دستور کار آزمایشگاه ترمودینامیک

گروه مهندسی مکانیک

دانشکده مهندسی دانشگاه بیرجند

فهرست مطالب:

ردیف	عنوان آزمایش	شماره صفحه
۱	نحوه ی صحیح نگارش گزارش کار آزمایشگاهی	۳
۲	انتقال حرارت جابجایی اجباری از روی پره ها	۵
۳	انتقال حرارت جابجایی آزاد و اجباری از روی پره ها	۱۱
۴	کمپرسور دو مرحله ای با میان سرد کن	۱۶
۵	انتقال حرارت شعاعی	۲۱
۶	سیکل تبرید تراکمی بخار	۲۴
۷	ضرایب انتقال حرارت در جوشش و چگالش	۲۸
۸	آزمایش موتور	۳۲
۹	آزمایش برج خنک کن	۴۸
۱۰	آزمایش تهویه مطبوع	۵۶
۱۱	آزمایش تابش	۶۶
۱۲	آزمایش مبدل حرارتی پوسته و لوله	۸۳
۱۳	آزمایش مبدل حرارتی صفحه ای	۹۳
۱۴	آزمایش پمپ حرارتی	۱۰۳
۱۵	آزمایش موتور استرلینگ	۱۱۳
۱۶	آزمایش سیکل تبرید جذبی	۱۲۲

نحوه ی صحیح نگارش گزارش کار آزمایشگاهی

گزارش کار آزمایشگاهی مکمل بسیار خوبی برای کارهای عملی است و نگارش صحیح آن می تواند به ارتقای کیفی و کمی آموزش های عملی کمک شایانی بنماید . در ذیل نحوه ی نگارش مطلوب یک گزارش کار شرح داده شده است گرچه ممکن است شیوه ی ارائه شده در اینجا بهترین نباشد اما دست کم میتواند راه گشای پیشرفت های زیادی در زمینه تدوین مطالب مناسب و مرتبط با کارهای آزمایشگاهی باشد . همچنین با اجرای این روش آمادگی و مهارت لازم برای نگارش پایان نامه در مقاطع تحصیلی بالاتر را کسب می نماید. تدوین صحیح مطالب مرتبط با کارهای تجربی در آزمایشگاه از طرفی می تواند منجر به ارتقای کیفی و کمی فعالیت های آزمایشگاه ی دانشجو شود زیرا نگارندگان گزارش کار به نقاط ضعف و قوت کار خود نیز واقف میگردند و سعی بر رفع نواقص و حفظ و بهبود نقاط قوت خود خواهند کرد.

بخش های اصلی یک گزارش کار عبارتند از:

۱- صفحه ی معرفی

۲- فهرست

۳- مقدمه و هدف

۴- تئوری آزمایش

۵- کارهای آزمایشگاهی

۶- نتایج و بحث

۷- منابع و مراجع

۸- ضمیمه

تمام بخشهای گزارش کار باید در کاغذ A4 نوشته شده و در انتهای هر بخش، بخش بعدی باید از سر صفحه ی بعدی آغاز گردد.

صفحه معرفی

این صفحه در حقیقت همان جلد گزارش کار می باشد. این صفحه به ترتیب لوگوی دانشگاه ، عنوان آزمایش، نویسنده، استاد راهنما ، نام موسسه دانشگاهی و تاریخ نگارش گزارش می باشد. معمولا بایستی این صفحه تایپ شده و پس از چاپ در اول گزارش کار قرار بگیرد.

فهرست

یک فهرست شامل عنوان مطالب و شماره ی صفحه ی آنها می باشد .

مقدمه و هدف

بخش مقدمه و هدف شامل مقدمه ای در مورد انجام آزمایش و تاریخچه ی آن و نیز هدف از انجام چنین آزمایشی می باشد . معمولا بخش مقدمه و هدف نباید قسمت اعظم گزارش کار را در بر بگیرد که متأسفانه حتی در بعضی از پایان نامه های دانشجویی نیز این اشکال بزرگ به چشم می خورد. مقدمه برای گزارش کار حداکثر در ۱ الی ۲ صفحه نوشته می شود .برای نوشتن مقدمه میتوان از کتابها، مقالات و یا سایتهای اینترنتی با ذکر منبع استفاده کرد.

تئوری آزمایش

در بخش تئوری اصول علمی ، فرمول ها، قوانین و سایر مطالب تئوری مرتبط با موضوع گزارش کار ذکر میگردد . بدیهی است که در این بخش نباید از نحوه ی انجام آزمایش و مقادیر مواد و غیره سخنی به میان آورد اما اشاره به بعضی جنبه های علمی در بخش تئوری آزمایش آن هم به صورت خلاصه اشکالی نخواهد داشت.

یکی از وظایف اصلی دانشجویان در نگارش بخش تئوری، مراجعه به سایتهای اینترنتی و کتابهای فارسی و لاتین مرتبط با موضوع گزارش کار است که حتماً باید توسط دانشجویان صورت پذیرد. انجام این کار به دانشجو یاد می دهد که چگونه برای انجام کارهای تحقیقاتی و ارائه گزارش مطلوبی از کارهای خود، مطالب را از منابع متفاوت گرد آوری نماید.یک کپی از مطالب لاتین گرد آوری شده از اینترنت یا کتب لاتین بایستی در بخش ضمیمه درج شود و در متن تئوری آزمایش به آنها ارجاع داده شود. دانشجو با توجه به مطالب جمع آوری شده خلاصه ای از آن مطالب را در بخش تئوری به فارسی نوشته و نام مرجع را در بخش منابع و مراجع ذکر می نماید.

الگوی کلی ترتیب نوشتن مرجع برای مقالات و کتب فارسی و لاتین به صورت زیر است:
نام نویسندگان (نام هر کدام با یک علامت ؛ از هم جدا شوند)، نام کتاب یا مقاله (به صورت ایتالیک)، ناشر کتاب، سال چاپ (به صورت بولد) ، شماره صفحه (توجه شود که بعد از هر ویرگول باید یک ''Space'' فضای خالی قرار داده شود.

کارهای آزمایشگاهی

در این بخش ابتدا وسایل، دستگاهها و مواد لازم برای انجام آزمایش نام برده می شوند سپس شرح انجام آزمایش با جز ئیات آورده می شود ، شکل دستگاههای مورد استفاده و نحوه ی سوارکردن آنها بایستی در این بخش ترسیم شود ، در بخش کارهای آزمایشگاهی نباید نتیجه ی انجام آزمایش مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد و فقط ذکر روش انجام آزمایش کافی است.

نتایج و بحث

در این قسمت نتایج به دست آمده از آزمایش و محاسبات مربوطه ذکر می شوند، نمودارها و جداول مربوطه ترسیم می شوند و در نهایت در مورد نتایج به دست آمده از آزمایشها و محاسبات بحث علمی صورت گرفته و نتیجه گیری به عمل می آید . در قسمت بحث دلایل علمی رخ دادن پدیده ها در طول انجام آزمایش مطرح می شود، محاسبه ی خطاهای آزمایش در این بخش انجام می شود ، همچنین مقایسه بین نتایج به دست آمده با مقادیر موجود در منابع معتبر علمی مانند صورت می گیرد ، در اینجا نیز باید به این منابع ارجاع داده شود، پاسخ به سوالات مطرح شده در آزمایشگاه نیز در انتهای این بخش جای می گیرد.

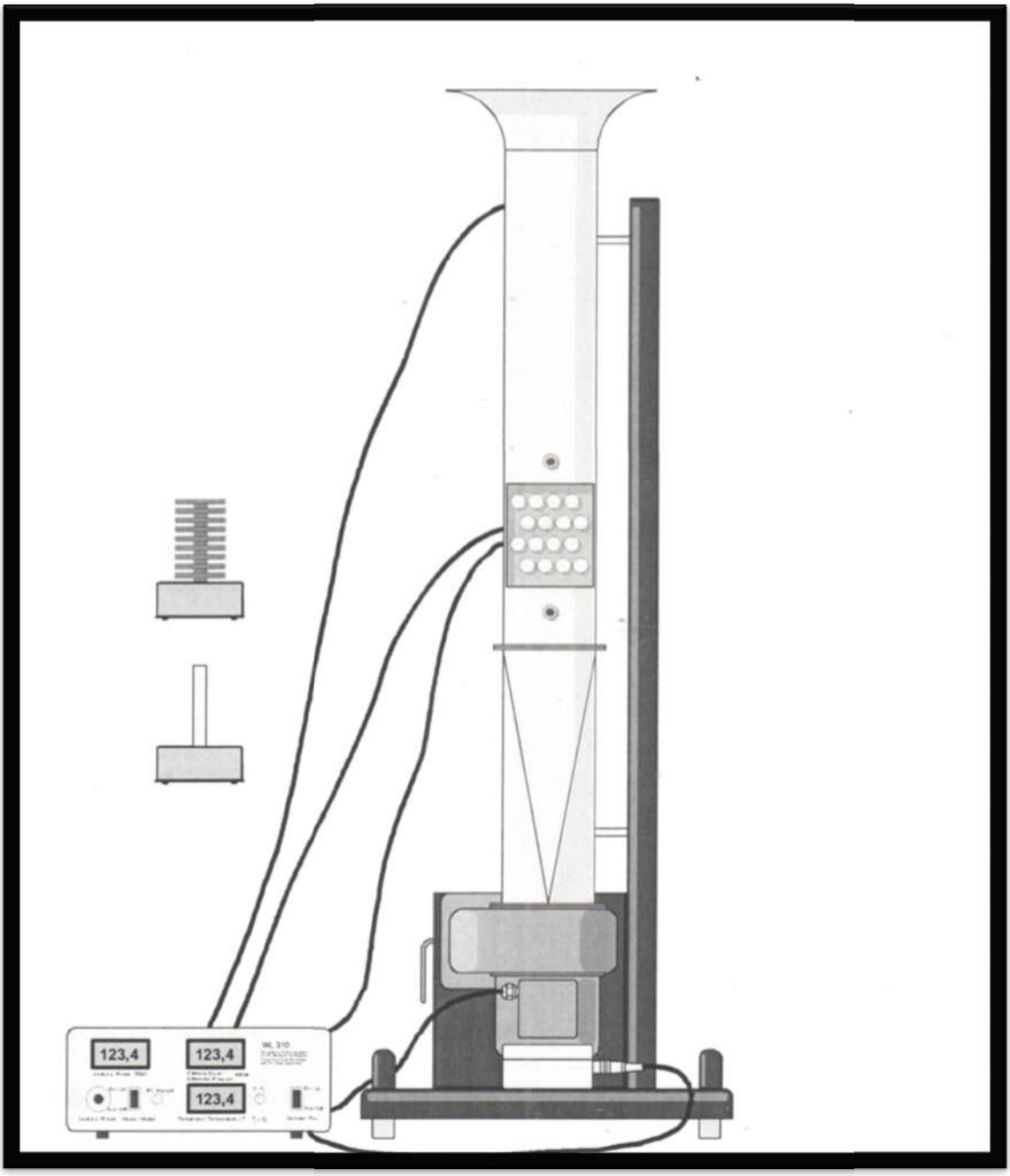
منابع و مراجع

در بخش منابع و مراجع باید نام مراجع استفاده شده در تدوین گزارش کار درج شود . ترتیب نوشتن مراجع باید به صورتی باشد که در متن گزارش کار به آنها ارجاع داده شده است . بهتر این است که ابتدا منابع فارسی، سپس لاتین و در نهایت مراجع اینترنتی ذکر شود.

ضمیمه

ضمیمه حاوی تصویر مراجع و منابع لاتین یا اینترنتی و شکل های مرتبط با موضوع گزارش کار است و شماره صفحات ضمیمه جدا از شماره ی صفحات گزارش کار است . شماره صفحات یا به صورت الف ، ب و ... و یا A,B,C,... درج می گردد . در ابتدای بخش ضمیمه کلمه "ضمیمه" در یک صفحه ی جداگانه در وسط صفحه به صورت بزرگ نوشته می شود.

انتقال حرارت جابجایی اجباری از روی پره ها



هدف:

اندازه گیری ضریب انتقال حرارت در انتقال حرارت جابجائی اجباری بر روی انواع مختلفی از پره ها

اجزای تشکیل دهنده دستگاه:

۱- کانال هوا به ابعاد (۱۲۰*۱۲۰) mm

۲- فن

۳- اهرم تنظیم دستی سرعت

۴- انواع هیتر(سوزنی، حلقوی و دسته لوله)

۵- ترموکوپل(اندازه گیری دمای هوا و پره)

۶- مبدل اندازه گیری فشار
pressure measurement converter

۷- سیستم نمایش و کنترل (با قابلیت خاموش و روشن کردن فن و هیتر و تغییر توان اعمال شده به هیتر، مشاهده دمای هوا و هیتر و افت فشار جریان روی هیتر.

ابعاد و انداز کانال و پره ها:

کانال:	ورودی هوا: ۲۸۰× ۲۸۰mm				محل قرار گرفتن پره ها: ۱۲۰×۱۲۰mm
پره سوزنی:	قطر: ۱۲/۵ mm				طول: ۱۱۸mm
پره حلقوی:	قطرپایه : ۲۷mm قطر داخلی: ۲۱mm قطر خارجی حلقه ها: ۴۰mm طول پره: ۱۱۸mm ضخامت حلقه ها: ۲mm فاصله بین دو حلقه: ۲/۴mm تعداد حلقه ها: ۲۲ عدد				
دسته لوله:	تعداد لوله ها: ۱۶	قطر هر لوله : ۱۲/۵mm	طول لوله: ۱۱۸mm	فاصله قطری لوله ها از هم: ۲۵mm	

نکات قابل توجه:

به دلیل وجود data acquisition card که روی کامپیوتر نصب می شود، امکان مشاهده داده های اندازه گیری شده توسط سنجه های دما و سرعت و همچنین محاسبه مقادیر پارامترهای مورد نیاز وجود دارد.

- به کمک شلنگهای متصل به pressure measurement convertor و بدنه کانال می توان مقادیر افت فشار روی پره و همچنین سرعت جریان را بدست آورد. اگر اتصال شلنگ ها به صورت (P-/P- و P+/P+) باشد دستگاه افت فشار در حین عبور جریان هوا از روی هیتر را اندازه می گیرد. در این حالت در منوی characteristic curves باید گزینه connected hose را انتخاب کرد. و اگر اتصال شلنگ از مبدل فشار به کانال به صورت(P+/P-) بوده و شاخه شلنگ دیگر به اتمسفر رها شود دستگاه سرعت جریان هوا داخل کانال را اندازه خواهد گرفت. در این حالت باید گزینه open hose روی نرم افزار انتخاب شود.(شکل ۱)

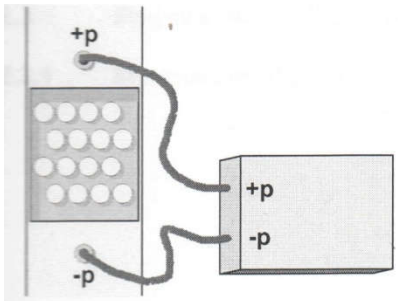


Fig. 2.3 Pressure Loss Measurement

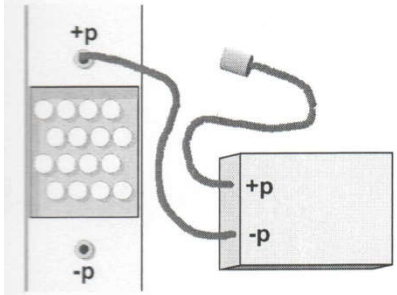
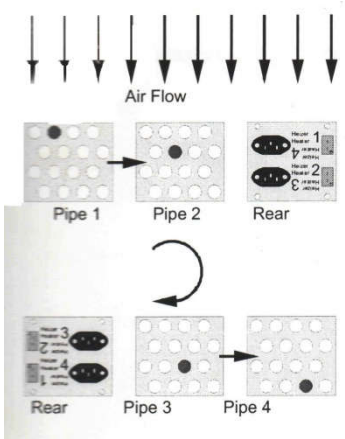


Fig. 2.4 Flow Rate Measurement

شکل ۱ – نحوه اتصال شلنگها به کانال

- هر سه شکل پره مورد آزمایش روی هیتر نصب شده اند و دستگاه قابلیت تغییر توان اعمال شده به هیتر را دارا می باشد. در مورد دسته لوله امکان اندازه گیری ضریب انتقال حرارت برای یک لوله در هر ردیف وجود دار. به این منظور کابل توان و ترموکوپل را باید به همان ردیف متصل کرد.(شکل۲)



شکل ۲: اتصال ترموکوپل و کابل توان

- نرم افزار شامل منوهای system information و characteristic curves می باشد. در منوی system information داده های صفحه کنترل (با اختلاف جزئی) نشان داده می شوند این داده ها شامل:

T_1 دمای هوای در ورود به کانال	T_2 دمای پره	P توان الکتریکی اعمال شده به پره	ΔP اختلاف فشار	W سرعت هوا در کانال

همانگونه که قبلا اشاره شده هنگام اندازه گیری ΔP اتصال شلنگ ها باید به صورت (P-/P- و P+/P+) بوده و گزینه connected hose انتخاب شده و برای اندازه گیری سرعت به صورت (P+/P-) باشد و گزینه open hose انتخاب گردد.

منوی characteristic curves شامل موارد زیر است:

- نمایش پارامترهای اندازه گیری شده بر حسب زمان.(نرم افزار قابلیت تنظیم سرعت زمانی عبور داده ها را دارا می باشد).
- نشان دادن همه ی پارامترهای خوانده شده و پارامترهای محاسبه شده.
- قابلیت انتخاب گزینه های connected hose یا open hose.
- انتخاب نوع یا ردیف پره قرارداده شده درون کانال.
- امکان بازگشت به منوی دیگر.
- امکان تعریف فایل برای ذخیره داده ها .
- امکان نمایش نمودار Nu-Re در صورت تعریف فایل برای ذخیره داده ها.

تئوری و روابط حاکم:

بر اساس آنچه در انتقال حرارت مطالعه کرده ایم شکل کلی روابط انتقال حرارت جابجایی به صورت

$Re = \frac{wL}{\nu}$	$Nu = \mathrm{hL}_c/\mathrm{k}$	$Nu = cRe^n$

می باشد. در این روابط L_c طول مشخصه (بر حسب متر) که برای هندسه های مختلف متفاوت است و عموما از رابطه زیر بدست می آید:

$L_c = {\mathrm{A}}/{\mathrm{P}} = {\pi \mathrm{dL}}/{2\mathrm{L}} = {\pi \mathrm{d}}/{2}$	برای پره سوزنی: P محیط موثر در انتقال حرارت و A سطح موثر در انتقال حرارت می باشند.
$L_c = \mathrm{L} + \mathrm{t}/2$ $L = r_2 - r_1$	پره حلقوی: T ضخامت هر کدام از حلقه های اضافه شده و r_2وr_1 شعاع داخلی و خارجی پره می باشند.
$L_c = {\mathrm{N}\pi \mathrm{d}}/{2}$	دسته لوله: N تعداد لوله ها

$w({}^{m}/_{s})$ سرعت متوسط هوا γ لزجت سینماتیکی $\mathrm{h}(w/m^2k)$ ضریب انتقال حرارت جابجایی و $\mathrm{k}(w/mk)$ ضریب هدایت حرارتی سیال می باشد. مقدار n در جریان لایه ای $\frac{1}{2}$ و در جریان آشفته $\frac{1}{3}$ می باشد. ضریب c به هندسه جسم بستگی دارد. ضریب انتقال حرارت جابجایی با خواص سیال ، شرایط جریان و هندسه جسم رابطه داشته و در نهایت آهنگ انتقال حرارت از قانون سرمایش نیوتن بدست می آید.

$$q = hA(T_2 - T_1)$$

که در آزمایش ما $q = P_{electric}$ بوده و A سطح موثر در انتقال حرارت می باشد. T_1وT_2 به ترتیب دمای متوسط سیال(هوا) و سطح است.سرعت متوسط هوا در عبور از کانال از رابطه ی زیر بدست میآید.

$$w = \frac{\sqrt{2(P_2 - P_1)}}{\rho}$$

P_1 فشار داخل کانال و P_2 فشار بیرون کانال است. برای دسته لوله که جریان به شدت آشفته استباید یک ضریب تصحیح به رابطه اضافه کرد. این ضریب را به صورت زیر تعریف می کنند:

$$W_\psi = W/\psi$$

$$\psi = 1 - \pi d/4s_1$$

که S_1 گام عرضی دسته لوله می باشد.

مقادیر چگالی و ضریب هدایت حرارتی هوا از جداول مربوطه بدست می آیند.

T°C	$k(w/mk)$	$\rho(kg/m^3)$	$\upsilon(m^2/s) * 10^6$
-20	*0.02301*	*1.3765*	*11.73*
0	*0.02454*	*1.2754*	*13.41*
20	*0.02603*	*1.1881*	*15.13*
40	*0.02749*	*1.1120*	*16.92*
60	*0.02894*	*1.0452*	*18.88*
80	*0.03038*	*0.9859*	*21.02*
100	*0.03181*	*0.9329*	*23.15*
120	*0.03323*	*0.8854*	*25.33*
140	*0.03466*	*0.8425*	*27.53*
160	*0.03607*	*0.8036*	*29.88*
180	*0.03749*	*0.7681*	*32.43*
200	*0.03891*	*0.7356*	*34.94*

آزمایش ها:

آزمایش ها به دو دسته تقسیم می شوند:

- توان متغیر و سرعت ثابت باشد (وضعیت $q" = const$) در این حالت تغییرات $Nu - q"$ مد نظر است.
- سرعت متغیر و توان ثابت باشد(تغییر سرعت به شکل دستی با دریچه متصل به فن انجام می گیرد).در این حالت تغییرات $Nu - Re$ مورد نظر است.

جدول مقادیر خوانده شده از دستگاه: (برای هر مرحله برداشت داده ها حد اقل ۲ دقیقه صبر نمایید)

پره سوزنی:

پره سوزنی	$P_{electric}$	$T1$	$T2$	ΔP	W	Re	NU	وضعیت دریچه

پره حلقوی:

پره حلقوی	$P_{electric}$	$T1$	$T2$	ΔP	W	Re	NU	وضعیت دریچه

دسته لوله:

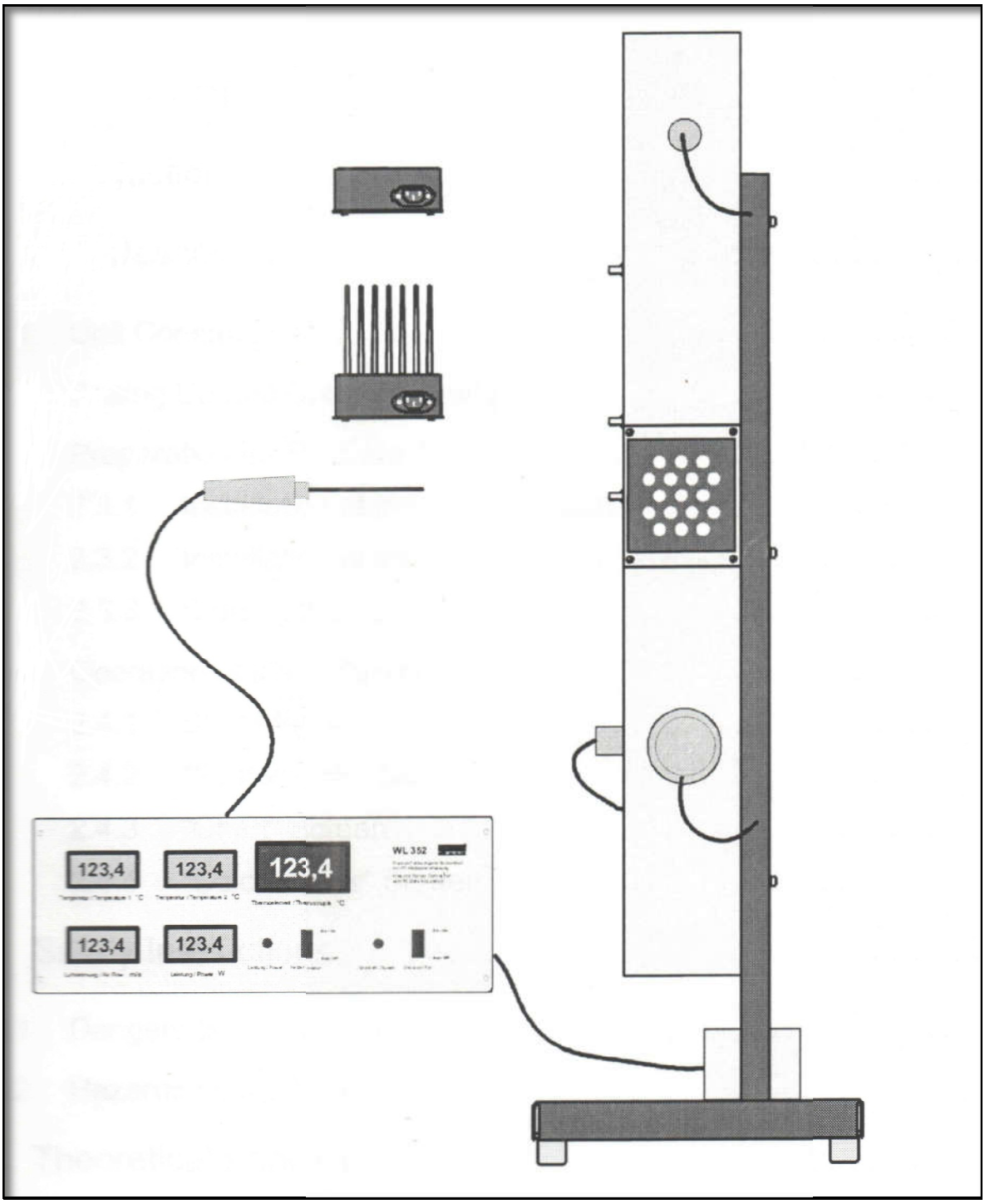
ردیف ۱	$P_{electric}$	$T1$	$T2$	ΔP	W	Re	NU	وضعیت دریچه
ردیف ۲	$P_{electric}$	$T1$	$T2$	ΔP	W	Re	NU	وضعیت دریچه
ردیف ۳	$P_{electric}$	$T1$	$T2$	ΔP	W	Re	NU	وضعیت دریچه
ردیف ۴	$P_{electric}$	$T1$	$T2$	ΔP	W	Re	NU	وضعیت دریچه

خواسته ها:

بر اساس این که شار حرارتی یا سرعت ثابت نگهداشته شوند یکی از مجموعه های زیر را رسم کنید

- نمودار $Nu - Re$ یا $Nu - W$
- نمودار $Nu - q"$ یا $Nu - P_{electric}$
- نمودار $Nu - position$ برای سرعت های($W = 2,4,6\ m/s$ برای دسته لوله

انتقال حرارت جابجایی آزاد و اجباری از روی پره ها



هدف:

اندازه گیری ضریب انتقال حرارت و راندمان پره ها در انتقال حرارت جابجائی آزاد(اجباری) بر روی انواع مختلفی از پره ها .

اجزای تشکیل دهنده دستگاه:

۸- کانال هوا به ابعاد (۱۲۰*۱۲۰) mm

۹- فن (تغییر سرعت به صورت دستی و با کمک پیچ تنظیم سرعت روی نمایشگر انجام می شود).

۱۰- ترموکوپل (برای اندازه گیری دمای تقریبی پایه پره یا توزیع دما در طول پره ها).

۱۱- انواع هیتر(صفحه، فین و دسته لوله)

۱۲- کامپیوتر و نرم افزار دستگاه.

۱۳- سیستم نمایش و کنترل (با قابلیت خاموش و روشن کردن فن و هیتر و تغییر توان اعمال شده به هیتر، مشاهده دمای هوا و هیتر و سرعت).

۱۴- ترموکوپلهای اندازه گیری دمای هوا و سنسور اندازه گیری سرعت جریان.

ابعاد و انداز کانال و پره ها:

کانال: ارتفاع کانال: ۱m ابعاد کانال: ۱۲۰×۱۲۰mm

صفحه مسطح مساحت $۰.۰۱۴ m^2$ ماکزیمم توان هیتر: ۱۷۰w

فین مساحت $۰.۱۴ m^2$ ماکزیمم دمای هیتر: ۱۲۰°

دسته لوله: مساحت $۰.۱۴ m^2$

نکات قابل توجه:

به دلیل وجود data acquisition card که روی کامپیوتر نصب می شود، امکان مشاهده داده های اندازه گیری شده توسط سنجه های دما و سرعت و همچنین محاسبه مقادیر پارامترهای مورد نیاز وجود دارد.

- همه نمونه های مورد آزمایش روی هیتر نصب شده اند و دستگاه قابلیت تغییر توان اعمال شده به هیتر را دارا می باشد.
- نرم افزار شامل منوهای system information و charts و calculation می باشد. در منوی system information داده های صفحه کنترل (با اختلاف جزئی) نشان داده می شوند این داده ها شامل:

T_1 دمای هوای در ورود به کانال	T_2 دمای پره	P توان الکتریکی اعمال شده به پره	$T_{thermocouple}$ دمای تقریبی پره	W سرعت هوا در کانال

در منوی charts پارامترهای اندازه گیری شده بر حسب زمان نمایش داده می شوند.(نرم افزار قابلیت تنظیم سرعت زمانی عبور داده ها را دارا می باشد). در این منو پس از رسیدن به حالت پایدار دمای پره را ذخیره کرده و به منوی محاسبات می رویم.

در منوی calculation پس از انتخاب نوع پره می توان نتیجه محاسبات انجام شده توسط نرم افزار را مشاهده کرد. این نتایج شامل دبی جرمی هوا داخل کانال $\dot{m}$ آهنگ انتقال حرارت از پره به کانال $\dot{q}$ راندمان انتقال حرارت η ضریب انتقال حرارت جابجایی h یا α عدد Nu و عددRe می باشد.

تئوری و روابط حاکم:

بر اساس آنچه در انتقال حرارت مطالعه کرده ایم شکل کلی روابط انتقال حرارت جابجایی به صورت

$Re = \frac{wL}{\nu} \quad pr = \upsilon/\alpha$	$Nu = \mathrm{h}\mathrm{L}_c/\mathrm{k}$	$Nu = cRe^m pr^n$

می باشد. در این روابط L_c طول مشخصه (بر حسب متر) که برای هندسه های مختلف متفاوت است و عدد پرانتل pr معیاری از وضعیت لایه های مرزی هیدرودینامیکی و حرارتی می باشد. $w(^m/_s)$ سرعت متوسط هوا γ لزجت سینماتیکی $\mathrm{h}(w/m^2k)$ ضریب انتقال حرارت جابجایی و $\mathrm{k}(w/mk)$ ضریب هدایت حرارتی سیال می باشد. مقدار m در جریان لایه ای $\frac{1}{2}$ و در جریان آشفته $\frac{1}{3}$ می باشد. ضریب c به هندسه جسم بستگی دارد. ضریب انتقال حرارت جابجایی با خواص سیال ، شرایط جریان و هندسه جسم رابطه داشته و در نهایت آهنگ انتقال حرارت از قانون سرمایش نیوتن بدست می آید. از سویی بر اساس قانون اول ترمودینامیک (بقای انرژی)

$q = \mathrm{m}\cdot c_p(T_2 - T_1)$
$\dot{m} = \rho_{air} A_{channel} V$
$\eta = q/P_{electric}$
$q = hA\Delta T_{lmtd}$ از طرفی بر اساس قانون سرمایش نیوتن
$\Delta T_{lmtd} = \frac{(T_s - T_2) - (T_s - T_1)}{ln\,(T_s - T_2)/(T_s - T_1)}$
$Re = {}^{VD}/_{\nu}$

که در آزمایش ما $q = P_{electric}$ بوده و A سطح موثر در انتقال حرارت می باشد. T_1وT_2 به ترتیب دمای متوسط سیال(هوا) در ورود به کانال و خروج از آن است. $\mathrm{T}_{\mathrm{thermocouple}}$ دمای تقریبی پایه پره است.

مقادیر چگالی و ضریب هدایت حرارتی هوا از جداول مربوطه بدست می آیند.

T°C	$k(w/mk)$	$\rho(kg/m^3)$	$\upsilon(m^2/s)*10^6$
-20	*0.02301*	*1.3765*	*11.73*
0	*0.02454*	*1.2754*	*13.41*
20	*0.02603*	*1.1881*	*15.13*
40	*0.02749*	*1.1120*	*16.92*
60	*0.02894*	*1.0452*	*18.88*
80	*0.03038*	*0.9859*	*21.02*
100	*0.03181*	*0.9329*	*23.15*
120	*0.03323*	*0.8854*	*25.33*
140	*0.03466*	*0.8425*	*27.53*
160	*0.03607*	*0.8036*	*29.88*
180	*0.03749*	*0.7681*	*32.43*
200	*0.03891*	*0.7356*	*34.94*

آزمایش ها:

هیتر و پره دلخواه را داخل کانال گذاشته و توان الکتریکی مورد نظر را به آن اعمال نموده و صبر می کنیم تا به حالت پایدار برسیم. بسته به این که هدف جابجایی اجباری یا آزاد باشد می توان توان را ثابت نگهداشته و سرعت را تغییر داد(جابجایی اجباری) یا توان را تغییر داد(جابجایی آزاد). جدول را کامل می کنیم. (جدول مربوط به مقادیر خوانده شده از دستگاه می باشد). می توان با محاسبه هر کدام از این متغیرها نتایج را اعتبار سنجی کرد.

خواسته ها:

رسم نمودار $\dot{m}$-P برای پره ها (مقادیر خوانده شده از دستگاه و مقادیر محاسباتی روی یک نمودار رسم شوند تا امکان مقایسه و بحث وجود داشته باشد).

- رسم نمودار q-P برای پره ها (مقادیر خوانده شده از دستگاه و مقادیر محاسباتی روی یک نمودار رسم شوند تا امکان مقایسه و بحث وجود داشته باشد).
- رسم نمودار η -P برای پره ها (مقادیر خوانده شده از دستگاه و مقادیر محاسباتی روی یک نمودار رسم شوند تا امکان مقایسه و بحث وجود داشته باشد).
- رسم نمودار $h-P$ برای پره ها (مقادیر خوانده شده از دستگاه و مقادیر محاسباتی روی یک نمودار رسم شوند تا امکان مقایسه و بحث وجود داشته باشد).
- رسم نمودار $Nu-P$ برای پره ها (مقادیر خوانده شده از دستگاه و مقادیر محاسباتی روی یک نمودار رسم شوند تا امکان مقایسه و بحث وجود داشته باشد).
- رسم نمودار $Nu-Re$ برای پره ها (مقادیر خوانده شده از دستگاه و مقادیر محاسباتی روی یک نمودار رسم شوند تا امکان مقایسه و بحث وجود داشته باشد).

plate	T_1	T_2	$T_{thermocouple}$	*Power*	*Air flow(m/s)*	$\dot{m}$	q	η	h	Re	Nu
Natural											
Forced											
Forced											
Forced											

Finn	T_1	T_2	$T_{thermocouple}$	*Power*	*Air flow(m/s)*	$\dot{m}$	q	η	h	Re	Nu
Natural											
Forced											
Forced											
Forced											

Tubes	T_1	T_2	$T_{thermocouple}$	*Power*	*Air flow(m/s)*	$\dot{m}$	q	η	h	Re	Nu
Natural											
Forced											
Forced											
Forced											

کمپرسور دو مرحله ای با میان سرد کن

هدف:

بدست آوردن بازده یک کمپرسور سیلندر پیستونی دو مرحله ای با میان سرد کن

مقدمه :

کمپرسورها یکی از تجهیزات مهم مورد استفاده در صنایع و مصارف خانگی می باشند. از باد کردن تایر خودرو گرفته تا ساخت یخچال‌ها و چیلرهای بزرگ. موتورهای جت نیز برای کار کردن نیاز به نوعی از کمپرسور به نام کمپرسورهای محوری. در خودروهای امروزی نیز از نوعی از کمپرسورها برای فشرده سازی هوای ورودی به سیلندر استفاده می‌شود تا کارایی موتور افزایش پیدا کند. دامنه استفاده از کمپرسورها به همین موارد ختم نمی‌شود و

کمپرسورها را می‌توان در بسیاری از موارد زندگی روزمره نیز مشاهده کرد. در خطوط انتقال گاز نیز می‌توان از کمپرسورها استفاده کرد تا بتوان گاز را در طول لوله به مسافت‌های دور انتقال داد. در سیستم‌های سرمایش خانگی و یخچال‌های خانگی نیز کمپرسورها مهم‌ترین نقش را ایفا می‌کنند.

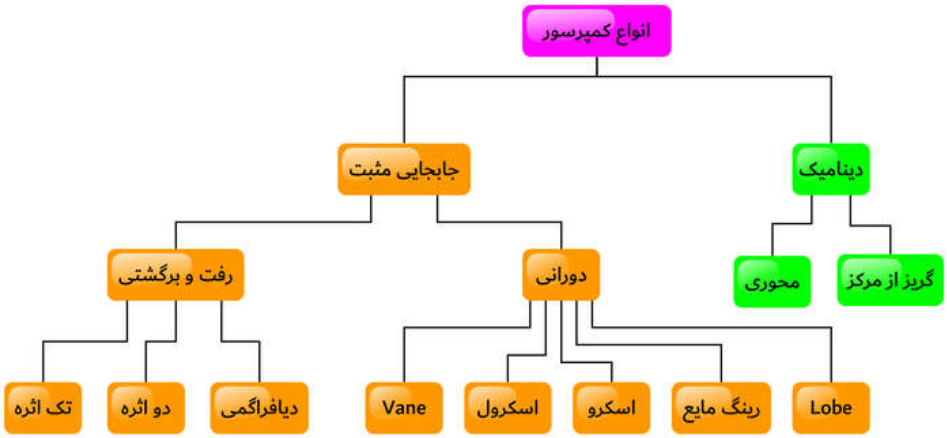
انواع کمپرسور

انوع گوناگونی از کمپرسور وجود دارد که در ابتدا ممکن است افراد را سردرگم کند. بنابراین دسته‌بندی‌های مختلفی برای گروه‌بندی کمپرسورها ارائه شده‌اند که می‌تواند در انتخاب درست به کار آیند. به طور کلی کمپرسورها را با ویژگی‌های زیر دسته‌بندی می‌کنند:

- سرعت (سرعت ثابت یا سرعت متغیر)
- تعداد مراحل کار (تک مرحله‌ای، دو مرحله‌ای و چند مرحله‌ای)
- سیستم قدرت
- ساختار (باز، سمی هرمتیک و هرمتیک)
- سیستم خنک‌سازی کمپرسور (هوا، آب و روغن)
- روش‌های روانکاری کمپرسور

با این حال موارد بالا برای دسته بندی کامل کمپرسورها کافی نیستند. به طور معمول کاربردی‌ترین دسته بندی برای کمپرسور، به نحوه کار آن‌ها برمی‌گردد. برای افزایش فشار یک سیال می‌توان از دو روش استفاده کرد: کاهش حجم و یا افزایش سرعت. کمپرسورهایی که از روش اول استفاده می‌کنند را کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت (Positive displacement) و کمپرسورهایی که سرعت سیال را افزایش می‌دهند را کمپرسورهای دینامیک (Dynamic) می‌نامند.

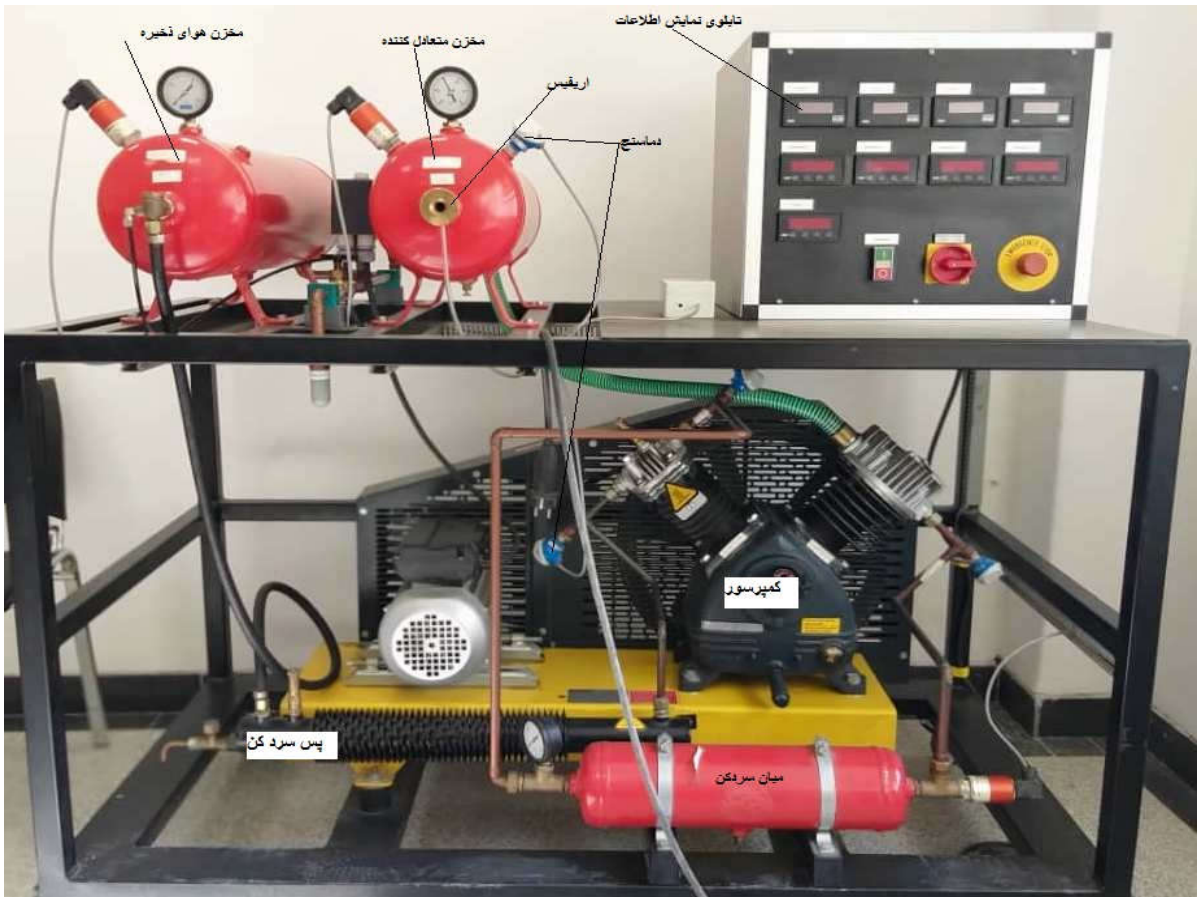
شکل زیر دسته بندی بر اساس تئوری عملکرد انواع کمپرسور پرکاربرد در تهویه مطبوع و تبرید را به طور ساده به نمایش می‌گذارد.



اجزای تشکیل دهنده دستگاه:

تست کمپرسور مورد استفاده ET500 بخشی از یک سیستم تولید هوای فشرده است که برای تولید هوای متراکم در کاربردهایی نظیر نیروگاههای گازی، تجهیزات پنوماتیکی، معادن و .... استفاده می شوند. این کمپرسور از نوع سیلندر پیستونی و دو مرحله ای با میان سرد کن و پس سرد کن می باشد. دلیل استفاده از کمپرسورهای چند مرحله ای آن است که در بسیاری فرایندها نمی توان با یک کمپرسور به فشار مطلوب دست یافت. به همین دلیل با افزایش تعداد دفعات تراکم و سرد کردن سیال پس از هر مرحله نه تنها فشارهای بالا قابل دسترس می باشند بلکه راندمان مجموعه نیز بالا می رود. اجزای دستگاه در شکل شماره ۱ نشان داده شده اند.

شکل ۱: اجزای دستگاه



اجزای دستگاه عبارتند از

۱	اریفیس	۵	پس سردکن
۲	مخزن متعادل کننده هوای ورودی	۶	مخزن هوای ذخیره
۳	کمپرسور و الکتروموتور	۷	تابلوی نمایش اطلاعات
۴	میان سرد کن	۸	فشارسنج ها، دماسنج ها، سوپاپ های اطمینان و شیر کنترل برقی

در ورودی هوا به مجموعه یک اریفیس نصب شده است که با اندازه گیری افت فشار در گلوگاه و به کمک روابط ترمودینامیکی(با فرض گاز کامل) می توان دبی حجمی هوای ورودی به کمپرسور را اندازه گرفت و محاسبه کرد (اختلاف فشار دیفرانسیلی). هوا سپس وارد مخزن متعادل کننده می شود که قبل از کمپرسور شماره ۱ قرار دارد. در این جا می توان دما و فشار را اندازه گرفت. پس از آن هوا وارد کمپرسور شماره ۱ شده و در خروجی از آن مجددا دما و فشار سنجیده می شود.پس از آن هوا وارد میان سرد کن شده با محیط تبادل گرمایی کرده به کمپرسور شماره ۲ وارد شده و پس از عبور از پس سرد کن به مخزن ذخیره می رود. در هر کدام از این نقاط دما و فشار اندازه گیری می شوند. برای تخلیه رطوبت تشکیل شده ناشی از تراکم و چگالش بخار آب موجود در هوا شیرهای تخلیه رطوبت مناسب در زیر مخازن ورودی و ذخیره و مبدل های حرارتی (میان سرد کن و پس سرد کن) تعبیه شده اند. در انتهای مخزن ذخیره یک شیر نصب شده که به کمک آن می توان فشار مخزن را مدیریت کرد. در انتهای مسیر برای کاهش صدای کمپرسور یک صدا خفه کن نصب شده است.پس از مخزن ذخیره یک شیر کنترل و تخلیه برقی قرار دارد .هنگامی که فشار مطلق مخزن ذخیره به حدود ۱۱/۸ bar برسد برق الکتروموتور قطع شده و هوا تخلیه می شود تا به حدود ۱۰ bar برسد و مجددا کمپرسور روشن شود. به

منظور ایمنی بیشتر سه safety valve روی کمپرسور شماره ۲، بعد از پس سرد کن و بعد از مخزن ذخیره تعبیه شده اند و در صورتی که هیچکدام از این تجهیزات ایمنی عمل نکرد می توان با فشردن کلید Emergency stop برق دستگاه را قطع کرد.

روش انجام آزمایش:

دستگاه را روشن کرده شیر خروجی را بسته و بر اساس جدول با تغییر فشار مخزن اطلاعات را یاد داشت می کنیم. در مرحله باید صبر کنیم تا کمپرسور به حالت پایدار برسد. با استفاده از فشار سنج های بوردون تعبیه شده روی دستگاه و دانستن فشار مطلق از روی صفحه نمایشگر فشار اتمسفر آزمایشگاه را اندازه گیری کرده و یاد داشت می کنیم.

	P_4	P_1	P_2	P_3	T_1	T_2	T_3	T_4	$P_{electric}$	$diff\ press..$
1	**6**									
2	**7**									
3	**8**									
4	**9**									
5	**10**									
6	**11**									

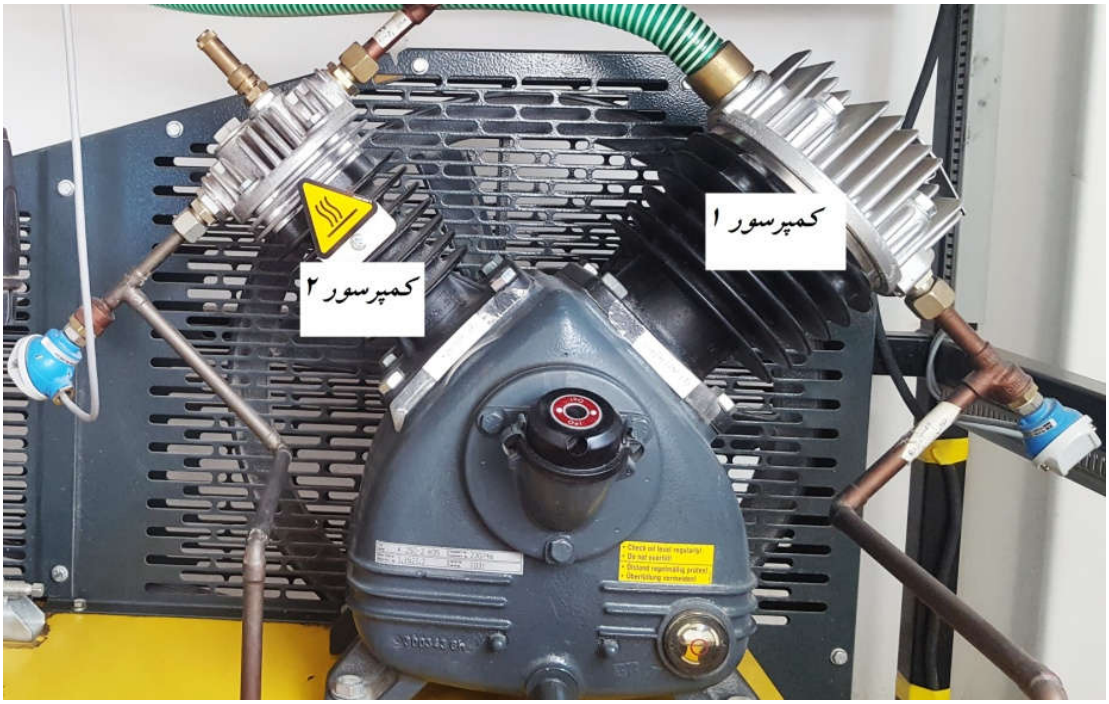
بر مبنای اندازه گیری ها می توان بازده کمپرسور را به دست آورد.

روابط حاکم:

$\forall^{\circ}_{air} = \mathrm{A_d}\sqrt{2\Delta \mathrm{p}/\rho}$ $A_{\mathrm{d}} = 1.131 * 10^{-4}\ (\mathrm{m}^2)$	دبی حجمی هوای ورودی به کمپرسور $\forall^{\circ}_{\mathrm{air}}$ برق مصرفی کمپرسور $P_{electric}$ مساحت روزنه اریفیس A_d
$\rho = {P_0}/{0.287(T_0 + 273)}$	چگالی هوا *فشار و دمای اتمسفر آزمایشگاه* P_0 و T_0
$\mathrm{P_{hydrolic}} = \mathrm{P_1}\forall^{\circ}_{\mathrm{air}}\ln {\mathrm{P_4}}/{\mathrm{P_1}}$	توان داده شده توسط کمپرسور به هوا
$\eta = P_{hydrolic}/P_{electric}$	بازده کمپرسور

خواسته ها:

- رسم نمودار بازده η بر حسب فشار مطلق مخزن P_4 .
- رسم دماها برحسب فشار مطلق مخزن P_4 .
- رسم فشارهای خوانده شده P_1 ، P_2 و P_3 بر حسب فشار مطلق مخزن P_4
- رسم نمودار دبی حجمی هوای ورودی کمپرسور بر حسب فشار مطلق مخزن P_4


کمپرسور ۱
کمپرسور ۲

انتقال حرارت هدایتی شعاعی

هدف:

بدست آوردن ضریب انتقال حرارت در هدایت حرارتی شعاعی

مقدمه :

هدایت یکی از مکانیزمهای انتقال حرارت است که به صورت انتقال انرژی از ذرات پر انرژی به ذرات کم انرژی در حضور گرادیان دما و دراثر بر هم کنش بین انها تعریف می شود.بر این اساس در جامدات هدایت به واسطه حرکت الکترونهای آزاد، امواج شبکه ای یا محرک های مغناطیسی رخ می دهد. در گازها هدایت ناشی از برخورد تصادفی ملکولها بوده و در مایعات نیز شبیه گازها می باشد.البته به دلیل نزدیک ملکولها و نیروهای بین ملکولی که بر مبادله انرژی بین ملکولها و حرکت تصادفی آنها اثر می گذارند مساله پیچیده تر می شود. آن گونه که در درس انتقال حرارت خوانده ایم هدایت یک پدیده سه بعدی استولی در برخی شرایط می توا آن را با مدل های یک و دوبعدی هم تقریب زد. یکی از این تقریبها مربوط به هدایت شعاعی در سیستمهای کروی یا استوانه است. معادله حاکم بر هدایت قانون فوریه است که در دستگاههای مختصات مختلف به اشکال متفاوت بازنویسی می شود.در شرایط پایدار و بدون تولید انرژی مسائل هدایت را از شکل استاندارد قانون بقای انرژی یا روش ساه جایگزین که استفاده از قانون هدایت فوریه است تحلیل کرد.

اجزای تشکیل دهنده دستگاه:

دستگاه شامل یک دیسک برنجی است که در مرکز آن هیتری تعبیه شده و روی دیسک در فواصل شعاعی معلوم که در جدول آمده اند ترموکوپل هایی نصب شده اند که دما در این نقاط شعاعی را نشان می دهند. در اطراف دیسک آب جریان یافته و گرمای تولیدی هیتر را برداشت می کند.

مشخصات دیسک و محل ترموکوپلها:

$D_{in} = 14mm$	$D_{out} = 110mm$	$L = 3.4mm$

T	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
$r(mm)$	$r_1 = 7$	$r_2 = 10$	$r_3 = 20$	$r_4 = 30$	$r_5 = 40$	$r_6 = 50$

روابط حاکم:

برای هدایت دائم یک بعدی بدون تولید انرژی در دستگاه مختصات استوانه ای:

$q(w) = 2\pi L k_{ij}(T_i - T_j)/Ln\frac{r_j}{r_i}$	i و j هر دو نقطه دلخواه با موقعیت شعاعی و دمای معلوم می باشند.
$q(w) = V * A$	آهنگ انتقال حرارت بر اساس گرمایی که از هیتر به دیسک داده می شود

آزمایش ها:

- ابتدا به کمک کرنومتر و ظرف مدرج دبی آب خنک کننده را روی $1.5\ litr/\min$ تنظیم می کنیم. ابتدا زملپان رسیدن به حالت پایدار را بدست می آوریم. به این منظور ولتاژ را روی ۶۶ ولت تنظیم کرده و هر ۶۰ ثانیه دمای همه ترموکوپله را ثبت نمایید. این کار را تا رسیدن به حالت پایدار ادامه دهید.(نتایج در جدول ۱ ثبت شوند).
- طبق جدول شماره ۲ ولتاژ را روی مقادیر خواسته شده تنظیم کرده و پس از رسیدن به حالت پایدار اطلاعات را ثبت کنید.

خواسته ها:

- نمودار $T - t$ را برای همه مقادیر خوانده شده توسط ترموکوپل ها رسم کنید.(همه منحنی ها روی یک نمودار رسم شوند).
- نمودار $K - q$ را برای ولتاژهای مختلف رسم کرده و در مورد آن توضیح دهید (جدول ۳).

جدول شماره ۱: تعیین زمان رسیدن به حالت پایدار

ردیف	زمان	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	I
۱								
۲								
۳								
۴								
۵								
۶								
۷								
۸								
۹								
۱۰								
۱۱								
۱۲								
۱۳								
۱۴								
۱۵								
۱۶								
۱۷								
۱۸								
۱۹								
۲۰								

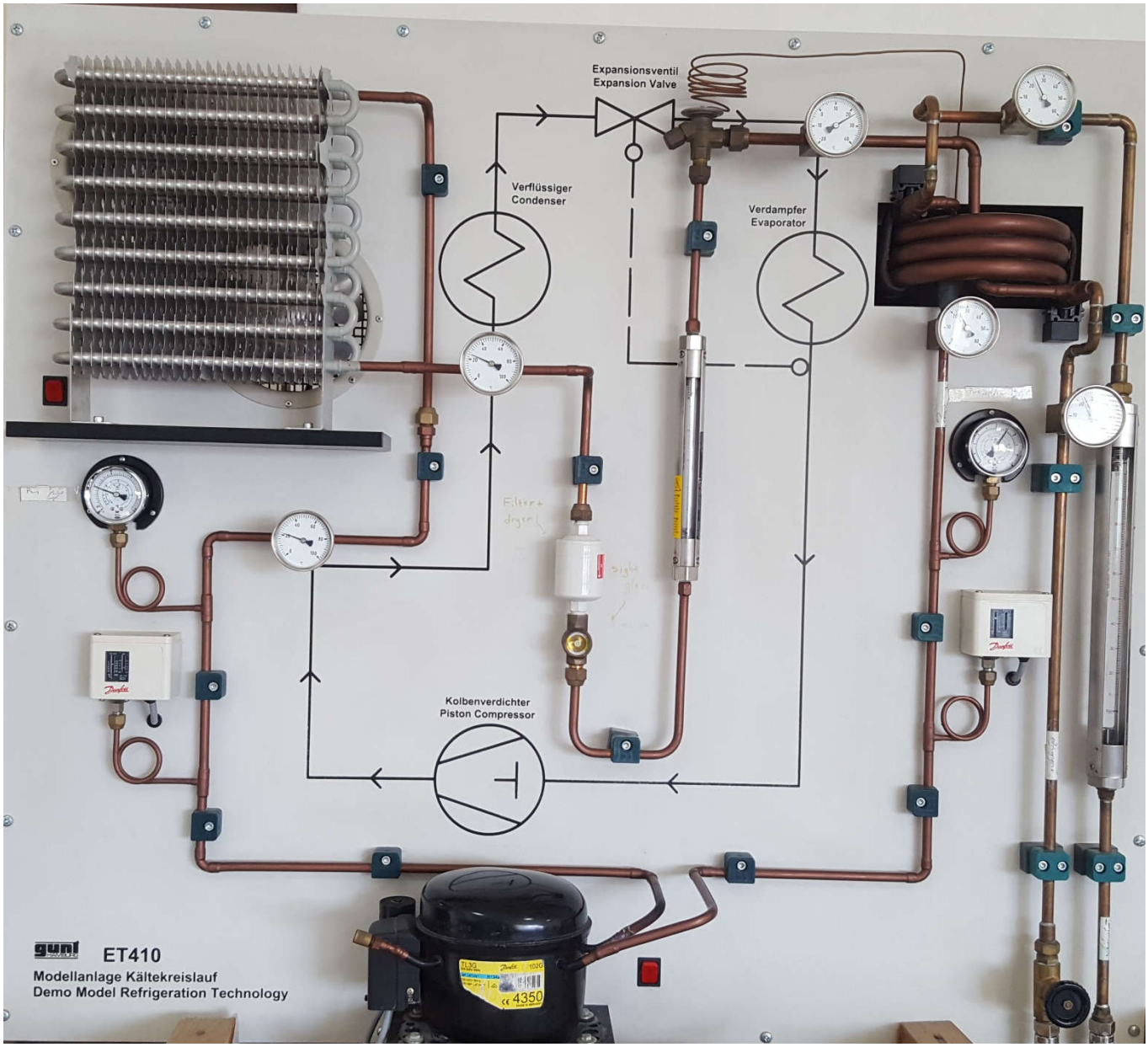
جدول شماره ۲: توزیع دما و تعیین ضریب هدایت حرارتی

$volt$	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	I
۱۰۰							
۱۵۰							
۲۰۰							

جدول شماره ۳: نتایج محاسبات

$volt$	q_{watt}	k_{12}	k_{23}	k_{34}	k_{45}	k_{56}	k_{16}
۱۰۰							
۱۵۰							
۲۰۰							

سیکل تبرید تراکمی بخار



هدف:

بدست آوردن ضریب عملکرد یک آب سرد کن آزمایشگاهی(سیکل تبرید تراکمی بخار)

مقدمه :

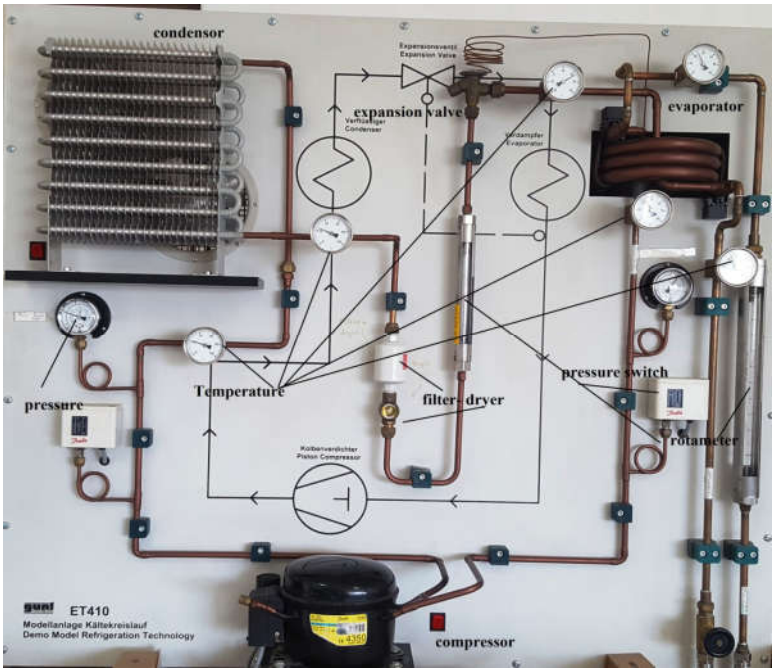
اجزای تشکیل دهنده دستگاه:

دستگاه شامل یک آب سردکن که مدلی از سیکل تبرید تراکمی بخار است می باشد.همانند هر چرخه تبرید ایده آل این چرخه هم شامل چهار جزء اساسی است که عبارتند از:

۱- کمپرسور	۲- کندانسور	۳- شیر اختناق	۴- اواپراتور

در این آزمایش ضمن آشنایی مختصر با این چهار بخش فرایندهای ترمودینامیکی رخ داده در چرخه را بررسی کرده و ضریب عملکرد و راندمان را بدست می آوریم.

اجزای چرخه، مدار مبرد و مدار آب در شکل شماره ۱ نشان داده شده اند.



کمپرسور: از نوع سیلندر – پیستونی بسته بوده و مبرد مورد استفاده نیز R134a می باشد. برای کنترل فشار از دو کنترل کننده فشار روی خط مکش و رانش کمپرسور استفاده می شود. دو فشار سنج نیز روی خطوط مکش و رانش نصب شده اند(از افت فشار در مسیر لوله ها صرفنظر شده است). همچنین امکان اندازه گیری دما در چهار نقطه در خروجی اجزا وجود دارد. بازده مکانیکی کمپرسور حدود ۸۰٪ است.

کندانسور: لوله مارپیچی است که برای افزایش آهنگ انتقال حرارت روی آن صفحاتی(فین) نصب شده. پشت آن نیز یک فن به همین منظور نصب گردیده است.

دبی سنج(روتامتر): دو عدد روتامتر برای اندازه گیری دبی حجمی آب و فرئون در مدارهای مربوطه نصب شده اند. دبی سنج آب کالیبره شده و عدد ۱۰۰ معادل ۹۶ لیتر بر ساعت جریان آب می باشد.

شیر اختناق: از نوع ترمواستاتیکی بوده و از اواپراتور فرمان میگیرد.در فرایند اختناق افت فشار ناگهانی رخ میدهد(بدون صرف کار).

اواپراتور: یک مبدل دولوله ای است که در آن آب گرما از دست داده و فرئون گرما را دریافت می کند.

فیلتر- درایر: پس از کندانسور قرار گرفته و همزمان دو عمل فیلتر کردن مایع مبرد و یه دام انداختن بخار از خروجی کندانسور و تبدیل آن به مایع را برعهده دارد چون ورود بخار به شیر اختناق بازده چرخه را کاهش می دهد.

تجهیزات کنترلی: شامل ۴ دماسنج برای فرئون و ۲ دماسنج برای آب، ۲ فشار سنج،۲ دبی سنج برای آب و فرئون و ۲ کنترل گر فشار روی خطوط مکش و رانش کمپرسور می باشد.

روش انجام آزمایش:

دستگاه سیکل تبرید را روشن کرده دبی اب را با شیر دستی تعبیه شده روی مقادیر جدول تنظیم نموده و صبر می کنیم تا دستگاه به حالت پایدار برسد.سپس مقادیر دما و فشار و دبی مبرد را در جدول ثبت می کنیم.در هر کدام از نقاط با داشتن دما و فشار می توان انتالپی را از جداول خواص ترمودینامیکی به دست آورد.

روتامتر آب	$T_{w,in}$	$T_{w,out}$	P_1	P_2	T_1	T_2	T_3	T_4	روتامتر مبرد
۱۵									
۳۵									
۵۵									
۷۵									

روابط حاکم:

$\dot{Q}_{water} = \dot{m}_{water} c_p (T_{w,out} - T_{water,in})$	**گرمایی که آب از دست می دهد**
$\dot{m}_{water} = \rho \dot{\forall}_{water}$	**دبی جرمی آب**
$\dot{Q}_{evaporator} = \dot{m}_{R134,a}(h_1 - h_4)$	**گرمایی که مبرد در اواپراتور بدست می آورد**
$\dot{m}_{R134,a} = \dot{\forall}_{R1341,a} / \vartheta_3$	**دبی جرمی مبرد** **حجم مخصوص در خروجی کندانسور** ϑ_3
$\dot{Q}_{condensor} = \dot{m}_{R134,a}(h_3 - h_2)$	**گرمایی که مبرد در کندانسور از دست میدهد**
$\dot{W}_{eff,compressor} = \dot{m}_{R134,a}(h_2 - h_1)$	**کار موثر انجام شده توسط کمپرسور روی مبرد**
$\dot{W}_{compressor} = \dot{W}_{eff,compressor} / \eta_m$	**کار مصرف شده توسط کمپرسور**
$cop1 = \dot{Q}_{water} / \dot{W}_{compressor}$	**ضریب عملکرد بر مبنای گرمایی که آب از دست داده**
$cop2 = \dot{Q}_{evaporator} / \dot{W}_{compressor}$	**ضریب عملکرد بر مبنای گرمایی که مبرد به جذب کرده**
$\eta_{evaporator} = \dot{Q}_{evaporator} / \dot{Q}_{water}$	**بازده اواپراتور**

خواسته ها:

- برای همه پارامترهای محاسبه شده(گرمای از دست داده شده آب، گرمای گرفته شده مبرد در اواپراتور، گرمای از دست داده شده در کندانسور، کار مصرفی کمپرسورو ضرایب عملکرد تعریف شده را بر حسب دبی آب رسم و در مورد آن بحث نمایید.

منحنی جوشش استخری و محاسبه ضرایب انتقال حرارت در جوشش و چگالش

هدف:

آشنایی با فرایندهای انتقال حرارت تغییر فاز و بدست آوردن ضرایب انتقال حرارت در جوشش و چگالش

مقدمه:

فرآیندهای انتقال حرارت شامل تغییر فاز اهمیت زیادی در طراحی تجهیزات گرمایش و سرمایش به ویژه مبردهای حرارتی دارند. از این فرایندها برای خنک کردن راکتورهای هسته ای و موتورهای جت، نیروگاه های بخار(دیگ بخار و کندانسور)، سیستم های تهویه مطبوع و تبرید، فرایندهای شیمیایی و... استفاده می شود. به دلیل آنکه جوشش و چگالش با حرکت سیال همراه می باشد آن را در رده فرایندهای جابجایی قرار می دهند و از قانون سرمایش نیوتن برای محاسبه ضریب انتقال استفاده می کنند.

تعریف جوشش و چگالش:

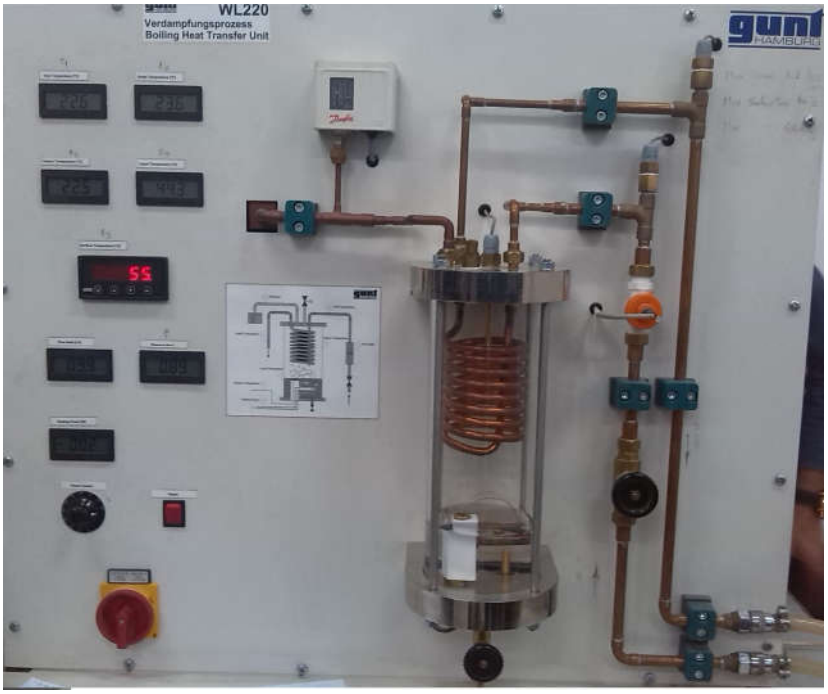
جوشش(چگالش) عبارت است از تبخیر(تقطیر) در فصل مشترک مایع-جامد (بخار-جامد) و هنگامی رخ می دهد که دمای سطح از دمای اشباع در فشار مایع(بخار) بیشینه(کمینه) شود. اگر مایع ساکن و سطح داغ داخل آن غوطه ور بوده یا در مجاورت آن قرار داشته باشد به آن جوشش استخری می گویند. فرایندهایی که در حین انتقال حرارت در یک جوشش استخری رخ می دهد به نام جوشش استخری شناخته می شوند. به طور کلی در جوشش استخری اشباع، چهار رژیم وجود دارد:

۱- **جابجایی آزاد**: حباب روی سطح وجود ندارد، مایع مجاور سطح همیشه به واسطه اثرات شناوری رو به بالا حرکت کرده و تبخیر در سطح آزاد رخ می دهد.
۲- **جوشش هسته ای**: هسته های بخار در ابتدا به صورت منفرد و در نهایت به صورت ستونها و کته های حباب روی سطح تشکیل شده و رو به بالا حرکت می کنند (بالاترین نرخ شار حرارتی مربوط به این محدوده است.)

۳- **جوشش لایه ای گذرا**: اطراف هسته به طور متناوب با لایه ای از بخار پوشیده می شود، این وضعیت گذرا بوده و به همین دلایل شرایط در مابین وضعیت جوشش هسته ای و جوشش لایه ای نوسان می کند. در این محدوده با کاهش شدید شار حرارتی و ضریب انتقال حرارت روبرو هستیم.

۴- **جوشش لایه ای پایدار**: در این مرحله آنقدر نرخ تولید حباب زیاد است که عملا در سطح داغ بالایی از بخار پوشیده شده، کمترین شار حرارتی که مربوط به همین رژیم می باشد، اگر دمای سطح هسته باز هم افزایش یابد همیشه خود به یک منبع تابش تبدیل خواهد شد، صدور تابش از هسته یا سطح داغ منجر به افزایش نرخ اتصال حرارت می شود.

شرح دستگاه:



شکل شماره (۱) نمای کلی دستگاه

دستگاه مورد آزمایش از یک محفظه بسته استوانه ای با اجزا نشان داده شده در شکل تشکیل یافته .داخل استوانه یک هیتر و یک کویل مسی برای انجام تست جوشش و چگالش قرار دارد .استوانه با مایع مناسب (فرئون) شارژ شده و امکان اندازه گیری پارامتر هایی همچون:

۱.دمای سطح هیتر

۲.دمای متوسط مایع

۳.دمای متوسط بخار

۴.فشار بخار

۵.توان الکتریکی

۶.دبی آب خنک کننده

۷.دمای ورودی آب خنک کننده

۸.دمای خروجی آب خنک کننده

وجود دارد که موارد۶،۷و۸ مربوط به تست چگالش می باشد.

متغیر مستقل در این آزمایش فشار حرارتی است که به کمک یک پتانسیو متر قابل تنظیم است.براسا س متغیر های اندازه گیری شده می توان مواردی از قبیل:

دمای اشباع،دمای اضافه T_s-T_{sat} شار حرارتی $q_s^{``} = \frac{P_{electric}}{A_{heater}}$ ، ضریب انتقال حرارت h (مربوط به جوشش) ،اختلاف دمای لگاریتمی در چگالش و ضریب انتقال حرارت کلی (در چگالش) را بدست آورد. به کمک آن منحنی های $q^{``}$-ΔTe و h_ΔTe برای جوشش و چگالش ترسیم کرد.

با توجه به وجود کارت داده دستگاه و نرم افزار ضمیمه آن امکان مشاهده همه ی موارد فوق در منوهای ویژه برنامه وجود دارد.برنامه دارای دو منوی system diagram و calculation می باشدکه در هردو امکان تعریف یک فایل برای ذخیره ی داده های برداشت شده و رسم نمودار مناسب براساس این داده ها وجود دارد.

در منوی system diagram نتایج حاصل از تمام مواردی که به طور مستقیم با وسایل اندازه گیری سنجیده می شود نشان داده می شود از جمله :

p فشار	Pتوان الکتریکی	$\forall^{\circ}$دبی حجمی
T_1دمای آب در ورودی	T_2دمای آب در خروجی	T_3دمای فاز بخار
T_4دمای فاز مایع		

در منوی calculation براساس موارد خوانده شده در منوی قبل نتایج محاسبات درج می شود. این نتایج شامل :

ΔT_{lmtd} اختلاف دمای لگاریتمی آب	Pتوان الکتریکی	T_{sat}دمای اشباع	u ضریب انتقال حرارت کلی
hضریب انتقال حرارت	$q^{``}$فشار حرارتی	(T_s-T_{sat})دمای اضافه	تغییر دما آب به هنگام چگالشΔT

شرح آزمایش:

آزمایش جوشش با تغییر از مقادیر کم ۱۰ وات به صورت پله ای مراحل مختلف جوشش را مشاهده کرده در عین حال برای هر مرحله تغییر توان مدتی صبر کنیم تا به شرایط پایدار برسیم نتایج را یادداشت می کنیم این نتایج را در قالب جدول زیر خواهد بود.

$P_{(watt)}$	T_3	T_4	T_5	T_{sat}	p	$q^{``}$	h	ΔTe
10								
20								
30								
40								
50								

جدول را تا توان ۱۵۰ وات ادامه می دهیم

نمونه محاسبات:

$$q_s^{``} = \frac{P_{electric}}{A_{heater}} \qquad A_{heater} = 0.001875\, m^2$$

$$q^{``} = h(T_s - T_{Sat}) = h\Delta Te \;\rightarrow h = \frac{q^{``}}{\Delta Te}$$

چگالش:

ابتدا هیتر را روشن کرده و اجازه می دهیم مدتی با توان 150^{watt} تولید بخار نمایید.سپس توان را در 100^{watt} ثابت کرده و با تغییر دبی از مقدار 100 lit/h به صورت پله ای مقادیر فشار حرارتی و ضریب انتقال حرارت کلی را به چگالش اندازه می گیریم.

نتایج را در قالب نمودار زیر جمع آوری می کنیم.

دبی	T_1	T_2	T_3	ΔT_{water}	ΔT_{lntd}	U
100						
90						
80						
.						
.						
10						

نمونه ی محاسبات و چگالش:

$$q_c = \dot{m}.C_p.(T_{water,out} - T_{water,in})$$

$$\dot{m} = \rho Q$$

$$q_{conv} = u.A_{coil}.\Delta T_{lmtd} \qquad A_{coil} = 0.0578\, m^2$$

$$\Delta T_{lmtd} = \frac{T_{water,out} - T_{water,in}}{Ln\frac{Tvapor - T_{water,in}}{Tvapor - T_{water,out}}}$$

که به دلیل عدم امکان اندازه گیری روی سطح کویل با ترکیب از دمای بخار به جای آن استفاده شده. با استفاده از نتایج با کار توان مقدار ضریب انتقال حرارت را از رابطه

$$u = \frac{\dot{m}.C_p.(T_{out,w} - T_{in,w})}{A_{coil}.\Delta T_{lmtd}}$$

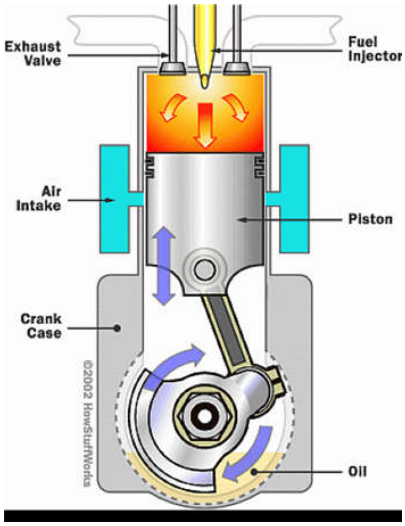
بدست آمده.

خواسته ها:

۱- رسم منحنی $q''_{\Delta Te}$ و $h_{\Delta Te}$ برای جوشش (نتایج محاسباتی)

۲.رسم منحنی $q''_{m^{\cdot}}$ و $h_{m^{\cdot}}$ برای چگالش

آزمایش موتور



هدف: آشنایی با عملکرد موتورهای احتراق داخلی و بدست آوردن پارامترها و منحنی های عملکرد موتور

مقدمه:

موتور بنزینی گونه ای موتور درونسوز است که در آن از چرخه اتو برای ایجاد حرکت استفاده میشود .فرق اصلی آن با دیگر موتورها استفاده از احتراق در اثر انفجار است . بطور کلی موتورهای احتراق داخلی بر مبنای دفعات توان در هر دور چرخش موتور به دو دسته کلی موتورهای دو زمانه و موتورهای چهار زمانه تقسیم میشوند .موتورهای دوزمانه از لحاظ ساختاری ساده ترند لیکن موتوهای چهارزمانه کارایی بیشتری دارند . در موتورهای دوزمانه، در زمان اول، پیستون از نقطه مرگ بالا پس از متراکم نمودن گاز و ایجاد احتراق به طرف نقطه مرگ پایین حرکت میکند .در طی این عمل ضمن انتقال قدرت احتراق به میل لنگ، سوخت شامل بنزین وهوا از دریچه ای وارد محفظه کارتل در زیر پیستون میشود. ورود هوا از این دریچه به دو صورت عملی میگردد . در موتورهای کوچک با حرکت سریع پیستون به طرف بالا و افزایش حجم زیر پیستون و تولید خلا و در

موتورهای بزرگ دو زمانه با عمل شستشو توسط توربو شارژ، هوا به داخل سیلندرها پمپ میشود تا میزان فشردگی هوا در سرسیلندرها افزایش یابد . با حرکت بیشتر پیستون به طرف پایین دریچه خروجی واقع در بدنه سیلندر باز شده، پس ماند احتراق از ان تخلیه میشود .همزمان با این عمل دریچه ورودی بسته شده، با کوچک شدن حجم کارتل هوای محبوس در آن فشرده میگردد .این حرکت به پیش تراکم معروف است ضمن پایین رفتن پیستون دریچه ارتباطی بین محفظه کارتل و قسمت بالای پیستون باز شده هوای پیش تراکم کارتل به بالای پیستون وارد میشود .برای آنکه مقاومتی در مقابل هوا نباشد، سر پیستون به شکل خاصی طراحی شده است تا به کمک انحنای آن، هوا به قسمت بالای پیستون وارد شده، ضمن پرکردن منطقه، موجب خروج دودهای پس ماند احتراق قبلی گردد .این عمل را جارو کردن اتاق احتراق با مخلوط تازه گویند .با این وصف موتورهای دو زمانه به علت کمی زمان عملیات، توانایی تخلیه کامل دود را ندارند و این امر یکی از معایب آن به حساب می آید . در زمان دوم، پیستون به طرف بالا حرکت میکند و همزمان با آن جریان هوای پمپ شده از طریق کارتل به بالای پیستون رانده میشود و موجب تخلیه پس ماند احتراق قبلی میگردد .دریچه خروجی بسته شده در نتیجه هوای موجود در بالای پیستون بتدریج متراکم میگردد . وقتی پیستون به نقطه مرگ بالا رسیده شمع جرقه میزند و با فشار ناشی از احتراق پیستون را به سمت پایین می راند. موتور دیزل، یک موتور درون‌سوز پیستونی است که بدون کمک شمع و عملیات جرقه‌زنی، سوخت را محترق می‌کند. روش موتور دیزل برای احتراق، تراکم مخلوط سوخت و هوا تا حد انفجار است. ضریب تراکم موتورهای دیزل بیش از ۱۰۵ برابر موتور درون سوز پیستونی بنزین سوز رایج در خودروها است. به دلیل این که بنزین در تراکم کمتری به مرحله‌ی انفجار می‌رسد، در موتورهای دیزل از سوخت گازوئیل استفاده می‌شود. از مزایای موتورهای دیزل می‌توان به تولید گشتاور بیشتری نسبت به مدل‌های مشابه بنزین سوز و ارائه‌ی آن در دور موتور پایین‌تری اشاره کرد. موتور دیزل در باقی مشخصات با موتورهای درون سوز پیستونی بنزین سوز کاملا منطبق است.

شرح اجزای موتور:

الف) موتور چهار زمانه بنزین سوز (TD110)

مشخصات فنی این موتور عبارتند از:

Manufacturer/ Type	TECUMESH
Valve position	Side valve
Inlet Outlet	0.006 to .01 inches 0.006 to 0.01 inches
Swept Volume حجم جابجایی	199.6cc
Bore قطر سیلندر	66.69 mm
Stroke کورس پیستون	57.15 mm
Compression Ratio	6:1
Maximum Torque	10.3 N.m at 2500 RPM
Maximum Break power	3.73 Kw at 3600 RPM
Recommended Maximum Speed	3600 RPM

Ignition System	Electronic
Ignition Timing	0.080 BTDC
Spark Plug	Champion j-8c
Spark Gap	0.75 mm to 0.78 mm
Dry mass	17.24 kg
Grade(Oil)	SAE30 (or SAE 70w30) DO NOT USE 10W40 oil
Sump Capacity	0.56 liter

جدول شماره ۱ مشخصات موتور بنزینی چهار زمانه (TD110)

روشن کردن موتور TD110 :

- دریچه بالای باک بنزین را باز کنید.
- مطمئن شوید بنزین به کاربوراتور می رسد.
- کلید اشتعال را روشن کرده و دریچه پروانه را کمی باز کنید.
- پایه دینامو متر را محکم نگه داشته و هندل بزنید.
- برای گرم شدن موتور ۵ دقیقه کار کند(در این حال دریچه پروانه در حالت نیم باز قرار دارد).
- دریچه choke را به حالت باز دراورید به نحوی که موتور به راحتی بدون choke کار کند.

خاموش کردن موتور TD110 :

- جریان آب دینامومتر را به حد قطره قطره کاهش دهید(چون روانکاری با آب انجام می شود جریان آب عبوری نباید صفر شود).
- سرعت موتور را با دریچه گاز آنقدر کاهش دهید که کمی بالاتر از خلاصی باشد و بگذارید موتور برای چند دقیقه کار کند.
- کلید اشتعال را خاموش کنید.
- دریچه در باک سوخت را ببندید.

نکات مهم در نگهداری موتور بنزینی TD110 :

- قبل از راه اندازی ---- سطح روغن را چک کنید. در شرایط هوای نامساعد فیلتر هوا را هر روز چک کنید.
- بعد از ۲۰ ساعت کار---- روغن را تعویض کرده و همه پیچ و مهره ها را به لحاظ نشتی کنترل نمایید.

- بعد از ۱۰۰ ساعت کار---- روغن را تعویض کرده و فیلتر روغن را تمیز نموده و مسیر سوخت را به لحاظ نشتی چک کنید. اسفنج تعبیه شده در ورودی مخزن هوا را با بنزین شسته سپس در روغن خیس کرده و فشار دهید تا روغن اضافی خارج شود.

ب) موتور چهار زمانه دیزل TD111:

مشخصات فنی این موتور عبارتند از:

Manufacturer/ Type	ROBIN-FUGI DY 23D
Valve position	Overhead
Valve Rocker Clearance	0.1 mm(cild)
Swept Volume حجم جابجایی	230 cm^3
Bore قطر سیلندر	70 mm
Stroke کورس پیستون	60 mm
Compression Ratio	21
Maximum Torque	10.5 N.m at 2200 RPM
Maximum Break power	3.5 Kw at 3600 RPM
Recommended Maximum Speed	3600 RPM
Ignition System	Electronic

Fuel Injection Timing	23 ° BTDC
Dry mass	26 kg
Grade(Oil)	SAE 10 W30 diesel engine oil grade ‘cc’ or ‘cd’
Sump Capacity	0.9 liter

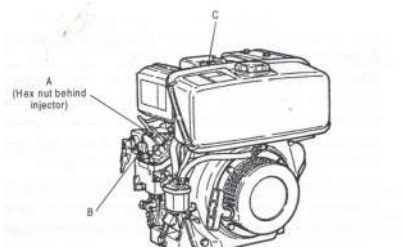
جدول شماره 2 مشخصات موتور دیزلیچهار زمانه (TD111)

روشن کردن موتور TD111 :

- وقتی سوخت موتور عوض می شود هوا به سیستم سوخت وارد شده و این کار از کارکرد پمپ انژکتور جلوگیری می کند. هوا را باید خارج کرد.پیچ A را شل کنید تا سوخت بدون حباب از پیچ خارج شده و سپس پیچ را ببندید(شکل....)
- دریچه بالای باک سوخت را باز کنید.
- دریچه LOW-HIGH سوخت (B) را به حداکثر می گذاریم و این باعث پمپاژ مقداری سوخت اضافی به موتور می شود و این مشابه CHOKE در موتور بنزینی است.
- در حالی که موتور سرد است آن را با شرایط زیر راه اندازی کنید:

الف	© Plunger راه اندازی را بردارید(شکل.....)
ب	محفظه اولیه را با روغن موتور پر کنید.
ج	© Plunger راه اندازی را جایگزین کرده و به پایین فشار دهید.

- حلقه راه اندازی(هندل) را بکشید. اگر موتور روشن و سپس خاموش شد، بار دیگر راه اندازی کرده تا موتور روشن شود. اجازه دهید موتور ۵ دقیقه کار کند.دریچه سوخت اضافی خودبخود تنظیم می شود.از دریچه Excess Fuel هنگام کار موتور استفاده نکنید.



شکل شماره ۱: کنترلها برای راه اندازی موتور دیزل

خاموش کردن موتور TD111 :

- جریان آب دینامومتر را به حد قطره قطره کاهش دهید(چون روانکاری با آب انجام می شود جریان آب عبوری نباید صفر شود).
- سرعت موتور را با دریچه گاز آنقدر کاهش دهید که کمی بالاتر از خلاصی باشد و بگذارید موتور برای چند دقیقه کار کند.
- سرعت موتور را تا حد سرعت بی باری کم کنید و کنترل شانه را ببندید.

-دسته Stop/Run را به حالت Stop درآورید.

-دریچه در باک سوخت را ببندید.

(موتور دیزل را با دسته بادگیر(de compressor lever) یا تانک سوخت خالی خاموش نکنید.

نکات مهم در نگهداری موتور دیزلی TD111 :

- قبل از راه اندازی ---- سطح روغن را چک کنید. در شرایط هوای نامساعد فیلتر هوا را هر روز چک کنید.
- بعد از ۲۰ ساعت کار---- روغن را تعویض کنید.

بعد از ۱۰۰ ساعت کار---- روغن را تعویض کرده و همه پیچ و مهره ها را کنترل نمایید.اجزای فیلتر روغن را تعویض کنید.سیستم اگزوز را تمیز کنید.

ج) موتور دو زمانه بنزین سوز (TD113)

مشخصات فنی این موتور عبارتند از:

Manufacturer/ Type	Sachs Stamo ST151
Swept Volume حجم جابجایی	151 cm^3
Bore قطر سیلندر	60 mm
Stroke کورس پیستون	54 mm
Compression Ratio	8
Maximum Torque	10.6 N.m at 3000 RPM
Maximum Break power	4.4 Kw at 4500 RPM
Recommended Maximum Speed	5000 RPM
Ignition System	Break less electronic magneto generator
Ignition Timing	2.2….3 mm(20°40´….24°20´) BTDC
Spark Plug	Busch W5A(W225 T1)
Spark Gap	0. 5 mm to 0.78 mm
Dry mass	15 kg

جدول شماره ۳ مشخصات موتور بنزینی دو زمانه (TD113)

روشن کردن موتور TD113 :

- دریچه بالای باک بنزین را باز کنید.
- مطمئن شوید بنزین به کاربوراتور می رسد. دکمه کنترل Tickler را فشار دهید تا بنزین اطراف کاربوراتور دیده شود.
- کلید اشتعال را روشن کرده و دریچه پروانه را کمی باز کنید.
- بدنه موتور را محکم نگه داشته و هندل بزنید.
- برای گرم شدن موتور ۵ دقیقه کار کند(در این حال دریچه پروانه در حالت نیم باز قرار دارد).
- دریچه choke را به حالت باز دراورید به نحوی که موتور به راحتی بدون choke کار کند.

خاموش کردن موتور TD113 :

- جریان آب دیناموتر را به حد قطره قطره کاهش دهید(چون روانکاری با آب انجام می شود جریان آب عبوری نباید صفر شود).
- سرعت موتور را با دریچه گاز آنقدر کاهش دهید که کمی بالاتر از خلاصی باشد و بگذارید موتور برای چند دقیقه کار کند.
- سرعت موتور را تا حد بی باری کم کنید و دریچه پروانه را ببندید.
- کلید اشتعال را خاموش کنید.
- دریچه در باک سوخت را ببندید.

نکات مهم در نگهداری موتور بنزینی TD113 :

- قبل از راه اندازی ---- سطح روغن را چک کنید. در شرایط هوای نامساعد فیلتر هوا را هر روز چک کنید.
- بعد از ۲۰ ساعت کار---- روغن را تعویض کرده و همه پیچ و مهره ها را به لحاظ نشتی کنترل نمایید.
- بعد از ۱۰۰ ساعت کار---- روغن را تعویض کرده و فیلتر روغن را تمیز نموده و مسیر سوخت را به لحاظ نشتی چک کرده و شمع را تمیز کنید. اسفنج تعبیه شده در ورودی مخزن هوا را با بنزین شسته سپس در روغن خیس کرده و فشار دهید تا روغن اضافی خارج شود.

روغن مصرفی SAE30 یا SAE40 بوده و به نسبت ۱ به ۲۵ با بنزین مخلوط شده و در باک سوخت ریخته می شود.

سایر موارد مهم:

- **تنظیم مخلوط سوخت و هوا برای موتور TD110:** در اثر تغییرات مداوم دما و فشار اتمسفر مخلوط سوخت و هوا باید هر از چندگاهی تنظیم شوند.به این مظور موتور را روشن کرده به مدت ۵ دقیقه می گذاریم تا کار کرده و گرم شود(در حالت دریچه نیمه باز). سپس در حالت دریچه تمام باز ، بار 10N.m به موتور اعمال می کنیم و وقتی موتور در شرایط پایدار قرار گرفت پیچ مخلوط(که در ته محفظه کاربوراتور قرار دارد) در جهت عقربه های ساعت می چرخانیم تا موتور شروع به بد کار کردن کند و سپس پیچ را درر جهت خلاف عقربه های ساعت به میزان نیم دور می چرخانی تا موتور تنظیم شود.

- اگر به طور همزمان گشتاور سنج و زاویه سنج کار نکنند باید فیوزها را چک کرد.

برای موتور TD110 به کمک آچار پیچ گوشتی موتور را در TDC قرار دهید.

برای موتور TD111 در قسمت عقب موتور درپوش موتور را برداشته و روی flywheel(چرخ طیار) علامت T را در برابر علامت قاب محفظه میل لنگ قرار دهید.

برای موتور TD113 به کمک آچار پیچ گوشتی موتور را در TDC قرار دهید.

موتور را در حالت TDC قرار داده و سپس نوبت تنظیم RFG می رسد. پیچ ارتباط RFG (C) را شل کرده و مجموعه RFG را دوران دهید تا چرخ LED مربوط به RFG به طور پیوسته روشن بماند.در این حالت پیچ های کلمپ RFG (C) را سفت می کنیم (شکل۲)

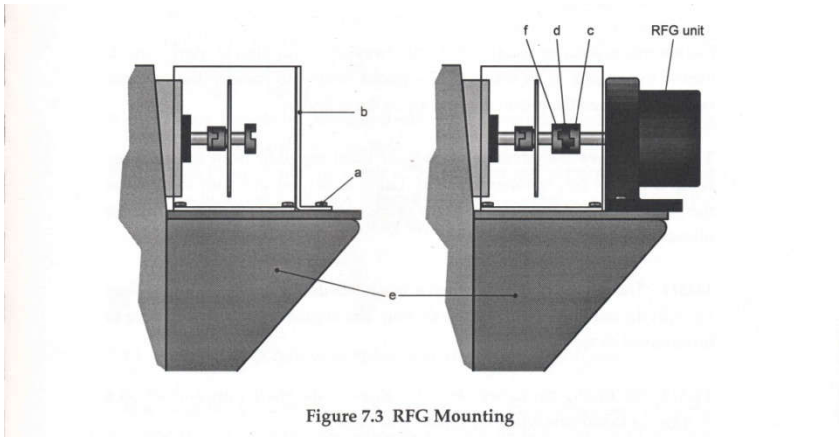


Figure 7.3 RFG Mounting

شکل شماره ۲: تنظیم RFG یا TDC موتور

دستورالعمل آماده سازی وسایل و تجهیزات جانبی برای آزمایش موتورها

۱- سیستم اگزوز را چک کنید.

۲- مسیر هوای ورودی به موتور را به جعبه هوا متصل کنید.

۳- اتصالات ترانسدیوسر فشار و گشتاور سنج و زاویه سنج و دماسنج اگزوز را چک کنید.

۴- مسیر ورود آب به شیر سوزنی آب روی بستر موتور را چک کنید.

۵- مسیر خروجی آب را کنترل نمایید تا آب آزادانه خارج شود.

۶- دمپر را چک کنید تا پر از روغن باشد.

۷- دمای خروجی آب دینامومتر را چک کنید تا زیاد بالا نباشد.

۸- تانک سوخت را برای سوخت های مختلف شستشو دهید.

۹- کارتر روغن موتورهای را چک کنید تا با روغن مناسب پر شده باشد.

۱۰- دستگاه اندازه گیری را روشن کرده و صفر و spam دستگاهها را کنترل کنید.

۱۱- تنظیم و درجه مانومتر هوا را چک کنید(اندازه گیری دبی حجمی هوا).

۱۲- مسیر آب ورودی به دینامومتر را کنترل کنید.

۱۳- در ابتدا جریان آب ورودی را به حداقل برسانید.

۱۴- وسایل اضافه را از اطراف موتور دور کنید.

۱۵- فقط افراد مربوطه در آزمایشگاه باشند.

۱۶- از روش خاموش کردن هر موتور اطلاع داشته باشید. دریچه تانک سوخت هنگام روشن کردن موتورها باز باشد.

روش تنظیم آمپلی فایر و اسیلوسکوپ

از آنجا که دقت ترانسدیوسر فشار به کار رفته در ازمایش فوق برابر 17.24 PC/bar بوده و از طرف دیگر حداکثر فشار داخل سیلندر طی احتراق ۳/۵ برابر نسبت تراکم می باشد ، حداکثر میزان پیکو کولن خروجی از ترانسدیوسر برای هر کدام از موتورها به شرح ذیل می باشد:

۳۲۶/۰۴= ۱۷/۲۴*۶*۳/۵ = دقت ترانسدیوسر* نسبت تراکم* ۳/۵	موتور چهار زمانه بنزینی TD110
۱۲۶۷/۱۴= ۱۷/۲۴* ۲۱*۳/۵= دقت ترانسدیوسر* نسبت تراکم* ۳/۵	موتور چهار زمانه گازوئیلی TD111
۴۸۲/۷۲= ۱۷/۲۴* ۸* ۳/۵= دقت ترانسدیوسر* نسبت تراکم* ۳/۵	موتور دو زمانه بنزینی TD113

از آنجا که ولتاژ خروجی اسیلوسکوپ حداکثر ۱۰ ولت می است برای جلوگیری از ناقص افتادن منحنی ها روی اسیلوسکوپ (CLIPPING)، نسبت تبدیل بکار رفته بین مقادیر حداکثر پیکو کولن و ۱۰ ولت خروجی اسیلوسکوپ برای هر کدام از موتورها باید به ترتیب برابر ۳۵۰، ۱۳۰۰ و ۵۰۰ تنظیم شود. پس از انکه موتور نصب شده روی بستر تست (Test Bed) بعد از تمام موارد و نکات لازم روشن شد و آمپلی فایر و اسیلوسکوپ به طور صحیح به هم متصل شدند برای گرفتن منحنی اندیکاتوری(فشار سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ) به روش ذیل عمل می کنیم:

۱- کلید Menu Select را آنقدر بزنید تا Parameter Entry Transducer ظاهر شده و با کلید F1 این عمل را تایید کنید. به این ترتیب مقدار حداکثر فشار داخل سیلندر توسط کاربر به دستگاه داده می شود. با کمک کلیدهای F1 و F2 مقادیر فشار حداکثر را می توان زیاد و کم کرد. در نهایت با زدن کلیدF3 این مقدار در حافظه آمپلی فایر ضبط می گردد.

۲- برای رسم منحنی p-v یا P-Θ روی اسیلوسکوپ یا پلاتر کلید F1 و برای خروجی روی پلاتر کلیدF2 را باید فشار داد.

۳- برای نمونه برداری اطلاعات کلید reset را همزمان با F3 فشار داده برای ۲ ثانیه نگه دارید سپس ایتدا کلید Resetرا رها نمایید.حا می توان اطلاعات را به پرینتر یا اسیلوسکوپ منتقل کرد.

کالیبراسیون گشتاور سنج(دینامومتر)

۱- کلید Span را روی حداکثر بگذارید.

۲- موتور را به شدت تکان دهید تا چسبندگی یاتاقان ها از بین برود.

۳- کلید Zero را آنقدر جابجا کنید تا گشتاور سنج صفر را نشان دهد.

۴- صفر دستگاه را پس از تکان دادن دستگاه مجددا تنظیم کنید.

۵- وزنه ۳/۵ کیلوگرمی رابه بازوی دستگاه متصل نمایید.

۶- موتور را تکان دهید تا گشتاور سنج عددی را بخواند.

۷- Span را آنقدر تنظیم کنید تا عدد ۸/۶ را نشان دهد.

۸- بار یا وزنه کالیبراسیون را بر داشته و مراحل ۲ تا ۸ را تکرار کنید تا صفر و Span هر دو به شکل درست تنظیم شوند.

روش آزمایش

۱- پس از روشن کردن موتور دریچه پروانه(برای موتورهای بنزینی) و شانه کنترل (برای موتور دیزل) را به حداکثر برسانید و در این حالت شیر سوزنی آب دینامومتر را در حال نزدیک بسته قرار دهید تا آب به شکل قطره قطره از دینامومتر خارج شود.

۲- سپس شیر سوزنی را کاملا باز کنید تا سرعت تا حد امکان کاهش یافته و بار(گشتاور) به حداکثر مقدار خود برسد.

۳- حال بین این دو وضعیت حدی جریان آب در دینامومتر، برای ۵ سرعت مختلف و پس از گذشت زمان یک دقیقه از هر حالت ، پارامترهای عملکردی موتور را اندازه گیری و ثبت کنید.

۴- دمای آب خروجی از دینامومتر را در هر حالت اندازه گیری نمایید تا از ۸۰ درجه بیشتر نشود.

۵- نتایج گشتاور را یک بار دیگر هم تکرار کنید.

روابط و خواسته های آزمایش

مشخصات فنی موتورها در جداول ۱ تا ۳ آمده اند. ابتدا برای ۵ سرعت مختلف موتور در جدول زیر نتایج حاصل از اندازه گیری پارامترها را ثبت نمایید.

تاریخ آزمایش:	دمای محیط:	فشار محیط(mbar) :
نوع موتور:	نوع سوخت:	رطوبت نسبی هو:

ردیف	سرعت موتور RPM	گشتاور(N.m)	زمان مصرف ۸ cc سوخت(sec)	میزان مصرف هوا (mm ستون مایع)	خروجی داده های P-Θ به پرینتر	دمای اگزوز
1						
2						
3						
4						
5						

ارزش حرارتی و چگالی سوخت های به شرح ذیل می باشد:

نوع سوخت	ارزش حرارتی پایین یا C.V (Kj/Kg)	چگالی نسبی سوخت ها (نسبت به آب)
بنزین	۴۲۰۰۰	۰/۷۴
گازوئیل	۳۹۰۰۰	۰/۸۴
مخلوط بنزین و روغن	۴۱۰۰۰	۰/۷۴۱

خواسته ها:

۱- **قدرت خروجی ترمزی موتور P_B بر حسب کیلووات:**

در هر کدام از حالات آزمایش با معادله زیر پیدا شده و به آن مقدار اندازه گیری شده هم می گویند

** نمودار مقادیر P_B و گشتاور T را بر حسب دور موتور رسم کنید	N(RPM) دور موتور T(N.m) گشتاور موتور	$P_B = \frac{2\pi N.T}{60000}\ kw$

تصحیح قدرت خروجی با معادله زیر انجام می شود:

P
اندیس 0 معرف شرایط محیط و s معرف شرایط استاندارد می باشند. دمای استاندار ۲۰ درجه سلسیوس و فشار استاندارد ۱۰۱۳ میلی بار می باشد.

۲- میزان آهنگ مصرف سوخت:

در هر کدام از حالت های آزمایش از رابطه زیر پیدا می شود:

$$\dot{m_F} = \frac{(1000 * \text{S. G. F})\text{kg/m}^3}{\text{t(sec)} * \frac{1\text{hr}}{3600\ \text{sec}}} * 8 * 10^{-6} = \frac{3.6 * 8 * \text{S. G. F}}{\text{t}} (\frac{\text{kg}}{\text{hr}})$$

T زمان مصرف 8 c.c سوخت بر حسب ثانیه می باشد

۳- میزان مصرف سوخت ویژه یا bsfc :

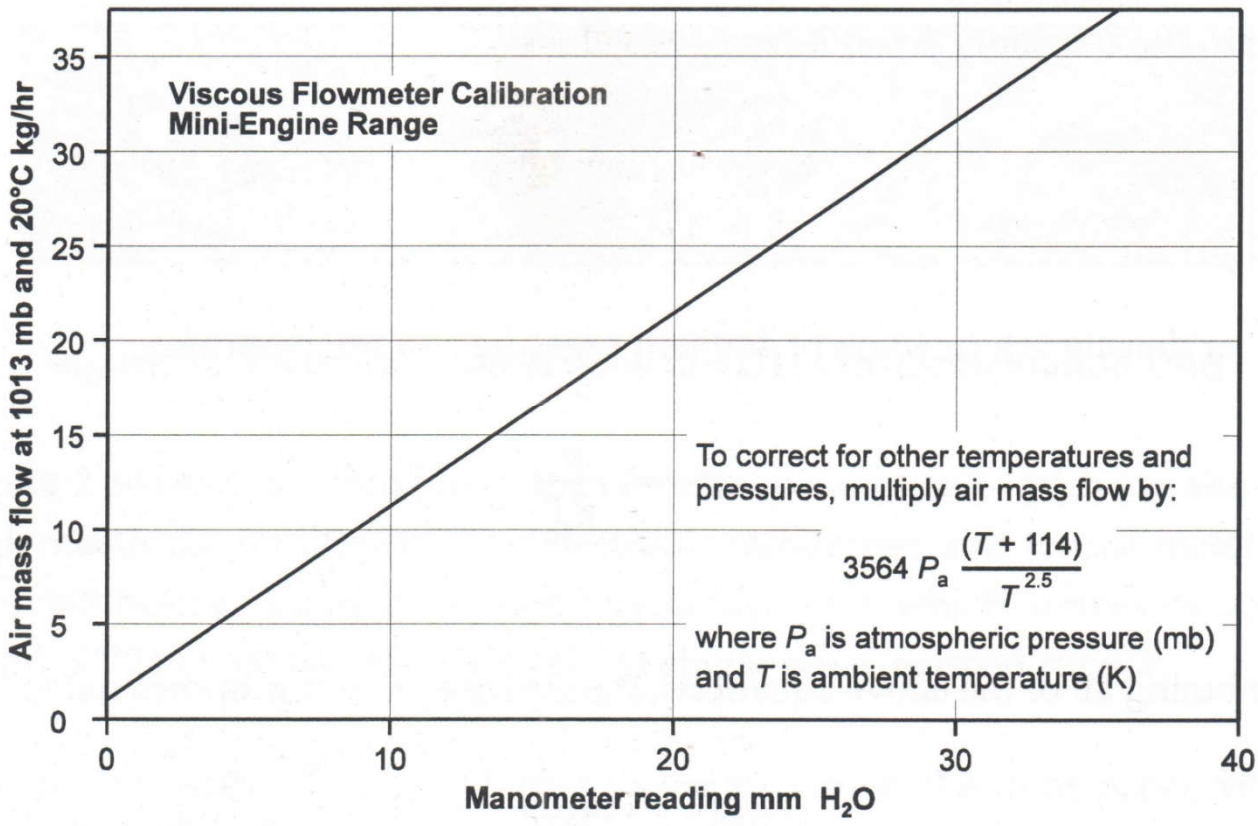
در هر کدام از حالت های آزمایش از رابطه زیر پیدا می شود:

$$bsfc = \frac{\dot{m_f}\left(\frac{kg}{hr}\right) * 1000(\frac{gr}{kg})}{P_B(kw)} = \frac{\dot{m_f} * 1000}{P_B}(\frac{gr}{kw}.hr)$$

** نمودار bsfc را در دورهای مختلف رسم کنید.

۴- آهنگ مصرف هوا

ابتدا ستون مایع مانومتر را که در سطح شیبدار جابجا شده است را یادداشت کرده و به کمک منحنی زیر دبی هوای مصرفی پیدا می شود.



شکل شماره ۳: قرائت مانومتر برای اندازه گیری هوای مصرفی

میزان دبی جرمی هوای مصرفی که از شکل بالا قرائت می شود ، در شرایط استاندارد دما و فشار است که با معادله زیر برای شرایط واقعی تصحیح می گردد:

$$m_{a,actual}^{\cdot} = m_{air,a}^{\cdot} * 3564 P_a \frac{T + 114}{T^{2.5}}$$

یا

$$m_{actual}^{\cdot} = m_{air,a}^{\cdot} \frac{P_s}{P_0} * \sqrt{\frac{T_0}{T_s}}$$

در روابط فوق اندیس aمعرف شرایط استاندارد بر حسب mbar و T دمای محیط بر حسب کلوین در شرایط واقعی می باشد.

** نمودار $m_{a,actual}^{\cdot}$ را بر حسب دورهای مختلف موتور رسم کنید.

۵- نسبت جرمی هوا به سوخت (AFR):

$$AFR = \frac{m_{air}^{\cdot}}{m_f^{\cdot}}$$

** نمودار AFRرا بر حسب دورهای مختلف موتور رسم کنید.

۶- بازده حجمی

$$\eta_v = \frac{n_R * m_f^{\cdot}}{\rho_{air} * v_s * 60 * N}$$

n_R برای موتورهای چهارزمانه ۲ و برای موتورهای دوزمانه برابر ۱ می باشد. v_s حجم جابجایی موتور بر حسب c.c و N سرعت موتور بر حسب R.P.M می باشد.

** نمودارη_v را بر حسب دورهای موتور رسم کنید.

۷- بازده حرارتی $\eta_{th,b}$

$$\eta_{th,b} = \frac{P_B}{m_f^{\cdot}} * \frac{3600}{c.v}$$

c.v ارزش حرارتی سوخت و P_B قدرت ترمزی واقعی موتور بر حسب kw و $m_f^{\cdot}$ دبی جرمی مصرف سوخت بر حسب kg/hr می باشد.

** نمودار $\eta_{th,b}$ را بر حسب دورهای مختلف موتور رسم کنید.

۸- رسم منحنی P-v به کمک اطلاعات P-Θ

توسط خروجی اسیلوسکوپ بر روی پرینتر می توان در هر لحظه یا در هر زاویه میل لنگ Θ ، حجم موتور از رابطه زیر حساب می شود:

$$V_\theta = V_c \left\{1 + \frac{1}{2}(r_c - 1)\left[R + 1 - \cos\theta - (R^2 - \sin\Theta)^{\frac{1}{2}}\right]\right\}$$

که V_c حجم مرده سیلندر بوده و به کمک نسبت تراکم r_c و حجم جابجایی V_s بدست می آید.

$$r_c = \frac{V_c + V_s}{V_c} \Rightarrow V_c = \frac{V_s}{r_c - 1}$$

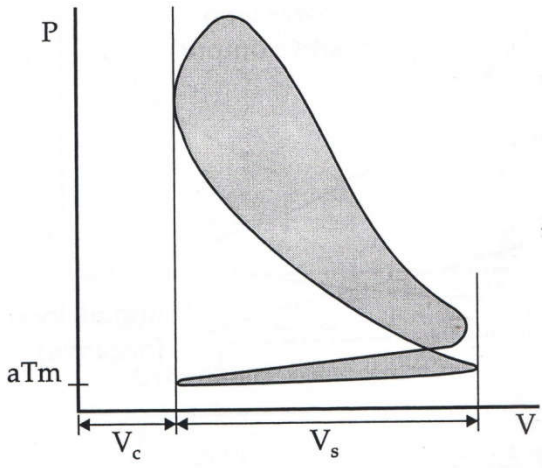
نسبت طول شاتون به شعاع میل لنگ را با R نشان داده و آن را به صورت $R = \frac{l}{a}$ یعنی نسبت طول شاتون به شعاع لنگ، نشان میدهیم. میتوان R را حدودا ۳/۵ در نظر گرفت . Θ زاویه میل لنگ نسبت به حالت مرگ بالا سنجیده می شود. با معلوم بودن منحنی P-Θ می توان

نمودار P-v را نیز رسم کرده و سپس با استفاده از روشهای مناسب سطح زیر نمودار که معرف کار اندیکاتوری یا کار خالص انجام شده روی پیستون می باشد را بدست آورد.

$$W_{\text{cycle}} = \int \text{PdV} \quad (\frac{j}{cycle})$$

اگر P بر حسب پاسکال و V برحسب m^3 باشد، کار بر حسب ژول بوده و چون این منحنی مقادیر فشار را در یک سیکل نمایش میدهد لذا دیمانسیون کار بر حسب j/cycle می باشد. بر این اساس :

$$P_{\text{i}} = \text{W}_{\text{cycle}} * \frac{\left[\frac{\text{N(rps)}}{60}\right] \text{cycle}}{\text{n}_{\text{R}}} = \left[\frac{\text{W}_{\text{cycle}} * \text{N}}{1000 * \text{n}_{\text{R}}}\right] \text{kw}$$



شکل شماره ۴: نمودار P-V

۹- بازده مکانیکی η_m

$$\eta_{\text{m}} = \frac{\text{قدرت ترمزی}}{\text{قدرت اندیکاتوری}} = \frac{P_B}{P_i}$$

** **نمودار** η_m را برحسب دور های مختلف موتور رسم کنید.

۱۰- درصد تلفات حرارتی در اگزوز:

$A = (\dot{m_f} + \dot{m_a}) * C_{exh} * \Delta T$
که ΔT اختلاف دمای گازهای اگزوز با محیط بوده و C_{exh} ظرفیت گرمایی ویژه گازهای خروجی اگزوز بوده و برابر 1 kj/kg k می باشد.
کل انرژی اعمال شده توسط سوخت به موتور برابر است با: $B = \dot{m_f} * C.V$ و درصد تلفات حرارتی در اگزوز از رابطه زیر حساب می شود

$$\%loss = \frac{\dot{m_f} + \dot{m_a} * 1 * \Delta T}{\dot{m_f} * C.V} * 100$$

** نمودار درصد تلفات حرارتی اگزوز را بر حسب دورهای مختلف موتور رسم کنید.

۱۱- محاسبه قدرت ترمزی از رابطه ی دیگر:

در تئوری تمام انرژی سوخت در قالب قدرت تولیدی از موتور خارج میشود.می توان توان خروجی را از رابطه زیر بدست می آید:

$$P_{\mathrm{B,theo}} = \left[\frac{\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{f}}(\mathrm{kg/hr}) * \mathrm{C.V}(\frac{\mathrm{kj}}{\mathrm{kg}})}{3600}\right]$$

$$\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{f}}\left(\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{hr}}\right) = \frac{\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{a}}}{\mathrm{AFR}}$$

$$\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{a}} = \rho_{\mathrm{a}} \mathrm{V_s} \frac{\mathrm{N}}{60 * \mathrm{n_R}}$$

و با کنار هم گذاشتن این روابط:

$$P_{\mathrm{B,theo}} = \frac{1}{3600\mathrm{AFR}} * \frac{\mathrm{C.V} * \rho_{\mathrm{a}} \mathrm{V_s N}}{60 * \mathrm{n_R}}$$

و مشاهده می شود قدرت ترمزی با دور موتور رابطه خطی دارد.

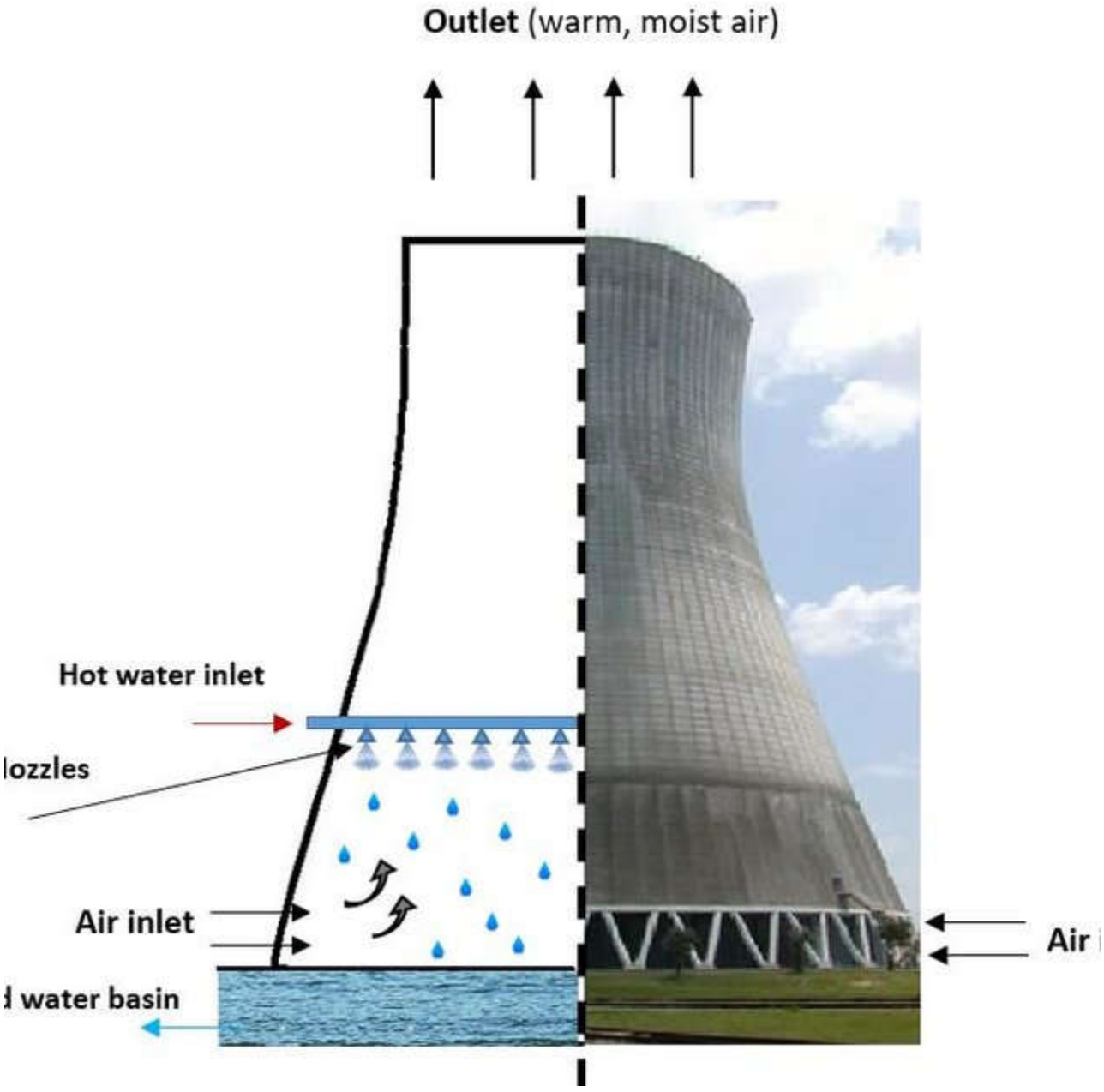
با توجه به این تعریف از توان ترمزی و روابط بازده حجمی η_v و بازده حرارتی $\eta_{th,b}$ می توان رابطه زیر را برای توان ترمزی واقعی بدست آورد.

$$P_{\mathrm{B,actual}} = P_{\mathrm{B,theo}} * \eta_v * \eta_{th,b}$$

** نمودار $P_{\mathrm{B,theo}}$ را برحسب N رسم کنید.

** $P_{\mathrm{B,theo}}$ را با $P_{\mathrm{B},actual}$ را مقایسه کرده و نمودار تغییرات آن را برحسب دور موتور رسم کنید.(دلیل اختلاف را توضیح دهید).

آزمایش دستگاه برج خنک کننده



نمادها و واحدها و اندیس ها:

T_1	دمای هوای ورودی به برج	$\dot{Q}$ (kw)	آهنگ انتقال حرارت
T_{1w}	دمای مرطوب هوای ورودی به برج	$\dot{W}$ (kw)	آهنگ مبادله کار
T_2	دمای هوای خروجی از برج	$\dot{\forall}_{water}$	دبی حجمی جریان آب
T_{2w}	دمای مرطوب هوای خروجی از برج	$\vartheta(\frac{kg}{m^3})$	حجم مخصوص
T_3	دمای آب ورودی	R=0.287(kj/kg.)	ثابت گاز (هوا)
T_4	دمای آب خروجی	V(m/s)	سرعت
$T_5=T_1$	دمای آب جبرانی	Atower (m^2)	سطح مقطع برج
$\dot{m}_a$	دبی جرمی هوای خشک	$\forall_{tower}$	حجم برج
$\dot{m}_v$	دبی جرمی بخار آب موجود در هوا	$A_1=3.61*10^{-2}$	مساحت ورودی هوا
$\dot{m}_g=\dot{m}_{vap,sat}$	جرم بخار آب در مخلوط در شرایط اشباع	$A_2=6.36*10^{-3}$	مساحت خروجی هوا
m_a	جرم هوای خشک در مخلوط	Ptotal=P	فشار هوای مخلوط
m_v	جرم بخار آب در مخلوط	P_{da}	فشار هوای خشک
$\dot{m}_{water}$	دبی جرمی آب	P_v	فشار بخار آب موجود در هوا
φ_1	رطوبت نسبی هوای ورودی به برج	$P_g=P_{sat}$	فشار اشباع بخار
φ_2	رطوبت نسبی هوای خروجی از برج	Z	بازه سرمایش
ω_1	رطوبت مطلق هوای ورودی به برج	approach	دمای رویکرد حباب مرطوب
ω_2	رطوبت مطلق هوای خروجی از برج	η	ضریب سرمایش
$\dot{m}_{loss}$	دبی جرمی آب جبرانی(آب تلف شده)	R	Specific rain flow density

روابط مورد نیاز:

بقای جرم (شرایط پایدار)	$\sum \dot{m}_{in} - \sum \dot{m}_{out} = 0$
بقای انرژی (شرایط پایدار)	$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_i(h_i + {V_i^2}/{2} + gz_i) - \sum \dot{m}_e(h_e + {V_e^2}/{2} + gz_e)=0$
رطوبت مطلق	$\omega = {m_v}/{m_{d,a}} = {0.622P_v}/{P_t - P_v}$ (kg vapor/kg dry air)
رطوبت نسبی	$\varphi = {m_v}/{m_g} = {P_v}/{P_{v,sat}} = {\omega P_a}/{(0.622+\omega)P_{v,sat}}$
معادله حالت گاز کامل (بخار آب موجود در هوا با تقریب گاز کامل منظور شده)	$Pv = RT$
انتالپی هوا	$h = h_{dry\ air} + \omega h_{vapor}$
بازه سرمایش	$Z = T_{w,o} - T_{w,i}$
دمای رویکرد حباب مرطوب	$approach = (T_{w,o} - T_{wb,intake\ air})$
ضریب سرمایش	$\eta = {Z}/{approach}$

بار حرارتی	$Q^{\cdot} = m_{\dot{w}} c_{pw}(T_{w,o} - T_{w,i})$
قانون برنولی(برای محاسبه افت فشار هوا در عرض برج)	$\Delta P = P_1 - P_2 = (\frac{V_2^2}{2} - \frac{V_1^2}{2})$
Specific rain flow density	$R = {m_{\dot{w}}}/{A_{tower}}$
تراکم جعبه مساحت پکینگ ها بخش بر حجم برج	$packing\ density = {\sum A_s}/{\forall_{tower}}$

پارامترهایی که مستقیما اندازه گرفته می شوند:

T_2	دمای خشک هوای خروجی	T_3	دمای آب ورودی
T_{2w}	دمای مرطوب هوای خروجی	T_4	دمای آب خروجی
φ_2	رطوبت نسبی هوای خروجی	T_1	دمای خشک هوای ورودی
$Q^{\cdot}$ (kw)	توان هیتر گرم کن	T_{1w}	دمای مرطوب هوای ورودی
$W^{\cdot}$ (kw)	توان پمپ سیرکوله آب	φ_1	رطوبت نسبی هوای ورودی
		V	سرعت هوای خروجی از برج

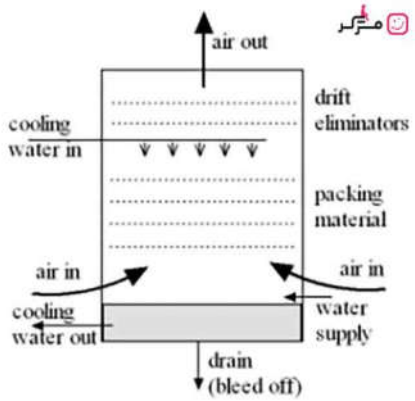
اندازه ها و ابعاد:

8	تعداد ردیف های برج	19*19*60(cm)	ابعاد برج
10	تعداد صفحه در هر ردیف	$3.61*10^{-2}$	مساحت ورود هوا به برج m^2
80	تعداد کل صفحه ها	9 cm	قطر خروجی برج
4.18(kj/kgk)	ظرفیت گرمایی آب	$6.36*10^{-3}$	مساحت خروج هوا از برج m^2
1.005(kj/kg)	ظرفیت گرمایی هوا	19*5.5 (cm)	ابعاد صفحات پکینگ

بخش اول : دستورالعمل دستگاه

مقدمه :

نیروگاهها ، سیستم های تهویه مطبوع بزرگ و برخی از صنایع که مقادیر زیادی گرمای غیر مصرفی تولید می کنند برای دفع این گرما از آب رودخانه ها و دریاچه ها استفاده می کنند. اما در برخی موارد به دلیل محدود بودن منابع اب و آلودگی حرارتی این گرمای اضافی به اتمسفر انتقال داده می شود. این عمل با به گردش در آوردن آب سرد کننده و استفاده از آب به عنوان واسطه انتقال حرارت بین منبع حرارتی و مدفن حرارتی (اتمسفر) صورت می گیرد. یکی از روشهای رسیدن به این مقصود استفاده از برج های خنک کن مرطوب یا خیس می باشد. برج خنک کن خیس اساسا کولر تبخیری نیمه محصور است. در شکل (۱) نمایی طرحواره از برج خنک کن خیس با کشش واداشته و با جریان نا همسو نشان داده شده است. هوا از پایین وارد برج می شود و از بالای آن خارج می شود. آب گرم از کندانسور به بالای برج پمپ می شود و برروی جریان هوا پاشیده می شود. هدف از انجام این کار، این است که مساحت بزرگی از آب در معرض هوا قرار گیرد. وقتی قطره های آب تحت تاثیر نیروی وزن خود سقوط می کنند، کسر کوچکی از آب (معمولا چند درصد) تبخیر می شود و آب باقی مانده را خنک می کند. دما و محتوی رطوبت هوا در این فرایند افزایش می یابد. آب خنک شده در پایین برج جمع می شود و به کندانسور پمپ می شود تا گرمای بلااستفاده ی اضافی را بگیرد. آب جبرانی به سیکل افزوده می شود تا جایگزین آبی شود که بر اثر تبخیر و کشش هوا هدر می رود. برای به حداقل رساندن آبی که همراه با هوا خارج می شود، در برج های خنک کن خیس در بالای مجرای پاشش آب کشش گیر ها (وسایل جداکننده ذرات آب از جریان هوا drift (eliminator) نصب می کنند.



شکل شماره (۱) طرح واره برج خنک کن

شرح و نحوه عملکرد دستگاه:

الف- چرخه آب ((water circuit)

آب از یک مخزن گرم کننده که دارای 2 هیتر درون آن است، به کمک یک پمپ به بالای برج انتقال پیدا می کند و از آنجا به درون برج اسپری می شود. قبل از ورود آب به برج، آب پمپاژ شده از یک فیلتر و روتامتر عبور میکند. فیلتر نا خالصی های همراه آب را به خود جذب میکند و روتامتر میزان دبی آب را بر حسب Liter/min نشان می دهد. دقت کنید که برای خواندن روتامتر باید بالای شناور داخل آن را قرائت کنید.برای دستگاه حاضر توصیه می شود که دبی را از 3lpm بالاتر نبرید. دمای آب در لحظه ورود به برج و قبل از پاشیده شدن به برج اندازه گیری می شود و سپس بر روی طبقات برج که از پلاستیک هستند، اسپری می شوند و در پایان آب در یک سینی جمع آوری شده و به مخزن گرم کننده باز میگردد. دمای آب قبل از بازگشت به مخزن گرم کننده نیز اندازه گیری خواهد شد. به این ترتیب دمای آب ورودی و خروجی برج را خواهیم داشت. به منظور گرمایش آب داخل مخزن گرم کننده از دو هیتر استفاده شده است. یکی از هیترها 1000 وات و دیگری ۵۰۰ وات هستند که به منظور فعال نمودن هر یک از آنها کلید مربوط به هر یک روی جعبه برق در حالت روشن قرار می دهیم. برای تنظیم دمای آب داخل مخزن گرم کننده یک ترموستات روی جعبه برق دستگاه نصب شده است که می توانیم مخزن را در دمای موردنظر و دلخواه قرار دهیم.بعد از رسیدن دمای آب مخزن به دمای انتخاب شده هیتر خاموش خواهد شد. به صورت پیش فرض شرکت، دمای 50درجه را برای مخزن در نظر گرفته است. از آنجا که مقداری از آب در طی فرایند تبخیر خواهد شد، بنابراین برای ادامه فرایند یک مخزن ذخیره آب در نظر گرفته شده است که در صورتی که آب در سیستم اصلی کاهش یابد، شیر نصب شده در پایین مخزن ذخیره باز خواهد شد و کمبود آب جبران می شود.

- **توجه داشته باشید که در صورتی که دستگاه برای چند روز روشن نمی شوند، آب درون مخزن آن را تخلیه نمایید**
- **هیترها حتماً باید در زمانی روشن شوند که درون مخزن گرم کننده آب داشته باشیم. در غیر این صورت هیترها خواهند سوخت.**
- **در صورت فقدان آب درون مخزن ,پمپ روشن نشود.**

ب - جریان هوا (Air circuit)

هوای محیط به کمک یک فن دور متغیر به داخل برج دمیده می شود. در این حین دما و رطوبت نسبی هوا نیز اندازه گیری خواهد شد. (دما و رطوبت هوای ورودی) دور فن را به کمک ولوم نصب شده بر روی صفحه جعبه برق می توان کم یا زیاد کرد که به این ترتیب دبی هوای ورودی به برج را افزایش یا کاهش خواهد یافت. اتاقک هوا که هوای فن ابتدا به آنجا دمیده می شود، دارای آشفتگی است و پس از آن هوا به داخل ستون برج انتقال پیدا می کند و با آب که در خلاف جهت آن در حرکت است، برخورد می کند و رطوبت و دمای آن افزایش پیدا می کند. قطرات آب که همراه هوا به بالای برج انتقال پیدا می کنند، با رسیدن به قطره گیر که قبل از دهانه خروجی نصب شده است به داخل برج بر می گردند. این امر از

اتلاف آب جلوگیری خواهند کرد. در نهایت دما و رطوبت هوا اندازه گیری خواهد شد و هوا به سمت خارج از برج جاری می شود. (دما و رطوبت هوای خروجی)

ج- ستون خنک کننده (cooling column)

این ستون شفاف بر روی اتاقک هوا سوار شده است و به واسطه شفاف بودن آن می توان داخل آن را به راحتی مشاهده کرد. داخل این ستون طبقات متعدد شیب داری وجود دارد که به آنها پکینگ گفته می شود این پکینگ ها امکان افزایش سطح تماس آب و هوا را بیشتر کرده و در نتیجه بازدهی برج را بالا می برند. نسبت سطح مقطع کل پکینگ ها به حجم برج را تراکم جعبه یا packing density می نامیم. پکینگ برج حاضر ۶۹.۶۷ (m^{-1}) است.

بخش دوم : دستور آزمایش

تئوری:

در برج خنک کننده گرما از آب گرفته خواهد شد و دما و رطوبت هوا افزایش خواهد یافت. برج خنک کننده را می توان به عنوان یک مبدل گرمایی در نظر گرفت. در برج خنک کننده هم زمان با تبادل حرارت، تبادل جرم نیز خواهیم داشت.به این صورت که آب با از دست دادن گرمای نهان خود ، خنک خواهد شد. ظرفیت و توانایی هوا تا جایی که بتواند هوا را در خود حفظ کند و با خود حمل کند را رطوبت نسبی هوا می نامیم. زمانی که رطوبت نسسبی هوا به 100%برسد، هوا بیشترین مقدار آبی را که می توانسته جذب کند را جذب کرده است. انتقال حرارت به روش جابه جایی در برج خنک کننده هم به نوبه خود در خنک سازی آب نقش دارد. باید توجه داشت که در این نوع از انتقال حرارت، انتقال جرم نخواهیم داشت. عامل ایجاد این نوع از انتقال حرارت را میتوان اختلاف دمای آب و هوا دانست.

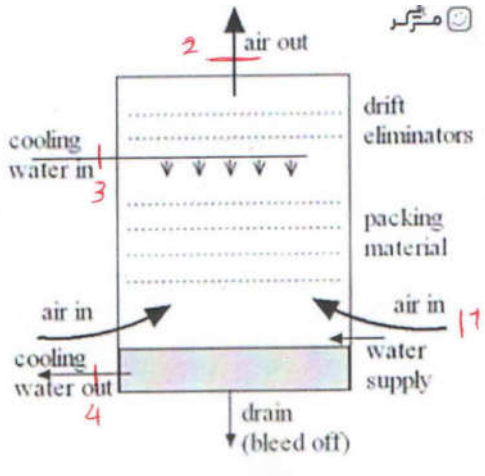
تغییر حالت هوای مرطوب : (Changes of State of Humid Air)

در اصطلاح ساده هوایی که در آن اثری از بخار آب نباشد یا به عبارت دیگر در صدد رطوبت آن صفر باشد را به عنوان هوای خشک Dry Air معرفی می کنیم و آن را به عنوان گاز ایده ال میتوانیم در نظر بگیریم. از طرف دیگر بخار آب (Vapor) را هم میتوان به عنوان گاز ایده ال در نظر گرفت و ترکیب بخار آب و هوا را هوای مرطوب می نامیم (Humid Air) . می توان فشار هوای مرطوب را حاصل از فشار دو جزء سازنده آن یعنی هوای خشک و بخار آب دانست و بنابر این :

$P_{total} =$

روابط ومعادلات حاکم:

برای یک برج با تصویر تقریبی زیر



معادله بقای جرم:

شکل کلی معادله برای جریان پایدار	$\sum m_{in}^{\cdot} - \sum m_{out}^{\cdot} = 0$
برای هوای خشک	$m_{a.1}^{\cdot} = m_{a.2}^{\cdot} = m^{\cdot}$
برای آب	$m_3^{\cdot} + m_{v.1}^{\cdot} = m_4^{\cdot} + m_{v.2}^{\cdot}$

با توجه به تعریف رطوبت مطلق	$m_3^{\cdot} + \omega_1 m_a^{\cdot} = m_4^{\cdot} + \omega_2 m_a^{\cdot}$
بقای جرم	$m_3^{\cdot} - m_4^{\cdot} = (\omega_1 - \omega_2) m_a^{\cdot} = m_{make\ up\ water}^{\cdot}$

معادله بقای انرژی:

شکل کلی معادله برای جریان پایدار	$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_i (h_i + {V_i^2}/{2} + g z_i) - \sum \dot{m}_e (h_e + {V_e^2}/{2} + g z_e) = 0$
برای حجم کنترل شامل برج ، مخزن آب گرم، پمپ و فن	$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}_a \left(h_2 + \frac{V_{21}^2}{2} \right) - \dot{m}_a \left(\left(h_{12} + {V_{12}^2}/{2} \right) - \dot{m}_{w,loss} h_{w,loss} \right.$

- جمله کار عموما مربوط به توان مصرف شده توسط پمپ و کار الکتریکی داده شده به هیتر جهت گرم کردن آب است
- می توان با تقریب از انتقال حرارت بدنه با محیط صرفنظر کرد
- از توان فن صرفنظر شده است

آزمایش ها:

آزمایش شماره ۱: اثر تغییر دبی آب روی عملکرد برج

پس از آماده سازی اولیه دستگاه آن را روشن کرده و به مدت ۱۰ دقیقه صبر می کنیم تا به حالت پایدار برسیم .دبی آب را طبق دستور تغییر داده و مقادیر خوانده شده را در جدول (۱) یاد داشت می کنیم .(بین هر دو مرحله حداقل ۱۰ دقیقه فاصله زمانی منظور شود). با این مقادیر و به کمک روابط نتایج را در جدول (۲) یادداشت می کنیم.

آزمایش شماره ۲: اثر تغییر سرعت هوا روی عملکرد برج

سرعت جریان هوا را طبق دستور کار تغییر داده و مقادیر خوانده شده را در جدول (۳) یاد داشت می کنیم .(بین هر دو مرحله حداقل ۱۰ دقیقه فاصله زمانی منظور شود). با این مقادیر و به کمک روابط نتایج را در جدول (۴) یادداشت می کنیم.

آزمایش شماره ۳: اثر تغییر توان گرم کن روی عملکرد برج

توان گرم کن را طبق دستور کار تغییر داده و مقادیر خوانده شده را در جدول (۵) یاد داشت می کنیم .(بین هر دو مرحله حداقل ۱۰ دقیقه فاصله زمانی منظور شود). با این مقادیر و به کمک روابط نتایج را در جدول (۶) یادداشت می کنیم.

جدول (۱)- اثرات تغییر دبی آب بر عملکرد برج خنک کن

حجم آب جبرانی	تغییر ارتفاع آب در جبرانی		$V_{air,out}$ (m/s)	T_4	T_3	φ_2	T_{2w}	T_2	φ_1	T_{1w}	T_1	P_{pump}(watt)	P_{heater}(watt)	$\dot{m}_{water}$(kg/s)	$\dot{\forall}_{water}\ (\frac{litr}{m})$
			1.5									65	1000		2.5
			1.5									65	1000		3.5
			1.5									65	1000		4.5

دماها بر حسب درجه سلسیوس می باشند. قطر مخزن جبرانی 15 cm است

جدول (۲) نتایج و محاسبات جدول (۱) :

اختلاف دو سمت معادله	سمت راست معادله انرژی	سمت چپ معادله انرژی	دبی جرمی آب جبرانی	ΔP_{tower}	$V_{air,in}$ (m/s)	$T_{2,w}$ از نمودار سایکرومتری	$T_{1,w}$ از نمودار سایکرومتری	R	$\dot{Q}_{water}$ گرمای از دست داده شده آب	η	approach	z	h2	h1	ω_2	ω_1	$\dot{m}_{air}$(kg/s)

جدول (۳) –اثر تغییر سرعت هوای خروجی بر عملکرد برج خنک کن

حجم آب جبرانی	تغییر ارتفاع آب در جبرانی		$\dot{m}_{water}$ (kg/s)	T_4	T_3	φ_2	T_{2w}	T_2	φ_1	T_{1w}	T_1	P_{heater}(watt)	P_{pump}(watt)	$\dot{\forall}_{water}\ (\frac{litr}{m})$	$V_{air,out}$ (m/s)
												1000	65	4	1.5
												1000	65	4	3
												1000	65	4	4.5

جدول (۴) نتایج و محاسبات جدول (۳) :

اختلاف دو سمت معادله	سمت راست معادله انرژی	سمت چپ معادله انرژی	دبی جرمی آب جبرانی	ΔP_{tower}	$V_{air,in}$ (m/s)	$T_{2,w}$ از نمودار سایکرومتری	$T_{1,w}$ از نمودار سایکرومتری	R	$\dot{Q}_{water}$ گرمای از دست داده شده آب	η	approach	z	h2	h1	ω_2	ω_1	$\dot{m}_{air}$(kg/s)

جدول (۵) – اثر تغییر توان گرم کن بر عملکرد برج خنک کن

P_{heater}(watt)	$\forall_{water}^{\cdot}(\frac{litr}{m})$	P_{pump}(watt)	$V_{air,out}$ (m/s)	T_1	T_{1w}	φ_1	T_2	T_{2w}	φ_2	T_3	T_4	$m_{water}^{\cdot}$(kg/s)	تغییر ارتفاع آب در جبرانی		حجم آب جبرانی
500	2	65													
1000	2	65													
1500	2	65													

جدول (۶) نتایج و محاسبات جدول (۵) :

P_{heater}(watt)	$\forall_{water}^{\cdot}(\frac{litr}{m})$	P_{pump}(watt)	$V_{air,in}$ (m/s)	ΔP_{tower}	دبی جرمی آب جبرانی	T_1	T_{1w}	φ_1	T_2	T_{2w}	φ_2	T_3	T_4	$m_{water}^{\cdot}$(kg/s)
500	2	65												
1000	2	65												
1500	2	65												

قطر مخزن جبرانی 15 cm است

خواسته ها:

- رسم نمودار همه ی پارامترهای جدول ۲ بر اساس دبی جرمی جریان آب
- رسم نمودار همه ی پارامترهای جدول ۴ بر اساس سرعت جریان هوا
- رسم نمودار همه ی پارامترهای جدول۶ بر اساس توان گرم کن

- رابطه ی بین گرمای از دست داده شده توسط آب در برج و توان گرم کن به چه شکل است. (نتیجه گیری؟)
- دلیل اختلاف دو سمت معادله ی انرژی چیست؟
- کم و کاستی های آزمایش از نظر شما چه می باشد؟

دستگاه تهویه مطبوع

فصل اول : دستورالعمل دستگاه	
اهداف آزمایش	
مقدمه	
مشخصات دستگاه	
روش کار با دستگاه	
فصل دوم : دستور آزمایش	
تئوری	
آزمایش ها	
آزمایش ۱رطوبت زنی وگرمایش	
آزمایش ۲رطوبت زدایی	
آزمایش ۳گرمایش هوا	
آزمایش ۴سرمایش هوا	
آزمایش ۵رسیدن به شرایط آسایش	
مثال ها	

فصل اول : دستورالعمل دستگاه

اهداف آزمایش:

- آشنایی با اجزای اصلی یک دستگاه تهویه مطبوع (*Air conditioner*)
- آشنایی با نحوه کارکرد اجزای دستگاه تهویه مطبوع جهت ایجاد شرایط آسایش
- بررسی فرآیندهای مختلف تهویه مطبوع نظیر رطوبت زنی، رطوبت زدایی، گرمایش، سرمایش
- رسیدن به شرایط آسایش، توسط دستگاه
- بررسی پارامترهای مختلف بر عملکرد دستگاه نظیر گرما و رطوبت هوای ورودی

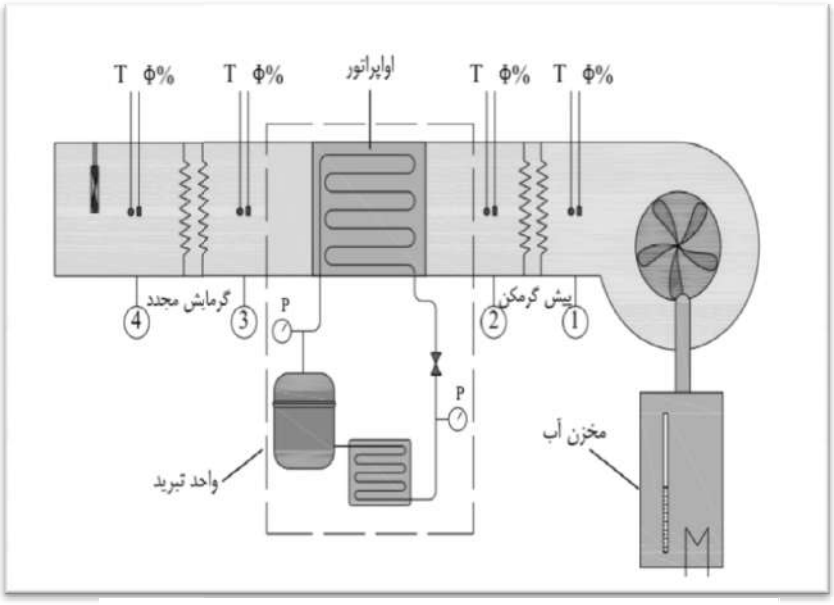
مقدمه:

بدن انسان به طور معمول در حدود $400\ W$ انرژی به محیط پس می دهد. این تلفات حرارتی به صورت انتقال حرارت از سطوح بدن و نیز به وسیله تبخیر رطوبت و ششها و پوست انسان به محیط داده میشود. با افزایش درجه حرارت هوای محیط میزان تلفات حرارتی از طریق انتقال حرارت کاهش می یابد، در حالیکه میزان تلفات بوسیله تبخیر افزایش

می یابد. اگر مقدار رطوبت هوای محیط بالا باشد تبخیر کند شده، سطوح پوست مرطوب شده و انسان احساس ناراحتی می کند. در اثر شرایط گرم و رطوبتی، قوای انسان شدیدا به تحلیل رفته و قادر به انجام فعالیتهای شدید نخواهد بود. به علاوه، این شرایط برای رشد کپک و قارچها مساعد بوده که بعضی از آنها سبب بیماریهای پوستی می شود. در صورتیکه کمی رطوبت هوا سبب افزایش تبخیر از طریق ریه، چشمها و مجراهای بینی می گردد که می توانند در انسان سبب ناراحتی شود. صنایع تهویه مطبوع روز به روز در سراسر دنیا در حال پیشرفت و گسترش می باشد. موارد استفاده تهویه مطبوع در تهویه خانگی، بیمارستانها، اماکن عمومی، معادن، مغازه ها, دفاتر کار، کارخانه ها و حمل و نقل زمینی، دریایی و هوایی می باشد. در بعضی موارد شرایط راحتی انسان در درجه اول اهمیت نمی باشد. این موارد نظیر انبار, دستگاههای حساس گلخانه ها، مراکز دامداری، سردخانه و غیره می باشند. تاسیسات تهویه مطبوع شامل تجهیزاتی از قبیل فن ها، فیلتر، کویل، مبدلهای حرارتی، رطوبت زنها، رطوبت گیرها، دیگ و واحدهای تبرید می باشند. تهویه مطبوع معمولا به نوعی سیستم تهیه و توزیع هوا اطلاق میگردد که دست کم پارامترهایی نظیر درجه حرارت, رطوبت نسبی, سرعت توزیع یا انتقال هوا و درجه پاکی و تمیزی هوا را کنترل و به حد مطلوب برساند. به وسیله دستگاه حاضر, اجزای اصلی یک دستگاه تهویه مطبوع و نحوه کارکرد آنها مورد مطالعه قرار می گیرد. همچنین فرآیند های مختلف تهویه مطبوع نظیر رطوبت زنی، رطوبت زدایی ،گرمایش و سرمایش و نیز نحوه رسیدن به شرایط آسایش مورد بررسی قرار می گیرد.

مشخصات دستگاه:

طرح شماتیک دستگاه را در شکل (۱)مشاهده می نمایید.



شکل (۱) طرح شماتیک دستگاه تهویه مطبوع

اجزای اصلی دستگاه عبارت اند از:

۱- کانال هوا با مقطع $30\times 30\ cm^2$

۲- دیگ (بویلر) با قطر سطح مقطع ۳۰ cm دارای المنت الکتریکی در فشار اتمسفر به توان ، ۲ kW در ولتاژ ۲۲۰ ولت برای ایجاد رطوبت

۳- فن سانتریفوژ با سرعت متغیر و قابل تنظیم

۴- پیش گرمکن : دارای ۲ المنت الکتریکی فین دار که هر کدام ۱۰۰۰ وات گرما دارند.

۵- خنک کننده : اواپراتور

۶- گرمایش مجدد : دارای 2 المنت الکتریکی فین دار به قدرت اسمی 1000وات

۷- واحد تبرید : شامل اواپراتور، کمپرسور *2 hp (۱۵۰۰ وات)* و کندانسور هوایی، مبرد (*R134*)
۸- سنسور اندازه گیری سرعت هوا و نمایشگر همراه آن جهت نمایش سرعت هوا کانال
۹- ۴ عدد سنسور دما و رطوبت سنج در 4 نقطه { ۱بعد از فن، 2 : بعد از پیش گرم کن، 3 : بعد از اواپراتور و 4 بعد از هیترهای گرمایش مجدد} مطابق شکل (۲) در داخل کانال نصب شده اند.
۱۰- دو عدد گیج فشار برای نشان دادن فشار قبل و بعد از کمپرسور

روش کار با دستگاه:

- سیم آبی نول است و سه سیم دیگر فاز هستند. بنابراین هنگام به برق زدن مراقب باشید که سیم آبی را به فاز وصل نکنید. سه سیم دیگر را به طور جداگانه به سه فاز وصل نمایید.
- بعد از به برق زدن با زدن کلید اصلی کنار پنل, نمایشگرهای دما و رطوبت روشن می شوند.
- کلیدهای *ON/OFF* تعبیه شده در روی دستگاه به ترتیب برای روشن کردن واحد سرمایش، واحد ایجاد رطوبت، هیترهای پیش گرمکن ۱۰۰۰ واتی و هیترهای گرمایش مجدد ۱۰۰۰ واتی به کار میرود.
- دور فن توسط ولوم مربوطه تنظیم می شود. با تغییر دور فن مقدار دبی هوای ورودی به کانال را می توان تنظیم کرد. از طریق سنسور نصب شده در انتهای کانال ، نمایشگر همراه آن می توان مقدار سرعت گذرنه از مقطع کانال را بدست آورد و همچنین با دانستن مقطع کانال دبی را بدست آورد.
- نمایشگرهای دیجیتال، مقادیر دما و رطوبت اندازه گیری شده توسط سنسورها را نمایش می دهند.
- یک بویلر در پایین دستگاه تعبیه شده است که دارای یک هیتر *2 KW* میباشد و به عنوان رطوبت زن مورد استفاده قرار میگیرد. بویلر دارای ورودی مخصوص تغذیه آب و شیر تخلیه آب می باشد. با روشن شدن هیتر، آب تبخیر شده و بخار خروجی، در ورودی فن وارد سیستم می شود. به منظور اطمینان از خالی نبودن بویلر، یک مانومتر بر روی آن نصب شده است که توسط آن می توان ارتفاع آب درون دیگ را دید.

همواره توجه داشته باشید که هیتر مخزن را تا زمانی که آب به اندازه کافی درون آن نیست روشن نکنید.

- فشار قبل و بعد از کمپرسور واحد سرمایش را میتوان تحت عنوان $P1$ و $P2$ از روی گیج فشاردستگاه خواند.

نکات قابل توجه:

- **قبل از روشن نمودن هیترها، فن روشن شود.**
- **همیشه بویلر حاوی آب باشد**
- **بعد از قرار دادن سیستم در هر مرحله چند دقیقه صبر کنید تا پایدار شود.**

فصل دوم : دستور آزمایش

تئوری:

تهویه مطبوع معمولا به سیستمی از روشهای تهیه و توزیع هوا اطلاق میگردد که دستکم پارامترهای ذکر شده در زیر را کنترل و به حد مطلوب برساند. این عوامل بر حسب اهمیت عبارتند از:

الف- درجه حرارت: در سیستم تهویه مطبوع در تابستان و زمستان درجه حرارت مورد کنترل قرار گرفته و به درجه حرارت مطلوب (*20-30℃*) میرسد.

ب- رطوبت نسبی و یا مقدار آب در هوا : این مقدار نیز برای شرایط زندگی و زیست مطلوب در تابستان از 40% تا 60%و در زمستان نیز از 30%تا 50%تعیین شده است.

ج- سرعت توزیع و یا انتقال هوا : (و در نتیجه میزان فشار استاتیک و دینامیک هوای منتقل شده) که تابع مقررات و توصیه های خاص خود می باشد.

د- درجه پاکی و تمیزی هوا : که بستگی به نوع محیط کار و آلودگی هوای خارج دارد.

تعاریف

دمای خشک : دمایی که یک ترمومتر معمولی نشان میدهد را دمای خشک گویند.

دمای مرطوب : یک ترمومتر در نظر بگیرند که حساسه آن در پنبه مرطوب احاطه شده باشد. درجه حرارتی که این ترمومتر نشان میدهد، دمای مرطوب گویند.

رطوبت نسبی φ : رطوبت نسبی ϕبه عنوان نسبت جز مولی بخار در مخلوط به جز مولی بخار در مخلوط اشباع در همان درجه حرارت و فشار کلی تعریف می شود. از آنجا که بخار را گاز ایده آل فرض می کنیم، این تعریف به نسبت فشار جرئی بخار در حالتی که در مخلوط وجود دارد یعنی P_v به فشار اشباع بخار در همان درجه حرارت Pg تبدیل می شود. چون بخار را گاز ایده آل فرض کردیم، رطوبت نسبی را می توان برحسب حجم مخصوص یا چگالی بیان کرد.

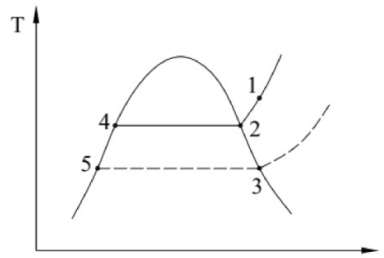
$$\varphi = {m_v}/{m_g} = {P_v}/{P_{v,sat}} = {\omega P_a}/{(0.622 + \omega)P_{v,sat}}$$

فشار جزئی بخار آب در حالت مخلوط

فشار اشباع بخار آب در دمای مخلوط

نسبت رطوبت یا رطوبت مخصوص ω : نسبت رطوبت ω برای مخلوط هوا- بخار آب ، به صورت نسبت جرم بخار آب به جرم هوای خشک تعریف می شود. عبارت " هوای خشک" برای تاکید بر این نکته بکار می رودکه تنها هوا موردنظر است و بخار آب وجود ندارد. این تعریف برای هر مخلوط گاز- بخار یکسان است و زیرنویس a مشخص کننده گاز است. چون بخار و مخلوط گازهای ایده آل مورد توجه ماست، عبارت مفیدی برای نسبت رطوبت برحسب فشارهای جزئی و اوزان مولکولی می توان بدست آورد. برای مخلوط هوا- بخار آب معادله فوق به شکل زیر نوشته می شود:

$$\omega = {m_v}/{m_{d,a}} = {0.622P_v}/{P_t - P_v} \quad \text{(kg vapor/kg dry air)}$$



شکل (۲) نمودار درجه حرارت- آنتروپی براي نمایش سرمایش یک مخلوط گاز – بخار در فشار ثابت

فرض کنید که ابتدا بخار در حالت مافوق گرم است (شکل ۲ حالت ۱) وقتی مخلوط در فشار ثابت سرد می شود، فشار جزئی بخار ثابت می ماند تا زمانی که به حالت بخار اشباع در نقطه ۲ برسد وقتی که درجه حرارت باز هم کاهش می یابد، بخار بیشتری چگالیده می شود که درنتیجه فشار جزئی بخار در مخلوط، کمتر می شود. بخاری که در مخلوط باقی می ماند همواره اشباع است و مایع در تعادل با آن می باشد . با ادامه فرایند سرد کردن و در انتهای محدوده اشباع به مایع اشباع حاصل از چگالش می رسیم.

منحنی سایکرومتریک هنگامی که محاسبه خواص بخار آب از قوانین دالتون و گیپ امکانپذیر شد، استفاده از منحنی سایکرومتریک بسیار مناسب خواهد بود. این منحنی برای فشار اتمسفر استاندارد *1.013 bar* (یا *101.3 kPa*) صحیح

است. اگر فشار اتمسفر به طور محسوسی با فشار استاندارد تفاوت داشته باشد و یا اگر دستگاه در ارتفاع بالا مورد استفاده قرار بگیرد، باید از منحنی مربوط به آن فشار استفاده کرد. با دادن دو خاصیت مستقل، موقعیت هوا در منحنی مشخص میشود. خواصی که به این منحنی مربوط اند عبارت اند از دمای خشک، دمای هوای تر، حجم مخصوص، رطوبت مخصوص، آنتالپی مخصوص، در صد اشباع که میتواند به صورت رطوبت نسبی داده شود. باید توجه شود که درجه آنتالپی مخصوص، آنتالپی هوای خشک به علاوه آنتالپی بخار موجود در آن است. هر دو در دمای صفر سلسیوس حساب شده اما به صورت kj / kgدر هوای خشک بیان میشود.

$$h = h_{dry\ air} + \omega h_{vapor}$$

نقطه شبنم عبارت از درجه حرارتی است که در آن، بخار آب به حالت اشباع میباشد. به عبارتی دمای اشباع مربوط به فشار جزئی بخار آب، همان دمای نقطه شبنم میباشد. بالاتر از نقطه شبنم بخار آب موجود در هوا به صورت بخار داغ و در دماهای زیر دمای نقطه شبنم، بخار آب مخلوطی از آب و بخار اشباع شده است.

رفتار هوای مرطوب

رفتار مرطوب بوسیله قوانین مخلوط گازها بیان میشوند. این قوانین عبارتند از:

- هر جزء گاز یا بخار از مخلوط از قانون عمومی گازها تبعیت میکند و در دمای مخلوط، حجم فضا را اشغال میکنند و فشار آنرا فشار جزئی مینامند.
- فشار مخلوط برابر با مجموع فشارهای جزئی هر یک از عناصر مخلوط میباشد. (قانون دالتون)
- آنتالپی، انرژی داخلی و آنتروپی مخلوط برابر با مجموع آنتالپی، انرژی داخلی و آنتروپی هر یک از عناصر مخلوط در دمای مخلوط و فشار جزئی آنها

تبادل انرژی

تمام تحولات تهویه مطبوع را میتوان به صورت تحولات جریان پایدار در نظر گرفت. بنابراین برای هر قسمت از دستگاه که مانند حجم کنترل (سیستم باز) در نظر گرفته میشود قانون اول ترمودینامیک عبارت خواهد بود از:

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_i(h_i + {V_i^2}/{2} + gz_i) - \sum \dot{m}_e(h_e + {V_e^2}/{2} + gz_e) = 0$$

Δh : تغییر میزان آنتالپی سیال در ورودی و خروج از دستگاه.(با تغییر انرژی جنبشی و پتانسیل ناچیز)

$\dot{Q}$: میزان تبادل حرارتی (اگر به سیستم حرارت داده شود علامت آن مثبت است.)

$\dot{W}$: توان مبادله شده مکانیکی یا الکترونیکی (اگر از سیستم توان خارج شود علامت آن مثبت است.)

تعیین دبی جرمی هوای ورودی

هوا پس از آن که توسط فن به داخل کانال دمیده شد، از کانال عبور خواهد کرد و در انتها به یک سنسور سرعت سنج توربینی خواهد رسید که میزان سرعت را اندازه گیری خواهد کرد و نمایشگر همراه آن مقدار سرعت اندازه گیری شده را نمایش خواهد داد. با داشتن سطح مقطع کانال و سرعت هوای عبوری از داخل کانال به سادگی به کمک رابطه زیر دبی بدست خواهد آمد. (مساحت کانال $0.09\ \mathrm{m}^2$)

$$\dot{m} = \rho A V$$

آزمایشها

از آن جا که در هر مرحله از آزمایش باید مدت زمانی صبر کرد تا سیستم به تعادل برسد، لذا توصیه می شود آزمایش ها در تعداد جلسات لازم انجام شود. در این آزمایشها به بررسی فرایندهای مختلفی که در یک سیستم تهویه مطبوع رخ می دهد، هم به صورت جدا و هم به صورت ترکیبی با یکدیگر پرداخته می شود.

آزمایش شماره ۱: رطوبت زنی وگرمایش

1.کلید برق اصلی دستگاه را در حالت ON قرار دهید.

2.میزان آب مخزن را چک کنید که بیشتر از نیمه باشد.

3.قبل از شروع تست, فن را روشن نموده و از سنسورهای دما و رطوبت(نقطه ۱) شرایط آزمایشگاه را بدست آورید. (شرایط ۰) .

4.سپس هیتر رطوبت زن را روشن نمایید و منتظر بمانید تا آب مخزن به جوش آید (حدوداً 30 دقیقه قبل از شروع آزمایش این کار را انجام دهید).

5. دماها و در صد رطوبت را از روی سنسورها نقطه بخوانید و در جدول (۱) یادداشت نمایید.

6.مراحل فوق را برای چند دور فن (چند دبی هوای ورودی) تکرار نموده و اعداد حاصل را در جدول (۱) یادداشت نمایید.

جدول (۱) : رطوبت زنی و گرمایش

مراحل		1	2	3	4
شرایط هوای ورودی	دما T_0				
	رطوبت نسبی(٪)				
	رطوبت مخصوص (نسبت رطوبت)				
سرعت هوا	-				
شرایط هوای خروجی ازفن بعد رطوبت زنی	دما T_1				
	رطوبت نسبی(٪)				
	رطوبت مخصوص (نسبت رطوبت)				

خواسته های آزمایش شماره ۱:

- فرایند های طی شده را روی نمودار سایکرومتری نشان دهید
- با استفاده از موازنه جرم(بقای جرم) مقدار آب افزوده شده در فرایند رطوبت زدن را بدست آورده و آن را با آب تبخیر شده در مخزن مقایسه نمایید.

دبی بخار آب افزوده شده بر اساس موازنه جرم	$m_{\dot{v}apor} = (\omega_1 - \omega_0)\dot{m_a}$
دبی آب تبخیر شده بر اساس توان هیتر	$m_{\dot{v}apor} = {Q_{\dot{h}eater}}/{h_{fg}}$

- همانگونه که در ترمودینامیک خوانده اید با داشتن دو خاصیت از هوای مرطوب می توان سایر خواص آن را ازنمودار سایکرومتری بدست آورد.این پارامترها را تعیین کنید و در جدول ثبت نمایید.

	T_1	φ_1	ω	h_{air}	$T_{wet\ bulb}$
1					
2					
3					
4					

آزمایش شماره (۲): رطوبت زدایی

- ولوم فن را روی یک مقدار دلخواه قرار دهید.(عددی که تنظیم دور فن نشان میدهد فرکانس موتور است).
- هیتر رطوبت زن را روشن کرده و تا رسیدن به شرایط دائم صبر کنید.

- کمپرسور سیکل تبرید (واحد سرمایش) را روشن کنید.
- شرایط هوا در نقاط ۲ و ۳ را در جدول شماره (۲) یادداشت کرده و جدول را کامل کنید.

جدول (۲) : رطوبت زدایی

شرایط هوای قبل از اواپراتور	دمای هوا T_2	
	رطوبت نسبی φ_2	
	رطوبت مخصوص ω_2	
شرایط هوا بعد از اواپراتور(رطوبت زدایی)	دمای هوا T_3	
	رطوبت نسبی φ_3	
	رطوبت مخصوص ω_3	

خواسته های آزمایش شماره ۲:

- فرایند رطوبت زدایی را روی نمودار سایکرومتری نشان دهید.

آزمایش شماره (۳): گرمایش هوا

- هر دو هیتر پیش گرم کن را روشن کنید.
- ولوم فن را در بیشترین سرعت قرار دهید.
- دما و رطوبت نقاط ۱ و ۲ را در جدول (۳) وارد کنید.
- یکی از هیترهای پیش گرم کن را خاموش کرده و آزمایش را تکرار کنید.
- هر دو هیتر پیش گرم کن را خاموش کرده و آزمایش را برای توان های 1 kw و 2 kw هیتر های گرمایش مجدد تکرار نمایید و دما و رطوبت را در جدول (۳) وارد کنید
- آزمایش را برای یک سرعت دیگر تکرار نمایید.

خواسته های آزمایش شماره ۳:

- فرایندهای گرمایش را روی نمودار سایکرومتری نشان دهید.
- موازنه انرژی را در تحولات گرمایش انجام داده و میزان تلفات گرمایی را بدست آورید

انتالپی هوا	$h = h_{dry\ air} + \omega h_{vapor}$
دبی جرمی هوا	$\dot{m} = \rho AV$
گرمای منتقل شده به هوا	$\dot{Q} = \dot{m_a}(h_{a,o} - h_{a,i})$
تلفات	$loss = heating\ power - \dot{Q}$

جدول شماره (۳) –گرمایش هوا

مراحل آزمایش		1	2	3	4
شرایط هوا قبل از پیش گرم کن	دمای هوا T_1				
	رطوبت نسبی φ_1				
	رطوبت مخصوص ω_1				
شرایط هوا بعد از پیش گرم کن	دمای هوا T_2				
	رطوبت نسبی φ_2				
	رطوبت مخصوص ω_2				
شرایط هوا قبل از گرمایش مجدد	دمای هوا T_3				
	رطوبت نسبی φ_3				

	رطوبت مخصوص ω_3				
شرایط هوا بعد از گرمایش مجدد	دمای هوا T_4				
	رطوبت نسبی φ_4				
	رطوبت مخصوص ω_4				
توان هیتر پیش گرم کن	-	2000	1000	0	0
توان هیتر گرم کن مجدد	-	0	0	1000	2000
دمای هوای ورودی	-				
سرعت هوا	-				
دبی هوا $\dot{m}_a$	-				
انتالپی هوا در ورود $h_{a,i}$	-				
انتالپی هوا در خروج $h_{a,o}$	-				
گرمای منتقل شده به هوا $\dot{Q}$	-				
تلفات					

آزمایش شماره (۴): سرمایش هوا

- فن را روی دور دلخواهی قرار دهید.
- کمپرسور را روشن کرده و تا رسیدن به شرایط پایدار صبر کنید
- اطلاعات دما و رطوبت نقاط (۲) و (۳) را در جدول ثبت نمایید
- آزمایش را برای ۲ سرعت (دبی) دیگر تکرار کنید.

خواسته های آزمایش شماره ۴ :

- فرایندهای سرمایش را روی نمودار سایکرومتری نشان دهید.

جدول (۴) : سرمایش هوا

سرعت هوا				
شرایط هوا قبل از اواپراتور	دمای هوا T_2			
	رطوبت نسبی φ_2			
	رطوبت مخصوص ω_2			
	انتالپی h_2			
شرایط هوا بعد از اواپراتور	دمای هوا T_3			
	رطوبت نسبی φ_3			
	رطوبت مخصوص ω_3			
	انتالپی h_3			

آزمایش (۵): رسیدن به شرایط آسایش

با تنظیم المانهای مختلف دستگاه سعی کنید باکمترین مقدار مصرف انرژی شرایط هوا را به شرایط آسایش تهویه مطبوع نزدیک نمایید (رطوبت نسبی ۵۰٪ و دمای ۲۵ درجه سلسیوس).

دستگاه آزمایش تشعشع

فهرست گزارش کار دستگاه انتقال حرارت تشعشعی

فصل اول : دستورالعمل دستگاه	
هدف	
آزمایش های قابل انجام	
شرح دستگاه	
روش کار با دستگاه	
فصل دوم : دستور آزمایش	
تئوری	
آزمایش های قابل انجام	

فصل اول : دستورالعمل

هدف : بررسی انتقال حرارت در تشعشع حرارتی, و انتشار نور در تشعشع نوری

شکل :۱دستگاه اندازه گیري تشعشع حرارتی

آزمایش های قابل انجام:

به وسیله این دستگاه, دو سری آزمایش به قرار زیر انجام پذیر است:

الف)تشعشع حرارتی

1.بررسی قانون عکس مجذور فاصله در تشعشع حرارتی

2.تحقیق رابطه انرژی تشعشعی استفان- بولتزمن

ب) تشعشع نوری

1.بررسی قانون عکس مجذور فاصله در تشعشع نوری

2.قانون جذب لامبورت (تعیین ضریب جذب فیلترهای مختلف)

3.قانون کسینوس برای نور

شرح دستگاه:

دستگاه اندازه گیری تشعشع, از یک منبع حرارتی و یک منبع نورانی که در دو طرف دستگاه تعبیه شده اند, تشکیل شده است. دو عدد ریل مناسب جهت نصب تجهیزات مورد نیاز در آزمایشهای مختلف, در این دستگاه در نظر گرفته شده که پایه های نصب صفحات سیاه و فیلترها به راحتی بر روی آن حرکت می کنند. یک خط کش مدرج برای تنظیم فاصله مناسب پایه ها از منابع حرارت و نور روی ریل نصب شده است. مهمترین وسایل کمکی برای انجام آزمایشات مربوطه که در شکل (۱) نشان شده اند, عبارت اند از:

۱- منبع تشعشع حرارتی (*Heat Radiation Source*)
۲- صفحات فلزی سیاه (Metal Plates)
۳- تشعشع سنج (Radio Meter)
۴- نورسنج (Light Meter)
۵- صفحات فیلتر رنگی (Colored Filter Plates)
۶- منبع نور (Light Source)
۷- نرم افزار و دانگل همراه دستگاه برای برقراری ارتباط با کامپیوتر
۸- جعبه برق کنترل و دیتا برداری (Instrument Console)

دستگاه شامل نرم افزار بوده که پس از اتصال به کامپیوتر مقادیر اندازه گیری شده توسط سنسورها نمایش داده می شود و همچنین توان مصرفی منبع گرم و منبع نور را به کمک نرم افزار می توان تنظیم نمود. برقراری ارتباط دستگاه با کامپیوتر به کمک یک قطعه فلش مانند (دانگل) انجام خواهد شد. در صورت ارتباط صحیح دستگاه با کامپیوتر در گوشه سمت چپ و پایین نرم افزار ONمشاهده خواهد شد و در غیر این صورت No DONG نشان داده خواهد شد. شکل

ظاهری صفحه نرم افزار به صورت زیر است که در ادامه به توضیح هر یک از قسمت ها و آیتم های آن افزار خواهیم پرداخت.

۱	Thermal Radiation مقدار حرارتی که رادیومتر دریافت کرده است را بر حسب w/m2نمایش می دهد
۲	Ts دمای سطح هیتر را بر حسب درجه سانتی گراد نشان می دهد
۳	T1 دمای سطح صفحه سیاه فلزی اول را بر حسب درجه سانتی گراد نشان می دهد
۴	T2 دمای سطح صفحه سیاه فلزی دوم را بر حسب درجه سانتی گراد نشان می دهد
۵	Tc دمای سطح سنسور رادیومتر را بر حسب درجه سانتی گراد نشان می دهد
۶	Heater Power برای تنظیم توان مصرفی هیتر منبع گرم از این قسمت استفاده خواهد شد
۷	Heater set point با رسیدن دمای سطح هیتر به عدد تنظیم شده در این قسمت برق هیتر قطع خواهد شد
۸	Feedback Control با زدن تیک مربوط به این قسمت دمای سطح هیتر در روی عدد تنظیم شده در قسمت setpoint ثابت باقی خواهد ماند
۹	Chart y variable آیتم مربوط به قسمت عمودی در این قسمت انتخاب خواهد شد
۱۰	Light Radiation مقدار نور جذب شده توسط لوکس متر در این قسمت بر حسب لوکس نمایش داده خواهد شد
۱۱	Zero Light قبل از شروع آزمایش و روشن نمودن لامپ دستگاه با کلیک بر این گزینه مقدار نور جذب شده توسط لوکس متر از محیط حذف خواهد شد و در نتیجه لوکس متر عدد صفر را نمایش خواهد داد
۱۲	Light Power مقدار نور و توان مصرفی لامپ در این قسمت تنظیم خواهد شد
۱۳	Distance در این قسمت فاصله صفحات فلزی با رادیومتر یا لوکس متر و یا فیلترهای رنگی از هر یک از منبع های مربوطه وارد می شود
۱۴	Chart x variable آیتم مربوط به قسمت افقی در این قسمت انتخاب خواهد شد
۱۵	Add Pointبعد از انتخاب گزینه مناسب برای محور عمودی و افقی با زدن این کلید نقطه متناظر با آیتم

	انتخاب شده برای دو محور رسم خواهد شد .این نقاط توسط خط هایی به هم وصل خواهند شد
۱۶	Countتعداد نقاط رسم شده را نشان می دهد
۱۷	Delete Pointبا کلیک بر رو این گزینه نقاط از آخر به ابتدا حذف خواهند شد

روش کار با دستگاه

1.دوشاخه جعبه برق را به پریز وصل کنید و آن را به وسیله کلید *on/off* روشن کنید.

2.مقدار تشعشع حرارتی اندازه گیری شده توسط رادیومتر و تشعشع نوری اندازه گیری شده توسط لوکس متر بـر روی صفحه نرم افزار نشان داده شده می شود.

3.فیلترهای رنگی با باز و بسته کردن پیچ های نصب روی پایه, به راحتی روی آن نصب می شوند و هم چنـین مکان پایه فیلتر رنگی را با شل کردن پیچ زیر آن می توان تغییر داد.

4.پایه های محل نصب صفحات سیاه فلزی, به راحتی روی ریل حرکت نموده و به وسیله پیچ تعبیـه شـده روی آنها در محل دلخواه ثابت می شوند.

5.دو سنسور دمایی روی صفحات فلزی شماره 1و 2 نصب شده اند.

6. یک سنسور دمایی روی صفحه ی منبع گرم نصب شده است. Ts که در صورت رسیدن دما به مقدار تنظـیم در نرم افزار منبع گرم را قطع می کند.

7.دمای اندازه گیری شده توسط سنسورهای شماره 1و 2 توسط *نرم افزار* نمایش داده می شود.

8.لوکس متر و رادیو متر را می توان با شل کردن پیچ زیر آن نسبت به منبع چرخاند و زاویه داد.

9.برای استفاده از نرم افزار قطعه فلش مانند (دانگل) را به کامپیوتر متصل نمـوده و نـرم افـزار را اجـرا کنیـد. در حالتی که ارتباط بین کامپیوتر و دستگاه به نحوه صحیحی برقرار باشد در گوشه سمت چپ و پایین نرم افزار ONرا مشاهده خواهید کرد.در غیر این صورت در آن قسمت No Dong مشاهده خواهد شد.

توجه داشته باشید که در صورتی که از منبع گرم استفاده می کنید، قسمت منبع گرم بسـیار گـرم مـی شـود لـذا از دست زدن به این قسمت خودداری کنید.

فصل دوم :

دستور آزمایش

مقدمه

تشعشع, نوعی انتقال انرژی است که از یک ماده به صورت امواج الکترومغناطیس یا فوتون خارج مـی گـردد که حاصل تغییر در شکل الکترونیکی اتمها و مولکول ها است . تفاوت اساسی در انتقـال گرمـای تشعشـعی بـا انتقال گرمای هدایتی و جابجایی, در این است که در انتقال گرمای هدایتی و جابجایی , نیاز بـه محـیط مـادی می باشد ولی در انتقال گرمای تشعشعی چنین محیطی لازم نیست و می تواند در خلأ هم منتقل شود. حداکثر
انتقال گرمای تشعشعی زمانی صورت می گیرد که بین دو جسم خلأ کامل باشد.

تئوری:

در جدول زیر به معرفی برخی از اصطلاحات بکار برده شده در انتقال حرارت تشعشعی و واحدهای آنها پرداخته می شود و

پس از آن توضیحات کوتاهی درباره هریک از این اصطلاحات خواهد آمد.

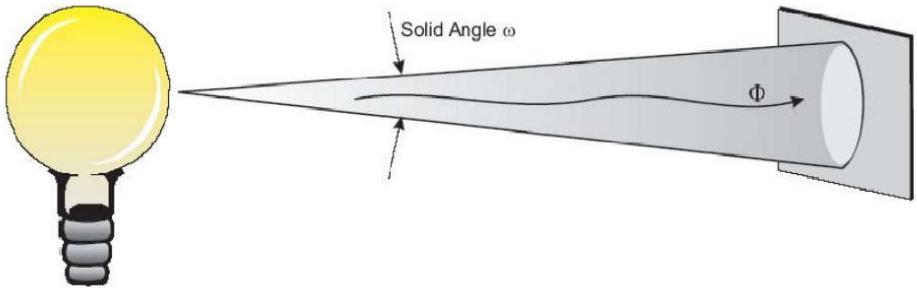
Photometric	SI Units	Radiometric	SI Units
Luminous Energy	Lumen/second	Radiant Energy	Joule
Luminous Intensity	Lumen/steradian or candela	Radiant Intensity	Watt/steradian
Luminous Flux	Lumen	Radiant Flux	Watt
Luminance	Candela/square metre	Radiance	Watt/steradian/square metre
Illuminance	Lux	Irradiance	Watt/square metre

Luminous flux P_V and radiant flux $\varphi\varphi_e$:

این اصطلاح برای عنوان توان(power) یا شار (flux) موج های الکترومغناطیسی که از یک منبع در کل جهات وارد می شود، بیان می گردد و به بیان ساده تر به معنای مقدار آن نور یا حرارت در واحد زمان است. که واحد آن برای نور Lumen و برای حرارت وات watt است.

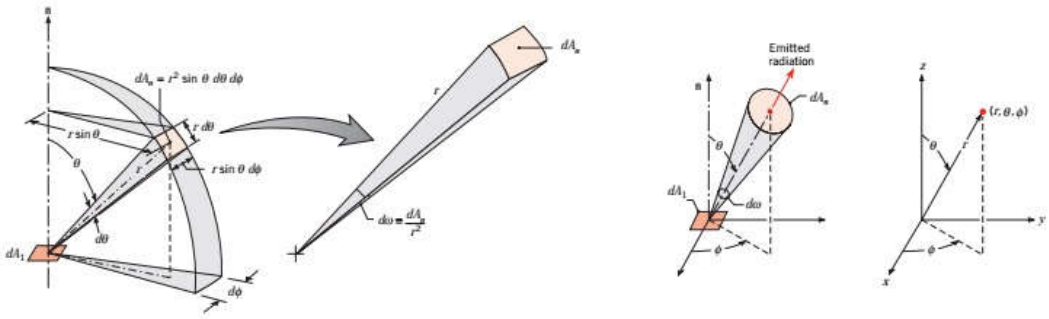
Luminous intensity I_V and radiant intensity I_e

اکثر موج های الکترومغناطیسی در تمامی جهات انتقال می یابند. اما بعضی بر روی یک جهت یا یک سطح تمرکز می کنند. بنابراین نمی توان از flux برای این منظور استفاده کرد. برای این حالت از شدت نور یا شدت حرارت(intensity) استفاده می کنیم که مقدار انرژی الکترومغناطیس را در یک سطح دایره ای بیان می کند.



Luminous intensity :

مقدار شدت نور را در یک سطح مخروطی بیان می کند. مقدار زاویه این سطح مخروطی را به عنوان solid angle (w) می شناسیم که با استرادیان sr نیز شناخته می شود.یک استرادیان زاویه فضایی جسم است که به صورت ناحیه بین پرتوهای تابش روی یک کره تعریف شده و توسط مساحت بخشی از کره که جسم پوشانده، تقسیم بر مجذور شعاع کره یا مقدار شدت نور یا شدت حرارت از رابطه زیر حاصل می شود.



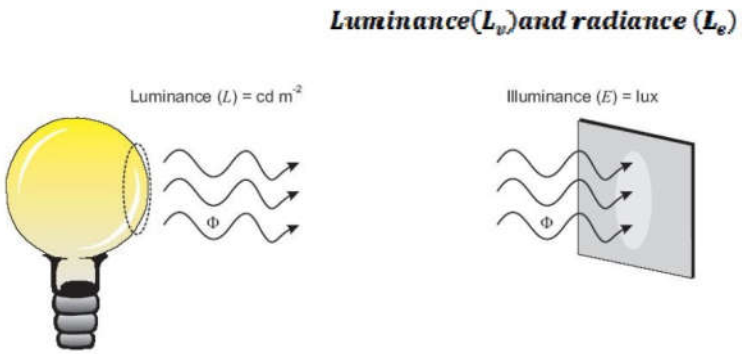
تعریف زاویه فضایی

زاویه فضایی (استرادیان) $\omega = {A_n}/{r^2}$	$d_\omega = {dA_n}/{r^2}$
شدت حرارت $I_e = \frac{Q_e}{\omega}$	**شدت نور** $I_v = \frac{Q_v}{\omega}$

برای شدت نور واحدی که مطرح شده است را به عنوان (candela) می شناسیم که از شدت نور یک شمع می آید که این مقدار شدت نور تابیده شده به سطحی به مساحت ۱/۶ متر مربع و فشار ۱ اتمسفر است.

$$1\text{cd} = 1\frac{\text{Lm}}{\text{Sr}} = \frac{\text{Lumon}}{\text{Stradian}}$$

Luminance (L_v) and radiance(L_e)

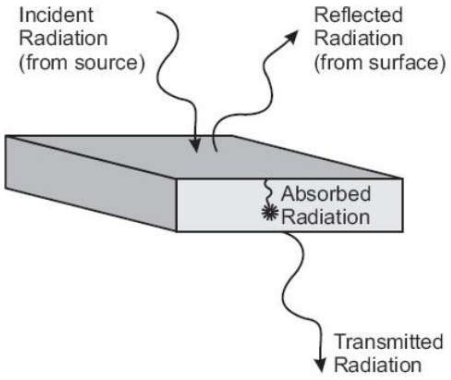


این اصطلاح از flux یا power بر واحد سطح می آید. برای نور و برای حرارت است. برای نور بر حسب cd/m^2 و برای گرما $watt/m^2$ است.

Luminance (E_v) and radiance (E_e)

این عنوان برای انرژی الکترومغناطیسی نورانی یا حرارتی که یک سطح دریافت می کند، بیان می شود. برای *I luminance* مقدار انرژی است که یک سطح به مساحت دریافت می کند و برای *Irradiance* مقدار وات بر سطحی به مساحت ۱متر مربع است.

1 Lux=1 Lumen/m^2=1(candela. Stradian) /m^2



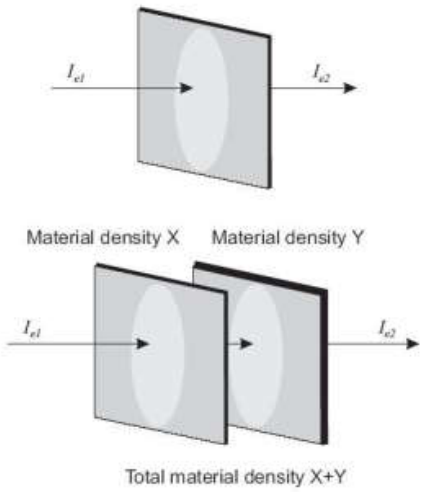
مقدار انرژی ساطع شده از یک منبع نور یا گرما به ۳ قسمت تقسیم می شود

- بخشی از انرژی که منعکس شده ρ
- بخشی انرژی که جذب شدهα
- بخشی از انرژی که عبور می کندτ

مقدار و درصد هر یک از این قسمتها به جنس، ضخامت و ویژگی های سطح بستگی دارد. و مجموع آنها برابر یک است.

رابطه کلی	$\rho + \alpha + \tau = 1$
اجسام تیره و کدر	$\tau = 0 \rightarrow \rho + \alpha = 1$
اجسام بسیار شفاف	$\rho = 0 \rightarrow \alpha + \tau = 1$

Transmittance τ and absorbance α :



Transmittance

این اصطلاح مقدار انرژی الکترومغناطیس انتقال یافته از یک سطح را اندازه گیری می کند که از رابطه ساده مقابل محاسبه می شود

$$\tau = \frac{I_2}{I_1}$$

چون مقدار نور را برحسب Lux از طریق لوکس متر می خوانیم، بنابراین:

$$\tau = \frac{E_{v2}}{E_{v1}}$$

Absorbance and absorbtion :

به رابطه ساده زیر که ارتباط شدت نور ورودی و خروجی را بیان می کند، *Absorbance* گفته می شود

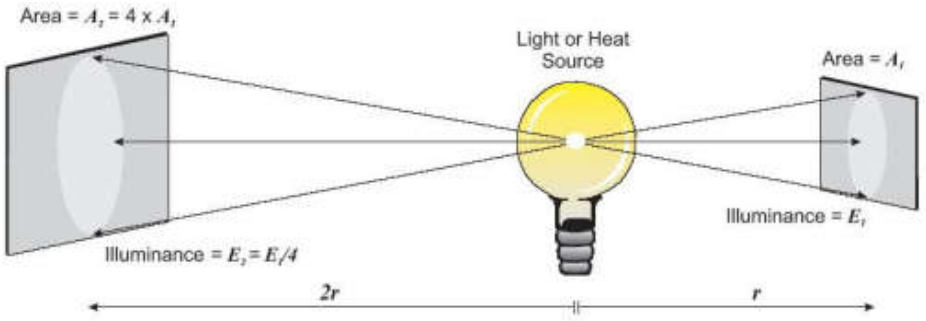
$$\text{Absorbance } A(\lambda) = \log_{10}^{\frac{I_{e1}}{I_{e2}}}$$

باز هم چون ما از لوکس متر استفاده می کنیم، مقدار را از رابطه زیر بدست می آوریم.

$$\text{Absorbance } A(\lambda) = \log_{10}^{\frac{E_{v1}}{E_{v2}}}$$

مقدار انرژی که جسم می تواند با شدت های مختلف جذب کند و مقدار انرژی که می تواند از یک جسم بگیرد و به جسم دیگر انتقال دهد.

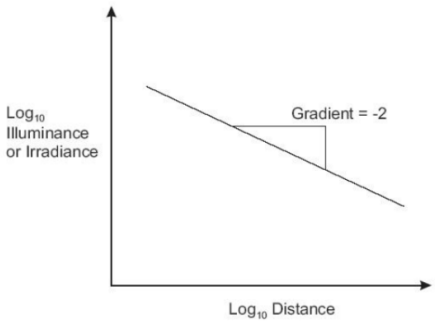
قانون عکس مجذور فاصله *inverse square law* :



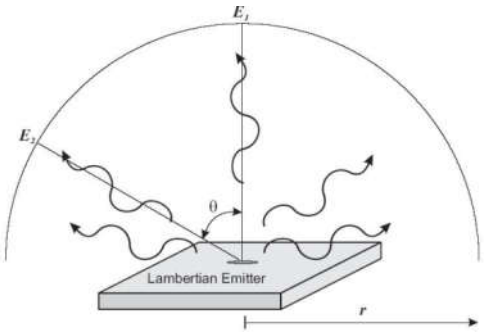
این قانون که گاهی قانون فاصله لامبرت یا قانون سطح نامیده می شود، نشان می دهد که انرژی دریافتی *illuminace or irradince* سطح به اندازه مجذور فاصله ای که از منبع انرژی دارد، کاهش می یابد. شکل بالا نشان می دهد پس از خروج نور از منبع نور و اصابت آن به سطح ۱ ه در فاصله r از منبع نور قرار دارد بخشی از سطح به اندازه A_1 روشن می شود.حالا اگر فاصله دو برابر شود سطح روشن شده A_2 مجذور سطح قبلی خواهد بود. یعنی $A_2=4A_1$ یعنی با دوبرابر کردن فاصله سطح روشن شده چهار برابر خاهد شد اما مقدار lux درافتی سطح جدید کمتر خواهد شد به عبارتی

$$E_v \sim \frac{1}{r^2} \qquad E_e \sim \frac{1}{r^2}$$

این رابطه برای تابش حرارتی هم صادق است. نمودار زیر مقدار لگاریتم انرژی دریافت شده برحسب لگاریتم فاصله است که به صورت خطی رسم می شود.



قانون کسینوس(برای نور):

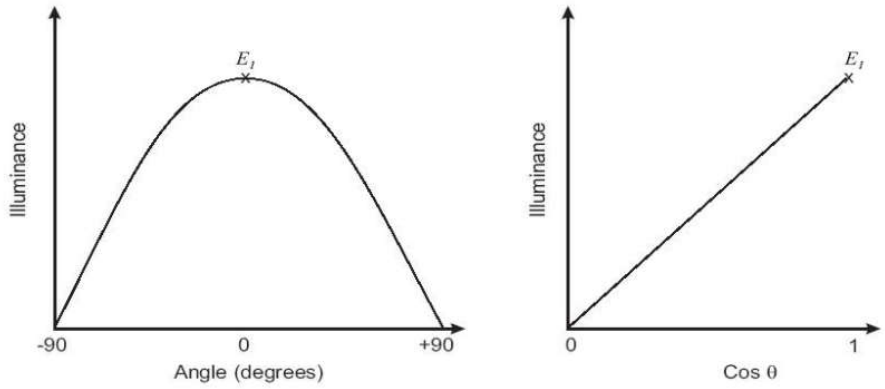


قانون کسینوس برای نور نشان می دهد که مقدار دریافت انرژی (نور) در حالتی که لوکس متر دقیقاً درراستای منبع نور باشد، بیشترین حالت را دارد. یعنی در موقعیت $\Theta = 0$.با توجه به شکل فوق اگر منبع نور را بر روی یک صفحه تخت در نظر بگیریم حداکثر نقطه جذب نور را در نقطه رو به روی آن یعنی E1خواهیم داشت . با تغییر زاویه لوکس متر از راستای مستقیم در همان فاصله(r) این مقدار کاهش می یابد. E_2کمتر از E_1 است.

قانون کسینوس برای نور به صورت زیر بیان می شود.

$$E_2 = \mathrm{E}_1 \cos\theta$$

دو نمودار زیر برای این قانون رسم شده است.



نمودار فوق در واقع نشان می دهد که در زاویه 90درجه مقدار جذب نور صفر خواهد شد. درواقع با توجه به شرایط دستگاه و این که ما برای تغییر زاویه لوکس متر را می چرخانیم و زاویه می دهیم، سطح مقطعی از لوکس متر که در مقابل منبع نور است کاهش می یابد و نمودار رسم بیشتر از آن که شبیه دایره باشد به بیضی شباهت پیدا خواهد کرد . بنابراین برای این آزمایش بهتر است از رابطه زیر برای این قانون استفاده شود.

$$E_2 = \mathrm{E}_1 cos^{\,2}\,\theta$$

تعیین ضریب جذب فیلترهای مختلف

هرگاه یک دسته اشعه نورانی از یک محیط عبور نماید, مقداری از نور جذب شده و مقداری از آن خارج خواهـد شد .

"لامبرت "نشان داد که مقدار خروجی نور از رابطه زیر به دست می آید:

$$I = I_0 e^{-ax}$$

I :شدت نور خروجی از محیط

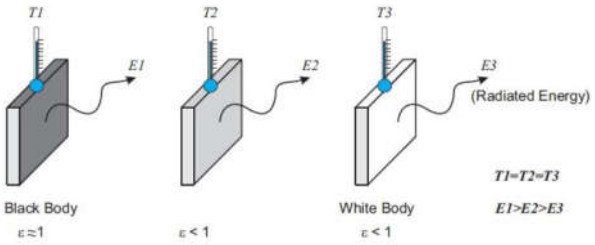
$I0$:شدت نور تابشی از منبع نور

x :ضخامت فیلتر مورد نظر

α:ضریب جذب فیلتری که نور از آن عبور می کند.

انتقال گرمای تشعشعی (قانون استفان بولتزمن)

آزمایشات فیزیک و تئوری نشان داده که جسم سیاه بهترین جذب کننده امواج الکترومغناطیس است. ضـریب جذب برای این نوع اجسام یک در نظر گرفته شده است. در طبیعت جسمی نمیتوان یافت که تمام طول موج های امواج الکترومغناطیس را جذب کند. امـا اجسـام تیـره تا حدی رفتاری شبیه یک جسم سیاه را از خود نشان می دهند. همان طور که یک شئ تیره مانع عبور نور از خود می شود و تمامی نور را جذب خود می کند یک جسـم سـیاه هم در تشعشع حرارتی تمامی امواج را در خود جذب کرده و مانع عبور آن خواهد شد. لازم به ذکر است که یکی جسم سیاه خوب علاوه بر این که ضریب جذب خوبی دارد، ضریب نشر خـوبی نیـز دارد. بنابراین یک جسم سیاه تشعشع کننده بهتری نسبت به یک جسم سفید است.



کلیه اجسام در دمای بالاتر از صفر مطلق تشعشع گرمایی دارند. حداکثر تشعشع که توسط یک سطح با دمـای مطلق Ts قابل صدور است با استفاده از قانون استفان –بولتزمن قابل محاسبه است:

$$q = A\sigma T_s^4$$

در معادله فوق σثابت استفان بولتزمن است و مقدار آن برابر $(W\,m2k\,4)8–10\times 5.67$می باشد. این سطح ایده آل فرضی که حداکثر تشعشع را حاصل می کند، جسم سیاه می نامند. توجه داشـته باشـید کـه تشعشع خروجی از کلیه سطوح حقیقی کمتر از تشعشع جسم سیاه با همان دما است و به صورت زیر بیان مـیشود:

$$q = A\epsilon\sigma T_s^4$$

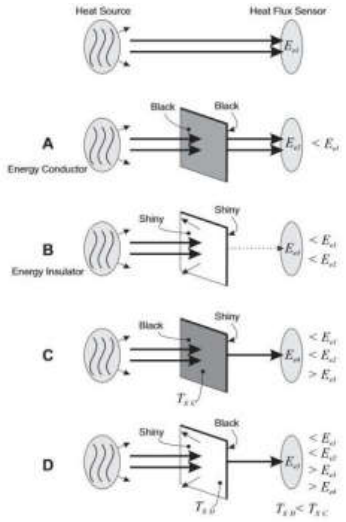
در معادله فوق εضریب صدور سطح است و مقدار آن در محدوده $0<\varepsilon\leq 1$است. ضـریب صـدور یـا ضـریب نشر یک سطح عبارت است از نسبت تشعشع صادر شده از سطح به تشعشع صادر شده توسط یک جسـم سـیاه در همان دما. ضریب صدور یک سطح حقیقی با دما، طول موج، جهـت تشعشـع صـادر شـده و میـزان زبـری سطوح تغییر می کند.

انتقال گرمای تشعشعی خالص عبارت است از اختلاف بین نرخ تشعشع صادر شده از سطح و تشعشع جـذب شده. هرگاه سطحی با ضریب صدور εو سطح Aو دمای مطلق Tsبوسیله سطح بزرگتری به دمـای مطلـق T_A کاملا پوشیده شده باشد و بوسیله گازی مانند هوا که هیچ گونه تقابلی با تشعشع نـدارد، جـدا شـده باشـد نرخ خالص انتقال گرمای تشعشعی بین دو سطح برابر خواهد بود با:

$$q = \epsilon\sigma A(T_s^4 - T_A^4)$$

قانون کیر شهف:

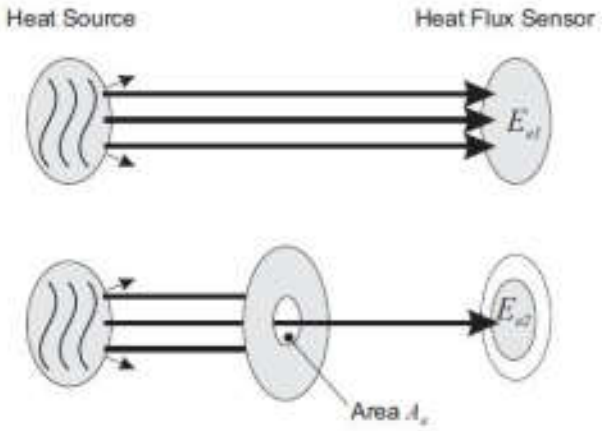
این قانون توسط فیزیک دان آلمانی کیرشهف مطرح گردید .طبق این قانون در دمای ثابت برای هر طول موج , جسمی که انرژی را به خوبی جذب کند , باید آن را نیز به خوبی نشر دهد .به عبارت دیگر ضریب جذب و ضریب نشر در یک طـول مـوج و دمـای ثابـت بـا هـم برابـر هستند. لازم به ذکر است که انجام محاسبات دقیق به منظور برابری ضریب نشر و ضـریب جـذب امکـان پـذیر نمـی باشد و آزمایش انجام شده به وکمک این دستگاه نیز صرفا جهت مشاهده و مقایسه اندازه گیری ها است. آزمایش انجام شده با این دستگاه نشان خواهد داد که ضریب نشر و ضریب جذب برای یـک جسـم سـیاه بـه مراتب بالاتر از ضریب نشر و ضریب جذب برای یک جسم روشن با هم جنس است. به شکل زیر توجه کنید:



با توجه به شکل فوق صفحه Aکه دو طرف آن سیاه است دارای جذب و نشر خوبی می باشد. از ایـن جسـم به عنوان یک جسم هادی در انتقال حرارت تشعشعی یاد می شود.
صفحه Bکه دو طرف آن روشن است دارای جذب و نشر کمتری نسبت به صفحه A است.همان طور کـه در شکل مشخص است مقداری از گرمای تابیده شده به آن به سمت منبع گرم بازتابیده شده است. مقایسه دو سطح Dو C نشان خواهد داد که سطح C که در آن طرف سیاه به سمت منبع گرم است دمـای بالاتری نسبت به سطح D است.

فاکتور سطح:

به شکل زیر توجه کنید.



همان طور که از شکل فوق مشخص است، نصب یک روزنه در مسیر انتقال حرارت تشعشعی سبب کاهش میزان انتقال حرارت خواهد شد.

در واقع روزنه بنا بر سطح مقطع خود سبب کاهش میزان انتقال حرارت خواهد شد. در این جا فاکتوری به نام فاکتور سطح مطرح می گردد که از نسبت میزانت انتقال حرارت در شرایط بدون روزنه و با روزنه بدست خواهد آمد. با توجه به رابطه و مطالب فوق مشخص است که فاکتور سطح رابطه مستقیمی با سطح مقطع روزنه دارد و در شرایطی که $Ee_1=Ee_2$ فاکتور سطح یک خواهد شد.

آزمایش های قابل انجام

به وسیله این دستگاه دو سری آزمایش به قرار زیر انجام پذیر است:

الف) تشعشع نوری

بررسی قانون عکس مجذور فاصله در تشعشع نوری

قانون جذب لامبورت (تعیین ضریب جذب فیلترهای مختلف)

ب) تشعشع حرارتی

بررسی قانون عکس مجذور فاصله در تشعشع حرارتی

تحقیق رابطه انرژی تشعشعی استفان- بولتزمن

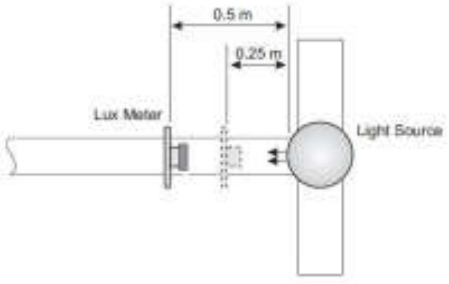
الف) تشعشع نوری

آزمایش 1:بررسی قانون عکس مجذور فاصله

نحوه انجام آزمایش

هدف: بررسی رابطه تشعشع روی یک سطح با فاصله آن سطح از منبع تشعشع کننده $R\sim\frac{1}{x^2}$ (که R شار انرژی تشعشی بر حسب w/m^2

و x فاصله سطح (تشعشع سنج) از منبع گرمایی می باشد).



1.لوکس متر را در فاصله mm 500از منبع نور قرار دهید.

2.توجه داشته باشید که لوکس متر و منبع نور باهم زاویه نداشته باشند.

3.با دوبار کلیک بر روی عددی که لوکس متر در نرم افزار نشان می دهد، مقدار آن را صفر کنید.

4.لوکس متر را در توان مشخصی قرار دهید و منتظر بمانید که لوکس متر عدد ثابتی را نشان دهد.

جدول زیر را کامل کنید.

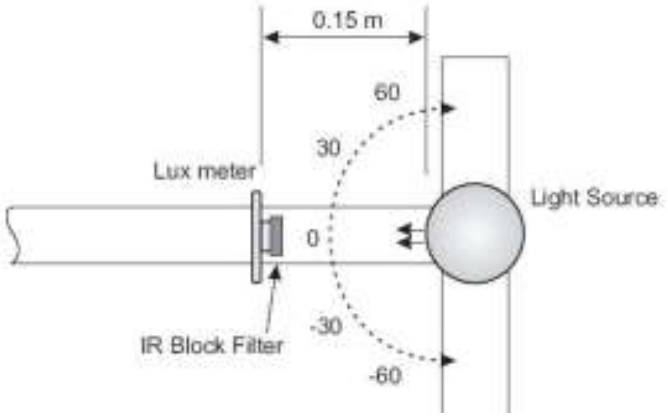
Distance r(m)	Distance r^2	$1/r^2$		Illuminance Ev(lux)	
0.5					
0.45					
0.4					
0.35					

0.3					
0.25					
0.2					
0.15					

پس از تکمیل جدول

منحنی تغییرات $\log_{10} E_v$ نسبت به $\log_{10} r$ رسم نموده و ضریب زاویه این منحنی را به دست آورید و از روی این شیب قانون عکس مجذور فاصله را در این آزمایش مورد بررسی قرار دهید.

آزمایش شماره 2 :قانون کسینوس



۱- لوکس متر را در فاصله $150mm$ از منبع نور قرار دهید

۲- توجه داشته باشید که لوکس متر و منبع نور در مقابل هم باشند. $\theta = 0$

۳- مقدار عددی که لوکس متر در نرم افزار نشان می دهد را صفر کنید.

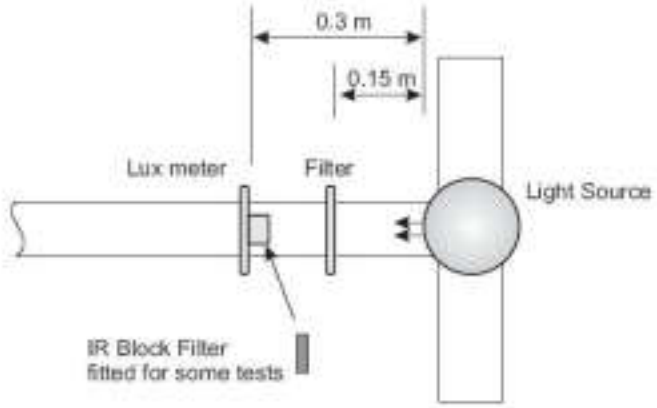
۴- منبع نور را در توان مشخصی قرار دهید.

۵- منبع نور را در هر 10 درجه تغییر دهید و مقدار عدد لوکس متر را بخوانید و در جدول زیر ثبت نمایید.

Angle Θ	CosineΘ	$Cosine^2$ Θ	Illuminance E_v (lux)	Predicted illuminance E_2
-70				
-60				
-50				
-40				
-30				
-20				
-10				
0				
10				
20				
30				
40				
50				

60				
70				

آزمایش شماره 3 :انتقال نور *Transmittence*



1.لوکس متر را در فاصله *300mm* از منبع نور قرار دهید.
2.نگهدارنده صفحات رنگی (فیلتر) را در فاصله *150mm* از منبع نور قرار دهید. (هیچ صفحه یا فیلتری روی آن نگذارید).
3.زاویه لوکس متر و منبع نور نسبت به هم صفر باشد.
4.مقدار عدد لوکس متر را صفر کنید.
5.منبع نور را روشن کرده و روی توان مشخصی قرار دهید و صبر کنید تا لوکس متر عدد ثابتی را نشان دهد.
6.فیلترهای مختلف را قرار داده و مقدار عدد لوکس متر را قرائت کنید.

آزمایش ۴:

قانون جذب لامبورت *(Lambert's law of absorption)*

هدف از انجام آزمایش, تعیین ضریب جذب فیلترهای مختلف می باشد.

نحوه انجام آزمایش

پایه فیلتر را در فاصله $x = 100mm$ و نورسنج را در فاصله $y=200mm$ از منبع نور تثبیت نمایید. پس از تنظیم دستگاه مقدار شدت نور منبع بدون فیلتر ($I0$)را اندازه گرفته و سپس فیلترها را روی پایه فیلتر قرار داده و شدت نور عبور کرده از فیلتر (I)را اندازه بگیرید. آزمایش را برای همه فیلترها تکرار نموده و جدول شماره ۴ را تکمیل نمائید و سپس با قرار دادن مقادیر به دست آمده در رابطه لامبرت, ضریب جذب هر یک از فیلترها را محاسبه نمائید. ضخامت هر یک از فیلترها *3mm* می باشد. با قرار دادن مرحله به مرحله فیلترهای با ضخامت 3, 6و 9 میلیمتر از یک رنگ, روی پایه فیلتر, اثر ضخامت را بررسی نموده و جدول ۵ را تکمیل نمایید.

در اینجا هم می توان نور سنج را نسبت به منبع نور زاویه داد و آزمایش ها را تکرار نمود. ضخامت فیلترها ۳ م م است.

جدول ۴:

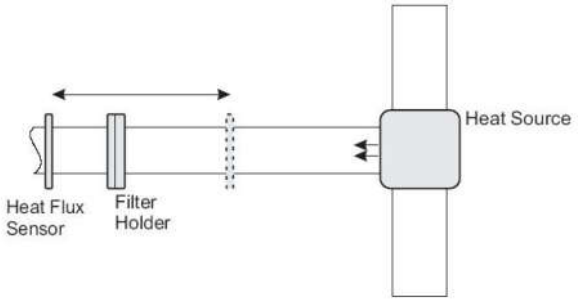
نوع فیلتر	بدون فیلتر	روشن	متوسط	تیره
داه های نور سنج				
ضریب جذب α				

جدول ۵:

ضخامت فیلتر (mm)	0	3	6	9

آزمایش های حرارت :

1-آزمایش عکس مجذور فاصله:



1.رادیومتر را در دورترین نقطه از منبع گرم (نزدیک منبع نور) قرار دهید.

2.مقدار عدد رادیومتر را صفر کنید.

3.یکی از صفحه های فیلتر حرارتی را (سیاه) روی پایه خود بین منبع گرم و سنسور رادیومتر قرار دهید تا از تشعشع حرارت به رادیومتر جلوگیری کنید.

4.رادیومتر را روی توان معین بالای(۵۰٪) قرار دهید تا دمای سطح هیتر بالا برود.

5.صبر کنید تا دمای سطح هیتر ثابت شود.

6.صفحه فیلتر را بردارید و رادیومتر را در فاصله حدود *500mm* از منبع گرم قرار دهید و مقدار تشعشع تابیده شده را بخوانید و ثبت کنید.

7.مجددا رادیومتر را به دورترین نقطه ببرید تا مقدار عدد آن صفر شود و بعد آن را به فاصله *450mm* از منبع گرم قرار دهید .این روند تا فاصله *150mm* از منبع حرارت ادامه دهید.

8.جدول زیر را کامل کنید.

Heater temperature					
distance r(m)	distance (r^2)	$1/r^2$	log_{10}^{r}	Peak irradiance E_e (w/m^2)	log_{10}^{Ee}
0.5					
0.45					
0.4					
0.35					
0.3					
0.25					
0.2					
0.14					

۲- آزمایش استفان بولتزمن:

هدف: بررسی قانون استفان - بولتزمن که بیانگر این نکته است که تشعشع حرارتی با توان چهارم درجه حرارت سطح تشعشع کننده متناسب می باشد و برای جسم سیاه به صورت زیر ارائه شده است.

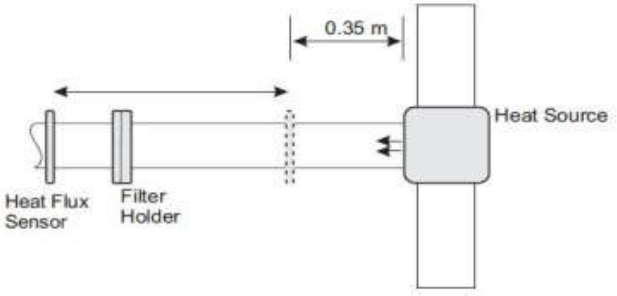
$$E_b = \sigma(T_s^4 - T_{sur}^4)$$

E_b شار تابش منتشر شده از جسم سیاه (بر حسب w/m^2) که توسط تشعشع سنج اندازه گرفته شده و نمایشگر رادیومتر آن را نشان می دهد.

σ ثابت استفان بولتزمن که مقدار ان $5.67 * 10^{(-8)}$

Ts دمای سطح داغ شده بر حسب کلوین

Tsur دمای محیط اطراف رادیو متر بر حسب کلوین



1.رادیومتر را در دورترین نقطه از منبع گرم (نزدیک منبع نور) قرار دهید.

2.مقدار عدد رادیومتر را صفر کنید.

3.یکی از صفحه های فیلتر حرارتی را (سیاه) روی پایه خود بین منبع گرم و سنسور رادیومتر قرار دهید تا از تشعشع حرارت به رادیومتر جلوگیری کنید.

4.رادیومتر را روی توان معین حدود 10درصد قرار دهید تا دما سطح هیتر به حدود 40درجه برسد.

5.صفحه فیلتر را بردارید و رادیومتر را در فاصله حدود *100mm* از منبع گرم قرار دهید و صبر کنید تا مقدار تشعشع تابیده شده به حداکثر برسد سپس آن را بخوانید و ثبت کنید.

6. رادیومتر را مجددا به مکان اول خود بازگردانید تا مقدار تشعشع تابیده شده مجددا صفر شود.توان مصرفی هیتر را بیشتر کنید تا دمای سطح هیتر به حدود 60درجه برسد.

7.رادیومتر را باز در فاصله 100میلی متری از منبع نور قرار دهیدو پس از ثابت شدن مقدار عدد رادیومتر آن را ثبت کنید.

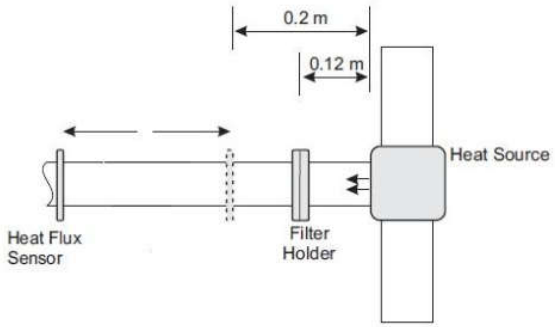
8.روند فوق را به ازای افزایش هر 20درجه سانتی گراد دمای سطح هیتر ادامه دهید تا به دمای ۱۴۰ برسید.

9.جدول زیر را کامل کنید.

Heat source temperature $^{\circ}c$	Heat source temperature T(k)	T^4	Peak irradiance E_e w/m^2

3-آزمایش قانون کیرشهف:

هدف: مشاهده این که در یک جسم سیاه خوب ضریب نشر و ضریب جذب با هم برابر هستند.



۱- رادیومتر را در دورترین نقطه از منبع گرم (نزدیک منبع نور) قرار دهید.

۲- پایه نگه دارنده فیلتر (صفحات رنگی فلزی) را بین منبع گرما و رادیومتر در فاصله 120میلی متری قرار دهید.

۳- مقدار عدد رادیومتر را صفر کنید تا اثرات تشعشع محیط بر روی سنسور را از بین ببرید.

۴- توان مصرفی هیتر منبع گرم را به حدود 50درصد برسانید تا دمای سطح هیتر به حدود ۴۰ درجه برسد.

۵- منتظر بمانید تا دمای سطح هیتر ثابت و پایدار شود.

۶- رادیومتر را در فاصله 200میلی متری از منبع گرم قرار دهید و منتظر بمانید تا مقدار آن ثابت شود. آن را یادداشت کنید.

۷- فیلتر دو طرف سیاه را روی پایه فیلتر قرار دهید و صبر کنید تا دمای آن به حداکثر برسد. این مقدار را ثبت کنید.

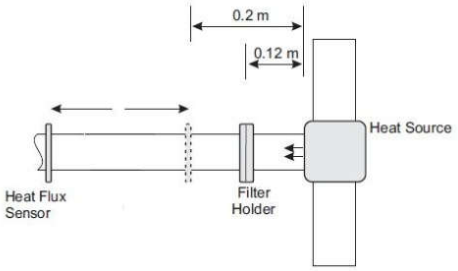
۸- در این حالت مقدار عدد نشان داده شده توسط رادیومتر را نیز ثبت کنید. مقدار عددی که رادیومتر نشان می دهد در واقع مقدار حرارت گذرنده از صفحه است.

۹- روند آزمایش فوق را برای فیلتر دو طرف روشن و همچنین فیلتر روشن –سیاه تکرار کنید و نتایج حاصل از آزمایش را در جدول زیر ثبت کنید.

	Heat Source Temperature T_1				
	No Plate	Black- back A	Shiny-shiny B	Black-shiny C	Shiny-black D
Plate Temperature $T_2(^\circ c)$					
Heat Flux Sensor Peak Reading					

4-آزمایش فاکتور سطح:

هدف: نمایش و مشاهده این که مقدار تشعشع اندازه گیری شده رابطه مستقیمی با سطح مقطع منبع گرما دارد.



۱- رادیومتر را در دورترین نقطه از منبع گرم (نزدیک منبع نور) قرار دهید.

۲- پایه نگه دارنده فیلتر (صفحات رنگی فلزی) را بین منبع گرما و رادیومتر در فاصله 120 میلی متری قرار دهید.

۳- مقدار عدد رادیومتر را صفر کنید تا اثرات تشعشع محیط بر روی سنسور را از بین ببرید.

۴- توان مصرفی هیتر منبع گرم را به حدود 50درصد برسانید تا دمای سطح هیتر به حدود ۱۴۰ درجه برسد

۵- منتظر بمانید تا دمای سطح هیتر ثابت و پایدار شود.

۶- رادیومتر را در فاصله 200میلی متری از منبع گرم قرار دهید و منتظر بمانید تا مقدار آن ثابت شود. آن را یادداشت کنید.

۷- فیلتر روزنه با قطر $5mm$را روی پایه فیلتر قرار دهید و مجددا مقدار گرمای رادیومتر را پس از رسیدن به ثبات ثبت کنید.

۸- رادیومتر را به دور ترین نقطه از منبع گرم قرار دهید تا مقدار گرمای آن صفر شود و با قرار دادن روزنه ها با قطر های دیگر آزمایش را تکرار کنید.

۹- جدول زیر را کامل کنید.

Irradiance without aperture E_{e1}:

Heat Source Temperature ($^{\circ}$c) :

Aperture Diameter (mm)	Aperture Area (mm^2)	Irradiance ($w.m^{-2}$)	Ee_2/Ee_1
15			
30			
45			

دستور کار

آزمایش مبدل حرارتی پوسته و لوله

فهرست مطالب:

۱ هدف
۲ مقدمه
۳ تئوری
۳-۱ تحلیل مبدل گرمایی با استفاده از روش اختلاف دمای میانگین لگاریتمی (LMTD)
۴ شرح دستگاه
۵ شرح آزمایش
۵-۱ جریان همسو
۵-۲ جریان مخالف

۱) هدف

الف- محاسبه مقدار حرارت منتقل شده، درجه حرارت لگاریتمی و ضریب انتقال حرارت کلی

ب- محاسبه ضریب انتقال حرارت خارجی و داخلی لوله با توجه به سرعت جریان روی این دو ضریب

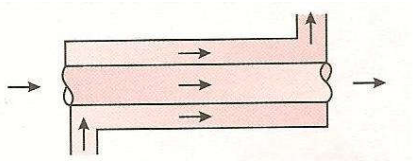
ج- مقایسه جریان هم جهت و جریان غیر هم جهت در یک مبدل حرارتی

د- بررسی رابطه بین عدد ناسلت و عدد رینولدز و عدد پرانتل

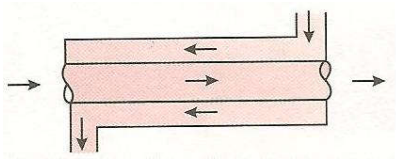
۲) مقدمه

فرآیند تبادل گرما بین دو سیال با دماهای متفاوت که توسط دیواره‌ی جامدی از هم جدا شده‌اند در بسیاری از کاربردهای مهندسی روی می‌دهد. وسیله‌ای که برای این تبادل به کار می‌رود را مبدل گرمایی[1] می‌گویند. موارد کاربرد مبدل‌ها را می‌توان در سیستم گرمایش ساختمان‌ها، تهویه مطبوع، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و ... مشاهده کرد. مبدل‌های گرمایی بر حسب آرایش جریان و نوع ساخت رده‌بندی می‌شوند. ساده‌ترین مبدل گرمایی مبدلی است که در آن سیال‌های گرم و سرد در جهت‌های یکسان و یا مخالف در یک ساختار لوله‌ای هم‌مرکز (دولوله‌ای) حرکت می‌کنند. در آرایش جریان همسو (شکل ۱-الف) سیالات سرد و گرم از یک انتهای یکسان وارد می‌شوند، در یک جهت جریان می‌یابند، و از انتهای یکسان خارج می‌شوند. در آرایش جریان مخالف (شکل ۱-ب) سیالات از دو سر متقابل وارد می‌شوند، در جهت‌های مخالف جریان می‌یابند، و از دو سر متقابل دیگر خارج می‌شوند.

[1] Heat Exchanger



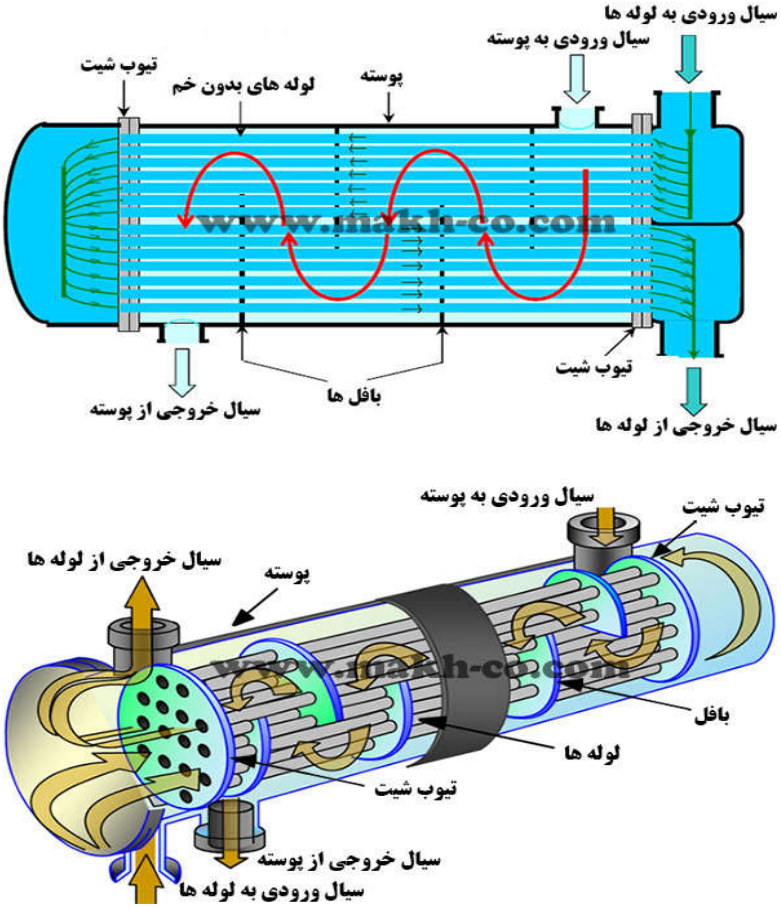
شکل ۱-الف- مبدل جریان همسو



شکل ۱-ب- مبدل جریان مخالف

همچنین ممکن است سیالات دارای جریان عرضی (عمود بر هم یا متقاطع) نیز باشند. این نوع مبدل‌ها می‌توانند پره‌دار و یا بدون پره باشند و سیال خارجی می‌تواند مخلوط شده و یا مخلوط نشده باشد.

نوع متداول دیگر از مبدل‌ها، مبدل گرمایی پوسته و لوله‌ای است که بر حسب تعداد پاس‌های پوسته و لوله دسته‌بندی می‌شوند. ساده‌ترین این نوع مبدل‌ها دارای یک پاس پوسته و یک پاس لوله است. (شکل ۲)



شکل ۲- مبدل پوسته-لوله با یک پاس پوسته و یک پاس لوله

معمولا بافل‌ها (دیوارک‌ها) جهت ایجاد تلاطم و ایجاد مولفه سرعت عرضی در سمت پوسته نصب می‌شوند تا ضریب جابه‌جایی سیال در سمت پوسته افزایش یابد. بافل‌ها سبب کاهش رسوب گرفتگی و همچنین

افزایش افت فشار در جریان سیال درون پوسته می‌شوند. برای انتخاب این موضوع که کدام سیال درون پوسته و کدام یک درون لوله جریان داشته باشد، بایستی موارد زیر را مد نظر قرار داد:

الف- معمولا سیالی که دارای دما و فشار بیشتری است درون لوله جریان می‌یابد.

ب- سیالی که خورنده است درون لوله جریان می یابد، زیرا هم لوله ارزان‌تر است و هم به راحتی قابل تعویض و تمیز کردن است.

ج- سیال رسوب‌زا و کثیف نیز بنا به دلایل فوق در لوله جریان می‌یابد.

د- سیال با ضریب جابه‌جایی کم (مثل گاز در برابر مایع) درون پوسته جریان می‌یابد، زیرا سطح پوسته از لوله بیشتر است و از طرف دیگر می‌توان با قراردادن بافل‌ها و افزایش آشفتگی h سمت پوسته را افزایش داد.

پس از مدتی کارکرد، سطوح انتقال حرارت مبدل حرارتی ممکن است با رسوبات مختلف موجود در جریان پوشیده شوند و یا در نتیجه تأثیر متقابل میان سیالات و مواد مورد استفاده در ساخت مبدل حرارتی، سطوح انتقال حرارت دچار خوردگی و زنگ زدگی گردند. در هر حال، این پوشش، مقاومت اضافی در مقابل جریان حرارت ایجاد می کند. و از کارآیی مبدل می‌کاهد. اثر کمی این پدیده معمولا با ضرایب رسوب‌گیری یا مقاومت رسوب بیان می‌شود که بایستی همراه با سایر مقاومت‌های حرارتی در تعیین ضریب کمی انتقال حرارت به حساب آید. اگر ضریب کمی انتقال حرارت را در حالت تمیز با U_c و در حالت کثیفی با U_D نمایش دهیم آنگاه رابطه آنها با مقاومت کثیفی[۲] R_f به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$R_f = \frac{1}{U_D} - \frac{1}{U_C}$$

۳- تئوری

مرحله اصلی در تحلیل مبدل گرمایی تعیین ضریب کلی انتقال گرما است که بر حسب مقاومت گرمایی کل بین دو سیال تعریف می‌شود. اگر سطوح مبدل تمیز فرض شود داریم:

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_c A_c} = \frac{1}{U_h A_h} = \frac{1}{(hA)_c} + \frac{\ln(\frac{r_o}{r_i})}{2\pi kL} + \frac{1}{(hA)_h}$$

[2] Fouling Resistance

در این رابطه c و h به ترتیب سیالات سرد و گرم را نشان می‌دهند. اگر قطر خارجی و قطر داخلی لوله نزدیک به هم باشند و یا مقدار ضریب هدایت گوشت لوله بزرگ باشد، می‌توان از جمله‌ی مربوط به هدایت صرف نظر کرد. با در نظر گرفتن اثر رسوب گذاری در دو سمت سرد و گرم رابطه فوق به شکل زیر اصلاح می شود

$$\frac{1}{UA}=\frac{1}{(\eta_o hA)_c}+\frac{R'_{f,c}}{(\eta_o A)_c}+R_w+\frac{R'_{f,h}}{(\eta_o A)_h}+\frac{1}{(\eta_o hA)_h}$$

۳-۱- تحلیل مبدل گرمایی با استفاده از روش اختلاف دمای میانگین لگاریتمی[۳] (LMTD)

برای طراحی یا پیش بینی عملکرد مبدل گرمایی باید رابطه آهنگ کل انتقال گرما را با کمیت‌هایی مانند دماهای ورودی و خروجی سیالات، ضریب کل انتقال گرما و مساحت سطح کل انتقال گرما پیدا کرد. میزان گرمای از دست رفته‌ی سیال گرم و میزان گرمای جذب شده‌ی سیال سرد با فرض ثابت ماندن گرماهای ویژه عبارتند از:

$$q=\dot{m}_h\, c_{p,h}\,(T_{h,i}-T_{h,o})$$

$$q=\dot{m}_c\, c_{p,c}\,(T_{c,o}-T_{c,i})$$

دماهای استفاده شده در این رابطه‌ها، دماهای متوسط سیال در ورودی و خروجی مبدل هستند. از طرف دیگر میزان انتقال گرمای موضعی در هر مقطع از مبدل وابسته به اختلاف دمای موضعی سیال سرد و گرم دارد. از این رو می‌توان انتقال حرارت کلی را به صورت زیر بیان کرد:

$$q=U\,A\,\Delta T_{LMTD}$$

که در آن ΔT_m اختلاف دمای متوسط لگاریتمی مربوطه است که به صورت زیر بیان می‌شود.

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

[3] Logarithmic Mean Temperature Difference

ΔT_1 و ΔT_2 برای جریان هم جهت و جریان مخالف به صورت زیر بدست می‌آید.

جریان هم جهت:
$$\Delta T_2 = T_{H_o} - T_{C_o}$$
$$\Delta T_1 = T_{H_i} - T_{C_i}$$

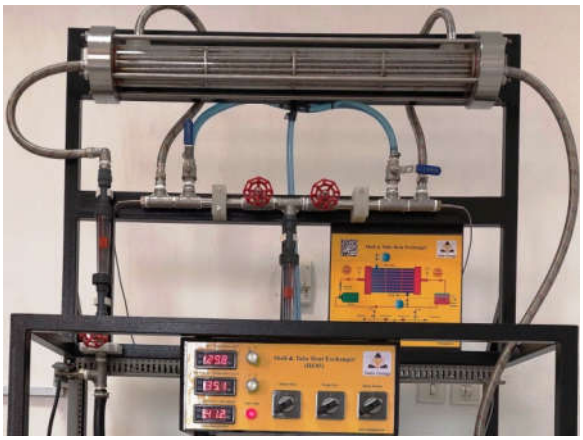
جریان مخالف :
$$\Delta T_2 = T_{H_o} - T_{C_i}$$
$$\Delta T_1 = T_{H_i} - T_{C_o}$$

اگرچه شرایط کارکرد در مبدل‌های گرمایی با چند پاس و با جریان عرضی پیچیده‌تر است، لیکن می‌توان برای این مبدل‌ها از ضریب تصحیح استفاده کرد و اختلاف دمای میانگین لگاریتمی را به صورت زیر نوشت:

$$\Delta T_{lm} = F \ \Delta T_{lm,CF}$$

در این رابطه F ضریب تصحیح است که از نمودارهای موجود در منابع خوانده می‌شود و $\Delta T_{lm,CF}$ اختلاف دمای میانگین لگاریتمی با فرض در نظر گرفتن مبدل جریان مخالف با دماهای معادل است.

۴- شرح دستگاه



شکل ۱: دستگاه ازمایش مبدل پوسته و لوله

اجزاء دستگاه عبارتند از:

- واحد آب گرم شامل یک مخزن و یک گرمکن الکتریکی با قدرت ۲/۵ کیلووات که آب را تا دمای مورد نظر گرم می‌کند. برای کنترل درجه حرارت آب گرم ورودی $T_1 = T_{setpo\,\mathrm{int}}$ از یک ترموستات استفاده می‌شود. دمای آب گرم ورودی را می‌توان توسط صفحه نمایشگر تنظیم کرد. مخزن بایستی با آب مقطر پر شود تا از رسوب‌گرفتگی لوله‌ها جلوگیری شود.

- یک عدد پمپ که آب گرم را در سیستم به گردش درمی‌آورد.

- آب سرد مورد نیاز آزمایش از آب لوله‌کشی تامین می‌گردد.

- مبدل حرارتی شامل یک پوسته و ۳۰ لوله از جنس استیل است. قطر داخلی لوله ۴ میلی‌متر و قطر خارجی آن ۶ میلی‌متر و طول آن cm۷۲ است. قطر داخلی پوسته ۷۴ میلی‌متر و قطر خارجی آن ۸۰ میلی‌متر است.

- ۴ عدد شیر که به کمک آنها می‌توان حالت‌های جریان همسو و جریان مخالف را در مبدل ایجاد کرد.

- ۵ عدد سنسور دما جهت اندازه‌گیری دماهای ورودی و خروجی سیال سرد و گرم و دمای تانک.

- ۲ عدد روتامتر به همراه شیرهای مربوط جهت تنظیم دبی آب گرم و سرد

شرح آزمایش

آزمایش برای دو حالت جریان موازی و جریان مخالف انجام می‌شود.

توجه: قبل از انجام هر آزمایش و توسط پیچ تعبیه شده روی پمپ عمل هواگیری را انجام دهید.

۵-۱- جریان همسو

۱- مبدل را بصورت جریان همسو متصل نمایید.

۲- مخزن آب گرم بایستی در حد کافی آب داشته باشد. دستگاه را روشن کرده و چک کنید که چراغ سیگنال روشن شود.

۳- دبی آب گرم و سرد را روی ۶ لیتر بر دقیقه (360 litr/hr) تنظیم کرده و درجه حرارت آب گرم ورودی ($T_1 = T_{setpo\,\mathrm{int}}$) را روی ۴۵ درجه سلسیوس تنظیم کنید.

۴- صبر کنید تا سیستم به حالت ثابت دمائی برسد و سپس جدول نمونه را پر کنید، میانگین درجه حرارت آب گرم ورودی و خروجی را محاسبه کنید.

۵- دبی آب گرم را به ۷ لیتر بر دقیقه (400 itr/hr)افزایش داده و دبی آب سرد را ۶ لیتر بر دقیقه (360 litr/hr) نگه دارید، صبر کنید تا سیستم به حالت ثابت دمائی برسد و سپس پارامترهای لازم را در جدول یاداشت نمائید.

۶- دبی آب سرد را به ۷ لیتر بر دقیقه (400 litr/hr) افزایش داده و دبی آب گرم را ۶ لیتر بر دقیقه (360 litr/hr نگه دارید، صبر کنید تا سیستم به حالت ثابت دمائی برسد و سپس پارامترهای لازم را در جدول یاداشت نمایید.

نکات ایمنی

- ✓ برای جلوگیری از آسیب دیدگی اجزای دستگاه در آزمایش از set point بیشتر از ۹۰ درجه استفاده نکنید.
- ✓ مخزن بایستی با آب مقطر پر شود تا از رسوب‌گرفتگی لوله‌ها جلوگیری شود.
- ✓ قبل از خاموش کردن دستگاه پمپ را خاموش کنید.
- ✓ هیتر را بدون وجود آب روشن نکنید.

جریان داخل مبدل پوسته و لوله

جدول ۱- آزمایش جریان همسو ($T_{setpoint}$=45)

	دبی حجمی آب گرم 360 litr/hr دبی حجمی آب سرد 360 litr/h	دبی حجمی آب گرم 420 litr/hr دبی حجمی آب سرد 360 litr/h	دبی حجمی آب گرم 360 litr/hr دبی حجمی آب سرد 420 litr/hr
درجه حرارت آب گرم ورودی			
درجه حرارت آب گرم خروجی			
درجه حرارت آب سرد ورودی			
درجه حرارت آب سرد خروجی			
دبی جرمی آب گرم			
دبی جرمی آب سرد			
درجه حرارت متوسط لگاریتمی			
گرمای ویژه آب در دمای متوسط			
میزان گرمای از دست رفته آب گرم $q = \dot{m}_h \, c_{p,h} \, (T_{h,i} - T_{h,o})$			
میزان گرمای به دست آمده آب سرد $q = \dot{m}_h \, c_{p,h} \, (T_{h,i} - T_{h,o})$			
ضریب انتقال کلی متوسط حرارت U			

- آیا میتوانید مقادیر تقریبی ضریب انتقال حرارت جابجایی داخل لوله ها و روی آن را با فرض استفاده از مدار مقاومت حرارتی بدست آورید؟

۵-۲- جریان مخالف

آزمایش ۵-۱ را برای حالتی که مبدل به صورت جریان مخالف بسته شده است تکرار کنید.

جدول ۱- آزمایش جریان مخالف ($T_{setpoint}$=45)

	دبی حجمی آب گرم 360 litr/hr دبی حجمی آب سرد 360 litr/h	دبی حجمی آب گرم 420 litr/hr دبی حجمی آب سرد 360 litr/h	دبی حجمی آب گرم 360 litr/hr دبی حجمی آب سرد 420 litr/hr
درجه حرارت آب گرم ورودی			
درجه حرارت آب گرم خروجی			
درجه حرارت آب سرد ورودی			
درجه حرارت آب سرد خروجی			
دبی جرمی آب گرم			
دبی جرمی آب سرد			
درجه حرارت متوسط لگاریتمی			
گرمای ویژه آب در دمای متوسط			
میزان گرمای از دست رفته آب گرم $q = \dot{m}_h \, c_{p,h} \, (T_{h,i} - T_{h,o})$			
میزان گرمای به دست آمده آب سرد $q = \dot{m}_h \, c_{p,h} \, (T_{h,i} - T_{h,o})$			
ضریب انتقال کلی متوسط حرارت U			

دستور کار

آزمایش مبدل صفحه ای

فهرست مطالب:

۱ هدف
۲ مقدمه
۳ تئوری
۳-۱ تحلیل مبدل گرمایی با استفاده از روش اختلاف دمای میانگین لگاریتمی (LMTD)
۴ *شرح دستگاه*
۵ شرح آزمایش
۵-۱ جریان همسو
۵-۲ جریان نا همسو

۱- هدف

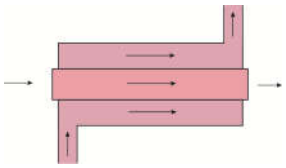
الف- محاسبه مقدار حرارت منتقل شده، درجه حرارت لگاریتمی و ضریب انتقال حرارت کلی

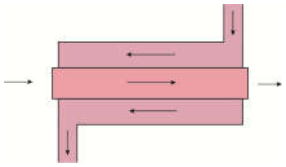
ب- مقایسه جریان همسو و جریان ناهمسو در یک مبدل حرارتی

ج- بررسی رابطه بین عدد ناسلت و عدد رینولدز و عدد پرانتل

۲- مقدمه

فرآیند تبادل گرما بین دو سیال با دماهای متفاوت که توسط دیواره‌ی جامدی از هم جدا شده‌اند در بسیاری از کاربردهای مهندسی روی می‌دهد. وسیله‌ای که برای این تبادل به کار می‌رود را مبدل گرمایی[۴] می‌گویند. موارد کاربرد مبدل‌ها را می‌توان در سیستم گرمایش ساختمان‌ها، تهویه مطبوع، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و ... مشاهده کرد. مبدل‌های گرمایی بر حسب آرایش جریان و نوع ساخت رده‌بندی می‌شوند. ساده‌ترین مبدل گرمایی مبدلی است که در آن سیال‌های گرم و سرد در جهت‌های یکسان و یا نا همسو در یک ساختار لوله‌ای هم‌مرکز (دولوله‌ای) حرکت می‌کنند. در آرایش جریان همسو (شکل ۱-الف) سیالات سرد و گرم از یک انتهای یکسان وارد می‌شوند، در یک جهت جریان می‌یابند، و از انتهای یکسان خارج می‌شوند. در آرایش جریان نا همسو (شکل ۱-ب) سیالات از دو سر متقابل وارد می‌شوند، در جهت‌های نا همسو جریان می‌یابند، و از دو سر متقابل دیگر خارج می‌شوند.





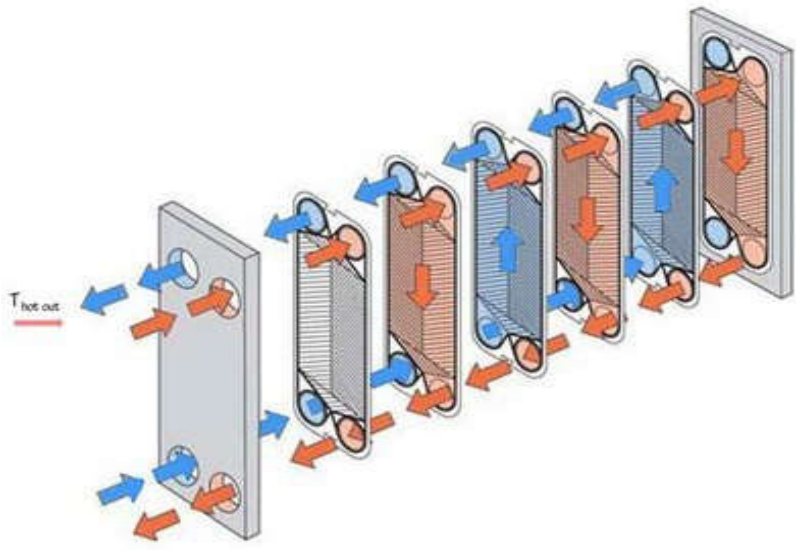
[4] Heat Exchanger

شکل ۱-الف- مبدل جریان همسو شکل ۱-ب- مبدل جریان نا همسو

همچنین ممکن است سیالات دارای جریان عرضی (عمود بر هم یا متقاطع) نیز باشند. این نوع مبدل‌ها می‌توانند پره‌دار و یا بدون پره باشند و سیال خارجی می‌تواند مخلوط شده و یا مخلوط نشده باشد.

مبدل حرارتی صفحه‌ای از صفحات پروفیل شده، با جریان آب میان فضاهای آنها ساخته شده است. صفحات به گونه‌ای به یکدیگر جوش داده شده‌اند که دو کانال جداگانه جریان تشکیل شود، که یک کانال جریان، «سرد» و بعدی «گرم» است و به صورت تناوبی قرار گرفته‌اند. آب گرم و سرد جریان مداوم دارند و بخشی از انرژی حرارتی آب گرم به آب سرد منتقل می‌شود.

خصیصه اصلی مبدل حرارتی صفحه‌ای، طراحی فشرده آن است، به گونه‌ای که حداکثر میزان سطح حرارتی که عامل اصلی در عملکرد حرارتی یک مبدل می‌باشد در کمترین حجم تامین گردیده است. به منظور استفاده بهینه، تمام مواد، با قابلیت انتقال حرارت، ساخته شده‌اند. پروفیل‌های پرس شده بر روی صفحات، کانال‌های جریان تنگ ایجاد می‌کنند، به طوری که تلاطمات عمده‌ای رخ دهد. جریان متلاطم باعث انتقال حرارت موثر می‌شود و حتی با نرخ جریان پایین، خاصیت خود پاک‌کنندگی دارد. مبدل‌های صفحه‌ای در صنایع غذایی، یخچالها و... استفاده می‌شود.



شکل ۲: مبدل صفحه‌ای

۱- تئوری

مرحله اصلی در تحلیل مبدل گرمایی تعیین ضریب کلی انتقال گرما است که بر حسب مقاومت گرمایی کل بین دو سیال تعریف می‌شود. اگر سطوح مبدل تمیز فرض شود داریم:

$$\frac{1}{UA}=\frac{1}{U_c A_c}=\frac{1}{U_h A_h}=\frac{1}{(hA)_c}+\frac{\ln(\frac{r_o}{r_i})}{2\pi kL}+\frac{1}{(hA)_h}$$

در این رابطه c و h به ترتیب سیالات سرد و گرم را نشان می‌دهند. اگر قطر خارجی و قطر داخلی لوله نزدیک به هم باشند و یا مقدار ضریب هدایت گوشت لوله بزرگ باشد، می‌توان از جمله‌ی مربوط به هدایت صرف نظر کرد.

۳-۱- تحلیل مبدل گرمایی با استفاده از روش اختلاف دمای میانگین لگاریتمی[5] (LMTD)

برای طراحی یا پیش بینی عملکرد مبدل گرمایی باید رابطه آهنگ کل انتقال گرما را با کمیت‌هایی مانند دماهای ورودی و خروجی سیالات، ضریب کل انتقال گرما و مساحت سطح کل انتقال گرما پیدا کرد. میزان گرمای از دست رفته‌ی سیال گرم و میزان گرمای جذب شده‌ی سیال سرد با فرض ثابت ماندن گرماهای ویژه عبارتند از:

$$q=\dot{m}_h\, c_{p,h}\,(T_{h,i}-T_{h,o})$$

$$q=\dot{m}_c\, c_{p,c}\,(T_{c,o}-T_{c,i})$$

دماهای استفاده شده در این رابطه‌ها، دماهای متوسط سیال در ورودی و خروجی مبدل هستند. از طرف دیگر میزان انتقال گرمای موضعی در هر مقطع از مبدل وابسته به اختلاف دمای موضعی سیال سرد و گرم دارد. از این رو می‌توان انتقال حرارت کلی را به صورت زیر بیان کرد:

$$q=U\,A\,\Delta T_{lm}$$

که در آن ΔT_m اختلاف دمای میانگین مربوطه است. با توجه به اینکه پروفیل تغییرات دمای سیال سرد و گرم (شکل‌های ۳-الف و ۳-ب) میزان اختلاف دمای میانگین لگاریتمی را به صورت زیر بیان کرد.

$$\Delta T_{lm}=\frac{\Delta T_2-\Delta T_1}{\ln(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1})}$$

[5] Logarithmic Mean Temperature Difference

ΔT_1 و ΔT_2 برای جریان هم جهت و جریان مخالف به صورت زیر بدست می‌آید.

جریان هم جهت:

$$\Delta T_2 = T_{H_o} - T_{C_o}$$

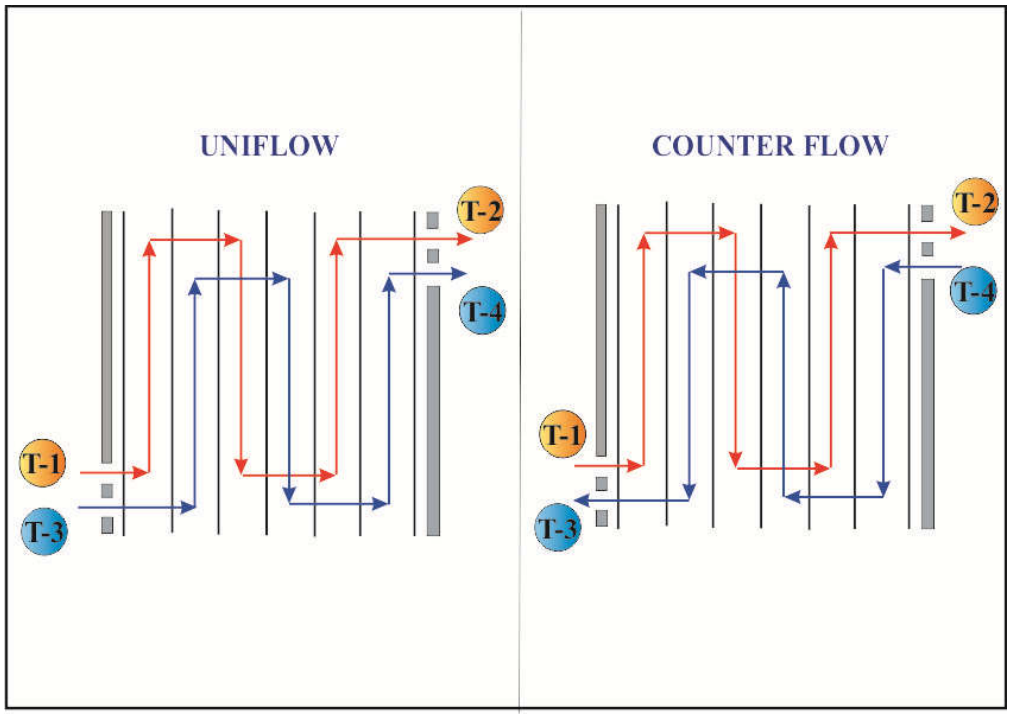
$$\Delta T_1 = T_{H_i} - T_{C_i}$$

جریان مخالف :

$$\Delta T_2 = T_{H_o} - T_{C_i}$$

$$\Delta T_1 = T_{H_i} - T_{C_o}$$

سطح تبادل گرما در مبدل آزمایش ما۰/۳۴=A متر مربع می باشد.



شکل ۳: جریان هم جهت و جریان مخالف

اگرچه شرایط کارکرد در مبدل‌های گرمایی با چند پاس و با جریان عرضی پیچیده‌تر است، لیکن می‌توان برای این مبدل‌ها از ضریب تصحیح استفاده کرد و اختلاف دمای میانگین لگاریتمی را به صورت زیر نوشت:

$$\Delta T_{lm} = F\ \Delta T_{lm,CF}$$

در این رابطه F ضریب تصحیح است که از نمودارهای موجود در منابع خوانده می‌شود و $\Delta T_{lm,CF}$ اختلاف دمای میانگین لگاریتمی با فرض در نظر گرفتن مبدل جریان نا همسو با دماهای معادل است.

۴- شرح دستگاه

الف- واحد آب گرم شامل یک مخزن به حجم ۱۸۰۰ cm^3 و یک گرمکن الکتریکی با قدرت ۲/۵ کیلووات که آب را تا دمای مورد نظر گرم می‌کند. برای کنترل درجه حرارت آب گرم ورودی $T_1 = T_{setpoint}$ از یک ترموستات استفاده می‌شود. دمای آب گرم ورودی را می‌توان توسط صفحه نمایشگر تنظیم کرد.. زیر مخزن یک شیر برای تخلیه آب تعبیه شده است. سطح اب در مخزن باید حداقل ۵ س م بالاتر از محل قرار گرفتن ترموکوپل باشد.

ب- یک عدد پمپ که آب گرم را در سیستم به گردش درمی‌آورد.

ج- آب سرد مورد نیاز آزمایش از آب لوله‌کشی تامین می‌گردد.

د- مبدل حرارتی از جنس استیل است .

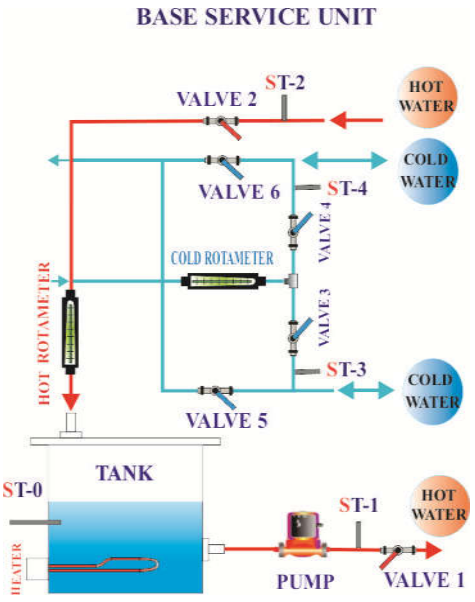
و- ۴ عدد شیر آب سرد که به کمک آنها می‌توان حالت‌های جریان همسو و جریان نا همسو را در مبدل ایجاد کرد و ۲ عدد شیر ورودی و خروجی آب گرم.

ز- سنسورهای دما که از نوع PT100 جومو آلمان بوده و قابلیت اندازه گیری دما از 50- درجه 400درجه سانتی گراد را دارد. در این دستگاه از ۵ سنسور دما استفاده شده است که دماهای ورود و خروج آب سرد و گرم و دمای مخزن را اندازه گیری کرده و با اتصال به نمایشگر این دما ها توسط نمایشگرها نمایش داده می شوند.

ح- ۲ عدد روتامتر جهت تنظیم دبی آب گرم و سرد. دامنه اندازه گیری روتامترها بین ۴۰-۴۰۰ لیتر در ساعت می باشد.

۵- شرح آزمایش

آزمایش برای دو حالت جریان موازی و جریان ناهمسو انجام می‌شود.



شکل ۴- شماتیک ماژول اصلی

برای ایجاد جریان همسو، شیرهای ۳ و ۶ را باز کرده و شیرهای ۴ و ۵ را می‌بندیم. برای ایجاد جریان ناهمسو باید عکس این عمل را انجام داد، یعنی شیرهای ۳ و ۶ را بسته و شیرهای ۴ و ۵ را باز کنیم.

شیر ۱ برای ورود جریان آب گرم و شیر ۲ برای خروج آن است، بهتر است از شیر ۲ جهت کنترل نبض جریان آب گرم استفاده کرد.

۵-۱- جریان همسو

۱- مبدل را بصورت جریان همسو متصل نمایید.

۲- - مخزن آب گرم بایستی در حد کافی آب داشته باشد. دستگاه را روشن کرده و چک کنید که چراغ سیگنال روشن شود.

۳- دبی آب گرم و سرد را روی 240 litr/hr تنظیم کرده و درجه حرارت آب گرم ورودی $(T_1 = T_{setpo\,int})$ را روی ۷۰ درجه سلسیوس تنظیم کنید.

۴- صبر کنید تا سیستم به حالت ثابت دمائی برسد و سپس جدول نمونه را پر کنید، میانگین درجه حرارت آب گرم ورودی و خروجی را محاسبه کنید.

۵- دبی آب گرم را به 360 litr/hr افزایش داده و دبی آب سرد را 240 litr/hr نگه دارید، صبر کنید تا سیستم به حالت ثابت دمائی برسد و سپس پارامترهای لازم را در جدول یاداشت نمائید.

۷- دبی آب سرد را به 360 litr/hr افزایش داده و دبی آب گرم را 240 litr/hr نگه دارید، صبر کنید تا سیستم به حالت ثابت دمائی برسد و سپس پارامترهای لازم را در جدول یاداشت نمایید.

جدول ۱- آزمایش جریان همسو ($T_{setpoint}$=70)

	دبی حجمی آب گرم 240 litr/hr دبی حجمی آب سرد 240 litr/h	دبی حجمی آب گرم 360 litr/hr دبی حجمی آب سرد 240 litr/h	دبی حجمی آب گرم 240 litr/hr دبی حجمی آب سرد 360 litr/hr
درجه حرارت آب گرم ورودی			
درجه حرارت آب گرم خروجی			
درجه حرارت آب سرد ورودی			
درجه حرارت آب سرد خروجی			
دبی آب گرم			
دبی آب سرد			
درجه حرارت متوسط آب گرم			
گرمای ویژه آب در دمای متوسط			
میزان گرمای از دست رفته آب گرم $q=\dot{m}_h\, c_{p,h}\,(T_{h,i}-T_{h,o})$			
میزان گرمای به دست آمده آب سرد $q=\dot{m}_h\, c_{p,h}\,(T_{c,i}-T_{c,o})$			

درصد خطا			

- در خصوص دلایل اختلاف میزان انتقال حرات دردو سوی مبدل توضیح دهید

۵-۲- جریان نا همسو ($T_{setpoint}$=70)

۱- مبدل را بصورت جریان نا همسو متصل نمایید و مراحل قبل را تکرار کنید.

۲- جدول ۲- آزمایش جریان نا همسو

	دبی حجمی آب گرم 240 litr/hr دبی حجمی آب سرد 240 litr/h	دبی حجمی آب گرم 360 litr/hr دبی حجمی آب سرد 240 litr/h	دبی حجمی آب گرم 240 litr/hr دبی حجمی آب سرد 360 litr/hr
درجه حرارت آب گرم ورودی			
درجه حرارت آب گرم خروجی			
درجه حرارت آب سرد ورودی			
درجه حرارت آب سرد خروجی			
دبی آب گرم			
دبی آب سرد			
درجه حرارت متوسط آب گرم			
گرمای ویژه آب در دمای متوسط			
میزان گرمای از دست رفته آب گرم $q=\dot{m}_h\, c_{p,h}\,(T_{h,i}-T_{h,o})$			
میزان گرمای به دست آمده آب سرد $q=\dot{m}_h\, c_{p,h}\,(T_{c,i}-T_{c,o})$			

درصد خطا			

نمای مبدل صفحه ای

نمای مبدل و میز از کنار

مخزن تامین اب و پمپ و تابلوی نمایش داده ها

دستور کار

آزمایش سیکل تبرید تراکمی(پمپ حرارتی)

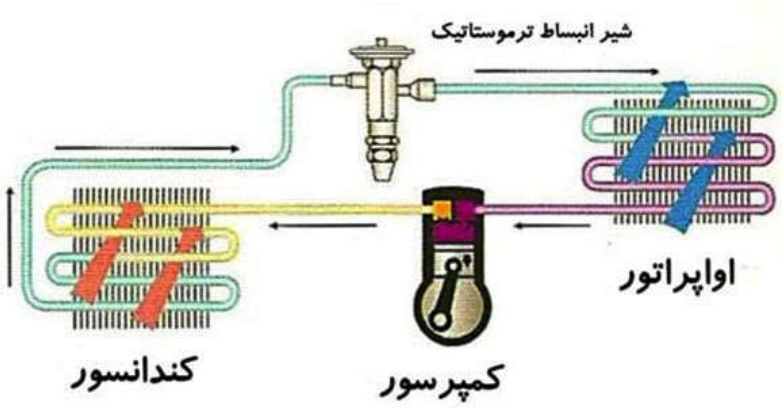
۱ هدف
۲ مقدمه
۳ تئوری
۴ سیال عامل
۵ روابط ترمودینامیکی
۶ سیکل تبرید واقعی(انحراف از سیکل ایده آل)
۷ شرح دستگاه
۸ روش آزمایش و جداول

۱- **هدف:**

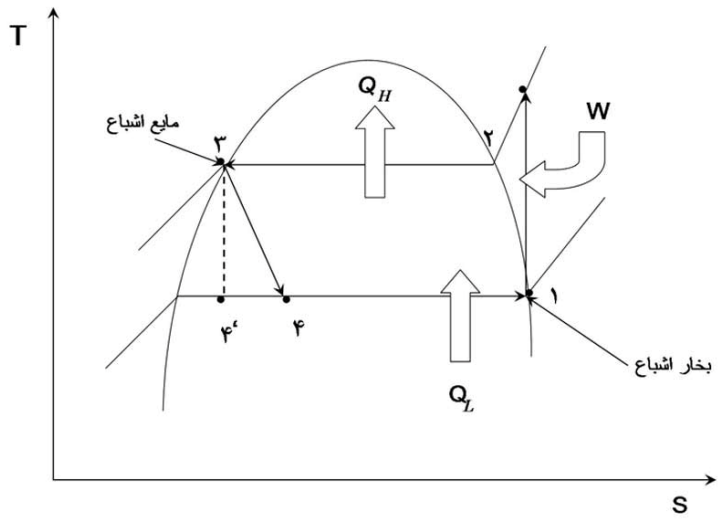
- ✓ آشنایی با اجزای اصلی یک سیکل تبرید تراکمی ساده
- ✓ شناخت پارامترهای تاثیر گذار بر روی عملکرد سیکل تبرید
- ✓ بررسی سیکل بر روی نمودارهای ترمودینامیکی و مقایسه سیکل واقعی و ایده‌آل

۲- مقدمه:

سیکلهای یخچال یا پمپ حرارتی بر عکس موتورهای گرمایی حرارت را از منبع سرد دریافت نموده و به منبع گرم (به کمک سیالی) منتقل می نمایند و برای ایجاد سرما (یخچال یا تهویه مطبوع) یا ایجاد گرما (پمپ گرمایی) بکار می روند. چون معمولاً انتقال حرارت به خودی خود از محیطی با دمای پائین تر به محیطی با دمای بالاتر امکان پذیر نیست بنابراین در سیکل تبرید به اینصورت عمل می شود که ماشین‌های سرماساز معمولاً باید دمایی کمتر از دمای محیط را به وجود آورده و حفظ نمایند. در صنایع مربوط به تبرید معمولاً دمای صفر درجه و کمتر از آن مورد توجه است سیکلهای تبرید بر حسب نوع سیال به دو دسته سیکلهای بخار و سیکلهای هوایی تقسیم می شوند (سیکلهای بخار را می توان به دوگروه تراکمی و جذبی تقسیم بندی نمود) شکل مقابل شماتیک سیکل تبرید تراکمی بخار ساده را نشان می دهد که شامل چهار قطعه بنامهای کمپر سور – کندانسور – شیر فشار شکن و اواپراتور است.



شکل ۱: سیکل تبرید تراکمی



نمودار ۱: فرایندهای ترمودینامیکی روی نمودار T-S

۳- تئوری آزمایش

در سیکل تبرید تراکمی بخار (شکل بالا) سیال توسط کمپرسور به حرکت در آمده و متراکم می‌شود(فرایند۲-۱) . در اثر تراکم، فشار و دمای سیال زیاد شده و بصورت بخار داغ از کمپرسور خارج می شود. بخار داغ بعد از خروج از کمپرسور از کندانسوری عبور می‌نماید که توسط هوا سرد می‌شود در نتیجه بخار داغ به صورت ایزو بار (هم فشار) حرارت خود را در کندانسور پس داده و به صورت مایع اشباع از کندانسور خارج می شود(فرایند ۳-۲) . آنگاه وارد expansion valve (شیرانبساطی) شده و با آنتالپی ثابت منبسط شده، فشار و دما کاهش یافته و به صورت بخار مرطوب شیر را ترک می نماید(فرایند۴-۳) . آنگاه وارد تبخیر کننده می‌شود و باید آنجا را سرد نماید. در آنجا چون دما و فشار سیال ورودی کم است آمادگی تبخیر در دمای پایین را دارد و به صورت فشار ثابت حرارت را از محیط دریافت نموده و در نتیجه به بخار اشباع تبدیل شده و وارد کمپرسور می شود(فرایند۴-۱). بنابراین سیال در ضمن گردش در دستگاه W_c کار از کمپرسور و Q_L حرارت از منبع سرد می‌گیرد و Q_H حرارت را به منبع گرم تحویل می‌دهد.

مواد مصرفی به عنوان سیال عامل در سیکل‌های تبرید تراکمی

بر حسب دامنه دمایی عملکرد و نوع کاربرد مواد مختلفی به عنوان سیال عامل در سیستم های تبرید تراکمی مورد استفاده قرار میگیرند. به همین جهت در موقع انتخاب سیال مورد نظر بایستی به خواص فیزیکی، شیمیایی و ترمودینامیکی آن توجه ویژه‌ای داشت که استفاده از آن را مطمئن و اقتصادی سازد. گاز استفاده شده در دستگاه آزمایش

ما R-134a می‌باشد که امروزه پر استفاده ترین مبرد مورد استفاده است. این مبرد کاملا بی خطر، غیر سمی، غیر قابل اشتعال و غیر قابل انفجار می‌باشد که بسیار پایدار است و در شرایط خیلی بد تجزیه نمی‌شود.

روابط مورد نیاز:

با توجه به آن که در کندانسور سیال مبرد از حالت مافوق گرم به حالت مایع اشباع می‌رسد. بنابراین دو مرحله انتقال حرارت باید محاسبه شود. در مرحله اول که سیال در حالت بخار قرار دارد از رابطه $\mathrm{mc}\Delta T$ و در حالت دوم که تغییر فاز از حالت بخار اشباع تا مایع اشباع انجام می شود از رابطه mh_{fg} باید استفاده گردد که در این حالت h_{fg} باید در دمای مایع اشباع (دمای خروجی از کندانسور) از جدول ترمودینامیکی مربوط به مبرد قرائت شود و با توجه به اینکه سیال با آب تبادل حرارتی دارد خواهیم داشت:

$$\beta = \frac{q_L}{\mathrm{w_c}} = \frac{\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{ref}}.\,\mathrm{h_{fg}}}{\mathrm{w_c}}$$

$$\dot{\mathrm{Q}}_{\mathrm{eva}} = \dot{\mathrm{Q}}_{\mathrm{w}} \Longrightarrow \dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{ref}}.\,\mathrm{h_{fg}} = \dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{w}}\mathrm{C_w}\Delta\mathrm{T_w}$$

$$\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{ref}} = \frac{\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{w}}\mathrm{C_w}\Delta\mathrm{T_w}}{\mathrm{h_{fg}}}$$

$$\dot{\mathrm{Q}}_{\mathrm{cond}} = \dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{ref}}.\,\mathrm{C_{Pref}}.\,\Delta\mathrm{T_{2-3}} + \dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{ref}}.\,\mathrm{h_{fg@T_3}} = \dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{w}}\mathrm{C_w}\Delta\mathrm{T_w}$$

در روابط ذکر شده فوق β ضریب عملکرد بوده و عبارتست از نسبت ظرفیت تبرید به کار کمپرسور. $\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{w}}$ دبی جرمی آب بوده و با ضرب چگالی آب در عدد خوانده شده از روتامتر به دست می‌آید. $\mathrm{C_w}$ ظرفیت گرمایی ویژه آب بوده که در جداول ترمودینامیکی موجود است و h_{fg} آنتالپی تبخیر مبرد در دمای خروجی از کندانسور می‌باشد که با توجه به دمای موجود محاسبه یا خوانده می‌شود. $\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{ref}}$ دبی جرمی مبرد است که مجهول بوده و باید حساب گردد $\mathrm{C_{Pref}}$ ظرفیت گرمایی ویژه مبرد است که با توجه به نوع مبرد از کتاب‌های ترمودینامیک بدست آید. $\mathrm{w_c}$ برابر است با توان کمپرسور که مقداری ثابت و برابر با 308.5 وات است.

سیکل‌های عملی تبرید

سیکل‌های تبرید به دلایل زیر با شکل‌های عملی آن تطابق نداشته و در نتیجه ضریب عملکردی که به صورت تئوری محاسبه شده ممکن است با ضریب عملکردی که اندازه گیری می‌شود متفاوت باشد:

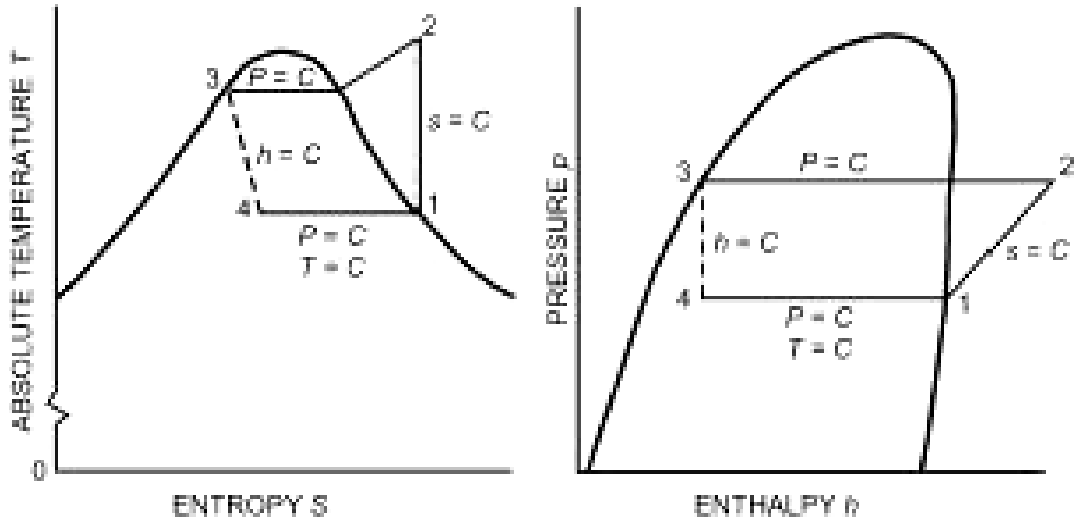
۱- تحول در کمپرسورها عملاً آدیاباتیک بازگشت پذیر نبوده بلکه اصطکاک و انتقال حرارت در آن‌ها موجود است.

۲- تحول بعد از خروج از کمپرسور تا ورود به شیر انبساط ایزوباری نبوده بلکه دارای افت فشار خواهد بود.

۳- سیال خروجی از اواپراتور بخار اشباع نبوده بلکه بخار مافوق داغ است.

۴- مایع خروجی از کندانسور بصورت اشباع نبوده بلکه مایع متراکم است.

با در نظر گرفتن این نکات سیکل عملی آن در دیاگرام TS و Ph بصورت مقابل است. در صنایع تبرید معمولاً به جای دیاگرام TS از دیاگرام Ph استفاده می شود.



شکل ۲: دیاگرام TS و Ph

۴- شرح دستگاه

شکل ۳: دستگاه آزمایش پمپ حرارتی

دستگاه از قسمت های متمایز زیر تشکیل شده است:

۳ –- اواپراتور: از لوله های متحد المرکز تشکیل شده است که در داخل لوله R-134 و در پوسته آب درجریان است. بخار مبرد پس از خروج از اوپراتور وارد کمپرسور می شود.

۲ – کمپرسور با ولتاژ کاری 220-240v و فرکانس $50Hz$ که خود شامل یک موتور با توان hp ۰.۵است. پس از کمپرسور، کندانسور واقع شده است.

۳. کندانسور: که از لوله های مارپیچی از جنس مس تشکیل شده که توسط صفحات فلزی پرده دار شده‌اند. مبرد با دمای بالا وارد کندانسور شده هنگامی که مایع مبرد در آن جریان یابد و از میان لوله های آن عبور کند، توسط یک فن که در جلوی سیستم قرار دارد گرمای هوا را گرفته و ضمن تبادل حرارت با محیط خنک می‌گردد.

۴-رطوبت گیر: برای از بین بردن رطوبت موجود در مایع اشباع خروجی از کندانسور و ورودی به شیر انبساط.

۵-شیر انبساط: به منظور کاهش فشار و دمای مایع متراکم بعد ازعبور از کندانسور .

۶- روتامتر: اندازه گیری دبی آب خنک شونده.

۷ - ترمومترهای مربوط به آب ورودی و خروجی از دور لوله های اواپراتور، دمای سیال مبرد ورودی و خروجی از اواپراتور، سیال مبرد ورودی و خروجی از کندانسور که در دستگاه به صورت دیجیتالی این دماها نمایش داده می شود.

۸– گیج های فشار سنج: اندازه گیری فشار سیال ورودی و خروجی از کمپرسور.

۹– تابلو برق: شامل کلیه تجهیزات الکتریکی و برد دستگاه. بر روی این تابلو دو کلید یکی برای برق اصلی دستگاه و دیگری برای کمپرسور قرار داده شده است. یک دیمر جهت کنترل دور فن نیز وجود دارد. به کمک نمایشگرهای ولتاژ و جریان نیز می توان توان الکتریکی دستگاه را بدست آورد.

۵- روش انجام آزمایش

۱- شیر ورودی آب را به مقدار زیادی باز کنید.

۲- کلید اصلی دستگاه را روشن کنید و منتظر بمانید تا نشان دهنده‌های دما اعداد ثابتی را نشان دهند در این زمان دستگاه آماده به کار است.

۳- دیمر فن را تا انتها باز کنید.

۴- با استفاده از شیر و روتامتر میزان دبی آب را روی مقادیر خواسته شده تغییر دهید و صبر کنید تا به حالت پایدار برسیم.

۵- دماها و فشارهای نقاط گوناگون را در جدول یادداشت نمایید و روابط مختلف را حساب کنید.

۶- در مراحل بعدی دبی آب را کاهش دهید و مراحل فوق را تکرار نمایید.

۷- بعد از اینکه دبی بر روی یک لیتر بر دقیقه (60litr/hr) قرار گرفت، دور فن کندانسور را طی ۳ مرحله کاهش دهید و در هر مرحله صبر کنید تا دستگاه به حالت پایدار برسد و در هر مرحله روابط فوق را حساب کنید.

۸- شدت جریان و ولتاژ فن را توسط ولتمتر و آمپر متر از روی صفحات نمایشگر خوانده و سپس توان را با توجه به پارامتر های حاضر بدست آورید $P = V I$ با توجه به ثابت بودن توان مصرفی کمپرسور و بدست آوردن توان مصرفی فن می توانید توان مصرفی کمپرسور و فن را بدست آورید.

۹- در هنگام خاموش نمودن دستگاه حداقل اجازه دهید ۵ دقیقه آب در لوله ها جریان داشته باشد تا از یخ زدگی لوله های اواپراتور جلوگیری بعمل آید.

توان کمپرسور	W_c	دمای آب خروجی	T_6	دمای ورودی کمپرسور (خروجی اواپراتور)	T_1
توان فن کندانسور	P	فشار در ورودی کمپرسور	P_1	دمای خروجی کمپرسور (ورودی کندانسور)	T_2
ضریب عملکرد	β	فشار در خروجی کمپرسور	P_2	دمای خروجی کندانسور(ورودی شیر اختناق)	T_3
		ولتاژ فن کندانسور	V	دمای خروجی شیر اختناق(ورودی اواپراتور)	T_4
		جریان فن کندانسور	I	دمای آب ورودی	T_5

دمای محیط: فشار محیط : تاریخ :

$\forall_w(\frac{litr}{hr})$	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	P_1	P_2	V	I	P	W_c
80												
75												
70												
65												
60(fan speed1)												
60(fan speed2)												
60(fan speed3)												

جدول نتایج:

$\dot{m}_w(\frac{kg}{s})$	$\dot{m}_{ref}(\frac{kg}{s})$	$\dot{Q}_{water}$	$\dot{Q}_{cond}$	β

سوال ها و خواسته ها:

- اثر کار مصرفی فن کندانسور در محاسبات چگونه وارد می شود؟ - راندمان اواپراتور را چگونه می توان تعریف کرد؟
- نمودار ضریب عملکرد بر حسب دبی اب(بار برودتی) را رسم و در مورد آن بحث کنید

دستور کار

آزمایش سیکل استرلینگ

فهرست مطالب:

۱	هدف	
۲	مقدمه	
۳	معرفی موتور استرلینگ	
۴	چرخه استرلینگ	
۵	شرح فرایند	
۶	شرح دستگاه	
۷		

هدف

هدف این آزمایش آشنایی با سیکل استرلینگ و اصول کارکرد آن است.

- **مقدمه**

طرز کار موتور استرلینگ را اولین بار رابرت استرلینگ (Robert Stirling) در سال ۱۸۱۶ م بیان کرد. محرک اصلی در اختراع این موتور جایگزینی آن با موتور بخار بود. دلیل این امر احتمال رخ دادن انفجار در دیگ بخار موتورهای مذکور به دلیل وجود فشار بالا است. موتور استرلینگ نیز همانند بقیه موتورهای گرمایی انرژی حرارتی را به کار تبدیل می‌کند. گرما با استفاده از مبدل حرارتی از منبع به سیال عامل منتقل می‌شود. گاز استفاده شده در داخل موتورهای استرلینگ هیچ وقت موتور را ترک نمی‌کند و مانند موتورهای دیزل و بنزینی محفظه احتراق و سوپاپ دود که گازهای پر فشار را تخلیه می‌کند وجود ندارد. به همین علت موتورهای استرلینگ بسیار بی صدا هستند. چرخه استرلینگ از یک منبع حراتی خارجی که می‌تواند هر چیزی از بنزین و انرژی خورشیدی تا حرارت ناشی از پوسیدگی گیاهان باشد استفاده کند و هیچ احتراقی داخل سیلندرهای موتور رخ نمی‌دهد. مطابق با تعریف این دستگاه قادر است انرژی حرارتی را مستقیما به انرژی مکانیکی تبدیل کند که این تبدیل بدون استفاده از فرآیندهای شیمیایی صورت می‌گیرد. البته برای برقراری قانون دوم

ترمودینامیک در چرخه ها این فرآیند حتما بایستی با تبادل حرارت با یک منبع سرد همراه باشد. چرخه استرلینگ شامل دو فرآیند حجم ثابت و دو فرآیند دما ثابت است.

معرفی موتور استرلینگ

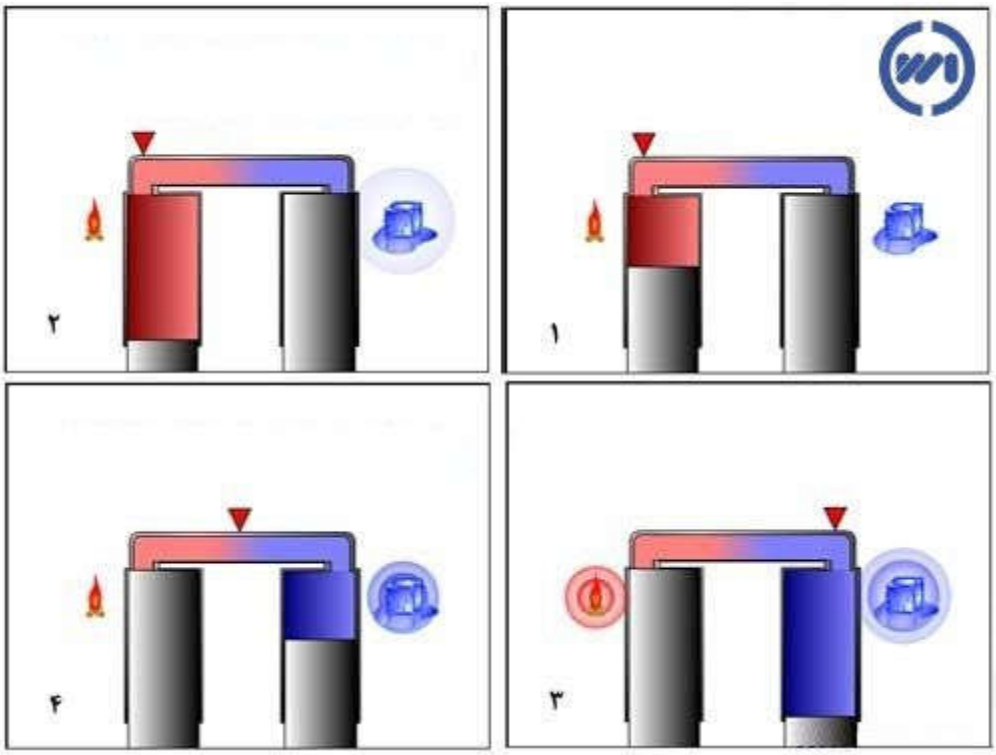
موتور استرلینک از دو سیلندر و دو پیستون تشکیل شده است در داخل سیلندر بزرگتر که به آن سیلندر جابجایی نیز گفته می شود پیستون جابجایی قرار دارد و در داخل سیلندر کوچکتر نیز پیستون کار یا قدرت واقع شـده **است هر دو پیستون کار یا قدرت از طریق محور مربوطه با اختلاف فاز در حدود ۹۰ از یکدیگر به میل لنگ وصل شده اند. دو انتهـای سیلندر جابجایی و قدرت بوسیله یک مجرا بیکدیگر متصل می باشد و صرفنظر از تلفات مکانیکی میتوان فشار محفظه های بالا و پائین آن را یکسان فرض نمود.** پیستون جابجایی بدون نیاز به درزبندی نسبت به سیلندر به راحتـی میتواند در داخل آن حرکت کند و گاز عامل را که در داخل موتور قرار دارد از طریق مجرای مورد اشاره ، به قسمت فوقـانی یا تحتانی خود هدایت کند .در مسیر مجرای مورد بحث سه عضو مهم موتور ، یعنی گرم کن ،بازیاب و سرد کن، قرار گرفته اند .در این موتور گرم کن یا منبع گرم، یک مبدل حرارتی است که حرارت را از هر منبع حرارتی مانند انـرژی خورشـیدی سوخت فسیلی و اخذ و به سیال عامل انتقال میدهد. در وسط منبع سرد نیز یک مبدل حرارتی است که گرمارا از گاز عامل گرفته وآن را به چاه حرارتی (محیط) واگذار می کند در وسط منبع گرم و منبع سرد بازیاب قرار دارد که همانند یک باطری حرارتی در حین عبور گاز گرمای آن را گرفته و در باز گشت مجددا آن را گرم میکند .بازیاب بایستی ظرفیت حرارتی نسبتا بالا داشته و هدایت حرارتی در آن بخوبی صورت گیرد معمولا بازیاب بسته به نوع کاربرد ، از سیم های فولاد ضد زنگ و یـا برنج ساخته میشود . موتور استرلینگ در یک چرخه بسته عمل میکند و لذا بایستی از هرگونه نشت گاز عامل به بیرون جلو گیری گردد بنابراین محل عبور محور حرکت دهنده پیستون جابجایی از مرز سیلندر جمله محل هـایی اسـت کـه بایـد در زبندی شود .پیستون کار توسط محور مربوط (شاتون) به میل لنگ متصل میباشد قسمت فوقانی سـیلندرها از طریـق یـک مجرا به سیلندر جابجایی ارتباط داشته و صرف نظر از تلفات مکانیکی میتوان آن را با سیلندر جابجایی هم فشار عوض کـرد پیستون کار برخلاف پیستون جابجایی بایستی در درون سیلندر درزبندی شود بنحوی که بـدون نیـاز بـه رونکـاری مـانع از نشت گاز عامل به محیط گردد.

چرخه استرلینگ

چرخه استرلینگ یک چرخه ترمودینامیکی می‌باشد. این شامل موتور استرلینگ اولیه می‌باشد که در سال ۱۸۱۶ توسط رابرت استرلینگ با همکاری برادرش، طراحی و ساخته شد. چرخه برگشت پذیر می‌باشد، بدین معنی که اگر با کار مکانیکی تغذیه شود، می‌تواند به عنوان پمپ حرارتی یا یخچال عمل کند. سیکل به عنوان یک چرخه بسته همراه با بازیافت با سیال عامل گازی تعریف می‌شود.. این چرخه همچنین در رده موتورهای احتراق خارجی دسته بندی می‌شود. بازیافت مربوط به استفاده از یک مبدل حرارتی داخلی می‌باشد که بازدهی حرارتی سیستم را افزایش می‌دهد.

- **شرح فرایند**

چرخه استریلینگ همانند دیگر چرخه های حرارتی دارای چهار فرایند اصلی می‌باشد. این فرایندها، به صورت جداگانه اتفاق نمی‌افتد و گذار از این حالات با هم همپوشانی دارند. میتوان فرایندهای رخ داده در موتور را با شکل زیر که از چهار بخش تشکیل شده شرح داد:



گرمایی که از منبع خارجی(هیتر و ...) به گاز درون سیلندر گرم شده افزوده می شود (سیلندر سمت چپ) و باعث ایجاد فشار می شود. این نیروها پیستون را به پایین حرکت می دهند. این قسمتی از سیکل استرلینگ است که کار انجام می دهد.

۲ -پیستون چپ به سمت بالا حرکت می کند در حالی که پیستون سمت راست به سمت پایین حرکت می کند. این عمل گاز داغ را به سمت سیلندر سرد شده می راندبه گونه ای که گاز سرد می شود تا به دمای منبع سرمایشی برسد که خود باعث کاهش فشار آن می شود. این عمل باعث می شود تا متراکم کردن گاز در قسمت بعدی سیکل ساده تر باشد.

۳ -پیستون در سیلندر سرد شده (راست) شروع به فشرده کردن گاز می کند. گرمای تولید شده توسط این فشردگی توسط منبع سرمایشی دریافت می شود.

۴ -پیستون راست به بالا حرکت می کند در حالی که پیستون چپ به سمت پایین حرکت می کند. این عمل گاز را به داخل سیلندر گرما می راند جایی که سریع گرم شده و باعث افزایش فشار می شود و این نقطه ای است که سیکل دوباره تکرار

می گردد.

موتور استرلینگ فقط در طی اولین بخش سیکل کار ایجاد می کند. دو روش اصلی برای افزایش کارخروجی سیکل استرلینگ وجود دارد:

- **افزایش خروجی انرژی در مرحله یک: در قسمت اول سیکل، فشار گاز گرم شده پیستون را به پایین می راند. با افزایش فشار در طی این بخش از سیکل، کار تولیدی موتور افزایش خواهد یافت. یک روش افزایش فشار افزایش دمای گاز است.** هنگامی که به موتور دو پیستونی نگاهی کنیم می بینیم که چگونه وسیله ای به نام بازیاب (regenerator) می تواند کار خروجی موتور را با ذخیره موقتی گرما بهبود دهد.
- کاهش مصرف انرژی در مرحله سوم: در این قسمت از سیکل، پیستون ها با استفاده از انرژی تولید شده در قسمت اول روی گاز کار انجام می دهند. کاهش فشار در طی این بخش از سیکل، می تواند انرژی استفاده شده در طی این مرحله را کاهش دهد (به طور کارآیی خروجی انرژی موتور را افزایش می دهد). یک روش برای کاهش فشار سرد کردن گاز به دمای پایین تر است.

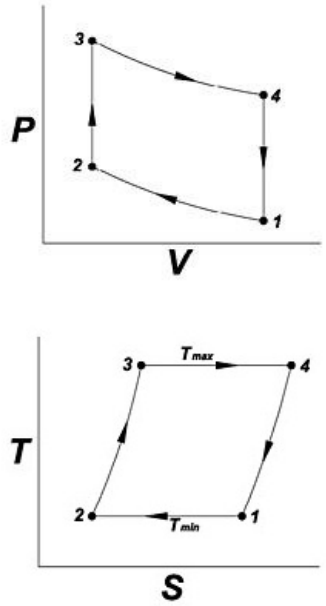
چرخه ایده‌ال استرلینگ از چهار فرایند تشکیل شده است: انبساط هم‌دما. فضای انبساط از خارج حرارت داده می‌شود، و سیال عامل یک فرایند انبساط تقریباً همدما را طی می‌کند. ازدست دادن گرما درحجم ثابت. گاز از بازیافت حرارتی می‌گذرد، در تنیجه سرد شده، و گرمای خود را به بازیافت داده تا در مرحله بعدی چرخه مورد استفاده قرار گیرد. تراکم هم‌دما .محفظه تراکم سرد شده، درنتیجه گاز یک فرایند تقریبا همدما را طی می‌کند. گرفتن حرارت در حجم ثابت. هوای متراکم شده از بازیافت عبور داده شده و گرما می‌گیرد و وارد محفظه انبساط می‌شود.عملکرد سیکل استرلینگ در نمودارهای T-S و P-V زیر نشان داده شده است.

فرآیند 2-1 یک فرآیند هم‌دما است. حرارت در درجه حرارت ثابت T_{min} از هوای داخل سیلندر به محیط منتقل می‌شود. با از دست دادن حرارت حجم هوای داخل سیلندر کاهش پیدا می‌کند.

فرآیند 3-2 هم یک فرآیند حجم ثابت است. در حجم ثابت، درجه حرارت از مقدار T_{min} به T_{max} افزایش می‌یابد.

فرآیند 4-3 یک فرآیند هم‌دما است. حرارت در درجه حرارت ثابت T_{max} به هوای داخل سیلندر منتقل می‌شود. افزایش گرما باعث منبسط شدن هوای داخل سیلندر می‌شود.

فرآیند 1-4 هم یک فرآیند حجم ثابت است. در حجم ثابت، درجه حرارت از مقدار T_{max} به T_{min} کاهش می‌یابد.



نمودارهای T-S و P_V

روند محاسبات حرارت منتقل شده به هوای داخل سیلندر، حرارت دفع شده توسط هوای داخل سیلندر و میزان کار تولیدی سیکل به شرح زیر است:

$$Q_H = R.T_{\max}.\ln(\frac{V_1}{V_2})$$

$$Q_L = R.T_{\min}.\ln(\frac{V_1}{V_2})$$

$$W = Q_H - Q_L$$

نسبت $\frac{V_1}{V_2}$ را نسبت تراکم می‌نامند.

راندمان به صورت نسبت کار تولیدی به حرارت داده شده به هوا تعریف می‌شود.

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{maz}}$$

به دلیل اینکه سیکل استرلینگ یک سیکل برگشت‌پذیر بوده و تمامی سیکل‌های برگشت‌پذیر با درجه حرارت‌های بالا و پایین مساوی راندمان یکسانی دارند، ملاحظه می‌شود که بازده سیکل استرلینگ با بازده سیکل کارنو یکسان است.

۱- شرح دستگاه

دستگاه آزمایش از یک سیلندر که هوا درون آن محبوس است تشکیل شده است. یک هیتر به قسمت خارجی سیلندر متصل است که وظیفه انتقال گرما به هوا را بر عهده دارد. جریان و ولتاژ تولیدی هیتر توسط آمپرمتر و ولت‌متر نصب شده قابل اندازه‌گیری است. یک دیمر برای تغییر ولتاژ و تنظیم حرارت تولیدی هیتر نصب شده است. پیستون درون سیلندر به سیستم انتقال قدرت متصل است و مجموعه پیستون و انتقال قدرت درون محفظه‌ای قرار دارد که درون آن روغن ریخته شده است. روغن وظیفه جلوگیری از افزایش دمای سیستم و همچنین روانکاری سیستم را بر عهده دارد. سیستم انتقال قدرت به یک پولی متصل است و یک سیستم اندازه‌گیری دور روی آن نصب شده است. همچنین به وسیله یک تسمه و کفه در نظر گرفته شده و با استفاده از وزنه‌های موجود می‌توان گشتاور سیستم را اندازه‌گیری کرد که به این مجموعه سیستم گشتاورسنج می‌گوییم. شکل (۱) نمایی از از دستگاه آزمایش سیکل استرلینگ را نشان می‌دهد.

۵- شرح آزمایش

در ابتدا مطمئن شوید که وزنه‌ای روی سیستم گشتاورسنج نیست. از وجود روغن درون محفظه سیلندر اطمینان حاصل کنید. عمق روغن باید حداقل ۲ سانتی متر باشد. با استفاده از نیروی دست مقداری پولی را بچرخانید تا از کارکرد سیستم انتقال قدرت نیز مطمئن شوید.

۱- هیتر را روشن کنید و با استفاده از دیمر میزان حرارت تولیدی را در حد متوسط تنظیم کنید.

۲- دو دقیقه صبر کنید تا هوای داخل سیلندر گرم شود. با کمک دست اندکی پولی را بچرخانید تا به شروع به کار کردن سیستم کمک کنید. چنانچه سیستم شروع به کار نکرد کمی دیگر صبر کرده و مجددا پولی را بچرخانید.

۳- میزان حرارت انتقالی به هوای داخل سیلندر را برابر حرارت تولیدی هیتر در نظر گرفته و مقدار آن را محاسبه کنید.

$$Q_H = V.I$$

۴- با اضافه کردن مقادیر مختلف وزنه به سیستم اندازه‌گیری گشتاور میزان آن را محاسبه کنید. (R شعاع محور پولی و برابر ۱۵ میلی متر است)

$$T = F.R$$

۵- قدرت خروجی سیستم برابر است با حاصل ضرب گشتاور و سرعت زاویه‌ای.

$$W = T.\omega \quad , \quad \omega = \frac{2\pi N}{60}$$

۶- راندمان واقعی سیستم را به صورت نسبت کار خروجی به حرارت ورودی به دست آورید.

۷- در صورت داشتن زمان کافی آزمایش را برای یک مقدار دیگر حرارت تولیدی هیتر تکرار کنید.

۸- درباره تغییرات میزان گشتاور و دور موتور نظر بدهید.

گرمای ورودی $Q_H =$ (w)		جریان $I =$ (A)		ولتاژ $V =$ (v)	
وزن وزنه‌ها $m(kg)$	نیروی اصطکاک $F(N)$	دور $N(rpm)$	گشتاور $T(N.m)$	توان خروجی $W(w)$	راندمان $\eta(\%)$