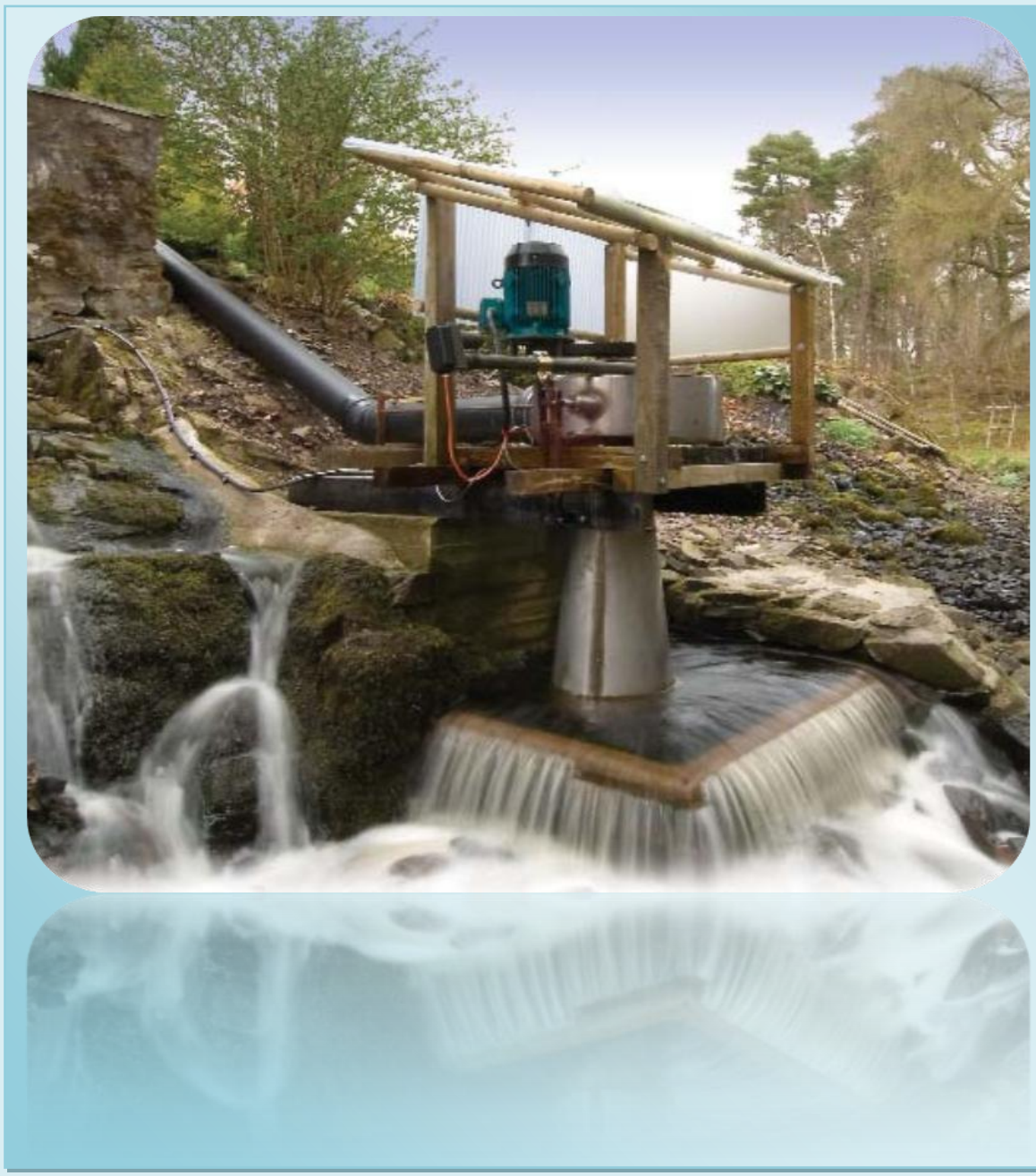
Tekno® Tasarım

MÜHENDİSLİK
ENGINEERING
DANIŞMANLIK
CONSULTING
EĞİTİM
TRAINING
ÜRETİM
MANUFACTURING
TİCARET ve SANAYİ A.Ş.
TRADE&IND. Co.

"Mühendislikte Çözüm Ortağınız"

HİDROELEKTRİK ENERJİ VE TÜRBİNLER



www.teknotasarim.com

İÇİNDEKİLER TABLOSU

İÇİNDEKİLER TABLOSU i
ŞEKİLLER LİSTESİ ii
TABLOLAR LİSTESİ iii
1)HİDROELEKTRİK ENERJİ NEDİR, NASIL ELDE EDİLİR 1
2)HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN SINIFLANDIRILMASI 2
2.1) Büyük Ölçekli Hidroelektrik Sistemler 2
2.2) Küçük Ölçekli Hidroelektrik Sistemler 2
2.3) Mini Ölçekli Hidroelektrik Sistemler 2
2.4) Mikro Ölçekli Hidroelektrik Sistemler 2
3) HİDROELEKTRİK SİSTEMLERİN TASARIM KRİTERLERİ 3
3.1) Hidrolik Düşü (Su Yüksekliği) 4
3.2) Debi 5
3.3) Cebri Boru Hattı Uzunluğu ve Seçimi 5
3.4) Enerji Nakil Hattı Uzunluğu 5
4) HİDROELEKTRİK SİSTEMLERDE KULLANILAN TÜRBİNLER 5
4.1) Etki Tipi (Aksiyon) Türbinler; 6
4.1.1) Pelton Türbinleri: 6
4.1.2) Turgo Türbinleri: 9
4.1.3) Banki (Michell-Ossberger) Türbinleri: 9
4.2) Reaksiyon Tipi Türbinler; 11
4.2.1) Francis Türbini: 11
4.2.2) Kaplan (Uskur Tipi) Türbini: 13
5) TÜRBİN SEÇİM KRİTERLERİ 16
6) OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİ 20
7) GÜÇ ve ENERJİ GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ 21
8) TÜRBİN TESİSİNİN İNŞASI ve MONTAJI 22
9) TESİSİN DEVREYE ALINMASI ve KONTROL 24
10) TÜRBİN TESİSİNİN İŞLETİLEMSİ ve BAKIM ŞARTLARI 24
11) TÜRKİYE'NİN HİDROELEKTRİK POTANSİYELİ 25
KAYNAKÇA 28

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1 Hidrolik Çevrim 1
Şekil 1. 2 Hidroelektrik Sistemlerin Çalışması 1
Şekil 2. 1 Depolamalı Sistem
Şekil 2. 2 Depolamasız Sistem 3
Şekil 4. 1 Pelton Türbin
Şekil 4. 2 Pelton Türbin Çalışma Prensibi 7
Şekil 4. 3 Pelton Türbin Kepçesi
Şekil 4. 4 Pelton Türbin Su Jetleri 7
Şekil 4. 5 Pelton Türbinlerde Debi Ayarı 8
Şekil 4. 6 Pelton Türbin Resimleri 8
Şekil 4. 7 Turgo Türbin Resimleri 9
Şekil 4. 8 Banki-Michell Ossberger Su Türbininin Genel Görünüşü 9
Şekil 4. 9 Banki Türbininde Suyun Çarktan İki Kez Geçmesi 10
Şekil 4. 10 Dikey Banki Türbini
Şekil 4. 11 Yatay Banki Türbini 10
Şekil 4. 12 Dikey Eksenli Francis Türbini 11
Şekil 4. 13 Yatay Eksenli Salyangoz Tipi Francis Türbini 12
Şekil 4. 14 Francis Türbininde Yöneltici Çark ile Debi Ayarı 12
Şekil 4. 15 Servomotor Yardımıyla Yöneltici Kanatların Ayarı 13
Şekil 4. 16 Francis Tipi Dönel Çark 13
Şekil 4. 17 Kaplan Türbin Çarkı
Şekil 4. 18 Kaplan Türbinin Çalışma Prensibi 14
Şekil 4. 19 Kaplan Türbin Tesisi 14
Şekil 4. 20 Uskur Tipi Kaplan Türbin Çarkı 14
Şekil 4. 21 Kaplan Türbininde Debi Ayarı ve Türbinin Genel Görüntüsü 15
Şekil 4. 22 Boru Tipi Kaplan Türbin Tesis Örneği ve Ekipmanları 16
Şekil 4. 23 Farklı Boru Tipi Türbin Örnekleri 16
Şekil 5. 1 Bir Hidroelektrik Santralde Toplam Güç Çıkışı ve Kayıplar 17
Şekil 5. 2 Debi ve Düşü Değerlerine Göre Kullanılacak Türbin Çeşitleri (50kW-2000MW) 17
Şekil 5. 3 Debi ve Düşü Değerlerine Göre Kullanılacak Türbin Çeşitleri (10kW-10MW) 18
Şekil 5. 4 Özgül Hıza Bağlı Olarak Türbin Tiplerinin Kullanılma Bölgeleri 19
Şekil 5. 5 Türbin Tiplerinin Kısmi Yüklerde Çalışması Halinde Verim Eğrileri 19

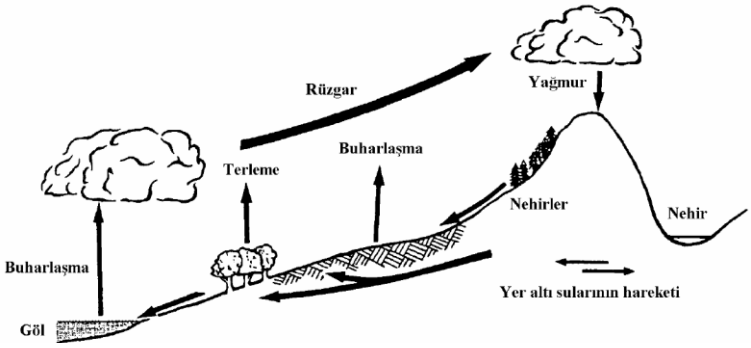
Şekil 6. 1 Küçük Hes Elektromekanik Aksamı 20
Şekil 8. 1 Türbin Tesisi 22
Şekil 8. 2 Cebri Borunun Yerleştirilmesi 23
Şekil 11. 1 Ülkemizdeki Hidroelektrik Potansiyel 26
Şekil 11. 2 Türkiye'de Hidroelektrik Potansiyelin Gelişimi 27

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 5. 1 Türbin Tiplerinin Özgül Hıza Göre Sınıflandırılması 18
Tablo 7. 1 Elektrikli Ev Aletlerinin Harcadıkları Güç ve Aylık Enerji Kullanımları 21
Tablo 11. 1 Dünya ve Türkiye Hidroelektrik Potansiyeli 25

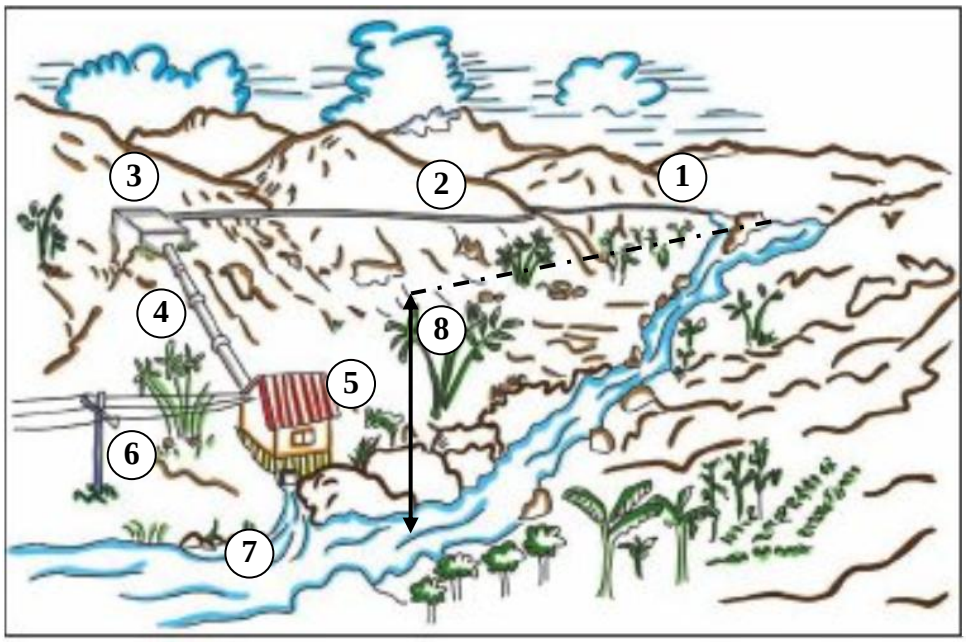
1)HİDROELEKTRİK ENERJİ NEDİR, NASIL ELDE EDİLİR

Hemen hemen bütün enerji kaynakları, güneş ışınımının maddeler üzerindeki fiziksel ve kimyasal tesirinden meydana gelmektedir. Hidrolik enerji de güneş ışınımından dolaylı olarak oluşan bir enerji kaynağı olup hidrolik çevrimi Şekil 1.1'de verilmiştir. Deniz, göl veya nehirlerdeki sular güneş enerjisi ile buharlaşmakta, oluşan su buharı rüzgârın etkisiyle de sürüklenerek dağların yamaçlarında yağmur veya kar halinde 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 1. 1 Hidrolik Çevrim

Hidroelektrik sistemlerde suyun akım enerjisinden faydalanmak için, su bir cebri boru veya kanal yardımıyla yüksek bir yerden alınarak türbine verilmekte ve mekanik enerjiye çevrilmektedir. Türbinlere tahrik ettiği jeneratörlerin dönmesi ile de elektrik enerjisi üretilmektedir (Şekil 1.2). Ancak, bir su türbininden su kuvveti yardımıyla enerji üretebilmek için gerekli olan su hızını elde etmek üzere mutlaka bir düşme yüksekliğine (hidrolik düşüye) ve bu su düşüsüne uygun bir basınç farkının bulunmasına gerek vardır. Türbinden elde edilen güç, suyun düşü (üst ve alt kotlar arasındaki düşey mesafe) ve debisine (türbinlere birim zamanda verilen su miktarı) bağlıdır (Şekil1.2-8).



1.Su Alma Ağzı
2.Kanal
3.Yükleme Odası
4.Cebri Boru
5.Santral Binası
6.Enerji Nakil Hattı
7.Kuyruk Suyu
8.Hidrolik Düşü

Şekil 1. 2 Hidroelektrik Sistemlerin Çalışması

2)HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN SINIFLANDIRILMASI

2.1) Büyük Ölçekli Hidroelektrik Sistemler

Bu sistemlerinin gücü 50 MW'ın üzerindedir. 50 MW güç, her biri 100W olan 500.000 ampulün gerektireceği enerjiyi karşılar. Diğer bir deyişle bir ev için gereken elektriksel güç 5kW olarak kabul edilirse 10.000 evin gereksinimi karşılanabilir. Bir evde ortalama 5 kişinin yaşadığı kabul edilirse 50.000 nüfuslu bir kasabanın elektrik ihtiyacını karşılamaya yetecek bir güçtür bu. Büyük ölçekli hidroelektrik santraller kömür ve doğalgaza dayalı termik santraller gibi konveksiyonel güç santralleri sınıfında değerlendirilir. Üretilen elektrik enerjisi diğer santrallerden üretilen elektrik enerjisiyle birlikte merkezi enerji nakil hatları ile bir ülkenin birçok bölgesine dağıtılabilir.

2.2) Küçük Ölçekli Hidroelektrik Sistemler

Güç bölgeleri için maksimum sınır 10-50 MW arasında kabul edilmektedir. Enerji nakil hatları ile ulusal enerji şebekesine bağlanabildiği gibi yerel olarak bir kasabanın, bir yerleşim bölgesinin veya büyük bir fabrikanın enerji ihtiyacını karşılamak içinde kullanılabilir. 10 MW'lık bir güç 10.000 nüfuslu 2.000 evin enerji ihtiyacını karşılamak için yeterlidir. Ülkemiz küçük hidroelektrik santraller bakımından oldukça zengindir.

2.3) Mini Ölçekli Hidroelektrik Sistemler

Güç bölgeleri 101kW ile 10.000kW arasındadır. Bu sistemler ulusal enerji şebekesine daha az katkıda bulunurlar. Genellikle balık çiftliklerinin, akarsu kenarlarındaki küçük yerleşim bölgelerinin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere yerel olarak tasarlanırlar. 100kW'lık bir güçle toplam 100 nüfuslu 20 evin enerji ihtiyacını karşılamak mümkündür.

2.4) Mikro Ölçekli Hidroelektrik Sistemler

Mikro hidroelektrik sistemler çok daha küçük ölçekte olurlar ve ulusal enerji şebekesine elektrik enerjisi sağlamazlar. Ana yerleşim bölgelerinden uzaktaki alanlarda yani ulusal enerji şebekesinin ulaşmadığı bölgelerde kullanılır. Güçleri, genellikle sadece bir yerleşim yeri veya çiftlik için yeterlidir. Güç bölgeleri, 200 W'tan başlayarak bir grup evin veya çiftliğin yeterli aydınlanma, pişirme ve ısınma enerjisini sağlayacak şekilde 100 kW'a kadar çıkabilir. Küçük fabrikaların veya balık çiftliklerinin enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde ve ulusal enerji sisteminin bir parçası olmaksızın çalışabilirler.

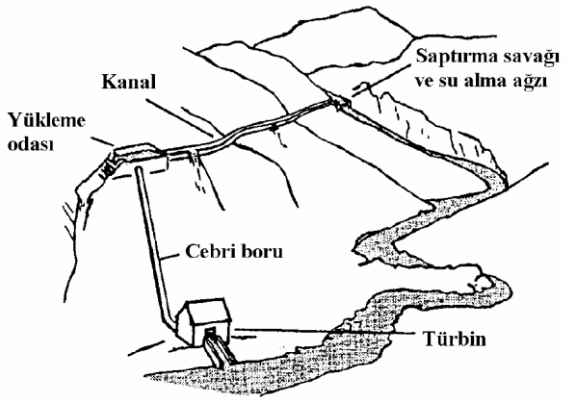
Mikro ölçekli hidroelektrik sistemler, yalnızca yaz aylarında yaşamın olduğu yüksek yayla ve mezraların enerji ihtiyaçlarını karşılamak içinde çok uygun bir seçenektir. Örneğin Karadeniz bölgesinin yüksek yaylaları bu türbinlerin kurulup işletilmesi için çok elverişlidir. Yaylalar genellikle küçük debi, yüksek düşüye sahip akarsuların yakınında, yani bol suyun olduğu yerlerde kurulmuştur. Bu yörelerde elektriği sadece bahar ve yaz aylarında ihtiyaç duyulmaktadır. Merkezi sistemlerle buralara elektrik getirmek hem çok pahalı hem de çok zordur. Çetin kış koşullarının hüküm sürdüğü bu bölgelerdeki aşırı yağışlar ve fırtınalar bu enerji nakil hatlarına büyük zarar verebilmektedir. Bu nedenle günümüzde hala birçok yayla

ve mezralarda elektrik bulunmamaktadır. Yerel olarak ve kolaylıkla yapılabilecek mikro su türbinleri, bahar ve yaz aylarında gereken elektrik enerjisi için kullanılabilir. Yayladan dönüşün başladığı sonbahar aylarında ise sökülerek kapalı bir alanda saklanabilir, böylelikle zorlu kış şartlarının etkisinden korunabilirler.

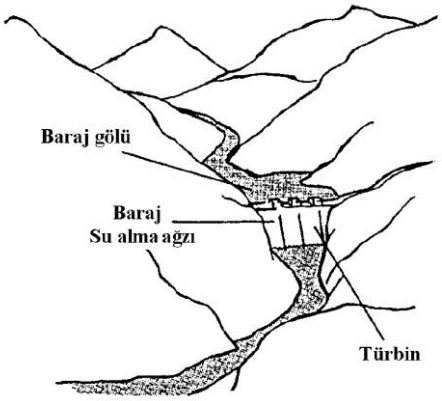
Düşüye göre yapılan sınıflandırma ise:
2-20 m, Alçak Düşü; 20-150 m, Orta Düşü; 150 m üstü ise yüksek düşü olarak kabul edilir.

Küçük, mini ve mikro ölçekli hidroelektrik santrallerin avantajları; merkezi enerji nakil sisteminden bağımsız olarak da çalışabilmeleri, ilk kurulum maliyetlerini düşük, işletme ve bakım masraflarının az olması, çevre kirliliğine neden olmamaları ve yerel olanaklarla yapılabilmeleridir.

Küçük hidroelektrik sistemler depolamasız (Şekil 2.1) ya da depolamalı (Şekil 2.2) olarak da sınıflandırılmaktadırlar. Depolamasız sistemde bir saptırma savağı ve su alma ağzından kanala verilen su bir yükleme odasına kadar getirilir. Yükleme odasındaki fazla su için bir taşkın savağı bulunur. Su bir basınçlı borudan geçirilerek türbine verilir ve burada hidrolik enerji mekanik enerjiye çevrilir. Depolamasız sistemde suyun önü kesilmez, sadece bir kısmı bir kanal içerisine alınır. Genelde mikro ve mini hidroelektrik santraller bu şekilde kurulur. Yükleme odasında günlük bazda yapılan ayarlarla da su debisi kontrol edilir.



Şekil 2. 1 Depolamalı Sistem



Şekil 2. 2 Depolamasız Sistem

Depolamalı sistemde ise suyun önü bir baraj sistemiyle kapatılır. Bu sistemin avantajı yağışlı mevsimde suyun barajda tutulmasıdır. Böylece yağışsız ve kuru mevsimde de gerekli potansiyel enerji sağlanmış olur. Ancak bu sistemler karmaşık ve pahalıdır. Örneğin baraj gölü belli aralıklarla kum ve kille dolar temizlenmesi oldukça zahmetli ve pahalıdır. Bir süre sonra baraj ömrünü tamamlar.

3) HİDROELEKTRİK SİSTEMLERİN TASARIM KRİTERLERİ

Bir hidroelektrik sistemin tasarımı 4 aşamada gerçekleşir. Bunlar:

a) ***Kapasite ve talep araştırması:*** Bir enerjiye talep olduğunda ''ne kadarlık bir enerji hangi amaç için isteniyor'' sorusunun cevabı doğru olarak belirlenmelidir. Bu aşamada ayrıca kullanıcıların kullanım kapasitelerinin de belirlenmesi önemli olmaktadır. Genelde mikro hidrolik sistemler, insanların çoğunun karmaşık makineleri kullanmadığı kırsal bölgeler için planlanmaktadır. Bu sistemin tasarımı ve yapımı için gerekli paranın büyük bir kısmı o yöre insanları tarafından karşılanacaktır.

b) ***Hidrolojik çalışma ve mevki araştırması:*** Bu aşamada sistemin kurulacağı yerin hidrolik potansiyeli belirlenir. Akarsuyun debisinin yıl boyunca değişimi ortaya konur, su alma ağzının en verimli ve en ucuz olarak alınacağı yer tespit edilir. Cebri borunun minimum maliyet ve kayıp sağlayacak şekilde nasıl olacağı belirlenmeye çalışılır. Ayrıca, dönem dönem ne kadarlık bir güç sağlanabileceği de tespit edilir. Çalışma suyun farklı kullanılması (örneğin zirai sulama amaçlı) durumunu da dikkate alır. Bunların yanı sıra enerji nakil hattının uzunluğu da değerlendirilir.

c) ***Ön fizibilite çalışması:*** Bu bir hızlı fiyat belirleme çalışmasıdır. Hidrolik sistem tasarımcısı talebi karşılayacak şekilde genellikle farklı seçenekler ortaya koyar. Ön fizibilite çalışması, bu seçenekleri karşılaştırır ve bunların önemli özellilerini ortaya koyar. Tüketici, bu seçenekleri ve bunların karşılaştırmalı fiyatlarını bilmek isteyecektir. Ön fizibilite çalışmasında ayrıca, enerji talep çalışmalarının hidrolojik çalışma sonuçları ile karşılaştırması da yapılır. Talep çalışması bize güç sağlanacağı hakkında bilgi verir. Ayrıca bu bölümde farklı sorulara da cevaplar verilir.

d) ***Tam fizibilite çalışması:*** Ön fizibilite çalışmasında hidrolik sistemin uygulanabilir olduğu belirlenirse; mühendislik hesapları, maliyet hesapları detaylı olarak tam fizibilite çalışmasında yapılır. Ayrıca, ekonomik kriterleri kullanarak yapılan parasal çalışmalar, işletme ve bakım masraflarının hesaplanması da önemlidir. Fizibilite çalışmasında altın kural şu şekildedir: çalıştırma ve bakım birinci, ekonomi ve tesis faktörü ikinci, mühendislik tasarımı ise üçüncü önceliktedir. Fizibilite çalışmasında ayrıca kontratlarla detaylı olarak kullanma tarifesi de belirtilmelidir. Yani kurulacak sistemden üretilecek elektrik enerjisi hem ev elektriğinde ve hem de güç kaynağı olarak sanayide kullanılacaksa bu koşullar kontratta ayrıntılı olarak belirtilmelidir. Aynı yolla, farklı amaçlı kullanıcılar için öncelik hakları (sulama ve hidrolik güç) ortaya net bir şekilde konmalıdır. Bu durum daha sonra ortaya çıkabilecek zorlukları çözmeye yardım edecektir.

Öncelikle 4 temel eleman olan hidrolik düşü (su yüksekliği), Debi, Cebri boru hattı ve Enerji nakil hattı uzunluğunun doğru bir şekilde tespit edilmesi gereklidir. Çünkü hidrolik sistemin tasarımının başlangıç ve en önemli aşamasıdır. Buradaki verilerin doğruluğu ve güvenilirliği tesisin verimliliğini, ilk yatırım ve işletme maliyetlerini doğrudan etkileyecektir.

3.1) Hidrolik Düşü (Su Yüksekliği)

İki su yüzeyi arasındaki yükseklik farkından anlaşılır. Yani bir hidroelektrik güç tesisindeki su kaynağının en üst düzeyi(su girişi) ile türbin su çıkışı arasındaki yükseklik farkına hidrolik düşü veya su düşüsü denir. Hidrolik düşünün birimi genellikle ‘metre (m)’ cinsinden ifade edilir ve ‘H’ harfi ile gösterilir. Ayrıca bir hidroelektrik güç tesisinin su iletim kanalları veya cebri borularında su moleküllerinin sürtünmeleri nedeni ile kayıplar meydana gelir ve bu kayıpların toplamı hidrolik düşüde bir azalma meydana getirir. İşte bu kayıpların, tesisin toplam hidrolik düşüsünden çıkarılmasıyla sistemin net düşüsü hesaplanır ve bu net düşüye göre sistem tasarlanır.

3.2) Debi

Herhangi bir akışkanın birim zamanda birim alandan geçen miktarına debi denilmektedir. Diğer bir ifadeyle, bir akarsuyun taşıdığı su miktarına debi veya akarsu debisi denir. Debinin birimi genellikle 'metreküp/saniye (m^3/s)' veya 'litre/saniye (lt/s)' olarak ifade edilir ve 'Q' harfi ile gösterilir.

Bir türbin tesisi kurmadan önce bu tesisi besleyecek suyun debisinin doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Tesisi besleyecek suyun (akarsu, nehir) debisi devamlı değişmektedir. Bu yüzden tesisin debisi günübirlik ölçüm sonuçlarıyla belirlenemez. Doğru bir debi ölçümü yapabilmek için yıl inde belli zaman aralıklarıyla debi ölçümü yapılmalıdır ve bu ölçüm sonuçlarına göre debi değeri belirlenmelidir.

3.3) Cebri Boru Hattı Uzunluğu ve Seçimi

Hidroelektrik güç tesisinde su kaynağı ile türbin arasındaki basınçlı borulara cebri borular adı verilir. Bir cebri borudan ayrılmış kollara cebri boru ayrımı veya cebri boru branşmanları adı verilir. Cebri borular genellikle St37, St42, St53 çelik saçlardan veya PVC malzemelerden imal edilirler. Cebri boruların ölçülendirilmesi hidroelektrik güç tesisi tasarımında önemli bir faktördür. Boru uzunluğu maliyet yönünden en ekonomik ve kayıplar yönünden en asgari olacak şekilde hesaplanmalıdır. Aksi takdirde gereksiz kurulum maliyetleri ortaya çıkar ve net düşüde azalma meydana gelir.

3.4) Enerji Nakil Hattı Uzunluğu

Hidroelektrik güç sistemlerindeki jeneratörlerde üretilen elektrik enerjisinin kullanılacak birimlere iletilmesinde enerji nakil hattı kullanılır. Nakil hattı uzadıkça enerji kaybı oluşur ve gerilim düşümü artar. Su kaynağından enerji kullanım merkezine olan mesafesi ise oluşacak kayıpları ve gerilim düşümünü en aza indirmek için transformatörler kullanılır.

4) HİDROELEKTRİK SİSTEMLERDE KULLANILAN TÜRBİNLER

Türbinler, akışkanın hidrolik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinelerdir. Basit olarak bir mil ve mil üzerindeki kanatçıklardan oluşurlar. Kullanılan akışkana göre türbinin yapısı değişmektedir. Genel olarak şu prensiple çalışırlar; Sistemdeki akışkan (su) türbinin kanatçıklarına çarparak türbin miline hareket verir, hareket milin çıkışında mekanik işe dönüşür ve mekanik işten jeneratörler vasıtasıyla elektrik üretilir. Hidroelektrik güç tesislerinde kullanılan türbinlere hidrolik türbinler veya su türbinleri adı verilir. Su türbinleri kullanım alanlarına, ürettikleri güce, güç üretme biçimlerine göre birçok şekilde sınıflandırılabilirler.

❖ **Düşüye Göre Sınıflandırma;**

- H> 300 m Yüksek basınçlı su türbini,
- 400 m < H >20 m Orta basınçlı su türbini,
- H< 50 m Düşük basınçlı su türbini.

❖ **Türbin Çıkış Güçlerine Göre;**
- Yüksek güçlü hidrolik türbinler (> 100 MW)
- Orta güçlü hidrolik türbinler (20 – 100 MW arası)
- Küçük güçlü hidrolik türbinler (1 – 20 MW arası)
- Mini Hidrolik türbinler (100 KW – 1 MW arası)
- Mikro hidrolik türbinler (5 KW – 100 KW arası)
- Piko hidrolik türbinler (< 5 KW)

❖ **Türbin Milinin Durumuna Göre;**
- Yatay eksenli türbinler
- Dikey eksenli türbinler
- Eğik eksenli türbinler

❖ **Suyun Akış Doğrultusuna Göre;**
- Eksenel akışlı türbinler (Kaplan, Uskur)
- Radyal akışlı türbinler (Francis)
- Diyagonal akışlı türbinler (Yüksek Hızlı Francis)
- Teğetsel akışlı türbinler (Pelton, Banki)
- Saptırılmış akışlı türbinler (Turgo)

❖ **Suyun Etki Şekline Göre;**
- Aksiyon tipi türbinler (Pelton, Turgo, Banki)
- Reaksiyon tipi türbinler (Francis, Kaplan, Uskur, Boru)

4.1) Etki Tipi (Aksiyon) Türbinler;

Bu türbinlerde akışkan kepçelere veya çarka atmosfer basıncında girip yine atmosfer basıncında çıkar. Bu yüzden bu tip türbinlere eş basınçlı türbinler adı verilmiştir.

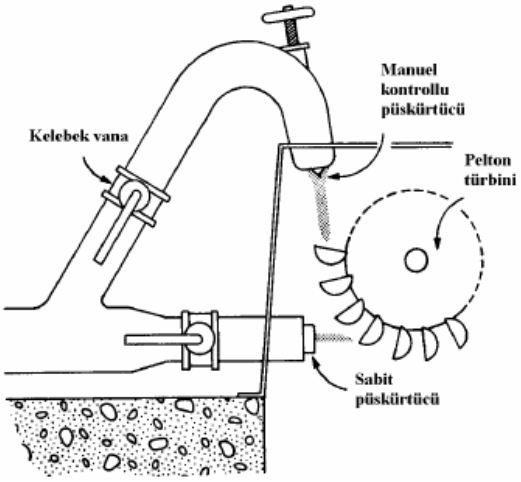
4.1.1) Pelton Türbinleri:

Büyük hidroelektrik sistemlerde 150 m brüt düşünün üzerinde Pelton türbini uygulaması yapılmaktadır. Mikro hidrolik sistemlerde daha alçak düşülerde de bu türbin kullanılabilir. Örneğin yüksek hızda dönmekte olan küçük çaplı bir Pelton türbini, 1 kW güç üretmek için 20m'nin altında düşülerde kullanılabilir. Yüksek güç ve düşük debide hız çok azalır bu da türbin boyutunu artırır.

Bu tip türbinlerde suyun enerjisi önce, uygun şekle sahip bir borudan geçirilip, çıkış ağzında su jeti haline getirilerek, kinetik enerjiye dönüştürülür. Daha sonra bu jet, kap şeklindeki rotor kanatlarına püskürtülür(Şekil 4.1–4.2). Kapların geometrisi, su jetinin enerjisini en yüksek oranda emecek biçimde tasarlanmış ve ortalarından geçen dikey bölücü plakalar, suyun iki yana doğru 'takatsizce' dağılmasını sağlıyor. Pelton türbinleri, düşey veya yatay olarak konumlandırılabilir. Jetlerin sayısını arttırmak suretiyle, tek bir rotordan sağlanan gücü arttırmak mümkündür. Yatay konum için genellikle iki olan jet sayısı, dikey konumlar için, çoğunlukla dört veya daha fazla olabiliyor. Yatay konumlandırma halinde, tek bir jeneratörü süren aynı şaft üzerine, bir yerine iki rotor yerleştirmek de mümkündür.

En yüksek verim, rotor kaplarının hızı, su jetinin hızının yarısı kadar olduğunda elde edilir. Ki bu durumda, tam yükün de %60-80'i arasında çalışılıyorsa eğer; türbinden geçen suyun kaybettiği potansiyel enerjinin %90'dan fazlası mekanik işe dönüştürülebilir.

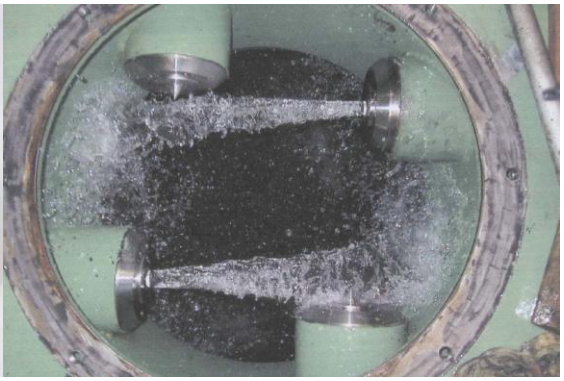
Şekil 4. 1 Pelton Türbin Şekil



4. 2 Pelton Türbin Çalışma Prensibi

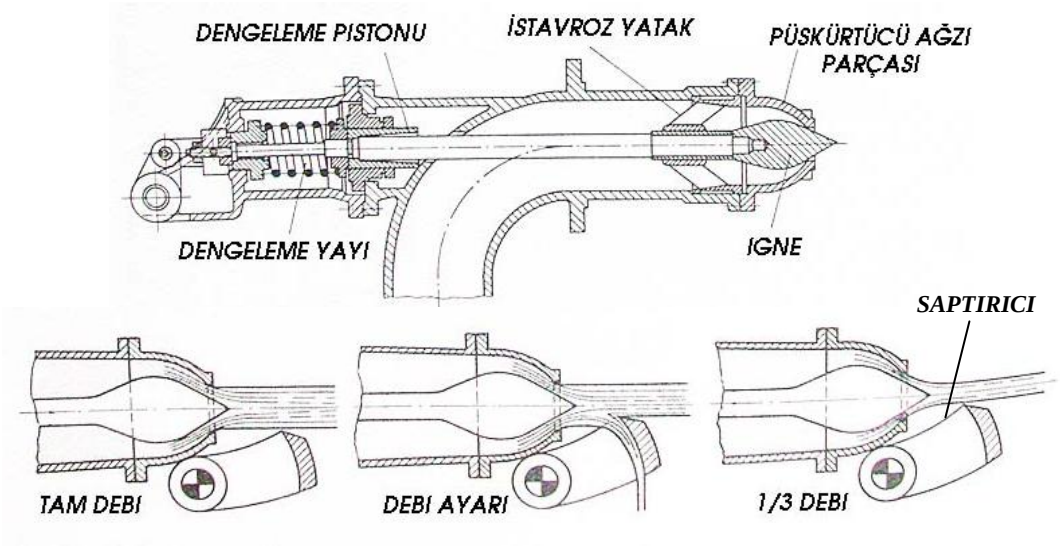
Güç artıkça bu tip türbinlerin çarkının çapı büyür ve türbin yavaş döner. Eğer çarkın çapı ve düşük hızı bir problem olarak kabul edilmezse Pelton türbini rahatlıkla alçak düşülerde kullanılabilir. Alçak düşü ve küçük güç ünitelerinde kullanılacak olan türbinlerin, merkezi sistemden bağımsız yerel kuruluşlarca işletilmesi nedeniyle bakım ve onarımlarının kolaylıkla yapılabilir olması çok önem taşımaktadır. Ayrıca, tesis aksamının da piyasadan kolay temin edilebilen parçalardan oluşması gereklidir.

Şekil 4. 3 Pelton Türbin Kepçesi



Şekil 4. 4 Pelton Türbin Su Jetleri

Jetlerdeki suyun debisi, boru ağzının içinde kayan bir 'mızrak' tarafından kontrol edilir. Hareketleri yağ basıncıyla çalışan bir servomotor tarafından otomatik olarak yönetilen mızrak, ağız çıkışını kısmen veya tamamen kapatabilir. Böylelikle su jetinin hızını; değişen yük talepleri, su yükseklikleri ve debileri için yaklaşık sabit tutmak mümkün olabildiğinden, rotor çok farklı ağız açıklıklarında dahi aynı hızla dönebiliyor. Bu yüzden, iyi tasarımlanmış bir Pelton türbininin verimlilik eğrisi düz, fakat diğer tiplerinkine oranla daha düşük olur. Boru ağzından çıkan suyun miktarını, yük talebindeki bir düşüşe paralel olarak hemen azaltmak, borudaki basınçta büyük bir yükselme olacağından mümkün olamaz. Öte yandan aynı debiyi püskürtmeye devam, motorun fazla hızlı dönmesi anlamına geleceğinden, böyle durumlarda jetin önüne, ek bir kontrol aracı olarak saptırıcı ('deflektör') girer. Saptırıcı, mızrak devreye girip de debiyi azaltana kadar, jetin kinetik enerjisini kısmen dağıtır(Şekil 4.5).

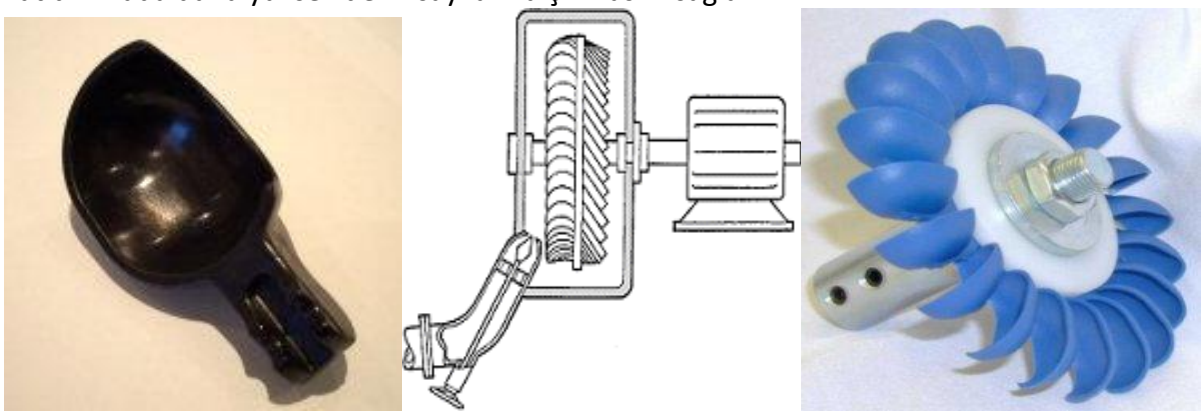


Şekil 4. 5 Pelton Türbinlerde Debi Ayarı

Şekil 4. 6 Pelton Türbin Resimleri

4.1.2) Turgo Türbinleri:

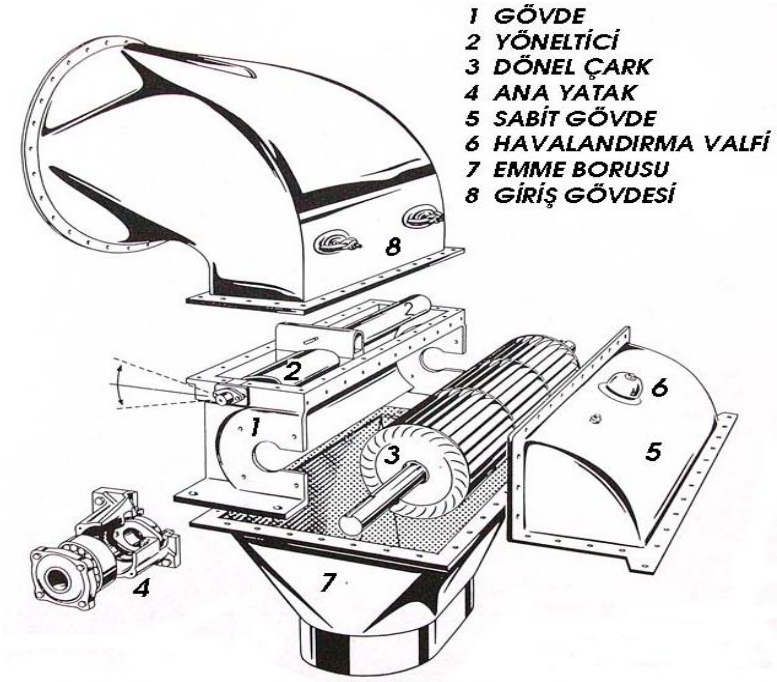
Çalışma prensibi bakımından Pelton türbinlerle aynı sayılabilecek Turgo tipi türbinlerin kepçe yapıları farklılık göstermektedir(Şekil 4.7). Ayrıca daha ucuz maliyet, daha hızlı devir sayısı ve aynı boyuttaki bir Pelton türbinden daha fazla su tutabilme gibi daha üstün özellikleri de vardır. Aynı güçteki bir Pelton türbinin çark çapının yaklaşık bir buçuk katıdır. Buda daha yüksek devir sayılarına çıkmasını sağlar.



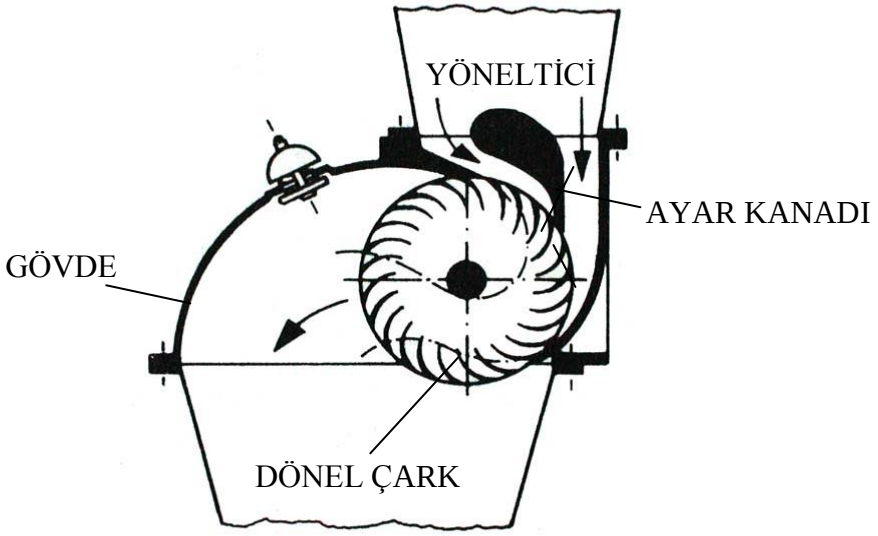
Şekil 4. 7 Turgo Türbin Resimleri

4.1.3) Banki (Michell-Ossberger) Türbinleri:

Banki türbin tipini Macar asıllı Banki ile İngiliz asıllı Michell bulmuştur. Genel olarak Banki (Michell-Ossberg) su türbini olarak adlandırılır. Avrupa bu türbinlerden binlerce imal edilmiştir. Küçük ve orta güçlü su kuvvetlerinde rahatlıkla kullanılır. Yapısı çok basittir. *20 lt/s* ila *9* m^3/s debiler için *1 m* ila *200 m* düşülerde *1000 kW* güce kadar çıkabilirler. Verimleri genel olarak *%80* civarıdır. Dönme sayıları ise *50* ila *200 d/dak* arasında değişir. Su türbini ise, gövde, tambur tipi dönel çark ve yönelticiden oluşur (Şekil 4.8). Banki-Michell Ossberger türbininin en büyük özelliği suyun dönel çarktan iki kez girip çıkmasıdır (Şekil 4.9).

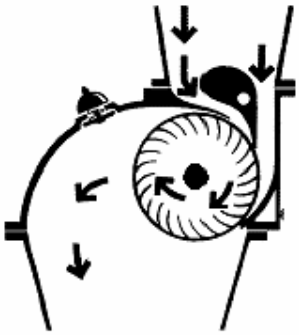


Şekil 4. 8 Banki-Michell Ossberger Su Türbininin Genel Görünüşü



Şekil 4. 9 Banki Türbininde Suyun Çarktan İki Kez Geçmesi

Alçak düşü ve küçük güç ünitelerinde kullanılacak olan türbinlerin, merkezi sistemden bağımsız yerel kuruluşlarca işletilmesi nedeniyle bakım ve onarımlarının kolaylıkla yapılabilir olması çok önem taşımaktadır. Ayrıca, tesis aksamının da piyasadan kolay temin edilebilen parçalardan oluşması gereklidir. Bu açıdan banki türbinleri bu çalışma bölgelerinde çok avantajlıdır. Konstrüksiyonları diğer bütün türbin tiplerine göre son derece basittir. Bu nedenle türbin, ucuz olarak küçük atölyelerde kısıtlı olanaklarla imal edilebilir. Yatay ve dikey olarak kullanılabilmektedirler Şekil 4.14.11).



Şekil 4. 10 Dikey Banki Türbini

Şekil 4. 11 Yatay Banki Türbini

Giriş ağzı kaynak tasarımı, beton veya çok düşük debilerde tahtadan imal edilebilir. Döküm veya özel malzemeye gerek yoktur. Burada en önemli husus, giriş ağzının iyi bir yönlendirici olarak yapılmasıdır. Bunun için giriş ağzının her iki yan cidarı çark çevresel hızıyla 16 derece açı yapacak şekilde dizayn edilir. Ayar mekanizması olarak bir kolla kumanda edilebilen klape, kanat veya sürgü kullanılır. Bu türbinlerinde giriş ağzı içerisine yerleştirilmiş uygun kesitli bir ayar kanadı yardımıyla debinin tamamen de kesilmesi sağlanır (Şekil 3.9). Böylece, ayrıca bir giriş vanasına da gerek kalmaz. Ekonomik ve emniyetli bir otomatik kontrol küçük tesislerde türbin tipinden ayrı, başlı başına bir sorundur. Debinin otomatik kontrolü pahalı bir çözüm olduğu için küçük santrallerde gittikçe daha az kullanılmaktadır. Çark, kaynak konstrüksiyonu olarak yapılmaktadır. Çark içerisinden boydan boya mil geçirilebildiği gibi milli flanşlara da çarkı bağlamak mümkündür. Kanatlar, diğer türbin tiplerinde olduğu gibi dönük değil, silindirik borulardan kesilerek veya presle şekillendirilerek yapılır.

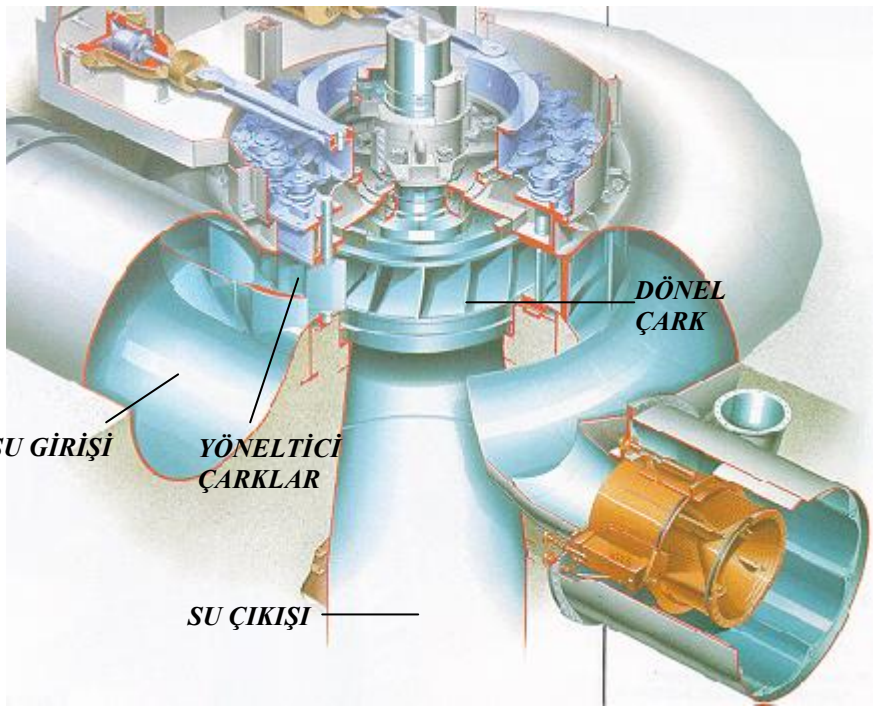
4.2) Reaksiyon Tipi Türbinler;

Reaksiyon türbinleri aynı düşü ve debi değerinde aksiyon türbinlerinden daha hızlı döner. Burada kullanılan türbinler Francis, Uskur ya da Kaplan türbinleridir. Yapımları aksiyon türbinlerine göre daha zordur, Bu nedenle mikro hidrolik sistemlerde daha az kullanılmaktadır. Ayrıca bu türbinlerde kavitasyon tehlikesi de vardır. Değişken debilerde de düşük verim verirler.

Net düşü ve özgül hız bakımından oldukça geniş kullanım alanı olan reaksiyon tipi su türbinleri suyun hem kinetik hem de potansiyel enerjisinden yararlanırlar. Bu nedenle, çarka girişteki basınç çıkıştaki basınçtan çok daha büyük olur. Bu yüzden, suyun kapalı kanallar içinden akma zorunluluğu vardır.

4.2.1) Francis Türbini:

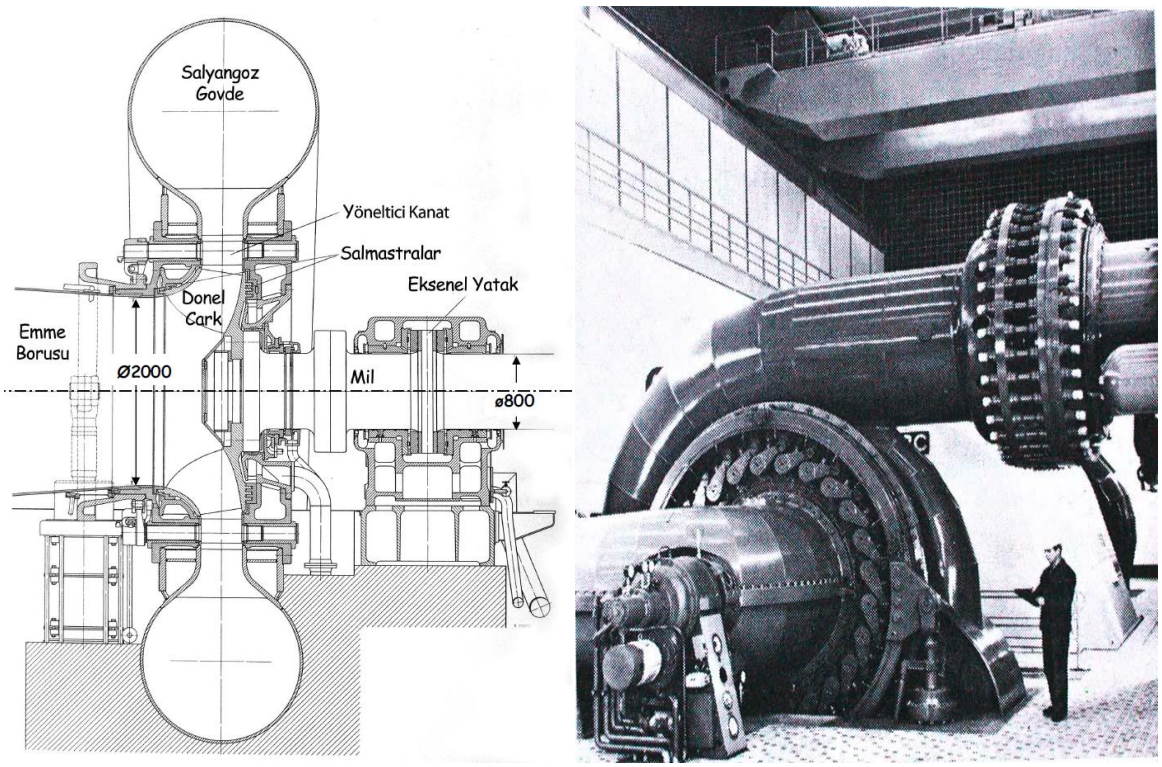
Bu türbin tipini ilk kez 19. yüzyılda Amerikalı Howd ile Francis geliştirdiklerinden Francis adı verilmiştir. Francis türbinine su, yöneltici çarktan dönel çarka dıştan girip, çark kanatları boyunca aşağıya doğru giderek çarkı terk eder. Türbin tipi karşı basınçlıdır (Reaksiyon tipi). Şekil (4.12)'de tipik bir Francis türbin tesisi görülmektedir.



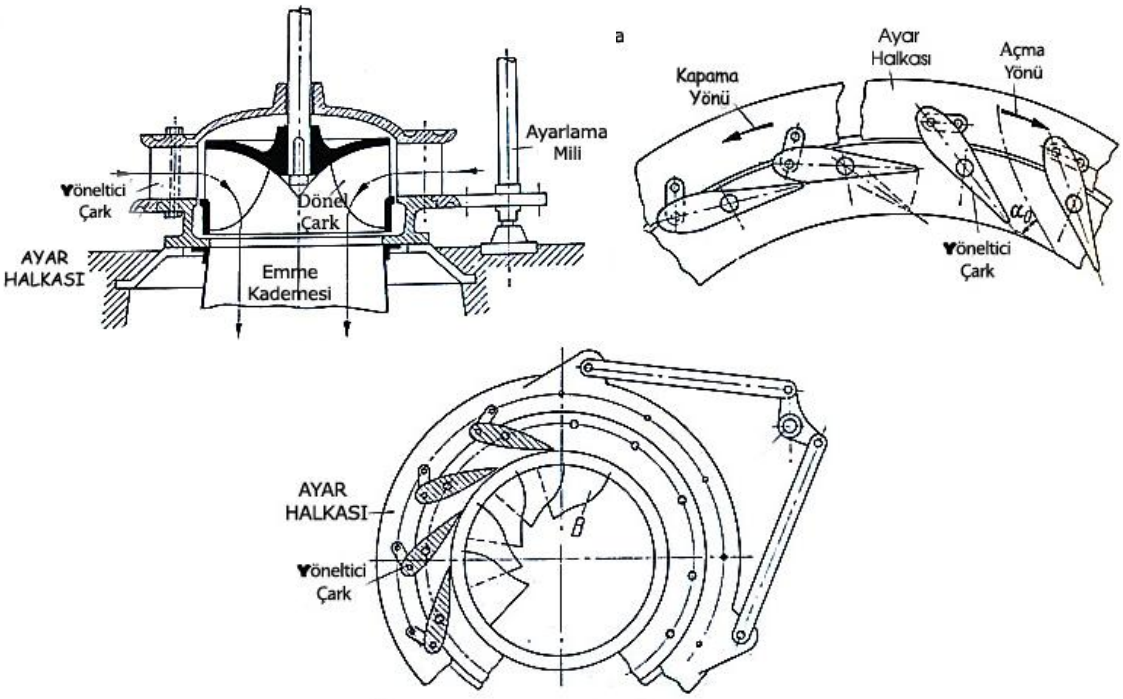
Şekil 4. 12 Dikey Eksenli Francis Türbini

Francis tipi türbinleri 600 m düşüye kadar çalışırlar. Ve 500 MW'a kadar güç elde edilebilmektedir. Bu türbin tipinin Pelton türbinine göre avantajı, daha küçük boyutlarda imal edilerek, daha yüksek dönme sayılarında çalıştırmak mümkündür. Bu suretle imalattan dolayı bir hayli ekonomi sağlanır. Yurdumuzda Devlet Su İşlerinin denetiminde bulunan su türbini tesislerin büyük çoğunluğunda Francis tipi türbin kullanılmaktadır. Küçük güçlerde örnek olarak 200 kW'a kadar olan güçlerde ve 5 m düşüden daha az yerlerde kamara tipi denilen ve düşey eksenli Francis türbini kullanılır.

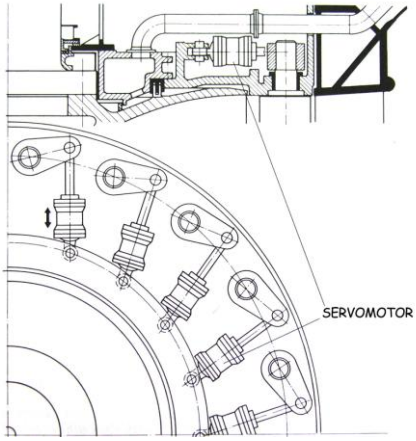
Bazen yatay eksenli olarak ta kullanılmaktadır. Bu türbin; ayarlanabilir yöneltici kanatlar, dönel çark ve emme borusundan meydana gelir. Yapısı basit ve kullanışlıdır. Şekil (4.13)'te ise büyük güç eldesinde kullanılan yatay eksenli ve salyangozlu Francis tipi denilen türbin kullanılmaktadır.



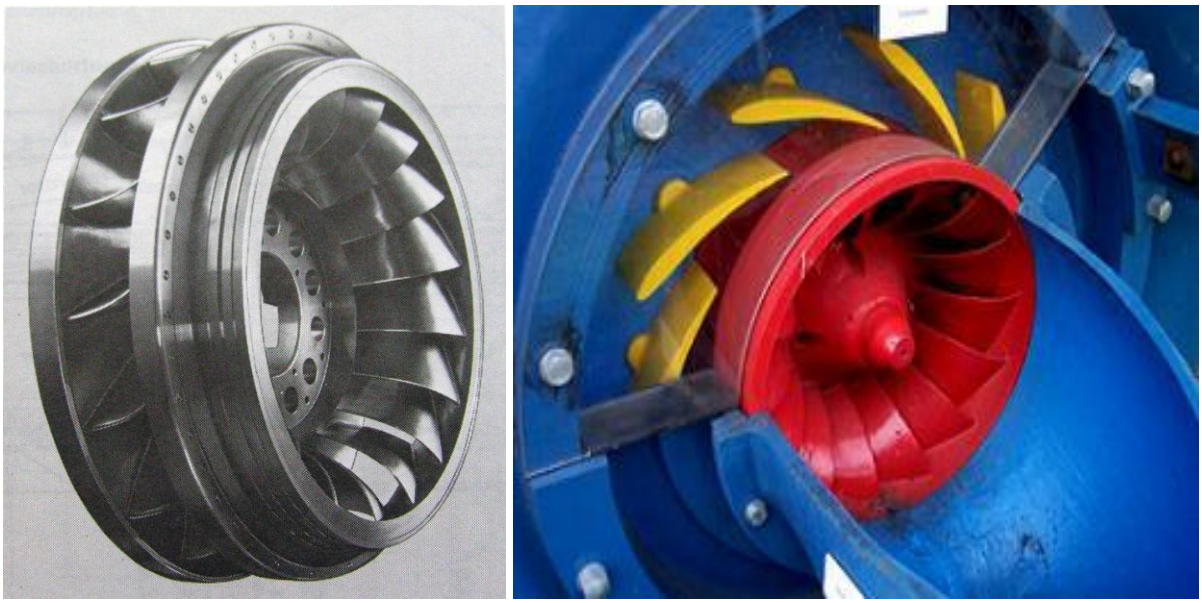
Şekil 4. 13 Yatay Eksenli Salyangoz Tipi Francis Türbini



Şekil 4. 14 Francis Türbininde Yöneltici Çark ile Debi Ayarı



Şekil 4. 15 Servomotor Yardımıyla Yöneltici Kanatların Ayarı



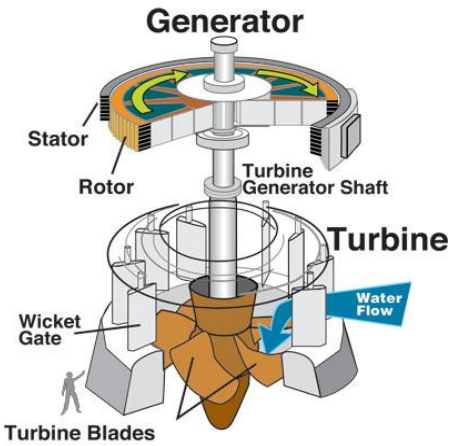
Şekil 4. 16 Francis Tipi Dönel Çark

4.2.2) Kaplan (Uskur Tipi) Türbini:

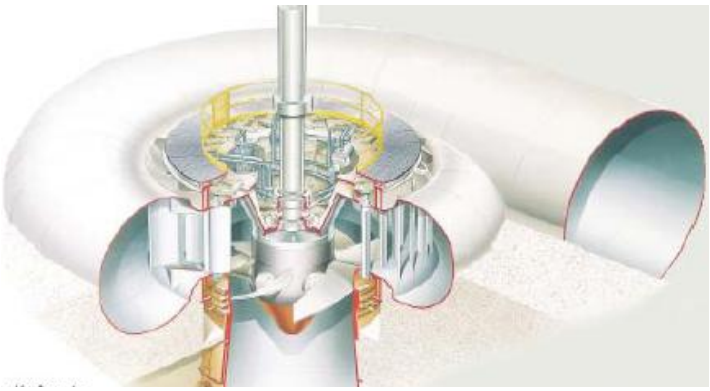
1913 yılında Prof. Viktor Kaplan tarafından patenti alınan bu türbin tipi eksenel olarak dönmekte etki türbinleri sınıfına girmektedir. Yani suyun girişi ile çıkışı arasında basınç farkı vardır. Bu çarkların özgül hızları büyük olup, yüksek debilerde ve buna karşılık düşük düşülerde çalışırlar. Bu tip türbinlerin verimli olabildiği ortalama düşü değerleri 80 m'nin altındadır. Kaplan türbinleri ya salyangoz gövdeli veya boru tipi olarak imal edilirler. Bugüne kadar imal edilen en büyük kaplan türbininde elde edilen güç 100 MW olup dönel çark çapı 10 metre'nin üstündedir. Kaplan tipi türbinler klasik nehir türbinleri olarak ta ifade edilirler. Propeller(Uskur), Bulb, Tube(Boru), Straflo diye adlandırılan türbinlerde kaplan türbininin varyasyonlarıdır.

Kaplan türbininin, gemi pervanesine benzeyen, ama onun tersi biçimde çalışan bir çarkı vardır(Şekil 4.17). Bir motorun çevirdiği gemi pervanesi gemiyi ileriye doğru hareket ettirmek için suyu geriye iter; Kaplan türbininin çarkı çevresinden geçen suyun etkisiyle döner. Tıpkı döner bahçe sulayıcılarında, borudan yüksek basınçla gelen suyun, sulayıcının

kavisli kollarına düşük hızla girip, düşük atmosfer basıncıyla karşılaştığında ivmelenerek dışarı çıkması sonucu oluşan tepki kuvvetinin sulayıcıyı döndürmesi gibi. Bu türbinlerde su giriş ve çıkışı aynı eksendedir. Çevre boyunca yerleştirilmiş yönlendirici kanatlardan geçen su türbin çarkına gönderilir(Şekil 4.18).



Şekil 4. 17 Kaplan Türbin Çarkı Şekil ***4. 18 Kaplan Türbinin Çalışma Prensibi***



Şekil 4. 19 Kaplan Türbin Tesisi

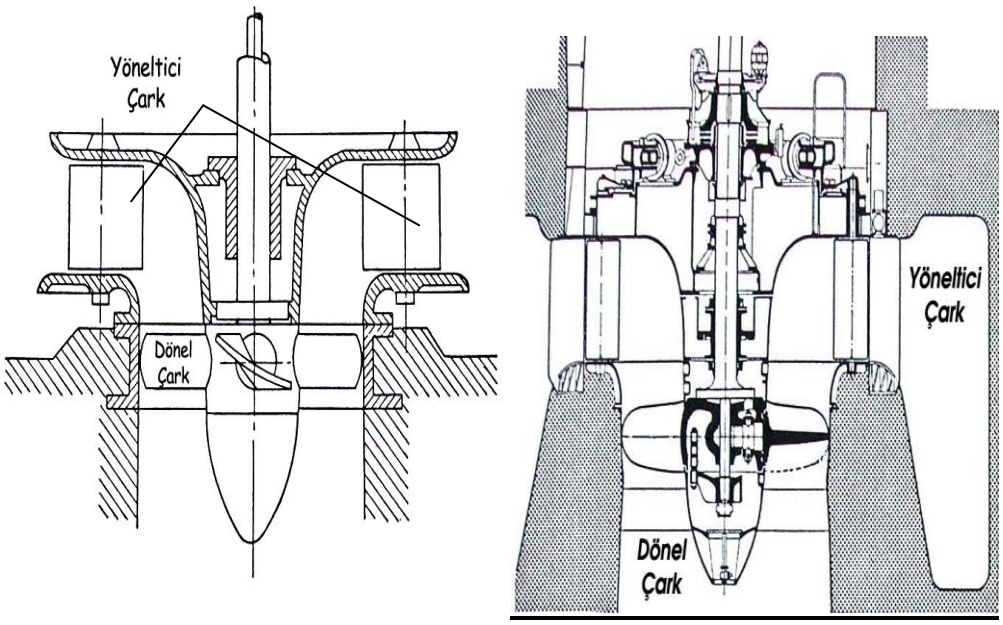
3 m ila 8 m dönel çark çapına kadar kanatlar ayarlanabilir olarak imal edilirler. Kanat sayıları değişken olabilir. Buradaki ayar, hidrolik servomotorlarla sağlanır. Özel durumlarda kanatların ayarlı olmasından vazgeçilebilir. Bu durumda türbinin adı Uskur tipi olmaktadır(Şekil 4.20). Genelde kaplan türbinlerin bu tipleri kullanılmaktadır.

Şekil 4. 20 Uskur Tipi Kaplan Türbin Çarkı

20 metre düşüye kadar beton salyangoz gövdeli imal edilirler. Daha büyük düşülerde ise salyangoz gövde saçtan imal edilmelidir. Bunun en büyük sebebi oluşan basınca karşı koyabilmesi içindir.

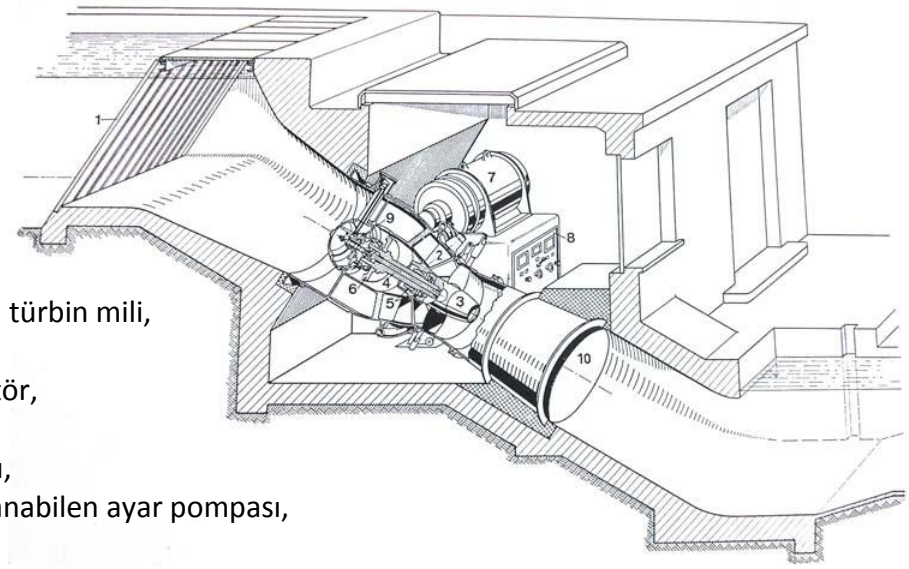
Kaplan türbinleri Francis türbinlerine nazaran daha hızlı dönerler. Bu büyük avantaj nedeniyle Jeneratöre arada kayış kasnak veya dişli olmadan da direkt, bağlanabilir, Francis türbinleri orta düşüşler için Kaplan türbinleri ise alçak düşüler için daha ekonomiktir. Yapımları aksiyon türbinlerine göre daha zordur, Bu nedenle mikro hidrolik sistemlerde daha az kullanılmaktadır. Ayrıca bu türbinlerde kavitasyon tehlikesi de vardır. Değişken debilerde de düşük verim verirler.

Düşen suyun miktarında veya düşüş yüksekliğinde veya yük talebinde kayda değer değişiklikler yer aldığı takdirde, uskur geometrisine sahip türbinlerin verimi %75'in altına düşüyor. Debi fazlalığına karşı önlem nispeten kolay ve genellikle, ya giriş vanalarının 'yük talebini izleyen otomatik kontrolüyle sağlanıyor, ya da fazla su, yakın konumda inşa edilmiş olan baca şeklindeki bir depoya ('penstok') saptırılıyor. Gerektiğinde bu baca suyu, 'yüksüz başlatma' için kullanılabiliyor. Düşüş yüksekliğindeki mevsimsel değişmelerin veya yük talebindeki oynamaların yol açtığı verim düşüklüğü sorunlarını aşmak için ise, Kaplan türbininde, rotor kanatlarının açıları ayarlanabilir kılınmış (Şekil 4.21). Bu, yağ basıncıyla çalışan ve genellikle rotor gövdesi içine yerleştirilmiş bulunan bir servomotor aracılığıyla başarılıyor. Yağ, türbin ve alternatör şaftı üzerindeki yarıklardan geçen borularla iletiliyor. O anki su akışına göre en uygun kanat açısı ayarı, keza bir pilot servomotor tarafından yapılıyor. Bu nitelikleriyle, suyun düşme yüksekliğindeki mevsimsel oynamalar sorun olmaktan çıkıyor.



Şekil 4. 21 Kaplan Türbininde Debi Ayarı ve Türbinin Genel Görüntüsü

Kaplan türbinleri genellikle salyangoz gövde biçiminde ve dikey olarak kullanılırlar. Yatay olması gereken durumlarda ise farklı bir uygulaması olan boru tipi türbinler kullanılmaktadır. Bu tip türbinler kaplan tipine nazaran daha düşük düşülerde tercih edilirler. Nehirlerde uygulamaları oldukça fazladır.



1 Giriş Izgarası,
2 Yöneltici çark,
3 Dönel çark,
4 Dönel çarkı ayarlı türbin mili,
5 Salmastralar,
6 Konik dişli redüktör,
7 Jeneratör,
8 Kumanda panosu,
9 Kademesiz ayarlanabilen ayar pompası,
10 Emme borusu.

Şekil 4. 22 Boru Tipi Kaplan Türbin Tesis Örneği ve Ekipmanları

Şekil 4. 23 Farklı Boru Tipi Türbin Örnekleri

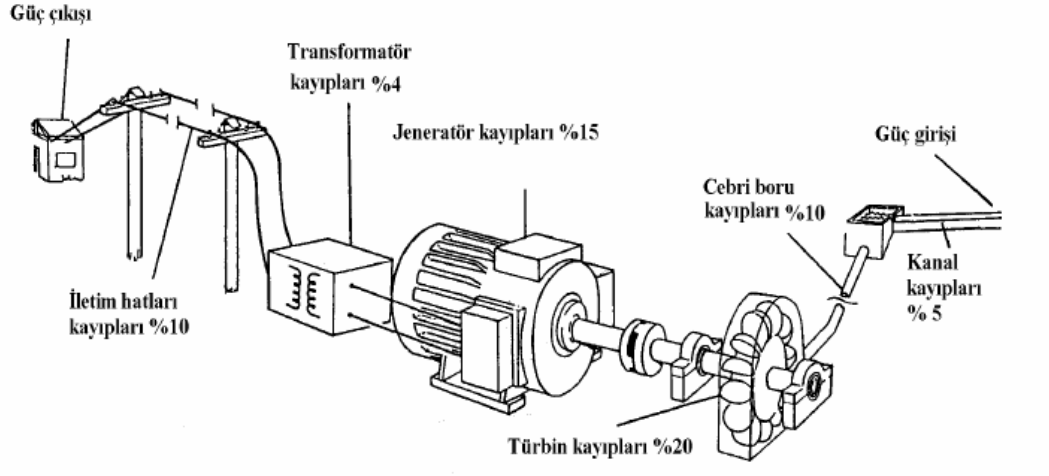
5) TÜRBİN SEÇİM KRİTERLERİ

$$P_e = \rho\, g\, Q\, H_o\, \eta_g \quad (1)$$

Burada;
Pe :Türbin milinden alınan gücü (W),
ρ :Suyun yoğunluğunu ($1*10^{-3}$ kg/m^3),
g :Yerçekimi ivmesini (9.81 m/s^2),
H_o:Net düşüyü (giriş ağzı ile kuyruk suyu arasındaki kot farkından toplam düşü kayıplarını çıkartarak bulunur, m),
Q :Türbine gelen debiyi (m^3/s),
η : genel verimi göstermektedir.

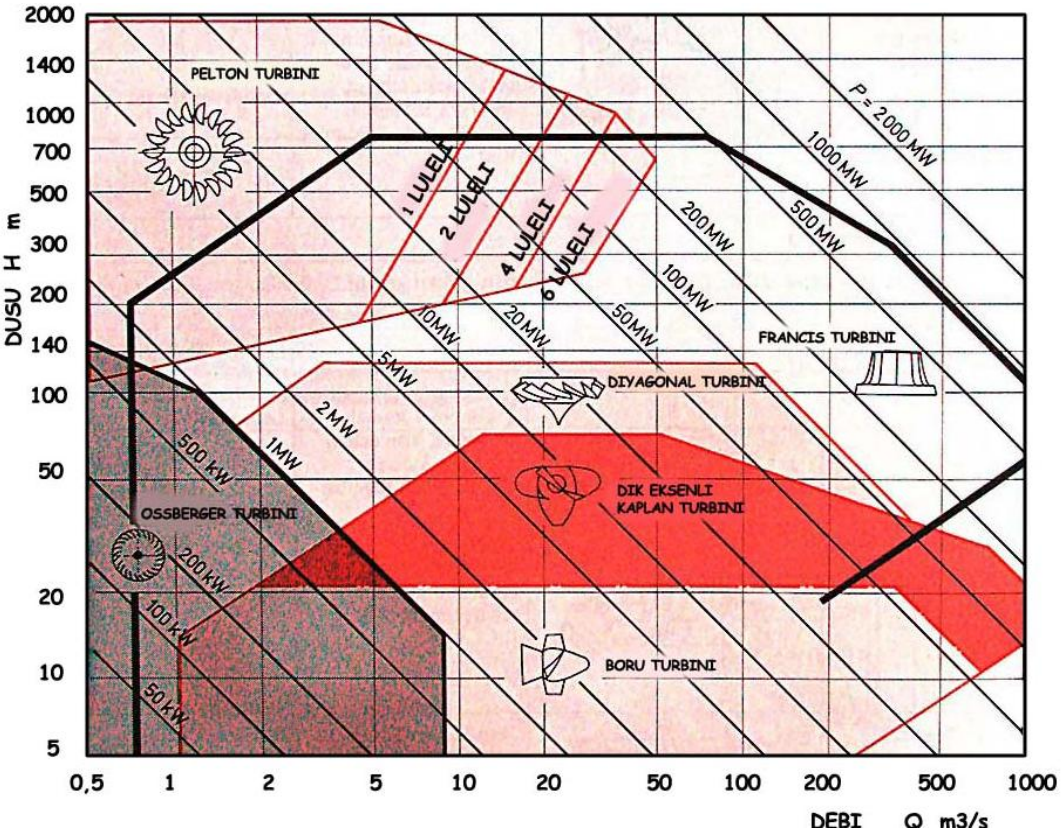
Bir hidroelektrik güç sisteminde toplam güç çıkışı ve kayıpların oluşumu şu şekilde gösterilmiştir (Şekil 5.1);

$$\text{Güç çıkışı} = \eta_{inşaat} \times \eta_{cebri\ boru} \times \eta_{türbin} \times \eta_{jeneratör} \times \eta_{transformatör} \times \eta_{nakil\ hattı} \times \text{Güç girişi} \quad (2)$$

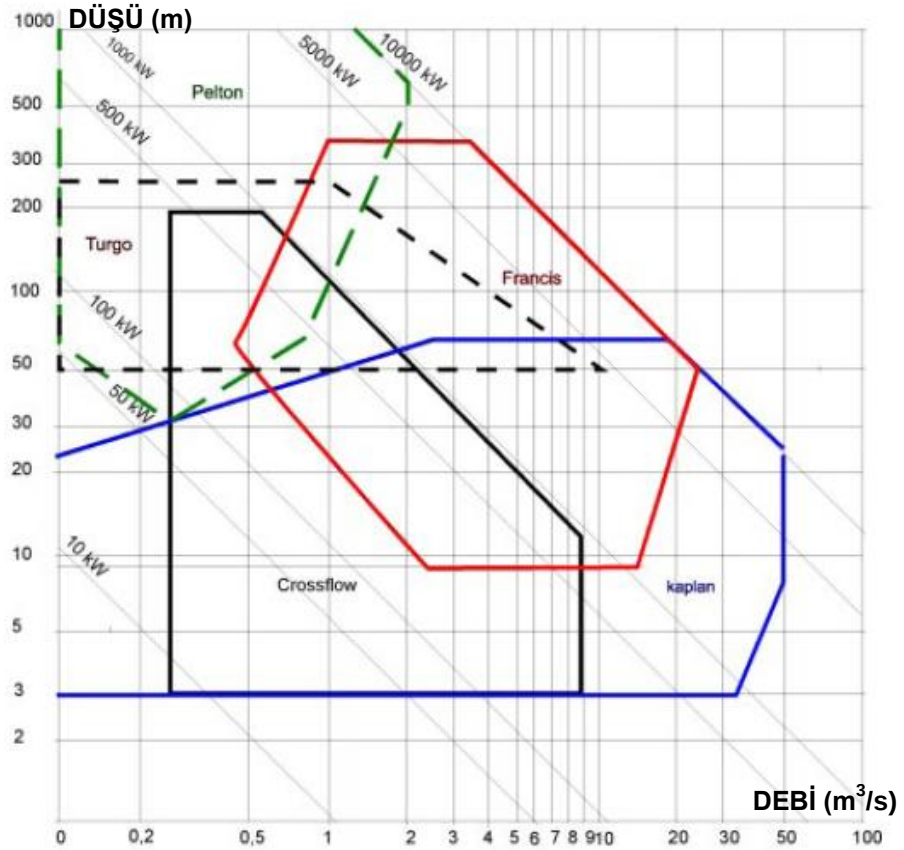


Şekil 5. 1 Bir Hidroelektrik Santralde Toplam Güç Çıkışı ve Kayıplar

Hidroelektrik sistemlerde kullanılan türbin tipleri yüksek, orta ve alçak düşü makineleri olarak sınıflandırılır. Şekil 5.2'de 50kW-2000MW güç bölgesi için, Şekil 5.3'te ise 1kW-10MW güç bölgesi için farklı düşü ve debi bölgelerinde hidroelektrik santrallerde kullanılan türbinler gösterilmiştir. Aşağıdaki grafiklerden türbin seçimi yapabilmek için öncelikle kuracağımız hidroelektrik güç tesisinin debi ve düşü değerlerinin bulunması gerekir. Ardından bu değerlerin keşistiği noktayla türbinden elde edilecek güç miktarını gösteren doğrunun kesistiği veya yaklaşık olarak kesistiği nokta hangi türbin bölgesinde kalıyorsa, kuracağımız hidroelektrik güç tesisimizde o türbinin kullanılması verimlilik ve işletme şartlarının iyileştirilmesi bakımından en uygun seçimdir.



Şekil 5. 2 Debi ve Düşü Değerlerine Göre Kullanılacak Türbin Çeşitleri (50kW-2000MW)



Şekil 5. 3 Debi ve Düşü Değerlerine Göre Kullanılacak Türbin Çeşitleri (10kW-10MW)

Bununla beraber türbin tipleri için yukarıda belirtilen düşü sınırları sadece bir ön fikir vermek içindir. Herhangi bir tesiste kullanılacak türbin tipi hakkında hemen bir şey söylenemez. Gerçekte Hes'lerde kullanılacak türbin tipi özgül dönme sayısı ile belirlenir.

Bir türbinin n_s özgül hızı, o türbine benzer olan ve aynı cins akışkanla 1 m net düşü altında çalışıp en iyi verimle milinden 1 BG güç veren türbinin dakikadaki devir sayısı olarak tanımlanır. Tablo 5.1'de özgül hıza bağlı olarak türbin tipleri görülmektedir. Özgül hız bağıntısı şu şekilde verilmektedir;

$$n_s = n \cdot \frac{\sqrt{P_e}}{H_o^{5/4}}$$

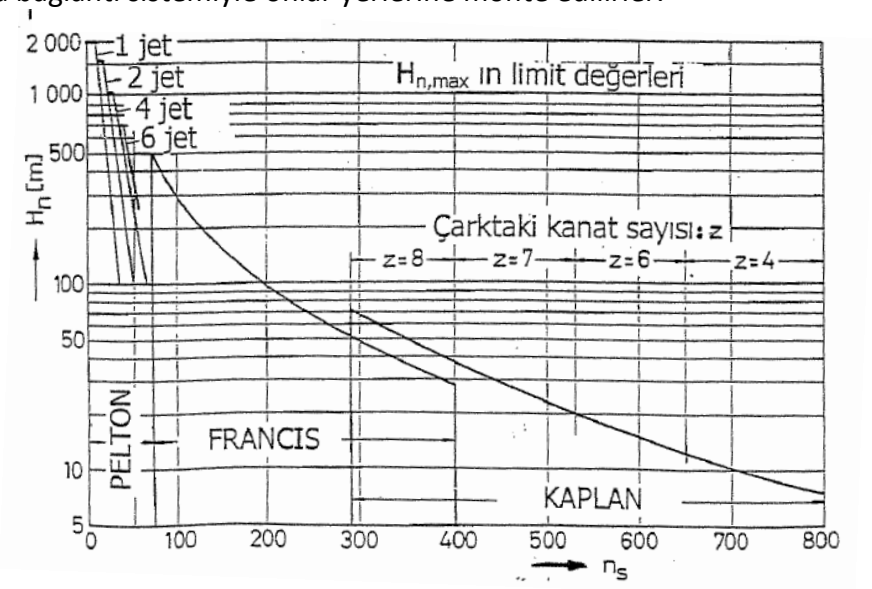
$\boldsymbol{n}$: d/d,
$\boldsymbol{P_e}$: BG,
$\boldsymbol{H_o}$: m

TÜRBİN TİPİ	ÖZGÜL HIZ (n_s)
Pelton	*12-30*
Turgo	*20-70*
Banki Michell-Ossberger	*20-80*
Francis	*80-400*
Uskur veya Kaplan	*340-1000*

Tablo 5. 1 Türbin Tiplerinin Özgül Hıza Göre Sınıflandırılması

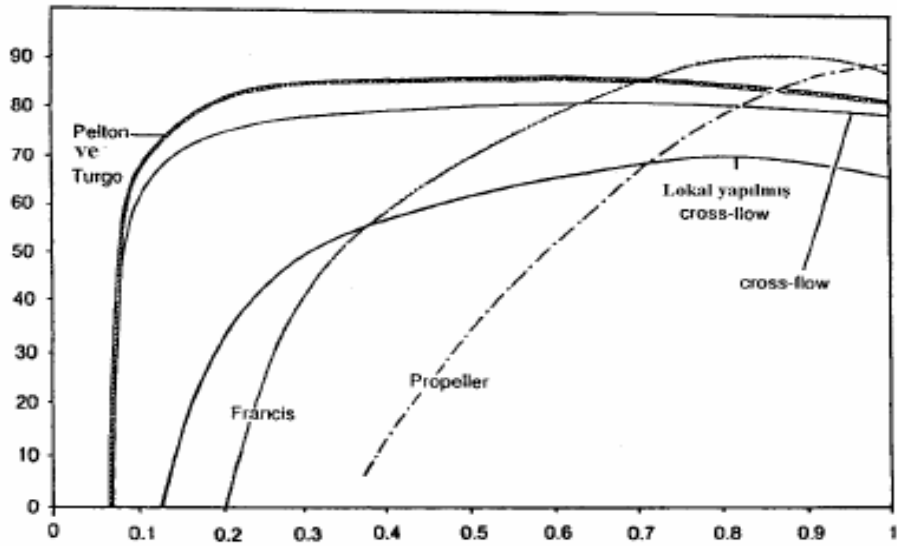
Türbin tipi seçiminde türbin veya jeneratörün hızı da önemlidir. Türbin tarafından döndürülen jeneratörler, tipik bir türbinin optimum hızından daha yüksek bir devirde dönerler. Bu bağlantı kayış kasnak, dişli mekanizması veya bir kavrama yardımıyla sağlanır. Burada hız oranının minimum olması tercih edilir. Bu durumda bağlantı daha kolay ve

maliyet daha düşüktür. Kural olarak 3:1 oranından kaçınmak gerekir en azından 2.5:1 oranı veya altı tercih edilmelidir. Şayet 1500 d/d ile dönen bir jeneratör varsa seçilecek türbinin hızı en az 500 d/d veya üzeri olmalıdır. Türbin hızının jeneratör hızında olması durumunda jeneratör direkt olarak türbin miline bir kavrama ile bağlanır. Üreticiler bunu tavsiye ederler. Genellikle, mikro türbin yerleştirmelerinde üniteleri ayrı olarak satın almak daha ucuzdur ve daha sonra bağlantı sistemiyle onlar yerlerine monte edilirler.



Şekil 5. 4 Özgül Hıza Bağlı Olarak Türbin Tiplerinin Kullanılma Bölgeleri

Diğer bir kriter ise türbinin kısmi debi koşullarında çalıştırılıp çalıştırılmayacağıdır. Şekil 5.5'de kısmi yüklerde türbinlerin verim eğrilerinin değişimi verilmiştir. Tüm türbinler, bir güç-hız ve verim-hız karakteristiğine sahiptir. Pelton ve Cross-flow (Banki) türbinleri dizayn değerlerinin dışında farklı değerlerde de çalışmaları durumunda oldukça yüksek verim vermektedirler. Francis türbinlerinde kısmi yükler karşısında verim düşmektedir. Hatta Uskur türbinlerinde, tasarım debisinin %80 ve üstü haricindeki debi bölgesinde çok düşük verim elde edilir. Francis türbinleri büyük hidrolik sistemlerde oldukça popüler bir türbin olmasına karşılık karmaşık bir yapıya sahip olmaları ve kısmi yüklerdeki davranışı nedeniyle mikro hidrolik sistemlerde fazla kullanılmazlar.



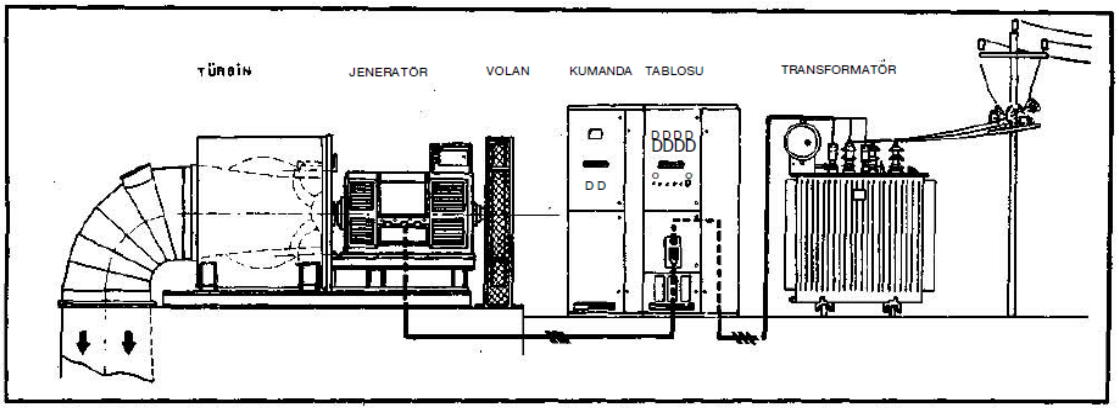
Şekil 5. 5 Türbin Tiplerinin Kısmi Yüklerde Çalışması Halinde Verim Eğrileri

6) OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİ

Mikro-türbin tesisinden kullanıcı tarafından çekilen gücün zaman zaman değişiklik göstermesi türbinin devrinin, dolayısıyla çıkış geriliminin ve frekansının değişiklik göstermesine sebep olur. Sistemden çekilen güç arttığında alternatördeki zorlanmayı bağlı olarak türbin devri düşer, gerilim ve frekans istenilen değerin altına düşer. Türbini normal devrine getirmek için sisteme daha çok su almak gerekir. Aynı şekilde, sistemden çekilen güç azaldığında, alternatördeki boşalmaya bağlı olarak türbin devri artar, gerilim ve frekans istenilen değerin üstüne çıkar. Bunları normal değerlerine getirmek için sisteme giren suyu azaltmak gerekir. Bunun için otomatik kontrol sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem türbin devrini ölçen bir sensör ve devri sabit tutmak için sensörden alınan bilgiye göre ayar kanadını açıp kapatarak sisteme giren suyun miktarını ayarlayan bir mekanizmadan oluşur.

Regülâtörler türbin hızını kontrol etmek için kullanılırlar. Son yıllara kadar hidrolik sistemlerde kullanılan bütün regülâtörler, türbine giden suyu ayarlayarak güç değişimi sağlamaktaydı. Regülatörün görevi ister mekanik ister elektriksel olsun türbin milindeki hızı ayarlamaktır. Daha fazla güce ihtiyaç duyulduğunda türbin girişine daha fazla su verilir, benzer olarak daha az güce ihtiyaç duyulduğunda ise türbin girişi kısılarak daha az miktarda suyun türbine girişi sağlanır.

Küçük sistemler için daha fazla yük kontrol regülâtörleri kullanılmaya başlanmıştır. Bunların yapısı çok daha basittir. Maliyetin düşük olması istenen bütün mikro hidrolik sistemlerde yük kontrol regülatörleri tercih edilir. Yük kontrolü bir elektronik cihaz olup kullanıcı yükünün değişmesinde dahi jeneratörde sabit bir elektrik yükü sağlar. Türbinde debi akış kontrol cihazına ve regülatör sistemine ihtiyaç duymaz. Türbin debisi sürekli aynı sabit değerinde tutulur. Yük kontrolü jeneratörde daima sabit bir elektrik yükünü garanti eder. Türbin çıkış gücü sabittir dolayısıyla hız da sabit olacaktır. Yük kontrolü, ana yük tarafından istenmeyen ikinci bir safra yükü sağlayarak sabit bir jeneratör çıkışı sağlar. Çalışma prensibi ise kısaca şu şekildedir: Daha az yüke ihtiyaç olduğu anda türbin hızı ve frekans düşmeye başlayacaktır, bu durum yük kontrolü tarafından algılanacak ve ilave safra yükünü sağlamak üzere dirençler devreye girecektir, böylece kullanıcı yükünün değişmesi durumunda da jeneratördeki toplam yük sabit kalacaktır. Yük kontrolü normalde frekansı veya voltajı sürekli ölçerek türbin hızını kontrol edecektir. Bu sistemin en büyük avantajı ucuzluğu ve basitliğidir. Tamir ve hareketli parça gerektirmez.



Şekil 6. 1 Küçük Hes Elektromekanik Aksamı

7) GÜÇ VE ENERJİ GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ

Herhangi bir mikro türbin tesisi kurmadan önce yapılması gereken en önemli çalışmalardan biride güç ve enerji gereksinimlerinin doğru bir şekilde belirlenmesidir. Eğer kuracağımız tesis sadece 1 evi besleyecekse, evde bulunan elektrikli alet ve ekipmanların hepsinin harcayacağı toplam güç miktarı kontrol edilir ve bu değerler toplanarak elde edilen toplam güç değeri bulunur. Bulunan bu değer kW cinsinden türbin tesisinden çekilecek olan güç miktarıdır ve genellikle kWh birimiyle ölçülür. Kurulacak tesis maksimum güç miktarına göre dizayn edilmelidir. Yani evdeki bütün elektrikli cihazların aynı anda çalışacağı varsayılarak bir değerlendirme yapılır. Aşağıdaki tabloda bir evde bulunabilecek elektrikle çalışan ekipmanların yaklaşık güçleri verilmiştir.

EV ALETİ	GÜÇ (W)	AYLIK ÇALIŞMA SÜRESİ (SAAT)	AYLIK ENERJİ KULLANIMI (kWh)
Buzdolabı	300	300	90
Televizyon	100	125	12,5
Çamaşır Makinesi	500	26	13
Bulaşık Makinesi	1300	20	26
Su Isıtıcısı	3800	140	532
Bilgisayar	250	240	60
Aydınlatma	100	90	9
Ütü	1000	12	12

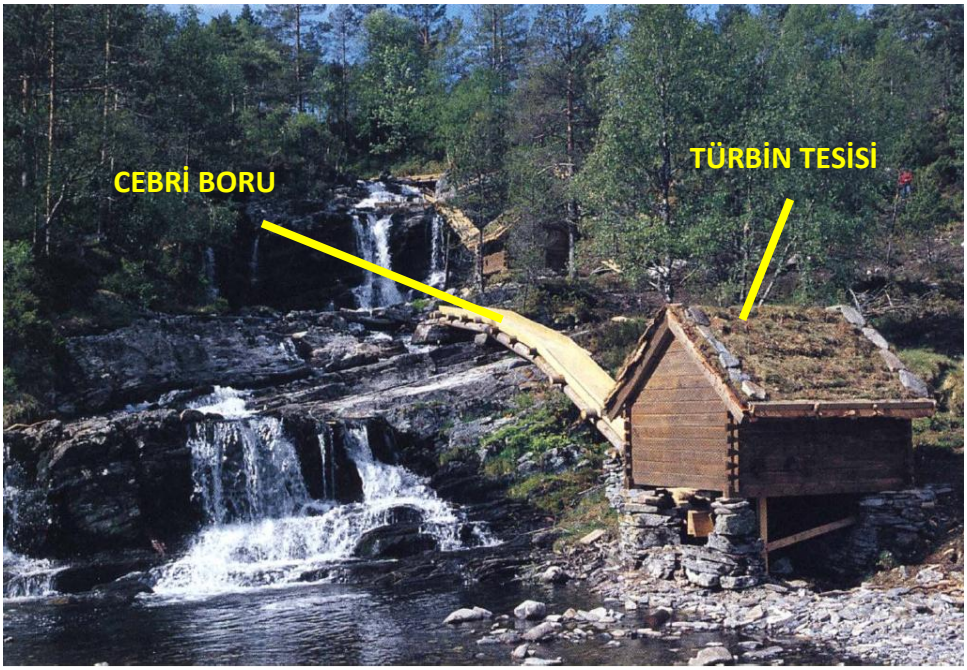
Tablo 7. 1 Elektrikli Ev Aletlerinin Harcadıkları Güç ve Aylık Enerji Kullanımları

Şekilde görüldüğü gibi bir evde bulunan elektrikli aletlerin her birinin ayrı ayrı güçleri bulunarak bir tablo oluşturulur ve bu tabloya göre aylık enerji kullanımları belirlenir. Belirlenen enerji kullanımlarına göre uygun güçte türbin tesisi kurulur. Kurulacak tesisin sağlayacağı enerji miktarı, kullanılacak olan evdeki veya mahalledeki enerji gereksinimlerinden bir miktar fazla olmalıdır. Aksi takdirde, kuracağımız tesis elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayamaz ve bu durumda yanlış ve gereksiz bir yatırım yapmış oluruz.

Türbin tesisinin besleyeceği evin veya mahalin enerji ihtiyaçlarını belirlemenin bir diğer yolu da, eğer önceden elektrik dağıtım şebekesine bağlıysa, 1 yıl içerisinde gelmiş olan elektrik faturalarındaki enerji tüketim miktarları toplanarak ortalaması bulunabilir. Veya herhangi bir yakıtlı jeneratör kullanılıyorsa 1 yıl içindeki harcamış olduğu yakıt miktarına göre ortalama bir tüketim değeri bulunabilir.

8) TÜRBİN TESİSİNİN İNŞASI ve MONTAJI

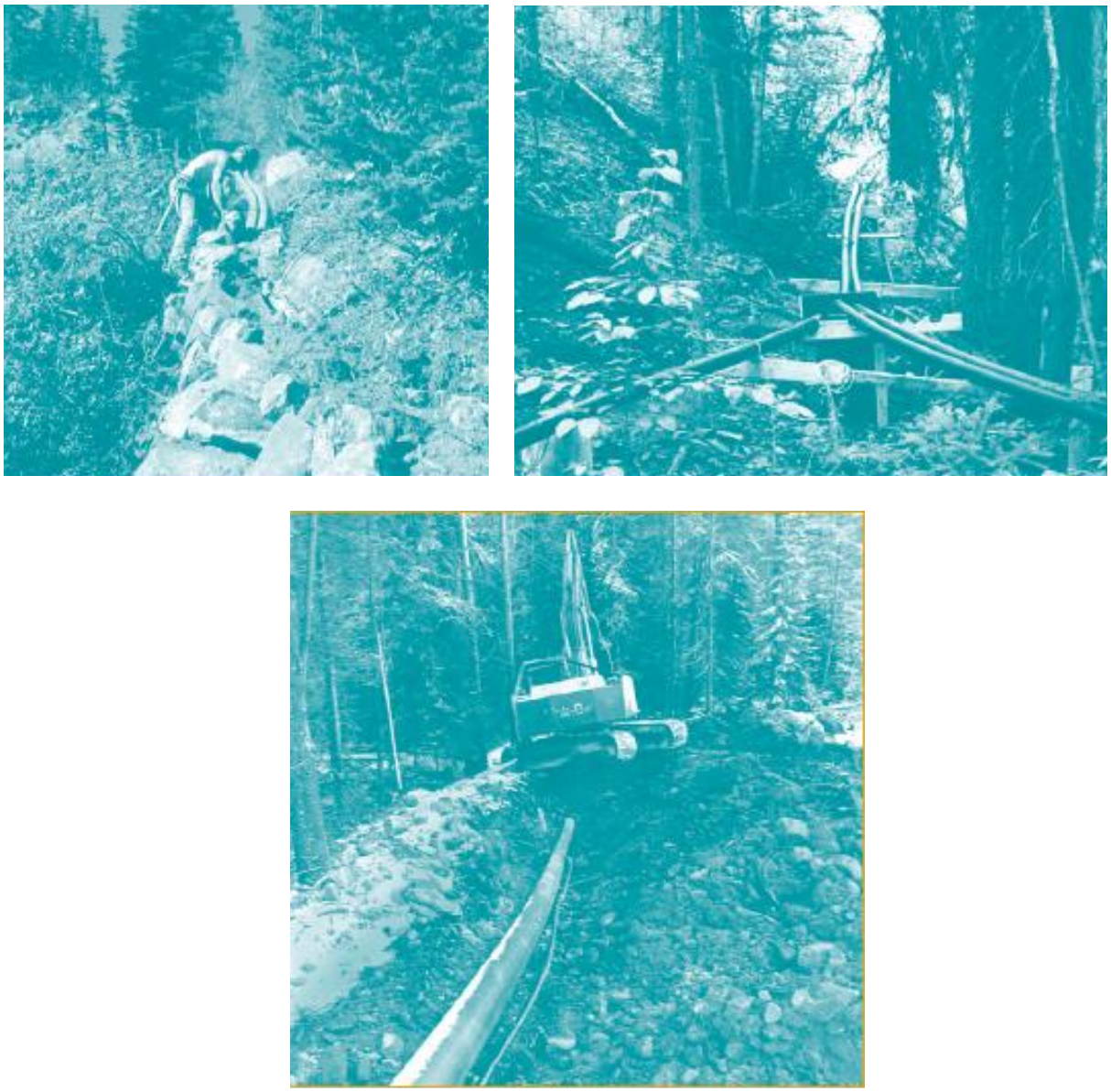
Mikro türbin tesisindeki inşaat işlerinin temel amacı; türbini besleyecek olan suyun, kaynağından uygun bir yöntemle alınarak, havuz, kanal, boru vb. elemanlarla türbine aktarılmasını sağlamaktır(Şekil 8.1). İnşa edilecek sistemin; arazi şartlarına uygunluğu, optimum çalışma performansına göre dizayn edilmesi ve sağlamlığı en önemli faktörlerdir. Bunun yanında; gerekli teknik imkânların kullanılması, uygun malzeme ve işçilik, çevreye duyarlılık, heyelan, sel gibi çevresel etkenlerin araştırılması, yapılacak olan çalışmalar için gerekli olan yasal prosedürlerin gerçekleştirilmesi, arazi kullanım şartlarının belirlenmesi, inşaat çalışmalarının başlatılmasından önce değerlendirilmesi gereken diğer önemli ayrıntılardır.



Şekil 8. 1 Türbin Tesisi

Kurulacak olan türbin tesisinin büyüklüğüne göre, gerekli olan inşaat işleri tesisi yaptıracak kişi tarafından veya herhangi bir yüklenici (müteahhit) ile sözleşme imzalayarak yaptırılabilir. Proje kapsamında türbin tesisinin mekanik ve elektronik aksamları yapılmaktadır. Diğer inşaat işlemleri tesisi kurduran kişi ya da kuruluşlara temel hatlarıyla izah edilerek, yapılması gereken işlemler ve uyulması gereken kurallar belirtilir.

İnşaat işlemlerinin yaptırılması için yeterli tecrübe ve teknik donanımın bulunması gerekmektedir. Eğer bir yüklenici ile sözleşme imzalanarak bu işlemler yaptırılacaksa, mutlaka bu sektörde uzmanlaşmış, su alma ağzı, taşıyıcı kanal, cebri boru, türbin çıkış suyu hattı inşası yapabilecek veya daha önceden bu alanda birçok inşaat gerçekleştirmiş ve kendini ispatlamış kuruluşlar tercih edilmelidir(Şekil 8.2 Cebri Boru Yerleştirilmesi). Yapılacak olan hatalı inşaat işlemlerinden doğan sorunlar da hiçbir sorumluluk kabul edilmemektedir.



Şekil 8. 2 Cebri Borunun Yerleştirilmesi

Türbin tesisinin inşasının yapılacağı zamanda önemli bir ayrıntıdır. Yıl içerisinde mevsim şartlarına göre inşaatın gidişatı veya işin kalitesi olumlu veya olumsuz şekilde etkilenebilir. Ülkemizde genellikle Kasım ayı ile Mart ayı arasında yağış rejiminin artması, bazı bölgelerde kar yağışlarının görülmesi ve dondurucu soğukların meydana gelmesi inşaat çalışmalarını yavaşlatabilir, bunun yanında ek bir maliyet ortaya çıkarabilir. Dolayısıyla inşaat işlerinin genellikle ilkbahar-yaz mevsimlerinde gerçekleştirilmesi; işin zamanında bitirilmesi ve maliyet açısından daha uygundur.

Ayrıca, inşaat işlemlerinde malzeme tedariki de çok önemlidir. Eğer yapılacak olan inşaat için gerekli malzemeler zamanında tedarik edilmezse, ortaya çıkacak olan bekleme süresince, o iş için görevlendirilmiş elemanların çalışma ücretlerinin ödenmesi, yemek ve konaklama giderleri de ek bir maliyet olarak ortaya çıkacaktır. Bu yüzden inşaata başlamadan önce çok iyi bir planlama yapılmalıdır.

9) TESİSİN DEVREYE ALINMASI ve KONTROL

Mikro türbin tesisinin devreye alınması ve kontrol edilmesi en son yapılacak olan önemli bir işlemdir. Bunun için bazı performans testleri yapılmaktadır. Bu testlerin yapılmasındaki amaç türbin tesisinin projelendirmesinde elde edilen dizayn parametrelerinin ve tesis genel veriminin hesaplanan değerlerde olup olmadığının belirlenmesi ve kullanılan mekanik ve elektronik parçalarının istenilen düzeyde çalışıp çalışmadığının ortaya çıkarılmasıdır.

Devreye alma işleminde sisteme giren su debisinin ölçülmesinin yanında jeneratöre gelebilecek aşırı yük durumunun da kontrolü yapılmaktadır ve bunu önlenmesini sağlayacak sistemin yeterliliği test edilmektedir. Ayrıca; belirlenen dizayn debisinde türbinden çekilen güç testi, cebri boru basınç kontrolü, borularda oluşan kayıpların belirlenmesi, türbin devrinin ölçülmesi, elde edilen voltaj ve frekans değerlerinin kontrolü, otomatik yük kontrol sisteminin kontrolü ve kısa devre halinde sistemi durduracak güvenlik sisteminin kontrolü, devreye alma işlemleri içerisinde yapılmaktadır.

Devreye alma işlemi, alanında yeterli bilgi ve donanıma sahip, uzman kişilerce yapılmalıdır. Tesisi oluşturan bütün parçalar düzgün bir şekilde kontrol edildikten sonra herhangi bir olumsuzluk ortaya çıkmadıysa türbin tesisi devreye alınmalıdır, ayrıca; devreye alma işlemlerinde yapılan test ve kontroller belirli zaman aralıklarında tekrarlanmalıdır. Alanında yeterli bilgi ve donanıma sahip uzman mühendisler tarafından bu işlemler gerçekleştirilmekteyiz.

10) TÜRBİN TESİSİNİN İŞLETİLEMSİ ve BAKIM ŞARTLARI

Mikro türbin tesisinin işletilmesi ve bakımı belirlenen kurallar ve bakım talimatları doğrultusunda düzgün bir şekilde yapılması gerekmektedir. Türbin tesisinde kullanılan ekipmanların periyodik olarak bakımı yapılmalıdır. Türbine giden suyun yükleme havuzundan bir cebri boru ile alınmasını zorlaştıracak herhangi bir dış etkenin oluşmamasını sağlanmalıdır. Bunun için günlük kontrol yapılabilir fakat, türbini besleyecek olan su fazla yabancı madde (yaprak, dal vb.) taşımıyorsa, haftalık veya aylık bakım yapılması da yeterli olabilir.

Türbin ve jeneratör sistemini mekanik ani zorlamalardan korumak için ani büyük yük alam ve verme işlemi yapmaktan kaçınılmalıdır. (örneğin çok sayıda ısıtıcı, lamba, motor vb. çalışırken hepsi aynı değil yaklaşık 10’ar saniye arayla devreye alınmalıdır.)

Bunun yanında, genel olarak mekanik aksamın ve yatakların yağlanması, kayış sistemi varsa kayışların genliklerinin ayarlanması, akülü sistem kullanılıyorsa aküdeki su seviyesinin aylık olarak kontrol edilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, sistemde bulunan mekanik ve elektronik parçalarda herhangi bir değişiklik yapılmaması gerekmektedir. Herhangi bir arıza veya çalışmama durumunda TEKNO TASARIM yetkilileri ile irtibata geçilmelidir.

11) TÜRKİYE'NİN HİDROELEKTRİK POTANSİYELİ

Bir ülkenin elektrik enerjisi tüketimi o ülkenin kalkınmışlığının bir göstergesidir. 2008 yılında Türkiye'de kişi başına yıllık elektrik tüketimi 3 000 kWh (kilovat saat) iken, dünya ortalaması 2 500 kWh, gelişmiş ülkelerde 8 900 kWh, Çin'de 827 kWh, ABD'de ise 12 322 kWh civarındadır. Ülkemizin ekonomik ve sosyal bakımdan kalkınmasının sağlanması için endüstrileşme bir hedef olduğuna göre bu endüstrinin ve diğer kullanıcı kesimlerin ihtiyacı olan enerjinin, yerinde, zamanında ve güvenilir bir şekilde karşılanması gerekmektedir.

Çeşitli enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji santralleri çevre dostu olmaları ve düşük potansiyel risk taşımaları nedeniyle tercih edilmelidir. Bu tür santraller ani talep değişimlerine cevap verebilmektedir. Bu nedenle ülkemizde de pik santral olarak kullanılmaktadır. Hidroelektrik Santralar, çevreyle uyumlu, temiz, yenilenebilir, pik talepleri karşılayabilen, yüksek verimli (% 90'ın üzerinde), yakıt gideri olmayan, enerji fiyatlarında sigorta rolü üstlenen, uzun ömürlü (200 yıl), yatırımı geri ödeme süresi kısa (4-10 yıl), işletme gideri çok düşük (yaklaşık 0,2 cent/kWh), dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynaktır.

Bir ülkede, ülke sınırlarına veya denizlere kadar bütün doğal akışların %100 verimle değerlendirilebilmesi varsayımına dayanılarak mevcut tüm düşü ve ortalama debi kullanılarak hesaplanan ***hidroelektrik potansiyel***, o ülkenin ***brüt teorik hidroelektrik potansiyelidir***. Ancak mevcut teknolojilerle bu potansiyelin tümünün kullanılması mümkün olmadığından mevcut teknoloji ile değerlendirilebilecek maksimum potansiyele ***teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyel*** denir. Öte yandan teknik yapılabilirliği olan her tesis ekonomik yapılabilirliği olan tesis demek değildir. Teknik potansiyelin, mevcut ve beklenen yerel ekonomik şartlar içinde geliştirilebilecek bölümü ***ekonomik yapılabilir hidroelektrik potansiyel*** olarak adlandırılır. Türkiye'nin teorik hidroelektrik potansiyeli dünya teorik potansiyelinin % 1'i, Avrupa teorik potansiyelinin % 16'sıdır (Tablo 11.1).

DÜNYA VE TÜRKİYE HİDROELEKTRİK (HES) POTANSİYELİ			
	Brüt HES Potansiyel (GWh/yıl)	*Teknik HES Potansiyel (GWh/yıl)*	*Ekonomik HES Potansiyel (GWh/yıl)*
DÜNYA	40 150 000	14 060 000	8 905 000
AVRUPA	3 150 000	1 225 000	1 000 000
TÜRKİYE	433 000	216 000	140 000

Tablo 11. 1 Dünya ve Türkiye Hidroelektrik Potansiyeli

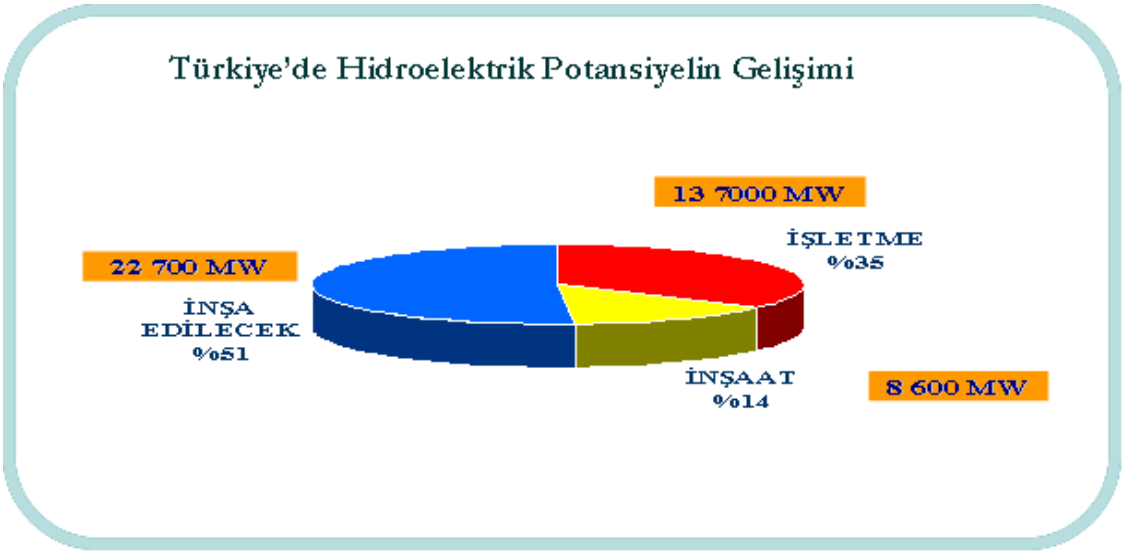
Türkiye'de teorik hidroelektrik potansiyel 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel 216 milyar kWh, teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyel ise 140 milyar kWh olarak hesaplanmıştır (Şekil 11.1). Avrupa Birliği'nin yeşil enerji için uyguladığı vergi indirimleri ve destekleme politikaları ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyelin artmasını sağlayacaktır.

Şekil 11. 1 Ülkemizdeki Hidroelektrik Potansiyel

Avrupa Birliği Topluluğu enerji politikalarında yeşil enerjiye (hidroelektrik, rüzgar, güneş ve biokütle) büyük önem vermiştir. Bu durumda, Türkiye' de yürürlükte bulunan enerji politikaları ve ilgili yasal mevzuat ile Avrupa Birliği mevzuatı arasındaki farklılıkların giderilmesi zorunlu hale gelmiştir. Sonuç olarak Türkiye' deki toplam enerji üretiminde hidroelektrik enerjinin payı artırılmalıdır. Türkiye'de hidroelektrik potansiyelin geliştirilerek ülke ekonomisinin istifadesine sunulmasında Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) görevlidir. EİE daha çok etüt ve planlama aşamasında, DSİ ise planlamayla birlikte projelerin hayata geçirilmesinde görevlendirilmiştir.

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 'nün çeşitli büyüklükteki akarsular aracılığı ile denizlere ve kapalı havzalardaki göllere doğru akışa geçtiği kabul edilmektedir. Akarsularımızın düzenlenmesi ve maksimum faydanın sağlanabilmesi için bugünkü etütlere göre 702 adet barajın inşa edilmesi gerekmektedir [TÜBİTAK-TTGV].

Günümüz itibariyle Türkiye'de 172 adet hidroelektrik santral işletmede bulunmaktadır. Bu santraller 13 700 MW bir kurulu güce ve ekonomik potansiyelin % 35'ine karşılık gelen 48 000 GWh yıllık ortalama üretim kapasitesine sahiptir. 8 600 MW bir kurulu güç ve toplam potansiyeli %14 olan 20.000 GWh yıllık üretim kapasitesine sahip 148 hidroelektrik santral (HES) halen inşa halinde bulunmaktadır. Geriye kalan 72 540 GWh/yıl'lık potansiyeli kullanabilmek için ileride Türkiye'de 1.418 hidroelektrik santral (HES) yapılacak ve ilave 22 700 MW kurulu güçle hidroelektrik santrallerin toplam sayısı 1 738 çıkacaktır. Gelecekte yapılacak HES ile Türkiye'nin toplam ekonomik kurulu gücü olan 45 000 MW, 1 738 HES ile ülkenin nehirlerindeki tüm ekonomik hidroelektrik enerji potansiyelden faydalanma imkanı verecektir (Şekil11.2).



Şekil 11. 2 Türkiye'de Hidroelektrik Potansiyelin Gelişimi

Topoğrafyası ve morfolojik yapısı göz önüne alındığında ülkemiz hem düşü hem de debi açısından şanslı sayılabilecek ülkeler arasında yer almaktadır. Yalnızca küçük ve büyük hidroelektrik santralleri değil mikro santralleri de göz önüne aldığımızda ülkemizin ekonomik yapılabilir hidroelektrik potansiyeli daha da artacaktır. Ülkemiz küçük akarsular üzerinde oluşturulabilecek mikro-hidroelektrik potansiyel bakımından oldukça zengindir. Bu kaynakların değerlendirilmesi durumunda birçok yerleşim merkezi, işletme, yayla ve mezranın enerji ihtiyacının merkezi sistemlerden bağımsız, yani yerel olarak karşılanabilmesi mümkün olacaktır. Son dönemlerde çıkarılan yasalarda bu tür projeleri desteklemeye ve yaygınlaşmasını sağlamaya yöneliktir.

KAYNAKÇA

- Naturel Resources CANADA 'Micro-Hydropower Systems, A Buyer's Guide' Her Majesty the Quenn in Right oh Canada, 2004

- European Small Hydropower Association 'Layman's Guidebook On How To Develop a Small Hydro Site' (Second Edition) June 1998

- Mark Tamburini 'A Feasibility Study for a Microhydro Installation for the Strangford Lough Wildfowlers & Conservation Association' Energy Systems Research Unit Department of Mechanical Engineering University of Strathclyde, Glasgow, UK September 2004

- Prof. Dr. ÇALLI İsmail ' Hidrolik Makinalar Ders Notları' Sakarya, 2007

- KÖSE Özay Orhan 'Hidroelektrik Güç Sistemleri ve Hidrolik Türbinler' Küçük Türbin Generatör ve Tesisler İşletme Müdürlüğü Ankara, 2009

- http://www.millienerji.com/DATA/

- http://www.canhydropower.org/

- http://www.hydro-turbines.com

- http://www.eie.gov.tr

- http://www.dsi.gov.tr