

پایه تعامل

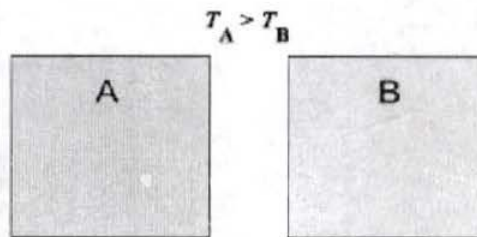


دانشگاه شاهرود

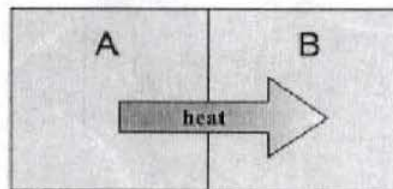
دانشکده مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

دستور کار آزمایشگاه انتقال حرارت



A and B in contact



تهیه کننده :

مهندس غلامرضا نعلچی برزکی

نحوه‌ی نوشتن گزارش انجام آزمایش:

یک گزارش مناسب باید شامل قسمت‌های زیر باشد:

روی جلد گزارش: نام آزمایشگاه (آزمایشگاه انتقال حرارت)، عنوان آزمایش، اسامی و شماره دانشجویی اعضای گروه و تهیه‌کننده‌ی گزارش به صورت تفکیک شده و نهایتاً تاریخ انجام آزمایش و تحویل گزارش.

- هدف، مقدمه و چکیده‌ی آزمایش.

- تجزیه و تحلیل تئوری آزمایش.

- شرح دستگاه‌ها، وسایل و روش‌های مورد استفاده از آن‌ها.

- نمونه‌ی محاسبات مربوط به آزمایش.

- جدولی از کل محاسبات انجام شده برای تمام مراحل آزمایش.

- نمودارها و منحنی‌های خواسته شده.

- پاسخ به سؤالات دستورکار.

- بحث و نتیجه‌گیری از آزمایش.

- منابع و مراجع مورد استفاده.

- جدول اطلاعات آزمایش (این جدول را همزمان با انجام آزمایش تکمیل کرده و در پایان آزمایش به امضای استاد آزمایشگاه، برسانید).

لطفاً به هنگام نوشتن گزارش نکات زیر را مد نظر قرار دهید:

- در صورت دست‌نویس بودن گزارش، باید بر روی کاغذ A4، با خودکار آبی و با رعایت حاشیه‌های مناسب باشد و در صورت تایپ کردن آن

باید به صورت کاملاً منظم و با رعایت اندازه و نوع قلم مناسب (اجتناب از قلم عربی)، حاشیه‌های مناسب و همچنین انتخاب کادر، باشد.

- منحنی‌ها ترجیحاً برای راحتی دانشجو با نرم افزار Microsoft Office Excel رسم شود، به جز نمودارهایی که رسم آن‌ها در دستورکار با

دست و در کاغذ شطرنجی تذکر داده شده است.

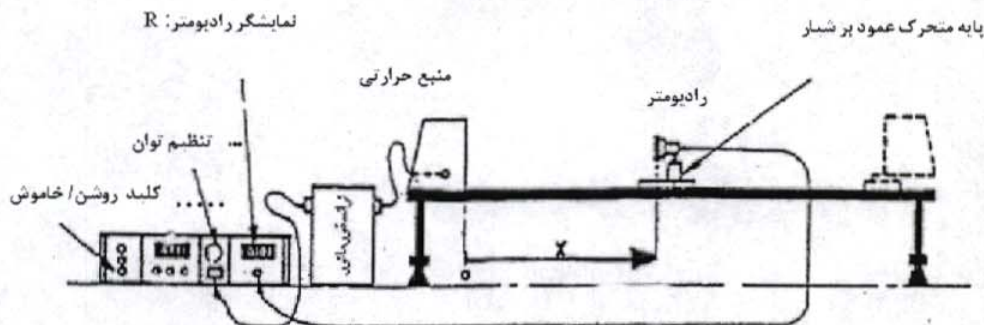
تذکر:

- مهلت تحویل هر گزارش حداکثر تا دو هفته بعد از تاریخ انجام آن می‌باشد.

- به گزارش‌های مشابه و نیز گزارش‌هایی که نمودارهای مشابه دارند نمره ای تعلق نخواهد گرفت.

آزمایش های انتقال حرارت تشعشع (Radiation)

دستگاه تشعشع حرارتی هیلتون



تشعشع حرارتی یکی از صورت‌های انتقال حرارت است که با دو شکل دیگر انتقال حرارت، یعنی جابجایی و هدایت تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. انتقال حرارت تشعشعی نیاز به محیط مادی ندارد چرا که توسط امواج الکترومغناطیس صورت می‌گیرد؛ لذا برای درک بهتر آن، آشنایی مختصر به خصوصیات امواج الکترومغناطیس لازم است. گرچه یک مهندس مستقیماً با مکانیزمی که انتقال حرارت توسط آن رخ می‌دهد، سروکار ندارد، ولی شناختی مختصر از خواص و قوانین مربوط به آن لازم است.

شرح دستگاه:

دستگاه از یک میز افقی ریل‌دار تشکیل شده است که در یک طرف آن منبع تشعشع حرارتی و در طرف دیگر آن منبع نور قرار گرفته است. یک حسگر (sensor) تشعشع حرارتی یا یک سنسور نور را می‌توان بین دو منبع قرار داد. همچنین یک سری قطعه مثل صفحات فلزی به همراه ترموکوپل‌های متصل به آن، دو صفحه فلزی عمودی جهت ایجاد یک روزنه، و تعدادی فیلتر به همراه دستگاه وجود دارد که قابل سوار شدن به روی میز می‌باشند. تمام حسگرهای تشعشعی و قطعات اضافی به پایه‌هایی متصل شده‌اند تا بتوان آن‌ها را جابجا نموده و در فواصل مختلف از منبع مورد نظر قرار داد. یک خط‌کش در جلوی ریل میز نصب شده است تا با استفاده از آن فاصله‌ی قطعات اندازه‌گیری شود. نیروی برق مورد نیاز دو منبع تشعشعی و نوری از طریق قسمت کنترل و اندازه‌گیری تأمین و توسط یک کلید کنترل می‌شود. یک ترانسفورماتور پله‌ای، تغذیه‌ی ولتاژ پائین برای منبع حرارتی را تأمین می‌کند. قسمت کنترل و اندازه‌گیری از طریق یک کابل به برق شهر وصل می‌شود. دمای صفحات فلزی استفاده شده در ارتباط با منبع تشعشع حرارتی روی یک صفحه نمایشگر دیجیتالی (که با یک کلید دمای مورد نظر انتخاب می‌شود) قابل خواندن است. خروجی از حسگر (sensor) تشعشع حرارتی روی یک نمایشگر دیجیتالی در قسمت کنترل و اندازه‌گیری نشان داده می‌شود.

سنسور اندازه‌گیری تشعشع

رادایومتر یا تشعشع‌سنج ابزاری بسیار حساس است، که در استفاده از آن باید دقت شود. سطح سنسور با یک رنگ سیاه مات پوشیده شده است، که در صورت خراش برداشتن آسیب می‌بیند. این سنسور حتی برای مقادیر کم تشعشع از حساسیت بالایی برخوردار است و مقادیر را مستقیماً بر حسب W/m^2 نشان می‌دهد.

تشعشع ورودی و تشعشع صادره

سنسور دیجیتالی، شدت تشعشع ورودی به رادیومتر را نشان می‌دهد. مقدار نمایش داده شده با مقدار تشعشع صادره از صفحه گرم شده تفاوت دارد. در بعضی از آزمایشات، اندازه‌گیری تشعشع صادره از صفحه گرم شده مورد نیاز است، برای این منظور ارتباط بین تشعشع ورودی به سنسور که در فاصله L از منبع حرارتی قرار گرفته و تشعشع صادره از منبع حرارتی به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\text{عدد خوانده شده توسط رادیومتر} = \text{تشعشع صادره از منبع حرارتی} \times \frac{r^2 + L^2}{r^2} \quad (r=63mm)$$

آزمایش ۱: قانون مربع معکوس فاصله برای انتقال حرارت از طریق تشعشع

هدف: نشان دادن تناسب شدت تشعشع روی یک سطح با عکس مجذور فاصله سطح از منبع تشعشع.

تئوری آزمایش:

فرض کنید که یک جزء سطح dA در مرکز یک نیمکره به شعاع r قرار دارد. dA_1 یک المان سطح از نیمکره روی خطی قرار دارد که با خط عمود زاویه ϕ می‌سازد و شار حرارتی قطع شده بوسیله dA_1 عبارتست از $dw_\phi = dA_1/r^2$ نرخ جریان انرژی عبوری از dA_1 عبارتست از:

$$dQ_\phi = i_\phi \cdot dw_\phi \cdot dA = i_\phi \cdot dA \cdot dA_1 / r^2$$

که در آن، i_ϕ بردار سطح روی dA_1 در جهت ϕ می‌باشد.

تنظیم دستگاه:

- اهرم کنترل توان را در حالت باز قرار دهید.
- رادیومتر را در فاصله 800mm از منبع حرارتی قرار دهید.
- مدت زمان کافی (حدود ۱۵ دقیقه) صبر کنید تا هیتر به دمای ثابت برسد.
- تذکر: سطح منبع حرارتی و سطح رادیومتر باید کاملاً موازی یکدیگر باشند.

نحوه انجام آزمایش:

برای چند موقعیت رادیومتر نسبت به منبع حرارتی، عدد رادیومتر (R) و فاصله از منبع حرارتی (X) را در جدول مربوطه یادداشت کنید.

تذکر: برای هر موقعیت جدید، تقریباً ۲ دقیقه طول خواهدکشید تا رادیومتر به یک حالت پایدار برسد.

خواسته‌ها:

۱. مقادیر $\log_{10} R$ و $\log_{10} X$ را بدست آورده و جدول شماره ۱ در قسمت پیوست را تکمیل کنید.
۲. منحنی تغییرات $\log_{10} R$ را برحسب $\log_{10} X$ رسم کنید و شیب آنرا بدست آورد.

آزمایش ۲: قانون استفان - بولتزمن

هدف: نشان دادن وابستگی شدت تشعشع با توان چهارم دمای منبع تشعشعی.

تئوری آزمایش:

$$q_b = \sigma(T_S^4 - T_A^4) \quad \text{قانون استفان - بولتزمن عبارتست از:}$$

که در آن، q_b نرخ انرژی مبادله شده بین جسم سیاه و محیط پیرامون بر واحد سطح جسم سیاه (W/m^2)، T_S دمای سطح (K)، T_A دمای محیط (K) و $\sigma = 5.674 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ ثابت استفان - بولتزمن است.

تنظیم دستگاه:

- اهرم کنترل توان روی صفحه‌ی کنترل دستگاه را در حالت ماکزیمم قرار دهید.
- صفحه‌ی سیاهی که ترمومتری در وسط آن نصب شده است را در فاصله‌ی 50mm از منبع گرم روی پایه‌ی مخصوص نصب کنید و کابل ارتباطی آن را در محل مخصوص قرار دهید.
- رادیومتر را در فاصله‌ی 200mm از صفحه‌ی سیاه (250mm خط‌کش) قرار دهید.

تذکره: سطح صفحه‌ی سیاه و رادیومتر باید کاملاً موازی یکدیگر باشند.

$$q_b = 11.07 \times \text{عدد خوانده شده توسط رادیومتر} \times \frac{r^2 + L^2}{r^2} \quad \text{با توجه به مقدار } L:$$

$$q_b = R \times 11.07$$

نحوه‌ی انجام آزمایش:

مقادیر دما (T) و مقادیر عدد رادیومتر (R) را در شرایط محیط بخوانید. سپس در یک محدوده‌ی مناسب با فواصل انتخابی توان ورودی به هیتر را کاهش داده و این مقادیر را به طور همزمان در جدول مربوطه ثبت کنید. توصیه می‌شود که بین هر کاهش توان گرمکن و هنگام انتظار برای ثابت شدن دمای سطح سیاه، دیسک بازتابشی در شکاف رادیومتر قرار گیرد تا اثرات حرارتی مذکور را حذف کند.

خواسته‌ها:

1. توسط مقادیر خوانده شده جدول شماره‌ی ۲ در قسمت پیوست را تکمیل کنید.

2. مقادیر تئوری q_b و عملی q'_b را طبق روابط زیر بدست آورده و با هم مقایسه کنید.

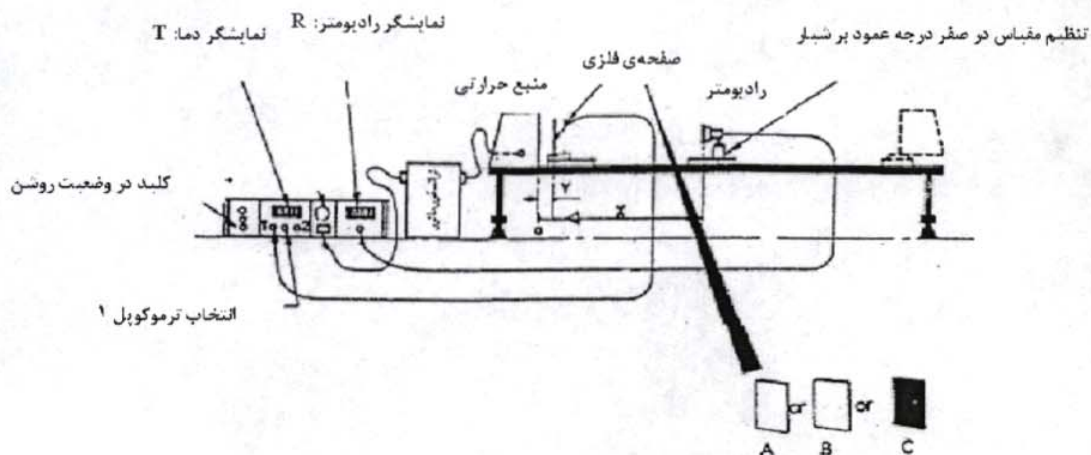
$$q_b = \sigma(T_S^4 - T_A^4)$$

$$q'_b = R \times 11.07$$

۳. منحنی تغییرات q_b و q'_b را نسبت به $T_S(K)$ رسم نمایید.

آزمایش ۳: ضریب صدور (۱)

هدف: تعیین ضریب صدور سطوح مختلف (صیقل شده، نقره اندود، سیاه مات).



تئوری آزمایش:

ضریب صدور به صورت نسبت انرژی صادر شده توسط یک سطح به انرژی صادر شده توسط سطح سیاه در همان دما تعریف می‌شود.

برای اجسام واقعی ضریب صدور تابعی از طول موج تابش، زاویه تابش، دمای سطح و میزان پرداخت سطح می‌باشد، اما معمولاً در محاسبات از یک مقدار متوسط برای آن استفاده می‌شود.

مقادیر جدول‌بندی شده‌ی ضریب صدور در نتایج تست‌های منتشر شده در این رابطه یافت می‌شوند. در محاسبات انتقال حرارت ضریب صدور به صورت یک ضریب ثابت وارد می‌شود، به عنوان مثال در قانون استفان - بولتزمن برای یک سطح واقعی داریم:

$$q_e = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_A^4)$$

تنظیم دستگاه:

- اهرم کنترل توان را در حالت ماکزیمم قرار دهید.
- صفحه‌ی نقره‌اندود را در فاصله‌ی 50mm از منبع حرارتی روی پایه‌ی مخصوص نصب کنید.
- کابل صفحه را در محل خود روی قسمت اندازه‌گیری نصب کنید.
- رادیومتر را در فاصله‌ی 100mm از صفحه‌ی نقره‌اندود (150mm خط‌کش) نصب کنید.

تذکر: سطح صفحه‌ی مورد آزمایش و سطح رادیومتر باید کاملاً موازی یکدیگر باشند.

با توجه به مقدار L: $q_e = 3.519 \times \text{عدد خوانده شده توسط رادیومتر} = \frac{r^2 + L^2}{r^2} \times \text{عدد خوانده شده توسط رادیومتر}$

$$q_e = R \times 3.519$$

نحوه‌ی انجام آزمایش:

پس از پایداری جریان انتقال حرارت مقادیر خواسته‌شده را در جدول مربوطه ثبت نمایید. توان منبع حرارتی را تغییر دهید و دمای صفحه‌ی فلزی (T_s) و مقدار رادیومتر (R) را در وضعیت‌های مختلف ثبت کنید. توصیه می‌شود که بین هر کاهش توان گرمکن و هنگام انتظار برای ثابت شدن دمای سطح سیاه، دیسک بازتابشی در شکاف رادیومتر قرار گیرد تا اثرات حرارتی مذکور را حذف کند.

خواسته‌ها:

۱. مقادیر خوانده شده را در جدول شماره‌ی ۳ در قسمت پیوست برای هر صفحه‌ی مورد آزمایش یادداشت نمایید.
۲. مقدار متوسط ε را طبق رابطه‌ی زیر محاسبه کنید.

$$\varepsilon = q_e / \sigma (T_s^4 - T_A^4)$$

آزمایش‌های انتقال حرارت هدایت در جامدات (Conduction In Solid Materials)

دستگاه تعیین ضریب هدایت حرارتی جامدات

انتقال حرارت هدایت در اثر گرادیان دما در داخل یک ماده به صورت انتقال انرژی از ذرات پرانرژی به ذرات کم‌انرژی به واسطه‌ی فعل‌وانفعال بین ذرات رخ می‌دهد. از آن‌جا که ذرات تشکیل‌دهنده‌ی ماده در جامدات فشردگی بسیار زیادی دارند، هدایت در اجسام جامد بهتر از مایعات و گازها صورت می‌گیرد. هدایت در اجسام معمولاً به صورت سه‌بعدی انجام می‌گیرد. آنالیز سه‌بعدی انتقال حرارت ساده نبوده و معمولاً به کمک روش‌های عددی و محاسباتی صورت می‌گیرد. به هر حال با توجه به نوع شرایط و انجام ساده‌سازی در بعضی موارد می‌توان هدایت را به صورت یک‌بعدی بررسی نمود. رفتار مواد جامد در مقابل هدایت با یکدیگر متفاوت است و این تفاوت در ضریب هدایت حرارتی مواد جامد مشهود است. بدیهی است هر چه تمایل یک جسم به انتقال حرارت بیشتر باشد، مقاومت حرارتی آن کمتر خواهد بود و بالعکس. موادی که دارای ضریب هدایت حرارتی بالایی هستند مانند مس و آلومینیوم جهت ساخت سطوح تبادل حرارتی به کار می‌روند و موادی که دارای ضریب هدایت پایینی می‌باشند مثل فوم‌های پلیمری و پشم‌شیشه جهت عایق‌کاری استفاده می‌شوند.

هدف: هدف از این آزمایش بررسی هدایت حرارتی یک‌بعدی در یک جسم به صورت محوری و شعاعی و تعیین ضریب هدایت حرارتی آن می‌باشد.

شرح مختصر دستگاه:

دستگاه موردنظر شامل یک قسمت جهت بررسی هدایت محوری و یک قسمت جهت بررسی هدایت شعاعی می‌باشد. یک المنت الکتریکی جهت تولید حرارت در منبع گرم و یک جریان آب شهر جهت دفع حرارت در منبع سرد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. قطعاتی متفاوت و قابل تعویض وجود دارد که با آن‌ها می‌توان اثرات سطح مقطع، ضریب هدایت حرارتی، ترکیب دو جنس مختلف و اثر لایه‌ی عایق را مورد بررسی قرارداد.

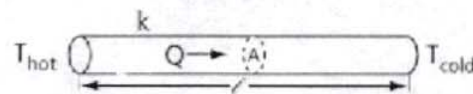
واحد انتقال حرارت محوری:

با استفاده از این واحد قانون فوریه را می‌توان مورد آزمایش قرارداد. در این واحد یک منبع گرم از جنس برنج به قطر 25mm که داخل آن هیتربرقی قرارداد، وجود دارد و روی آن به فاصله‌های 10mm محل‌هایی جهت اندازه‌گیری دما تعبیه شده‌است. در طرف دیگر منبع سرد یک میله‌ی برنجی به قطر 25mm می‌باشد که توسط آب خنک می‌شود و روی آن نیز به فاصله‌های 10mm محل‌هایی جهت اندازه‌گیری دما تعبیه شده‌است. بین این دو قسمت می‌توان قطعه‌ی مورد آزمایش را که روی آن نیز به فاصله‌ی 10mm محل‌هایی جهت اندازه‌گیری دما تعبیه شده‌ است، قرارداد. قطعه‌های مورد آزمایش عبارتند از: میله‌ی برنجی به قطر 25mm و طول 30mm، میله‌ی برنجی به قطر 13mm و طول 30mm، میله‌ی فولادی به قطر 25mm و طول 30mm. جهت جلوگیری از تلفات حرارتی اطراف منبع گرم، منبع سرد و قطعه‌های واسط توسط یک لایه هوا و یک لایه پوشش پلاستیکی تا حدی عایق شده‌است.

واحد انتقال حرارت شعاعی:

این واحد از یک دیسک برنجی توخالی با قطر خارجی 54mm، قطر داخلی 4mm و ضخامت 3mm تشکیل شده‌است که در مرکز آن یک المنت الکتریکی حرارت لازم را تولید می‌کند و در محیط آن جریان آب شهر در یک لوله‌ی مسی جریان یافته و عمل دفع حرارت را انجام می‌دهد. در جهت شعاع دیسک ۶ محل به فاصله‌ی 10mm برای اندازه‌گیری دما تعبیه شده‌است. جهت جلوگیری از تلفات حرارتی، این دیسک توسط یک لایه هوا و یک پوشش پلاستیکی تا حدی عایق شده‌است.

آزمایش ۱: هدایت حرارتی در طول یک میله با جنس ساده

$$Q_{\text{conduction}} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{\Delta X}$$


هدف: بررسی قانون فوریه برای هدایت حرارتی خطی در طول یک میله‌ی ساده.

تئوری آزمایش:

اگر دو سطح به ضخامت ΔX و سطح مقطع A دارای اختلاف دمای ΔT باشند، مقدار حرارت منتقل شده از طریق هدایت در واحد زمان از تناسب زیر تبعیت می‌کند:

$$Q \propto A \cdot \Delta T / \Delta X$$

اگر جنس دیوار از یک ماده یکنواخت با ضریب هدایت حرارتی K باشد، تناسب فوق به صورت تسلوی زیر درمی‌آید:

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta T / \Delta X$$

این رابطه که از آزمایش‌های مکرر برای حالات مختلف بدست آمده است تحت عنوان "قانون فوریه در هدایت حرارتی" نام گرفته است. با توجه به تئوری انتقال حرارت، در شرایط یک‌بعدی، عدم تولید حرارت، ثابت بودن خواص و شرایط دائم می‌توان از مفهوم مقاومت معادل حرارتی برای محاسبه‌ی انتقال حرارت استفاده نمود.

برای شرایط فوق مقاومت حرارتی هدایتی و همچنین مقدار حرارت منتقل شده از روابط زیر بدست می‌آید:

$$R_{t,cond} = \Delta X / k \cdot A$$

$$Q = \Delta T / R_{t,cond}$$

نحوه‌ی انجام آزمایش:

قطعه‌ی پرنجی به قطر 25mm را بین قطعات ثابت قرار داده و جریان آب شهر را برقرار نمایید. توان هیتر را روی 4w قرارداده و در هر ۲ دقیقه تا سیستم به تعادل حرارتی برسد عدد درجه حرارت ۹ نقطه در طول منبع گرم، نمونه‌ی مورد آزمایش و منبع سرد و نیز مقدار توان را یادداشت کنید.

توان را به 7w و 10w تغییر داده و آزمایش را تکرار نمایید. توجه داشته باشید بعد از هر تغییر توان مدت ۲ دقیقه صبر کنید.

* نتایج را برای توان‌های 4w و 7w و 10w در جدول شماره‌ی 4 در قسمت پیوست ثبت نمایید.

خواسته‌ها:

۱. تغییرات دمای تمام نقاط بر حسب زمان را در یک منحنی رسم کنید.
۲. برای حالت پایدار جریان انتقال حرارت منحنی تغییرات دما را نسبت به طول میله رسم نمایید.
۳. مقاومت سطح تماس را بدست آورید:

محاسبه تغییرات دما نسبت به طول میله در زمان‌های مختلف برای هر توان رسم شود

برای این منظور نمودار T-X را بر روی کاغذ شطرنجی مشخص کنید، T دمای سنسورها در حالت پایدار و X طول میله با مبدأ اولین سنسور می باشد (فاصله‌ی هر سنسور تا سنسور بعدی 10mm است)، دماهای T₁ تا T₉ را برای توان‌های 4w، 7w و 10w بصورت جداگانه مشخص کنید، T₁ را به T₃، T₄ را به T₆ و T₇ را به T₉ متصل کنید و پاره‌خط‌های ایجاد شده را به ترتیب AB، CD و EF بنامید، هر پاره‌خط را با حفظ شیب به اندازه‌ی 5mm محور X امتداد دهید تا نقطه‌ی انتهایی امتداد هر پاره‌خط با نقطه‌ی انتهایی امتداد پاره‌خط مجاورش بر روی محور X در یک نقطه باشد، اکنون با اتصال عمودی نقاط انتهایی پاره‌خط‌های AB به CD و CD به EF و اندازه‌گیری این اتصالات می‌توانید اختلاف دمای نقطه‌ی تماس (ΔT_c) را بیابید و با استفاده از معادله‌ی $Q = \Delta T_c / R_{t,c}$ و مقدار Q، مقدار مقاومت معادل حرارتی برای هر سطح تماس در هر توانی را بیابید.

۴. ضریب هدایت حرارتی را طبق رابطه‌ی $k = Q \Delta X / A \Delta T$ بدست آورید.

۵. مقادیر ضریب هدایت حرارتی بدست آمده را با مقادیر داده شده در جداول کتب انتقال حرارت مقایسه کنید.

۶. در مورد اثر دما بر ضریب هدایت حرارتی بحث کنید.

آزمایش ۲: آزمایش هدایت حرارتی در طول یک میله با جنس مرکب

هدف: مقایسه‌ی ضریب هدایت حرارتی اجسام مختلف و مطالعه روی نمونه‌ای که از چند ماده مختلف تشکیل شده‌است و ارزیابی ضریب هدایت حرارت کلی.

تئوری آزمایش:

اگر چند جنس مختلف به صورت سری در مسیر انتقال حرارت قرار گیرند، مقاومت‌های هر جنس با یکدیگر جمع‌شده و مقاومت معادل کل به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

در نتیجه مقدار حرارت منتقل شده از رابطه‌ی $Q = \Delta T / R_{tot}$ بدست خواهد آمد. اگر رابطه‌ی فوریه $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ باشد، ضریب کلی هدایت حرارتی به صورت $U = 1 / (A \cdot R_{tot})$ خواهد بود.

نحوه‌ی انجام آزمایش:

قطعه‌ی فولادی به قطر 25mm را بین قطعات ثابت که از جنس برنج می‌باشد قرار داده و جریان آب شهر را برقرار نمایید. توان هیت را روی 4w قرار داده و هر 2 دقیقه، تا زمانی که سیستم به تعادل حرارتی برسد عدد درجه حرارت 6 نقطه در طول نمونه‌ی مورد آزمایش و مقدار توان را یادداشت کنید. قابل توجه است قسمت میانی که دارای جنس متفاوت می‌باشد فاقد سنسور است، سپس توان را به 7w و بار دیگر به 10w تغییر داده و آزمایش را تکرار کنید.

* نتایج برای توان‌های 4w و 7w و 10w را در جدول شماره‌ی 5 در قسمت پیوست ثبت نمایید.

خواسته‌ها:

۱. تغییرات دمای تمام نقاط بر حسب زمان را در یک منحنی رسم کنید.

۲. برای حالت پایدار جریان انتقال حرارت منحنی تغییرات دما را نسبت به طول میله رسم نمایید.

۳. ضریب کلی هدایت حرارتی را طبق روابط فوق بدست آورید.

آزمایش ۳: اثر سطح مقطع روی انتقال حرارت

هدف: بررسی انتقال حرارت هدایتی در امتداد محور یک میله‌ی استوانه‌ای که سطح مقطع آن در قسمت میانی تغییر یافته‌است.

تئوری آزمایش:

با توجه به قانون فوریه $Q = k.A.\Delta T/\Delta X$ ، در انتقال حرارت دائم در امتداد میله‌ای از یک جنس، عبارت $(Q/k) = A.\Delta T/\Delta X$ مقداری ثابت-است. بنابراین در این حالت گرادیان دما با سطح مقطع نسبت عکس دارد..

نحوه‌ی انجام آزمایش:

قطعه‌ی برنجی به قطر 13mm را بین قطعات ثابت قرارداده و جریان آب شهر را برقرار نمایید. توان هیتر را روی 4w قرارداده و هر 2 دقیقه تا زمانی که سیستم به تعادل حرارتی برسد عدد درجه حرارت 6 نقطه در طول نمونه‌ی مورد آزمایش و مقدار توان را یادداشت کنید. سپس توان را به 7w تغییر داده و آزمایش را تکرار کنید.

* نتایج برای توان‌های 4w و 7w را در جدول شماره‌ی 6 در قسمت پیوست ثبت نمایید.

خواسته‌ها:

1. تغییرات دمای تمام نقاط بر حسب زمان را در یک منحنی رسم کنید.
2. برای حالت پایدار جریان انتقال حرارت منحنی تغییرات دما را نسبت به طول میله رسم نمایید.
3. گرادیان دما در 3 قطعه را بدست آورید.
4. نسبت گرادیان دما در 2 قطعه‌ی مجاور را بدست آورید و با نسبت عکس سطح مقطع آن‌ها مقایسه کنید.
5. در مورد تغییرات توان ورودی بر گرادیان دما بحث کنید.

آزمایش ۴: هدایت شعاعی

هدف: بررسی منحنی تغییر دما و میزان انتقال حرارت در جهت شعاع در حالت دائم.

تئوری آزمایش:

با توجه به تئوری انتقال حرارت، اگر استوانه‌ای توخالی به قطر داخلی R_i ، قطر خارجی R_o ، طول L و ضریب هدایت K در نظر بگیریم که دمای سطح داخلی آن T_i و دمای سطح خارجی آن T_o ثابت و $T_i > T_o$ باشد، جریان حرارت از سطح داخلی به سطح خارجی برقرار خواهد شد که مقدار آن از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = \Delta T / (Ln(R_o / R_i) / 2\pi Lk)$$

نحوه‌ی انجام آزمایش:

جریان آب شهر را برقرار نمایید و توان هیتر را روی 4w قرار دهید و هر ۲ دقیقه تا وقتی که حالت دائم انتقال حرارت برقرار شود، درجه حرارت ۶ نقطه در امتداد شعاع نمونه مورد آزمایش و مقدار توان را یادداشت نمایید، سپس توان را به 7w و 10w تغییر داده و آزمایش را تکرار نمایید.

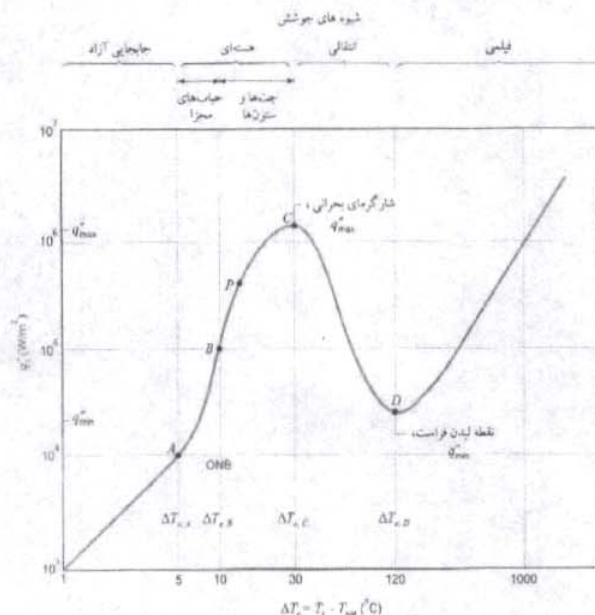
* نتایج برای توان‌های 4w، 7w و 10w را در جدول شماره‌ی ۷ در قسمت پیوست ثبت نمایید.

خواسته‌ها:

۱. تغییرات دمای تمام نقاط بر حسب زمان را در یک منحنی رسم کنید.
۲. برای حالت پایدار جریان انتقال حرارت منحنی تغییرات دما را بر حسب شعاع دیسک رسم نمایید.
۳. حرارت منتقل شده از داخل به خارج دیسک را با توجه به رابطه‌ی داده شده بدست آورید.
۴. مقدار توان ورودی به هیتر و حرارت منتقل شده از داخل به خارج دیسک را مقایسه کرده و علت اختلاف را بیان کنید.

آزمایش انتقال حرارت جوششی

وقتی سیالی با دمای اشباع در تماس با یک سطح جامد (معمولاً فلزی) با دمای بالاتر قرار داشته باشد، حرارت از سطح به سیال منتقل می‌شود و تغییر فاز (تبخیر) مقداری از سیال صورت می‌گیرد. با تغییر اختلاف دمای سطح و سیال، نحوه انتقال حرارت و نرخ آن بطور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. نمونه‌ای از منحنی جوشش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: منحنی جوشش برای آب در فشار یک اتمسفر: شار حرارتی در سطح هیتز برحسب اختلاف دما

جوشش به حالت‌های مختلفی تقسیم می‌شود:

جوشش جابجائی: وقتی دمای سطح کمی بیشتر از دمای سیال باشد، جوشش با جابجائی آزاد رخ می‌دهد.

جوشش هسته‌ای: با افزایش دمای سطح، حبابها تشکیل می‌شود و جوشش هسته‌ای رخ می‌دهد. جوشش هسته‌ای با تشکیل حباب و توربولانس شدید مشخص می‌شود. نرخ انتقال حرارت و ضریب انتقال حرارت بسیار بالا با اختلاف دمای متوسط در جوشش هسته‌ای رخ می‌دهد و در کاربردهای عملی تقریباً همیشه جوشش در این حالت رخ می‌دهد.

جوشش انتقالی: بعد از یک اختلاف دمای بحرانی، سطح هیتز از لایه ناپایدار بخار پوشیده می‌شود و تشکیل حباب به قدری سریع است که لایه بخار روی سطح را می‌پوشاند. در هر نقطه روی سطح هیتز جوشش بین جوشش هسته‌ای و فیلمی نوسان می‌کند. در این وضعیت نرخ انتقال حرارت کاهش می‌یابد.

جوشش لایه‌ای: با افزایش دمای سطح هیتز و افزایش نرخ تولید بخار، سطح هیتز توسط لایه‌ای از بخار پوشیده می‌شود و مایع نمی‌تواند سطح را خیس کند. در این وضعیت کاهش قابل ملاحظه‌ای در نرخ انتقال حرارت بوجود آمده تا شار حرارتی مینیمم رخ دهد (نقطه لیدن فراست).

جوشش فیلمی با تابش: بعد از ایجاد شار حرارتی مینیمم (نقطه لیدن فراست)، اگر حرارت به سطح داده شود باعث داغ شدن سطح شده تا اینکه تابش حرارتی زیاد شود. این وضعیت جوشش فیلمی همراه با تابش حرارتی گفته می‌شود.

برای اطلاعات بیشتر به کتب انتقال حرارت فصل جوشش و چگالش مراجعه شود.

Boiling Heat Transfer Unit H655

* HC655A Computer Linked Up-Grade Options

Condenser Pressure

Pressure Relief Valve

Pressure Switch

Condenser Pressure Transducer

Temperature Indicator

High Temperature Cut-out

Manual Control

Computer Control

Pilot Switch

Vapor Valve

Charging Valve

Condenser

Heater

Vapor

Liquid

Condenser Water Flowmeter

Control Valve

Flow Transducer

Water Drain

Water over

Computer Interface

RS232 Module

Interface Status

System Sampling

RS232

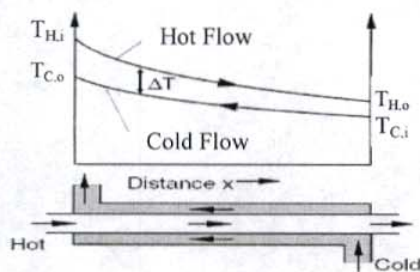
هدف از آزمایش:

- ۱- بررسی نواحی مختلف منحنی جوشش: بدین منظور با افزایش تدریجی توان هیتر در فشار ثابت مشاهدات خود را ثبت کنید. تثبیت فشار سیستم با تنظیم دبی آب چگالنده صورت می‌گیرد. مشاهدات خود را با منحنی جوشش (شکل ۱) مقایسه کنید.
- ۲- اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت و رسم منحنی تغییرات آن برحسب اختلاف دما: بدین منظور نیز با افزایش تدریجی توان هیتر در فشار ثابت، مقادیر توان و دمای سطح هیتر و دمای سیال را در جدولی مشابه جدول زیر یادداشت کنید. با استفاده از رابطه $q = hA(T_s - T_l)$ مقدار ضریب انتقال حرارت جوششی را محاسبه و برحسب اختلاف دما رسم کنید.

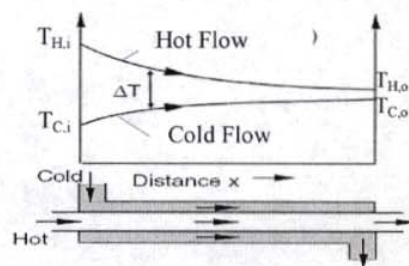
[illegible]

آزمایش انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی

مبدل حرارتی وسیله‌ای برای تبادل حرارت (معمولاً) بین دو سیال می‌باشد. البته مبدل‌های یک سیالی یا چند سیالی نیز وجود دارند. آرایش دو جریان در مبدل‌های حرارتی بصورت موازی، مخالف و عمود برهم و یا ترکیبی از آنها می‌باشد. در یک مبدل دو لوله‌ای دمای دو سیال (سیال گرم و سیال سرد) جریان یافته در مبدل بصورت نمایی تغییر می‌کند و همچنین بستگی به آرایش جریان دارد. بعنوان نمونه، شکل ۱ و ۲ بترتیب نمای شماتیک مبدل با جریان موازی و مخالف و تغییرات دمای دو سیال در آنها را نشان می‌دهد.



شکل ۲: تغییرات دما در مبدل حرارتی با جریان ناهمسو یا مخالف



شکل ۱: تغییرات دما در مبدل حرارتی با جریان همسو یا موازی

تجزیه و تحلیل مبدل‌های حرارتی

برای تحلیل انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی، فرض می‌شود مبدل حرارتی عایق باشد، به عبارت دیگر فرض می‌شود تمام گرمایی که سیال گرم از دست می‌دهد به سیال سرد منتقل شود. بنابراین با انجام موازنه حرارتی، توان مبدل حرارتی (Q) به دماهای ورودی و خروجی دو سیال ($T_{H,i}, T_{H,o}, T_{C,i}, T_{C,o}$)، خواص حرارتی دو سیال ($c_{p,H}, c_{p,C}$)، دبی جرمی دو سیال ($\dot{m}_H, \dot{m}_C$)، ضریب انتقال حرارتی کلی بین دو سیال (U) و سطح حرارتی مبدل (A) بدست می‌آید.

$$Q_C = (\dot{m}c_p)_C (T_{C,o} - T_{C,i})$$

نرخ انتقال حرارت به سیال سرد:

$$Q_H = (\dot{m}c_p)_H (T_{H,i} - T_{H,o})$$

نرخ انتقال حرارت از سیال گرم:

$$Q = U.A.F.LMTD$$

نرخ تبادل حرارت بین دو سیال:

بنا براین اگر مبدل عایق باشد، داریم:

$$Q = (\dot{m}c_p)_C (T_{C,o} - T_{C,i}) = (\dot{m}c_p)_H (T_{H,i} - T_{H,o}) = U.A.F.LMTD$$

در رابطه فوق، خواص در دمای متوسط هر سیال (متوسط ورودی و خروجی) ارزیابی می‌شوند و $LMTD$ اختلاف دمای متوسط لگاریتمی بوده و برای آرایش مخالف و موازی بصورت زیر بدست می‌آید:

$$LMTD = \frac{(T_{H,i} - T_{C,i}) - (T_{H,o} - T_{C,o})}{\ln \left(\frac{T_{H,i} - T_{C,i}}{T_{H,o} - T_{C,o}} \right)}$$

جریان موازی:

$$LMTD = \frac{(T_{H,i} - T_{C,o}) - (T_{H,o} - T_{C,i})}{\ln \left(\frac{T_{H,i} - T_{C,o}}{T_{H,o} - T_{C,i}} \right)}$$

جریان مخالف:

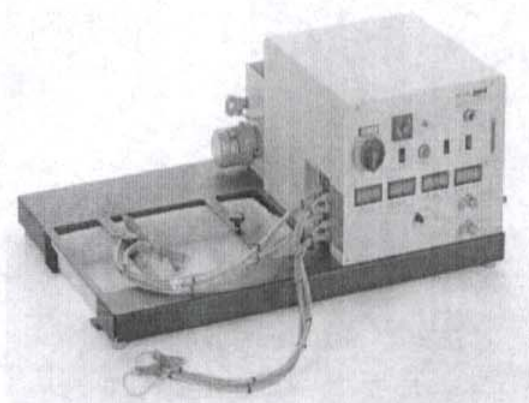
معمولاً برای آرایشهای مختلف، $LMTD$ با فرض جریان مخالف بدست می‌آید و سپس با ضریب تصحیح F اصلاح می‌شود. راندمان حرارتی مبدل‌های حرارتی (ϵ) بصورت توان یک مبدل حرارتی به توان یک مبدل حرارتی با جریان مخالف و سطح بینهایت تعریف می‌شود:

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{(\dot{m}c_p)_H \Delta T_H}{C_{\min} (T_{H,i} - T_{C,i})} = \frac{(\dot{m}c_p)_C \Delta T_C}{C_{\min} (T_{H,i} - T_{C,i})}$$

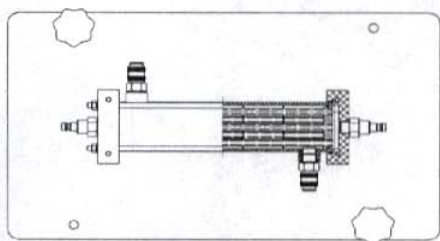
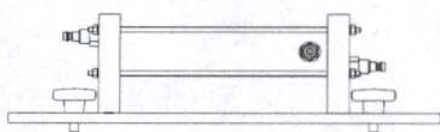
در رابطه فوق، C بیانگر نرخ ظرفیت حرارتی ($\dot{m}c_p$) و $C_{\min}$ بیانگر مقدار مینیمم نرخ ظرفیت حرارتی دو جریان است.

شرح دستگاه

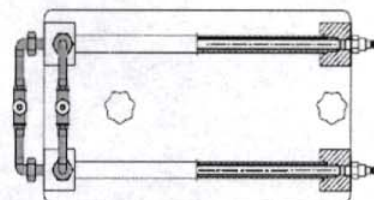
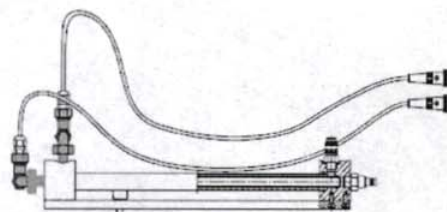
دستگاه مورد آزمایش دارای یک دستگاه پایه و چهار مبدل حرارتی (پوسته-لوله، دو لوله ای، صفحه ای و کویلی) می باشد. نمایی از دستگاه پایه در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین نمایی شماتیک از مبدل دو لوله ای و پوسته-لوله بترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. سطح حرارتی متوسط مبدل حرارتی دو لوله ای برابر با 0.0248 m^2 و سطح حرارتی متوسط مبدل حرارتی پوسته-لوله برابر با 0.02 m^2 می باشد. دستگاه شامل یک مخزن ذخیره آب داغ می باشد و توسط یک هیتر الکتریکی آب داغ با دمای مورد نظر در آن تهیه می شود. مدار جریان سیال گرم بسته بوده و جریان سیال گرم از مخزن تغذیه می شود و پس از تبادل حرارت با سیال سرد دوباره به مخزن برگشته و گرم می شود. مدار جریان سیال سرد باز بوده و جریان سیال سرد از آب شهر تامین شده و پس از تبادل حرارت با سیال گرم تخلیه می شود. با استفاده از وسایل اندازه گیری تعبیه شده، دماهای ورود و خروج دو جریان و دبی حجمی دو جریان قابل اندازه گیری می باشد. دیاگرام شماتیک اجزاء دستگاه، مدار گردش دو جریان و محل وسایل اندازه گیری با مبدل حرارتی جریان مخالف در شکل ۶ نشان داده شده است.



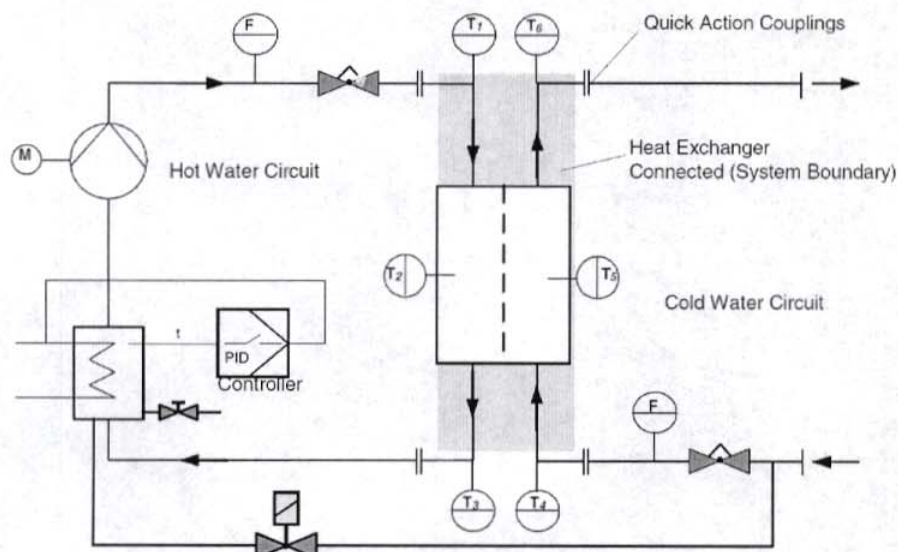
شکل ۳: دستگاه پایه آزمایش مبدل حرارتی



شکل ۵: شماتیک دستگاه مبدل حرارتی پوسته - لوله



شکل ۴: شماتیک دستگاه مبدل حرارتی دو لوله ای



شکل ۶: دیاگرام شماتیک اجزاء دستگاه، مدار گردش دو جریان و محل وسایل اندازه‌گیری با مبدل حرارتی جریان مخالف

هدف از انجام آزمایش و خواسته ها

۱- انجام آزمایش با مبدل حرارتی دو لوله ای برای دبی های مختلف تا رسیدن به حالت دائم

- رسم نمودارهای تغییرات دما برای آرایش موازی و مخالف
- محاسبه گرمای از دست داده شده توسط سیال گرم و گرمای بدست آمده توسط سیال سرد و محاسبه راندمان عایقکاری مبدل
- محاسبه ضریب انتقال حرارت کلی در حالت‌های مختلف و مقایسه آنها (ضریب انتقال حرارت برحسب دبی در یک نمودار رسم و برای دو آرایش مقایسه شود)
- محاسبه راندمان حرارتی مبدل برای حالت‌های مختلف و مقایسه آنها

۲- انجام آزمایش با مبدل حرارتی پوسته-لوله برای دبی های مختلف تا رسیدن به حالت دائم

- انجام آزمایش برای دبی‌های مختلف، محاسبه ضریب انتقال حرارت کلی در حالت‌های مختلف و مقایسه آنها
- محاسبه گرمای از دست داده شده توسط سیال گرم و گرمای بدست آمده توسط سیال سرد و محاسبه راندمان عایقکاری مبدل
- محاسبه ضریب انتقال حرارت کلی در حالت‌های مختلف و مقایسه آنها (ضریب انتقال حرارت برحسب دبی در یک نمودار رسم و برای دو آرایش مقایسه شود)
- محاسبه راندمان حرارتی مبدل برای حالت‌های مختلف و مقایسه آنها



آزمایشگاه انتقال حرارت
اطلاعات آزمایش مبادلهای حرارتی

نام و نام خانوادگی:	شماره دانشجویی:
شماره گروه:	تاریخ انجام آزمایش:
نام استاد آزمایشگاه:	امضاء استاد آزمایشگاه:

مبادل حرارتی دولوله‌ای									
سیال سرد				سیال گرم					
T_m	T_i	T_o	Q	T_m	T_i	T_o	Q	آرایش جریان	مرحله
								همسو	1
								همسو	2
								همسو	3
								همسو	4
								ناهمسو	5
								ناهمسو	6
								ناهمسو	7
								ناهمسو	8

مبادل حرارتی صفحه‌ای									
سیال سرد			سیال گرم						
T_i	T_o	Q	T_i	T_o	Q	آرایش جریان			
						همسو	1		
						همسو	2		
						همسو	3		
						همسو	4		
						ناهمسو	5		
						ناهمسو	6		
						ناهمسو	7		
						ناهمسو	8		

جدول شماره ۱ - آزمایش تسخیر

X (mm) : فاصله															
R (W/m ²) : عدد رادیومتر															
Log ₁₀ X															
Log ₁₀ R															

جدول شماره ۲ - آزمایش تسخیر

ردیف	T _A (°C)	T _s (°C)	R(w/m ²) : عدد رادیومتر	T _A (K)	T _s (K)
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					

جدول شماره ۳ - آزمایش تسخیر

ردیف	T _A (°C)	T _s (°C)	R(w/m ²) : عدد رادیومتر	T _A (K)	T _s (K)
۱					
۲					
۳					
۴					

جدول شماره ۲ - حدایت عمومی ساده

[illegible]

جدول شماره ۵ - هدایت محوری مرکب

Q(watt)	Time(min)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₇	T ₈	T ₉
	۰						
	۲						
	۴						

جدول شماره ۶ - هدایت محوری تغییر مقطع

[illegible]

جدول شماره ۷ - هدایت شعاع

Q(watt)	Time(min)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
	2						
	4						
	6						

جدول شماره ۸ - هدایت سیل

	۱	۲	۳	۴	۵	۶
V(volts)						
T ₁ (c)						
T ₂ (c)						
ΔT						
T _m (c)						
K(W/m.K)						
Q _e						
Q _s						
Q _i						

جدول شماره ۹ - هدایت سیل

V	T ₁	T ₂	ΔT	Q _i	Q _e	Q _s	K

جدول شماره ۱۰ - هدایت سیل

V	T ₁	T ₂	ΔT	Q _i	Q _e	Q _s	K