

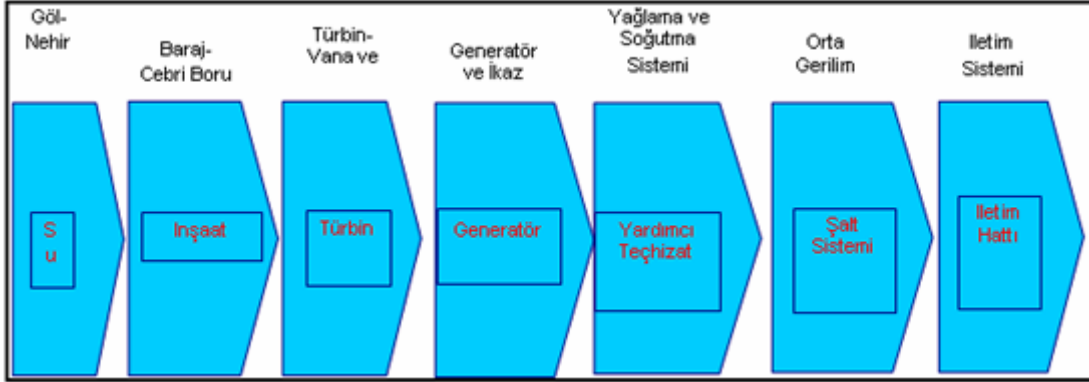
# BÖLÜM-4 HİDROELEKTRİK SANTRALLER

## 4.1 HİDROELEKTRİK ENERJİSİ

Hidroelektrik santraller (HES) akan suyun gücünü elektriğe dönüştürürler. Akan su içindeki enerji miktarını suyun akış veya düşüş hızı tayin eder. Büyük bir nehirde akan su büyük miktarda enerji taşımaktadır. Ya da su çok yüksek bir noktadan düşürüldüğünde de yine yüksek miktarda enerji elde edilir. Her iki yolla da kanal ya da borular içine alınan su, türbinlere doğru akar, elektrik üretimi için pervane gibi kolları olan türbinlerin dönmesini sağlar. Türbinler jeneratörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler.

Hidroelektrik santraller;

- Yenilenebilir kaynak olan sudan enerji elde etmeleri,
- Sera gazı emisyonu yaratmamaları,
- İnşaatın yerli imkânlarla yapılabilmesi,
- Teknik ömrünün uzun olması ve yakıt giderlerinin olmaması,
- İşletme bakım giderlerinin düşük olması,
- İstihdam imkânı yaratmaları,
- Kırsal kesimlerde ekonomik ve sosyal yapıyı canlandırmaları yönünden en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır.



Şekil-4.1 Hidroelektrik enerji üretim akım şeması

## 4.2 HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN SINIFLANDIRILMASI

En genel anlamıyla Hidroelektrik Santraller Geleneksel Hidroelektrik Santraller ve Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller olarak sınıflandırılabilir.

**Depolama Yapılarına Göre:**

- Depolamalı (rezervuarlı) HES'ler
- Nehir Tipi (regülatör) HES'ler

**Düşülerine Göre:**

- Alçak düşümlü HES'ler ( $H < 10m$ )
- Orta düşümlü HES'ler ( $H = 10-50 m$  arası)

- Yüksek düşümlü HES'ler( $H > 50$  m den büyük düşümlü)

#### **Kurulu Güçlerine Göre:**

- Çok küçük (mikro) kapasiteli( $< 100$  kW)
- Küçük(Mini) kapasiteli( $100-1000$  kW)
- Orta kapasiteli( $1000-10000$  kW)
- Büyük kapasiteli( $> 10000$  kW)

#### **Ulusal Elektrik Sisteminin Yükünü Karşılama Durumuna Göre:**

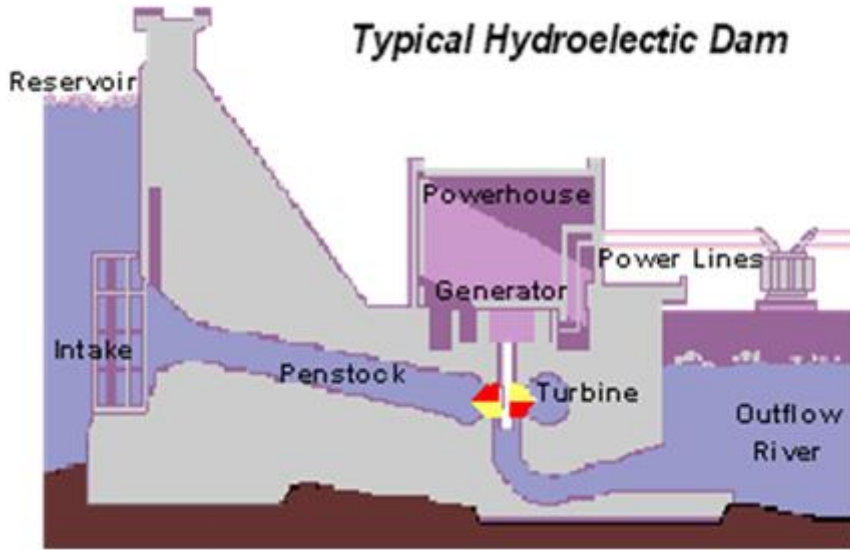
- Baz Yük HES
- Puant (Pik)Yük HES
- Hem Baz hem de Puant (Pik)Yük HES

#### **Baraj Gövdesinin Tipine Göre:**

- Ağırlıklı Beton Gövdeli Barajlı HES
- Beton Kemer Gövdeli Barajlı HES
- Kaya Dolgu Gövdeli Barajlı HES
- Toprak Dolgulu Gövdeli HES vb.

#### **Santral Binasının Konumuna Göre**

- Yer Üstü HES
- Yer Altı HES
- Yarı Gömülü veya Batık HES



Şekil-4.2 Tipik hidroelektrik santral

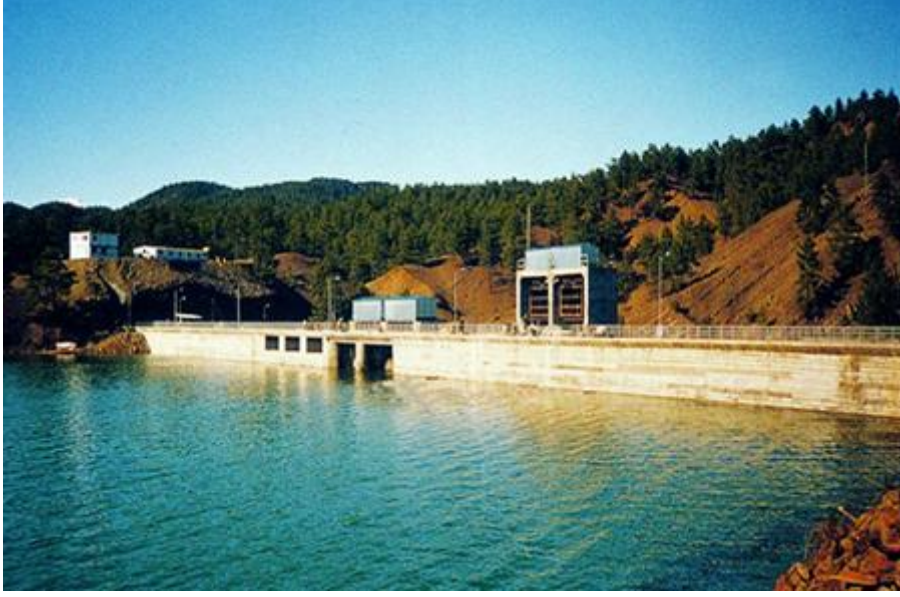
#### **2. HES Genel Yapıları:**

- Baraj gövdesi ve gölü
- Su alma tesisleri
- Suyolları tesisleri
- Santral tesisleri
- Santral çıkış suyu kanalı
- Şalt tesisleri
- Dip savak tesisleri
- Dolu savak tesisleri

**Depolamalı Hidroelektrik Santraller:**

**Su Alma Tesisleri:**

Baraj gölündeki veya nehir yatağındaki suyun su iletim tesislerine alınması için gereklidir.



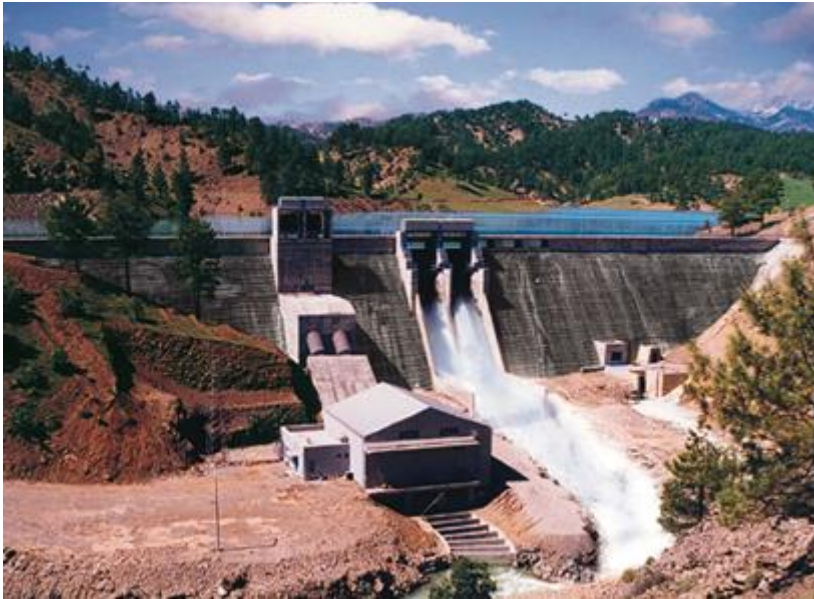
Şekil-4.3 Baraj gövdesi ve gölü

Nehir suyunun depolanması ve su düşüsünün elde edilmesi için gereklidir.

**Dolu savak; Dolu Savak Tesisleri:**

Aşırı yağışlı yıllarda baraj maksimum su seviyesine kadar dolduğunda, baraj gövdesinin zarar görmemesi için fazla gelen suların nehir yatağının mansabına atılmasına yarayan tesislerdir.

Feyazan mevsiminde fazla gelecek olan suyun kontrollü bir şekilde bırakılmasını temin etmek maksadıyla yapılır. Maksimum debiyi karşılayacak şekilde dizayn edilir. Dolu savağın en önemli elamanları, Batardo kapağı, Radyal Kapak ve bunları tespit etmek için inşaat yapısı mevcuttur.



Şekil-4.4 Dolu savak tipi hidroelektrik santral

**Dip Savak Tesisleri:**

Baraj gölünün suyunu gerektiğinde nehir yatağı mansabına bırakmaya yarayan tesislerdir.

**Su Yolları Tesisleri:**

Su iletim kanalı veya iletim tüneli (basıncsız) veya Enerji tüneli (Basıncılı) veya cebri boru v.s gibi tesisler suyun türbinlere iletilmesinde kullanılır.



Şekil-4.5 Savak tipi su yolu

**Cebri borular:**

Baraj gölü ile türbinler, yükleme odası ile türbinler veya denge bacası ile türbinler arasındaki basınçlı borulara cebri boru denir.

Cebri borular basınçlı borular olması dolayısıyla HES Tesislerin toplam maliyeti içerisindeki payı yüksek olabilir. Bu nedenle uzun cebri borulu bir santralde cebri boru ekonomik çap tespiti önemlidir. Borular statik ve dinamik zorlanmalar (Pozitif veya negatif su koçu darbeleri) nedeniyle malzeme kalitesi yüksek, borunun et kalınlıklarının fazla olması, iç yüzey pürüzlülüğü, iç ve dış yüzeyler korozyona dayanıklı olması gibi etkenlerden dolayı pahalı malzemelerdir.



Şekil-4.6 Cebri boru tipi su besleme hattı

**HES'lerde Denge Bacası:**

HES Tesislerinde enerji tüneli veya cebri borularda oluşabilecek ani basınç (Su koçu Darbesi) yükselmeleri sönmölemek için cebri borunun veya enerji tünelinin baş kısmına veya sonuna yakın bir noktasına tesis edilen yapıdır.

Denge bacasını gerektiren şartlar:

- Cebri boruda oluşan su koçu darbesi mertebesinin türbinin net düşüsüne oranının( $+h_{max}/Hn$ );
- 50m düşüye kadar olan HES'de %50
- 150m düşüte kadarki HES'de %25
- 250m düşüye kadarki HES'de %15
- 250m ve yukarısı için %5 değerini aşmaması gerekir.

**Santral Binası:**

İçinde Türbinler ve yardımcı ekipmanlar ile jeneratörler ve yardımcı ekipmanlar gibi elektromekanik teçhizatın ve koruma kontrol- kumanda gibi elektrik teçhizatın ve diğer yardımcı teçhizatın yerleştirilmesi için gereklidir.

**Türbin Öncesi Kapama Organları:**

- Sürgülü vana
- Kelebek vana
- Küresel vana
- Konik vana
- Basınç düşürücü vana

**Elektrik İle İlgili Bölümler:**

- Jeneratör
- Gerilim Regülatörleri
- Jeneratör İkaz Sistemi
- Ünite Kumanda Ve Kontrol Panoları
- Kumanda Odası Panoları
- 3,3–18 kV Orta Gerilim Panoları
- Ana Güç Transformatörleri
- 30-36 kV Orta Gerilim Kapalı Salt Panoları Ve Teçhizatı
- 66-380 kV'luk Şalt Sahası Tesisleri
- Röle Ve Kumanda Panoları
- İç İhtiyaç Transformatörü Ve 400 V Şalterler
- 400v AC, 24 V DC, 48 V DC, 110 V DC Panolar
- Dizel Jeneratör Panosu



*Şekil-4.7 Türbin-jeneratör grupları*

**Türbin Çeşitleri:**

**- Su debilerine göre:**

- Orta Düşümlü ve Orta debili Francisler Türbinler
- Büyük Su Debili ve Küçük Düşümlerde Kaplan Türbinler
- Küçük Su Debilerde Çok Yüksek Su Düşülerinde Pelton Türbinler

**- Yatay/Düşey durumlarına göre:**

**Francis Türbinler**

- Yatay Eksenli
- Düşey Eksenli

**Kaplan Tipi Türbinler:**

- Rotor kanatları sabit olan pervane tipi
- Rotor kanatları ayarlanabilen tipleri

**Pelton Tipi Türbinler:**

- Yatay
- Düşey tipleri mevcuttur.

**- Michell Banki Tip Türbinler:**

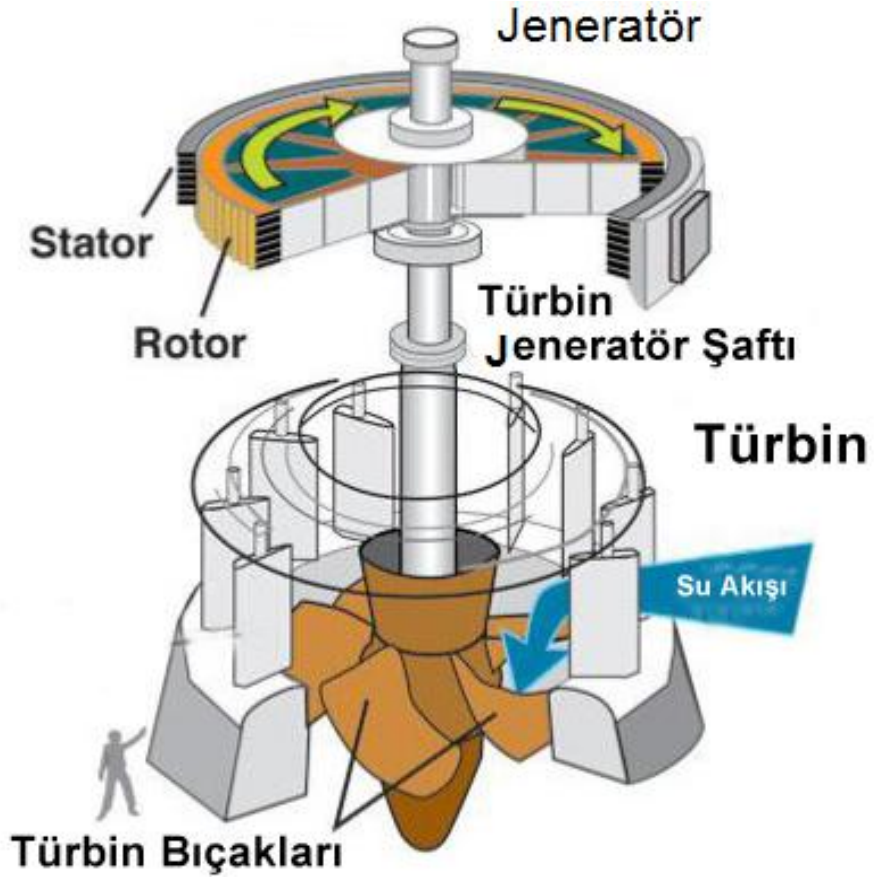
*Bu tip türbinlerin kullanım sahaları çok dar olup küçük güçlerde ve köylerin enterkonnekte sisteme bağlanmaksızın elektrikleşmesinde kullanılır.*



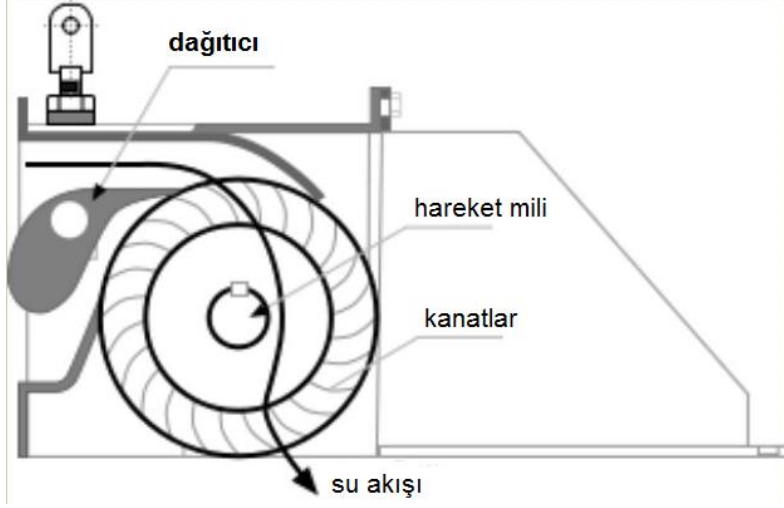
Şekil-4.8 Francis türbini



Şekil-4.9 Pelton türbini



Şekil-4.10 Kaplan türbini şeması



Şekil-4.11 Michell Banki tipi türbin

**- Santral Çıkış Suyu Kanalı:**

Türbinlerden çıkan suyun nehir yatağına intikalini sağlayan tesislerdir.

**- Şalt Tesisleri:**

Transformatörler, kesiciler, ayırıcılar, parafudrlar vs. gibi elektrik teçhizatının monte edildiği mahaldir.

**Depolamasız Bir Hidroelektrik Santralinin Bölümleri**

- Regülatör ve Çevirme Yapıları
- Çökeltim Havuzu
- İletim Kanalı
- İletim Tüneli
- Yükleme Havuzu
- Denge Bacası
- Vana Odası ve Teçhizatı
- Cebri Boru
- Santral Binası
- Türbin Giriş Vanaları
- Su Türbinleri
- Emme Borusu
- Jeneratörler



Şekil-4.9 Depolamasız hidroelektrik santral



### 3. Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (PHES)

Genel olarak termik santraller talep değişimlerine kolayca uyum sağlayamamaları nedeniyle baz yükte, hidroelektrik santraller ise kolayca işletilip durdurulabilen ve aynı zamanda kısa bir sürede tam kapasite yüke çıkışa uyum sağlayabilmeleri nedeni ile pik talebin karşılanmasında kullanılmaktadır. Pik talebin karşılanmasında rezervuarlı HES'lerin yetersiz kalması durumunda PHES'lere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu santraller genel olarak, güç talebinin düşük olduğu zamanlarda suyu yüksekte bir haznede depolamak ve bu şekilde biriktirilen sudan puant zamanlarda hidroelektrik enerji elde etmek amacıyla planlanmaktadır.

İlk pompaj depolamalı sistem kullanımı 1890'larda İtalya ve İsviçre'dedir. PHES'lerin dünyadaki durumuna bakıldığında; yaklaşık olarak 135000 MW'ın üzerinde kurulu güç ile 39 ülkede işletmededir. Bu ülkeler arasında 25000 MW'lık kurulu güç ile Japonya ilk sırada yer almaktadır. Bu güç Japonya'nın toplam kurulu gücünün yaklaşık %10'una karşılık gelmektedir. Çin'in PHES potansiyeli hızla artmakta ve yakın gelecekte dünya ülkeleri arasında ilk sırayı alması beklendiği ifade edilmektedir. Elektrik enerjisinin %99'unu hidrolik kaynaklardan elde eden Norveç'te yaklaşık 1300 MW kurulu güçte PHES işletmededir. Ülkemizin hidrolik kaynaklarının tamamının işletmeye alınmadığı gerekçesi ile PHES planlamalarına karşı çıkanların Norveç örneği dikkate alındığında bu görüşlerinin doğru olmadığı görülmektedir. Kaldı ki hidrolik kaynaklarımızın tamamen işletmeye alındığını kabul etsek bile bu potansiyel 2020 yılı itibari ile enerji ihtiyacımızın yaklaşık %30'unu karşılamaktadır. PHES'ler gelişmiş ülkelerin yanı sıra gelişmekte olan ülkelerde de planlanmakta ve işletmede olduklarını görüyoruz. Bu duruma en iyi örnek komşumuz İran'da şu sıralarda işletmeye girecek olan 1040 MW kurulu güçteki Siah Bishe PHES'dir.

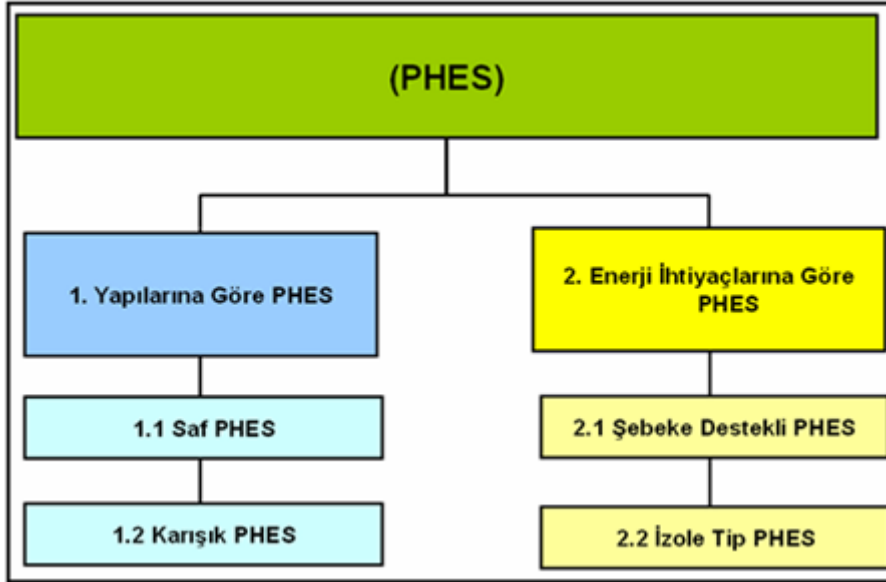


Genel olarak PHES'lerin dünyadaki yapılış amaçları; pik talebin karşılanması, güvenli bir güç kontrol sistemi tesis etmek, frekans kontrolü yapmak, rüzgar enerjisinin depolanmasını sağlamak, büyük kapasiteli santrallerin (termik, nükleer) devre dışı kalmaları durumunda yedek güç olarak planlanması, sulama suyu temin etmek, yeni teknolojilere sahip olmak olarak özetlemek mümkündür.

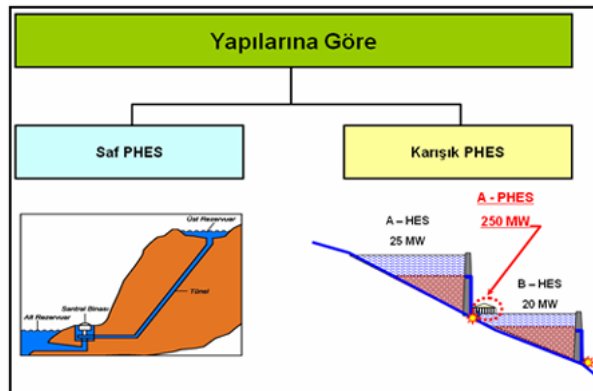
PHES'lerde uygulanan kriterlere bakıldığında, genel olarak iki kriterden bahsedilebilir. Bunlardan birincisi planlama ve projelendirme kriterleridir. Burada, PHES'in planlaması ve projelendirilmesinde, topografik, jeolojik, çevresel koşullar, termik ve nükleer santrallere, yük merkezlerine yakınlık-uzaklık ve ekonomik kriterlerin belirleyici olduğu görülmektedir. İkinci önemli kriter ise işletme kriterleridir. PHES'lerin işletme kriterleri depolamalı HES'lerin işletme kriterlerinden çok farklı değildir. Bunun yanı sıra PHES'lerden üretilen enerjinin fiyatlandırılmasında ekonomik bir ayrıcalığın verilmediği görülmektedir.

### **Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerden Faydalanılması**

Enerjiyi depolamanın bir yolu da sistemin güç talebinin düşük olduğunda suyu yüksekte bir haznede depolamak ve bu şekilde biriktirilen sudan puant zamanlarda hidroelektrik enerji elde etmektir. Pompaj depolamalı santraller hidrolik, termik ve rüzgar santrallerinden kurulu enterkonnekte sistemin günlük, haftalık veya sezonluk işletme şartlarını düzenlemekte olup, normal hidroelektrik santrallerde olduğu gibi nehir akımından etkilenmeyip talebin az olduğu ve enerji üretimine gerek olmadığı durumlarda durdurulabilir.



Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin dünyadaki durumuna bakıldığında mevcut maksimum toplam gücü 99.663 MW, planlanan toplam gücü 43.796 MW olan 40 ülkede 386 tesis bulunmaktadır.



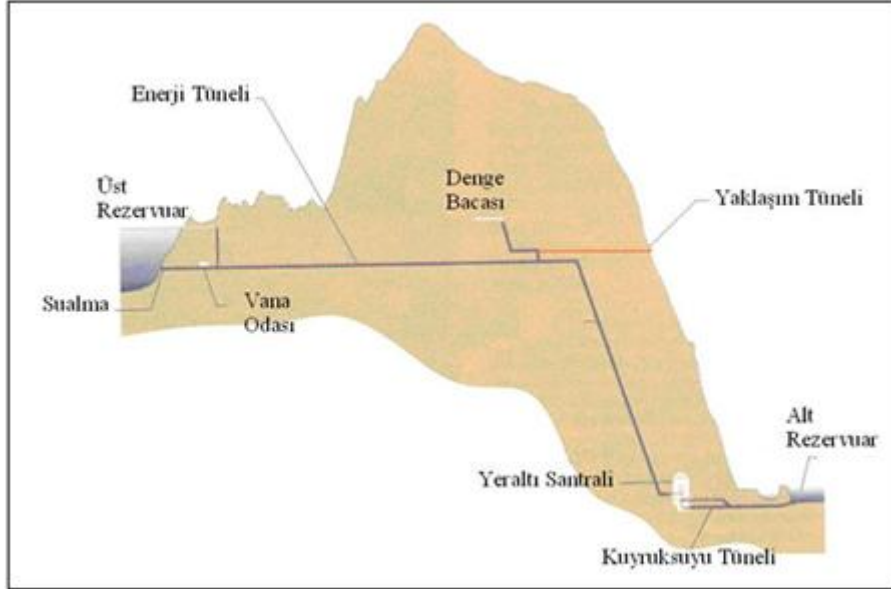
*Dünyadaki Pompaj Depolamalı HES'lerin Mevcut ve Planlanan Güçleri (2010)*

	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	Hırvatistan	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

Pompaj depolamalı HES'ler rezervuarlarının büyüklüğüne ve işletme politikasına göre günlük-haftalık veya sezonluk biriktirme yapabilmektedir. Günlük çevrimde, pik saatlerde üretimde kullanılan suyun tamamı aynı gün pik dışı saatlerde üst rezervuara pompalanır. Haftalık çevrimde ise, hafta içi günlerde pik saatlerde üretimde kullanılan suyun bir kısmı aynı gün pik dışı saatlerde üst rezervuara pompalanır, hafta içi günlerin sonunda tamamen boşalan üst rezervuar hafta sonu günlerinde (Cumartesi, Pazar) pik dışı saatlerde pompaj yapılarak tekrar doldurulur. Sezonluk biriktirmede ise nehir akımının ve enerjinin fazla olduğu dönemde su, üst rezervuara pompalanır ve akımın az olduğu dönemde üst rezervuarda depolanan sudan firm enerjisi arttırmak için enerji üretilir.

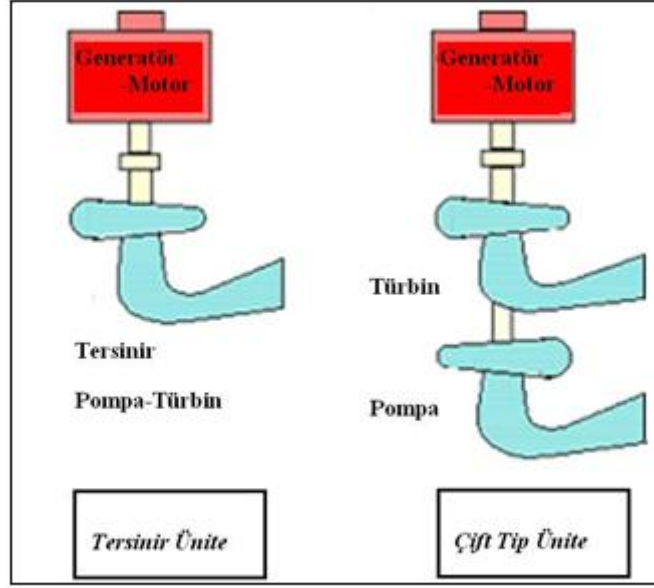
Pompaj depolamalı santralin alt ve üst olmak üzere iki rezervuarı olup, rezervuarlar inşa edilecek havuzlar dışında nehir, doğal göl, mevcut baraj rezervuarı veya deniz olabilir. İnşaa edilecek havuzların geçirimsizliği asfalt, beton veya geomembran gibi değişik malzemelerle sağlanabilmektedir.

Sualma yapısı üst rezervuarın yanında veya altında olacak şekilde yapılabilmektedir. Çoğunlukla yeraltı santralli pompaj depolamalı HES'lerde iletim yapısı olarak şaft ve enerji tüneli kullanılıp, santralle alt rezervuar arasındaki bağlantı da kuyruksuyu tüneli ile sağlanmaktadır. Olabilecek farklı kesit örnekleri aşağıda gösterilmiştir.



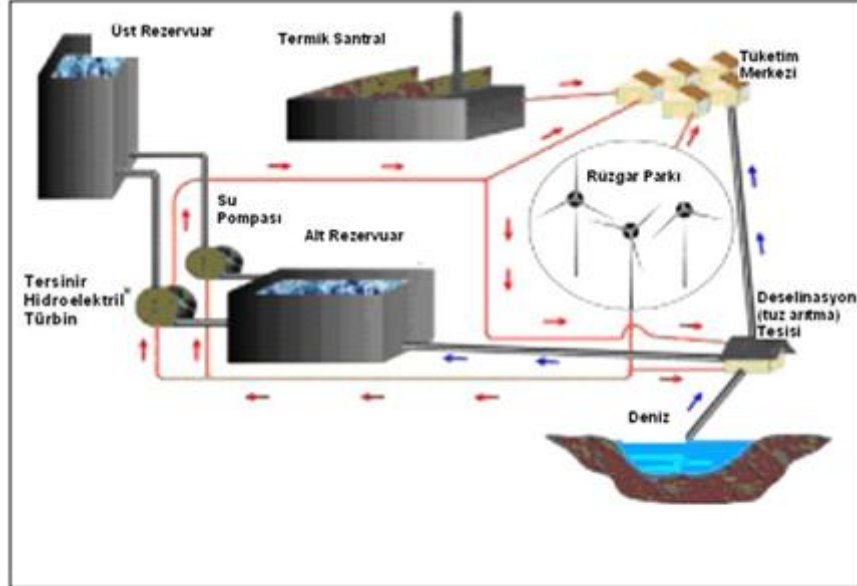
**Pompaj depolamalı HES Kesit Örnekleri**

Pompaj depolamalı HES'lerde pompa türbin ayrı ayrı kullanılabilceği gibi aynı tersinir türbinler de kullanılabilir. Tersinir türbin/jeneratör sisteminde türbin pompa gibi de çalışmaktadır (genellikle francis türbin).



**Tersinir ve Çift Tip Üniteler**

Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller yüke uyabilmede esneklik sağlama, yedek enerji tutabilme, güç faktörünü iyileştirme ve frekans regülasyonu yapabilme gibi avantajlar getirmektedir. Pompaj depolamalı santraller mevcut depolamalar ile birlikte kullanılabilirdiği gibi ada gibi ana karadan uzak yerleşim alanları içinde bir alternatif çözüm teşkil etmektedir. (Şekil 4) Pompaj depolamalı santrallerin da dahil olduğu hidroelektrik santraller fosil yakıtlı santrallerden gelen enerjinin daha az kullanılmasını sağlayarak küresel ısınma probleminin başı çektiği diğer bir çok çevre problemi için de çözüm teşkil edebilmektedir.



**Karadan Uzak Yerleşim Alanları İçin Elektrik ve Su Temin Sistemi Şematik Sunumu**

Pompaj depolamalı santraller pik güç talebini karşılamak üzere enerji ihtiyacının en fazla olduğu yerlerde planlanmaktadır. Böylece iletim hattı kısa ve yük kayıpları az olacaktır.

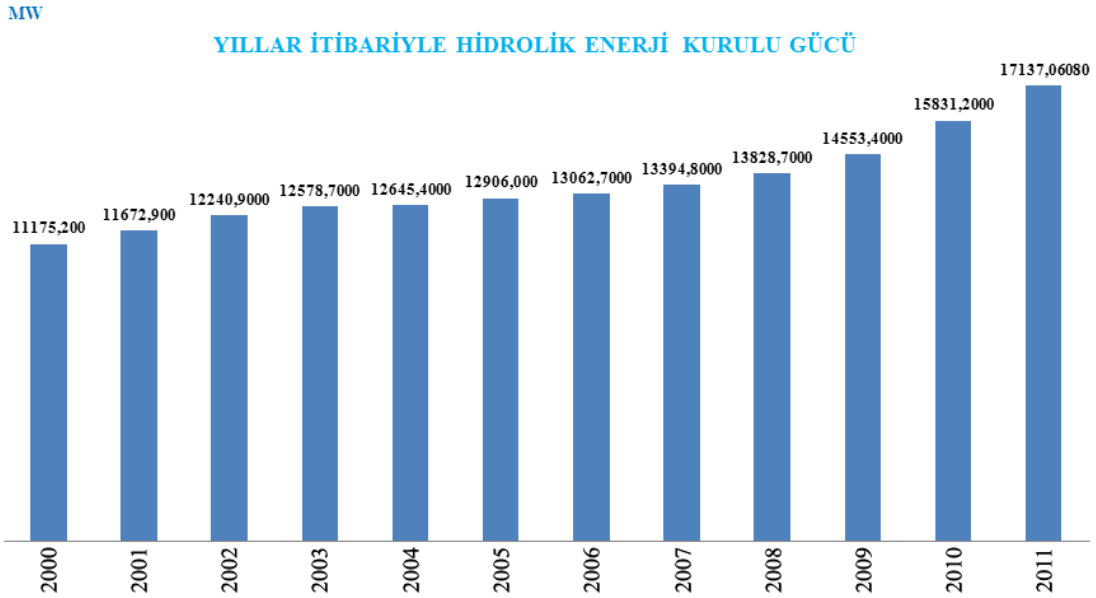
Ayrıca pompaj depolamalı santraller, yenilenebilir enerjinin yükselişe geçtiği günümüzde özellikle rüzgar santrallerinden üretilen enerjiyi de güvenilir hale getirmek amacıyla kullanılabilir. Bunun için rüzgar santrallerinden elde edilen enerjinin pompaj depolamalı bir tesis ile entegre edilerek daha avantajlı hale getirilmesi mümkündür.

Ülkemizin yaklaşık 48000 MW'lık rüzgar enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Buna rağmen rüzgardan elde edilen enerjinin güvenilir olmaması gibi bazı bilinen dezavantajları sebebiyle enterkonnekte sistemde kendine yer bulmakta zorluk çekmektedir. Rüzgarın da sisteme dahil edilmesi amacıyla pilot bir bölge seçilerek, rüzgar-pompaj depolamalı HES hibrit sistem fizibilite çalışmasına da başlanmıştır.

### Ülkemizdeki Çalışmalar

Türkiye'deki İlk PHES Çalışmaları da Mülga EİE Genel Müdürlüğü tarafından başlatılmıştır. Türk Hükümetinin Talebi üzerine Mülga EİE Genel Müdürlüğü Japonya Hükümetine Türkiye'deki Pik Talebin Karşılanmasında Pompaj Depolamalı HES'lerin Rolünü konu alacak bir Master Plan çalışması için teknik sağlanmıştır. Türkiye Pik Talebinin Karşılanması için Optimal Güç Üretimi (Study on Optimal Power Generation for Peak Demand in Turkey) Projesi 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 tamamlanmıştır. Çalışmada Türkiye için potansiyel pompaj depolamalı hidroelektrik santral yerleri talebin yoğun olduğu bölgeler, jeolojik, topografik ve çevresel kısıtları da içeren kriterler açısından araştırılmış ve yapılan kademeli eleme sonucunda alt rezervuarları Gökçekaya Barajı ve HES olan Gökçekaya Pompajlı HES (1400 MW) ve Altınkaya Pompajlı HES'in (1800 MW) kavramsal tasarımı yapılmıştır.

### YILLAR İTİBARIYLA KURULU GÜÇ



Kaynak: TEİAŞ

### KAYNAKLAR

<http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/hidrolik.aspx>