بسمه تعالی

دانشکده فنی و مهندسی علی آباد کتول

گروه مهندسی شیمی

دستور کار آزمایشگاه انتقال حرارت

تهیه و تنظیم: وجیهه جعفری (کارشناس آزمایشگاه)

دستورالعمل کلی

مواردی که برای تهیه‌ی گزارشکار آزمایشگاه عملیات واحد بایستی مدنظر قرار دهید به شرح ذیل است. به‌علاوه در ادامه محاسبات و پرسش‌های مربوط به هر آزمایش ذکر شده است، لطفا توجه فرمایید. در ضمن دقت نمایید ممکن است برخی اطلاعات و داده‌های حاصل از آزمایشات در محاسبات مورد استفاده قرار نگیرد.

هر گزارشکار بایستی موارد ذیل را در بر داشته باشد:

- عنوان آزمایش
- اعضای گروه و شماره دانشجویی
- ذکر نویسنده گزارشکار
- مقدمه مختصر
- شرح مختصری از روش کار با دستگاه
- محاسبات

لطفا قبل از انجام محاسبات مربوط به هر آزمایش، ابتدا هدف آزمایش را نوشته و سپس داده‌هایی که در هنگام انجام آزمایش در آزمایشگاه تهیه کردید را آورده و درنهایت محاسبات مربوطه را بنویسید.

- پاسخ به پرسش‌های آزمایش

دستگاه بررسی عملکرد

انتقال حرارت جابجایی (آزاد و اجباری)

Free Convection and Forced Convection

معرفی ریز قطعات :

انتقال حرارت جابجایی (آزاد و اجباری)

Free Convection and Forced Convection

مقدمه :

می‌دانیم که وقتی یک صفحه فلزی داغ در مقابل یک فن قرار گیرد سریعتر از زمانی سرد می‌شود که در مجاورت هوای ساکن قرار گیرد. در این صورت می گوئیم که حرارت جابجا شده است و این فرآیند را انتقال حرارت جابجایی می‌نامیم .

انتقال حرارت جابجایی

انتقال حرارت به طریق جابجایی برای بیشتر سیستم‌های انتقال حرارت نقشی اساسی را ایفاء می کند .

انتقال حرارت به طریق جابجایی به دو صورت امکان پذیر است :

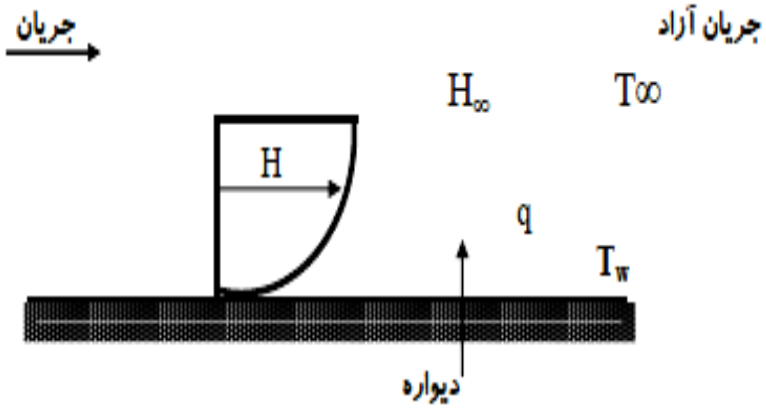
۱ . جابجایی طبیعی یا آزاد (Free Convection)

۲ . جابجایی اجباری (Forced Convection)

زمانی که هوا در مجاورت یک سطح گرم و در تماس با آن قرار می گیرد حرارت از سطح گرم به هوا منتقل می‌شود و هوا در قسمت مجاور سطح گرم به علت افزایش دما ، کاهش دانسیته پیدا کرده و به طرف بالا حرکت می کند و هوای سرد جایگزین آن می‌شود . این فرآیند دائماً تکرار می‌شود . به این فرآیند انتقال حرارت به روش جابجایی آزاد گفته می‌شود .جابجایی طبیعی یا آزاد ، ناشی از حرکت سیال در اثر تغییر چگالی حاصل از گرمایش است . یک رادیاتور گرم می‌تواند مثالی برای فرآیند جابجایی آزاد باشد که گرما را به طریق جابجایی منتقل می کند . حرکت سیال در اثر نیروی شناوری که هنگام گرم شدن و کاهش چگالی بر سیال وارد می‌شود شکل می گیرد . در اصطلاح به نیروهای شناوری وارد بر سیال نیروهای بدنه نیز می گویند . طبیعی است که هرچه دمای سطح بیشتر باشد جابجایی هوا نیز بیشتر خواهد بود و مقدار هوای بیشتری از سطح پراکنده می‌شود . اگر توان الکتریکی بیشتری به گرمکن بدهیم دمای سطح افزایش می‌یابد تا امکان انتشار انرژی دریافتی بیشتر شود .

$$q = h.A\,(T_w - T_\infty) \qquad \text{معادله } (1-1)$$

با این رابطه نرخ انتقال حرارت به اختلاف کلی درجه حرارت بین جداره سیال و سطح تماس A مرتبط می گردد . کمیت h را ضریب انتقال حرارت جابجایی و معادله (۱-۱) معادله معروف آن است .از این معادله در می‌یابیم که واحد h هنگامی که جریان حرارت بر حسب وات (W) بیان شود ، بر حسب وات بر متر مربع در درجه سیلسیوس بیان می گردد.



شکل (۱ – ۱) انتقال حرارت جابجایی از یک صفحه

اساس کار بیشتر مبدل‌های حرارتی و سیستم‌های مرتبط با آن ، انتقال حرارت هم‌زمان به طریق هدایت (Conduction) و جابجایی (Convection) آزاد یا اجباری است .

این موارد با مطالعه چگونگی تغییرات دما (Temperature Profile) و میزان حرارت منتقل شده بر واحد سطح (heat flux) در داخل یک کانال هوا ، در یک سطح صاف و یا یک سطح گسترده (extended surface) می‌توان ضریب انتقال حرارت را پیش‌بینی و محاسبه کرد .

دستگاه بررسی انتقال حرارت جابجایی آزاد و اجباری

۱ – شرح دستگاه

با استفاده از این دستگاه و به کمک مطالعه پروفایل دما و شار حرارتی در کانال هوای تعبیه شده روی دستگاه برای سه حالت الف – سطح قائم و افق مسطح ، ب – سطح پره‌دار (Finnied surface) ، ج – و سطح لوله استوانه‌ای (Cylindrical pins) می‌توان به اندازه‌گیری و تخمین ضرایب انتقال حرارت پرداخت .

این سطوح هر یک قابلیت نصب روی دیواره کانال هوا را دارند و یک المان حرارتی درون هر یک از این سطوح وجود دارد که میزان حرارت‌دهی آنها با هم برابر است .

برای جابجایی اجباری در این دستگاه یک فن (Fan) با دور متغییر در قسمت پایین و پشت کانال هوا تعبیه شده است که هوا را به سمت این صفحه‌ها هدایت می‌نماید و باعث حرکت هوا بر روی سطوح گرم می‌شود .

یادآوری می‌شود که سرعت هوا توسط سرعت سنج نصب شده روی کانال هوا قابل مشاهده می‌باشد .

۲ – شرح قطعات دستگاه

دستگاه شامل یک کانال قائم است . این کانال طوری طراحی شده است که دما و سرعت هوای درون دستگاه را به سادگی می‌توان کنترل و اندازه‌گیری و با قرار دادن انواع سطوح گرم با ابعاد مشخص در جریان هوا ، مطالعات کاملی انجام داد . فن نصب شده روی کانال هوا می‌تواند جریان هوای مورد نیاز در حالت جابجایی اجباری را تأمین نماید .

مجموعه‌ای دیگری نیز در کنار کانال هوا قرار دارد که توسط سیستم‌های مناسب امکان اندازه‌گیری دما ، کنترل توان ورودی و سرعت هوا را فراهم می کند . اندازه‌گیری دما توسط یک ترموکوپل PT100 و یک نمایشگر دما که بر حسب درجه سانتی گراد و برروی میز دستگاه نصب است قابل نمایش می‌باشد .

سرعت هوای جاری در کانال نیز توسط یک دستگاه سرعت سنج (Anemometer) قابل تنظیم و اندازه‌گیری است. توان گرمکن دستگاه را می‌توان بکمک ولت‌متر و آمپرمتر موجود روی دستگاه و رابطه زیر محاسبه نمود .

$$q = 0.24\, R \cdot I^2 \cdot t \qquad V = RI \qquad \rightarrow \qquad q = 0.24\, V\, I\, t$$

با استفاده از این سیستم می‌توانیم ضریب انتقال حرارت در حالت جابجایی آزاد و اجباری را برای سطوح زیر بدست آوریم .

مبدل‌های حرارتی زیر قابل آزمایش با این دستگاه می‌باشد .

۱) سطح صاف (Flat Plate) که در دو حالت عمودی و افقی قابل آزمایش است .

۲) سطح پره‌دار از نوع پین یا همان لوله‌استوانه‌ای (Pinned head sink)

۳) سطح پره‌دار فین یا همان تیغه‌ای (Finned head sink)

هر یک از این قطعات مستقلاً بر روی دستگاه در محل خاص خودش قرار می‌گیرد و بکمک آنها می‌توان ضریب انتقال حرارت در جابجایی آزاد و اجباری را در حالت عمودی بدست آورد . فقط برای سطح صاف ، انتقال حرارت در جابجایی افقی نیز قابل محاسبه است .

مبدل‌های حرارتی نام‌برده بالا را می‌توان در قسمت مخصوص بر روی کانال هوا بطور جداگانه قرار داده و با پیچ مربوطه در جای خود محکم نمود .

مساحتی که هر یک از مبدل‌ها می‌توانند انتقال حرارت داشته باشند در جدول زیر بیان شده است .

	مبدل سطح صاف	مبدل پره دار (پین)	مبدل پره دار (فین)
سطح انتقال حرارت	۰/۰۱۷۶ (m^2)	۰/۰۲۶۴ (m^2)	۰/۰۵۹۸۴ (m^2)

درون هر یک از مبدل‌های ذکر شده (سطح صاف یا پره‌دار) یک المان گرمایی قرار دارد که دمای ماکزیمم آنها توسط یک ترموکوپل PT100 که در روی بدنه کانال قرار دارد قابل نمایش است .

دمای پایه (base) هر یک از مبدل‌ها نیز توسط (sensor) و سیم رابط آن مشخص می‌شود.

بعد از قرار دادن هر یک از مبدل‌ها در مکان خود ترموکوپل را در قسمت ابتدایی خود (T_1) قرار داده تا دمای دمای پایه (base) مشخص شود . بکمک فن دستگاه می‌توان جریان هوایی به سمت بالا و با سرعت‌های مختلف ایجاد نمود و این مقدار را توسط تنظیم کننده جریان فن ، تغییر داد .

اندازه گیری دمای هوای ورودی بر روی صفحه‌ی نمایش (Anemometer) و دمای خروجی با ترموکوپل PT100 در قسمت بالای کانال و صفحه‌ی نمایشی آن روی دستگاه قابل رؤیت است .
سوراخ‌های موجود (T_2 و T_1) جهت اندازه‌گیری دما در نقاط مختلف مبدل‌ها در روی کانال وجود دارد .

آماده سازی دستگاه :

قبل از انجام آزمایش‌ها دوشاخه برق دستگاه را به پریز برق متصل نمائید . کلید برق اصلی را در حالت روشن قرار دهید . با این کار نمایشگرها روشن می‌شود .

آزمایش‌ها ، نحوه انجام و محاسبات آنها

آزمایش‌هایی که توسط این سیستم انتقال حرارت انجام می‌شوند :

۱) بررسی رابطه بین توان ورودی و دمای سطح در انتقال حرارت از طریق جابجایی آزاد . (Free Convection)

۲) بررسی رابطه بین توان ورودی و دمای سطح در انتقال حرارت از طریق جابجایی اجباری. (Forced Convection)

۳) بررسی توزیع دما در طول یک سطح افزایش یافته . (Extended Surface)

۴) بررسی اثر افزایش سطح در میزان انتقال حرارت از یک سطح .

۵) مقایسه انتقال حرارت در جریان جابجایی آزاد در یک سطح افقی و قائم .

نکات مهم در ارتباط با آزمایش‌ها

الف – در آزمایش‌هایی که با سطح صاف انجام می‌شوند (آزمایش‌های ۵ و ۲ و ۱) رسیدن به حالت پایدار کمی مشکل است ، و دلیل اصلی آن پایین بودن ضریب انتقال حرارت است . از طرف دیگر چون سیستم کنترل توان ورودی گرم‌کن‌ها بسیار حساس است . برای رسیدن به دمای ثابت و حالت پایدار سیستم دقت زیادی لازم است .

ب – در آزمایش‌های مربوط به جابجایی آزاد ، در حالتی که کلید فن خاموش است کنترل کنید که سرعت سنج (Anemometer) سرعت صفر را نشان دهد .

ج – در آزمایش‌های مربوط به جابجایی اجباری ، امکان تغییر سرعت هوا به منظور انجام آزمایش ، در محدوده معینی از سرعت وجود دارد . برای رسیدن به حالت پایدار می‌توان در یک دمای ثابت سرعت را خواند و یا در یک سرعت معین دما را اندازه‌گیری کرد . در هر صورت برای کسب پاسخ مناسب حداکثر سرعت را (m/s) ۱/۲ قرار دهید .

د – از دماسنج میله‌ای (ترموکوپل PT100) جهت اندازه‌گیری دما در داخل کانال استفاده می‌شود که می‌توان آن‌را از نقاط مختلف موجود در قسمت چپ کانال وارد کرد (T_2 و T_1) به منظور کاهش خطا در جابجایی ترموکوپل سرعت تعویض مهم است همچنین دقت نمائید ترموکوپل به اندازه لازم وارد قسمت مربوط شده و به صفحه‌های داخلی اتصال کامل داشته باشد .

و – در این سری آزمایش‌ها ، منظور از رسیدن به حالت پایدار زمانی است که تغییرات دما با زمان صفر است ، یعنی دماسنج دیجیتالی تقریباً دمای ثابتی را نشان می‌دهد .

آزمایش اول :

رابطه توان ورودی و دمای سطح در انتقال حرارت جابجایی آزاد

یک سطح گرم ، انرژی خود را توسط فرآیند کنواکسیون (Convection) با جابجایی پراکنده می‌کند . اگر چه حرارت می‌تواند توسط هدایت و تشعشع نیز منتقل شود ولی در این آزمایش فقط انتقال حرارت از طریق جابجایی آزاد (Free Convection) مورد نظر است .

روش انجام آزمایش

برای انجام این آزمایش مبدل حرارتی از نوع فین با همان تیغه‌ای (Finned head sink) را در داخل کانال در محل مخصوص خود قرار دهید .دمای محیط را یادداشت کنید . (این دما همان دمایی است که در صفحه‌ی نشان دهنده سرعت سنج (Anemometer) نمایش داده می‌شود .

کلید گرم‌کن را بر روی حالت یک و ترموکوپل را نیز در محل (T_1) قرار دهید . منتظر بمانید تا دما به ۸۰ درجه سانتی‌گراد برسد سپس کلید گرم‌کن را در حالت صفر قرار داده و برای رسیدن به شرایط پایدار مدتی صبر کنید . حال دمای سطح گرم (T_1) را که همان (T_H) است یادداشت نمائید .

این عمل را برای دماهای ۱۱۰ و ۱۴۰ درجه آزمایش کرده و جدول زیر را پر کنید .

دمای اولیه	ولت V	آمپر A	زمان t	توان ورودی q	دمای سطح گرم T_H یا T_1	اختلاف دمای سطح گرم و محیط $T_H - T_A$
۸۰ ^0C						
۱۱۰ ^0C						
۱۴۰ ^0C						

محاسبات :

بعد از انجام آزمایش نمودار توان ورودی را بر حسب $T_H - T_A$ رسم نموده و آنرا تفسیر نمائید .

آزمایش دوم :

رابطه توان ورودی و دمای سطح در انتقال حرارت جابجایی اجباری

در انتقال حرارت از طریق جابجایی آزاد میزان انتقال حرارت از سطح به میزان جابجایی هوا در اثر گرم شدن بستگی دارد . در صورتی که هوا خود دارای سرعت باشد ، میزان انتقال حرارت بیشتر است . به چنین پروسه‌ای در انتقال حرارت ، جابجایی اجباری (Forced Convection) گفته می‌شود . در این نوع انتقال حرارت به ازاء توان ورودی یکسان و سطح تماس برابر ، دمای سطح گرم کمتر از دمای همان سطح در جابجایی آزاد خواهد بود .

روش انجام آزمایش

برای انجام این آزمایش مبدل حرارتی از نوع فین یا همان تیغه‌ای (Finned head sink) را در داخل کانال در محل مخصوص خود قرار دهید .دمای محیط را یادداشت کنید . (این دما همان دمایی است که در صفحه‌ی نشان دهنده سرعت سنج (Anemometer) نمایش داده می‌شود .

کلید گرم کن را بر روی حالت یک و ترموکوپل را نیز در محل (T_1) قرار دهید . منتظر بمانید تا دما به ۸۰ درجه سانتی‌گراد برسد سپس کلید گرم کن را در حالت صفر قرار داده و برای رسیدن به شرایط پایدار مدتی صبر کنید . حال کلید فن را در حالت یک قرار داده و بکمک ولوم تنظیم سرعت فن ، این سرعت را در حدود (m/s) ۰/۶ تنظیم نمائید مجددا به سیستم فرصت دهید تا به حالت پایدار برسد . حال دمای سطح گرم (T_1) را که همان (T_H) است یادداشت نمائید .

این عمل را برای همان دما ولی با دو سرعت دیگر (مثلاً (m/s) ۰/۹ و (m/s) ۱/۲) آزمایش کرده و جدول زیر را کامل کنید .

برای دمای اولیه ۸۰ ^{o}C						
سرعت هوا (m/s)	ولت V	آمپر A	زمان t	توان ورودی q	دمای سطح گرم T_H یا T_1	اختلاف دمای سطح گرم و محیط $T_H - T_A$
۰						
۰/۶						
۰/۹						
۱/۲						

محاسبات : بعد از انجام آزمایش نمودار توان ورودی را بر حسب $T_H - T_A$ رسم نموده و آنرا تفسیر نمائید .

آزمایش سوم : بررسی توزیع دما در طول یک سطح افزایش یافته

در یک مبدل حرارتی با سطح گسترده هنگامی که دمای تمام نقاط سطح برابر دمای صفحه پایه (صفحه‌ای که پره‌ها به طور قائم به آن متصل شده‌اند) باشد راندمان صددرصد است . ولی در عمل چنین چیزی اتفاق نمی‌افتد ، زیرا در صورت وجود اختلاف دما در پره‌ها ، انتقال حرارت به صورت هدایت (Conduction) انجام می‌شود که باعث ایجاد یک گرادیان دما می‌شود . هر چه اختلاف دما در پره‌ها بیشتر باشد ، راندمان کمتر است . نکته قابل ذکر این است که ممکن است مشاهده شود میزان انتقال حرارت در مبدل حرارتی پره‌دار از نوع Fin بیشتر از نوع Pin است .علت آن سطح تماس حرارتی زیادتری است که مبدل حرارتی پره‌دار از نوع Fin تأمین می‌کند و بنای نتیجه گرفت که راندمان پره نوع Pin بیشتر است .

روش انجام آزمایش

برای انجام این آزمایش مبدل حرارتی از نوع فین یا همان تیغه‌ای (Finned head sink) در محل مخصوص خود قرار دهید. و مانند قبل دمای محیط را یادداشت و گرم‌کن را در حدود ۸۰ قرار دهید . پس از پایداری سیستم گرم‌کن را خاموش و دمای سطح گرم را یادداشت کنید (که همان T_1 است نزدیک‌ترین سوراخ) سپس ترموکوپل را وارد سوراخ دورتر از صفحه (T_2) کرده و دما را یادداشت کنید . مطمئن شوید نوک ترموکوپل به صفحه درست متصل شده باشد .

این آزمایش با همین شرایط برای سرعت‌های دیگر (مثلاً (m/s) ۰/۹ و (m/s) ۱/۲) انجام و جدول را کامل کنید . همین شرایط را می‌توان برای دو دمای دیگر (مثلاً ۱۱۰ و ۱۴۰ درجه نیز به همین کیفیت انجام داد .)

آزمایش بالا را برای مبدل حرارتی از نوع پین تکرار کرده و جدول مخصوص به هر کدام را تکمیل کنید .

دمای محیط : ..... آزمایش برای دمای اولیه ۸۰ °C							
فاصله از نزدیکترین سوراخ $d_1 = 0/9$ mm فاصله از دورترین سوراخ $d_2 = 3/6$ mm	دمای T_2	دمای سطح گرم T_H یا T_1	توان ورودی q	زمان t	آمپر A	ولت V	سرعت هوا (m/s)
							۰
							۰/۶
							۱/۲

محاسبات : بعد از انجام آزمایش نمودار دمای نقاط مختلف را بر حسب فاصله آنها از پایه دیواره صفحه در سرعت‌های متفاوت رسم نموده و آنرا تفسیر نمائید .

برای مبدلی که دارای راندمان صد در صد باشد ، دمای نقاط مختلف سطح مساوی دمای پایه (دیواره اصلی گرم‌کن) است . ولی همان‌طور که قبلاً ذکر شده ، در عمل چنین چیزی اتفاق نمی‌افتد . در نتیجه هر چه اختلاف دمای سطح و دیواره اصلی گرم‌کن بیشتر باش ، راندمان سطح گسترده کمتر است . با توجه به نمودارهای رسم شده ، راندمان مبدل‌های پره‌دار نوع میله‌ای و صفحه‌ای را مقایسه کنید و مشاهدات خود را تفسیر نمائید .

آزمایش چهارم : بررسی اثر افزایش سطح در میزان انتقال حرارت از سطح

میزان انتقال حرارت نسبت مستقیم با میزان سطح تماس دارد . به عبارت دیگر با افزایش سطح تماس می‌توان میزان انتقال حرارت را افزایش داد ، ولی چون در عمل نمی‌توان این کار را با افزایش بیش از اندازه سطح انجام داد . جهت افزایش سطح از اضافه کردن پره‌های عمود بر سطح از نوع Fin ، یا میله‌های استوانه‌ای Pin که به بدنه متصل می‌شود استفاده می‌کنند . این سطوح جدید را اصطلاحاً سطوح گسترده (افزایش یافته) (Extended Surface) می‌گویند . در شرایط مساوی توان ورودی و سرعت هوا با این آزمایش می‌توان اثر افزایش سطح انتقال حرارت را مشاهده کرد .

روش انجام آزمایش

مبدل حرارتی با سطح صاف را در محل مخصوص خود قرار دهید، و مانند قبل دمای محیط را یادداشت و گرم‌کن را در حدود ۸۰ قرار دهید . پس از رسیدن به دمای ۸۰ درجه سیستم گرم‌کن را خاموش کنید و منتظر بمانید تا سیستم به حالت پایداری حرارتی برسد حال دمای سطح گرم را یادداشت کنید (که همان T_1 یا T_H) سپس سرعت فن را برابر سرعت‌های جدول قرار داده و بعد از پایدار شدن سیستم دمای سطح را خوانده و یادداشت کنید .

آزمایش بالا را برای مبدل‌های حرارتی پره‌دار تکرار کرده و جدول مخصوص به هر کدام را تکمیل کنید .

دمای محیط : ..... آزمایش برای دمای اولیه $80\ ^oC$

سرعت هوا (m/s)	ولت V	آمپر A	زمان t	توان ورودی q	دمای سطح گرم T_H یا T_1	اختلاف دمای سطح گرم و محیط $T_H - T_A$
۰						
۰/۶						
۱/۲						

محاسبات :

نمودار سرعت بر حسب اختلاف دما ($T_H - T_A$) را رسم نموده و نظر خود را در مورد اثر افزایش سطح تماس حرارتی بنویسید .

آزمایش پنجم :

مقایسه انتقال حرارت در جریان جابجایی آزاد در یک سطح افقی و قائم

هنگامی که اختلاف دما بین یک دیواره و یک سیال ساکن ایجاد شود ، اگر دمای دیواره بیشتر از دمای سیال باشد به سمت بالا حرکت می‌نماید و اگر دمای دیواره کمتر از دمای سیال باشد ، سیال به سمت پایین حرکت می کند ، بنابراین گرادیان دما باعث اختلاف دانسیته در سیال می‌شود و این عمل سیال را به جریان می‌اندازد . نکته قابل توجه این است که جهت صفحه در حرکت هوا مؤثر است .

یک صفحه افقی حرکت هوا را محدود می‌نماید و در نتیجه مقدار انتقال حرارت کمتر می‌شود ولی اگر همین صفحه به صورت قائم قرار گیرد انتقال حرارت بهتر انجام می‌شود .

روش انجام آزمایش

مبدل حرارتی با سطح صاف را به صورت افقی در محل مخصوص خود قرار دهید. و مانند قبل دمای محیط را یادداشت و گرم کن را در حدود ۸۰ قرار دهید . پس از رسیدن به دمای ۸۰ درجه سیستم گرم کن را خاموش کنید و منتظر بمانید تا سیستم به حالت پایداری حرارتی برسد حال دمای سطح گرم را یادداشت کنید (که همان T_1 یا T_H) . این عمل را برای دو یا چند دمای دیگر امتحان و یادداشت کنید .

آزمایش بالا را برای همین مبدل ولی بصورت قائم تکرار کرده و جدول مخصوص به هر کدام را تکمیل کنید .

دمای محیط : ..... آزمایش برای دمای اولیه $80\ ^oC$						
	ولت V	آمپر A	زمان t	توان ورودی q	دمای سطح گرم T_H یا T_1	اختلاف دمای سطح گرم و محیط $T_H - T_A$
افقی						
قائم						

محاسبات :

نتایج حاصل از این آزمایش را تفسیر نمائید .

در هر آزمایش مقدار ضریب h را محاسبه نموده و نتایج حاصل را مقایسه نمایید.

دستگاه اندازه گیری
انتقال حرارت تشعشعی

معرفی ریز قطعات :

دستگاه اندازه‌گیری انتقال حرارت تشعشعی

هدف :

یافتن ضریب صدور میله تحت آزمایش با استفاده از قانون استفان بولتزمن و تعیین تأثیر اثرات فشار گاز در انتقال حرارت بطریق تشعشع .

الف) انتقال حرارت تشعشعی در خلاء ب) انتقال حرارت تشعشعی در هوا

الف) انتقال حرارت تشعشعی در خلاء

مقدمه : تشعشع حرارتی همان تشعشع الکترومغناطیسی می‌باشد که توسط یک جسم در نتیجه دمای آن منتشر می‌شود . انتقال حرارت هدایتی و جابجایی نیاز به گرادیان دما در یک ماده دارد ولیکن انتقال حرارت توسط تشعشع حرارتی به فضای مادی نیاز ندارد . این نوع انتقال حرارت فرآیند بسیار مهمی است و از نظر فیزیکی جالب‌ترین مکانیزم انتقال حرارت بشمار می‌آید .
انتقال حرارت تشعشعی در فرآیند گرمایش ، سرمایش ، خشک کردن در صنعت و در صنایع تبدیل انرژی مانند احتراق سوخت‌های فسیلی و تشعشع خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد .

تئوری :

جسم جامدی را در نظر بگیرید که ابتدا در دمای T_g (که نسبت به دمای محیط T_∞ زیادتر است) قرار گرفته و فشار محیط صفر مطلق باشد .(وجود خلاء باعث جلوگیری از انتقال حرارت بطریق هدایت و جابجایی می‌شود .) تجربه نشان داده است که جسم پس از مدتی سرد شده و سرانجام به دمایی برابر با دمای تعادل حرارتی با محیط خود می‌رسد . این سرد شدن ناشی از کاهش انرژی داخلی ذخیره شده در جسم و در نتیجه صدور انرژی به صورت تشعشع از سطح جسم می‌باشد . بدین ترتیب تمام اجسام اطراف ما (هر جسمی که دمای آن از صفر مطلق بیشتر باشد) از خود تشعشع حرارتی صادر می‌کند .
منشأ تشعشع ، صدور انرژی توسط ماده است و انتقال آن نیاز به ماده ندارد . پس طبیعت این انتقال چیست ؟
یکی از تئوری‌های موجود ، تشعشع را به عنوان انتشار مجموعه‌ای از ذرات به نام فوتون تعبیر می‌کند . تئوری دیگر این پدیده را به‌عنوان انتشار امواج الکترومغناطیسی در نظر گرفته است . در هر صورت تشعشع بدون توجه به نوع آن با سرعت نور که برابر با ($۳ * ۱۰^{۱۰}\ cm/s$) است انتشار می‌یابد .

تشعشع یک جسم سیاه :

برای تشریح مشخصات تشعشعی سطوح واقعی ، باید ابتدا جسم سیاه را معرفی نمائیم .

جسم سیاه سطح ایده‌آلی است که دارای خواص زیر می‌باشد .

۱ - بدون توجه به طول موج و جهت ، تمام تشعشع ورودی را جذب نماید .

۲ - در یک دما و طول موج معین ، هیچ سطحی نمی‌تواند بیش از جسم سیاه انرژی صادر کند .

۳ - جسم سیاه یک صادر کننده پخشنده (diffuse) می‌باشد .

موادی که دارای خواص فوق بوده و از قانون استفان بولتزمن تبعیت کنند را جسم سیاه می‌نامیم . طبق رابطه استفان بولتزمن مقدار تشعشع جسم سیاه از رابطه زیر بدست می‌آید .

$$E_b = \sigma T_4 \qquad \sigma = 5.699 * 10^{-10} \quad (w/m^2.K^4)$$

که در آن E_b انرژی تشعشع یافته در واحد سطح (w/m^2) با توان پخش و σ ثابت استفان بولتزمن و T دمای مطلق جسم بر حسب K می‌باشد .

زیر نویس b در معادله معرف آن‌است که تشعشع از یک جسم سیاه صورت گرفته است . موادی که از این قانون تبعیت کنند سیاه به نظر می‌رسند . در اینجا ذکر این مسئله حائز اهمیت است که سیاهی یک جسم می‌تواند از نظر مشاهدات بصری کاملاً گمراه کننده باشد . سطحی که با دوده‌ی چراغ پوشیده شده به‌نظر سیاه می‌رسد و برای طیف تشعشع حرارتی نیز سیاه خواهد بود. از طرف دیگر برف و یخ کاملاً روشن به‌نظر می‌رسند ، لکن برای تشعشع حرارتی طول موج بلند اساساً سیاهند . بسیاری از رنگ‌های سفید نیز اساساً برای طول موج بلند سیاه هستند .

صدور انرژی از سطوح واقعی :

تا بحال رفتار یک جسم سیاه را به‌عنوان سطح ایده‌آل مورد بررسی قرار دادیم . اکنون رفتار سطوح واقعی را در نظر می‌گیریم . قبلاً گفتیم که جسم سیاه صادر کننده‌ی ایده‌آلی است که هیچ سطحی نمی‌تواند در همان دما بیش از جسم سیاه تشعشع داشته باشد . بنابراین مناسب است اگر جسم سیاه را به‌عنوان مرجعی برای اندازه‌گیری صدور انرژی ازیک جسم حقیقی در نظر بگیریم . زمانی که انرژی تشعشع یافته به یک جسم مادی اصابت کند ، بخشی از تشعشع بازتاب شده ، برخی جذب و برخی عبور می‌کند ، در شکل مقابل حالات ذکر شده نشان داده شده است .

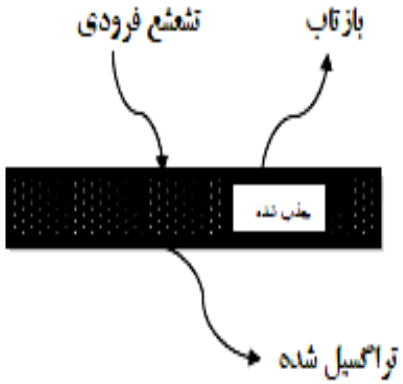
$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

ρ = ضریب بازتاب بصورت کسری که بازتاب یافته است .

α = ضریب جذب بصورت کسری که جذب شده است .

τ = ضریب عبور شده بصورت کسری که عبور کرده است .

یک خاصیت تشعشعی سطح ضریب صدور نام دارد و به‌عنوان نسبت تشعشع توسط سطح به صدور تشعشع توسط یک جسم سیاه در همان دما تعریف می‌گردد .



طرح نشان دهنده اثرات تشعشع فرودی

$\varepsilon = E / E_b$ وقتیکه ضریب صدور مصالح را اندازه‌گیری می کنیم مواد واقعی کمتر از سطوح سیاه واقعی تشعشع گسیل می‌دارند . در واقع ضریب گسیل یک ماده با دما و طول موج تشعشع و شرایط سطحی تغییر می کند .

جسم خاکستری :

جسم خاکستری جسمی است که ضریب گسیل تکفام آن ε_λ مستقل از طول موج می‌باشد . ضریب گسیل تکفام بصورت نسبت توان پخش تکفام جسم به توان پخش تکفام یک جسم سیاه با همان طول موج و دما تعریف می‌شود .

$$\varepsilon_\lambda = (E_\lambda / E_{b\lambda})$$

تبادل تشعشع بین سطوح :

تاکنون مسئله تشعشع ورودی یک سطح مورد بحث قرار گرفته است . حالا مسئله تبادل تشعشع بین دو یا چند سطح را مورد بررسی قرار می‌دهیم . این تبادل به شکل هندسی سطوح ، وضعیت قرار گرفتن آنها نسبت به هم ، خواص تشعشعی سطوح و درجه حرارت آنها بستگی دارد .با فرض اینکه سطوح ماده از نظر تشعشعی غیر متعادل است .

فاکتور شکل :

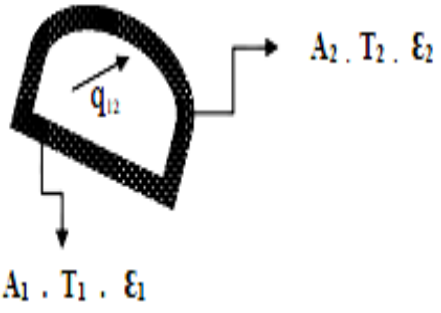
برای محاسبه تبادل تشعشع بین هر دو سطح ، ابتدا بایستی ضریب شکل Shape factor را تعریف کنیم . ضریب شکل F_{ij} بصورت کسری از تشعشع خروجی از سطح j برخورد می کند تعریف می‌شود .برای محاسبه فاکتور شکل می‌توان از روابط موجود و یا منحنی‌هایی که در دسترس می‌باشد استفاده نمود . مهمترین رابطه‌هایی که در مورد ضریب شکل قابل استفاده است ، عبارت است :

$$A_i F_{ij} = A_j F_{ji} \quad , \quad \Sigma F_{ij} = 1$$

انتقال حرارت بین دو سطح :

ساده‌ترین مثال را می‌توان محفظه‌ای فرض نمود که شامل دو سطح بوده که با هم از طریق تشعشع انتقال حرارت صورت می‌دهند . چون فقط دو سطح در حال تبادل حرارت می‌باشند ، نرخ خالص انتقال حرارت تشعشعی از رابطه زیر بدست می‌آید .

$$q_{12} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\left[\left(\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1}\right) + \left(\frac{1}{A_1 F_{1-2}}\right)\right] + \left(\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2}\right)}$$



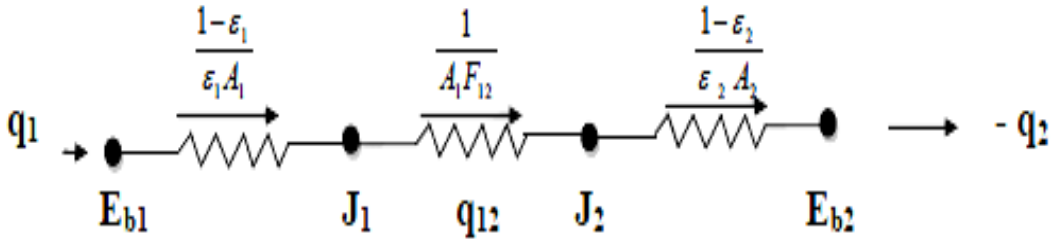
در دستگاه مورد آزمایش $F_{1-2} = 1$ می‌باشد . بعلت اینکه تمام انرژی صادره از سطح الفان جذب مخزن می گردد . و یا : چون استوانه خودش را نمی‌بیند .

$F_{1-2} = 1$ پس $F_{1-2} + F_{11} = 1$ و $F_{11} = 0$

$\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2} = 0$ چون مخزن جسم ایزوله شده می‌باشد .

$$q_{1-2} = \sigma \varepsilon_1 A_1 (T_8^4 - T_v^4)$$

(مدار تشعشعی)



$$q_2 = \frac{E_{b1} - j_1}{\left(1-\varepsilon_1\right)/\left(\varepsilon_1 A_1\right)} \qquad -q_2 = \frac{J_2 - E_{b2}}{\left(1-\varepsilon_2\right)/\left(\varepsilon_2 A_2\right)}$$

شرح دستگاه :

دستگاه مورد آزمایش تشکیل شده است از یک المان استوانه‌ای شکل مسی که سطح آن صیقلی می‌باشد و به طور افقی در یک مخزن تحت فشار مطابق شکل صفحه بعد آویزان شده است .قطر آن (mm) ۶/۳۵ و طول آن (mm) ۱۶۰ می‌باشد .

مخزن فشار روی یک میز نصب شده است و بوسیله یک لوله به یک پمپ خلاء متصل است . که می‌توان بکمک پمپ خلاء در مخزن ، خلاء نسبی ایجاد نمود . مخزن (cm) ۴۶ قطر و (cm) ۷۶ ارتفاع دارد .المان بکمک یک گرم کن الکتریکی که در آن نصب شده است گرم می‌شود .درجه حرارت سطح المان ، توسط یک ترموکوپل متصل به آن و یک ترموستات قابل کنترل است. ماکزیم درجه حرارت المان در حدود ۴۰۰ درجه سانتی گراد است .یک پمپ خلاء جهت ایجاد فشار منفی در دستگاه وجود دارد که بهمراه لوله‌های مربوطه و یک شیر در مسیر راه به مخزن متصل است .فشار درون مخزن از روی فشارسنج نصب شده در بالای مخزن قابل رؤیت است . یک شیر خروجی در مسیر تعبیه شده است تا مسیر مخزن به فشار اتمسفری را آزاد نماید. همچنین برای حالتی که بخواهیم مخزن را از گاز دیگری پر نمائیم از این شیر می‌توان استفاده نمود .

فرضیات و ضرایب تصحیح :

۱) بخاطر اتصالات ترموکوپل و تماس المان با سیم‌های رابط می‌توان ضریب تصحیحی معادل ۲٪ افزایش سطح المان را منظور داشت .

۲) افت توان در سیم‌های رابط معادل ۴ ٪ توان ورودی فرض می‌شود .

۳) اتلاف حرارتی بخاطر هدایت گرما از طریق کابل‌های جریان و نگهدارنده معادل رابطه زیر فرض می‌شود .

$0.00167\,(T_s - T_v)$, (W) وات

۴) تلورانس ولتمتر در حدود ۲ الی ۴ ($\pm$ 2 - 4) ولت و تلورانس ترموکوپل را ($\pm 2\ ^{o}C$) در نظر بگیرید . همچنین می‌توانید از این مقادیر نیز صرف نظر نمائید .

۵) المان بقدر کافی از دیواره‌های مخزن فاصله دارد که بتوان تبادل حرارت بطریقه جابجایی را انجام دهد .

۶) انتقال حرارت از طریق مخزن به بیرون قابل صرف نظر است و دمای هوای مخزن را می‌توان برابر دمای مخزن فرض نمود که با ترموکوپل نصب شده بر روی دیواره مخزن اندازه‌گیری می‌شود .

۷) سطح المان در مقایسه با سطح مخزن خیلی کوچک است .

روش انجام آزمایش :

میله با محیط از طریق تشعشع و جابجایی آزاد تبادل حرارت می کند . برای اینکه انتقال حرارت فقط به صورت تشعشع انجام گیرید ، باید انتقال حرارت بصورت جابجایی حذف شود . چون عامل انتقال حرارت به صورت جابجایی آزاد وجود فضای مادی و مولکول‌های هوا می‌باشند بنابراین باید محیط داخل مخزن را از هوا تخلیه کنیم . تئوری مولکولی انتقال حرارت جابجایی حتی در فشارهای خیلی کم که با دستگاه می توان ایجاد کرد قابل ملاحظه است .برای پیدا کردن مقدار واقعی انتقال حرارت خالص تشعشعی و در نتیجه مقدار ضریب صدور میله تحت آزمایش ، در یک توان ورودی ثابت به میله ، تغییرات اختلاف دمای میله و محیط را (θ) نسبت به تغییرات فشار مخزن تعیین می کنیم .و سپس با رسم منحنی و استفاده از آن با توجه به این موضوع که در فشارهای صفر مطلق انتقال حرارت فقط بصورت تشعشع صورت می گیرد ، مقدار ضریب صدور قابل محاسبه است . برای انجام این آزمایش مراحل زیر را انجام دهید .

۱) ابتدا دوشاخه دستگاه را به پریز برق متصل کنید . قبل از روشن نمودن دستگاه دقت کنید تمامی کلیدهای دیگر در حالت خاموش باشند .

۲) سپس کلید برق اصلی را بر روی یک قرار داده تا دستگاه روشن شود .

۳) کلید سمت چپ کلید اصلی (قسمت انتقال تشعشعی در خلاء) و کلید گرمکن را در حالت یک قرار دهید تا این قسمت دستگاه روشن شود . حال ترموستات با توجه به تنظیمات که بر روی ۲۰۰ درجه تنظیم شده است جریان برق را به المان ارسال و المان شروع به گرم کردن می کند این افزایش دما بکمک همان ترموستات قابل رؤیت است . هنگامی که دما به ۸۰ درجه سانتی گراد رسید ابتدا مقدار ولت و آمپر را یادداشت و سپس کلید گرمکن را در حالت صفر قرار دهید . منتظر بمانید تا سیستم به حالت پایدار برسد .(در این هنگام با خاموش نمودن کلید گرمکن جریان برق به المان قطع شده ولی مقداری افزایش دما وجود دارد) (زمانی که ترموستات افزایش دمایی برای المان نشان دهد و این دما تقریباً با افزایش همراه نباشد . مثلاً به دمای ۱۰۰ برسد) در این حالت فشار مخزن (از روی فشارسنج) ، دمای میله یا المان (از روی ترموستات) ، ولت ، آمپر و دمای مخزن (از روی ترمومتر T_9) را در جدول مربوط یادداشت کنید .

۴) فشار را بطور پله‌ای با روشن نمودن پمپ تخلیه تغییر داده و مراحل بالا را در هر فشار تکرار و نتایج را یادداشت کنید . این عمل را تا رسیدن به فشار حداقل انجام دهید .

۵) از مرحله ۳ به بعد را برای دمای بیشتر مجدداً آزمایش کنید . (هنگامی که دمای ترموستات به ۱۲۰ درجه رسید کلید گرمکن را خاموش کرده منتظر بمانید تا سیستم به ثبات دمایی برسد مثلاً دمای ۱۵۰ درجه)

دمای سطح المان بعد از تثبیت (پیشنهادی)	عدد فشارسنج mmHg	فشار مطلق mmHg	ولت	شدت‌جریان	زمان	توان	دمای هوای مخزن
T_8	P_G	P_{ab}	V	A	t	W	T_A
۱۰۰	فشار محیط						

دمای سطح المان بعد از تثبیت (پیشنهادی)	عدد فشارسنج mmHg	فشار مطلق mmHg	ولت	شدت‌جریان	زمان	توان	دمای هوای مخزن
T_8	P_G	P_{ab}	V	A	t	W	T_A
۱۵۰	فشار محیط						

دمای سطح المان بعد از تثبیت (پیشنهادی)	عدد فشارسنج mmHg	فشار مطلق mmHg	ولت	شدت‌جریان	زمان	توان	دمای هوای مخزن
T_8	P_G	P_{ab}	V	A	t	W	T_A
۲۰۰	فشار محیط						

آزمایش دوم: بررسی تأثیر رنگ و فاصله در میزان جذب حرارتی

شرح دستگاه :

۱) تشکیل شده است از یک گرمکن با توان ۲۲۰۰ وات (دو المنت ۶۰۰ وات و یک المنت ۱۰۰۰ وات) .

۲) ولت متر و آمپرمتر جهت اندازه‌گیری توان سیستم حرارتی

۳) صفحه‌های رنگی جهت بررسی اثر رنگ بر میزان جذب گرما (سفید ، خاکستری و سیاه)

۴) ریل مخصوص جهت ایجاد فاصله بین منبع حرارتی با صفحه‌های رنگی

۵) نگهدارنده صفحه‌های رنگی که بر روی ریل سوار است .

۶) ترموکوپل حساس از نوع (PT100) جهت اندازه‌گیری میزان دمای صفحه‌های رنگی

۷) ترمومتر جهت نمایش میزان دما

۸) خط‌کش به‌منظور اندازه‌گیری میزان فاصله صفحه‌ها از منبع حرارتی .

شرح آزمایش :

ابتدا یکی از صفحه‌های رنگی را در مکان خود قرار داده و ترموکوپل آنرا در مکان خود بگونه‌ای تنظیم کنید تا نوک آن حتماً به صفحه متصل باشد . این صفحه را در مسیر ابتدای ریل (همان فاصله ۳۰ Cm) قرار دهید .

حال کلید این قسمت را در حالت یک قرار داده تا سیستم روشن شود . در این حالت گرمکن‌ها روشن شده و سبب بالا رفتن دمای صفحه می‌شود . در این حالت می‌توان میزان افزایش دمای صفحه را از روی ترمومتر دستگاه مشاهده نمود . همچنین مقدار ولت و آمپر مصرفی از روی ولتمتر و آمپرمتر را جهت اندازه‌گیری وات مصرفی گرمکن‌ها یادداشت نمود .

توجه :

یادداشت برداری اطلاعات ، زمانی انجام شود که سیستم به ثبات حرارتی برسد . به‌عبارتی دیگر هنگامی که تغییرات دمایی صفحه به حداقل رسید تقریباً به ثبات دمایی رسیده است .

جهت محاسبه میزان انرژی مصرفی گرمکن‌ها بر حسب کالری از روابط زیر استفاده کنید .(اگر ضریب عددی را حذف کنید انرژی مصرفی بر حسب ژول بدست می‌آید.) ($q = R \cdot I^2 \cdot t$)

$$q = 0.24\ R \cdot I^2 \cdot t \qquad V = RI \quad \rightarrow \quad q = 0.24\ V\ I\ t$$

پس از انجام این مرحله ، آزمایش را برای چند فاصله دیگر انجام دهید . صفحه را همراه نگهدارنده آن درون ریل جابجا کرده مثلاً در فاصله (۴۰ Cm) منبع حرارتی قرار دهید . همان مراحل بالا را برای این فاصله انجام داده و جدول زیر را تکمیل نمائید .

این آزمایش به همین صورت برای دیگر صفحات رنگی (سیاه و خاکستری) انجام و جداول را تکمیل نمائید .

صفحه سفید						
فاصله تا منبع حرارتی	دمای صفحه T	ولت V	شدت جریان A	زمان t	توان ورودی $P = RI^2 = VI$	انرژی ورودی $q = 0.24\ V\ I\ t$
۳۰ Cm						
۴۵ Cm						
۶۰ Cm						
۷۵ Cm						

صفحه خاکستری						
فاصله تا منبع حرارتی	دمای صفحه T	ولت V	شدت جریان A	زمان t	توان ورودی $P = RI^2 = VI$	انرژی ورودی $q = 0.24\ V\ I\ t$
۳۰ Cm						
۴۵ Cm						
۶۰ Cm						
۷۵ Cm						

صفحه سیاه						
فاصله تا منبع حرارتی	دمای صفحه T	ولت V	شدت جریان A	زمان t	توان ورودی $P = RI^2 = VI$	انرژی ورودی $q = 0.24\ V\ I\ t$
۳۰ Cm						
۴۵ Cm						
۶۰ Cm						
۷۵ Cm						

توجه :

در پایان نمودار دما بر حسب توان ورودی را برای هر یک از صفحه‌ها رسم و نتیجه گیری نمائید .

با توجه به نتایج آزمایش در مورد تاثیر رنگ صفحات و فاصله بر میزان جذب حرارت تشعشعی بحث کنید.

مقدار ضریب جذب هر یک از صفحات را محاسبه نمایید.

مبدل حرارتی جریان متقاطع

فصل اول : دستورالعمل دستگاه

هدف :

بررسی انتقال حرارت در مبدل های جریان متقاطع

شکل 1: دستگاه مبدل حرارتی جریان متقاطع

مقدمه :

برای انتقال حرارت بهتر بین دو سیال، مبدلهای حرارتی متعددی طراحی شده است. درمتداولترین طراحی انتقال حرارت بین یک سیال در حال گذر از درون دسته ای از لوله ها و سیال دیگرکه از سطح بیرونی لوله ها می گذرد، انجام می شود. چنین مبدلهای حرارتی رامبدل حرارتی جریان متقاطع "*Cross Flow Heat Exchanger*" می نامند.

طرحهای مختلفی در نحوه چیدن لوله ها برای بهبود انتقال حرارت در مبدلهای فوق پیشنهاد شده است. زیرا در شرایط بهینه انتقال حرارت سطح حرارتی کمتری برای انتقال مقدار معینی حرارت لازم خواهد بود. هدف تمام طراحی ها افزایش درهمی در جریان سیال گذرنده از روی سطح است.

شرح دستگاه :

به شکل دستگاه دقت کنید. دستگاه از یک مجرای عبور هوا تشکیل شده است. هوا توسط فن در داخل مجرا به جریان در می آید. دستگاه دارای سه نوع مبدل حرارتی است که در محل تعبیه شده روی مجرا نصب می گردد. مطابق شکل (2)، دستگاه از قسمتهای زیر تشکیل شده است :

1) کانال جریان هوا با سطح مقطع $20 \times 20\ cm^2$
2) پنل دستگاه که نمایشگر ها و کنترل کننده ها بر روی آن قرار گرفته اند. توسط کلید *on/off* دستگاه جریان برق دستگاه برقرار می گردد.
3) فن جهت برقراری جریان هوای کانال
4) درایو فن که به وسیله یک کلید *on/off* فن شروع به کار می نماید. توسط ولوم تنظیم دبی هوا، سرعت فن از صفر تا صد در صد مقدار نهایی تغییر می کند.
5) نمایشگر دیجیتال دمای هوای ورودی
6) توان هیتر به وسیله ولوم تنظیم وات هیتر قابل تنظیم بوده و توسط نمایشگر دیجیتال نمایش داده می شود.
7) سرعت هوای ورودی، توسط دبی سنج دیجیتال هوا نمایش داده می شود.
8) المان های تک میله ای، تک میله ای پره دار و چند میله ای (شکل 2).
9) نمایشگر دمای سطح المان فعال با دقت یک درجه سانتیگراد

شکل 2: المان های تک میله ای، تک میله ای پره دار و چند میله ای

صفحات لوله استاندارد:

صفحه تک لوله ای:

این صفحه شامل یک صفحه فلزی با یک میله به قطر 30میلیمتر در مرکز است. المان فعال در داخل این میله قرار دارد. هنگامی که این قطعه در کانال هوا قرار می گیرد می توان اثر تک لوله ای را در جریان متقاطع مشاهده نمود.

روی این نمونه یک سنسور اندازه گیری دما قرار گرفته است.

صفحه تک لوله ای پره دار:

این صفحه شامل یک صفحه فلزی پره دار با یک میله به قطر بیرونی 30میلیمتر و قطر درونی 16در مرکز است. المان فعال در داخل این میله قرار دارد. هنگامی که این قطعه در کانال هوا قرار می گیرد می توان اثر تک لوله ای را در جریان متقاطع مشاهده نمود

روی این نمونه نیز یک سنسور اندازه گیری دما قرار گرفته است.

صفحات چندلوله ای:

این قطعه شامل یک صفحه فلزی ضخیم است که 16 عدد میله فلزی به قطر16 میلیمتر به صورت خاصی روی آن چیده شده است و در کل دارای 4 ردیف است

المان فعال:

این قطعه شامل یک استوانه آلومینیومی ضخیم به قطر 16 میلیمتر و طول 100 میلیمتر است. روی سطح المان یک ترموکوپل حرارتی نصب شده که قادر است دمای سطح المان را نشان دهد.

در ردیف دوم و چهارم صفحات چندلوله ای المان فعال یا هیتر قرار دارد که با گرداندن این صفحه با زاویه 180 درجه، المان فعال در ردیف های اول و سوم قرار می گیرد. با وصل کردن سوکت های برق و ترموکوپل در محل های مناسب می توان المان فعال را در هر سطر قرار داد.

تعیین سرعت جریان هوای داخل کانال:

سنسور نمایش دهنده سرعت بر روی کانال نصب گردیده است. سرعت مشاهده شده به صورت پیش فرض برحسب متر بر ثانیه است که با دکمه های *UNIT* که روی نمایشگر قرار دارد قابل تغییر است. سرعت مشاهده شده را U بنامید.

سرعت موثر هوا برای صفحه تک لوله ای و تک لوله ای پره دار، برابر U است. در مورد صفحه چند لوله ای سرعت موثر از رابطه زیر بدست می آید:

$$\acute{U}=2.343\ U$$

آزمایش های قابل انجام

1) تعیین انتقال حرارت، اختلاف دما و ضریب انتقال حرارت سطح برای تک لوله ای وقتی که درجریان متقاطع با سرعت معین در حالت پایدار قرار گیرد.
2) تعیین ضریب متوسط انتقال حرارت برای لوله های ردیف اول تا چهارم چندلوله ای درمبدل حرارتی جریان متقاطع در شرایط پایدار.
3) تعیین ضریب انتقال حرارت متوسط برای مبدل حرارتی جریان متقاطع دارای یک تا چهار ردیف لوله.
4) تعیین رابطه بین عدد ناسلت (Nu)، رینولدز (Re) و پراندتل (Pr) برای هریک از چهار ردیف لوله در چندلوله ای ساده.

فصل دوم : دستور آزمایش

تئوری :

ضریب کلی انتقال حرارت درمبدل حرارتی جریان متقاطع به سه عامل زیر بستگی دارد:

1) ضریب انتقال حرارت سیال گذرنده از داخل لوله ها
2) ضریب هدایتی و ضخامت لوله ها
3) ضریب انتقال حرارت سیال گذرنده از بیرون سطح

به منظور افزایش دو مورد اول باید سرعت سیال داخل لوله را افزایش داد و از ضخامت لوله ها کاست. ترم سوم نیز با افزایش سرعت جریان بزرگتر خواهد شد. بنابراین برای هر یک از لوله ها باید عدد رینولدز خارجی افزایش یابد که این کار با نحوه قرار گرفتن لوله ها روی سطح و افزایش تلاطم درسیستم امکان پذیر است. بهترین شرایط زمانی است که هر ردیف لوله طوری قرارگرفته باشدکه جریان متلاطم ایجاد شده توسط ردیف قبلی، درمقابل ردیف دیگر قرار گیرد بنابراین یک اثر متوالی ایجاد می شود به گونه ای که با اضافه شدن عمق دسته لوله ها اثرتلاطم نیز بیشتر میشود.

تلاطم با توجه به افزایش عدد رینولدز در مقدار ضریب انتقال حرارت به روی سطح اثر می گذارد درصورتی که جریان سیال موجود در بیرون لوله ها گاز باشد، ضریب انتقال حرارت با اضافه شدن سطح(مثلا Fin) افزایش می یابد. به این دلیل و نیز به دلیل کاربرد فراوان مبدلهای حرارتی جریان متقاطع درصنعت بهتر است که مهندسان و صنعتگران با چگونگی بازدهی و طراحی آنها آشنا باشند.

انتقال حرارت به روش جابجایی یا وزش یا همرفت هنگامی صورت می گیرد که گاز یا مایعی با جسم جامدی در تماس مستقیم باشد واز آن حرارت گرفته یا به آن حرارت بدهد . در این پدیده مولکولهای سیال متحرک بوده وپس از تغییر دما که باعث تغییر خواص فیزیکی آنها می شود جابجایی فیزیکی انجام شده باعث آمیختگی وجابجا شدن سیال ودر نتیجه انتقال انرژی حرارتی می شود . فرآیند جابجایی تنها در گازها ومایعات که مولکولهای آنها توانایی جابجا شدن را دارند ، امکان پذیر است .

جابجایی حرارتی به دو گونه صورت می گیرد، جابجایی آزاد یا طبیعی وجابجایی اجباری .

در جابجایی آزاد روند جابجایی، تنها بدلیل بروز اختلاف چگالی لایه های مختلف سیال در اثر تغییر دمای آن روی میدهد. بدین ترتیب که چگالی لایه های پایینی سیال در اثر گرم شدن کاهش یافته وسپس سیال بطرف بالا به حرکت در می آید. مقدار سیالی که جابجا می شود تابع جنس سیال ،اندازه اختلاف دما وحجم فضایی است که سیال در آن قرار دارد. اما در جابجایی اجباری نیروی خارجی وارد شده بر سیال (مانند وزش باد ،پمپها ، دمنده ها) باعث جابجایی مولکول های سیال ودر پی آن انتقال حرارت می شود. بررسی این پدیده حرارتی را در این آزمایشگاه بر روی مبادله کن حرارتی جریان متقاطع انجام می دهیم.

مبادله کن های حرارتی جریان متقاطع، امروزه کاربرد وسیعی در صنایع مختلف دارند. از آن جمله میتوان به رادیاتور اتومبیل، برج های خنک کننده،کولر آبی و غیره اشاره نمود.

طبق قوانین ترمودینامیک و بالانس انرژی میتوان نوشت :

$$\dot{q} = hA(T - T_\infty) \quad (1)$$

$$\dot{q} \times d_t = mcdT \quad (2)$$

با ترکیب دو رابطه بالا خواهیم داشت :

$$\frac{-dT}{T - T_\infty} = \frac{hA}{mc} dt \quad (3)$$

و با انتگرال گیری از رابطه (۳) خواهیم داشت :

$$\int \frac{-dT}{T - T_\infty} = \frac{hA}{mc} \int dt$$

$$Ln(T - T_\infty) = \frac{-hA}{mc} t + c$$

با اعمال شرایط مرزی:

زمان $t = 0 \rightarrow T = T_0$

$$Ln(T - T_\infty) - Ln(T_0 - T_\infty) = \frac{-hA}{mc} t \quad (4)$$

$$Ln \frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = \frac{-hA}{mc} t$$

با رسم تغییرات $Ln\Delta T$ برحسب t (زمان) . شیب این خط برابر $\frac{-hA}{mc}$ خواهد شد . به منظور راحتی کار بجای Ln از Log استفاده میکنیم بنابراین داریم :

$$\text{شیب خط } M = \frac{-hA}{mc}$$

$$2/3028 \text{Log } N = \text{Ln } N$$

$$M = \frac{-hA}{2/3028\ mc}$$

$$h = -2/3028 \frac{mc}{A} M$$

به منظور ارزیابی هرچه بهتر خواص وطبیعت مبادله کن های حرارتی جریان متقاطع از دستگاهی استفاده شده که بر اساس قانون بالانس انرژی کار می کند . المانی به صورت (lamped)ساخته شده تا فقط اثر انتقال حرارت جابجایی را

مشخص سازد، طبیعی است در این حالت اثرات انتقال حرارت بصورت هدایت وتشعشع ناچیز خواهد بود.

در این روابط : T: دمای المان گرم شونده $T_0 = T_\infty$: دمای هوای ورودی

T_∞ : دما محیط t :زمان q : میزان انتقال حرارت

آزمایش های قابل انجام

آزمایش 1:

ابتدا المان میله ای ساده را با روشن نمودن هیتر بقدری گرما دهید تا اختلاف دمای آن با محیط بیشتر از 80 درجه سانتیگراد گردد .سپس آن را از هیتر قطع کنید ودر هوای آزاد به صورت کاملا افقی قرار دهید و به محض رسیدن اختلاف دما به 80 درجه کرنومتر را به کار بیندازید واز این لحظه به ازای هر 5 درجه سانتیگراد کاهش دما ،زمان را یادداشت نمایید وجدول زیر را تشکیل دهید .لازم به یاد آوری است در این حالت دستگاه خاموش بوده وهیچگونه وزش بادی در محیط نباید وجود داشته باشد .در حقیقت مرحله اول را مرحله اندازه گیری ضریب انتقال حرارت در جابجایی آزاد می نامند .در این حالت (h)ضریب انتقال حرارت در جابجایی آزاد با استفاده از منحنی تغیرات $Ln\Delta T$ بر حسب زمان قابل محاسبه است .

این روند را برای نمونه پره دار نیز انجام دهید.

نمونه میله ای ساده

$t(s)$															
$\Delta T(C^0)$	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
$Ln\Delta T$															

نمونه میله ای پره دار

$t(s)$															
$\Delta T(C^0)$	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
$Ln\Delta T$															

مرحله دوم :

در این مرحله المان را پس از گرم شدن توسط هیتر بصورت کاملا عمودی نگه دارید واعمال مرحله اول را برای المان تکرار نموده و منحنی تغیرات $Ln\Delta T$ بر حسب زمان را رسم نمایید و (h) را محاسبه نمایید .

این روند را برای نمونه میله ای پره دار نیز تکرار کنید.

نمونه میله ای ساده

$t(s)$															
$\Delta T(C^0)$	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
$Ln\Delta T$															

نمونه میله ای پره دار

$t(s)$															
$\Delta T(C^0)$	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
$Ln\Delta T$															

مرحله سوم :

فن دستگاه را روشن نموده، والمان میله ای ساده را تا $\Delta T = 80$ گرم نموده و زمان سرمایش را به ازای هر 5 درجه سانتیگراد اختلاف دما در جدول زیر یادداشت نمایید .این عمل را برای چهار سرعت مختلف فن انجام دهید منحنی تغیرات $Ln\Delta T$ بر حسب زمان را رسم نمایید و (h) را محاسبه نمایید.

در حقیقت در این مرحله به بررسی وتعیین ضریب انتقال حرارت جابجایی اجباری برای دبی های مختلف سیال می پردازیم .توجه داشته باشید که در این حالت وضعیت قرار گیری المان کاملا افقی است .

این آزمایش را برای میله پره دار تکرار کنید.

میله ای ساده

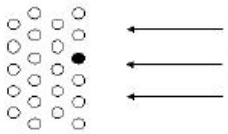
$\Delta T(C^0)$	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
$Ln\Delta T$															
t در سرعت 1															
t در سرعت 2															
t در سرعت 3															
t در سرعت 4															

میله پره دار

$\Delta T(C^0)$	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
$Ln\Delta T$															
زمان سرعت 1															
زمان سرعت 2															
زمان سرعت 3															
زمان سرعت 4															

مرحله چهارم :

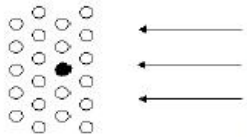
در این مرحله میله های فلزی را در ردیف های افقی قرار دهید در این مرحله فن روشن بوده والمان را تا اختلاف دمای 80 درجه سانتیگراد گرم نمایید والمان را در اولین ردیف مقابل جریان هوا قرار دهید وجدول سرمایش رادر دو سرعت مختلف فن تشکیل داده و منحنی تغییرات $Ln\Delta T$ بر حسب t را رسم نمایید.



$\Delta T(C^0)$	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
$Ln\Delta T$															
زمان سرعت 1															
زمان سرعت 2															

مرحله پنجم :

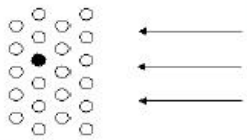
در این مرحله اعمال مرحله چهارم را دوباره انجام داده با این تفاوت که این بار المان را در ردیف دوم قرار دهید وجدول مربوطه را کامل نمایید ومنحنی تغییرات $Ln\Delta T$ بر حسب t را رسم نمایید.



$\Delta T(C^0)$	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
$Ln\Delta T$															
زمان سرعت 1															
زمان سرعت 2															

مرحله ششم :

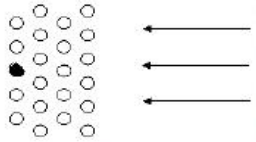
در این مرحله المان را درردیف سوم قرار داده واعمال مراحل قبل را دوباره انجام دهید ومنحنی تغییرات $Ln\Delta T$ بر حسب t را رسم نمایید.



$\Delta T(C^0)$	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
$Ln\Delta T$															
زمان سرعت 1															
زمان سرعت 2															

مرحله هفتم :

در این مرحله المان را درردیف چهارم قرار داده واعمال مراحل قبل را دوباره انجام دهید ومنحنی تغییرات $Ln\Delta T$ بر حسب t را رسم نمایید



$\Delta T(C^0)$	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
$Ln\Delta T$															
زمان سرعت 1															
زمان سرعت 2															

تعیین انتقال حرارت، اختلاف دما و ضریب انتقال حرارت برای یک لوله درجریان عرضی هوا با سرعت دلخواه

دستگاه را روشن کنید اگر صفحه تک لوله ای در داخل کانال قرار ندارد، دو پیچ مربوط به کانکتورها را بازکنید و سیم هیتر و ترموکوپل را جداکنید. دو پیچ مربوط به نگه داشتن صفحه ها را با دست بازکنید و صفحه را خارج کنید و صفحه تک لوله ای را داخل کانال قرار دهید.

ولوم مربوط به توان هیتر را در کمترین حالت خود یعنی صفر قرار دهید. حال دکمه *Run* فن را فشار دهید و به کمک ولوم روی درایو سرعت فن را بالاببرید تا عدد20 بر روی نمایشگر ثابت شود. به کمک ولوم مربوط به کنترل توان هیتر، توان هیتر را بالا ببرید تا دمای هیتر در عدد90 درجه سانتیگراد ثابت بماند. توجه کنید که توان هیتر را به صورت اندک اندک بیافزایید. زیرا در سرعت کم هوا، انتقال حرارت کم است. سرعت هوا در کانال را که بر روی نمایشگر سنسور دیده می شود، یادداشت کنید.

پس از پایدار شدن دما مقدار سرعت موثر هوا (U')، دمای هوای کانال (Ta)، دمای هیتر (Ts) و توان هیتر را یادداشت کنید.

جدول (1)

شماره آزمایش	1	2	3	4	5	6	7	8
دمای سطح المان فعال $Ts(°C)$								
دمای هوای کانال $Ts(°C)$								
سرعت هوا در کانال $U(ms^{-1})$								
توان المان گرمایی $Q(watts)$								
ضریب متوسط انتقال حرارت $h(Wm^{-2}K^{-1})$								
اختلاف دمای سطح المان حرارت $Ts-Ta$								
شار حرارتی $\Phi(watt)m^{-2}$								
سرعت موثر هوا $U'(ms^{-1})$								
عدد رینولدز $\rho VD/\mu$								
عدد ناسلت hd/K								

این آزمایش را با دو سرعت دلخواه دیگر انجام دهید.(سرعت فن به وسیله ولوم روی درایو تنظیم می شود). جدول (1) را کامل کرده، نمودار $Log\ h$ (h: ضریب انتقال حرارت) برحسب $Log\ Re$ رسم کنید. نتایج حاصل را با موردی که h را از دو فرمول تجربی دیگر محاسبه کرده اید مقایسه کنید (بارسم نمودار).

آزمایش 2:

تعیین ضریب انتقال حرارت متوسط سطح برای لوله های ردیف اول تا چهارم در مبدل حرارتی جریان متقاطع

دستگاه را روشن کنید. اگر صفحه چند لوله ای در داخل کانال قرار ندارد، دو پیچ مربوط به کانکتورها را باز کنید و سیم هیتر و ترموکوپل را جدا کنید. دو پیچ مربوط به نگه داشتن صفحه ها را با دست باز کنید و صفحه را خارج کنید و صفحه چند لوله ای را داخل کانال قراردهید.

ولوم مربوط به توان هیتر را در کمترین حالت خود یعنی صفر قرار دهید. حال دکمه *Run* فن رافشار دهید و به کمک ولوم روی درایو سرعت فن را بالابرید تا عدد20 بر روی نمایشگر ثابت شود. به کمک ولوم مربوط به کنترل توان هیتر، توان هیتر را بالا ببرید تا دمای هیتر در عدد90 درجه سانتیگراد ثابت بماند. توجه کنیدکه توان هیتر را به صورت اندک اندک بیافزایید. زیرا در سرعت کم هوا، انتقال حرارت کم است. سرعت هوا در کانال را که بر روی نمایشگر سنسور دیده میشود، یادداشت کنید.

پس از پایدار شدن دما مقدار سرعت موثر هوا (U')، دمای هوای کانال(Ta)، دمای هیتر(Ts) و توان هیتر را یادداشت کنید. این آزمایش را با دو سرعت دلخواه دیگر انجام دهید.(سرعت فن به وسیله ولوم روی درایو تنظیم میشود.)

جدول (2) را کامل کرده، نمودار $Log\ h$ (h: ضریب انتقال حرارت) برحسب $Log\ Re$ رسم کنید. نتایج حاصل را با موردی که h را از دو فرمول تجربی دیگر محاسبه کرده اید مقایسه کنید. (بارسم نمودار)

جدول (2)

شماره آزمایش	1	2	3	4	5	6	7	8
دمای سطح المان فعال $Ts\,(^{\circ}C)$								
دمای هوای کانال $Ts\,(^{\circ}C)$								
سرعت هوا در کانال $U\,(ms^{-1})$								
توان المان گرمایی $Q\,(watts)$								
ردیف لوله								
ضریب متوسط انتقال حرارت $h\,(Wm^{-2}K^{-1})$								
اختلاف دمای سطح المان حرارت $Ts-Ta$								
شار حرارتی $\Phi(watt)m^{-2}$								
سرعت موثر هوا $U'(ms^{-1})$								
عدد رینولدز $\rho VD/\mu$								
عدد ناسلت hd/K								

آزمایش 3:

تعیین انتقال حرارت، اختلاف دما و ضریب انتقال حرارت برای یک لوله پره دار درجریان عرضی هوا با سرعت دلخواه

دستگاه را روشن کنید اگر صفحه تک لوله ای پره دار در داخل کانال قرار ندارد، دو پیچ مربوط به کانکتورها را بازکنید و سیم هیتر و ترموکوپل را جداکنید. دو پیچ مربوط به نگه داشتن صفحه ها را با دست باز کنید و صفحه راخارج کنید و صفحه تک لوله ای پره دار را داخل کانال قراردهید.

ولوم مربوط به توان هیتر را در کمترین حالت خودیعنی صفر قرار دهید. حال دکمه Run فن را فشاردهید و به کمک ولوم روی درایو سرعت فن را بالا ببرید تا عدد20 بر روی نمایشگر ثابت شود. به کمک ولوم مربوط به کنترل توان

هیتر، توان هیتر را بالا ببرید تا دمای سطح المان فعال در عدد90 درجه سانتیگراد ثابت بماند. توجه کنیدکه توان هیتر را به صورت اندک اندک بیافزایید زیرا در سرعت کم هوا، انتقال حرارت کم است. سرعت هوا در کانال را کـه بـر روی نمایشگر سنسور دیده میشود، یادداشت کنید.

پس از پایدار شدن دما مقدار سرعت موثر هوا ($\acute{U}$)، دمای هوای کانال(Ta)، دمای هیتر(Ts) و توان هیتـر را یادداشـت کنید.

این آزمایش را با دو سرعت دلخواه دیگر انجام دهید. (سرعت فن به وسیله ولوم روی درایو تنظیم میشود).

جدول (3) را کامل کرده، نمودار $Log\ h$ (h: ضریب انتقال حرارت) برحسب $Log\ Re$ رسم کنیـد. نتـایج حاصـل را بـا موردی که h را از دو فرمول تجربی دیگر محاسبه کرده اید مقایسه کنید (بارسم نمودار).

شماره آزمایش	1	2	3	4	5	6	7	8
دمای سطح المان فعال $Ts(^{\circ}C)$								
دمای هوای کانال $Ts(^{\circ}C)$								
سرعت هوا در کانال $U(ms^{-1})$								
توان المان گرمایی $Q(watts)$								
اختلاف دمای سطح المان حرارت $Ts-Ta$								
شار حرارتی $\Phi(watt)m^{-2}$								
ضریب متوسط انتقال حرارت $h(Wm^{-2}K^{-1})$								
سرعت موثر هوا $U^{'}(ms^{-1})$								
عدد رینولدز $\rho VD/\mu$								
عدد ناسلت hd/K								

جدول (3)

جدول لزجت و چگالی هوا در دماهای مختلف

Temperature - t - (^{o}C)	Density - ρ - (kg/m^3)	Specific Weight - γ - (N/m^3)
-40	1.5 14	14.85
-20	1.395	13.68
0	1.293	12.67
5	1.269	12.45
10	1.247	12.23
15	1.225	12.01
20	1.204	11.81
25	1.184	11.61
30	1.165	11.43
40	1.127	11.05
50	1.109	10.88
60	1.060	10.40
70	1.029	10.09
80	0.9996	9.803
90	0.9721	9.533
100	0.9461	9.278
200	0.7461	7.317
300	0.6159	6.040
400	0.5243	5.142
500	0.4565	4.477
1000	0.2772	2.719

ضریب هدایت حرارتی مایع و گاز

فصل اول : دستورالعمل دستگاه

هدف :

اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی در سیالات

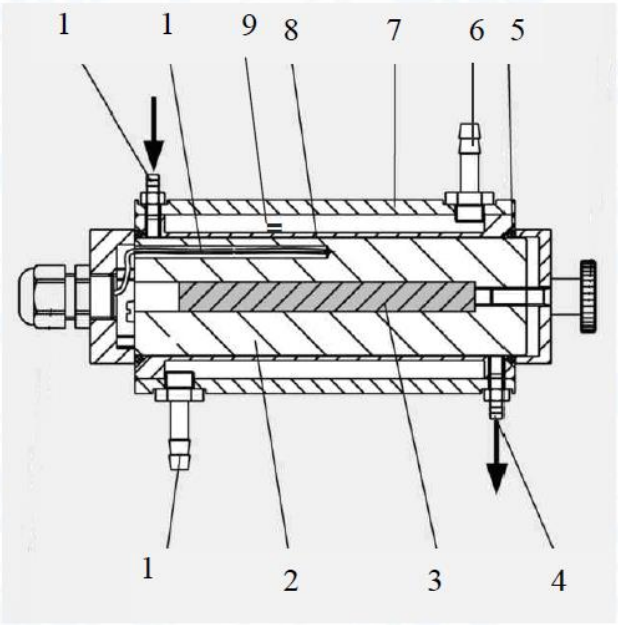
مقدمه :

هدایت, انتقال انرژی از ذرات پر انرژی یک ماده به ذرات کم انرژی مجاور و حاصل از بر هم کنش بین ذرات است. در مایعات و گازها, هدایت بر اثر برخورد و انتشار مولکول ها در حین حرکت تصادفی صورت می گیرد. سیالات اکثراً بصورت کنوکسیون باعث انتقال حرارت می شوند ولی در همه آنها تا اندازه ای هدایت حرارتی نیز وجود دارد. در این آزمایش ابتدا بایستی دستگاه را کالیبره کرد و بعد از کالیبراسیون مقدار k_f را برای سیال مورد نظر محاسبه نمود.

شرح دستگاه :

دستگاه "تعیین ضریب هدایت حرارتی مایع و گاز" مطابق شکل زیر تشکیل شده است. از یک منبع گرم استوانه ای و یک منبع سرد استوانه ای (*Water Jacket*) که در واقع یک پوسته است که آب در آن جریان داشته و نقش منبع سرمایش را ایفا می کند. بین این دو منبع, یک فضای خالی استوانه ای شکل ایجاد شده است و سیال مورد آزمایش, اعم از مایع و گاز در این فضا وارد شده و با گرادیان دمایی ایجاد شده توسط منابع گرم و سرد, حرارت از طریق هدایت از این لایه سیال عبور می نماید.

در مرکز منبع گرم استوانه ای, یک هیتر الکتریکی قرار گرفته است. توان ورودی, به وسیله کنترلر دیجیتال توان, قابل تنظیم است. به این ترتیب می توان, درجه حرارت منبع گرم (T_1) را تغییر داد.



شکل (2)

اجزای اصلی نشان داده شده در شکل (2):

1. اتصال ورودی آب خنک کننده
2. المان حرارتی: استوانه ای از جنس آلومینیوم که هیتر درون آن قرار گرفته است.
3. هیتر
4. خروجی سیال مورد آزمایش
5. واشر آب بند
6. خروجی آب خنک کننده
7. پوشش خنک کننده
8. فضای خالی استوانه ای (محفظه آزمایش)
9. سنسور دمایی جهت اندازه گیری دمای قسمت سرد (T_1)
10. سنسور دمایی جهت اندازه گیری دمای قسمت گرم (T_2)
11. ورودی سیال مورد آزمایش

روش کار با دستگاه :

1- دستگاه به وسیله کلید اصلی روشن می شود.

2- با باز کردن شیرهای ورود و خروج آب خنک کننده, آب در منبع سرد به جریان می افتد.

3- سیال مورد آزمایش, از قسمت ورودی محفظه آزمایش, به محفظه تزریق می شود (آب و سایر مایعات به وسیله سرنگ، و گاز اکسیژن و CO_2 توسط کپسول مربوطه تزریق می گردد).

4- در منبع گرم,یک هیتر با توان $60w$ قرار گرفته است که گرمای لازم را تأمین می کند.
5- توان مصرفی به وسیله کنترلر دیجیتال توان, قابل تنظیم است.
6- دمای دو قسمت گرم و سرد (T_1 , T_2)، به وسیله سنسورهای دما اندازه گیری شده و توسط نمایشگرهای دیجیتال دما نمایش داده می شود.

در پایان لازم است بدانید قطر خارجی منبع گرم $30.2mm$ وقطر داخلی مبع سرد $40mm$ است که در نتیجه $\Delta r = 0.8mm$ می شود.
طول منبع گرم هم $14cm$ است.

فصل دوم : دستور آزمایش

تئوری

مساله را به شکل زیر در نظر بگیرید؛ انتقال حرارت از یک منبع حرارتی به آب در حال عبور داریم. این انتقال حرارت از بین سیال مورد نظر (سیال مورد آزمایش) ما عبور می کند. انواع انتقال حرارت در این جا وجود دارد که عبارتند از:

- هدایت حرارتی از منبع گرمایش به منبع سرمایش از طریق *Oring seal*
- تشعشع حرارتی از منبع گرمایش به سرمایش
- اتلافات حرارتی به محیط اطراف
- هدایت حرارتی از میان سیال تحت آزمایش

سه قسمت اولیه را به عنوان اتلافات حرارتی در نظر می گیریم و برای محاسبه قسمت چهارم به صورت زیر عمل می کنیم.

$$q_{total} = q_{cond.} + q_{loss} \qquad (1)$$

$$q_{cond} = \frac{2k\pi L(T_{S1} - T_{S2})}{Ln\frac{r_2}{r_1}} \qquad (2)$$

محاسبه q_{loss}:

مقدار q_{loss} از رابطه (1) به دست می آید. به این منظور باید مقدار q_{total} و $q_{cond.}$ را داشته باشیم. q_{total} مقدار توان مصرفی است. با داشتن Lو دمای منبع گرم و منبع سرد و همچنین r_1 و r_2 می توانیم $q_{cond.}$ را محاسبه کنیم, اگر و تنها اگر مقدار k_f را داشته باشیم. بدین منظور از هوا به عنوان سیال مورد کالیبراسیون استفاده می کنیم. زیرا ضریب هدایت حرارتی هوا با فشار تغییر چندانی نمی کند و از این نظر بسیار مناسب است. برای مشخص شدن k_f هوا, از جدول و یا نمودار کمک گرفته و در نهایت میزان q_{loss}را محاسبه می کنیم. این عملیات را در توان های مصرفی مختلف انجام می دهیم تا نموداری از تغییرات q_{loss} بر حسب تغییرات ΔT بدست بیاوریم.

محاسبه مقدار ضریب هدایت حرارتی (k_f) سیال مورد نظر: از روی نمودار رسم شده در مرحله قبل, می توانیم k_f هر سیال دیگری را تعیین کنیم. به این صورت که در آن اختلاف دما از این نمودار میزان q_{loss} را می خوانیم. و در انتها k_f آن سیال قابل محاسبه است.

روش انجام آزمایش

ابتدا منبع آزمون را عاری از هر گونه آب نمایید. سپس جریان آب را در *water jacket* با مقدار مشخص برقرار نمایید. حال قسمت ورودی آزمون را ببندید تا تبادل هوا با بیرون نداشته باشد. در چند مرحله میزان توان مصرفی را تغییر دهید و با هر تغییرصبر کنید تا دستگاه به تعادل برسد و سپس دماهای T_1 و T_2 را خوانده, جدول (1) را تکمیل نمایید. سپس قسمت آزمون را با سیال مورد نظر (آب, اکسیژن و ...) پر کنید. پس از آنکه دستگاه به تعادل رسید, دماهای T_1

و T_2 را در جدول (7)، یادداشت نمایید. در صورت داشتن وقت کافی، آزمایش را برای توان های دیگری نیز تکرار نمایید.

جدول (1) سیال مورد آزمایش: هوا

شماره آزمایش	1	2	3	4	5
$P(watt)$					
$T_1(°C)$					
$T_2(°C)$					

جدول (2) سیال مورد آزمایش: اکسیژن

شماره آزمایش	1	2	3
$P(watt)$			
$T_1(°C)$			
$T_2(°C)$			

جدول (3) سیال مورد آزمایش: آب

شماره آزمایش	1	2	3
$P(watt)$			
$T_1(°C)$			
$T_2(°C)$			

جدول (4) سیال مورد آزمایش: CO_2

شماره آزمایش	1	2	3
$P(watt)$			
$T_1(°C)$			
$T_2(°C)$			

میز آزمایش انتقال حرارت

فصل اول : دستورالعمل دستگاه

هدف

آشنایی با طرز کار یک مبدل حرارتی دو لوله ای، صفحه ای و پوسته و لوله

بررسی فرآیند انتقال حرارت بین آب گرم و آب سرد در جریان همسو و ناهمسو در هر سه مبدل

محاسبه ضریب انتقال حرارت کلی و راندمان مبدل حرارتی در هر سه مبدل

شرح دستگاه

دستگاه حاضر از یک مبدل حرارتی دو لوله ای، پوسته و لوله و صفحه ای تشکیل شده است. سیال گرم و سرد مورد استفاده، آب است.

به کمک شیر های موجود بر روی دستگاه می توان هر یک از مبدل ها را به صورت جداگانه در سیستم وارد کرد و از طرف دیگر به کمک شیرهای دوطرفه می توان جریان همسو و ناهمسو را در هر یک از مبدل ها برقرار کرد.

به وسیله این دستگاه می توان مبدل را در حالت جریان همسو و غیر همسو، آزمایش نمود .

در شرایط یکسان برای یک مبدل با جریان ناهمسو میزان انتقال حرارت بیشتر از مبدل با جریان همسو خواهد بود.

اجزای دستگاه عبارت اند از:

1. واحد آب گرم, شامل یک مخزن با یک گرم‌کن الکتریکی است که 2 کیلووات قدرت گرمایی دارد و آب را تا درجه حرارت مورد نظر گرم می کند.
2. یک عدد پمپ که آب گرم را در سیستم به گردش در می‌آورد.
3. واحد آب سرد, ;که شامل ورودی از آب شهر و خروجی آب به فاضلاب می باشد.
4. مبدل حرارتی یک پوسته و یک لوله که از جنس مس است. قطر داخلی لوله 13/7، قطر خارجی لوله 15/8 ، قطر داخلی پوسته 26 و طول موثر 520 میلیمتر است.
5. مبدل حرارتی صفحه ای دارای با سطح انتقال حرارت $A = 0.35\ m^2$.

6. مبدل حرارتی *shell & tube* از نوع پوسته و چند لوله تشکیل شده است که قطر داخلی پوسته 110 میلی متر و قطر خارجی لوله 13 میلی متر می باشد . تعدا لوله ها 28 و طول آن ها 50 سانتی متر است که در نتیجه دارای سطح انتقال حرارت $A = 0.00186\ m^2$ است
7. سنسورهای دمایی، در چهار نقطه، دمای آب گرم ورودی و خروجی و همچنین دمای آب سرد ورودی و خروجی به مبدل را اندازه گیری می کنند.
8. مقدار دمای چهار نقطه دمایی، به وسیله یک نمایشگر دما 4 کاناله نمایش داده می شود.
9. دبی آب گرم و آب سرد ورودی به مبدل, توسط دو عدد روتامتر اندازه گیری می شود.
10. دو عدد شیر دو طرفه برای ایجاد جریان همسو و ناهمسو
11. تعدادی شیر توپی برای وارد کردن هر کدام از مبدل ها در مدار

روش کار با دستگاه

1. درون مخزن اب گرم به اندازه کافی یعنی تا حدی که هیتر کاملا درون آب باشد آب بریزید.
2. به وسیله کلید *on/off* دستگاه روشن می شود. و نمایشگر دما دستگاه روشن خواهد شد.
3. به وسیله کلید روشن / خاموش مربوط به هیتر ,هیتر را روشن نمایید(هیتر را باید حدود 15 دقیقه قبل از آزمایش روشن کنید.)
4. در دو طرف هر مبدل شیر توپی قرار داده شده است که برای وارد کردن آب سرد در هر مبدل باید دوشیر مربوطه باز و الباقی شیرها بسته باشند.
5. برای ورودی آب گرم نیز در هر مبدل یک شیر در سمت چپ هر مبدل موجود است که با باز نمودن آن آب گرم وارد مبدل می شود.
6. به وسیله دو عدد شیر دوطرفه (دسته گازی) میتوان جریان همسو و ناهمسو را در سیستم برقرار کنید. در حالتی که دوشیر در حالت عمودی هستند جریان همسو و در حالتی که دو شیر در حالت افقی هستند جریان ناهمسو است.
7. پمپ آب گرم, به وسیله کلید *on/off* مربوطه، شروع به کار کرده و آب گرم را از مخزن آب گرم به داخل لوله پمپاژ می نماید.در این حالت چراغ سیگنال ابی رنگ روشن خواهد شد.
8. آب سرد به کمک اتصال شلنگ به ورودی و خروجی در سیستم جریان می یابد.
9. دبی آب گرم ورودی به مبدل، به وسیله شیر تنظیم دبی تعبیه شده در قسمت ورودی آب گرم تنظیم شده و توسط روتامتر نصب شده در مسیر، قابل اندازه گیری است.
10. دبی آب سرد ورودی به مبدل، به وسیله شیر تنظیم دبی تعبیه شده در قسمت ورودی آب سردتنظیم شده توسط روتامتر نصب شده در مسیر آب سرد ورودی به مبدل، اندازه گیری می شود.

11. مقدار دماهای اندازه گیری شده به وسیله سنسورهای دما، توسط نمایشگرهای دیجیتال مربوطه برحسب درجه سانتیگراد قابل رویت است.

توجه :

- در هنگام آزمایش فقط ورودی و خروجی یک مبدل باز باشد.
- در هنگام ازمایش به اندازه کافی آب درون مخزن باشد.
- بهتر است حداقل هر هفته پمپ آب گرم روشن شود تا از گیرپاژ کردن آن جلوگیری شود.
- توجه داشته باشید که پمپ بدون آب کار نکد زیرا در این حالت پکینگ های آن خراب خواهد شد.

فصل دوم : دستور آزمایش ها

هدف:

آشنایی با طرز کار یک مبدل حرارتی دو لوله ای، پوسته ولوله و صفحه ای
بررسی فرآیند انتقال حرارت بین آب گرم و آب سرد در هر سه مبدل
بررسی انتقال حرارت در جریان موازی همسو و غیر همسو در هر سه مبدل
محاسبه ضریب انتقال حرارت کلی و راندمان مبدل حرارتی

مقدمه

مبدل های حرارتی, جهت انتقال حرارت موثر بین دو سیال (گاز یا مایع) به دیگری استفاده می شوند. معمولاً مبدل های حرارتی به منظور خنک کردن سیال گرم و یا گرم کردن سیال با دمای پایین تر و یا هر دو، مورد استفاده قرار می گیرند. مبدل حرارتی از طریق یک سطح واسط موجب انتقال انرژی میان دو سیال می شود.
مبدل های حرارتی در دستگاه های مختلف نظیر دیگ بخار، مولد بخار، کندانسور، اواپراتور، تبخیر کننده ها، برج خنک کننده، پیش گرم کن فن کویل، خنک کن و گرم کن روغن، رادیاتور ها، کوره ها و ... کاربرد فراوان دارد.

تئوری

در مبدل های حرارتی سه نوع آرایش جریان داریم:

1. جریان همسو (موازی) : سیال گرم و سیال سرد از یک طرف مبدل وارد شده و از طرف دیگر خارج میشوند.
2. جریان غیرهمسو (مخالف) : سیال گرم و سیال سرد از دو سمت جداگانه وارد مبدل می شوند.
3. جریان عمود برهم (متقاطع) : سیال سرد و گرم عمود بر هم حرکت می کنند.

در حالت کلی انتقال حرارت از یک جسم گرم به یک جسم سرد به سه طریق انجام می‌پذیرد:

1- هدایت
2- جابجایی
3- تشعشع

تحلیل مبدل های گرمایی

برای تحلیل مبدل های گرمایی دو روش وجود دارد :

1. روش اختلاف دمای متوسط لگاریتمی ($LMTD$): این روش زمانی به کار می رود که دمای سیالات ورودی و خروجی مشخص باشد.
2. روش $\varepsilon - NTU$: این روش زمانی بکار می رود که دمای سیالات ورودی و خروجی مشخص نباشد.

با توجه به اینکه در این آزمایش دمای سیالات ورودی و خروجی را داریم, از روش $LMTD$ برای محاسبات استفاده می نماییم.

فرضیات صورت گرفته در این روش به صورت زیر است :

1. تغییرات انرژی های پتانسیل و جنبشی ناچیز است.
2. گرماهای ویژه سیالات در یک محدوده دمایی ثابت است.
3. سطح بیرونی مبدل کاملاً عایق است و تبادل گرمایی فقط بین دو سیال صورت می گیرد.
4. هدایت گرمایی در امتداد محور لوله ها ناچیز است.
5. ضریب انتقال گرمایی کلی ثابت است.
6. فرایند به صورت پایا است.
7. تولید گرما نداریم.

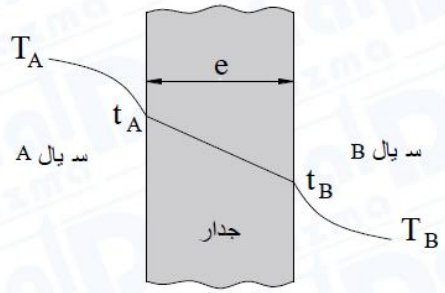
در یک مبدل گرمایی, انتقال گرما معمولاً به صورت انتقال گرمای جابجایی در هر سیال و هدایت از طریق دیواره جداکننده در سیال است. حال جداری را مطابق شکل (2) در نظر می‌گیریم که در یک طرف آن سیال گرم A و در طرف دیگر سیال سرد B جریان دارد (ضخامت جدار e می‌باشد).

انتقال حرارت از سیال A به سیال B در سه قسمت انجام می‌گیرد:

1. انتقال حرارت از سیال A به دیواره داخلی از طریق جابجایی با ضریب جابجایی h_1.
2. انتقال حرارت از ضخامت دیواره به طریق هدایت با ضریب هدایت k
3. انتقال حرارت از دیواره خارجی به سیال B از طریق جابجایی با ضریب جابجایی h_2.

ضریب انتقال حرارت کلی مبدل: U

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_2}}$$



شکل 2: مکانیزم انتقال حرارت در مبدل

در صورتیکه جدار به‌صورت استوانه باشد سطح متوسط را باید در نظر گرفت.

برای محاسبه نرخ انتقال گرما داریم:

موازنه انرژی برای سیال گرم: $q = \dot{m}_h C_{p,h} \Delta T_h$

موازنه انرژی برای سیال سرد: $q = \dot{m}_c C_{p,c} \Delta T_c$

$$q = UA\Delta T_{LMTD}$$

$$\left.\begin{aligned} \dot{m}_h &= \dot{v}_h p \\ \dot{m}_c &= \dot{v}_c p \end{aligned}\right\}$$

که در آن اندیس های h و c به ترتیب برای سیالات گرم و سرد، و اندیس های i و o به ترتیب برای شرایط ورودی و خروجی سیالات اند و A مساحت سطح می باشد. حال اگر سیال گرم A از درجه حرارت $T_{h,i}$ به $T_{h,o}$ و سیال سرد B از درجه حرارت $T_{c,i}$ به $T_{c,o}$ برسد، اختلاف درجه حرارت متوسط لگاریتمی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

برای جریان موازی (همسو) :

$$\begin{cases} \Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,i} \\ \Delta T_2 = T_{h,0} - T_{c,0} \end{cases}$$

برای جریان مخالف (غیر همسو) :

$$\begin{cases}\Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,o} \\ \Delta T_2 = T_{h,0} - T_{c,i}\end{cases}$$

ΔT_1 و ΔT_2 اختلاف دما بین دو سیال در دو انتهای مبدل (ورودی و خروجی) است.

جدول زیر مربوط به چگالی و ظرفیت گرمایی ویژه آب در دماهای مختلف می باشد.

دقت کنید در هنگام استفاده از جداول زیر دمای میانگین اب سرد یا آب گرم درون مبدل را در نظر بگیرید.

بنابراین دمای میانگین آب گرم یا آب سرد درون مبدل به صورت زیر محاسبه خواهد شد

$$T_{\text{mean}} = \frac{\text{T1} + \text{T2}}{2}$$

Temperature	Density	Specific heat
°C	kg/m3	kj/kg
11.00	999.68	4.191
12.00	999.58	4.189
13.00	999.46	4.188
14.00	999.33	4.187
15.00	999.19	4.186
16.00	999.03	4.185
17.00	998.86	4.184
18.00	998.68	4.183
19.00	998.49	4.182
20.00	998.29	4.182
21.00	998.08	4.181
22.00	997.86	4.181
23.00	997.62	4.180
24.00	997.38	4.180
25.00	997.13	4.180
26.00	996.86	4.179
27.00	996.59	4.179
28.00	996.31	4.179
29.00	996.02	4.179
30.00	995.71	4.178
31.00	995.41	4.178
32.00	995.09	4.178
33.00	994.76	4.178
34.00	994.43	4.178
35.00	994.08	4.178
36.00	993.73	4.178
37.00	993.37	4.178
38.00	993.00	4.178
39.00	992.63	4.179
40.00	992.25	4.179
41.00	991.86	4.179
42.00	991.46	4.179
44.00	990.64	4.179
45.00	990.22	4.180
46.00	989.80	4.180
47.00	989.36	4.180
48.00	988.92	4.180
49.00	988.47	4.181
50.00	988.02	4.181
51.00	987.56	4.181
52.00	987.09	4.182
53.00	986.62	4.182
54.00	986.14	4.182
55.00	985.65	4.183
56.00	985.16	4.183
57.00	984.66	4.183
58.00	984.16	4.184
59.00	983.64	4.184
60.00	983.13	4.185

آزمایش ها

الف) جریان موازی و همسو :

1- ابتدا مبدل مورد نظر را با بازکردن شیرهای مربوط به آن انتخاب کرده و در سیستم وارد کنید.

2- مخزن آب گرم را چک کنید و مطمئن شوید که مخزن خالی نباشد.

3- حدوداً 20 دقیقه قبل از شروع آزمایش, دستگاه را روشن کنید تا آب درون مخزن گرم شود.

4- ورودی و خروجی آب سرد دستگاه را به ترتیب به آب شهر و فاضلاب وصل کنید.

5- شیرهای دو طرفه را در حالت عمودی قرار دهید تا جریان همسو در سیستم برقرار شود.

6- پمپ آب گرم را روشن کنید تا جریان آب گرم در مدار به وجود آید.

7- به کمک شیر تنظیم دبی، دبی جریان آب گرم و سرد را روی مقدار دلخواهی تنظیم کنید.

8- مقدار دبی را از روی روتامتر بخوانید و مقدار آن را ثبت کنید.

9- پس از رسیدن دماهای $T_{h,i}$,$T_{h,o}$,$T_{c,i}$,$T_{c,o}$ به یک مقدار ثابت، عدد آن‌ها را در جدول (3) یادداشت نمایید.

10- آزمایش را برای یک یا چند دبی دلخواه تکرار نمایید.

11- در نهایت برای دو مبدل دیگر مراحل بالا را تکرار کنید.

ب) جریان موازی و مختلف الجهت (غیر همسو)

1- شیرهای دو طرفه را مطابق شکل زیر در حالت افقی قرار دهید تا جریان ناهمسو در سیستم برقرار شود.

2- مبدل مورد نظر را با باز کردن شیرهای مربوط به آن در سیستم وارد کنید.

3- ورودی و خروجی آب سرد دستگاه را به ترتیب به آب شهر و فاضلاب وصل کنید

4- پمپ آب گرم را روشن کنید تا جریان در مدار به وجود آید.

5- دبی ها را روی عدد دلخواه تنظیم نمایید.و مقدار آن را ثبت نمایید.

6- پس از رسیدن دماهای $T_{h,i}$,$T_{h,o}$,$T_{c,i}$,$T_{c,o}$ به یک مقدار ثابت، عدد آن‌ها را در جدول (3) یادداشت نمایید.

7- آزمایش را برای یک یا چند دبی دلخواه تکرار نمایید.

8- مراحل بالا را برای مبدل های دیگر تکرار کنید.

جدول 1 :جریان همسو

$T_{c,o}\,(°C)$	$T_{c,i}\,(°C)$	$T_{h,o}\,(°C)$	$T_{h,i}\,(°C)$	دبی سیال گرم	دبی سیال سرد

جدول2 : جریان غیر همسو

$T_{c,o}\,(°C)$	$T_{c,i}\,(°C)$	$T_{h,o}\,(°C)$	$T_{h,i}\,(°C)$	دبی سیال گرم	دبی سیال سرد

خواسته‌ها

1. با استفاده از دماهای میانگین آب سرد و گرم (ورودی و خروجی) خواص فیزیکی سیال گرم و سرد را از جداول فیزیکی بخوانید.
2. حرارتی را که آب گرم از دست داده است (q_h) و هم‌چنین حرارتی را که آب سرد گرفته (q_c) را محاسبه کنید.
3. راندمان مبدل رابدست آورید. $\eta = \frac{q_c}{q_h}$
4. اختلاف درجه حرارت متوسط لگاریتمی $(LMTD)$ را بدست آورید.
5. با فرض این که انتقال حرارت بین مبدل حرارتی و محیط اطراف ناچیز است و هم‌چنین هدایت حرارتی ازمیان ضخامت دیواره بین دو سیال ناچیز است، U را با استفاده از رابطه زیر محاسبه کنید:

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i}{A_o} + \frac{1}{h_o}}$$

طریقه بدست آوردن رابطه فوق را تو ضیح دهید. شرایط کاربرد آن چیست؟

توجه : اندیسهای i و o در رابطه فوق، نشانگر شرایط داخل و خارج لوله داخلی می‌باشد و بنابراین

$A_i = \pi D_i L$

$A_0 = \pi (D_i + 2\times$ ضخامت لوله$)L$

ضخامت لوله $\approx 2.1mm$

– ضریب جابجایی h_i و h_0 را با استفاده از روابط تجربی موجود، مانند رابطه *Ditts Boelter*، با در نظر گرفتن شرایط کاربرد رابطه، محاسبه کنید.

– برای محاسبه h_0 (جریان آب سرد) از پارامتری به نام قطر هیدرولیکی، D_h (*Hydraulic Diameter*) استفاده شود [رجوع به فصل 8 کتاب انتقال حرارت تألیف *Incropera*].

به عنوان نمونه با استفاده از D_h، عدد رینولدز بدین صورت محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{Re}_{(D_h)} = \frac{4\dot{m}_c}{\pi(D_0 + D_i)\mu_C}$$

$$D_h = \frac{4A_C}{P}$$

A_c : سطح مقطع و P محیط

6. ضریب کلی انتقال حرارت بر مبنای سطح داخلی (U_i) را با استفاده از موازنه انرژی محاسبه نمایید.

$$q = \dot{Q} = \dot{m} C \Delta T = U_i A_i \Delta T_{LM}$$ $\dot{Q}$: مقدار حرارت منتقل شده از آب در واحد زمان

7. اثر افزایش و کاهش دبی‌های سیال سرد و گرم را بررسی کنید و در مورد آن بحث کنید. هم‌چنین علت کاهش یا افزایش انتقال حرارت را نیز در هر یک از حالات توضیح دهید.

نمونه محاسبات:

نتایج زیر برای مبدل صفحه ای بدست آمد.

دبی سیال سرد	دبی سیال گرم	$T_{h,i}\,(°C)$	$T_{h,o}\,(°C)$	$T_{c,i}\,(°C)$	$T_{c,o}\,(°C)$
4lpm	4lpm	47.1	40.1	36.5	43

آب گرم $\boldsymbol{T_{mean}} = \frac{47.1+40.1}{2} = 43.6 \rightarrow \mathrm{cp} = 4.179 \;\; \mathrm{p} = 990.64$

آب سرد $T_{\text{mean}} = \frac{36.5+43}{2} = 39.75 \rightarrow \text{cp} = 4.179 \quad \text{p} = 992.25$

$$Q_h = 4 \times \frac{60}{1000} \times 990.64 \times 4.179 \times 7 = 6955.006\ kj$$

$$Q_c = 4 \times \frac{60}{1000} \times 992.25 \times 4.179 \times 6.5 = 6468.715 kj$$

نتایج زیر برای مبدل دولوله ای بدست آمد.

دبی سیال سرد	دبی سیال گرم	$T_{h,i}\,(°C)$	$T_{h,o}\,(°C)$	$T_{c,i}\,(°C)$	$T_{c,o}\,(°C)$
3lpm	3lpm	61.2	54.5	36.5	40

آب گرم $\boldsymbol{T_{\text{mean}}} = \frac{61.2 + 54.5}{\mathbf{2}} = 57.85 \rightarrow \text{cp} = 4.184 \ \text{p} = 984.16$

آب سرد $T_{\text{mean}} = \frac{36.5 + 40}{2} = 38.25 \rightarrow \text{cp} = 4.178 \quad \text{p} = 993.00$

$$Q_h = 3 \times \frac{60}{1000} \times 984.16 \times 4.184 \times 6.7 = 4965.976 kj$$

$$Q_c = 3 \times \frac{60}{1000} \times 993.00 \times 4.178 \times 3.5 = 2613.715\ kj$$

همچنین نتایج زیر برای مبدل پوسته و لوله حاصل شد.

دبی سیال سرد	دبی سیال گرم	$T_{h,i}\,(°C)$	$T_{h,o}\,(°C)$	$T_{c,i}\,(°C)$	$T_{c,o}\,(°C)$
3lpm	3lpm	57.5	47.5	36.5	43.5

آب گرم $\boldsymbol{T_{\text{mean}}} = \frac{57.5 + 47.5}{\mathbf{2}} = 52.5 \rightarrow \text{cp} = 4.182 \quad \text{p} = 987.09$

آب سرد $T_{\text{mean}} = \frac{36.5 + 43.5}{2} = 40 \rightarrow \text{cp} = 4.179 \quad \text{p} = 992.25$

$$Q_h = 3 \times \frac{60}{1000} \times 987.09 \times 4.182 \times 10 = 7430.418\ kj$$

$$Q_c = 3 \times \frac{60}{1000} \times 992.25 \times 4.179 \times 7 = 5224.732\ kj$$

ضریب هدایت حرارتی جامدات

فصل اول : دستورالعمل دستگاه

هدف :

تحقیق قانون فوریه برای هدایت حرارتی
بررسی و تحقیق اثر تغییر جنس در هدایت حرارتی
بررسی اثر تغییر سطح مقطع روی پروفیل درجه حرارت
مطالعه میزان حرارت منتقله در جهت شعاعی یک دیواره استوانه‌ای
نشان دادن اثر سطح تماس روی هدایت حرارتی بین دو سطح مماس برهم
مطالعه اثر عایق حرارتی روی هدایت حرارتی بین دو فلز مجاور هم
تعیین ضریب هدایت حرارتی اجسام مختلف

مقدمه :

هدایت, انتقال انرژی از ذرات پر انرژی یک ماده به ذرات کم انرژی مجاور و حاصل از بر هم کنش بین ذرات است. نرخ هدایت گرمایی از یک محیط به هندسه, ضخامت, جنس ماده و اختلاف دما در عرض محیط بستگی دارد. انتقال حرارت به‌طریق هدایت در داخل اجسام موقعی پدید می‌آید که یک گرادیان دمایی بین دو نقطه از جسم ایجاد شود. هر قدر گرادیان دمایی (گرادیان درجه حرارت) بیشتر باشد شدت انتقال حرارت هم زیادتر خواهد بود. البته انتقال حرارت به‌طریقه هدایت در اجسام جامد بهتر صورت می‌گیرد تا مایعات و گازها، و بر عکس انتقال حرارت به‌طریق کنوکسیون در مایعات و گازها خیلی بهتر انجام می‌شود که در جامدات اصلاً صورت نمی‌گیرد. انتقال حرارت به‌طریق هدایت معمولاً در داخل اجسام بطور سه بعدی انجام می‌پذیرد. آنالیز سه بعدی انتقال حرارت ساده نبوده و نیازمند صرف وقت زیاد جهت انجام محاسبات است. البته از طریق روش المان‌های محدود و برنامه‌های کامپیوتری می‌توان در صرف وقت و مشکلات دیگر صرفه‌جوئی کرد. به وسیله دستگاهی که در این آزمایش به‌کار می‌رود انتقال حرارت به‌طریق هدایت و یک بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد و قانون مبنائی که میزان حرارت منتقل شده را به گرادیان درجه حرارت و سطح مقطعی مربوط می‌سازد مورد نمایش واقع می‌گردد.

شرح دستگاه :

دستگاه مورد نظر شامل دو قسمت می‌باشد که یک قسمت آن انتقال حرارت را در جهت محوری و قسمت دیگر در جهت شعاعی نشان می‌دهد. هر دو قسمت دارای ترموکوپل هایی هستند که درجه حرارت را در نقاط مختلف نشان می‌دهند. یک المان حرارتی جهت تولید حرارت در قسمت گرم به‌کار رفته است و جهت خنک نمودن قسمت سرد از آب شهر استفاده می‌شود.

ترموکوپل‌هایی که در این دستگاه به‌کار رفته است درجه حرارت را با دقت $0.1^{\circ}C$ اندازه‌گیری می‌نماید. توان مصرفی دستگاه توسط یک مدار برقی که قدرت خروجی آن را تغییر می دهد و مقدار توان را از طریق نمایشگر مربوطه نشان می دهد.

این دستگاه طوری طراحی شده است که خطاهای آزمایش مربوط به انتقال حرارت را در سه بعد به حداقل خود برساند و از اتلاف حرارتی از طریق کنوکسیون و تشعشع جلوگیری نماید. برای جلوگیری از اتلاف حرارتی, واحدهای شعاعی و محوری توسط یک لایه هوا و یک پوشش پلاستیکی محاط شده است.

قطعات متفاوتی جهت مقاصد مختلف که قابل تعویض و جایگزینی می‌باشد همراه دستگاه آزمایش بوده که با استفاده از آنها می‌توان اثرات سطح مقطع، ضریب هدایت حرارتی، ترکیب دو فلز غیر هم‌جنس و بالاخره بررسی انتقال حرارت در حالت ناپایدار را نشان داد. هم‌چنین با استفاده از این دستگاه می‌توان ضریب هدایت حرارتی مواد جامد مختلف را اندازه‌گیری کرد به‌شرط آنکه بتوان آن را بصورت المانی مناسب که بین دو قسمت سرد و گرم قرار گیرد در آورد.

واحد انتقال حرارت خطی (محوری)

با استفاده از این واحد می‌توان قانون هدایت حرارتی فوریه را به‌سادگی نشان داد. این قسمت از دستگاه تشکیل شده است از قسمت گرم‌کننده (1) که از برنج ساخته شده است و یک هیتر برقی در آن جاسازی شده است. سه عدد ترموکوپل به شماره های 1, 2 و 3 روی این قسمت به‌فاصله 10 میلی‌متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند که درجه حرارت را در جهت محوری این میله برنجی که قطر آن 30 میلی‌متر است اندازه‌گیری می‌نمایند. در طرف دیگر یک میله برنجی به‌قطر 30 میلی‌متر که توسط یک جریان آب خنک می‌شود. قسمت سرد را تشکیل می‌دهد و روی این قسمت ترموکوپل‌هایی به‌فاصله 10 میلی‌متر از یکدیگر تعبیه شده است که به ترتیب از سمت چپ با اعداد 7, 8 و 9 شماره گذاری شده اند. قسمت گرم با قسمت سرد ممکن است مستقیماً به یکدیگر متصل شده و تشکیل میله واحد برنجی به‌قطر 30 میلی‌متر را بدهند که روی آن 6 عدد ترموکوپل به‌فواصل 10 میلی‌متر از یکدیگر تعبیه شده که می‌تواند بعنوان یک واحد مجزا مورد آزمایش قرار گیرد.

در حالت کلی المان‌های واسطه بایستی بین این دو قسمت قرار گرفته و مورد آزمایش واقع شوند.

اولین المان از این نوع عبارتست از یک میله برنجی به‌قطر 30 میلی‌متر و طول 30 میلی‌متر که روی آن 3 عدد ترموکوپل به‌فاصله 10 میلی‌متر از یکدیگر تعبیه شده‌اند.

دومین المانی که بین قسمت گرم و سرد قرار می‌گیرد از آهن ساخته شده که طول آن 30 میلی‌متر می‌باشد و اندازه قطر آن 15 میلی‌متر است که از قطر قسمت سرد و گرم کمتر است و هیچ‌گونه ترموکوپلی روی آن تعبیه نشده است. این المان امکان بررسی و تحقیق اثر تغییر قطر سطح مقطع عبور جریان هدایت حرارتی را فراهم می‌سازد.

سومین المان که می‌تواند بین قسمت سرد و گرم قرار گیرد از آهن ساخته شده است که ابعاد آن برابر ابعاد اولین المان می‌باشد و هیچ‌گونه ترموکوپلی روی آن قرار داده نشده است. این المان امکان بررسی و تحقیق اثر تغییر جنس در طول معبر جریان هدایت حرارتی را فراهم می‌سازد. سطوحی از المان‌ها که در تماس با سطوح قسمت‌های گرم و سرد هستند, به‌اندازه کافی صیقل داده شده تا دو سطح به‌خوبی با هم تماس حاصل نمایند.

برای اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی مواد عایق می‌توان هر نوع عایقی را بین دو قسمت سرد و گرم قرار داد و ضریب هدایت حرارتی آنرا به‌دست آورد. نمونه‌ای از مواد عایق می‌تواند یک ورق کاغذ باشد.

اتلاف حرارتی در طول قسمت مورد آزمایش با استفاده از یک لایه هوا و یک پوشش پلاستیکی به حداقل خود کاهش داده شده است.

دمای اندازه گیری شده به وسیله سنسورهای دمایی، توسط نمایشگر دیجیتال, نمایش داده می شود.

واحد انتقال حرارت شعاعی

این واحد تشکیل شده از یک دیسک برنجی به قطر 110 میلی‌متر و ضخامت 3 میلی‌متر که حرارت لازم در مرکز این دیسک، توسط یک المان الکتریکی تولید می‌شود و در محیط آن، یک لوله مسی دایره‌ای شکل که آب شهر می‌تواند در آن جریان یابد، نقش خنک کننده را ایفا می کند. لذا فرض می‌شود که تمام حرارت تولید شده در مرکز المان فقط در جهت شعاعی و به طریق هدایت منتقل می‌شود.

5 عدد ترموکوپل به فواصل 12 میلی‌متر از یکدیگر در جهت شعاعی روی دیسک قرار گرفته است که می‌توانند تغییرات درجه حرارت را در جهت شعاعی اندازه‌گیری نمایند که از به ترتیب از بیرونی ترین قسمت دیسک شماره گذاری شده اند.

روش کار با دستگاه :

1. شیر آب خنک کننده ورودی به دستگاه, باید باز باشد.
2. دستگاه به وسیله کلید *on/off* روشن می شود.
3. توان مصرفی دستگاه, توسط کنترلر دیجیتال توان قابل تنظیم است.
4. جهت تعویض المان در واحد انتقال حرارت محوری, ابتدا المان مورد نظر بین دو قسمت گرم و سرد قرار می گیرد (به شکلی که قسمت بر آمده المان به سمت منبع گرم, و قسمت فرو رفته آن به سمت منبع سرد باشد).
5. دمای اندازه گیری شده به وسیله سنسورهای دمایی، توسط نمایشگر دیجیتال, نمایش داده می شود.

آزمایشات قابل انجام :

آزمایش شماره 1 – هدایت حرارتی در طول یک میله ساده.
جهت تحقیق قانون فوریه برای هدایت حرارتی در طول یک میله ساده. (یک بعدی)

آزمایش شماره 2 – هدایت حرارتی در طول یک میله مرکب. (مختلف الجنس)
جهت مطالعه هدایت حرارتی در طول یک میله‌ای که دارای یک جنس نبوده و هم‌چنین ارزیابی ضریب هدایت حرارتی کلی این میله.

آزمایش شماره 3 – تاثیر سطح مقطع.
جهت بررسی اثر تغییر سطح مقطع روی پروفیل درجه حرارت در یک میله ساده.

آزمایش شماره 4 – هدایت حرارتی در جهت شعاعی.
برای آزمایش پروفیل درجه حرارت و مطالعه میزان حرارت منتقله در جهت شعاعی یک دیواره استوانه‌ای.

آزمایش شماره 5 – تاثیر تماس سطحی. (آزمایش پیشنهادی)
برای نشان دادن اثر تماس سطحی روی هدایت حرارتی بین دو سطح مماس برهم.

آزمایش شماره 6 – تأثیرات عایق. (آزمایش پیشنهادی)
جهت مطالعه اثر عایق حرارتی روی هدایت حرارتی بین دو فلز مجاور هم.

آزمایش شماره 7 - تعیین ضریب هدایت حرارتی اجسام مختلف.
با استفاده از این دستگاه آزمایش می توان ضریب هدایت حرارتی هر جسمی را تعیین نمود به‌شرط آنکه شرایط مورد نظر فراهم شود.

فصل دوم : دستور آزمایش

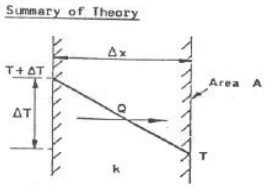
آزمایش شماره 1 : (هدایت حرارتی در طول یک میله با جنس ساده)

هدف : بررسی قانون فوریه برای هدایت حرارت خطی در طول یک میله ساده.

خلاصه تئوری مربوط به آزمایش

یک سطح از دیوار به ضخامت (ΔX) و مساحت (A) در نظر بگیرید؛ به طوری که اختلاف درجه حرارت در ضخامت (ΔX) برابر با ΔT باشد. در این صورت مقدار حرارت منتقل شده از طریق هدایت در واحد زمان, از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$q \approx A\frac{\Delta T}{\Delta X} \qquad (1)$$



شکل 1 : مکانیزم انتقال حرارت هدایتی

اگر جنس دیوار از یک ماده یکنواخت با ضریب هدایت حرارتی (k) باشد رابطه فوق بصورت زیر در می‌آید.

$$q = -kA\frac{\Delta T}{\Delta X} \qquad (2)$$

روش آزمایش :

المان حرارتی اول (المانی که 3 عدد ترموکوپل روی آن نصب شده است) را, بین دو قسمت گرم و سرد, قرار داده و در جای خود تثبیت نمایید.

شیر آب سرد ورودی را باز کنید تا آب در قسمت سرد دستگاه جریان داشته باشد. توان مصرفی را به وسیله کنترلر دیجیتال توان, در حد 40 وات قرار داده و صبرکنید تا به‌حالت تعادل حرارتی برسد و سپس درجه حرارت 9 نقطه در طول نمونه مورد آزمایش, و همچنین توان ورودی را در1جدول شماره (1) یادداشت کنید. این مرحله را حداقل برای 3 توان ورودی مختلف تکرار نمائید. توجه داشته باشید بعد از هر تغییر توان بایستی به اندازه کافی صبر نموده تا سیستم به‌حالت تعادل دمایی برسد.

توجه: موقعی‌که نمونه مورد آزمایش را بین دو قسمت گرم و سرد قرار می‌دهید بایستی مواظب بود که نمونه بین دو محفظه پلاستیکی تنظیم شود.

جدول شماره (1)

شماره آزمایش	توان $q(watt)$	T_1 $(°C)$	T_2 $(°C)$	T_3 $(°C)$	T_4 $(°C)$	T_5 $(°C)$	T_6 $(°C)$	T_7 $(°C)$	T_8 $(°C)$	T_9 $(°C)$
1										
2										
3										

خواسته ها :

1- منحنی تغییرات دما نسبت به طول میله را در مراحل فوق, رسم نمایید. این منحنی ها بایستی اولاً به صورت خط راست بوده و ثانیاً به طور موازی با هم باشند یعنی ضریب زاویه آنها $\left(\frac{dT}{dX}\right)$ تقریباً مساوی باشد. برای محاسبه ضریب هدایت حرارتی از رابطه زیر استفاده می‌کنیم :

$$k = \frac{q}{A} \times \frac{dX}{dT} \qquad (3)$$

2- مقادیر ضریب هدایت به دست آمده را با مقادیر داده شده در جداولی که در کتب مختلف چاپ شده است مقایسه نمایید.

3- در مورد اثر درجه حرارت روی ضریب هدایت حرارتی (افزایش یا کاهش آن) توضیح دهید. همچنین توضیح دهید که این فاکتور چه اثری روی شکل پروفیل درجه حرارت دارد؟

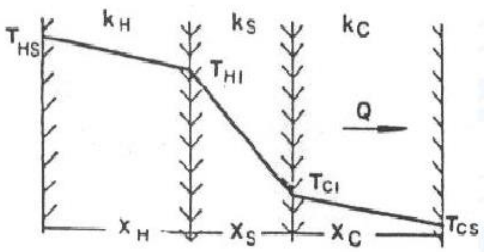
آزمایش 2 : (هدایت حرارت در طول یک میله با جنس مرکب)

هدف: مطالعه روی نمونه‌ای که از چند ماده مختلف تشکیل شده است و ارزیابی ضریب هدایت حرارتی کلی.

خلاصه تئوری مربوط به آزمایش

برای جریان حرارتی ثابت در داخل نمونه ، مقدار حرارت منتقله در سطح مقطع نمونه در تمام قسمت‌های مختلف میله مورد نظر در واحد زمان مقداری ثابت است و لذا قانون فوریه را می‌شود برای قسمت‌های مختلف میله به صورت زیر نوشت :

$$\frac{q}{A} = k_H \frac{T_{HS} - T_{HI}}{X_H} = k_S \frac{T_{HI} - T_{CI}}{X_S} = k_C \frac{T_{CI} - T_{CS}}{X_C} \qquad (4)$$



شکل 2 : مکانیزم هدایت حرارتی در میله مرکب

اگر رابطه کلی انتقال حرارت با ضریب کلی هدایت حرارتی را به صورت زیر بنویسیم :

$$\frac{q}{A} = U(T_{HS} - T_{CS}) \qquad (5)$$

با توجه به روابط (4) و (5) می‌توانیم رابطه زیر را به دست آوریم :

$$\frac{1}{U} = \frac{X_H}{k_H} + \frac{X_s}{k_S} + \frac{X_C}{k_C} \qquad (6)$$

که در آن k_C, k_S, k_h به ترتیب ضرایب هدایت حراراتی اجزاء مختلفی که نمونه را تشکیل می دهند و U ضریب انتقال حرارت کلی میله است $\frac{1}{U}$ عبارت است از مقاومت حرارتی نمونه مورد آزمایش.

روش آزمایش :

المان حرارتی دوم (المان فولادی به ضخامت $3cm$ و قطر $30\ mm$) را بین دو قسمت گرم و سرد، قرار داده و در جای خود تثبیت نمایید.

روش آزمایش مطابق آزمایش 1 می باشد. پس از انجام آزمایش جدول شماره (2) را تکمیل نموده، منحنی تغییرات درجه حرارت در طول میله مورد آزمایش رسم نمایید.

جدول شماره (2)

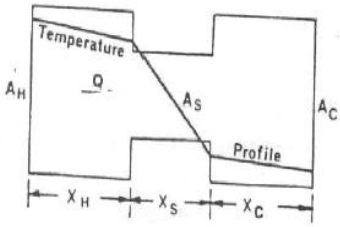
شماره آزمایش	توان $Q(watt)$	T_1 $(°C)$	T_2 $(°C)$	T_3 $(°C)$	T_7 $(°C)$	T_8 $(°C)$	T_9 $(°C)$
1							
2							
3							

آزمایش شماره 3 : (اثر سطح مقطع روی انتقال حرارت)

بررسی انتقال حرارت از طریق هدایت در داخل یک میله استوانه‌ای که جریان حرارت در طول محور استوانه صورت می‌گیرد ولی سطح مقطع استوانه در قسمت میانی استوانه تغییر یافته و در این حالت اثر این تغییر قطر را روی پروفیل درجه حرارت در طول محور استوانه مورد نظر می باشد.

تئوری مربوط به آزمایش

مکانیزم انتقال حرارت در این آزمایش, در شکل (5) نشان داده شده است.



(۳-۲)

شکل3 : مکانیزم هدایت حرارتی در طول میله ای با سطح مقطع های مختلف

از آنجایی که جسم به‌حالت ثبات دمایی رسیده است و لذا مقدار فلوی حرارتی در هر مقطعی از شکل (5) مقدار ثابت q است. همچنین چون جنس نمونه هم جنس دو قسمت سرد و گرم می‌باشد. (برنج) لذا ضریب هدایت حرارتی در تمام قسمت‌ها مقداری است ثابت. بنابر این داریم:

$$\frac{q}{k} = A_H\left(\frac{dT}{dX}\right)_H = A_S\left(\frac{dT}{dX}\right)_S = A_C\left(\frac{dT}{dX}\right)_C \qquad (7)$$

از رابطه فوق نتیجه گرفته می‌شود گرادیان درجه حرارت با سطح مقطع نسبت معکوس دارد.

$$\frac{\left(dT/dx\right)_S}{\left(dT/dx\right)_C} = \frac{A_C}{A_S} \qquad (8)$$

روش آزمایش :

المان حرارتی سوم (المان به ضخامت $3cm$ و قطر $15mm$) را بین دو قسمت گرم و سرد, قرار داده و در جای خود تثبیت نمایید.

روش آزمایش مطابق آزمایش 1 می باشد. پس از انجام آزمایش جدول شماره (3) را تکمیل نمایید.

توجه: موقعی که نمونه موردنظر بین دو قسمت سرد و گرم قرار می‌گیرد بایستی دقت کرد که نمونه به‌طور دقیق بین دو قسمت سوار شود.

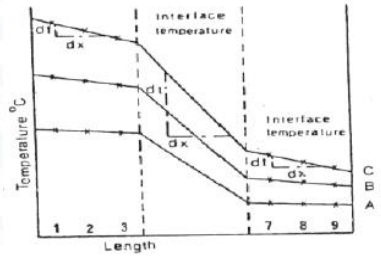
جدول شماره 3

شماره آزمایش	توان $q(watt)$	T_1 $(°C)$	T_2 $(°C)$	T_3 $(°C)$	T_7 $(°C)$	T_8 $(°C)$	T_9 $(°C)$
1							
2							
3							

خواسته ها :

1- منحنی تغییرات درجه حرارت در طول میله مورد آزمایش رسم نمایید.

2- با استفاده از منحنی رسم شده گرادیان درجه حرارت را در قسمت گرم (H) و سرد (C) و نمونه (S) به دست آورید. از نتایج حاصله معلوم خواهد شد که گرادیان درجه حرارت با سطح مقطع نسبت معکوس دارد.



شکل (4)

3- نتایج به دست آمده از آزمایش و محاسبه را با هم مقایسه کنید و در مورد اثر تغییرات توان ورودی روی گرادیان دما توضیح دهید.

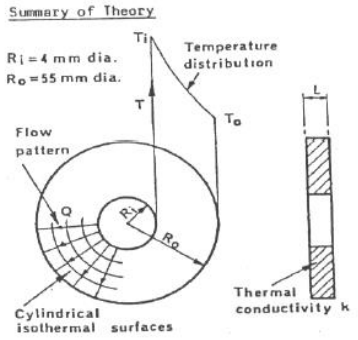
آزمایش شماره 4 : (هدایت حرارتی شعاعی)

هدف: بررسی پروفیل درجه حرارت و میزان انتقال حرارت در جهت شعاعی در حالت ثبات دمایی

خلاصه تئوری مربوط به آزمایش

موقعی‌که یک دیوار استوانه‌ای ضخیم دارای درجه حرارت ثابت داخلی و خارجی باشد، جریان حرارت از مرکز به طرف محیط برقرار خواهد شد. از آنجایی‌که فلوی حرارتی مقدار ثابتی بوده و جسم در حالت ثبات دمایی می‌باشد و لذا جریان حرارت با افزایش شعاع، افزایش می‌یابد. بنابراین درجه حرارت کم خواهد شد و رابطه مقدار حرارت جریان یافته به صورت زیر در می‌آید :

$$q = 2\pi L k \left(\frac{T_i - T_o}{Ln \frac{R_o}{R_i}} \right) \qquad (9)$$



شکل 5 : مکانیزم انتقال حرارت در دیواره استوانه ای

روش انجام آزمایش

روش آزمایش مطابق آزمایش شماره 1 می‌باشد و پس از انجام آزمایش جدول زیر را تکمیل نمایید.

جدول شماره (4)

شماره آزمایش	توان $q(watt)$	T_1 $(°C)$	T_2 $(°C)$	T_3 $(°C)$	T_4 $(°C)$	T_5 $(°C)$
1						
2						
3						

خواسته ها :

1- منحنی تغییرات دما را نسبت به شعاع رسم نموده و از روی آن درجه حرارت T_o مربوط به شعاع خارجی r_o را به دست آورید. سپس از روی فرمول مربوطه مقدار حرارت جریان یافته را محاسبه نموده و آن را با حراراتی که از طریق توان الکتریکی تولید شده مقایسه نمایید. بایستی نظر خود را در مورد اختلاف این دو مقدار بیان نمایید.

چنانچه منحنی مزبور را روی کاغذ لگاریتمی خطی رسم نمائید منحنی به صورت خطی در خواهد آمد.

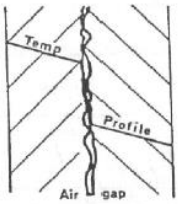
آزمایش شماره 5 : (اثر سطح تماس روی هدایت حرارتی)

هدف: اثر سطح تماس روی ضریب هدایت حرارتی

المان واسطه بین قسمت سرد و گرم در یک طرف آن ماده هادی پرکننده خلل و فرج بین دو سطح بکار برده می‌شود و در طرف دیگر المان واسطه بدون استفاده از این ماده با یکدیگر در تماس قرار می‌گیرند.

خلاصه تئوری مربوط به آزمایش

موقعی‌که دو سطح با هم در تماس قرار می‌گیرند از آنجایی‌که خلل و فرج میکروسکپی در روی دو سطح وجود دارد لذا تماس دو سطح صد در صد نیست و در بعضی نقاط حفره‌های کوچکی که حاوی هوا می‌باشد وجود دارد و در نتیجه به‌عنوان یک لایه عایق عمل خواهد نمود مطابق شکل(10)، و لذا باعث افت گرادیان دما در این محل می‌شود. با به‌کار بردن ماده‌هایی که ضریب هدایت مشابه فلز مربوط دارد, می‌شود اثر این لایه هوا را از بین برد. همان‌طوریکه در طرف دیگر این المان واسطه عمل شده است.



(۵_۲)

شکل (6)

روش آزمایش :

همان‌طوریکه اشاره شد برای آماده نمودن دستگاه برای آزمایش ابتدا یک سطح المان واسطه را با ماده هادی آغشته نموده و طرف دیگر را کاملا با استن تمیز می‌نمائیم و در صورت لزوم سطح قسمت گرم را هم کاملا تمیز نموده و سپس المان واسطه را بین دو قسمت گرم و سرد قرار داده به‌طوریکه قسمت گرم با سطح بدون ماده هادی در تماس قرار گیرد و سپس المان را محکم نموده و هیتر را روی توان 20 وات قرار داده و مدتی صبر نموده تا سیستم به‌حالت تعادل برسد و سپس درجه حرارت نه‌گانه را یادداشت نموده و جدول شماره 5 را تکمیل نمائید. سپس درجه حرارت را نسبت به طول میله رسم نمائید. و از روی منحنی رسم شده اثر دو سطح مماس بر یکدیگر را روی هدایت حرارت مورد بحث قرار دهید.

جدول شماره (5)

توان $q(watt)$	T_1 $(°C)$	T_2 $(°C)$	T_3 $(°C)$	T_4 $(°C)$	T_5 $(°C)$	T_6 $(°C)$	T_7 $(°C)$	T_8 $(°C)$	T_9 $(°C)$

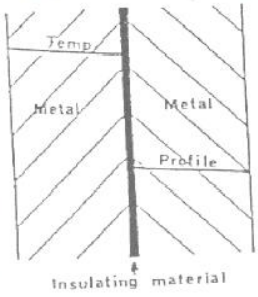
آزمایش شماره 6 : تأثیرات عایق (آزمایش پیشنهادی)

هدف: بررسی اثر لایه عایق حرارتی روی هدایت حرارتی بین دو فلز مجاور هم

تئوری مختصر مربوطه

موادی شبیه کاغذ و یا چوب پنبه دارای ضریب هدایت حرارتی خیلی پائین بوده و باعث جلوگیری از انتقال حرارت زیاد که در داخل یک فلز برقرار است می‌شوند هر چند که اختلاف درجه حرارت در دو طرف این‌گونه مواد زیاد باشد ولی

انتقال حرارت زیاد نیست بخاطر اینکه مقاومت حرارتی آنها زیاد است اینگونه مواد را عایق حرارتی می‌نامند و برای جلوگیری از اتلافات حرارتی از سطوح دارای درجه حرارت زیاد به محیط اطراف آن مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل (7)

روش آزمایش

المان واسطه را حذف نموده و به‌جای آن یک‌بار یک ورق کاغذ و بار دیگر یک ورق چوب پنبه را قرار دهید و سپس قسمت گرم و سرد را به‌هم محکم نمایید.

قبل از اینکه ورقه کاغذ یا چوب پنبه را بین دو قسمت گرم و سرد دستگاه آزمایش قرار دهید ضخامت آنرا با میکرومتر اندازه بگیرید. سپس قدرت ورودی به المان گرمایی را روی 15-10 وات تنظیم نموده صبر نمائید تا دستگاه به‌حالت ثبات دمایی برسد. سپس درجه حرارت‌های نقاط 6 گانه را یادداشت نموده و جدول شماره 6 را تکمیل نمائید.

جدول شماره (6)

	توان $q(watt)$	T_1 $(°C)$	T_2 $(°C)$	T_3 $(°C)$	T_7 $(°C)$	T_8 $(°C)$	T_9 $(°C)$
ضخامت ورقه کاغذ= . . .							
ضخامت چوب پنبه = . . .							

خواسته ها :

1- منحنی تغییرات دما بر حسب طول میله را رسم نموده و از روی آن افت درجه حرارت (ΔT)را در طول عایق بدست آورید. سپس با استفاده از رابطه انتقال حرارت ضریب هدایت حرارتی عایق را محاسبه نمایید.

2- نظر خود را درباره چگونگی تاثیر عایق‌ها روی هدایت حرارتی ارائه نمایید.