جلسه اول

انتقال حرارت

فصل اول : آشنایی با روش‌های انتقال حرارت و معادلات حاکم

انتقال حرارت، حاصل اختلاف دما بین دو منطقه است که انتقال حرارت بین آن‌ها صورت می‌پذیرد. بنابراین می‌توان گفت که در هر مسئله انتقال حرارت برخلاف ترمودینامیک مسائل را بافرض عدم تعادل دمایی بررسی می‌کنیم و بعبارتی همین عدم تعادل دمایی است که موجبات انتقال حرارت را فراهم می‌آورد.

انتقال حرارت پایدار و ناپایدار :

اگر مجموع انرژی‌های تولید شده در جسم و ورودی به آن با مجموع انرژی‌های خروجی از جسم برابر شود، سطح انرژی جسم تغییر نمی‌کند و این موجب می‌شود که در هیچ نقطه‌ای از جسم مشاهد تغییرات انرژی نباشد. در این حالت انتقال حرارت و همگی پایدار به‌حساب می‌آید و در طول زمان تغییری در خصلت دمای نقاط مختلف جسم مشاهده نمی‌شود. این نوع انتقال حرارت را انتقال حرارت دائم یا پایدار گوئیم. برعکس اگر جسم هنوز با این وضعیت برسیده باشد انتقال حرارت ناپایدار یا غیردائم می‌باشد.

مکانیزم‌های انتقال حرارت :

بین انتقال حرارت میان دو جسم یا دو بخش مختلف یک جسم، سه راه وجود دارد :

۱- انتقال حرارت هدایتی

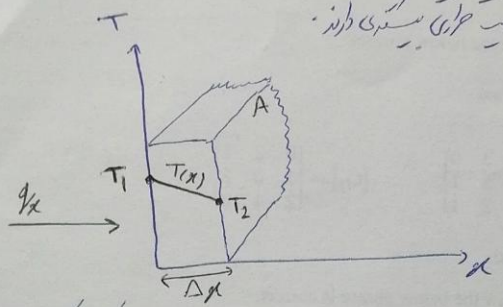
۲- انتقال حرارت جابجایی

۳- انتقال حرارت تشعشعی

انتقال حرارت هدایتی (conduction):

مکانیزم انتقال حرارت را در این روش باید در مفاهیم مولکولی جستجو کرد، زیرا تداوم و انتقال این حرکت‌هاست که این نوع از انتقال حرارت را موجب می‌شود. توضیح اینکه دمای هر نقطه و میزان فعالیت و حرکت‌های مولکولی آن نقطه با هم ارتباط مستقیم دارند و یک

در جامدات مولکول‌ها به مولکول‌های مجاور منتقل می‌شود این همان انتقال حرارت به روش هدایت می‌باشد. انتقال حرارت از این نوع بیشتر به شکل می‌شود می‌باشد. وجود الکترون آزاد نیز در جسم (فلزات) عامل هدایت است که این عامل نقش عمده‌ای در انتقال حرارت فلزات عهده‌دار است و واقعاً به همین دلیل است که فلزات با پیمانه‌ی بالا قابلیت هدایت حرارتی بیشتری دارند.



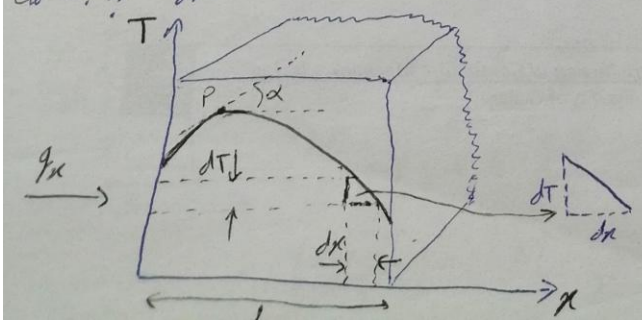
نرخ انتقال حرارت از راه‌ها مستقیم با سطح انتقال حرارت دیواره و اختلاف دمای دو سوی آن است. توجه کنید که جسم در حالت پایدار دچار تغییر نمی‌شود بنابراین مقدار ورودی نرخ داخلی تولید دما در حال انتقال حرارت است.

$$q_x \propto A \quad ; \quad q_x \propto \Delta T \quad ; \quad q_x \propto \frac{1}{\Delta x}$$

$$q_x = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

- هرچه دیواره نازک‌تر باشد (Δx کوچک‌تر) نرخ انتقال حرارت از دیواره بیشتر است.
- ضریب k، ضریب هدایت حرارتی دیواره نام دارد و اثر جنس دیواره را این ضریب لحاظ می‌شود.
- علامت منفی مؤید این موضوع است که جهت شار حرارتی q_x، همواره در جهت کاهش دما می‌باشد یا به عبارتی حرارت از دمای بالاتر به پایین‌تر منتقل می‌شود.

رابطه بالا برای حالتی ارایه می‌شود که تغییرات دما در دیواره تقریباً خطی باشد. اما اگر این چنین نباشد تنها در محدوده‌های کوچکی از دیواره (Δx) می‌توان شرح را بکار برد و در بیان دیگر شیب پروفیل دما دیگر مقدار ثابت $\left(\frac{\Delta T}{\Delta x}\right)$ نبوده و در هر نقطه از دیواره مقدار $\left(\frac{dT}{dx}\right)$ مربوط به آن نقطه از دیواره را دارد. عبارت $\frac{dT}{dx}$ (شیب دما در طول دیواره) گرادیان دما از ضخامت دیواره نام دارد و مقدار شیب خط مماس بر پروفیل دما در هر نقطه از دیواره می‌باشد.



همانطور که ملاحظه می‌کنید در محدوده‌های کوچک، پروفیل دما فرم خطی دارد و لذا می‌توان در این محدوده‌های کوچک تغییر طول را مساوی دلتا در نظر گرفت.

بیان کرد:

رابطه فوریه $\boxed{q_x = -kA\frac{dT}{dx}}$

q : برحسب W

A : m^2

dT : $^\circ C$ یا K

dx : m

k : $\frac{W}{m.^\circ C}$ یا $\frac{W}{m.K}$

* در حالت برقرار ضریب انتقال حرارت k متغیر، و این حالت بیشتر از جنس مواد

* مایعات معمولاً ضریب هدایت حرارتی بیشتری نسبت به گازها دارند.

* مواد عایق حرارتی ضریب انتقال حرارت خیلی بسیار کوچکی دارند.

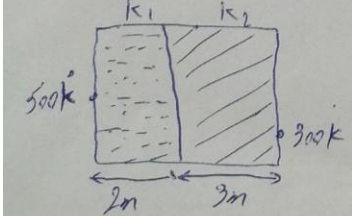
مثال ۱: در انتقال حرارت از روش هدایت، با فرض ثابت بودن دما در سطوح دیواره، با دوبرابر شدن ضخامت آن انتقال حرارت چند برابر می‌شود؟

$$q = -kA\frac{\Delta T}{\Delta x} \rightarrow \boxed{\frac{1}{2}}$$

مثال ۲: دیواری به ضخامت $100mm$ که اختلاف دمای طرفین آن $40^\circ C$ است را در نظر داریم. اگر ضریب هدایت حرارتی دیواره $k = 0.1\frac{W}{m.^\circ C}$ باشد، میزان حرارت برحسب واحد سطح این دیواره در حالت پایا چند $\frac{W}{m^2}$ است؟

$$\left|\frac{q}{A}\right| = k\frac{\Delta T}{\Delta x} = 0.1 \times \frac{40}{100\times10^{-3}} = \boxed{40\frac{W}{m^2}}$$

مثال ۱: دیواره مرکبی به شکل زیر داریم که در حال انجام انتقال حرارت پایدار می‌باشد. اگر $k_2 = 2k_1$ و سطحی دو جداره خارجی دیواره مرکب $500\,k$ و $300\,k$ باشد، دمای سطح مشترک دو دیواره چقدر است؟ مقدار شار انتقال حرارت q در هر دو دیواره چقدر می‌باشد.



$$q = k_1 A\frac{(500-T)}{2}$$

$$q = k_2 A\frac{(T-300)}{3}$$

$$k_1 A\left(\frac{500-T}{2}\right) = 2k_1 A\left(\frac{T-300}{3}\right) \Rightarrow 3\times(500-T) = (T-300)\times4 \Rightarrow T = \frac{2700}{7} = 386$$

۹) $\frac{kcal}{m.hr.c}$ ضریب هدایت حرارتی جدارهای در آن $\Delta T = 30^{c}$ و $\Delta x = 30mm$ و $\frac{q}{A} = 200 \frac{kcal}{m^2.hr}$ باشد چند است؟

$$\frac{q}{A} = -k\frac{\Delta T}{\Delta x} \Rightarrow 200 = k\frac{30}{30\times10^{-3}} \Rightarrow k = 0.2 \frac{kcal}{m.hr.c}$$

۱۰) شدت جریان حرارتی در واحد سطح یک دیواره به ضخامت آن $0.5m$ و دمای دو طرف آن 25 و -5 درجه سانتیگراد و ضریب هدایت حرارتی آن $1.5 \frac{kcal}{hr.m.c}$ می‌باشد، برحسب چند کیلوکالری است؟

$$\frac{q}{A} = -k\frac{\Delta T}{\Delta x} \Rightarrow \frac{q}{A} = -1.5 \times \frac{(-5-25)}{0.5} = 90 \frac{kcal}{m^2.hr}$$