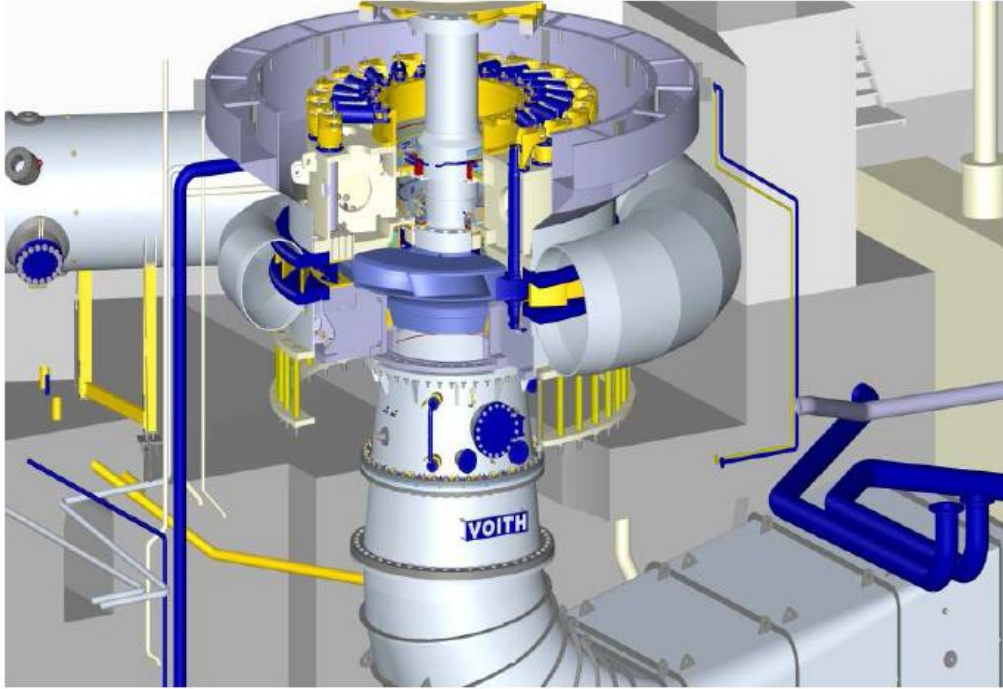


POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLER (PDHES'ler)

TEKNİK RAPOR



Prof. Dr. Erkan Ayder
İTÜ Makina Fakültesi
Öğretim Üyesi

MART 2015

1.Giriş

Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller (PDHES' ler) bir tür elektrik enerjisi depolama biçimidir. PDHES' lerde suyun önemli miktarı tekrar tekrar elektrik üretiminde kullanılmaktadır. PDHES, elektrik fiyatının yüksek olduğu zaman dilimlerinde türbin modunda çalışmakta ve potansiyel enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülen su aşağı gölette tutulmaktadır. Elektrik enerjisinin ucuz olduğu, yani talebin düşük olduğu zaman dilimlerinde, PDHES pompa modunda çalıştırılarak, aşağı göletteki suyu baraj göletine basarak, elektrik enerjisini suyun potansiyel enerjisi olarak depolamaktadır.

PDHES'ler, üretimi durdurulamayan/durdurulması pratik olmayan elektrik enerjisinin (Örneğin Nükleer Santraller ve Termik Santraller) ya da tüketim ihtiyacı çok fazla olmadığı zamanlarda elde edilen elektrik enerjisinin (örneğin gece yarısı rüzgar türbinlerinden) depolanarak ihtiyaç duyulduğunda (puant zamanlarda) kullanıma sokulması amaçlıdır. Bu sayede en az olumsuz çevre etkisi ile arz ve talep arasındaki denge sağlanabilmektedir. Ayrıca yük dengeleme ve frekans kontrolü sağlama gibi yararları da vardır.

Hava sıkıştırmalı depolama, volan kullanma, super kapasitörler ve konvansiyonel bataryalar gibi diğer elektrik enerjisi depolama biçimlerine kıyasla, PDHES'ler, yüksek yatırım maliyeti ve uzun inşa süresi gerektirmelerine rağmen, büyük depolama kapasiteleri, çevreye olan olumlu etkileri ve enerji dönüşümündeki verimlilikleri bakımından daha avantajlıdır.

2.PDHES' lerin yapıları

Mevcut bir Hidroelektrik Santralin (HES) PDHES'e dönüştürülmesi, santralin kuyruk suyu tarafında uygun bir yere biriktirme haznesi inşa edildikten sonra – bir gölün ya da denizin aşağı yükseltideki bir hazne olarak kullanılabileceği hususu da göz ardı edilmeden- iki farklı biçimde yapılabilir:

1. Mevcut türbin ve generator sistemini koruyarak, pompalama sistemi ilave edilmesi ile,

2. HES'in mevcut hidroelektrik sistemin tamamen değiştirilmesi ile.

Birinci çözüm için gereken teknoloji ülkemizde mevcuttur. İkinci durumda izlenmesi gereken en güncel ve ekonomik yaklaşım, pompa/türbin olarak çalışan bir hidrolik makinanın ve motor/generatör olarak çalışan bir elektrik makinasının kullanımıdır. Söz konusu yaklaşıma ait teknoloji ülkemizde mevcut olmayıp geliştirilmesi gereklidir. Yeni bir PDHES'in tasarımında ve oluşturulmasında, yukarıdaki ikinci yaklaşımın en optimum olduğu ve Avrupa' da iyileştirmesi yapılan pek çok PDHES' de bu tercih edildiği söylenebilir.

3.Dünyada PDHES' lerin kullanımı

Avrupadaki Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile üretilen elektrik enerjisinin 2011 yılındaki miktarı ve bunun içinde PDHES' lerin payı aşağıdaki tabloda verilmiştir.

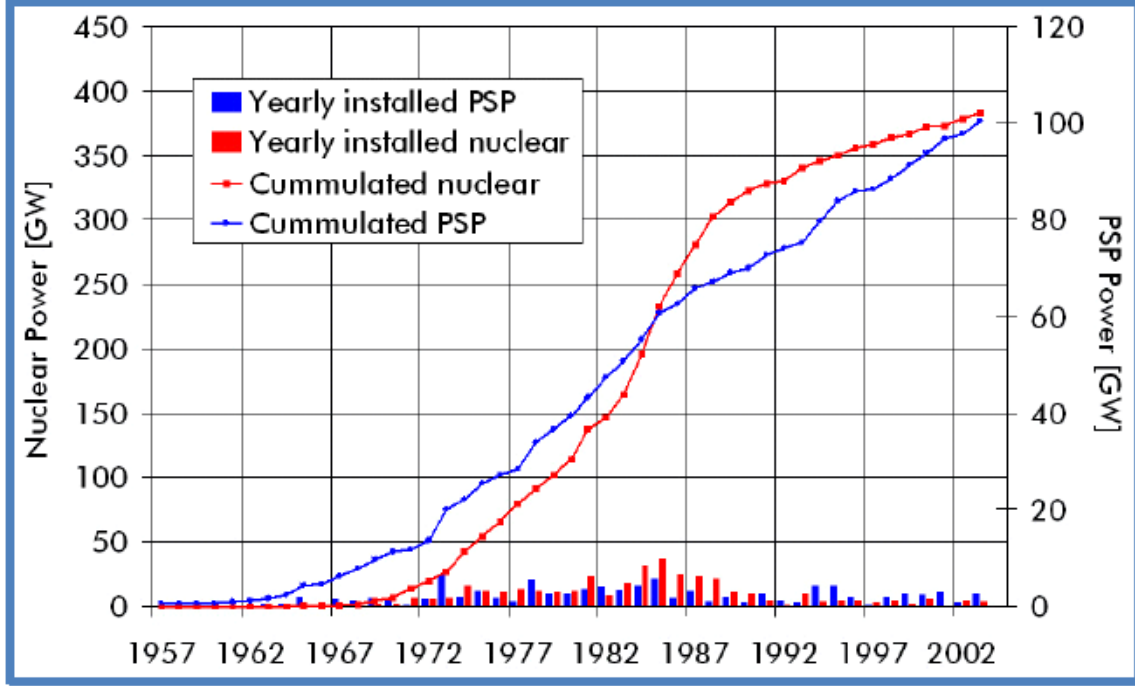
Electricity	Hydropower without PHS	Wind	Solar	PHS production	PHS demand	Total gross production	Final consumption
TOTAL (TWh)	335	179	46	29	38	3 280	2 768
% Energy produced over gross production	10.2	5.5	1.4	0.9	1.15	100	84

Tablo 1. Avrupa Birliği ülkelerindeki yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretiminin durumu (PHS: Pumped Hydropower Storage – Pompaj Depolamalı HES)[1]

2011 yılında Avrupa Birliği ülkelerinde hidrolik enerjiden üretilen elektrik enerjisi toplamın %10 unu oluşturmakta iken yaklaşık %1 lik miktarda PDHES' lerden sağlanmaktadır.

İlk PDHES Avrupada 1882 yılında İsviçre'de kurulmuş olup, sayıları 1900 lü yılların başında çoğu Almanya'da olmak üzere artmıştır. Kuzey Amerika'da ilk PDHES, Rocky River ismi ile 1929 yılında Connecticut'daki Housatonic nehri

üzerinde inşa edilmiştir. Dünyadaki PDHES'lerin sayısı, artan nükleer santrallerin sayısı ile birlikte, Şekil 1'de gösterildiği üzere, 1960 ila 1990 yılları arasında hızla artmıştır.



Şekil 1. Dünyadaki Nükleer Santral kurulu gücü ile PDHES'lerin kurulu gücünün yıllara göre değişimi (PSP:Pump Storage Plant – Pompaj Depolamalı HES)[2]

4.Ülkemizdeki durum

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesinin 2013 yılında yayınladığı Enerji raporunda PDHES'lerle ilgili aşağıdaki değerlendirmelere yer verilmiştir:

“Eğer bir ülkenin enerji ihtiyacı büyük oranda termik ve nükleer gibi baz karakterli santrallerden karşılanıyorsa, bunun yanında ülke kesintili karakterde yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip ve bu kaynakları verimli bir şekilde kullanmak istiyorsa, sistemde hızla devreye girip çıkabilme özelliğine sahip santrallere ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaç; ya büyük oranda fosil yakıt santrallerini birkaç dakikada devreye girebilmesi için sıcak yedekte hazır tutarak ekonomik

olmayan bir yöntemle ya da hızla devreye girip çıkma özelliğine sahip olan klasik depolamalı hidroelektrik santrallar ve/veya diğer enerji depolama sistemleri hayata geçirilerek karşılanabilir. Ülkemiz için kısmen tercih edilmekte olan yöntem bunlardan birincisidir. Bu da zaten %80'lerin üzerinde olan fosil yakıt kullanımının ve 2008 yılında genel enerjide %76 elektrik enerjisinde %60'a ulaşmış olan dışa bağımlılığımızın ve aynı zamanda fosil yakıt kullanımından dolayı oluşacak emisyonların artırılması anlamı taşımaktadır.

Enerjinin depolanması, Dünyada son yıllarda gelişen yeni liberal piyasa modelinde, elektrik değer zincirinin en kritik bileşenlerinden birisidir ve enerji depolama sistemleri endüstrisi yeni, önemli ve tüm Dünyada hızla gelişmekte olan bir endüstri seçeneğidir. Liberal piyasalarda sistem işletmecilerinin büyük ölçekte yenilenebilir enerji üretimini sisteme entegre edebilmeleri için enerjinin depolanmasına ihtiyaçları vardır.

Teknik değerlendirmeler ve fizibilite çalışmaları enerji depolamanın sadece teknik bir gereklilik değil aynı zamanda maliyet avantajı sağladığını da göstermektedir. Türkiye' de bugüne kadar enerjinin depolanması konusuna gereken önem verilmemiştir. Ancak ülkemizde kesintili karakterdeki enerji kaynaklarının ve/veya nükleer santralların enerji planlaması içerisinde yer alması düşünüüyorsa verimli ve daha sağlıklı bir planlama için bunların enerji depolama sistemleri ile birlikte planlanması gerekmektedir.

Santralların devreye girme ve tam kapasiteye ulaşabilme süreleri ile ilgili Japonya'da yapılan bir çalışmanın sonuçları bu santralların sistemde bulunmasının arz güvenilirliği ve sistem stablitesi açısından ne kadar önemli olduğunu ve pompa depolamalı hidroelektrik santrallerin biran önce elektrik sistemimiz içerisinde yer almasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Eğer elektrik enerjisinin büyük bir bölümü, devreye girmeleri ve tam kapasiteye ulaşmaları minimum bir saat alan fosil yakıtlardan ve devreye girmeleri daha da uzun zaman

alan nükleer santrallardan elde ediliyorsa az önce bahsettiğimiz sorunların yaşanması kaçınılmazdır. Sözkonusu problemlerin yaşanmaması veya en aza indirilmesi için, ani yük artışlarında rezerv yükü 20-30 saniye içinde karşılayabilecek ve daha büyük yük taleplerinde devreye girme süreleri birkaç dakikayı geçmeyen santrallara ihtiyaç vardır. Dünya’da bu konuda en gelişmiş yöntem enerjinin su formunda depolandığı ve çok kısa süre içerisinde hızla devreye alınabilme özelliğine sahip olan Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallardır. Ülkemizde de bu anlamda ekonomik olarak birçok projenin geliştirilmesi mümkündür

Bugünkü puant gücümüz 40.000 MW, RES (Rüzgar Enerjisi Santralleri) kurulu gücümüz 2000 MW yani RES, puant gücün %5’i kadardır. Yarın 2023 yılında puant gücümüzün 80.000 MW olduğunu ve RES gücümüzün de 20.000 MW olduğu dikkate aldığımızda RES gücü, puant gücün %’25’i olacaktır. Bu gücü doğrudan şebekeye bağlayarak PDHES olmaksızın yönetmek mümkün değildir. Bu yüzden özellikle nükleer ve rüzgar projeleri PDHES’ler ile birlikte planlanmalıdır.

TEİAŞ tarafından yapılmış olan kapasite üretim projeksiyonları kapsamında iyimser ve kötümser iki senaryo hazırlanmıştır. İyimser senaryoya göre 2017, kötümser senaryoya göre 2015 yılından itibaren işletmede olan, inşa edilen ve lisansı alınmış olan santrallerin tümünün puant enerji ihtiyacını karşılayamayacağı tespit edilmiştir.

Puant talebin karşılanmasında barajlı hidroelektrik santrallerin yetersiz kalmaları halinde devreye girmesi hedeflenen pompaj depolamalı hidroelektrik santral projeleri geliştirmek amacıyla İlk etüt seviyesinde Mülga EİE tarafından yapılan PDHES talep çalışmasına göre

-Ankara, İstanbul, İzmir, Bursa, İzmir illeri birinci dereceden öncelikli,

-Tekirdağ, Antalya, Konya, Adana, Hatay, Gaziantep ve Şanlıurfa illeri ikinci dereceden öncelikli

Tablo A. EİE Tarafından Çalışılmış Olan PDHES'ler

Tesis Adı	Kurulu Gücü [MW]	İli	Türü	Proje Debisi [m ³ /s]	Düşü [m]
Gökçekaya PHES	1600	Eskişehir	Mevcut baraj gölüne entegre	193	962
İznik I PHES	1500	Bursa	Tamamen yeni yatırım	687	255
Sarıyar PHES	1000	Ankara	Mevcut baraj gölüne entegre	270	434
Bayramhacılı PHES	1000	Kayseri	Mevcut baraj gölüne entegre	720	161
Hasan Uğurlu PHES	1000	Samsun	Mevcut baraj gölüne entegre	204	570
Adıgüzel PHES	1000	Denizli	Mevcut baraj gölüne entegre	484	242
Burdur PHES	1000	Burdur	Tamamen yeni yatırım	316	370
Eğridir PHES	1000	Isparta	Tamamen yeni yatırım	175	672
Kargı PHES	1000	Ankara	Mevcut baraj gölüne entegre	238	496
Karacaören II PHES	1000	Burdur	Mevcut baraj gölüne entegre	190	615
Yalova PHES	500	Yalova	Tamamen yeni yatırım	147	400
Yamula PHES	500	Kayseri	Mevcut baraj gölüne entegre	228	260
Oymapınar PHES	500	Antalya	Mevcut baraj gölüne entegre	156	372
Aslantaş PHES	500	Osmaniye	Mevcut baraj gölüne entegre	379	154
İznik II PHES	500	Bursa	Tamamen yeni yatırım	221	263
Demirköprü PHES	300	Manisa	Mevcut baraj gölüne entegre	166	213

-Kırklareli, Çanakkale, Balıkesir, Manisa, Denizli, Muğla, İçel, Eskişehir, Sakarya, Zonguldak, Samsun, Kayseri, Kahramanmaraş, Diyarbakır, Mardin üçüncü dereceden öncelikli,

-Edirne, Bilecik, Kütahya, Aydın, Ordu, Sivas, Malatya, Elazığ, Adıyaman, Batman, Şırnak, Van illeri dördüncü dereceden öncelikli illerdir.

Ülkemizde, PDHES çalışmaları ilk defa Mülga EİE Genel Müdürlüğü tarafından başlatılmıştır. Mülga EİE Genel Müdürlüğü koordinasyonunda Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü (TEİAŞ) ve Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) aracılığı ile görevlendirilen Tokyo Electric Power Company (TEPCO) uzmanları eşliğinde Master Plan çalışmaları tamamlanmıştır. 2 Kasım 2011 tarih ve 28103 sayılı (mükerrer) Resmi Gazetede yayınlanan "662 sayılı Kanun

Hükmünde Kararname" ile DSİ Genel Müdürlüğü bünyesinde kurulan Hidroelektrik Enerji Dairesi Başkanlığı tarafından devam ettirilmiştir Halen Gökçekaya PDHES projesinin projelendirme çalışmaları DSİ Genel Müdürlüğü ve JICA iş birliği içerisinde yürütülmektedir.”

Ayrıca literatürde Gökçekaya Barajı ve HES olan Gökçekaya Pompajlı HES (1400 MW) ve Altınkaya Pompajlı HES’in (1800 MW) kavramsal tasarımlarının yapıldığına dair bilgi de mevcuttur.

5.Ülkemizdeki PDHES potansiyelinin değerlendirilmesi

Avrupa Komisyonunun 2013 yılında yayınladığı raporda [1] ülkemizin ve diğer Avrupa ülkelerinin PDHES potansiyeli, tanımlanmış senaryolara göre, coğrafik bilgi sisteminden (GIS) elde edilen veriler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan senaryolar Tablo 2’de özetlenmektedir. T1 senaryosu mevcut iki gölet varsayımına, T2 ise mevcut bir ve yapılacak bir gölet varsayımına dayanmaktadır. Göletler arası uzaklığın 1, 2, 3, 5, 10 ve 20 km olması durumları değerlendirilmiştir. Minumum düşü değerleri T1 de 150 m ve T2 de 50 ve 150 m’dir. Her iki topoloji de de minimum gölet kapasiteleri 100 000 m³, yerleşim yerlerine minimum uzaklık 500 m, mevcut ulaşım yollarına minimum uzaklık 200 m, UNESCO nun koruması altındaki bölgelere minimum uzaklık 500 m ve elektrik iletim hatlarına maksimum uzaklık 20 km olarak belirlenmiştir. Söz konusu PDHES lerin Natura 2000 bölgeleri içinde olmaması da diğer bir kriterdir.

Description	Topology 1	Topology 2
Maximum distance between two existing (T1) or existing and prospective (T2) reservoirs	1, 2, 3, 5, 10 & 20 km	1, 2, 3, 5, 10 & 20 km
Minimum head	150 m	50 m and 150 m
Assumed minimum new reservoir capacity	100 000 m ³	100 000 m ³
Minimum distance to inhabited sites	500 m	500 m
Minimum distance to existing transportation infrastructure	200 m	200 m
Minimum distance to UNESCO site	500 m	500 m
Maximum distance to electricity transmission network	20 km	20 km
Minimum distance to a Natura 2000 conservation area	should not be within	should not be within

Tablo 2. PDHES potansiyelini belirlemede kullanılan senaryolar [1]

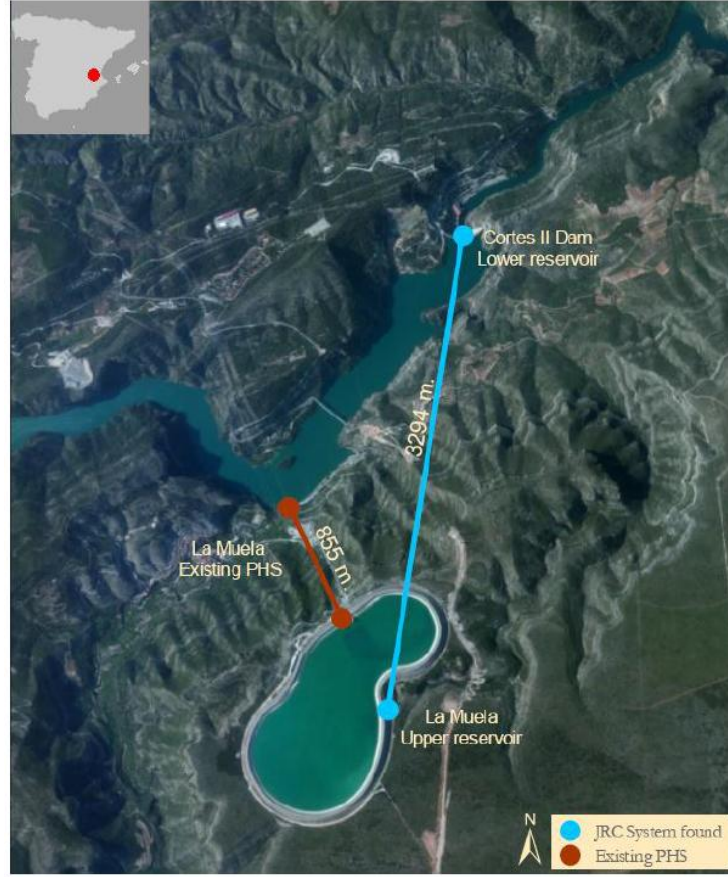
Tüm Avrupa Birliği ülkelerini içeren toplu sonuçlar Tablo 3’de özetlenmiştir. Söz konusu raporda ayrıca ülkeler bazında ayrı olarak değerlendirme sonuçları da yer almaktadır.

Teorik değerler, yukarıda açıklanan T1 ve T2 senaryolarına herhangi bir kısıt getirilmeksizin elde edilmiş olup, gerçekleştirilebilecek değerler (realizable) yukarıdaki kısıtların uygulanması durumudur.

	Potential storage (TWh) per scenario					
Topology	20 km	10 km	5 km	3 km	2 km	1 km
T1 theoretical	54.31	8.00	0.83	0.31	0.10	0.004
T1 realisable	28.63	1.32	0.20	0.07	0.03	0.003
T2 theoretical	122.87	51.09	15.31	7.98	3.11	0.37
T2 realisable	79.76	33.32	10.21	4.72	1.89	0.18

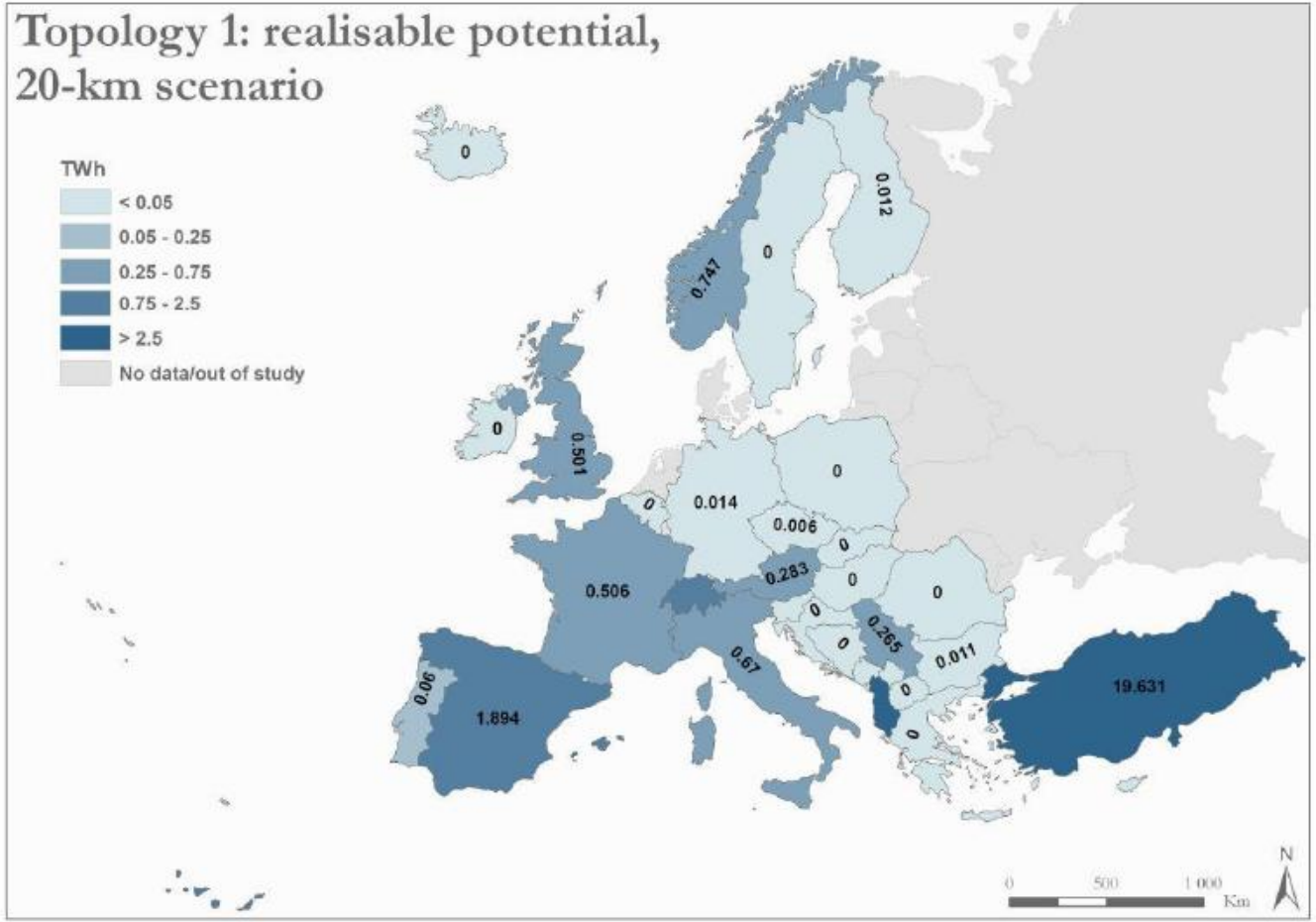
Tablo 3. Senaryolara göre teorik ve gerçekleştirilebilir PDHES lerin toplam enerji değerleri [1]

Söz konusu raporda ele alınan yaklaşım ile ortaya çıkan bir PDHES önerisine ait bir örnek Şekil 2’ de yer almaktadır. İspanya La Muela’da mevcut bir HES’in üst kota yapılacak bir gölet ile PDHES’e dönüştürülmesi Coğrafik Bilgi Sisteminin (GIS) kullanımı ile önerilmektedir.



Şekil 2. La Muela'daki mevcut HES ve GIS bilgileri ile yeri belirlenen yeni gölet [1]

Şekil 3'de görüleceği üzere, Avrupa ülkeleri içinde PDHES kapasitesi en yüksek ülke Türkiye'dir. T1 in altında yer alan 20 km'lik senaryoya göre ülkemizin gerçekleştirilebilecek 19,631 TWh değerinde PDHES kapasitesi vardır. Türkiye'den sonra en büyük kapasiteye sahip ülke, 1,894 TWh değer ile İspanya'dır.



Şekil 3. Topoloji 1 ve 20 km lik senaryoya göre Avrupa ülkelerinde gerçekleştirilebilecek PDHES potansiyelleri [1]

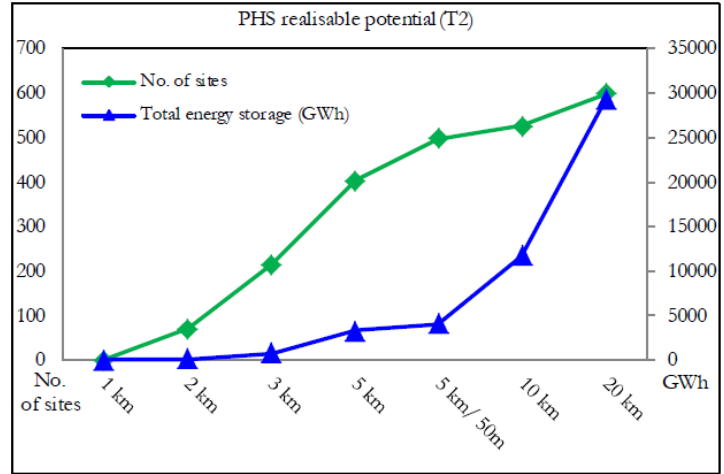
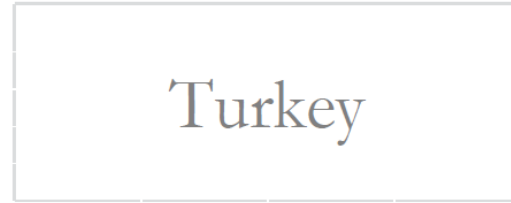
Diğer gölet mesafeleri için de ülkemiz avrupa ülkeleri içinde en büyük PDHES kapasitesine sahiptir. Ülkemizin PDHES kapasitesine gösteren detaylı bilgiler Tablo 4’de tüm senaryolar için özetlenmiştir. Bu aşamada söz konusu raporun belirlenen PDHES’ler bazında detay bilgilerine ulaşmak ya da TÜBİTAK destekli yeni bir çalışma gerçekleştirmek yapılacak yatırımlar açısından önemlidir.

Eurostat data for 2010	GWh
Net electricity production	203 046
Net production natural hydro	51 423
Net production from PHS	0
Net production from wind	2 908
Net production from solar	0
Total variable RES electricity	2 908
PHS generation capacity (MW)	0
Conventional hydro generation capacity (MW)	17 137

Total PHS energy storage capacity	0
-----------------------------------	---

(Source: Eurelectric's *Hydro in Europe: Powering renewables*)

Reservoir data (ECRINS)	
No. of reservoirs	198
Of which capacity is inc.	194
Total capacity (Hm ³)	101 268
No. of reservoirs selected	193
Capacity of selected reservoirs (Hm ³)	101 268



JRC assessment							
T1 - theoretical potential	1 km	2 km	3 km	5 km	5 km/ 50m	10 km	20 km
No. of sites	0	1	1	5		37	188
Average head (m)	0	193	193	277		267	276
Average energy storage (GWh)	0	24	24	7		117	196
Total energy storage (GWh)	0	24	24	36		4 319	36 793

T1 - realisable potential	1 km	2 km	3 km	5 km	5 km/ 50m	10 km	20 km
No. of sites	0	0	0	3		9	86
Average head (m)	0	0	0	344		288	254
Average energy storage (GWh)	0	0	0	1		1	228
Total energy storage (GWh)	0	0	0	4		13	19 631

T2 - theoretical potential	1 km	2 km	3 km	5 km	5 km/ 50m	10 km	20 km
No. of sites	2	88	256	449	551	565	607
Average head (m)	163	207	227	284	219	385	483
Average energy storage (GWh)	1	2	4	9	9	26	68
Total energy storage (GWh)	3	154	901	3 936	5 055	14 821	41 412

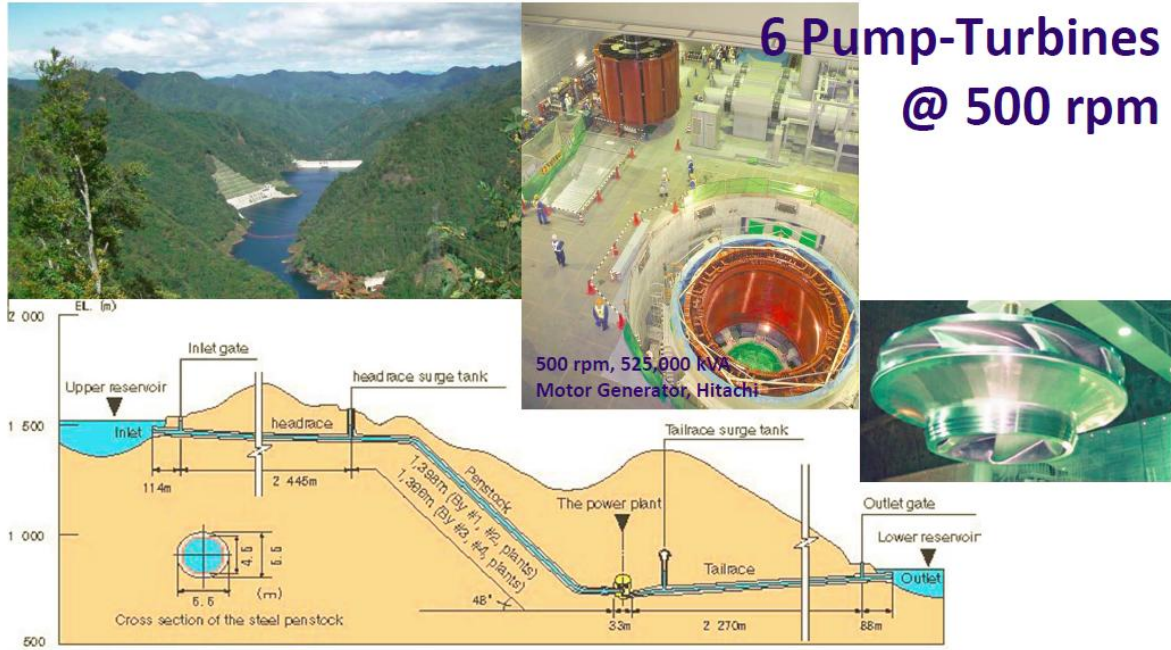
T2 - realisable potential	1 km	2 km	3 km	5 km	5 km/ 50m	10 km	20 km
No. of sites	2	72	216	404	498	527	600
Average head (m)	163	204	231	285	227	393	485
Average energy storage (GWh)	1	2	4	8	8	22	49
Total energy storage (GWh)	1	130	783	3 338	4 105	11 811	29 319

Tablo 4. Ülkemizin PDHES potansiyeli [1]

Tablo 4’de gerçekleştirilebilir T2 senaryosu içinde yer alan 5 ve 10 km göletler arası mesafelere sahip 500 er PDHES tesbitinin özellikle üzerinde durulması gerekir.

6.Dünyanın en büyük PDHES’i

Dünyanın en büyük PDHES’i Şekil 4’de gösterilen 2005 yılında işletmeye alınan Japonya’daki Kannagawa’dır. Tesiste her biri 470 MW gücünde altı adet pompa türbin vardır. Cebri borularının çapı 4,5 m olup aşağı gölet türbin çıkışından (pompa girişinden) daha yukarıdadır. Bu sayede pompa modunda çalışırken emiş yapabilmektedir. Düşü değeri göletler arasından yükselti farkı 625 m olan sistemin pompa/türbinlerinde, Şekil 5’de de görüldüğü üzere Francis tipi çarklar kullanılmaktadır.



- ✓ 2'820 MW Capacity
- ✓ 6 Pump-Turbines, 470 MW Pumping Power, 625 mWC Head
- ✓ TEPCO, Tokyo Electric Power Co.

Şekil 4. Dünyanın en büyük PDHES i

Söz konusu tesisin sahibi olan Japon TEPCO firması, ülkemizdeki Gökçekaya HES'inin PDHES'e dönüştürülmesi çalışmalarına da destek vermektedir.

7. Dünyadaki PDHES'ler

Tablo 5 de dünyadaki değişik ülkelerdeki kurulu PDHES lerin ve planlanan PDHES leri güç değerleri yer almaktadır.

	Ülkeler	Mevcut Maksimum Toplam Güç (MW)	Planlanan Maksimum Toplam Güç (MW)
1	Arjantin	987	0
2	Avustralya	2.754	0
3	Avusturya	2.837	1.700
4	Belçika	1.161	0
5	Brezilya	191	0
6	Bulgaristan	535	864
7	Kanada	122	0
8	Şili	29	0
9	Çin	855	4.445
10	Rusya	835	12.048
11	Kolombiya	31	0
12	Hrvatistan	280	0
13	Finlandiya	0	525
14	Çek Cumhuriyeti	1.153	0
15	Fransa	5.846	0
16	Almanya	6.621	0
17	Macaristan	0	1.280
18	Hindistan	2.427	1.886
19	İran	0	1.140
20	İrlanda	292	0
21	İsrail	800	800
22	İtalya	7.421	1.611
23	Japonya	24.733	2.987
24	Kore	1.152	670
25	Meksika	0	2.600
26	Fas	0	780
27	Norveç	1.014	0
28	Filipinler	300	1.800
29	Polonya	1.550	92
30	Portekiz	558	149
31	Romanya	237	293
32	Slovakya	0	969
33	Güney Afrika	1.787	0
34	İspanya	5.208	3.218
35	İsveç	426	0
36	İsviçre	2.678	0
37	Tayvan	1.008	1.620
38	Tayland	410	743
39	İngiltere	3.242	0
40	ABD	20.184	1.576
	Toplam	99.663	43.796

Tablo 5. Dünyadaki mevcut ve planlanan PDHES ler [4]

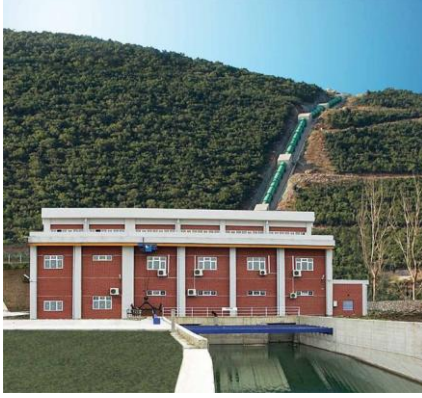
Dünyada son 15 yılda yapılan en büyük güçlerdeki PDHES lerin listesi ve bazı önemli bilgileri Tablo 6' da verilmiştir.

Pumped Storage Power Plant	Capacity	Units	Unit Power	Owner	Country	Year
Yangyang	1'032 MW	4	258 MW	KOMIPO	South Korea	2006
Kannagawa	2'820 MW	6	470 MW	TEPCO	Japan	2005
Goldisthal	1'060 MW	4	265 MW	VATTENFALL Europe	Germany	2002
Kazunogawa	1'648 MW	4	412 MW	TEPCO	Japan	2001
Tianhuangping	1'800 MW				China	2001
Guangzhou	2'400 MW	8	300 MW	CLP, Guangdong	China	2000
Matanoagawa	1'200 MW			Chugoku Electric Power	Japan	1999
Okutataragi	1'932 MW	6	322 MW	KEPCO	Japan	1998

Tablo 6. Dünyada son onbeş yılda yapılan büyük güçlerdeki PDHES'ler

8.Ülkemizde göl kenarına yapılan bir HES'e ait teknik ve finansal veriler

2010 yılında Bursa ilinin Uluabat gölü kenarında Akenerji Elektrik Üretim A.Ş firması tarafından yaptırılan bir HES e ait teknik veriler ve fotoğraflar Şekil 5 de verilmiştir.



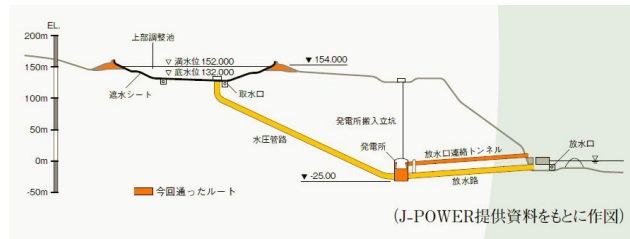
İdare:Akenerji Elektrik Üretim A.Ş., İstanbul
İşin Adı: Uluabat Kuvvet Tüneli ve Hidroelektrik Santrali
İşin Yeri:Bursa
Sözleşme Bedeli:16.662.040,00 TL
İşin Güncel Bedeli: 28.000.000 TL
Sözleşme Tarihi:28.11.2006
Sözleşmeye Göre İşin Süresi:16 Ay
Amacı:Enerji
Güç:100 MW
ENERJİ SANTRALİ Santral Binası Boyutları:31 x 23 m
Proje Debisi:39.00m³/s
Kuyruksuyu Eşik Kotu:6,3 m (Uluabat Göl Kotu 5,0 m)
Toplam Kurulu Güç:100.00 MW
Ünite Adedi:2
Türbin Tipi:Francis Düşey Eksenli
Ünite Kurulu Güçleri:2 x 50.00 MW
Drenaj ve Soğutma Boruları:Yaklaşık 650m
Ø200 -300 değişken çaplarda
KUYRUKSUYU KANALI:
Kanal boyu:1.200m
Kanal tipi:Trapez, ilk 680 m beton kaplamalı,
520 m taş tahkimat
Proje debisi:38.00m³/s
Kanal taban genişliği:8m
VANALAR
Ø 3200mm Tehlike kelebek vanası: 1 Adet
Ø 1800mm İçmesuyu kelebek vanası: 1 Adet
VİNÇLER
95+10 ton santral gezer köprü vinci: 1 Adet
30 tonluk vinç: 1 Adet
9 ton monoray vinci:2 Adet
TÜNEL İÇİ CEBRİ BORU
Uzunluğu:700 m
Boru çapı:Ø 3200mm cebra boru (X65)
Tonaj:884 ton
AÇIKTAKİ CEBRİ BORULAR
Uzunluğu:1.125 m
Boru çapı:Ø 2.900 ? 3.200mm (St 52)
Tonaj:3.700 ton



Şekil 5. Ulubata gölü kenarında yer alan Akenerji HES'ine ait teknik veriler [5]

Söz konusu HES te Çınarcık barajında biriktirilen su, türbinlerden 12 km uzunluğundaki tünel ve 1,1 km açıktaki cebri boru ile su türbinlerine ulaşmakta ve türbinlerden çıkan su 1,2 km uzunluğundaki açık kanal ile Uluabat gölüne boşalmaktadır. Bu HES mevcut olan iki gölet sayesinde, gölet yatırımı gerektirmeksizin, başlıca açık kanala paralel olarak yapılacak 1,1 km uzunluğunda bir basınçlı boru ve pompa yatırımı ile PDHES'e dönüştürülebilir.

Filipinler denizini alt seviye göleti olarak kullanılan PDHES'lere bir örnek olarak Japonya'nın Okinawa Yanbaru isimli santrali gösterilebilir (Şekil 6). Burada tamamen deniz suyu kullanılmakta olup, 546 000 m³ hacmindeki üst seviye göleti yapay olup, 30 MW gücündedir.



Şekil 6. Okinawa Yanbaru PDHES'i [6]

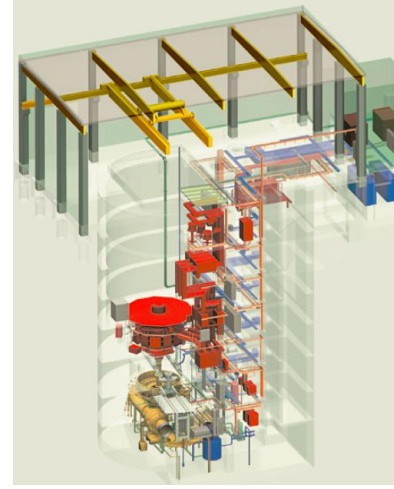
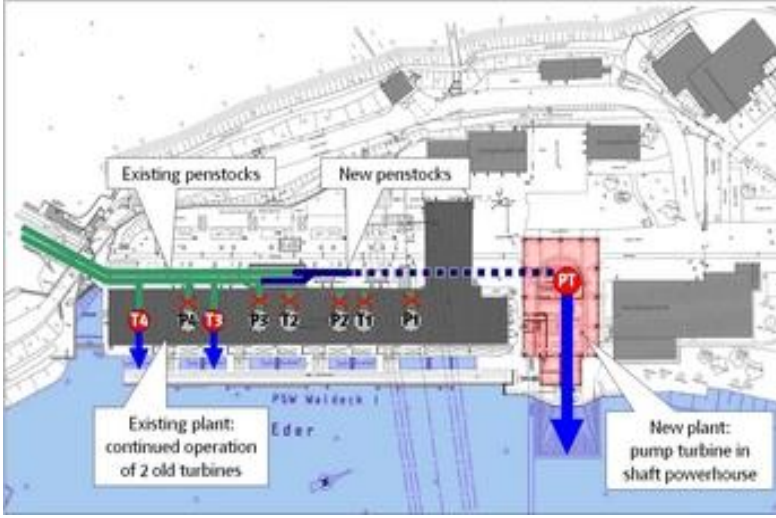
Ülkemizde de bu tip çözümler olabileceği düşüncesiyle, bu örnek bu rapora konulmuştur.

9. Avrupada gerçekleştirilen PDHES çalışmalarına bir örnek

1932 yılında inşa edilen Almanya Edertal'deki Waldeck I isimli PDHES'in yenilenmesi 2009 yılında tamamlanmıştır. Santralin üst seviye göleti 65 000 m³ hacminde bir barajdır. Eski tasarımda dört pompa ve dört tane türbin yer almaktadır. Yeni projede ise dört pompa ve iki türbin devre dışı bırakılarak, 70'er MW gücündeki iki Francis türbini yenilenmiştir. Ayrıca santrale pompa/türbin olarak çalışan 80 MW gücünde bir hidrolik makina yerleştirilerek santralin çevrim verimi %63 den %75'e çıkarılmıştır (Şekil 7) [7]. Bunu gerçekleştirebilmek için sisteme bir cebri boru ilavesi yapılmıştır.

Bu uygulama pompa/türbin modunda çalışma yeteneğine sahip hidrolik makinaların kullanımının PDHES'lerde ekonomik bir çözüm olduğunu göstermektedir. Nitekim bu sayede elektrik makinası maliyeti de, motor/generatörlerin kullanımı ile yarıyarıya azalmaktadır.

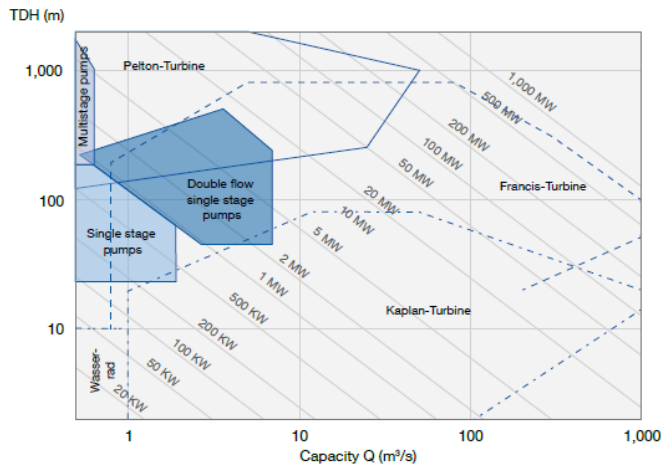
Bu yenileme de Voith firması imalatı Francis tipi pompa/türbin kullanılmıştır.



Şekil 7. Waldeck I PDHES inin projesi ve Voith yapımı pompa/türbinin katı modeli

10. PDHES'lerdeki hidrolik makinalar

PDHES'lerde hem pompa hem de türbin modunda yüksek verimle çalışabilen makinaların kullanımının en ekonomik çözüm olduğunu göstermektedir. Nitekim dünyanın sayılı pompa ve türbin üreticileri (Andritz, KSB, Voith, Sulzer) portföylerine türbin/pompaları ilave etmişlerdir. Orta düşüye sahip (100 ila 500 m) santrallerde Francis tipi makinalar (Tek kademeli radyal çarklı pompalar) ve çift emişli makinalar bu kapsamda değerlendirilmektedir (Şekil 8). Söz konusu tiplerdeki hidrolik makinaların tasarımları ve imalatları ülkemizde yapılabilmektedir.



Şekil 8. Türbin/Pompaların çalışma aralıkları ve tipleri [8]

11.PDHES'lerin çevreye etkileri

PDHES'lerin çevreye etkisi olumludur. Boşa akıp giden suların depolanması sayesinde su teminine ve buharlaşma etkisi ile çevreye pozitif etki yapmaktadır.

PDHES'lerin çevreye olumsuz etkisi bir barajın inşa aşamasındaki etkisinden öteye geçmez. Çevreyi etkileyecek herhangi bir zararlı atık söz konusu değildir.

Fosil yakıtlarla çalışan yeni güç santrallerinin yerini alacakları için dolaylı olarak çevreye olumlu katkısından söz edilebilir.

Ekolojik faktörler açısından çevreye olumsuz etkilerinden bahsedilebilir. Fakat sistem dengeye girdiği zaman, nehre can suyu bırakmak zaten gereklidir ve bu nedenle olumsuz etkilerinden bahsetmek söz konusu olmaz.

PDHES lerin ekonomik ömürleri uzundur, işletme ve bakım giderleri düşüktür, çevre kirliliğine yol açmazlar, enerji maliyetleri çok düşüktür (yakıt giderleri yoktur), sera gazı emisyonuna yaratmazlar ve çevre ile uyumludurlar.

Bir gölün veya denizin kenarına inşa edildiğinde çevreye olumsuz herhangi bir etkiden söz etmek mümkün değildir. Ayrıca oluşturulacak olan göletler çok amaçlı olarak kullanıma da uygundur: sulama, taşkın kontrolü, içme ve kullanma suyu temini, balıkçılık ve sediment kontrolü gerçekleştirilebilir.

Bununla beraber, Göl hacmi 100 milyon m³ ve üzeri veya göl alanı 15 km² ve üzeri barajlar için ve kurulu gücü 50 MW ve üzeri olan nehir tipi santraller için Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) raporu alınmasına gerek vardır. Göl hacmi 10 milyon m³ ve üzeri veya göl alanı 1 km² aşan baraj veya göletler için ve kurulu gücü 10 MW ve üzeri olan nehir tipi santraller için ÇED raporunun gerekli olup olmadığının belirlenmesi hususu ile ilgili seçme ve eleme kriterleri ÇED Yönetmeliğinde tanımlanmıştır. Tüm bunlara rağmen hidroelektrik enerji bilinen enerji teknolojileri içinde çevresel riski en az olan sistem olarak kabul edilmektedir.

12.Çoklu fiyatlı elektrik tarifeleri

PDHES uygulamalarının çoklu elektrik fiyatlarının uygulanması durumunda karlı oldukları daha önce açıklanmıştı. Çoklu fiyat tarifi, genellikle nükleer enerji santrallerinin bulunduğu ülkelerde uygulanmasına rağmen, ülkemizde de, doğal gaz kullanan santrallerinin, kullanım miktarı taahhütleri nedeniyle uygulanmaktadır. Nitekim, Tablo 7'de ülkemizdeki çoklu fiyat tarifesinde sanayi e uygulanan toptan fiyatlar verilmiştir [9] [10][11].

	Gündüz	Puant	Gece
Zaman	06-17	17-22	22-06
Fiyat kr/kWh	13,021	15,055	10,324

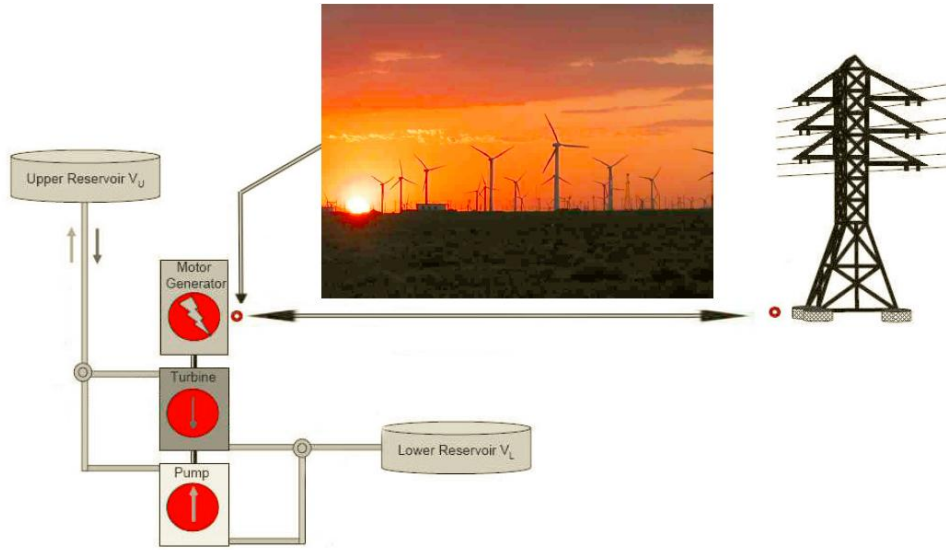
Tablo 7. Ülkemizde 29 Nisan 2015 te uygulanan elektrik alımı üçlü fiyat tarifi [11]

Bu fiyatlar ile, 5 MW gücündeki bir PDHES'in, bir yılda 200 gün çalışarak, günde 5 saat su pompalayarak 516 200 TL elektrik gideriyle, günde 5 saat puant zamanda türbin modunda çalışarak 752 750 TL gelir sağlaması söz konusudur.

Yapılan istatistiki çalışmalar, ömürleri ortalama 40 yıl olan PDHES lerin, 7 ila 10 yıl arasında kendilerinin yatırım masraflarını geri ödediğini göstermiştir.

PDHES'ler rüzgar türbinleri ile birlikte projelendirilirse, söz konusu geri ödemenin çok daha kısa sürede gerçekleşmesi söz konusudur.

Nükleer santrallerin ülkemizde devreye girmesi ile elektrik fiyatlarının nasıl oluşacağı konusundaki belirsizlik, PDHES'lerin geleceğine yönelik gerçekçi ekonomik değerlendirmelerin yapılmasını engellemektedir.



Şekil 9. PDHES'lerin Rüzgar Türbinleri ile birlikte projelendirilmeleri [12]

13.Sonuç ve öneriler

1-Ülkemizde endüstrileşmenin hızlı bir biçimde gelişmesi enerji talebinde artışa yol açmıştır. Bu gelişim sürecinde talep edilen enerjinin depolanması , hızlı ve ucuz olarak temin edilmesi önem arz etmektedir.

2-Bu konuda özellikle son yıllarda ülkemizde doğal gaz ile çalışan çok sayıda kombine çevrim enerji santrali kurulmuştur. Söz konusu santrallerin ve fosil yakıtlarla çalışan enerji santrallerinin, günün belirli zamanlarında oluşan yüksek enerji talepleri sırasında (puant zaman) hızlı bir şekilde devreye alınmaları, teknolojik nedenlerle, mümkün olmamaktadır.

3-Enerjinin depolanabilmesi ve ihtiyaç duyulduğunda hızlı bir biçimde devreye alınabilmesi üretimde süreklilik için önemli bir gerekliliktir. Enerji depolanmasının en popüler yolu, günümüz teknolojisi göz önüne alındığında, hidrolik sistemlerin -pompa depolamalı hidroelektrik santraller (PDHES)-kullanımıdır.

4-PDHES'ler yüksek verimliliğe sahiptir ve hızlı bir şekilde devreye alınıp devreden çıkarılabilir. Bu nedenle enerji arz güvenliği sağlamak amacıyla önemli ve ekonomik bir çözümdürler. Ayrıca çevreye duyarlı olması ve fosil yakıtla çalışan santralleri gibi sera gazı salınımına sebep olmamaları, tarımsal sulama , taşkın kontrolü, içme-kullanma suyu temini, balıkçılık vs gibi olumlu katkıları da gözönünde bulundurulması gereken hususlardır.

5-Günümüzde 40 ülkede mevcut toplam gücü 99 663 MW, planlanan toplam gücü 43 796 MW olan 386 tesis bulunmaktadır. Tesislerin genel kapasite eğilimine bakıldığında 1 000 MW gücüne sahip tesislerin yaygın olduğu görülmektedir.

Ülkemizde 17 adet ilk inceleme seviyesinde pompa depolamalı hidroelektrik santral raporu hazırlanmıştır. Ülkemizde kurulu PDHES henüz olmamakla birlikte projelendirilmesi düşünülen ön fizibilitesi yapılmış olan yaklaşık olarak 70 adet PDHES bulunmaktadır.

6-Hidroelektrik santrallerin ileri teknoloji gerektiren bileşeninin suyun hidrolik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren su türbinleri olduğu ifade edilebilir. Ülkemizdeki HES yatırımları incelendiğinde, su türbinlerinin tamamına yakınının Çin ve Avrupa'dan satın alındığı görülmektedir. Devletimizin yerli imalat su türbinlerinin kullanıldığı HES'lerde üretilen elektriğin alım birim fiyatına verdiği ilave destek, yatırımcıların, risk almak istememeleri nedeniyle amacına ulaşamamıştır.

Ülkemizde su türbini teknolojisinin geliştirilmesinin başlıca gerekçeleri olarak,

a)Eskiye HES'lerin yenileme çalışmaları;

b)Özellikle Çin imalatı su türbinlerinin kullanıldığı HES'lerde kısa zaman içinde ortaya çıkması beklenen (ve hali hazırda çıkan) problemler;

c)Yapılması düşünülen HES ve PDHES yatırımları

olarak ifade edilebilir.

Tüm bu çalışmaların milli sanayimiz tarafından yapılması, teknoloji geliştirme, nitelikli mühendislik gerektiren istihdamı artırma, maliyeti düşürme gibi kazanımlar sağlayacaktır.

7-Ülkemizin pompa sektörü tasarladığı ve imal ettiği yüksek verimli büyük güçlü pompalar ile su türbinleri sektöründe de başarılı olabilecek donanım ve yeteneğe sahiptir. Dolayısıyla yatırımcılarla, su türbini tasarlama ve imal etme donanımına sahip olan yerli firmaların bir araya gelmesini sağlayacak mekanizmalara ihtiyaç vardır. PDHES projeleri bu amaca katkı sağlayabilir.

8-Küçük ölçekli PDHES'lerin tüm bileşenleri yerli olarak imal edilebilir. 2 MW gücündeki bir su türbinin (hidrolik ve elektrik bileşenlerinin toplamı) Avrupa firmalarından alım fiyatı 2 Milyon Euro, Çin firmalarından alım fiyatı ise 1,4 Milyon Euro'dur. Yapılan araştırmalar söz konusu ünitenin ülkemiz firmalarından ise 450 000 Euro'ya satın alınabileceğini göstermiştir.

9-Nükleer santraller devreye girene kadar, elektrik fiyatlarında gerçek anlamda çoklu fiyat tarifiesi uygulanması durumunda, günümüz için PDHES yatırımlarının sanayiciler için cazip hale gelmesi beklenebilir. Bu aynı zamanda ilgili teknolojinin ülkemizde geliştirilmesini de sağlayacaktır.

10-Ülkemizin özellikle batı bölgelerindeki HES'lerin PDHES'e dönüştürülmesi ve yeni yapılacak olan HES'lerin PDHES olarak planlanmaları, puant zamanlardaki büyük enerji talebi göz önüne alındığında, yük regülasyonu bakımından çok önemlidir.

Ülkemizde nükleer santraller devreye girip elektrik fiyatlarında gerçek anlamda farklı fiyat tarifesine geçildiğinde, PDHES'ler gerek yatırımcılar gerekse ülkemiz açısından karlı ve kazançlı enerji depolama sistemleri olacaktır. Bu sistemlerin teknolojilerinin ülkemiz sanayii tarafından geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Ayrıca geliştirilecek olan teknoloji ülkemizdeki mevcut ve yeni yapılacak olan bir kaç tane HES'e uygulanmalıdır.

11-Nükleer santraller ülkemizde devreye girene kadar, rüzgar enerjisi ile birlikte çalışacak ve milli sanayimiz tarafından tasarlanmış ve imal edilmiş PDHES'lere özel destekler yatırımcılar açısından cazip olabilir.

Ülkemizdeki PDHES potansiyelinin değerlendirileceği bir çalışma, Avrupa Birliğinin raporu da göz önünde tutularak, ekonomik ve yapılabilirlik değerlendirmelerini de içerecek biçimde yapılmalıdır.

12-PDHES'leri ilgilendiren 16 Kanun ve 31 yönetmelik vardır. Bunlar ve özellikle 5346 sayılı yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı

kullanımına ilişkin kanun gözden geçirilerek, DSI, EÜAŞ, TEİAŞ vb gibi kurumlar arasında su ve enerji yönetimi konusundaki yetki paylaşımında gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.

Kaynakça

- [1] Assessment of the European potential for pumped hydropower energy storage, Marcos Gimeno-Gutierrez, Roberto Lacal-Arantequi JRC Scientific and Policy Reports, 2013
- [2] Challenges an Opportunities for new pumped storage development, NHA-Pumped Storage Developmen Council
- [3] Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi, Enerji Raporu, 2013
- [4] http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h_hidrolik_nedir.aspx
- [5] http://www.hititinsaat.com.tr/mod_proje_detail.php?prjID=6
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Okinawa_Yanbaru_Seawater_Pumped_Storage_Power_Station
- [7] http://de.wikipedia.org/wiki/Pumpspeicherkraftwerk_Waldeck
- [8] <http://www.sulzer.com/en/Industries/Power-Generation/Pumped-Storage>
- [9] <http://www.epdk.gov.tr/index.php/elektrik-piyasasi/tarifeler?id=133>
- [10] <http://www.tetas.gov.tr/tr-TR/Tarifeler>
- [11] <https://rapor.pmum.gov.tr/rapor/xhtml/gunlukFiyatlar.xhtml>
- [12] <http://www.hydroplan.co.uk/>