

**ME 331**  
**YENİLENEBİLİR ENERJİ**  
**SİSTEMLERİ**

**HİDROLİK ENERJİ**

**Ceyhun Yılmaz**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

# GİRİŞ

- Türbinler yüzyıllardır ırmaklarda ve rüzgarda mevcut buluna serbest haldeki mekanik enerjiyi genellikle **dönen bir mil (şaft)** vasıtasıyla faydalı mekanik enerjiye dönüştürmek için kullanılır.
- Bir hidrotürbinin dönen kısmına “teker” adı verilir (ancak biz burada türbinin dönen kısmına “**çark**” diyeceğiz, **runner**). Akışkan su olduğunda turbomakinalar **hidrolik türbin** ya da **hidroturbin** olarak adlandırılır.
- Potansiyel enerjiye sahip su elektrik üretmek için türbinlerden geçmektedir. Böyle bir kurulumda da **hidroelektrik santrali** denir.
- Bazı barajlar çiftliklerin sulamasında ve sel kontrolünde de kullanılır.
- Büyük bir baraj inşa etmek için uzun bir zaman ve büyük miktarda yatırım maliyeti gerekiyor, ancak hidro türbinle elektrik üretimi maliyeti, fosil yakıtların yaptığı elektrik üretiminin maliyetinden çok daha düşüktür.
- Bir çok büyük hidroelektrik santralinin paralel düzenle yerleştirilmiş bir çok türbini vardır.
- Bu üretim yapan şirkete, düşük güç talebi sırasında ve bakım sırasında türbinlerin bazılarını kapatma fırsatı sağlar.

Türbinler, yüzlerce yıldır, serbestçe mevcut olan mekanik enerjiyi nehirlerden ve rüzgardan, genellikle dönen bir mil vasıtasıyla yararlı mekanik işlere dönüştürmek için kullanılmıştır.

Bir hidro türbinin dönen kısmına **çark (runner)** denir.

Aracı iş akışkanı su olduğunda, türbomakinalara **hidrolik türbin** veya **hidrotürbin** denir.

Aracı akışkan hava olduğunda ve enerji rüzgardan çekiliyorsa, makine bir **rüzgar türbini** olarak adlandırılır.

Çoğu kişi, tahıl öğütmek, su pompalamak veya elektrik üretmek için kullanılmış olsun, rüzgar türbini kelimesini **yel değirmeni (windmill)** olarak tanımlamak için kullanır.

Enerjiyi, buharla dönen bir milin mekanik enerjisinden elde eden türbinli makinelere **buhar türbinleri** denir.

Sıkıştırılabilir gazları iş akışkanı olarak kullanan türbinlere de **gaz türbini** denir.



A restored windmill in Brewster, MA, that was used in the 1800s to grind grain. (Note that the blades must be covered to function.) Modern “windmills” that generate electricity are more properly called *wind turbines*.



(a)



(b)

(a) Hoover Barajı'nın havadan görünüşü ve (b) Hoover Barajı'ndaki hidrolik türbinlerle çalışan birkaç paralel elektrik jeneratörünün üst (görünür) kısmı.

- Örneğin, Nevada'daki Boulder Şehrindeki Hoover Barajı, 17 paralel türbinini var, bunlardan 15'i her biri yaklaşık 130 MW elektrik üretebilen aynı Francis türbinleri. Maksimum brüt hed 180 m'dir. Santralin toplam pik enerji üretimi 2000 MW'ı aşarken, her yıl yaklaşık 4 milyar kWh elektrik üretilmektedir.



1)	<b>Atatürk Barajı ve HES</b>	Şanlıurfa	EÜAŞ	2.405 MW
2)	<b>Karakaya Barajı ve HES</b>	Diyarbakır	EÜAŞ	1.800 MW
3)	<b>Keban Barajı ve HES</b>	Elazığ	EÜAŞ	1.330 MW
4)	<b>Altinkaya Barajı ve HES</b>	Samsun	EÜAŞ	703 MW
5)	<b>Birecik Barajı ve HES</b>	Şanlıurfa	EÜAŞ	672 MW
6)	<b>Deriner Barajı ve HES</b>	Artvin	EÜAŞ	670 MW
7)	<b>Beyhan Barajı ve HES</b>	Elazığ	Cengiz Enerji	582 MW
8)	<b>Oymapınar Barajı ve HES</b>	Antalya	Cengiz Enerji	540 MW
9)	<b>Boyabat Barajı ve HES</b>	Sinop	Boyabat Elektrik	513 MW
10)	<b>Berke Barajı ve HES</b>	Osmaniye	EÜAŞ	510 MW
11)	<b>Hasan Uğurlu Barajı ve HES</b>	Samsun	EÜAŞ	500 MW
12)	<b>Artvin Barajı ve HES</b>	Artvin	Doğru	
13)	<b>Yedigöze Sanibey Barajı</b>	Adana	Sank	
14)	<b>Ermenek Barajı ve HES</b>	Karaman	EÜAŞ	
15)	<b>Borçka Barajı ve HES</b>	Artvin	EÜAŞ	
16)	<b>Sır Barajı ve HES</b>	Kahramanmaraş	EÜAŞ	
17)	<b>Gökçekaya Barajı ve HES</b>	Eskişehir	EÜAŞ	

1 Ocak –  
14 Aralık 2016  
tarihleri  
arasındaki  
elektrik enerjisi  
ihtiyacımızın  
%48'ini yerli  
kaynaklardan  
ürettik.

<b>Kayıtlı Santral Sayısı :</b>	623
<b>Kurulu Güç :</b>	27.212 MWe Kayıtlı: 27.432 MWe
<b>Kurulu Güce Oranı :</b>	% 32,73
<b>Yıllık Elektrik Üretimi :</b>	~ 71.905 GWh
<b>Üretimin Tüketime Oranı :</b>	% 27,66
<b>Lisans Durumu :</b>	623 lisanslı, 0 lisanssız

## Ülkemizde Devrede Olan Hidroelektrik Santralleri

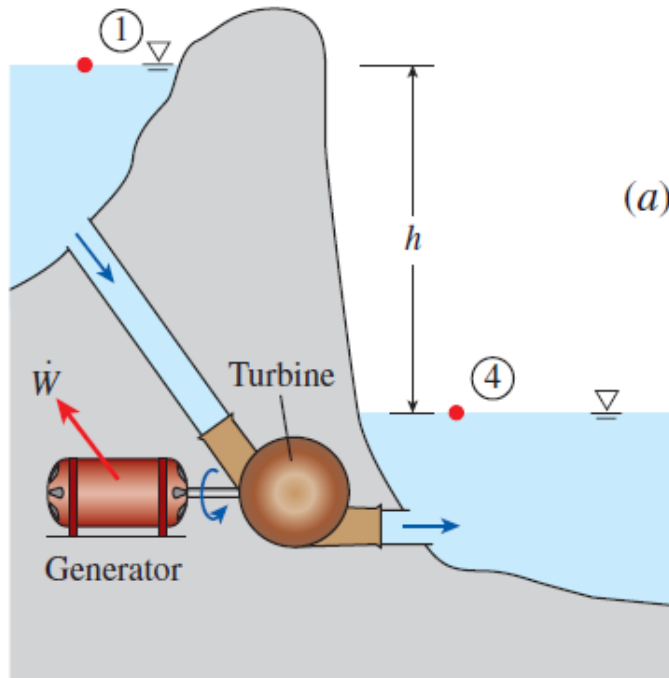
# Hidroelektrik Santrali Analizi

Bir akışkanın mekanik enerjisi aşağıdaki gibi birim kütle temelinde ifade edilebilir:

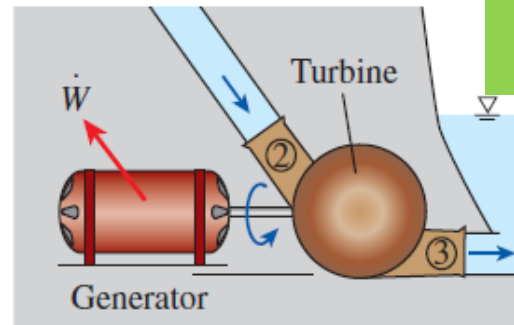
$$e_{\text{mech}} = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz \quad (18-55)$$

where  $P/\rho$  is the flow energy,  $V^2/2$  is the kinetic energy, and  $gz$  is the potential energy of the fluid, all per unit mass. Then the mechanical energy change of a fluid during incompressible flow becomes

$$\Delta e_{\text{mech}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \quad (18-56)$$



(a)



(b)

Mekanik enerji, ideal bir jeneratör ile birleştirilen ideal bir hidrolik türbinle gösterilir. Tersinmez kayıplar olmadığında, maksimum üretilen güç, (a) su yüzeyi yukarı akış yönünden aşağı akış rezervuarına olan yükseklik veya (b) (yakın planda) türbinin hemen akış yukarı akış yönündeki su basıncındaki düşüş.

$$\dot{W}_{\text{max}} = \dot{m} \Delta e_{\text{mech}} = \dot{m} g(z_1 - z_4) = \dot{m} g h$$

since  $P_1 \approx P_4 = P_{\text{atm}}$  and  $V_1 = V_4 \approx 0$

$$\dot{W}_{\text{max}} = \dot{m} \Delta e_{\text{mech}} = \dot{m} \frac{P_2 - P_3}{\rho} = \dot{m} \frac{\Delta P}{\rho}$$

since  $V_2 \approx V_3$  and  $z_2 \approx z_3$

Akış sistemlerinde, bir türbin tarafından bir akışkandan mekanik enerjiyi almak ve bir jeneratör veya başka bir döner cihazı ile sürdürebilen bir döner şaft şeklinde mekanik güç üretme süreci ile ilgileniyoruz. Elde edilen mekanik iş ile akışkanın mekanik enerjisi arasındaki değişimin dönüşüm sürecinin mükemmellik derecesi, **türbin verimliliği** ile ifade edilir.

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\Delta \dot{E}_{\text{mech, fluid}}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\dot{m} \Delta e_{\text{mech}}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\dot{m} g h} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\dot{W}_{\text{max}}} \quad (1-3)$$

where  $\dot{W}_{\text{shaft}}$  is the shaft power output from the turbine and  $\dot{m} \Delta e_{\text{mech}}$  is rate of decrease in the mechanical

Verimlilikler için negatif değerlerden kaçınmak için mekanik enerji değişimi için pozitif değeri kullanırız. Yüzde 100'lük bir türbin verimliliği, akışkanın mekanik enerjisi ile şaft çalışması arasında mükemmel bir dönüşüme işaret eder ve sürtünme etkileri en aza indirildiğinde bu değere yaklaşılabılır (ancak hiçbir zaman ulaşamaz).

Bir türbinin mekanik verimi, **jeneratör verimi** ile karıştırılmamalıdır; bu verimlilik şöyle tanımlanır:

$$\eta_{\text{generator}} = \frac{\dot{W}_{\text{electric}}}{\dot{W}_{\text{shaft}}} \quad (1-4)$$

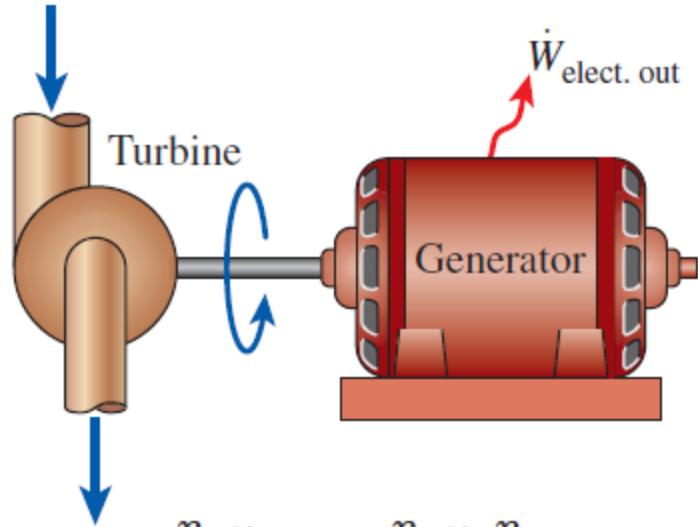
Burada,  $\dot{W}_{\text{electric}}$  jeneratörün elektrik gücü çıktı. Bir türbin genellikle jeneratörü ile birlikte bir ünedir. Bu nedenle, türbini-jeneratör sisteminin kombine veya genel verimliliğiyle ilgileniyoruz (Şekil 18-40) ve bu tanım aşağıdaki gibidir:

$$\eta_{\text{turbine-generator}} = \eta_{\text{turbine}} \eta_{\text{generator}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\dot{W}_{\text{max}}} \frac{\dot{W}_{\text{electric}}}{\dot{W}_{\text{shaft}}} = \frac{\dot{W}_{\text{electric}}}{\dot{W}_{\text{max}}} \quad (1-5)$$

Çoğu türbinin verimi % 90'a yaklaşır. Büyük hidro türbinler % 95'in üzerinde toplam verimlilik elde ederler.

$$\eta_{\text{turbine}} = 0.75$$

$$\eta_{\text{generator}} = 0.97$$



$$\begin{aligned}\eta_{\text{turbine-gen}} &= \eta_{\text{turbine}}\eta_{\text{generator}} \\ &= 0.75 \times 0.97 \\ &= 0.73\end{aligned}$$

Bir türbin-jeneratör sisteminin toplam verimliliği, türbin veriminin ve jeneratörün veriminin bir ürünüdür ve akışkanın elektrik enerjisine dönüştürülen mekanik gücünün fraksiyonunu temsil eder.



Efficiency is always defined as

$$\eta = \text{efficiency} = \frac{\text{actual output}}{\text{required input}}$$

Thus, for a pump,

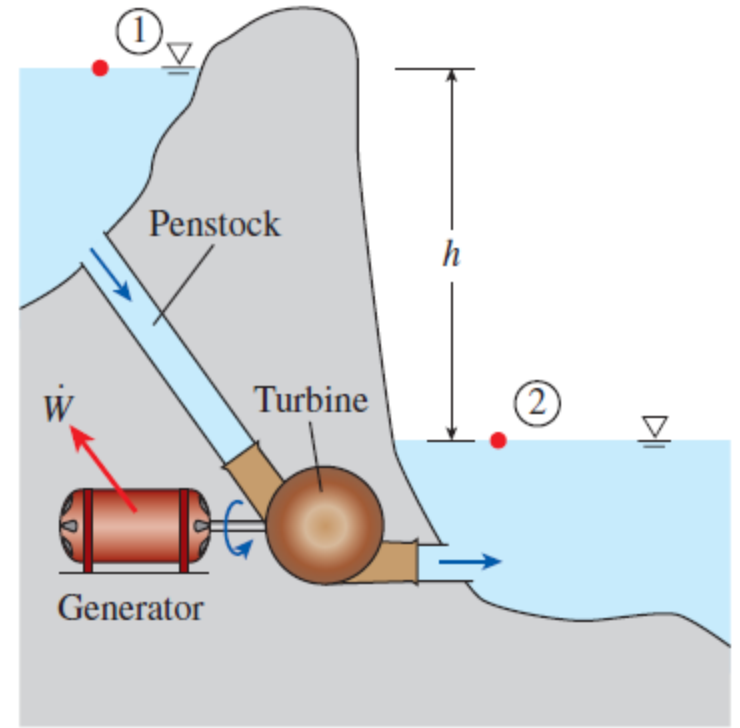
$$\eta_{\text{pump}} = \frac{\dot{W}_{\text{water horsepower}}}{\dot{W}_{\text{shaft}}} = \frac{\rho g H \dot{V}}{\text{bhp}}$$

and for a turbine,

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\dot{W}_{\text{water horsepower}}} = \frac{\text{bhp}}{\rho g H \dot{V}}$$

Tanım gereği verim her zaman birden daha az olmalıdır. Bir türbinin verimi, bir pompanın veriminin tersi olarak verilmesidir.

Bir hidroelektrik santralının analizi türbin ve cebri su borusunun analizini içerir.



$$e_{\text{mech, in}} = e_{\text{mech, out}} + e_{\text{mech, loss}}$$

or

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 + w_{\text{turbine}} + e_{\text{mech, loss}}$$

Akış sıkıştırılmaz olduğunda,  $P_{\text{atm}}/\rho$  her iki tarafta da görüneceğinden ve mutlaka iptal edileceğinden mutlak veya gage basıncı için  $P$  kullanılabilir.

$$\dot{m} \left( \frac{P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) = \dot{m} \left( \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) + \dot{W}_{\text{turbine}} + \dot{E}_{\text{mech, loss, total}} \quad (1-8)$$

where  $\dot{W}_{\text{turbine}}$  is the shaft power output through the turbine's shaft, and  $\dot{E}_{\text{mech, loss, total}}$  is the *total* mechanical power loss, which consists of turbine losses as well as the frictional losses in the piping network (penstock). That is,

$$\dot{E}_{\text{mech, loss, total}} = \dot{E}_{\text{mech, loss, turbine}} + \dot{E}_{\text{mech, loss, piping}} \quad (1-9)$$

Tersinmez türbin kayıpları, boru sisteminin diğer bileşenleri nedeniyle tersinmez kayıplardan ayrı olarak ele alınmaktadır. Böylece, enerji denklemi, en yaygın formda *hedler* açısından, Eşitlik 18-62'deki her bir terim *mg* ile bölünürse:

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{\text{turbine},e} + h_L \quad (1-10)$$

where

$$h_{\text{turbine},e} = \frac{w_{\text{turbine},e}}{g} = \frac{\dot{W}_{\text{turbine},e}}{\dot{m}g} = \frac{\dot{W}_{\text{turbine}}}{\eta_{\text{turbine}} \dot{m}g} \quad \text{akışkandan türbin tarafından alınan "uzaklaştırılan hed"}$$

*turbine*. Because of irreversible losses in the turbine,  $h_{\text{turbine},e}$  is *greater* than  $\dot{W}_{\text{turbine}} / \dot{m}g$  by the factor  $\eta_{\text{turbine}}$ .

$$h_L = \frac{e_{\text{mech,loss,piping}}}{g} = \frac{\dot{E}_{\text{mech,loss,piping}}}{\dot{m}g} \quad \text{is the irreversible head loss between 1 and 2 due to all}$$

components of the piping system other than the turbine.

Hed kaybı  $h_L$ , cebri borudaki akışkanla ilişkili sürtünme kayıplarını temsil eder ve bu cihazın verimsizliği nedeniyle türbinde meydana gelen kayıpları içermez - bu kayıplar  $\eta_{\text{türbin}}$  tarafından dikkate alınır. Böylece, cebri borudaki toplam hed kaybı:

$$h_{L,\text{total}} = h_{L,\text{major}} + h_{L,\text{minor}} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum K_L \frac{V^2}{2g} = \left( f \frac{L}{D} + \sum K_L \right) \frac{V^2}{2g} \quad (1-11)$$

$f$  Darcy sürtünme faktörüdür. Türbülanslı akış için Moody tablosundan (veya Colebrook denkleminde) hesaplanabilir. Laminar akış için,  $f = 64/\text{Re}$ , burada  $\text{Re}$ , Reynolds sayısıdır.

$L$  cebri borunun uzunluğudur.

$D$  cebri borunun çapıdır.

$V$  cebri borunun suyun hızıdır.

$K_L$ , boru sistemindeki küçük kayıplar için kayıp katsayısıdır.

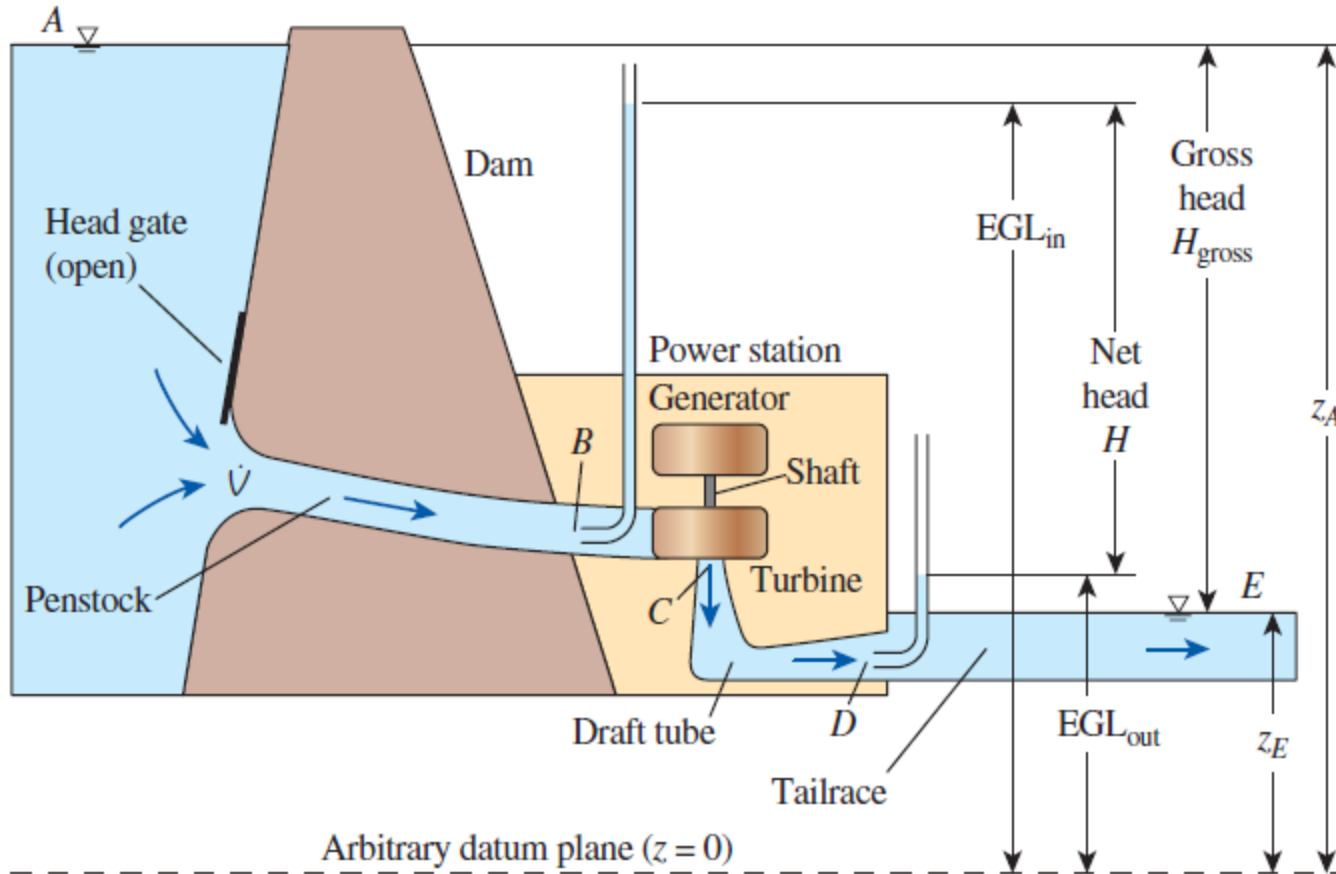
Çeşitli boru bileşenleri için kayıp katsayıları Çengel ve Cimbala'da (2014) mevcuttur.

Şekil 18-42'de Francis reaksiyon türbinlerini kullanarak elektrik üreten tipik bir hidroelektrik barajı çizilmiştir. Toplam  $H_{gross}$  ya da **brüt hed**, barajın akış aşağısındaki rezervuar yüzeyi ile barajdan çıkan suyun yüzeyi arasındaki yükselti farkı olarak tanımlanır:

$$H_{gross} = z_A - z_E \quad (1-12)$$

Sistemde herhangi bir yerde tersinmez kayıplar olmasaydı, türbin başına üretilebilecek maksimum güç şöyle olurdu:

$$\dot{W}_{max} = \rho g \dot{V} H_{gross} \quad (1-13)$$



$$\text{EGL} = \text{Pressure head} + \text{Velocity head} + \text{Elevation head} = P/\rho g + V^2/2g + z$$

$$H_{\text{net}} = \text{EGL}_{\text{in}} - \text{EGL}_{\text{out}}$$

$$\eta_{\text{plant}} = \frac{\dot{W}_{\text{electric}}}{\dot{W}_{\text{max}}} = \frac{\dot{W}_{\text{electric}}}{\rho g \dot{V} H_{\text{gross}}}$$

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\rho g \dot{V} H_{\text{net}}}$$

$$\dot{E}_{\text{mech, loss, piping}} = \rho g \dot{V} h_L \quad (1-18)$$

The turbine efficiency is then expressed as

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\dot{W}_{\text{max}} - \dot{E}_{\text{mech, loss, piping}}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\rho g \dot{V} H_{\text{gross}} - \rho g \dot{V} h_L} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\rho g \dot{V} (H_{\text{gross}} - h_L)} \quad (1-19)$$

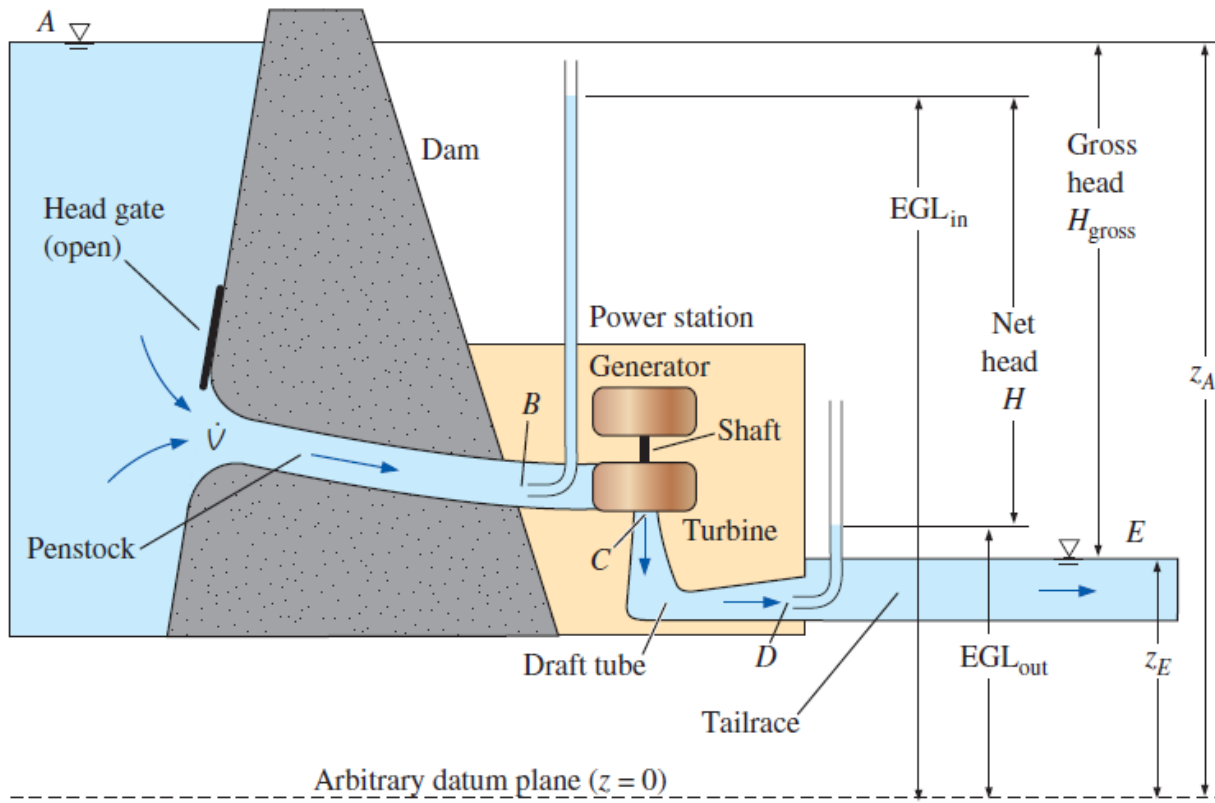
The effect of irreversible head losses in the piping system can be accounted for using an efficiency term  $\eta_{\text{piping}}$  as

$$\eta_{\text{piping}} = 1 - \frac{\dot{E}_{\text{mech, loss, piping}}}{\dot{W}_{\text{max}}} \quad (1-20)$$

Remembering that the generator efficiency is  $\eta_{\text{generator}} = \dot{W}_{\text{electric}} / \dot{W}_{\text{max}}$ , the overall efficiency of a hydroelectric power plant can be expressed as

$$\begin{aligned} \eta_{\text{plant}} &= \eta_{\text{generator}} \eta_{\text{turbine}} \eta_{\text{piping}} \\ &= \left( \frac{\dot{W}_{\text{electric}}}{\dot{W}_{\text{shaft}}} \right) \left( \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\dot{W}_{\text{max}} - \dot{E}_{\text{mech, loss, piping}}} \right) \left( 1 - \frac{\dot{E}_{\text{mech, loss, piping}}}{\dot{W}_{\text{max}}} \right) \\ &= \left( \frac{\dot{W}_{\text{electric}}}{\dot{W}_{\text{shaft}}} \right) \left[ \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\dot{W}_{\text{max}} (1 - \dot{E}_{\text{mech, loss, piping}} / \dot{W}_{\text{max}})} \right] \left( 1 - \frac{\dot{E}_{\text{mech, loss, piping}}}{\dot{W}_{\text{max}}} \right) \\ &= \frac{\dot{W}_{\text{electric}}}{\dot{W}_{\text{max}}} \end{aligned} \quad (1-21)$$





*Ideal power production:*

$$\dot{W}_{\text{ideal}} = \rho g \dot{V} H_{\text{gross}}$$

$$H_{\text{gross}} = z_A - z_E$$

*Net head for a hydraulic turbine:*

$$H = \text{EGL}_{\text{in}} - \text{EGL}_{\text{out}}$$

*Turbine efficiency:*

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\dot{W}_{\text{water horsepower}}} = \frac{\text{bhp}}{\rho g H \dot{V}}$$

Elektrik üretmek için Francis türbini kullanan bir hidroelektrik tesisinin yapısı ve teknik terimler; ölçeksiz çizim. Pitot tüpleri yalnız örnek amaçlı gösterilmiştir.

Bir türbinin net düşüsü (hed), türbinin tam yukarı akımının enerji eğim çizgisi ile çıkış borusunun sonundaki enerji eğim çizgisi arasındaki fark olarak tanımlanır.

## EXAMPLE 18–6 Analysis of a Hydroelectric Power Plant

The water in a large dam is to be used to generate electricity by the installation of a hydraulic turbine. The elevation difference between the free surfaces upstream and downstream of the dam is 320 m (Fig. 18–43). Water is to be supplied to the turbine at a rate of 8000 L/s. The turbine efficiency is 93 percent based on the net head, and the generator efficiency is 96 percent. The total irreversible head loss (major losses + minor losses) in the piping system including the penstock is estimated to be 7.5 m. Determine the overall efficiency of this hydroelectric plant, the electric power produced, and the turbine shaft power.

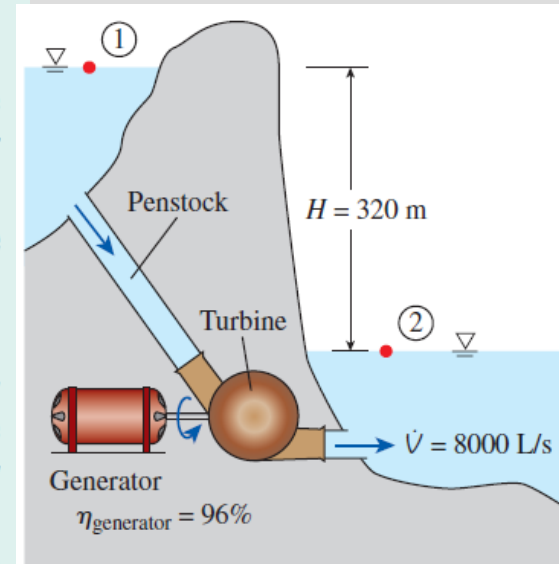
**SOLUTION** A hydraulic turbine–generator is to generate electricity from the water of a large dam. The overall efficiency of the plant, the electric power produced, and the turbine shaft power output are to be determined.

**Assumptions** 1 The flow is steady. 2 Water levels at the reservoir and the discharge site remain constant.

**Properties** The density of water is taken to be  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/L}$ .

**Analysis** The total mechanical energy the water in a dam possesses is equivalent to the potential energy of water at the free surface of the dam (relative to free surface of discharge water), and it can be converted to work entirely for an ideal operation. Therefore, the maximum power that can be generated is equal to potential energy of the water. Noting that the mass flow rate is  $\dot{m} = \rho\dot{V}$ , the maximum power is determined from

$$\begin{aligned}\dot{W}_{\max} &= \dot{m}gH_{\text{gross}} = \rho\dot{V}gH_{\text{gross}} \\ &= (1 \text{ kg/L})(8000 \text{ L/s})(9.81 \text{ m/s}^2)(320 \text{ m})\left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}\right) \\ &= 25,115 \text{ kW}\end{aligned}$$



The mechanical energy loss due to frictional and minor losses in the piping is

$$\begin{aligned}\dot{E}_{\text{mech, loss, piping}} &= \dot{m}gh_L = \rho\dot{V}gh_L \\ &= (1 \text{ kg/L})(8000 \text{ L/s})(9.81 \text{ m/s}^2)(7.5 \text{ m})\left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}\right) \\ &= 589 \text{ kW}\end{aligned}$$

Therefore,  $589/25,115 = 0.0234$  or 2.3 percent of power potential is lost due to piping losses. This is expressed by the efficiency term  $\eta_{\text{piping}}$  as

$$\eta_{\text{piping}} = \left(1 - \frac{\dot{E}_{\text{mech, loss, piping}}}{\dot{W}_{\text{max}}}\right) = \left(1 - \frac{589 \text{ kW}}{25,115 \text{ kW}}\right) = 0.977$$

The overall plant efficiency is the product of turbine, generator, and piping efficiencies:

$$\eta_{\text{plant}} = \eta_{\text{generator}}\eta_{\text{turbine}}\eta_{\text{piping}} = (0.96)(0.93)(0.977) = 0.872 \text{ or } \mathbf{87.2 \text{ percent}}$$

The electric power produced is determined from the definition of overall plant efficiency to be

$$\eta_{\text{plant}} = \frac{\dot{W}_{\text{electric}}}{\dot{W}_{\text{max}}} \longrightarrow \dot{W}_{\text{electric}} = \eta_{\text{plant}}\dot{W}_{\text{max}} = (0.872)(25,115 \text{ kW}) = \mathbf{21,895 \text{ kW}}$$

The definition of turbine efficiency based on the net head is

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\dot{W}_{\text{max}} - \dot{E}_{\text{mech, loss, piping}}}$$

Solving for the shaft power output, we obtain

$$\begin{aligned}\dot{W}_{\text{shaft}} &= \eta_{\text{turbine}}(\dot{W}_{\text{max}} - \dot{E}_{\text{mech, loss, piping}}) \\ &= (0.93)(25,115 \text{ kW} - 589 \text{ kW}) \\ &= \mathbf{22,810 \text{ kW}}\end{aligned}$$

# Türbin Çeşitleri

Genel olarak, enerji üreten türbinler enerji tüketen pompalardan biraz daha yüksek toplam verime sahiptir.

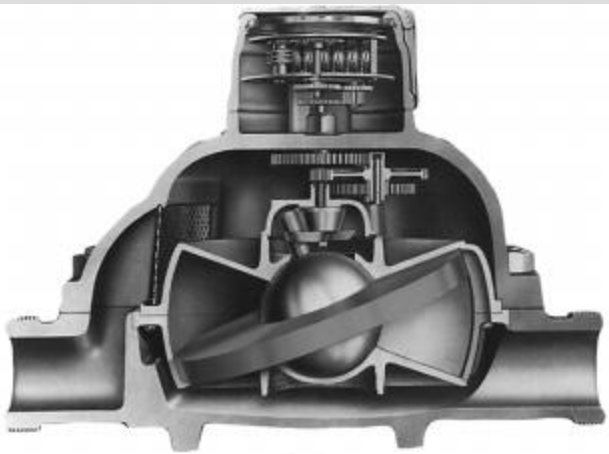
Büyük hidrotürbinler % 95'in üzerinde genel verimlilik elde ederken, büyük pompaların en iyi verimi % 90'ın biraz üzerindedir.

Türbinleri iki geniş kategoriye ayırıyoruz,

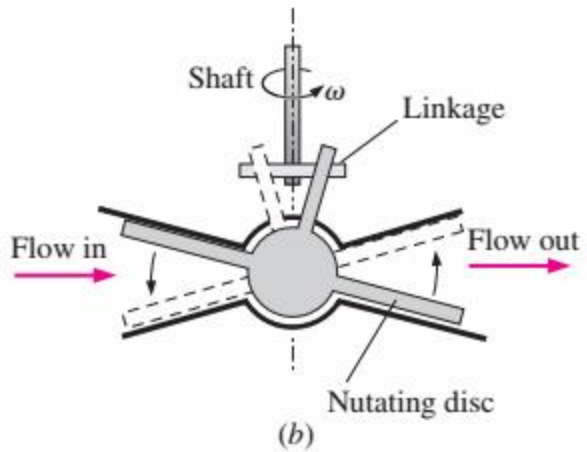
*hacimsel türbinler* ve *dinamik türbinler*.

**Hacimsel türbinler** hacimsel debi ölçümünde kullanılan küçük makinelerdir. En yaygın örnek evinizdeki su sayacıdır.

**Dinamik türbinler** çok küçüçükten büyüğe kadar çeşitleri vardır. Hem akış ölçüm düzenekleri olarak hem de güç üreticileri olarak kullanılırlar.



(a)



(b)



# Dinamik Türbinler

Hidroelektrik santrallerinde, elektrik üretimi için büyük **dinamik türbinler** kullanılır.

Hidrotürbinler, elektrik üretmek için barajdaki yükselti farkını kullanır ve rüzgar türbinleri, rüzgar tarafından döndürülen kanatlardan elektrik üretir. İki tür temel dinamik türbin vardır —**etki** and **tepki**.

**Etki türbinleri** daha yüksek bir hed (düşü) gerektirir, ancak daha küçük bir hacimsel debi ile çalışabilir.

**Tepki (reaksiyon) türbinleri** çok daha az hedler ile çalışabilirler, ancak daha yüksek hacimsel debi gerektirir.



(a)



(b)

Examples of dynamic turbines: (a) rüzgar hızını ölçmek için kullanılan tipik bir üç kepeçli anemometre ve (b) kanat uç vortekslerinden enerji üretmek için tasarlanmış türbinli bir Piper PA28 araştırma uçağı.

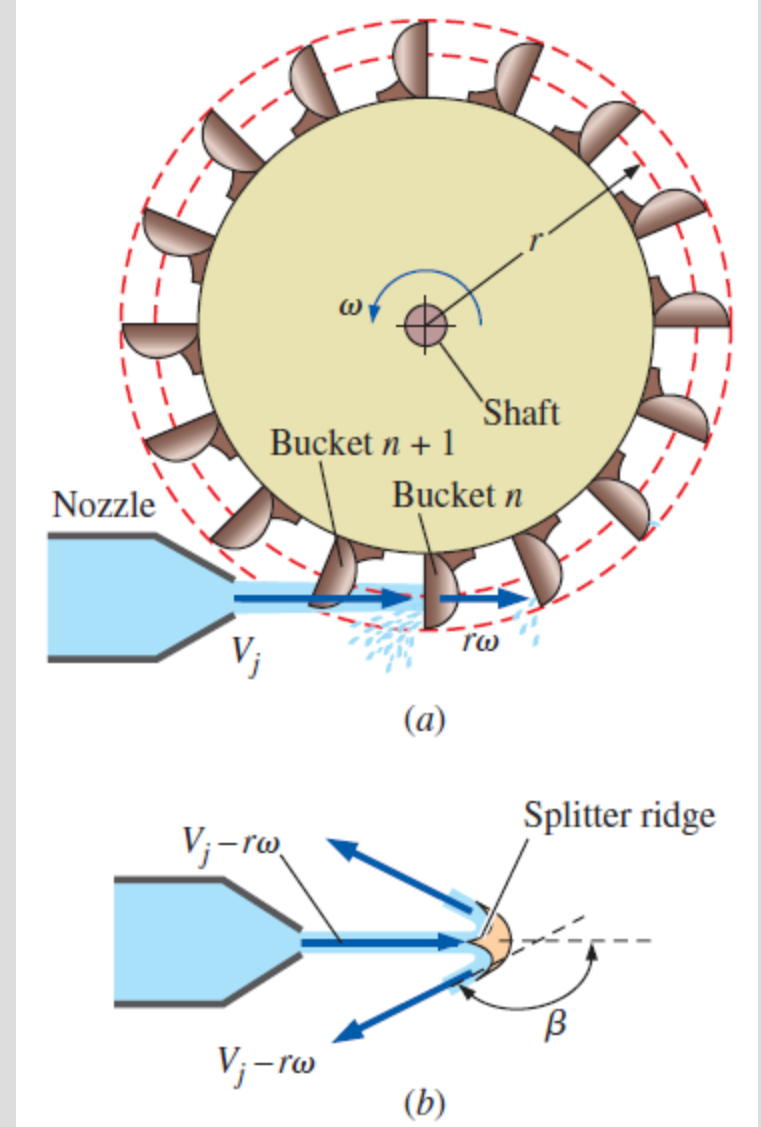
# Etki Türbinleri

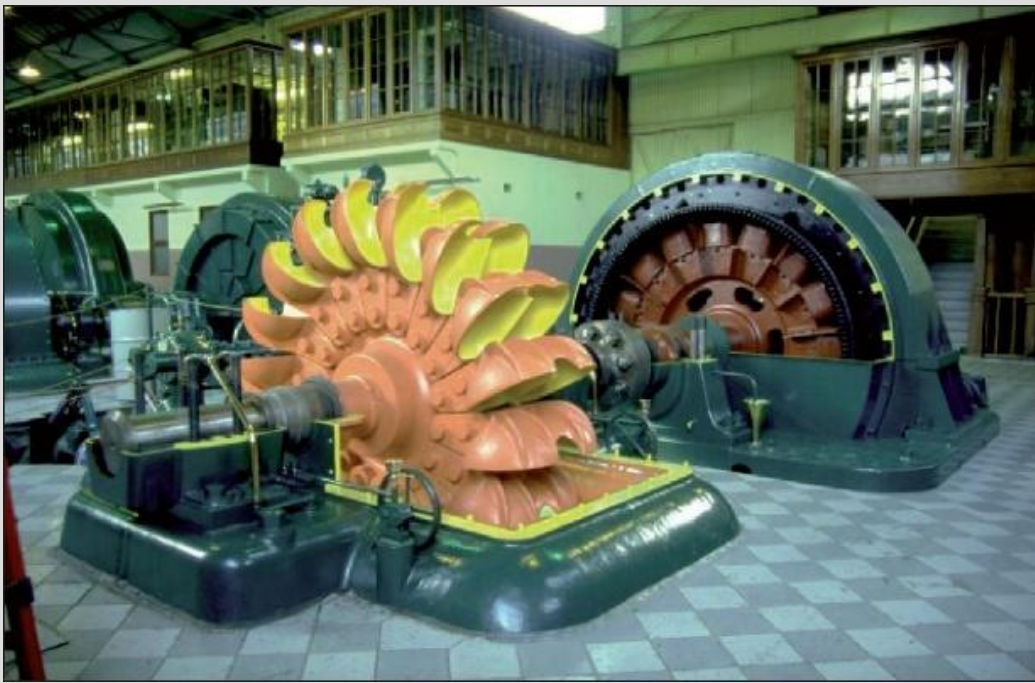
Bir **etki türbininde**, akışkan faydalı mekanik enerjisinin çoğunun kinetik enerjiye dönüştürülmesi için bir lüle (nozıl) içerisinden gönderilir.

Daha sonra yüksek hızlı jet, enerjiyi türbin miline transfer eden kepçe şeklindeki kanatlara çarpar.

Bu modern ve en verimli etki türbini (impuls türbini) Pelton türbinidir ve dönen çark onun adına atfen artık **Pelton çarkı** olarak adlandırılır.

Pelton tipi bir etki türbininin şematik gösterimi; bir ya da daha fazla jetten gelen yüksek hızlı akışkan, türbin miline bağlı kepçelere çarptığında türbin mili döner. (a) Yan görünüş, mutlak referans koordinat sistemi ve (b) n kepçesinin en-kesitinin alttan görünüşü, dönen referans koordinat sistemi.





Kepçelerin detaylı tasarımını gösteren Pelton çarkına ait yakından bir görünüş; elektrik jeneratörü sağdadır. Bu Pelton çarkı, Tasmania Bothwell şehrindeki Waddamana Enerji Santrali Müzesinde sergileniyor.



Kepçedeki su jetinin bölünmesini ve döndürülmesini gösteren çalışır haldeki bir Pelton çarkının alttan görünüşü. Su jeti soldan girmekte ve Pelton çarkı sağa doğru dönmektedir.

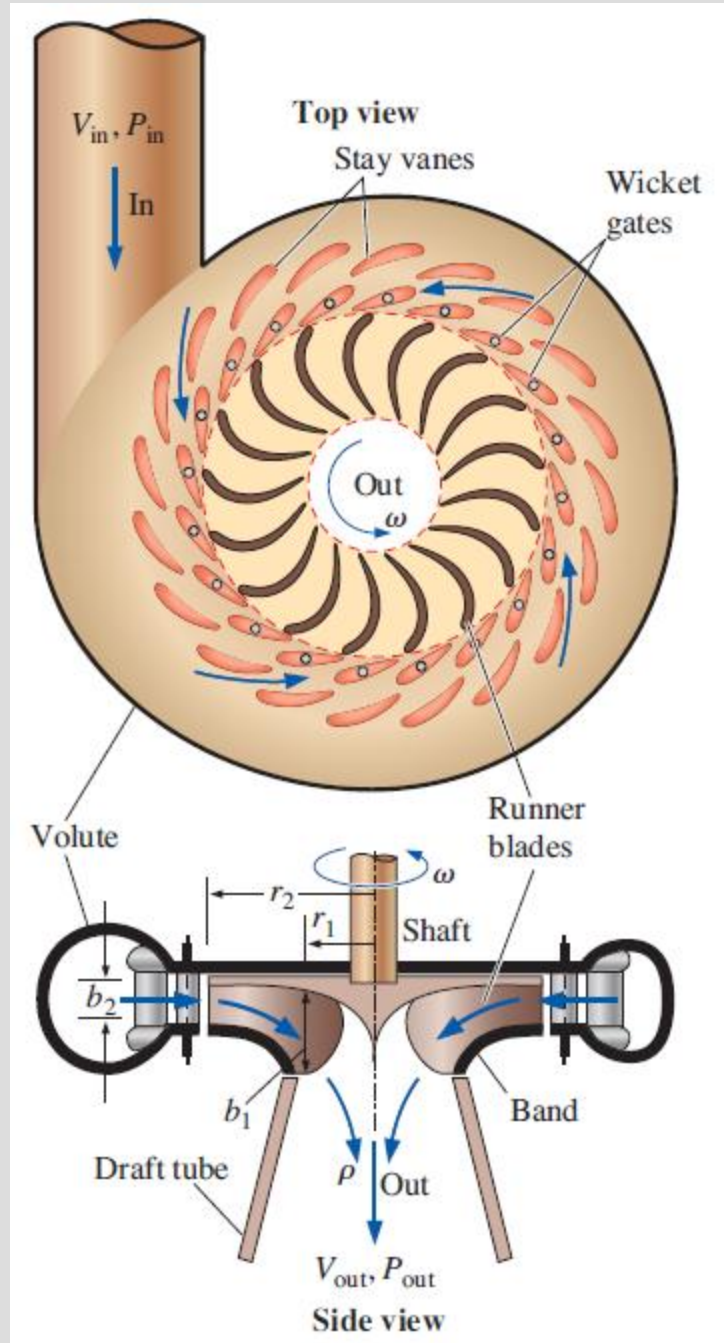


# Tepki (Reaksiyon) Türbinleri

Enerji üreten bir başka hidrotürbin tipi, **sabit kanatlar** adı verilen sabit kılavuz kanatlar, **ayar kapakları** denen ayarlanabilir kılavuz kanatlar ve **çark kanatları** denen döner kanatlardan oluşan **reaksiyon türbinleri**dir.

Akış, teğetsel olarak yüksek basınçta türbine girer, spiral gövde veya **salyangoz** boyunca hareket ederken sabit kanatlar tarafından çarka doğru yönlendirilir ve ardından yüksek bir teğetsel hız bileşenine sahip olarak ayar kapaklarından geçer.

Bir reaksiyon türbini, etki türbinden önemli ölçüde farklıdır; su jetleri kullanmak yerine, gövde dönerek, çarkı çeviren suyla dolar. Hidrotürbin uygulamalarında eksen tipik olarak dikeydir. Üstten ve yandan görünüşler sabit kanatlar ve ayar kapakları dahil edilerek gösterilmiştir.



İki ana tip reaksiyon türbini vardır—*Francis* ve *Kaplan*.

*Francis türbini* geometri bakımından bir miktar merkezkaç veya karma akışlı pompaya benzerdir ancak akış zıt yöndedir.

*Kaplan türbini* ise bir ölçüde geriye doğru çalışan *eksenel akışlı fan* gibidir.

Tepki türbinlerini akışın çarka girdiği açığa göre sınıflandırmak mümkündür. Eğer akış çarka radyal olarak giriyorsa, türbin *radyal-akışlı Francis türbini* adını alır.

Eğer akış radya ile eksenel arasında bir açıyla çarka giriyorsa bu sefer de *karma-akışlı Francis türbini* denir. Bu ikinci tasarım daha yaygındır.

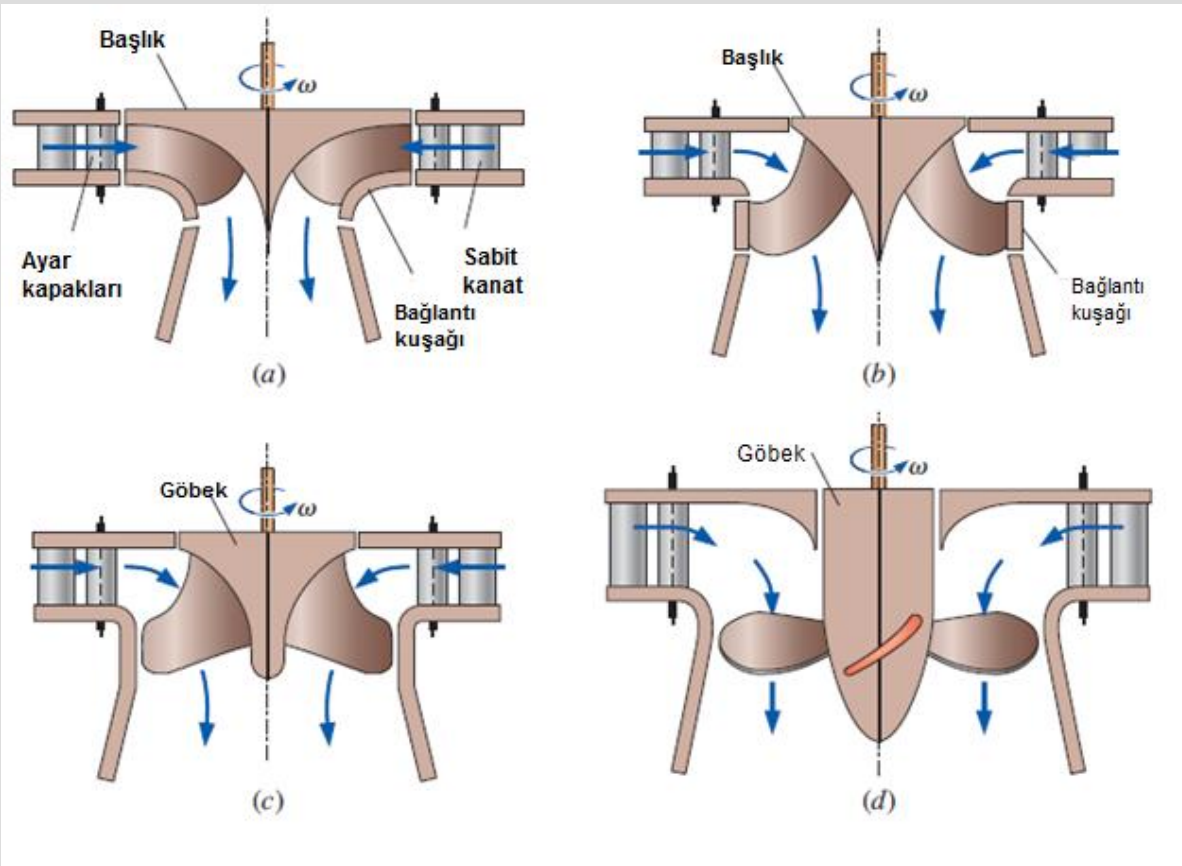
Bazı hidro türbin mühendisleri “Francis türbini” deyimini sadece çark üzerinde bir *kuşak (band)* olduğunda kullanırlar. Francis türbinleri, Pelton çarkının yüksek düşüleri ile Kaplan türbinlerinin düşük düşüleri arasında kalan düşüler için en uygun türbinlerdir.

Büyük yapıdaki Francis türbinleri 16 veya daha fazla çark kanadına sahiptir ve yüzde 90 - 95 seviyelerinde türbin verimine ulaşabilir.

Eğer çarkta bir kuşak yoksa ve akış çarka kısmen dönmüş olarak giriyorsa, bu durumda türbine *paralel karma-akışlı türbin* veya basitçe *karma-akışlı türbin* denir.

Son olarak, eğer akış çarka girmeden önce tümüyle eksenel olarak döndürülüyorsa türbine *eksenel akışlı türbin* adı verilir.





Tepki türbinlerinin dört alt sınıfına ait ayırt edici karakteristikleri: (a) Radyal-akışlı Francis, (b) karma-akışlı Francis, (c) karma-akışlı pervane ve (d) aksenal-akışlı pervane. *b* ile *c* arasındaki temel fark, karma-akışlı Francis çarklarında çark ile dönen bir kuşak bulunmasına karşın bunun karma akışlı pervane çarklarında olmamasıdır.

**Kaplan türbinleri** akışın iki türlü kontrol altında tutulmasından ötürü - ayar kapaklarını döndürerek veya çark kanatları üzerindeki eğimi ayarlayarak- **çift ayarlı** olarak adlandırılır.

**Pervane türbinleri** ise kanatların sabit olması (eğimin ayarlanabilir olmaması) ve debinin yalnızca ayar kapakları ile değiştirilmesi (tek ayarlı) dışında hemen hemen Kaplan türbinleriyle özdeştir.

Pelton ve Francis türbinleriyle karşılaştırıldığında, Kaplan ve pervane türbinlerinin düşük hed(düşü) yüksek hacimsel debi koşulları için en uygun türbinler olduğu söylenebilir.

Verimleri Francis türbinleriyle boy ölçüşecek şekilde %94'e kadar çıkabilir.

The runner of a Francis radial-flow turbine used at the Round Butte hydroelectric power station in Madras, OR. There are 17 runner blades of outer diameter 11.8 ft (3.60 m). The turbine rotates at 180 rpm and produces 119 MW of power at a volume flow rate of 127 m<sup>3</sup>/s from a net head of 105 m.



The runner of a Francis mixed-flow turbine used at the Smith Mountain hydroelectric power station in Roanoke, VA. There are 17 runner blades of outer diameter 20.3 ft (6.19 m). The turbine rotates at 100 rpm and produces 194 MW of power at a volume flow rate of 375 m<sup>3</sup>/s from a net head of 54.9 m.





Cordele, GA'daki Warwick hidroelektrik santralinde kullanılan beş kanatlı pervaneli türbin. Dış çapın 5.7 fit (3.87 m) olduğu beş çark kanadı vardır. Türbin 100 rpm'de döner ve 9.75 m'lik bir net hedden 63.7 m<sup>3</sup>/s'lik bir hacim akış hızında 5.37 MW güç üretir.

