



فهرست

۳	فصل اول: انتقال حرارت
۳	گرما
۴	قانون پایستگی انرژی
۵	انتقال حرارت
۵	شار حرارتی
۵	انتقال حرارت هدایت
۶	انتقال حرارت جابه‌جایی (همرفت)
۶	انتقالا حرارت تشعشعی
۸	ضریب انتقال حرارت کلی
۹	مقاومت حرارتی
۹	یادآوری از مدارهای الکتریکی
۹	مقاومت حرارتی
۱۰	مقاومت حرارتی سطحی (تماسی)
۱۱	فصل دوم: لایه‌های حرارتی سری و موازی
۱۱	مدار الکتریکی سری
۱۱	مدار الکتریکی موازی
۱۱	لایه‌های حرارتی سری
۱۲	لایه‌های حرارتی موازی

فصل اول: انتقال حرارت

مقدمه: علاوه بر سوالاتی که از انتقال حرارت مطرح می‌شود، برخی سوالات مبحث نوزدهم نیز نیاز به آشنایی با مباحث انتقال حرارت دارد. این مباحث در این جزو اندکی فراتر از پیش نیاز لازم برای حل مسائل مبحث نوزدهم مطرح شده است تا داوطلب بتواند سوالاتی که از انتقال حرارت در آزمون نظام مهندسی مطرح می‌شود را پاسخ دهد.

گرمای: انرژی جابجا شده از یک جسم به جسم دیگر یا از ناحیه‌ای به ناحیه‌ای دیگر، طی برهم‌کنش‌های گرمایی است. واحد آن در SI، ژول است اما در صنعت تأسیسات از واحدهای دیگری به نام کالری و بی‌تی‌یو بیشتر استفاده می‌شود. گرمای منتقل شده به یک ماده برابر است با:

$$Q = mc\Delta T \quad (1)$$

گرمای جذب شده توسط جسم بر حسب ژول، m جرم جسم بر حسب کیلوگرم، c ظرفیت گرمایی ویژه جسم بر حسب ژول بر کیلوگرم کلوین (یادگاره سانتیگراد) $(\frac{J}{kg.K})$ و ΔT تغییرات دمای جسم در حین گرفتن گرما بر حسب کلوین یا درجه سانتیگراد است.

اگر معادله را برای جریان معادله فوق را بر واحد زمان بنویسیم خواهیم داشت:

$$q = \dot{m}C\Delta T \quad (2)$$

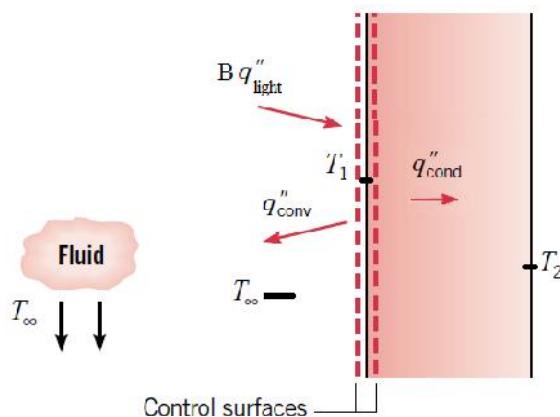
q توان ورودی جسم بر حسب وات (W) و \dot{m} دبی جرمی جسم بر حسب کیلوگرم (kg) است.

نکته ۱ با تبدیل واحد و جایگذاری مقدار مرسوم چگالی هوا یا آب، معادله فوق برای آنها به ترتیب زیر به دست می‌آید که در محاسبات تأسیساتی رایج است.

$$q_{air} \left[\frac{Btu}{hr} \right] = 1.08 \times cfm \times \Delta T [^{\circ}F] \quad (3)$$

$$q_{H_2O} \left[\frac{Btu}{hr} \right] = 500 \times gpm \times \Delta T [^{\circ}F] \quad (4)$$

مثال ۱ (سوال ۴ آزمون بهمن ۸۲) در یک مجموعه مسکونی، دمای آب گرم مصرفی در موتورخانه ۶۰ درجه سانتی‌گراد و قطر لوله اصلی توزیع آب گرم مصرفی ۴ اینچ می‌باشد. طول کل لوله برگشت آب گرم مصرفی ۲۰۰ متر و طول لوله رفت آب گرم مصرفی که دارای سیستم برگشت



حرارت ورودی ما مقدار جذب شده از تابش خورشید است (چون مقدار بازتاب شده بدون ورود به دیوار سریعاً برگشت داده شده است). ضریب جذب که در شکل نکته ۲ با حرف B نشان داده شده است مطابق صورت سوال ۹/۰ است. میزان حرارت نور تابیده شده نیز به صورت شار حرارتی (heat flux) داده شده است (با توجه به واحد آن که $\frac{W}{m^2}$ است).

$$q''_{in} = q''_{absorption} = 0.9 \times 700 = 630 \text{ W/m}^2$$

این شار حرارت ورودی به سطح است. حال این شار چگونه از این سطح خارج می‌شود؟ به یکی از سه شیوه هدایت، جابه‌جایی و تابش (که صورت سوال گفته از آن صرف نظر می‌کنیم).

انتقال حرارت هدایت از سطح بیرونی دیوار (که با نور خورشید داغ شده) به سمت سطح داخلی آن است. پس با توجه به شکل ۳، در معادله (۸) سطح بیرونی دیوار را T_1 و سطح داخلی را T_2 می‌نامیم که طبق صورت سوال ۲۶ درجه سلسیوس است. ضریب هدایت حرارتی دیوار $\frac{W}{m \cdot K}$ و ضخامت دیوار ۰/۰۰۰ متر است.

$$q''_{cond} = k \frac{(T_1 - T_2)}{L} = 0.1 \times \frac{(T_1 - 26)}{0.2}$$

انتقال حرارت جابه‌جایی نیز از سطح بیرونی دیوار (که با نور خورشید داغ شده) به هوای بیرون است. ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی بین محیط بیرون و دیوار مطابق صورت سوال $\frac{W}{m^2}$ ۵۰ است و دماب محیط ۲۵ درجه سلسیوس است.

$$q''_{conv} = h(T_s - T_\infty) = 50(T_1 - 25)$$

حال مقادیر فوق را در معادله پایستگی می‌گذاریم:

$$q_{in} = q_{out}$$

$$q''_{in} \times A = q''_{cond} \times A + q''_{conv} \times A$$

$$q''_{in} = q''_{cond} + q''_{conv}$$

$$630 = 0.1 \times \frac{(T_1 - 26)}{0.2} + 50(T_1 - 25) \quad \Rightarrow \quad T_1 = 37.48^\circ\text{C}$$

ضریب انتقال حرارت کلی: اگر در معادله (۹)، به جای $\frac{k}{L}$ و در معادلات (۱۱) و (۱۴) به جای h بنویسیم، معادله انتقال حرارت به طور کلی به صورت زیر در می‌آید:

فصل دوم: لایه های حرارتی سری و موازی

مدار الکتریکی سری: در صورتی که چند مقاومت الکتریکی پشت سر هم به صورت سری بسته شوند، جریان مشابهی از آنها می‌گذرد و مقاومت مجموع از جمع مقاومتهای آنها به دست می‌آید.

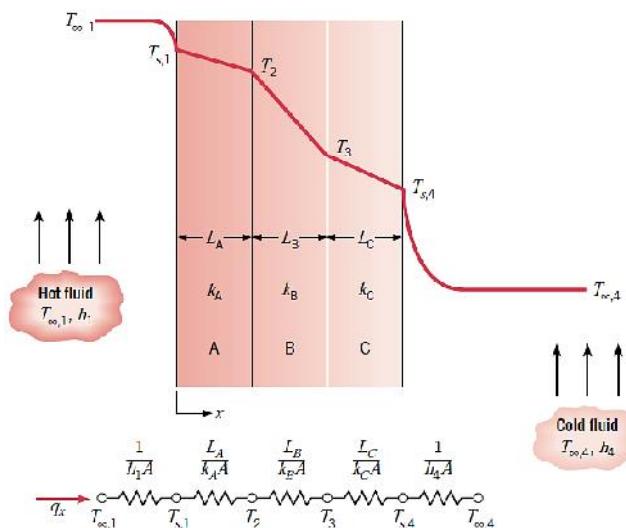
$$r_t = r_1 + r_2 + \dots$$

مدار الکتریکی موازی: اگر چند مقاومت به صورت موازی بسته شوند اختلاف پتانسیل یکسان بین آنها برقرار می‌شود و جریان مجموع از جمع جریان‌ها به دست می‌آید در نتیجه مقاومت مجموع برابر خواهد بود با:

$$\frac{1}{r_t} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots$$

لایه‌های حرارتی سری:

با معادل سازی این قاعده در مقاومت حرارتی، برای دیوارهای که اجزای آن به صورت سری و پشت سر یکدیگر قرار گرفته باشند به صورت زیر نوشته می‌شود:



$$r_{h-t} = r_{h-1} + r_{h-2} + \dots \quad (24)$$

شکل ۵ معادل سازی لایه‌های حرارتی سری با مدار الکتریکی

اگر دیواره تخت باشد و اجزای آن پشت سرهم و همگن باشند، سطح مقطع آنها یکی خواهد بود.

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots \quad (25)$$

مثال ۳ (سوال ۳۷ آزمون طراحی اسفند ۹۵) ضریب انتقال حرارت کلی (U) یک دیوار $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

می‌باشد. ضخامت عایق مورد نیاز با ضریب هدایت حرارتی $\frac{W}{m \cdot K}$ ۰.۰۶ برای اضافه کردن به این

مثال ۷ لوله‌ای به قطر داخلی r_{in} و قطر خارجی r_{out} حاوی سیالی با دمای T_1 و ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی h_1 در هوا به دمای T_2 و ضریب انتقال حرارت h_2 قرار دارد. مقدار حرارت تلف شده در طول L از این لوله چقدر است؟

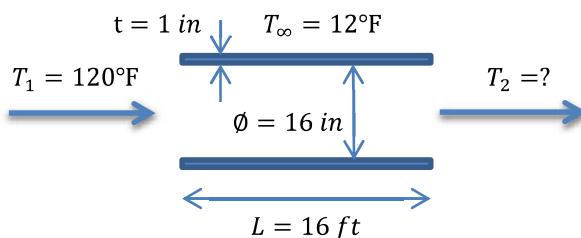
پاسخ: با توجه به شکل نکته ۴، مقاومت حرارتی کل سیستم فوق را محاسبه می‌کنیم.

$$r_{h-t} = r_{h-cond} + r_{h-conv-1} + r_{h-conv-2} = \frac{1}{h_1 2\pi r_1 L} + \frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{2\pi k L} + \frac{1}{h_2 2\pi r_2 L}$$

$$q_t = U_t A_t \Delta T = \frac{(T_1 - T_2)}{r_{h-t}}$$

مثال ۸ (سوال ۱۰ آزمون مهر ۹۸) ۱,۰۰۰ فوت مکعب در دقیقه هوا با دمای ۱۲۰ درجه فارنهایت، از درون یک کانال گرد به قطر ۱۶ اینچ و طول ۲۵ فوت عبور می‌کند. کانال دارای ۱ اینچ عایق پشم شیشه است. اگر ضریب کلی انتقال حرارت بین هوای کانال و هوای محیط بیرون ۰.۲ $Btu/hr.ft^2.^{\circ}F$ و دمای محیط ۱۲ درجه فارنهایت باشد، دمای هوای خروجی از کانال تقریباً چند درجه فارنهایت است؟ (چگالی هوا را ۰.۰۶۷ پوند بر فوت مکعب و گرمای ویژه هوا را ۰.۲۴ بیتیو بر پوند در نظر بگیرید).

پاسخ: طبق قانون پایستگی انرژی، حرارت تلف شده از کانال، برابر با تغییرات انرژی هوا است.



$$q_{loss} = q_{air}$$

عبارت سمت چپ حرارت تلف شده از دیوارهای دیوار است:

$$q_{loss} = UA\Delta T = UA(T_{in} - T_{\infty})$$

دمای داخل در طول مسیر متغیر است اما با می‌توان مقدار میانگین دمای ورودی و خروجی را برای آن در نظر گرفت. همچنین چون داده‌های مسئله در دستگاه IP است، سمت راست معادله را از

$$T_{in} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{120 + T_2}{2}$$