به نام خدا

مقدمه مؤلف

رشد فزاینده رقابت دانشجویان برای دستیابی به مراتب عالی و تحصیلات تکمیلی، اینجانب را بر آن داشت تا شرایط بهتری را برای آمادگی بیشتر شرکت‌کنندگان فراهم نمایم. در مجموعه حاضر که به همین منظور و با هدف آشنایی بیشتر شرکت‌کنندگان در کنکور، تهیه و تدوین گردیده است، سعی شده که تا حد ممکن دانشجویان عزیز را با جزئیات کامل درس و تست‌ها آشنا کند.

در مطالب درسی به شکل طبقه‌بندی شده همراه با تست‌ها و پاسخ‌های تشریحی در هشت فصل ارائه شده است.

کلیه سؤالات به تناسب امکان دستیابی مربوط به آزمون‌های سراسری کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، مکانیک بیوتکنولوژی، هسته‌ای، مخازن هیدروکربوری تا سال ۱۳۹۶ جمع‌آوری شده است.

با عنایت به این که یقیناً این مجموعه بدون اشکال نخواهد بود، انتظار می‌رود که استادان محترم و دانشجویان عزیز و سایر علاقه‌مندانی که کتاب حاضر را مطالعه می‌نمایند، نقطه نظرات اصلاحی و پیشنهادات خود را برای بهبود کیفی و کمی کار در چاپ‌های بعدی دریغ نفرمایند.

محمد سمیع‌پورگیری

فهرست مطالب

فصل اول. هدایت حرارتی ۱

فصل دوم. هدایت پایدار چند بعدی و هدایت ناپایدار ۱۱۳

فصل سوم. اصول انتقال حرارت جابجایی ۱۶۱

فصل چهارم. انتقال حرارت جابجایی طبیعی (آزاد) ۲۵۵

فصل پنجم. جوشش و چگالش ۲۸۹

فصل ششم. مبدل‌های حرارتی ۳۲۳

فصل هفتم. انتقال حرارت تشعشعی ۳۶۳

منابع ۴۲۹

فصل اول

هدایت حرارتی

هدایت حرارتی

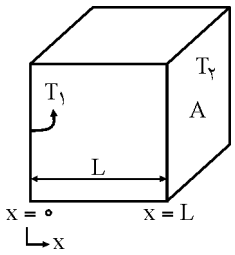
علی‌رغم ترمودینامیک که علم تعادل‌ها است و زمان مطرح نمی‌باشد، در انتقال حرارت زمان یکی از پارامترهای مهم است. برای هر فرآیند انتقالی نیاز به نیروی محرکه داشته که در انتقال حرارت نیرو محرکه همان اختلاف دما می‌باشد. در حالت کلی فرآیندهای انتقال حرارت به صورت‌های زیر انجام می‌شوند:

۱ـ انتقال حرارت هدایتی (رسانشی)

۲ـ انتقال حرارت جابجایی (همرفتی)

۳ـ انتقال حرارت تابشی (تشعشع)

در ابتدا انتقال حرارت نوع هدایتی را در نظر می‌گیریم. این نوع از انتقال حرارت در کلیه فازهای جامد، مایع و گاز انجام می‌شود. هدایت حرارتی نوعی از انتقال حرارت است که نیاز به حرکت مولکول نداشته و انتقال در مقیاس مولکولی می‌باشد. المان شکل (۱ـ۱) را در نظر بگیرید که دارای سطح مقطع A، دمای طرفین T_1 و T_2 و ضخامت L می‌باشد. انتقال حرارت از دمای بیشتر (به عنوان فرض T_1) به دمای کمتر T_2 انجام می‌شود که در هر نقطه جهت انتقال حرارت بر سطح مقطع انتقال عمود می‌باشد.



شکل (۱ـ۱)

فوریه نشان داد که مقدار حرارت منتقله (q) با مساحت سطح مقطع (A) و اختلاف دما رابطه مستقیم و با ضخامت رابطه عکس دارد. لذا داریم:

$$q \sim A\frac{dT}{dx}$$

برای تبدیل تناسب به تساوی ضریب ثابت k وارد می‌شود. معادله نهایی قانون هدایتی فوریه نامیده می‌شود.

قانون هدایتی فوریه: $q = -kA\frac{dT}{dx}$

پارامترهای مختلف از قانون هدایتی فوریه عبارتند از:

q : حرارت انتقال یافته، w یا $\frac{Btu}{hr}$

k : ضریب هدایت حرارتی، $\frac{w}{m.k}$ یا $\frac{Btu}{hr.ft.^{\circ}F}$

A : مساحت سطح مقطع، m^2 یا ft^2

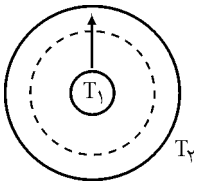
$\frac{dT}{dx}$: گرادیان دما، $\frac{^{\circ}C}{m}$ یا $\frac{^{\circ}F}{ft}$

علامت منفی در قانون هدایتی فوریه برای توجیه قانون دوم ترمودینامیک می‌باشد و به این معنی است که اولاً انتقال حرارت از دمای بالا به دمای پایین صورت گرفته و ثانیاً مقدار K نمی‌تواند منفی باشد زیرا K منفی ناقض قانون دوم ترمودینامیک است. انتقال حرارت نوع هدایتی تابع جهت بوده و یک بردار می‌باشد. مقدار q کل برابر مجموع qها در تمام جهات می‌باشد. اگر مقدار q در واحد سطح انتقال را با q'' نمایش داده و شار حرارتی بنامیم داریم:

$$q'' = q''_x + q''_y + q''_z \qquad , \qquad q'' = -K\left(\vec{i}\frac{\partial T}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial T}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial T}{\partial z}\right)$$

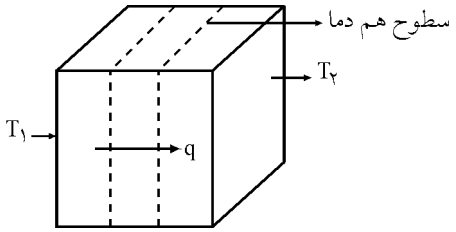
که در آن i، j و k بردارهای یکه می‌باشند.

قانون هدایتی فوریه یک قانون پدیده‌ای (Phenomenology) می‌باشد. همانطوری که گفته شد A مساحت سطح مقطعی می‌باشد که q بر آن عمود می‌باشد. بین صفحهٔ با دمای T_1 و T_2 بی‌نهایت صفحه هم دما داریم که q بر آن عمود است. نیازی نمی‌باشد که حتماً جهت انتقال حرارت مستقیم یا مساحت سطح مقطع مسطح باشد (شکل‌های ۱ـ۲ـa و ۱ـ۲ـb).



سطح کروی ، متغیر = A

شکل (۱ـ۲ـa)



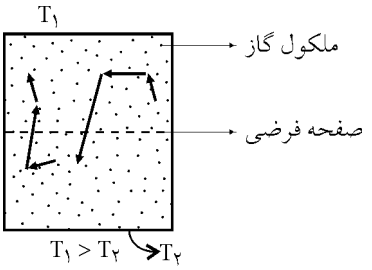
سطح مسطح، ثابت = A

شکل (۱ـ۲ـb)

اگر فرض کنیم که توزیع دما خطی باشد، رابطه $\frac{dT}{dx}$ تبدیل به $\frac{T_2-T_1}{x_2-x_1}$ خواهد شد، لذا داریم:

$$q = -kA\frac{T_2-T_1}{x_2-x_1} = -kA\frac{T_2-T_1}{L-0} = KA\frac{T_1-T_2}{L} = KA\frac{\Delta T}{L}$$

همان طوری که گفته شده انرژی از دمای بالا به دمای پایین منتقل می‌شود که می‌توان طبق تئوری جنبشی گازها این حالت را نشان داد. مقدار انرژی که یک مولکول گاز دارد به حرکات خطی، دورانی و نوسانی مولکول بستگی دارد و هرچه دمای یک نقطه بیشتر باشد انرژی آن نقطه نیز بیشتر است. از نقطه نظر آماری تعداد مولکول‌هایی که از یک صفحه فرضی عبور می‌کنند از طرف دمای بزرگتر بیشتر از دمای کمتر می‌باشد، لذا انتقال حرارت از دمای بالاتر به دمای کمتر است.



شکل (۱ـ۳)

اگر مقدار خالص مولکول‌های عبور کرده از پایین به بالا و از بالا به پایین را محاسبه کنیم، تعداد مولکول‌ها از بالا به پایین بیشتر است. (از دمای بزرگتر T_1 به دمای کوچک‌تر T_2). شکل (۱ـ۳)

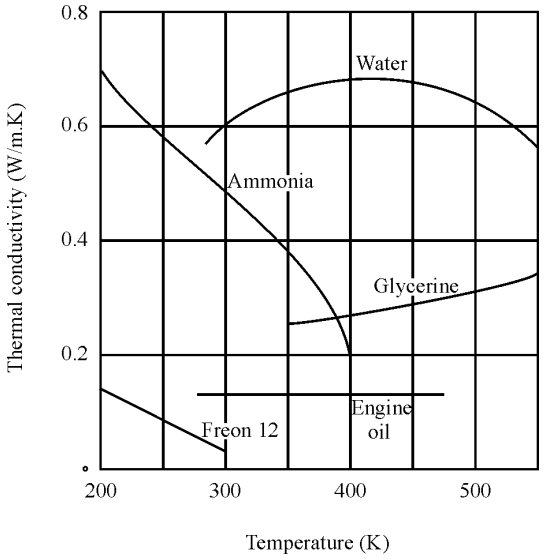
لازم به ذکر است که هدایت فاصله خالص طی شده می‌باشد، به همین دلیل به هدایت حرارتی نفوذ یا پخش حرارتی نیز گویند. هرچه فاصله مولکول‌ها کمتر باشد هدایت حرارتی سریع‌تر صورت می‌گیرد، لذا هدایت حرارتی در جامدات سریع‌تر از مایعات و سریع‌تر از گازها می‌باشد و چون نماینده هدایت K می‌باشد، داریم:

$$K_{\text{جامد}} > K_{\text{مایع}} > K_{\text{گاز}}$$

مکانیزم هدایت حرارتی مواد مختلف

در گازها هدایت حرارتی به واسطه برخورد مولکول‌ها و انتقال انرژی جنبشی صورت می‌گیرد. در حالت کلی در سیالات حرکت بی‌نظم مولکول‌ها باعث انتقال حرارت هدایتی می‌شود. از آنجائی که با افزایش دما تعداد برخوردها افزایش می‌یابد، هدایت حرارتی و لذا K افزایش می‌یابد. با افزایش فشار فاصله مولکول‌ها از هم کم شده، لذا طول برخورد کاهش می‌یابد، از طرفی سرعت برخورد مولکول‌ها افزایش یافته که این دو اثر هم را خنثی می‌کند. پس می‌توان گفت فشار اثری روی ضریب هدایت حرارتی گازها ندارد.

در مایعات مکانیزم مشخصی برای توجیه هدایت حرارتی وجود ندارد. ولی در حالت کلی می‌توان گفت که عموماً با افزایش دما ضریب هدایت حرارتی مایعات کاهش می‌یابد، مگر در دو حالت استثناء که یکی آب و دیگری گلیسرین است. در آب با افزایش دما ابتدا ضریب هدایت حرارتی افزایش و سپس کاهش می‌یابد. در گلیسرین با افزایش دما ضریب هدایت حرارتی افزایش می‌یابد. شکل (۱ـ۴) برای چند مایع ضریب هدایت حرارتی را برحسب دما نشان می‌دهد.



شکل (۱ـ۴)

فشار روی ضریب هدایت حرارتی مایعات بی‌تأثیر است.

در جامدات هدایت حرارتی توسط دو عامل الکترون‌های آزاد و ارتعاش شبکه صورت می‌گیرد و K جامد نیز اثر سر جمع این دو می‌باشد. اگر K ناشی از الکترونهای آزاد را با Ke و K ناشی از ارتعاش شبکه را با KL نمایش دهیم داریم:

$$K = K_e + K_L \quad , \quad K_e = \text{free electrons} \quad , \quad K_L = \text{Lattice Vibration}$$

در یک جامد فلزی عامل اصلی هدایت حرارتی الکترون‌های آزاد می‌باشد و می‌توان از KL در برابر Ke صرفنظر کرد. هرچه تعداد الکترون‌های آزاد افزایش یابد یا مقاومت الکتریکی کاهش یابد، Ke افزایش می‌یابد. در یک آلیاژ نمی‌توان از سهم KL در برابر Ke صرفنظر کرد و هر دو بایستی در نظر گرفته شوند. در جامد غیرفلزی نظیر الماس الکترون آزاد وجود ندارد و تنها ارتعاش شبکه در هدایت حرارتی نقش ایفاء می‌کند. هرچه نظم شبکه بیشتر باشد، KL بزرگتر می‌باشد. در جامد با شبکه منظم نظیر الماس KL غالب می‌باشد، که حتی KL آن از K یک فلز هادی حرارتی خوب نظیر مس و آلومینیم بزرگتر است.

$$(K_{\text{الماس}} = ۲۲۰۰ \ ، \ K_{\text{آلومینیم}} = ۲۰۰ \ ، \ K_{\text{مس}} \approx ۳۰۰ \ \text{w/m.°C})$$

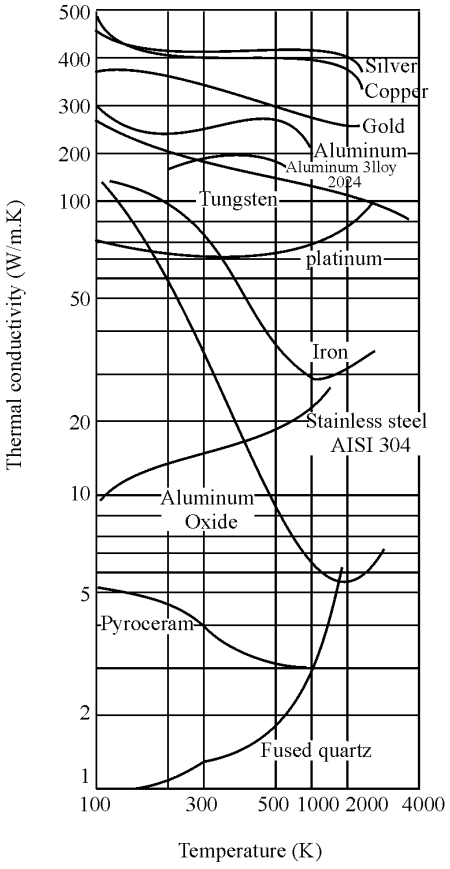
اثر دما روی K جامد را می‌توان بدین ترتیب توضیح داد که هرچه دما افزایش یابد مقاومت الکتریکی افزایش و Ke کاهش می‌یابد و همچنین نظم شبکه نیز به هم می‌ریزد، لذا KL نیز کاهش می‌یابد پس در کل با افزایش دما کاهش هدایت حرارتی جامدات مشاهده می‌شود. فشار روی ضریب هدایت حرارتی جامدات بی‌تأثیر است. البته در بعضی از فلزات نظیر آلومینیوم با افزایش دما K ابتدا کاهش، سپس افزایش و درنهایت باز کاهش می‌یابد.

مرتبه بزرگی ضریب هدایت حرارتی مواد مختلف به قرار زیر است.:

$K(w/m.^{\circ}C)$	۲۲۰۰	۳۰۰	۲۰۴	۷۰	۰/۶ ـ ۰/۸	۸ ـ ۱۴	۰/۰۱۸-۰/۰۴۳
ماده	الماس	مس	آلومینیم	آهن	آب	جیوه	گاز CO_2

برای هوا نیز K در محدودهٔ ۰/۰۱ تا ۰/۱۷۵ برحسب واحد $\frac{W}{m.^{\circ}C}$ قرار دارد.

لازم به توضیح است که ضریب هدایت حرارتی سرعت انتقال حرارت را توجیه می‌کند و به ذخیره انرژی هیچ ربطی ندارد. ذخیره انرژی به پارامتر ظرفیت حرارتی برمی‌گردد. هر چه K جسم بزرگتر باشد جسم حرارت را سریع‌تر انتقال می‌دهد و هرچه ظرفیت حرارتی جسم کوچکتر باشد دمای جسم بیشتر افزایش می‌یابد (در فرآیند گرمایش جسم). هدایت حرارتی نیاز به محیط مادی دارد. تغییرات ضریب هدایت حرارتی برحسب دما برای تعدادی از مواد جامد در شکل (۱-۵) مشاهده می‌شود.



شکل (۱ـ۵)

انتقال حرارت جابجایی

نوعی از انتقال حرارت می‌باشد که برای سیالات اتفاق می‌افتد. سیال می‌تواند ساکن و یا متحرک باشد. اگر سیال ساکن باشد، جابجایی را آزاد و اگر متحرک باشد، اجباری گویند. در جابجایی اجباری عوامل خارجی نظیر پنکه، دمنده و ... وجود دارد در حالی که در جابجایی آزاد هیچ عامل خارجی وجود ندارد. البته در جابجایی آزاد سیال مجاور سطح گرم و یا سرد به واسطه تغییر جرم حجمی که ناشی از نیروهای شناوری است به حرکت در آمده که به این حالت جابجایی آزاد گویند.

اگر جسم جامدی با سطح جانبی A_s و دمای T_s را در محیط با دمای T_∞ در نظر بگیریم، مقدار حرارت منتقله از جسم به محیط متناسب با مساحت جانبی A_s و اختلاف دما می‌باشد، لذا می‌توان نوشت:

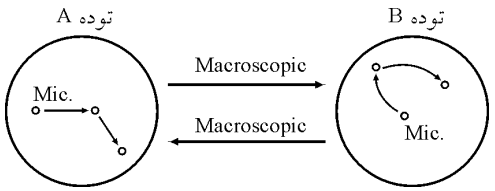
$$q \sim A_s . \Delta T \Rightarrow q = h . A_s . \Delta T$$

h ضریب انتقال حرارت جابجایی محیط می‌باشد که دارای واحد $w/m^2.^\circ C$ $(Btu/hr.ft^2.F)$ می‌باشد. انتقال حرارت جابجایی یک خاصیت مقداری می‌باشد که تابع جهت نمی‌باشد. لازم به ذکر است که انتقال حرارت‌های نوع هدایتی و جابجایی به محیط مادی نیاز داشته و در خلأ صورت نمی‌گیرند.

مکانیزم انتقال حرارت جابجایی

اگر صفحه‌ای با دمای T_s و سیال با دمای T_∞ را در نظر بگیریم و سیال با سرعت مشخصی از روی صفحه در حال وزیدن باشد، در محل تماس سیال با صفحه جامد سرعت صفر بوده و انتقال حرارت در آن نقطه خاص به واسطه هدایت صورت می‌گیرد. لایه بعد از لایهٔ چسبیده به سطح جامد چون در حال حرکت می‌باشد گرم شده و انتقال حرارت را به لایه‌های بعدی فراهم می‌کند. به دلیل هدایت در لایهٔ چسبیده به صفحه جامد، انتقال حرارت جابجایی را هدایت در لایهٔ نازک نیز گویند.

انتقال حرارت جابجایی طبق مکانیزم‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی انجام می‌شود. در مکانیزم ماکروسکوپی توده‌ها با هم برخورد کرده و در مکانیزم میکروسکوپی انتقال در مقیاس ملکولی می‌باشد. اگر برخورد توده‌های A و B در شکل (۱ـ۶) را در نظر بگیریم، در خود توده‌ها نیز انتقال در مقیاس ملکول انجام می‌گیرد. اثر سر جمع این دو با هم موجب جابجایی (Convection) می‌شود. اگر فقط انتقال توده‌ها در نظر گرفته شود فرآیند را ادوکسیون (Advection) گویند.

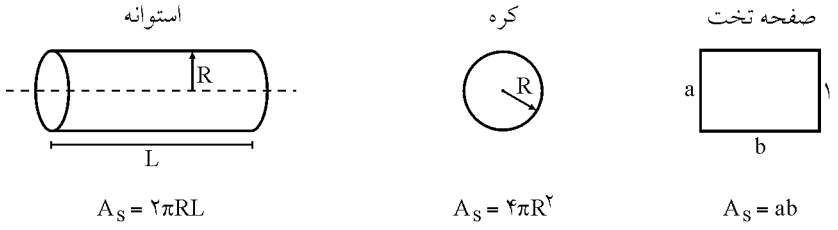


شکل (۱ـ۶)

لازم به ذکر است که K خاصیت تابع شرایط فیزیکی (دما و فشار) و جنس ماده می‌باشد و شکل هندسی تأثیری روی آن ندارد، در حالی که h علاوه بر شرایط بالا تابع خواص دیگر نظیر ویسکوزیته، جرم حجمی و

... و همچنین شکل هندسی نیز می‌باشد. h برای مایعات از گازها بیشتر بوده و هرچه سرعت افزایش یابد نیز بیشتر خواهد شد.

As سطح جانبی جسم بوده که می‌توان در شکل (۱ـ۷) چند مورد از آن را مشاهده کرد.



شکل (۱ـ۷)

تشعشع حرارتی

نوعی از انتقال حرارت است که نیاز به محیط مادی ندارد. از جنس امواج الکترومغناطیس بوده و در خلاء بهتر از محیط مادی منتشر می‌شود. با سرعت نور ($3\times10^8 m/s$) و به شکل بسته‌های انرژی به نام فوتون انتقال می‌یابد که انرژی هر فوتون طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$E = h.f = h\nu \quad , \quad h = 6/625\times10^{-34}\ j.s$$

که h ثابت پلانک و f(ν) فرکانس می‌باشد.

جسم سیاه (Black Body)

جسمی است که مقدار انرژی منتشر شده از آن در واحد سطح و زمان در رابطهٔ زیر صدق کند:

$$E_b = \sigma T_b^4 \qquad , \qquad \sigma = 5/67\times10^{-8} w/m^2k^4$$

E_b انرژی منتشر شده در واحد سطح و زمان (w/m^2) و σ ثابت استفان بولتزمن می‌باشد.

مشاهده عینی جسم سیاه با جسم سیاه از لحاظ تابش حرارتی متفاوت است. چون اکثر اجسامی که در رابطه جسم سیاه صدق می‌کنند عموماً به رنگ تیره می‌باشند نامگذاری بر این اساس صورت گرفته است، در حالی که برف و یخ با اینکه کاملاً سفیداند، در طول موج‌های بلند شبیه جسم سیاه عمل می‌کنند.

ضریب نشر

نسبت انرژی منتشر شده از یک جسم به انرژی منتشر شده از همان جسم اگر سیاه درنظر گرفته شود را ضریب نشر (پخش) نامند (دما در هر دو حالت یکسان است) و طبق تعریف داریم:

$$\text{ضریب نشر} = \varepsilon = \frac{E}{E_b} \qquad , \qquad E = \varepsilon E_b = \varepsilon \sigma T^4$$

ε ضریب نشر جسم بوده و تابع دما، طول موج و شرایط سطح می‌باشد. ε برای جسم سیاه برابر یک بوده و همواره $\varepsilon \leq 1$ می‌باشد.

در جسمی که حرارت یکنواختی تولید می‌شود و در یک محیط جابجایی با ضریب h و دمای T_∞ قرار

گرفته است می‌توان رابطه زیر را نوشت:

$$q_{\text{تولیدی}} = q_{\text{جابجایی}} + q_{\text{تشعشع}}$$

از طرفی تابش حرارتی از یک سطح با مساحت A، دمای Ts و ضریب نشر ε به محیط با دمای T_∞ برابر با $\sigma \varepsilon A(T_s^4 - T_\infty^4)$ می‌باشد، لذا می‌توان نوشت:

$$q_{\text{تولیدی}} = h A(T_s - T_\infty) + \sigma \varepsilon A(T_s^4 - T_\infty^4)$$

در رابطه بالا می‌توان دمای تعادلی سطح جسم Ts را محاسبه کرد. البته بایستی دقت شود که اگر هدف Ts باشد تمام دماها به حالت مطلق (کلوین) نوشته شوند.

اگر مانعی در سر راه انتقال حرارت تابشی قرار دهیم، شدت انتقال حرارت تغییر خواهد کرد، در حالی که این مانع تأثیری روی انتقال حرارت جابجایی نخواهد داشت (قرار دادن مانع جلوی ذغال آتش که منجر به کاهش تابشی حرارتی می‌شود).

در مکان‌هایی که در آن شتاب جاذبه وجود ندارد می‌توان از انتقال حرارت جابجایی و هدایتی اجسام با محیط صرفنظر کرد. به عنوان مثال در سرد شدن یک فنجان چای در خلاء جابجایی و هدایت فنجان با محیط وجود ندارد و تنها هدایت درون چای و خود فنجان و تشعشع آن با محیط بایستی در نظر گرفته شوند.

مقاومت حرارتی Thermal Resistance

عموماً در کلیه فرآیندهای انتقالی، جریان را به شکل نسبت نیرو محرکه به مقاومت تعریف می‌کنند. به عنوان مثال شدت جریان الکتریکی به صورت نسبت اختلاف پتانسیل به مقاومت الکتریکی تعریف می‌شود $(I = \frac{V}{R})$.

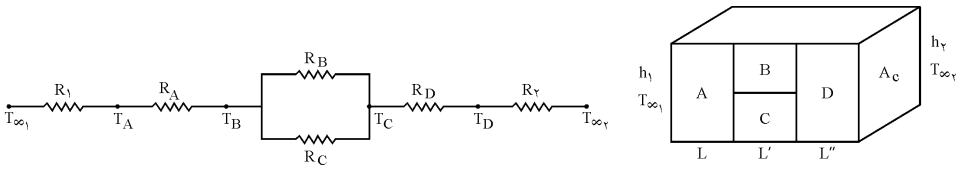
تعریف بالا را برای سطوح مختلف هدایتی و جابجایی می‌توان استفاده کرد.

$$q_{\text{هدایتی}} = KA\frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{\Delta T}{\frac{\Delta x}{K.A}} \qquad , \qquad R_{Cond.} = \frac{\Delta x}{K.A}$$

لذا مقاومت هدایتی جسم مسطح برابر $\frac{\Delta x}{K.A}$ می‌باشد.

$$q_{\text{جابجایی}} = h.As.\Delta T = \frac{\Delta T}{h.As} \qquad , \qquad R_{Conv.} = \frac{1}{h.As}$$

مقاومت جابجایی برای کلیه سطوح اعم از تخت و غیر تخت برابر $\frac{1}{h.As}$ می‌باشد. می‌توان ترکیب مقاومت‌های هدایتی و جابجایی را نیز با هم در نظر گرفت. اگر دیواره‌ای را در نظر بگیریم که از جنس‌های مختلف تشکیل شده (شکل (۱-۸)) و دو طرف این دیواره در دماهای T_{∞_1} و T_{∞_2} قرار داشته باشد، انتقال حرارت جابجایی از دمای بیشتر (به عنوان فرض T_{∞_1}) به دیواره صورت گرفته که در مرحله بعد حرارت توسط لایه‌های مختلف دیواره هدایت شده و در نهایت به محیط با دمای کمتر T_{∞_2} جابجا می‌شود. در شکل (۱-۸) شبکه مقاومتی سیستم نیز نشان داده شده است.



شکل (۱ـ۸)

با توجه به شکل (۱ـ۸) می‌توان نوشت:

$$R_۱=\frac{۱}{h_۱A_C} \quad , \quad R_A=\frac{L}{K_A.A_C} \quad , \quad R_B=\frac{L'}{K_B.A_۱} \quad , \quad R_C=\frac{L'}{K_C.A_۲}$$

$$R_D=\frac{L''}{K_D.A_C} \quad , \quad R_۲=\frac{۱}{h_۲.A_C}$$

که $A_۱$ و $A_۲$ به ترتیب سطح مقطع عبور مقاطع B و C بوده و رابطه $A_۱+A_۲=A_C$ برقرار است. مقاومت کل (معادل) عبارت است از:

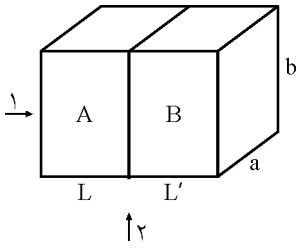
$$R_t = R_{کل} = \sum R_i = R_۱ + R_A + R_{B,C} + R_D + R_۲$$

$R_{B,C}$ مقاومت معادل مقاومت‌های موازی B و C می‌باشد $\left(R_{B,C}=\frac{R_BR_C}{R_B+R_C}\right)$.

می‌توان q (انتقال حرارت) را به شکل نیرو محرکه در هر مقطع به مقاومت در همان مقطع تعریف کرد $\left(q=\frac{\Delta T_{ij}}{R_{ij}}\right)$، لذا داریم:

$$q=\frac{T_{\infty_۱}-T_{\infty_۲}}{R_t}=\frac{T_{\infty_۱}-T_A}{R_۱}=\frac{T_A-T_D}{R_A+R_{BC}+R_D}=....$$

جهت انتقال حرارت پارامتر بسیار مهمی در تعیین مقاومت معادل می‌باشد. به عنوان مثال مقاومت دیوارهٔ شکل (۱ـ۹) در جهت (۱) به شکل سری و در جهت (۲) به شکل موازی می‌باشد. با توجه به شکل (۱ـ۹) داریم:



شکل (۱ـ۹)

جهت (۱) $R_t = R_A + R_B = \frac{L}{K_A . ab} + \frac{L'}{K_B . ab}$

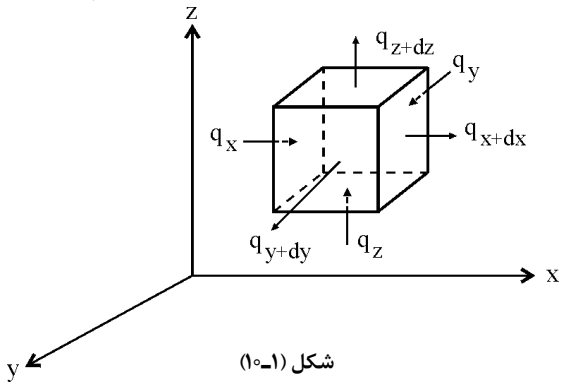
جهت (۲) $R_t = \frac{R'_A . R'_B}{R'_A + R'_B}$, $R'_A = \frac{b}{K_A . aL}$, $R'_B = \frac{b}{K_B . aL'}$

در بعضی محاسبات رابطه $q = \frac{\Delta T}{R} = UA\Delta T$ مطرح می‌شود. U ضریب انتقال حرارت کلی می‌باشد که در فصل مبدل‌های حرارتی (فصل ۶) بررسی می‌شود. در ضمن اگر شار حرارتی q'' را به صورت $q'' = \frac{q}{A} = \frac{\Delta T}{R''}$ بنویسیم و با رابط $q = \frac{\Delta T}{R}$ مقایسه کنیم داریم:

$R'' = R . A$

معادله هدایت حرارتی Heat Equation

با درنظر گرفتن المان حجمی شکل (۱ـ۱۰) و نوشتن موازنهٔ انرژی داریم:



شکل (۱ـ۱۰)

نرخ تجمع = مصرف − تولید + خروجی − ورودی

لازم به توضیح است که ترم‌های ورودی و خروجی پدیده‌های سطحی و ترم‌های تولید، مصرف و تجمع پدیده‌های حجمی می‌باشند. در این مسأله نرخ تولید حرارت در واحد حجم را با $\dot{q}\ (\frac{w}{m^3})$ نمایش می‌دهیم. کلیه ترم‌ها در معادله موازنه برحسب w می‌باشند. ترم‌های مختلف معادله موازنه انرژی عبارتند از:

ورودی : $q_x + q_y + q_z$

خروجی : $q_{x+dx} + q_{y+dy} + q_{z+dz}$

تولید: $\dot{q} . dxdy . dz$

تجمع : $\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\partial (mCT)}{\partial t} = \frac{\partial (\rho VCT)}{\partial t} = \frac{\partial (\rho dxdydzCT)}{\partial t}$

با جایگذاری مقادیر مربوطه در معادله بیلان انرژی داریم:

$$(q_x + q_y + q_z) - (q_{x+dx} + q_{y+dy} + q_{z+dz}) + \dot{q}\, dxdydz = \frac{\partial (\rho\, dx\, dy\, dzCT)}{dt}$$

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x}dx \quad , \quad q_{y+dy} = q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y}dy \quad , \quad q_{z+dz} = q_z + \frac{\partial q_z}{\partial z}dz$$

$$-(\frac{\partial q_x}{\partial x}dx + \frac{\partial q_y}{\partial y}dy + \frac{\partial q_z}{\partial z}dz) + \dot{q}\,dxdydz = dxdydz\frac{\partial(\rho CT)}{\partial t}$$

$$q_x = -KA_x\frac{\partial T}{\partial x} = -K\,dydz\frac{\partial T}{\partial x} \quad , \quad q_y = -Kdxdz\frac{\partial T}{\partial y} \quad , \quad q_z = -Kdxdy\frac{\partial T}{\partial z}$$

با فرض ثابت ماندن خواص داریم:

$$K(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}) + \dot{q} = \rho C\frac{\partial T}{\partial t}$$

اگر خواص ثابت فرض نشود می‌توان معادله موازی انرژی را به صورت زیر نوشت:

$$\nabla(K\nabla T) + \dot{q} = \frac{\partial(\rho CT)}{\partial t}$$

با توجه به رابطه فوق اگر انتقال حرارت یک بعدی، حالت پایدار و بدون تولید حرارت داخلی باشد داریم:

$$\frac{d}{dx}(K\frac{dT}{dx}) = 0$$

با فرض ثابت ماندن خواص و با توجه به تعریف ضریب نفوذ حرارتی $\alpha = \frac{K}{\rho C}$ می‌توان رابطه زیر را نوشت:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{K} = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t}$$

معادله بالا، در شرایط خاص ساده نیز خواهد شد. در معادله بالا می‌توان فرضیات انتقال حرارت سه بعدی، همواره با تولید حرارتی و حالت ناپایدار را ذکر کرد که برای حل نیاز به شش شرط مرزی و یک شرط اولیه دارد. در حالت پایدار ترم $\frac{\partial T}{\partial t}$ برابر صفر خواهد شد.

اگر معادله یک بعدی همراه با تولید حرارت داخلی و حالت ناپایدار باشد داریم:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\dot{q}}{K} = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t}$$

ضریب نفوذ حرارتی α برابر نسبت سرعت انتقال حرارت به ذخیره انرژی می‌باشد. هرچه K بزرگتر باشد، سرعت انتقال حرارت سریع‌تر و هرچه ρC کوچکتر باشد در طی فرآیند گرمایش جسم گرمتر خواهد شد. α بزرگ به مفهوم انتقال سریع حرارت و گرم شدن بیشتر جسم است، در حالی که در خیلی از حالات با K بزرگ اشتباه می‌شود. K بزرگ سریع انتقال می‌دهد ولی سریع گرم نمی‌کند. ضریب نفوذ حرارتی (α) دارای واحد m^2/s می‌باشد. به عنوان نمونه ضریب نفوذ حرارتی (α) چند ماده را مشاهده می‌کنید:

ماده	α (m^۲/s)
نقره	۱۴۹×۱۰$^{-۶}$
طلا	۱۲۷×۱۰$^{-۶}$
مس	۱۱۳×۱۰$^{-۶}$
آلومینیوم	۹۷/۵×۱۰$^{-۶}$
آهن	۲۲/۸×۱۰$^{-۶}$
جیوه (مایع)	۴/۷×۱۰$^{-۶}$
یخ	۱/۲×۱۰$^{-۶}$
بتن	۰/۷۵×۱۰$^{-۶}$
شیشه	۰/۳۴×۱۰$^{-۶}$
پشم شیشه	۰/۲۳×۱۰$^{-۶}$
آب (مایع)	۰/۱۴×۱۰$^{-۶}$
چوب	۰/۱۳×۱۰$^{-۶}$

هرچه α بزرگتر باشد، احساس گرما یا سرما بیشتر و بالاتر است.

با توجه معادله حرارت در حالتی که معادله حرارت یک بعدی، با تولید حرارت داخلی و حالت پایدار باشد داریم:

$$\frac{d^۲T}{dx^۲}+\frac{\dot{q}}{K}=۰ \quad , \quad T=\frac{-\dot{q}x^۲}{۲K}+C_۱x+C_۲$$

در حالت معادله حرارت یک بعدی، بدون تولید حرارتی و حالت پایدار معادله انرژی به صورت زیر ساده می‌شود:

معادله توزیع دما خطی می‌شود.

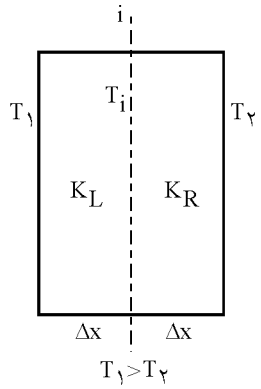
$$\frac{d^۲T}{dx^۲}=۰ \quad , \quad T=C_۱x+C_۲$$

اگر ضریب هدایت حرارتی جسم (K) با دما تغییر کند، بسته به این که K به چه صورتی با دما تغییر کند، توزیع دما در جسم متفاوت خواهد بود.

در حالتی که K با افزایش دما افزایش می‌یابد [$K=K_۰(۱+\alpha T)$]، با توجه به شکل (۱-۱۱) اگر جسم را به دو قسمت مساوی تقسیم کنیم، ضریب هدایت حرارتی سمت چپ جسم (K_L) بزرگتر از سمت راست (K_R) می‌باشد، زیرا متوسط دما در سمت چپ بزرگتر است. حرارت هدایت شده از دمای $T_۱$ به دمای T_i برابر حرارت هدایت شده از دمای T_i به $T_۲$ می‌باشد، لذا می‌توان نوشت:

$$q''_L=q''_R \quad \Rightarrow \quad K_L\frac{(T_۱-T_i)}{\Delta x}=K_R\frac{(T_i-T_۲)}{\Delta x} \quad , \quad K_L>K_R$$

$$\Rightarrow \quad T_۱-T_i<T_i-T_۲ \quad \Rightarrow \quad T_i>\frac{T_۱+T_۲}{۲}$$



شکل (۱ـ۱۱)

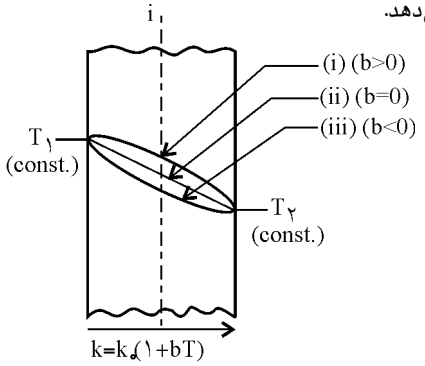
اگر ضریب هدایت حرارتی جسم با افزایش دما کاهش یابد رابطه به صورت $T_i < \frac{T_1+T_2}{2}$ و اگر K مستقل از دما باشد، رابطه $T_i = \frac{T_1 + T_2}{2}$ برقرار است.

در رابطه $K=K_0(1+\alpha T)$، پارامتر α مثبت است. در حالات مختلف K، شکل (۱-۱۲) توزیع دما درون دیواره را نشان می‌دهد.

i : $T_i > \frac{T_1+T_2}{2}$

ii : $T_i = \frac{T_1+T_2}{2}$

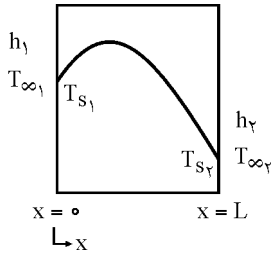
iii : $T_i < \frac{T_1+T_2}{2}$



شکل (۱ـ۱۲)

دیواره‌های همراه با تولید حرارت داخلی

اگر دیوارهٔ مسطحی با تولید حرارت داخلی $(\dot{q})$ را در نظر بگیریم (شکل ۱ـ۱۳ـa) معادله توزیع دما به صورت $T = \frac{-\dot{q}x^2}{2K} + C_1x + C_2$ می‌شود که نیاز به دو شرط مرزی دارد. این دیواره در محیط‌های جابجایی به دمای T_{∞_1} و T_{∞_2} و ضرایب جابجایی h_1 و h_2 قرار دارد. با توجه به شکل (۱ـ۱۱) می‌توان نوشت:



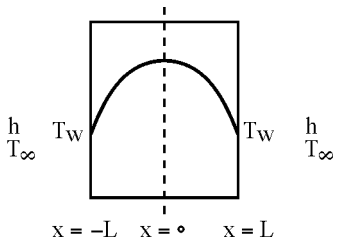
شکل (۱-۱۳ـa)

$$\text{شرایط مرزی} \begin{cases} x = ۰ \quad , \quad T = T_{w_۱} = T_{s_۱} \\ x = L \quad , \quad T = T_{w_۲} = T_{s_۲} \end{cases}$$

با قرار دادن شرایط مرزی فوق در حل عمومی معادله داریم:

$$T = -\frac{\dot{q} x^۲}{۲K} + \frac{۱}{L}\left(T_{w_۲} - T_{w_۱} + \frac{\dot{q} L^۲}{۲K}\right)x + T_{w_۱}$$

چون محیط دو طرف یکسان نمی‌باشد، دمای دو طرف دیواره با هم برابر نبوده و توزیع دما متقارن نمی‌باشد. در حالتی که دو طرف در محیط‌های یکسان باشند، توزیع دما متقارن خواهد شد. (شکل ۱ـ۱۳ـa)



شکل (۱ـ۱۳ـb)

با توجه به شکل (۱ـ۱۳ـb) می‌توان نوشت:

$$\text{شرایط مرزی} \begin{cases} x = ۰ \quad , \quad \dfrac{dT}{dx} = ۰ \\ x = \pm L \quad , \quad T = T_w \end{cases}$$

با قرار دادن شرایط مرزی در معادله مربوطه داریم:

$$T = \frac{\dot{q} L^۲}{۲K}\left(۱ - \left(\frac{x}{L}\right)^۲\right) + T_w$$

دمای ماکزیمم در وسط جسم می‌باشد $(x = ۰)$، لذا داریم:

$$T_{Max} = T_۰ = \frac{\dot{q} L^۲}{۲K} + T_w$$

توزیع دمای متقارن در دیواره را با توجه به پارامترهای مختلف می‌توان بصورت زیر نیز نوشت:

$$\frac{T-T_{\circ}}{T_w-T_{\circ}}=(\frac{x}{L})^{۲}$$

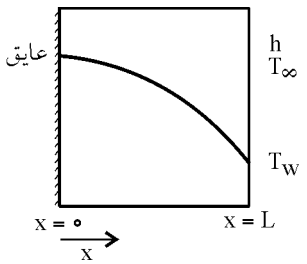
مقدار حرارت تولید شده درون جسم از طریق دیواره‌ها به اطراف جابجا می‌شود، لذا با نوشتن بیلان انرژی دمای دیواره نیز به سادگی محاسبه خواهد شد و داریم:

$$q_{\text{تولیدی}} = q_{\text{جابجایی}} \Rightarrow \dot{q}.A.۲L=h.A_s(T_w-T_\infty)\ ,\ A_s=۲A \Rightarrow T_w=\frac{\dot{q}L}{h}+T_\infty$$

در تمام معادلات بالا "L" برابر نصف ضخامت جسم و A مساحت یک طرف دیواره است.

اگر یک طرف دیواره عایق باشد، دمای ماکزیمم در طرف عایق ظاهر خواهد شد. همچنین شرایط مرزی دقیقاً همان شرایط مرزی حالت قبل خواهد شد و با توجه به شکل (۱-۱۳-c) می‌توان نوشت:

شرایط مرزی $\begin{cases} x=\circ \quad , \quad \dfrac{dT}{dx}=\circ \\ x=L \quad , \quad T=T_w \end{cases}$



شکل (۱-۱۳-c)

$$T=\frac{\dot{q}L^{۲}}{۲K}\left(۱-(\frac{x}{L})^{۲}\right)+T_w$$

$$T_{Max}=\frac{\dot{q}L^{۲}}{۲K}+T_w$$

$T_w=\dfrac{\dot{q}L}{h}+T_\infty$ و $\dot{q}.A.L=h.A(T_w-T_\infty)$ و حرارت جابجا شده = حرارت تولیدی

تمام روابط بالا نیز عین حالت قبل می‌باشد، تنها نکته مهم حالت عایق این است که در معادلات مربوط به عایق "L" کل ضخامت جسم می‌باشد. در حالت عایق تنها از یک طرف حرارت به بیرون جابجا می‌شود.

معادله هدایت حرارتی در حالت کلی

می‌توان معادله هدایت حرارتی یک بعدی حالت پایدار در سیستم‌های مختلف را به شکل کلی زیر نشان داد.

$$\frac{۱}{r^n}\frac{d}{dr}(r^n\frac{dT}{dr})+\frac{\dot{q}}{K}=\circ$$

در رابطه فوق برای سیستم مختصات دکارتی $n=\circ$، برای سیستم مختصات استوانه‌ای $n=۱$ و برای سیستم مختصات کروی $n=۲$ می‌باشد. در سیستم دکارتی کافی است که r را تبدیل به x کنیم.

در سیستم مختصات استوانه‌ای داریم:

$$\frac{۱}{r}\frac{d}{dr}(r\frac{dT}{dr})+\frac{\dot{q}}{K}=\circ \qquad \Rightarrow \qquad \frac{d^{۲}T}{dr^{۲}}+\frac{۱}{r}\frac{dT}{dr}+\frac{\dot{q}}{K}=\circ$$

در سیستم مختصات کروی نیز داریم:

$$\frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}(r^2\frac{dT}{dr})=0 \quad \Rightarrow \quad \frac{d^2T}{dr^2}+\frac{2}{r}\frac{dT}{dr}+\frac{\dot{q}}{K}=0$$

حل معادله کلی هدایت حرارتی در سیستم‌های شعاعی(استوانه‌ای و کروی) بصورت زیر است:

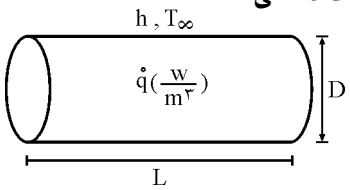
سیستم استوانه‌ای: $\frac{1}{r}\frac{d}{dr}(r\frac{dT}{dr})+\frac{\dot{q}}{K}=0 \quad \Rightarrow \quad d(r\frac{dT}{dr})=\frac{-\dot{q}}{K}dr$

$$\Rightarrow \quad r\frac{dT}{dr}=-\frac{\dot{q}r^2}{2K}+C_1 \quad \Rightarrow \quad \frac{dT}{dr}=-\frac{\dot{q}r}{2K}+\frac{C_1}{r} \quad \Rightarrow \quad T=-\frac{\dot{q}r^2}{4K}+C_1\ln r+C_2$$

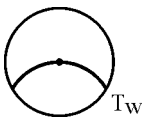
سیستم کروی: $\frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}(r^2\frac{dT}{dr})=0 \quad \Rightarrow \quad d(r^2\frac{dT}{dr})=-\frac{\dot{q}r^2}{K}dr \quad \Rightarrow$

$$r^2\frac{dT}{dr}=-\frac{\dot{q}r^3}{3K}+C_1 \quad \Rightarrow \quad \frac{dT}{dr}=-\frac{\dot{q}r}{3K}+\frac{C_1}{r^2} \quad \Rightarrow \quad T=-\frac{\dot{q}r^2}{6K}-\frac{C_1}{r}+C_2$$

سیستم استوانه با تولید حرارت داخلی



در یک استوانه با تولید حرارت داخلی که در یک محیط جابجایی قرار دارد، دمای ماکزیمم در مرکز استوانه قرار دارد. اگر مقطع استوانه را نمایش دهیم شرایط مرزی زیر را خواهیم داشت که پس از جایگذاری این شرایط در رابطه توزیع دمای سیستم استوانه‌ای داریم:



$$\begin{cases} r=0 \quad , \quad \frac{dT}{dr}=0 \\ r=R \quad , \quad T=T_w \end{cases}$$

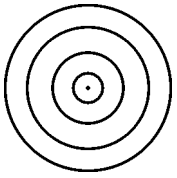
برای اینکه شرط مرزی اول صدق کند بایستی در معادله کلی توزیع دما $C_1=0$ باشد. با توجه به شرایط مرزی فوق داریم:

$$T=-\frac{\dot{q}r^2}{4K}+C_1\ln r+C_2 \quad \Rightarrow \quad T=\frac{\dot{q}R^2}{4K}\left(1-(\frac{r}{R})^2\right)+T_w$$

$$\Rightarrow T_{Max}=T_0=\frac{\dot{q}R^2}{4K}+T_w$$

$T_w = \frac{\dot{q}R}{۲h} + T_\infty$ و $\dot{q}.\pi R^۲ L = h.۲\pi RL(T_w - T_\infty)$ ⇒ حرارت جابجا شده = حرارت تولیدی

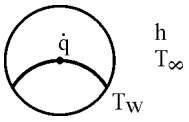
سطوح هم دما در این حالت روی استوانه‌های هم مرکز قرار دارند



دیواره‌های کروی با تولید حرارت داخلی

شرایط مشابه استوانه را در این حالت مشاهده می‌کنیم و داریم:

شرایط مرزی $\begin{cases} r = ۰ \quad , \quad \frac{dT}{dr} = ۰ \\ r = R \quad , \quad T = T_w \end{cases}$



با قرار دادن شرایط مرزی فوق در معادله توزیع دمای سیستم کروی معادله توزیع دما به صورت زیر در می‌آید:

$$T = -\frac{\dot{q}r^۲}{۶K} - \frac{C_۱}{r} + C_۲ \Rightarrow T = \frac{\dot{q}R^۲}{۶K}\left[۱ - \left(\frac{r}{R}\right)^۲\right] + T_w \;,\; T_{Max} = \frac{\dot{q}R^۲}{۶K} + T_w \;,\; T_w = \frac{\dot{q}R}{۳h} + T_\infty$$

در این حالت نیز برای اینکه شرط مرزی اول صدق کند بایستی $C_۱ = ۰$ باشد.

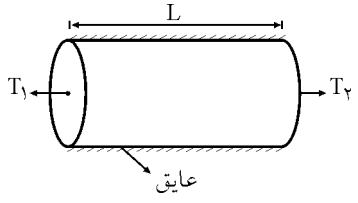
در این حالت سطوح هم دما روی کره‌های هم مرکز قرار دارد.

لازم به ذکر است که مقاومت‌های حرارتی را برای دیواره‌های با تولید حرارت داخلی نمی‌توان به کار برد، زیرا مقدار حرارت انتقال یافته در مقاومت‌های مختلف برابر نخواهد بود.

هدایت در سیستم‌های شعاعی

در سیستم‌های شعاعی اگر هدایت حرارتی در امتداد محور صورت گرفته و سطح مقطع نیز ثابت باشد، مقدار حرارت انتقال یافته طبق روابط مشابه صفحات تخت محاسبه می‌شود. به عنوان مثال اگر یک دیواره استوانه‌ای که سطح جانبی آن عایق شده است را در نظر بگیریم (شکل (۱ـ۱۴))، می‌توان مقدار حرارت انتقال یافته را طبق فرمول زیر محاسبه کرد:

$$q = KA_C \frac{\Delta T}{L} \;,\; A_C = \pi R^۲$$



شکل (۱ـ۱۴)

تست‌ها

۱- به دلیل واکنش هسته‌ای در داخل یک دیوار فلزی، به شکل همگونی حرارت تولید می‌شود و از طریق دو وجه آن به بیرون هدایت می‌یابد.کدام رابطه بیانگر توزیع پایای دما در امتداد ضخامت صفحه در مختصات کارتزین است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

۱) $\nabla^{۲}T = ۰$

۲) $\nabla . K\nabla T + \dot{q} = ۰$

۳) $\frac{\partial}{\partial x}(K\frac{\partial T}{\partial X}) + \rho Cp\frac{\partial T}{\partial x} = ۰$

۴) $\frac{d^{۲}T}{dx^{۲}} + \frac{\dot{q}}{K}\left[۱ + \beta(T - T_L)\right] = ۰$

۲- ضریب نفوذ گرمایی معرّف، ..... می‌باشد. (مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

۱) شدت ذخیره‌سازی حرارت

۲) شدت انتقال حرارت به طریق هدایت

۳) نسبت هدایت حرارتی به ذخیره‌سازی حرارت

۴) نسبت شدت ذخیره‌سازی حرارت به هدایت حرارتی

۳- در یک لولهٔ استوانه‌ای به شعاع داخلی $r_۱$ و شعاع خارجی $r_۲$ روغن داغ با دمای $T_۱$ عبور می‌کند. اگر ضریب انتقال حرارت جابجایی بیرون لوله با هوا h و دمای هوا $T_۲$ و ضریب هدایت حرارتی لوله k باشد، میزان انتقال حرارت در واحد طول لوله در حالت پایا (Steady State) کدام است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

۱) $\frac{T_۱ - T_۲}{\frac{۱}{h} + \frac{Ln(r_۲/r_۱)}{۲\pi k}}$

۲) $\frac{T_۱ - T_۲}{\frac{۱}{۲\pi r_۲ h} + kLn(r_۲/r_۱)}$

۳) $\frac{T_۱ - T_۲}{\frac{r_۲}{۲\pi h} + \frac{Ln(r_۲/r_۱)}{۲\pi k}}$

۴) $\frac{T_۱ - T_۲}{\frac{۱}{۲\pi r_۲ h} + \frac{Ln(r_۲/r_۱)}{۲\pi k}}$

۴- ضریب هدایت گرمایی سه ماده عایق نسبت به یکدیگر $K_۱ > K_۲ > K_۳$ است. بدنه کوره‌ای با سه لایه از این سه ماده عایق با ضخامت یکسان پوشیده شده است. ترتیب لایه‌گذاری چگونه باشد، تا اتلاف گرمایی کوره کمتر شود؟ (ضریب هدایت حرارتی مستقل از دما می‌باشند) (مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

۱) ترتیب لایه‌ها فرقی ندارد.

۲) لایه $k_۳$ را روی سطح کوره می‌گذاریم.

۳) لایه $k_۱$ را روی سطح کوره می‌گذاریم.

۴) لایه $k_۱$ را روی سطح $k_۲$ در وسط $k_۳$ بیرون می‌گذاریم.

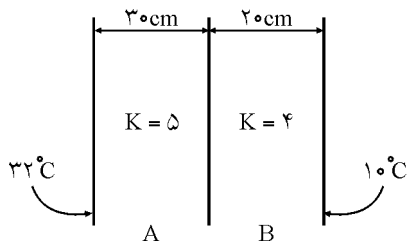
۵ـ در یک استوانه توپر و بلند به شعاع r که در آن انرژی حرارتی به صورت همگون به میزان $g_{\circ} w/m^3$ تولید می‌شود و دمای جداره آن برابر T_r است، میزان شار حرارتی $q(r)$ کدام است؟

(مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

۱) $\frac{g.r^2}{2}$ ۲) $\frac{g.r}{4}$ ۳) $\frac{g.r}{2}$ ۴) $\frac{g.r^2}{2}$

۶ـ یک دیوار مرکب (Compoiste wall) تشکیل شده است از دیوار A به ضخامت ۳۰ سانتیمتر و ضریب هدایت $5w/m°C$، دیوار B ضخامت ۲۰ سانتیمتر و ضریب هدایت حرارتی $4w/m°C$. اگر دما در سطح بیرونی دیوار A، $32°C$ و در سطح بیرونی دیوار B برابر $10°C$ باشد، دما در سطح مشترک A و B برابر است با چند درجه سانتیگراد؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

۱) ۱۲/۵ ۲) ۱۵
۳) ۲۰ ۴) ۲۶



۷ـ دو طرف یک میله بلند به طول یک متر به ترتیب در دمای ثابت $200°C$ و $50°C$ قرار دارند، توزیع دمای حالت پایا (Steady state) در میله کدام است؟ (x بر حسب متر است) (مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

۱) $T(x) = ۱۰۰x + ۱۰۰$ ۲) $T(x) = ۵۰x + ۵۰$
۳) $T(x) = ۲۰۰x + ۵۰$ ۴) $T(x) = ۱۵۰x + ۵۰$

۸ـ در یک گلوله فلزی به قطر ۱۰ سانتیمتر و $k = ۲۰۰\frac{w}{m.°C}$ حرارتی به میزان $1kw/m^3$ به صورت همگون تولید می‌شود. این گلوله در معرض سیالی با دمای $20°C$ و ضریب انتقال حرارت $h = ۱۵w/m^2°C$ قرار گرفته است. دمای مرکز این گلوله به طور تقریب کدام است؟

(مهندسی شیمی سراسری ۸۰)

۱) ۲۵ ۲) ۲۷ ۳) ۲۹ ۴) ۲۱

۹ـ شرط $T\Big|_{r=R}$ برابر مقدار ثابت برای یک گلوله در شرایط پایا به مفهوم چیست؟

(بیوتکنولوژی سراسری ۸۰)

۱) سطح گلوله ایزوله است.
۲) دمای سطح گلوله مقدار ثابتی است.
۳) فلاسک حرارتی از سطح گلوله مقدار ثابتی است.
۴) هم سطح گلوله ایزوله است و هم دمای آن مقدار ثابتی است.

۱۰ـ ضریب مؤثر بودن فین، ε، چنین تعریف می‌شود:

$$\varepsilon = \frac{\text{نرخ انتقال گرما با فین}}{\text{نرخ انتقال گرما بدون فین}}$$

حداکثر مقدار ε در چه شرایطی بدست می‌آید؟ (بیوتکنولوژی سراسری ۸۱)

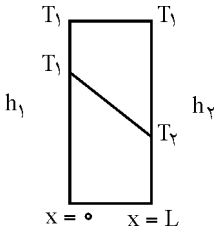
۱) طول فین صفر باشد.

۲) راندمان فین بیشترین باشد.

۳) حاصلضرب راندمان فین در طول فین بیشترین باشد.

۴) حاصلضرب راندمان فین در نسبت سطح کل فین به سطح مقطع فین بیشترین باشد.

۱۱ـ در دیوار قائمی با ضریب هدایتی K ثابت، سمت چپ دیوار در دمای T_1 و سمت راست در $x = L$ در دمای T_2 قرار دارد. کدام معادله توزیع دما برای حالت پایا و هدایت یک بعدی صحیح است؟ (بیوتکنولوژی سراسری ۸۱)



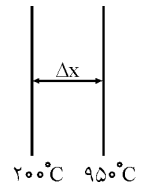
۱) $T = (T_1 - T_2)(\frac{x}{L}) + T_2$

۲) $T = (T_2 - T_1)(\frac{x}{L}) + T_2$

۳) $T = (T_1 - T_2)(\frac{x}{L}) + T_1$

۴) $T = (T_2 - T_1)(\frac{x}{L}) + T_1$

۱۲ـ با توجه به شکل زیر، اگر در حالت پایا $q = ۱۰۰۰ w/m^2$ و $K_T = ۰/۳ + ۰/۰۰۰۲۴T$ باشد (T برحسب °C و k برحسب W/mK)، ضخامت دیواره بر حسب m چقدر است؟ (بیوتکنولوژی سراسری ۸۱)



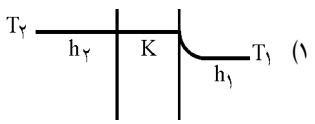
۱) ۰/۳

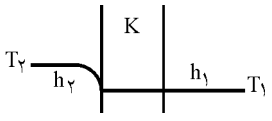
۲) ۰/۳۳

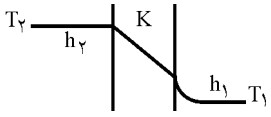
۳) ۰/۳۵

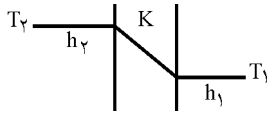
۴) ۰/۳۸

۱۳ـ صفحه‌ای دو سیال با دمای T_1 و T_2 را از هم جدا می‌کند، در صورتی که $T_2 > T_1$ و $h_2 \gg h_1$ و $k \to \infty$ کدام توزیع دما صحیح است؟ (بیوتکنولوژی سراسری ۸۱)

۱)


۲)


۳)


۴)


۱۴ـ سه پره با طول و قطر مساوی از سه جنس آلومینیوم، برنج و چدن با دمای ثابت اولیه ۲۰۰°C را به محیطی با دمای هوا ۲۵°C منتقل می‌کنیم. دمای انتهایی کدام پره کمتر است؟ (بیوتکنولوژی سراسری ۸۱)

$k_{\text{آلومینیوم}} > k_{\text{برنج}} < k_{\text{چدن}}$

۱) برنجی ۲) چدنی

۳) آلومینیومی ۴) دمای انتهایی هر سه پره مساوی است.

۱۵ـ یک فلاسک چای که یک ظرف دو جداره می‌باشد را در نظر بگیرید. اگر بخواهیم چای داخل فلاسک کمترین اتلاف حرارتی را داشته باشد، می‌بایست بین دو جداره کدام عایق را قرار داد؟

(بیوتکنولوژی سراسری ۸۱)

۱) خلاء ۲) هوای خشک ۳) اسفنجی خشک ۴) اسفنجی خیس

۱۶ـ ضریب هدایت حرارتی بی‌نهایت بزرگ با کدام مورد همخوانی دارد؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۱)

۱) $\frac{dT}{dx} = 0$ ۲) $\frac{dT}{dx} = \infty$ ۳) $\frac{dT}{dx} =$ عدد ثابت ۴) $\frac{dT}{dx} = f(x)$

۱۷ـ شوفاژی را در نظر بگیرید که هوای اتاقی را گرم می‌کند. در کدام یک از شرایط زیر نرخ انتقال گرما از شوفاژ به اطاق تقریباً دو برابر می‌شود؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۱)

۱) سطح شوفاژ دو برابر شود.

۲) دمای اطاق دو برابر شود.

۳) ضریب هدایت پره در جداره شوفاژ دو برابر می‌شود.

۴) اگر ضریب انتقال حرارت جابجایی داخلی آب و جداره دو برابر شود.

۱۸ـ دیواری که ضخامت آن ۱۰cm و انرژی برابر $10000 w/m^2$ در آن تولید می‌شود به صورت عمودی در محیطی با دمای ۲۰°C و ضریب جابجایی $h = 10 w/m^2°C$ قرار گرفته است دمای سطوح این دیواره چند درجه سلزیوس است؟ (اگر انتقال گرما یک بعدی فرض شود). (مهندسی شیمی سراسری ۸۱)

۱) ۱۲۰ ۲) ۱۰۰ ۳) ۸۰ ۴) ۷۰

۱۹ـ پره ایده‌آل کدام است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۱)

۱) پره‌ای که طول و عرض آن مساوی باشد.

۲) دما در سراسر آن یکسان و برابر پایه آن باشد.

۳) پره‌ای که در محیطی به کار رود که ضریب جابجایی آن خیلی بزرگ باشد.

۴) دارای سطح بسیار بزرگ باشد تا حرارت بیشتری به محیط انتقال دهد.

۲۰ـ یک دیوارهٔ مرکب از دو جنس مختلف با هدایت حرارتی k_1 و k_2 با ضخامت یکسان تشکیل شده است. هدایت حرارتی معادل کدام است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۱)

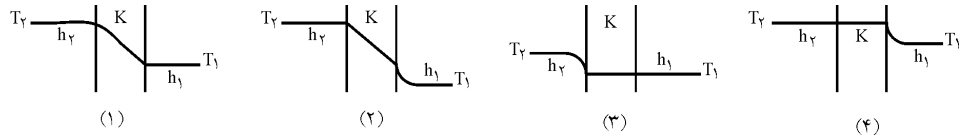
۱) $k_1 k_2$ ۲) $k_1 + k_2$ ۳) $\frac{2k_1 k_2}{k_1 + k_2}$ ۴) $\frac{k_1 + k_2}{k_1 k_2}$

۲۱ـ شیب دما در یک پره با سطح مقطع ثابت در نزدیک پایه پره بدیهی است که: (مهندسی شیمی سراسری ۸۱)

۱) کمتر از شیب دما در انتهای پره می‌باشد. ۲) بیشتر از شیب دما در انتهای پره می‌باشد.

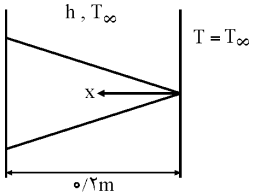
۳) برابر شیب دما در انتهای پره می‌باشد. ۴) همسان با سایر نقاط در طول پره می‌باشد.

۲۲ـ صفحه‌ای دو سیال به دمای T_1 و T_2 را از هم جدا می‌کند. $(T_2 > T_1)$. اگر $h_1 \gg h_2$ باشد کدام توزیع دما منطقی‌تر است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۱)



۲۳ـ توزیع دمای حالت پایا در یک پره مثلثی مطابق شکل با رابطه $T(x) = ۲۰۰ + x^۲$ بر حسب °C بیان شده است. میزان انتقال حرارت آن چند wاست؟ (سطح مقطع پایه پره $A = ۰/۵m^۲$ ، $k = ۱w/m°C$)

(مهندسی شیمی سراسری ۸۱)

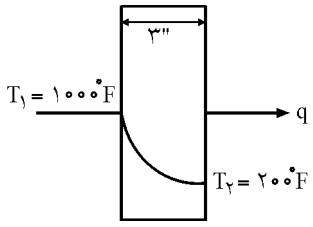


۱) ۰/۱−
۲) ۰/۲−
۳) ۰/۳−
۴) ۰/۵−

۲۴ـ سه دیواره فلزی با ضخامت و سطح مقطع یکسان به ترتیب دارای ضرایب هدایت حرارتی $k_1 = a$ و $k_2 = ۲a$ و $k_3 = ۳a$ هستند. به ازای شار حرارتی مساوی، نسبت اختلاف دمای دیواره‌ها مطابق با کدام گزینه است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۱)

۱) ۳ : ۲ : ۱
۲) ۱ : ۲ : ۳
۳) ۱ : ۱ : ۱
۴) اطلاعات مسأله ناقص است

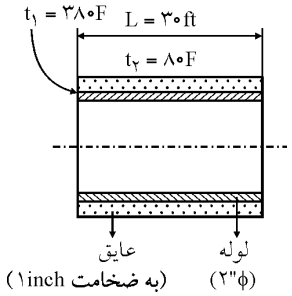
۲۵ـ یک روی تیغه مسی در ۱۰۰۰°F و روی دیگر آن در ۲۰۰°F نگهداری می‌شود. چه مقدار گرما بر واحد سطح برحسب $btu/hr.ft^۲$ از تیغه هدایت می‌شود در صورتی که ضخامت تیغه ۳inch باشد؟ هدایت حرارتی مس را می‌توان $k = ۲۱۵btu/hrft°F$ در نظر گرفت. (مهندسی فرآوری گاز سراسری ۸۲)



۱) $۳/۲۷ \times ۱۰^۵$
۲) $۵/۵۰ \times ۱۰^۵$
۳) $۶/۸۸ \times ۱۰^۵$
۴) $۷/۴۵ \times ۱۰^۵$

۲۶ـ یک لوله به طول ۳۰ft و به قطر اسمی ۲inch (قطر خارجی ۲/۳۷۵inch) با عایق به ضخامت ۱inch $(k = ۰/۰۳۷۵Btuhr.ft°F)$ پوشانده شده است. در صورتی که دماهای داخلی و خارجی عایق به ترتیب ۳۸۰°F و ۸۰°F باشند، مقدار هدررفتگی گرما q بر حسب btu/hr را تعیین

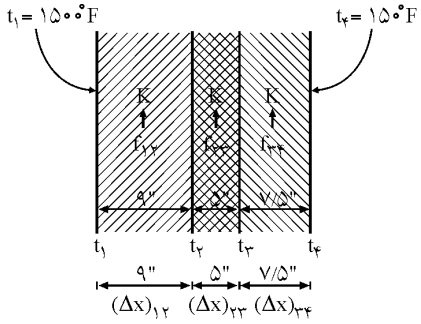
کنید. (مهندسی فرآوری گاز سراسری ۸۲)



۱) ۱۳۰۵۷
۲) ۳۴۷۱
۳) ۵۳۹۶
۴) ۴۹۲۵

۲۷ـ مطلوب است محاسبه انتقال حرارت بر واحد سطح $btu/hrft^2$ و دماهای فصل مشترک بر دیواره یک کوره (t_2 , t_3) برحسب فارنهایت که از سه لایه آجر تشکیل شده است. داخلی‌ترین لایه شامل ۹inch آجر نسوز ($K=۰/۷۲btu/hr.ft°F$) لایهٔ میانی به ضخامت ۵inch ($K=۰/۰۸btu/hr.ft°F$) و بیرونی‌ترین لایه شامل ۷/۵inch آجر قرمز ($K = ۰/۵btu/hr.ft°F$) می‌باشد. دماهای داخلی و خارجی دیواره مرکب به ترتیب $۱۵۰۰°F$ و $۱۵۰°F$ می‌باشند. (مهندسی فرآوری گاز سراسری ۸۲)

۱) ۱۸۰ و ۱۳۱۲/۵ و ۳۷۵
۲) ۱۱۲ و ۱۲۰۰ و ۳۰۵
۳) ۱۵۷ و ۱۰۵۰ و ۵۱۲
۴) ۱۶۳ و ۱۱۵۷ و ۴۴۵



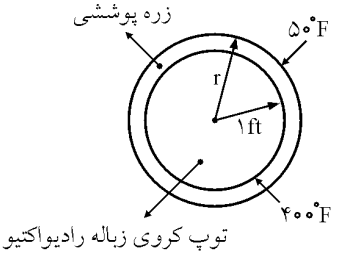
۲۸ـ دمای داخلی یک کوره $۱۵۰۰°F$ و دیواره‌های آن با آجر نسوز به ضخامت ۴inch پوشش داده شده است دمای محیط $۱۰۰°F$ است. مطلوب است محاسبه میزان انتقال حرارت (q) برحسب $Btu/hr.ft^2$ از دیواره‌های کوره در صورتی که تغییرات هدایت انتقال حرارتی با آجر نسوز با رابطه زیر داده شده باشد؟ (مهندسی فرآوری گاز سراسری ۸۲)

$$k = ۰/۱۰ + ۵ \times ۱۰^{-۵}T\{Btu/hr\text{-}ft°F\}$$

۱) ۵۰۲ ۲) ۷۸۱ ۳) ۵۸۸ ۴) ۹۱۵

۲۹ـ مطلوب است محاسبه ضخامت (برحسب اینچ) ایمن زره پوشش لازم روی یک توپ کروی زباله رادیواکتیو به شعاع ۱ فوت در دمای $۴۰۰°F$ که باید در اقیانوس با دمای محیطی آب $۵۰°F$ دفن شود. توپ زباله از خودگرمایی به شدت $۴۴۰Btu/hr$ بیرون می‌دهد. هدایت حرارتی ماده پوششی $k = ۰/۰۲Btu/hr.ft°F$ می‌باشد. (مهندسی فرآوری گاز سراسری ۸۲)

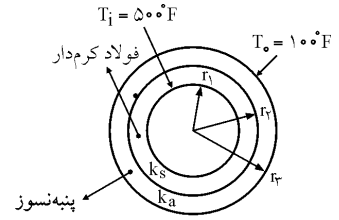
۱) ۱
۲) ۳
۳) ۵
۴) ۷

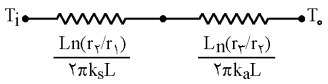


توپ کروی زباله رادیواکتیو

۳۰ـ یک لوله با دیواره ضخیم از فولاد کُرُم‌دار، که قطر داخلی آن ۱inch و قطر خارجی آن ۲inch و هدایت حرارتی آن $k=۱۳Btu/hr.ft°F$ می‌باشد، با یک لایه به ضخامت ۲inch از پنبه نسوز $(k=۰/۰۴۸)$ پوشانده شده است. اگر دما در داخل لوله ۵۰۰°F و در خارج آن ۱۰۰°F باشد، انتقال حرارت (q) برحسب btu/hr.ft را محاسبه کنید. **(مهندسی فرآوری گاز سراسری ۸۲)**

۱) ۱۶۵/۲
۲) ۱۹۶/۲
۳) ۱۳۵/۷
۴) ۱۷۳/۴





۳۱ـ مطلوب است محاسبه میزان انتقال حرارت بر واحد سطح بر حسب وات بر متر مربع از دیواره‌های یک اطاق و دمای فصل مشترک بین چوب و تخته چوب پنبه‌ای بر حسب k که دماهای داخل و خارج آن به ترتیب ۲۵۵/۴ و ۲۹۷/۱ کلوین می‌باشد. دیواره‌های اطاق از ۳inch بتن، ۴inch تخته چوب پنبه‌ای و $\frac{۱}{۲}$ inch چوب ساخته شده است. هدایت حرارتی مواد دیواره از قرار زیر است: **(مهندسی فرآوری گاز سراسری ۸۲)**

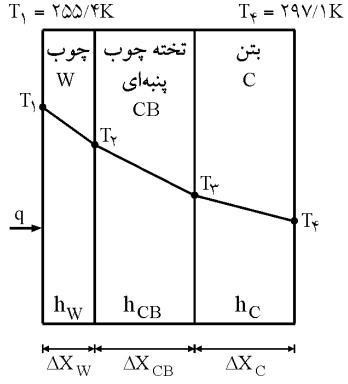
$k(\text{بتن}) = ۰/۷۶۲ \text{ w/mk}$

$k(\text{تخته چوب پنبه‌ای}) = ۰/۰۴۳۳ \text{ w/mk}$

$k(\text{چوب}) = ۰/۱۵۱ \text{ w/mk}$

(به ترتیب $q(w/m^۲)$ و $T_۲(k)$ می‌باشد)

۱) ۱۶/۴۸- و ۲۵۶/۷۹
۲) ۱۰/۵- و ۲۵۶/۳۱
۳) ۷/۵- و ۲۷۵/۶
۴) ۲/۰۵- و ۲۵۱/۷۱



۳۲ـ نسبت انتقال حرارت از میله با اختلاف دمای ۲۰ درجه با هوا با همان میله با اختلاف ۱۰ درجه سانتیگراد برابر است با: (مهندسی هسته‌ای و بیوتکنولوژی سراسری ۸۲)

۱) ۱/۴ ۲) ۲ ۳) ۲/۳۸ ۴) ۲

۳۳ـ لوله‌ای با قطر ۴cm و $k = ۲۰۰w/m.k$ توسط عایقی با ضریب هدایت $k = ۰/۳w/m.k$ پوشانده می‌شود. اگر ضریب انتقال حرارت جابجایی محیط برابر $h = ۱۰w/m^۲k$ باشد، جهت حداکثر شدت انتقال حرارت ضخامت عایق برابر است با: (مهندسی هسته‌ای و بیوتکنولوژی سراسری ۸۲)

۱) ۰/۵ سانتی‌متر ۲) ۱ سانتی‌متر ۳) ۲ سانتی‌متر ۴) ۳ سانتی‌متر

۳۴ـ در چه شرایطی درجه حرارت بین دو سطح از یک جسم جامد به صورت خطی بیان می‌گردد؟ (مهندسی هسته‌ای و بیوتکنولوژی سراسری ۸۲)

۱) اگر A و K ثابت باشد. ۲) پایدار باشد و A ثابت باشد.

۳) در حالت پایداری همواره خطی است. ۴) در حالت پایداری و ثابت بودن K و A.

۳۵ـ میله‌ای‌است‌به شعاع ۲۰cm و ضریب رسانش ۵۰w/mc که درون آن تولید انرژی داخلی به میزان $۱/۵MW/m^۳$ صورت می‌گیرد. دمای سطح میله صفر درجه سانتیگراداست. دما در مرکز آن چقدر است؟ (مهندسی هسته‌ای و بیوتکنولوژی سراسری ۸۲)

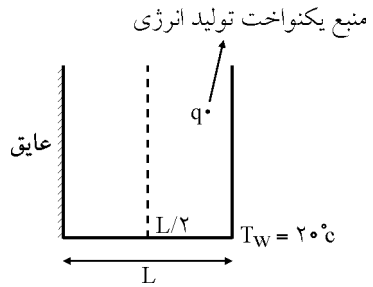
۱) ۲۰۰°C ۲) ۲۵۰°C ۳) ۳۰۰°C ۴) ۴۰۰°C

۳۶ـ دیواره مرکبی متشکل از دو دیواره مسطح که از نظر هندسی کاملاً مشابه بوده و ضریب هدایتی $K_۱$ چهاربرابر $K_۲$ می‌باشد. اگر در حالت پایادمای دو طرف دیواره $T_۱$ و $T_۲$ باشند، دمای فصل مشترک دو دیواره برابر است با: (مهندسی هسته‌ای و بیوتکنولوژی سراسری ۸۲)

۱) $\frac{۱}{۵}(۴T_۱ + T_۲)$ ۲) $\frac{۱}{۲}(T_۱ + T_۲)$ ۳) $\frac{۱}{۵}(T_۱ + ۴T_۲)$ ۴) $\frac{۱}{۵}(۵T_۱ + ۴T_۲)$

۳۷ـ در سیستم نشان داده در کدام قسمت درجه حرارت ماکزیمم است؟ (مهندسی هسته‌ای و بیوتکنولوژی سراسری ۸۲)

۱) در مرکز دیوار
۲) روی سطح عایق
۳) در روی دیواره خارجی
۴) با اطلاعات داده شده نمی‌توان تعیین نمود.

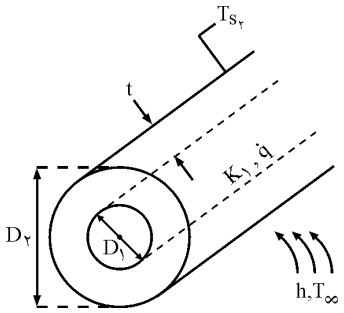


۳۸ـ کارآیی یک پره (Fin Performance): (مهندسی هسته‌ای و بیوتکنولوژی سراسری ۸۲)

۱) به خواص فیزیکی ماده سازنده پره ارتباطی ندارد.
۲) به کاهش مقاومت جابجایی در مقابل کاهش مقاومت هدایتی بستگی دارد.
۳) به افزایش مقاومت جابجایی در مقابل کاهش مقاومت هدایتی بستگی دارد.
۴) به کاهش مقاومت جابجایی در مقابل افزایش مقاومت هدایتی بستگی دارد.

۳۹ـ در داخل یک میله استوانه‌ای طویل و توپر به قطر ۱۵cm و ضریب هدایت ۱w/m.k، حرارتی به طور یکنواخت به مقدار $۳۰۰۰۰w/m^۳$ تولید می‌شود. این میله داخل یک پوشش استوانه‌ای به ضخامت ۲۰۰mm و ضریب هدایت ۵w/m.k قرار دارد. سطح خارجی عایق در معرض جریان هوا با دمای ۲۵°C و ضریب جابجایی $۲۰w/m^۲.k$ قرار دارد. مطلوب است دمای سطح خارجی عایق.

(مهندسی شیمی سراسری ۸۲)



۱) ۳۵°C
۲) ۴۰°C
۳) ۴۵°C
۴) ۵۰°C

۴۰ـ دیواری است به ضخامت ۲L، دما در $x = ۰$ برابر ۹۵°C در $x = L$ برابر ۶۲°C و در $x = ۲L$ برابر ۳۵°C است. کدام یک از موارد زیر صحیح است؟ **(مهندسی شیمی سراسری ۸۲)**

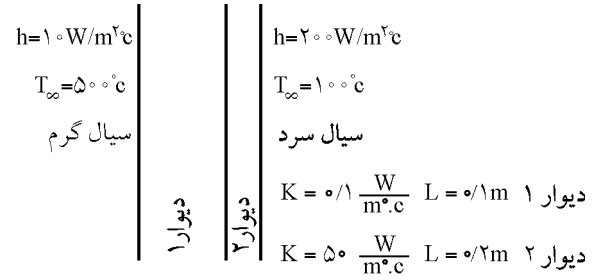
۱) ضریب رسانش دیوار مستقل از دما است.
۲) ضریب رسانش دیوار مستقل از زمان است.
۳) ضریب رسانش دیوار با افزایش دما کم می‌شود.
۴) ضریب رسانش دیوار با افزایش دما زیاد می‌شود.

۴۱ـ در رابطه با عایق‌بندی یک لوله به شعاع خارجی R کدام یک از جملات زیر صحیح است؟

(مهندسی شیمی سراسری ۸۲)

۱) شعاع بحرانی عایق فقط وابسته به جنس لوله می‌باشد.
۲) شعاع بحرانی عایق‌بندی فقط وابسته به جنس عایق و جنس لوله می‌باشد.
۳) شعاع بحرانی عایق‌بندی فقط وابسته به جنس لوله و ضریب حرارت جابجایی هوای اطراف می‌باشد.
۴) شعاع بحرانی عایق‌بندی فقط وابسته به جنس عایق و ضریب حرارت جابجایی هوای اطراف می‌باشد.

۴۲ـ در شکل نشان داده شده مقاومت تعیین کننده در انتقال حرارت کدام است؟ **(مهندسی شیمی سراسری ۸۲)**

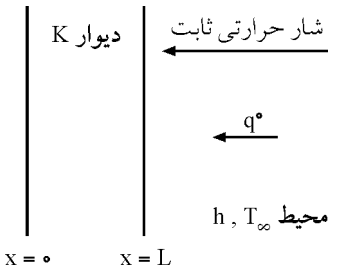


۱) دیوار ۱
۲) دیوار ۲
۳) سیال گرم
۴) سیال سرد

۴۳- دیوار مسطحی به ضخامت ۲۰cm و دمای سطوح ۲۰°C و ۲۰۰°C مفروض است. چنانچه ضریب هدایت دیوار با رابطه $k = ۰/۳(۱ + ۱۰^{-۳}T)$ داده شده باشد (T بر حسب °C و K برحسب w/m.k) شار انتقال حرارت را برحسب $w/m^۲$ حساب کنید؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۲)

۱) ۱۰۰ ۲) ۲۰۰ ۳) ۳۰۰ ۴) ۴۰۰

۴۴- با توجه به شکل شرط مرزی برابر $x = L$ چگونه است؟ (مهندسی شیمی سراسری ۸۲)



۱) $q'' - k\frac{dT}{dx} + h(T - T_\infty) = ۰$

۲) $q'' - k\frac{dT}{dx} - h(T - T_\infty) = ۰$

۳) $q'' + k\frac{dT}{dx} - h(T - T_\infty) = ۰$

۴) $q'' + k\frac{dT}{dx} + h(T - T_\infty) = ۰$

۴۵- ضخامت بحرانی عایق در لوله‌ها به چه دلیلی بیان می‌شود؟ (مهندسی شیمی ـ ۸۳)

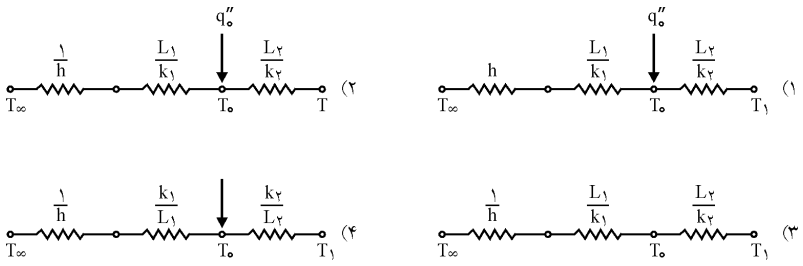
۱) افزایش ضخامت عایق موجب ازدیاد سطح و افزایش انتقال حرارت می‌شود.

۲) ضخامت بحرانی براساس حداکثر کردن افت حرارتی لوله‌ای با عایق استوانه‌ای به دست می‌آید.

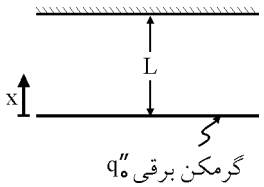
۳) افزایش ضخامت عایق بیشتر از شعاع بحرانی موجب افزایش هزینه خرید عایق و کاهش انتقال حرارت است.

۴) این مساله فقط در مورد عایق الکتریکی معنی دارد و در مورد عایق حرارتی قطر بهینه بی‌معنی است.

۴۶- در شکل زیر شار حرارتی $q''_۰$ به صورت تشعشع به سطح نشان داده شده برخورد کرده و جذب می‌شود و دمای سطح را در $T_۰$ ثابت نگهدارید. مدار معادل حرارتی در شرایط پایا به صورت کدامیک از گزینه‌های زیر خواهد بود؟ (مهندسی شیمی ـ ۸۳)



۴۷ـ یک سیستم یک بعدی با خواص فیزیکی ثابت در دمای اولیه T_i قرار دارد و ناگهان در تماس با یک گرمکن برقی قرار گرفته و شار حرارتی $q''_\circ$ در سطح پایینی ایجاد می‌گردد. معادلهٔ دیفرانسیل مربوط به دما و شرایط مرزی و اولیه به صورت کدامیک از جوابهای زیر خواهد بود؟ (مهندسی شیمی ـ ۸۳)



۱) I.C. $\tau=\circ \quad T=T_i$
B.Cs: $x=\circ \quad q''_\circ=-k\frac{\partial T}{\partial x}$
$x=L \quad \frac{\partial T}{\partial x}=\circ$
D.E: $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}=-\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial \tau}$

۲) I.C. $\tau=\circ \quad T=T_i$
B.Cs: $x=\circ \quad q''_\circ=-k\frac{\partial T}{\partial x}$
$x=L \quad \frac{\partial T}{\partial x}=\circ$
D.E: $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}=\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial \tau}$

۳) I.C. $\tau=\circ \quad T=T_i$
B.Cs: $x=\circ \quad T=T_\circ$
$x=L \quad \frac{\partial T}{\partial x}=\circ$
D.E: $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+q''/k=\frac{-1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial \tau}$

۴) I.C. $\tau=\circ \quad T=T_i$
B.Cs: $x=\circ \quad q''_\circ=-k\frac{\partial T}{\partial x}$
$x=L \quad \frac{\partial T}{\partial x}=\circ$
D.E: $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+q''/k=\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial \tau}$

۴۸ـ جهت گرمتر نگه داشتن چای در فلاسک کدام پیشنهاد مؤثرتر است؟ (مهندسی شیمی ـ ۸۳)

۱) کم کردن فاصله دو جداره
۲) انتخاب شیشه از جنس پیرکس
۳) خلاء بیشتر فضای بین دو جداره
۴) تعبیه یک فویل آلومینیومی در فضای بین دو جداره

۴۹ـ در مورد عایق‌های لیفی (مثل پشم شیشه) نسبت $\phi=\frac{\text{حجم هوا + حجم الیاف}}{\text{حجم هوای به تله افتاده}}$ می‌تواند معرف کیفیت عایق باشد. به ازای چه مقدار ϕ عایق بهتری داریم؟ (مهندسی شیمی ـ ۸۴)

۱) هر چه ϕ بزرگتر باشد عایق مطلوبتر است.
۲) هر چه ϕ کمتر باشد عایق مطلوبتر است.
۳) برای عایق سرماسازی ϕ کوچک و برای عایق گرما ϕ بزرگ مطلوب است.
۴) مقدار ϕ تأثیری در مطلوبیت عایق ندارد.

۵۰ـ یک میله فلزی به شعاع ۱۰ سانتیمتر و طول ۲۵ سانتیمتر مفروض است. این میله از هر طرف با فلاکس ثابت $\frac{W}{m^2}$ ۵۰۰ حرارت داده می‌شود. دمای محیط $20^\circ C$ و ضریب انتقال حرارت $40 \frac{W}{m^2 {}^\circ C}$ می‌باشد، دمای سطح خارجی این میله برابر است با: (مهندسی شیمی ـ ۸۴)

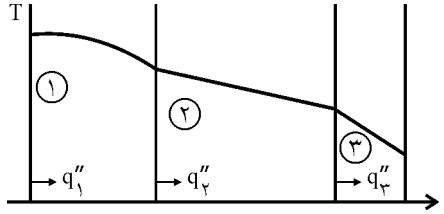
۱) $40^\circ C$ ۲) $35^\circ C$ ۳) $30^\circ C$ ۴) $25^\circ C$

۵۱ـ دیواره‌ای به ضخامت L با هدایت حرارتی $k_\circ T^2$ ($k_\circ$ عدد ثابت و T دما) در دست است. اگر دو طرف آن در دمای T_1 و T_2 ($T_1 > T_2$) باشند، میزان انتقال حرارت پایا کدام است؟ (مهندسی شیمی ـ ۸۴)

۱) $q = \frac{K_\circ^2 (T_1^2 - T_2^2)}{3L}$ ۲) $q = \frac{K_\circ (T_1^3 - T_2^3)}{3L}$

۳) $q = \frac{K_\circ (T_1^3 + T_2^3)}{3L}$ ۴) $q = \frac{K_\circ (T_1 - T_2)}{3L}$

۵۲ـ در شکل زیر توزیع دمای پایا در یک دیوارهٔ مرکب که از سه ماده با ضرائب هدایت حرارتی و مساحت همسان تشکیل شده است دیده می‌شود کدام یک از جملات زیر q'' شار حرارتی در مرزها می‌باشد؟ (مهندسی شیمی ـ ۸۴)



۱) $q''_1 < q''_3 < q''_2$

۲) $q''_1 < q''_2 < q''_3$

۳) $q''_1 < q''_2 \quad , \quad q''_3 > q''_2$

۴) $q''_1 < q''_2 \quad , \quad q''_3 = q''_2$

۵۳ـ دوفین داغ مسی و شیشه‌ای کاملاً مشابه در معرض هوای سرد با دمای ثابت و ضریب انتقال حرارت یکسان قرار گرفته‌اند. گرادیان دما $(\frac{\partial T}{\partial X})$ در پایه فین: (مهندسی شیمی ـ ۸۴)

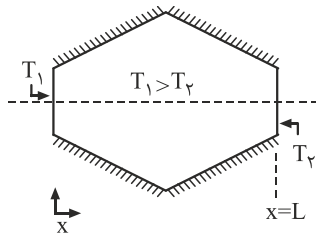
۱) در فین مسی کمتر از شیشه است.

۲) در فین مسی بیشتر از شیشه است.

۳) گرادیان دما در هر دو برابر است.

۴) بستگی به ضریب انتقال حرارت ممکن است در یکی کمتر یا بیشتر باشد.

۱۸۲- هدایت حرارتی حالت پایا در شکل زیر که از بالا و پایین عایق شده است را در نظر بگیرید. اگرخواص حرارتی ثابت باشند، کدام عبارت صحیح است؟ (سراسری شیمی - ۹۶)



۱) شار حرارتی در تمام طول x ثابت است.

۲) بیشینه شار حرارتی در $x = ۰$ اتفاق می‌افتد.

۳) بیشینه شار حرارتی در $x = \frac{L}{۲}$ اتفاق می‌افتد.

۴) بیشینه شار حرارتی در $\begin{pmatrix} x = ۰ \\ , \\ x = L \end{pmatrix}$ اتفاق می‌افتد.

۱۸۳- در انتخاب جنس ماده دسته یک ظرف آشپزخانه که در معرض آتش قرار می‌گیرد ۴ کاندیدا وجود دارد. کدام یک مناسب‌تر است؟ (سراسری شیمی - ۹۶)

۱) $\begin{cases} k = ۴۰۰\,W/m.^\circ C \\ C_p = ۰/۴\,kJ/kg.^\circ C \\ \rho = ۹۰۰۰\,kg/m^۳ \end{cases}$

۲) $\begin{cases} k = ۴۰۰\,W/m.^\circ C \\ C_p = ۰/۴\,kJ/kg.^\circ C \\ \rho = ۱۱۰۰۰\,kg/m^۳ \end{cases}$

۳) $\begin{cases} k = ۰/۵\,W/m.^\circ C \\ C_p = ۱/۰\,kJ/kg.^\circ C \\ \rho = ۲۰۰۰\,kg/m^۳ \end{cases}$

۴) $\begin{cases} k = ۰/۵\,W/m.^\circ C \\ C_p = ۳/۰\,kJ/kg.^\circ C \\ \rho = ۲۰۰۰\,kg/m^۳ \end{cases}$

۱۸۴- توزیع دما در یک دیواره به ضخامت $۰/۵\,m$ با $k = ۵\,\frac{kcal}{mhrK}$ در لحظه‌ای خاص به صورت زیر است.

$$T = ۳۰۰ - ۵۰۰x + ۱۰۰x^۲ + ۱۴۰x^۳$$

(x فاصله از سطح داغ‌تر است). انرژی حرارتی ذخیره شده در دیواره به ازای واحد سطح دیواره چند $\frac{kcal}{hr}$ است؟ (سراسری شیمی - ۹۶)

۱) ۱۰۲۵ ۲) ۱۲۲۵ ۳) ۱۷۵۰ ۴) ۲۰۰۰

۱۸۵- یک میلهٔ فلزی طویل $(D \ll L)$ در دمای اولیه‌ای برابر با محیط $(T_i = T_\infty)$ قرار دارد. به دلیل تولید انرژی در میله با نرخ $(\frac{W}{m^۳})\dot{E}_g^\circ$، دمای میله بالا رفته و تبادل حرارت جابه‌جایی با ضریب **h** آغاز می‌گردد. با فرض یکنواخت (لامپ) بودن دمای میله، اختلاف دمای نهایی (پایدار) میله و محیط چقدر خواهد بود؟ $(\Delta T = T - T_\infty)$ (سراسری مکانیک - ۹۶)

۱) $\Delta T = \frac{\dot{E}_g^\circ D^۲}{۴hL}$

۲) $\Delta T = \dot{E}_g^\circ \frac{۴D}{h}$

۳) $\Delta T = \dot{E}_g^\circ \left(\frac{D}{۲h}\right)$

۴) $\Delta T = \dot{E}_g^\circ \left(\frac{D}{۴h}\right)$

پاسخنامه تست‌ها

۱ـ گزینه (۲) صحیح است.

۲ـ گزینه (۳) صحیح است.

$$\text{ضریب پخش حرارتی} = \alpha = \frac{K}{\rho Cp} = \frac{\text{هدایت حرارت}}{\text{ذخیره حرارت}}$$

۳ـ گزینه (۴) صحیح است.

مقاومت جابجایی هوای خارج و هدایتی لوله به شکل موازی با هم قرار می‌گیرند.

$$R_t = R_۱ + R_۲ = \frac{۱}{۲\pi r_۲ L h} + \frac{Ln(\frac{r_۲}{r_۱})}{۲\pi L K}$$

$$L = ۱ \quad \Rightarrow \quad R_t = \frac{۱}{۲\pi r_۲ h} + \frac{Ln(\frac{r_۲}{r_۱})}{۲\pi K}$$

$$q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{T_۱ - T_۲}{\frac{۱}{۲\pi r_۲ h} + \frac{Ln(\frac{r_۲}{r_۱})}{۲\pi K}}$$

در این تست فرض شده است که دمای سطح داخلی لوله با دمای روغن برابر است.

۴ـ گزینه (۲) صحیح است.

ابتدا ماده‌ای قرار می‌گیرد که K کوچکتری دارد.

۵ـ گزینه (۳) صحیح است.

$$\text{کل حرارت} = \text{(حجم)(مقدار حرارت تولید شده)} \quad \Rightarrow \quad \dot{q}.V = q$$

$$q = \dot{q}.V = (\dot{q})(\pi r^۲ L) \quad , \quad q'' = \frac{q}{A} = \frac{\pi r^۲ L \dot{q}}{۲\pi r L} = \frac{\dot{q}.r}{۲} \quad , \quad \dot{q} = g_۰$$

۶ـ گزینه (۳) صحیح است.

$$K_A \frac{(T_A - T_i)}{L_A} = K_B \frac{(T_i - T_B)}{L_B} \quad \Rightarrow \quad ۵\frac{(۳۲ - T_i)}{۰/۳} = ۴\frac{(T_i - ۱۰)}{۰/۲} \quad \Rightarrow \quad T_i = ۲۰^\circ C$$

۷ـ گزینه (۴) صحیح است.

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0 \quad \Rightarrow \quad T = C_1x + C_2$$

$$\text{شرایط مرزی} \begin{cases} x_1 = 1m \quad , \quad T_1 = 200^\circ C \\ x_2 = 0 \quad , \quad T_2 = 50^\circ C \end{cases} \Rightarrow \quad T = 150x + 50$$

۸ـ گزینه (۴) صحیح است.

$$T_0 = \frac{\dot{q}R^2}{6K} + T_w = \frac{\dot{q}R^2}{6K} + \frac{\dot{q}R}{3h} + T_\infty = \frac{(1000)(0/05)^2}{(6)(200)} + \frac{(1000)(0/05)}{(3)(15)} + 20 = 21^\circ C$$

۹ـ گزینه (۲) صحیح است.

۱۰ـ گزینه (۲) صحیح است.

۱۱ـ گزینه (۴) صحیح است.

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0 \quad \Rightarrow \quad T = C_1x + C_2$$

$$\text{شرایط مرزی} \begin{cases} @x = 0 \quad , \quad T = T_1 \\ @x = L \quad , \quad T = T_2 \end{cases} \Rightarrow \quad T = \left(\frac{T_2 - T_1}{L}\right)x + T_1$$

۱۲ـ گزینه (۲) صحیح است.

$$q'' = -K\frac{dT}{dx} = -(0/3 + 0/00024T)\frac{dT}{dx} \Rightarrow q''.\Delta x = -\left(0/32T + \frac{0/00024T^2}{2}\right)\Bigg|_{950}^{200} \Rightarrow \Delta x = 0/328m$$

۱۳ـ گزینه (۱) صحیح است.

$$h_2 \gg h_1 \Rightarrow \frac{1}{h_2A} \ll \frac{1}{h_1A}$$

مقاومت جابجایی طرف h_2 قابل اغماض است. از طرفی $\frac{L}{KA}$ نیز قابل اغماض است، پس درون دیواره نیز گرادیان دما برابر صفر است و دما ثابت است.

۱۴ـ گزینه (۲) صحیح است.

پره‌ای که دارای K کمتری است، دمای کمتری دارد.

۱۵ـ گزینه (۱) صحیح است.

از لحاظ تئوری گزینه (۱) صحیح است، چون انتقال حرارت‌های هدایتی و جابجایی نیاز به محیط مادی دارند.

۱۶ـ گزینه (۱) صحیح است.

۱۷ـ گزینه (۱) صحیح است.

$$q = hA\Delta T$$

۱۸ـ گزینه (۴) صحیح است.

$$T_w = \frac{\dot{q}L}{h} + T_\infty = \frac{(10000)(0/05)}{10} + 20 = 70^\circ C$$

۱۹ـ گزینه (۲) صحیح است.

۲۰ـ گزینه (۳) صحیح است.

$$R_۱ + R_۲ = \frac{L}{K_۱A} + \frac{L}{K_۲A}$$

$$R = \frac{۲L}{KA} \Rightarrow \frac{۲L}{KA} = \frac{L}{K_۱A} + \frac{L}{K_۲a} \Rightarrow K = \frac{۲K_۱K_۲}{K_۱ + K_۲}$$

۲۱ـ گزینه (۲) صحیح است.

۲۲ـ گزینه (۱) صحیح است.

$$h_۱ \gg h_۲ \Rightarrow \frac{۱}{h_۱A} \ll \frac{۱}{h_۲A} \Rightarrow T_۱ \simeq cte$$

۲۳ـ گزینه (۲) صحیح است.

حرارت جابجا شده در ابتدا در پایه پره به پره هدایت می‌شود، لذا داریم:

$$q = -KA\frac{dT}{dx}\Big|_{x = ۰/۲} = -(۱)(۰/۵)(۲x)\Big|_{x = ۰/۲} = -۰/۲w$$

۲۴ـ گزینه (۱) صحیح است.

$$q'' = K_۱\frac{\Delta T_۱}{L} = K_۲\frac{\Delta T_۲}{L} = K_۳\frac{\Delta T_۳}{L} \Rightarrow a\Delta T_۱ = ۲a\Delta T_۲ = ۳a\Delta T_۳$$

اگر $\Delta T_۳ = ۱ \Rightarrow \Delta T_۱ = ۳$ و $\Delta T_۲ = ۲$ و $\Delta T_۳ = ۱$

۲۵ـ گزینه (۳) صحیح است.

$$q'' = k\frac{\Delta T}{L} = (۲۱۵)\ \frac{(۱۰۰۰ - ۲۰۰)}{(\frac{۳}{۱۲})} = ۶/۸۸ \times ۱۰^۵ Btu/hr.ft^۲$$

۲۶ـ گزینه (۲) صحیح است.

$$q = \frac{۲\pi L K \Delta T}{Ln(\frac{r_۲}{r_۱})} = \frac{(۲\pi)(۳۰)(۰/۰۳۷۵)(۳۸۰ - ۸۰)}{Ln\left[\frac{(\frac{۲/۳۷۵}{۲}) + ۱}{(\frac{۲/۳۷۵}{۲})}\right]} = ۳۴۶۹/۴۲ Btu/hr$$

۲۷ـ گزینه (۱) صحیح است.

$$\frac{q}{A}=\frac{\Delta T}{R_1+R_2+R_3}=\frac{۱۵۰۰-۱۵۰}{\frac{(\frac{۹}{۱۳})}{۰/۷۲}+\frac{(\frac{۵}{۱۲})}{۰/۰۸}+\frac{(\frac{۷/۵}{۱۲})}{۰/۵}}=۱۸۰\,Btu/hr.ft^۲$$

با $\frac{q}{A}$ تنها نیز می‌توان گزینه صحیح را انتخاب کرد. ولی برای توضیح بیشتر می‌توان با معادلات زیر دماهای میانی را نیز محاسبه کرد.

$$\frac{q}{A}=\frac{(\Delta T)_{۱۲}}{R_{۱۲}}=\frac{۱۵۰۰-t_۲}{\frac{(\frac{۹}{۱۲})}{۰/۷۲}}=۱۸۰ \quad \Rightarrow \quad t_۲=۱۳۱۲/۵^\circ F$$

$$\frac{q}{A}=\frac{(\Delta T)_{۲۳}}{R_{۲۳}}=\frac{۱۳۱۵۲-t_۳}{\frac{(\frac{۵}{۱۲})}{۰/۰۸}}=۱۸۰ \quad \Rightarrow \quad t_۳=۳۷۵^\circ F$$

۲۸ـ گزینه (۳) صحیح است.

$$q=-kA\frac{dT}{dr}=-(۰/۱+۵\times ۱۰^{-۵}T)(۴\pi r^۲)\frac{dT}{dr}$$

$$q\int\frac{-dr}{r^۲}=۰/۱\int dT+۵\times ۱۰^{-۵}\int T\,dT$$

در این تست شعاع کوره مشخص نمی‌باشد. از طرفی برای محاسبات دقیق‌تر بایستی حداقل ضریب انتقال حرارت جابجایی محیط معین باشد. ولی برای محاسبه حدود $\frac{q}{A}$ مقدار k متوسط را در دمای متوسط محاسبه کرده و با فرض خطی بودن توزیع دما درون دیواره خواهیم داشت:

$$q=\frac{\Delta T}{L}kA \quad و \quad \frac{q}{A}=k\frac{\Delta T}{L} \quad و \quad k=۰/۱+۵\times ۱۰^{-۵}(\frac{۱۵۰۰+۱۰۰۰}{۲})=۰/۱۴\,Btu/hr.^\circ F.ft$$

$$\frac{q}{A}=(۰/۱۴)\frac{(۱۵۰۰-۱۰۰)}{(\frac{۴}{۱۲})}=۵۸۸\,Btu/hr.ft^۲$$

۲۹ـ گزینه (۲) صحیح است.

$$q=۴۴۰=\frac{\Delta T}{\frac{۱}{۴\pi k}(\frac{۱}{r_۱}-\frac{۱}{r_۲})}=\frac{۴۰۰-۵۰}{\frac{۱}{(۴\pi)(۰/۰۲)}(\frac{۱}{۱}-\frac{۱}{r_۲})} \quad \Rightarrow \quad r_۲=۱/۲۴۹\,ft$$

ضخامت $=۱/۲۴۹-۱=۰/۲۴۹\,ft=۲/۹۸۸\,in\simeq ۳\,in$

۳۰ـ گزینه (۱) صحیح است.

$$q=\frac{\Delta T}{R_1+R_2}=\frac{۵۰۰-۱۰۰}{\frac{Ln(\frac{۱}{۰/۵})}{(۲\pi)(۱۳)}+\frac{Ln(\frac{۳}{۱})}{(۲\pi)(۰/۰۴۸)}}=۱۶۴/۲۴\ Btu/hr.ft$$

۳۱ـ گزینه (۱) صحیح است.

$$\frac{q}{A}=\frac{\Delta T}{R_1+R_2+R_3}=\frac{۲۹۷/۱-۲۵۵/۴}{\frac{۳\times ۰/۰۲۵۴}{۰/۷۶۲}+\frac{۴\times ۰/۰۲۵۴}{۰/۰۴۳۳}+\frac{\frac{۱}{۲}\times ۰/۰۲۵۴}{۰/۱۵۱}}=۱۶/۴۷۸w/m^۲$$

$$\frac{q}{A}=\frac{T_2-T_1}{\frac{\Delta x_w}{k_w}}=۱۶/۴۷۸=\frac{T_2-۲۵۵/۴}{\frac{۰/۵\times ۰/۰۲۵۴}{۰/۱۵۱}}\quad\Rightarrow\quad T_2=۲۵۶/۸k$$

۳۲ـ گزینه (۴) صحیح است.

$$q=hA\Delta T\quad,\quad \frac{q_2}{q_1}=\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}=\frac{۲۰}{۱۰}=۲$$

۳۳ـ گزینه (۲) صحیح است.

$$r_{cr}=\frac{k}{h}=\frac{۰/۳}{۱۰}=۰/۰۳\ m=۳cm\quad,\quad \text{ضخامت}=۳-۲=۱cm$$

۳۴ـ گزینه (۴) صحیح است.

۳۵ـ گزینه (۳) صحیح است.

$$T_۰=\frac{\dot{q}R^۲}{۴k}+T_w=\frac{(۱/۵\times ۱۰^۶)(۰/۲)^۲}{(۴)(۵۰)}+۰=۳۰۰^\circ C$$

۳۶ـ گزینه (۱) صحیح است.

$$k_1(T_1-Ti)=k_2(Ti-T_2)\quad,\quad k_1=۴k_2\ \Rightarrow\ Ti=\frac{۱}{۵}(۴T_1+T_2)$$

۳۷ـ گزینه (۲) صحیح است.

۳۸ـ گزینه (۳) صحیح است.

با کاهش h (افزایش مقاومت جابجایی) و افزایش k (کاهش مقاومت هدایتی) کارآیی افزایش می‌یابد.

۳۹ـ گزینه (۲) صحیح است.

مقدرا حرارت تولید شده درون میله استوانه‌ای داخل، از طریق سطوح خارجی پوشش به بیرون جابجایی می‌شود.

$$q=\dot{q}V=\dot{q}\pi R_1^۲L\quad,\quad q=hA\Delta T=(h)(۲\pi R_2L)(T_w-T_\infty)$$

$$q=\dot{q}V=(۳۰۰۰۰)(\pi)(۰/۰۷۵)^۲(L)=(۲۰)(۲\pi)(۰/۲۷۵)(L)(T_w-۲۵)\quad\Rightarrow\quad T_w=۴۰/۳۴^\circ C$$

۴۰ـ گزینه (۳) صحیح است.

$$\frac{T_۱ + T_۲}{۲} = ۶۵ \qquad , \qquad T_i < \frac{T_۱ + T_۲}{۲}$$

طبق توضیحات متن گزینه (۳) صحیح است.

۴۱ـ گزینه (۴) صحیح است.

۴۲ـ گزینه (۱) صحیح است.

بزرگترین مقاومت حرارتی، کنترل‌کننده انتقال حرارت می‌باشد. مقاومت‌های مختلف عبارتند از:

$$R''_{L,Con.v} = \frac{۱}{h_L} = \frac{۱}{۱۰} = ۰/۱\,°C.m^۲/w$$

$$R''_۱ = \frac{L_۱}{K_۱} = \frac{۰/۱}{۰/۱} = ۱\,°C.m^۲/w$$

$$R''_۲ = \frac{L_۲}{K_۲} = \frac{۰/۲}{۵۰} = ۰/۰۰۴\,°C.m^۲/w$$

$$R''_{R\,,Con.v} = \frac{۱}{h_R} = \frac{۱}{۲۰۰} = ۰/۰۰۵\,°C.m^۲/w$$

لذا دیوارهٔ (۱) کنترل‌کننده است.

۴۳ـ گزینه (۳) صحیح است.

$$\frac{q}{A} = q'' = -k\frac{dT}{dx} \qquad , \qquad q''\,dx = -۰/۳\left[dT + ۱۰^{-۳}TdT\right]$$

$$q'' = ۰/۳\frac{\left[(T_۱ - T_۲) + \frac{۱۰^{-۳}(T_۱^۲ - T_۲^۲)}{۲}\right]}{L} = \frac{(۰/۳)\left[۲۰۰ - ۲۰ + \frac{۰/۰۰۱(۲۰۰^۲ - ۲۰^۲)}{۲}\right]}{۰/۲} = ۲۹۹/۷\,w/m^۲$$

۴۴ـ گزینه (۳) صحیح است.

مقدار حرارت جابجا شده از محیط به دیوار و شار حرارتی رسیده به دیوار برابر مقدار حرارت هدایت شده در $x = L$ می‌باشد.

$$q'' + h\,(T_\infty - T) = -k\frac{dT}{dx} \qquad \Rightarrow \qquad q'' - h(T - T_\infty) + k\frac{dT}{dx} = ۰$$

۴۵ـ گزینه (۳) صحیح است.

۴۶ـ گزینه (۲) صحیح است.

کلیه مقاومت‌ها در مساحت (A) ضرب شده است.

۴۷ـ گزینه (۲) صحیح است.

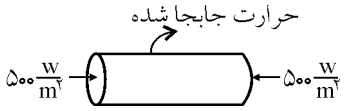
۴۸ـ گزینه (۳) صحیح است.

خلأ بیشتر فضای بین دو جداره از انتقال حرارت هدایتی و جابجایی جلوگیری کرده و سبب کاهش اتلاف

حرارت می‌شود.

۴۹ـ گزینه (۱) صحیح است.

۵۰ـ گزینه (۴) صحیح است.



حرارت جابجا شده = حرارت ورودی $\Rightarrow (۵۰۰)(۲)(\pi)\frac{(۰/۱)^۲}{۴} = (۴۰)(\pi)(۰/۱)(۰/۲۵)(T_s-۲۰) \Rightarrow T_s=۲۵^\circ C$

۵۱ـ گزینه (۲) صحیح است.

$$q''=-k\frac{dT}{dx} \Rightarrow -k_\circ T^۲dx \Rightarrow q''=\int_{x=\circ}^{x=L} dx=-k_\circ\int_{T_۱}^{T_۲} T^۲dT \Rightarrow q''=\frac{k_\circ(T_۱^۳-T_۲^۳)}{۳L}$$

در این تست هدف محاسبه شار حرارتی می‌باشد و نه مقدار انتقال حرارت.

۵۲ـ گزینه (۴) صحیح است.

در دیوارهای (۲) و (۳) چون تولید حرارت داخلی وجود ندارد شار حرارتی یکی بوده در حالیکه در دیوارهٔ (۱) چون تولید حرارت داخلی وجود دارد، شار حرارتی $q''_۳$ با مقادیر $q''_۲$ و $q''_۳$ یکسان نمی‌باشد و با $\frac{dT}{dx}$ متناسب است. از آنجائیکه $\frac{dT}{dx}$ در محل مشخص شده در برابر شیب دمایی دیواره‌های (۲) و (۳) کوچکتر است، لذا $q''_۱$ کوچکتر از $q''_۲$ و $q''_۳$ می‌باشد. البته با توجه با برابر $q''_۲$ و $q''_۳$ می‌توان گزینه (۴) را انتخاب نمود.

۵۳ـ گزینه (۱) صحیح است.

هر چه ضریب هدایت حرارتی بزرگتر باشد، $\frac{dT}{dx}$ کوچکتر است، لذا با توجه به اینکه که ضریب هدایت حرارتی مس بزرگتر از شیشه است، $\frac{dT}{dx}$ برای پرهٔ مسی بزرگتر از پره شیشه‌ای است.

۵۴ـ گزینه (۲) صحیح است.

$$\frac{dT}{dx}=\frac{T_۲-T_۱}{x_۲-x_۱}=\frac{۶۰۰-۴۰۰}{۰-۰/۱}=-۲۰۰۰\ \frac{K}{m}$$

$$q''=-k\frac{dT}{dx}=-(۱۰۰)(-۲۰۰۰)=۲۰۰۰۰۰\ \frac{W}{m^۲}=۲۰۰\ \frac{kW}{m^۲}$$

۵۵ـ گزینه (۳) صحیح است.

شار حرارتی به شکل ترم حرارت ورودی می‌باشد و لذا در رابطه کلی هدایت حرارتی با علامت مثبت ظاهر می‌شود.

۵۶ـ گزینه (۳) صحیح است.

حرارت تولید شده = حرارت انتقال یافته به محیط $\Rightarrow q=\dot{q}.V=(\dot{q})(A)(۲L)=۲\dot{q}LA$

۵۷ـ گزینه (۱) صحیح است.

شار حرارت خروجی = شار حرارت ورودی $\Rightarrow q''=h(T_۲-T_\infty) \Rightarrow T_۲=\frac{q''}{h}+T_\infty$

هرچه C_p بزرگتر باشد یعنی گرمای بیشتری ذخیره می‌کند و لذا گزینه (۲) صحیح است، از طرفی $k_A > k_B$ است و لذا گزینه (۳) صحیح است و لذا هیچ یک از گزینه‌ها به تنهایی صحیح نمی‌باشد.

۱۸۲- گزینه «۴» صحیح است.

با توجه به اینکه q ثابت است بیشترین شار حرارتی (q'') با توجه به رابطه‌ی $q'' = \frac{q}{A}$ در کمترین مساحت یعنی در $x = ۰$ و $x = L$ رخ می‌دهد.

۱۸۳- گزینه «۴» صحیح است.

جنسی انتخاب می‌شود که α کوچکتری داشته باشد. با توجه به گزینه‌های داده شده گزینه (۴) دارای کمترین α $(\alpha = \frac{k}{\rho C_p} = \frac{۰/۵}{(۲۰۰۰)(۳۰۰۰)} = ۸/۳\times ۱۰^{-۸}\ \frac{m^۲}{s})$ می‌باشد.

۱۸۴- گزینه «۱» صحیح است.

$$q_{in} - q_{out} = \frac{\partial E}{\partial t}\ ,\ q_{in} = -kA\frac{dT}{dx}\Big|_{x=۰}\ ,\ q_{out} = -kA\frac{dT}{dx}\Big|_{x=۰/۵}$$

$$\Rightarrow -k\left(\frac{dT}{dx}\Big|_{x=۰} - \frac{dT}{dx}\Big|_{x=۰/۵}\right) = \frac{۱}{A}\frac{\partial E}{\partial t}$$

$$\frac{dT}{dx} = -۵۰۰ + ۲۰۰x + ۴۲۰x^۲ \Rightarrow \frac{dT}{dx}\Big|_{x=۰} = -۵۰۰, \frac{dT}{dx}\Big|_{x=۰/۵} = -۲۹۵$$

$$\Rightarrow \frac{۱}{A}\frac{\partial E}{\partial t} = (-۵)\left(-۵۰۰ - (-۲۹۵)\right) = ۱۰۲۵\frac{kcal}{m^۲.hr}$$

۱۸۵- گزینه «۴» صحیح است.

در حالت پایدار مقدار گرمای تولید شده درون میله (q_{gen}) برابر مقدار گرمایی است که به بیرون میله جابجا می‌شود $(q_{conv.})$ و لذا داریم:

$$q_{gen} = \dot{q}.V = (\dot{E}_g)\left(\frac{\pi D^۲}{۴}\cdot L\right)\ ,\ q_{conv.} = hA_s\Delta T = (h)(\pi DL)\Delta T$$

$$q_{gen} = q_{conv.} \Rightarrow (\dot{E}_g)\left(\frac{\pi D^۲}{۴}\cdot L\right) = (h)(\pi DL)(\Delta T) \Rightarrow \Delta T = \frac{\dot{E}_g.D}{۴h}$$

منابع

۱- انتقال حرارت – هولمن.
۲- انتقال حرارت – اینکور پرا.
۳- انتقال حرارت – اوزیشیک.
۴- انتقال حرارت – Cengel.
۵- انتقال حرارت – سری Shaum .
۶- عملیات واحد – MC-Cabe (قسمت انتقال حرارت)
۷- مکانیک سیالات – استریتر (قسمت لایه‌های مرزی)