



# ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ VE POMPAJ DEPOLAMALI HES PROJELERİ



ISBN: 978-625-94054-2-1  
2. BASKI



# ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ VE POMPAJ DEPOLAMALI HES PROJELERİ

EURELECTRIC TÜRKİYE HİDRO ÇALIŞMA GRUBU

eurelectric  
*Türkiye*

KASIM 2024



## TÜRKİYE ELEKTRİK SANAYİ BİRLİĞİ TİCARİ İŞLETMESİ

Mustafa Kemal Mahallesi, Dumlupınar Bulvarı 7. Km No:  
166 Çankaya/ANKARA  
Yayıncı Sertifika No: 53255  
[www.tesab.org.tr](http://www.tesab.org.tr) • [tesab@tesab.org.tr](mailto:tesab@tesab.org.tr)

TESAB YAYINLARI-3  
ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ VE POMPAJ  
DEPOLAMALI HES PROJELERİ 2. BASKI  
ISBN: 978-625-94054-2-1

**Genel Yayın Direktörü**  
Ayten Sümer

**Yayına Hazırlayanlar**  
Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu

**Tasarım ve Baskı**  
Basım Yeri: MTA Genel Müdürlüğü Matbaası  
Adres: Çukurambar Mh. Dumlupınar Blv. No:11  
Çankaya /Ankara  
Tel. : 0312 201 1000  
e-mail: [bilimsel\\_dairesi@mta.gov.tr](mailto:bilimsel_dairesi@mta.gov.tr)  
Yayın Türü: Süresiz Yayın  
Basım Tarihi : 02.12.2024

Bu yayının bütün hakları saklıdır.

© 2024, TESAB 2. Baskı

Bu yayının hiçbir kısmı herhangi bir formda izin alınmadan satılamaz ya da satılmak için çoğaltılamaz.

Ancak kaynak belirtme koşuluyla, izin alınmaksızın bu yayından alıntı yapılabilir.

## HAZIRLAYANLAR

Bu çalışmanın hazırlanmasında Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu üyelerinden oluşan ve gönüllülük esasıyla emeği geçen ve katkı sağlayan isimler aşağıda verilmiştir.

## HAZIRLAYANLAR

Muzaffer BAŞARAN

Furkan YARDIMCI

Dr. Hüseyin AYDIN İzzet

Mert KESİMAL Çağlayan

SABAH Erençül ŞANDIR

VURAL Fırat ÖZMEN

Metin ÖZDEMİR Mustafa

Özan İLASLI Oğuzhan

USTA

Veli GÜRSES

Yasin GÖR

Yasin ŞİMŞEK

Ayten SÜMER

## EDİTÖRLER

Ayten SÜMER

Muzaffer BAŞARAN

Furkan YARDIMCI

Zafer SONBAY

Selma ÜLKER

Oğuzhan ARI

İlknur ATAN

# Teşekkür

Yenilenebilir ve yeşil enerji'nin yanı sıra iklim değişikliği ve karbonsuzlaşmanın oldukça önemli hale geldiği son yıllarda Enerji Depolama ve Pompaj Depolamalı HES konusundaki bu raporun hazırlanmasında bizlere desteklerini esirgemeyen ve motive eden; başta TESAB Yönetim Kurulu Başkanı Zafer Benli olmak üzere Yönetim Kurulu üyelerimize teşekkürlerimizi sunarız.

Süreç boyunca desteklerinden dolayı EÜAŞ Genel Müdür Yardımcısı Mithat Yüksel'e, EÜAŞ Hidrolik Santraller Daire Başkanı Etem Camcı'ya, EÜAŞ Strateji Geliştirme Daire Başkanı Yücel Kartal'a, Selma Ülker ve İlknur Atan'a, TESAB Genel Sekreteri Ayten Sümer'e ayrıca teşekkür ederiz.

Çalışmanın enerji ve diğer tüm paydaş sektörlerine faydalı olmasını temenni ederiz.

## ÖNSÖZ

TESAB olarak ülkemizi, Avrupa'dan 32 ülke temsilcisinin tam üye olarak bulunduğu, 3500 şirket ve binlerce uzmanın dahil olduğu Eurelectric'te temsil ediyoruz. Avrupa elektrik enerjisi sektörünün politika ve stratejilerine yön veren Eurelectric bünyesindeki çalışma gruplarında yer alan temsilcilerimiz aracılığıyla elektrik sektörümüzün bilgi birikimine ciddi katkılar sağlıyoruz.



Bu temsilcilerimiz vasıtasıyla, Avrupa ve Türkiye elektrik enerjisi sektörünü doğrudan ilgilendiren birçok uluslararası raporun parçası oluyoruz.

Uluslararası çalışmalarımızın yanında ülkemizde oluşturduğumuz ayna çalışma gruplarıyla da ulusal bazda başarılı yayınların altına imza atıyoruz. Kamu, özel sektör temsilcileri ve akademisyenlerden oluşan; sayıları 250'yi bulan gönüllülerimizle sektörümüze ciddi zihni katkılar sunan birçok yayın ortaya koyduk.

Sahip olduğumuz kurulu güç açısından Avrupa'nın lider, dünyada ise 9. sırada yer aldığımız hidroelektrikte de Pompaj Depolamalı HES konusuna ülkemizde ilk defa değinen bu yayını ortaya çıkarmaktan büyük bir memnuniyet duyuyoruz.

Bu kitapta, tüm dünyada gündemde her geçen gün daha fazla yer tutan "Enerji Depolama Teknolojileri ve Pompaj Depolamalı HES Projeleri" analiz edildi. PDHES ile diğer enerji depolama teknolojileri arasındaki farklar, dünyada PDHES'lerin durumu ve örnekleri, ülkemizdeki pompaj depolamalı HES çalışmaları detaylı incelemesi ve çevre etkileri de ele alındı.

Ülkemiz enerji sektörüne katkı sağlayacağına inandığımız bu dokümana, analizleri ve araştırmaları ile katkı sağlayan Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu üyelerimize teşekkür eder, 2. baskının sektöre faydalı olmasını temenni ederim.

### Zafer BENLİ

TESAB Yönetim Kurulu Başkanı

*Kurulu güç açısından Avrupa'nın lider, dünyada ise 9. sırada yer aldığımız hidroelektrikte de Pompaj Depolamalı HES konusuna ülkemizde ilk defa değinen bu yayını ortaya çıkarmaktan büyük bir memnuniyet duyuyoruz.*

# İÇİNDEKİLER

HAZIRLAYANLAR .....	3
TEŞEKKÜR .....	4
ÖNSÖZ .....	5
ÖZET/SUMMARY .....	9
GİRİŞ .....	10
<hr/>	
<b>1. ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ .....</b>	<b>12</b>
1.1. Enerji Depolama Nedir? .....	14
1.2. Enerji Depolamanın Teknik ve Ekonomik Avantajları .....	14
1.3. Enerji Depolama Teknolojilerine Giriş .....	15
1.3.1. Enerji Depolama Teknolojileri Sınıflandırma ve Mukayese .....	16
1.3.2. Dünya’da Enerji Depolama Teknolojileri Kullanımı .....	18
1.3.3. Enerji Depolama Teknolojileri Detaylı Tanımları .....	19
1.3.4. Enerji Depolama Teknolojilerinin Değerlendirilmesi .....	28
<hr/>	
<b>2. POMPAJ DEPOLAMALI HES .....</b>	<b>30</b>
2.1. Tanım ve İşleyişi .....	32
2.2. Pompaj Depolamalı Santrallerin Tarihçesi .....	34
2.3. Pompaj Depolamalı HES - Ülke İncelemeleri .....	36
2.3.1. Avrupa İncelemesi .....	36
2.3.1.1. Almanya, Avusturya ve İsviçre .....	40
2.3.1.2. İspanya - Portekiz .....	43
2.3.1.3. İtalya .....	44
2.3.1.4. İskandinav Ülkeleri .....	45
2.3.1.5. İngiltere, İskoçya .....	46
2.3.1.6. Fransa .....	47
2.3.1.7. Doğu Avrupa Ülkeleri .....	50
2.3.2. Avrupa Genel Değerlendirme .....	51
2.4. Eurelectric PDHES incelemesi .....	55

2.5. Diğer Dünya Ülkeleri İncelemesi .....	58
2.5.1. Çin.....	58
2.5.2. Japonya.....	59
2.5.3. Amerika Birleşik Devletleri (ABD).....	60
2.5.4. Hindistan.....	63
2.5.5. Avustralya .....	64
2.5.6. Güney Afrika Cumhuriyeti.....	65
2.6. Dünyada 1000 MW üzeri PDHES Projeleri .....	65
2.7. Açık Deniz Pompaj Depolamalı HES.....	68
2.7.1. Deniz Tipi PDHES Avantaj ve Dezavantajları .....	70
2.8. Ülke Değerlendirmeleri Sonucu.....	71
<b>3. POMPAJ DEPOLAMALI HES MALİYET-FİNANSMAN VE İŞLETME GİDERLERİ .....</b>	<b>76</b>
3.1. PDHES Projelerinde Doğrudan ve Dolaylı Maliyet Bileşenleri .....	78
<b>4. TÜRKİYE'DE POMPAJ DEPOLAMALI HES.....</b>	<b>80</b>
4.1. İhtiyaç Analizi .....	81
4.2. Türkiye'de Pompaj Depolamalı HES Projelerinin Tarihçesi .....	83
4.3. Yasal Gelişmeler .....	84
4.4. Ülkemizdeki PDHES Potansiyeli .....	87
4.5. Ülkemizde Pompaj Depolamalı Santral Projelerine İlişkin Çalışmalar.....	90
4.6. Sonuç ve Değerlendirme .....	95
<b>5. POMPAJ DEPOLAMALI HES ÇEVRE ETKİLERİ.....</b>	<b>100</b>
5.1. PDHES Avantajları ve Dezavantajları.....	101
5.2. Karbonsuzlaştırmaya ve Çevreye Etkileri.....	104
<b>6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>108</b>
<b>7. KAYNAKLAR .....</b>	<b>112</b>
<b>8. YAZARLAR ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>114</b>



*Pompaj  
depolamalı  
hidroelektrik  
santrallar bilinen  
en eski depolama  
yöntemidir.*



## ÖZET

Ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınmasında vazgeçilmez temel taşlardan birisi kuşkusuz enerjidir. Ayrıca üretim faaliyetlerinin ana hammaddesi olan enerjinin sürekli, güvenilir ve en uygun maliyetle temin edilmesinin toplum refah seviyesinin belirlenmesinde ve ülkelerin gelişmişlik düzeylerinde önemli bir rolü vardır. İçinde bulunduğumuz 21. yüzyılda gelişen teknoloji ile enerji kaynakları çeşitlenmiş, artan nüfus ile enerji tüketimi artmış olup iklim değişikliği nedeniyle karbonsuzlaştırmanın kaçınılmaz hale gelmesinin bir sonucu olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi teşvik ve tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra, enerjinin kesintisiz ve güvenilir sağlanabilmesi için “depolama teknolojileri” gittikçe önem kazanmaya başlamıştır. Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller bilinen en eski depolama yöntemidir. Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerinin kuruluş amacı; pik talebin karşılanması, sistem frekansının dengelenmesi ve aynı zamanda potansiyel enerji şeklinde depolanan suyun tekrar tekrar kullanımının sağlanmasıdır. Bu yayında depolama kavramından başlayarak mevcut depolama teknolojileri irdelenmiş, avantaj ve dezavantajları sıralanmış, dünyada ve ülkemizde mevcut PDHES’ler ve diğer depolama teknolojilerine göre avantaj ve dezavantajları, gelişmeler sunulmaya çalışılmıştır.

## SUMMARY

*Undoubtedly, one of the indispensable cornerstones in the economic and social development of countries is energy. In addition, the continuous, reliable and cost-effective supply of energy, which is the main raw material of production activities, has an important role in determining the welfare level of the society and the development level of the countries. In the 21st century we live in, energy resources have diversified with the developing technology, energy consumption has increased with the increasing population, and as a result of the inevitable decarbonization due to climate change, electricity generation from renewable energy sources is encouraged and preferred. In addition, “storage technologies” have become increasingly important in order to provide uninterrupted and reliable energy. Pumped storage hydroelectric power plants are the oldest known storage method. The purpose of establishment of pumped storage hydroelectric power plants; meeting peak demand, balancing the system frequency and at the same time ensuring the repeated use of stored water in the form of potential energy. In this publication, starting from the concept of storage, current storage technologies are examined and their advantages and disadvantages are listed. The advantages and disadvantages of PDHES compared to other storage technologies have been tried to be presented.*

## GİRİŞ

Enerji; toplum hayatında önemli bir yere sahiptir. Nitekim “enerji”, günlük hayatın belirli bir konfor ve standart düzeyinde sürdürülebilmesi için gerekli temel ihtiyaçlar arasındadır. Elektrik enerjisi, ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel kilometre taşlarından olduğu gibi üretim faaliyetlerinde de temel girdi olarak sayılmaktadır. Sanayi devriminden bu yana çeşitli kaynaklarla gelişen teknolojiler çerçevesinde üretilen elektrik enerjisi; küresel ısınma, iklim değişikliği, çevre kirliliği, sera gazları vb. nedenlerle temiz enerji teknolojilerinin geliştirilerek düşük/sıfır karbon ile elektrik üretilmesine yönelik çalışmalar küresel ölçekte önem kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimi ülkelerin enerji üretimindeki payı gittikçe artmakla beraber iklim şartlarına, coğrafi şartlara ve doğa koşullarına bağlı olarak üretilen elektrik miktarı değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle elektriğin güvenilir ve sürekli arzının sağlanması amacı ile depolama teknolojileri ön plana çıkmıştır. Barajlı hidroelektrik santraller tüm dünyada bilinen en eski depolama tesisleridir.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) Ocak 2022'de yayınladığı rapora göre tüm dünyada elektrik talebinde, Covid 19 salgını sürecinde 2020 yılında yaşanan bir miktar düşüş sonrası, 2021 yılında %6 artmıştır. Bu artış 2011 yılından bu yana yaşanan en yüksek artış olarak belirlenmiştir. Yenilenebilir enerjinin payı ise, özellikle hidroelektrik enerji için, olumsuz hava şartlarına rağmen, %6 civarında gerçekleşmiştir. (IEA Global Market Report, s.6)

Temmuz 2022 sonu itibarı ile 101.814,5 MW olan toplam kurulu gücümüzün 31.568 MW'ı HES'lerden oluşmaktadır. Hidroelektrik kaynak penceresinden bakıldığında Avrupa'da ikinci sırada olan ülkemizde 23.275 MW barajlı HES Kurulu gücümüz ile depolama açısından bakıldığında da önemli bir güce sahip olduğu görülmektedir (TEİAŞ, 2022).

Avrupa Komisyonu tarafından 2019 yılı sonlarında açıklanan “Yeşil Mutabakat” ile 2050 yılına kadar karbon nötr ilk kıta olma hedefi koyulmuş ve bu çerçevede ülkeler söz konusu hedef doğrultusunda kendi yol haritalarını, stratejilerini, hedeflerini, teknik ve ekonomik boyutları ile açıklamışlardır. 2021 yılında Türkiye'nin de onayladığı Paris İklim Anlaşmasıyla birlikte dünya ülkeleri iklim değişikliği/çevre koruma alanında yapacağı çalışmaları duyurmakta ve bu doğrultuda planlarını açıklamaktadırlar. Isıtma, soğutma sistemleri, ulaşım vb. sektörlerde elektrifikasyon ön plana çıkmakta, bu çerçevede yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi de giderek yükselmektedir.

*Pompaj Depolamalı  
HES'lerin Ülkemizin  
“Yerli ve Milli  
Enerji” politikasına  
katkı sağlayacağı  
düşünülmektedir.*

Sistem esnekliğinin sağlanması amacı ile yenilenebilir enerji kaynaklarının payının yükseldiği bu süreçte toplumsal yaşamın ve ekonominin sürdürülebilirliği için depolama sistemleri de giderek önem kazanmaktadır. Ülkeler için “sistem işletmeciliği” perspektifinden yaklaşıldığında yenilenebilir enerji kaynakları ve depolama tesislerinin önemi açıktır.

Dünya genelinde enerjinin elektrik olarak depolanmasına yönelik Ar-Ge çalışmaları yürütülmektedir. Söz konusu Ar-Ge çalışmaları çerçevesinde, maliyet ve verimlilik açısından optimum teknolojilerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Yenilenebilir enerji ve enerji depolama sistemleri, günümüz modern şebeke işletmesi için vazgeçilmez unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Enerji depolama sistemleri elektriğin farklı enerji biçimlerine dönüştürülerek depolanması ve ihtiyaç halinde kullanılması sistemine dayanmaktadır. Bu depolama sistemleri; manyetik enerji, elektrik enerjisi, mekanik enerji (PDHES’ler), kimyasal enerji şeklinde dört kategoriye ayrılabilir. Büyük ölçekte enerji depolanması hususunda bunlardan sadece Pompaj Depolamalı HES’ler ve basınçlı hava depolama (BHD) yöntemleri teknolojik ve ekonomik olarak uygun yöntemler olarak sektörde kabul görmektedir. Yenilenebilir enerji üretiminin en eski biçimi olan hidroelektrik enerjisinin, giderek artan şekilde rüzgâr ve güneş enerjisi üretiminin egemen olduğu şebekeleri destekleyerek yeni enerji ortamında benzersiz bir role sahip olduğu görülmektedir.

Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santralleri (PDHES) diğer elektrik depolama yöntemlerinden depolama kapasitesinin büyüklüğü ve çalışma verimliliği bakımından ayrılmaktadır. PDHES’lerin temiz bir enerji kaynağı olduğu ve şebeke esnekliği gibi konularda da faydaları olduğu görülmektedir. Ülkemizin hidroelektrik enerji potansiyeli bakımından Avrupa’da ilk sıralarda yer aldığı da göz önüne alındığında; pompaj depolamalı HES’lerin Ülkemizin “Yerli ve Milli Enerji” politikasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

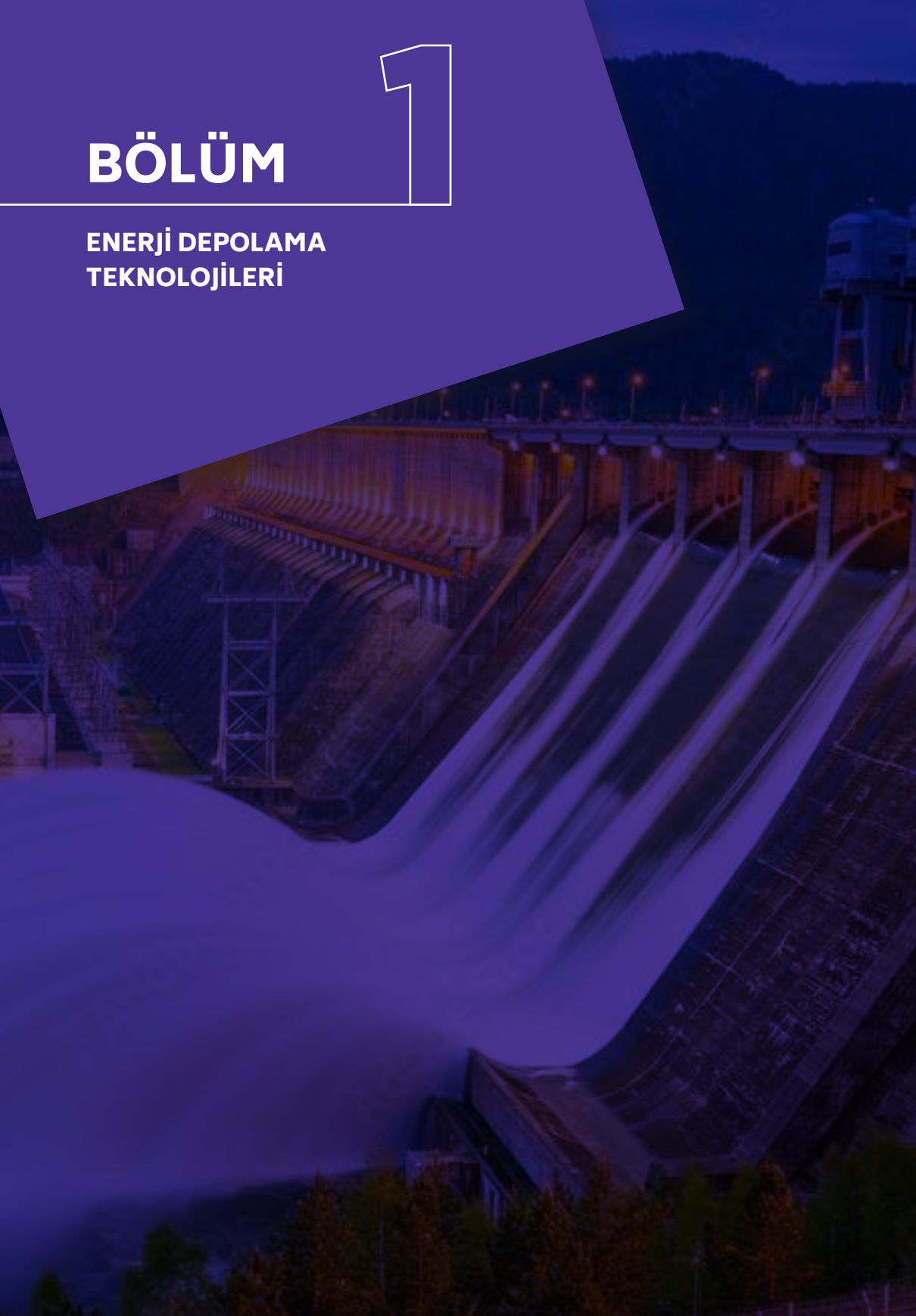
Ülkemizde TESAB bünyesinde yer alan Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu tarafından hazırlanan “Enerji Depolama Teknolojileri ve Pompaj Depolamalı HES Projeleri” yayınının temel amaçları şöyle sıralanabilir;

1. Enerji depolama nedir, enerji depolama tekniklerinin kısaca anlatımı, avantaj ve dezavantajları,
2. PDHES ile diğer enerji depolama teknolojileri arasındaki farklar, avantaj ve dezavantajları, güncel gelişmeler,
3. Dünyada PDHES’lerin durumu/örnek projeler, gelişmeler, toplam kurulu güçleri ve uygulamaları,
4. Ülkemizdeki Pompaj Depolamalı HES çalışmalarının tarihçesi bugüne kadar yapılan çalışmalar
5. Çevre etkileri

# BÖLÜM

# 1

## ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ



# 1. ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ

Enerji depolama son zamanlarda enerji sektöründe en çok konuşulan konulardan biridir. Özellikle Paris İklim Anlaşması ve Avrupa Yeşil Mutabakatı sonrasında ülkelerin emisyon azaltma konusunda iddialı hedefler ortaya koyması ve bu hedefe ulaşmak için son derece önemli olan yenilenebilir enerjinin toplam kurulu güçteki payının artmasıyla yenilenebilir enerjinin daha öngörülebilir hale getirilmesi için enerji depolama konusunun önemi artmaktadır.

İklim değişikliği boyutunda alınan önlemler ve yenilenebilir kaynakların kesikli ve düzensiz doğası, elektrik şebekesi üzerinde yarattığı olumsuz etki ve düşük emre amadeliliği nedeniyle bağlantı kapasitesi sınırlı kalmaktadır. Bu temel soruna önemli bir çözüm enerjinin depolanmasıdır. Elektrik üretiminde ihtiyaç fazlası enerjinin depolanması ile kesikli ve düzensiz elektrik üretiminin olduğu zamanlarda şebekeye geri verilmesi, sürekli enerji arzını mümkün kılmakta ve mevcut kaynakların etkinliğinin artırılmasını sağlamaktadır. Geçmişten günümüze farklı tip enerji depolama teknolojileri (mekanik, termokimyasal, kimyasal, elektriksel ve elektrokimyasal) teorik olarak geliştirilmiş, ancak bu teknolojilerden çok azı büyük ölçüde ticari üretime geçebilmiştir.

Enerji depolama ile bir yandan enerjinin kullanıldığı alanlarda oluşan atık enerjinin depolanması, diğer yandan, yalnız belirli zamanlarda enerji verebilen yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisinin depolanarak enerji temin zamanı ile talebi arasında doğabilecek farkın giderilmesi amaçlanmaktadır (Enerji Görünümü, 2021).

Dünyada enerji ihtiyacının büyük bölümü uzun yıllardır doğalgaz, petrol ve kömür gibi geleneksel enerji kaynakları kullanılarak karşılanmaktadır. Bununla beraber dünyada enerji talep ve ihtiyacı her gün artış göstermekte, bunun neticesinde de geleneksel yakıt ihtiyacı giderek artmaktadır. Diğer yandan bahse konu geleneksel yakıt rezervleri sınırlıdır ve artış gösteren enerji ihtiyacına bağlı olarak da giderek azalmaktadır. Bu da yakın ve orta gelecekteki üretim ve tüketim dengesini tehlikeye düşürmektedir.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de teknolojik gelişmeler, artan nüfus, sanayileşme gibi nedenlerden dolayı enerji üretimi ve tüketimi arasındaki fark hızla büyümekte arz/talep dengesini sağlamak önem kazanmaktadır. Ülkemizde enerji ihtiyacı kısıtlı kaynaklar ile karşılanmakta, bu nedenle mevcut enerji kaynaklarımızın daha verimli ve etkili bir biçimde kullanılması ve alternatif enerji kaynaklarının değerlendirilmesi gerekmektedir.

*Enerji üretimi ve tüketimi arasındaki fark hızla büyümekte arz/talep dengesini sağlamak önem kazanmaktadır.*

tedir. Fakat bahse konu alternatif enerji kaynaklarının çoğu doğa koşullarına bağımlı olması nedeni ile bu kaynaklar ile üretilen enerji miktarı yıllık, günlük, saatlik ve hatta anlık olarak bile büyük değişimler gösterebilmektedir. Bu durum üretilen enerjinin, enerji talebi ile örtüşmemesine neden olmaktadır. Bu yönden, toplam enerji ihtiyacının her koşulda karşılanabilmesi için enerji depolama oldukça büyük öneme sahip olmaktadır. Bahse konu alternatif enerji kaynaklarından üretilen enerji fazlası farklı tür enerji depolanma ünitelerine aktarılmakta, depolanan enerji ise ana kaynakların mevcut olmadığı ya da yetersiz olduğu durumlarda enerji talebinin karşılanmasında kullanılmaktadır. Özellikle, şebekeden bağımsız uygulamalar üzerine enerji depolama sistemlerinin araştırılması ve incelenmesi büyük önem arz etmektedir.

## 1.1. Enerji Depolama Nedir?

Enerji depolama; bir cihaz veya depolama ortamı içerisinde enerjinin elektriksel, kimyasal veya ısı gibi farklı formlarda saklanarak ihtiyaç duyulduğunda istenilen yerde kullanılmaya hazır olması için yapılan işlemlere denir.

Enerji depolama basit olarak aşağıdaki gibi tarif edilebilir. (Kozak&Kozak, 2012, ss 18-20)

- » Enerji depolama, ihtiyaç dışı elektriğin başka bir enerji formuna dönüştürülmesi ve onun da minimum kayıpla tekrar elektriğe dönüştürülmesidir. Bu, elektrik arzı ve talebi arasındaki farkı azaltmak için yapılır. Enerji depolama, hem konvansiyonel elektrik üretim kaynaklarına hem de yenilenebilir enerji kaynaklarına uygulanabilir.
- » Enerji depolama yük dağıtım kabiliyetini artırır, talep artışında elektrik enerjisini sağlar ve arz ve talep arasındaki farkı azaltarak yeni santral yatırım ihtiyacını azaltır.

## 1.2. Enerji Depolamanın Teknik ve Ekonomik Avantajları

Enerji depolamanın avantajları kısaca üç başlık altında ele alınabilir (Özdemir & Erhan & Aktaş, 2016, ss. 502-503).

### Enerji transferi

- » Konvansiyonel Enerji Üretimi: Enerji depolama, geçici üretim kaybını ve puant talepteki ani fırlamayı telafi eder ve önceden satış anlaşması yapılmış ticari bir ilişkide ani talep artışını karşılayarak cezadan kaçınmayı sağlar.
- » Yenilenebilir Enerji Üretimi: Elektriğin depolanması, arz edilen elektriği daha öngörülebilir hale getirerek ona değer katar. Tabi ki burada depolama maliyeti dikkate alınmalıdır.

## Şebeke tasarrufu

- » Elektrik enerjisi şebekeleri çok sayıda üretim ünitelerinden, çeşitli gerilim seviyesinde iletim ve dağıtım hatlarından, trafo merkezlerinden ve farklı enerji ihtiyacı olan çok sayıda tüketiciden oluşmaktadır.
- » Tüketici talebinde puant yükü ortalama yük arası oran bazen yüzde 10'a kadar çıkmaktadır. İletim hatları ortalama yük seviyesine göre değil de puant yüke göre dizayn edildiklerinden boyutların büyümesine yol açmaktadır.
- » Enerji depolaması iletim, dağıtım hatlarının ve trafo merkezlerinin daha düşük seviyelerde dizaynına imkân verecektir.

## Kinetik avantaj

- » Enerji depolama talebe hemen cevap verebilme imkânı sağladığından çeşitli gerilim seviyelerinde şebekeye esneklik sağlayacaktır. Şebekedeki dengesizlik, muhtemelen önceden öngörülebilir geçici üretim eksikliğinden kaynaklanabilir.

## 1.3. Enerji Depolama Teknolojilerine Giriş

Günümüz teknolojisinde biyolojik depolama, ısı depolama, kimyasal depolama, potansiyel enerji, kinetik enerji gibi çok değişik formlarda depolama yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin kullanılma amacı, belirli zamanlarda enerji verebilen yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisini depolanması, enerji temin zamanı ile talebi arasında doğabilecek farkın giderilmesi ve enerjinin kullanıldığı alanlarda oluşan atık enerjinin depolanmasıdır.

Elektrik üreten kuruluşlar, elektrik tüketimindeki ani artışları karşılamak için çoğu zaman özel imkânlarını (gaz türbinleri ve dizel motorları gibi) devreye almaktadır. Enerji depolama sistemlerinin kurulması bazı olumsuzlukları ortadan kaldırmaktadır. Bu olumsuzlukları özetleyecek olursak:

- » **Tüketimdeki ani artışların karşılanması için santrallerdeki ilave/özel imkânlarını (gaz türbinleri ve dizel motorları gibi) devreye sokulması sonucu verim kayıplarının oluşması**
- » **Eski tip ve teknoloji sistemlerinin düşük verimli çalışması**
- » **Düşük kapasiteli sistemlerin enerji üretim maliyetinin yüksek olması**
- » **Devreye alma veya devreden çıkarma aşamalarındaki ekonomik kayıpların olması**
- » **Tüm bu nedenlerden dolayı üretilen elektrik enerjisinin maliyetinin artması**



Enerji temin zamanı ile talep zamanı arasında doğabilecek farkın giderilmesi amacıyla enerjinin kullanıldığı alanlarda oluşan atık enerji (endüstrideki atık ısı vb.) ve yalnız belirli zamanlarda enerji verebilen (güneş enerjisi vb.) yenilenebilir enerji kaynakları ile gereksinimin düşük olduğu süre içerisinde üretilen elektrik enerjisi fazlasının depolanması önemli bir konudur.

Gereksinimin yüksek olduğu zamanlarda kullanılması için elektriğin depolanması amacıyla Kimyasal Enerji Depolama, Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama, Isıl Enerji Depolama, Mekaniksel Enerji Depolama, Hazneli Pompaj Sistemleri, Volanlar (Flywheels) ve Elektriksel Enerji Depolama gibi enerji depolama sistemleri kullanılmaktadır. Elektriksel Enerji Depolama sistemleri arasında ise; Ultrakapasitörler / Süperkapasitörler, Kurşun Asit, Süperiletken Manyetik Enerji Depolama, Lityum-İyon, Nikel-Kadmiyum, Nikel-Metal Hidrit yöntemleri yer alır.

Kimyasal bileşiklerin oluşturduğu bağlarda enerji depolanabilmekte ve ekzotermik (ısı açığa çıkan) reaksiyonlarla tekrar geri kazanılabilmektedir. Bu tip depolama sistemlerinde hidrojen ve amonyak en çok kullanılan yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır.

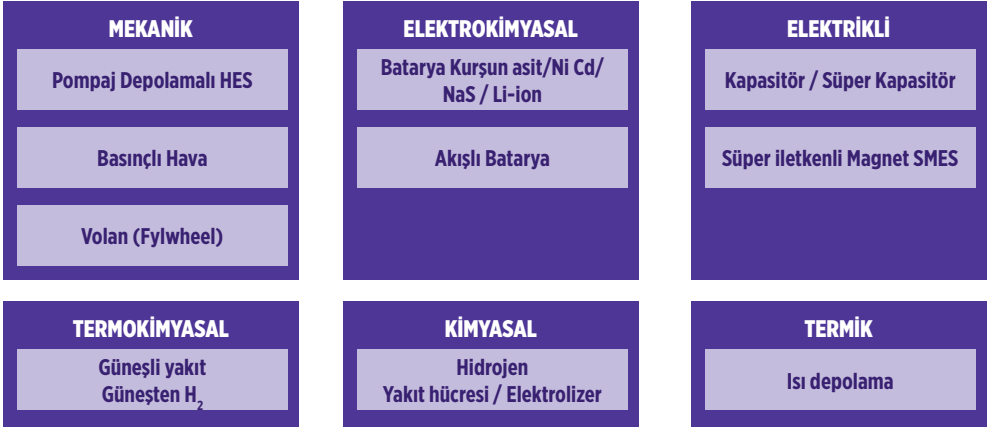
### **1.3.1. Enerji Depolama Teknolojileri Sınıflandırma ve Mukayese**

#### **Enerji Depolama Teknolojileri**

- a. Hidrojen gazı
- b. Pompaj Depolamalı HES
- c. Sıkıştırılmış Hava İle Enerji Depolama
- ç. Volanlı (Flywheel) Enerji Depolama
- d. Isı Enerjisi Depolama
- e. Piller
- f. Kondansatör
- g. Süper İletkenle Enerji Depolama
- ğ. Süper Kapasitör
- h. Süper Magnetik Enerji Depolama
- ı. Hidrojen Yakıt Hücre Sistemi Enerji Depolama
- i. Basınçlı Hava Sistemi

#### **Enerji Depolama Teknolojilerinin Sınıflandırılması**

Enerji Depolama Sistemleri mekanik, elektrokimyasal, elektrikli, termokimyasal, kimyasal ve termik olarak sınıflandırılabilen olup, Şekil 1'de bu sınıflandırma gösterilmektedir.



Şekil 1: Enerji Depolama Teknolojilerinin Sınıflandırması<sup>1</sup>

## Enerji Depolama Teknolojilerinin Mukayesesi

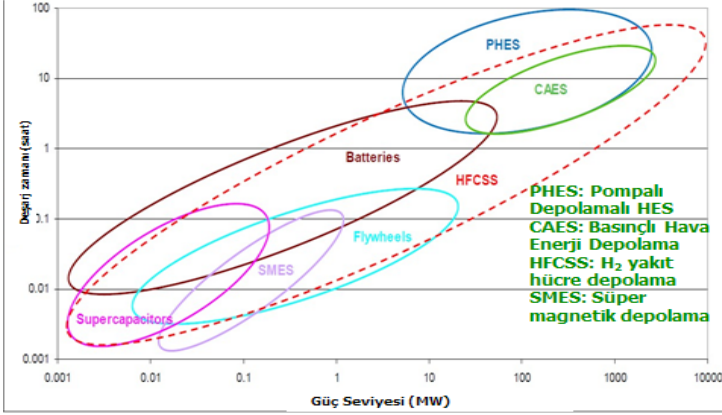
Tablo 1’de Enerji Depolama Sistemlerinin ana özellikleri verilmektedir. Bu ana özellikler: tipik kapasite, cevap süresi, deşarj zamanı, verim, ömür, gelişme düzeyi ve uygulama alanlarıdır.

Tablo 1: Enerji Depolama Sistemleri Ana Özellikleri

Teknoloji	Tipik Kapasite	Cevap Süresi	Deşarj Zamanı	Verim	Ömür (yıl)	Gelişme Düzeyi	Uygulama
Pompaj Depolamalı HES	5 MW – 2 GW	1 dakika (duruşta) 10 saniye (dönerken)	4 – 100 saat	%70 -85	50 +	Olgun	Primer, sekonder, tersiyer kontrol, enerji arbitraj (enerji zaman kayması)
Basınçlı Hava Sistemi	25 MW – 2,5 GW	Soğukken 15 dakika	2 – 24 saat	%40-70	15-40	Olgun/ Olgunlaşmakta (AA –CAES)	Tersiyer kontrol, enerji arbitraj
Batarya	1 kW – 50 MW		1 dakika/ 3 saat	%65-75	2-10	Olgunlaşmakta/ Olgun	Kesintisiz güç kaynağı, dalgalanma azaltma, primer, sekonder kontrol
Volan (Flywheel)	5 kW – 20 MW		4 saniye/ 15 dakika	%90-95	-20	Olgun	Primer kontrol, enerji kalitesi
Hidrojen Yakıt Hücre Sistemi	1 kW – 10 GW	Yakıt hücresine bağlı	0,01 san gün	%40-60	5-10	Prototip	Yenilen (Yenilenebilir) dalgalanma azaltma, tersiyer kontrol
Süper Magnetik Depolama	10 kW – 1 MW		5 san – 5 dak	>%95	-30	Olgunlaşmakta	Kesintisiz güç kaynağı, enerji kalitesi

1 <https://www.tesab.org.tr/attachments/article/71/muzaf-.ppt>

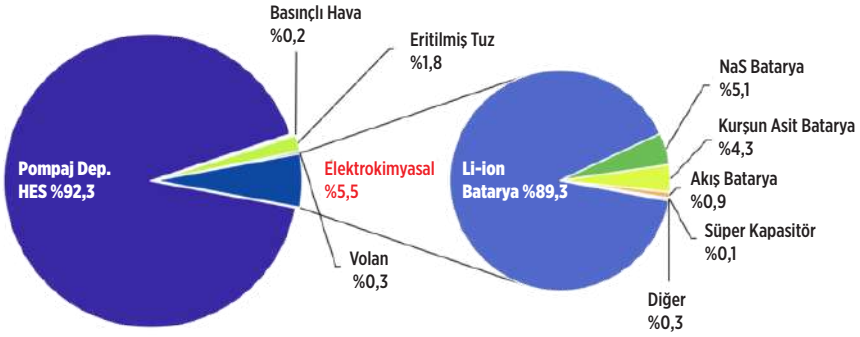
Güç seviyesi ve deşarj zamanı mukayesesi ise aşağıda Şekil-2'de verilmektedir.



Şekil 2: Farklı Enerji Depolama Sistemlerinin Mukayesesi<sup>2</sup>

### 1.3.2. Dünya'da Enerji Depolama Teknolojileri Kullanımı

Haziran 2020 itibariyle Dünya Enerji Depolama Kapasitesi 185,3 GW olmuştur. Bu kapasitenin çeşitli teknolojilere göre dağılımı aşağıda Şekil-3'te verilmektedir (Dinçer & Ezan, 2020, ss. 51-57). IEA, küresel sıcaklık artışını 2°C'nin altında tutmak için dünyanın 2020'deki 185,3 GW'tan 2030'da 266 GW'a yükselen bir enerji depolama ya ihtiyacı olduğunu tahmin etmektedir (Enerji Görünümü, 2021).



Şekil 3: Dünya'da Enerji Depolama Teknolojilerinin Payları (%)<sup>3</sup>

Şekil 3'te görüldüğü üzere enerji depolama kapasitesinin %92,3'ü pompaj depolamalı HES, %0,2 basınçlı hava sistemi, %1,8 eritilmiş tuz (termal depolama), %5,5 elektrokimyasal depolama ve %0,3 volanlı depolamadır. Elektrokimyasal depola-

<sup>2</sup> <https://www.tesab.org.tr/attachments/article/71/muzaf-.ppt>

<sup>3</sup> <https://www.tesab.org.tr/attachments/article/71/muzaf-.ppt>

manın açılımına baktığımızda da %89,3 Li-ion batarya, %5,1 NaS, %4,3 kurşun asit batarya, %0,9 akış batarya, %0,1 süper kapasitör ve %0,3 diğer sistemlerdir.

### **1.3.3. Enerji Depolama Teknolojileri Detaylı Tanımları**

#### **a. Hidrojen Gazı:**

Hidrojen gazı elektroliz yöntemiyle sudan elde edilebilir. Bilindiği üzere; gazlar, depolanabilir, taşınabilir ve yakılarak depolandığında enerji açığa çıkarılabilirler. Yanma sonucu açığa çıkan sadece su olduğundan bu da çevre dostudur. Günümüzde kullanılan hidrojenin büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Elektroliz ise yeni bir yöntem ve uygulama şeklidir ve yaklaşık %60 verimi vardır. Elektroliz esnasında çıkan baloncuklar elektrotların iletkenliğini azaltarak kayıpları arttırmaktadır ancak, bu durum engellenerek verim %80'lere çıkarılabilmektedir. Hidrojen yanıcı ve patlayıcı bir gaz olduğundan depolanması kolay ve güvenilir değildir. Bu yüzden; sıvı halde depolamak için (donma noktası  $-253^{\circ}\text{C}$  olduğundan) sürekli soğutulmaya ihtiyaç vardır. Metal hidritler olarak depolanırsa hem ısıtarak kolayca enerji geri kazanılabilir hem de büyük hacimler depolanabilir. Bu şekilde mobil araçlara enerji deposu olarak kullanılabilir. Tek sorun kullanılacak metalin ağırlığı ve maliyetidir. Ayrıca yakıt hücresi ile havadan hidrojen ve oksijen elde edilebilmektedir.

#### **b. Pompaj Depolamalı HES:**

Su pompalayarak potansiyel enerji depolama yönteminin dayandığı prensip, suyun düşük seviyedeki bir rezervuardan daha yüksek bir seviyeye pompalanarak potansiyel enerjinin depolanmasıdır. Bu işlem, tüketimin düşük olduğu zamanlarda üretilen fazla elektriğin pompaları çalıştırmak üzere kullanımıyla gerçekleştirilir. Pompalanarak depolanmış su, gereksinimin fazla olduğu durumda elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadır.

*Hazneli Pompaj HES:* Hazneli pompaj sistemler yaygın olarak elektrik üretim amacıyla kullanılmaktadır. Bazı seviyesi yüksek hidrolik barajlarda hazneli pompaj sistemler kullanarak enerji üretim kapasitesi artırılabilir.

*Yeraltı Hazneli Pompaj Sistemlerdir (HES):* Yeraltı depolamalı hazneli sistemlerde akış için mağara veya maden oyukları kullanılır. Oldukça maliyetli bir uygulama olması nedeniyle uygulama alanı sınırlıdır. Bu yöntemin uygulanması için en önemli etkenler şunlardır:

Elektrik tesislerinde ve şebekede güç azalması olduğunda ve/veya kesintili enerji üretimindeki sakıncaları gidermek, enerji arzı dengesizliğini ve arz açığını kapatmak için rezervuarda depolanan su ters akışla türbin ve jeneratöre gönderilerek anında tekrar elektrik üretilir.

*Avantajları* kısaca şu şekilde açıklanabilir: Kurulum ve işletme açısından eski bir teknolojidir, çok düşük enerji kayıpları vardır, düşük enerji altyapı maliyetlerine sahiptir, başlama ve durdurma esnekliği sağlamaktadır. Ayrıca, hızlı devreye girebilme özelliği, büyük miktarlarda enerjiyi depolayabilmesi, 75 yıla kadar kullanım ömrü ve enerji depolamada ucuz bir yol alması diğer avantajları olarak sıralanabilir.

*Dezavantajları* ise; potansiyel kaynakların sınırlı olması, veriminin yaklaşık %70-80'ler gibi düşük seviyelerde olması, özel bir coğrafya ve su kaynağı gerekliliği ve çevresel etkileri dezavantajları olarak sıralanabilir.

### **c. Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama**

Sıkıştırılmış hava ile enerji depolama yöntemin esası, gereksinimin az olduğu zamanlardaki üretim fazlası elektrik enerjisinin basıncı yüksek gaz elde etmek amacıyla kullanılmasıdır.

Hava enerjisi 19 yy.dan bu yana maden ocaklarındaki güç lokomotiflerinde ve savaş gemilerinin torpidolarına itici güç sağlanmasında kullanılmıştır. Bu açıdan, hava enerjisi ve bu enerjiyi kullanma fikri yeni bir yaklaşım olarak değerlendirilemez. Yenilenebilir kaynaklardan (rüzgâr, güneş vb.) elde edilen fazla elektrik, bir kompresör çalıştırarak havayı yeraltı deposunda depolar. Rezervuarda bulunan depodaki basınç 100 bara kadar çıkabilir.

Depolanan enerjiden elektrik üretileceği zaman rezervuarda depolanan hava serbest bırakılır ve bırakılan basınçlı hava verimi artırmak maksadıyla da rekuperatörde ısıtılır ve doğalgaz katılarak bir gaz yanmalı türbine gönderilerek yakılır. Türbinde elde edilen döngü ile jeneratörde elektrik üretimi gerçekleştirilir ve bu şekilde şebekeye verilir.

Bu şekilde kullanım için amaca en uygun gaz hava olarak görülmektedir. Teorik olarak helyum daha uygun bir gazdır ancak, helyumun veya hava dışında başka bir gaz kullanılması halinde, depolanmış enerjinin tekrar kazanılabilmesi için sistemde ilaveten bir düşük basınç tankının bulunması gerekmektedir. Bu durum da doğal olarak enerji depolama maliyetini artırmaktadır.

Sıkıştırılmış gazın depolanabilmesi için büyük depolar (yaklaşık 500.000 m<sup>3</sup> hacminde) gerekmektedir. Bu yöntemle depolama için en uygun depolama alanı malzemeleri granit, şist ve kireçtaşı gibi yeraltı kayaçları olarak görülmektedir. Montaj maliyetleri yaklaşık 50 USD/kWh civarındadır. Eğer doğal olarak oluşmuş rezervuar var ise bu 40 USD/kWh'a kadar düşebilmektedir. Doğal rezervuar olarak maden veya yeraltı tuz ocakları tercih edilebilir. Bu sistemin dezavantajları ise nispeten düşük deşarj değeri ve zayıf döngü verimi ile hizmet maliyetlerinin yüksek olmasıdır.



Bu yöntemin diğerleri ile kıyaslanabilir hale gelebilmesi ve depolama kapasitesinin artırılabilmesi için, maliyeti düşük ve uygun yapım malzemelerinin geliştirilmesiyle çelik dışında karbon fiber veya kompozit malzemelerden de yapılabilmektedir. Depolanan enerji tekrar şebekeye verdiğinde devir sayısı azalmaktadır.

Pik talebi karşılama, frekans regülasyonu, enerji kesintisi desteği, yenilenebilir kaynak desteği gibi çok yönlü elektrik depolama amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca ulaşım sektöründe yakıt ekonomisi amacıyla da kullanılmaktadır.

*Avantajları*; çok az bakım ihtiyacı, yüksek kullanım süresi, yıllara göre az kapasite düşüşü, karbon emisyonu yapmaması, yüksek şarj-deşarj hızları ile ani talepleri destekleyebilme olarak görülmektedir.

*Dezavantajları* ise; pahalı bir teknoloji olması, rulmanlı yatakların bakım gerektirmesi, düşük depolama kapasitesi, kendi kendinedeşarj olabilme özelliğinin yüksek olması (saatte %20 civarında) olarak sıralanabilir. Beklenmedik dinamik yükler veya dış şoklar sorunlara yol açabilmektedir.

#### **d. Isı Enerjisi Depolama**

Isı enerjisi bir maddeyi oluşturan moleküllerin, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır ve atomik veya moleküler titreşimler sonucu meydana gelmektedir. Isı enerjisi depolama sistemlerini: Düşük sıcaklık ısı depolama sistemleri, orta ve yüksek sıcaklık ısı depolama sistemleri olarak iki gruba ayırabiliriz.

Düşük sıcaklıktaki ısının, yalıtılmış katı veya sıvı maddeler içinde doğrudan depolanması mümkündür. Ancak, bu halde depolanan ısı sadece ısı enerjisi olarak tekrar etkin bir şekilde kullanılabilir. Düşük sıcaklıkta depolanmış ısı ise; mekanik veya elektrik enerjisi gibi, diğer enerji şekillerine dönüştürülerek kullanılmak istendiğinde, verimi çok düşük olmaktadır. Bunun nedeni de termodinamik sınırlamalardır. Diğer yandan, depolanmış ısının ortamları ısıtmak amacıyla kullanımı çok etkin bir uygulamadır.

Su, kaya ve çeşitli hidratlı tuzlar mevcut durumda önerilen en uygun ısı depolama ortamları olarak kabul görmektedir. 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda, su tercih edilen bir ısı depolama ortamıdır ve bunun en önemli sebebi de ucuz ve az maliyetli olmasıdır. Bunun yanı sıra, toprak ve kum da ısı depolama ortamı olarak kullanılmaktadır.

Bir ısı deposunun tasarımı özellikleri şu şekilde gerçekleştirilmelidir: Uygun bir yüzey malzemesi kullanılarak ısının deponun içine ve dışına hızlı transferi sağlanmalıdır ve bununla beraber ısı kayıp hızı, gerekli depolama süresine kıyasla düşük olmalı ve çevreye olan ısı kaybı maksimum seviyede azaltılmalıdır.

Isı deposunun toplam boyutu da önemli bir parametre olup bu sebeple, son yıllarda çalışmalar ısı enerjisinin uzun süreli ve büyük miktarlarda depolanabilmesi üzerine çok büyük yeraltı depolarının kullanım olasılığı üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu tür depolar, bir ev için kullanılan küçük ölçekli depolara oranla çok daha az yalıtım gerektirmektedir.

Endüstriyel süreçlerde, 100°C'dan başlayıp 2400°C'ye kadar varan sıcaklıklardaki ısı enerjisi tüketilebilmektedir. Orta ve yüksek sıcaklıktaki ısı depolama sistemleri bahsedilen süreçlerde tampon yapmakta ve enerji sarfiyatını ciddi şekilde azaltmaktadır. Yüksek derece sıcaklıkta depolanmış ısı enerjisi, ısı makineleri için önemli bir enerji kaynağıdır. Endüstriyel fırınlar ve ekmek fabrikalarındaki fırınlar, elektriğin fazla kullanılmadığı zamanlarda yüksek sıcaklıkta ısı depolanabilmektedir. Seramikler, termal depolama yağları, ergimiş tuzlar ve sıvı haldeki metaller yüksek sıcaklık ısı depolama ortamı olarak kullanılan başlıca maddelerdir.

Aşırı yüksek sıcaklıklarda (1000°C'in üzerinde) ısı depolanması, depolama ortamı malzemelerinde aşınma ve termal şok gibi problemlere neden olabilmektedir. Yüksek sıcaklık depolaması yöntemlerinde, sıcak hava, ısı transfer eden akışkan olarak kullanılmaktadır.

## e. Piller

Piller elektrik enerjisini depolamak amacıyla kullanılan en eski bir teknolojilerden birisidir. 1970 yılından günümüze kadar durağan bir gelişim süreci geçirdikten sonra, kontrol mühendisliği ve elektronik alandaki hızlı gelişmeler nedeniyle pillerde enerji depolama yöntemi yeniden güncellik kazanmıştır.

*Avantajları;* Diğer yöntemlere kıyasla pillerde enerji depolamanın avantajları vardır. Bu avantajlar şöyle özetlenebilir; İyi kontrol edilebiliyor olması, sessiz ve temiz çalışması, ölçekli modüllerin yalıtımının diğer yöntemlere oranla daha kolay ve daha çabuk gerçekleştirilebilmesi, taşınabilir olmaları sebebiyle devreye girmeleri geleneksel depolama sistemlerine kıyasla daha az riskli teşkil etmesi, büyük alanların kullanılmasına gerek olmaması ve bu nedenle dağıtım alt istasyonlarının yakınına konabilmesi. Alt istasyonların yakın olması sebebiyle ilave taşıma ve dağıtım kapasitesi ihtiyacı azalmaktadır.

Piller yeniden doldurulup kullanılabilir olup olmamalarına göre sınıflandırılmaktadırlar. Piller; birincil piller ve ikincil piller olarak ikiye ayrılmaktadır. Birincil piller bir kez kullanılabilen pillerdir, ikincil pillerin ise doldurularak tekraren kullanımları mümkündür. Son zamanlarda çok sayıda yeni pil çeşitlerinin geliştirilmesi ve kullanıma sunulması üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmaların genel amacı,



enerji yoğunlukları yüksek ve maliyeti düşük malzemeler kullanarak yeni enerji depolama sistemleri geliştirmeye yöneliktir.

Günümüzde bu çeşit piller kullanımda olan elektronik cihazların hemen hepsinde kullanılmaktadır. Bu piller, uygun sıcaklık ve maksimum kapasitelerine dikkat edilerek çalıştırılması gerekmektedir, aksi halde verimleri kayda değer şekilde azalabilmektedir. Lityum iyon pillerin, düşük iç dirençli olmaları, yüksek enerji depolama kapasiteleri ve %90'ın üzerinde verimliliğe sahip olmalarından dolayı kullanımları yaygındır. Enerji yoğunlukları ve yüksek verimleri ile lityum iyon piller enerji kalitesinin gerekli olduğu yerlerde, dağıtım sistemlerinde ve otomotiv sektöründe kullanım için oldukça uygundur. Teknik olarak lityum iyon pillerin, artı kutbu grafik karbon tabakası ve eksi kutbu lityum metal oksit ile yapılmıştır.

*Piller;* Temel olarak, negatif elektrotta kurşun içerir, pozitif elektrotta ise kurşun dioksit ve elektrik yalıtım tabakası bulunmaktadır. Bu pillerde deşarj için sulandırılmış sülfürik asit sülfat iyonları kullanılmaktadır. Düşük maliyetli depolama uygulamalarında genellikle kurşun asit piller kullanılmaktadır. Ancak, bu pillerin uygulamaları sınırlıdır çünkü kullanım ömrü kısadır. Kurşun asit piller motosikletlerde, otomobillerde, botlarda ve bazı diğer endüstrilerde, aydınlatma, çalışma ve ateşleme amaçları ile kullanılmaktadır. Avantajları; yüksek güç yoğunluğu, düşük ve yüksek sıcaklıklarda yüksek performans düşük maliyeti, servis ağının yüksek olması ve bakımının kolay olması olarak sıralanabilir. Dezavantajları ise enerji saklama süresinin az olması, kısa süreli kullanım ömrü ve deşarj olurken depolama kabiliyetinin zayıflığı olarak sıralanabilir.

*Nikel kadmiyum (NiCd) pillerin* ise kullanımı pek yaygın değildir ve verimlilikleri yaklaşık olarak %75'tir. Bu piller kadmiyum adı verilen malzeme ile kaplanmaktadır ve kadmiyum zehirli olan ağır bir metal olmasından dolayı burda riskler barındırmaktadır. Son 30 yılda dünya üzerindeki kadmiyumun yaklaşık olarak üçte ikisinin NiCd pilleri yapımında kullanıldığı görülmektedir. Avrupa Komisyonu'nun Kasım 2003'teki yeni pil direktifleri ile NiCd pillerinin %75 oranında geri kazanımı amaçlanmaktadır. Ancak NiCd'dan şarj edilebilir pil yapılmasının yasaklanmak istenmesine rağmen halen kullanılmakta ve gelecek yıllarda da kullanılmaya devam edileceği öngörülmektedir. Nikel-kadmiyum pillerinin devamlı şarjda tutulup kısa süreler için kullanılması çalışma verimini azaltmaktadır.

Eğer devamlı kullanılıp tam olarak deşarj olması ardından şarj edilmiyorsa belirli aralıklarla tam olarak deşarj edilmesi gerekir, aksi durumda hücrelerdeki plakalar üzerinde kristalleşme oluşur ve bunun sonucunda zamanla pilin verimi düşmeye başlayacaktır. NiCd pilleri halen çok geniş kullanım alanlarına sahiptir. Bu alanlar, te-

lekomünikasyon sistemi, acil aydınlatmalar, güneş enerji istasyonları ve uzay araçları olarak sıralanabilir.

*Nikel metal hidrit (NiMH) pillerin yüksek enerjisi ve içlerinde çevreyi kirletmeyen bileşim ve metaller bulundurmaları en önemli özellikleri arasında gösterilmektedir. Günümüzdeki nikel metal hidrit pilleri normal bir nikel-kadmiyum pille karşılaştırıldığında %40 daha fazla enerji yoğunluğuna sahip olmaktadır. Aslında bileşimleri göz önüne alındığında çok daha yüksek verim elde edilebilir ama bu kazanç bazı yan etkileri de ortaya çıkardığı için tercih edilmemektedir. Bu piller hala yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ancak, diğer pil teknolojilerinin (lityum iyon gibi) çıkmasıyla birlikte aynı piyasada yer almaları, kullanımı yaygınlığı açısından engel oluşturabilmektedir.*

NiMH pillerin avantajları ise: nikel kadmiyum pillerden % 30-40 daha fazla kapasite ve bunun yanında bu değerlerin çok daha üstünde bir enerji yoğunluğuna erişebilmesi olarak görülebilir. Daha az sayıda periyodik deşarj-şarj döngüsü gerektirmektedir ve çevre dostu - çok hafif zehirli maddeler içermesi de diğer avantajları arasındadır. Ayrıca, geri dönüşümü kolay ve kullanım alanları çok geniştir.

#### Batarya Tipleri

- » Kurşun Asit.
- » Nikel Kadmiyum.
- » Li-iyon.
- » Akışkan Bataryalar

#### f. Kondansatörler

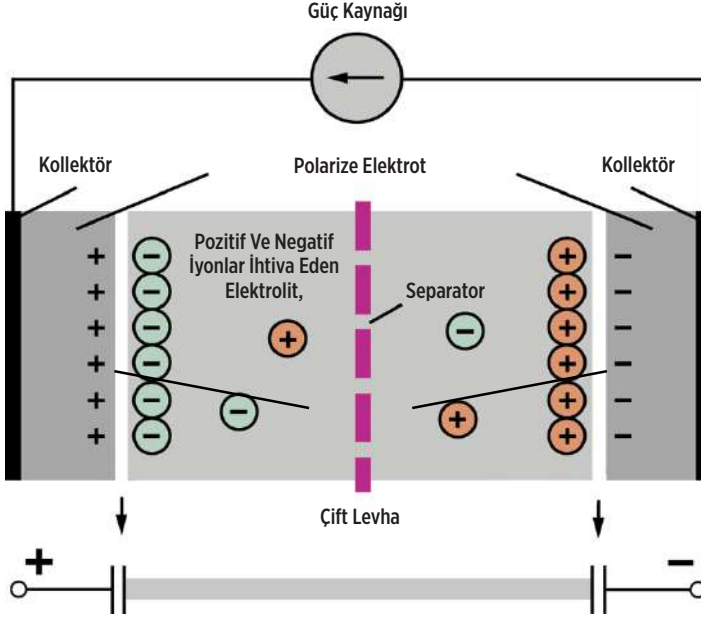
Kondansatörler kısaca; enerjii pozitif ve negatif elektrostatik yüklerin ayrışmasıyla depo eden cihazlar olarak tanımlanabilir. Üretilen elektrik enerjisi kondansatörlerde depolanabilmektedir. Klasik kapasitörler ise genelde elektrolitik kapasitörler olarak isimlendirilirler. Bunun yanı sıra süperkapasitörler (Ultrakapasitör) ise klasik kapasitörlerin geliştirilmiş versiyonları olarak görülebilir.

#### g. Süper İletkenle Enerji Depolama

Süper iletkenle enerji depolama, bobin içinde akan akımla oluşan manyetik alan içinde enerjinin depolanması yöntemidir. Süper iletken manyetik enerji depolama (SMES) sisteminin içinde esas olarak şu bileşenler vardır; enerji dönüşüm sistemi (bobin içi ve dışına enerji transferi için), süper iletken bobin (cryostat) ve soğutma sistemidir. Süper iletken manyetik enerji depolamanın avantajları, çok kısa sürede isteklere cevap vermek (20-30 ms), yüksek verimlilik (yaklaşık %97-98), aktif ve reaktif gücün bağımsız kullanılabilmesi ve nispeten uzun ömürlü olmaları olarak sıralanabilir.

## ğ. Süper Kapasitörler

Şekil 5'te örneği yer alan bir süper kapasitörün tipik yapısı;

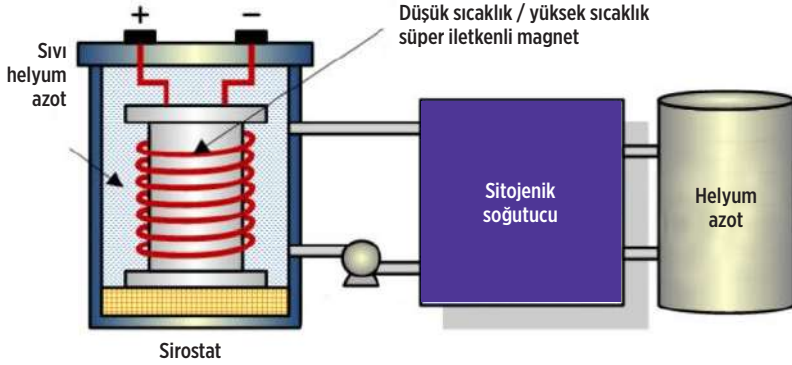


Şekil 5: Süper Kapasitör Yapısı

Elektrokimyasal kapasitörler (süper kapasitörler) iyon geçirebilen bir membranla (separator) ayrılmış iki elektrottan oluşmaktadır ve bir elektrolit, iki elektrodu iyonlarla bağlamaktadır. Elektrotlar uygulanan gerilimle polarize edildiğinde elektrolitteki iyonlar, elektrot polaritesine ters olan iyonlarla elektrik çifte tabaka oluştururlar.

## h. Süper Magnetik Enerji Depolama

Süper iletken magnetik enerji depolama (SMES), süper iletkenin kritik sıcaklığın altında sitolojik soğutulmuş süper iletken yapılmış sargıdan geçirilen doğru akımın akışıyla oluşan magnetik alanda depolanan enerjidir (Kocaman, 2013, ss. 120-121).

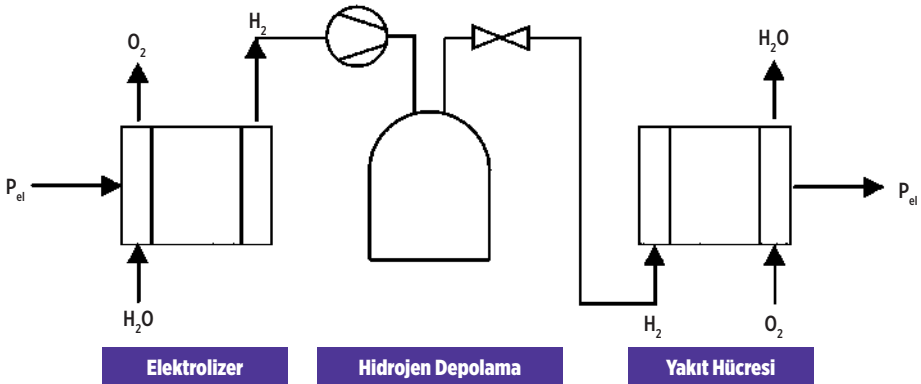


Şekil 6: Süper Magnetik Enerji Depolama<sup>4</sup>

Tipik SMES sisteminde üç parça vardır; süper iletkenlerden oluşan sargı, güç şartlandırma sistemi ve sitojenik soğutucu. Süper iletkenlerden oluşan sargı şarj edildiğinde akım sönümlenmeyecektir ve magnetik enerji süresiz depolanabilir (Kocaman, 2013, s.121). Depolanan enerji sargıyı deşarj ederek şebekeye geri verilebilir. Güç şartlandırma sistemi bir invertör / redresör kullanarak alternatif akımı doğru akıma veya doğru akımı alternatif akıma çevirebilir.

## 1. Hidrojen Yakıt Hücre Sistemi Enerji Depolama

Yakıt hücresi, bir yakıtın (genellikle hidrojen) bir oksitleyici (genellikle oksijen) ile redoks reaksiyonları yoluyla kimyasal enerjinin elektriğe dönüştüren bir elektrokimyasal hücredir. Yakıt hücrelerinin bataryalardan farkı, bataryalarda, bataryada bulunan metaller, onların iyonları veya oksitlerindeki kimyasal enerjiden gelirken yakıt hücrelerinde kimyasal reaksiyonun devamını sağlamak için sürekli yakıt ve oksijen (normalen havadan) kaynağı gerekmesidir (Yüksel & Topcu, 2019, s.61). Yakıt ve oksijen temin edildiği sürece yakıt hücreleri devamlı olarak elektrik üretebilir.



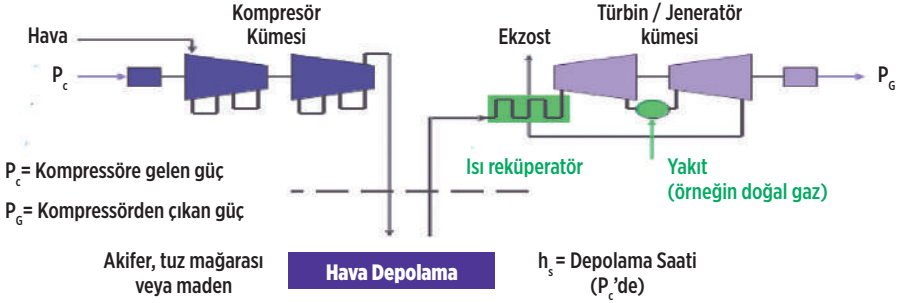
Şekil 7: Hidrojen Yakıt Hücre Sistemi Enerji Depolama

4 <https://www.tesab.org.tr/attachments/article/71/muzaf-.ppt>

## i. Basınçlı Hava Sistemi

Tipik bir CAES tesisinde kompresyon modu, elektrik talebinin düşük olduğu zaman harekete geçirilir (Erdinç & Uzunoğlu & Vural, 2011, s.119).

Talebin düşük olduğu zamanki fazla elektrik, havayı bir depolama rezervuarına (büyük ölçüde CAES için normal olarak yer altı mağarası) kompresörler yardımıyla basmak için kullanılırlar ve depolanan hava, yüksek basınçtadır, (tipik olarak 4,0 - 8,0 Mpa) çevre sıcaklığındadır.



Şekil 8: Basınçlı Hava Enerji Depolama Sistemi

### 1.3.4. Enerji Depolama Teknolojilerinin Değerlendirilmesi

Enerji depolama teknolojileri, enerji sistemine bir dizi hizmet sağlama kabiliyeti olan merkezi ve dağıtık dizayn setlerinden oluşmaktadır. Enerji depolama teknolojileri, yenilenebilir enerji olan veya olmayan sistemler için değer taşımakta olup, bugün küçük boyutlu sistemler; ücra bölgelerde ve şebeke dışı uygulamalarda rekabetçidir. Büyük ölçüde ısı depolama teknolojileri çoğu bölgelerde ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını gidermek için kullanılmaktadır.

Enerji depolama Ar-Ge çalışmaları uzun zamana yayılan oldukça büyük araştırmalardır. Bu nedenle Ar-Ge çalışmalarına devletlerin yatırım yapması maliyetin önemli ölçüde azalmasına yol açmakla beraber, enerji depolama maliyetlerini daha da düşürmek ve gelişmeyi hızlandırmak için ilave çaba, araştırma ve yatırım gerekmektedir.

Mevcut enerji sistemlerinde israf edilen ısı miktarını azaltmak için termal enerji sistemleri iyi bir pozisyonudur. Isı kaynakları ve talebi tam bilinemediğinden bu ısı yeteri kadar değerlendirilmeyen bir kaynaktır.

Mevcut depolama tesislerinin verim ve esnekliğini artıracak yatırımlar teşvik edilmelidir. Henüz yaygınlaşmamış olgunlaşma safhalarındaki projelerin sistem per-

formansları ve güvenilirlikleri belgelendirilerek desteklenmelidir. Yüksek sıcaklık ısı depolama sistemleri, batarya teknolojileri, elektrik ve ısı depolama sistemlerinin kaynak verimliliğini azami düzeye çıkararak entegre edilmesi konuları, henüz Ar-Ge safhasındaki projeler ile desteklenmelidir.

Depolama teknolojileri birbirlerinden teknik olarak özgül güç değerleri, özgül enerji, enerji depolama kapasitesi ve maksimum depolama süresi bakımından farklılıklar göstermektedir. Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde işletme ve kurulum maliyetleri büyük değişiklikler arz eder.

# BÖLÜM

# 2

## POMPAJ DEPOLAMALI HES PROJELERİ



## 2. POMPAJ DEPOLAMALI HES

1750 sanayi devrimi, özellikle de II. Dünya Savaşından sonra dünya nüfusunun hızla artması, teknolojinin çok hızlı gelişimi ve paralelinde elektrik tüketiminin artması, artan enerji ihtiyacının fosil yakıtlar kullanılarak üretilen elektrik ile karşılanması sonucu atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarı giderek yükselmiş, artan şehirleşme ve ormanların azalması gibi nedenlerle oluşan sera gazları sonucu yerküremiz ısınmaya başlamıştır. 1750-2020 yılları arasında atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarı yaklaşık %46 artmıştır. 1980'lı yılların başından itibaren çeşitli uluslararası kuruluşlar ve sivil toplum örgütleri iklim değişikliği ve küresel ısınma konusunda hükümetler nezdinde farkındalık yaratmak ve önlemler alınması yönünde çalışmalar başlatmıştır. 1990 Lüksemburg - AB Çevre ve Enerji Konseyi, 1992 Rio de Janeiro - BM Çevre ve Kalkınma Konferansı Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, 1997 Kyoto Protokolü ile tüm ülkeler iklim değişikliği konusunda bazı taahhütlerde bulunsa dahi bunlar çoğunlukla iyi niyet göstergesi boyutunda kalmıştır. 2015 Aralık ayında imzalanan Paris İklim Anlaşması ve 2019 Aralık ayında yayınlanan Avrupa Yeşil Mutabakatı ile iklim değişikliği ve karbonsuzlaştırma yolunda daha somut ve önemli çalışmalar başlatılmış, hedefler ve stratejiler belirlenmiştir (Koca, 2020).

Bütün bu süreçte, enerji üretiminde fosil yakıt kullanımının göreceli olarak düşürülmesi, yerine yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik üretim teknolojilerinin geliştirilmesi (önce rüzgâr, sonrasında güneş vb) önem kazanmış ve yenilenebilir enerji kaynaklı tesislerin gücü artmıştır. Hayat standartlarının yükselmesi, elektrikliğin kullanım alanlarının çeşitlenmesi ve büyümesi elektrik arz talep dengesinde de dalgalanmalara yol açmış, gün içinde ve sezonsal baz yük – pik yük farklılıkları gündemde yerini almıştır. Böyle bir dönemde geçmiş 1880'lere dayanan PDHES'ler çok amaçlı çözümler olarak tekrar gündeme gelmiştir.

Paris İklim Anlaşması ile hedeflenen küresel ısınmanın 1.5° C civarında tutulabilmesi amacı ile sadece elektrik üretiminde kullanılan kaynakta değişiklik yeterli olmayacağı birincil enerji ihtiyaçlarının da hızla elektriğe çevrilmesi gerektiği noktasına gelinmiştir. Elektrifikasyon ile ısınma ve soğutma sistemlerinin, ulaşımın elektrik ile sağlanması hedeflenmekte olup bu hedefleri gerçekleştirmek için artan yenilenebilir enerji ihtiyacı ile PDHES'lerin önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır.

Dünya üzerindeki depolama teknolojilerinin %94'ü PDHES'tir. Yine toplam depolama kapasitesinin %99'u PDHES'ler tarafından sağlanmaktadır (Günler, s. 4).

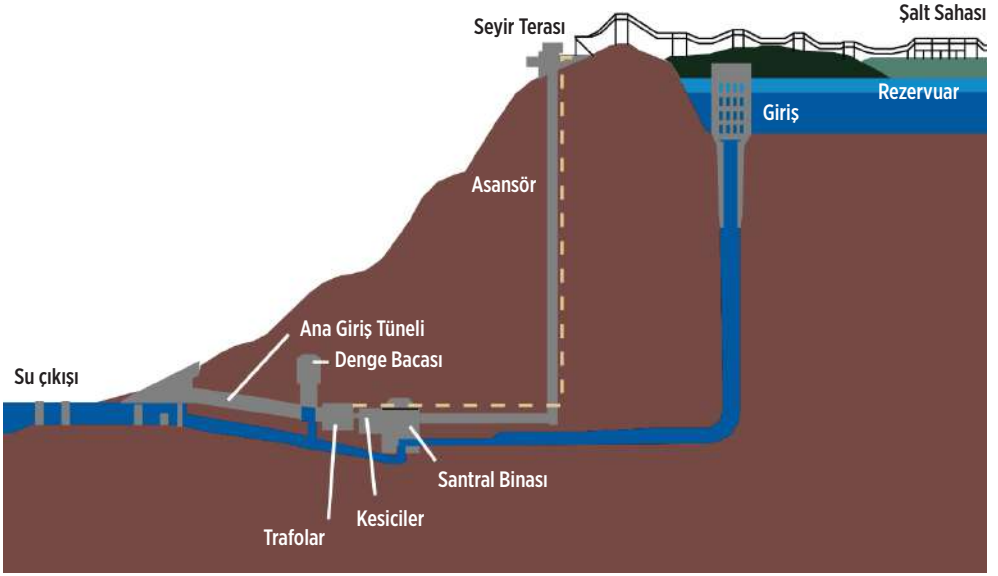
*Artan yenilenebilir enerji ihtiyacı ile PDHES'lerin önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır.*



## 2.1. Tanım ve İşleyişi

En basit tanımı ile pompaj depolamalı hidroelektrik santraller farklı kotlarda yer alan alt ve üst olmak üzere iki rezervuardan oluşmaktadır. Elektrik enerjisi tüketiminin düşük olduğu gece saatlerinde alt rezervuardaki su üst rezervuara pompalanarak depolanır. (Erdoğan & Uzunoğlu & Vural, 2011, s.119). Tüketimin yüksek olduğu saatlerde üst rezervuarda depolanan su alt rezervuara bırakılarak elektrik enerjisi üretilir. Böylece suyun tekrar tekrar kullanımı sağlanmaktadır.

Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerde aynı mekanik ekipman su yukarı gönderilirken pompa ve aşağı gönderilirken türbin, ona bağlı elektrik ekipmanı da su yukarı pompalanırken elektrik motoru, su aşağıya doğru akarken jeneratör olarak görev yapmaktadır.

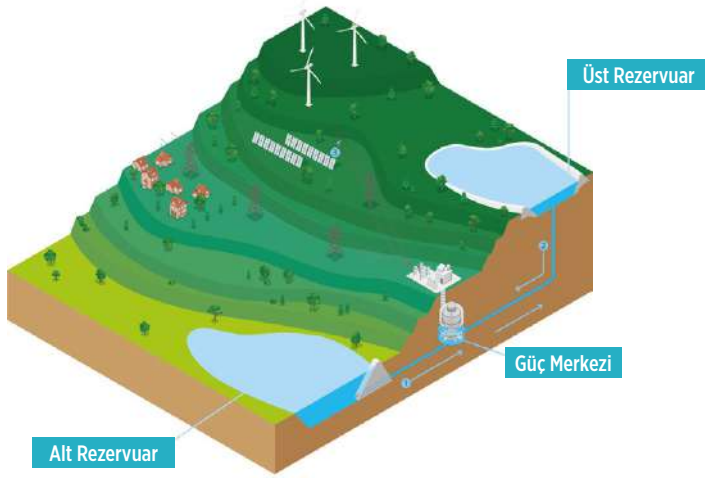


Şekil 9: Pompaj Depolamalı HES Şeması



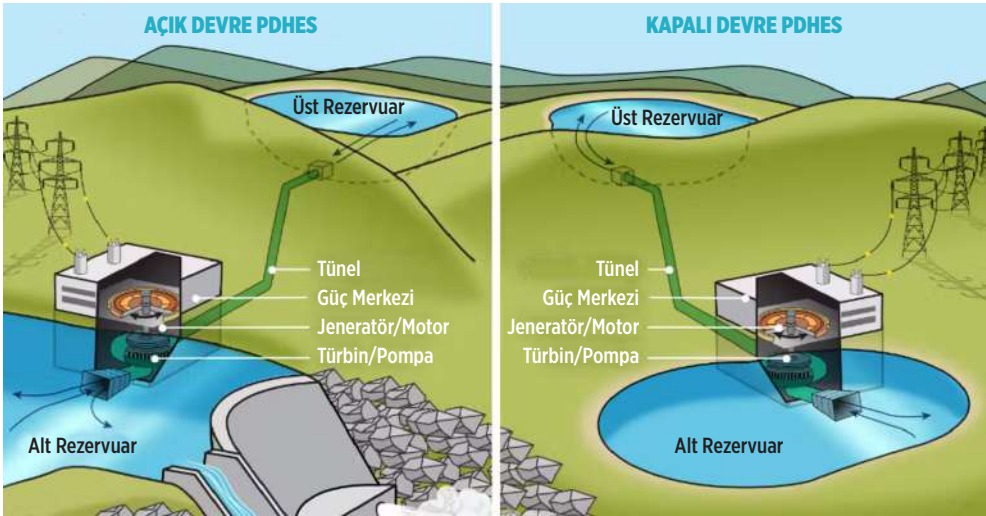
PDHES; genel çalışma prensiplerine göre iki ana kategoriye ayrılmaktadır. (Günler, 2020, s.2)

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



Şekil 10: Kapalı devre Pompaj Depolamalı HES Şeması (www.hydropower.org)

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



Şekil 11: Açık ve Kapalı Devre PDHES (www.pnnl.gov)

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

Pompaj depolamalı hidroelektrik santrali iki rezervuardan, pompalardan, türbinlerden, motorlardan, jeneratörlerden, cebri borulardan, akış kontrol valflerinden, sistem kontrolöründen ve yardımcı ekipmanlardan oluşur. PDHES, 90 saniye içerisinde çevrimiçi olur ve 120 saniye içinde tam güce çıkabilir. Ayrıca pompalama modundan üretime veya üretimden pompalama moduna 180-240 saniye aralığında geçebilir. Pompaj depolamalı sistemlerin verimliliği %75 ile %80 arasındadır (Özdemir & Çiçek, 2021, s.27).

## 2.2. Pompaj Depolamalı Santrallerin Tarihçesi

Pompaj depolamanın bilinen ilk kavramsal gösterimi, 1882'de İsviçre'nin Zürih kentinde enerji depolaması için pistonlu bir pompa olduğu görülmektedir. İlk tesis ise 1909 yılında İsviçre'nin Schaffhausen şehrinde 1500 kW'lık bir kapasiteli ile hizmete açılmıştır. Sonraki kurulumlar takip eden birkaç on yıl boyunca Avrupa çapında olmuştur.



Schaffhausen PDHES - İsviçre



Rocky River PDHES - ABD

1928'de Almanya'nın Dresden kenti yakınlarında 20 MW'ın üzerindeki ilk tesis ve 1929'da kuzey Amerika Connecticut'taki Candlewood gölünde kurulan Rocky River pompaj depolamalı tesisler ilk projeler arasında yer almıştır. Rocky River projesinde kullanılan teknoloji - aynı zamanda jeneratör görevi gören tersine pompalar - 1950'lere ve 1960'lara kadar ABD'de diğer projelerde de yaygın olarak kullanılmıştır (ASCE, 2022).

1930'larda, tersine çevrilebilir pompa türbinleri piyasaya sürülmüş ve ilk kurulum Almanya'nın Baldeney kentinde gerçekleşmiştir. Bu gelişme tipik olarak, başlangıçta kompleks ayarlardan ve uzun değiştirme sürelerinden taviz verirken, yaklaşık olarak %30'luk bir maliyet tasarrufu sağlamıştır. Bu özel teknoloji, 1960-1970 yılları arasında büyük bir gelişme göstermiş ve günümüzde de halen kullanılmaktadır.

Pompaj depolamalı santrallerin çoğu 1960-1990 yılları arasında inşa edilmiştir. 1970'lerin başındaki petrol krizlerinden sonra nükleer enerji santrallerinin ve büyük güçlerdeki termik santrallerin kurulması ile pompaj depolamalı tesislerin kurulumu da hız kazanmıştır. PDHES, yüksek yük talebinde enerji sağlamak ve düşük yük talep süresi boyunca baz yük santrallerin birimlerinin temel yük modunda çalışmasını sağlayan sistem olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte, zengin hidro enerjiye sahip ülkelerde, PDHES, büyük ölçekli hidroelektrik santrallerinin faaliyetlerini ve verimliliğini artırmak için de geliştirilmiştir. (Göktaş, 2018, ss.83-84)

Günümüzde PDHES'lerin dünyadaki durumuna bakıldığında toplam kurulu pompaj depolama hidroelektrik kapasitesinin Temmuz 2022 de yayınlanan Uluslararası Hidro Enerji Birliği (IHA) raporunda 2021 yıl sonu itibarı ile dünyadaki toplam PDHES kurulu gücü 161.6 GW olarak yer almıştır. Bunun ülkelere dağılımında Çin (36 GW) birinci, Japonya (27.5 GW) ikinci, ABD (22 MW) üçüncü sıradadır. Bu ülkeleri sırası ile İtalya (7.6 GW), Almanya (6.2 GW), İspanya (6.1 GW), Fransa (5.8 GW), Avusturya (5.6 GW), Güney Kore (4.8 GW), Hindistan (4.7 MW) izlemektedir. Dünyanın geri kalanı ise 35.3 GW olarak yer almıştır Bu teknolojiye olan ilgi nedeniyle, özellikle Çin ve Avrupa'da yeniden canlanmasının bir sonucu olarak, pompaj depolamalı hidroelektrik kapasitenin 2030 yılına kadar yaklaşık %50 artarak 240 GW'a çıkacağı tahmin edilmektedir.

Avustralya Ulusal Üniversitesi bünyesinde oluşturulan "RE100" çalışma grubu dünya genelinde bulunan pompaj depolama alanlarını coğrafi bilgi sistemleri analizi yardımıyla haritalandırmaktadır<sup>5</sup>. Mevcut verilere göre dünya genelinde 616 binden fazla potansiyel PDHES depolama alanı bulunmaktadır. Bu alanların toplam kapasitesi ise 23 milyon GWh olarak hesaplanmaktadır.

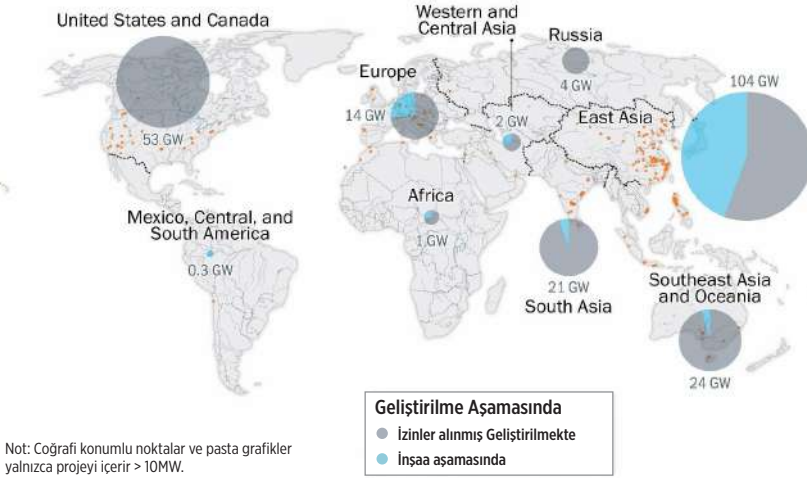


**Şekil 12:** ANU RE100 Projesi kapsamında Dünyadaki PDHES Proje Potansiyeli<sup>5</sup>

5 <http://re100.eng.anu.edu.au/global>

## 2.3. Pompaj Depolamalı HES - Ülke İncelemeleri

Dünyadaki tüm canlıların yaşamı, hayatın devamı için su ve güneş ışığı vazgeçilmezdir. Tarihin ilk çağlarından bu yana devam eden bu vazgeçilmez doğal kaynaklar artan nüfus ve gelişen teknoloji ile farklı farklı alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Dünyada ilk hidroelektrik santral 1882 yılında ABD’de kurulmuştur. Ülkemizde sudan elektrik üretimi ise ilk kez 1902 yılında Tarsus’da kurulan 2 kW gücündeki küçük bir su türbini ile gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 13:** Dünya’da Yapımı Devam Eden ve Geliştirilme Aşamasındaki Projeler<sup>6</sup>

2019 yılı itibarı ile tüm dünyada 10 MW üstü güçte 284 adet pompaj depolamalı proje bulunmaktadır<sup>6</sup>. Buna ilaveten 13 ülkede toplam gücü 53 GW olan 50 pompaj depolamalı projenin inşaatı devam etmektedir. Çin 102 GW ile liderliğini sürdürmektedir. ABD ve 8 Avrupa ülkesi de pompaj depolamalı santral konusunda ilk sıralarda yer almaktadır.

### 2.3.1. Avrupa İncelemesi

#### Avrupa’da Pompaj Depolama HES’ler

Birçok Avrupa ülkesi, yenilenebilir enerji yatırımlarının artması ve payının büyümesi sonucu elektrik enerjisi sistemini dengede tutmak ve kontrolü sağlamak amacı ile pompaj depolama tesislerini planlamakta, yeni yatırımlar yapmakta veya mevcut tesislerini yenilemekte/kapasite büyütmektedir. Pompaj depolama tesislerin, kesintili yenilenebilir enerjinin entegrasyonunda rolü çok önemlidir. Çünkü bu tesisler

<sup>6</sup> <https://www.energy.gov/eere/water/international-forum-pumped-storage-hydropower>

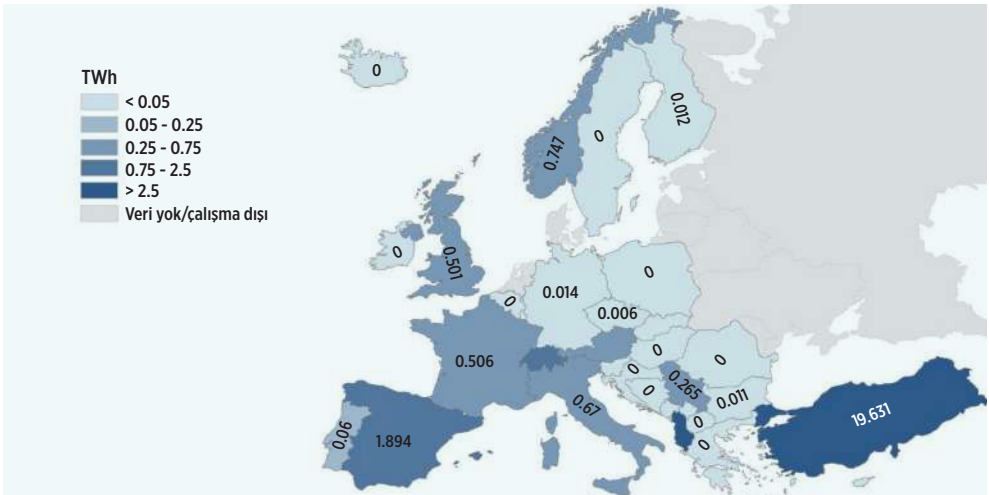
yükü dengelemek için elektrik depolayabilmekte ve değişen şebeke koşullarına hızla tepki verebilmektedir.

PDHES olarak ilk tesis 1909 yılında İsviçre'nin Schaffhausen şehrinde 1500 kW'lık bir kapasiteli ile hizmete açılmıştır. 1900'lü yılların başlarından itibaren de çoğu Almanya'da olmak üzere sayıları çoğalmıştır.

1970 - 1990 yılları arasında işletilen büyük termik ve nükleer santrallerin üretimleri ile arz-talep dengesini optimize etmek amacı ile pompaj depolama tesislerinin sayısı artmıştır. 1990 ve 2010 yılları arasında ise Avrupa'da toplam kapasitesi 5,6 GW olan sadece 15 tesis inşa edilmiştir.

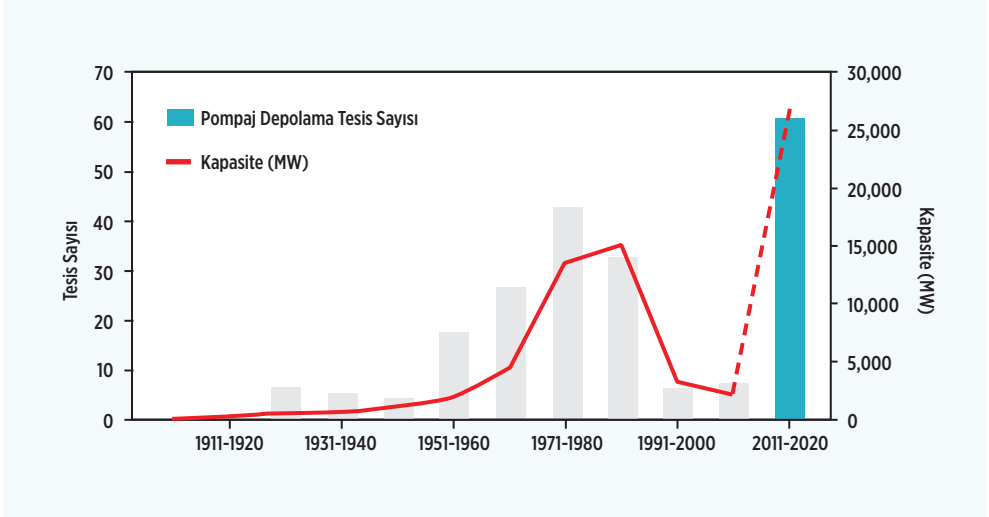
Önümüzdeki 10 yıl içinde ise, Avrupa'da hem sayı hem de kurulu kapasite açısından geçmiş on yılda olduğundan daha fazla pompaj depolama tesisin kurulması, bu kapsamda yaklaşık 27 GW kurulu güce sahip 60 kadar tesisin inşaa edilmesi planlanmaktadır.

2011'in başlarında, Avrupa'da toplam kapasitesi 45 GW civarında olan yaklaşık 170 pompaj depolama tesisi bulunmaktaydı (Şekil 13). Avrupa'da kurulu pompaj depolama kapasitesinin yaklaşık %75'i sekiz ülkede yoğunlaşmıştır ve bunun yarısından fazlası dört ülkede bulunmaktadır: İtalya, Almanya, İspanya ve Fransa en yüksek kurulu güze sahip ilk dört ülkedir. Bunun nedeni, bu ülkelerin Avrupa'nın nüfus olarak en kalabalık ve endüstride en gelişmiş ülkeler olmaları ve elektrik depolamak için büyük kapasitelere ihtiyaç duymaları olarak kabul edilebilmektedir. Yeni pompaj depolama tesislerinin çoğunun rüzgâr ve güneş enerjisi üretim tesislerinin kurulu gücünün yüksek olduğu bölgelerde (İberya yarımadası gibi) veya topoğrafik koşulların uygun olduğu ülkelerde (Avusturya ve İsviçre gibi) olduğu görülmektedir.



Şekil 14: Avrupa ülkelerinde gerçekleştirilebilecek PDHES Potansiyeli

Avrupa genelinde bir pompaj depolama tesisinin ortalama kapasitesi yaklaşık 300 MW'tır. En büyük santrallar, aynı zamanda en fazla toplam pompaj depolama kapasitesine sahip ülkelerdedir. Ortalama olarak, Avrupa pompaj depolama tesisleri 30 yıldan daha eskidir. Bunların üçte ikisi 1970 ile 1990 yılları arasında inşa edilmiştir (Şekil 14). En eski pompaj depolama tesisleri Almanya ve İsviçre'de bulunmaktadır.



Şekil 15: Yıllara göre Pompaj Depolama HES Tesis Kurulumu

Dünya çapında yaklaşık 160 GW pompaj depolama kapasitenin 57 GW ile Avrupa en büyük bölgedir ve pazarın yaklaşık %33'ünü oluşturmaktadır. Potansiyel çoğunlukla İtalya , Avusturya, Almanya, İspanya ve Fransa 'da bulunmaktadır. 2020 yılına kadar %20 yenilenebilir enerji kullanımı ortak hedefi ile birçok AB üye ülkesi, tarife garantisi gibi yenilenebilir üretime yönelik büyük ekonomik destek programları uygulamaya koyması sonucu, PDHES sistemleri yeniden gündeme gelmiştir. Avrupa'da 2030 yılına kadar PDHES gücünün 8-11 GW kadar artması planlanmaktadır, bu artış yenilenebilir enerji yatırımlarının artışına bağlı olarak belirlenebilecektir. Yeni tesisler İsviçre, Avusturya, İngiltere, Portekiz ve Fransa'da planlanmaktadır. Romanya, İrlanda ve Ukrayna'da yeni projelerin gerçekleştirileceği ülkeler arasındadır. (IHA Raporu 2018 - The world's water battery: Pumped hydropower storage and the clean energy transition)

Avrupa ülkelerinde hidroelektrik kurulu güç ve pompaj depolamalı santral kurulu güçleri aşağıda verilmiştir.

**Tablo 2:** Avrupa Ülkeleri 2021 Yılı Hidroenerji ve PDHES Kurulu Güç ve Üretim  
(2022 Hydropower Status Report – International Hydropower Association)

ÜLKE	PDHES DAHİL HİDROENERJİ KURULU GÜÇ (MW)	PDHES (MW)	ÜRETİM (TWh)
Almanya	10,883	6,199	24
Andora	45	0	<1
Arnavutluk	2,390	0	5
Avusturya	14,747	5,596	41
Belarus	97	0	<1
Belçika	1,427	1,307	1
Bosna Hersek	2,187	440	5
Bulgaristan	3,129	1,404	5
Çek Cumhuriyeti	2,281	1,172	4
Danimarka	7	0	<1
Estonya	4	0	<1
Finlandiya	3,263	0	16
Fransa	25,494	5,837	63
Grönland	91	0	1
Hırvatistan	2,155	281	7
Hollanda	38	0	<1
İngiltere	4,713	2,833	7
İrlanda	508	292	1
İspanya	20,425	6,117	32
İsveç	16,478	99	71
İsviçre	16,842	3,029	39
İtalya	22,593	7,685	47
İzlanda	2,086	0	14
Karadağ	649	0	2
Kosova	92	0	6
Kuzey Makedonya	644	0	1
Letonya	1,588	0	6
Lichtensteyn	35	0	<1
Litvanya	1,028	900	1
Lüksemburg	1,330	1,296	1
Macaristan	58	0	1
Moldova	76	0	<1
Norveç	33,391	1,439	144
Polonya	2,385	1,780	3
Portekiz	7,199	2,827	13
Romanya	6,313	92	17
Sırbistan	3,133	642	12
Slovakya	2,522	1,017	4
Slovenya	1,301	180	5
Türkiye	31,497	0	55
Ukrayna	6,317	1,887	2
Yunanistan	3,421	699	6
<b>TOPLAM</b>	<b>254,901</b>	<b>55,050</b>	<b>689</b>



### 2.3.1.1. Almanya, Avusturya ve İsviçre

Almanya ve İsviçre Avrupa'da ilk pompaj depolamalı tesislerin yapıldığı ülkelerdir. Avrupa'daki son yıllarda pompaj depolama tesislerinin çoğu Almanya, Avusturya ve İsviçre'de inşa edilmiştir. Almanya'daki pompaj depolamalı tesis yatırımları esas olarak mevcut tesislerin genişletilmesinden oluşmuş, Avusturya ve İsviçre'de ise yeni tesisler inşa edilmiştir. Bunun nedeni, Almanya'da uygun doğal ön koşullara sahip neredeyse tüm konumların hali hazırda pompaj depolama için kullanılıyor olmasıdır.

Almanya'daki en büyük iki pompaj depolama tesisi, Thüringen'de 1.060 MW Goldisthal ve Saksonya'da 1.050 MW Markersbach'tır. Beş pompaj depolama tesisinden oluşan Baden-Württemberg'deki Schluchseewerk kompleksi, yaklaşık 1.800 MW kapasiteye sahiptir. Ayrıca 2019 yılında açılan Gaildorf PDHES rüzgar santrali ile işletilen pilot bir projedir. Ülke şu anda Alp bölgesinde pompaj depolama tesisi geliştirmeye odaklanmıştır.

#### Goldisthal PDHES - Almanya

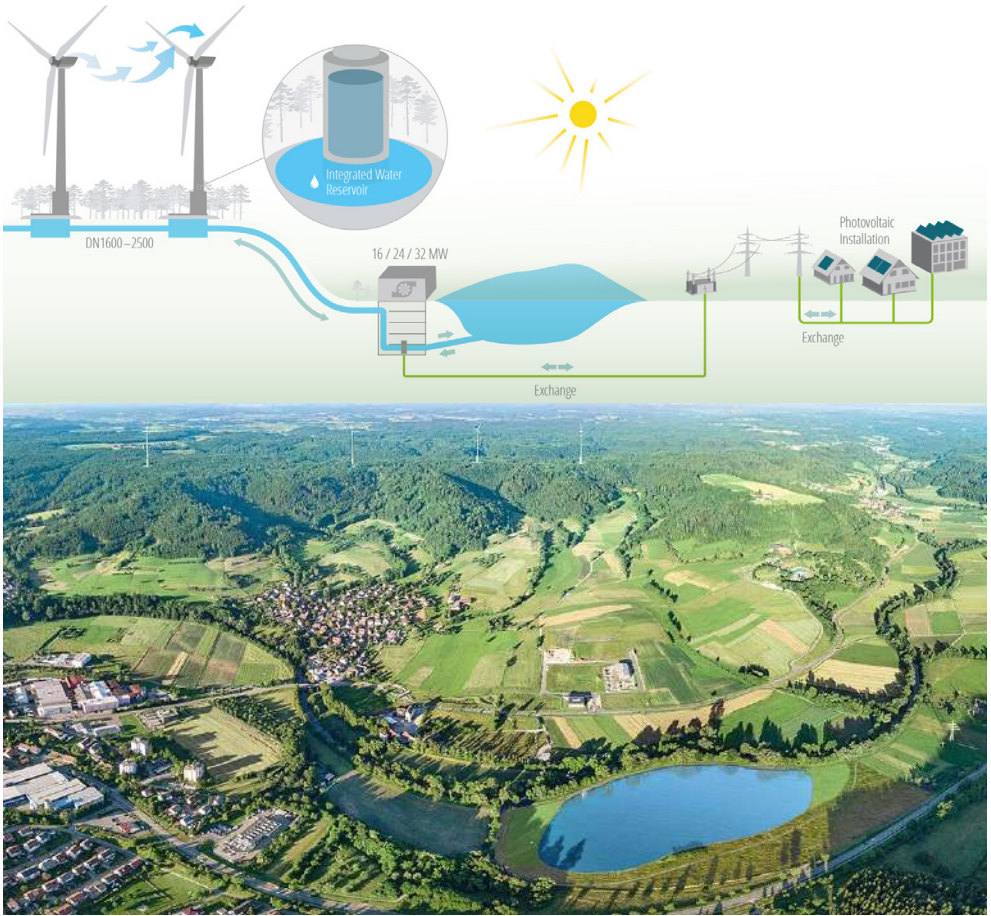
Almanya'da 2003 yılında faaliyete geçen 1.060 MW (2 adet değişken hızlı ve 2 adet sabit hızlı) kurulu güce sahip Goldisthal PDHES tesisi, Avrupa'daki ilk değişken hızlı PDHES sistemidir. Değişken hızlı ve sabit hızlı birimlerin her birinin iki birimden oluşmasının nedeni, sabit hızlı birimleri bir değişken hızlı birimlerde kurulumu zor olan "black - start" ile donatmanın yanı sıra, değişken hızlı birimler için gereken frekans dönüştürücünün kurulum alanını ve maliyetini azaltmaktır. Böyle bir yapı ile bile, bir bütün olarak bir enerji santrali, değişken hızlı ve sabit hızlı ünitelerin çalışmasını uygun şekilde birleştirerek güç sistemi operatörlerinin ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir (IEA, 2021).



Goldisthal PDHES -Almanya

## Gaidorf Su Bataryası Projesi - Almanya

Almanya'nın Gaidorf banliyölerinde, 16 MW PDHES ve 13,6 MW (4\*3.4 MW) rüzgâr santralini birleştiren pilot proje 2019'da kurulmuştur. Projede rüzgâr türbininin temeli kule, inşaat maliyetlerini azaltmak için PDHES için bir üst rezervuar olarak kullanılan bir tank görevi yapmaktadır. Bu projenin bir diğer özelliği de, rüzgâr enerjisinin, güç sistemini kullanmadan doğrudan pompalama için kullanılabilmesidir. Büyük ölçekli bir teknik uygulamada ilk kez gösterilen bu yenilikçi teknoloji Almanya Hükümeti tarafından desteklenmiş ve yatırım tutarı 7.15 milyon Avro'dur. PDHES için tam bir dönüştürücü tipi değişken hızlı sistem kullanılan, bir frekans dönüştürücünün ölçeği, ikincil uyarıcı tipi değişken hızlı sisteme kıyasla büyüktür, ancak üretim ve pompalama arasındaki modun değiştirilmesi hızlıdır<sup>7</sup>.



Gaidorf Su Bataryası Projesi – Almanya

7 <https://www.mbrenewables.com/en/pilot-project/>

## Limmern PDHES - İsviçre

İsviçre'deki en büyük pompaj depolama tesislerinden biri 1.000 MW kurulu gücü ile Limmern PDHES projesidir. 2009 yılında inşaatına başlanan projede inşaat süresi yaklaşık 10 yıl sürmüştür. Kayanın altına inşa edilen PDHES'de Limmern gölünden 630 metre yükseklikte bulunan Mutsee barajı rezervuarına su pompalanmakta ve daha sonra gerektiğinde elektrik üretimi için yeniden kullanılmaktadır. Tesiste her biri 250 MW gücünde 4 adet türbin bulunmaktadır. Aynı bölgede bulunan Tierfehd pompaj depolama tesisin kapasitesi ise 140 MW'dır<sup>8</sup>.



Limmern PDHES - İsviçre

## Nant de Drance PDHES - İsviçre

İsviçre'deki 900 MW gücündeki Nant de Drance pompaj depolama projesinin inşaatına 2008 yılında başlanmış olup, 2022 sonunda tamamlanması ve tam olarak faaliyete geçmesi beklenmektedir. 2020 Ağustos ayında, projenin pompa türbinlerinden biri, mevcut test aşamasında büyük bir adım olarak ilk kez ekstra yüksek voltajlı şebekeye bağlanmıştır. Toplam 900 MW kapasiteye sahip Nant de Drance hem İsviçre'de hem de komşu Avrupa ülkelerinde elektrik şebekesini sabit tutmada önemli bir rolü olacaktır<sup>9</sup>.



Nant de Drance PDHES - İsviçre

8 <https://www.axpo.com/se/en/energy-knowledge/limmern-pumped-storage-power-plant.html>

9 <https://www.alpiq.com/alpiq-group/media-relations/media-releases/media-release-detail/nant-de-drance-first-pump-turbine-connected-to-the-grid>

### 2.3.1.2. İspanya - Portekiz

İspanya 6.12 GW (2020) ve Portekiz 2.82 GW (2020), Batı Avrupa'da pompaj depolama için en dinamik ülkeler olarak görülmektedir.

Portekiz Alqueva I and II pompaj depolamalı HES projelerinde ise Alqueva II projesi I projesinin büyütülmesi olup kapasiteyi ikiye katlayarak 2013 yılında 512 MW kurulu güce ulaşmıştır. 2015 yılın sonunda devreye alınan Venda Nova III projesi ile Venda Nova projelerinin toplam gücü 1038 MW'a ulaşmıştır. ([www.hydropower.org](http://www.hydropower.org))



Venda Nova II PDHES -Portekiz



Alqueva II PDHES - Portekiz

Hali hazırda Avrupa'da pompaj depolamalı HES kurulu gücünde İtalya ve Almanya'dan sonra 3. sırada yer alan İspanya'nın, önümüzdeki 10 yıl içinde yeni pompaj depolama tesisleri inşa edeceği öngörülmektedir.

İspanya Valencia şehri yakınlarında kurulan Cortes-La Muela Hidroelektrik santral kompleksi toplam 1.8 GW gücü ile Avrupa'daki en büyük pompaj depolamalı tesistir. Proje 290 MW Cortes II Hidroelektrik Santrali 634 MW La Muela I ve 878 MW La Muela II pompaj depolamalı santraldan oluşmaktadır. Projede yıllık 1625 GWh enerji üretilmekte, Jucar nehri alt rezervuar olarak kullanılmakta su yukarıda yapay olarak oluşturulan göle pompalanmaktadır. 1983-1989 yılların arasında inşa edilen Cortes II baraj ve HES ve La Muela I PDHES projesinin kapasitesi büyütülerek 2006-2013 yılları arasında La Muela II PDHES kurulmuştur<sup>10</sup>.



Cortes-La Muela PDHES - İspanya

10 <https://www.nsenerybusiness.com/projects/cortes-la-muela-power-complex/>

### 2.3.1.3. İtalya

İtalya, Avrupa bölgesinde en yüksek kurulu pompaj depolama kapasitesine sahiptir. 2020 itibariyle, İtalya'da, ağırlıklı olarak Piedmont ve Lombardiya bölgelerinde bulunan ve toplam gücü 7.7 GW'ın üzerinde kapasiteye sahip ondokuz pompaj depolama HES projesi bulunmaktadır.

Bunlardan 4 adedinin kurulu gücü 1 GW üzerindedir. Entracque PDHES (1.18 GW), Roncovalgrande PDHES (1.01 GW) Presenzano Hidroelektrik Santrali (1 GW) ve Edola PDHES (1 GW)

#### Entracque PDHES - İtalya

Yukarı Gesso Santrali olarak da bilinen Entracque Santrali, İtalya'nın Entracque kentinin hemen güneyinde Valle Gesso'da bulunan pompaj depolamalı bir hidroelektrik santraldır. Bu projenin özelliği ise yukarı depolama alanının iki adet olması bu iki rezervuar tek bir aşağı rezervuar kullanmaktadır. Böylece Entracque Santrali, üç rezervuardan oluşan tesisdir. Hem Chiotas hem de Rovina tarafından kullanılan alt rezervuar Lago della Piastra'dır. Tesisin inşaatına 1962 yılında başlanmış, 1982 yılında işletmeye alınmıştır.



Edola PDHES - İtalya



Entracque PDHES- İtalya

#### Presenzano PDHES İtalya

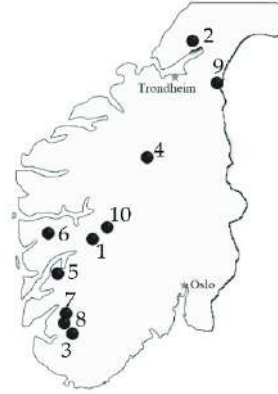
Resmi olarak Domenico Cimarosa Hidroelektrik Santrali olarak bilinen Presenzano Hidroelektrik Santrali, İtalya'nın Caserta eyaletindeki Presenzano'daki Volturmo Nehri boyunca yer almaktadır. Kapalı sistem olan tesis 1979-1990 arasında inşaa edilmiş, 1991'de işletmeye alınmıştır. 1.000 MW kurulu kapasiteye sahip projede 1.27 GWh/yıl üretim kapasitesi bulunmaktadır. Projenin özelliği üst rezervuarın alt rezervuardan 500 metre yüksekte olmasıdır.



Presenzano PDHES - İtalya

### 2.3.1.4. İskandinav Ülkeleri

İskandinav ülkeleri, enerji ekonomileri için pompaj depolama tesislerine ihtiyaç duymamışlardır çünkü; şebeke, rezervuarlı geleneksel hidroelektrik santallerindeki türbinleri açıp kapatarak yeterince dengelenebilmektedir. Ancak, diğer sanayi ülkelerinden gelen elektriği depolamak için pompaj depolama tesisleri kullanma planları vardır (İsviçre ve Avusturya'daki duruma benzer). Bunun bir adımı olarak; NordLink projesi ile Norveç ve Almanya arasında şebeke bağlantısını sağlamak üzere, 500 kV voltajlı 500 km den uzun bir kablo ile deniz altı 1.400 MW HVDC güç kablosunun testleri devam etmekte olup, 2021'de tam olarak çalışmaya başlamıştır. Daha küçük güç kapasitelerine sahip diğer iletim kabloları, Hollanda ile Norveç arasında ve Danimarka ile Norveç arasında hali hazırda kullanılmaktadır.



- 1-Aurland III
- 2-Brattingfoss
- 3-Duge
- 4-Herva
- 5-Jukla
- 6-Nygard
- 7- Saurdal
- 8-Stølsdal
- 9-Tevla
- 10-Øljesjøen

İsveç Norveç PDHES Projeleri<sup>11</sup>



Linth-Limmern PDHES

11 <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/18/4918/htm>

İskandinavya'daki yeni pompaj depolama tesislerinin çoğunun Norveç'te inşa edilmesi beklenmektedir. Norveç'te yeni pompaj depolama tesisleri mevcut depolama tesislerinin genişletilmesi şeklinde olması öngörülmektedir.

### 2.3.1.5. İngiltere - İskoçya

İngiltere'de, Ffestiniog pompaj depolama tesisinin yenilenmesine devam edilmekte ve İrlanda'nın yanı sıra İngiltere'de de pompaj depolama tesislerinin yenilenmesi planlanmaktadır. Norveç'i sırasıyla İngiltere ve Almanya'ya bağlayarak yenilenebilir elektrik ticaretini mümkün kılan Kuzey Deniz Bağlantısı ve NordLink Mayıs 2021'de açılmış ve iki ülke arasında enerji ticareti başlamıştır.

İngiltere'de pompaj depolamalı santral projesi ilk olarak 1960'lı yıllarda yapılan Blenheim Ffestiniog PDHES ile başlamıştır. 360 MW gücündeki tesis 1963 yılında işletmeye alınmış ancak yıllar geçtikçe ada ülkenin elektrik enerjisini regüle etmekte yetersiz kalmıştır.

### Dinorwig PDHES- İngiltere

İngiltere'nin kuzeyinde Galler bölgesinde yer alan Dinorwig PDHES 1.7 GW kurulu gücü ile en büyük projelerden birisidir. Elidir Fawr dağları tepesindeki doğal göl ve dağ yamaçlarındaki yüzyıllar boyunca oluşmuş mağaraların düzenlenmesi ile kurulmuştur. Santral 1984 yılından bu yana işletilmektedir<sup>12</sup>.



Dinorwig PDHES – İngiltere Galler<sup>13</sup>

### Cruachan PDHES – İskoçya

Drax Group'un İskoçya'daki Cruachan PDHES projesi Temmuz 2020'de İngiltere'nin güç sistemini güvende tutmak için kritik sistem destek hizmetleri sağlama-

<sup>12</sup> <https://www.nenergybusiness.com/projects/dinorwig-power-station/>

<sup>13</sup> <https://www.electricmountain.co.uk/>

ya başlamıştır. Bu, dünyada ilk Ulusal Şebeke Elektrik Sistemi Operatörü (ESO) ile bir güç sisteminin kararlılık sözleşmesi olmuştur. Altı yıllık sözleşmenin parçası olarak, elektrik santralının üretim birimlerinden biri, güç kaynaklarını herhangi bir elektrik üretmeden güvende tutmak için atalet gibi destek hizmetleri sağlayacak ve daha fazla rüzgâr ve güneş enerjisinin devreye girmesini sağlayacaktır. Drax, sözleşmeler süresince tüketicileri 120 milyon £'dan fazla tasarruf ettirmesi beklenen bir hareketle şebekeye sistem destek hizmetleri sağlayan beş sağlayıcıdan ilki olup, İngiltere elektrik sistemini 2025 yılına kadar karbonsuz çalıştırma hedefinde önemli bir katkısı bulunmaktadır. ESO Şebeke Sorumlu Başkanı, “İngiltere elektrik sistemi, hem güvenilirlik hem de yenilenebilir enerji seviyeleri açısından dünyadaki en gelişmiş sistemlerden biridir ve şebekeyi çalıştırmaya yönelik bu yeni yaklaşımla buna katkıda bulunmaktan gerçekten heyecan duyuyoruz,” diyerek, Drax gibi sağlayıcılarla stabilite hizmetleri için sözleşmelerin daha ucuz ve daha çevreci olduğundan, emisyonları azalttığından ve elektrik tüketicileri için tasarruf sağladığından ayrıca bahsetmiştir. “Bu yaklaşım - atalet ve diğer stabilite hizmetleri için bir pazar yaratma - dünyanın herhangi bir yerinde türünün ilk örneği olduğundan ve İngiltere elektrik sistemini 2025 yılına kadar karbonsuz olarak çalıştırma hedefinde ileriye doğru büyük bir adım olacağından düşünüldüğünden bahsedilmiştir.



*Cruachan PDHES – İngiltere*

### **2.3.1.6. Fransa**

Norveç ve Türkiye'den sonra Avrupa'da 3. en fazla hidroelektrik kapasiteye sahip Fransa ise 5,84 GW pompaj depolama kapasitesi bulunmaktadır. Fransa'daki La Coche pompaj depolama istasyonunda yeni bir 240 MW Pelton türbini işletmeye alınarak eski ünitelerin yerini almış ve tesisin kapasitesi yüzde 20 artırılmıştır.

#### **Grand'Maison PDHES- Fransa**

Fransa'da bulunan Grand'Maison Barajı, Romanche Nehri'nin bir kolu olan L'Eau d'Olle'de bir dolgu barajıdır. Fransız Alpleri'ndeki Isère Vaujany'de yer almaktadır.



Barajın birincil amacı, vadide daha aşağıda bulunan Lac du Verney'nin alt rezervuar olduğu, pompaj depolama hidroelektrik şeması için üst rezervuar görevi görmektir. 1.8 GW gücü ile Fransa'daki en büyük pompaj depolamalı tesisdir. 1978-1985 yılları arasında inşaatı yapılan proje 1987'de ticari işletmeye başlamıştır.

Grand Maison projesi AB'nin XFLEX HYDRO (Hydropower Extending Power System Flexibility – Hidroelektrik Güç Sistemi Esnekliği) projesi için kontrol ve verimlilik ve kısa devre teknolojisini uygulamak amacı ile seçilmiştir. Tesis tarafından geliştirilmiş şebeke esnekliği hizmetleri için pompaların ve Pelton türbinlerinin anlık kullanımını test etmek için Grand Maison yüzey santral ünitelerinde yeni türbin rayları ve gelişmiş otomasyon teknikleri kullanılmaktadır. Grand Maison'daki tanıtım projesinin katılımcıları arasında EDF, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL, GE, HES-SO Üniversitesi, İsviçre ve Power Vision Engineering) yer almaktadır<sup>14</sup>.



Grand Maison PDHES – Fransa

### La Coche PDHES – Fransa

Fransa'nın Savoie kentinde Tarentaise Vadisi'nde bulunan La Coche pompaj depolamalı hidroelektrik santrali, 2019 yılının sonlarında yeni bir 240 MW türbin jeneratör ünitesinin devreye alınmasıyla genişletilmiştir. Electricite de France (EDF) tarafından sahip olunan ve işletilen mevcut 360 MW pompaj depolama tesisi, 1976'dan beri faaliyetine devam etmektedir. Tesisin genişletilmesi (kapasite artışı) için saha çalışmaları 150 milyon avro bedelle 2015 yılında başlamıştır ve yeni üretim ünitesinin inşasına ise 2016 yılında başlamıştır. Yeni tesisin devreye alınması, mevcut pompaj depolama ünitelerinde yapılan iyileştirmelerle birlikte, La Coche tesisinin yıllık üretim kapasitesini % 20 artırarak 650 GWh'e çıkmış, Savoie bölgesindeki yaklaşık 270.000 kişinin elektrik ihtiyacını karşılamaya yetecek hale gelmiştir<sup>15</sup>.

<sup>14</sup> <https://www.nsenenergybusiness.com/projects/grand-maison-hydroelectric-power-plant/>

<sup>15</sup> <https://www.nsenenergybusiness.com/projects/la-coche-power-plant-expansion/>



*La Coche PDHES – Fransa*

### **Revin PDHES-Fransa**

Revin Pompaj Depolama Santrali, kuzey Fransa'da, Ardennes bölümünde ve Belçika sınırında Revin yakınlarında yer almaktadır. 1976 yılında işletmeye alınan pompaj depolamalı elektrik santrali, Électricité de France'a aittir ve 800 MW gücündedir. Bu güç ile Fransa'daki en büyük üçüncü pompaj depolama santralidir. Revin Pompaj Depolama Santrali bir yeraltı santrali olarak inşa edilmiştir: Her biri 200 MW kapasiteli hem üretim hem de pompaj için kullanılan dört adet Francis türbini 115 m uzunluğunda, 17 m genişliğinde ve 16 m yüksekliğinde bir mağarada yer almaktadır. Jeneratörleri elektrik şebekesine bağlamak için yüzeye dört adet transformatör monte edilmiştir.



*Revin PDHES - Fransa*

### 2.3.1.7. Doğu Avrupa Ülkeleri

Pompaj depolamalı santraller konusunda Doğu Avrupa'daki paradigma Batı Avrupa ülkelerindekinden farklıdır. Bu ülkelerin enerji üretim kaynakları arasında rüzgâr ve güneş enerjisi yalnızca küçük bir rol oynamakta, enerji üretimini ağırlıklı olarak termik ve nükleer santrallerden karşılamaktadırlar. Ayrıca topografik yapı ve coğrafi olarak da büyük güçlerde pompaj depolamalı tesis yapımına uygun alanlar bulunmamaktadır. Ancak, ilerleyen yıllarda iklim değişikliği ve karbonsuzlaştırma hedefleri doğrultusunda örneğin, termik ve nükleer santrallerden elektrik üretmek ve sistemlerini dengede tutmak amacı ile Romanya, Litvanya, Letonya, Estonya, Slovenya ve Macaristan gibi ülkelerde pompaj depolama tesislerine ihtiyaç duyulabilecektir. Bu gelişme, Batı Avrupa ülkelerindeki 1970'ler ve 1980'lerdeki inşaat patlamasıyla karşılaştırılabilir. Litvanya'da 1.01 GW kapasiteli Kruonis Pompaj Depolamalı HES projesinin 2025 yılında işletmeye alınması planlanmaktadır. Polonya'da 1.78 GW kurulu gücünde PDHES projesi bulunurken, Romanya'nın hidroelektrik enerjiyi geliştirme portföyü dâhilinde Hidroelectrica tarafından işletilen beş pompaj depolama tesisinin toplam 91,5 MW kurulu güce sahip olduğu görülmektedir.



*Kruonis PDHES – Litvanya*

### **Dniester PDHES – Ukrayna**

Ukrayna'da Dniester Nehri üzerinde yer kurulan Dniester PDHES projesi her biri 324 MW olan 7 türbinden oluşmaktadır. Toplam gücü 2.28 GW olan tesisin inşaatına 1988 yılında başlanmış, bütçesel sıkıntılar nedeni ile inşaat dönemi uzamış, ilk dört ünite sırası ile 2010, 2014, 2016 ve 2021 yılsonunda işletmeye alınmıştır. 2028 yılında tesisin tamamının işletmeye alınması hedeflenmiştir. Tesis elektrik üretiminde 324 MW olan türbin gücü pompalama anında 421 MW'a ulaşmaktadır. Projenin 3 aşamada tamamlanması hedeflenmiştir, ilk aşama toplam 972 MW lik ilk 3 ünite,

2. aşama 324 MW gücündeki 4. ünite ve üçüncü aşama da son 3 ünitenin devreye alınmasıdır<sup>16</sup>.



*Dniester PDHES – Ukrayna*

### **2.3.2. Avrupa Genel Değerlendirme**

Yakın zamanda, Avrupa Parlamentosu üye ülkeleri hidroelektrik enerjinin “enerji depolamada önemli bir rol” oynadığını tanımlayan bir enerji stratejisi raporu lehinde oy kullanmışlardır. Endüstri, Araştırma ve Enerji Komisyonundaki Parlamento Üyeleri, pompajlı depolamanın iyi çalışan bir teknoloji olduğunu kabul ederek, karbondan arındırılmış bir ekonomiye geçiş için enerji depolamanın gerekli ve şart olacağını vurgulamışlardır. AB üye ülkelerini pompaj depolamalı hidro dâhil çeşitli çözümlere bakarak enerji depolama potansiyellerini tam olarak keşfetmeye çağrıda bulunulmakta ve ayrıca, Avrupa Komisyonu’nun yenilenebilir enerji hedefleri doğrultusunda kapsamlı bir depolama stratejisi geliştirilmesi talep edilmektedir. Bununla birlikte Avrupa Komisyonu, AB üye devletlerini, mevcut ve yeni rezervuarların çok amaçlı kullanımlarının yanı sıra pompaj depolama hidroelektrik kapasitesini artırmanın yollarını aramak, üye devletleri; geciken projelerin önündeki idari engelleri kaldırmaya ve yenilikçi yaklaşımlar için düzenleyici destek sağlamak ve depolama uygulamaları için mevcut kapasiteyi yükseltmenin fırsatlarına ve çevresel faydalarını araştırma konularında çağrılarda ve önerilerde bulunmaktadır.

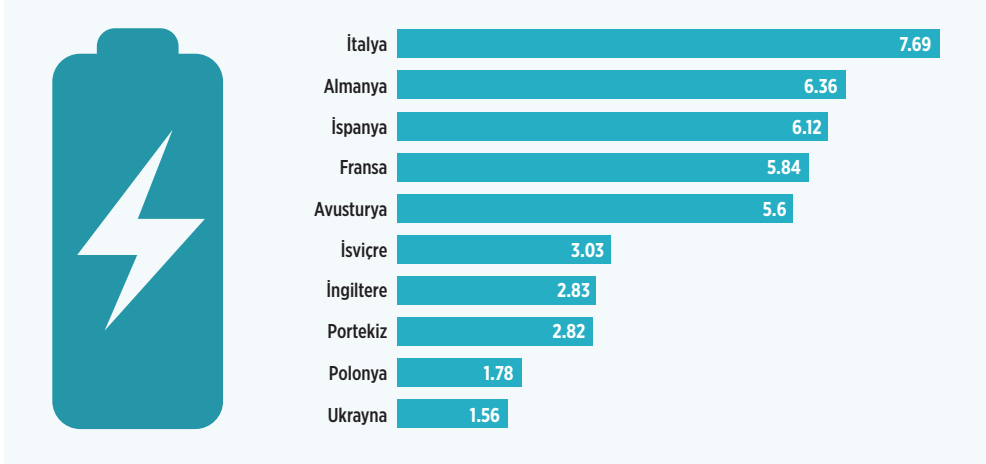
2030 yılı AB iklim hedefleri doğrultusunda Pompaj Depolamalı HES’lerin Avrupa Yeşil Mutabakatı hedefleri çerçevesinde daha anlamlı bir yere oturtulması için süre gelen tartışma ve görüşmeler ise ilgili makamlar ve uzmanlarca devam etmektedir.

Uluslararası Hidroelektrik Birliği’ne (IHA) göre; Avrupa, iklim değişikliğine hedeflerine önemli bir katkıda bulunan yenilenebilir hidroelektrik ile daha temiz bir enerji karışımına doğru istikrarlı bir şekilde ilerlemektedir. “*IHA 2020 Hidroelektrik Durum*

<sup>16</sup> <https://www.nseenergybusiness.com/projects/dniester-pumped-storage-hydroelectric-power-project/> (erisim 24.01.2022)

*Raporu*”nun önsöz bölümünde IHA Başkanı Roger Gill: “Pompaj depolama kapasitesi iki katından fazla olmalıdır ve bu büyüme, değişken yenilenebilir enerjiyi desteklemek için hayati önem taşımaktadır” diyerek pompaj depolama konusundaki ihtiyaca vurgu yapmıştır. Rapora göre; Avrupa’da yerleşik bir sektör olarak, ana alanların çoğu hali hazırda geliştirilmiştir ve 2019’da kapasite nispeten sabit kalmıştır. Ancak, bir dizi proje devam etmekte ve AB bloğunun kenarlarında sıfırdan büyüme beklenmektedir. Yeni pompaj hidroelektrik depolamanın, diğer bir odak alanı olduğuna değinilmiştir. Aynı raporda; pek çok ülkede çevresel muhalefetle karşı karşıya olmasına rağmen, küçük ölçekli hidroelektriğin de kalkınma için tanımlandığından bahsedilmiştir. 2018 yılında yayınlanan bölgesel planlama ve politika güncellemelerinde hidrolik de yer alarak, önerilen 12 pompaj depolama projenin, Avrupa Komisyonu’nun yakın zamanda güncellenen sınır ötesi Ortak İlgi Projeleri (PCI’ler) listesine dâhil edildiği vurgulanmıştır.

“*IHA 2020 Hidroelektrik Durum Raporu*”nda, 2019 yılı sonundan itibaren dünyada etkili olan Covid-19 salgını nedeniyle; Çin’de yer alan proje gecikmeleri sebebiyle 2019 yılında pompaj depolamalı hidroelektrik kurulu kapasitesinde artış olmadığı ancak, bununla birlikte dünya genelinde yeni pompaj depolama projelerine artan ilginin gözlemlendiğinden bahsedilmiştir.



**Şekil 16:** Ülkelere göre 2020’da Avrupa’da kurulu PDHES kapasitesi örnekleri<sup>17</sup> (MW)

Raporun bölgesel incelemeler bölümünde: Amerika Birleşik Devletleri’nde, pompaj depolama dâhil toplam hidroelektrik kapasitesinin 2019’da 103 GW’da kaldığı, en son büyüme küçük projelerden gelmiş olsa da, 30 GW pompaj depolama da dâhil olmak üzere hala 50 GW kullanılmayan hidroelektrik potansiyelinin olduğu belirtilmiştir. Avrupa kıtasında ise; yenilenebilir enerji karışımını desteklemek için depolama dâhil olmak üzere esnek şebeke hizmetlerine olan ihtiyacın artmasıyla birlikte pompaj

<sup>17</sup> <https://www.statista.com/statistics/690032/pumped-storage-capacity-europe/>

depolamanın, gündemde üst sıralarda yer almaya devam ettiğinden bahsedilmiştir. Doğu Asya ve Pasifik değerlendirmesinde: Covid 19 salgınına vurgu yapılmış ve pompalanan depolama kapasitesinin, yeni pompaj depolama projelerinde geçici bir duraklama ile 2019'da 300 MW arttığı bildirilmiştir. Raporun pompaj depolamalı HES'ler ile ilgili bölümden şu ifadeler yer almaktadır. Dünyanın "su bataryası" olan pompaj depolamalı hidroelektrik gücü (PDHES) şeklindeki enerji depolama, değişen güç sistemlerinin ihtiyaçlarına uyacak şekilde sürekli olarak gelişen kanıtlanmış bir teknoloji olduğu vurgulanmaktadır. PDHES şu anda kurulu küresel enerji depolama kapasitesinin yüzde 94'ünden fazlasını ve şebeke ölçeğindeki uygulamalarda depolanan enerjinin yüzde 96'sından fazlasını oluşturmaktadır. Depolama ve yardımcı şebeke hizmetleri aracılığıyla sağlayabileceği esneklik, güç kaynağının birden çok zaman ölçeğinde talebi karşılamasını sağlamada giderek daha önemli hale gelmektedir.

### **Uluslararası Hidroenerji Birliği (IHA) 2020 Hidroelektrik Durum Raporunun Avrupa İncelemesi:**

Hidroelektrik, 2019 yılında yayınlanan bölgesel planlama ve politika güncellemelelerinde yer almış ve önerilen 12 pompaj depolama projesi, Avrupa Komisyonu'nun yakın zamanda güncellenen sınır ötesi Ortak İlgili Projeleri (PCI'ler) listesine dâhil edilmiştir. Ayrıca, sektörlere yönelik yatırımlar için rehberlik ve uygunluk kriterleri şeklinde, sürdürülebilir finans için AB Taksonomisinin bir parçası olarak öneriler yayınlanmış ve bunlar yeşil büyümeyi destekler ve hidroelektrik dâhil AB'nin net sıfır 2050 hedefiyle uyumlu olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Komisyon, Hydropower Europe, XFLEX HYDRO (Hydropower Extending Power System Flexibility) ve 2018'de başlayan Hydroflex dâhil olmak üzere hidroelektrik potansiyeline odaklanan araştırma ve inovasyon girişimlerini başlatmıştır.

### **Gelişmeler**

IHA 2022 Hidroelektrik Durum Raporunun Avrupa'daki gelişmeleri değerlendirdiği bölümde; Avrupa'da enerji arzının pandemi öncesi düzeylere gelmiştir. Hidroenerji 660 TWH üretimi ile AB üye ülkelerinde en fazla yenilenebilir enerji üretimi oldu. Ukrayna-Rusya çatışması ile Avrupa Komisyonu temiz enerji dönüşüm çalışmalarına hız verirken, Rusya ile olan gaz ithalatını düşürmek ve iklim değişikliği hedeflerinden sapmamak için planlarını açıkladı. Komisyon başkanı tarafından Mart 2022'de yapılan açıklamada hidroelektrik de dahil yenilenebilir enerjiye uzun dönemdeki ihtiyaç vurgulandı. Avrupa'nın enerji dönüşümünde hidro kaynakların önemli bir rol oynayacağı Avrupa Komisyonunun yanısıra Uluslararası Enerji Ajansı, IRENA, Pompaj Depolamalı HES Uluslararası Forumu (IFPSH) ve Hidroelektrik Avrupa tarafından da kabul edilmiştir. IEA tarafından 2021 yılında ilk kez yayınlanan Hidroelektrik Raporunda Avrupa hidro kapasitesinin 2030 yılına kadar %8 artacağı vurgulanmıştır. Avrupa pompaj depolaması HES kurulu gücü 55 GW'a ulaşmış, bu-

nun 324 MW'ı 2021 yılında devreye alınmıştır. Avrupa'da güneş ve rüzgar santralleri ile hibrit PDHES projeleri de geliştirilmekte, maksimum işletme ve sistem esnekliği için modern teknolojiler kullanılmaktadır.

İngiltere'de, Festiniog pompaj depolama tesisinin yenilenmesi devam etmekte olup, İngiltere ve İrlanda'da daha fazla pompaj hidroelektrik santral planlanmaktadır. Daha kuzeyde, İzlanda'nın üçüncü Strandır bölgesinde, jfeigsfjörður fiyordunda yeni bir hidroelektrik santral inşa etme planları onaylanmıştır.

Rapordaki diğer gelişmeler ise şu şekildedir<sup>18</sup>.

- » Avusturya dâhil orta Avrupa'da ve daha doğuda, örneğin Baltık ülkelerinde pompaj depolamayı genişletme planları vardır.
- » İspanya'nın ulusal şebekesi REE, 2019'da toplam hidroelektrik kapasitesinde yalnızca 38 MW'lık bir büyüme kaydetmiştir. Benzer şekilde Portekiz'de de büyük bir ekleme yapılmadığı, ancak 880 MW'lık Gouvaes pompaj depolama tesisinin kapasiteyi artırması planlanmakta ve yapım aşamasındaki Tamega Hidroelektrik Kompleksinin bir parçasını oluşturmaktadır. Önümüzdeki on yıl içinde yenilenebilir enerjide öngörülen büyüme, her iki ülkenin de hem üretimi hem de depolama dâhil esneklik hizmetleri için hidroya daha fazla ihtiyaç duyacağı anlamına geleceği düşünülmektedir.
- » Avrupa Komisyonu Yunanistan'ın 680 MW üretim ve 730 MW pompaj kapasiteli Amfilochia Pompaj Depolamalı HES projesinin yapımı konusunda Yunanistan'a yardım talebini Aralık 2021'de onaylamıştır. Proje, mevcut yenilenebilir enerji birimlerinin işletilmesini destekleyerek ve yenilerinin devreye alınmasını sağlayarak, Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın karbondan arındırma hedefi doğrultusunda Yunan enerji sisteminin temiz yenilenebilir enerjisine sorunsuz ve etkili bir geçiş katkıda bulunacaktır.



*Amfilochia Pompaj Depolamalı HES Bölgesi - Yunanistan*

<sup>18</sup> [https://ec.europa.eu/info/news/state-aid-commission-approves-greek-measure-support-construction-and-operation-pumped-hydroelectricity-storage-facility-amfilochia-2021-dec-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/state-aid-commission-approves-greek-measure-support-construction-and-operation-pumped-hydroelectricity-storage-facility-amfilochia-2021-dec-20_en)

## 2.4. Eurelectric PDHES Raporu İncelemesi

Eurelectric, Avrupa elektrik endüstrisinde faaliyet gösteren bir birliktir. Elektrik üretimi, dağıtımı ve tedariki alanlarında 32 üye ülkeden 3.500'den fazla şirket adına elektrik sektörünü temsil eden güçlü bir lobi kuruluşudur<sup>19</sup>. Sektörün rekabet gücüne katkıda bulunmakta, kamu işlerinde etkili temsil sağlamak ve sürdürülebilir kalkınmanın zorluklarının ele alınmasında elektriğin rolünü teşvik etme misyonları üstlenmektedir. Bu bağlamda bünyesinde bulundurduğu çalışma gruplarında ve/veya işbirliği yaptığı diğer bazı kuruluşlarla Avrupa hidroelektrik santrallerin temiz enerji kaynağı olarak görülmesi konusunda görüşme ve müzakereler yürütmektedir. Diğer hidrolik enerji kaynaklarının yanı sıra Pompaj Depolamalı HES'lerin teşviki konusunda da adımlar atmaktadır.

Eurelectric partnerlerinden VGB'in 2017 yılındaki çalışmasında; Pompaj Depolama Tesisleri'nin, tek büyük ölçekli depolama seçeneğini temsil etmenin yanı sıra en uzun ömür, en düşük maliyet ve en yüksek verimliliğe sahip depolama teknolojisini temsil ettiği vurgulanmıştır. Avrupa'da PDHES'ler, yaklaşık %80'lik bir verimlilikle mevcut elektrik depolama kapasitesinin %97'sinden fazlasını oluşturduğundan bahsedilmiş ve aşağıda gösterilen Tablo 3'te depolama teknolojilerinin bazı önemli temel performans göstergeleri karşılaştırılmıştır.

**Tablo 3:** Depolama Teknolojileri Temel Performans Göstergeleri

Teknoloji	Mevcut Durum					
	Teknoloji Hazırlık Seviyesi (1-9 arası)	Verim	Ekonomik Ömür	Elektrik Üretim Maliyeti (ortalama)	Üretim ve İşletmede CO2 Nötrlüğü	Dönüşüm ve start-up süresi
PDHES	9	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
D-CAES (Diyabetik Basıncılı Hava Depolama)	8-9	Orta	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
A-DCAES (Adiyabetik Basıncılı Hava Depolama)	4	Orta	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
PtGtP (H <sub>2</sub> ) -Hidrojen	8-9	Az	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek
PtGtP (CH <sub>4</sub> )-	6	Az	Yüksek	Orta	Yüksek	Orta
Bataryalar	8-9	Yüksek	Az	Az	Az	Yüksek

Yüksek Orta Az

<sup>19</sup> <https://www.eurelectric.org/about-us/about-eurelectric>



Aynı çalışmada; rüzgâr ve güneşten gelen artan miktarlarda dalgalanan güç ile piyasalarda mevcut arz güvenliğini sağlamak için, önümüzdeki on yıllarda ilave yedek rezerv, dengeleme gücü ve depolama kapasitelerine duyulan ihtiyacın arttığına değinilmiştir. Özellikle, “*Büyük Nehir Tipi Enerji Santrallerinin, Depolama Enerji Santrallerinin ve Pompaj Depolama Hidroelektrik Santrallerinin Geleneksel Rezervuarları*”nın, iyi işleyen bir Avrupa elektrik sistemini mümkün kılan teknolojiler olduğu vurgulanmıştır. Geleneksel rezervuar tipi hidroelektrik santralleri gibi, pompaj depolama santralleri talebi veya üretim dalgalanmalarını sadece birkaç saniye içinde takip etme yetenekleri sayesinde, tüm şebeke stabilizasyon hizmetlerini sağlayabilen pompaj depolamalı santraller; kararlı ve dengeli bir şebeke sağlamak için önemli bir teknolojidir.

**Tablo 4:** Kaynak çeşitlerine göre santrallerin devreye alınma süreleri

	Nükleer Santraller	Taşkömürü Yakan Santraller	Linyit Kömürü Yakan Santraller	Kombine Çevrim Gaz Santraller	Pompaj Depolamalı Santraller
Soğuk Başlangıç	24-48 saat	~ 6 saat	~ 10 saat	< 2 saat	0,05 saat
Sıcak Başlangıç	1-2 saat (*)	~ 3 saat	~ 6 saat	< 1.5 saat	0,02 saat
Normal üretimde yük artış hızı	~ %10 $P_N$ /dk	~ %2 $P_N$ /dk	~ %2 $P_N$ /dk	~ %4 $P_N$ /dk	~ %100 $P_N$ /dk

(\*) Santralin arzının 1 saatten daha düşük olması durumunda

$P_N$  – Santral nominal güç

Birkaç AB üye ülkesinde, çarpık ve çift şebeke ücretleri ve aşırı vergilendirme, mevcut PDHES’lerin karlılığını tehlikeye atmakta ve hidroelektrik potansiyeli olan büyük Avrupa ülkelerinde PDHES’lerin daha da genişlemesini engellediği görülmektedir. Bunlara ek olarak, devam eden başka gelişmelerden, PDHES’lerin iyi bilinen avantajlarının yanı sıra, kurak kıyı bölgelerinde tatlı su üretmek için tuzdan arındırma amacı ile “Entegre Pompaj Hidro Ters Osmoz Sistemleri (IPHRO)” örnek olarak sunulmuştur.

*Tüm şebeke stabilizasyon hizmetlerini sağlayabilen pompaj depolamalı santraller; kararlı ve dengeli bir şebeke sağlamak için önemli bir teknolojidir.*

“Eurelectric Hydropower Facts and Figures – Edition 2020” raporunda ise 2018’de kurulu kapasite ve yıllık hidroelektrik üretimi tablosu aşağıdaki gibi verilmiştir.

**Tablo 5: 2018’de Kurulu Kapasite ve Yıllık Hidroelektrik Üretimi**

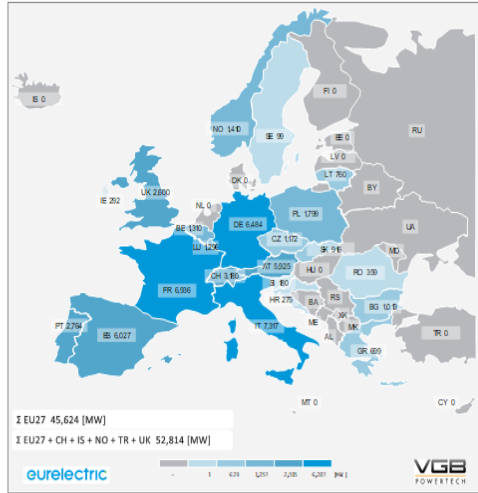
HİDROELEKTRİK	AB27	AB27 + CH + IS+ NO + TR + UK
Akarsu ve Depolama Tipi Santrallarda Kapasite	105 GW	180 GW
Pompaj Depolamalı Santrallarda net max. Elektrik Kapasitesi	46 GW	53 GW
Akarsu ve Depolama Tipi Santrallarda Üretim	344 TWh	596 TWh
Depolama Tipi Santrallarda Üretim	<b>26 TWh</b>	<b>31 TWh</b>

İtalya, Almanya ve İspanya’nın, pompaj depolama kapasitesi kurulu güç açısından ilk üç ülke olduğu ve Alp bölgesinin, Avrupa’nın pompaj depolamasının kalbi olduğu, pompaj depolama tesislerinin, gerekli yükseklik farkı olması durumunda teorik olarak herhangi bir yere inşa edilebilir olduğu ve bu açıdan geniş bir yapı alanı yelpazesine sahip olduğu vurgulanmıştır.

#### Avrupa’da PDHES’ler kurulu güç ve kapasite faktörlerine göre sınıflandırılması;

- » **Yüksek Kurulu Güç Grubu: İtalya, Almanya, İspanya, Fransa, Avusturya, İsviçre**
- » **Orta Kurulu Güç Grubu: İngiltere, Portekiz, Ukrayna, Polonya, Norveç, Bulgaristan**
- » **Düşük Kurulu Güç Grubu: Belçika, Lüksemburg, Çek Cumhuriyeti, Slovakya**

Country	Code	[MW]
Austria	AT	5,925
Belgium	BE	1,310
Bulgaria	BG	1,013
Croatia	HR	275
Cyprus	CY	0
Czech Rep.	CZ	1,172
Denmark	DK	0
Estonia	EE	0
Finland	FI	0
France	FR	6,936
Germany	DE	6,484
Greece	GR	699
Hungary	HU	0
Iceland	IS	292
Ireland	IE	7,317
Latvia	LV	0
Lithuania	LT	760
Luxembourg	LU	1,296
Malta	MT	0
Norway	NO	1,410
Poland	PL	1,799
Portugal	PT	2,764
Romania	RO	359
Slovakia	SK	916
Slovenia	SI	180
Spain	ES	6,027
Sweden	SE	99
Switzerland	CH	3,180
The Netherlands	NL	0
Turkey	TR	0
United Kingdom	UK	2,600



**Şekil 17: 2018 Yılında Pompaj Depolama Kurulu Güç Kapasitesi**

## 2.5. Diğer Dünya Ülkeleri İncelemesi

Pompaj depolamalı HES projeler konusunda kıta Avrupa sonrasında dünyanın en çok nüfusa sahip ilk iki ülkesi Çin ve Hindistan ile nükleer santrallerle beraber pompaj depolamalı santralleri de kuran Japonya ve ilk pompaj depolamalı projeyi 1900'lerin başında kuran ABD'deki çalışmalara yer verilmiştir.

### 2.5.1. Çin

2021 yıl sonu itibarı ile dünyada kurulu gücü 1 GW üzerinde olan pompaj depolamalı santral projelerinin 22 adedi Çin'de bulunmaktadır. Bu santrallerin toplam gücü 33.2 GW'dır. Geniş coğrafyası ve uygun topografik yapısı ile pompaj depolamalı proje tesisi sayısında ve kurulu gücündeki artış ile Çin; dünyada PDHES kapasitesi açısından ilk sırada yerini almıştır. Ayrıca Çin'de toplam 43.35 GW kurulu güçte 32 adet pompaj depolamalı santralde inşaa halindedir.

#### Fengning PDHES-Çin

2021 yılı sonunda işletmeye alınan Hebei Eyaletinde kurulan Fengning pompaj depolama elektrik santrali ile Çin aynı zamanda dünyanın en büyük pompaj depolamalı hidroelektrik santralına da sahip olmuştur. 3,6 GW Kurulu güce sahip tesis 8 yılda inşaa edilmiştir. Yaklaşık 3 milyon ABD Dolar yatırım tutarı olan proje Çin'de şebekenin istikrarlı çalışmasını sağlamak ve Hebei ve İç Moğolistan'daki büyük rüzgâr ve güneş parklarından gelen elektrik kaynaklarını dengelenmesi amaçlanmıştır. Fengning hidroelektrik santrali yılda 6,6 milyar kWh üzerinde enerji üretecek şekilde tasarlanmış olup, santral, 2022 Pekin Kış Olimpiyatları'na yeşil enerji sağlamıştır<sup>20</sup>.



*Fengning Pompaj Depolama Elektrik Santrali – Çin*

<sup>20</sup> <https://www.donanimhaber.com/dunyanin-en-buyuk-pompaj-depolamali-hes-i-143898> - erişim 17.01.2022

## Guangdong PDHES- Çin

Çin'in Guangdong bölgesinde Liuxi nehri üzerinde yer alan Guangdong pompaj depolamalı projede her biri 300 MW gücündeki 8 ünite bulunmaktadır. İlk 4 ünite 1994, ikinci 4 ünite ise 2000 yılında işletmeye alınmıştır<sup>21</sup>.



Guangdong PDHES - Çin

## 2.5.2. Japonya

Japonya özellikle 1980-1990 yılları arasında nükleer santrallerin kuruluşu ile pompaj depolamalı santrallara da öncelik vermiştir. Bu santrallerin yerleşkesi genellikle nükleer santral alanı ile talebin yüksek olduğu bölgelerin arasında yer almıştır. Örneğin Imaichi PDHES (1.05 GW) Fukushima Nükleer Santrali ile Tokyo (tüketim merkezi) arasında yer almaktadır.



Imaichi PDHES-Japonya

Japonya, bölgeler için nükleer ve/veya yenilenebilir enerji kaynaklarının gücü kadar pompaj depolamalı proje tesis etmiştir. Pompaj depolamalı projelerin çalışma durumu nükleer santraller ile yenilenebilir, özellikle güneş ve fotovoltaik, santrallerin çalışma saatlerine göre düzenlenmektedir<sup>22</sup>.

Büyük doğu Japonya depreminin ardından 2011 yılında Fukushima Daiichi Nükleer Santralinde meydana gelen nükleer kazadan sonra nükleer santrallerin kısmen kapatılması ve özellikle değişken yenilenebilir enerjinin negatif etkilerinin minimize edilmesi amacı ile Japonya'da PDHES'lere öncelik verilmiş, Japonya, bu alanda dünyada kurulu güç bakımından hızla 2. sırada yerini almıştır.

Japonyada kurulu gücü 1 GW üzerinde toplam gücü 17.9 GW olan 11 pompaj depolamalı santral projesi işletmede olup ayrıca 2.82 GW gücündeki 1 proje de yakında işletmeye alınacaktır.

21 <https://www.nsenergybusiness.com/features/largest-pumped-storage-plants/>

22 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096511719301082>

## Okutataragi PDHES - Japonya

Okutataragi pompaj depolamalı santrali Japonya'nın Asago, Hyōgo bölgesinde yer almaktadır. 1.93 GW kurulu gücündeki proje Japonya'daki en büyük projedir. Projenin inşaatına 1970 de başlanmış, 1974'de tamamlanmıştır.<sup>23</sup>



Okutataragi Kurokawa PDHES – Japonya

### 2.5.3. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)

2035 karbonsuzlaştırma ve 2050 net sıfır karbonsuz ekonomi hedefine ulaşmada en büyük etken temiz enerji depolama sistemleridir. Bunun çözümü ise ABD'de yıllar önce yatırımına başlanan ve işletilen pompaj depolamalı santrallerdir. Bu tesisler ABD'de toplam depolama sistemlerinin %95'ni oluşturmaktadır.

ABD'de gücü 1 GW ve üzerinde olan 10 pompaj depolamalı santral projesinin toplam gücü 14.75 GW'dır. İlk pompaj depolamalı santral 1930'da yapılmış, ancak genel olarak bu santraller, çoğunluğu 1970'li yıllarda olmak üzere, 1960-1990 yılları arasında yapılmıştır. Pompaj depolamalı santraller ABD'de en yaygın kullanılan depolama sistemidir. ABD'de en fazla pompaj depolamalı santral Viktorya eyaletinde bulunmaktadır. Bunu sırası ile Virjinya, Güney Carolina ve Michigan izlemektedir<sup>24</sup>.

ABD Enerji Bakanlığının tarafından Ağustos 2021'de pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin önemini vurgulamak ve bu projelere neden yatırım yapılması gerektiği konusunda aşağıda yer alan 10 neden belirlenmiştir<sup>25</sup>.

1. *Şebekenin aşırı yüklenmesi.* Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller sayesinde bu durum nadir gerçekleşir. Güneş ve rüzgar gibi diğer enerji kaynakları, yakındaki evlerin ihtiyaç duyduğundan daha fazla elektrik ürettiğinde, bu ekstra güç, suyu, üst rezervuara gönderir. Daha sonra, gerektiğinde, örneğin şebekeyi zorlayan iklim şartları sırasında olduğu gibi, su o üst rezervuardan salınır ve aşağı akar, ışıklarınızı, buzdolabınızı veya diğer temel ihtiyaçlarınızı çalıştırmak için elektrik üreten bir türbini döndürür.
2. *Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller ile tabiat desteği.* Yenilenebilir enerji, temiz bir enerji geleceği için çok önemlidir, ancak bazen doğal şartlar bu du-

23 <https://www.nsenerybusiness.com/features/largest-pumped-storage-plants/> erişim 23.01.2022

24 <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=41833#:~:text=In%202018%2C%20the%20United%20States,the%20most%20pumped%20storage%20capacity%2C>

25 <https://www.dunyaenerji.org.tr/pompaj-depolamali-hidroelektrik-santrallerine-yatirim-yapmak-icin-10-neden/>

rumu zorlaştırır. Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller bulutlu ve durgun günlerde de enerji ihtiyacını karşılayabilir.

*Acil durumlar diğer enerji kaynaklarını devre dışı bıraktığında, pompaj depolamalı hidroelektrik tesisleri insanları güvende ve rahat tutmak için hızlı bir şekilde devreye alınabilir.*

3. *Pompaj depolamalı hidroelektrik enerjisi*, ABD enerji depolamasının %93'ünü sağlar ve günümüzün en büyük uzun vadeli enerji depolama sistemidir.
4. *ABD'de 2021 yılında*, 18 eyalet ve ülkenin tüm büyük bölgeleri, enerji depolamak için pompaj depolamalı hidroelektrik kullanıyor. Kaliforniya, Virginia ve Güney Carolina bu temiz enerji havuzlarından en iyi şekilde yararlanıyor ve üç yeni eyalette devam eden projeler ile toplam sayı 21'e ulaşacak.
5. *ABD'de*, pompaj depolamalı hidroelektrik, 553 GWh'e kadar enerji depolayabilir.
6. *Pompaj depolamalı hidroelektrik*, şu anda mevcut olan en verimli büyük enerji depolama sistemidir (%70-80).
7. *Hidroelektrik ve pompaj depolamalı hidroelektrik tesisleri*, bir elektrik kesintisinden sonra şebekeyi yeniden başlatmak için gereken gücün %40'ını sağlar. Kar fırtınaları, orman yangınları ve hatta bilgisayar korsanları, elektrik şebekesinin evlerimize ve ofislerimize güç vermesini engelleyebilir. Acil durumlar diğer enerji kaynaklarını devre dışı bıraktığında, pompaj depolamalı hidroelektrik tesisleri insanları güvende ve rahat tutmak için hızlı bir şekilde devreye alınabilir.
8. *Hidroelektrik ve pompaj depolamanın taşkın kontrolü ve sulama faydaları vardır*. Fazla suyu emmeye yardımcı olur ve elektrik üretmek için kullanır (veya şebekeye zarar verebilecek orman yangınlarını söndürmeye yardımcı olur). Su havuzları ayrıca ekinlere temiz su verebilir ve siz de bir sıcak hava dalgası sırasında susuz kalmadığınızdan emin olabilirsiniz.
9. *ABD'de pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri herhangi bir yeni inşaat olmadan büyüdü*. Bu nasıl çalışıyor? "Kapasite artışları" veya tesisleri daha güçlü hale getiren yükseltmeler yoluyla. 2010'dan 2019'a kadar, yalnızca altı pompaj depolama tesisindeki kapasite artışları ABD pompaj depolamada 1.400 MW kapasite artışına yol açtı. Bu, ABD'de herhangi bir yeni inşaat olmadan pompaj depolamanın neredeyse diğer tüm enerji depolama türlerinin toplamı kadar büyüdüğü anlamına geliyor.
10. *Pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri neredeyse bir asırlık tecrübeye sahip tesislerdir*

## Bath County PDHES-ABD

Dünyanın en büyük PDHES'inden biri olan Bath County PDHES'e (1985 / 3,003 MW) sahip olmasının yanında, 2010 yılında dünyadaki PDHES kapasitesinin %20,6'sına denk gelen 21,5 GW'lık bir PDHES kapasitesine sahiptir. Buna rağmen, bu yıllarda PDHES'ler ile üretilen enerji, tüketilen enerjiden düşüktür. Bu sebeple; 2014'ün sonlarından itibaren, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki yeni pompaj depolama hidroelektrik santralleri için FERC lisanslama sürecinin tüm aşamalarında toplam 39 GW kapasiteye sahip 51 aktif proje teklifi vardı. Fakat şuan yapım aşamasında 1000 MW ve üzeri PDHES yoktur.



Bath County PDHES – ABD<sup>26</sup>

## Ludington PDHES - ABD

Ludington Pompaj Depolama Tesisi, Ludington, Michigan'da bulunan bir hidroelektrik santral ve rezervuardır. 1969 ve 1973 yılları arasında 315 milyon \$ maliyetle inşa edilmiş olup, Consumers Energy ve DTE Energy'nin ortak mülkiyetindedir ve Consumers Energy tarafından işletilmektedir. İnşaatı sırasında, dünyanın en büyük pompaj depolama hidroelektrik tesisiydi. Kurulduğunda 1.87 GW olan gücü daha sonra 2.17 GW'a yükseltilmiştir.



Ludington PDHES - ABD

<sup>26</sup> <http://www.virginiaplaces.org/energy/bathpumped.html>

#### 2.5.4. Hindistan

Hindistan 2015 yılında 2027 yılı yenilenebilir enerji kapasitesini 275 GW olarak belirlemiştir. Bu hedefe göre yılda 30-40 GW yenilenebilir enerji yatırımı ile Çin'den sonra dünyada ikinci durumdadır. Hindistan elektrik sistemini modernize etmekte, talep tarafı esnekliğini sağlamak üzere yatırımlar yapmakta, başta pompaj depolamalı tesisler olmak üzere depolama yatırımlarına da önem vermektedir. Hindistan 2.6 GW işletmede olan ve 3.14 GW halen yatırımı süren pompaj depolamalı projeleri ile dünyada bu konudaki lider ülkeler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Ancak, çeşitli sosyal ve politik nedenlerle yatırımlarda büyük gecikmeler meydana gelmektedir. Bunlar arasında tarımsal sulamaya verilen önem, baraj göl sahalarından halkın göç etmek zorunda kalması, taşkınlar vb nedenler sayılabilmektedir.

Hindistan'ın, yüksek hidroelektrik kapasitesine rağmen, toplam gücünün %2'lik kısmı PDHES'lerden karşılanmaktadır. Yapımına 1961 yılında başlanan ve Hindistan'ın en büyük barajı olan 1.45 GW gücündeki Sardar Sarovar projesi çok amaçlı bir projedir. İçme ve sulama suyu, taşkın kontrolü, enerji üretimi için yapılan projede çeşitli sosyal, teknik, mali, hukuki nedenlerle uzun gecikmeler olmuş ve nihayet 2017 yılında işletmeye alınmıştır. Hindistan hükümeti projenin 1.2 GW gücünde pompaj depolamalı olarak da çalışacağını beyan etse de bu konuda henüz ilerleme görülmemektedir<sup>27</sup>.



Sardar Sarovar PDHES - Hindistan

Hindistan'da yine çok amaçlı bir baraj olan Tehri projesi'de 1960'lı yıllarda planlanmış olmakla birlikte sosyal ve politik nedenlerle yaşanan gecikmelerle 1.0 GW gücünde olan projenin ilk aşaması 2006 yılında tamamlanmıştır. Pompaj depolamalı projenin yapımı devam etmekte olup 2025 yılında işletmeye alınması planlanmaktadır.



Tehri Baraj ve PDHES - Hindistan

Hindistan'ın Andhra Pradesh eyaletinde yer alacak kompleksde 2 GW güneş PV,

<sup>27</sup> [https://ieefa.org/wp-content/uploads/2019/03/IEEFA-India\\_Pumped-Hydro-Storage\\_Mar-2019.pdf](https://ieefa.org/wp-content/uploads/2019/03/IEEFA-India_Pumped-Hydro-Storage_Mar-2019.pdf)



400 MW rüzgar ve 1.2 GW pompaj depolama projesi bir araya getirecek proje için Hindistan ile Japon kredi kuruluşu ORIX arasında 2020 yılında sözleşme imzalanmıştır.

### 2.5.5. Avustralya

İlk hidroelektrik santralını 1895 yılında işletmeye alan Avustralya'da talebin yaklaşık %6.5'i hidro enerjiden karşılanmaktadır. Avustralya pompaj depolamaya uygun hidroelektrik santrallerinde yenileme ve genişletme çalışmaları ile pompaj depolamalı santraller tesis etmektedir. 2040 yılına kadar 15 GW kapasiteli PDHES tesis etmeyi planlayan Avustralya'da 2017 yılı itibarı ile sadece toplam gücü 2.3 GW olan 2 proje için finansman altyapısı oluşturulabilmiştir<sup>28</sup>.

Ülkedeki 3 PDHES depolama tesisi; 1984 yılında tamamlanan Wivenhoe (500 MW) bundan 5 yıl sonra tamamlanan Shoalhaven (240 MW) bu proje ile Sidney şehrinin içme suyu da sağlanmaktadır ve Tumut 3 1.8 GW kapasite ile en büyük olanıdır. (2011'de 1.500 MW'dan yükseltildikten sonra), ancak 6 jeneratörden sadece 3'ünde pompa var olup, pompalama sistemi yarı kapasitede çalışmaktadır.



Tumut 3 PDHES – Avustralya

Avustralya'da ayrıca 240 MW Kidston PDHES projesinin 2024 yılında işletmeye alınması planlanmakta, en az iki büyük kapasiteli pompaj depolamalı santral için de çalışmalar devam etmektedir. Bunlar Snowy 2.0 (2 GW) ve Oven Mountain (600 MW) projeleridir<sup>29</sup>.

28 <https://assets.cleanenergycouncil.org.au/documents/resources/reports/Hydropower-The-Backbone-of-a-Reliable-Renewable-Energy-System.pdf>

29 <https://www.energy-storage.news/new-pumped-hydro-around-the-world-tried-and-tested-long-duration-storage-tech-makes-comeback/>

### 2.5.6. Güney Afrika Cumhuriyeti

Zengin kömür yataklarına sahip olan Güney Afrika'da elektrik ihtiyacının büyük kısmı baz yük kömür santrallerinden karşılanmaktadır. 2030 yılına kadar 20 GW'ın üzerinde yenilenebilir enerjiyi sistemine katmak isteyen Güney Afrika'da sistem esnekliğini sağlamak amacı ile pompaj depolamalı santralleri gündemine almıştır. Ülkede bol miktarda olmayan su kaynakları genellikle mikro santrallerde değerlendirilmiş, su kaynaklarını diğer amaçlara uygun kullanmıştır. Ülkede kömür santralleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjiyi dengede tutmak amacı ile toplam 2.9 GW olan 4 pompaj depolamalı santral; 1979'da Steenbras 180 MW, 1982'de Drakensberg 1000 MW, 1987'de Palmiet 400 MW ve ülkedeki en büyük olan 2017'de Ingula 1332 MW pompaj depolamalı santral işletmektedir. Bu santrallerden Steenbras PDHES mülkiyeti Cape Town Belediyesi'ne ait olup, diğerleri ülkenin millî elektrik şirketine aittir. Maliyetlerdeki yükseklik nedeni ile pompaj depolamalı santraller Güney Afrika'da tercih edilmemekle birlikte 2030 yılına kadar 2.1 GW gücünde bir tesisin daha işletmeye alınması planlanmaktadır<sup>30</sup>.



Ingula PDHES – Güney Afrika Cumhuriyeti



Drakensberg PDHES – Güney Afrika Cumhuriyeti

### 2.6. Dünyada 1000 MW üzeri PDHES Projeleri

Dünyada gücü 1000 MW üzerinde işletmede olan pompaj depolamalı tesisler ve ülkeler aşağıdaki tabloda yer almıştır.

Ayrıca toplam gücü 55 GW olan 39 pompaj depolamalı santral projesinin de inşaatı devam etmekte olup 2022-2026 yılları arasında işletmeye alınması planlanmaktadır.

<sup>30</sup> <https://grid.sun.ac.za/wp-content/uploads/2020/10/Van-Dongen-and-Bekker-2020-Potential-for-New-Pumped-Storage-Schemes-in-South-Africa-Energycon.pdf>

**Tablo 6: Dünyada Kurulu Gücü 1 GW Üzerinde Olan PDHES Projeleri**

PDHES	Ülke	Güç(MW)	Depolama Kapasitesi (MWh)	Verimlilik (%)	İşletmeye Başlama Yılı
Fengning PDHES	Çin	3.600			2021
Bath Country PDHES	ABD	3.003	24.000	79	1985 (2100 MW) 2009(kapasite artışı)
Huizhou PDHES	Çin	2448			2007 - 2011
Guangdong PDHES	Çin	2400			1994 (ilk 4 ünite) 2000 (kalan 4 ünite)
Okutataragi PDHES	Japonya	1932	15.546		1974
Ludington PDHES	ABD	1872 - 2172	19.550	70	1973
Tianhuangping PDHES	Çin	1836			2004
Grand'Maison PDHES	Fransa	1800	34.800		1987
Dinorwig PDHES	İskoçya	1800	9100	74-76	1984
Jixi	Çin	1800+1200			2021 - .....
Raccoon Mountain	ABD	1652	36.344	20	1978
Mingtai	Tayvan	1602			1995
Okukiyotsu1-2	Japonya	1000+600			1978 - 1996
Castaic	ABD	1566	12.470		1973
Liyang	Çin	1500			2017
Xianju	Çin	1500			2016
Okumino	Japonya	1500			
Cortes La Muela	İspanya	1780	24.500	90	1989
Linth-Limmern	İsviçre	1480			1968 - 2009 -2017
Sardar Sarovar	Hindistan	1450			2017
Dunhua	Çin	1400			2021 - 2022
Ingula	G. Afrika	1332	21000		2016 - 2017
Vianden	Lüksemburg	1296	4900		1962-1964- 1977- 2013
Dniester	Ukrayna	1296 2268			2009 2028
Okawachi	Japonya	1280			1992 - 1995
Qingyuan	Çin	1280			2015
Shin-Takasegawa	Japonya	1280			1980
Hohhot	Çin	1224			2015
Okuyoshino	Japonya	1206			1980
Bailianhe	Çin	1200			2010
Baoquan	Çin	1200			2011
Heimifeng	Çin	1200			2010
Helms	ABD	1212			1984

PDHES	Ülke	Güç(MW)	Depolama Kapasitesi (MWh)	Verimlilik (%)	İşletmeye Başlama Yılı
Hongping	Çin	1200			2017
Kazunogawa	Japonya	1200+400			2014 - 2024
Matanogawa	Japonya	1200			1984
Omarugawa	Japonya	1200			2011
Pushihe	Çin	1200			2012
Shenzhen	Çin	1200			2018
Tamahara	Japon	1200			1986
Tongbai	Çin	1200			2006
Xianyou	Çin	1200			2013
Xilongchi	Çin	1200			2008
Zagorsk 1 - 2	Rusya	1200+840			2000
Entracque	İtalya	1184	17000		1982
Coo-Trois-Ponts	Belçika	1164	5820		1978
Blenheim-Gilboa	ABD	1160	17400	73	1973 2010
Okuyahagi	Japonya	1160			1981
Shintoyone	Japonya	1125 350			1972 1982
Rocky Mountain	ABD	1095			1995 2011
Northfield	ABD	1080			1972
Muddy Run	ABD	1071			1968
Bad Creek	ABD	1065	25560		1981
Goldisthal	Almanya	1060	8500	20	2003
Imaichi	Japonya	1050			1986
Markersbach	Almanya	1045	4200		1979
Siah Bisheh	İran	1040			2015
Roncovalgrande	İtalya	1016	17680		1973
Minghu	Tayvan	1008			1985
Presenzano	İtalya	1005	7000		1991
Drakensberg	G.Afrika Cumhuriyeti	1000	27600		1981
Edola	İtalya	1000	4900		1985
Shimogo	Japonya	1000			1991
Tai'an	Çin	1000			2007
Xiangshuijian	Çin	1000			2012
Yangyang	Güney Kore	1000			2006
Yixing	Çin	1000			2008
Zhanghewan	Çin	1000			2009

## 2.7. Açık Deniz Pompaj Depolamalı HES

Açık deniz rüzgâr üretimindeki güçlü dalgalanmalar sırasında iletim kayıplarını ve şebeke bozulmalarını en aza indirmek ve 2 ayrı rezervuar yapmak yerine tek bir rezervuar inşa ederek diğer rezervuarı deniz olarak kullanmak amacı ile yapılmaktadır. Bu tip bir elektrik santralının mimarisi, alt rezervuar olarak deniz ve bir üst rezervuar da karada bulunur. Santral bir uçurumun eteğine veya yeraltına kurulabilir.

### *Okinawa Deniz Pompaj Depolamalı HES*

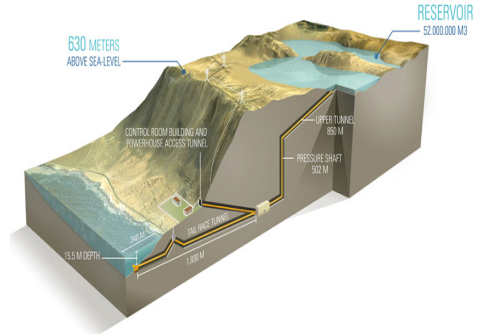
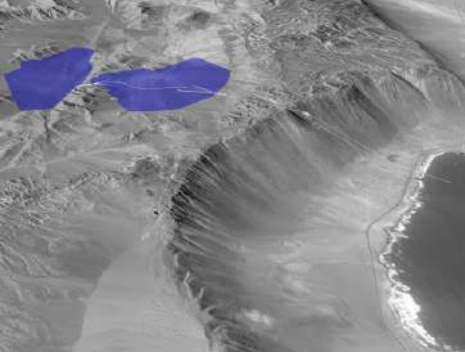
Dünyada ilk örneği Japonya'da Okinawa adasının kuzey tarafında kurulan Okinawa PDHES projesidir. Japonya nehirler üzerinde çok sayıda PDHES projesinin yapılması ile coğrafi ve jeolojik olarak uygun alanların azalması ve çevre kriterlerini de dikkate alarak deniz PDHES'in kıyı şeridi boyunca rüzgâr çiftliklerine mümkün olduğunca yakın kurulduğu görülmektedir. Japonya Uluslararası Ticaret ve Endüstri Bakanlığı tarafından başlatılan çalışma Elektrik Power Development Co. Lmt. (J-Power) tarafından 1981 yılında fizibilite çalışması başlatılmıştır. 1981-1991 yılları arasında yürütülen çalışmada projeye ilişkin deniz suyu kullanımından kaynaklanan teknik sorunlar, çevre etkileri, çamurlu su çıkışının önlenmesi, ağır iş makinelerinin çalışmasından kaynaklanan gürültü ve titreşimin min. boyuta indirilmesi, üst rezervuardan kaynaklanan bertaraf alanının restorasyonu ve yeniden ağaçlandırılması ve biyotop oluşturulması, yamaçlarda yeni hendek açılması gibi pek çok kriter değerlendirilmiş, ayrıca jeolojik, hidrojeolojik etüdler yapılarak yerel uzman ve konunun uzmanlarından oluşturulan özel bir komisyon tarafından incelenmiştir. Dünyadaki bu konudaki ilk uygulama olan projenin inşaatına bu çalışmaların tamamlanması sonrası 1991 yılında başlanmış ve 1999 yılında işletmeye alınmıştır. 30 MW gücündeki bu türünün ilk PDHES projesinde üst rezervuar deniz seviyesinden yaklaşık 150 m. yüksekte ve 600 metre mesafededir. Cebri borular, türbin ve diğer teknik teçhizatın gömülü olarak inşaa edildiği projede üst rezervuar tuzlu deniz suyundan min etki için özel yöntemlerle kaplanmıştır. Deniz suyu pompaj santrali teknolojisinin geliştirilmesi amacı ile 1999 yılından buyana her 5 yılda bir proje özel olarak değerlendirilmekte ve çeşitli testler yapılmaktadır.



*Okinawa Deniz Pompaj Depolamalı HES – Japonya*

## Espejo Güneş ve Valhalla Deniz Pompaj Depolamalı HES Projesi

Şili'de Atacama çölünde 600 MW güneş santrali ve 300 MW Valhalla PDHES projesinden oluşan hibrit bir santraldır. Projenin inşasına 2017 yılında başlanmıştır<sup>31</sup>. Projede Atacama Çölü'nde güneş panelleri kurulması ve güneş enerjisi üretimi ile çölün okyanus kıyısında yer alan coğrafi özelliklerinden yararlanılmıştır. Neredeyse hiç yağmur olmayan çölde kurulu hibrit tesis okyanusa yakın konumlanmış, doğal yüzey oyukları içeren yüksek bir kıyı uçurumu ile ayırt edilen bir alan kullanarak deniz suyunun depolanması için doğal uçurumun üst bölümü kullanılmaktadır. Bu özellikleri ile çevresel etki minimuma indirilmiş, ayrıca yatırım tutarı da diğer konvansiyonel santrallara göre daha düşüktür<sup>32</sup>.



Valhalla PDHES – Şili<sup>33</sup>.

## Kerma Deniz Pompaj Depolamalı Tesisi

Kuzey Denizi'ndeki Kerma projesi gibi doğrudan denizde inşa edilen fütüristik projeler PDHES projeleri için günümüzün en yeni uygulama projeleridir. Deniz seviyesinden yaklaşık 40 m aşağıda bir iç göl seviyesine sahip 10 x 6 km'lik büyük bir atolün bentler vasıtasıyla oluşturulmasından oluşan, aşırı rüzgâr enerjisi kullanarak iç gölü boşaltmak için pompalama kullanılmaktadır. Kurulu güç 1500 MW mertebesindedir.

Belçika; açık deniz hidroelektrik enerji depolama rezervuarı inşa edilmesi planlanan projede içine su pompalamak yerine su dışarı pompalanacaktır. Proje için ortasında bir göl olan yapay at nalı şeklinde bir ada inşa edilecek, rüzgâr türbinlerinden gelen fazla enerji suyu dışarı pompalamak için kullanılacak, ardından yoğun saatlerde de-

31 <https://www.hydroreview.com/world-regions/location-location-location-massive-pumped-storage-solar-pv-project-closer-to-reality/#gref>

32 <http://valhalla.cl/espejo-de-tarapaca/>

33 <https://www.renewableenergyworld.com/storage/location-location-location-massive-pumped-storage-solar-pv-project-closer-to-reality/#gref>

niz suyunun hidroelektrik türbinler aracılığıyla geri akmasına izin verilecektir. Fazla gücü depolayarak, sistem etkinliğini iki şekilde artıracaktır - genellikle rüzgâr çiftliklerinden yoğun olmayan saatlerde atılan enerjiyi kullanarak ve depolanan yeşil enerji ile arzı anında artırabilmektedir. Belçika’da bir yetkili tarafından Reuters’e yapılan açıklamada “Rüzgâr santrallerinden çok fazla enerjimiz var ve bazen elektriğe yeterli talep olmadığı için kayboluyor” dedi. Maliyet tahminleri açıklanmamasına rağmen, projenin tamamlanmasının 5 ila 7 yıl sürmesi bekleniyor. Fazla güç, deniz altında doğrudan kendisine bağlanabilecek olan İngiltere gibi diğer ülkeler ile ticareti de yapılabilir.

Şu anda Belçika’nın güç kaynağının yarısından fazlası, 2025 yılına kadar kendilerini tamamen bırakmayı umdukları nükleer enerjiden geliyor. Bu proje onların bu hedefi gerçekleştirmelerine yardımcı olması da planlanmaktadır<sup>34</sup>.



*Kuzey Denizindeki Kerma Projesi*

### **2.7.1. Deniz Tipi PDHES Avantaj ve Dezavantajları**

Tüm projelerin avantajlı yönleri olduğu gibi avantajlı ve dezavantajlı yönleri olduğu gibi deniz tipi PDHES kurulumunun da kendi kısıtlamaları vardır: Deniz suyuyla temas eden metallerin korozyonu, toprağın ve yeraltı suyunun tuzla kirlenmesine karşı çevrenin korunması, pompa modunda çalışırken ünitelerin güvenliğini sağlamak için aşağı akış seviyesinin şiddetli kabarmalara karşı stabilizasyonu en belirgin dezavantajları olarak sayılabilir.

- » Bir deniz suyu PDHES’in fiyat ve sistem işletmesi açısından normal bir PDHES’e göre aşağıdaki üstünlükleri vardır.
  - Alt rezervuar olarak deniz kullanıldığından ayrıca bir alt rezervuar inşaatına gereksinim bulunmamaktadır. Bu da proje için önemli bir maliyet avantajı sunmaktadır.
  - Büyük ölçekli termik veya nükleer santrallerin yakınına veya güç talebi artan meskûn alanlarda kurulabilirler.
  - Üst rezervuar ve deniz seçiminde doğal jeolojik ve coğrafi yapının seçilmesi

<sup>34</sup> <https://www.ecohome.net/guides/1500/storing-power-from-wind-farms/>

- » Buna karşın deniz suyu PDHES'lerin karşılaştıkları çeşitli problemler vardır<sup>35</sup>
- Yukarı rezervuarda depolanan deniz suyunun toprağa ve/veya yeraltı suyu-na sızmasını ve kirlenmesini önlemek için özel araştırmalar yapılarak gerekli tedbirlerin değerlendirilmesi ve proje dâhilinde alınması gerekmektedir.
  - Deniz organizmalarının su sistemine ve türbinlere yapışması (adhezyonu) sonucu, güç üretiminde ve pompajda verimin düşmesine sebep olabilmektedir.
  - Ani olarak denize pompalanan yüksek miktardaki su nedeni ile denizdeki ekolojik duruma olası zararların önlenmesi için tedbirler alınması gerekmektedir.
  - Pompa-türbin tarafından yaratılan yüksek basınç ve yüksek akış hızı altındaki deniz suyunun teması sonucu metal malzemelerde oluşan korozyon oluşabilmektedir.
  - Kararlı giriş yapısı içinden, deniz suyunun yüksek dalgalara karşı deşarjı ile stabil güç çıkışı sağlanması gerekmektedir.
  - Yukarı rezervuarda rüzgâr etkisi ile deniz suyunun çevreye dağılması sonucunda, bitki, hayvan ve diğer biyolojik sistemler üzerindeki etkisi için tedbir alınması gerekmektedir.
  - Santral çıkışına yakın yerlerde yaşayan mercan ve diğer deniz organizmaları üzerindeki etkileri bulunmaktadır.

## 2.8. Ülke Değerlendirmeleri Sonucu

Su; yeryüzünde hep var olmuştur. Tüm canlılarda yaşamın devamı için “şart” olan kaynaklardan birisidir. İçme, tarımsal sulama gibi temel kullanımların yanı sıra tarihsel gelişime göre taşıma, taşkın kontrolü, enerji üretimi, balıkçılık, turizm, spor gibi farklı alanlarda kullanılmıştır.

Su, en büyük ve ilk yenilenebilir enerji kaynağı olarak temiz enerji kaynaklarının başında gelmekte ve iklim değişikliği ve karbonsuzlaştırma hedeflerine ulaşılmasında önemli rol oynamaktadır. Modern hidroelektrik santraller, temel güç, depolama, esneklik ve karbon azaltma hizmetleri sağlayarak temiz enerji geçişini hızlandırmaya yardımcı olmaktadır.

Dünya üzerinde her boyutta tesisi olan hidroelektrik santraller içme suyu, tarımsal sulama, taşkın koruma, enerji üretimi, balıkçılık, su sporları, turizm gibi çok amaçları olup, genellikle birden fazla amaçlı olarak tesis edilmiştir.

<sup>35</sup> <https://docplayer.biz.tr/12080372-Suat-pasin-enerji-grubu-koordinatu-aylatutus-yahoo-com.html>



Dünyada hiç bir ülke de su olmadan yenilenebilir enerji kaynakları tam olarak kullanıldı denemez. 2020 itibarı ile dünyada toplam hidroelektrik kurulu gücü 1330 GW, toplam üretim ise 4370 TWh'e olarak gerçekleşmiştir.

IRENA Raporuna göre küresel ısınmayı 1.5°C'da tutmak için 2050 yılına kadar hidroelektrik santrallerin %60 artması gerekmektedir.

Hidroelektrik santraller bilinen en eski depolama tesisleridir. Tesis maliyetleri yüksek ve yapımı uzun yıllar alan projelerde ekonomik ömrün uzun olması ve ham madde için bir bedel ödenmemesi nedeni ile işletme maliyetleri oldukça düşüktür.

Uluslararası Enerji Ajansı 2050 karbon nötr hedefine ulaşmak için ülkelerden ve karar vericiler için pompaj depolamalı tesisler de dahil olmak üzere hidro enerji için 7 "önemli alan" belirlemiştir. IEA; sisteme daha fazla güneş ve rüzgâr santralının dâhil edilebilmesi için şebeke esnekliğinin/güvenliğinin sağlanmasının yolunun depolamadan geçtiğini ve pompaj depolamalı tesislerin de vazgeçilmez olduğunu vurgulamıştır.



#### IEA'nın hükümetlerin hidroelektrik büyümesini hızlandırması için 7 öncelikli alanı şunlardır:

- 1) Enerji ve iklim politikası gündeminde hidroelektrik enerjinin önemi artırmak,
- 2) Hidroelektrik enerji potansiyelinin tamamının geliştirilmesi için sağlam sürdürülebilirlik standartlarını ve modernleştirilmiş kurallar ve düzenlemeler uygulamak,
- 3) Elektrik enerjisinin güvenilirliği için hidroelektriğin kritik rolü ve değerini ücretlendirme mekanizmaları aracılığıyla yansıtmak
- 4) Mevcut hidroelektrik santrallerin esneklik yeteneklerini modern yöntemler (dijitalleşme vb) en üst düzeye çıkarmak
- 5) Pompaj depolama hidroelektrik tesislerin gücünün genişletilmesini desteklemek,
- 6) Gelişmekte olan ekonomilerde sürdürülebilir hidroelektrik gelişimi için uygun maliyetli finansman sağlamak,
- 7) Hidroelektrik santrallerin sağladığı çoklu kamu yararlarının değerinde fiyatlandırılmasını sağlamak için adımlar atmak,

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından Temmuz 2021’de “Hydropower Special Market Report Analysis and Forecast to 2030” yayınlanmıştır<sup>36</sup>. Hidroelektrik enerjinin geleceği konulu rapor bu alanda hazırlanmış ilk ve özel bir rapor olup, hidroelektriği rezervuar, akarsu ve pompaj depolama alanında 2030 öngörülerini yer almaktadır.

#### Raporda yer alan ana başlıklar ve öngörüler;

- » 2021-2030 döneminde küresel hidroelektrik enerji artışının %17 civarında olacağı ve üretiminin 230 GW artması öngörülmekte, basit olarak; suyu aşağı taraftaki rezervuardan yukarıya pompalayarak rezervuarda tutup, ihtiyaç olduğunda elektrik üreten sistem olan pompajlı depolama tesislerinin 2030 yılına kadar öngörülen hidrolik enerji artışının %30’u olacağı,
- » Çin’in, küresel ölçekte 2030’a kadar en fazla hidrolik kapasitenin olduğu ülke olacağı, ancak Çin 2001-2010 arasında hidrolik kaynaklarının %60’ını kullandığından 2030 yılına kadar payının göreceli olarak azalacağı, Hindistan’ın ise 2. sırada yer alacağı,
- » Hidroelektrik santraller, rezervuar alanı ve pompajlı sistemler, başka bir depolama tesisinde olmayacak kadar büyük depolama kapasitesi ve esnekliğe sahiptir. Pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri, pillerin yanı sıra önemli bir elektrik depolama kapasitesi kaynağı olmaya devam edecek, yeni projelerden elde edilen küresel pompalanan depolama kapasitesinin 2030 yılına kadar %7 artarak 9 TWh’ye çıkması beklendiği, bu büyümeyle birlikte, pil depolamasının (elektrikli araçlar dâhil) on kattan fazla genişlemesine rağmen, PDHES depolama kapasitesi pillerin depolama kapasitesinden önemli ölçüde daha yüksek kalacağı,
- » 2030’a kadar yeni PDHES projelerine ek olarak, mevcut tesislere pompalama kapasitesinin eklenmesiyle 3,3 TWh’lik ek bir depolama kapasitesine ulaşılabileceği,
- » PDHES ve pil teknolojileri, geleceğin güç sistemlerinde giderek daha fazla tamamlayıcı olacaktır, her birinin, farklı zaman ölçekleri için uygun maliyetli depolama çözümleri sunacağı, bununla birlikte, PDHES tesislerinin daha büyük ve daha sermaye yoğun olduğu için, bunlara yapılan yatırım, pil projelerinden daha riskli olarak görülebileceği,
- » Yeni pompaj depolama yatırımlarının ekonomik çekiciliği, uzun vadeli ücretlendirme planlarının olmaması, esneklik hizmetleri için düşük fiyatlar ve elektrik fiyatları ile piyasa koşulları üzerindeki belirsizlik nedeniyle zayıflamakta olduğu, pompaj depolamalı projelerin finansmanı konusunda ise kamu-özel sektör işbirliği gibi finansman modellerinin kullanılması riski paylaşarak ve projelerin daha hızlı geliştirilmesine yardımcı olacaktır,
- » Karar vericilerin proje aşamasındaki izin ve onay sürecini sadeleştirme ve süreci kısaltmak yönünde alacağı tedbirlerin projelerin geliştirilmesine yardımcı olacağı vurgulanmıştır.

Günümüzde pompaj depolamalı hidroelektrik santraller, dünyanın toplam kurulu elektrik depolama kapasitesi olan 190 GW’ın yaklaşık %85’ini sağlamaktadır. Ayrıca pompalama modunda talep tarafı yanıt kaynağı olarak hizmet edebilmektedir.

<sup>36</sup> [https://iea.blob.core.windows.net/assets/4d2d4365-08c6-4171-9ea2-8549fabd1c8d/HydropowerSpecialMarketReport\\_corr.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/4d2d4365-08c6-4171-9ea2-8549fabd1c8d/HydropowerSpecialMarketReport_corr.pdf)

Değişken yenilenebilir enerjilerin entegrasyonunu desteklemek için artan sayıda ülke depolama teknolojileriyle ilgilenirken, yalnızca beş ila altı (Hindistan, Çin, bazı ABD eyaletleri, İspanya, Portekiz, Fransa ve Vietnam) pil veya pompaj depolamalı tesisler için hedefler belirlemişlerdir. Örneğin, Hindistan, hem pil hem de PSH tesislerinin sözleşme aldığı başarılı bir enerji depolama ihalesi yürütürken, Çin'in özel bir fiyatlandırma mekanizması ile PSH hedefleri vardır.

Pompaj depolamalı projelerinin 2021-2030 döneminde küresel hidroelektrik kapasite artışının neredeyse %30'unu (65 GW) oluşturması beklenmektedir. PDHES geliştirme tarihindeki en yüksek on yıllık büyüme olan 1971-1980 döneminde 34 GW'lık artışın neredeyse iki katı olan bu artış için ana itici güçler, çeşitli bölgelerde artan sistem esnekliği ve daha fazla depolama gereksiniminden kaynaklanmaktadır.

Pompaj depolamalı proje geliştirmede 2025 yılına kadar Çin liderliğini sürdürecektir. 2025'ten sonra, geliştirmenin ilk aşamalarındaki projeler faaliyete geçtiğinden, PDHES genişlemesi Çin'in ötesine uzanarak PDHES büyümesinin ikinci en büyük bölgesi Asya Pasifik, ardından Avrupa, Kuzey Amerika, Avrasya, Orta Doğu ve Kuzey Afrika. Tüm bu alanlarda birincil PDHES yatırım itici gücü daha fazla sistem esnekliği ihtiyacı olsa da, her bölgenin tesis türü, mülkiyeti ve iş modeli seçenekleri farklı olacaktır.

Ana hedef tesis karlarını maksimize etmek yerine sistem maliyetlerini en aza indirmek olduğundan PDHES projeleri büyük ölçüde devlete ait kamu hizmetlerinin katılımına bağlı olacaktır. Bununla birlikte, ekonomik uygulanabilirlik, PDHES'nin diğer teknolojilere (örneğin piller ve açık çevrim gaz türbinleri) göre maliyet avantajına bağlı olacaktır; bu, bunların belirli yük profilleri için ihtiyaç duyulan kısa ve orta vadeli dengeleme ve yan hizmetleri sağlamak için olacaktır.

İsrail ve Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki güneş PV'sinin ve ayrıca Fas, Mısır ve İran'daki rüzgarın artan payları, Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da PDHES gelişimini hızlandıracaktır. İsrail dışında, PDHES genişlemesi esas olarak devlete ait kamu hizmetleri tarafından üstlenilecek ve büyük ölçüde mühendislik, tedarik ve inşaat şirketlerinin taahhüt ve inşaat hızına ve ayrıca ağ genişletme planlarına bağlı olacaktır.

Günümüzde pillerin düşen maliyetlerine rağmen PDHES projeleri uzun dönem maliyet efektif depolama olarak yerini koruyacaktır. Aslında geleceğin depolama sistemlerinde kısa süre için (4 saatten az) piller, uzun süre için PDHES tercih edilecektir. Aslında; PDHES ler enerji güvenliği ve şebeke esnekliğini sağlarken sisteme yönelik bütün hizmetleri de sağlamaktadır<sup>37</sup>.

37 [www.iea.org](http://www.iea.org)



# BÖLÜM

# 3

## POMPAJ DEPOLAMALI HES MALİYET-FİNANSMAN VE İŞLETME GİDERLERİ

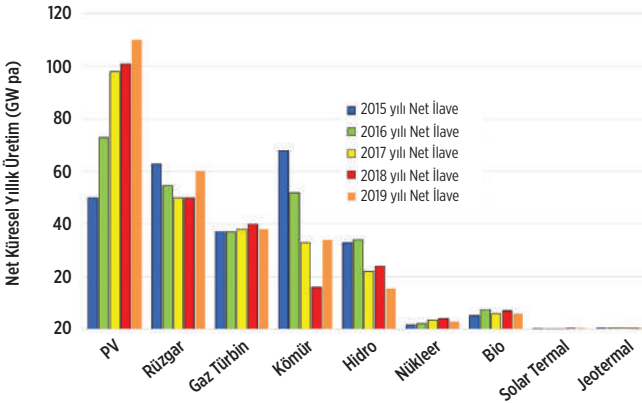


### 3. POMPAJ DEPOLAMALI HES MALİYET-FİNANSMAN VE İŞLETME GİDERLERİ

En basit tanımı ile pompaj depolamalı santral projeleri suyu alt rezervuardan üst rezervuara pompalayarak ihtiyaç duyulana kadar depolama sistemleridir. İhtiyaç olduğunda ise suyu üst rezervuardan bırakıp türbinler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürerek ve elektrik sistemine verilmektedir. PDHES'ler açık system (rezervuarlardan birisi veya ikisinin de doğal bir nehir akışına bağlı olan sistemler) ve kapalı system (rezervuarların doğal nehir akışına bağlı olmadığı sistemler) ayrıca mevcut türbin teknolojileri de farklı kapasiteler sunabilmektedir., sabit hız, değişken hız ve tersini türbin.

*Kurulu güç belirlenmesinde pek çok faktör bulunmakla beraber elektrik sistemindeki yenilenebilir enerjinin kurulu güç payı en önemli etkenlerden birisidir.*

PDHES projelerinde 1970'lerde ortalama kurulu güç 600 MW civarında iken 1990'lı yıllarda 1400-1500 MW seviyesine yükselmiş, 2000 li yıllarda 2000 MW'ın üzerine ve 2022 yılında 3000 MW'ın üzerine çıkmıştır. Kurulu güç belirlenmesinde pek çok faktör bulunmakla beraber elektrik sistemindeki yenilenebilir enerjinin kurulu güç payı en önemli etkenlerden birisidir.



Şekil 18: Net Küresel Yıllık Üretim Nominal Güç Kapasitesi İlaveleri<sup>38</sup>

Genel olarak 1000 MW gücündeki bir PDHES tesisinin her biri 250 MW gücünde 4 üniteden oluştuğu varsayılabilir. Bu üniteler pompaj ve elektrik üretim saatlerine göre 125 – 250 MW arasında çalıştırılabilmektedir.

38 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2516-1083/abeb5b>

### 3.1. PDHES Projelerinde Doğrudan ve Dolaylı Maliyet Bileşenleri

PDHES projelerinde maliyetler “doğrudan giderler” ve “dolaylı giderler” olarak gruplandırılmaktadır. (HDR Inc., 2014; Manwaring, Mursch, & Erpenbeck, 2020; Miller, 2020a). Dolaylı giderler genel olarak doğrudan giderlerin %15-33 arasında değişebilmektedir. s (HDR Inc., 2014; Manwaring et al., 2020; Miller, 2020a). Tablo 7’de PDHES proje yatırımlarında doğrudan ve dolaylı gider kalemleri sıralanmıştır.

**Tablo 7:** PDHES Projeleri Doğrudan ve Dolaylı Giderler

Doğrudan Giderler	Dolaylı Giderler
Malzeme alımı	Ön fizibilite etüdüleri ve çalışmaları (planlama, çevresel etki ve araştırma)
Poje inşaat maliyetleri (tüneller, baraj, yollar vb)	Lisans ve izin başvuruları ve süreçleri
Malzeme nakliye giderleri	Detaylı mühendislik çalışmaları
İnşaat işçilik maliyetleri	İnşaat süresinde yönetimi, sigorta ve idare sistemi
Kalıcı ekipmanın temini ve montajı	Sigorta, teminat, vergiler vb giderler
Rezervuar sızıntısı için su haklarının satın alınması	İletim sistemine bağlantı giderleri

Konvansiyonel PDHES projelerinde iki rezervuar, bu rezervuarları birleştiren su kanalları, santral binası gibi yapılardan oluşmaktadır. Rezervuar maliyet kalemleri ise rezervuar gövde inşaatı (beton ağırlıklı baraj), silindir ile sıkıştırma, acil durum dolusavakları, kazı ve harç ve giriş/çıkış yapıları ve aksesuarları olarak kabul edilmektedir. PDHES projelerinde projenin yerleşiminin yapıldığı arazi için maliyet arazi sahipliğinin kime (şahıs, devlet, karışık v.b) ait olduğuna göre değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle genel maliyet hesaplarında arazi mülkiyetine ilişkin giderler ayrıca dikkate alınmalıdır.

Su pompalama kapasitesi 8-11 saat arasında değişen bir PDHES projesinde toplam tesis maliyeti 2.300 – 2650 ABD\$/kW arasında değişebilmektedir. Bu maliyete santral şalt sabası, şebeke bağlantısı ve gerekli iletim hattı tesisi maliyetini de ilave edildiğinde 2.500 – 3.500 \$/kW arasına yükseldiği görülmektedir.

PDHES tesislerinde maliyet değişimleri için ana kriterler 3 grupta toplanabilir<sup>39</sup>.

- » Ekipman seçimi (sabit, değişken hızlı veya bazı hibrit yaklaşım) – sabit ve değişken hızlı üniteler için maliyet farkı yaklaşık %25’tir ve bu öncelikle daha fazla

39 [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/07/f65/Storage%20Cost%20and%20Performance%20Characterization%20Report\\_Final.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/07/f65/Storage%20Cost%20and%20Performance%20Characterization%20Report_Final.pdf)

güç elektroniği ekipmanına duyulan ihtiyaçtan kaynaklanır. Bu ekipmanı yerleştirmek için elektrik santrali mağaralarının biraz daha büyük olması gerektiğine dikkat çekildi.

- » Proje boyutu/kapasitesi.
- » Mevcut altyapının mevcudiyeti (iletim, barajlar, rezervuarlar vb.).

PDHES projelerinde maliyetler projeden projeye değişkenlik göstermekle birlikte proje sahasının jeolojik, topografik ve hidrolojik koşullarına bağlıdır. PDHES projeleri genellikle arazinin engebeli olduğu, yerleşim yerlerinden uzakta olduğundan ulaşım yollarına ve iletim hatlarına uzak bölgelerde ve çevresel koşulları da zorludur.

#### **PDHES projelerinde maliyetler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.**

- » **Planlama ve onay süreci**
- » **Rezervuar inşaatı**
- » **Su kanalları (tüneller, borular, vb)**
- » **Santral binası (pompa/türbin, jeneratör, şalt sahası, kontrol odası)**
- » **Ulaşım (yollar, elektrik iletim hattı, su (nehirdışı projeler için))**
- » **İşletme-bakım giderleri**

PDHES projelerinde yatırım süresinin uzunluğu ve inşaat maliyetlerinin yüksekliği kriterleri gözönüne alındığında ticari finansman kuruluşları yerine daha uygun şartlarda, geri ödeme ve vade sunabilen yatırım bankası finansmanı daha uygun görülmektedir. (PDHES Çalıştay Raporu) Yatırım bankalarının değerlendirmesinde fizibilite raporları, çevresel etki değerlendirmeleri ve arazi için kamulaştırma kriterleri ön planda yer almaktadır. Risk değerlendirme kriterleri olarak ise yatırımcı ile ilgili riskler, teknoloji ile ilgili riskler, tamamlama, işletme, enerjinin satın alınması, piyasa riskleri ve ülke risklerinin değerlendirilmektedir. Ayrıca; PDHES projelerinin kamu-özel sektör yatırımı olarak gerçekleştirilmesi, tarife garantisi, satın alma garantisi gibi mekanizmaların finansörler tarafından açısından güvenlik ağını oluşturmaktadır.



# BÖLÜM 4

TÜRKİYE'DE POMPAJ  
DEPOLAMALI HES



## 4. TÜRKİYE'DE POMPAJ DEPOLAMALI HES

Bu bölümde pompaj depolamalı projelere ilişkin Türkiye'de, ihtiyaç analizi, yasal gelişmeler ve yapılan çalışmalar ve ileriye dönük planlar yer almaktadır.

### 4.1. İhtiyaç Analizi

Ülkelerde ilgili kurumlarca kısa-orta-uzun dönem elektrik enerjisi arz-talep çalışmaları yapılarak yatırım planları belirlenmektedir.

Barajlı hidroelektrik santraller pek çok ülkede puant yükü karşılamak için kullanılır/çalıştırılır. Ülkemizde barajlı hidroelektrik santrallerin sayısı ve güç olarak puant yükü karşılamaya yeterli olduğu düşüncesi ile pompaj depolamalı projelere yakın zamana kadar ihtiyaç duyulmadığı ve bu nedenle 2020 yılına kadar gerek kalkınma planlarında gerekse ilgili kurumların yatırım programlarında yer almadığı görülmektedir.

*Ülkemizde ilk çalışma 1980 yılında DSI tarafından başlatılmıştır.*

Oysaki ülkemizde ilk çalışma 1980 yılında DSI tarafından başlatılmıştır. Bu çalışmada ülkemiz elektrik üretimi ve tüketiminde pompaj depolamalı santrallerin rolü incelenmiş ve bu projeler için en uygun yerlerin Boyabat (Kepez), Özköy, Kargı, Sarıyaz ve Gökçekaya barajları olduğu yer almıştır. İlerleyen yıllarda, hükümetler arası ikili işbirliği çerçevesinde, Avusturya firması Verbundplan tarafından hibe olarak *"Preliminary cost-benefit analysis of the implementation of a pumped storage scheme in the north-western part of Turkey"* raporu hazırlanmıştır. Raporda, Türkiye'de PDHES'lerin inşasına uygun 15 bölgenin bulunduğu, en uygun çözüm olarak da Sakarya nehri üzerinde mevcut Gökçekaya Barajı ve HES'in yakınına 1400 MW gücünde PDHES kurulmasının topoğrafik ve teknik olarak yapılabilirliği belirtilmiştir<sup>40</sup>.

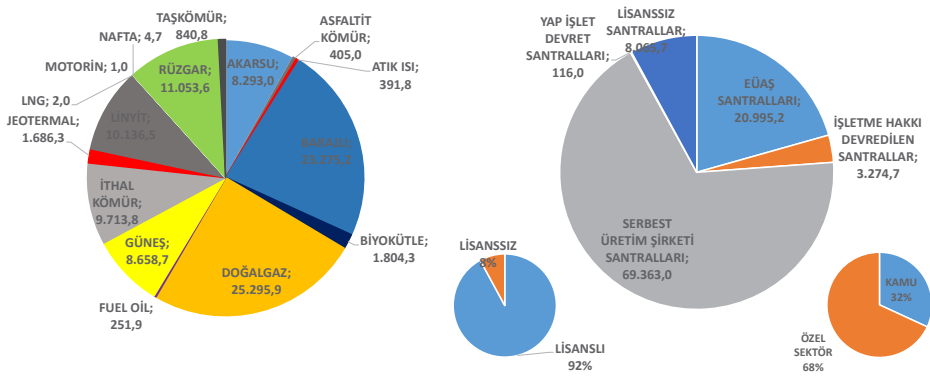
Aralık 1998'de düzenlenen 1. Enerji Şurası Sonuç Bildirisinde pompaj depolamalı proje yapılması gerektiği yer almış, "Türkiye'de pik güç ihtiyacını karşılamak için 2006 yılından itibaren işletmeye alınmak üzere yapılacak fizibilite çalışmaları sonucuna göre belirlenecek yeterli kapasitede ve tüketim merkezlerine yakın bölgelere pompaj depolamalı santral inşa edilmesi elektrik enerjisinin yeterliliği ve güvenirliliği bakımından büyük önem arz etmektedir" denilmiştir. (Tutuş ve Pasin, 2020)

<sup>40</sup> [https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2017/10/hidrolik\\_enerji\\_raporu\\_304.pdf](https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2017/10/hidrolik_enerji_raporu_304.pdf)

Ülkemizde 2022 Temmuz ayı sonu verilerine göre toplam 101.814,5 MW kurulu gücümüzün 23.275,2 MW'ı barajlı hidroelektrik santraller olup yaklaşık %23'ünü oluşturmaktadır<sup>41</sup>.

**Tablo 8:** Türkiye 2022 yılı Kaynaklara Göre Üretim

Kaynak	Santral Adeti	Kurulu Güç (Mw)
Akarsu	609	8.293,0
Asfaltit Kömür	1	405,0
Atık Isı	95	391,8
Barajlı	141	23.275,2
Biyokütle	382	1.804,3
Doğalgaz	346	25.295,9
Fuel Oil	9	251,9
Güneş	8.882	8.658,7
İthal Kömür	16	9.713,8
Jeotermal	63	1.686,3
Linyit	46	10.136,5
Lng	1	2,0
Motorin	1	1,0
Nafta	1	4,7
Rüzgar	356	11.053,6
Taşkömür	4	840,8
<b>TOPLAM</b>	<b>10.953</b>	<b>101.814,5</b>



**Şekil 19:** Türkiye 2022 Yılı Kurulu Gücünün Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı<sup>42</sup>

41 [www.teias.gov.tr](http://www.teias.gov.tr)

42 [www.teias.gov.tr](http://www.teias.gov.tr)

## 4.2. Türkiye’de Pompaj Depolamalı HES Projelerinin Tarihi

Ülkemizde pompaj depolamalı santral konusunda çalışmalar rapor ve araştırma anlamında 1969 yılında mülga EİE Genel Müdürlüğü tarafından başlamış olsa dahi teknik olarak ilk kez 2005 yılında EİE Genel Müdürlüğü (mülga) tarafından başlatılmıştır. Mülga Genel Müdürlük tarafından farklı seviyelerde proje çalışmaları yürütülmüş ve ilk etüt seviyesinde 16 adet pompaj depolamalı hidroelektrik santral raporu hazırlanmış olup, bu santralların listesi Tablo 9’da yer almaktadır.

**Tablo 9:** Türkiye’de Etütleri Yapılan PDHES’ler

Proje Adı	Yeri	Kurulu Güç (Mw)	Proje Debisi (m <sup>3</sup> /s)	Düşü (m)
Kargı PDHES	Ankara	1000	238	496
Sarıyar PDHES	Ankara	1000	270	434
Gökçekaya PDHES	Eskişehir	1600	193	962
İznik I PDHES	Bursa	1500	687	255
İznik II PDHES	Bursa	500	221	263
Yalova PDHES	Yalova	500	147	400
Demirköprü PDHES	Manisa	300	166	213
Adigüzel PDHES	Denizli	1000	484	242
Burdur PDHES	Burdur	1000	316	370
Eğridir PDHES	Isparta	1000	175	672
Karacaören PDHES	Burdur	1000	190	615
Oymapınar PDHES	Antalya	500	156	372
Aslantaş PDHES	Osmaniye	500	379	154
Bayramhacılı PDHES	Kayseri	1000	720	161
Yamula PDHES	Kayseri	500	228	260
Hasan Uğurlu PDHES	Samsun	1000	204	570

Aşamalı eleme çalışmaları sonucunda Gökçekaya Barajının ülkemizdeki ilk pompaj depolamalı santral projesi olarak geliştirilmesi uygun bulunmuş ve Şubat 2010-Şubat 2011 arasında mülga EİE Genel Müdürlüğü koordinasyonu ile Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ile işbirliği içinde yürütülen “Türkiye Pik Talebin Karşılması İçin Optimal Güç Üretimi” projesi ile devreye alınması düşünülen pompaj depolamalı hidroelektrik santralların üretim kapasiteleri ve devreye alınma zamanları araştırılmıştır. Ayrıca, Türkiye için 2010 - 2030 arasındaki maksimum pik güç üretim planı içinde pompaj depolamalı santralların devreye alınma tarihleri de incelenmiştir. Türkiye için potansiyel pompaj depolamalı hidroelektrik santral konumları, enerji

talebinin yoğun olduğu bölgeler, jeolojik, topografik ve çevresel kısıtlamaları da kapsayan ölçütler açısından araştırılmıştır. Kademeli yapılan eleme sonucunda, alt rezervuarları Gökçekaya Barajı ve hidroelektrik santral olan Gökçekaya Pompaj Depolamalı HES (1400 MW) ve Altinkaya Pompaj Depolamalı HES'in (1800 MW) kavramsal tasarımı yapılmıştır. Gökçekaya PDHES fizibilite çalışmaları Şubat 2012'de resmi olarak başlatılmıştır. [A.A. Sertkaya, M. Saraç, M. A. Omar, Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerinin Türkiye İçin Önemi, 2015]

T.C Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından hazırlanan ve 18.07.2019 tarihinde onaylanan 11. Kalkınma Planında ise (2019-2023) "artan yenilenebilir enerjinin şebeke üzerinde oluşturduğu kısıtların bertaraf edilmesi amacıyla, pompaj depolamalı HES'ler dâhil olmak üzere enerji depolama sistemleri tesis edilecektir" ifadesi yer almış, böylece ülkemizde ilk kez pompaj depolamalı santral projeleri kalkınma planına dahil edilmiştir. ([www.sbb.gov.tr](http://www.sbb.gov.tr) )

Pompaj depolamalı HES'ler enerji üretiminin fazla ve ucuz olduğu saatlerde bu enerjiyi kullanarak su depolamakta, suyun depolanması ile her an enerjiye dönüşebilme kabiliyeti sebebiyle aslında enerji depolanmış sayılmaktadır. Depolanan bu su acil enerji ihtiyacında çok hızlı devreye girerek üretim açığının kapatılmasına ve yükün dengelenmesine yardımcı olmaktadır (Bilgin ve Güven, 2015).

### 4.3. Yasal Gelişmeler

Öncelikle iletim sisteminde yan hizmetlerin yönetilmesine katkı vermek üzere ihtiyaç duyulan PDHES'ler, sistemde arz-talep dengesinin sağlanması amacıyla elektrik talebinin düşük olduğu zaman diliminde suyu üst hazneye pompalayarak hidrolik güç olarak depolayan, elektrik talebinin yüksek olduğu zaman diliminde de hızlı yük alma ve yük atma yetenekleri nedeniyle yük yönetimine destek olan tesislerdir.

PDHES projelerinin diğeri depolama ünitelerinden farkı, elektrik depolama üniteleri üretilen veya sistemden çekilen elektrik enerjisini depolayabilen ve depolanan enerjiyi tekrar kullanılmak üzere sisteme verebilen bir sisteme sahipken, PDHES'lerin elektrik enerjisini depolamak yerine hidrolik kaynağı üst rezervuarda depolayarak talebin yüksek olduğu dönemde elektrik üretebilen tesisler olarak faaliyet gösteriyor olmasıdır. Dolayısıyla, PDHES'ler elektrik depolama ünitesi olarak değerlendirilmemekle birlikte PDHES'lerin mevzuatsal dayanağının rezervuarlı HES'ler için uygulanan mevzuattan farklı olmayacağı düşünülmektedir.

Ancak, ülkemizde mevzuatsal anlamda PDHES'lerle ilgili gerekli olabilecek ek düzenlemelerin yapılabilmesi için öncelikle aşağıda yer alan hususların netleştirilmesi gerekmektedir.

## » PDHES'ler Yenilenebilir Enerji Kaynağı mı?

02.11.2013 tarihli ve 28809 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliğinin **“Tanımlar ve Kısaltmalar”** başlıklı 3 üncü maddesinin birinci fıkrasının (III) bendinde yer alan **“Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri: Rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyokütleden elde edilen gaz (çöp gazı dâhil), dalga, akıntı enerjisi ve gel-git ile kanal veya nehir tipi veya rezervuar alanı on beş kilometrekarenin altında olan veya pompaj depolamalı hidroelektrik üretim tesisleri,”** hükmü ile pompaj depolamalı hidroelektrik üretim tesisleri yenilenebilir enerji kaynağı olarak tanımlanmıştır.

18.5.2005 tarihli ve 25819 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun”un **“Tanımlar ve Kısaltmalar”** başlıklı 3 üncü maddesinin sekizinci fıkrasında sadece “hidrolik” enerji yenilenebilir enerji kaynağı olarak tanımlanmıştır. Burada yer alan “hidrolik” enerji ifadesi geniş yorumlanarak, pompaj depolamalı HES’lerin yenilenebilir enerji kaynağı kategorisinde yer aldığı düşünülebilir. Ancak, ilerde yaşanabilecek karışıklığı önlemek adına bu konuda daha net ifadelerin yer alması gerektiği mütalaa edilmektedir.

Dolayısıyla, PDHES’lerin yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi halinde 5346 sayılı Kanun ile 01.10.2013 tarihli ve 28782 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmeliği”nin ilgili maddelerinde net tanımlamaların yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

## » PDHES’lerin Teşvik Mekanizması

Teşvik mekanizması olarak YEK destekleme mekanizmasından (YEKDEM) faydalandırılmalarına karar verilebilmesi için, PDHES’lerin yine öncelikle yenilenebilir enerji kaynağı olup olmadığı belirlenmelidir.

5346 sayılı Kanununun 6 ncı maddesinin üçüncü fıkrasında yer alan **“Bu Kanuna ekli I sayılı cetvelde hidroelektrik üretim tesisleri için yer alan fiyatlardan nehir tipi veya rezervuar alanı on beş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisleri ile dalga, akıntı ve gel-git enerjisine dayalı elektrik üretim tesisleri faydalanabilir.”** hükmü yer almaktadır.

Ancak, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmeliğin (YEKDEM Yönetmeliği) **“Tanımlar”** başlıklı 3 üncü maddesinin birinci fıkrasının (b) bendinde **“Bu Yönetmelik kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynakları: Rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyokütleden elde edilen gaz (çöp gazı**

dâhil), dalga, akıntı enerjisi ve gel-git ile kanal veya nehir tipi veya rezervuar alanı on beş kilometrekarenin altında olan veya **pompaj depolamalı hidroelektrik üretim tesisi kurulmasına uygun elektrik enerjisi üretim kaynakları**” hükmüne yer verilmiştir.

Dolayısıyla, PDHES’lerin YEKDEM’den yararlandırılmasına karar verilmesi durumunda, 5346 sayılı Kanunun 6 ncı maddesinin üçüncü fıkrasında gerekli düzenlemenin yapılması gerekecektir.

Diğer taraftan, 23.04.2009 tarihli AB Direktifi ’nin (2009/28/EC-23.04.2009) (Giriş, 30 nolu bent): “...*electricity produced in pumped storage units from water that has previously been pumped uphill **should not be considered to be electricity produced from renewable energy sources.***” düzenlemesi çerçevesinde PDHES projelerinin yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmiyor olması sebebiyle Avrupa Birliği ülkelerinde farklı teşvik mekanizmaları uygulanmaktadır. Söz konusu ülkelerde PDHES’ler hem üretim hem de tüketim birimi olarak değerlendirildiğinden, şebeke kullanımı için herhangi bir bedel almayan ülkeler yanında sadece iletim bedeli veya sadece sistem kullanım bedeli alan ülkeler de bulunmaktadır. Ayrıca bazı vergi muafiyetleri de uygulanabilmektedir.

Bu kapsamda değerlendirildiğinde, ülkemizde de PDHES’ler hem üretim hem de tüketim tesisi olarak değerlendirildiğinden, YEKDEM harici sunulabilecek teşvik mekanizması olarak,

- » Tüketim yönünde sistem kullanım bedeli,
- » Yan hizmetlerle ilgili olarak sekonder ve primer frekans kontrolü katılım bedeli,
- » Oturan sistemin toparlanmasına katılım bedeli,
- » Yıllık lisans bedeli,
- » Havza bedeli gibi DSİ tarafından alınan bazı bedeller,

ve diğer tür bedellerde belli oranlarda indirimler uygulanmak veya öncelik tanımak suretiyle teşvik verilebileceği değerlendirilmektedir.

Yine, teşvik mekanizmasının belirlenmesine müteakip ilgili Kanun, Yönetmelik ve Kurul kararlarında gerekli düzenlemelerin yapılması gerekecektir.

#### » Mevcut hidroelektrik üretim tesislerinin PDHES'lere dönüşümü mü yoksa yeni yatırımlara yönelik bir piyasa mı?

PDHES’lerin yeni yatırım veya mevcut HES’lerin PDHES’lere dönüşümü şeklinde yapılmasının önünde mevzuatımızda herhangi bir engel bulunmamakla birlikte Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği ile ilgili EPDK Kurul kararlarında gerekli tanımlamaların ve düzenlemelerin yapılması gerekmektedir.

Mevcut mevzuata göre PDHES'lerin YEKDEM'den yararlanamayacağı görülmektedir. Ancak, mevcut HES'lerin PDHES'lere dönüşümü şeklinde bir yatırım süreci olması durumunda mevcut HES'in YEKDEM'den yararlanıyor olması durumu ile ilgili tesis edilecek işlemlere ve dönüştürme sonucu verilecek yeni lisansın süresinin mevcut HES'in 49 yıllık lisans süresi dâhilinde değerlendirilip değerlendirilmeyeceğine de karar verilmesi önem taşımaktadır. Bu konu da açıklayıcı bir mevzuatsal düzenlemeye ihtiyaç olduğu değerlendirilmektedir.

#### 4.4. Ülkemizdeki PDHES Potansiyeli

Türkiye'de henüz kurulumu tamamlanmış ve işletmeye alınmış PDHES bulunmamaktadır. Ancak, proje aşamasında olan çalışmalar bulunmaktadır. Ülkemizde henüz PDHES kurulumu yapılmamış olmasının nedeni; Türkiye'nin geçmiş yıllardaki elektrik enerjisi ihtiyacının büyük bir bölümünün klasik depolamalı HES'ler yoluyla karşılanmasıdır. Barajlı HES'ler zaten talep durumuna göre kolay ve kısa sürede devreye alınıp çıkabildikleri için, gün içindeki değişen talebi dengeleyecek ilave bir tesise teknik olarak ihtiyaç duyulmamıştır. Ancak, hali hazırda Türkiye'de enerji talebinin bir bölümünün termik santrallerden, nehir santrallerinden ve yenilenebilir enerji kaynaklarından (rüzgâr, güneş, jeotermal, biyogaz) temin etme yönünde son on yılda önemli adımlar atılmaktadır. Bunların yanında gün içi arz talep dengesini en ekonomik şekilde sağlanabilmesi açısından PDHES'lerin önemli rol alacağı düşünülmektedir.

Ülkemizde muhtemel pompaj depolamalı santrallerin hangi bölgelere yapılacağı konusu önemli ölçüde açıklığa kavuşmuştur. Şekil 20'deki gösterilen kırmızı renkli iller pompaj depolamalı santraller için öncelikle ele alınması gereken illerimiz arasında olması konusunda mutabakat bulunmaktadır. Bu illerimiz; Ankara, Bursa, İstanbul ve İzmir'dir. İkinci öncelikli illerimiz ise Gaziantep, Tekirdağ, Adana, Hatay, Antalya, Konya ve Şanlıurfa olarak görülmektedir.



Şekil 20: Türkiye'de PDHES yapılması için öncelik verilen iller (EİE,2009)



Pompaj depolamalı santral kurulumlarının pik güç talebini karşılamak üzere enerji ihtiyacının en fazla olduğu bölgelerde olması şeklinde planlanmaktadır. Böylece iletim hattı kısa ve yük kayıpları az olacaktır. Şekil 21’de Türkiye için planlanan PD-HES’ler harita üzerinde gösterilmektedir.



1) Kargı PDHES	6) Yalova PDHES	11) Karacaören PDHES	16) Yamula PDHES
2) Sarıyar PDHES	7) Demirköprü PDHES	12) Oymapınar PDHES	17) Hasan Uğurlu PDHES
3) Gökçekaya PDHES	8) Adıgüzel PDHES	13) Aslantaş PDHES	
4) İznik I PDHES	9) Burdur PDHES	14) Bayramhacılı PDHES	
5) İznik II PDHES	10) Eğirdir PDHES	15) Yamula PDHES	

**Şekil 21:** Planlanan PDHES’ler

Bu projelerin bazılarını kısaca ele alacak olursak;

### Sarıyar Pompaj Depolamalı Santrali

İlk etüt seviyesinde 1000 MW kurulu gücündeki Sarıyar PDHES Ankara il sınırları içerisinde yer almaktadır. Projede 387 m shaft, 595 m cebri boru ve 815 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. PDHES’in alt rezervuarı Sarıyar Barajı, üst rezervuarı ise 435 m yükseklikte beton kaplamalı havuz şeklinde planlanmıştır.

### Bayramhacılı Pompaj Depolamalı Santrali

İlk etüt seviyesinde 1000 MW kurulu gücündeki Bayramhacılı PDHES Kayseri il sınırları içerisine yer almaktadır. Projede, 160 m kuyruk suyu tüneli ve 305 m shaft bulunmaktadır. PDHES’in alt rezervuarı Bayramhacılı Barajı, üst rezervuarı ise 161 m yükseklikte beton kaplamalı havuz şeklindedir.

### Hasan Uğurlu Pompaj Depolamalı Santrali

İlk etüt seviyesinde 1000 MW kurulu gücündeki Hasan Uğurlu PDHES Samsun il sınırları içinde yer almaktadır. PDHES’in alt rezervuarı Hasan Uğurlu Barajı, üst re-

zervuarında ise 570 m yükseklikte beton kaplamalı havuz bulunmaktadır. Projede 965 m kuyruk suyu tüneli ve 635 m şaft bulunmaktadır.

### **Adıgüzel Pompaj Depolamalı Santrali**

İlk etüt seviyesinde 1000 MW kurulu gücündeki Adıgüzel PDHES Denizli il sınırları içerisinde yer almaktadır. Projede 303 m şaft, 216 m cebri boru ve 447 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. PDHES 'in alt rezervuarı Adıgüzel Barajı, üst rezervuarı ise 242 m yükseklikte beton kaplamalı havuz yer almaktadır.

### **Kargı Pompaj Depolamalı Santrali**

İlk etüt seviyesinde 1000 MW kurulu gücündeki Kargı PDHES Ankara il sınırları içinde yer almaktadır. Projede 1815 m cebri boru, 580 m kuyruk suyu tüneli ve 367 m şaft bulunmaktadır. PDHES 'in alt rezervuarı Kargı Barajı, üst rezervuarı ise 513 m yükseklikte sıkıştırılmış kil havuzdur.

### **Yalova Pompaj Depolamalı Santrali**

İlk etüt seviyesinde 500 MW kurulu gücündeki Yalova PDHES Yalova il sınırları içerisinde yer almaktadır. PDHES'in alt rezervuarı Yalova Regülatörü, üst rezervuarı 400 m yükseklikte beton kaplamalı havuz şeklindedir. Projede, 300 m kuyruk suyu tüneli ve 800 m şaft bulunmaktadır.

### **Yamula Pompaj Depolamalı Santrali**

İlk etüt seviyesinde 500 MW kurulu gücündeki Yamula PDHES Kayseri il sınırları içerisinde yer almaktadır. Projede 80 m şaft, 1540 m cebri boru ve 300 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. PDHES'in alt rezervuarı Yamula Barajı, üst rezervuarı ise 260 m yükseklikte beton kaplamalı havuz şeklinde planlanmıştır.

### **Oymapınar pompaj depolamalı santrali**

İlk etüt seviyesinde 500 MW kurulu gücündeki Oymapınar PDHES Antalya il sınırları içerisinde yer almaktadır. Projede, 500 m kuyruk suyu tüneli ve 419 m şaft bulunmaktadır. PDHES'in alt rezervuarı Oymapınar Barajı, üst rezervuarı ise 372 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur.

### **Aslantaş Pompaj Depolamalı Santrali**

İlk etüt seviyesinde 500 MW kurulu gücündeki Aslantaş PDHES Osmaniye il sınırları içerisinde yer almaktadır. Projede 225 m kuyruk suyu tüneli ve 875 m cebri boru

bulunmaktadır. PDHES'in alt rezervuarı Aslantaş Barajı, üst rezervuarı ise 154 m yükseklikte beton kaplamalı havuz şeklindedir.

## Demirköprü Pompaj Depolamalı Santral

İlk etüt seviyesinde 300 MW kurulu gücündeki Demirköprü PDHES Manisa il sınırları içerisinde yer almaktadır. PDHES'in alt rezervuarı Demirköprü Barajı, üst rezervuarı ise 215 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede, 157 m shaft, 473 m cebri boru ve 832 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır.

## 4.5. Ülkemizde Pompaj Depolamalı Santral Projelerine İlişkin Çalışmalar

Ülkemizdeki PDHES Çalışmaları ilk olarak Mülga Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından başlatılmıştır. Tablo 10'da PDHES'ler konusunda yapılan çalışmaların kilometre taşları bulunmaktadır.

**Tablo 10:** Ülkemizde Yapılan PDHES Çalışmalarının Kilometre Taşları

Yıllar	Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral Çalışmaları
1969	Ülkemizde Pompaj Depolamalı HES (PDHES) ile ilk çalışmalar Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) (Mülga) Genel Müdürlüğü tarafından etüt çalışmalarına başlandı,
2005	PDHES'in Ülkemizde durumunun incelenmesi ve teknik destek alınması için Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ile görüşmelere başlandı..
2007	JICA ile yapılan görüşlerin olumlu sonuçlanması ile teknik destek talebi JICA'ya resmi olarak iletildi.
2009	EİE yapmış olduğu ön etüt çalışmaları neticesinde 16 adet sahanın PDHES'in yapılması için uygun olduğu belirlendi.
2010	TEİAŞ ile JICA işbirliği ile "Türkiye Pik Güç Talebinin Karşıllanması İçin Optimal Güç Üretimi Raporu" çalışmalarına başlandı.
2011	"Türkiye Pik Güç Talebinin Karşıllanması İçin Optimal Güç Üretimi Raporu" tamamlandı
2014	JICA Teknik İşbirliği kapsamında DSİ Genel Müdürlüğü tarafından YEGM-TEİAŞ-EÜAŞ İşbirliği ile Gökçekaya PDHES Fizibilite Çalışması başladı.
2016	Gökçekaya PDHES Fizibilite Çalışması tamamlandı.
2017	"PDHES 'lerin Ülkemiz Enerji Sektöründeki Yerinin Netleştirilmesine Yönelik Düzenlemelerin ve İzlenecek Yöntemin ve Modelin Belirlenmesinde Fayda Sağlayacak Yol Haritasının Oluşturulması" çalışmaları Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü katılımı ile başladı ve "PDHES Yol Haritası Raporu" hazırlandı
2018	PDHES Yol Haritası Çalıştayı yapıldı ve Sonuç Raporu hazırlandı. ( <a href="https://www.enerjiportali.com/wp-content/uploads/2018/10/PDHES_Yol_Haritası_Calistay_Raporu.pdf">https://www.enerjiportali.com/wp-content/uploads/2018/10/PDHES_Yol_Haritası_Calistay_Raporu.pdf</a> )
2019	Pompaj depolamalı santral projeleri Türkiye Cumhuriyeti 11. Kalkınma Planında (2019-2023) yer aldı.
2020	Pompaj Depolamalı HES 'in kurulması EÜAŞ 'ın yatırım programında yer aldı.

## » Mülga EİE Genel Müdürlüğü Çalışmaları:

2005 - 2009 arasında yapılan çalışmalarda kurulu güçleri 200 ila 1600 MW arasında olan toplam 16 saha belirlenmiş olup bu projelerin toplam gücü 14.600 MW'tır.

## » Türkiye Puant Güç Talebinin Karşlanması için Optimal Güç Üretimi Çalışması (Mülga EİE, TEİAŞ, JICA, 2010)<sup>43</sup>:

JICA tarafından yapılan çalışmada, öncelikle olarak daha önce çalışılan 16 saha için belirlenen kriterler gözden geçirilmiş olup ayrıca alternatif sahalarda belirlenmiştir. Yapılan çalışmada 38 saha incelenmiş ve bu sahalardan 28 tanesinin ilk değerlendirmelerde uygun bulunmuştur. Yapılan değerlendirmelerde sahalanın çevresel etkileri, yerleşim yerlerine yakınlığı, alt-üst rezervuar potansiyeli, iletim hatlarına mesafesi, jeolojik durumlar vb kriterler dikkate alınmıştır. Önerilen 28 saha, saha ziyaretleri ile yerinde yapılan incelemeler sonucunda öncelikli olarak, 10 sahaya düşürülmüştür. Bu 10 saha üzerinde yapılan detaylı değerlendirmeler neticesinde 5 saha ön plana çıkmıştır.

### Önerilen PDHES Sahaları:

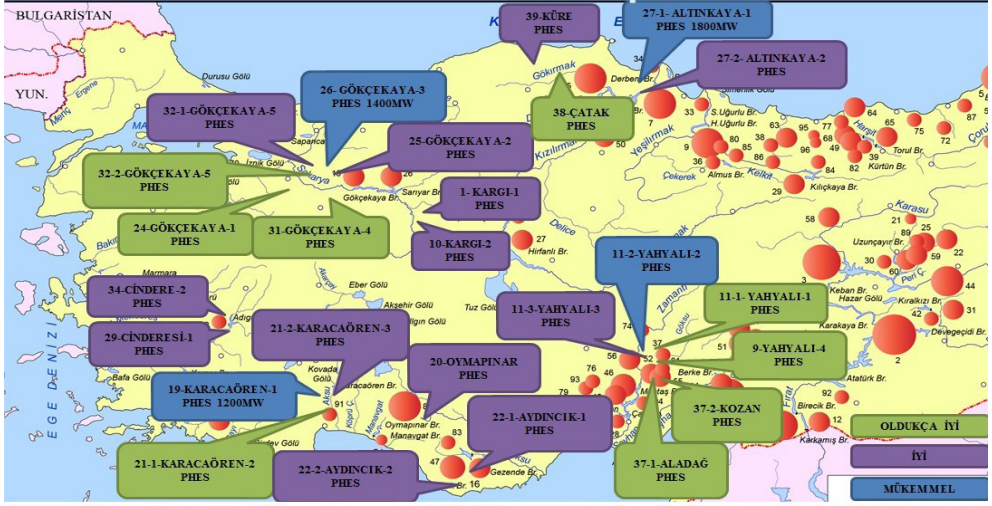
- 1) Gökçekaya PDHES- 1400 MW (enerji tüketim noktalarına yakın ve enerji hatları için köprü görevi olabilmesi)
- 2) Oymapınar PDHES- 500 MW (Akkuyu Nükleer Santralına yakın mesafede)
- 3) Karacaören-2 PDHES- 500 MW / 1000 MW (özellikle havaların aşırı sıcak olması nedeni ile tüketime yüksek olduğu bölgelere yakın olması)
- 4) Bayramhacılı/Yamula- PDHES 500 MW (doguda üretilen elektrik enerjisinin tüketime yüksek olduğu batı bölgesine geçişte denge noktasında olması)
- 5) Altınkaya PDHES- 450 MW / 1800 MW (planlanan ikinci nükleer santrale yakın bölgede olması)

Ayrıca yapılan bu çalışmalarda PDHES tanımı; "**Biri alt diğeri üst hazne olmak üzere en az iki haznedenden oluşan, sistemde arz-talep dengesinin sağlanması amacıyla elektrik talebinin düşük olduğu zaman diliminde suyun üst hazneye pompalanarak hidrolik güç olarak biriktirildiği, elektrik talebinin yüksek olduğu zaman diliminde yük yönetimine destek olan, iletim sisteminin yönetilmesinde ihtiyaç duyulan yan hizmetlere katkı vermek üzere önceliklendirilmiş belirlenen kapasitedeki tesislerdir.**" olarak yer almıştır.

Bu çalışmalar neticesinde ilk PDHES'in kurulmasının kamu eli ile yapılması ve özel sektör görüşlerinin konuyla ilgili değerlendirmelerini almak amacıyla bir çalıştay

43 TC Pik Güç Optimasyon Destek Projesi TEAŞ-JICA Şubat 2011

yapılması önerilmiştir. Bu öneri doğrultusunda; konuyla ilgili paydaşlarının katılımıyla 26 Şubat 2018 tarihinde Ankara’da “Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santralleri Yol Haritası Çalıştay” düzenlenmiş olup paydaşlar arasında fikir alışverişi yapılmıştır.



NOT: Yukarıda güç bilgisi verilen santraller dışındaki tüm santraller 2011 JICA Master Plan Raporu kapsamında ilk etüt düzeyinde 1000 MW kurulu güce ve 7 saat pik çalışma süresine göre tasarlanmıştır.

Şekil 22: JICA Tarafından İncelenen Sahalar

## » Gökçekaya PDHES Fizibilite Çalışması (DSİ, EÜAŞ, TEİAŞ, Mülga YEGM, JICA, 2014-2016)<sup>44</sup>:

Çalışma kapsamında belirlenen projelerden ilk sırada yer alan Gökçekaya PDHES Projesinin hayata geçirilebilmesi için yapılması gerekli olan bazı eksik etüt çalışmalarının tamamlanması amacıyla, DSİ tarafından TEİAŞ, EÜAŞ ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile koordinasyon içerisinde Japonya Uluslararası Koordinasyon Ajansının (JICA) hibe desteği ile bir çalışma başlatılmıştır. Bu amaçla ilgili Kuruluşlar arasında bir “Aide Momorie” imzalanmış ve DSİ önderliğinde detaylı teknik ve mali fizibilite hazırlamak amacıyla yine JICA ilave hibe desteği ile yeni bir fizibilite çalışması 2014 yılı Ocak ayında başlamıştır. Süresi 18 ay olan yeni etüt projesi kapsamında, Gökçekaya PDHES, 1400 MW için detaylı ön tasarım, (ön projeler) ile jeolojik ve çevresel etütleri yapılmış, projenin fizibilite raporun hazırlanarak çalışmalar 2016 Mart ayında tamamlanmıştır.

Fizibilite çalışmaları kapsamında JICA heyetinin de katılımıyla Gökçekaya bölgesinde ve Ankara’da toplantılar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde;

<sup>44</sup> Hızı Ayarlanabilir Pompaj Depolamalı HES İnşaatı ile İlgili Proje Hazırlık Etüdü

- » Gökçekaya PDHES 'in yapılması planlanan bölgenin zemin ve etüt çalışmaları yapılmış olup santralin ve üst rezervuarın yapılacağı alan belirlenmiştir.
- » ÇED raporu hazırlanması için bölgenin ekolojik ve beşeri yapısı incelenmiştir.
- » Santralin enterkonnekte sisteme bağlanması için yapılacak iletim hatları ile sisteme hangi trafo merkezinden bağlanabileceği yönünde çalışmalar yapılmıştır.
- » Proje maliyeti ve geri dönüşü hakkında çalışmalar yapılmıştır.
- » Risk analizi yapılmış, önlemler belirlenmiştir.

#### » PDHES Yol Haritası Çalışması (Mülga YEGM, EPDK, EİGM, DSİ, EÜAŞ, TEİAŞ, EPİAŞ 2017-2018)<sup>45</sup>:

YEGM (mülga) öncülüğünde TEİAŞ, DSİ, EİGM, EÜAŞ, EPDK, EPİAŞ'ın katılımlarıyla Şubat- Ekim 2017 tarihleri arasında PDHES'in Türkiye'de kurulabilmesi amacıyla taslak bir yol haritası hazırlanmıştır. Bu yol haritasında PDHES'in tanımı, PDHES'in kurulmasına yönelik yasal gereklilikleri, öncelikli olarak PDHES'in kurulması gereken bölgeler, PDHESlerin minimum kapasitesi, PDHES'in yapılmasına yönelik iş modellerine ilişkin bilgiler yer almıştır.

Yol haritası oluşturulurken, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın, Milli Enerji ve Maden Politikası çerçevesinde belirtilen yenilenebilir kaynakların 10 yıl içerisinde gelebileceği noktalar incelenerek özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinde o tarih itibarı ile gelecek 10 yıl içerisinde 10.000 MW'lık bir artışın beklenildiği göz önünde bulundurulmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretimde beklenen hedeflerin gerçekleşmesi durumunda, elektrik enerjisi sistem işletmesinin yenilenebilir enerjiden ortaya çıkabilecek dengesizliğin önlemek amacıyla kısa sürece devreye girebilecek santral ve rezerv miktarına ihtiyacı olacağı dikkate alınmıştır.

Ayrıca baz yük olarak çalışacak ve çalışma zorunluğu olan (bakım hariç) nükleer santrallerin devreye girmesi ile ortaya çıkacak fazla enerjinin de bir şekilde sistem ihtiyaçları göz önüne alınarak kullanılmasının gerekli olduğu değerlendirilmiştir.

Nükleer ve yenilenebilir enerji santrallerinin devreye girmesi ile birlikte PDHES'lerin güvenli bir enerji sistemi işletmeciliği gerekli konuma geldiği görülmüştür. Bu doğrultuda elektrik enerji sisteminin kararlı ve güvenli işletilebilmesi için 1.000 MW ile 4.500 MW arasında değişebilecek miktarda ilave tüketim ihtiyacı olduğu ifade edilmiş ve 5 sahada PDHES'lerin kurulması önerilmiştir.

45 PDHES Yol Haritası Raporu

## » Pompaj Depolamalı HES Finansman ve Maliyet Önerileri

PDHES Yol Haritası çalıştayında finansör kuruluş yetkililerinin açıklamalarından ülkemizde PDHES projelerinin kamu veya özel sektör iş modellerinden herhangi birine karar verilerek en kısa zamanda yapım aşamasına geçilmesi gerektiği belirtilmiştir.

### Kamu eliyle:

- » detay teknik ve işletme kriterlerinin TEİAŞ tarafından belirlenmesi,
- » kapasite kiralama modeli; Yan hizmetler kapsamında gerekli çalışmaların yapılması,
- » yatırımın DSİ tarafından ve işletmenin EÜAŞ tarafından yürütülmesi,

### Özel Sektör Eliyle:

- » TEİAŞ tarafından detay teknik ve işletme kriterlerine ilaveten yarışma dokümanlarını hazırlayıp hizmet satın alınması yöntemi,
- » Alım önceliklerinin/tarifelerin belirlenmesi, alım garantili Yap-İşlet-Devret yarışma modeli,
- » Özel sektörün kendi dinamiği içinde yapması,

Önerilen bu modellerin işleyişinde farklılıklar bulunmakla birlikte ülkemiz şartlarına en uygun modelin seçilerek yatırıma başlanması tavsiye edilmiştir.

Finans kuruluşları, PDHES yatırımının finansal açıdan analizinin çok iyi yapılması gerektiğini belirtip, kamu-özel ortaklığı modelinin özellikle bazı geliştirme risklerinin üstesinden gelmek ve özel sektör programlarını işe dahil edebilmek için etkili bir yöntem olabileceğini belirtmişlerdir.

## » Gökçekaya PDHES Yatırımı

2014-2016 yılları arasında Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA), Tokyo Elektrik Şirketi (TEPCO) ve Tokyo Elektrik Hizmetleri Şirketi (TEPSCO) tarafından DSİ Genel Müdürlüğü, EÜAŞ Genel Müdürlüğü, TEİAŞ Genel Müdürlüğü ve Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü işbirliği ile hazırlanan "Hızı Ayarlanabilir Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral İnşaat ile İlgili Projeye Dair Hazırlık Etüdü" kapsamında Gökçekaya PDHES saha incelemesi, ülkemiz elektrik enerjisi kurulu güç, sistem ihtiyacı, fiyat mekanizması, ihtiyaç analizi, maliyetler, çevresel ve sosyal boyutları açısından geniş kapsamlı olarak incelenerek rapor hazırlanmıştır.

Gökçekaya PDHES için 2016 yılında hazırlanan fizibilite raporunda proje teknik ve ekonomik olarak incelenmesini yanı sıra ülkemiz arz-talep durumu, piyasa mekanizması, piyasa fiyatları, ihtiyaç analizi, risk analizi, proje sahası (topografik, jeolojik,

hidrolojik), çevresel ve sosyal değerlendirmeler, kamulaştırma ve yeniden yerleşim ihtiyacı, iletim hattına bağlantı, inşaat döneminde enerji – su ihtiyacı, ulaşım yolları, risk analizi, maliyet analizi, yatırım ve işletme sürecinde maliyetler kapsamlı olarak incelenmiştir. Raporun sonuç bölümünde inşaat planı, uygulama planı ve proje maliyetine ilişkin sonuçlar da yer almıştır.

Gökçekaya PDHES projesinde ana inşaat çalışmalarına başlanmasından sonra ilk ünitenin ticari işletmeye başlaması 7 yıl, 4 ünite için ise 9 yıl olarak tahmin edildiği belirtilmiştir. Buna 1 yıllık hazırlık çalışmaları da eklendiğinde toplam süre 10 yıl olarak öngörülmüştür. Toplam yatırım tutarı 1.047 Milyar ABD\$ (KDV hariç) ve 1.223 Milyar ABD\$ (KDV dahil) olarak tahmin edilmiştir. 2015 yılı birim fiyatları ve 2015 yılı TL/ABD Dolar kuru baz alınarak belirlenen bu yatırım tutarı ABD Doları bazında %4/yıl enflasyon değeri ile 2021 yılına getirdiğimizde 1.325 Milyar ABD Doları (KDV Hariç) olmaktadır. Yatırımda kullanılan demir, çimento, malzeme ve ekipman giderlerindeki artış farklı değerlerde olabileceği için 2021 değeri sadece bilgi amaçlı olarak verilmiştir.

Raporda tesisin ekonomik ömrü 50 yıl olarak alınmış, tesisde çalışan sayısı, danışman, bakım-onarım giderleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Gökçekaya Pompaj Depolamalı HES projesi EÜAŞ Genel Müdürlüğü 2020 yılı yatırım programına almıştır. 12 Şubat 2020 tarihli Mükerrer Resmi Gazete’de yayınlanan [1] 2020 Yılı Yatırım Programı’na göre 2020-2032 yıllarını kapsayacak projenin yatırım bütçesi yaklaşık 6,3 milyar TL olarak belirlenmiştir.

#### 4.6. Sonuç ve Değerlendirme

Türkiye hidroelektrik kaynak olarak Avrupa’da Norveç’ten sonra ikinci sırada yer almaktadır. 1900’lerin başından bu yana hidrolik enerjinin etüd, araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütülmüş, önceleri kamu eliyle yapılan santraller 1984 yılında kabul edilen 3096 sayılı Kanun ile özel sektör tarafından da inşaa edilip işletilmeye başlanmış 2001 yılında enerji sektörünün liberalleşmesi çalışmaları ile EPDK’nın kurulması ile lisans alınarak tamamen özel sektör eliyle gerçekleştirilmiş ve piyasa koşullarında işletilmiştir.

Ayrıca, 2000 yılından itibaren enerji üretiminde önce rüzgâr, sonra güneş, jeotermal ve biyokütle santrallerininin yapılan üretim ile enerji üretiminde kaynak çeşitliliği artarken santral tiplerinin emre amadeliği barajlı hidrolik santraller ile dengelenmiştir.

Ülkemiz elektrik enerjisi tüketimi 2021 yılı sonunda 329,6 Milyar kWh yükselmiş, 2020-2040 dönemi için yapılan Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Ra-



poru çalışmasının sonuçlarına göre elektrik tüketiminin baz senaryoya göre, 2025 yılında 370 TWh, 2040 yılında ise 591 TWh seviyesine ulaşması beklenmektedir. ([www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr))

Elektrik Piyasası Yan Hizmetler Yönetmeliğinde, Emreamade Kapasite “uzlaştırmaya esas veriş çekiş biriminin mevcut koşullarında acil durumlarda dahil olmak üzere teknik olarak sisteme verebileceği maksimum güç miktarı” olarak tanımlanmıştır. Türkiye elektrik sisteminde yer alan termik, hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal ve biyokütle santrallerinde arıza, bakım veya doğal kaynağın olmaması nedeni ile üretim yapılamıyabilir veya eksik üretim yapılabilir. Üretim yapamıyacak santralin yerine üretim yaparak sistemdeki açığı kapatabilecek santrallara “emre amade kapasite” olarak adlandırılmaktadır. 2018-2025 arasındaki verilere bakıldığında barajlı santrallarda %75 – 77 arasında, rüzgar santrallerinde 2018 yılında %80 iken, 2019 yılında %32, 2020 yılında %3.8 GW kurulu gücün içerisinde 4, 2021 yılında %48 dir. Güneş santrallerinde ise emre amadelik durumu %19 civarında olacağı tahmin edilmektedir.

Referans senaryoya göre 2021-2025 döneminde devreye alınacak toplam 19,8 GW kurulu gücün 3,4 MW’ı rüzgar, 6 GW’ı güneş, 36 GW’ı ise nükleer enerji santralidir. Hidroelektrik santrali ise 3,4 GW dir.

Ülkemiz elektrik enerjisi sektöründeki bu gelişmelere ve 2030 yılı tahminlerine baktığımızda depolamanın kritik bir unsur olduğunu görebiliyoruz. Bu durumun enerji konusunda ne kadar önemli olduğu aşikâr olmakla birlikte; fosil yakıtların günü gelince tükeneyeceği ve ülkemiz adına da yenilenebilir ve depolamalı santrallerin milli ve sürdürülebilir kaynaklar olması gerektiği görülmektedir. Enerjinin arz ve talebinde etkin olarak kullanılabilir olan PDHES’ler, nükleer enerjinin enerji arz kaynaklarımızın arasına dahil edilmesi ile etkin bir rol oynayacaktır. Nükleer enerjide ilk ünite 2023 yılında ülkemiz elektrik üretim portföyüne katılım sağlayacaktır.

TEİAŞ Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan “10 Yıllık Talep Tahmin Raporu (2017-2026)” kapsamında iletim sistemine doğrudan bağlı tüketicilere ait talep tahminleri ve dağıtım şirketlerinden gelen tahmin sonuçları birleştirilerek 2016-2026 yılları arasında 10 yıl için brüt elektrik tüketiminin tahmin edildiğini vurgulamıştır.

- a. PDHES’lerde pompaj esnasında tüketilen enerji suyun alt rezervuara aktarımı sırasında üretilen enerjiden daha fazla olması nedeni ile PDHES projelerinin rantabl olması için ilgili kurumlarca fiyat ayarlaması yapılmalıdır. (PDHES Çalıştay Raporu)
- b. PDHES’ler GÖP’te (Gün Öncesi Piyasa) sistem dengesine en fazla katkıyı sağlama adına talebin en az ve PTF’nin (Piyasa Takas Fiyatı) en düşük olduğu sabah saatlerinde sistemden alış, talebin en fazla ve PTF’nin en yüksek çıktığı puant

saatleri arasında sisteme satış yapabileceklerdir. Ayrıca, PTF farklarından kaynaklı kar marjı bulunan diğer saatlerde de ticari olarak işlem yapabileceklerini, işlem yapılabilecek diğer saat aralıkları ise gece-gündüz geçişleri arasında sistemden ucuza alışı yapılarak, gündüz-puant geçişleri arasında sisteme satış yapılarak kar elde edebilirler. (PDHES Çalıştay Raporu)

2017-2025 yılları arasında düşük, baz ve yüksek olmak üzere 3 farklı senaryoda puant tahmini yapıldığını, çalışmaya göre 2025'te yüksek senaryoda 64.592 MW, baz senaryoda 59.825 MW ve minimum senaryoda 55.477 MW puant öngörüsü bulunduğunu belirtmiştir. Minimum yükün puanta oranının %45-50 olarak gerçekleştiği durumda minimum yük 26.500 - 30.000 MW arasında tahmin edildiğini ifade etmiştir. Bu durumda devreden çıkarılabilecek kurulu güçler belirlenmiş ve minimum tutulan üretimin 31.750 MW'ta çıktığını ifade etmiştir. Bu durumda RES'ler 15.000 MW seviyelerinden 5.000 MW seviyelerine, GES'ler 9.000 MW seviyelerinden 1.000 MW seviyelerine, barajlı HES'ler 25.000 MW seviyelerinden 7.000 MW seviyelerine, nehir tipi santrallerin 12.000 MW seviyelerinden 9.000 MW seviyelerine, yerli kömür santrallerinin 15.000 MW seviyelerinden 1.000 MW seviyelerine, doğalgaz santralleri 27.000 MW seviyelerinden 3.000 MW seviyelerine, ithal kömür santrallerinin 20.000 MW seviyelerinden 2.000 MW seviyelerine düşürülmesine rağmen maksimum tüketim tahmini 30.000 MW iken minimum üretim tahmini 31.750 MW olduğunu belirtmiştir. 1.750 MW'lık tüketilmesi gereken fazla enerjiyi PDHES'ler ile tüketilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Avrupa ülkeleri, ABD, Çin, Japonya başta olmak üzere dünyadaki pek çok ülkede 1970'li yıllarda nükleer ve termik santrallerin devreye alınması ile oluşan üretim fazlası nedeniyle PDHES gelişimini hızlandırmış ve 1980-1990 arasında büyük PDHES yatırımları olmuştur. Yenilenebilir enerji yatırımların artması ve elektrifikasyon çalışmaları ile pompaj depolamalı tesisler tekrar yatırım programlarında yerini almış ve özellikle gücü 1 GW üzeri yatırımlarda büyük artış olmuştur.

Benzer şekilde ülkemizde hali hazırda yapılan nükleer enerji santraline ek olarak yeni nükleer enerji santralleri yapılması planlanmakta, yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları da artmaktadır. Bu kapsamda, PDHES'lerin ülkemiz açısından da kritik bir öneme sahip olacağı düşünülmektedir. PDHES projeleri enterkonnekte sistemde Avrupa ve Asya ile kilit bir bağlantı noktasında olan ülkemizin frekans regülasyonuna ciddi bir katkı sunacaktır. Ülkemizde yer alan yüksek gerilim iletim hatlarında şebeke gerilim kontrolünü sağlayıp, şebekedeki aşırı yük ve dengesizliklerin önlenmesinde yer alacak PDHES 'ler depolama konusunda sadece temiz bir çevre için değil, kaliteli elektrik konusunda da başrolde olacaktır. Büyük kapasiteli santrallerin (termik, nükleer) devre dışı kalmaları veya kolay durdurulamama durumları söz konusu olduğunda yedek güç olarak planlanması ile hızlı cevap verebilen bir santral

olacaktır. Ayrıca hidrolik potansiyelimizin tamamının etkin ve verimli olarak kullanılabilmesi açısından çok önemli bir katkı sağlayacaktır. Yapıldığında yüksek güce sahip olacak PDHES'ler Ülkemizin enerji alanındaki dışa bağımlılığını azaltarak cari açığın azaltılmasında büyük faktör olacaktır. Enerji diplomasisi kapsamında ülkemizde sağlanacak teşvik ve destekler ile birlikte elektromekanik teçhizatların yerli üretilmesi durumunda yerel sanayinin gelişmesine fayda sağlayacak ayrıca ihracat konusunda yerli ve milli bir pazar olabilme imkânına sahip olmamıza yol açacaktır. Ülkemizin hidroelektrik enerji potansiyeli bakımından Avrupa'da ve Dünya'da ilk sıralarda yer aldığı da göz önüne alındığında; pompaj depolamalı HES'lerin Ülkemizin Millî Enerji politikasına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Yüksek verimliliğe sahip ve hızlı bir şekilde devreye alınıp devreden çıkarılabilen pompaj depolamalı projelerin enerji arz güvenliği sağlamak amacıyla önemli ve ekonomik bir çözüm olarak ülkemizde pompaj depolamalı santral projeleri yatırımlarının artması için;

- a. Mevzuatta yer alan tanımlardaki tutarsızlıkların giderilmesi,
- b. PDHES projeleri destekleme mekanizmalarından faydalandırılması için model belirlenmesi;
- c. YEKA destek modeli için Elektrik Piyasası Kanununun ilgili maddelerinde düzenleme yapılması;
- d. Yatırım süreleri uzun ve inşaat ağırlıklı projeler için teşvik mekanizmalarının belirlenmesi,
- e. 3 tarafı deniz ile çevrili ülkemizde deniz suyu ile çalışabilecek pompaj depolamalı santral projelerinin de araştırılması;
- f. Özellikle tek firma lisansında olan kaskat sistemde çalıştırılan barajlı santrallerin pompajlı sisteme çevrilme imkanlarının araştırılması;
- g. Santrallerin enerji üretiminde kullanılan sistemlerin (pompa sistemleri, türbin, jeneratör ve aksamları gibi) yerli üretimle sağlanması maliyetlerde önemli ölçüde düşüreceği düşünülmektedir.
- h. Dünyada yeni teknolojiler olarak yapılan ve Ar-Ge çalışmaları devam eden güneş ve rüzgar santralleri ile hibrit pompaj depolamalı tesislerin araştırılması,
- i. PDHES'lerde kullanılacak aksamın mümkün olduğunca yerli yapılması.

Paris İklim Anlaşmasına 2021 yılında taraf olan ülkemizin 2053 karbon nötr hedefi için pompaj depolamalı santraller önemli rol oynayacağı ve ortalama 8-10 yıl inşaat

süresi olan PDHES projelerine bir an önce başlanması ülkemiz açısından faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Pompaj depolamalı santral projesinin yapım sürecinin 6-10 yıl sürede tamamlanacağı dikkate alındığında Akkuyu Nükleer Santralının devreye girmesi ile sistemin emniyetli şekilde işletilmesi için gerekli görülmektedir.

Fakat bu yatırımı yapabilmek için;

- » PDHES'lerin yenilenebilir enerji kaynağı olup olmadığı,
- » YEKDEM'den faydalandırılıp faydalandırılmayacağı,
- » Pompa çalışma modunda tüketilecek elektrik enerjisinin fiyatının ne olacağı,
- » Pompa çalışma modunda iken sistemden çekilecek elektrik enerjisi için sistem kullanım bedeli ödenip ödenmeyeceği,
- » Pompaj depolamalı sistemin piyasa koşullarına göre mi yoksa TEİAŞ yük tevzi merkezinin talimatlarına göre mi işletileceği,
- » PDHES tesisinin, üretim ve tüketim kapasitesinin tamamının veya talep edilen belli bir oranının TEİAŞ yük tevzi merkezinin talimatlarına göre işletilmesi durumunda Yan Hizmetler Piyasası faydasının olup olmayacağı, olması durumunda ise nasıl bir uygulamaya tabii olacağı,
- » Aynı dağıtım bölgesindeki tesisler ile tüketim birleştirme yapılarak pompaların enerjisinin karşılanıp karşılanamayacağı,

Konularının netleşmesi gerekmektedir.

# BÖLÜM

# 5

## POMPAJ DEPOLAMALI HES ÇEVRE ETKİLERİ



## 5. POMPAJ DEPOLAMALI HES ÇEVRE ETKİLERİ

### 5.1. PDHES Avantajları ve Dezavantajları

Enerji depolama yapabilen sistemler, güvenilir enerji ihtiyacının karşılanmasında bir yardımcı güç özelliği taşımasından dolayı oldukça önemlidir. Elektrik enerjisinin depolanması günümüzün en önemli konu başlıklarından bir tanesidir. Özellikle büyük miktarda enerji depolama imkânı olan pompaj depolamalı sistemleri ön plana çıkarmaktadır. Pompaj depolamalı sistemler, enerji talebindeki dalgalanmaları dengeleyebilmesi sebebiyle kısa dönem arz güvenilirliğinin yanı sıra fiyat istikrarı da sağlamaktadır. PDHES projelerinin sayısının artması ile birlikte uzun dönem arz güvenilirliği ve istikrarlı enerji yönetimine de katkı sağlanabilecektir. Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller, depolama sistemleri sayesinde yüksek kapasitede enerji depolayabilme potansiyeline sahip ve diğer santrallara kıyasla nükleer (4-5 gün), kömür (3-4 saat) pik talebe daha hızlı yanıt verebilen (3-5 dk) sistemlerdir. Bu santraller, kesintili üretim yapan yenilenebilir enerji kaynaklarına entegre edilerek enerji arzını güvenilir hale getirmektedir. Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerinde birim enerji başına yapılması gereken yatırım yüksektir. Devlet destekleriyle ve çıkarılacak yeni kanun ve teşviklerle pompaj depolamalı sistemlerin uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Yatırım kararını üreticiye bırakmamak için, mevcut santraller içerisinde teknik ve ekonomik olarak uygun olanların pompaj depolamalı santrallara dönüşüm yatırımının gerçekleştirilmesi yine devlet destekleriyle mümkün olabilecektir. Bu sayede ilerleyen zamanlarda devreye alınması planlanan nükleer santrallerin puant saatleri dışındaki fazla üretimleri de depolanmış olacaktır.

Bütün projelerde olduğu gibi pompaj depolamalı HES'lerin de avantajlarının yanında dezavantajları da mevcuttur.

*Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerinde birim enerji başına yapılması gereken yatırım yüksektir.*

#### Avantajları:

1. **Hızlı devreye girme (3-5 dakika):** Ülkelerde elektrik şebekelerini regüle edebilmek için iletim şirketi işleticileri sistemi saniye, dakika ve saat zamanları içinde yedek elektrik devreye alma yeteneğinde olması gerekir. İletim sistemi işletmecileri bu amaçla en kısa sürede (bir kaç saniye) içerisinde yük alabilecek santralleri yedek olarak bekletirler. Depolamalı hidroelektrik santraller bir kaç dakika içerisinde yük talebini karşılayabildikleri için önemli projelerdir.

2. *Yükün dengelenmesi* (arz ve talepten doğan farklılarda frekansın dengelenmesi): Gerilim ve frekansa bağlı olarak şebekelerin stabilitesi özellikle büyük tüketimli sanayi kuruluşları için önem taşımaktadır. Güvenilir ve sürekli olmayan elektrik tedariki imalatta sorunlar yaratabilmektedir (üretim cihazlarında arıza, mal üretiminde bozukma vb)
3. *Black-Start yeteneği* (Tüm enterkonnekte sistem oturmuşken ilk başlangıç yapabileme): Çok ender de olsa tüm şebekenin devre dışı kalması durumunda şebeke desteği olmadan bir santralin elektrik üretimine başlayabilmesi durumu olup, depolamalı santraller elektrik şebekesinden yük almadan işletmeye alınabilmektedir. Bir yakıt kullanarak üretim yapan santrallerde elektrik üretimine başlayabilmek için şebekeden yük çekmesi gerekmektedir.
4. *Enerjinin depolanması*: Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen kesintili enerji ve termik ve nükleer enerji gibi kesintisiz elektrik üreten santrallerin bulunduğu elektrik şebekelerinde enerjinin depolanması ve ihtiyaç durumuna göre şebekeye dahil olması sistem işletmesi için önemlidir. (Ünver & Bilgin & Güven, 2015 Pasin & Tutuş 2016) PDHES değişken ve kesintili üretim kaynakları olan rüzgar ve güneş santrallerinde tahmin sapmalarında elektrik üretiminin daha stabil olmasına yardımcı olarak üretim tüketim dengesini sağlamaktadır.
5. *Ekonomik ömürlerinin uzun olması*: Batarya depolama sistemlerinde 15-17 yıl olan ekonomik ömür, bilinen en eski depolama sistemleri olarak pompaj depolamalı santrallerde 40-50 yıl olarak kabul edilmektedir. (PDHES Çalıştayı)

Enerjiyi depolayabilmek ve ihtiyaç anında seri bir şekilde devreye alabilmek üretimin kesintisiz devam edebilmesi için önemli bir koşuldur. Enerji depolama kavramının en günceli, günümüzün teknolojik gelişmeleri irdelendiğinde, pompaj depolamalı hidroelektrik santraller (PDHES)'dir.

- » Puant zamanında azami yükün ekonomik olarak karşılanabilmesine imkân vermesi,
- » Şebekede oluşabilecek aşırı yük ve dengesizlikleri önlenme,
- » Sistem asgari yükünü yükseltebilme (Konvansiyonel HES'ler tarafından gerçekleştirilememektedir),
- » Tersiyer yedek kapasite sağlama,
- » Gerilim ve güç faktörünün düzeltilme,
- » Sistemin inkita olması durumunda sisteme destek verebilme (black start),

- » Frekans regülasyonuna katılabilme,
- » Güneş ve rüzgârdan elde edilen büyük miktarlardaki enerjinin depolanması için önemli bir seçenek oluşturma,
- » Sistem kayıplarının azaltılmasına destek sağlayabilme,
- » Kararlı işleme destek olabilme,
- » Büyük kapasiteli santrallerin (termik, nükleer) devre dışı kalmaları durumunda veya kolay başlatılamamalarından dolayı yedek güç teşkil etme,
- » Güvenilir güç kontrol sistemi sağlama,
- » PDHES'ler boşa akıp giden suların depolanması sayesinde su teminine ve buharlaşma etkisi ile çevreye pozitif etki yapmaktadır.(Ünver & Bilgin & Güven, 2015, ss. 63-64)

Yan Hizmetler Piyasasında;

- » PDHES santralleri Sekonder rezerv kapasiteye katkı sağlayabilirler. Günlük olarak gerçekleştirilecek sekonder rezerv kapasite tedarik sürecinde 4 saatlik zaman dilimini kapsayacak şekilde verecekleri teklifler ile ihale sürecine katılabileceklerini,
- » Elektrik şebekesi tamamen devre dışı olduğunda, Oturan Sistemin Toparlanması yan hizmetini gerçekleştirecek teknik yeterliliğe sahip olduklarından şebekeden beslenmeden işletmeye alınabileceğini,
- » Sistem işletmecisi ile Sistemin Toparlanması Anlaşması yaparak hizmet sunabileceğini,
- » Sistem işletmecisi ile reaktif güç kontrolüne ilişkin Yan Hizmetler Anlaşması imzalayıp Reaktif güç kontrolüne katkı sağlayabileceğini (PDHES Çalıştay)

### Dezavantajları:

1. *Hazırlık sürecinin uzun yıllar alması:* Yer seçimi, araştırma etüd aşamaları uzun yıllar alabilmektedir. Proje için coğrafi ve topografik uygun yerin seçimi ve jeolojik, hidrojeolojik ve tektonik etüdlere yapılması, erozyon olasılığının etüd edilmesi gereklidir.
2. *İnşaat işleri ve yatırım süreci:* Pompaj depolamalı tesislerinde yatırımında inşaat işlerinin ağırlıklı olması nedeni ile ilk yatırım maliyetleri yüksek ve geri ödeme süresinin uzun olmaktadır.



3. *Rezervuarlar arasındaki ulaşım sorunu:* Alt ve üst rezervur arasındaki rakım farkı nedeni ile ulaşımın iyi planlanması ve iki rezervuar arasındaki yol bağlantısının yapılması gerekmektedir.
4. *Sosyal Etkileri:* Rezervuar alanlarının büyüklüğünden dolayı yerleşim yerlerinden yeterince uzakta olmalarını gerektirmektedir. Yakın olmaları durumunda göç, tarım alanlarının su altında kalması, kamulaştırma gibi olumsuz sosyal etkileri sayılabilmektedir.
5. *Deniz Suyu Kullanılması:* Alt rezervuar olarak denizin kullanılması planlandığında deniz suyunun tuzlu özelliğinden dolayı korozyon sonucu yıpranma hızı artabilir veya ilave önleme uygulamaları yatırım maliyetini artırabilmektedir.

(Ünver & Bilgin & Güven, 2015)

## 5.2. Karbonsuzlaştırmaya ve Çevreye Etkileri

Yeryüzünün yenilenemeyen enerji kaynaklarına olan bağımlılığının devam etmesinin en ciddi sonuçlarından birinin iklim değişikliği olduğu belirlenmiştir. Özellikle 2000'li yılların başından itibaren, dünyanın dört bir yanındaki sayısız alan; yaz mevsimindeki aşırı sıcak havalar, düşük kış sıcaklıklarının kaydedilmesi, kuraklık, sel, orman yangınları gibi doğal felaketlerle aşırı hava koşullarına tanıklık edilmekte ve bunların hepsi de zararlı karbon emisyonlarına sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı ihtiyacımız olan elektrik enerjisini yenilenebilir enerji kaynaklarından üretmenin önemi artış göstermektedir.

Pompaj depolamalı tesislerde suyun depolanması sayesinde su teminine ve buharlaşma etkisi ile çevreye pozitif etki yapmaktadır. İşletme sonucu çevreyi etkileyecek herhangi bir zararlı atık söz konusu değildir (Ayder, 2015). Ancak, nehirlerin ve çevredeki peyzajların biyolojik, kimyasal ve fiziksel özellikleri için ciddi sonuçlar doğurabilecek hidroelektrik barajların bazı çevresel etkileri vardır.

Bir hidroelektrik baraj inşa edildiğinde, geniş bir alanı selleyen bir rezervuar oluşturulur. Su baskını ölçeği büyük ölçüde değişiklik gösterebilir ve doğal yaşamı yerinden etme potansiyeline sahip olup, bu süreçte habitatları yok eder (Göktaş, 2008). Hidroelektrik projelerinin önlenemeyen etkileri genellikle bir barajın akış yukarısındaki su tutma bölgesinde toprağın taşması ve bir barajın akış aşağısındaki su akışları ve su seviyelerindeki değişikliklerle ilgilidir. Bu tür etkiler sahaya özeldir ve projenin büyüklüğüne göre ölçek olarak değişiklik gösterme eğilimindedir (A. D. Prasad vd.,2013).

Hidroelektrik Santralının Çevresel Etkisinde ele alınması gereken başlıca problemler kısaca aşağıda verilmiştir.

- » Nadir bulunan türlerin korunması ve çeşitliliğinin sürdürülmesi sorun olabilir (Göktaş, 2008, A. D. Prasad Vd., 2013).
- » Göletlerin kıyı bölgeleri bitki örtüsü ve diğer organizmalar için önemli bir alan sağlar. Su seviyesindeki ani değişiklikler kıyı bölümde bulunan bitki örtüsünü etkileyeceği için biyolojik ürün miktarını da etkileyecektir. Su seviyesindeki ani azalmalar bu biyolojik ürünleri olumsuz olarak etkiler (Knut Alfredsen vd., 2014).
- » Rezervuarın akışı aşağısındaki tarlaların mevsimsel taşması, çiftçilerin nehirlerle yakın verimli topraklardaki tarım arazileri için ciddi etkileri olabilir (Göktaş, 2008, A. D. Prasad Vd., 2013).
- » Hidroelektrik baraj alanlarında, türbin, dolusavak ve taşma alanlarındaki göçmen türler için balık (somon ve alabalık gibi bazı balık türlerinin) geçiş sorunları olabilir. Bu tür balık türlerinin, yumurtlamaya doğru akış yönünde ilerlediği bilinmektedir ve bir barajın varlığı, bu durumun, popülasyonların düşmesiyle sonuçlanan imkânsız bir görev olmasını sağlar (Hasanali GÖKTAŞ, 2008, A. D. Prasad vd., 2013, Knut Alfredsen vd., 2014, <https://www.energysage.com>, 2019). Ancak, çift yönlü türbünlerle bu sorun ortadan kaldırılabılır (Knut Alfredsen vd., 2014).



**Şekil 23:** Balık Geçiş Kanalı(<https://www.energysage.com>, 2019)

- » Rezervuarda tortu yönetimi sorunları olabilir. Hızlı değişen nehir seviyeleri ve yoğunluğuna bağlı olarak bir hidroelektrik barajın inşasından sonra hem yukarı hem de aşağı yönde erozyon ve toprak kaymaları görülmektedir (Göktaş, 2008, A. D. Prasad Vd., 2013, Knut Alfredsen Vd., 2014).

- » Kullanılacak suyun kalitesi ve niteliği bozulmadan (tatlı – sodalı – tuzlu doğal göl suları birbirine karıştırılmadan) üretim/tüketim yapılabileceğinden çevresel ve ekolojik dengeler de korunmuş olmalıdır.
- » Arıtılmamış evsel atık su ve tarımsal veya endüstriyel kullanımlardan kaynaklanan su akışı nedeniyle su kalitesi, ötrofikasyon ve su kirliliği sorunları görülebilir (A. D. Prasad vd., 2013).
- » Hidroelektrik barajlarla ilişkili çok sayıda atmosfer etkisi vardır. Başlıca etkisi, önemli düzeyde bitki örtüsüne ev sahipliği yapabilecek toprakların su basması ile ilgilidir. Bu bitki örtüsü batırıldığı için, en güçlü sera gazlarından biri olan metan oluşumunu ve salınmasını sağlar. Küresel ısınma emisyonları, hidroelektrik santrallerin kurulumu ve sökülmesi sırasında üretilmektedir. Nehirlerin, okyanusun derinliklerinde bulunan sedimentleri ve besinleri sürdüğü bilinmektedir. Bu tortular ve besinler, atmosferimizden karbondioksit emdiği bilinen alg ve diğer sucul yabancı otların üretimine yardımcı olabilir. Eğer bir nehir baraj olmuşsa, çökeltilerin ve besinlerin akışı geçmişte olduğu kadar büyük değildir ve sonuçta denizde yosun tarafından daha az karbondioksit emilir (Göktaş, 2008).

PDHES’lerde suyun diğer bir rezervuara depolanması aşamasında gerekli olan enerji ihtiyacı için fosil yakıt kullanılması durumunda çevreye zararı olacaktır. Bueno ve Carta, 2006 yılında Kanarya Adaları’ndaki yenilenebilir enerjinin penetrasyonunu artıran bir yöntem olan Rüzgâr Enerjili Pompaj Hidro Depolama Sistemleri ile yılda binlerce ton CO<sub>2</sub> emisyonunun önüne geçilmesi ile çevreci bir yaklaşımın faydasını vurgulamışlardır (Bueno, C. ve Carta J. A., 2006).

Ayrıca bu doğa dostu temiz ve yenilenebilir enerji üretim teknolojisinin yukarıda belirtilen çevresel etkilerinin azaltılması için kapalı çevrim PDHES’ler kullanılmaktadır. Kapalı çevrim PDHES lerin çevresel etkileri açık çevrim PDHES lere göre daha düşüktür. Çünkü, kapalı çevrim PDHES lerin akış dışı konumlandırılabilmesi potansiyel olarak su ve karasal etkileri en aza indirir ve genellikle açık çevrim PDHES lere göre daha fazla konumlandırma esnekliğine sahiptir<sup>46</sup>.

46 <https://www.hydroreview.com>



# BÖLÜM

# 6

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRME



## 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Dünya var olduğundan buyana canlıların yaşamının devamında “su” önemli bir etken olmuştur. Önceleri sadece içme suyu iken ilerleyen yıllarda tarımsal sulama, ulaşım, yük taşıma alanlarında kullanılmış. 1880’lerde ise suyun potansiyel enerjisinden faydalanılarak elektrik üretmek amacı ile de kullanılmaya başlanmıştır. ‘Temiz enerji kaynaklarından en önemlisi ve en çok kullanılanı olmasından dolayı; su ve sudan elde edilen elektrik enerjisi, ülkelerin enerji arz-talep dengelerinde önemli rol oynamıştır.

Sanayi devrimi ve artan nüfus ile toplumların elektrik ihtiyacı hızla artmaya başlamış ve hidroelektrik yanı sıra fosil yakıtlar kullanılarak daha fazla ve daha sürekli enerji üretimine geçilmiştir. Ancak aradan geçen yıllarda fosil yakıtların atmosferi kirlenmesi ve iklim krizi nedenleri ile enerji kaynakları da çeşitlendirilmeye başlanmış, yeni teknolojilerle rüzgar ve güneşten elektrik üretimi tüm ülkelerin enerji yatırım programlarında yerini almıştır.

Uluslararası Enerji Ajansının 2021 yılında yayınladığı “Hidroelektrik” raporunda; tüm dünyada hidroenerjinin 2020 yılında 124 TWh’lik artış ile 4418 TWh’lik ulaştığı, bunun %3 artış olduğu ve 2001 yılından bu yana en yüksek artış olarak yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük kaynak olduğu belirtilmiştir. 2021-2030 arasında %17 (230 GW) artış olacağı öngörülmektedir. IEA 2030 tahminlerini barajlı hidro, kanal tipi ve pompajlı HES projeleri olarak gruplandırılmaktadır. Yapılan çalışmalara göre pompajlı HES projelerinin 2030 yılına kadar net hidro enerji artışının %30’unu oluşturacaktır.

Tüm dünyada 2000 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin payı yaklaşık %20 lere iken, 2020 yılında bu oran %30’a ulaşmış, 2030 yılında ise %60’ın üzerine çıkması hedeflenmektedir. Rusya-Ukrayna çatışması küresel enerji krizini tetiklemiş, ülkeler Rusya’ya enerji bağımlılığını azaltmak, tüketicileri yükselen fiyatlardan korumak ve temiz enerji teknolojilerine geçisi hızlandırmak için tedbirler almaya başlamışlardır. Orta ve uzun vadede yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtla bağımlılığı azaltma ve fiyatlar konusunda en önemli potansiyel olarak görülmektedir. Diğer taraftan enerji üretim sisteminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı arttıkça sistem esnekliği ve güvenilirliği için depolama tesislerinin de önemi gittikçe artmaktadır. Depolama konusunda

*Orta ve uzun vadede yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtla bağımlılığı azaltma ve fiyatlar konusunda en önemli potansiyel olarak görülmektedir.*

yeni teknolojiler geliştirilirken bilinen en eski depolama sistemi olan barajlı hidroelektrik santraller ve pompaj depolamalı HES projeleri de ön plana çıkmaktadır. Düşük işletme maliyetleri ile mevcut barajlı HES projeleri sistem esnekliği açısından en önemli depolama projeleri olarak görülmektedir. 1500 TWH'lik hidrolik depolama kapasitesi içerisinde pompaj depolamalı HES projeleri 8,5 TWH, bataryalar ise sadece 0,66 TWh'dir. Diğer taraftan 2030 yılında barajlı HES'lerin çoğu 55 yaşından fazla olacak ve modernize etme ve yenileme ihtiyacı doğacaktır. Bunun için de yaklaşık 300 milyar Dolar yatırım ihtiyacı doğacağı öngörülmektedir. ([www.iea.org](http://www.iea.org))

Ülkemiz elektrik enerjisi sektörü açısından ise; Temmuz 2022 sonu itibarı ile toplam kurulu gücümüz 101.814,5 MW'a ulaşmıştır. Kurulu gücün içerisinde yenilenebilir enerji kaynakları olarak barajlı HES, 23.275,2 MW, akarsu 8.293 MW, rüzgar 11.053,6 MW, güneş 8.658,7 MW'a ulaşmıştır. Ülkemiz kurulu gücünde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı yaklaşık %55'e ulaşmıştır. 2021 yılı sonu itibarı ile toplam 331,492 GWh üretim içerisinde hidrolik üretimin payı 55695 GWh, jeotermal+rüzgar+güneşten elektrik üretimi ise 55202 GWh olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarından toplam üretim 110897 GWh olmuş, toplam üretimin içerisindeki payı yaklaşık %33 olarak gerçekleşmiştir. ([www.teias.gov.tr](http://www.teias.gov.tr)) Üretimin günlük dalgalanmalar, mevsimsel geçişlere göre değişkenlik gösterdiği yenilenebilir enerji kaynakları için sistem esnekliğini sağlamak ve kesintisiz, güvenilir elektrik arzını sağlamak amacı ile özellikle barajlı santrallerin önemi ve depolama tesisleri gittikçe önem kazanmaktadır. Depolama tesisleri için gerek yasal düzenlemeler gerekse teknik şartlar hızla oluşturulmaya başlanmıştır. Ancak batarya teknolojileri tüm dünyada yeni gelişen bir sektör olması, kullanım sürelerinin PDHES'lere göre daha kısa olması ve ekonomik ömürleri sonrasında atık problemi gibi sorunları bulunmaktadır.

PDHES projeleri inşaat ağırlıklı yatırımları nedeni ile yatırım süreleri uzun, kredi imkanları sınırlı olmakla birlikte ekonomik ömürlerinin uzun olması ve işletme maliyetlerinin düşük olması nedenleri ile halen dünyada tercih edilen en önemli depolama sistemidir.

Ülkemiz için bazı önerilerimiz:

- » Barajlı HES'lerin aynı zamanda depolama projeleri olduğu göz önüne alınarak yaşlı statüde sayılan barajlarımızın incelenerek modernize ve yenileme çalışmalarına devam edilmesi,
- » Barajlı santrallerin yeni teknolojilerle donatılarak verimliliklerinin yükseltilmesine yönelik proje çalışmalarına devam edilmesi,
- » Akkuyu Nükleer Santralında ilk reaktörün 2023 yılında devreye alınacağı dikkate alınarak Gökçekaya PDHES projesinin devamı ve önceliklendirilmesi,

- » Mevzuatımızda gerekli düzenleme çalışmalarına devam edilmesi,
- » Yatırım modelinin belirlenmesi çalışmalarının neticelendirilmesi (kamu+özel iş birliği veya direk kamu yatırımı,
- » Teşvik mekanizmalarının belirlenmesi ve duyurulması.

Su'dan enerji üretimi yüz yıldan fazladır bilenen bir elektrik üretim sistemidir. Konvansiyonel santralların devreye girmesi ile yatırım maliyetinin yüksek ve inşaa sürelerinin uzun olması gibi sebeplerle bir dönem göz ardı edilse dahi iklim değişikliği ve karbon azaltım hedefleri ile yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimdeki payının hızla artması sonucu hidroelektrik santrallar tekrar önem kazanmıştır. Ülkemizde ise kurulu gücün %50'den fazlası yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmakta iken üretim tarafında toplam üretimim üçte biri yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Akkuyu Nükleer Santrali'nin işletmeye alınmasından sonra mevcut barajlı santrallar ile sistem dengesinin sağlanması ve elektrik enerjisinin güvenli, kesintisiz ve kaliteli üretilebilmesi amacı ile pompaj depolamalı santral yatırımları için gerekli düzenlemelerin yapılarak projelere başlanması uygun olacaktır.



## KAYNAKLAR

1. Abhinav Bhaskar, Energy Storage Technologies, Learning from other Countries, The Energy and Resources Institute.
2. A. D. Prasad, Kamal Jain and Ajay Gairola, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 81 – No 14, November 2013, Pumped Storage Hydropower Plants Environmental Impacts using Geomatics Techniques: An Overview
3. Adrian Ilinca, Jean Perron, Hussein Ibrahim, Comparison and Analysis of Different Energy Storage Techniques based on Performance Index, Researchgate, Kasım 2007.
4. Assessment of the European potential for pumped hydropower energy storage, Marcos Gimeno-Gutierrez, Roberto Laca-Arantegui JRC Scientific and Policy Reports, 2013.
5. Ayder, E. (2015). Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (Pdhes' ler). Teknik Rapor, 22.
6. Avinash Sengar, Flywheel as a Energy Storage Device, National Institute of Technology, Department of Electrical Engineering, Srinagar, Kashmir.
7. Bueno, C. & Carta, J. A. (2006). Wind powered pumped hydro storage systems, a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10(4), 312-340.
8. Bloomberg, Energy Storage Market, 06.11.2018.
9. Boztepe, M. (2006). Enerji Depolama.
10. CNESA, Global Energy Storage Market, 26.09.2020.
11. David Surplus, Energy Storage Technologies for an Intelligent Future, Northern Ireland Science Industry Panel, 22.11.2013.
12. Deloitte, Energy Storage, Tracking the Technologies that will transform the Power Sector, 2014.
13. Dinçer, I. & Ezan, M. A. Tüba-Enerji Depolama Teknolojileri Raporu.
14. Elizabeth Berg, Abi Bradford, Making Sense of Energy Storage, Frontier Group, Aralık 2017.
15. Electric Storage and Renewables. Eurelectric Hydropower Facts and Figures 2020.
16. Environmental Impacts of Pumped Storage Hydro Power Plants, Filip Patocka Hydropower Development, Knut Alfredsen, Ånund Killingtveit, Norwegian University of Science and Technology Department of Hydraulic and Environmental Engineering, June 2014.
17. Erdinç, O., Uzunoğlu, M., & Vural, B. (2011). Hibrit Alternatif Enerji Sistemlerinde Kullanılan Enerji Depolama Üniteleri.
18. Fact Sheet: Energy Storage, 22.02.2019.
19. Global Energy Interconnection Volume 2 Number 5 October 2019.
20. Göktaş, H. (2018). Türkiye İçin Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Önemi ve Durum Analizi (Master's thesis, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
21. Handbook of Battery Energy Storage System Asian Development Bank 2018.
22. IEA, Technology Roadmap, Energy Storage, Paris, 2014.
23. IEE Battery Storage System, IRENA.
24. IHA 2020 Hydropower Status Report.
25. Kevin Popper, Anders Hove, Energy Storage World Markets Report, Energy Storage World Forum, Berlin, 08.05.2017
26. Kubilay Koç, Enerji Depolama Sistemleri.
27. Küçükbayrak, S. & Meriçboylu, A. & Gürbüz, Ü. (1993). "Enerji Depolama Sistemleri" Termodinamik (?).
28. Kocaman, B. (2013). Akıllı Şebekeler Ve Mikro Şebekelerde Enerji Depolama Teknolojileri. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(1), 119-127.
29. Kozak, M. & Kozak, Ş. (2012). Enerji Depolama Yöntemleri. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 4 (2) , 17-29.

30. Özdemir, E. Özdemir, Ş. Erhan, K. & Aktaş, A. (2017). Akıllı şebekelerde enerji depolama uygulamalarının önündeki fırsatlar ve karşılaşılan zorluklar. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32(2), 499-506.
31. Robert A. Huggins, Energy Storage, Fundamentals, Materials and Applications, Springer International Publishing, 2016.
32. Sertkaya, A. A. , Saraç, M. & Omar, M. A. (2015). Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerinin Türkiye İçin Önemi. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1 (3) , 369-382.
33. TÜBA-Enerji Depolama Teknolojileri Raporu Mayıs 2020.
34. Uykız, H. (2019). Volanlı Enerji Depolama Sistemleri için 2 Kademeli Alternatör Tasarımı (Master's thesis, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
35. Ünver, Ü., Bilgin, H., & Güven, A. (2015). POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SİSTEMLER. Mühendis Ve Makina, 56(663), 57-64.
36. Yüksel, S. & Topcu, Y. 13-Hidrojen Depolama Tekonolojilerinin Değerlendirilmesi. Kimya Sanayiinde Proses İyileştirme Ve Yenilikçi, 13.
37. 2017 VGB Hydro - PP Flexibility of HPP V8.
38. 2020 Koca, Gülcan – Yeşil Mutabakat
39. 2019 EIB - Guidelines on hydropower development.
40. 2017 European Commission - Energy Storage paper - The role of electricity
41. Renaissance for Pumped Storage in Europe, 2017 Mathias Zuber.

#### Çevrimiçi Kaynaklar

<https://www.hydropower.org/>  
(Erişim Tarihi: 06.07.2021)

<http://re100.eng.anu.edu.au>  
(Erişim Tarihi: 08.09.2021)

[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_pumped-storage\\_hydroelectric\\_power\\_stations#cite\\_note-1](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_pumped-storage_hydroelectric_power_stations#cite_note-1)  
(Erişim Tarihi: 09.10.2021)

<https://hidropolitikakademi.org/tr/article/19035/makale>  
(Erişim Tarihi: 07.11.2021)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage\\_hydroelectricity](https://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage_hydroelectricity)  
(Erişim Tarihi: 11.12.2021)

<https://www.energysage.com/about-clean-energy/hydropower/environmental-impacts-hydropower>  
(Erişim Tarihi: 10.12.2021)

<https://www.hydroreview.com/hydro-industry-news/new-doe-report-on-environmental-effects-of-pumped-storage-hydro-power>  
(Erişim Tarihi: 01.12.2021)

[https://iea.blob.core.windows.net/assets/d75d928b-9448-4c9b-b13d-6a92145af5a3/ElectricityMarketReport\\_January2022.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/d75d928b-9448-4c9b-b13d-6a92145af5a3/ElectricityMarketReport_January2022.pdf)  
(Erişim Tarihi: 03.03.2022)

<https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf>  
(Erişim Tarihi: 17.01.2022)

<https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf>  
(Erişim Tarihi: 17.01.2022)

<https://www.asce.org/about-civil-engineering/history-and-heritage/historic-landmarks/rocky-river-pumped-storage-hydraulic-plant/>  
(Erişim Tarihi: 24.01.2022)

[https://www.ieahydro.org/media/6071dce3/AnnexIX\\_RoleandChallengesofPSHunderMassIntegrationofVRE\\_Oct2021.pdf](https://www.ieahydro.org/media/6071dce3/AnnexIX_RoleandChallengesofPSHunderMassIntegrationofVRE_Oct2021.pdf)  
(Erişim Tarihi: 24.01.2022)

## MUZAFFER BAŞARAN

### *TEYO Yatırım ve Dış Ticaret A. Ş. Genel Müdürü Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu*

1952'de Isparta'da doğdu. İlkokulu Burdur Tefenni'de, Ortaokulu Antalya Lisesi Ortaokulunda, Liseyi İstanbul Kabataş Lisesinde bitirdikten sonra Etibank bursuyla İngiltere'ye gitti. Newcastle Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden 1974'de lisans ve 1975'de master diplomaları aldı. 1975'de işe başladığı TEK Genel Müdürlüğünde 7 yıl Ankara'da Santraller Proje ve Tesis Daire Başkanlığında Mühendis ve Başmühendis, 11 yıl Afşin Elbistan Termik Santralında Başmühendis, Şube Müdürü, Tesis Grup Müdürü, 5 yıl Kemerköy Santralında Tesis Grup Müdürü ve Kemerköy Elektrik Üretim ve Ticaret A. Ş. Genel Müdürü, 3,5 yıl Yeniköy Santralında Yeniköy Elektrik Üretim ve Ticaret A. Ş. Genel Müdürü olarak görev yaptıktan sonra Ekim 2001'de Ankara'ya döndü. 1.10.2001 tarihinde Elektrik Üretim A. Ş. Genel Müdür Yardımcılığı ve Yönetim Kurulu üyeliği görevine başladı. 17.10.2006 tarihinde emekli olan Muzaffer Başaran 01.11.2006 tarihinde H. Ö. Sabancı Holding A. Ş. Enerji Grup Başkanlığı Danışmanı olarak çalışmaya başladı. 2012'de Hattat Grubunda Santraller Yatırım Koordinatörü olarak çalıştı. 2013 Şubat'tan bu yana TEYO Yatırım ve Dış Ticaret A. Ş. Genel Müdürlüğü görevini yürütmektedir. İyi derecede İngilizce ve orta düzeyde Almanca bilmektedir.



## FURKAN YARDIMCI

### *Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu Başkanı*

Lisans eğitimini 2008 yılında Makine Mühendisi olarak tamamlayarak çalışma hayatına Atatürk Hidroelektrik Santralında başlamış ve santral işletme, bakım ve arıza giderme konularında 7 yıl boyunca görev almıştır. 2017 yılında EÜAŞ Genel Müdürlüğü Hidrolik Santraller Daire Başkanlığına geçiş yaparak, hidroelektrik santral izleme/kontrol sistemleri, santral tasarım, verim ölçüm, analiz ve rehabilitasyon projelerinde yer almaya başlamıştır. Yaklaşık 2 yıl EÜAŞ Genel Müdürlüğü İç Denetim Daire Başkanlığında görev alarak, santrallerinin denetimi faaliyetinde bulunmuştur. Uluslararası Eurelectric Hidro Çalışma Grubunda 2017 yılından bu yana uzman olarak yer alan Yardımcı, Türkiye'de Eurelectric Ayna Çalışma Gruplarının oluşumu aşmasında yer almış ve 2020 yılında Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu Başkanlığı görevini üstlenmiştir. Hali hazırda Türkiye'deki ilk büyük kapasiteli yerli hidrolik türbin tasarım ve imalatı çalışmalarında yer almaktadır. İyi derecede İngilizce ve başlangıç seviyesinde İspanyolca bilmektedir.



## DR. HÜSEYİN AYDIN

### *Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu Bşk. Yrd.*

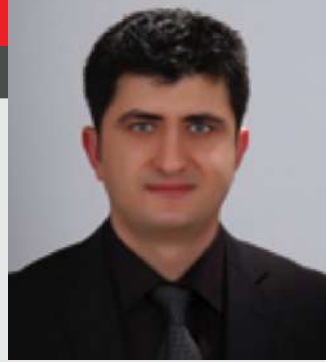
Lisans eğitimimi Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik (İngilizce) Bölümünde 1998-2003 yılları arasında, Yüksek Lisans eğitimimi Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik (İngilizce) Anabilim dalında 2003-2005 yılları arasında, Doktora Eğitimimi ise Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında 2015 yılında tamamladı. Uluslararası hakemli dergilerde 6 adet makale, Sempozyum ve çalıştaylarda toplam 8 adet bildirimim bulunmaktadır. 2005-2009 yılları arasında Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik (İngilizce) Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalıştım. 2009 yılından beri EÜAŞ Demirköprü HES İşletme Müdürlüğünde Teknik Uzman olarak çalışmaktadırlar.



## ÇAĞLAYAN SABAH

### *Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu Üyesi*

1999 yılında Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde mezun oldum. Meslek hayatıma 2000 yılında Yeniköy Elektrik Üretim Anonim Şirketine Makine Mühendisi olarak başladım, termik santralde işletme mühendisi olarak görev yaptım. 2014 yılından beri EÜAŞ Çatalan HES İşletme Müdürlüğünde çalışmaktayım. 2017 yılından beri Çatalan HES de İSG ve Çevre Başmühendisi (G) olarak görev yapmaktayım. A Sınıfı İSG uzmanı olup İngilizce bilmektedirim.



## ERENGÜL ŞANDIR VURAL

### *Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu Üyesi*

Lisans eğitimimi 1999 yılında Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat Bölümünde tamamladım. Ayrıca, 2007 yılında Gazi Üniversitesi Finansman Bölümünde Yüksek Lisans eğitimimi 2011 yılında Ankara Üniversitesi Banka ve Ticaret Hukuku Araştırma Enstitüsünde Enerji Hukuku sertifika programını tamamladım. 1999 yılından 2002 yılına kadar Şekerbank bünyesinde müşteri temsilcisi olarak çalıştım. 2002 yılından beri Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunda çalışmaktayım olup, 2012 yılından beri de Kurumun Elektrik Piyasası Dairesi Başkanlığı Hidrolik Grup Başkanlığında uzman olarak çalışmaktayım.



## FIRAT ÖZMEN

### *Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu Üyesi*

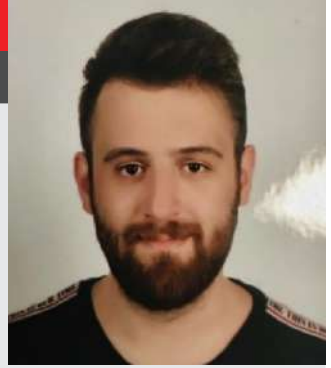
2006 yılında İnönü Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinden, 2016 yılında Gaziantep Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliğinden mezun oldu. Halen Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesinde Bilişim Teknolojileri alanında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Meslek hayatına 2006 senesinde EÜAŞ Genel Müdürlüğünde İnşaat Emlak Kamulaştırma Daire Başkanlığında Elektrik Mühendisi olarak başladı. 2008 senesinden itibaren 4 sene boyunca EÜAŞ Adana Yöresi ve HES İşletme Müdürlüğü Berke HES İşletme Müdür Yardımcılığında Elektrik Bakım Mühendisi olarak görev yaptı. 2012 senesinden itibaren Çatalan HES İşletme Müdürlüğünde Elektronik Bakım Başmühendisi olarak ve bu göreviyle birlikte 2017 yılından itibaren de Çatalan HES'te Bilgi İşlem Şefi olarak çalışmaktadır.



## İZZET MERT KESİMAL

### *Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu Üyesi*

2017 yılında Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinden mezun oldu. Meslek hayatına 2017 yılında Limak Enerji bünyesinde Elektrik Elektronik Mühendisi olarak başladı. 2020 yılında Proje Müdür Yardımcısı olarak Limak Enerji bünyesinde hala devam etmektedir. Hidroelektrik ve Hibrit Santrallerin elektromekanik teçhizat projelendirilmesi, bakım planlamaları, arıza çözümlenmeleri, havza yönetimi ve kamulaştırma, imar planları çalışmalarını sürdürmektedir. 2020 yılında itibaren Eurelectric Hidro Çalışma Grubu başkan yardımcılığını yürütmektedir.



## METİN ÖZDEMİR

### *Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu Üyesi*

Lisans eğitimini 2006 yılında İnönü Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2007-2014 yılları arasında Karkamış Hidroelektrik Santrali ve Atatürk Hidroelektrik Santralında işletme, bakım ve DCS rehabilitasyon konularında işletme ve bakım mühendisi görevinde bulundu. 2014-2017 yılları arasında EÜAŞ Genel Müdürlüğü Teknik Şartname Hazırlama biriminde Teknik Şef olarak görev yaptı. 2017 yılından bu yana Bakım Yönetimi Daire Başkanlığında Müdür olarak görev yapmakta olup EÜAŞ Kalibrasyon laboratuvarı kurulum projesinin tamamlanması ve Bakım Yönetim Sistemi kurulumu ve yaygınlaştırılması gibi çeşitli projelerde yer almaktadır.



## MUSTAFA ÖZAN İLASLI

### *Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu Üyesi*

Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendislik Fakültesinde 2005 yılında mezun oldu.2006 yılında EÜAŞ tarafından işletilmekte olan Sarıyar Hasan Polatkan Barajı ve Hidroelektrik Santralinde göreve başladı. Burada çalıştığı 4 yıl boyunca, santralin işletme bakım çalışmalarının yanında generatör sarğı atelyesinde Elektrik Mühendisi olarak görev yaptı. 2010 yılında Hidrolik Santraller Daire Başkanlığı, Etüt, Rehabilitasyon, Proje ve Yatırım Müdürlüğünde atandı. Burada, EÜAŞ tarafından işletilmekte olan santrallerin işletme ömrünü uzatılması amacıyla yürütülmekte olan 10 dan fazla rehabilitasyon projesinde görev aldı. Bu çalışmalarının yanında EÜAŞ Hidrolik Santraller Daire Başkanlığı'nın katkı verdiği JICA tarafından hazırlanan Gökçekeya PDHES Fizibilitesinin çıkarılması ve YEGM(mülha) koordinasyonu ile yürütülen PDHES Yol Haritasının çıkarılması gibi çalışmalarda da görevler aldı.Halen Hidrolik Santraller Daire Başkanlığı, Etüt, Rehabilitasyon, Proje ve Yatırım Müdürlüğünde Rehabilitasyon Müdür Yardımcısı olarak görev yapmaktadır.



## OĞUZHAN USTA

### *Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu Üyesi*

Lisans Eğitimi Erciyes Üniversitesi Yozgat Mimarlık - Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde 2007 yılında tamamladı. 2015 Yılında EÜAŞ Hidrolik Santraller Daire Başkanlığına bağlı Çamlıca 1 Hes İşletme Müdür Yardımcılığında göreve başladı. Burada çalıştığı süre boyunca makine bakım , iş güvenliği , enerji yönetimi ve bilgi işlem işleri vb. üzerine çeşitli görevler yürüttü. 2021 Yılı itibariyle Termik Santraller Daire Başkanlığında yeni görevine başladı ve halen görevini sürdürmektedir.



## VELİ GÜRSES

### *Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu Üyesi*

Lisans eğitimi 2010 yılında HACETTEPE Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği bölümünde ve 2020 yılında Anadolu Üniversitesi Havacılık Yönetimi Bölümünde tamamladı. 2009 yılında “Yarı Etkin Mikroışlemci Denetimli Protez Diz Eklemi Tasarımı” adlı mezuniyet projesi fakülte ve bölüm birincisi seçildi. Çalışma hayatına 2011 yılında Havelsan bünyesinde ESDAŞ firmasında Ar-Ge mühendisi olarak başladı. Ardından 2012 yılında EÜAŞ'a bağlı Gökçekaya HES İşletme Müdürlüğü'nde göreve başladı. 2012-2015 yılları arası Yenice HES Sorumlu Mühendisi olarak, 2015-2019 yılları arasında Gökçekaya HES Elektrik İşletme ve Bakım Başmühendisliğinde görev yaptı. 2016 yılından itibaren de Bilgi İşlem Şefliğinde görev yapmaktadır. Ayrıca, Elektrik Üretim A.Ş. de eğitimi olarak görev yapmaktadır.



## YASİN GÖR

### *Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu Üyesi*

Gaziantep Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği (İNG) bölümünden 2013 yılında mezun oldu. Çeşitli firmalarda YG Elektrik İletim Hatlarının yapım ve devreye alınması işlerinde saha mühendisi olarak çalıştı. 2015 Aralık ayında EÜAŞ'a atandı. YİD (Yap-İşlet-Devret) modeli ile inşa edilen Birecik-Nizip HES'in 2016 Ekim ayı itibarıyla EÜAŞ'a devredilmesiyle birlikte işletme ve bakım birimlerinde çalışmaya başladı. Halen Aynı İşletmede İşletme Mühendisi olarak çalışmaktadır.



## YASİN ŞİMŞEK

### *Eurelectric Türkiye Hidro Çalışma Grubu Üyesi*

Lisans eğitimini 2008 yılında Mersin Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. Hidrolik - pnömatik malzeme temini ve projelendirme alanında 1 yıl süreyle çalıştıktan sonra 2011 yılında Aşın Elbistan Linyitleri İşletme Müdürlüğü'ne ataması olmuş ve Makine Mekanik Başmühendisliği'nde 4 yıl süreyle çalışmıştır. 2015 yılında Çatalan Hidroelektrik Santralinde göreve başlamış ve halen Makine İşletme ve Bakım mühendisi olarak görevine devam etmektedir.









Türkiye Elektrik Sanayi Birliği 20.06.2005 tarih ve 2005/9060 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile elektrik enerjisi sektöründe faaliyet göstermek üzere kurulmuş Sivil Toplum Kuruluşudur. Ülkemizi EURELECTRIC ve CIGRE’de temsil etmektedir. Misyonu; bu kuruluşların çalışmalarına katılım sağlamak ve bu platformda edinilen tecrübe ve bilgileri üyeleri ile paylaşmaktır.

