



DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
2025-2026 GÜZ YARIYILI
TERMODİNAMİK-I DERSİ

Ders Sorumlusu:

Doç. Dr. Mert KILINÇEL

Derste Takip Edilen Kaynak : **Termodinamik: Mühendislik Yaklaşımıyla**

Yazar: **Yunus Çengel, A. Boles, Michael A. Mehmet Kanoğlu**

Çeviri ve Ders Sunu Editörü : **Prof. Dr. Ali PINARBAŞI**



Konu Başlıkları

1. Ünite : Giriş ve temel kavramlar
2. Ünite : Enerji Dönüşümleri ve Genel Enerji Çözümlemesi
3. Ünite : Saf Maddenin Özellikleri
4. Ünite : Kapalı Sistemlerin Enerji Analizi
5. Ünite : Açık Sistemlerin Enerji Analizi
6. Ünite : Termodinamiğin İkinci Yasa Analizi

Bölüm 5

KONTROL HACİMLERİ İÇİN KÜTLE VE ENERJİ ÇÖZÜMLEMESİ

Amaçlar

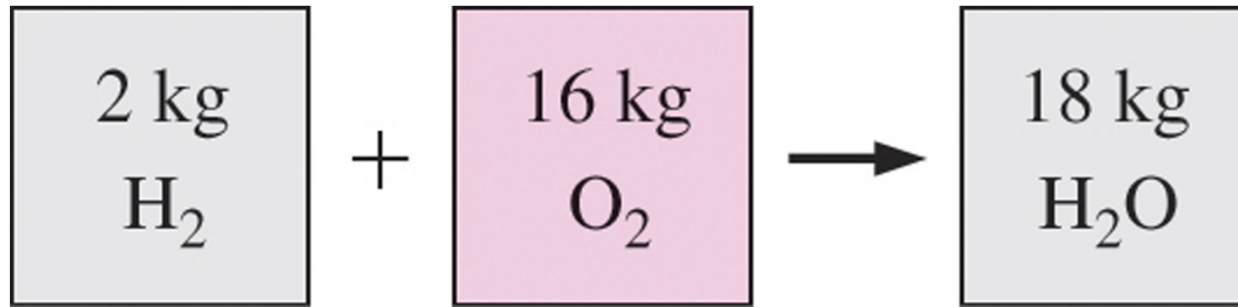
- Kütlenin korunumu ilkesi geliştirilecektir.
- Kütlenin korunumu ilkesi sürekli ve sürekli olmayan akış sistemlerini içeren çeşitli sistemlere uygulanacaktır.
- Termodinamiğin birinci kanununu enerjinin korunumu ilkesi olarak açık sistemlere ve kontrol hacimlerine uygulanacaktır.
- Akışkan akımı ile 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 değiştiricileri 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.

KÜTLENİN KORUNUMU

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.

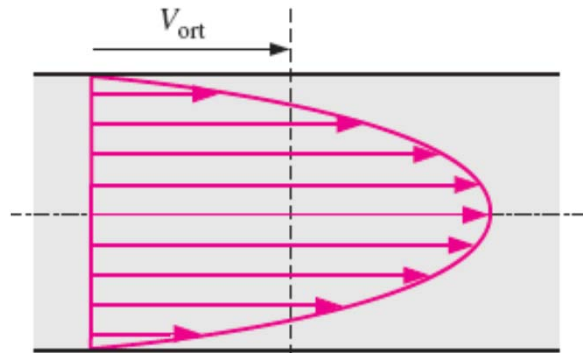
Kütle Debisi ve Hacimsel Debi

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

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

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

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



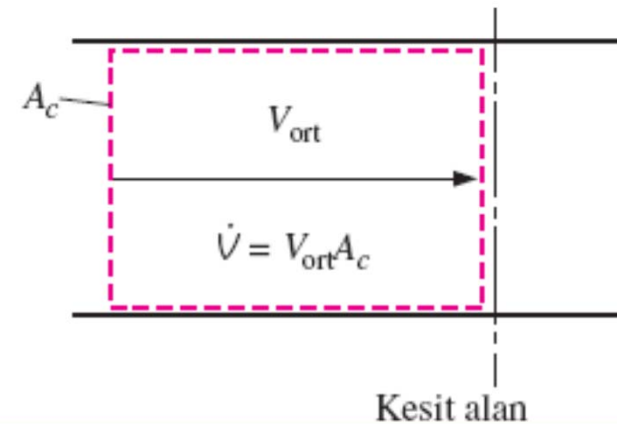
Boru içindeki ortalama hız V_{ort} kesit alanı boyunca olan hızın ortalamasıdır.

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

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.

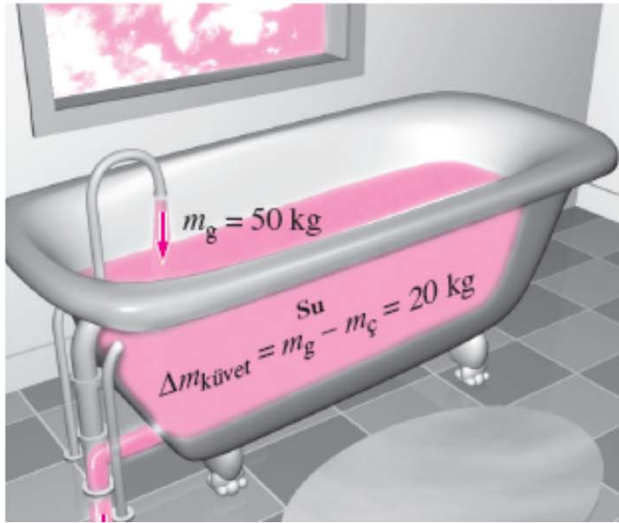
Kütlenin Korunumu İlkesi

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.

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

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

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



Sıradan bir banyo küveti için kütlenin korunumu ilkesi.

Kütlenin korunumu

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

Kütlenin korunumu ilkesi

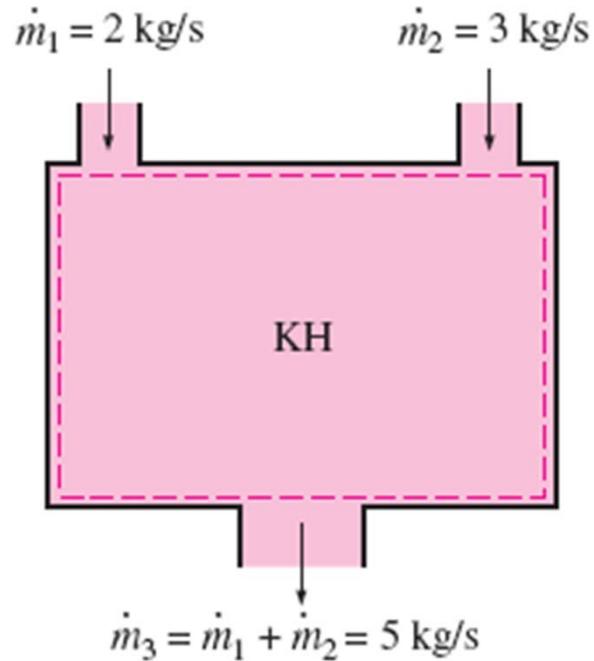
$$\frac{d}{dt} \int_{KH} \rho dV = \sum_g \dot{m} - \sum_\xi \dot{m}$$

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

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

Örnek 5.1: Bir bahçe hortumuna 40 litrelik bir kovayı doldurmak için fiskiye takılmıştır. Hortumun iç çapı 2 cm olup lüle çıkışında 0,8 cm' ye düşmektedir. Kovayı doldurmak 50 s sürdüğüne göre, (a) hortum boyunca olan kütle debisini, (b) fiskiye çıkışındaki ortalama hızı hesaplayınız.



Örnek 5.1: Bir bahçe hortumuna 40 litrelik bir kovayı doldurmak için fiskiye takılmıştır. Hortumun iç çapı 2 cm olup lüle çıkışında 0,8 cm' ye düşmektedir. Kovayı doldurmak 50 s sürdüğüne göre, (a) hortum boyunca olan kütle debisini, (b) fiskiye çıkışındaki ortalama hızı hesaplayınız.



Kabuller: Su sıkıştırılmaz bir maddedir. Hortum boyunca olan akış süreklidir (kesintili değildir). Kova dolarken herhangi bir su sıçraması ile kütle kaybı gerçekleşmemektedir.

Suyun yoğunluğunu litre cinsinden yazmak istersek;

$$\rho_{su} = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 1 \text{ kg/L}$$

(a) 40 L suyun kovaya dolması 50 s sürdüğüne göre suyun hacim ve kütleli debileri;

$$\dot{V} = \frac{V}{\Delta t} = \frac{40 \text{ L}}{50 \text{ s}} = 0,8 \text{ L/s}$$

$$\dot{m} = \rho * \dot{V} = \left(\frac{1 \text{ kg}}{\text{L}} \right) * \left(0,8 \frac{\text{L}}{\text{s}} \right) = 0,8 \text{ kg/s}$$

(b) Fiskiye çıkışındaki kesit alanı;

$$A_{\text{ç}} = \pi \cdot r_{\text{ç}}^2 = \pi \cdot (0,4 \text{ cm})^2 = 0,5027 \text{ cm}^2 = 0,5027 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Hortum boyunca ve fiskiye çıkışındaki hacimsel debi sabittir. Fiskiye çıkışındaki suyun ortalama hızı ;

$$V_{\text{ç}} = \frac{\dot{V}}{A_{\text{ç}}} = \frac{0,8 \text{ L/s}}{0,5027 * 10^{-4} \text{ m}^2} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 15,9 \text{ m/s}$$

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.

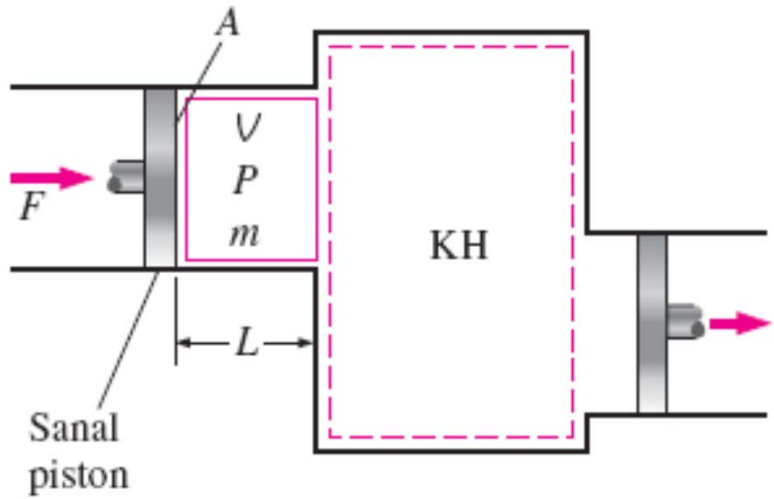
AKIŞ İŞİ VE AKIŞKANIN ENERJİSİ

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.

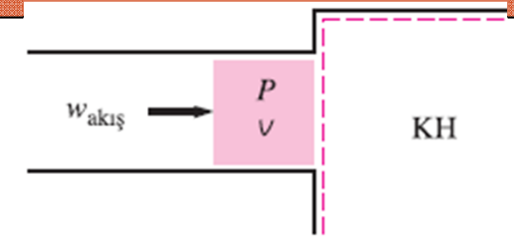
$$F = PA$$

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

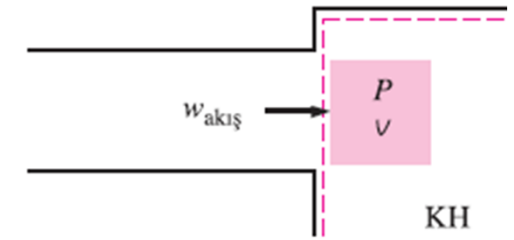
$$w_{\text{akış}} = PV \quad (\text{kJ/kg})$$



Akış işinin gösterimi.



(a) Girişten önce



(b) Girişten sonra

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

Akışkanın Toplam Enerjisi

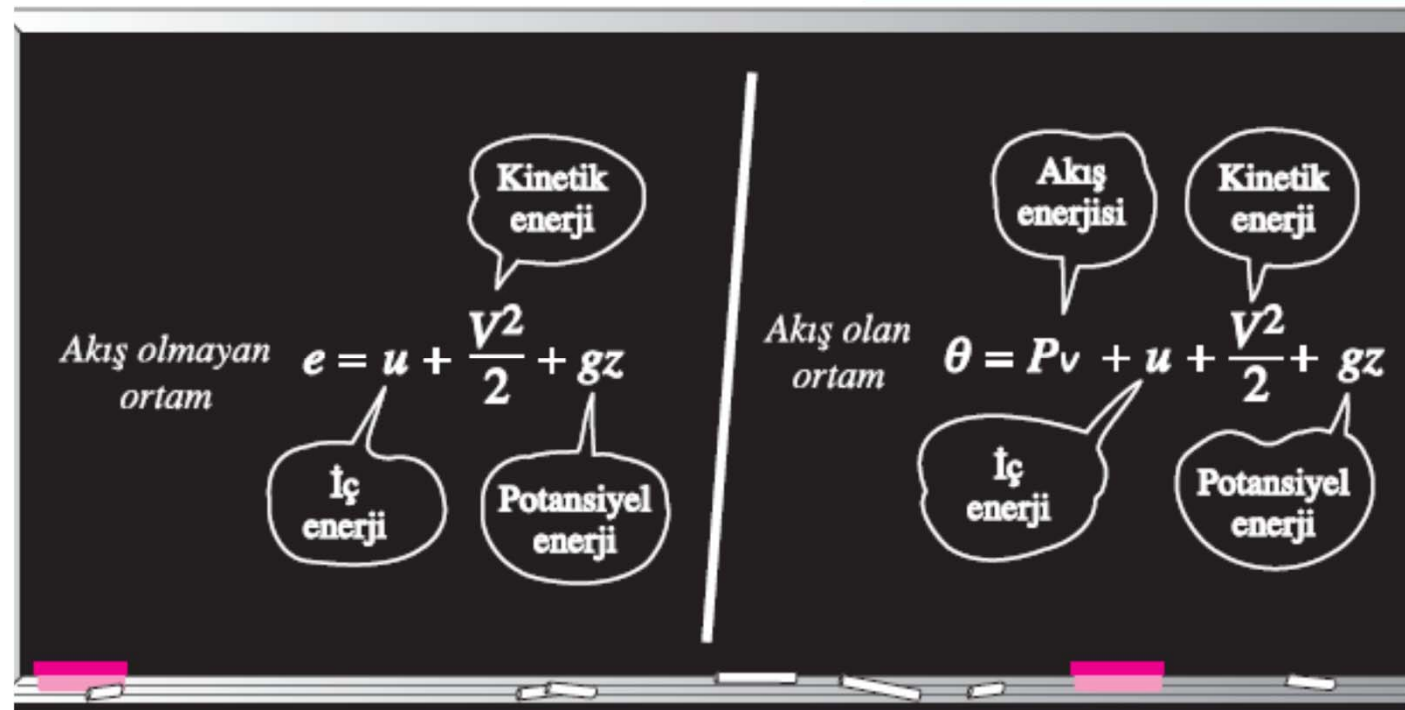
$$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg})$$

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

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

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

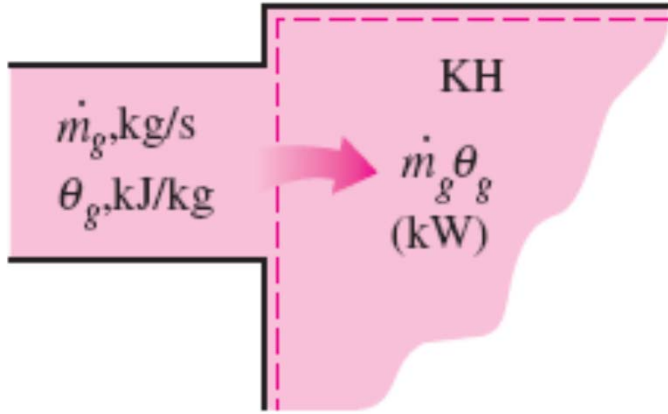
Akışın olmadığı bir ortamda toplam enerji üç terimden, akış olan bir ortamda ise dört terimden oluşur.



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.

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

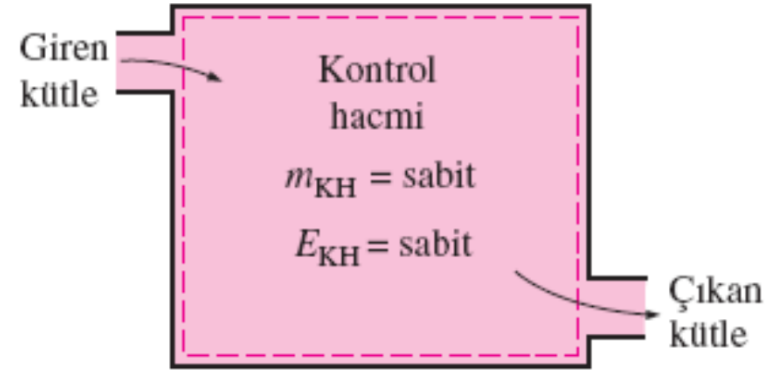
$m_g \theta_g$ terimi kontrol hacmine birim zamanda kütle ile aktarılan enerjiyi gösterir.

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEMLERİN ENERJİ ANALİZLERİ

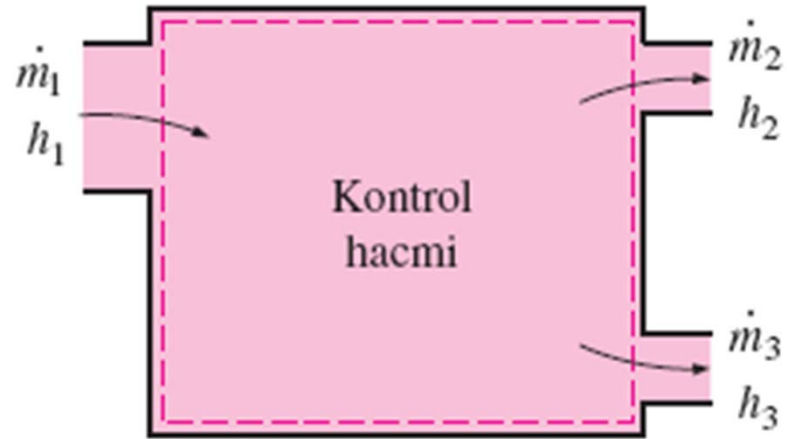


Güç santralleri gibi çoğu mühendislik sistemleri sürekli şartlar altında çalışırlar.

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

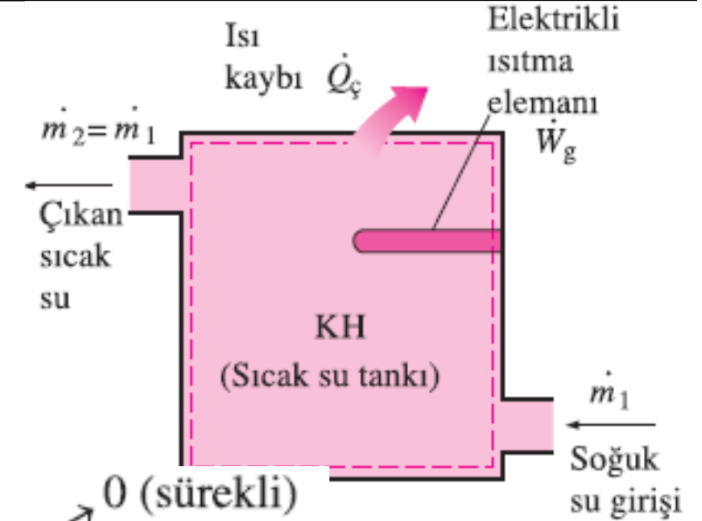
$$\sum_g \dot{m} = \sum_{\varphi} \dot{m} \quad (\text{kg/s})$$

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

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

Kütle dengesi

Sürekli akışlı bir su ısıtıcısı



Enerji dengesi

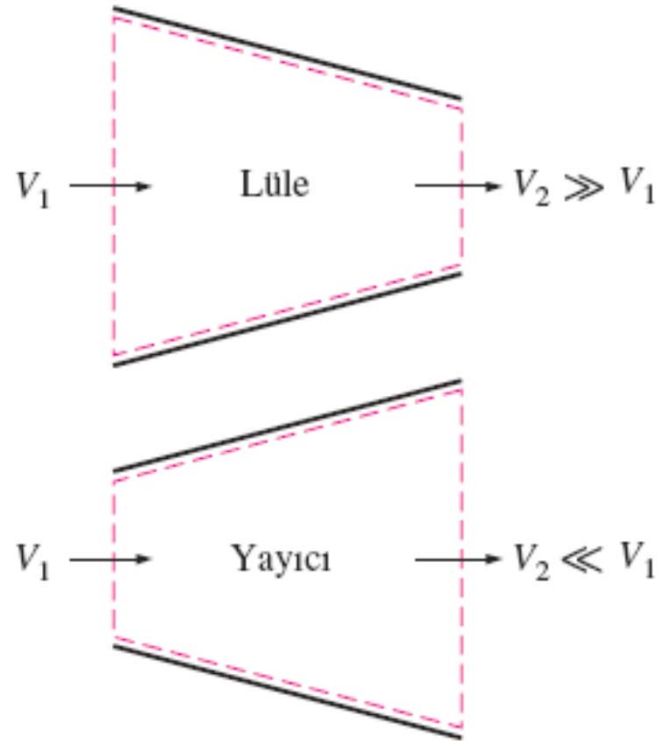
$$\underbrace{\dot{E}_g - \dot{E}_{\varphi}}_{\text{Birim zamanda; ısı, iş ve kütle ile olan enerji geçişi}} = \underbrace{\frac{dE_{\text{sistem}}/dt}_{= 0 \text{ (sürekli)}}}_{\text{Birim zamanda; sistemin iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}} = 0$$

Enerjinin Korunumu:

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

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

Lüleler ve Yayıcılar



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

Bir lüle ve yayıcı için enerji dengesi:

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

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

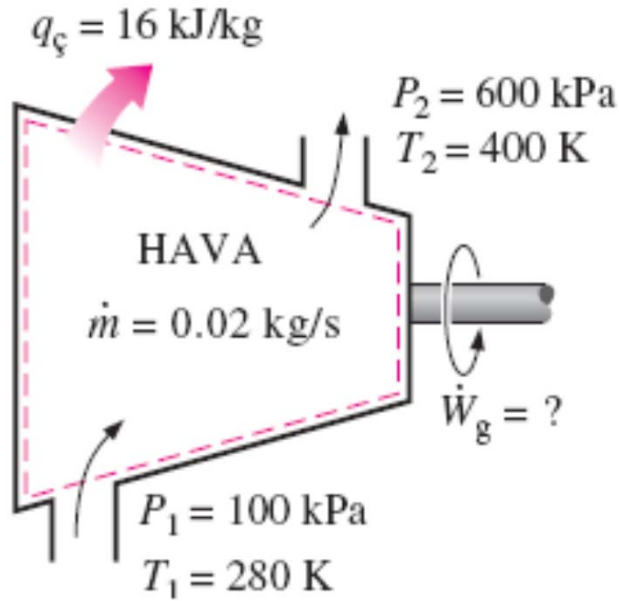
Lüleler ve yayıcılar jet motorlarında, roketlerde, uzay araçlarında ve hatta bahçe hortumlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

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.

Türbinler ve Kompresörler



Bu şekildeki kompresör için enerji dengesi:

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

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

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

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.

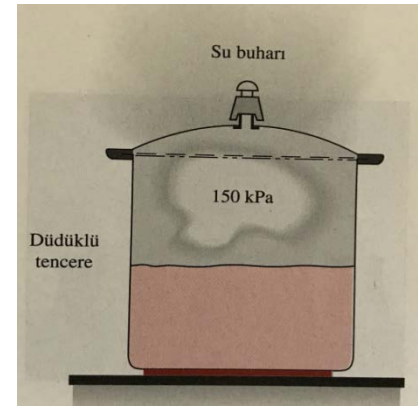
Kompresörler, pompalar ve fanlar, akışkanın basıncını yükseltme işlevini gerçekleştirir. Bu makinelere, dönen bir mil aracılığıyla dışarıdan güç aktarılır.

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

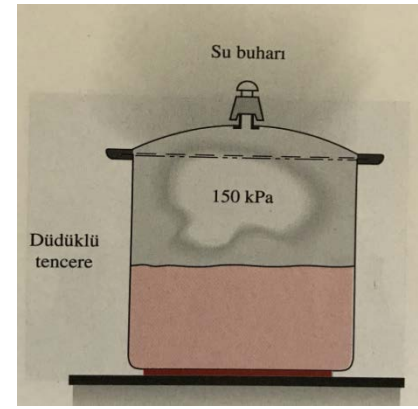
Bir **kompresör**, gazları yüksek basınçlara sıkıştırmada yeteneklidir.

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

Örnek 5-3: Çalışma basıncı 150 kPa olan 4 litrelik bir düdüklü tencereden su buharı çıkmaktadır. Sürekli çalışma şartlarında 40 dakika sonra düdüklü tenceredeki sıvı miktarında 0,6 litre azalma olmaktadır. Çıkış kesit alanı 0,8 mm² olduğuna göre (a) buharın çıkış kütle debisini ve hızını, (b) buharın birim kütledeki akış enerjisini, (c) düdüklü tencereyi terk ederken buharın birim zamandaki enerji miktarını hesaplayınız.



Örnek 5-3: Çalışma basıncı 150 kPa olan 4 litrelik bir düdüklü tencereden su buharı çıkmaktadır. Sürekli çalışma şartlarında 40 dakika sonra düdüklü tenceredeki sıvı miktarında 0,6 litre azalma olmaktadır. Çıkış kesit alanı 0,8 mm² olduğuna göre (a) buharın çıkış kütle debisini ve hızını, (b) buharın birim kütledeki akış enerjisini, (c) düdüklü tencereyi terk ederken buharın birim zamandaki enerji miktarını hesaplayınız.



Tencere içinde buhar ve sıvının bulunduğu açıkça görülmektedir. Bu durumda tencereden çıkan buharın doymuş buhar özelliğine sahip olarak çıktığına dikkat edilmelidir.

$$(a) \quad m = \frac{\Delta V_{sıvı}}{\vartheta_f} = \frac{0,6 \text{ L}}{0,001053 \text{ m}^3/\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,570 \text{ kg}$$

$$\dot{m} = \frac{m}{\Delta t} = \frac{0,570}{40 \text{ dk}} \cdot \frac{1 \text{ dk}}{60 \text{ s}} = 2,37 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}$$

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho_g A_c} = \frac{\dot{m} \vartheta_g}{A_c} = \frac{(2,37 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s})(1,1594 \text{ m}^3/\text{kg})}{8 \cdot 10^{-7}} = 343,4 \text{ m/s}$$

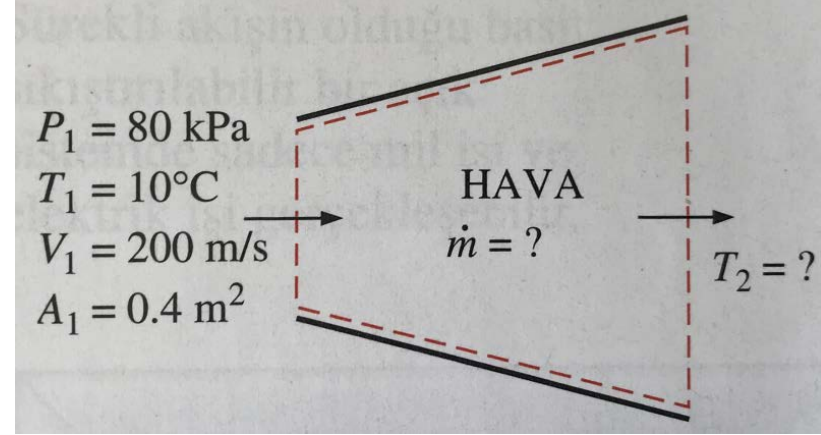
(b) $h = u + Pv$ olduğundan ;

$$\text{Akış Enerjisi} \longrightarrow e_{akış} = P \cdot \vartheta = h - u = 2693,1 - 2519,2 = 173,9 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Toplam Enerji} \longrightarrow \theta = h + ke + pe = h + \frac{V_c^2}{2} = 2693,1 + \frac{343,4^2}{2} \cdot \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} = 2752,06 \text{ kJ/kg}$$

$$(c) \quad \dot{E}_{küttele} = \dot{m} \theta = 2,37 \cdot 10^{-4} \cdot 2752,06 = 0,652 \text{ kW}$$

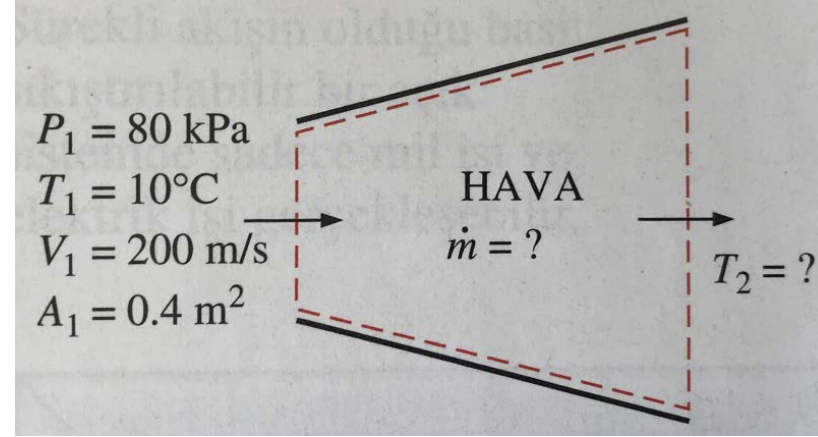
Örnek 5-4: 10°C sıcaklık ve 80 kPa basınçtaki hava, bir jet motorunun yayıcısına 200 m/s hızla girmektedir. Yayıcının giriş kesit alanı $0,4\text{ m}^2$ dir. Yayıcının çıkışındaki hız giriş hızına göre çok küçüktür. Yayıcıda sürekli akış olduğunu göz önüne alarak (a) havanın kütle debisini, (b) yayıcıdan çıkan havanın sıcaklığını hesaplayınız.



Örnek 5-4: 10°C sıcaklık ve 80 kPa basınçtaki hava, bir jet motorunun yayıcısına 200 m/s hızla girmektedir. Yayıcının giriş kesit alanı $0,4\text{ m}^2$ dir. Yayıcının çıkışındaki hız giriş hızına göre çok küçüktür. Yayıcıda sürekli akış olduğunu göz önüne alarak (a) havanın kütle debisini, (b) yayıcıdan çıkan havanın sıcaklığını hesaplayınız.

(a) Kütleli debiyi hesaplayabilmek için öncelikle havanın özgül hacmi belirlenir. Bu değer giriş koşulları göz önüne alınarak mükemmel gaz hal denklemi ile hesaplanır.

Sistemin hacmi sabit ve sürekli akış durumu söz konusu olduğu için $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$



$$P_1 \vartheta_1 = RT_1 \rightarrow \vartheta_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{(0,287 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}})(283\text{K})}{80\text{ kPa}} = 1,015\text{m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m} = \rho * V_1 * A_1 = \frac{1}{\vartheta_1} * V_1 * A_1 = \frac{1}{1,015\text{m}^3/\text{kg}} * \left(\frac{200\text{m}}{\text{s}}\right) * 0,4\text{m}^2 = 78,8\text{ kg/s}$$

Örnek 5-4: 10°C sıcaklık ve 80 kPa basınçtaki hava, bir jet motorunun yayıcısına 200 m/s hızla girmektedir. Yayıcının giriş kesit alanı $0,4\text{ m}^2$ dir. Yayıcının çıkışındaki hız giriş hızına göre çok küçüktür. Yayıcıda sürekli akış olduğunu göz önüne alarak (a) havanın kütle debisini, (b) yayıcıdan çıkan havanın sıcaklığını hesaplayınız.

$$(b) \dot{E}_g - \dot{E}_\zeta = dE_{sistem}/dt = 0$$

$\rightarrow 0$ (sürekli)

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

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

$$h_2 = h_1 - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}$$

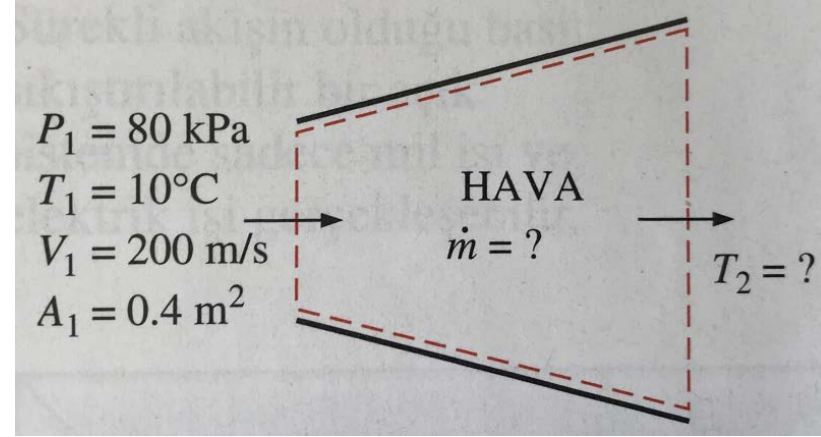
Bir yayıcıda akışın çıkış hızı giriş hızına göre oldukça küçüktür, bu nedenle çıkıştaki kinetik enerji ihmal edilebilir. Yayıcı girişindeki havanın entalpişi hava tablosundan (Tablo A-17'den) okunur.

$$h_1 = h_{283\text{ K}} = 283,14\text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 283,14 - \left(\frac{0 - 200^2}{2} \right) \left(\frac{1\text{ kJ}}{1000\text{ J}} \right) = 303,14\text{ kJ/kg}$$

Tablo A-17'den sıcaklığı okuruz;

$$T_2 = 303\text{ K}$$



ÖRNEK 5-5

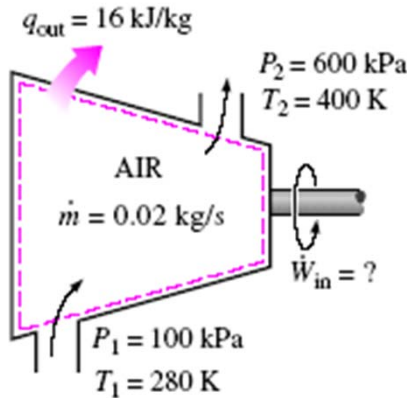
100 kPa basınç ve 280 K sıcaklıkta hava, sürekli akışlı açık bir sistemde 600 kPa basınç ve 400 K sıcaklığa sıkıştırılmaktadır. Havanın debisi 0.02 kg/s'dir ve sıkıştırma işlemi sırasında çevreye 16 kJ/kg ısı geçişi olmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini ihmal ederek, kompresörü çalıştırmak için gerekli gücü hesaplayın.

ÖRNEK 5-5

100 kPa basınç ve 280 K sıcaklıkta hava, sürekli akışlı açık bir sistemde 600 kPa basınç ve 400 K sıcaklığa sıkıştırılmaktadır. Havanın debisi 0.02 kg/s'dir ve sıkıştırma işlemi sırasında çevreye 16 kJ/kg ısı geçişi olmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini ihmal ederek, kompresörü çalıştırmak için gerekli gücü hesaplayın.

Çözüm

Kompresörün sınırlarından kütle geçişi olmaktadır, bu nedenle kontrol hacmi içinde zamana göre bir değişim gözlenmediği için *sürekli akışlı açık sistem* çözümlenmesi yapılacaktır. Verilen koşullarda hava mükemmel gaz kabul edilebilir



$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{Rate of net energy transfer by heat, work, and mass}} = \underbrace{\overset{0 \text{ (steady)}}{\Delta \dot{E}_{system}}}_{\text{Rate of change in internal, kinetic, potential, etc., energies}} = 0$$

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$
$$\dot{W}_{in} + \dot{m}h_1 = \dot{Q}_{out} + \dot{m}h_2 \quad (\text{since } \Delta ke = \Delta pe \cong 0)$$
$$\dot{W}_{in} = \dot{m}q_{out} + \dot{m}(h_2 - h_1)$$

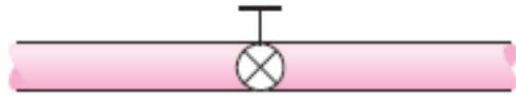
Kompresöre verilmesi gerekli güç bu değeri kütle debisiyle çarparak hesaplanır:

$$h_1 = h_{@ 280 \text{ K}} = 280.13 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_{@ 400 \text{ K}} = 400.98 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{W}_{in} = (0.02 \text{ kg/s})(16 \text{ kJ/kg}) + (0.02 \text{ kg/s})(400.98 - 280.13) \text{ kJ/kg}$$
$$= \mathbf{2.74 \text{ kW}}$$

Kısılma Vanaları



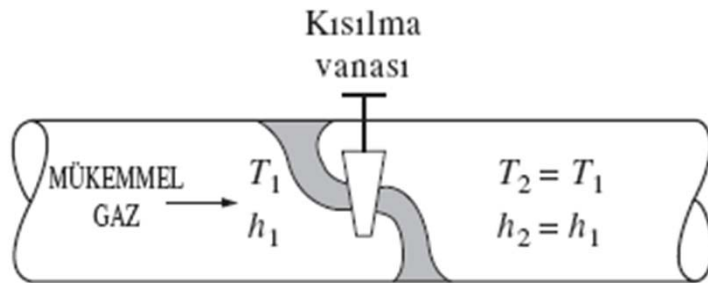
(a) Ayarlanabilir vana



(b) Gözenekli tapa



(c) Kılcal boru



Mükemmel gazın sıcaklığı kısılma işlemi sırasında değişmez, çünkü $h=h(T)$ 'dir

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.

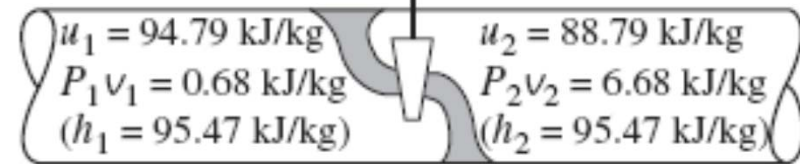
Enerji dengesi

$$h_2 \cong h_1$$

$$u_1 + P_1 v_1 = u_2 + P_2 v_2$$

İç enerji + akış enerjisi = sabit

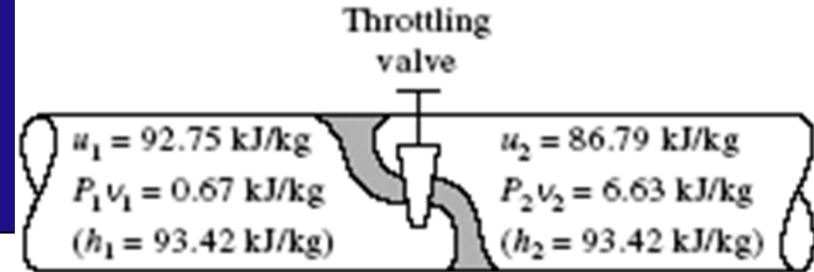
Kısılma vanası



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

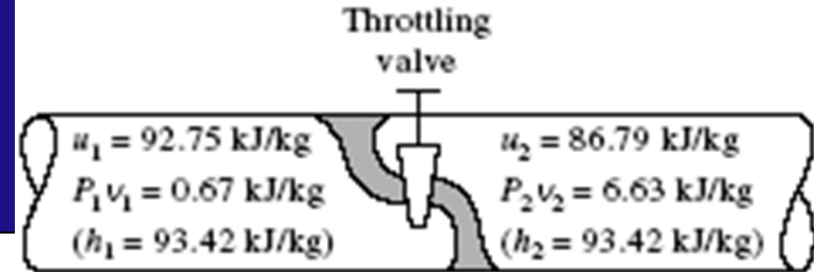
ÖRNEK 5-6

Soğutucu akışkan-134a bir buzdolabının kılcal borusuna 0.8 MPa basınçta doymuş sıvı olarak girmekte ve 0.12 MPa basınca kısılmaktadır. Soğutucu akışkanın çıkış halindeki kuruluk derecesini ve bu işlem sırasındaki sıcaklık azalmasını hesaplayın.



ÖRNEK 5-6

Soğutucu akışkan-134a bir buzdolabının kılcal borusuna 0.8 MPa basınçta doymuş sıvı olarak girmekte ve 0.12 MPa basınca kısılmaktadır. Soğutucu akışkanın çıkış halindeki kuruluk derecesini ve bu işlem sırasındaki sıcaklık azalmasını hesaplayın.



Çözüm

Kılcal boru, akış alanını kısa basit bir eleman olup soğutma uygulamalarında büyük basınç düşüşleri sağlamak için kullanılır. Kılcal bir borudan akış bir kısılma işlemidir, bu nedenle soğutucu akışkanın entalpisi sabit kalır

$$\text{At inlet: } \left. \begin{array}{l} P_1 = 0.8 \text{ MPa} \\ \text{sat. liquid} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_1 = T_{\text{sat @ } 0.8 \text{ MPa}} = 31.31^\circ\text{C} \\ h_1 = h_f @ 0.8 \text{ MPa} = 95.47 \text{ kJ/kg} \end{array} \quad (\text{Table A-12})$$

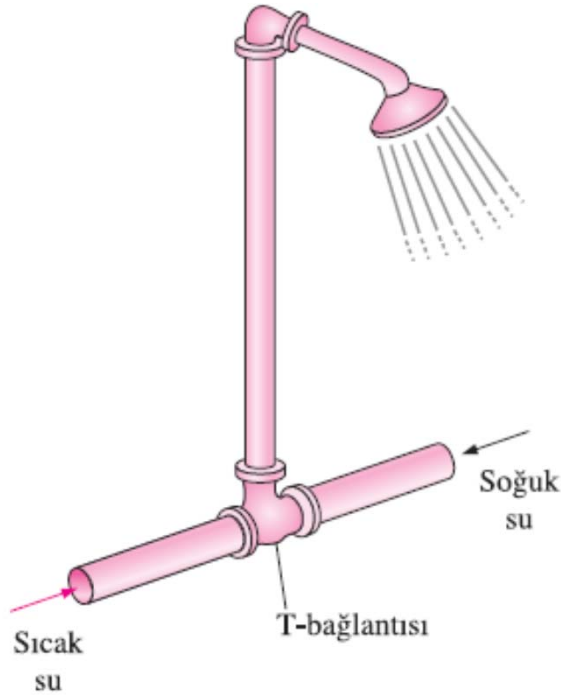
$$\text{At exit: } \begin{array}{l} P_2 = 0.12 \text{ MPa} \\ (h_2 = h_1) \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} h_f = 22.49 \text{ kJ/kg} \\ h_g = 236.97 \text{ kJ/kg} \end{array} \quad T_{\text{sat}} = -22.32^\circ\text{C}$$

$$x_2 = \frac{h_2 - h_f}{h_{fg}} = \frac{95.47 - 22.49}{236.97 - 22.49} = 0.340$$

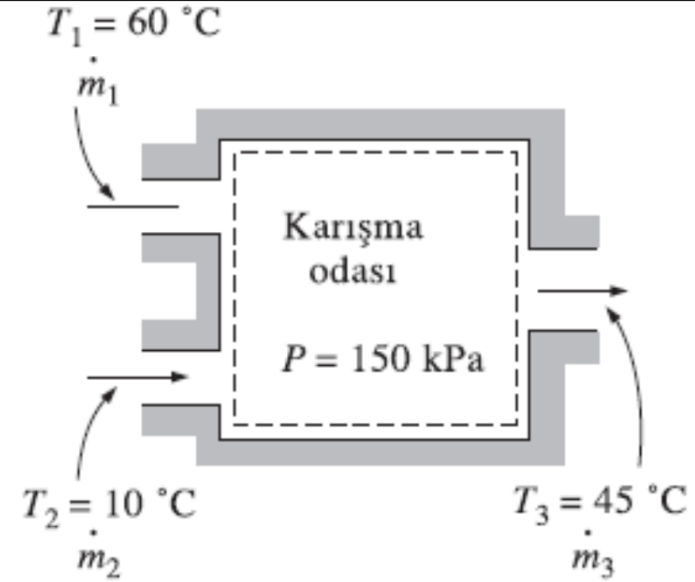
$$\Delta T = T_2 - T_1 = (-22.32 - 31.31)^\circ\text{C} = -53.63^\circ\text{C}$$

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:

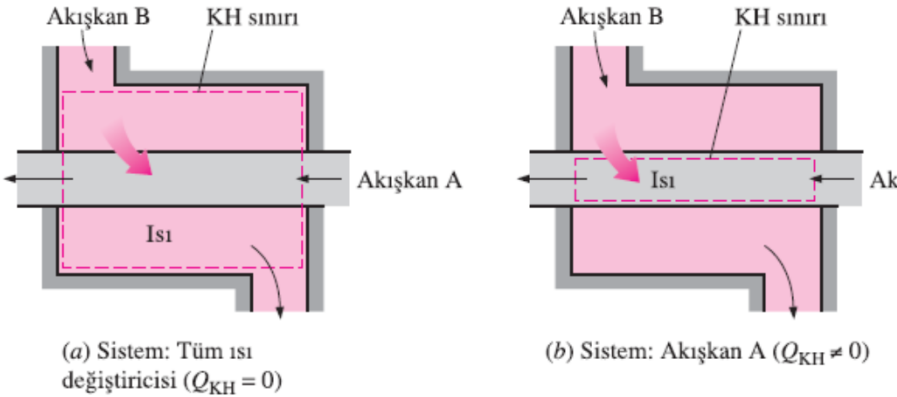
$$\dot{E}_g = \dot{E}_\varphi$$

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

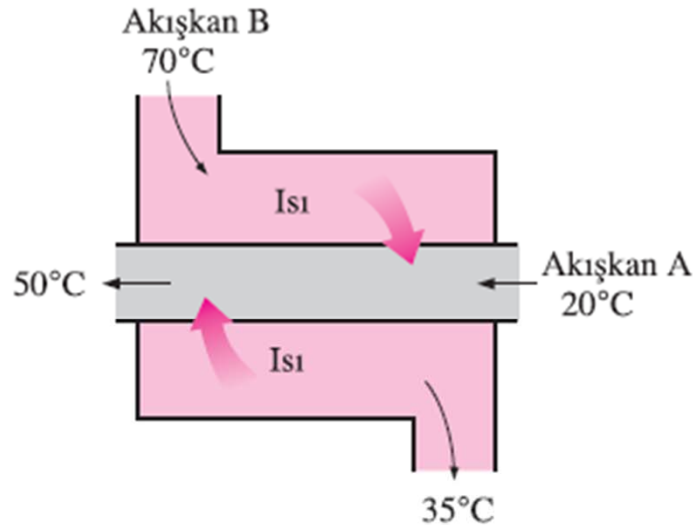
$$(\dot{Q} \cong 0, \dot{W} = 0, ke \cong pe \cong 0)$$

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 seğimine bağlı olarak sıfır veya sıfırdan farklı olabilir.

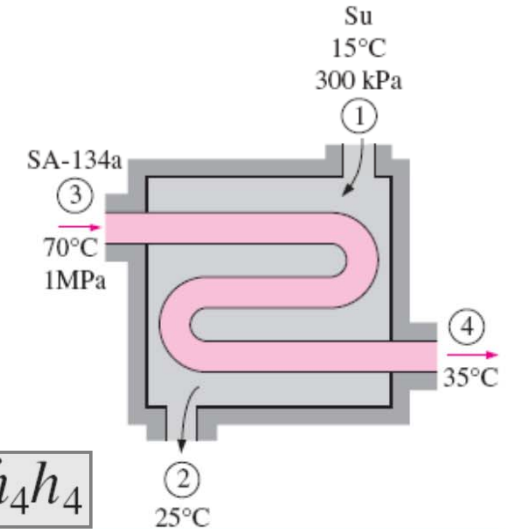


şekildeki adyabatik ısı değiştiricileri için kütle ve enerji dengesi:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_w$$
$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_R$$

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ş$$

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



Bir ısı değiştiricisi, iice geçmiş iki boru kadar basit olabilir.

Özet

- 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 deęiřen açık sistemlerin enerji analizi