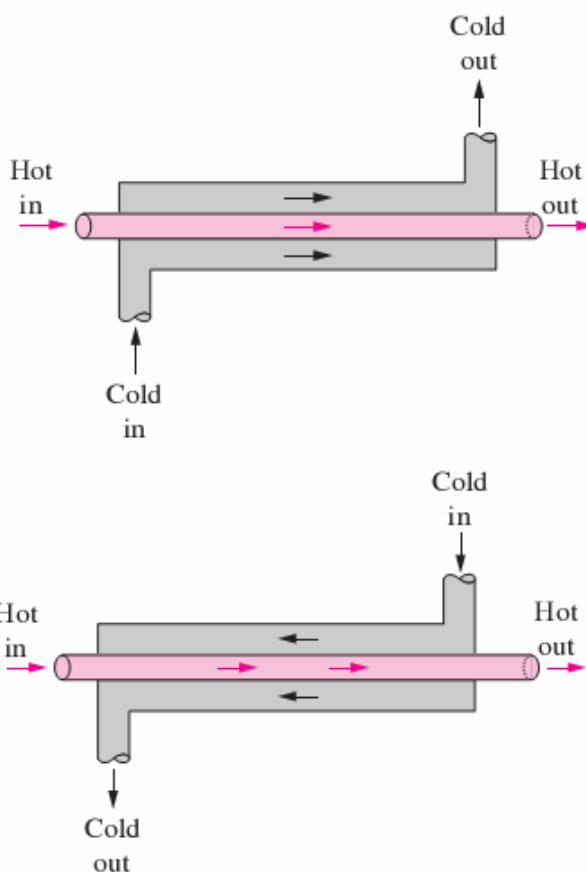

فصل هفتم

مبدل های حرارتی

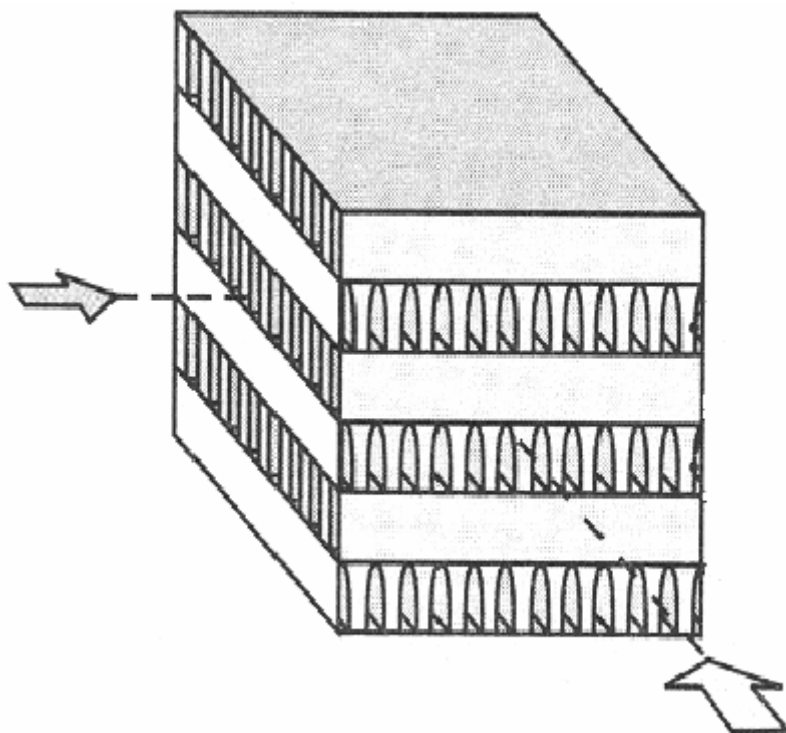
در صنعت ، مسائل اقتصادی نقش اصلی را در طراحی و انتخاب تجهیزات ایفا می‌کند . هر مهندس طراح همواره باید این نکته را در طراحی هر وسیله جدید به خاطر داشته باشد . وزن و اندازه مبدل حرارتی که در کاربردهای فضایی یا هوانوردی مورد استفاده قرار می‌گیرد یک عامل تعیین کننده می‌باشد ولی در ملاحظات مربوط به قیمت تا هنگامی که هزینه های ساخت مد نظر هستند عامل فرعی به حساب می‌آید . با این همه وزن و اندازه عوامل مهم تعیین کننده هزینه‌ها در این کاربردها هستند و هنوز به عنوان متغیر اقتصادی مورد توجه قرار می‌گیرند.

۷-۱ دسته بندی مبدل ها بر حسب نوع جریان

- موازی
- مخالف
- ضربدری



شکل ۷-۱ مبدل موازی و مخالف



شکل ۷-۲ مبدل ضربدری

۷-۲ نوع تحول

الف: تماس مستقیم برای سیال های غیر قابل نفوذ مثل سیال های مایع و گاز
ب: تماس غیر مستقیم مانند رادیاتور اتوموبیل

۷-۳ نمونه ساخت

- لوله ای _ tubular : مایع به مایع ، بیشترین مصرف را دارد و پره نداریم .
- ورقه ای _ plate : گاز به مایع ، در قسمت گاز پره نداریم .
- ورقه و پره _ plate & fin : گاز به گاز مانند توربین گاز
- لوله و پره _ tube & fin
- بازتاب _ regenerators

۴-۷ نوع انتقال حرارت

۱. هدایت آزاد یا اجباری بدون تغییر فاز
۲. همراه با تغییر فاز مانند جوشش و تقطیر در اواپراتور و کندانسور یخچال
۳. تشعشع که می‌تواند همراه با هدایت باشد.

• ضریب جمع و جوری :

نسبت سطح انتقال حرارت در یکطرف به حجم را جمع و جوری می‌نامند که با C_f نشان داده می‌شود:

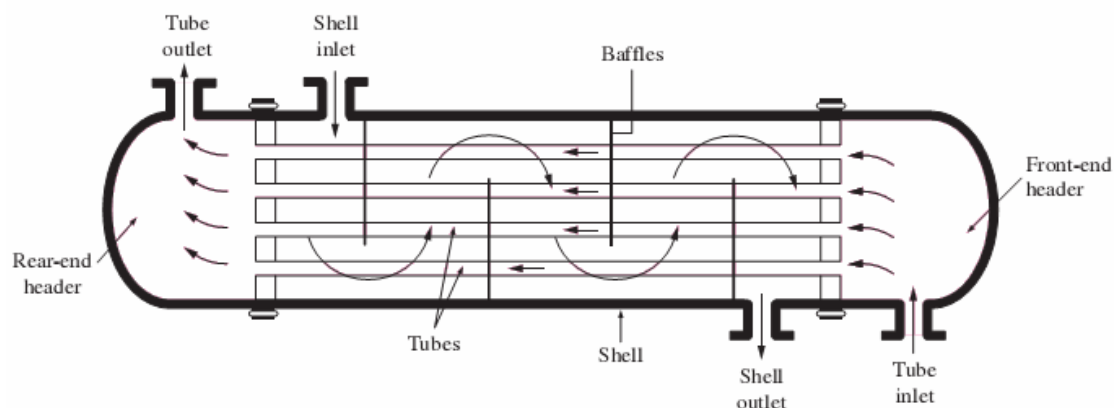
$$C_f < 500 : \text{جمع و جور}$$

$$500 < C_f < 700 : \text{تقریباً جمع و جور}$$

$C_f > 700$ را جمع و جور می‌نامند. ضریب جمع و جوری برای رادیاتور اتومبیل به عنوان یکی از بهترین

مبدل‌های موجود $\frac{m^2}{m^3}$ ۱۱۰۰ می‌باشد، این در حالیست که این ضریب برای شش‌های انسان که فقط یکی از

کارهایش تبادل حرارت است $\frac{m^2}{m^3}$ ۲۰۰۰۰ می‌باشد.



شکل ۷-۳ نمای یک مبدل لوله ای با پره

۵-۷ ضریب هدایت کلی

از نقطه نظر طراحی مبدل‌های حرارتی مسطح کمتر کاربرد دارند و حالت مهم‌تری که قابل توجه است مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای هستند که در شکل (۷-۱) مشاهده می‌شود. در فصل دوم روابط انتقال حرارت برای این نوع مبدل خاص تعیین گردید :

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}} \quad (۱-۷)$$

ضریب کلی انتقال حرارت U با رابطه زیر تعریف می شود :

$$q = U A \Delta T_{overall} \quad (۲-۷)$$

بنابراین :

$$U_i = \frac{q}{A_i \Delta T_{overall}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i \ln(r_o / r_i)}{2\pi k L} + \frac{A_i}{A_o} \frac{1}{h_o}} \quad (۳-۷)$$

و به همین ترتیب :

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_i} + \frac{A_o \ln(r_o / r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o}}$$

اگر ضخامت دیواره لوله خیلی کم باشد ($r_o \approx r_i$) و k زیاد شود می توان از $\frac{A_o \ln(r_o / r_i)}{2\pi k L}$ صرفه نظر کرد و سطح داخلی و خارجی لوله داخلی را برابر در نظر گرفت در نتیجه :

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} \quad (۴-۷)$$

۶-۷ ضریب رسوب

ضریب رسوب برای حالتی است که روی لوله های مبدل رسوبات مختلف پوشیده شوند که از کارایی مبدل می کاهد. اثر کلی این پدیده را معمولا با ضریب نفوذ R_f نشان می دهند. ضرایب رسوب گیری را باید با تعیین مقادیر U برای شرایط لوله های تمیز و کثیف در مبدل ها به صورت تجربی به دست آورد. لذا ضرایب رسوب گیری به صورت زیر تعریف می شوند:

$$R_f = \frac{1}{U_{dirty}} - \frac{1}{U_{clean}} \quad (۵-۷)$$

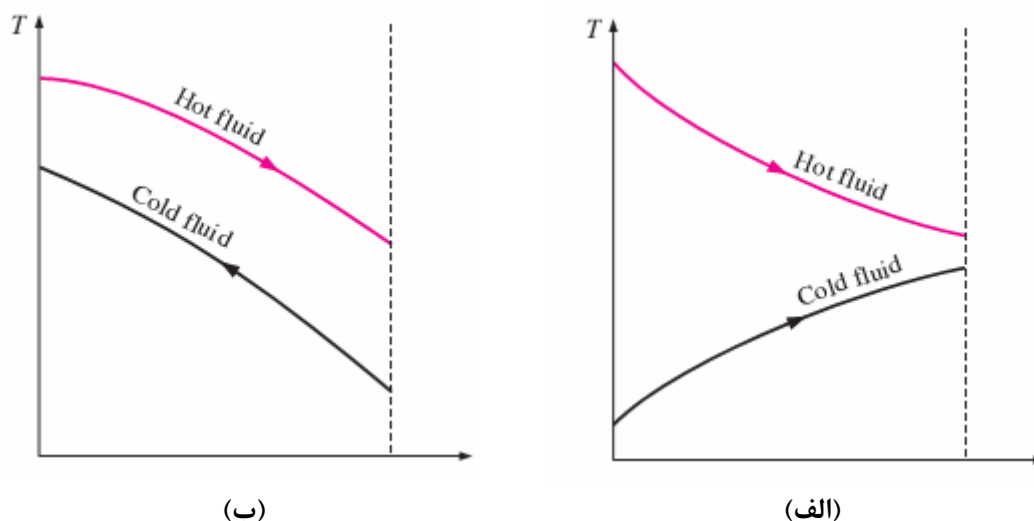
۷-۷ اختلاف درجه حرارت لگاریتمی

سیالات ممکن است به صورت موازی یا مختلف الجهد در مبدل جریان یابند و پروفیل درجه حرارت برای این دو حالت در شکل (۷-۱) نشان داده شده است. می‌خواهیم انتقال حرارت در این آرایه دو لوله‌ای را با $q = UA \Delta T_m$ محاسبه کنیم که در آن :

U : ضریب کلی انتقال حرارت

A : سطح تبادل حرارت مورد استفاده در تعریف U

ΔT_m : اختلاف درجه حرارت متوسط مناسب در مبدل حرارتی



شکل ۷-۴ توزیع درجه حرارت در مبدل های موازی و مختلف

بررسی شکل (۷-۴) نشان می‌دهد که اختلاف درجه حرارت بین سیالات گرم و سرد در خروجی و ورودی تغییر می‌کند و باید مقدار متوسطی را برای استفاده در معادله به دست آوریم در مبدل حرارتی با جریان موازی انتقال حرارت در سطح جزیی dA را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$dq = -m_h^{\circ} C_h dT_h = m_c^{\circ} C_c dT_c \quad (۷-۶)$$

انتقال حرارت را به صورت زیر نیز می‌توان بیان کرد :

$$dq = U (T_h - T_c) dA \quad (۷-۷)$$

از معادله (۷-۶) داریم :

$$dT_h = \frac{-dq}{m_h^{\circ} C_h} \quad , \quad dT_c = \frac{dq}{m_c^{\circ} C_c}$$

که m° بیانگر دبی جرمی و C گرمای ویژه سیال است . بنابراین :

$$dT_h - dT_c = d(T_h - T_c) = -dq \left(\frac{1}{m_h^\circ C_h} + \frac{1}{m_c^\circ C_c} \right) \quad (۸-۷)$$

با جایگزینی dq از معادله (۷-۷) در معادله (۸-۷) داریم :

$$\frac{d(T_h - T_c)}{T_h - T_c} = -U \left(\frac{1}{m_h^\circ C_h} + \frac{1}{m_c^\circ C_c} \right) dA \quad (۹-۷)$$

با انتگرال گیری از معادله (۹-۷) بین شرایط ۱ و ۲ :

$$Ln \frac{T_{h2} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} = -UA \left(\frac{1}{m_h^\circ C_h} + \frac{1}{m_c^\circ C_c} \right) \quad (۱۰-۷)$$

با برگشت به معادله (۶-۷) :

$$m_h^\circ C_h = \frac{q}{T_{h1} - T_{h2}}$$

$$m_c^\circ C_c = \frac{q}{T_{c2} - T_{c1}}$$

و جایگزینی آن در معادله (۱۰-۷) خواهیم داشت :

$$q = UA \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{Ln[(T_{h2} - T_{c2}) / (T_{h1} - T_{c1})]} \quad (۱۰-۷)$$

با مقایسه معادله (۱۱-۷) با معادله اصلی :

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{Ln[(T_{h2} - T_{c2}) / (T_{h1} - T_{c1})]} \quad (۱۲-۷)$$

ΔT_m را اختلاف درجه حرارت متوسط لگاریتمی (LMTD) می‌نامیم . رابطه بالا مشتمل بر دو فرض مهم است ، نخست اینکه گرمای ویژه سیال با درجه حرارت تغییر نمی‌کند و دیگر آنکه ضرایب انتقال حرارت جابجایی در سراسر مبدل حرارتی ثابت هستند .

اگر مبدل حرارتی به غیر از نوع دو لوله‌ای بکار برده شود ، با به کار بردن ضریب F معادله را تصحیح می‌کنیم :

$$q = UAF \Delta T_m \quad (۱۳-۷)$$

ضرایب F را می‌توان از مراجع تصحیح انتقال حرارت بدست آورد .

۷-۸ ضریب تأثیر یا روش NTU

روش LMTD در تحلیل مبدل‌های حرارتی هنگامی مفید است که درجه حرارت‌های ورودی و خروجی معلوم بوده یا به سادگی تعیین شود. اگر درجات حرارت را نداشته باشیم از روش اثر مبدل استفاده می‌شود، اثر یک مبدل بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\varepsilon = \frac{\text{مقدار حرارت حقیقی منتقل شده}}{\text{ماکزیم حرارتی که مبدل می‌تواند منتقل کند}}$$

انتقال حرارت واقعی را می‌توان با محاسبه افت انرژی سیال داغ یا انرژی کسب شده توسط سیال سرد بدست آورد. مبدل‌های حرارتی با جریان موازی را در نظر بگیرید. برای مبدل با جریان موازی:

$$q = m_h^\circ C_h (T_{h1} - T_{h2}) = m_c^\circ C_c (T_{c2} - T_{c1}) \quad (14-7)$$

ماکزیم انتقال حرارت وقتی است که یک سیال درجه حرارت خود را به اندازه ماکزیم درجه حرارت موجود تغییر دهد. سیالی ممکن است ماکزیم حرارت را جذب یا دفع کند که دبی $m^\circ C$ کمتری دارد و باید دبی مینیمم باشد لذا حداکثر انتقال حرارت ممکن است به صورت زیر بیان شود:

$$q_{\max} = (m^\circ C)_{\min} (T_{h_{\text{inlet}}} - T_{c_{\text{inlet}}}) \quad (15-7)$$

در نتیجه اثر مبدل برابر است با:

$$\varepsilon_h = \frac{m_h^\circ C_h (T_{h1} - T_{h2})}{m_h^\circ C_h (T_{h1} - T_{c1})} = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{h1} - T_{c1}} \quad (16-7)$$

$$\varepsilon_c = \frac{m_c^\circ C_c (T_{c2} - T_{c1})}{m_c^\circ C_c (T_{h1} - T_{c2})} = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{h1} - T_{c2}} \quad (17-7)$$

با بازنویسی معادله (۷-۱۰) خواهیم داشت:

$$\ln \frac{T_{h2} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} = -UA \left(\frac{1}{m_h^\circ C_h} + \frac{1}{m_c^\circ C_c} \right) = \frac{-UA}{m_c^\circ C_c} \left(1 + \frac{m_c^\circ C_c}{m_h^\circ C_h} \right) \quad (18-7)$$

و یا:

$$\frac{T_{h2} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} = \exp \left(\frac{-UA}{m_c^\circ C_c} \left(1 + \frac{m_c^\circ C_c}{m_h^\circ C_h} \right) \right) \quad (19-7)$$

با محاسبه T_{h2} از معادله (۷-۱۴) داریم:

$$T_{h2} = T_{h1} + \frac{m_c^\circ C_c}{m_h^\circ C_h} (T_{c1} - T_{c2})$$

و در نتیجه :

$$\frac{T_{h2} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} = \frac{T_{h1} + (m_c^\circ C_c / m_h^\circ C_h)(T_{c1} - T_{c2}) - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} \quad (۲۰-۷)$$

با کمی تغییر در معادله (۲۰-۷) معادله زیر به دست می آید :

$$\frac{T_{h2} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} = \frac{(T_{h1} - T_{c1}) + (m_c^\circ C_c / m_h^\circ C_h)(T_{c1} - T_{c2}) + (T_{c1} - T_{c2})}{T_{h1} - T_{c1}} = 1 - (1 + \frac{m_c^\circ C_c}{m_h^\circ C_h}) \varepsilon$$

اگر رابطه بالا را در معادله (۱۹-۷) قرار دهیم ضریب تأثیر به آسانی به دست می آید:

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-UA / m_c^\circ C_c (1 + m_c^\circ C_c / m_h^\circ C_h)]}{1 + m_c^\circ C_c / m_h^\circ C_h} \quad (۲۱-۷)$$

چنانچه سیال داغ سیال حداقل باشد تنها جای $m_c^\circ C_c$ با $m_h^\circ C_h$ در معادله فوق عوض می شود لذا معمولاً رابطه ضریب تأثیر را به شکل زیر می نویسند :

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-UA / C_{\min} (1 + C_{\min} / C_{\max})]}{1 + C_{\min} / C_{\max}} \quad (۲۲-۷)$$

که در آن C نرخ انتقال ظرفیت نامیده می شود. با تحلیلی مانند بالا می توان به رابطه ای مشابه بالا برای جریان مختلف الجهت دست یافت . مقدار $\frac{UA}{C_{\min}}$ را تعداد واحد حرارتی NTU می نامند . در فرایندهای تغییر فاز که دمای جسم ثابت می ماند مثل این است که گرمای ویژه بی نهایت باشد یعنی $\frac{C_{\min}}{C_{\max}} \rightarrow 0$ و رابطه به فرم ساده زیر در می آید:

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU}$$