireceği 2025 yılında dünyanın en büyük santrali olma özelliğini taşıyacaktır.

Li-İon batı sistemleri genellikle daha küçük ölçekli ve bölgesel depolama ihtiyaçları için daha uygundur. (kW – MW aralığı).

Deşarj kapasitesi, yani enerji üretiminden sonra ne kadar sürede geri yüklenebildiği de depolama sistemleri için ayrı bir kriterdir. Genellikle PHES'ler 24 saatlik döngüde, 12 saatlik enerji üretme kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanırlar.

Karşılaştırmalı olarak, akülü depolama sistemleri kısa deşarj süreleri sunarlar. Örneğin 100 MW'lık Avustralya Li-

Ion santrali, 129 MWh depolama kapasitesine sahiptir. Yani tam kapasitede dolu iken sadece bir saatlik bir enerji beslemesi yapabilir. [19]

İşletme ömrü kıyaslamasında ise durum şu şekildedir. PHES'lerin inşaat dönemleri oldukça uzun olmasına rağmen, 60-100 yıllık işletme ömrü gibi önemli bir avantaj sunarlar. İngiltere'de bulunan 360 MW gücündeki Festinog PHES, 1963 yılında devreye alınmış, 2018'de 4 ünitenin 2 adedi bir rehabilitasyon görmüştür ve işletme ömrü en az 20 yıl daha uzamıştır. [15]

Yine ABD de bulunan 324 MW'lık Cabin Creek projesi, 1967 yılında devreye alınmıştır. Bu santralde, yakın dönemde yeni teknoloji türbinler ile bir rehabilitasyon yapılmıştır. Bu sayede projenin esnekliği ve işletme ömrü önemli oranda artırılmıştır. [15]

Akü sistemlerinin inşası çok daha hızlıdır. Ancak bir limitasyon, işletme ömrüdür. Operasyonel koşullara da bağlı olarak, % 85'lik döngü verimi %70'lere düşebilir. [15, 6]

kWh bazlı yatırım değeri ve depolama enerjisi birim maliyeti olarak karşılaştırma yapıldığında, PHES halen ekonomik olarak en rekabetçi depolama sistemidir. PHES'lerde depolanan kWh başına yatırım maliyeti, 200 – 300 USD aralığında iken, Li-Ion akülerde aynı maliyet 400 – 900 USD aralığındadır. [15]

Seviyelendirilmiş enerji maliyetinde (LCoE), PHES'ler 150 – 200 USD/MWh; aynı metodoloji ile Li-Ion aküler 250-550 USD/MWh aralığındadır. Bu verilerden anlaşılabacağı üzere, Li-Ion sistemlerin işletme ömürleri çok daha kısadır, değiştirilme ihtiyacı doğar. PHES'lerin oldukça uzun işletme ömürleri, akü çözümlerinin gittikçe düşen maliyetlerine rağmen hala en ekonomik depolama çözümü olarak değerlendirilmelerini sağlar. [15]

Seviyelendirilmiş enerji maliyeti hesabının birçok farklı metodolojisi vardır. Örneğin, bir referans metodoloji, günlük bir şarj/deşarj döngüsü üzerine kuruludur. Elbette her zaman işletme bu koşullarda çalışmaz, özellikle de akü sistemlerinde döngü bu şekilde değildir.

Seviyelendirilmiş maliyet analizinin bir diğer yöntemi, ölçek model üzerine analiz yöntemidir. Bu yöntem farklı senaryolarda şebekede ne kadar enerji depolanması gerektiği üzerine kuruludur.

Her iki sistemin de sürdürülebilirliği gözönüne alındığında birçok değişken mevcuttur. PHES'lerin konumu genellikle fiziki şartlara bağlıdır, istenilen bölgeye kurula-

mazlar. Ancak akü sistemlerinde bu şekilde bir kısıtlama yoktur. İhtiyaç olan alana kurulabilirler.

Çevre etki değerlendirmeleri konusunda PHES'lerin etkileri ek yatırımlar ile azaltılabilir. Kapalı devre sistemler-demevcut rezervuarları üst rezervuar alanı olarak kullanmak, ya da daha radikal bir şekilde deniz suyu kullanımı, veya yeraltı depolama hacimlerinin kullanılması çevre etkilerini azaltıcı ek önlemlerdir. [9]

Akü depolama sistemlerinin detaylı analizi için henüz erkendir. Ancak, 100 yıllık bir çalışma döngüsünde akü sistemlerinin küresel ısınmaya olumsuz etkisi, PHES'lerin iki katıdır. [11]

Bu etkinin bu kadar büyük olmasının sebebi, kullanılan hammaddelerdir. Lityum, grafit, kobalt ve nikel maddelerinin çıkartılması, rafine edilmesi ve son mamül haline getirilmeleri ve genel olarak sistemin ömrünün nispeten kısa olması bu etkilerin nedenidir.

Teorik olarak, her iki sistem de benzer dengeleme ve yan hizmetler özellikleri taşırlar. Kullanım alanlarını ayırtıran, teknik özellikleridir. PHES'lerin avantajları, depolama maliyetlerinin çok daha düşük olması ve uzun süreli enerji deşarj edebilmesidir. Akü sistemleri ise, daha kısa süreli enerji depolama özelliklerine rağmen, çok hızlı (milisaniyeler içinde) devreye girebilmeleri nedeni ile, kısa aralıklı dengelemeler için idealdir. Her iki sistemin de daha uygun olduğu durumlar mevcuttur, bir sistemi diğerine göre tüm yönleri ile üstünlüğü söz konusu değildir. PHES'lerin akü sistemleri ile akuple edilmesi de ileride olacak bir uygulamadır. Uluslararası bir enerji şirketi yakın dönemde Almanya Bavyera'da bu tür bir santrali devreye almıştır. Mevcut PHES tesisine entegre şekilde 12,5 MW'lık bir Li-Ion akü sistemi kurulmuştur. Böyle ortak bir sistemin amacı, geçiş periyodlarındaki şebeke tepkime sürelerinde belirgin bir iyileşme sağlamaktır. [15]

6. PHES DEPOLAMA SİSTEMLERİNDE FİNANSAL YÖNTEMLER

Tüm hidroelektrik santrallerde olduğu gibi, PHES'lerin de finansman yapıları oldukça karmaşıktır ve her proje için ayrı bir değerlendirme yapmak doğru olacaktır.

Geleneksel enerji yatırımlarında, yüksek öz sermaye ve uzun vadeli geri ödeme sürelerinin olması nedeni ile, finansman yapılandırmaları da günümüzde oldukça hassas yaklaşımları gerektirmiştir. PHES'lere özel ve ila-

ve olarak, şebeke elektrik piyasasındaki arbitraj (gün içi fiyatlamaya farklılıkları) pazarı uzun vadeli olarak öngörülemez, ayrıca yan hizmetler de dünya genelinde uzun vadeli istikrarlı bir pazar oluşturmamıştır. Bu da yatırımcıların ek gelir öngörülerini kısıtlamaktadır. Günümüzde devrede olan PHES'lerin büyük çoğunluğu, kamu iştiraki ve mülkiyetinde geliştirilmiş ve finanse edilmiştir. Kamu şirketleri, üretim, iletim ve dağıtım tarafları ile PHES yatırımlarına dikey bir entegrasyon ile katılmışlardır.

Bu pazar koşullarında, PHES yatırımlarına dikey entegre olan kurumlar, projenin üretimi, yan hizmetler geliri ve şebekeye getirdiği ek faydalar nedeni ile iletim ve dağıtım alanlarında ek yatırım tasarrufu sağlamaları sayesinde PHES yatırımlarından fayda sağlamışlardır. [6, 9]

Serbest elektrik piyasalarında, yasa ve yönetmeliklerde oluşan belirsizlikler borçlanma maliyetlerini artırır, dolayısıyla yeni proje geliştirilmesini kısıtlar.

7. PHES FİNANSMAN MODELLERİ

PHES projelerinin nakit akış modelleri temel olarak üç ana sınıfta incelenebilir; "hizmet maliyeti", "direkt katılım" ve "sayaç öncesi grup". [5, 6]

Bazı durumlarda, modellemelerin karışık kullanımı ile nakit akış optimizasyonu yapılabilir.

7.1 Hizmet Maliyeti Modeli

Hizmet maliyeti modelinde, tesis gelirleri regüle edilmiş bir model ile temin altına alınır. İşletme giderlerini ve ek olarak da makul bir yatırım geri dönüş beklentisini karşılayacak bir gelir modeli sağlanır.

Genel olarak birden çok kamusal işletmecisi olan ve devlet tarafından regüle edilen yatırımlar için bu model uygulanır. Özellikle Çin'de oldukça yaygındır. Çin'de bu modelin çok farklı uygulamaları görülür. PHES'lerin büyük çoğunluğu, iletim ve dağıtım şirketlerine aittir.

7.2 Direkt Katılım Modeli

Bağımsız liberal elektrik piyasalarında düzenleme kurumları, depolama sistemlerinden genellikle kaçınmışlardır. Piyasanın rekabetçi tarafını ve serbest piyasada arz talep dalgalanmalarından gelecek kazançları engelleyeceği düşüncesi ayrıca PHES'lerin serbest piyasada haksız rekabet unsuru olacağı düşüncesi bu endişenin temel nedenidir.

Serbest piyasaya direkt katılım, liberal piyasa anlayışının

bir parçasıdır. PHES'ler diğer üreticiler ile rekabet edebilir.

Her bir pazara göre özel olarak, proje gelirleri farklı şekillerde elde edilebilir. Proje gelir kanalları kombine edilebilir. Farklı gelir kalemlerinin kombine edilmesi işlemi gelir dizilimi olarak adlandırılır. Projeyi finansal olarak yapılabılır düzeye getirir. Her bir gelir kaleminin farklı işletme koşulları nedeni ile bu modelin bazı zorlukları mevcuttur.

7.2.1 Enerji arbitraj piyasası

Enerji arbitraj piyasası, PHES projelerinin temel gelir kaynağıdır. Düşük talep ve piyasa fiyatının düşük olduğu periyotlarda üst rezervuara suyun pompalanması ve piyasa fiyatının yüksek, talebin yüksek olduğu periyotlarda ise türbin üzerinden enerji üretimi döngüsü, arbitraj piyasasının temel prensibidir. Pompaj/türbin döngüsünde bir diğer dikkate alınması gereken değişken, şebeke kullanım maliyetleridir. PHES'lerin işletme ömürleri dikkate alındığında, arbitraj piyasasının üzerinden gelir tahmini yapmak son derece zordur.

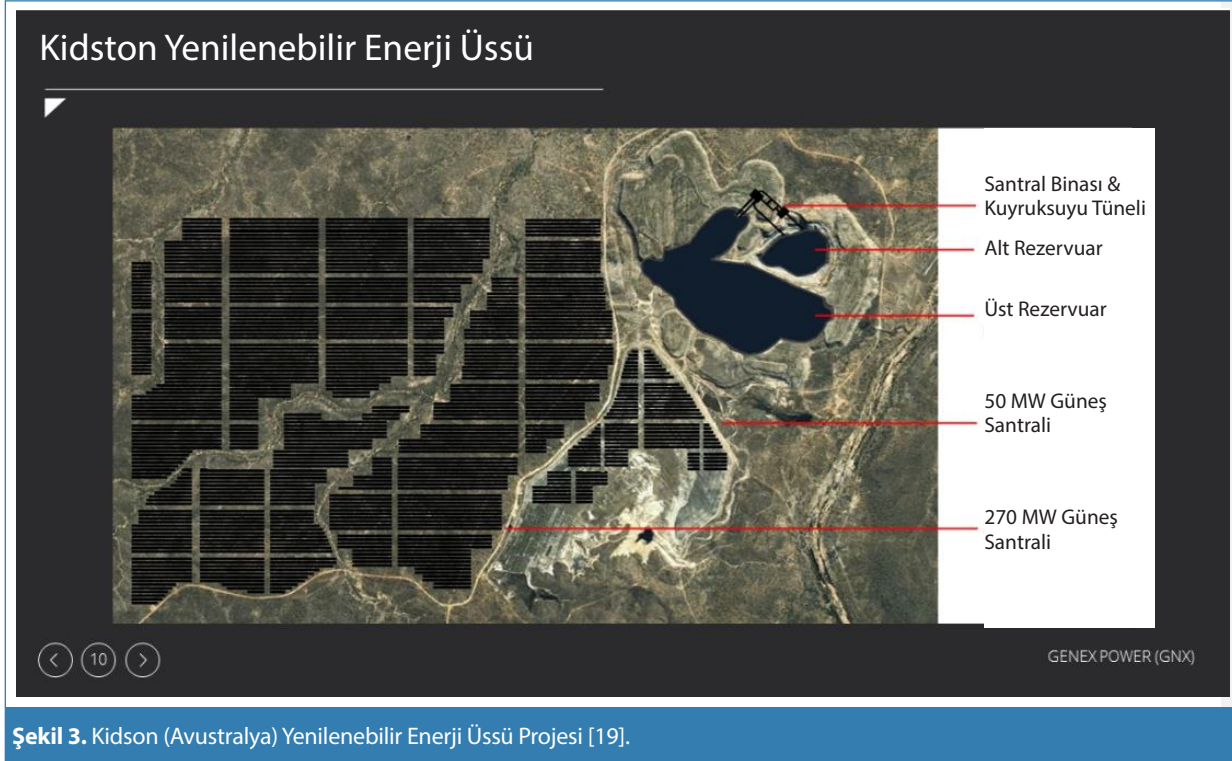
Pazar dinamiklerindeki potansiyel değişimlerin ve düzenlemelerdeki değişimlerin çok hassas bir şekilde modellenmesi gerekir. Tüm bu değişimler, piyasa fiyatları üzerinde etkilidir. Örneğin Almanya'da teşvik kapsamında üretim yapan rüzgar ve güneş enerjisi santralleri, arbitraj piyasasını daraltmıştır. Sonuç olarak mevcut santrallerin karlılık oranları negatif etkilenmiştir ve yeni yapılacak santrallerin finansman modellerinde ters etki yaratmıştır.

PHES geliştiricileri, aynı zamanda PHES'lerin doğal olarak sisteme katılımları ile daralacak arbitraj piyasası bandını da tahmin etmelidir. Enerji arbitraj piyasası, günümüzde tek başına yatırımı gerçekleştirmek için yeterli bir kalem değildir.

7.2.2 Uzun dönem anlaşmalar ve sabitlenmiş gelir

PHES yatırımcılarının enerji perakende ticareti firmaları ile, endüstriyel müşteriler ile, ya da devletler ile yaptıkları uzun süreli satınalma anlaşmaları modelidir. Bu modeldeki yapı gereği, tesisin işletmesi uzun vadeli öngörülebilir. Enerji alıcıları için bu model bir nevi sigortadır. Aşırı yüksek şebeke fiyatlarına karşı uzun vadeli maliyetler garanti altına alınabilir.

Bu modelin bir diğer ek gelir kalemi ise, kapasite mekanizması gelirleridir. Tüm elektrik şebekesinde emre amade işletmeye hazır bir kapasite bulunması bu modelin temel motivasyonudur. İngiltere örneğinde olduğu gibi,



Şekil 3. Kidston (Avustralya) Yenilenebilir Enerji Üssü Projesi [19].

PHES'ler dünyada birçok ülkede kapasite mekanizmasına dahil edilmiştir.

Kapasite mekanizmasının bir diğer avantajı, piyasa fiyat dalgalanmalarının önüne geçebilmesidir. Bazı ülkelerdeki yenilikçi bir yaklaşım, rüzgar ve güneş gibi değişken üretimli santral üretimlerinin "sistem düzenleyici" yani PHES'lere satılmasını içerir. Bu sayede, rüzgar veya güneş santralleri uzun dönemli ikili enerji anlaşmalarındaki yükümlülükleri düzgün şekilde yerine getirebilir. Bu model ile yapılan anlaşmalarda, uzun vadeli proje finansmanı mümkündür.

7.2.3 Yan hizmetler

Frekans dengelemesi ve devreye girme talepleri gibi enerji üretim piyasasına doğrudan ait olmayan yan hizmetler sınıfındaki ürünler, şebeke işletmecilerine belirli bir gelir karşılığı satılabilir. Yan hizmetlerin değeri genellikle ihale usulü belirlenir. Bazı şebekelerde yan hizmetler ürünleri, artan değişken yenilenebilir kaynakların entegrasyon yoğunluğu nedeni ile desteklenir, ancak tam olarak maddi karşılığı henüz değerlendirilememiştir.

Üretim tesisleri ataleti, yani mevcut santrallerin devreye girme ve emre amadelikleri, kömür ve gaz yakıtlı termik santrallerin giderek azalmaları nedeni ile gittikçe önem

kazanacaktır. Günümüzde bu model fiyatlandırılmamaktadır. Ancak önümüzdeki dönemlerde gittikçe önem kazanacaktır. Burada dikkate alınması gereken bir diğer konu, PHES'ler gibi şebekeye giren esnek unsurlar sonucu, yan hizmetlerde de piyasa koşulları gereği gelirler düşecektir.

7.3 Sayaç Öncesi Model

Sayaç öncesi modelde, üretim santrali tüketim ile aynı alanda bulunduğunda kullanılabilir. Otoprodüktör sisteme benzer bu uygulamada pik fiyat riski berteraf edilir ve sistem kullanım bedelleri de maliyetlerden düşülebilir.

Hibrid bir modelde, PHES enerji ihtiyacı yan santralden karşılanabileceği gibi serbest piyasaya üretim satışı ile gelir sağlanabilir. Avustralya'da bulunan 250 MW gücündeki Kidston projesine ek olarak, 270 MW ılık bir güneş enerjisi santrali kurulumu planlanmaktadır. Dünyanın en önemli hibrid projelerinden biri olan Genex'te, terk edilmiş iki altın madeni alt ve üst rezervuar olarak kullanılacak ve 250 MW kurulu güç ile 8 saat boyunca 2000 MWh pik enerji üretililecektir.

Kapalı devre sistemde yakında bulunan güneş santralinden elde edilen elektrik enerjisi ile alt rezervuardan üst rezervuar şarj edilebilir. Bu şekilde akşam saatlerinde oluşabilecek pik talepler rezervuardan karşılanacaktır.

8. PHES'LERİN DÜNYADAKİ DURUMU VE MEVCUT POTANSİYEL

Yeşil sertifikasyon şirketi CBI (Climate Bonds inisiyatifi) yakın zamanda PHES'ler için bir teşvik kriteri yayınlayacaktır.

2018 yılında 220 milyar USD değerinde yeşil enerji sertifikası yayınlanmıştır. 2007 yılında ilk kez devreye giren yeşil sertifikasyon sistemi son derece hızla büyümektedir. Bugüne dek PHES'ler dikkate alınmamıştır, ancak yenilenebilir enerji kaynak kullanımına paralel olarak artan depolama ihtiyacı, PHES'lerin de yeşil sertifikasyonun önemli bir parçası olduğunu kabullendirmiştir. Önümüzdeki yakın dönemde PHES'ler için de yeşil sertifikasyon kriterleri yayınlanacaktır. [14,12,13]

Küresel büyüme öngörülerine göre 2030 yılına kadar PHES'lerde 78 GW'lık ek kurulu güç beklenmektedir. Sadece 50 GW'lık kurulu ilave gücün Çin'de olması planlanıyor. Çin'de bu denli yüksek ihtiyacın ana sebepleri artan güneş ve rüzgar santralleridir.

Çin'de 2015 yılında yürürlüğe giren yapısal değişiklikler ile PHES sorumluluğu üretim şirketlerinden iletim şirketlerine aktarılmıştır. PHES'ler, Çin'in iki büyük iletim şirketi tarafından yapılmaktadır. Çin Elektrik İletim Şirketi SGCC ve Güney Çin Elektrik İletim Şirketi CSG, PHES'ler için en büyük iki yatırımcıdır.

Avrupa'daki PHES pazarında artış hızı daha ortalama seviyededir. 2030 yılına kadar ek 8-11 GW kapasite devreye girmesi planlanmaktadır. Bu kapasite gereksiniminin, tamamen sisteme yeni girecek yenilenebilir kaynakların dengelenmesi amaçlı olduğu bilinmektedir.

Ancak arbitraj piyasasındaki belirsizlik ve yan hizmetler gelir beklentilerindeki belirsizlikler, PHES'lerin önünde bir engeldir. Avrupa'da özellikle yeni PHES kapasitesi beklenen ülkeler, İsviçre, Avusturya, İngiltere, Portekiz ve Fransa'dır. Romanya, İrlanda ve Ukrayna'da koşulsal olarak ilave PHES'ler gündeminde olan ülkelerdir.

Çin ve Avrupa dışındaki pazarlarda ise, PHES ilave kapasiteleri özellikle Asya Pasifik bölgesinde beklenmektedir. PHES'ler için yeni bölgeler olan Ortadoğu'da da ilave kapasiteler beklenmektedir.

Hindistan, Endonezya, Filipinler ve Tayland'da birçok yeni proje gündemdedir. Bu projeler sadece artan yenilenebilir enerji oranı nedeni ile değil, aynı zamanda çeşit-

lenen enerji santrali tipleri ve dengeleme gereksinimleri nedeni ile planlanmıştır. [14,12,13]

Avustralya'da, hükümet tarafından birçok PHES projesine destek ve teşvik mekanizmaları açıklanmıştır. En büyüğü 2 GW'lık Snowy 2.0 projesidir. Yine benzer bir şekilde artan yenilenebilir enerji santralleri ve yakın dönemde devredışı kalması beklenen bazı kömür santralleri bu desteklerin nedenidir.

Ayrıca İsrail, Fas ve İran'da planlanan projeler ile birlikte toplam 1.000 MW'lık bir ek kapasite öngörülmektedir. Birleşik Arap Emirlikleri ile Mısır da şebekelerine PHES ilavesi yapılacağını duyurmuşlardır. Detaylı ve güncel ilerleme durumu için 2017 Kasım ayından itibaren yayınlanmakta olan IHA Uluslararası Hidroelektrik Ajansı'nın canlı izleme linki üzerinden küresel gelişme seyredebilir [20].

Dünyada özellikle kapalı devre PHES potansiyeli de gözönüne alındığında, oldukça yüksek bir kapasiteden bahsedilebilir. Birçok ülkede gelişmiş fizibilite çalışmaları yürütülmüştür, örneğin Avustralya'da 22.000 MW PHES ve 67 TWh depolama kapasitesi hesaplanmıştır. Ülkenin tamamının yenilenebilir enerji kaynakları ile beslenebilmesi için en iyi 20 proje bu projeler arasından seçilebilir. Sulama barajları da yine aynı şekilde PHES'ler için önemli bir potansiyeldir. Sadece bu kaynakların kullanımı ile ABD'de 12.000 MW'lık PHES kapasitesi ek olarak kurulabilir. [6,14,12,13]

Mevcut uygun sulama havzalarının ve hatta hidroelektrik santrallerin PHES'lere dönüşümü şartlar elverdiğinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlarlar, aynı zamanda risk azalır. Yine Los Angeles'da Hoover barajında bir PHES ek yapılması planlanmaktadır. Pik talep dışındaki düşük saatlerde alt rezervuardan üst mevcut rezervuar şarj edilecektir. [8]

9. SONUÇ

Sonuç olarak, küresel ölçekte artan rüzgar ve güneş enerjisi santrallerinin ulusal şebekelerde daha yüksek oranda yapılabilmesi için depolama teknolojilerinin kullanılması zorunludur. Öncelikli olarak PHES'ler, destek olarak akü sistemleri ve diğer depolama çeşitleri yenilenebilir enerji ile birlikte sağlıklı bir şebeke için gereklidir. Geleceğin enerji çeşitliliği şebekelerde yüksek esneklik isteyecektir. Ancak, birçok ülke bu hızlı artışa karşılık gerekli tedbirlerin alınması konusunda geride kalmıştır.

PHES'ler maliyeti uygun, teknik olarak kendini kanıtlamış ve çevre hassasiyeti açısından avantajları olan santrallerdir. Yapılması gereken, düzenleme kurumları ve hükümetlerin yenilenebilir enerji dönüşümünde gerekli teşvik ve yönetmeliklerin hazırlanmasıdır.

Yenilenebilir enerji dönüşümünü geleceğe dair prensip olarak benimsemiş tüm ulusal şebekelerin ileriye dönük olarak aşağıdaki önlemleri alması gerekir:

- Tüm dünyada başarılı PHES uygulamalarında hangi yönetmelikler, hangi izin süreçleri, sistem kullanım bedelleri kullanılmıştır? Aynı zamanda özel sektörün yatırımı üstlenmesi için ne tür teşvikler gereklidir?
- Elektrik şebeke işletmecisinin bakışı ile, şebeke hangi esnekliğe dayanabilir ve bir simülasyon ile şebekede gerekli ek yatırımlar nelerdir, PHES ya da depolama sistemlerinin şebekeye entegrasyonları ile bu maliyetlerden ne kadar tasarruf edilebilir?
- PHES ve diğer depolama sistemleri, özellikle akü sistemleri entegre olarak nasıl çalıştırılabilir? Dünya üzerinde mevcut PHES'lerde toplam ne kadarlık potansiyel enerji depolanmaktadır? PHES'lerin yeşil sertifikasyon kabiliyetleri ve sera gazı salınımlarında rolleri, karşılaştırmalı olarak diğer depolama sistemlerinin çevresel etkileri de dikkate alınarak araştırılmalıdır.

Ülkemizde yenilenebilir enerji alanında özellikle son on yılda göze alıcı bir başarı sağlandı. Şebekelere yenilenebilir enerjinin entegrasyonunda sağlıklı ve dengeli bir büyümenin yönetimi için, depolama teknolojilerinin kullanılması kaçınılmaz bir gerekliliktir. Pik tüketim – yenilenebilir enerji arzının minimum olduğu sağlıklı şebekeye bir örnek olabilecek marjinal senaryolarda, kWh maliyetleri bir anda 10.000 USD/MWh mertebelerine çıkabilir. [8]

Bu tür olumsuzluklarla karşılaşılmasını için,

- Dengeli bir şebeke ile daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklı bağımsız bir strateji, [4]
- Yerli sanayinin teşviği, [4]
- İstihdamın sağlanması,
- Uluslararası marka yaratılabilmesi,
- Önümüzdeki dönemde devreye alınması planlanan nükleer enerji santrallerinin dengelenmesi,
- Aniden sayısı artacak elektrikli araçların yaratacağı sorunların karşılanabilmesi,

- Teknolojinin hayat standardı yüksek modern bir toplumda olması gereken kişi başı elektrik tüketimi (şu andaki seviyenin üç katı) seviyesine ulaşması [1, 5, 6]

gibi birçok nedenden dolayı, depolama sistemlerinin ülkemize acilen kazandırılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

1. www.dsi.org.tr (T.C. Devlet Su İşleri)
2. www.enerji.gov.tr (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı)
3. www.epdk.org.tr (T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu)
4. emo.org.tr (Türkiye Elektrik Mühendisleri Odası)
5. hydropower.org (uluslararası hidroelektrik enerji derneği)
6. **Swain, M.** "Pumped Storage Hydro Power Plant", Hydro Power, November 2013
7. www.teias.gov.tr (T.C Elektrik İletim A.Ş.)
8. Roadmap to Secure Control Systems/US Department of Homeland Security
9. World Water Council & EDF Multipurpose Water Uses of hydropower Reservoirs
10. CAT/www.climateactiontracker.org/methodology/paris-temperature-goal/ (İklim değişikliği Ajansı, Paris anlaşması küresel ısınma sıcaklık hedefleri)
11. CAT www.climateactiontracker.org (İklim Değişikliği Ajansı)
12. www.iea.org (Uluslararası Enerji Ajansı)
13. www.ren21.net (21. Yüzyıl yenilenebilir enerji ağı)
14. www.irena.org (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı)
15. <https://www.ge.com/renewableenergy/>
16. Less sunshine, wind and rain could cast shade on renewableenergy, May17, 2016 BSTasmania's hydro power is dependent on rains. Authors 1. Roger Dargaville Deputy Director, Energy Research Institute, University of Melbourne 2.Jane Mullett Research Fellow, School of Engineering (environmental engineering), RMIT University, RMIT University
17. International Renewable Energy Agency (<https://www.irena.org/hydropower>)
18. EPRI Electric Power Research Institute/Assessment of Waterpower Potential and Development Needs
19. <https://www.genexpower.com.au>
20. <https://www.hydropower.org/hydropower-pumped-storage-tool>
21. www.epias.com.tr (Enerji Piyasası İşletme Anonim Şirketi)
22. www.tedas.gov.tr (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.)