

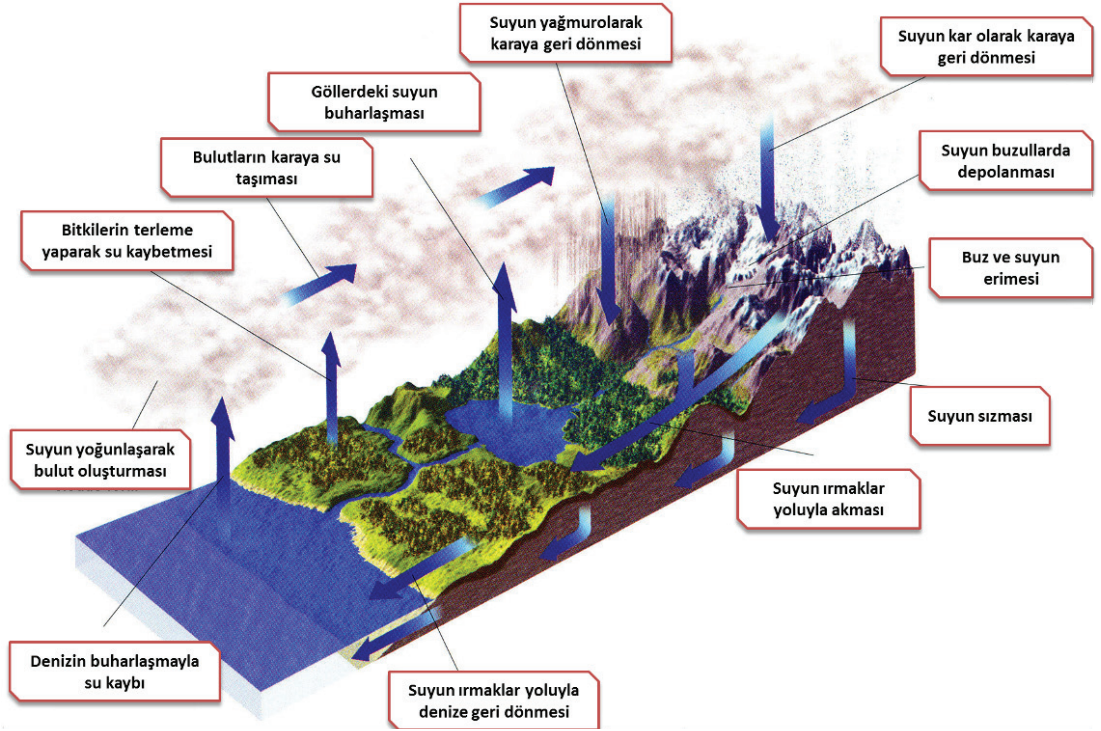
HİDROELEKTRİK SANTRALLARI

KONULAR

1. Hidroelektrik Santrallar ve Üstünlükleri
2. Barajdaki Enerjinin Hesabı
3. Hidroelektrik Santralların Üniteleri
4. Göl Santralları
5. Kaynak Santralları

2.1. HİDROELEKTRİK SANTRALLAR VE ÜSTÜNLÜKLERİ

Hemen hemen bütün enerji kaynakları, güneş ışınımının maddeler üzerindeki fiziksel ve kimyasal tesirinden meydana gelmektedir. Hidrolik enerji de güneş ışınımından dolayı olarak oluşan bir enerji kaynağıdır. Deniz, göl veya nehirlerdeki sular güneş enerjisi ile buharlaşmakta, oluşan su buharı rüzgârın etkisiyle de sürüklenerek dağların yamaçlarında yağmur veya kar hâlinde yeryüzüne ulaşmakta ve nehirleri beslemektedir. Böylelikle hidrolik enerji kendini sürekli yenileyen bir enerji kaynağı olmaktadır. Enerji üretimi ise suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanmaktadır.



Şekil 2.1 Hidrolik Çevirim

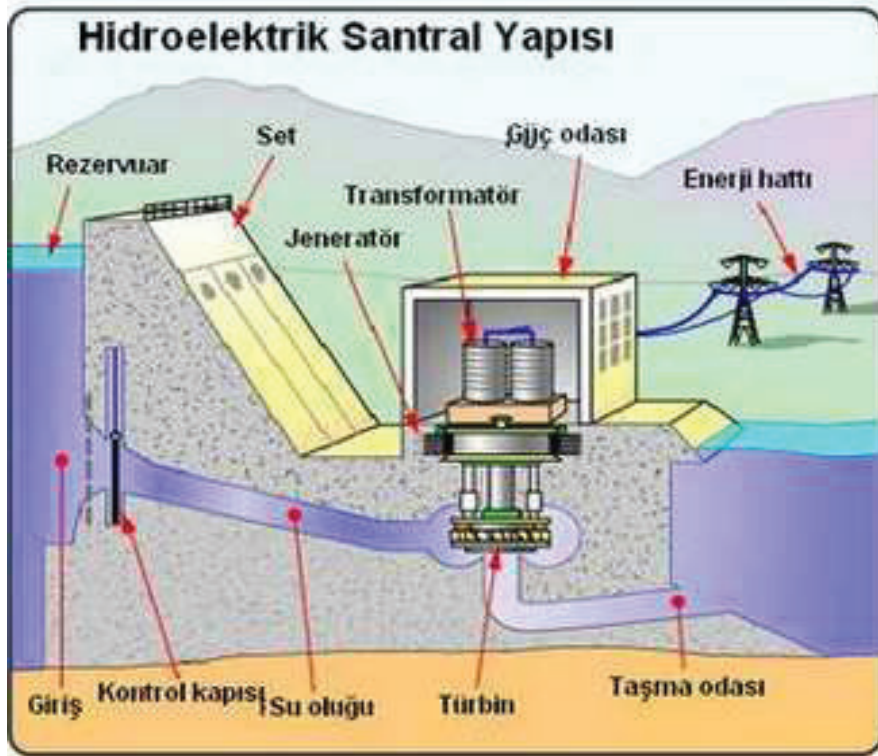
Ülkemizdeki mevcut yağış miktarları ve akarsuların durumu göz önüne alındığında bu enerji kaynağından güvenilir olarak tam kapasite ile yararlanma oranımız ancak % 65 civarındadır.

2.1.1. Hidroelektrik Enerji Kaynakları

Doğanın dengesini koruyabilmesi yenilebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmaktadır. Bu enerji kaynaklarından birisi de sudan yararlanılarak elde edilen ener-

jidir. Suyu enerji elde ettikten sonra diğer amaçlar için kullanmak mümkündür. Bu durum, suyun önemini bir kat daha artırmaktadır.

Çok sayıda barajın yapımı ile beyaz kömür denilen bu kaynak, 400 milyar kwh'lık bir potansiyele sahiptir. Bunun 103 milyar kadarının elektrik enerjisine çevrilebileceği hesaplanmaktadır.



Şekil 2.2 Hidroelektrik barajlardan enerji üretimi

Enerji Bakanlığı ve DSİ_ verilerine göre ülkemizin teknik, ekonomik, kullanılabilir hidroelektrik potansiyeli 125–130 milyar kilovatsaat/yıldır (125–130 Gigawatt-saat/yıl).

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi'nin yaptığı bir çalışmaya göre havza bazında yapılan yeni değerlendirmeler ve özellikle küçük hidroelektrik santrallerin yaratacağı potansiyel dikkate alındığında ülkemizin teknik, ekonomik, kullanılabilir hidroelektrik potansiyelinin 163–188 milyar kilovatsaat olduğu değerlendirilmektedir.

Hidroelektrikte yağışlara bağlı olarak üretim miktarı değişmekte, kuraklık döneminde üretim azalmaktadır. Termik santraller ile talebe cevap verilemediği zamanlarda ise hidrolik santrallerde kritik su seviyesi zorlanarak elektrik üretimi yapılabilmektedir. Nitekim 1999 ve 2000 yıllarında bu uygulama yapılmıştır.



Şekil 2.3 Ülkemizin hidroelektrik potansiyeli verileri

Hidroelektrik santraller ile elektrik üretimi, dünyada toplam elektrik üretimine yaklaşık % 23 oranında katkıda bulunmaktadır. Hidroelektrik santralleri ile enerji üretimi için uygun coğrafi koşulların sağlanması gerekmektedir. Günümüz koşullarında kullanılabilir hidroelektrik kapasitenin büyük bir bölümü hâli hazırda kullanılmaktadır. Hidroelektrik santralleri, temiz enerji kaynakları arasında değerlendirilmektedir. Hidroelektrik (HE) enerji projeleri esas olarak Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ)'nin uzmanlık alanındadır.

Ülkemiz yüksek debili akarsuların varlığı açısından hidroelektrik enerji kaynakları bakımından dünyada ilk sıralarda yer almaktadır. Dicle, Fırat, Kızılırmak, Seyhan, Ceyhan nehirleri üzerinde hidroelektrik amaçlı barajlarımız vardır. Bunların en önemlileri "Atatürk ve Karakaya Barajları"dır.

Hidroelektrik enerji kaynakları yönünden ülkemiz oldukça zengindir. Ülkemizin dağlık ve yüksek bir arazi yapısına sahip olması akarsuların dar ve derin vadiler oluşmasına neden olmuş, bu durum ise akarsu debilerinin oldukça yüksek olmasına zemin hazırlamıştır.

2.1.2. Hidroelektrik Enerjinin Ülkemizde Kullanılma Şekilleri

Türkiye'nin yağış rejimi zaman ve yer bakımından oldukça düzensiz ve dengesizdir. Meteorolojik koşullara bağlı olarak her yıl önemli ölçüde değişim gösterme niteliğine sahiptir. Bu durumda hidroelektrik üretimin de yıllara göre farklılıklar

göstermesi kaçınılmazdır. Uzun yılları kapsayan meteorolojik gözlemlere göre yılda ortalama 643 mm olan yağışlar, 501 milyar m³ suya karşılık gelmektedir. Bu ortalama değerin ancak 186 m³ ünün çeşitli büyüklükteki akarsular aracılığı ile denizlere ve kapalı havzalardaki göllere doğru akışa geçtiği kabul edilmektedir. Akarsuların düzenlenmesi ve maksimum faydanın sağlanabilmesi için bugünkü etütlere göre 702 adet barajın inşa edilmesi gerekmektedir.

Topoğrafyası ve morfolojik yapısı göz önüne alındığında ülkemiz hem düşü hem de debi açısından şanslı sayılabilecek ülkeler arasında yer almaktadır. Ülkemizde yıllık yağışlar 200–2500 mm arasında değişmekte olup ortalama yağış

(aritmetik) 642,6 mm'dir. Bu yıllık ortalama 501 milyar m³ yağış miktarına karşılık gelir ve yılda ülkemiz yüzeyine düşen bu miktar suyun yaklaşık 186 milyar m³ lük kısmı akış hâline geçer. Akarsularımızın rejimlerini kontrol altına almak, dolayısıyla taşkın zararlarını önlemek ve depolanan sulardan içme suyu, sulama yararları sağlamak ve enerji elde etmek

amacıyla bugüne kadar birçok baraj ve hidroelektrik santralleri yapılmıştır. Barajların tamamlanması ile ülkemizde 7.254.454 ha arazinin sulanması, 704868 ha arazinin taşkından korunması, 130.326 ha arazinin kurutulması, 9 856,3 hm³ suyun içme suyu olarak şehir ve

kasabalara iletilmesi, 34.728.7 MW toplam güçte yapılacak 485 adet hidroelektrik santral vasıtasıyla 123.040GWh enerji üretilmesi yapılan etütlere göre mümkün görülmektedir. Mevcut hidroelektrik enerji üretim kapasitesinin yüzde 75'i Keban, Karakaya, Atatürk, Altınkaya, Hasan Uğurlu ve Oymapınar Barajlarından sağlanmaktadır.

Hidro gücün ekonomik olarak işletilebilir potansiyelinin hâlen 1/3'ü kullanılarak dünya elektrik üretiminin % 17'si karşılanmaktadır. Hidroelektrik santraller ile elektrik üretimi, dünyada toplam elektrik üretimine yaklaşık % 23 oranında katkıda bulunmaktadır.

Hidroelektrik santrallerin çevre ile etkileşimi incelenecek olursa hidro projeler, sera gazları, SO₂ ve partikül emisyonlarının olmaması avantajına sahiptir. Barajların arazi kullanımında yarattığı değişiklikler, insanların topraklarını boşaltması, flora ve fauna üzerine etkileri, dibe çökme ile baraj alanının dolması ve su kullanım kalitesi üzerinde etkileri vardır. Büyük su rezervuarlarının oluşması nedeni ile ortaya çıkan toprak kaybı sonucu doğal ve jeolojik dengenin bozulabilmesi olasılığı vardır. Bu rezervuarlarda oluşan bataklıklar da metan gazı oluşumu için uygun bir ortam teşkil eder.

Hidroelektrik santrallerinin yapımı çok pahalıdır. Buna karşın elektrik enerji üretiminin kolay ve ucuz olması yüzünden en çok tercih edilen santrallerdir. Ülkemizin bol yağış alan iklimi ve akarsularının bolluğu nedeniyle birçok baraj yapılmış ve hidroelektrik santralleri kurulmuştur.

Hidroelektrik santrallerden bazıları

Atatürk barajı: Şanlıurfa ve Adıyaman illeri arasında Fırat Nehri üzerinde kurulu olup enerji ve sulama amacıyla kurulmuştur. 2400 MW gücüyle yıllık 8900 GWh elektrik üretim kapasitesine sahiptir.



Resim 2.1 Atatürk barajı ve hidroelektrik santrali

Karakaya barajı: Diyarbakır ili Çüngüş ilçesi sınırları içinde, Fırat Nehri üzerinde, Güneydoğu Anadolu Projesi'nin bir parçası olarak elektrik enerjisi üretimi amacıyla kurulmuştur.



Resim2.2 Karakaya barajı ve hidroelektrik santrali

Hirfanlı barajı: Kırşehir ilinde, Kırşehir ile Şereflikoçhisar arasında, Kızılırmak üzerinde inşa edilmiş, enerji üretimi ve taşkın kontrolü amacıyla kurulmuş bir barajdır.



Resim 2.3 Hirfanlı barajı ve hidroelektrik santrali

Oymapınar barajı: Antalya'da, Manavgat nehri üzerinde, elektrik enerjisi üretimi amacı ile inşa edilmiş bir barajdır.



Resim 2.4 Oymapınar barajı ve hidroelektrik santrali

2.1.3. Hidroelektrik Enerji Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları

Büyük su gücü potansiyeline sahip ülkemizde su gücünden çoğunlukla baraj hazneli santrallerle yararlanılmaktadır.

2.1.3.1. Hidroelektrik enerjinin avantajları

- Çevre kirliliği yaratmaz. Kullanımı sırasında gaz, kül gibi zararlı atıklar oluşturmamaktadır.
- Pik enerji ihtiyacında çok hızlı devreye girdiğinden hemen enerji üretmek mümkündür.
- Acil durumlarda su akışı kesilince hızla devreden çıkarılarak tehlike önlenmiş olur.
- Doğal kaynaklar kullanıldığı için dışa bağımlı değildir.
- Yapılan yatırım sadece enerji için değil tarım alanında sulama, içme suyu ve taşkın amaçlı olarak da kullanılmaktadır.

2.1.3.2. Hidroelektrik enerjinin dezavantajları

• Fiziksel çevreye etkileri

Haznelerin su geliştirme projelerinin çoğu ekosistemde değişikliğe yol açmaktadır. Bu değişikliklerin başlıcaları akarsu akış düzeninin değişmesi, baraj haznelerinin büyük alanları su altında bırakması ve yer altı seviyesinin yükselmesi gibi sakıncalardır. Baraj haznelerinin kapladığı büyük alanlar tarihi yapıların, tarım arazilerinin ve fiziki güzelliklerin bir daha geri gelmeyecek şekilde yok olmasına neden olmaktadır.

• Biyolojik çevreye etkileri

Sulama amacını da içeren geliştirme projelerinin en önemli sonucu, su kaynaklı hastalıkların yaygınlaşmasıdır. Sulama sistemleri, parazitler ve humma, ciğer trematodu, sıtma gibi hastalıklar yapan canlılar için uygun bir ortam oluşturmakta ve bu yüzden canlılar hastalıklardan etkilenmektedir.

Bazı durumlarda sulama amacıyla uygulanan su geliştirme projeleri, toplam besin maddesi üretimini azaltacak sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunlar, tuzluluk ve alkaliner yüzünden toprak veriminin azalması sonunda da verimli arazinin kaybı olmaktadır.

• Sosyal çevreye etkileri

Su geliştirme projelerinin sosyal etkileri doğrudan ya da fiziksel ve biyolojik etkiler sonucu dolaylı olabilmektedir. Bu etkilerin bir kısmı olumlu bir kısmı da olumsuzdur. Su geliştirme projelerinin çoğunda özellikle bölgede otu-

ranlar yerleşim yerlerini boşaltma açısından sorun teşkil etmektedir. Yerleşim yerlerindeki bu değişiklik farklı örf, adet, dil, din, sosyal değer ve kültürleri olan bu insanları olumsuz yönde etkileyerek sosyal bazı sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır

2.2. BARAJDAKİ ENERJİNİN HESABI

Bir hidroelektrik santralin kuruluş gücü ve üretilebilecek enerji planlaması ile tesis ve işletme masrafları , o santralde üretilebilecek olan güvenilir enerji miktarına ve çekilecek enerji miktarına göre hesaplanır.

Termik santrallerin kurulması için yapılan planlama çalışmalarında, sadece santralin besleyeceği ulusal elektrik şebekesinin EB enerji ihtiyacı (çekeceği enerji miktarı) göz önüne alınır.

Buna karşılık hidroelektrik santrallerin kurulması için yapılan planlama çalışmalarına ise, sadece ulusal elektrik şebekesinin EB enerji ihtiyacı değil, aynı zamanda santralin kurak yıllarda üretebileceği ED enerji miktarı da temel teşkil eder . Bundan dolayı bir hidroelektrik santralında üretilecek olan enerjinin mal oluş fiyatları, santralin her halükarda üretebileceği ED güvenilir enerji miktarına göre hesaplanır.

Barajlarda üretilen enerjinin hesabı en temel fizik formüllerinden biri olan;

$\dot{I}ş = \text{Kuvvet} \times \text{Yol}$ eşitliğinden faydalanılarak yapılır. Burada kuvvet suyun düşümü ile sağlanır, yol ise suyun düşüş yüksekliğidir. Bilindiği gibi bu yükseklikler hidroelektrik santrallerde, 3 metreden 1800 metreye kadar olabilmektedir.

Bir barajın hacmi (V).....m³ olarak alındığında,

Suyun düşme yüksekliği(h)..... m olarak alındığında.

Bu barajda ;

$h \cdot V \cdot 10^3 = 1000 \cdot h \cdot V$ 'lik bir enerjinin varlığından söz edilebilir.

Bir kilovat.saat (1KWh), kilogram.metre cinsinden yazılacak olursa ;

1 kWh = 367000 Kgm eşitliği bilindiğine göre, bulunan bu enerji (T), kWh cinsinden yazılacak olursa;

$$T = \frac{h \cdot V \cdot 1000}{367000} = \frac{h \cdot V}{367} \text{ (kWh) olur.}$$

Bir barajdan saniyede düşen su miktarı (Q).....m³/sn olarak alındığında.

Suyun düşüş yüksekliği.....m olarak alındığında.

Bu barajdaki güç potansiyeli (P) ;

$P = Q.h$ (Ton.metre /sn) dir.

Barajdaki güç potansiyelini (kilogram.metre/sn) cinsinden yazacak olursak;

$P = 1000.Q.h$ (kilogram.metre/sn) olur.

75 kgm = 0,736 kW eşitliği bilindiğine göre;

$$P = \frac{1000.Q.h}{75} = 0,736(kW) \text{ yazılabilir.}$$

hesaplamalar yapıldığında ;

$P = 9,8 . Q . H$ kW bulunur.

Bilindiği gibi bütün türbinler ve jeneratörlerde kayıplar bulunmaktadır. Bu nedenle bulunan güç formülüne verimlerin de eklenmesi gerekir.

Bu verimler ;

$\eta_{\text{tür}}$: Türbin verimi,

η_{gen} : Jeneratör verimi dir

Türbinlerin enerji kayıpları (E_k), türbine verilen enerji de (E) ile gösterilecek olursa, türbin

verimi ($\eta_{\text{tür}}$) ;

$$\eta_{\text{tür}} = (E - E_k) / E$$

formülü ile hesaplanır.

Türbindeki kayıplar büyük ölçüde türbinin yüklenmesine bağlıdır. Aynı zamanda türbinin büyüklüğü, yaşı, türbinin eksik bakımı gibi faktörler de etkilidir.

Bu kayıplar hesap yoluyla kesin olarak tespit edilemez. Yapılan enerji hesaplarında mevcut araştırma sonuçları esas alınır. Bu sonuçlar , direkt veya endirekt olarak model deneylerinden elde edilir.

2.3. HİDROELEKTRİK SANTRALLARIN ÜNİTELERİ

2.3.1. Önemli Üniteleri ve görevleri:

a- Baraj

g- Vanalar

b- Baraj gölü

h- Türbinler

c- Su giriş ağızı

i- Alternatör

d- Denge bacası

j- Trafolar

e- Cebrî borular

k- Şalt sahası

f- Savaklar

2.3.1.1 Baraj

Baraj, suyun biriktirilmesi için gerekli hazneyi, meydana getirmek amacıyla akarsu yatağında yapılan bir kabartma tesisidir. Barajlar yapı malzemelerine göre; dolgu barajlar ve kâgir barajlar olarak iki gruba ayrılır.

- **Toprak ve kaya dolgu barajları**

Dolgu barajlarda esas bent toprak veya kaya dolgu olmakta; sızdırmazlık çoğunlukla kil, çakıl, ender olarakta beton, asfalt perde ile sağlanmaktadır. Toprak dolgu barajlarına örnek olarak Demirköprü, Aslantaş, Kesikköprü ve Tercan barajları verilebilir. Kaya dolgu barajlara örnek olarak da Hirfanlı, Atatürk, Hasan Uğurlu ve Adıgüzel barajları verilebilir.

- **Beton (kâgir) barajları**

- **Ağırlık barajları**

Su yüzeyi düz, diğer yüzeyi eğik ağırlık barajlarıdır. Ağırlık barajları genellikle plânda düz, bazen de hafif kemer bileşiminde yapılmaktadır. Beton ağırlık barajlarına örnek olarak Keban, Sarıyar ve Kemer barajları verilebilir.

- **Payandalı barajları**

Alttan taban suyu basıncını azaltmak, beton tasarrufu sağlamak amacıyla geliştirilen baraj çeşididir. Beton miktarı, düşey boşluklu tiplerde % 90, sürekli kemerli tiplerde %80, düz döşemeli tiplerde %70 seviyesinde azalmaktadır. Elmalı II. Barajı payandalı baraj tipine örnek olarak verilebilir.

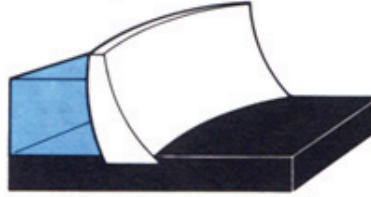
- **Kemer barajları**

Dar U, özellikle V biçiminde vadilerde, yamaçlar dayanıklı olduğu takdirde, tek açıklıklı kemer barajlarda çok narin kesitler uygulamak ve beton miktarını ağırlık barajının %25'i seviyesinde tutmak mümkündür. Beton kemer barajlara örnek olarak Gökçekaya, Oymapınar, Karakaya, Sır ve Gezende barajları verilebilir.

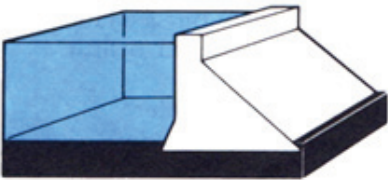
toprak ve kaya dolgu baraj



kemer baraj



ağırlık barajı



payandalı baraj



Şekil 2.4 Hidroelektrik santrallerde uygulanan baraj çeşitleri

2.3.1.2. Baraj gölü

İnsanlar sudan yararlanmak veya zararlarından korunmak amacıyla baraj gölleri inşa etmektedir. Bir baraj gölü aşağıdaki alanlardan birine veya birden fazlasına hizmet etmek amacıyla meydana getirilir:

- İçme ve kullanma suyu temini
- Sulama suyu temini
- Kurutma
- Taşkın kontrolü
- Elektrik enerjisi üretimi
- Akarsu ulaşımı
- Balıkçılık

2.3.1.3. Su giriş ağızı

Barajın uygun bir yerinde su giriş ağızı yapılır. Su giriş ağızına suyun üzerinde yüzen ağaç parçası, buz ve benzeri cisimlerin cebrî borulara girmesini engelleyecek şekilde süzgeçler yapılır. Su giriş ağızında kapaklar, vinç sistemiyle açılıp kapatılır.

2.3.1.4. Cebrî borular

Kuvvet santrallerinde; su giriş ağızı, denge bacası ve türbini birleştiren borula-

ra cebrî borular denir. Her üniteye ayrı ayrı cebrî boru tesis edilir. Hidroelektrik santrallerinde iki tür cebrî boru kullanılmaktadır.

- **Çelik cebrî borular**

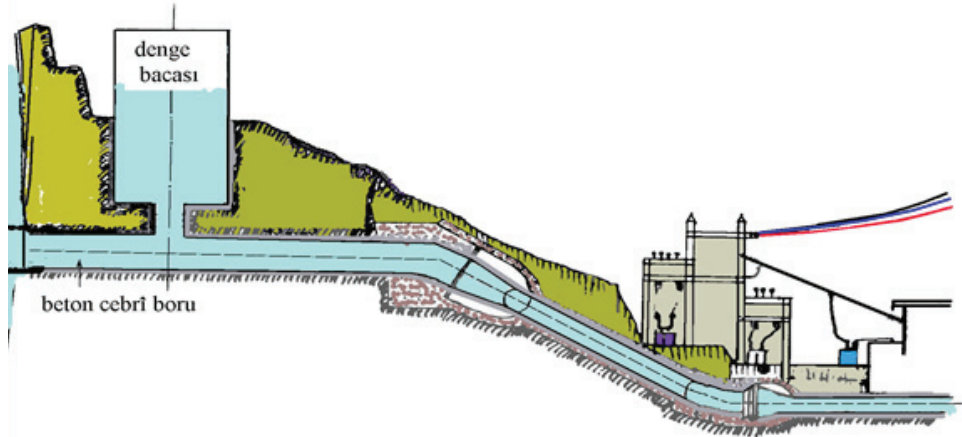
Çelik borular küçük çaplarda, genellikle 1,5 m'ye kadar dikişsiz olarak üretimi yapılmakta, büyük çaplarda ise kaynaklı veya perçinlidir. Sarıyar Hidroelektrik Santrali'nin cebrî boru çapı 8 m'dir. Kelebek valflere yaklaştıkça boru çapı daralmaktadır. Cebrî borularda kullanılan perçinli boruların sac kalınlığı 40 mm, kaynaklı borularda 60-80 mm olmaktadır.

- **Betonarme cebrî boru**

Betonarme cebrî borular kuvvet türbininin yüzeyde devamı niteliğindeki kısımlarda uygulama alanı bulmakta; alçak basınçlarda normal betonarme, orta basınçlarda ön gerilmeli betonarme borular kullanılmaktadır.

2.3.1.5. Denge bacası

Baraj gölünde, su giriş ağız ile türbini birleştiren cebrî borular üzerinde bulunur. Türbinlere giden suyun başlangıçta azar azar verilmesinde ve kesilmesinde cebrî boruları aşırı basınçlardan korur. Denge bacası, suyun kesilmesinde, aşırı basınç değerini azaltır. Türbinlerin ani yüklenmesinde gerekli suyu temin eder. Ayrıca hava bacası görevini yüklenmek gibi amaçlara da hizmet eder.



Şekil 2.5 Sarıyar Hidroelektrik Santrali denge bacası ve cebrî boru boyuna kesiti

Ani kapanma da cebrî borudaki suyun ataleti dolayısıyla meydana gelen aşırı basınç dalgalanmalarını önler. Denge bacasının sağladığı serbest su yüzeyi ile cebrî boruyu tehlikeli basınç değişmesine karşı korur.

Denge bacasındaki su normal seviyede iken, suyun ani açılması sırasında kuvvet tüneline su akışı yeterli hızı alana kadar denge bacasındaki su cebrî boruya gider. Bu durumda denge bacasındaki seviye alçalır. Kuvvet tüneline gereğinden fazla akan suyun tamamı türbinden geçemediğinden denge bacasında seviye yükselir. Sürtünmenin etkisiyle salınımlar sönümlenerek bir süre devam eder.

Denge bacaları yapılaş şekillerine göre şu şekilde sınıflandırılır:

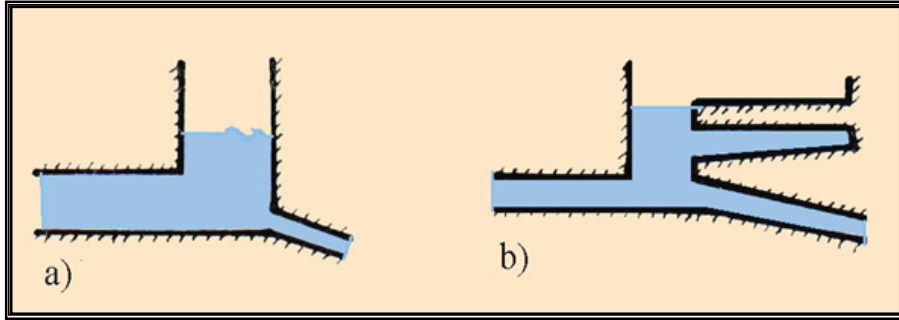
- Kuyu biçimli denge bacaları
- Yan hücreli denge bacası
- Boğumlu denge bacası
- Diferansiyel denge bacası

• **Kuyu biçimli denge bacaları:**

En basit fakat en büyük yer kaplayan denge bacası çeşididir.

• **Yan hücreli denge bacası**

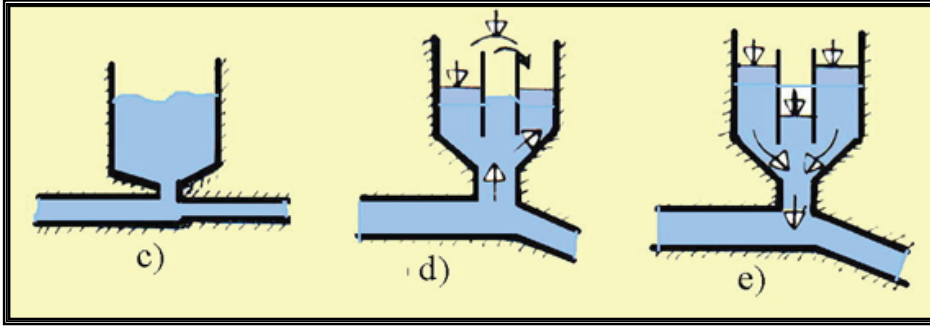
Üst hücresi yüksekliğini azaltır. Alt hücre ise açılmada gerekli suyu temin eder. Netice itibarıyla suyun seviye farkının değişmesini sağlar.



Şekil 2.6 a) Kuyu biçimli denge bacası b) Yan hücreli denge bacası

• **Boğumlu denge bacası**

Tünel ve cebrî boru geçidindeki çevrintileri azaltıcı bir denge bacası çeşididir.



Şekil 2.7 c) Boğumlu denge bacası d) Diferansiyel (yükseltici) e) Diferansiyel (alçaltıcı) denge bacası

- **Diferansiyel denge bacası**

Yandaki kısımlar su biriktirme görevini yerine getirir. Ortadaki dar olan kısım ise hızlı seviye değişimine cevap verebilen denge bacası türüdür.

2.3.1.6. Savaklar

Baraj gölünde suyun belli bir seviyeden fazla yükselmesini önlemek amacıyla tertiplenir. Savaklar baraj gölünde kullanıldıkları yere göre iki şekilde sınıflandırılır.

Dolu savaklar: Elektrik enerjisi üretmek amacı ile yapılan barajlarda biriken fazla suyu doğal yatağına doğru akıtmaya yarayan yapılardır. Böylece esas baraj gölünü aşırı ve düzensiz su yükselmesinden korur.

Dip savaklar: Beton barajlarda çoğunlukla uygulanan türdür. Giriş ağzı yuvarlatılmış, çıkışta ise enerji kırıcı bir tesis tertiplenmiştir. Örnek olarak Oymapınar Barajı'nın gövdesinde iki adet, her biri 250 m³/sn debi geçiren, 3 m çaplı dip savakları verilebilir.

2.3.1.7. Vanalar (valfler)

- **Düz sürme vana ve gözlü sürme vana**

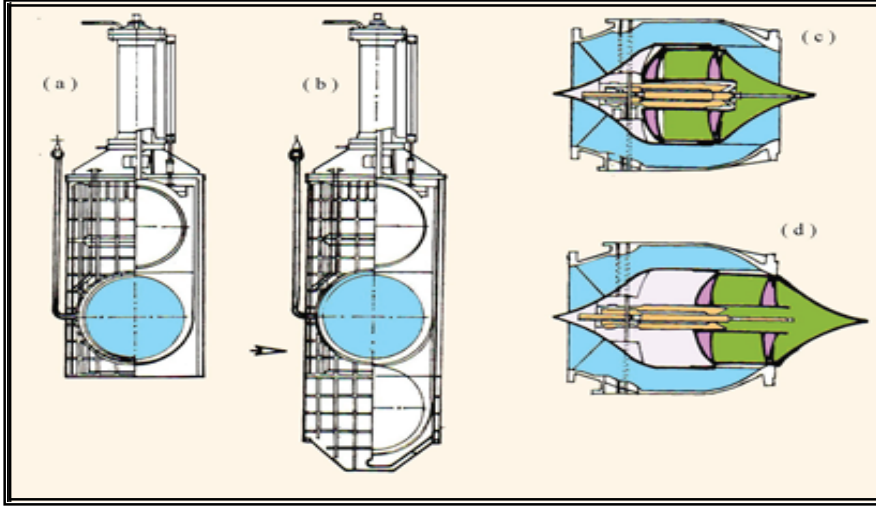
Su akışını kesici vana çeşididir. Tam açıklık veya tam kapalı duracakları yerlere göre monte edilirler.

- **İğne vana ve tüp vana**

Suyun debisini düzenleme yeteneğine sahip vana çeşididir.

- **Koni vana**

Howell- Bunger veya boşluklu jet vanası olarak bilinen bu vana suyun debisini de düzenleyerek enerji kırılmasında uygulanır.



Şekil 2.8 (a) düz ve (b) gözlü sürme vana kesiti, (c) açık ve (d) kapalı iğne ve tüp vana kesiti

- **Kelebek vana**

Esas olarak suyu kesici nitelikte bir vana olmakla birlikte alçak basınçlarda su miktarını düzenlemede kullanılır.

- **Küresel vana**

Türbin girişinde suyu kesici vana olarak kullanılır.

2.3.1.8. Türbinler

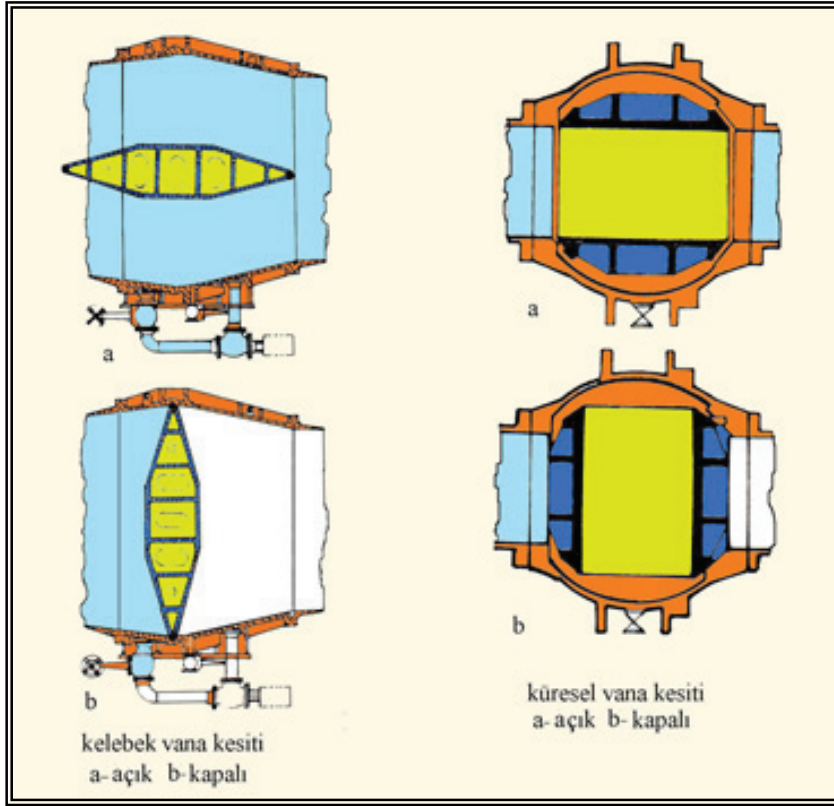
Baraj gölünde birikmiş olan yüksek seviyede debisi ve potansiyel enerjisi bulunan su, cebrî borular vasıtası ile yüksek bir su düşüsü elde edilerek türbin kanatlarına veya çarklarına verilir. Türbinde suyun kinetik enerjisinden meydana gelen mekanik dönme enerjisi, türbine akuple olan alternatörde elektrik enerjisine çevrilmiş olur.

Debi: Su iletilen bir borudan veya nehirlerin belirli bir yerinden saniyede akan su miktarıdır. m^3/sn olarak ifade edilir.

Düşü: Baraj gölünde birikmiş olan suyun üst seviyesi ile türbin çıkışındaki yükseklik arasındaki farka geometrik düşü denir.

Baraj gölündeki su alma ağız ile türbinden çıkan su arasındaki yükseklik farkına faydalı düşü denir.

Hidroelektrik santrallerinde baraj gölündeki su yüzeyi ile su alma ağız arasındaki yüksekliğe net düşü denir.



Şekil 2.9 a) Kelebek vana b) Küresel vana

Günümüzde akarsular üzerinden ve baraj göllerinden birkaç metreden 1800 metreye kadar oluşan, faydalı düşümler sağlanmaktadır.

Bu duruma göre su düşümleri üç gruba ayrılır:

Alçak düşümler: 40-50 m'ye kadar olan su düşümleridir. Kaplan türbinleri alçak düşümlerde kullanılır.

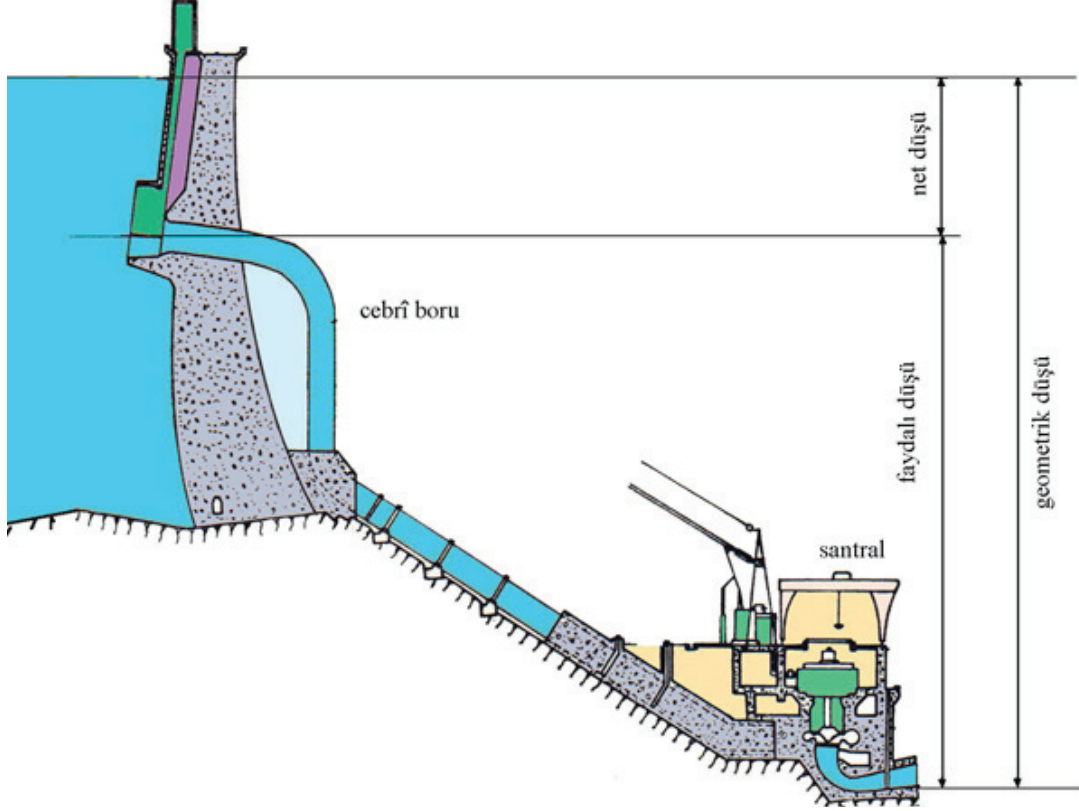
Orta düşümler: 50-300 m'ye kadar olan su düşümleridir. Francis türbinleri orta düşümlerde kullanılır.

Yüksek düşümler: 300 m'den fazla olan su düşümleridir. Pelton türbinleri yüksek düşümlerde kullanılır.

Bir hidroelektrik santralinde kullanılan türbin tipinin belirlenmesinde, türbini döndürecek olan suyun basıncı ile debisi etkili olur. Bütün türbinlerde duran kısma salyangoz, dönen kısma ise rotor denir. Günümüz hidroelektrik santrallerinde kullanılan üç çeşit türbin vardır:

- Kaplan türbini

- Francis türbini
- Pelton türbini



Şekil 2.10 Geometrik, faydalı ve net düşünün baraj üzerinde gösterilişi

- **Kaplan türbini**

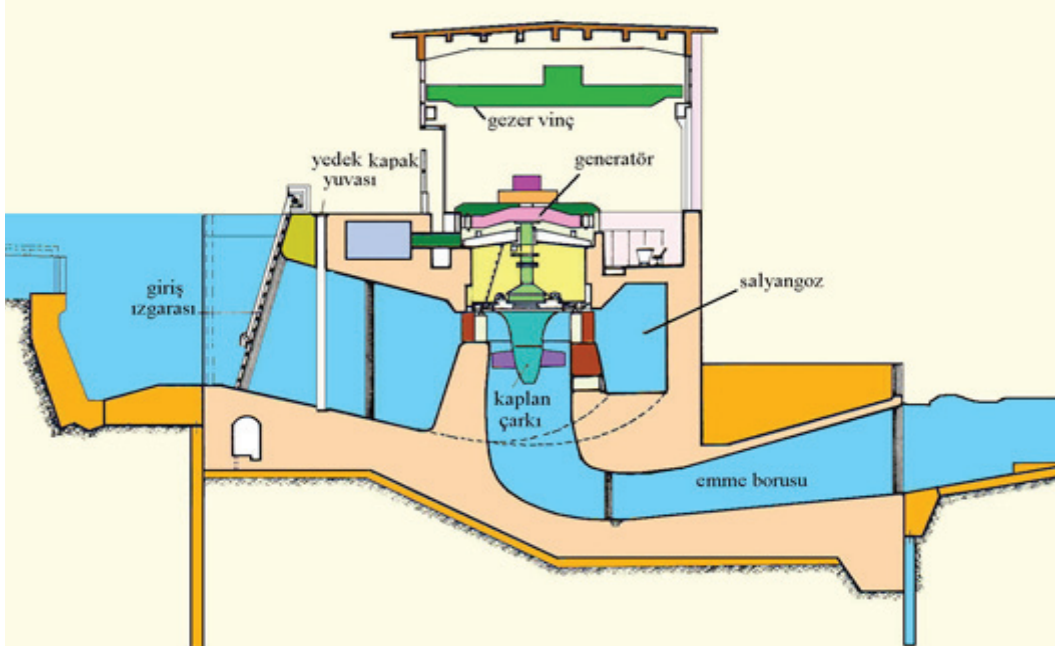
Suyun aksel akışla çarkı çevirmesi esasına dayanır, küçük düşüler ve büyük debilerde kullanılan türbinlerdir. Aynı düşü ve debi değerleri için türbine daha büyük bir hız sağlar. Bu nedenle türbin ve alternatör boyutları küçülür. Kaplan türbinlerinin devirleri 300-1000 d/dk arasındadır. Ülkemizdeki Yüreğir Hidroelektrik Santrali'nin türbini kaplan türbinidir.

Kaplan türbinlerinin çarkında 3 ile 8 pala bulunur. Bu palalı çarklarda palalar ters çevrilerek türbinin aşırı hızda dönmesi önlenir. Palaları sabit olan çarkların kullanıldığı türbinlere uskur türbinler denir.



Resim 2.5 Kaplan türbini kesiti

Büyük santrallerde sabit yükte çalışabilecek üniteleri uskurlu, değişken yük-
le çalışacak olanları kaplan çarklı olarak tertiplenir.

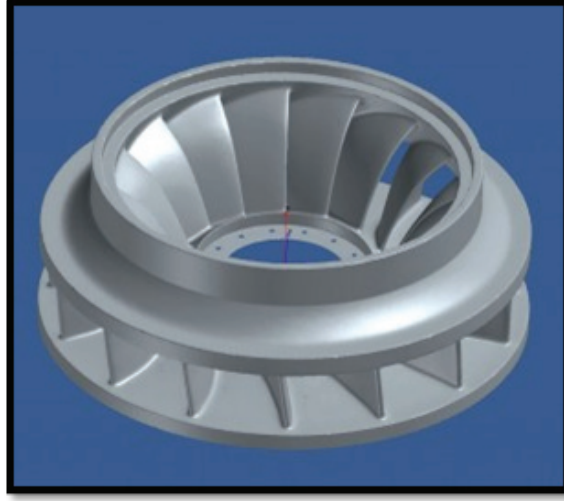


Şekil 2.11 Kaplan türbini kesiti

- **Francis (fransis) türbini**

Eğri çark kanatları sayesinde suyun radyal olarak girdiği ve aksel olarak çıktığı türbinlerdir. Genellikle 300 m'ye kadar su düşülerinde kullanılır. Francis türbinlerinde su girişi cebri borudan türbine geçişte kelebek vana kullanılır. Vana oldukça yüksek basınç altında bulunacağından açış kolaylığı için by-pass sistemi bulunmalıdır.

Francis türbinlerinin devirleri 65-300 d/dk arasındadır. Gökçekaya, Hirfanlı ve Sarıyar Hidroelektrik Santrallerinin türbinleri francis tipi türbindir.



Şekil 2.12 Francis türbinin fotoğrafı ve şekli

- **Pelton türbini**

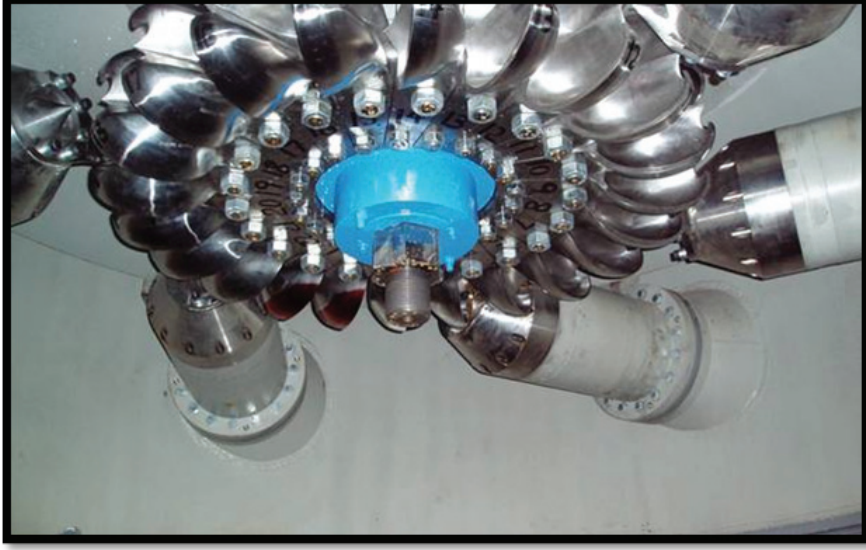
Pelton türbinleri hız çarklarından çıkan suyun çark kepçelerine çarparak yaptığı etki ile çarkın dönmesinin sağlandığı türbinlerdir. Pelton türbinlerinin özgül hızları küçük olup francis türbinlerine oranla yüksek düşülerde kullanılmaya elverişlidir. Buna karşılık debileri küçüktür.

Pelton türbinleri genellikle büyük güçlerde düşey, küçük güçlerde yatay eksenli olarak tertiplenmektedir. Dakikada 32 devire kadar dönebilir.

Pelton türbinlerinin kullanıldığı santrallere örnek olarak Hazar-I ve Kovada-II santralleri verilebilir.

Türbin milinin durumuna göre türbin çeşitleri

- Yatay eksenli türbinler
- Düşey eksenli türbinler
- Eğik eksenli türbinler



Resim 2.6 Pelton türbininin fotoğrafı

Düşey eksenli türbinler daha çok tercih edilmektedir.

Rotor hızına göre türbin çeşitleri

$n_r=8-30$ Pelton

$n_r=60-125$ yavaş Francis

$n_r=125-225$ orta hızlı Francis

$n_r=225-400$ hızlı Francis

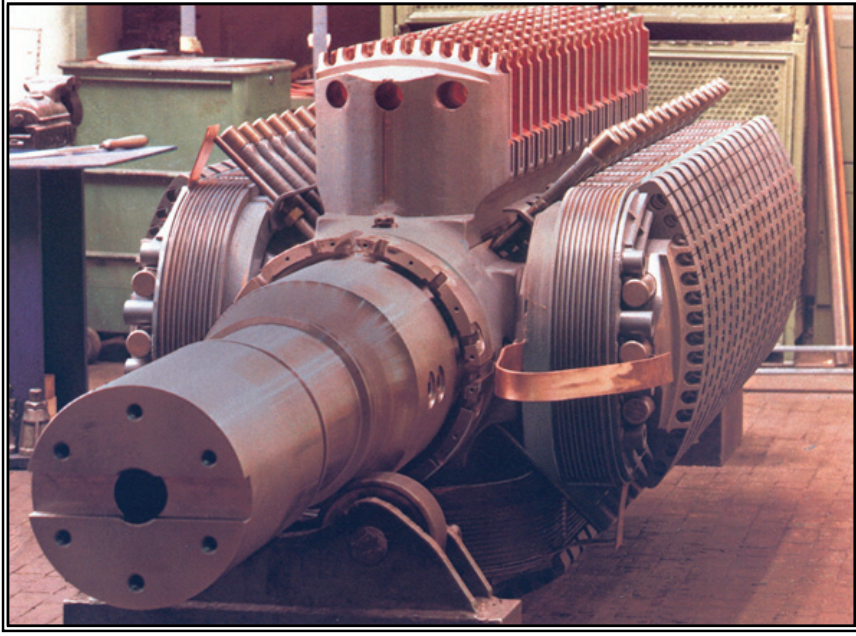
$n_r=400-1100$ Kaplan ve Uskur.

2.3.1.9. Alternatörler

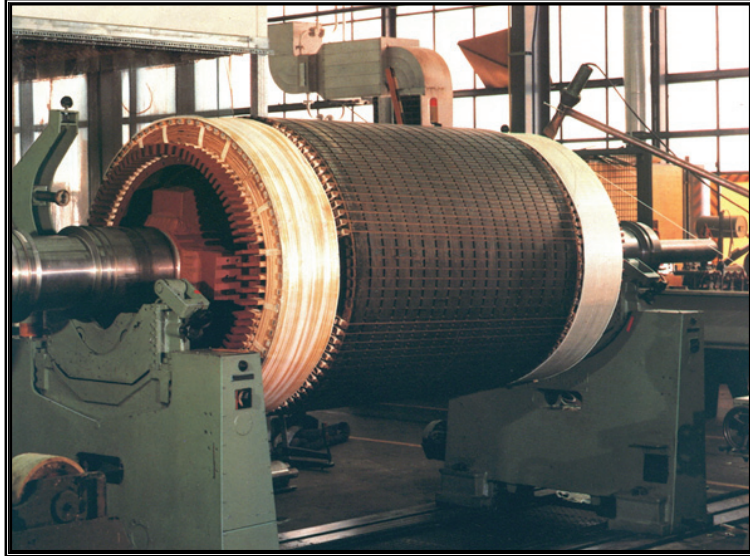
Tanım: Türbin milindeki mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştüren senkron makinelerdir. Üç fazlı alternatif akım üreten, belli kutup sayısına ve şebeke frekansına göre belli "n" dönüş sayısı ile çalışan makinelerdir. "Sabit manyetik alan içerisinde hareket edebilen bir iletkenin uçlarında endüksiyon yoluyla elektrik enerjisi meydana gelir." prensibine göre çalışırlar.

Hidroelektrik santrallerde kullanılan alternatörlerin rotorları, genellikle düşey milli, çıkıntılı kutuplu olarak tertiplenir. Rotorların dakikadaki devir sayıları 32-1000 d/dk arasındadır. Termik santrallerde kullanılan alternatörler yatay milli, silindirik rotordur. Dakikadaki devirleri 3000 d/dk'dır. Statorlarına ise endüvi sargıları yerleştirilerek, fırçalara ihtiyaç kalmadan yüksek miktarda akım alınması sağlanmaktadır.

Alternatörlerin çıkış gerilimi, 3-25 kV arasında değişmekle birlikte en çok kullanılan alternatörler 6,3-15 kV gerilimlidir.



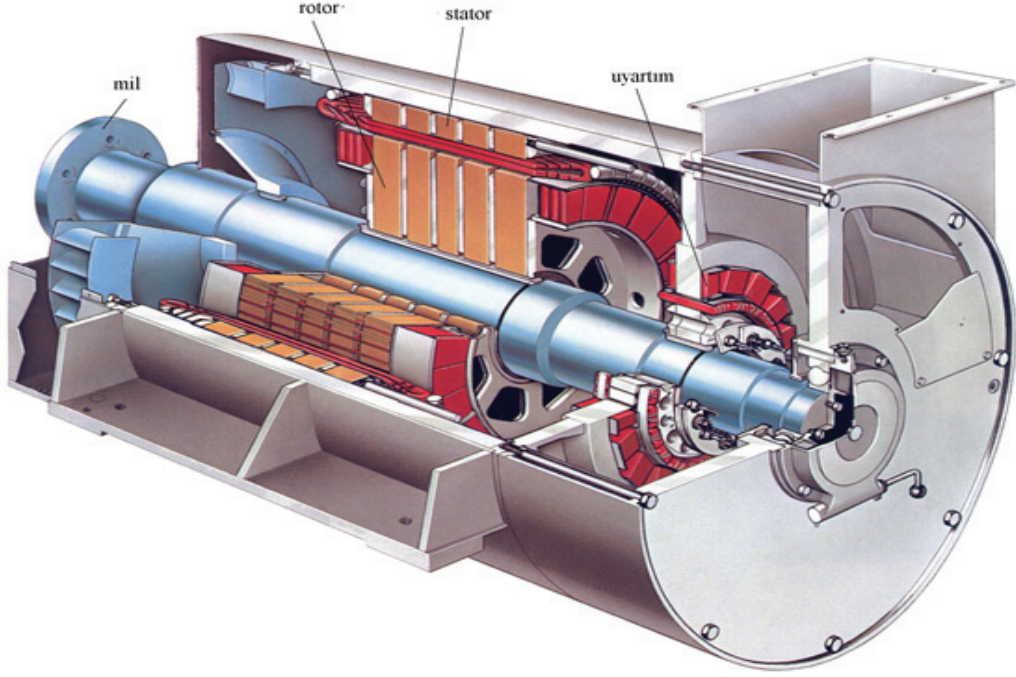
Resim 2.7 Çıkıntılı kutuplu rotor resmi



Resim 2.8 Silindirik kutuplu rotor resmi

Alternatörlerden alınan enerji ile türbin milindeki enerjinin oranı, verimi ver-

mektedir. Verimleri yaklaşık olarak %95'tir. Güç katsayısı $\cos\phi$, hesaplarda genellikle 0,8 alınmaktadır. Santrallerde suyu ziyan etmeden türbine giden debiyi azaltarak alternatörlerin gerektiğinde aşırı ısınması önlenebileceğinden 0,9 değerleri de uygulanmaktadır. Ayrıca güç katsayısını düzeltmek için özellikle kaplan türbinlerinin jeneratörleri boşta senkron motor olarak çalıştırılır. Sistemdeki endüktif reaktif gücü azaltarak güç katsayısı yükseltilir.



Şekil 2.13 Bir alternatörün kesit görünüşü

2.3.1.10. Transformatörler (trafo)

Tanım: Transformatör elektrik enerjisinin gerilim ve akım değerlerini frekansta değişiklik yapmadan indüksiyon prensibine göre değiştiren elektrik makinesidir.

Alternatörlerden orta gerilimde çıkan enerjiyi enterkonnekte sisteme dahil edebilmek için gerilimi yükseltecek transformatörler kurulması gerekir. İletilecek mesafeye göre transformatör çıkış gerilimi, 154 kV ile 380 kV gibi gerilim kademeleleri ile uygulanmaktadır.

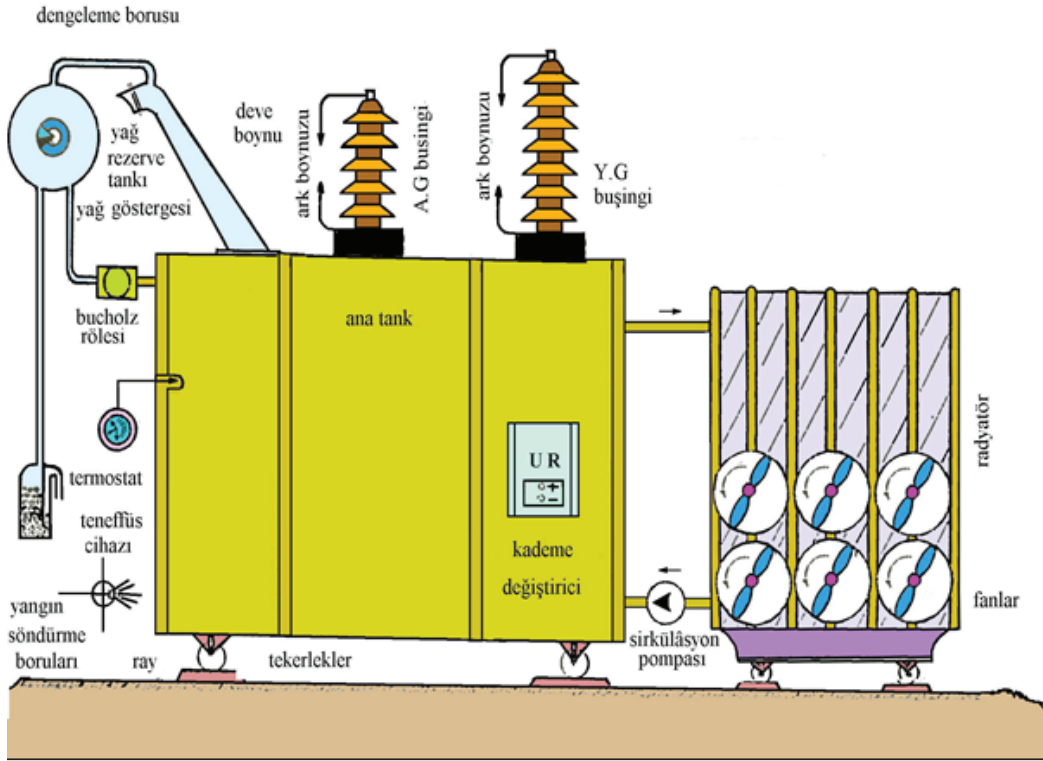
Alternatörden, transformatörün alçak gerilim tarafına bağlanan iletkenlerden çok yüksek akım geçmektedir. İletkenlerin ısınmasını önlemek için, kapalı muhafaza içerisinde soğutucu olarak hidrojen gazı kullanılmaktadır.

Genellikle açık hava tipi, sargıları yağ içerisinde bulunan transformatörler harici olarak üzerlerine monte edilen vantilatörlerle soğutulmaktadır. Transformatör sargılarını soğutan yağ aynı zamanda yalıtma görevini de yerine getirir.

Elektromanyetik endüksiyon prensibiyle (değeri değişen manyetik alanların etkisinde kalan iletken sargılarda endüksiyon gerilimleri meydana gelir.) elektrik enerjisini bir veya birkaç devreye aynı frekansta fakat farklı değerlerdeki gerilimlere ve akıma dönüştüren elektrik makinesidir. Transformatörlerin hareket eden parçaları olmadığı için verimi yüksektir. Verimleri %99,6 değerine kadar çıkabilir.

Elektrik santralleri kullanılan yakıtı yakın yerlerde tesis edildikleri için çoğu zaman tüketim merkezlerine uzakta bulunur. Bu sebepten elektrik enerjisi, üretildiği yerden uzak bölgelere iletilebilmesi gerekmektedir.

Santrallerdeki alternatörlerde üretilen alternatif akımın gerilim değeri 0,4- 3,3- 6,3-10,6-13-14,7-15,8 ve 35 kV'tur. Bu düşük değerdeki gerilimlerin uzak yerlerdeki tüketim merkezlerine iletilmesi için yükseltilmesi gerekir. Alternatif akımın gerilim değerinin yükseltilmesi ise günümüzde transformatörlerle yapılmaktadır.



Şekil 2.14 Güç transformatörlerinin yardımcı üniteleri

Ülkemizde transformatörlerle yükseltilip, enerji nakil hava hatları ile tüketim merkezlerine iletilen gerilim değerleri 15–34,5–66–154–380 kV'tur. Bu gerilim değerleri tüketim merkezlerinde kullanma gerilimi olarak 220 ve 380 voltluk alçak gerilim değerine düşürülmesi transformatörlerle sağlanmaktadır.

Elektrik enerjisinin iletilmesi ve dağıtılması için gerilim değerlerinin değiştirilmesinde transformatörlerin önemi büyüktür.

Transformatörler gerilimi yükseltmek için kullanıldıkları gibi düşürmek için de kullanılır. Santral çıkışında yükseltici, tüketim merkezlerinde ise düşürücü olarak kullanılır.

Tüketim merkezlerinde alıcılara verilen gerilimin sabit değerde olması gerekir. Sabit gerilimi verebilmek için sekonderden alınan gerilim değerinin değişmeyen bir değere ayarlanması ile sağlanır. Eğer transformatörün primer sargıları sabit bir şebekeden besleniyorsa sekonder gerilimin ayarı dönüştürme oranının değiştirilmesi ile yapılır.

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Dönüştürme oranıyla gerilimi değiştirerek sabitlemek için sargılardan uçlar çıkartılır. Gerilimin ayar sınırına göre çıkan uçların sayısı hesaplanır. Dağıtım transformatörlerinde % 5 lik gerilim ayarı yeterli olur. Enerji nakil hatlarının uzun olduğu büyük güçlü yüksek gerilim transformatörlerinde ise % 20 kadar olabilir.

Transformatörlerde dönüştürme oranını değiştirerek, gerilim ayarı ya kademeli olarak ya da sürekli olarak yapılır. Kademeli olarak gerilim ayarı boşa veya yük altında yapılabilir. Gerilimin ayarı özel olarak yapılmış bir kademe değiştirici şalterden faydalanılır.

Gerilim ayarının yük altında yapılırken enerjinin kesilmemesi için gerilim ayarı için çıkarılan ayar bobini uçlarının kısa devre olmamasına dikkat etmek gerekir. Yük altında gerilim ayarı yapabilmek için bir ayar sargısı (tersiyer sargı), paralel sargılar, koruyucu olarak reaktans bobini veya dirençler kullanılır.

2.3.1.11. Şalt sahası

Şalt sahası, elektrik santrali ile enterkonnekte şebeke arasında bağlantıyı sağlayan yüksek gerilim ünitelerinin bulunduğu yere denir. Yüksek gerilim ünitelerinin en önemlilerinden birisi transformatördür.

Şalt sahasında, kumanda binasındaki ölçü aletlerine bağlı akım ve gerilim trafoları bulunur.

Enterkonnekte sisteme dâhil şalt sahalalarının kumanda binalarının haberleşmesini sağlayan enerji nakil hatlarının herhangi bir fazının üzerine seri olarak bağlanan kuranportör hat tıkaçları da şalt sahasında bulunur.

Elektrik enerjisinin iletimini sağlayan, enterkonnekte şebekede hava hatlarını taşıyan pilonlar (direkler) da şalt sahasında bulunan ünitelerdir.

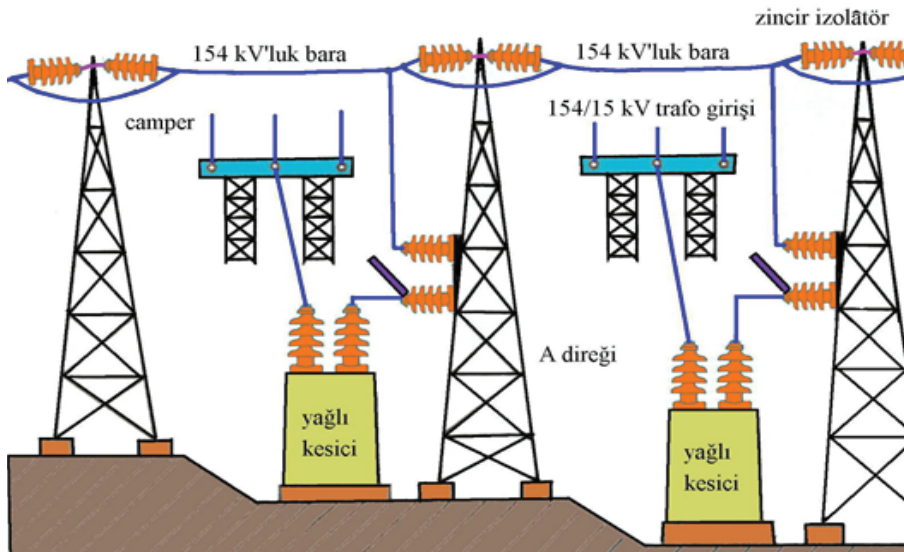
Ayrıcılar, kesiciler, baralar transformatör ve yardımcı gereçlerin bir arada tesis edildiği yerlerdir. Elektrik enerjisini toplamaya veya dağıtmaya yarayan üniteleri bulunan tesislerdir. Şalt sahası üniteleri gerilimlerin büyüklüğü sebebiyle açık sahaya yerleştirilir. Şalt salonu üniteleri ise kapalı yerlere monte edilir. Ancak bazen de açık sahaya tesis edilir. Büyük açık hava tipi şalt sahaları ve şalt salonları üç ayrı şekilde tesis edilir:

- Cihaz tipi şalt sahası
- Kiriş tipi şalt sahası
- Toprak üstü şalt sahası

Her üç tip şalt sahasında da çok ağır olan transformatörler beton üzerindeki raylar üzerine, yağlı kesiciler ise betonarme kaideler üzerine yerleştirilir.

• **Cihaz tipi şalt sahaları**

Arazinin düz olmadığı yerlerde tesis edilir. Ölçü transformatörleri gibi hafif olan cihazlar çelik çerçeveler üzerine yerleştirilir. Baralar A tipi demir direklere tespit edilen gergi tipi zincir izolatörler arasında gergin bir şekilde yerleştirilir. Tesisin kuruluş maliyeti ucuzdur.

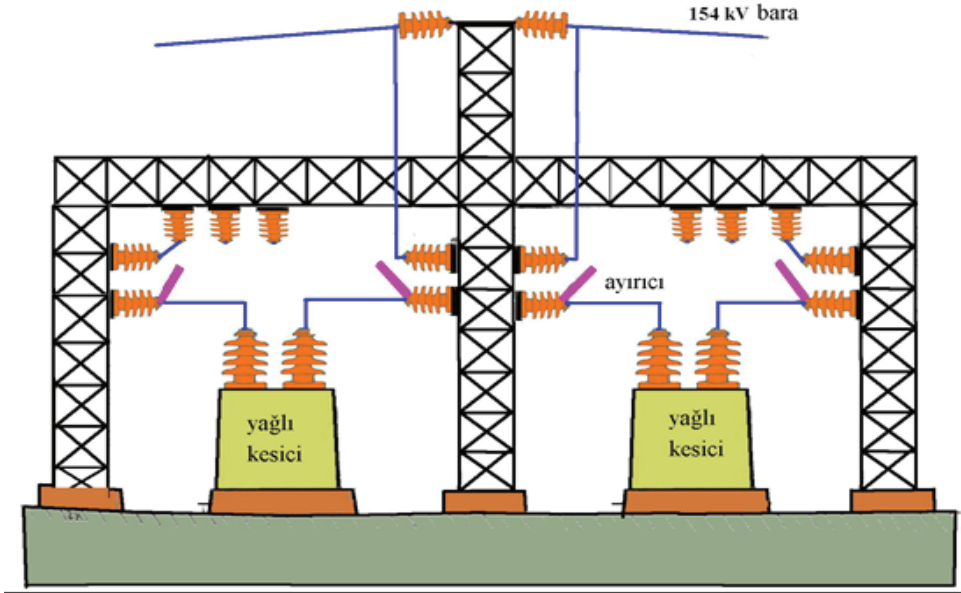


Şekil 2.15 Cihaz Tipi Şalt Sahası

- Kiriş tipi şalt sahası

Bu tip şalt sahaları yatay ve dikey şekilde monte edilen kafes kirişlerden yapılır. Baralar gerilmiş şekilde tutturulan zincir izolâtörler veya mesnet tipi izolâtörler yardımı ile kirişler arasına gergin bir şekilde monte edilir.

Ayırıcılar ve diğer hafif gereçler kirişler üzerine tutturulur. Kiriş tipi şalt sahaları cihaz tipi şalt sahalarına göre daha pahalı tesis edilir. Ancak daha sağlam ve küçük sahaya tesis edilir.

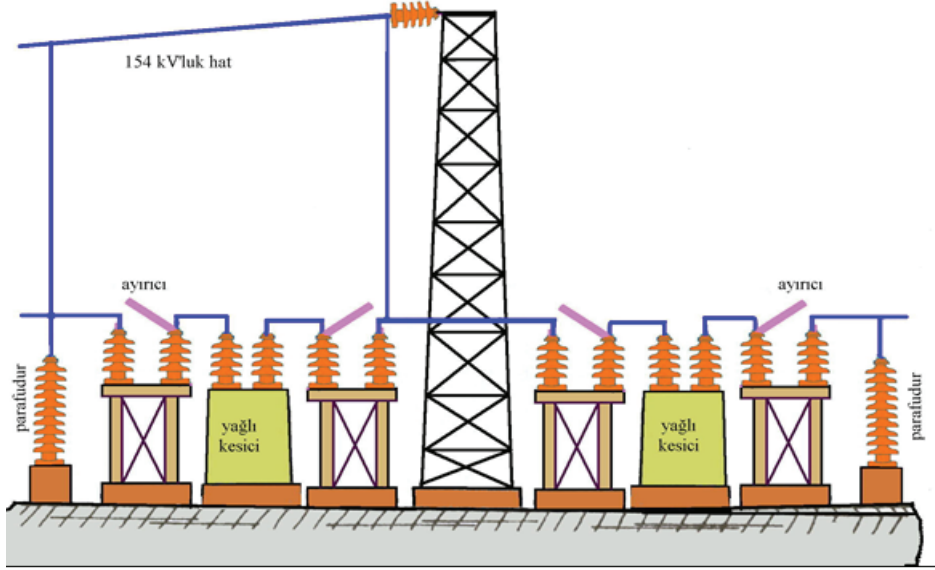


Şekil 2.16 Kiriş tipi şalt sahası

- Toprak üstü tipi şalt sahası

Bu tip şalt sahalarında üniteler beton sütunlar üzerine yerleştirilir. Baralar beton kaideler üzerine monte edilen zincir izolâtörler arasına gergin bir şekilde yerleştirilir. Tesisin yere olan yüksekliği fazla olmadığı için maliyeti ucuzdur. Ancak bu tip şalt sahası için geniş ve düz bir saha gereklidir.

Toprak üstü tipi şalt sahaları gevşek zemin toprak kayması ve deprem kuşağı olan yerler için uygun değildir.



Şekil 2.17 Toprak üstü tipi şalt sahası



Resim 2.9 Bir şalt sahasının görünüşü

2.3.2. Ekonomik açıdan diğer santrallerle mukayesesi (karşılaştırılması)

2.3.2.1. Hidroelektrik santrallerin diğer santrallere göre avantajları

- Hidroelektrik santrallerinin genel verimleri %80-90'ı bulabilir. Termik santrallerde genel verim %30-35 kadardır.
- Yakıt masrafı ve bu yakıt için nakil ve depolama masrafları mevcut değildir.
- Yakıt masrafı olmayışı, üretim maliyetinin düşük olmasını sağlar. Ayrıca özel yakıt kullanılmaması sebebiyle grev ve benzeri krizlerden etkilenmez.
- Bakım masrafları azdır. Gerek santral ve gerekse gruplar basittir. Karmaşık yapıli makine sayısı çok azdır. Arıza yapma ihtimali de azdır.
- Çok sayıda ve kaliteli işletme personeline ihtiyaç göstermez. Bazıları tamamıyla otomatik kontrol ile idare edilebilir.
- Hidroelektrik gruplar buharlı santral gruplarına nazaran çok daha hızlı devreye alınır (birkaç dakika). Yine santralin yükü çok çabuk indirilip çıkartılabilir. Harekete hazır yedek yardımcı grup (imdat grubu) bulundurmaya ihtiyaç olmadığından daha kazançlıdır.

2.3.2.2. Hidroelektrik santrallerinin diğer santrallere göre dezavantajları

- İlk kurulum maliyeti yüksektir.
- Üretilen elektrik enerjisinin nakli de önemlidir. Bu santrallerde daha uzun enerji nakil hatlarına ihtiyaç olabilir.
- Tabii şartlardan etkilenir.
- Kurulum faaliyete geçmesi uzun zaman alır. İnşaat süreleri uzundur.

Genel olarak bir karşılaştırma yapılmak istenirse, hidroelektrik santralın tesis masrafı büyük, işletme masrafı küçüktür. Türbin ve jeneratör grubunun fiyatı düşüye, hıza ve grubun büyüklüğüne bağlıdır. Yüksek düşülü ve yüksek hızlı tesislerin kilowatt başına fiyatları daha düşüktür. Termik santrallerin tesis masrafları düşük, işletme masrafları yüksektir.

2.3.3. Santrallerin Elektrik Donanımı

Yenilenebilir enerji kaynağıyla çalışan enerji santrallerinde kendi iç ihtiyaçlarının sağlanması için önemli miktarda enerjiye ihtiyaç yoktur. Ancak termik santrallerde üretilen enerjinin %5'i kendi ihtiyaçlarının karşılanması için kullanılır.

- Santrallerin önemli elektrik donanımları şunlardır:
- İç ve çevre aydınlatma sistemleri
- Yakıt iletim sistemleri
- Izgara ve kül alma sistemleri
- Kazan besleme suyu, soğutma suyu pompaları sistemleri
- Baca gazı arıtma sistemleri

2.3.3.1. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan bölümler

Santrallerde elektrik üretimine direkt olarak etki eden üniteler şunlardır:

- Alternatör ve uyartım sistemleri
- Devir ve gerilim regülâtörleri
- Santral kumandası ve güvenlik devresi sistemleri

Santrallerde enerji üretiminin sürekli ve verimli olması, yardımcı ünitelerin kaliteli ve hızlı devreye girmesiyle sağlanır.

Enerjinin sürekliliği bakımından bir arıza sırasında yardımcı ünitelerin hemen devreye girebilmesi için alınacak önlemler şunlardır:

- Enterkonnekte şebekeden alınan bir hatla, santralin kendi gereksinimini temin edebilecek bir transformatör bağlantısı olmalıdır.
- Santralde yedek olarak bir dizel alternatör sistemi bulunmalıdır.
- Akü ve akü şarj sistemi bulunmalıdır.

2.3.3.2. Santraller Arası Haberleşme Sistemleri

Enterkonnekte şebekelerde santraller, trafo merkezleri ve yük tevzi merkezleri arasında YG enerji nakil hatlarında 35-490 KHz üzerinden bir çok kanaldan (20-40 kanal) haberleşmeyi sağlayan cihazlara **kuranportör** denir.

Kuranportör cihazı sistemi şu kısımlardan meydana gelir:

Layn trep (hat tıkaçı): Enerji nakil hattının (ENH) herhangi bir fazı üzerine seri olarak bağlı sepet şeklinde bir bobindir. Yüksek frekansın (YF), yüksek gerilim (YG) devresine girmesine engel olur. Herhangi bir toprağa kaçak arızasında yüksek frekans toprağa geçirmez.

Kaplin kapasitör: Hat tıkaçının aksine YF' nin ENH'ya girmesini sağlar. YG' nin ise kuranportör cihazına girmesini önler.

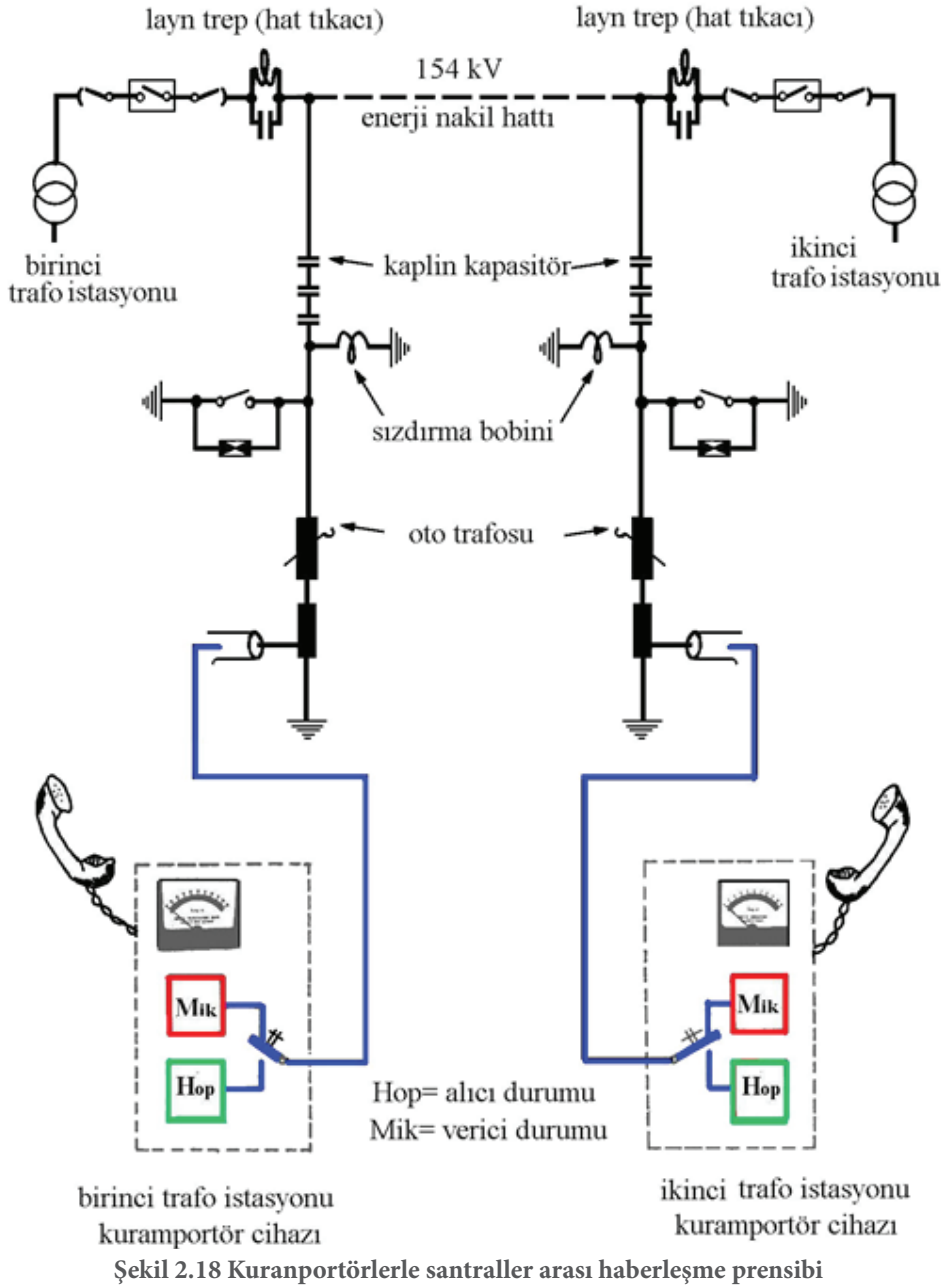
Tuner (kuplaj bobini): Kaplin kapasitörün hattaki kapasitif etkisini giderir.

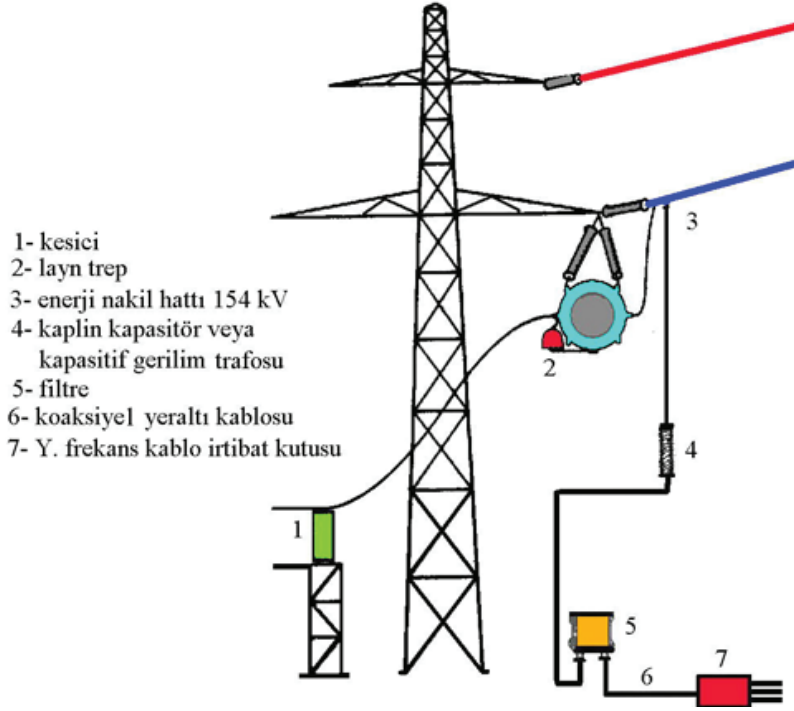
Oto trafosu: Hat empedansı ve cihaz empedansını birbirine senkronize ederek maksimum güç sağlar.

Sızdırma bobini ve parafudur: Hattın korunmasını sağlar, 50 Hz'lik normal frekansı topraklar, YF'nin yolunu kesmez.

Koaksiyel kablo: Empedans deęiřtirmeyen kablodur.

Kuranportör sistemi haberleşmenin yanında, başka bir kanal yardımı ile, arızalı hattın her iki ucundaki kesicilere kumanda ederek devre açma ve kapama işlemini de yerine getirir.

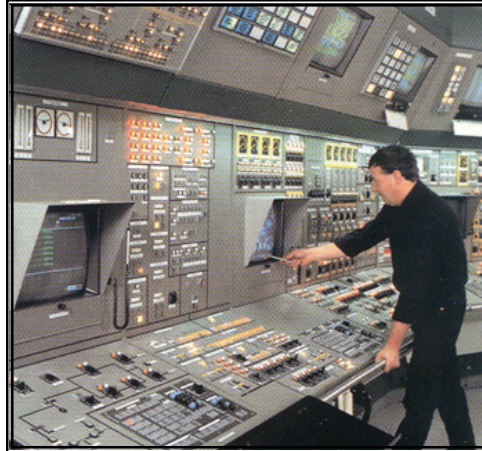




Şekil 2.19 Bir kuranportörün bölümler

2.3.4. Santrallerin kumanda Odası

Kumanda odalarında santrallerin bütün bölümlerine ayrı ayrı kumanda edebilecek sistemler vardır. Santraller, trafo ve yük tevzi merkezleri ile bağlantının beynini oluşturur.



Resim 2.10 Çağdaş bir elektrik santralinin kumanda odası

Kumanda odalarında, elektrik enerjisi üretimine doğrudan etki eden sistemler ile mekanik devrelere kumanda eden sistemler, birbirlerinden ayrılmıştır. Kumanda sistemleri, panolar üzerinde olabileceği gibi masa tipinde de yapılabilir. Kumanda panolarında enerji nakil yolları ince çizgiler ve ışıklı sistemlerle gösterilir. Bu ışıklı sistemlerde devrede olan veya olmayan ünitelerle arızalı üniteler kolaylıkla görülebilir. Panolar üzerindeki göstergeli ve yazıcı tipte ölçü aletleri bulunur. Yazıcı ölçü aletleri 24 saatlik çalışma seyrini sürekli olarak kaydeder. Kumanda masalarında ayrıca, diğer enerji üretim ve tevzi merkezleri ile haberleşmeyi sağlayan kuranportör sistemleri vardır.

Kumanda odalarında, enerjinin kesildiği anda aydınlatmanın yapılabilmesi için akü ve akü şarj sistemleri de bulunmalıdır.

DEĞERLENDİRME SORULARI

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdakilerden hangisi Hidroelektrik santralin ünitelerinden değildir?
 - a. Baraj
 - b. Kondanser
 - c. Türbin
 - d. Cebri Borular
2. Aşağıdakilerden hangisi denge bacası yapılış şekillerinden değildir?
 - a. Kuyu biçimli
 - b. Yan Hücreli
 - c. Savak
 - d. Diferansiyel denge bacası
3. Aşağıdakilerden hangisi günümüz Hidroelektrik santralinde kullanılan türbin çeşididir?
 - a. Kaplan türbini
 - b. Kelebek vana
 - c. Çelik cebri borular
 - d. Denge bacası
4. Aşağıdakilerden hangisi Büyük açık hava tipi şalt sahasından değildir?
 - a. Cihaz tipi şalt sahası
 - b. Kiriş tipi şalt sahası
 - c. Toprak üstü şalt sahası
 - d. Kolon tipi şalt sahası
5. Aşağıdakilerden hangisi türbin milinin durumuna göre türbin çeşitlerinden değildir?
 - a. Yatay eksenli türbinler
 - b. Düşey eksenli türbinler
 - c. Eğik eksenli türbinler
 - d. Sabit eksenli türbinler