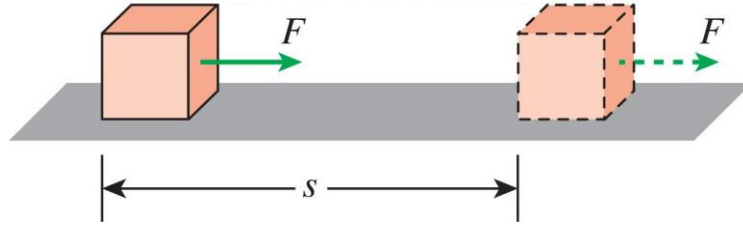


İŞİN MEKANİK BİÇİMLERİ

Termodinamik bir sistemi çevresinden ayıran **hareketli bir sınır boyunca etkiyen bir kuvvetin varlığı** sistemle çevresi arasında iş etkileşiminin oluşumunu sağlar. İş etkileşimi için hareketli bir sınır koşulu, fizik dersinden bilinen “**hareket olmazsa iş yapılmaz**” prensibiyle açıklanabilir. Cisme sabit bir kuvvetin etki etmesi durumunda, yapılan iş, aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{İş} = \text{Kuvvet} \times \text{Yol}$$

$$W = Fs \text{ (kJ)}$$



Kuvvetin sabit olmaması durumunda ise ilk durum ile son durum arasında kuvvet-yol grafiğinin altında kalan diferansiyel miktardaki alanlar toplanarak iş bulunur.

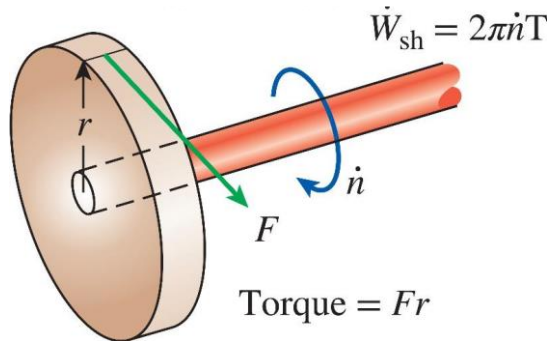
$$W = \int_1^2 F ds \text{ (kJ)}$$

İş formüllerinden de görüleceği üzere yapılan iş, uygulanan kuvvet (F) ve kuvvetin etki ettiği uzunluğa (s) bağlıdır.

İdeal bir türbin gibi bir düzenekle doğrudan ve tamamen mekanik enerjiye dönüştürülebilen iş **mekanik iş** olarak isimlendirilir.

Mekanik iş biçimi: Mil İşi

Güç veya hareketi iletme için döner bir mülle iletilen güç birim zamanda yapılan **mil işi** olarak isimlendirilir.



Yukarıda verilen şekilde mil \dot{n} açısal hızında dönmekte ve moment kolu r 'ye uygulanan F kuvveti T burulma momentini (Torque) oluşturmaktadır. Burulma momenti T ,

$$T = Fr$$

ile hesaplanır ve bu denklemden F çekilirse;

$$F = \frac{T}{r}$$

elde edilir. Mil işi ise aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$W_{mil} = Fs = \frac{T}{r}s$$

Kuvvetin etki ettiği uzunluk s , milin bir devir dönmesi durumunda dairesel elemanın çevresi kadar olacağından,

$$s = (2\pi r)n$$

ile ifade edilir. Buradaki s , mil işi eşitlikte yerine koyulursa,

$$W_{mil} = \frac{T}{r}(2\pi r)n \quad (kJ)$$

olarak bulunur. Bu eşitlikten de görüldüğü üzere mil işi, uygulanan burulma momenti ve milin devir sayısı ile orantılıdır. Mille iletilen güç ise,

$$\dot{W}_{mil} = 2\pi\dot{n}T$$

olur.

Örnek: Bir arabanın krank miline uygulanan burulma momenti 200 Nm ise ve mil dakikada 4000 (rpm: devir/dakika) hızla dönüyorsa, krank milinin ilettiği gücü hesaplayalım.

Çözüm: Milin ilettiği güç doğrudan aşağıda verilen denklem ile hesaplanabilir.

$$\begin{aligned}\dot{W}_{mil} &= 2\pi\dot{n}T = 2\pi \left(4000 \frac{1}{dakika}\right) (200 Nm) \left(\frac{1 dakika}{60 s}\right) \left(\frac{1 kJ}{1000 Nm}\right) \\ &= 83.8 kW \text{ veya } 112 hp\end{aligned}$$

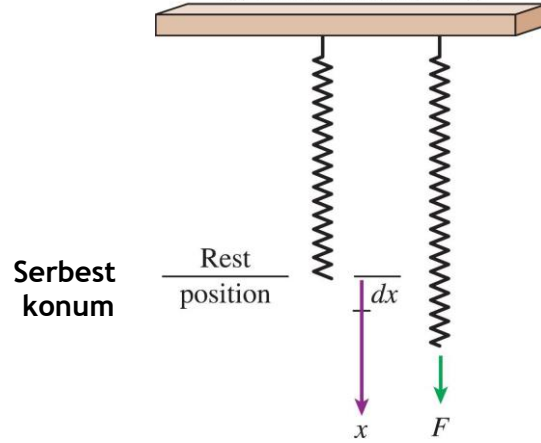
olarak bulunur.

Mekanik iş biçimi: Yay İşi

Bir yaya kuvvet uygulandığı zaman uzunluğunun değiştiği bilinen bir olgudur. Bir F kuvveti uygulandığı zaman yay dx diferansiyel büyüklüğü kadar uzarsa, yapılan iş

$$\delta W_{yay} = F dx$$

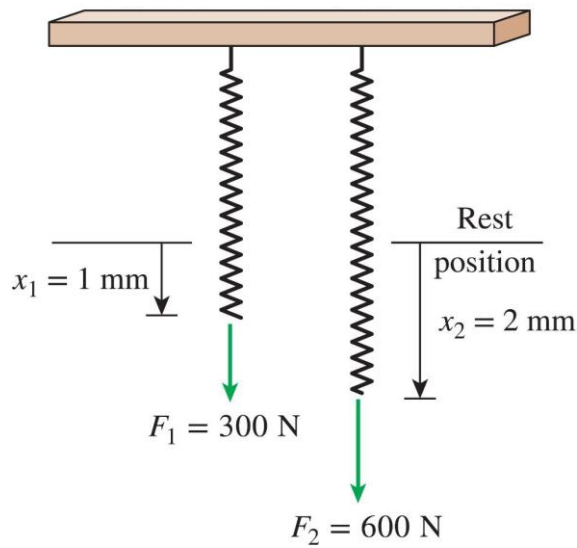
olur.



Doğrusal olarak esneyen yaylar için, yer değişimi x, uygulanan kuvvet F ile doğru orantılıdır ve burada orantı katsayısı yay katsayısı k olarak alınır.

$$F = kx \text{ (kN)}$$

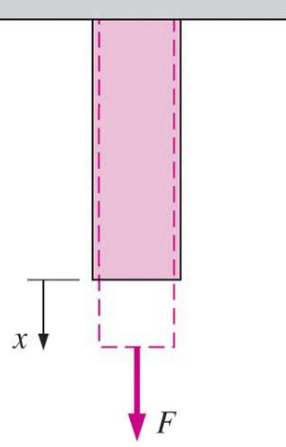
Eşitlikten de görüleceği üzere yay katsayısı k sabit olduğundan kuvvet kaç kat artırılırsa yayın yer değişimi de o kadar olur. Doğrusal yaylar için yay işi aşağıda verildiği gibi hesaplanır.



$$W_{yay} = \frac{1}{2} k(x_2^2 - x_1^2) \text{ (kJ)}$$

Bu eşitlikte x_1 ve x_2 sırasıyla yayın başlangıç ve son durumdaki yer değiştirmeleridir.

Katı çubuklar kuvvetin etkisiyle yay gibi davranırlar ve burada esnek katı çubuklar üzerinden yapılan iş aşağıda verildiği hesaplanır.



$$W_{esnek} = \int_1^2 F dx = \int_1^2 \sigma_n A dx \quad (kJ)$$

Bu eşitlikte verilen σ_n ve A sırasıyla uygulanan kuvvetin etkisiyle katı çubukta ortaya çıkan normal gerilmeyi ve çubuğun kesit alanını göstermektedir.

Mekanik Olmayan İş

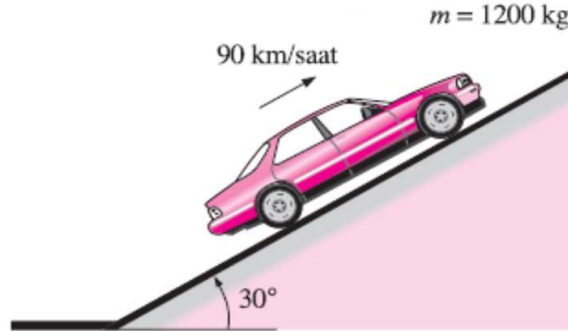
Mekanik olmayan işlerin hesaplanmasını mekanik işlerin eşitliklerine benzetmek için **genelleştirilmiş kuvvet** ve **genelleştirilmiş yer değişimi** kavramları kullanılır.

Elektrik İş: Genelleştirilmiş kuvvet voltaj (elektrik potansiyeli), genelleştirilmiş yer değişiminin elektrik yükü olarak alınır.

Manyetik İş: Genelleştirilmiş kuvvet olarak manyetik alan gücü, genelleştirilmiş yer değişimi olarak manyetik iki kutuplu moment alınır.

Elektrik Polarizasyon İş: Genelleştirilmiş kuvvet olarak elektrik alan gücü, genelleştirilmiş yer değişimi olarak ortam polarizasyonu (moleküllerin iki kutuplu elektrik dönme momentlerinin toplamı) alınır.

Örnek: 1200 kg kütlesindeki bir otomobil düz yolda 90 km/saat ortalama hızla hareket etmektedir. Daha sonra yatay düzlemle 30° eğimli bir rampaya çıkmaya başlamıştır. Rampa boyunca otomobilin hızı sabit kalıyor ise, motor tarafından verilmesi gereken ek gücü hesaplayınız.

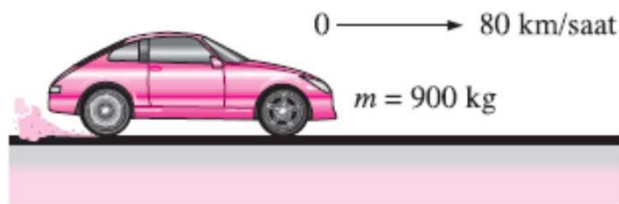


Çözüm:

$$\dot{W}_g = \frac{mg\Delta z}{\Delta t} = mgV_{dikey}$$

$$\begin{aligned}\dot{W}_g &= (1200 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)(90 \text{ km/h})(\sin 30^\circ) \left(\frac{1 \text{ m/s}}{3.6 \text{ km/h}} \right) \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 147 \text{ kW} \\ &= 197 \text{ hp}\end{aligned}$$

Örnek: Şekilde gösterilen 900 kg kütlesindeki bir otomobili, düz yolda 20 s'de durma anından 80 km/saat hıza çıkarmak için gerekli gücü hesaplayınız.



Çözüm:

$$W_i = \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) = \frac{1}{2}(900 \text{ kg}) \left[\left(\frac{80,00 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \right)^2 - 0^2 \right] \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 222 \text{ kJ}$$

Ortalama güç aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\dot{W}_i = \frac{W_i}{\Delta t} = \frac{222 \text{ kJ}}{20 \text{ s}} = 11.1 \text{ kW} = 14.9 \text{ hp}$$

MEKANİK VE ELEKTRİKLİ CİHAZLARIN VERİMLERİ

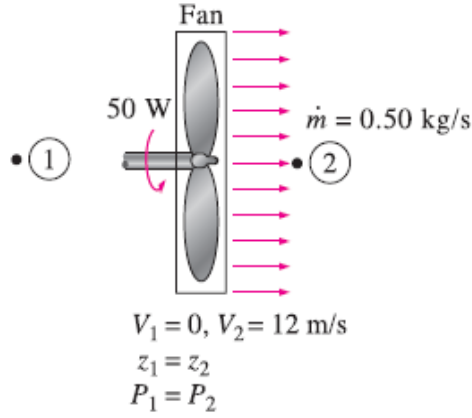
Genel anlamda verim aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$\text{Verim} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}}$$

Bu verim tanımıyla uyumlu olacak şekilde mekanik ve elektrikli cihazlar için mekanik verim aşağıdaki gibi tanımlanabilir (ç:çıkan, g: giren ve mek:mekanik):

$$\eta_{mekan,k} = \frac{\text{Alınan mekanik enerji}}{\text{Verilen mekanik enerji}} = \frac{E_{mekanik,\text{çıkan}}}{E_{mekanik,\text{giren}}} = 1 - \frac{E_{mekanik,\text{kayıp}}}{E_{mekanik,\text{giren}}}$$

$$\eta_{mek} = \frac{E_{mek,\text{ç}}}{E_{mek,\text{g}}} = 1 - \frac{E_{mek,\text{kayıp}}}{E_{mek,\text{g}}}$$



$$\begin{aligned} \eta_{mek, fan} &= \frac{\Delta \dot{E}_{mek,akışkan}}{\dot{W}_{mil,g}} = \frac{\dot{m} V_2^2 / 2}{\dot{W}_{mil,g}} \\ &= \frac{(0.50 \text{ kg/s})(12 \text{ m/s})^2 / 2}{50 \text{ W}} \\ &= 0.72 \end{aligned}$$

Bir fanın mekanik verimi, fan çıkışındaki havanın kinetik enerjisinin, fana verilen mekanik güce oranıdır.

Verilen veya alınan mekanik güç ile akışkanın mekanik enerjisi arasındaki dönüşüm işleminin mükemmellik derecesi pompa verimi veya türbin verimi olarak tanımlanır (f: yararlı).

$$\eta_{pompa} = \frac{\text{Akışkanın mekanik enerjisindeki artış}}{\text{Verilen mekanik enerji}} = \frac{\Delta \dot{E}_{mek,akışkan}}{\dot{W}_{mil,g}} = \frac{\dot{W}_{pompa,f}}{\dot{W}_{pompa}}$$

$$\Delta \dot{E}_{mek,akışkan} = \dot{E}_{mek,\text{ç}} - \dot{E}_{mek,\text{g}}$$

$$\eta_{türbin} = \frac{\text{Alınan mekanik enerji}}{\text{Akışkanın mekanik enerjisindeki azalma}} = \frac{\dot{W}_{mil,\text{ç}}}{|\Delta \dot{E}_{mek,akışkan}|} = \frac{\dot{W}_{türbin}}{\dot{W}_{türbin,e}}$$

$$|\Delta \dot{E}_{mek,akışkan}| = \dot{E}_{mek,g} - \dot{E}_{mek,\varsigma}$$

Motor Verimi

$$\eta_{motor} = \frac{\text{Alınan mekanik güç}}{\text{Verilen elektriksel güç}} = \frac{\dot{W}_{mil,\varsigma}}{\dot{W}_{elek,g}}$$

Jeneratör Verimi

$$\eta_{motor} = \frac{\text{Alınan elektriksel güç}}{\text{Verilen mekanik güç}} = \frac{\dot{W}_{elek,\varsigma}}{\dot{W}_{mil,g}}$$

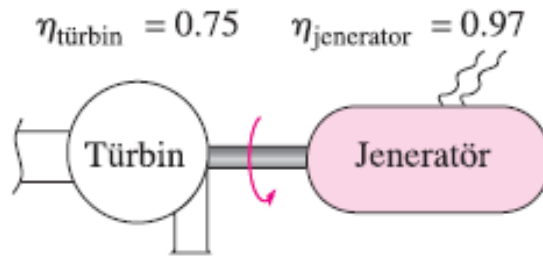
Pompa-Motor Grubunun Verimi

$$\eta_{pompa-motor} = \eta_{pompa} \eta_{motor} = \frac{\dot{W}_{pompa,yararlı}}{\dot{W}_{elek,g}} = \frac{\Delta \dot{E}_{mek,akışkan}}{\dot{W}_{elek,g}}$$

Türbin-Jeneratör Grubunun Verimi

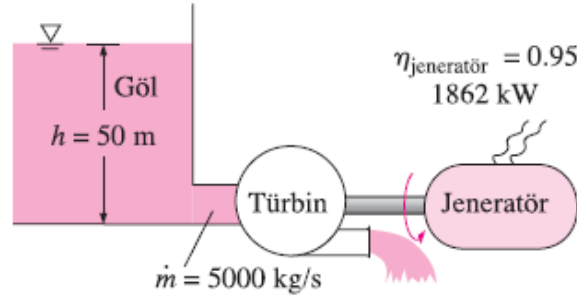
Türbin-jeneratör birleşiminin toplam verimi türbin verimi ile jeneratör veriminin çarpımıdır ve elde edilen elektrik enerjisinin akışkanın mekanik enerjisine oranını gösterir.

$$\eta_{türbin-jeneratör} = \eta_{türbin} \eta_{jeneratör} = \frac{\dot{W}_{elek,\varsigma}}{\dot{W}_{türbin,\varsigma}} = \frac{\dot{W}_{elek,\varsigma}}{\Delta \dot{E}_{mek,akışkan}}$$



$$\begin{aligned} \eta_{türbin-jen} &= \eta_{türbin} \eta_{jeneratör} \\ &= 0.75 \times 0.97 \\ &= 0.73 \end{aligned}$$

Örnek: Büyük bir göldeki su, şekilde gösterildiği gibi su derinliğinin **50 m** olduğu bir yere bir hidrolik türbin-jeneratör grubu yerleştirilmek suretiyle elektrik üretmek için kullanılacaktır. Su, türbine **5000 kg/s** kütleli debi ile girmektedir. Üretilen elektrik gücü **1862 kW** ve jeneratör verimi **%95** ise (a) türbin-jeneratör grubunun toplam verimini, (b) türbinin mekanik verimini, (c) türbinden jeneratöre verilen mil gücünü hesaplayınız.



Çözüm: (a) Gölün alt seviyesi referans seviyesi olarak alınabilir. Suyun potansiyel ve kinetik enerjileri sıfırdır ve birim kütle için mekanik enerjideki değişim aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$e_{mek,g} - e_{mek,\zeta} = gh - 0 = gh = \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (50 \text{ m}) \left(\frac{1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{1000 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}\right) = 0.491 \text{ kJ/kg}$$

$$|\Delta \dot{E}_{mek,akışkan}| = \dot{m}(e_{mek,g} - e_{mek,\zeta}) = (5000 \text{ kg/s})(0.491 \text{ kJ/kg}) = 2455 \text{ kW}$$

$$\eta_{toplam} = \eta_{\text{türbin-jeneratör}} = \eta_{\text{türbin}}\eta_{jen} = \frac{\dot{W}_{elek,\zeta}}{\Delta \dot{E}_{mek,akışkan}} = \frac{1862 \text{ kW}}{2455 \text{ kW}} = 0.76$$

(b) Toplam verim ve türbin verimi bilindiği için türbin mekanik verimi aşağıda verildiği gibi kolayca hesaplanabilir.

$$\eta_{\text{türbin-jen}} = \eta_{\text{türbin}}\eta_{jen} \rightarrow \eta_{\text{türbin}} = \frac{\eta_{\text{türbin-jen}}}{\eta_{jen}} = \frac{0.76}{0.95} = 0.80$$

(c) Mil gücü mekanik verimin tanımından hesaplanabilir.

$$\dot{W}_{mil,\zeta} = \eta_{\text{türbin}}|\Delta \dot{E}_{mek,akışkan}| = (0.80)(2455 \text{ kW}) = 1964 \text{ kW}$$

YARARLANILAN KAYNAKLAR:

“**Thermodynamics: An Engineering Approach**”, 9th Edition, Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Mehmet Kanoglu, McGraw-Hill Education, 2019.

‘**Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla**’, Yedinci Baskıdan Çeviri, Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Palme Yayıncılık, 2015.