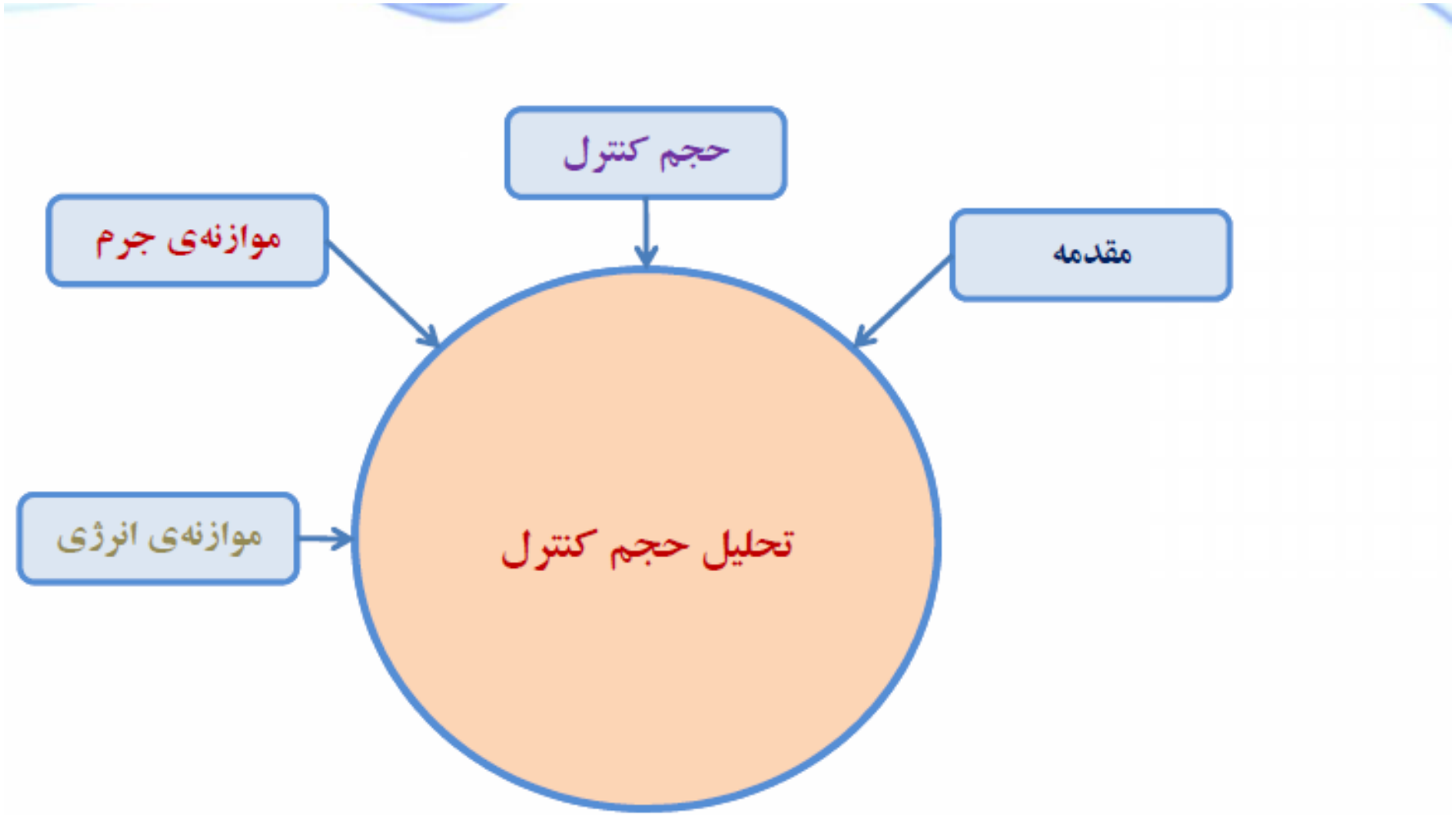

حجم کنترل
موازنه‌ی جرم
مقدمه
موازنه‌ی انرژی
تحلیل حجم کنترل

۱- مقدمه

- تعاریف
  - به یاد داریم که در یک سیستم، جرم درون سیستم ثابت بود.
  - اما در حجم کنترل، جرم می‌تواند از مرزها عبور کند.
  - بنابراین، قانون بقای جرم می‌بایست بین جرم ورودی به حجم کنترل و خروجی از آن نوشته شود.
  - نرخ (دبی) حجمی و جرمی جریان به این صورت تعریف می‌گردد.

$\dot{m}$

دبی جرمی: مقدار جرم عبور کننده از یک مقطع در واحد زمان
(mass flow rate)

۱ – مقدمه

•تعاریف (ادامه)

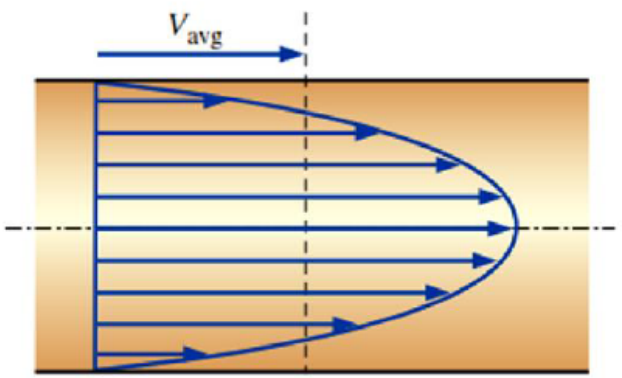
•برای بدست آورن دبی در یک مقطع، معمولاً از تعریف سرعت متوسط استفاده می‌گردد.

$$V_{avg} = \frac{1}{A_c}\int_{A_c} V_n \, dA_c$$

Average velocity

•با داشتن سرعت متوسط (V_{avg}) و فرض ثابت بودن چگالی در کل مقطع می‌توان نوشت:

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



سرعت متوسط جریان در یک مقطع

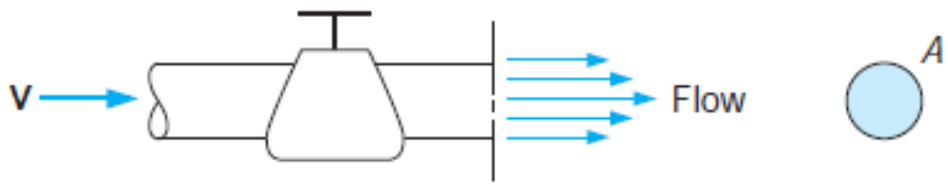


FIGURE 6.3 The flow across a control volume surface with a flow cross-sectional area of *A*. Average velocity is shown to the left of the valve and a distributed flow across the area is shown to the right of the valve.

۱- مقدمه

- تعاریف (ادامه)
- دبی حجمی را نیز می‌توان به این صورت نوشت:

$$\dot{V} = \int_{A_c} V_n \, dA_c = V_{\text{avg}} A_c = V A_c \qquad (\text{m}^3/\text{s})$$

Volume flow rate

- یعنی:

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \frac{\dot{V}}{v}$$

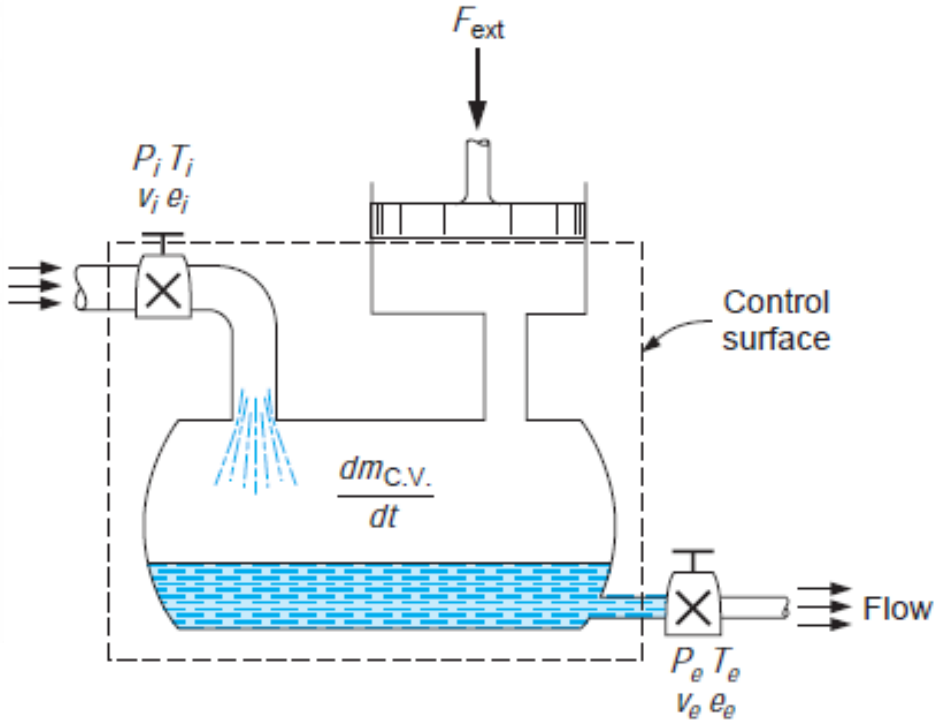
•تعاریف

•بنابراین، قانون بقای جرم برای یک حجم کنترل بصورت زیر نوشته می‌شود:

خالص جرم منتقل شده به (از) حجم کنترل برابر است با تغییرات کل جرم در آن.

$$m_{in} - m_{out} = \Delta m_{CV} \quad \text{(kg)}$$

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = dm_{CV}/dt \quad \text{(kg/s)}$$



With several possible flows this is written as

$$\frac{dm_{C.V.}}{dt} = \sum \dot{m}_{in} - \sum \dot{m}_{out}$$

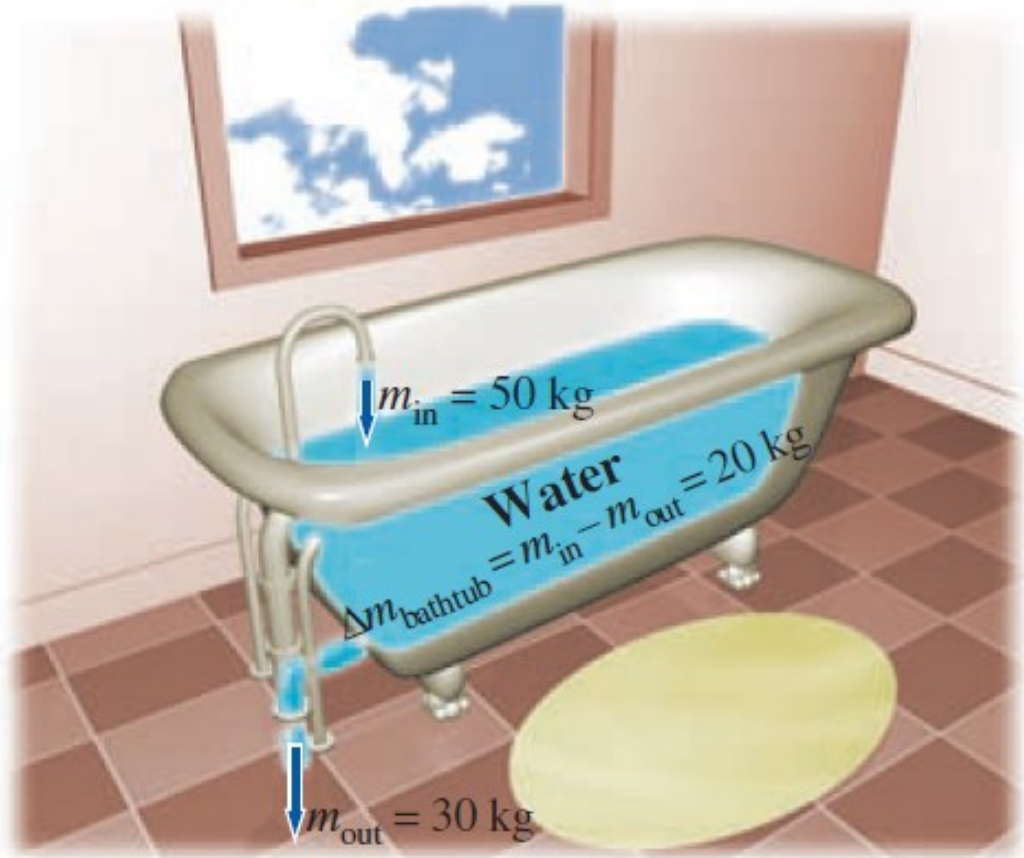


FIGURE 5–5
Conservation of mass principle for an ordinary bathtub.

۳- موازنه‌ی جرم برای فرآیندهای با جریان پایا

- موازنه‌ی جرم
- در فرآیندهای پایا، کل جرم داخل حجم کنترل با زمان تغییر نمی‌کند.

$$\sum_{\text{in}} \dot{m} = \sum_{\text{out}} \dot{m} \qquad (\text{kg/s})$$

- یعنی: کل جرم ورودی به حجم کنترل برابر است با تمام جرم خروجی از آن.
- برای بسیاری از تجهیزات صنعتی نظیر نازل‌ها، کمپرسورها و توربین‌ها می‌توان این رابطه را بصورت زیر نوشت:

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

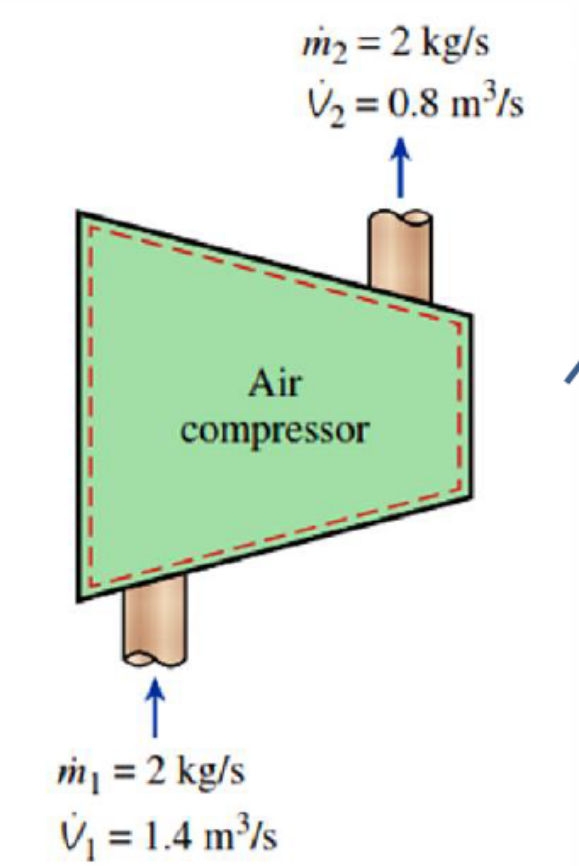
- بعنوان مثال برای یک سیال تراکم‌ناپذیر (مثل مایعات) می‌توان نوشت:

$$\sum_{\text{in}} \dot{V} = \sum_{\text{out}} \dot{V} \qquad (\text{m}^3/\text{s})$$

۳- موازنه‌ی جرم برای فرآیندهای با جریان پایا

•موازنه‌ی جرم (ادامه)

•در یک کمپرسور که جریان تراکم‌پذیر است، دبی حجمی در دو سمت ورودی و خروجی با هم متفاوت است.



در حالی که دبی جرمی در هر دو سمت یکسان است.

EXAMPLE 6.1 Air is flowing in a 0.2-m-diameter pipe at a uniform velocity of 0.1 m/s. The temperature is 25°C and the pressure is 150 kPa. Determine the mass flow rate.

Solution

From Eq. 6.3 the mass flow rate is

$$\dot{m} = \mathbf{V} A / v$$

For air, using R from Table A.5, we have

$$v = \frac{RT}{P} = \frac{0.287\ \text{kJ/kg K} \times 298.2\ \text{K}}{150\ \text{kPa}} = 0.5705\ \text{m}^3/\text{kg}$$

The cross-sectional area is

$$A = \frac{\pi}{4}(0.2)^2 = 0.0314\ \text{m}^2$$

Therefore,

$$\dot{m} = \mathbf{V} A / v = 0.1\ \text{m/s} \times 0.0314\ \text{m}^2/0.5705\ \text{m}^3/\text{kg} = 0.0055\ \text{kg/s}$$

٤- موازنه‌ی انرژی برای حجم کنترل

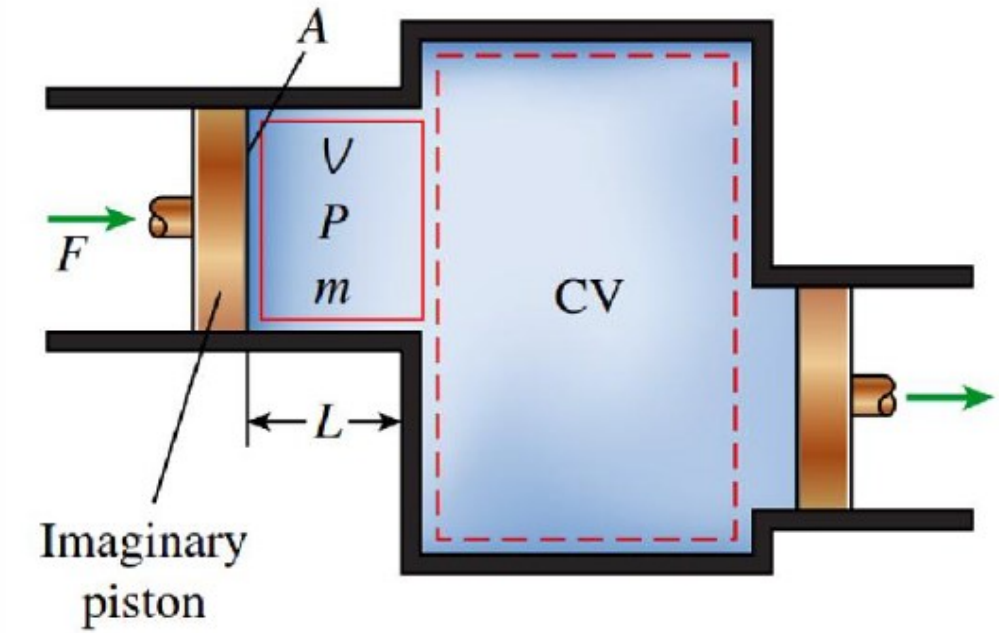
•موازنه‌ی انرژی

•بر خلاف سیستم، در حجم کنترل، جریان جرم مرزها را قطع می‌کند.

•بنابراین می‌توان فرض نمود که مقداری کار لازم است تا جریان جرم را به داخل یا خارج حجم کنترل هدایت کند.

•به این کار، کار جریان یا انرژی جریان گفته می‌شود. (Flow work or flow energy)

•برای یافتن عبارت ریاضی معادل این بخش از کار، یک پیستون فرضی همانند شکل زیر را در نظر بگیرید.



می‌توان فرض نمود که در یک بازه‌ی زمانی مشخص، یک المان حجم سیال به داخل حجم کنترل رانده شده است.

٤- موازنه‌ی انرژی برای حجم کنترل

- موازنه‌ی انرژی (ادامه)
  - بر اساس شکل صفحه‌ی قبل، نیروی اعمال شده برای جابجائی این المان حجم برابر است با:

$$F = PA$$

  - که A همان سطح پیستون فرضی می‌باشد.
  - برای وارد شدن المان حجم به داخل حجم کنترل، می‌بایست پیستون فرضی به اندازه‌ی L حرکت کند. پس:

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

  - بنابراین:

$$w_{\text{flow}} = Pv \quad \text{(kJ/kg)}$$

  - از طرفی، آموختیم که انرژی سیال شامل سه بخش درونی، جنبشی و پتانسیل می‌باشد. برای سیال در حجم کنترل، ترم Pv نیز به آن افزوده می‌گردد.

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

  - حال برای حجم کنترل:

$$\theta = PV + e = PV + (u + \text{ke} + \text{pe})$$

  - در حالی که $Pv+u$ همان آنتالپی است و آن را با h نمایش می‌دهیم.

٤- موازنه‌ی انرژی برای حجم کنترل

- موازنه‌ی انرژی (ادامه)
- بنابراین، در صورتی که از آنتالپی بجای انرژی درونی استفاده کنیم، اثرات کار جریان بصورت خودکار لحاظ می‌گردد.
- انتقال انرژی توسط جرم
- همانطور که اشاره شد، θ انرژی کل بر واحد جرم است. بنابراین، می‌توان نوشت:

$$E_{\text{mass}} = m\theta = m\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right) \quad \text{(kJ)}$$

مقدار انرژی جابجا شده

- و

$$\dot{E}_{\text{mass}} = \dot{m}\theta = \dot{m}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right) \quad \text{(kW)}$$

نرخ انرژی جابجا شده

- در صورتی که تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل ناچیز باشد می‌توان نوشت:

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

- به این موضوع دقت شود که θ کل انرژی بر واحد جرم است و بنابراین برای بدست آوردن آن در یک مقطع باشد نوشت:

$$E_{\text{in,mass}} = \int_{m_i} \theta_i \, \delta m_i = \int_{m_i} \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) \delta m_i$$

تحلیل قانون بقای انرژی در حجم کنترل با جریان پایا

- مقدمه

- بسیاری از تجهیزات مهندسی برای مدت طولانی تحت جریان سیال پایا فعالیت می کنند.
- مثلاً تجهیزات یک نیروگاه بخار نظیر توربین، کمپرسور، پمپ و ...
- در اینگونه تجهیزات، در حالی که مشخصات سیال درون حجم کنترل از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر متفاوت است، اما در هر نقطه‌ی خاص، این مشخصات با زمان تغییر نمی‌کند.
- آموختیم که معادله‌ی موازنه‌ی جرم برای جریان سیال پایا بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\sum_{\text{in}} \dot{m} = \sum_{\text{out}} \dot{m} \quad \text{(kg/s)}$$

- در حالت یک‌بُعدی که تنها یک ورودی و یک خروجی وجود دارد، این معادله به شکل زیر تبدیل می‌گردد:

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

- در یک فرآیند پایا، تغییرات انرژی کل درون حجم کنترل صفر است. یعنی: $\Delta E_{\text{CV}} = 0$
- یعنی، مقدار انرژی ورودی به حجم کنترل با مقدار انرژی خروجی از آن برابر است.
- از طرفی، انرژی تنها توسط کار، گرما و جرم منتقل می‌گردد. پس:

$$\textit{Energy balance:} \quad \underbrace{\dot{E}_{\text{in}}}_{\substack{\text{Rate of net energy transfer in} \\ \text{by heat, work, and mass}}} = \underbrace{\dot{E}_{\text{out}}}_{\substack{\text{Rate of net energy transfer out} \\ \text{by heat, work, and mass}}} \quad \text{(kW)}$$

تحلیل قانون بقای انرژی در حجم کنترل با جریان پایا

•مقدمه (ادامه)

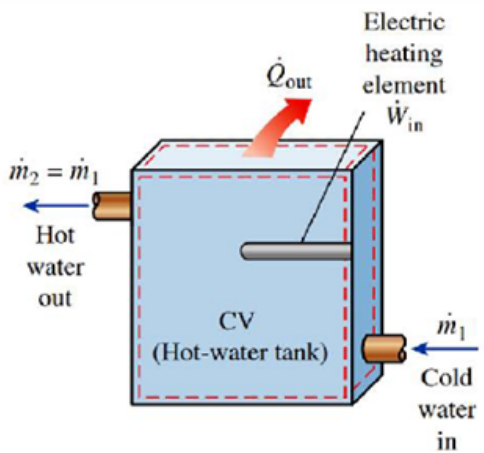
$$\frac{dm_{\text{C.V.}}}{dt} = 0 \qquad \text{and} \qquad \frac{dE_{\text{C.V.}}}{dt} = 0$$

Therefore, we conclude that for the steady-state process we can write,

Continuity equation: $$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \tag{6.9}$$

First law: $$\dot{Q}_{\text{C.V.}} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{\mathbf{V}_i^2}{2} + gZ_i \right) = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{\mathbf{V}_e^2}{2} + gZ_e \right) + \dot{W}_{\text{C.V.}} \tag{6.10}$$

•بعنوان مثال، یک گرمکن الکتریکی که دبی ثابت آب سرد ورودی به آن وارد و با همبن دبی جرمی، آب گرم از آن خارج می‌شود.



$\dot{m}_2 = \dot{m}_1$ بر اساس قانون بقای جرم

Many of the applications of the steady-state model are such that there is only one flow stream entering and one leaving the control volume. For this type of process, we can write

Continuity equation:
$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m} \tag{6.11}$$

First law:
$$\dot{Q}_{\text{C.V.}} + \dot{m}\left(h_i + \frac{\mathbf{V}_i^2}{2} + gZ_i\right) = \dot{m}\left(h_e + \frac{\mathbf{V}_e^2}{2} + gZ_e\right) + \dot{W}_{\text{C.V.}} \tag{6.12}$$

Rearranging this equation, we have

$$q + h_i + \frac{\mathbf{V}_i^2}{2} + gZ_i = h_e + \frac{\mathbf{V}_e^2}{2} + gZ_e + w \tag{6.13}$$

where, by definition,

$$q = \frac{\dot{Q}_{\text{C.V.}}}{\dot{m}} \quad \text{and} \quad w = \frac{\dot{W}_{\text{C.V.}}}{\dot{m}} \tag{6.14}$$

مثال هایی از تجهیزات با جریان پایا

۱- نازل ها و دیفیوزرها

•نازل وسیله ای است که سرعت سیال را **افزایش** و فشار آن را **کاهش** می دهد.

•دیفیوزر (پخش کن) وسیله ای است که فشار سیال را **افزایش** و سرعت آن را **کاهش** می دهد.

✓به علت سرعت زیاد سیال در این وسایل، فرصت کافی برای انتقال حرارت وجود ندارد و در صورت عدم ارائهٔ مقدار انتقال حرارت، می توان از آن صرفنظر نمود.

$$\dot{Q} \approx 0$$

✓در نازل ها و دیفیوزرها بر روی سیال کار انجام نمی گردد و سیال نیز کاری انجام نمی دهد.

$$\dot{W} = 0$$

✓تغییر ارتفاع سیال در این وسایل بسیار ناچیز و قابل صرفنظر کردن است.

$$\Delta pe \cong 0$$

✓به علت تغییرات زیاد سرعت، تغییرات انرژی جنبشی قابل توجه است.

$$\Delta ke \neq 0$$

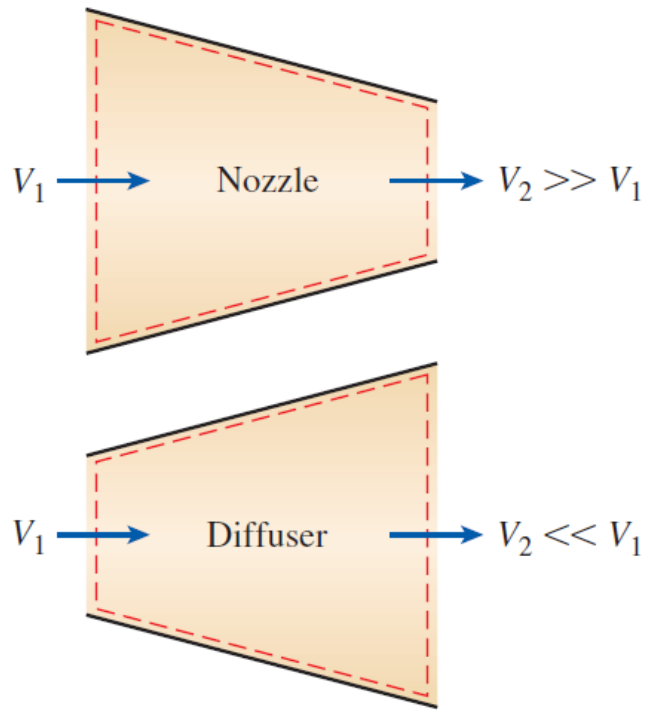


FIGURE 5–26
Nozzles and diffusers are shaped so that they cause large changes in fluid velocities and thus kinetic energies.

مثال هایی از تجهیزات با جریان پایا

۲- توربین ها و کمپرسورها

•سیال هنگام عبور از توربین، بر روی پره های آن کار انجام می دهد. این کار در نهایت به شافت منتقل شده و به انرژی الکتریکی تبدیل می شود.

✓کار انجام شده توسط توربین با علامت مثبت لحاظ می شود.

•کمپرسورها، پمپ ها و فن ها باعث افزایش فشار سیال می گردند و کار شافت را به سیال منتقل می کنند.

✓کار انجام شده بر روی کمپرسور با علامت منفی لحاظ می شود.

✓فن ها باعث افزایش جزئی فشار سیال می گردند.

✓کمپرسورها برای ایجاد تغییر فشارهای زیاد مورد استفاده قرار می گیرند.

✓پمپ ها همانند کمپرسورها عمل می کنند، اما بر روی مایعات.

✓تغییرات انرژی پتانسیل و همچنین تبادل حرارتی در این تجهیزات قابل صرفنظر کردن است.

✓تغییرات انرژی جنبشی نیز در مقابل تغییرات آنتالپی بسیار کوچک است.

مثال هایی از تجهیزات با جریان پایا

۲- توربین ها و کمپرسورها

- مثال: تولید قدرت توسط توربین بخار
- قدرت خروجی یک توربین بخار آدیاباتیک، ۵ مگاوات است. شرایط ورودی و خروجی آن نیز در شکل ارائه شده است.

✓الف) مقادیر اختلاف آنتالپی، انرژی جنبشی و پتانسیل را در ورودی و خروجی با هم مقایسه نمایید.

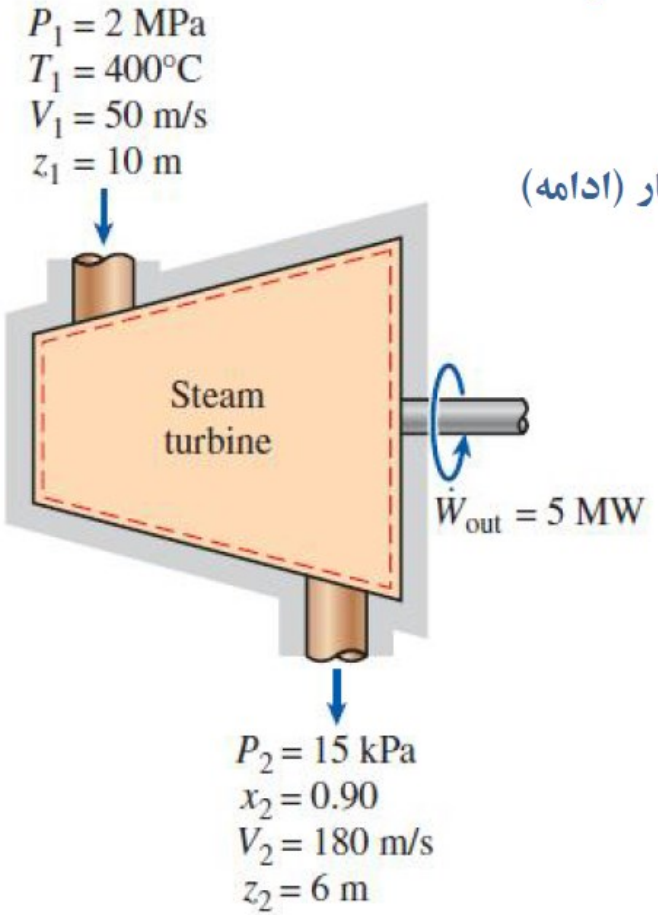
✓ب) کار انجام شده توسط جرم واحد بخار آب را محاسبه نمائید.

✓ج) دبی جرمی بخار آب را بیابید.

مثال هایی از تجهیزات با جریان پایا

۲- توربین ها و کمپرسورها

•مثال: تولید قدرت توسط توربین بخار (ادامه)



•فرضیات حل:

✓الف) دبی جرمی ورودی و خروجی با هم برابر است.

✓ب) کار توسط توربین انجام می شود.

✓ج) تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل در نظر گرفته می شود. (به علت درخواست مسئله)

✓د) فرایند پایا می باشد.

✓ه) انتقال گرما از مرزها صفر است.

۱۰الف)

شیر فشار شکن

محفظهٔ اختلاط

تغییر زیاد آنتالپی

تغییر کمتر انرژی جنبشی

تغییر ناچیز انرژی پتانسیل

✓بخار آب در ورودی در شرایط فوق اشباع است و با توجه به جدول (A-6) داریم:

$$\left.\begin{matrix} P_1 = 2\ \text{MPa} \\ T_1 = 400°\text{C} \end{matrix}\right\} \quad h_1 = 3248.4\ \text{kJ/kg}$$

✓در خروجی توربین، مخلوط مایع و بخار اشباع وجود دارد، بنابراین:

$$h_2 = h_f + x_2 h_{fg} = [225.94 + (0.9)(2372.3)]\ \text{kJ/kg} = 2361.01\ \text{kJ/kg}$$

✓پس:

$$\Delta h = h_2 - h_1 = (2361.01 - 3248.4)\ \text{kJ/kg} = \mathbf{-887.39\ kJ/kg}$$

$$\Delta \text{ke} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = \frac{(180\ \text{m/s})^2 - (50\ \text{m/s})^2}{2}\left(\frac{1\ \text{kJ/kg}}{1000\ \text{m}^2/\text{s}^2}\right) = \mathbf{14.95\ kJ/kg}$$

$$\Delta \text{pe} = g(z_2 - z_1) = (9.81\ \text{m/s}^2)[(6 - 10)\ \text{m}]\left(\frac{1\ \text{kJ/kg}}{1000\ \text{m}^2/\text{s}^2}\right) = \mathbf{-0.04\ kJ/kg}$$

ب)

✓موازنهٔ انرژی برای حجم کنترل با جریان پایا:

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$$

$$\dot{m}\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1\right) = \dot{W}_{\text{out}} + \dot{m}\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2\right) \quad (\text{since } \dot{Q} = 0)$$

✓یعنی:

$$w_{\text{out}} = -\left[(h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)\right] = -(\Delta h + \Delta \text{ke} + \Delta \text{pe})$$

$$= -[-887.39 + 14.95 - 0.04]\ \text{kJ/kg} = \mathbf{872.48\ kJ/kg}$$

ج)

✓دبی جرمی جریان برای دستیابی به قدرت خروجی ۵ مگاوات:

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_{\text{out}}}{w_{\text{out}}} = \frac{5000\ \text{kJ/s}}{872.48\ \text{kJ/kg}} = \mathbf{5.73\ kg/s}$$

EXAMPLE 6.6

The mass rate of flow into a steam turbine is 1.5 kg/s, and the heat transfer from the turbine is 8.5 kW. The following data are known for the steam entering and leaving the turbine.

	Inlet Conditions	Exit Conditions
Pressure	2.0 MPa	0.1 MPa
Temperature	350°C	
Quality		100%
Velocity	50 m/s	100 m/s
Elevation above reference plane	6 m	3 m
$g = 9.8066$ m/s^2		

Determine the power output of the turbine.

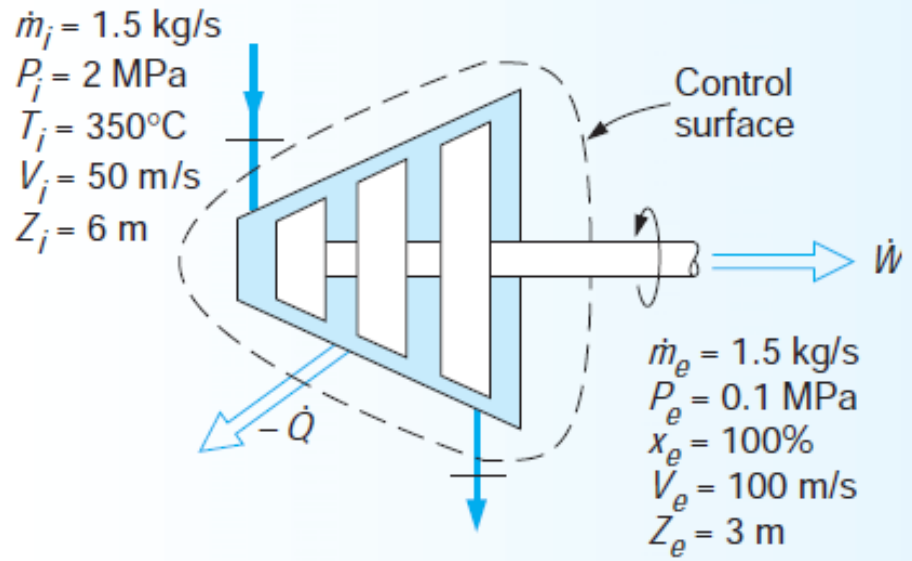
Control volume: Turbine (Fig. 6.9).

Inlet state: Fixed (above).

Exit state: Fixed (above).

Process: Steady-state.

Model: Steam tables.



Analysis

From the first law (Eq. 6.12) we have

$$\dot{Q}_{\text{C.V.}} + \dot{m}\left(h_i + \frac{\mathbf{V}_i^2}{2} + gZ_i\right) = \dot{m}\left(h_e + \frac{\mathbf{V}_e^2}{2} + gZ_e\right) + \dot{W}_{\text{C.V.}}$$

with

$$\dot{Q}_{\text{C.V.}} = -8.5\ \text{kW}$$

Solution

From the steam tables, $h_i = 3137.0$ kJ/kg. Substituting inlet conditions gives

$$\frac{\mathbf{V}_i^2}{2} = \frac{50 \times 50}{2 \times 1000} = 1.25\ \text{kJ/kg}$$

$$gZ_i = \frac{6 \times 9.8066}{1000} = 0.059\ \text{kJ/kg}$$

Similarly, for the exit $h_e = 2675.5$ kJ/kg and

$$\frac{\mathbf{V}_e^2}{2} = \frac{100 \times 100}{2 \times 1000} = 5.0\ \text{kJ/kg}$$

$$gZ_e = \frac{3 \times 9.8066}{1000} = 0.029\ \text{kJ/kg}$$

Therefore, substituting into Eq. 6.12, we obtain

$$-8.5 + 1.5(3137 + 1.25 + 0.059) = 1.5(2675.5 + 5.0 + 0.029) + \dot{W}_{\text{C.V.}}$$
$$\dot{W}_{\text{C.V.}} = -8.5 + 4707.5 - 4020.8 = 678.2\ \text{kW}$$

If Eq. 6.13 is used, the work per kilogram of fluid flowing is found first.

$$q + h_i + \frac{\mathbf{V}_i^2}{2} + gZ_i = h_e + \frac{\mathbf{V}_e^2}{2} + gZ_e + w$$
$$q = \frac{-8.5}{1.5} = -5.667\ \text{kJ/kg}$$

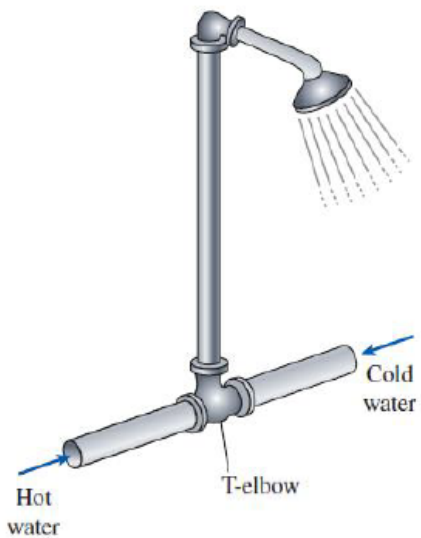
Therefore, substituting into Eq. 6.13, we get

$$-5.667 + 3137 + 1.25 + 0.059 = 2675.5 + 5.0 + 0.029 + w$$
$$w = 452.11\ \text{kJ/kg}$$
$$\dot{W}_{\text{C.V.}} = 1.5\ \text{kg/s} \times 452.11\ \text{kJ/kg} = 678.2\ \text{kW}$$

مثال هایی از تجهیزات با جریان پایا

٤- محفظه های اختلاط (Mixing Chambers)

- اختلاط دو سیال باعث تغییر مشخصات ترکیب خروجی آنها می گردد.
  - ✓اصلی ترین قانون حاکم بر محفظه های اختلاط، قانون بقای جرم است.
  - ✓تبادل گرما و اندرکنش کار در این تجهیزات وجود ندارد.
  - ✓تغییرات انژی های جنبشی و پتانسیل نیز در آنها قابل صرفنظر کردن است.
  - ✓با استفاده از اصل بقای انرژی می توان مسائل آنها را حل نمود.



5–71 Liquid water at 300 kPa and 20°C is heated in a chamber by mixing it with superheated steam at 300 kPa and 300°C. Cold water enters the chamber at a rate of 1.8 kg/s. If the mixture leaves the mixing chamber at 60°C, determine the mass flow rate of the superheated steam required.

Assumptions **1** This is a steady-flow process since there is no change with time. **2** Kinetic and potential energy changes are negligible. **3** There are no work interactions. **4** The device is adiabatic and thus heat transfer is negligible.

Properties Noting that $T < T_{sat\ @\ 300\ kPa} = 133.52°C$, the cold water stream and the mixture exist as a compressed liquid, which can be approximated as a saturated liquid at the given temperature. Thus, from steam tables (Tables A-4 through A-6)

$$h_1 \cong h_{f@20°C} = 83.91\ \text{kJ/kg}$$

$$h_3 \cong h_{f@60°C} = 251.18\ \text{kJ/kg}$$

and

$$\left.\begin{matrix} P_2 = 300\ \text{kPa} \\ T_2 = 300°C \end{matrix}\right\} h_2 = 3069.6\ \text{kJ/kg}$$

Analysis We take the mixing chamber as the system, which is a control volume since mass crosses the boundary. The mass and energy balances for this steady-flow system can be expressed in the rate form as

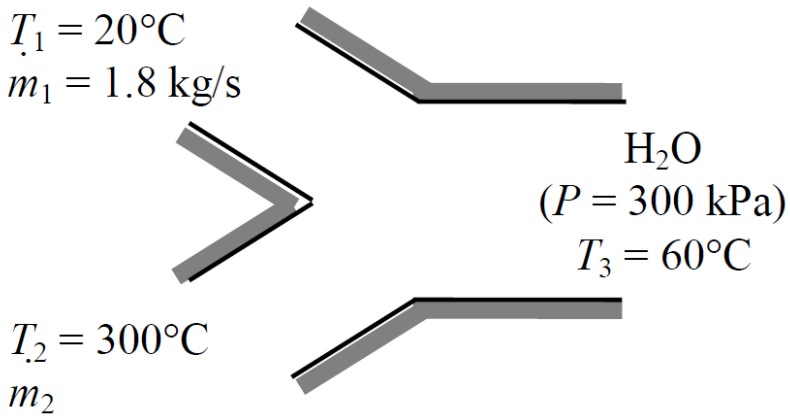
Mass balance: $$\dot{m}_{\text{in}} - \dot{m}_{\text{out}} = \Delta \dot{m}_{\text{system}}^{\nearrow 0 \text{ (steady)}} = 0 \rightarrow \dot{m}_{\text{in}} = \dot{m}_{\text{out}} \rightarrow \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

Energy balance:

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}}}_{\substack{\text{Rate of net energy transfer} \\ \text{by heat, work, and mass}}} = \underbrace{\Delta \dot{E}_{\text{system}}^{\not\Downarrow 0 \text{ (steady)}}}_{\substack{\text{Rate of change in internal, kinetic,} \\ \text{potential, etc. energies}}} = 0$$

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3 \quad (\text{since } \dot{Q} = \dot{W} = \Delta\text{ke} \cong \Delta\text{pe} \cong 0)$$



Combining the two,

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

Solving for $\dot{m}_2$:

$$\dot{m}_2 = \frac{h_1 - h_3}{h_3 - h_2} \dot{m}_1$$

Substituting,

$$\dot{m}_2 = \frac{(83.91 - 251.18)\text{kJ/kg}}{(251.18 - 3069.6)\text{kJ/kg}} (1.8 \text{ kg/s}) = \mathbf{0.107 \ kg/s}$$

مثال هایی از تجهیزات با جریان پایا

۵- مبدل های گرمایی (Heat exchanger)

- در این تجهیزات تبادل گرما بدون اختلاط جرم صورت می گیرد.
  - ✓ در شرایط پایا، دبی جرمی هر سیالی که در مبدل گرمایی جریان دارد، ثابت است.
  - ✓ بر هم کنش کار وجود ندارد.
  - ✓ تغییرات انرژی پتانسیل و جنبشی قابل صرفنظر کردن است.
  - ✓ اگر تمام مبدل به عنوان حجم کنترل در نظر گرفته شود، انتقال گرما وجود ندارد.

EXAMPLE 6.3

Consider a water-cooled condenser in a large refrigeration system in which R-134a is the refrigerant fluid. The refrigerant enters the condenser at 1.0 MPa and 60°C, at the rate of 0.2 kg/s, and exits as a liquid at 0.95 MPa and 35°C. Cooling water enters the condenser at 10°C and exits at 20°C. Determine the rate at which cooling water flows through the condenser.

Control volume: Condenser.

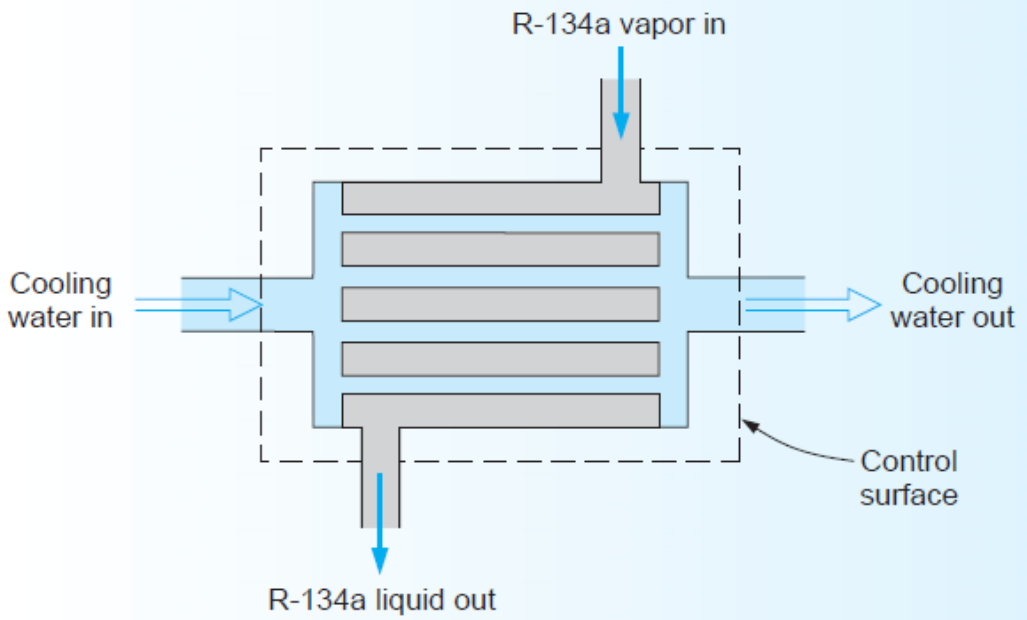
Sketch: Fig. 6.6

Inlet states: R-134a—fixed; water—fixed.

Exit states: R-134a—fixed; water—fixed.

Process: Steady-state.

Model: R-134a tables; steam tables.



Analysis

With this control volume we have two fluid streams, the R-134a and the water, entering and leaving the control volume. It is reasonable to assume that both kinetic and potential energy changes are negligible. We note that the work is zero, and we make the other reasonable assumption that there is no heat transfer across the control surface. Therefore, the first law, Eq. 6.10, reduces to

$$\sum \dot{m}_i h_i = \sum \dot{m}_e h_e$$

Using the subscript r for refrigerant and w for water, we write

$$\dot{m}_r (h_i)_r + \dot{m}_w (h_i)_w = \dot{m}_r (h_e)_r + \dot{m}_w (h_e)_w$$

Solution

From the R-134a and steam tables, we have

$$(h_i)_r = 441.89\ \text{kJ/kg}, \qquad (h_i)_W = 42.00\ \text{kJ/kg}$$

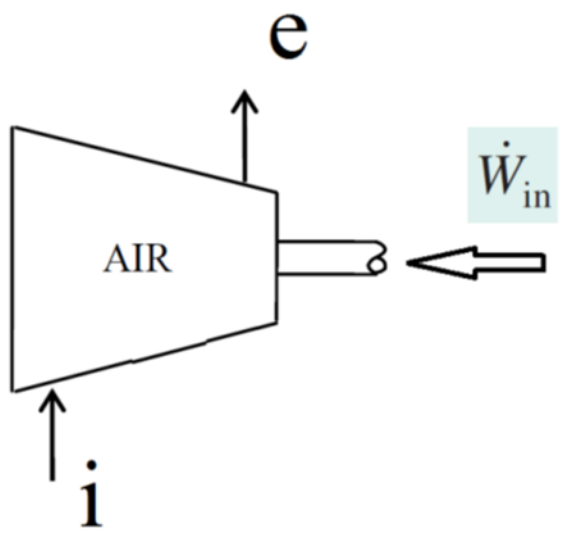
$$(h_e)_r = 249.10\ \text{kJ/kg}, \qquad (h_e)_W = 83.95\ \text{kJ/kg}$$

Solving the above equation for $\dot{m}_W$, the rate of flow of water, we obtain

$$\dot{m}_W = \dot{m}_r \frac{(h_i - h_e)_r}{(h_e - h_i)_W} = 0.2\ \text{kg/s} \frac{(441.89 - 249.10)\ \text{kJ/kg}}{(83.95 - 42.00)\ \text{kJ/kg}} = 0.919\ \text{kg/s}$$

مثال

The compressor of a large gas turbine receives air from the ambient at 95 kPa, 20°C, with a low velocity. At the compressor discharge, air exits at 1.52 MPa, 430°C, with velocity of 90 m/s. The power input to the compressor is 5000 kW. Determine the mass flow rate of air through the unit.



Solution:

C.V. Compressor, steady state, single inlet and exit flow.

Energy Eq.6.13: $q + h_i + \mathbf{V}_i^2/2 = h_e + \mathbf{V}_e^2/2 + w$

Here we assume $q \cong 0$ and $\mathbf{V}_i \cong 0$ so using constant C_{Po} from A.5

$$-w = C_{Po}(T_e - T_i) + \mathbf{V}_e^2/2 = 1.004(430 - 20) + \frac{(90)^2}{2 \times 1000} = 415.5 \text{ kJ/kg}$$

Notice the kinetic energy is 1% of the work and can be neglected in most cases. The mass flow rate is then from the power and the specific work

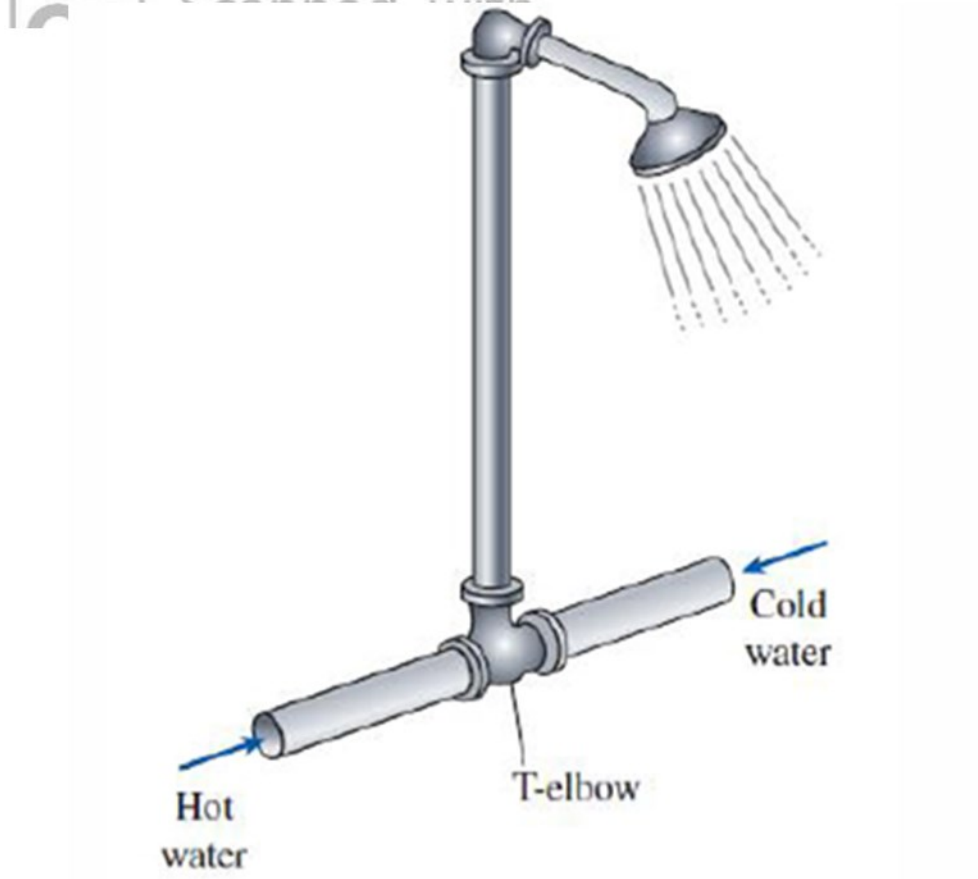
$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_c}{-w} = \frac{5000}{415.5} = \mathbf{12.0\ kg/s}$$

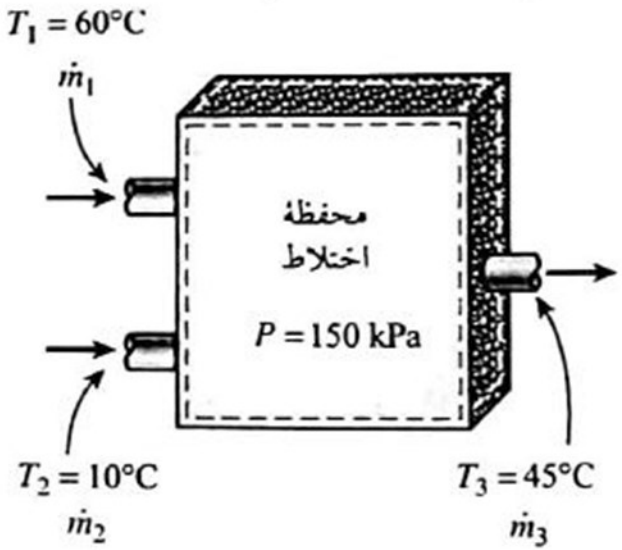
تمرین

5–51 Carbon dioxide enters an adiabatic compressor at 100 kPa and 300 K at a rate of 0.5 kg/s and leaves at 600 kPa and 450 K. Neglecting kinetic energy changes, determine (*a*) the volume flow rate of the carbon dioxide at the compressor inlet and (*b*) the power input to the compressor.

مثال ۹ـ۵ اختلاط آب گرم و آب سرد در دوش

یک دوش معمولی را در نظر بگیرید که در آن آب گرم با دمای ۶۰°C با آب سرد با دمای ۱۰°C مخلوط می‌شود. نسبت مقادیر نرخ جریان جرمی آب گرم به آب سرد را به گونه‌ای تعیین کنید که جریان‌پایای آب گرم با دمای ۴۵°C در اختیار داشته باشیم. فرض کنید اتلاف گرما از محفظهٔ اختلاط ناچیز است و اختلاط در فشار ۱۵۰ kPa رخ دهد.





شکل ۳۶ـ۵ طرح‌وارهٔ مثال ۵ـ۹.

حل آب سرد و آب گرم با دمای مشخص در یک دوش مخلوط می‌شوند. به‌ازای دمای مخلوط معلوم، می‌خواهیم نسبت مقادیر نرخ جریان جرمی آب گرم به آب سرد را تعیین کنیم.

فرض‌ها ۱. این فرایند، نوعی فرایند جریان‌پایا است، زیرا در هیچ یک از نقاط تغییر با زمان وجود ندارد، بنابراین $\Delta m_{CV} = 0$ و $\Delta E_{CV} = 0$. ۲. انرژی‌های جنبشی و پتانسیل ناچیزند: $\text{pe} \cong \text{ke} \cong 0$. ۳. اتلاف گرما از سیستم ناچیز است، بنابراین $\dot{Q} \cong 0$. ۴. تبادل کار وجود ندارد.

تحلیل محفظهٔ اختلاط را سیستم اختیار می‌کنیم (شکل ۵ـ۳۶). این سیستم، نوعی حجم کنترل است، زیرا طی فرایند از مرز سیستم جرم عبور می‌کند. دو ورودی و یک خروجی وجود دارد.

با توجه به فرض‌ها و توضیحات فوق، صورت نرخی رابطهٔ موازنهٔ جرم و انرژی در این سیستم جریان‌پایا عبارت‌اند از:

موازنهٔ جرم:

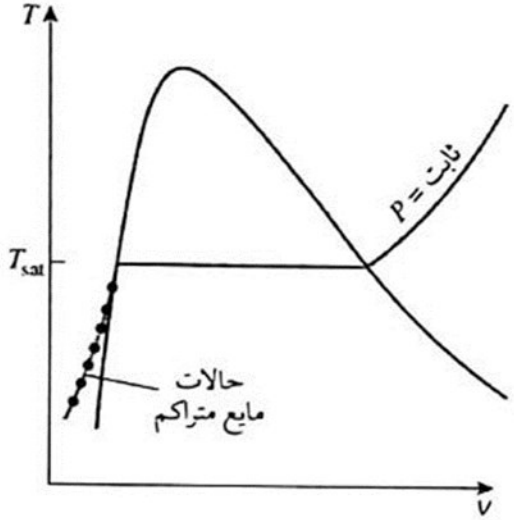
$$\dot{m}_{\text{in}} - \dot{m}_{\text{out}} = \overbrace{dm_{\text{sys}}/dt}^{0\ (\text{پایا})} = 0$$

$$\dot{m}_{\text{in}} = \dot{m}_{\text{out}} \rightarrow \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

موازنهٔ انرژی:

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}}}_{\text{نرخ خالص انتقال انرژی با گرما، کار و جرم}} = \underbrace{\overbrace{dE_{\text{sys}}/dt}^{0\ (\text{پایا})}}_{\text{تغییر انرژی‌های درونی، جنبشی، پتانسیل و غیره}} = 0$$

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$$



شکل ۳۷.۵ به‌ازای فشار معلوم، ماده در مقادیر دمای کم‌تر از دمای اشباع به صورت مایع متراکم است.

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3 \quad (\text{ke} \cong \text{pe} \cong 0 \text{ و } \dot{W} = 0 ،\dot{Q} \cong 0 \text{ می‌دانیم})$$

با ترکیب روابط موازنهٔ جرم و انرژی به دست می‌آوریم:

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

پس از تقسیم معادلهٔ فوق بر $\dot{m}_2$ خواهیم داشت:

$$y h_1 + h_2 = (y + 1) h_3$$

$y = \dot{m}_1 / \dot{m}_2$ در رابطهٔ فوق نسبت نرخ جریان جرمی خواسته‌شده است.

دمای اشباع آب در فشار ۱۵۰ kPa برابر با ۱۱۱٫۳۵°C است. چون دمای هر سه جریان از این مقدار کم‌تر است ($T < T_{sat}$)، آب در هر سه جریان به صورت مایع متراکم است (شکل ۵ـ۳۷). می‌توانیم مایع متراکم را به صورت تقریبی، مایع اشباع در دمای داده‌شده فرض کنیم:

$$h_1 \cong h_{f\,@\,۶۰°C} = ۲۵۱٫۱۸ \text{ kJ/kg}$$
$$h_2 \cong h_{f\,@\,۱۰°C} = ۴۲٫۰۲۲ \text{ kJ/kg}$$
$$h_3 \cong h_{f\,@\,۴۵°C} = ۱۸۸٫۴۴ \text{ kJ/kg}$$

با حل نسبت به y و پس از جایگذاری به دست می‌آوریم:

$$y = \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_3} = \frac{۱۸۸٫۴۴ - ۴۲٫۰۲۲}{۲۵۱٫۱۸ - ۱۸۸٫۴۴} = ۲٫۳۳$$

بحث برای خروج مخلوط با دمای 45°C، نرخ جریان جرمی آب گرم باید ۲٫۳۳ برابر نرخ جریان جرمی آب سرد باشد.

Scanned with

Scanned with CamScanner

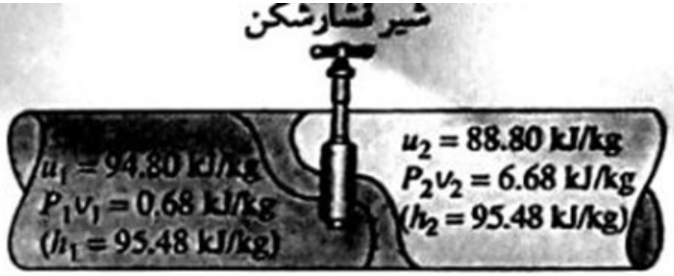
مثال ۵ـ۸ انبساط مبرد ۱۳۴a در یخچال

مبرد ۱۳۴a به صورت مایع اشباع با فشار ۰٫۸ MPa به لولهٔ مویین یخچال وارد و در آن تا فشار ۰٫۱۲ MPa دستخوش فرایند فشارشکنی می‌شود. کیفیت مبرد در حالت نهایی و افت دما طی این فرایند را محاسبه کنید.

حل مبرد ۱۳۴a به صورت مایع اشباع به لولهٔ مویین وارد و در آن تا فشاری مشخص دستخوش فرایند فشارشکنی می‌شود. می‌خواهیم کیفیت خروجی مبرد و افت دمای آن را تعیین کنیم.

فرض‌ها ۱. انتقال گرما از لوله ناچیز است. ۲. تغییر انرژی جنبشی مبرد ناچیز است.

تحلیل لولهٔ مویین نوعی دستگاه سادهٔ محدودکنندهٔ جریان است که معمولاً در کاربردهای تبرید برای افت زیاد فشار به کار می‌رود. سیال جاری در لولهٔ مویین نوعی فرایند فشارشکنی را طی می‌کند. بنابراین انتالپی مبرد ثابت می‌ماند (شکل ۵ـ۳۴).



شکل ۳۴.۵ طی فرایند فشارشکنی، انتالپی سیال (انرژی جریان + انرژی درونی) ثابت می‌ماند. اما ممکن است انرژی درونی و انرژی جریان به یکدیگر تبدیل شوند.

در ورودی:

$$\left.\begin{array}{l} P_1 = ۰/۸\ \text{MPa} \\ \text{مایع اشباع} \end{array}\right\} \begin{array}{l} T_1 = T_{\text{sat @ }۰/۸\ \text{MPa}} = ۳۱/۳۱^\circ\text{C} \\ h_1 = h_{f\ @\ ۰/۸\ \text{MPa}} = ۹۵/۴۸\ \text{kJ/kg} \end{array}$$

در خروجی:

$$\begin{array}{lll} P_2 = ۰/۱۲\ \text{MPa} & \longrightarrow & h_f = ۲۲/۴۷\ \text{kJ/kg} \quad T_{\text{sat}} = -۲۲/۳۲^\circ\text{C} \\ (h_2 = h_1) & & h_g = ۲۳۶/۹۹\ \text{kJ/kg} \end{array}$$

بدیهی است $h_f < h_2 < h_g$. بنابراین مبرد در حالت خروجی به صورت مخلوط اشباع است. کیفیت در این حالت برابر است با:

$$x_2 = \frac{h_2 - h_f}{h_{fg}} = \frac{۹۵/۴۸ - ۲۲/۴۷}{۲۳۶/۹۹ - ۲۲/۴۷} = ۰/۳۴۰$$

چون مبرد در خروجی به صورت مخلوط اشباع با فشار ۰/۱۲ MPa است، دمای خروجی برابر است با دمای اشباع در این فشار، یعنی $-۲۲/۳۲^\circ\text{C}$. پس تغییر دما طی این فرایند برابر است با:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (-۲۲/۳۲ - ۳۱/۳۱)^\circ\text{C} = -۵۳/۶۳^\circ\text{C}$$

بحث طی این فرایند فشارشکنی دمای مبرد $۵۳/۶۳^\circ\text{C}$ افت می‌کند و ۳۴/۰ درصد آن تبخیر می‌شود. انرژی مورد نیاز برای فرایند تبخیر مبرد از خود مبرد جذب می‌شود.

Scanned with

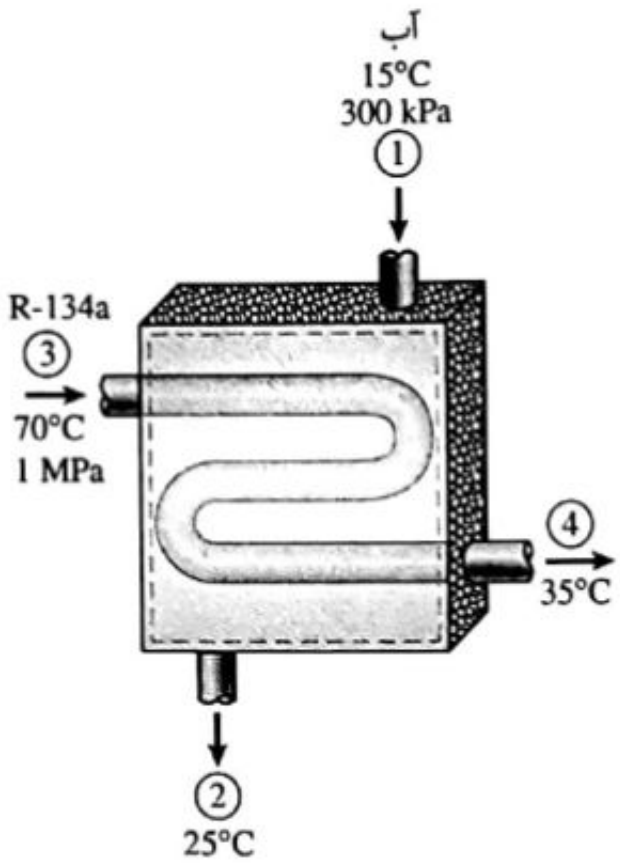
مثال ۵ـ۱۰ سرمایش مبرد ۱۳۴a با آب

می‌خواهیم مبرد ۱۳۴a را درون چگالنده با آب سرمایش کنیم. مبرد با دمای ۷۰°C، فشار ۱ MPa و نرخ جریان جرمی ۶ kg/min به چگالنده وارد و با دمای ۳۵°C از آن خارج می‌شود. آب خنک‌کن با دمای ۱۵°C و فشار ۳۰۰ kPa به چگالنده وارد و با دمای ۲۵°C از آن خارج می‌شود. با چشم‌پوشی از افت فشار، (الف) نرخ جریان جرمی آب خنک‌کن و (ب) نرخ کل انتقال گرما از مبرد به آب را محاسبه کنید.

حل مبرد ۱۳۴a درون چگالنده با آب سرمایش می‌شود. می‌خواهیم نرخ جریان جرمی آب خنک‌کن و نرخ انتقال گرما از مبرد به آب را تعیین کنیم.

فرض‌ها ۱. این فرایند، نوعی فرایند جریان‌پایا است، زیرا در هیچ یک از نقاط تغییر با زمان وجود ندارد، بنابراین $\Delta m_{CV} = 0$ و $\Delta E_{CV} = 0$. ۲. انرژی‌های جنبشی و پتانسیل ناچیزند؛ $ke \cong pe \cong 0$. ۳. اتلاف گرما از سیستم ناچیز است، بنابراین $\dot{Q} \cong 0$. ۴. تبادل کار وجود ندارد.

تحلیل همهٔ مبدل گرما را حجم کنترل اختیار می‌کنیم (شکل ۵ـ۴۰). این سیستم، نوعی حجم کنترل است، زیرا طی فرایند از مرز سیستم جرم عبور می‌کند. به طور کلی، در دستگاه‌های جریان‌پایای چندجریان، انتخاب‌های گوناگونی برای حجم کنترل وجود دارد و انتخاب صحیح به وضعیت موجود وابسته است. در این مسئله دو جریان سیال وجود دارد، بنابراین با دو ورودی و دو خروجی روبه‌رو هستیم. همچنین اختلاط رخ نمی‌دهد.



شکل ۵ـ۴۰ طرح‌وارهٔ مثال ۵ـ۱۰.

(الف) با توجه به فرض‌ها و توضیحات فوق، صورت نرخی روابط موازنهٔ جرم و انرژی در این سیستم جریان‌پایا برای هریک از جریان‌ها عبارت‌اند از (با توجه به این که اختلاط صورت نمی‌پذیرد):

موازنهٔ جرم: $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$

پس:

$$\dot{m}_۱ = \dot{m}_۲ = \dot{m}_w$$

$$\dot{m}_۳ = \dot{m}_۴ = \dot{m}_R$$

موازنهٔ انرژی: $\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{نرخ خالص انتقال انرژی با گرما، کار و جرم}} = \underbrace{dE_{sys}/dt}_{\text{تغییر انرژی‌های درونی، جنبشی، پتانسیل و غیره}} \overset{\text{(پایا)}}{=} ۰$

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

(می‌دانیم $\dot{Q} \cong ۰$، $\dot{W} = ۰$ و $\text{ke} \cong \text{pe} \cong ۰$)
$$\dot{m}_۱h_۱ + \dot{m}_۳h_۳ = \dot{m}_۲h_۲ + \dot{m}_۴h_۴$$

با ترکیب روابط موازنهٔ جرم و موازنهٔ انرژی و پس از مرتب کردن به دست می‌آوریم:

$$\dot{m}_w(h_۱ - h_۲) = \dot{m}_R(h_۴ - h_۳)$$

اکنون مقادیر انتالپی را در هر چهار حالت به دست می‌آوریم. آب در ورودی و خروجی به صورت مایع متراکم است، زیرا دمای آب در این دو موقعیت از دمای اشباع آب در فشار ۳۰۰ kPa (۱۳۳٫۵۲°C) کم‌تر است. مایع متراکم را به صورت تقریبی مایع اشباع در دمای داده‌شده فرض می‌کنیم:

$$h_۱ \cong h_{f\,@\,۱۵°C} = ۶۲٫۹۸۲ \text{ kJ/kg}$$
$$h_۲ \cong h_{f\,@\,۲۵°C} = ۱۰۴٫۸۳ \text{ kJ/kg}$$

(جدول الف-۴)

مبرد به صورت بخار اشباع به چگالنده وارد و به صورت مایع متراکم با دمای ۳۵°C از آن خارج می‌شود. از جداول مبرد 134a به دست می‌آوریم:

$$\left.\begin{matrix} P_2 = 1\ \text{MPa} \\ T_2 = 70^\circ\text{C} \end{matrix}\right\} \quad h_2 = 303.87\ \text{kJ/kg} \qquad \text{(جدول الف-۱۳)}$$

$$\left.\begin{matrix} P_4 = 1\ \text{MPa} \\ T_4 = 35^\circ\text{C} \end{matrix}\right\} \quad h_4 \cong h_{f\,@\,35^\circ\text{C}} = 100.88\ \text{kJ/kg} \qquad \text{(جدول الف-۱۱)}$$

پس از جایگذاری خواهیم داشت:

$$\dot{m}_w(62.982 - 104.83)\ \text{kJ/kg} = (6\ \text{kg/min})[(100.88 - 303.87)\text{kJ/kg}]$$

$$\dot{m}_w = 29.1\ \text{kg/min}$$

(ب) برای محاسبهٔ انتقال گرما از مبرد به آب، حجم کنترل را به گونه‌ای انتخاب کنیم که مرز آن بر مسیر انتقال گرما منطبق باشد. می‌توانیم حجم اشغالی هر یک از دو سیال را حجم کنترل انتخاب کنیم. حجم اشغالی آب را برمی گزینیم. همهٔ فرض‌هایی را که پیش‌تر آوردیم، به کار می‌بریم، با این تفاوت که در این‌جا انتقال گرما برابر با صفر نیست. پس با فرض انتقال گرما به آب، رابطهٔ موازنهٔ انرژی در سیستم جریان‌پایای تک‌جریان ساده شده، به رابطهٔ زیر تبدیل می‌شود:

(ب) برای محاسبهٔ انتقال گرما از مبرد به آب، حجم کنترل را به گونه‌ای انتخاب کنیم که مرز آن بر مسیر انتقال گرما منطبق باشد. می‌توانیم حجم اشغالی هر یک از دو سیال را حجم کنترل انتخاب کنیم. حجم اشغالی آب را برمی گزینیم. همهٔ فرض‌هایی را که پیش‌تر آوردیم، به کار می‌بریم، با این تفاوت که در این‌جا انتقال گرما برابر با صفر نیست. پس با فرض انتقال گرما به آب، رابطهٔ موازنهٔ انرژی در سیستم جریان‌پایای تک‌جریان ساده شده، به رابطهٔ زیر تبدیل می‌شود:

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}}}_{\text{نرخ خالص انتقال انرژی با گرما، کار و جرم}} = \underbrace{dE_{\text{sys}}/dt}_{\text{تغییر انرژی‌های درونی، جنبشی، پتانسیل و غیره}}^{\text{(پایا)}\ \nearrow\ 0} = 0$$

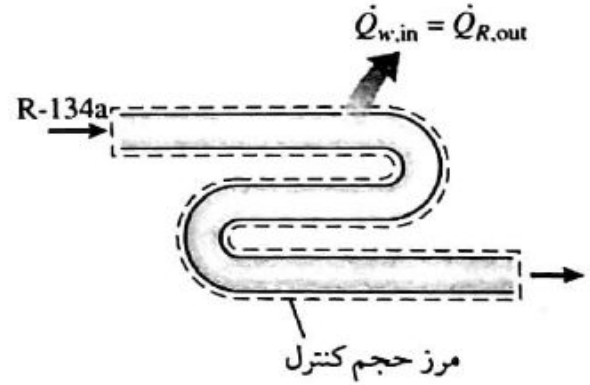
$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$$

$$\dot{Q}_{w,\text{in}} + \dot{m}_w h_1 = \dot{m}_w h_2$$

پس از مرتب کردن و جایگذاری خواهیم داشت:

$$\dot{Q}_{w,\text{in}} = \dot{m}_w(h_2 - h_1) = (۲۹/۱\ \text{kg/min})[(۱۰۴/۸۳ - ۶۲/۹۸۲)\ \text{kJ/kg}]$$
$$= \mathbf{۱۲۱۸\ kJ/min}$$

بحث اگر حجم اشغالی مبرد را حجم کنترل انتخاب کنیم (شکل ۵ـ۴۱)، برای دفع گرما از مبرد (که می‌توانیم آن را با $\dot{Q}_{R,\text{out}}$ نشان دهیم) همین پاسخ را به دست می‌آوریم، زیرا جذب گرمای آب با دفع گرما از مبرد برابر است.



شکل ۵ـ۴۱ انتقال گرما در مبدل گرما به چگونگی انتخاب حجم کنترل وابسته است.

Scanned with CamScanner

مثال ۵ـ۱۱ گرمایش الکتریکی هوا در خانه

سیستم‌های گرمایش الکتریکی مورد استفاده در بسیاری از خانه‌ها از یک مجرای سادهٔ مجهز به گرم‌کن‌های مقاومتی تشکیل می‌شوند. هوا با عبور از روی سیم‌های مقاومت گرمایش می‌شود. نوعی سیستم گرمایش الکتریکی ۱۵ kW کیلوواتی را در نظر بگیرید. هوا با دمای ۱۷°C، فشار ۱۰۰ kPa و با نرخ جریان حجمی ۱۵۰ m^3/min به مجرای گرمایش این سیستم وارد می‌شود. فرض کنید گرما از هوای درون مجرا با نرخ ۲۰۰ W به پیرامون دفع می‌شود. دمای خروجی هوا را محاسبه کنید.

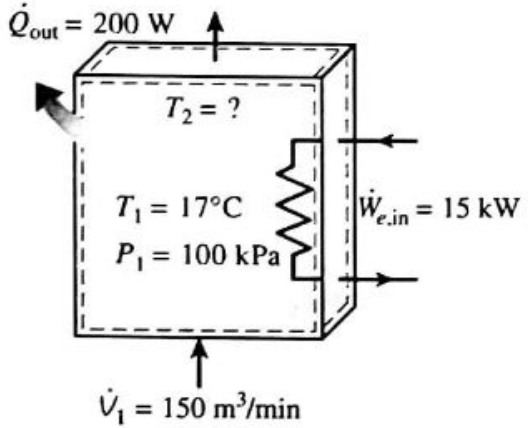
حل می‌خواهیم به‌ازای توان مصرفی و نرخ جریان هوای مشخص، دمای هوای خروجی از سیستم گرمایش الکتریکی یک خانه را تعیین کنیم.

فرض‌ها ۱. این فرایند، نوعی فرایند جریان‌پایا است، زیرا در هیچ یک از نقاط تغییر با زمان وجود ندارد، بنابراین $\Delta m_{CV} = 0$ و $\Delta E_{CV} = 0$. ۲. هوا در این شرایط گاز آرمانی است، زیرا دمای هوا از دمای نقطهٔ بحرانی آن بیش‌تر و فشار هوا از فشار نقطهٔ بحرانی آن کم‌تر است. ۳. تغییر انرژی‌های جنبشی و پتانسیل ناچیز است: $\Delta ke \cong \Delta pe \cong 0$. ۴. برای هوا از گرماهای ویژهٔ ثابت در دمای اتاق استفاده می‌کنیم.

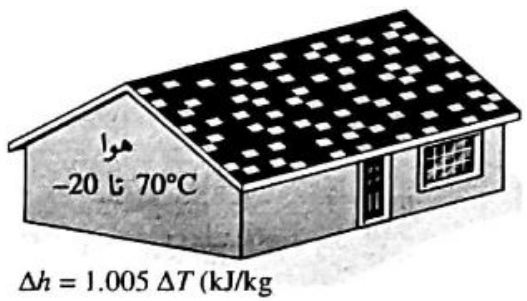
تحلیل مجرای گرمایش را سیستم اختیار می‌کنیم (شکل ۵ـ۴۴). این سیستم، نوعی جرم کنترل است، زیرا طی فرایند هیچ جرم از مرز سیستم عبور نمی‌کند. تنها یک ورودی و یک خروجی وجود دارد، بنابراین $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$. همچنین سیستم گرما دفع و کار الکتریکی مصرف می‌کند.

در دماهای متداول در کاربردهای گرمایش و تهویهٔ مطبوع، می‌توانیم با خطای ناچیز $c_p \Delta T$ را جایگزین Δh کنیم. $c_p = 1.005$ kJ/kg·°C گرمای ویژه در فشار ثابت در دمای اتاق است (شکل ۵ـ۴۵). پس صورت نرخی رابطهٔ موازنهٔ انرژی در این سیستم جریان‌پایا برابر است با:

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{نرخ خالص انتقال انرژی با گرما، کار و جرم}} = \underbrace{dE_{sys}/dt}^{\text{(پایا)}\ \to\ 0}_{\text{تغییر انرژی‌های درونی، جنبشی، پتانسیل و غیره}} = 0$$



شکل ۵ـ۴۴ طرح‌وارهٔ مثال ۵ـ۱۱.



شکل ۵ـ۴۵ برای هوا ($c_p = 1.005$ kJ/kg·°C) در بازهٔ دمای ۲۰− تا ۷۰°C، خطای رابطهٔ $\Delta h = c_p \Delta T$ کم‌تر از ۰٫۵ درصد است.

Scanned with CamScanner

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$$

$$\dot{W}_{e,\text{in}} + \dot{m}h_۱ = \dot{Q}_{\text{out}} + \dot{m}h_۲ \quad (\Delta\text{ke} \cong \Delta\text{pe} \cong ۰ \text{ می‌دانیم})$$

$$\dot{W}_{e,\text{in}} - \dot{Q}_{\text{out}} = \dot{m}c_p(T_۲ - T_۱)$$

حجم ویژهٔ هوا در ورودی مجرا را به کمک رابطهٔ گاز آرمانی به دست می‌آوریم:

$$v_۱ = \frac{RT_۱}{P_۱} = \frac{(۰/۲۸۷\ \text{kPa}\cdot\text{m}^۳/\text{kg}\cdot\text{K})(۲۹۰\ \text{K})}{۱۰۰\ \text{kPa}} = ۰/۸۳۲\ \text{m}^۳/\text{kg}$$

نرخ جریان جرمی هوا درون مجرا برابر است با:

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}_۱}{v_۱} = \frac{۱۵۰\ \text{m}^۳/\text{min}}{۰/۸۳۲\ \text{m}^۳/\text{kg}}\left(\frac{۱\ \text{min}}{۶۰\ \text{s}}\right) = ۳/۰\ \text{kg/s}$$

پس از جایگذاری کمیت‌های معلوم، برای دمای خروجی هوا به دست می‌آوریم:

$$(۱۵\ \text{kJ/s}) - (۰/۲\ \text{kJ/s}) = (۳\ \text{kg/s})(۱/۰۰۵\ \text{kJ/kg}\cdot{}^\circ\text{C})(T_۲ - ۱۷)^\circ\text{C}$$

$$T_۲ = ۲۱/۹^\circ\text{C}$$

بحث اتلاف گرما از مجرا، دمای خروجی هوا را کاهش می‌دهد.

Scanned with CamScanner