

Bölüm 5

KONTROL HACİMLERİ

İÇİN KÜTLE

VE ENERJİ

ÇÖZÜMLEMESİ

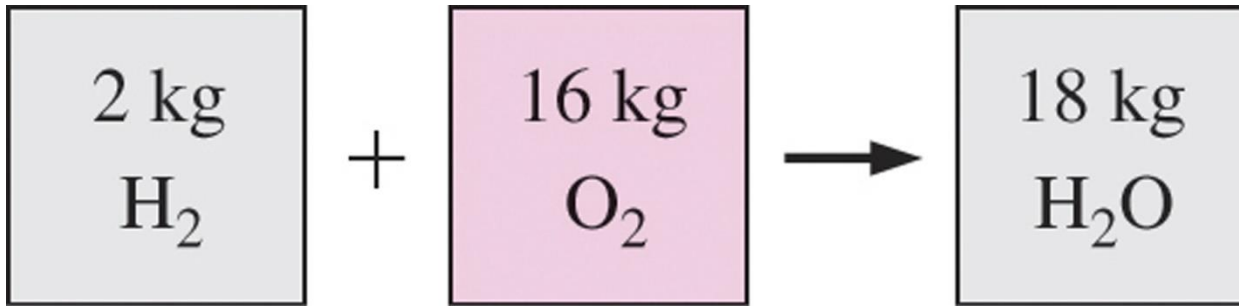


- Kütlelenin korunumu ilkesi geliştirilecektir.
- Kütlelenin korunumu ilkesi sürekli ve sürekli olmayan akış sistemlerini içeren çeşitli sistemlere uygulanacaktır.
- Termodinamiğin birinci kanununu enerjinin korunumu ilkesi olarak açık sistemlere ve kontrol hacimlerine uygulanacaktır.
- Akışkan akımı ile kontrol yüzeyinden taşınan akışkanın iç enerji, akış işi, kinetik enerji ve potansiyel enerjinin toplamları olan enerji tanımlanacak ve iç enerji ve akış işi bileşimlerinin entalpi özeliği ile ilgilendirilecektir.
- Yaygın olarak kullanılan lüleler, kompresörler, türbinler, kısılma vanaları, karıştırıcılar ve ısı değıştircileri gibi sürekli akış sistem problemleri çözülecektir.
- Enerjinin korunumu sürekli olmayan akış sistemlerine uygulanacak ve özellikle sıkça karşılaşılan basınçlı kapların doldurulması ve boşaltılması gibi düzgün akışlı açık sistem modeli üzerinde durulacaktır.

Kütlenin korunumu: Kütle de enerji gibi korunum yasalarına uyar; başka bir deyişle, var veya yok edilemez.

Kapalı sistemlerde: Sistemin kütlesi hal değişimi sırasında sabit kalır.

Kontrol hacmi: Sınırlarından kütle geçişi olduğu için, kontrol hacmine giren ve çıkan kütlenin hesabını yapmak gerekir.



Kütle kimyasal reaksiyonlarda bile korunur.

Kütle m ve enerji E bir değerine dönüşebilir

$$E = mc^2$$

Burada c ışık hızını göstermektedir ve $c = 2.9979 \times 10^8$ dir.

Bir sistemin enerjisi değiştiği zaman kütesini de değişecektir.

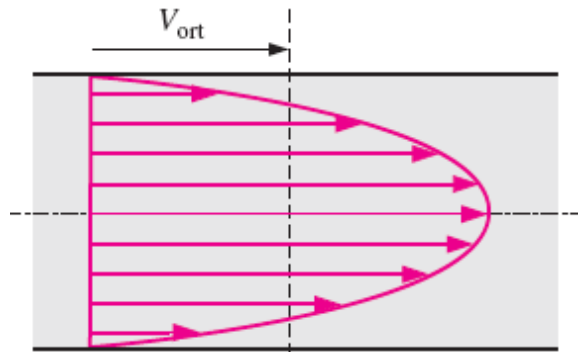
Kütle Debişi ve Hacimsel Debi

$$\delta \dot{m} = \rho V_n dA_c$$

$$\dot{m} = \int_{A_c} \delta \dot{m} = \int_{A_c} \rho V_n dA_c$$

$$\dot{m} = \rho V_{\text{ort}} A_c \quad (\text{kg/s})$$

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \frac{\dot{V}}{v} \quad \text{Kütle debisi}$$



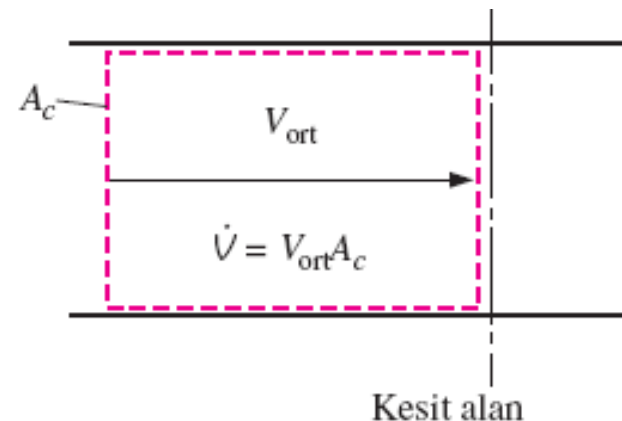
Boru içindeki ortalama hız V_{ort} kesit alanı boyunca olan hızın ortalamasıdır.

$$V_{\text{ort}} = \frac{1}{A_c} \int_{A_c} V_n dA_c$$

Ortalama hızın tanımlanması

Hacimsel debi

$$\dot{V} = \int_{A_c} V_n dA_c = V_{\text{ort}} A_c = VA_c \quad (\text{m}^3/\text{s})$$



Hacimsel debi, kesitten birim zamanda geçen akışkan hacmidir.

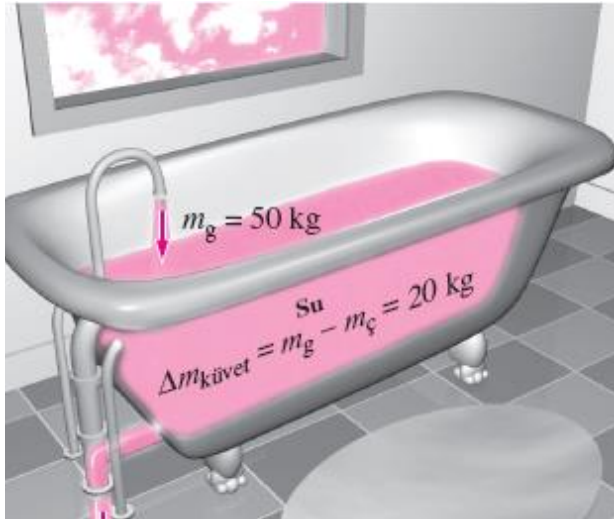
Kütlenin Korunumu İlkesi

Bir kontrol hacmi için kütlenin korunumu ilkesi: Bir kontrol hacmine veya kontrol hacminden Δt zaman aralığında olan kütle geçişi, aynı zaman aralığında kontrol hacmindeki toplam kütledeki değişime (azalma veya artma) eşittir.

$$\left(\begin{array}{c} KH' \text{ ne giren} \\ \text{toplam kütle} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} KH' \text{ den çıkan} \\ \text{toplam kütle} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} KH \text{ içinde toplam} \\ \text{kütle değişimi} \end{array} \right)$$

$$m_g - m_\varphi = \Delta m_{KH} \quad (\text{kg})$$

$$\dot{m}_g - \dot{m}_\varphi = dm_{KH}/dt \quad (\text{kg/s})$$



Kütlenin korunumu

$$\frac{d}{dt} \int_{KH} \rho dV + \int_{KY} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA = 0$$

Kütlenin korunumu ilkesi

$$\frac{d}{dt} \int_{KH} \rho dV = \sum_g \dot{m} - \sum_\varphi \dot{m}$$

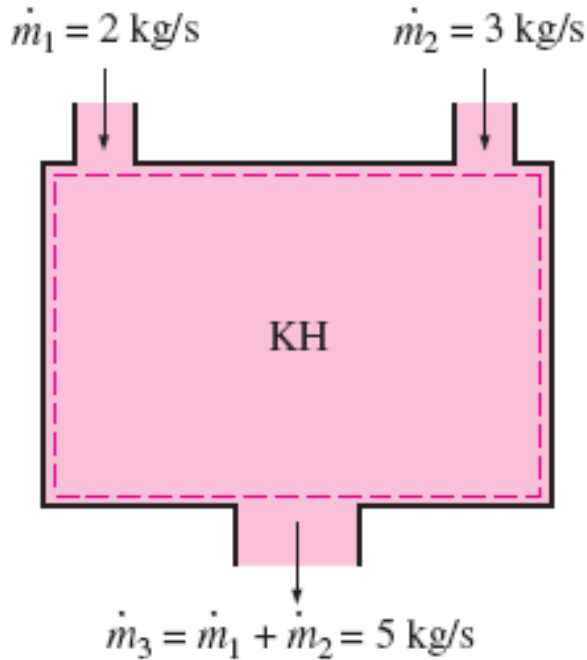
veya
$$\frac{dm_{KH}}{dt} = \sum_g \dot{m} - \sum_\varphi \dot{m}$$

Sıradan bir banyo küveti için kütlenin korunumu ilkesi.

Sürekli Akışlı Sistemlerde Kütle Dengesi

Sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacmi içindeki toplam kütle zamanla değişmez ($m_{KH} = \text{sabit}$).

Bu durumda, kütle korunumu ilkesi uyarınca **kontrol hacmine giren toplam kütle, kontrol hacminden çıkan toplam kütleyle eşit olması gerekir**



Sürekli akışlı açık sistemlerde, bir zaman süresince sisteme giren veya çıkan kütleden çok, *kütle debisi* m önem kazanır.

$$\sum_g \dot{m} = \sum_s \dot{m} \quad (\text{kg/s})$$

Çok girişli ve çıkışlı

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \rightarrow \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

Tek akışlı

Lüle, türbin, kompresör, pompa gibi mühendislik uygulamalarının birçoğunda, sadece bir akış, bu nedenle de bir giriş ve bir çıkış söz konusudur.

İki giriş ve bir çıkışlı sürekli akışlı sistem için kütle korunumu ilkesi

Özel Durum: Sıkıştırılmaz Akışlar

Kütlenin korunumu bağıntısı sıkıştırılmaz akışkanlarda, genellikle sıvılarda basitleştirilebilir.



$$\sum_g \dot{V} = \sum_s \dot{V} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Sürekli,
sıkıştırılmaz akış

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 \rightarrow V_1 A_1 = V_2 A_2$$

Sürekli, sıkıştırılmaz
akış (tek akışlı)

“Hacmin korunumu ilkesi” gibi bir şey olamaz.

Bununla birlikte, sıvıların sürekli akışları için, hacimsel debi, kütle debisi gibi sabit kalabilir çünkü sıvılar genelde sıkıştırılmaz maddelerdir.

Sürekli akışlı açık bir sistemde giren ve çıkan hacimsel debilerin eşit olması gerekmez.

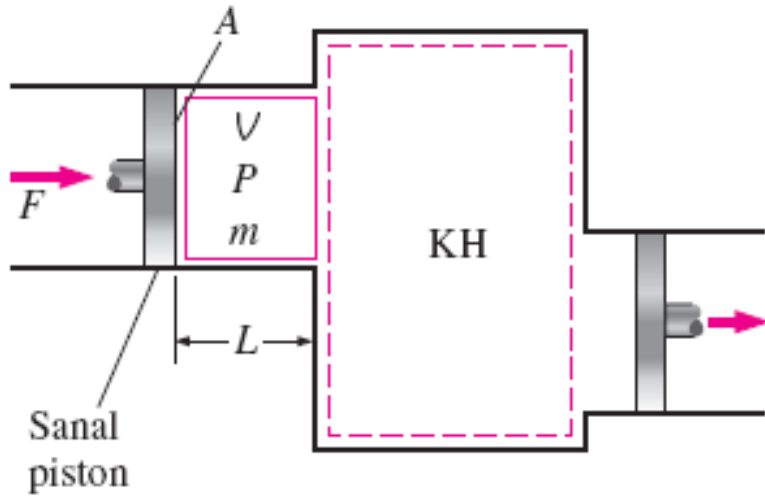
AKIŞ İŞİ VE AKIŞKANIN ENERJİSİ

Akış işi veya akış enerjisi: İş veya Enerji kütlenin kontrol hacmine girebilmesi veya kontrol hacminden çıkabilmesi için gereklidir. Bu iş kontrol hacminde akış olması için gereklidir.

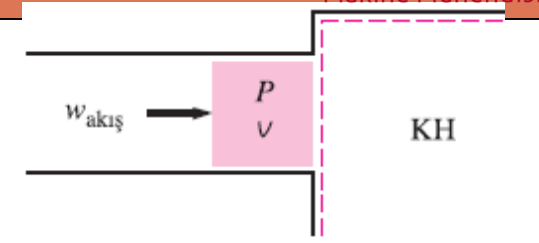
$$F = PA$$

$$W_{\text{akış}} = FL = PAL = PV \quad (\text{kJ})$$

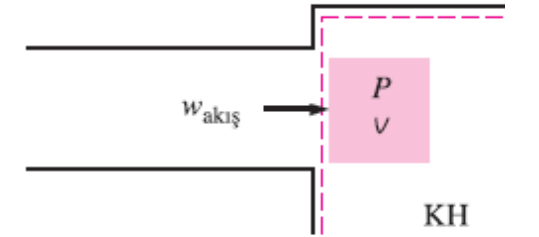
$$w_{\text{akış}} = PV \quad (\text{kJ/kg})$$



Akış işinin gösterimi.



(a) Girişten önce



(b) Girişten sonra

İvme olmaksızın pistonun akışkana uyguladığı kuvvet akışkanın piston üzerine etkidiği kuvvete eşittir.

Akışkanın Toplam Enerjisi

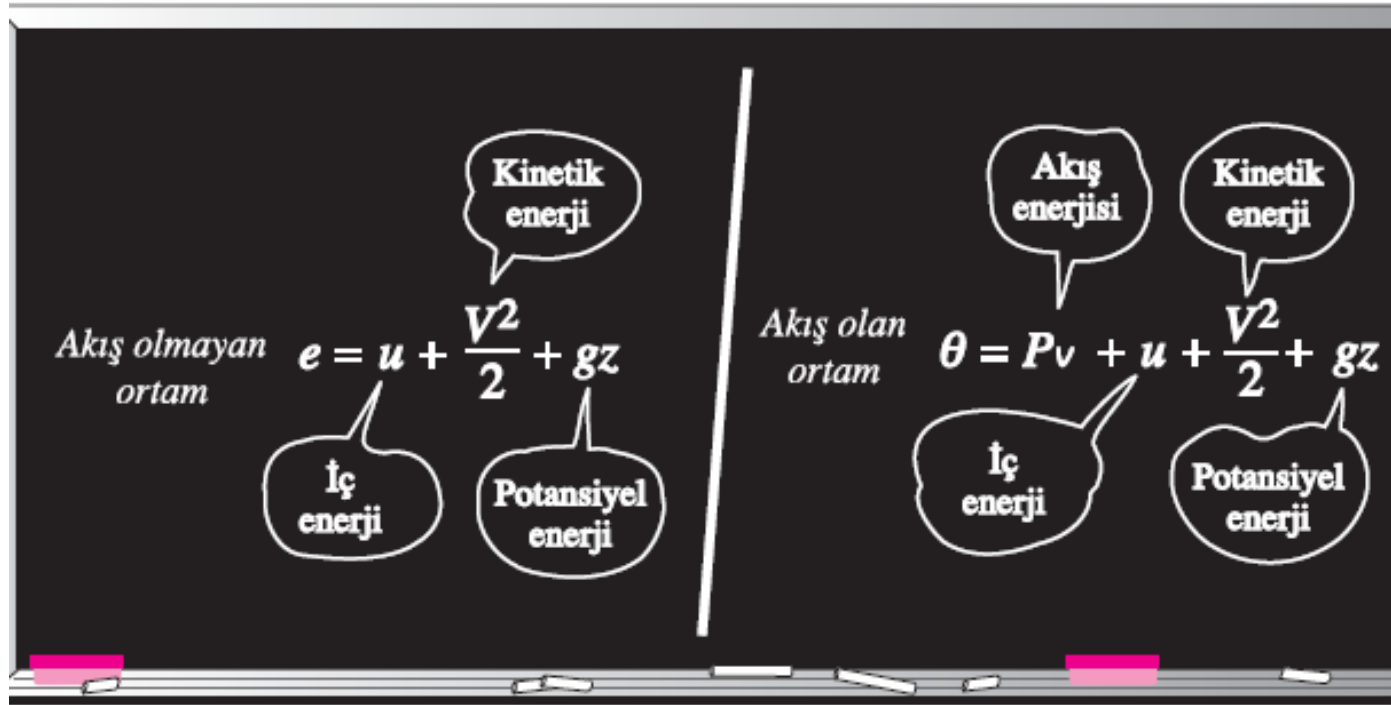
$$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg})$$

$$\theta = Pv + e = Pv + (u + ke + pe) \quad h = u + Pv$$

$$\theta = h + ke + pe = h + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg})$$

Akış enerjisi otomatik olarak entalpi tarafından kapsanır. Aslında, bu entalpinin özelliklerini tanımlamak için başlıca nedendir.

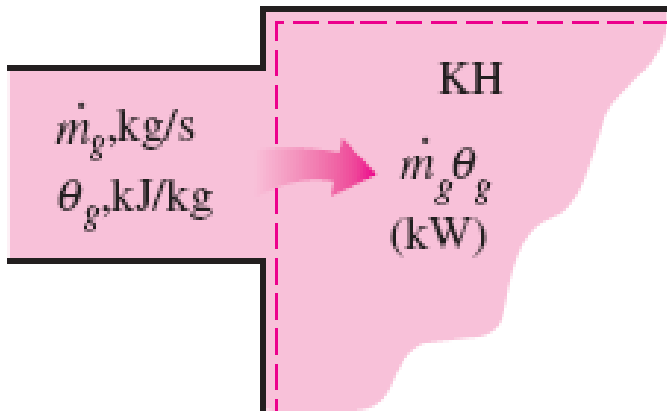
Akışın olmadığı bir ortamda toplam enerji üç terimden, akış olan bir ortamda ise dört terimden oluşur.



Kütle ile Enerji Aktarımı

Aktarılan Enerji Miktarı: $E_{\text{kütle}} = m\theta = m\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)$ (kJ)

Aktarılan Enerji Oranı $\dot{E}_{\text{kütle}} = \dot{m}\theta = \dot{m}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)$ (kW)



Akışkan kontrol hacminden geçerken kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişim göz ardı edilebilir.

$$E_{\text{mass}} = mh \quad \dot{E}_{\text{mass}} = \dot{m}h$$

Kütlenin özellikleri her bir giriş yada çıkışta giriş kesiti üzerindeki gibi zamanla değişir.

$$E_{\text{g,kütle}} = \int_{m_g} \theta_g \delta m_g = \int_{m_g} \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \delta m_g$$

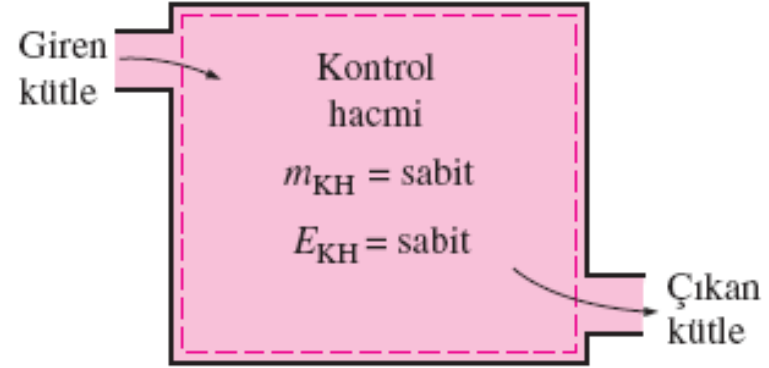
$m_g \theta_g$ terimi kontrol hacmine birim zamanda kütle ile aktarılan enerjiyi gösterir.

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEMLERİN ENERJİ ANALİZLERİ

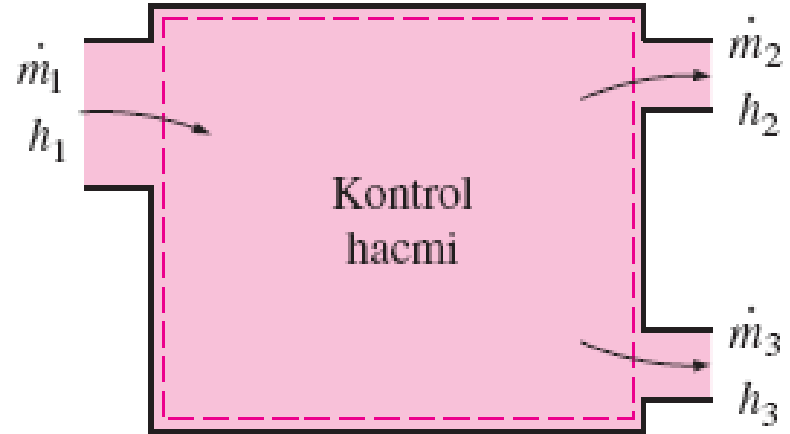


Güç santralleri gibi çoğu mühendislik sistemleri sürekli şartlar altında çalışırlar.

Sürekli akış koşullarında, kontrol hacminin kütlesi ve enerjisi zaman içinde değişmez.



Sürekli akışlı açık sistemde özellikler kontrol hacmi içinde değişebilir, fakat zamanla değişmezler.



Sürekli akışlı sistemler için Kütle ve Enerji dengesi

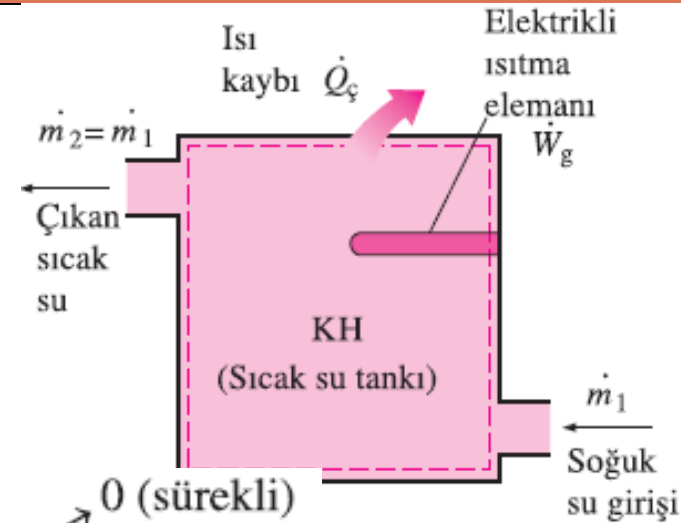
$$\sum_g \dot{m} = \sum_{\varphi} \dot{m} \quad (\text{kg/s})$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

Kütle dengesi

Sürekli akışlı bir su ısıtıcısı



Enerji dengesi

$$\underbrace{\dot{E}_g - \dot{E}_{\varphi}}_{\text{Birim zamanda; ısı, iş ve kütle ile olan enerji geçişi}} =$$

$$\underbrace{\frac{dE_{\text{sistem}}}{dt}}_{\text{Birim zamanda; sistemin iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}} \xrightarrow{0 \text{ (sürekli)}} = 0$$

Enerjinin Korunumu:

$$\underbrace{\dot{E}_g}_{\text{Birim zamanda; ısı, iş ve kütle ile KH'ne giren enerji}} = \underbrace{\dot{E}_{\varphi}}_{\text{Birim zamanda; ısı, iş ve kütle ile KH'den çıkan enerji}} \quad (\text{kW})$$

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \underbrace{\sum_g \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)}_{\text{her giriş için}} = \dot{Q}_{\varphi} + \dot{W}_{\varphi} + \underbrace{\sum_{\varphi} \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)}_{\text{her çıkış için}}$$

Dönüşüm işaretlerinin enerji denkliği (ısı girişi ve iş çıkışı pozitifdir.)

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum_{\text{ç}} \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) - \sum_{\text{g}} \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)$$

her çıkış için her giriş için

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right]$$

$$q - w = h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

$$q - w = h_2 - h_1$$

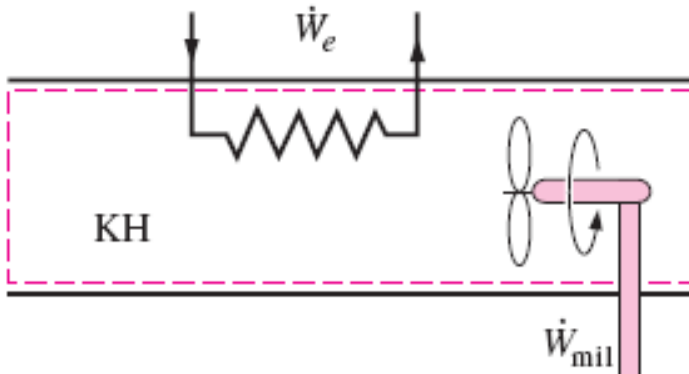
Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri önemsiz olduğunda

$$q = \dot{Q}/\dot{m}$$

$$w = \dot{W}/\dot{m}$$

$$\frac{\text{J}}{\text{kg}} \equiv \frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\text{kg}} \equiv \left(\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \frac{\text{m}}{\text{kg}} \equiv \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

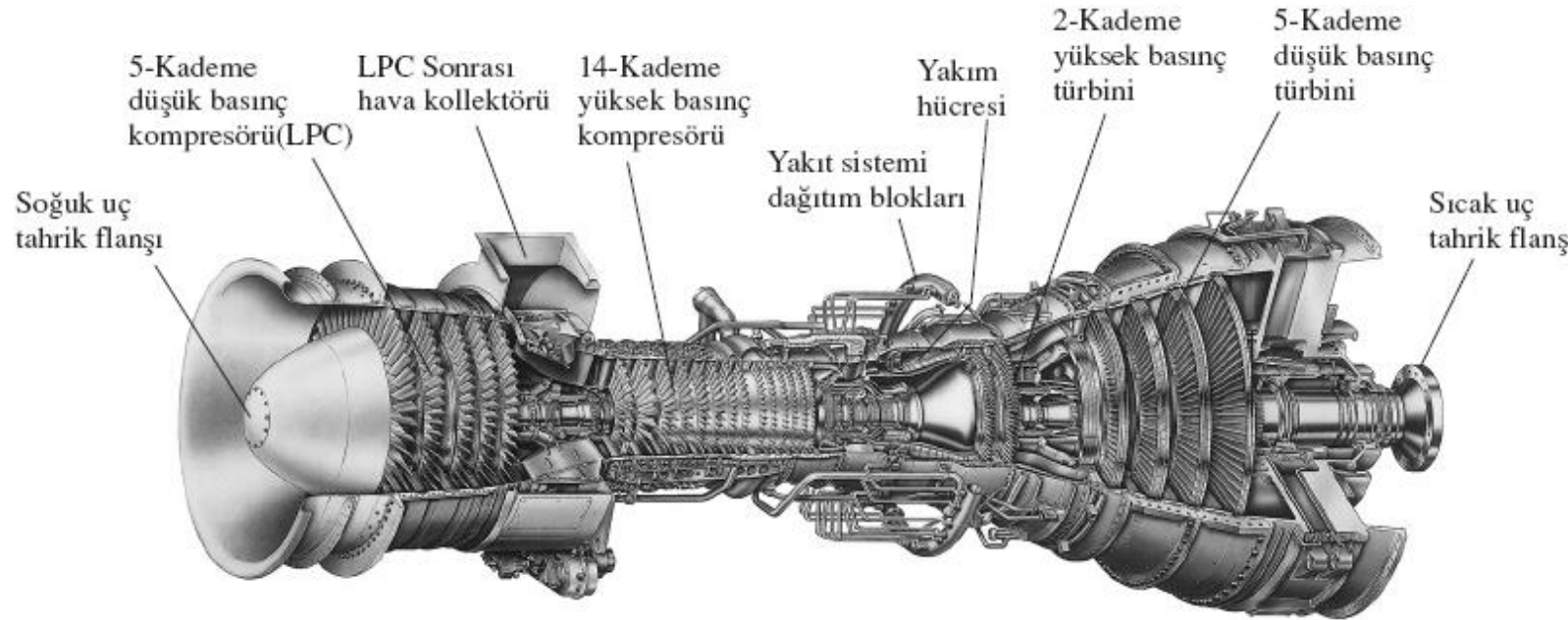
Bazı enerji birimlerinin eşitliği



Sürekli akışın olduğu basit sıkıştırılabilir bir açık sistemde sadece mil işi ve elektrik işi gerçekleşebilir.

BAZI SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEMLER

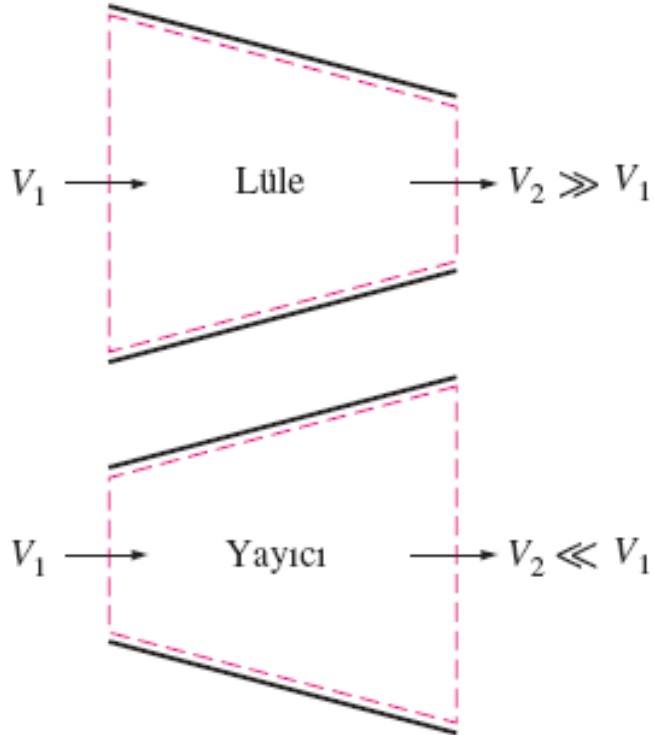
Mühendislik sistemlerinin birçoğu, aynı giriş ve çıkış koşullarında uzun süreler çalışırlar. Örneğin bir güç santralinin türbin, kompresör, ısı değiştiricisi, pompa gibi elemanları, sistem bakıma alınmadan önce aylarca çalışabilir. Bu nedenle, bu sistemleri rahatlıkla sürekli akışlı açık sistemler olarak çözümleriz.



Yüksek hızlarda, akışkan hızındaki küçük bir değişim kinetik enerjide önemli değişikliklere yol açabilir.

V_1 m/s	V_2 m/s	Δke kJ/kg
0	45	1
50	67	1
100	110	1
200	205	1
500	502	1

Elektrik üretiminde kullanılan gelişmiş bir gaz türbini. Bu bir General Electric LM5000 türbidir. 6.2 m boyunda, 12.5 ton ağırlığındadır ve buhar enjeksiyonuyla 3600 devirde 55.2 MW güç üretmektedir.



Lüle ve yayıcılar akışkan hızında ve dolayısıyla kinetik enerjilerinde büyük değişimler yapmak üzere tasarlanırlar.

Bir lüle ve yayıcı için enerji dengesi:

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta$$
$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) = \dot{m} \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} \right)$$

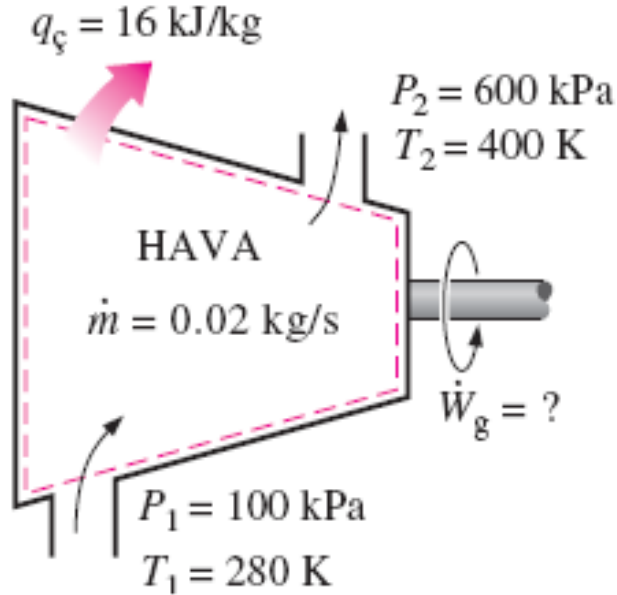
$$(\dot{Q} \cong 0, \dot{W} = 0, \text{ ve } \Delta p_e \cong 0)$$

Lüleler ve yayıcılar jet motorlarında, roketlerde, uzay araçlarında ve hatta bahçe hortumlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Lüle, akışın hızını onun basıncını düşürerek artıran mekanik bir sistemdir.

Yayıcı, akışın basıncını onun hızını azaltarak artıran mekanik bir sistemdir.

Bir lülenin kesit alanı ses altı hızlar için akış yönünde küçülür, ses üstü hızlar için akış yönünde büyür. Yayıcılar için bunun tersi söz konusudur.



Bu şekildeki kompresör için enerji dengesi:

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\phi$$

$$\dot{W}_g + \dot{m}h_1 = \dot{Q}_\phi + \dot{m}h_2$$

$$(\Delta ke = \Delta pe \cong 0)$$

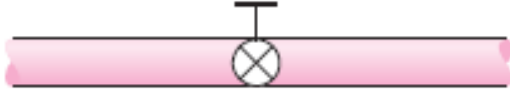
Buhar, gaz veya hidroelektrik güç santrallerinde, elektrik jeneratörünü döndüren makine **türbindir**. Akışkan türbinden geçerken mil üzerine yerleştirilmiş kanatçıklara karşı iş yapar. Bunun sonucu olarak mil döner ve türbin işi gerçekleşir.

Kompresörler, pompalar ve fanlar, akışkanın basıncını yükseltme işlevini gerçekleştirir. Bu makinelere, dönen bir mil aracılığıyla dışarıdan güç aktarılır.

Bir **fan**, genelde gaz akışını sağlamak amacıyla kullanılır ve gazın basıncı önemli ölçüde artırır.

Bir **kompresör**, gazları yüksek basınçlara sıkıştırmada yeteneklidir.

Pompalar, kompresörlere benzerler ancak gazlar yerine sıvıları sıkıştırmak ve sıvı akışını sağlamak için kullanılırlar.



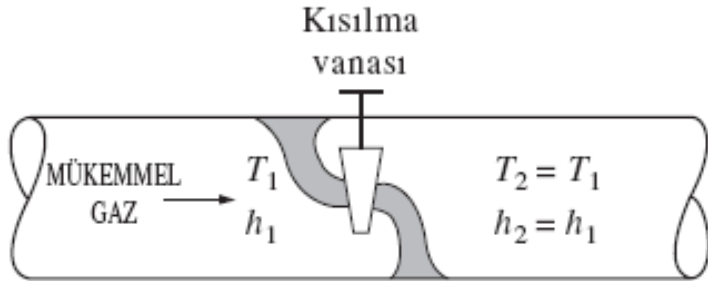
(a) Ayarlanabilir vana



(b) Gözenekli tapa



(c) Kılcal boru



Kısılma vanaları, akış kesitini herhangi bir şekilde azaltarak akışkanın basıncını önemli ölçüde düşüren elemanlardır.

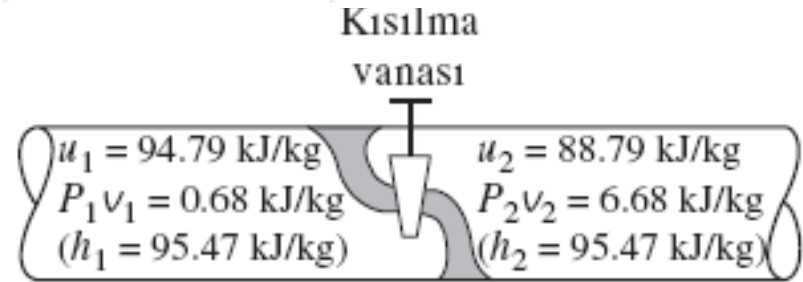
Bir türbin ve bir kısılma vanası arasındaki fark nedir?

Akışkanın basıncı düşerken genellikle sıcaklığında da büyük bir düşme gözlenir. Bu nedenle kısılma vanaları soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar.

Enerji dengesi

$$h_2 \cong h_1 \quad u_1 + P_1 v_1 = u_2 + P_2 v_2$$

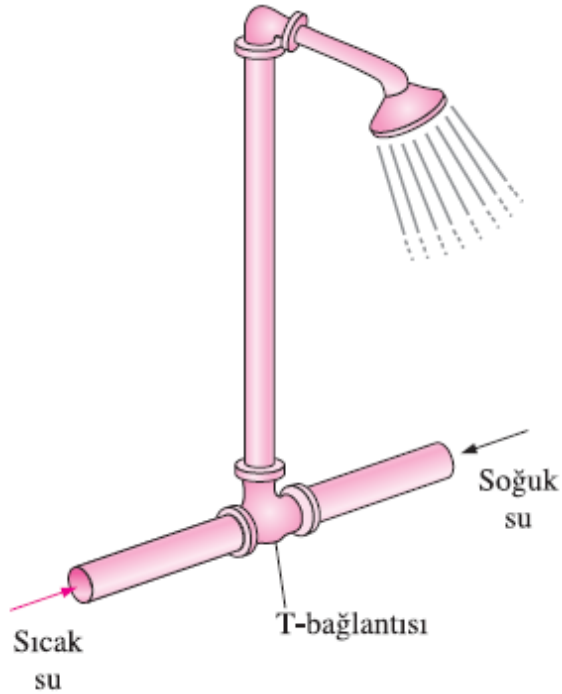
iç enerji + akış enerjisi = sabit



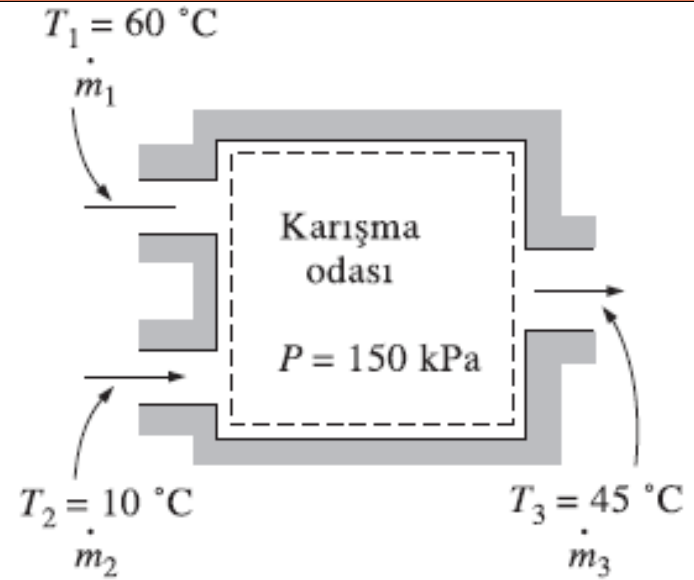
Kısılma işlemi sırasında akışkanın entalpisi sabit kalır. Fakat akış ve iç enerji birbirlerine dönüşebilirler.

Karışma Odaları

Mühendislik uygulamalarında, karışma işleminin olduğu kısımlar yaygın olarak bir karışma odası gibi kullanılırlar.



Bir duşun sıradan bir T-bağlantısı sıcak ve soğuk su akışlarının bir araya geldiği karışma odasıdır.



Şekildeki adyabatik karışma odası için enerji dengesi:

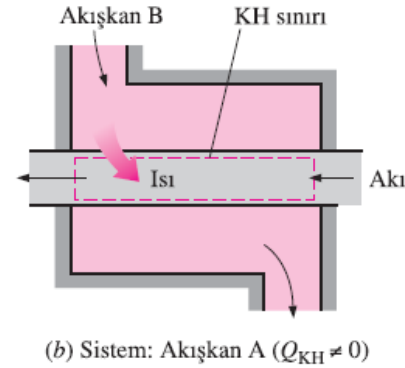
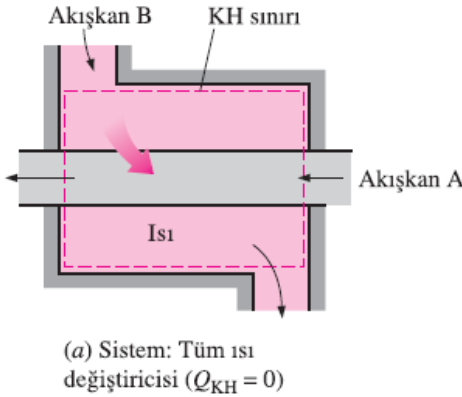
$$\dot{E}_g = \dot{E}_\varphi$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$$

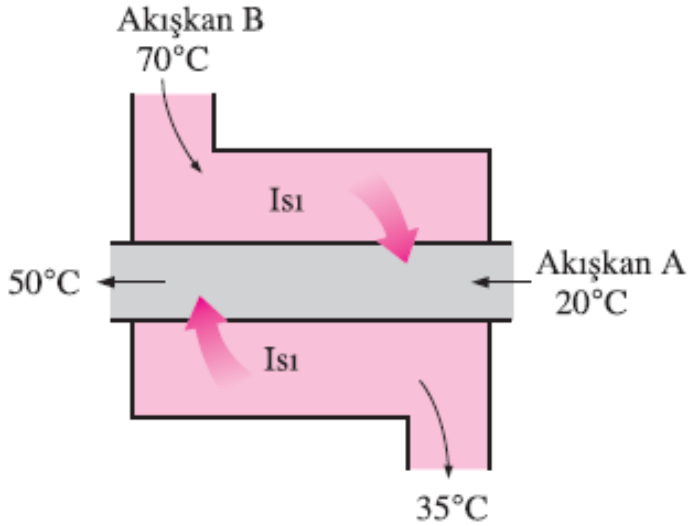
$$(\dot{Q} \cong 0, \dot{W} = 0, ke \cong pe \cong 0)$$

Isı Değiştiricileri

Isı değiştiricileri, iki akışın karışmadan ısı alışverişinde buldukları mekanik düzenlerdir. Isı değiştiricileri endüstride yaygın olarak kullanılırlar ve değişik tasarımlarda olabilirler.



Isı değiştiricisinde ki ısı geçişi, sistem seçimine bağlı olarak sıfır veya sıfırdan farklı olabilir.



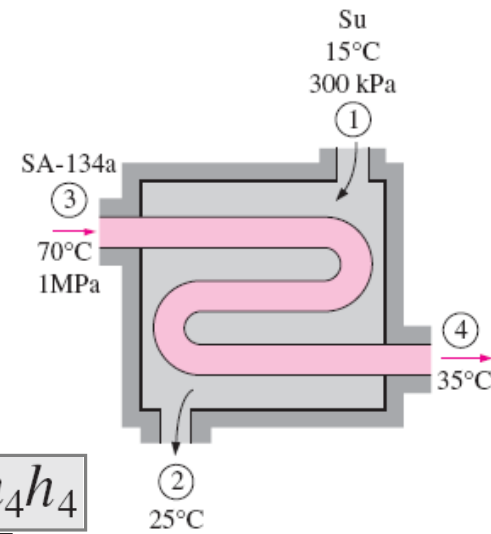
Şekildeki adyabatik ısı değiştiricileri için kütle ve enerji dengesi:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_w$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_R$$

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\varphi$$

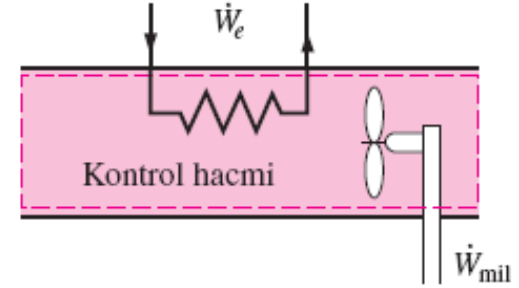
$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4$$



Bir ısı değiştiricisi, içice geçmiş iki boru kadar basit olabilir.

Boru ve Kanallarda Akış

Sıvıların veya gazların borularda veya kanallarda akışının değişik mühendislik uygulamalarında büyük önemi vardır. Bir boru veya kanalda akış genellikle sürekli akış koşullarını sağlar.

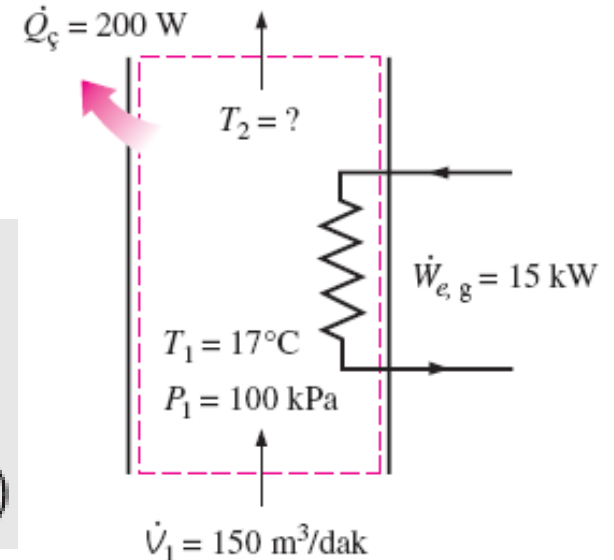


Boru veya kanal akışında aynı zamanda birden çok iş etkileşimi olabilir.

Şekilde gösterilen borudaki akış için enerji dengesi

Yalıtılmamış bir boru veya kanaldan çevreye olan ısı geçişi önemli büyüklükte olabilir.

$$\begin{aligned}\dot{E}_g &= \dot{E}_\zeta \\ \dot{W}_{e,g} + \dot{m}h_1 &= \dot{Q}_\zeta + \dot{m}h_2 \\ \dot{W}_{e,g} - \dot{Q}_\zeta &= \dot{m}c_p(T_2 - T_1)\end{aligned}$$



ZAMANLA DEĞİŞEN AÇIK SİSTEMLERİN ENERJİ ANALİZİ

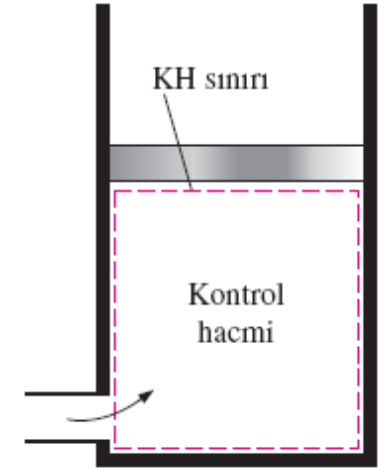
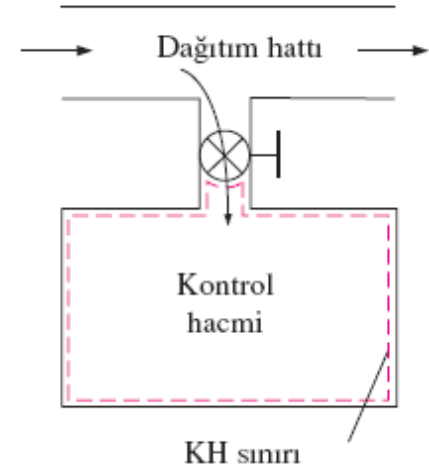
Önemli birçok uygulamada, kontrol hacmi içinde zamanla *değişiklik olur*. Bu tür sistemlere **zamanla değişen açık sistemler** veya **geçici akışlı açık sistemler** adı verilir.

Çoğu zamanla değişen açık sistemler orta derecede *düzenli akışlı sistemler* gibi gösterilebilir.

Düzenli akışlı sistem: Herhangi bir giriş yada çıkıştaki akışkan akışı düzenli ve sürekli ve böylece akışkan özellikleri yada bir giriş yada kesitin üzerindeki durumu zamanla değişmez. Eğer tersine bir durum söz konusu ise, ortalamaları alınır ve tüm sistem için sabit gibi davranılır.

Bir tüpün dağıtım hattından doldurulması zamanla değişen açık sistem çözümlemesine girer, çünkü tüp içindeki kütlenin hali zamanla değişir.

Zamanla değişen açık sistemde, kontrol hacminin biçimi ve hacmi değişebilir.



$$m_g - m_ç = \Delta m_{\text{sistem}}$$

$$\Delta m_{\text{sistem}} = m_{\text{son}} - m_{\text{ilk}}$$

$$m_g - m_ç = (m_2 - m_1)KH$$

Enerji dengesi

$$\underbrace{E_g - E_ç}_{\text{Ist, iş ve kütle ile olan enerji geçişi}} =$$

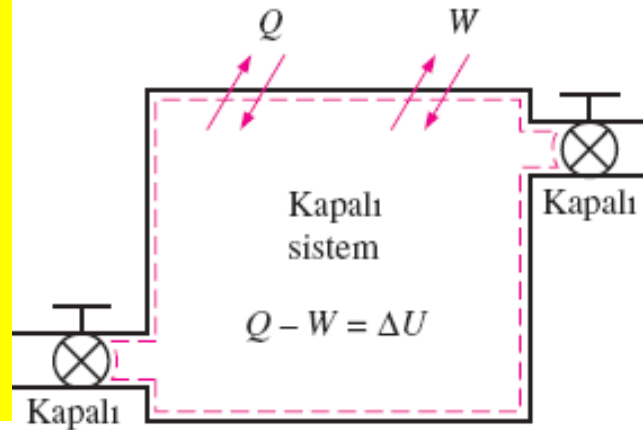
$$\underbrace{\Delta E_{\text{sistem}}}_{\text{Sistemin; iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}}$$

$$\left(Q_g + W_g + \sum_g m\theta \right) - \left(Q_ç + W_ç + \sum_ç m\theta \right) = (m_2 e_2 - m_1 e_1)_{\text{sistem}}$$

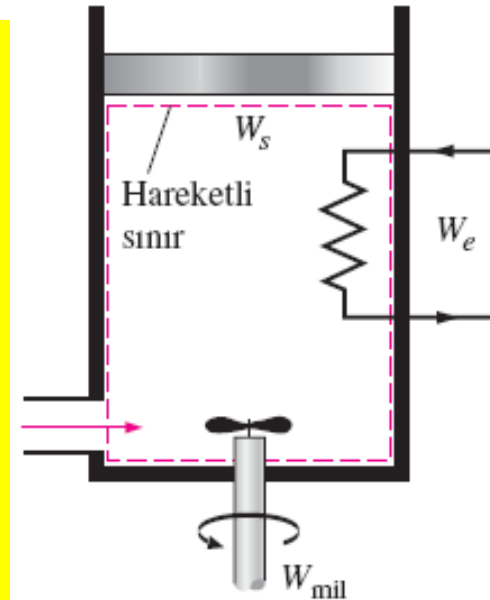
$$\theta = h + ke + pe$$

$$e = u + ke + pe$$

Giriş ve çıkışlar kapatıldığı zaman, düzgün akışlı açık sistemin enerji denklemi kapalı sistemin denklemine dönüşür.



Düzgün akışlı dengeli açık sistemde elektrik işi, mil işi ve sınır işi bir arada gerçekleşebilir.



- Kütlenin korunumu
 - Kütle debisi ve hacimsel debi
 - Sürekli akışlı bir sistem için kütle dengesi
 - Sıkıştırılmaz akış için kütle dengesi
- Akış işi ve akışkanın enerjisi
 - Kütle ile enerji aktarımı
- Sürekli akışlı açık sistemlerin enerji analizleri
- Bazı sürekli akışlı mühendislik sistemleri
 - Lüleler ve Yayıcılar
 - Türbinler ve Kompresörler
 - Kısılma vanaları
 - Karışma odaları ve Isı değiştiricileri
 - Boru ve Kanallarda akış
- Zamanla değişen açık sistemlerin enerji analizi