

به نام خدا

ترمودینامیک مهندسی شیمی

جلسه بیست و پنجم

فصل هفتم

ترمودینامیک فرآیندهای جریانی

موازنه جرم برای یک حجم کنترل:

$$\dot{m}_T = \frac{dm_{CV}}{dt} \quad \longrightarrow \quad \frac{dm_{CV}}{dt} + \Delta(\dot{m})_{fs} = 0$$

\dot{m} سرعت جریان جرمی

Δ نشان گر اختلاف بین جریان های خروجی و ورودی

fs نشان دهنده جملات مربوط به جریان های جاری است.

$$\dot{m} = \rho u A$$

سطح مقطع مجرای ورودی یا خروجی

چگالی میانگین سیال

سرعت میانگین سیال

$$\frac{dm_{CV}}{dt} + \Delta(\rho u A)_{fs} = 0 \quad \xrightarrow{\text{حالت پایا}} \quad \Delta(\rho u A)_{fs} = 0$$

$$\text{اگر فقط یک ورودی و یک خروجی وجود داشته باشد} \quad \longrightarrow \quad \rho_2 u_2 A_2 - \rho_1 u_1 A_1 = 0 \quad \longrightarrow \quad \dot{m} = \rho_2 u_2 A_2 = \rho_1 u_1 A_1 = \text{ثابت}$$

موازنه انرژی برای حجم کنترل:

$$\frac{d(mU)_{cv}}{dt} + \Delta \left[\left(H + \frac{1}{2}u^2 + zg \right) \dot{m} \right]_{fs} = \dot{Q} + \dot{W}$$

با صرفنظر کردن از تغییرات انرژی‌های جنبشی و پتانسیل داریم:

$$\frac{d(mU)_{cv}}{dt} + \Delta(H\dot{m})_{fs} = \dot{Q} + \dot{W}$$

مثال: یک مخزن به حجم 1.5 m^3 حاوی 500 kg آب در تعادل با بخار آب خالص که بقیه مخزن را پر کرده است، می‌باشد. دمای مخزن 100°C و فشار آن 101.33 kPa است. از یک مسیر 750 kg آب اشباع در دمای ثابت 70°C وارد مخزن می‌شود. اگر دما و فشار داخل مخزن در اثر فرآیند تغییر نکند، چه مقدار گرما باید به مخزن منتقل شود؟

$$\frac{d(mU)_{cv}}{dt} + \Delta(H\dot{m})_{fs} = \dot{Q} + \dot{W}$$

کار انبساطی، اختلاط یا محوری نداریم پس $\dot{W}=0$. همچنین تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل ناچیز است. ضمناً جریان ورودی داریم اما جریان خروجی نداریم. پس معادله بالا بصورت زیر نوشته می‌شود (علامت $'$) مربوط به جریان ورودی است):

$$\frac{d(mU)_{\text{مخزن}}}{dt} - H'\dot{m}' = \dot{Q} \quad (۱)$$

از موازنه جرم داریم: $\dot{m}' = \frac{dm_{\text{مخزن}}}{dt}$

$$(۱) \text{ و } (۲) \longrightarrow \frac{d(mU)_{\text{مخزن}}}{dt} - H' \frac{dm_{\text{مخزن}}}{dt} = \dot{Q} \xrightarrow{\text{ضرب در } dt \text{ و انتگرال گیری}} Q = \Delta(mU)_{\text{مخزن}} - H'\Delta m_{\text{مخزن}}$$

طبق تعریف آنتالپی داریم:

چون حجم کل و فشار ثابت است

$$\Delta(mU)_{\text{مخزن}} = \Delta(mH)_{\text{مخزن}} - \cancel{\Delta(PmV)_{\text{مخزن}}} \longrightarrow Q = \Delta(mH)_{\text{مخزن}} - H' \Delta m_{\text{مخزن}} = (m_2 H_2 - m_1 H_1)_{\text{مخزن}} - H' \Delta m_{\text{مخزن}}$$

حالات ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به شرایط داخل مخزن در آغاز و پایان فرآیند است.

تغییرات جرم داخل مخزن ($\Delta m_{\text{مخزن}}$) برابر جرم آب ورودی (750 kg) می باشد.

در پایان فرآیند مخزن حاوی مایع اشباع و بخار اشباع در تعادل در 100°C و 101.33 kPa است. بنابراین آنتالپی در آغاز و پایان فرایند هرکدام شامل دو جمله است: یکی برای فاز مایع و دیگری برای فاز بخار.

با استفاده از جداول بخار داریم:

$$H' = 293.0\text{ kJ/kg} \quad \text{مایع اشباع در } 70^\circ\text{C}$$

$$H_{\text{مخزن}}^l = 419.1\text{ kJ/kg} \quad \text{مایع اشباع در } 100^\circ\text{C}$$

$$H_{\text{مخزن}}^v = 2676.0\text{ kJ/kg} \quad \text{بخار اشباع در } 100^\circ\text{C}$$

حال باید مقدار جرم تمامی جریان‌ها مشخص شوند.

در آغاز فرآیند مخزن حاوی 500 kg آب بصورت مایع اشباع است و مابقی مخزن با بخار اشباع اشغال شده است. به منظور بدست آوردن حجم بخار ابتدا حجمی که توسط مایع اشباع شده را محاسبه کرده و سپس با در نظر گرفتن اینکه حجم کل مخزن 1.5 m^3 است می‌توان حجم بخار را محاسبه نمود و در نهایت با داشتن حجم واحد جرم بخار، جرم بخار بدست می‌آید.

با استفاده از جدول حجم‌های ویژه مایع و بخار اشباع در 100°C به ترتیب برابر با 0.001044 و $1.673 \text{ m}^3/\text{kg}$ می‌باشد.

$$V_1^l = 500 \text{ kg} \times 0.001044 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0.552 \text{ m}^3 \quad V_1^v = 1.5 - 0.552 = 0.978 \text{ m}^3 \quad \longrightarrow \quad m_1^v = \frac{0.978 \text{ m}^3}{1.673 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = 0.584 \text{ kg}$$

$$(m_1 H_1)_{\text{مخزن}} = m_1^l H_1^l + m_1^v H_1^v = 500 \times 419.1 + 0.584 \times 2676 = 211112.8 \text{ kJ}$$

در پایان فرآیند داریم:

$$\begin{cases} m_2 = 500 + 0.584 + 750 = m_2^v + m_2^l \\ 1.5 = 1.673 \times m_2^v + 0.001044 \times m_2^l \end{cases} \quad \longrightarrow \quad m_2^v = 0.116 \text{ kg} \quad \text{و} \quad m_2^l = 1250.468 \text{ kg}$$

از آنجا که دما در آغاز و پایان فرآیند یکسان است پس: $H_1^l = H_2^l$ و $H_1^v = H_2^v$ داریم:

$$(m_2 H_2)_{\text{مخزن}} = 1250.468 \times 419.1 + 0.116 \times 2676 = 524332 \text{ kJ}$$

و در نهایت با جایگذاری تمامی موارد بدست آمده:

$$Q = (m_2 H_2 - m_1 H_1)_{\text{مخزن}} - H' \Delta m_{\text{مخزن}} = 524332 - 211112.8 - 750(293) = 93469.2 \text{ kJ}$$