

فصل دوم

انرژی و تبادل انرژی

در این فصل هدف معرفی قانون اول ترمودینامیک است. در قانون اول ترمودینامیک، مبادله انرژی با سیستم باعث تغییر انرژی آن می‌شود. به همین منظور در این فصل مکانیزم‌های مختلف مبادله انرژی معرفی می‌شود. هم‌چنین شکل‌های مختلف انرژی سیستم نیز تعریف شده و در نهایت مجدداً قانون اول ترمودینامیک با در نظر گرفتن همه عبارات‌ها و شکل‌های مختلف انرژی و تبادل انرژی بیان خواهد شد.

(۱) قانون اول ترمودینامیک به طور کلی:

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sys}$$

تغییرات انرژی سیستم = (مجموع انرژی خروجی - مجموع انرژی ورودی) خالص انرژی مبادله شده با سیستم

۱-۱- انرژی‌های مبادله شده با سیستم (مکانیزم‌های مبادله انرژی):

ابتدا به معرفی مکانیزم‌هایی که انرژی از طریق آن‌ها وارد سیستم یا از آن خارج می‌شود، می‌پردازیم:

الف) گرما

ب) کار

پ) انرژی جریان (کار جریان) ← فقط برای سیستم‌های باز

الف) گرما:

شکلی از انرژی که به خاطر اختلاف دما مبادله می‌شود.

$$Q \rightarrow \text{kJ}$$

$$q = \frac{Q}{M} \rightarrow \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q} \rightarrow kW \cong \frac{kJ}{s}$$

مکانیزم های مبادله گرما:

- (۱) رسانش
- (۲) جابه جایی (همرفتی)
- (۳) تابشی (تشنشعی)

ب) تبادل انرژی توسط کار:

(نیرو). (جابه جایی در راستای نیرو) = کار

$$\Delta w = \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

برخی از شکل های متداول کار:

- کار ناشی از مرز متحرک (یا کار مرزی):

$$W = \int p dV$$

- کار شفت یا محور (کار محور دوآر):

تعداد دور در ثانیه \dot{n} و تعداد دور n :

$$W_{shaft} = 2\pi nT$$

گشتاور $T = F \cdot r$

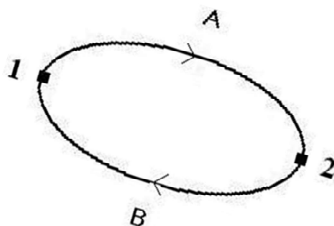
$$\dot{W}_{shaft} = 2\pi \dot{n}T$$

- کار فنر (کار ناشی از جابه جایی فنر):

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

☑ نکته:

کار و گرما تابع مسیر فرآیند هستند و تابع حالت سیستم نیستند.



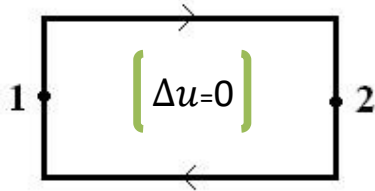
$$W_A \neq W_B$$

$$\oint \delta W \neq 0$$

از نظر ریاضی W و Q چون تابع مسیرند دیفرانسیل کامل نخواهند بود یعنی انتگرال روی مسیر بسته آن مخالف صفر خواهد بود (اگر این گونه نبود کار خالص در یک سیکل همواره صفر می شد).

☑ نکته:

انرژی درونی سیستم تابعی از حالت است و نه مسیر فرآیند.
پس، برای یک سیکل (چرخه) Δu برابر صفر است.



☑ نکته:

همه خاصیت های سیستم (مثل: آنتروپی، آنتالپی، حجم مخصوص و ...) تابعی از حالت هستند و نه مسیر فرآیند (یعنی فقط به حالت سیستم در ابتدا یا انتهای فرآیند بستگی دارند و نه نوع فرآیند).

پ) تبادل انرژی ناشی از تبادل جرم:

جرم ورودی به یک سیستم یا جرم خروجی از آن، می تواند حاوی شکل های مختلفی از انرژی باشد:

$$e_{mass} = u + Pv + \frac{v^2}{2} + gz$$

e_{mass} = انرژی پتانسیل + انرژی جنبشی + کار جریان + انرژی درونی

u : انرژی درونی که ناشی از حرکت مولکول هاست (که به طور ذاتی هر مقدار جرم این انرژی را دارد)

Pv : کار جریان، کاری که جریان به صورت بالقوه به خاطر فشاری که دارد، می تواند انجام دهد. هر جریانی از سیال دارای فشار (فشار استاتیک، که با فشار ناشی از وزن سیال متفاوت است) است. همان طور که می دانیم، فشار در سطح برابر با نیرو است و نیرو در جابه جایی برابر با کار. پس چون جریان سیال در حال حرکت و جابه جایی است در صورت برخورد با یک سطح می تواند کار انجام دهد. این شکل از انرژی (کار جریان) به طور ذاتی در جریان سیال وجود دارد.

$\frac{v^2}{2}$: انرژی ناشی از سرعت سیال که در مقابل انرژی درونی و کار جریان (جز در سرعت های بالا) معمولاً ناچیز است. در محاسبه این انرژی باید دقت کرد که برای تبدیل به واحد $\frac{kJ}{kg}$ باید این عبارت را به ۱۰۰۰ تقسیم کنیم.

gz : انرژی ناشی از ارتفاع سیال (که در اکثر موارد صرف نظر می شود).

آنتالپی:

با تعریف خاصیتی به اسم آنتالپی، مطمئن خواهیم بود که کار جریان نیز به همراه انرژی درونی همواره به عنوان بخشی از انرژی جریان جرم، لحاظ می شود:

$$h = u + Pv \quad \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

$$e_{mass} = h + \frac{v^2}{2} + gz \quad \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

$$\dot{m}e_{mass} = \dot{E}_{mass} \quad (kW)$$

$$\dot{m} = \text{دبی جرمی}$$

۱-۲- انرژی‌های سیستم:

تبادل انرژی با سیستم (که مکانیزم‌های آن گفته شد) باعث تغییرات انرژی سیستم می‌شود (که طبق قانون اول، خالص تبادل انرژی باید دقیقاً برابر با تغییرات انرژی سیستم باشد). اما هر سیستمی می‌تواند حاوی شکل‌های مختلفی از انرژی باشد:

$$E_{sys} = U + \frac{mv^2}{2} + mgz$$

U: هر سیستمی به واسطه شکل‌های مختلف حرکات مولکول‌هایش (مثل حرکت انتقالی، دوران حول خود یا یک محور مشترک، نوسان و ...) حاوی نوعی از انرژی ذاتی است که به آن انرژی درونی می‌گویند. این نوع از انرژی همواره وجود دارد و بیشتر وابسته به دمای سیستم است (البته به فشار نیز وابسته است ولی تأثیر دما بیشتر است).

$$\frac{mv^2}{2}: \text{انرژی جنبشی که ناشی از حرکت کل مجموعه سیستم است.}$$

mgz: انرژی ناشی از ارتفاع سیستم.

۲) قانون اول ترمودینامیک (با لحاظ کردن مکانیزم‌های مبادله انرژی و تغییرات انرژی سیستم):

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sys}$$

$$(Q_{in} + W_{in} + E_{mass,in}) - (Q_{out} + W_{out} + E_{mass,out}) = U_2 - U_1$$

توجه: از تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل سیستم، صرف‌نظر شده است.

$$(Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) + (E_{mass,in} - E_{mass,out}) = \Delta U_{sys}$$

توجه: اگر سیستم بسته باشد $(E_{mass,in} - E_{mass,out})$ برابر صفر می‌گردد.

* قرارداد (اختیاری):

در محاسبه مقدار Q یا W همواره علامت مثبت آن را لحاظ می‌کنیم ولی باید در قرارداد آن در رابطه موازنه انرژی دقت کنیم که Q یا W ورودی است یا خروجی.

اگر آهنگ مبادله انرژی داشته باشیم آنگاه:

$$(\dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out}) + (\dot{W}_{in} - \dot{W}_{out}) + (\dot{E}_{mass,in} - \dot{E}_{mass,out}) = \frac{dU_{sys}}{dt}$$

اگر سیستم بسته باشد ($\dot{E}_{mass,in} - \dot{E}_{mass,out}$) برابر با صفر می‌گردد (چون سیستم بسته، تبادل جرم با محیط بیرون ندارد).

۳) بازده اصل بقای انرژی:

یکی از مسائل مهم در مهندسی، محاسبه بازده سیستم‌ها و ارائه راهکارهایی برای افزایش آن است. ولی باید دقت داشت که بازده، چگونه تعریف می‌شود. به‌طور مثال، از دیدگاه ترمودینامیکی، حداقل دو نوع بازده پرکاربرد می‌توان تعریف کرد: (۱) بازده قانون اول یا بازده اصل بقای انرژی (۲) بازده قانون دوم. برای بررسی کارایی یک سیستم بهتر است هر دو بازده در نظر گرفته شوند. بازده قانون اول، به ما می‌گوید که به ازای یک ورودی مشخص و موردنیاز که به سیستم می‌دهیم، چه مقدار خروجی مطلوب (که معمولاً کار یا توان است) می‌توان استخراج کرد. اما، بازده قانون دوم می‌گوید که این خروجی مطلوب نسبت به خروجی مطلوب در حالت ایده‌آل چقدر است (بازده قانون دوم در مباحث مربوط به انرژی‌های تعریف خواهد شد).

بازده اصل بقای انرژی به‌طور کلی به این شکل تعریف می‌شود:

$$\eta = \frac{\text{خروجی مطلوب}}{\text{ورودی مورد نیاز}}$$

یک حالت خاص از بازده اصل بقای انرژی، بازده گرمایی است که برای موتورهای گرمایی، بسیار پرکاربرد است:

$$\eta = \frac{\text{کار خالص خروجی}}{\text{گرمای ورودی}} \rightarrow \text{بازده گرمایی}$$

بازده گرمایی فقط برای سیکل معنی پیدا می‌کند. از طرفی می‌دانیم برای سیکل $\Delta U_{sys} = 0$ پس:

$$(Q_{in} - Q_{out}) = (W_{out} - W_{in}) = W_{net}$$

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$