دانشگاه فنی و مهندسی گلپایگان

آزمایشگاه ترمودینامیک و انتقال حرارت

تهیه و تنظیم:

حمید رضا معصومی

۱۳۹۷

مقدمه:

با توجه به اینکه برای انجام هرچه بهتر آزمایش ها وجود دستور کار کامل و جامع مربوطه یک نیاز اساسی برای درک بهتر دانشجویان از انجام آزمایش و حصول نتایج بهتر می باشد لازم بود یک دستور کار کامل و متناسب با دستگاه های موجود برای آزمایشگاه ترمودینامیک و انتقال حرارت تهیه شود. به همین دلیل تجربیات ترم های گذشته و مراجع ذکر شده در پایان بکار گرفته شد تا دستور کار حاضر تنظیم شود . امید است دانشجویان عزیز با مطالعه دقیق این جزوه بتوانند درک کاملی از آزمایش ها داشته باشند و نیز در روند کامل شدن دستور کار و رفع اشکالات ، پیشنهاد های خود را ارائه نمایند.

فهرست:

آزمایش اول:
پمپ حرارتی..... ۳

آزمایش دوم:
سیکل تبرید جدبی ۱۲

آزمایش سوم:
تعیین ضریب هدایت حرارتی جامدات..... ۲۲

آزمایش چهارم:
موتور بنزینی..... ۳۴

آزمایش پنجم:
تهویه مطبوع..... ۴۳

آزمایش ششم:
برج خنک کن..... ۵۷

آزمایش هفتم:
مبدل حرارتی پوسته و لوله..... ۶۴

آزمایش اول: پمپ حرارتی (تولید سرما و گرما)

هدف آزمایش:

بررسی سیکل تبرید(پمپ حرارتی) و راه عملی محاسبات مربوط به بار حرارتی اعمالی بر سیکل

تئوری آزمایش:

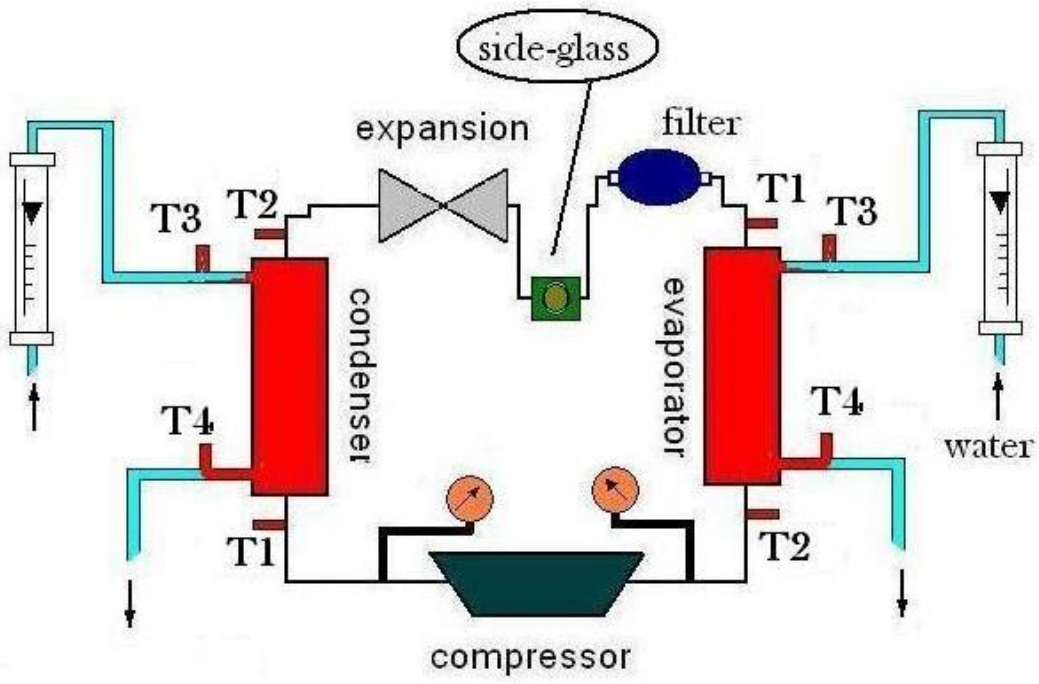
مقدمه :

یکی از مسائل مهم در درس ترمودینامیک بررسی قانون اول در مورد حجم کنترل و پیدا کردن مقدار گرما و کار از طریق قانون اول ترمودینامیک است. یکی از مسائلی که در این مورد مطرح است سیکل های ترمودینامیکی توان و تبرید است که در حالت ایده ال تحت عنوان حالت پایدار SSSF بررسی می کنیم . هدف در این آزمایش نیز استفاده از قانون اول و نیز محاسبه مقدار کار اعمالی بر حجم کنترل و همچنین حرارت مبادله شده بین سطح کنترل و محیط می باشد .

تئوری سیکلهای منفی :

سیکلهای منفی حرارت را از منبع سرد دریافت نموده و به منبع گرم (به کمک سیال) منتقل می نمایند و برای ایجاد سرما (یخچال یا تهویه مطبوع) یا ایجاد گرما (هیت پمپ = موتور حرارتی) بکار می روند. چون معمولاً انتقال حرارت به خودی خود از محیطی با دمای پائین تر به محیطی با دمای بالاتر امکان پذیر نیست از سیکل تبرید استفاده می شود .

ماشین های سرماساز معمولاً باید دمایی کمتر از دمای محیط را به وجود آورده و حفظ نماید . 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) شکل۱ شماتیک سیکل تبرید تراکمی ساده را نشان می دهد که شامل چهار قطعه بنامهای کمپر سور – کندانسور – لوله مویی و اواپراتور است .

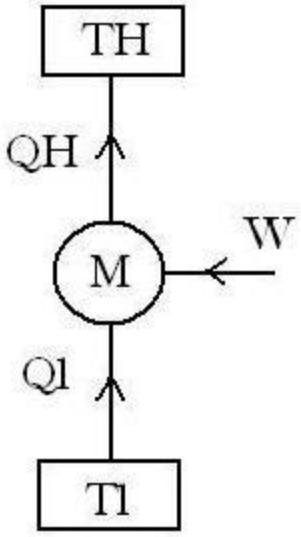


شکل-۱

سیکل تبریدی تراکمی بخار :

در سیکل تبرید تراکمی سیال توسط کمپرسور به حرکت در آمده و متراکم می شود تحول در آن پلی تروپیک (آدیاباتیک) می باشد . در اثر تراکم، فشار و دمای سیال زیاد شده و بصورت بخار داغ از کمپرسور خارج می شود ($1 \rightarrow 2$).

بخار داغ بعد از خروج از کمپرسور از کندانسوری عبور می نماید که توسط آب یا هوا سرد می شود در نتیجه بخار داغ به صورت ایزو بار (هم فشار) حرارت خود را پس داده (به سرد کننده ، کندانسور) و بصورت مایع متراکم (سرد) از کندانسور خارج می شود . آنگاه وارد فضای خفقانی شده و بصورت آیزوآنتالپ ($h=0$) منبسط شده فشار ماشین کاهش یافته به صورت بخار مرطوب فضا را ترک می نماید آنگاه وارد محیطی می شود که باید آنجا را سرد نماید (اواپراتور : تبخیر کننده) . در آنجا چون دمای سیال ورودی کم است به صورت ایزوباری حرارت را از محیط دریافت نموده (Q_L) و در نتیجه به بخار خشک (داغ) تبدیل می گردد و وارد کمپرسور می شود .بنابراین سیال در ضمن گردش در دستگاه W_c کار از کمپرسور و Q_L حرارت از منبع سرد و حرارت Q_H را به منبع گرم تحویل می دهد .



شکل-۲

سیکل تبرید هوایی (گازی) :

در سیکلهای تبرید هوایی سیال گازی شکل بوده و تبخیر و تقطیری در حین گردش آن در دستگاه روی نمی دهد . از این سیکلها موقعی استفاده می شود که یا دمای خیلی پایین (تقطیر گازها) یا ایجاد قدرت برودتی زیاد مورد نظر باشد . در این سیکلها معمولاً به جای شیرفشارشکن از ماشین انبساط استفاده می شود. از این سیکل برای خنک کردن هواپیما نیز استفاده می شود .

$q_{cv} + h_v = W_{cv} + h_e \; q_N = c_p(T_3 - T_2)$

همانطور که ملاحظه شود در این صورت ضریب عملکرد فقط تابعی است از نسبت تراکم . برای ایجاد دماهای بسیار پائین می توان در این سیکل از یک مبدل استفاده نمود (مثلاً در مایع کردن هوا) .

شرح تحولات ترمودینامیکی :

$1 \to 2$ تراکم آدیاباتیک (یا پلی تروپیک) در کمپرسور

$2 \to 3$ انتقال حرارت از سیال به محیط خارج به صورت فشار ثابت

$q_H = h_2 - h_3$

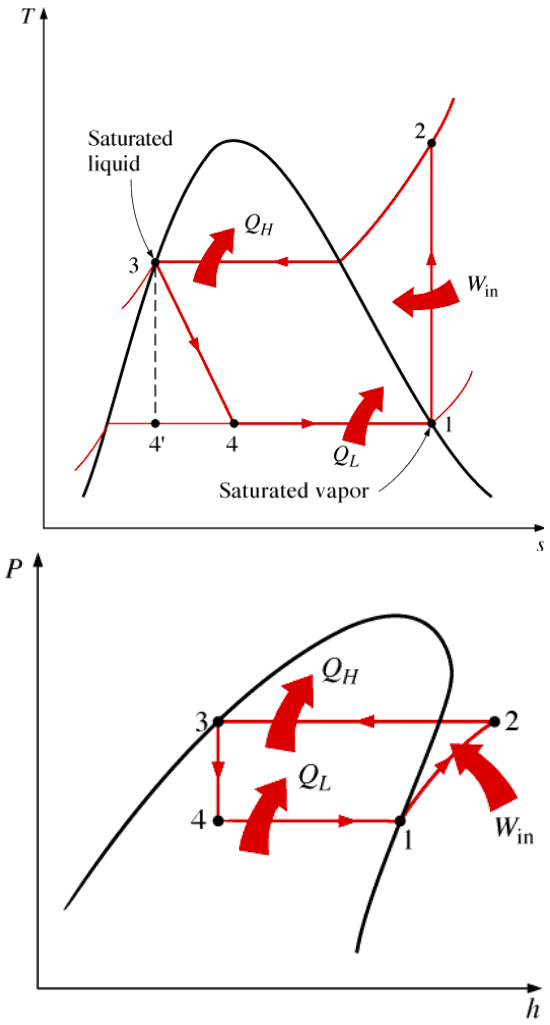
$3 \to 4$ انبساط در محیط به صورت آنتالپی ثابت

$h_3 = h_4$

$4 \to 1$ جذب حرارت از محیط سرد شونده و انتقال حرارت به سیال(q_L) به صورت فشار ثابت

$q_L = h_1 + h_4$

$q_H = q_L + w_c + (q_c)$



شکل - ۳

در سیکلهای منفی بجای راندمان از ضریب عملکرد صحبت می شود .

بزرگترین ضریب عملکرد سیکل های تبرید مربوط به سیکل های تبریدی است که بر اساس سیکل کارنو کارکند. گرچه ضریب عملکرد سیکل منفی کارنو ماکزیمم است، بعلت مشکلات طراحی و اقتصادی از آن استفاده نمی شود .

پمپ حرارتی (هیت پمپ) :

همانطور که ملاحظه شد ایجاد و نگهداری دماهای پائین تر از دمای محیط وظیفه ماشین های سرما زاست برعکس آنها پمپهای حرارتی باید دمای بالاتر از دمای محیط را ایجاد کرده و محافظت نماید .این عمل توسط انتقال حرارت از کندانسور سیکل منفی به فضای سرد (مثلاً هوای اطاق) صورت می گیرد . سیکل پمپ های حرارتی همان سیکل ماشین های سرما زاست .سیال سرد ضمن گردش در دستگاه هنگام عبور از فضای سرد (مثلاً رودخانه بجای اواپراتور) از آنجا انرژی لازم را جذب کرده (q_L) و سپس هنگام عبور از کندانسور مقداری

انرژی معادل $q_H = q_L + w_C$ پس می دهد که این انرژی باعث گرم شدن هوا (مثلاً برای اطاق) می شود ضریب عملکرد پمپ حرارتی عبارت خواهد بود از :

$$\beta' = \frac{q_H}{w_C}$$

اگر از سیکل کارنو در پمپ حرارتی استفاده شود در این صورت ضریب عملکرد برابر است با :

$$\beta' = \frac{T\max}{T\max - T\min}$$

همانطور که مشاهده می شود هر چه دمای ماکزیمم و مینیمم بهم نزدیکتر باشد ضریب عملکرد دستگاه بهترخواهد بود مثال مشهودی برای کاربرد پمپ حرارتی دستگاه تاسیسات شهرداری شهرزوریخ (سوئس) است که در زمستان گرمای لازم جهت گرم کردن ساختمان را از آب جاری رودخانه نزدیک ساختمان بدست می آورد . انرژی جذب شده از آب رودخانه (q_L) و انرژی الکتریکی مصرفی کمپرسورها (W_C) معمولاً هنگام عبور سیال از کندانسور آب جاری در آن را گرم کرده و این آب گرم در داخل شوفاژهای ساختمان به مصرف ایجاد گرما می رسد . اگر بخواهند از این تاسیسات در تابستان به عنوان تهویه مطبوع استفاده کنند کافی است بوسیله شیری جهت جریان را تغییر دهند یعنی آب رودخانه از کندانسور و آب شوفاژها را از اواپراتور عبور دهند در این صورت گرمای جذب شده از داخل ساختمان تحویل آب رودخانه می شود .

در هنگام کاربرد پمپ های حرارتی باید نکات زیر را مورد توجه قرارداد :

۱- انرژی حرارتی (q_L) بقدر کافی در اختیار داشته باشد .

۲- اختلاف دمای محیط انرژی دهنده (مثلاً آب رودخانه یا T_2)و دمای محیط گرم شونده (آب شوفاژ T_H) نباید چندان زیاد باشد(حداکثر تا ۵۰) . رعایت این نکته استفاده از پمپ حرارتی را اقتصادی می نماید .

۳- انرژی الکتریکی (برای مصرف کمپرسور) ارزان قیمتی در اختیار باشد .

منابع قابل استفاده برای دریافت انرژی لازم در پمپها عبارتند از : آب رودخانه برای گرمای تولید شده در صنایع یا منابع زیرزمینی یا انرژی آبهایی که در جایی دیگر قابل استفاده نیست .

شرح دستگاه و روش انجام آزمایش:

دستگاه اصلی :

پمپ حرارتی : دستگاهی که توسط سیکل یخچالی عمل می نماید وامروزه بسیار مورد توجه است .

دستگاه از نه قسمت متمایز تشکیل شده است:

۱- کمپرسور با ولتاژ کاری 220v و توان ۱/۲hp

۲- کندانسوربا لوله های هم مرکز می باشد که درداخل لوله فرئون و درپوسته آب درجریان است .

۳- evaporator : با لوله های هم مرکز می باشد که درداخل لوله فرئون ودرپوسته آب درجریان است .

سایر موارد:

۴- لوله مویی به منظور کاهش فشار مایع متراکم بعد ازعبور ازکندانسور

۵- دستگاه مربوط به دبی سنجی آب کندانسور (روتامتر) و اواپراتور- سعی کنید طی آزمایش دبی آب از ۷ لیتر بر دقیقه بیشتر نشود .

۶- سنسورهای دیجیتال دما مربو ط به آب ورودی و خروجی به کندانسور ، دمای هوای ورودی و خروجی به کندانسور، سیال ورودی و خروجی از اواپراتور

۷- گیج های فشار سنج برای اندازه گیری فشار سیال ورودی و خروجی ازکندانسور

۸- ظرف جمع آوری قطرات

۹- از گاز فرئون ۱۲ برای شارژ سیستم استفاده شده است .

قبل از روشن نمودن دستگاه دبی آب خنک کننده را به مقدار معینی تنظیم می نماییم . (مثلا ۵ لیتر بر دقیقه) آنگاه به ازاء زمانهای معین (مثلاً هر ۵ دقیقه) شدت جریان و ولتاژ کمپرسور راتوسط ولت ، آمپر متر خوانده وسپس توان را با توجه به پارامتر های حاضربدست می آوریم $P = V I$ وبه این صورت توان مصرفی کمپرسور بدست می آید .همچنین ازروی نمایشگردماهای مربوط را یادداشت می کنیم .

دماها

اواپراتور:

- دمای فرئون ورودی به evaprator T_1
- دمای فرئون خروجی ازevaprator T_2
- دمای آب ورودی T_3
- دمای آب خروجی T_4

کندانسور:

- دمای فرئون ورودی به کندانسور T_1
- دمای فرئون خروجی از کندانسور T_2
- دمای آب ورودی T_3
- دمای آب خروجی T_4

نتایج و محاسبات:

۱- $Q_h^{\bullet}$ و $W^{\bullet}_c$ و ضرایب عملکرد مختلف دستگاه را محاسبه کنید .

برای محاسبه $Q_h^{\bullet}$ به ترتیب زیر عمل کنید :

$$Q_h^{\bullet} = m^{\bullet} C_P \Delta T$$

که در این جا لازم است اختلاف دمای آب ورودی به کندانسور و آب خروجی از آن را محاسبه کنید .

یعنی :

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

C_P : که مربوط به آب است .

$m^{\bullet}$: که دبی آب است و باید با استفاده از رتامتر بدست آورید .

۲- رسم تحولات در نمودار فشار – آنتالپی فریون ۱۲ برای هر دو حالت ایده ال و واقعی :

- برای تعیین دو خط فشار نمودار فشار – آنتالپی از گیج های فشار استفاده کنید .
- برای تعیین آنتالپی در دماهای مختلف هم از جداول ترمودینامیک مربوط به فرئون ۱۲ استفاده کنید .

۳- رسم تحولات در نمودار دما - آنتروپی برای هر دو حالت ایده ال و واقعی

- برای تعیین دماها از سنسور های دیجیتال استفاده کنید .
- برای تعیین آنتروپی هم از جداول ترمودینامیک استفاده کنید .

بحث تکمیلی:

مواد مصرفی بعنوان سیال عامل در سیکلهای تبرید تراکمی :

مواد مختلفی در تبرید تراکمی کاربرد دارد که بر حسب چگونگی مشخصات آنها (مثلاً منحنی) در موارد گوناگون بکار می روند .در دستگاههای برودتی عظیم (بیشتر از $4_0 \frac{MJ}{h}$) مواد مصرفی عبارتند از : آمونیاک – فریون و ایندرید کربنیک . در دستگاههای کوچک موادی مانند فرئون - $C_2H_Scl, CH_3OCH_3, SO_2, CH_3cl$ چون سیال انتخابی موثر بر ساختمان دستگاه می باشد (قطر – کورس – سوپاپهای کمپرسور)به همین جهت در موقع انتخاب سیال مورد نظر باید منحنی بخار آن ماده مشخص باشد . نسبت تراکم زیاد باعث افزایش مراحل تراکم و ایجاد مشکلات در جلوگیری از نشت سیال به خارج می شود ضمناً سیال باید حتی المقدور از نقطه انجمادش دور بوده و دارای گرمای نهان تبخیر زیادی باشد تا بتواند هنگام عبور از اواپراتور حرارت زیادتری جذب نماید . علاوه بر این نباید سمی آتش زا و بد بو بوده و میل ترکیبی با فلزات و لوله های مسیر نداشته باشد. گرچه آمونیاک بیشتر خواص فوق را ندارد ولی هنگام نشت ایجاد خفگی می کند .گاز ایندریدکربنیک دارای منحنی فشار مناسب است .

چون معمولاً در سیکلهای تبرید خانگی از فشارهای زیاد استفاده نمی شود به همین جهت از CO_2 و NH_3 به عنوان سیال مبرد کمتر استفاده می شود . بلکه به جای آنها از فریون استفاده می شود که بدون خطر ، بی بو و غیر سمی است. گرچه H_2O زیاد مورد توجه است ولی به علت حجم مخصوص زیاد در فشارهای کم مشکلات زیادی ایجاد می نماید .

مسئله : از یک پمپ حرارتی برای گرمایش منزلی استفاده می شود انتقال حرارت از خانه به بیرون 25kw بوده و دمای خانه باید در 20°_c ثابت نگهداشته شود در حالی که دمای هوای خارج -10°_c است حداقل توان مورد نیاز کمپرسور جهت گرداندن پمپ حرارتی چقدر است .

$$\beta' = \frac{q_H}{w_c} = \frac{q_L + w_c}{w_c = q_H - q_L}$$

$$\beta'_C = \frac{T_H}{T_H - T_L} = \frac{20+273}{20+10} = 9/93$$

$$\beta'_C = 9/73 = \frac{q_H}{w_C} \Rightarrow 9/93 = \frac{25}{w_C} \Rightarrow w_C - 2/56kw$$

مسئله : از یک پمپ حرارتی برای گرمایش یک منزل در زمستان ونیز با معکوس کردن آن برای سرمایش همان منزل در تابستان استفاده شده است . دمای داخل خانه باید در تابستان ۲۰ درجه و در زمستان ۲۵ درجه نگهداشته شود . انتقال حرارت از دیوارها و سقفها بازاء هر درجه اختلاف دمای بین داخل و خارج 2400kj حدس زده می شود .

a : اگر دمای هوای خارج در زمستان ۰ درجه باشد حداقل قدرت کمپرسور چقدر باید باشد .

b : اگر توان ورودی کمپرسور برابر قیمت a باشد حداکثر دمای خارج در تابستان چقدر می تواند باشد تا دمای داخل خانه در 25°_{c} باقی بماند

(a

$$\theta_H = 2400(20-0) = 48000\frac{kj}{h}$$

$$\beta' = \frac{Q'_H}{N_C} = \frac{48000}{N}$$

$$\beta'_C = \frac{T_H}{T'_H T'_L} \Rightarrow \begin{cases} \frac{48000}{w} = \frac{293}{20-0} \\ w = 3275\frac{kj}{h} = 0/91kw \end{cases}$$

(b

$$Q_L = 2400(T_H - 298)$$

$$\begin{cases} \beta = \frac{Q_L}{W_C} = \frac{2400(T_H - 298)}{3275} \\ \beta = \frac{T_L}{T_H - T_L} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{298}{T_H - 298} = \frac{2400(T_H - 298)}{3275} \end{cases}$$

$$(T_H - 298)^2 = \frac{298 * 3295}{2400} \Rightarrow T_H = 45^{\circ}_{C}$$

آزمایش دوم: سیکل تبرید جذبی آمونیاک

هدف آزمایش:

- بررسی اصول عملکرد یک سیستم تبرید جذبی
- بررسی فرایند تبرید
- به دست آوردن COP سیکل تبرید

تئوری آزمایش:

تبرید عبارت است از جذب حرارت از مواد و دفع آن به محیط خارج در کلیه سیستم‌های تبرید، حفظ سرما مستلزم گرفتن حرارت از موادی با درجه حرارت پایین تر و خارج کردن آن به محیطی با درجه حرارت بالاتر می باشد.

همان طور که می‌دانید گرما از یک محیط با دمای بالاتر به یک محیط با دمای پایین تر به خودی خود انتقال می‌یابد و نیاز به انجام کار ندارد ولی چنانچه بخواهیم عکس این عمل انجام شود، حتماً نیاز به انجام کار داریم(قانون دوم ترمودینامیک).

سیستم های تبرید شامل فرایندهای زیر می‌باشند:

۱. افزایش درجه حرارت مبرد (مانند فرستادن هوای سرد به داخل ساختمان برای سرد کردن محیط و وسایل داخل و گرم شدن خود هوای سرد)
۲. تغییر فاز (مقدار حرارتی که در اثر تغییر حالت از جامد به مایع یا مایع به گاز یا جامد به بخار جذب میگردد برای برودت استفاده می‌شود.)
۳. انبساط مایع (انبساط مایعات باعث تقلیل درجه حرارت آنها می‌شود.)
۴. انبساط گاز ایده آل (در یک جریان ثابت وقتی یک گاز ایده آل منبسط میشود کاهش درجه حرارت بوجود می آید مقدار افت درجه حرارت ممکن است جدی و قابل توجه باشد که بستگی به وضعیت محل انبساط دارد)
۵. تولید خلاء (اگر مخزن بسته ای را در محیطی با فشار کم رها کنیم، کاهش حرارت در مخزن تحت فشار حاصل میشود. چنانچه هوا را با فشار محیط به داخل مخزنی که تحت خلاء است وارد کنیم شود.

عکس عمل قبل اتفاق می افتد و در داخل مخزن پس از توازن فشار بیشتر از دزجه حرارت محیط میگردد. این تغییر انرژی از طریق روابط ترمودینامیک اثبات میشود. اما با توجه به اینکه دارای ارزش اقتصادی چندانی نیست بندرت مورد استفاده قرار میگیرد)

۶. انبساط گاز حقیقی(وقتی یک گاز حقیقی منبسط می‌شود. حتی اگر آنتالپی ثابت بماند تغییری در درجه حرارت بوجود آید)
۷. عملیات الکتریکی(با استفاده از الکتریسیته و یا مغناطیس به دو طریق می‌توان ایجاد برودت نمود. یکی با قرار دادن مولکول ها در یک میدان مغناطیسی و دیگر با استفاده از عکس العمل ترموکوپل.
۸. تبرید مغناطیسی عملی است که برای رسیدن به نزدیک درجه حرارت صفر مطلق بسیار مفید بوده و به کار می رود.)

پرکاربردترین روش سردسازی سیستم تراکم و سیستم جذبی می باشد.

سردسازی با مدار بسته بخار

این روش نیز خود به دو دسته سیستم تبرید تراکمی و سیستم تبرید جذبی دسته بندی می‌شود.

سیستم تبرید تراکمی

در این سیستم مبرد در کمپرسور فشرده شده و در اوپراتور منبسط می‌شود این انبساط باعث تبخیر مبرد و سرد شدن اوپراتور میگردد. بخار مبرد در قسمتی به نام کنداسور کندانس میشود و حرارت گرفته شده را به محیط دهد.پس می

سیستم های تبرید جذبی

برخلاف سیستم‌های تبریدی، سیستم تبرید جذبی مستقیما از انرژی گرمایی استفاده میکند. سیستم تبرید جذبی شامل سیستم های جذبی آب و آمونیاک و سیستم های جذبی لیتیوم بروماید و آب یک مرحله ای یا چندمرحله‌ای و سیستم‌های جذبی با جاذب جامد (solid absorption chiller) میباشد.

اساس کار سیستم های تبرید جذبی

تفاوت اصلی بین سیستمهای جذبی و تراکمی در این است که در سیستمهای جذبی به جای استفاده از انرژی مکانیکی برای ایجاد تغییرات لازم در ماده سرمازا به منظور تکمیل سیکل تبرید از انرژی حرارتی استفاده میشود.

مقایسه چیلرهای جذبی نسبت به چیلرهای تراکمی تبخیری

۱. چیلرهای جذبی از انرژی گرمایی برای تولید برودت استفاده می کنند در حالیکه چیلرهای تراکمی تبخیری از انرژی الکتریکی بهره می‌برند. با توجه به ارزان بودن سوخت و منابع انرژی گرمایی در ایران هزینهٔ بهره برداری چیلرهای جذبی به طور قابل توجهی پایین‌تر از چیلرهای تراکمی تبخیری خواهد بود.
۲. چیلرهای جذبی تقریباً فاقد قطعات گردنده بوده و در نتیجه میزان مصرف قطعات یدکی و نیاز به تعمیرات در آنها بسیار کم میباشد. به همین دلیل هزینه های جاری تعمیراتی به مقدار بسیار زیادی نسبت به چیلرهای تراکمی تبخیری کاهش مییابد.
۳. آلودگی صوتی و لرزش در چیلرهای جذبی نسبت به چیلرهای تراکمی تبخیری بسیار کم میباشد لذا برای محیطهای حساس از نظر کاهش سر و صدا بسیار مناسب است.
۴. بهره‌برداری از چیلرهای جذبی بسیار ساده و آسان است.
۵. از نظر حفظ محیط زیست چیلرهای جذبی هیچگونه آلودگی برای محیط زیست نداشته و لایه ازون را تخریب نمیکنند.

سیستم جذبی آب آمونیاک

در این سیستم مبرد آمونیاک و سیال جاذب، آب میباشد. سیستم جذبی آب آمونیاک که تنها سیستم جذبی بوده که سالها در صنایع از آن استفاده میگردید، امروزه نیز خصوصا در تبرید با درجات حرارت پایین به‌کار میرود. درقدیم از سیستم جذبی دریخچالهای نفتی خانگی استفاده میگردید ، که شمای آن در شکل (۲) داده شده است. تفاوت سیکل تبرید جذبی آمونیاک با شکل تراکم بخار در نحوه تراکم سیال است.

در سیکل تبرید جذبی بخار آمونیاک در فشار پایین از اواپراتور خارج شده و وارد جاذب میشود و در آنجا جذب محلول رقیق آمونیاک میگردد. این فرآیند در درجه حرارت کمی بالاتر از محیط صورت میگیرد و مقدار کمی گرما به محیط انتقال پیدا میکند. این مایع به داخل مخزن سرازیر میشود و سپس وارد ژنراتورمیگردد. در ژنراتور در درجه حرارت بالا حرارت میبینند و در اثر انتقال حرارت از منبع درجه حرارت بالا بخار آمونیاک از

محلول جدا شده (چون در اینجا محلول آمونیاک و آب مورد بررسی است و به دلیل اینکه درجه حرارت اشباع آمونیاک پایین تر از آب است زودتر بخار می شود.) و این بخار به درون چگالنده می رود.

مدار آب

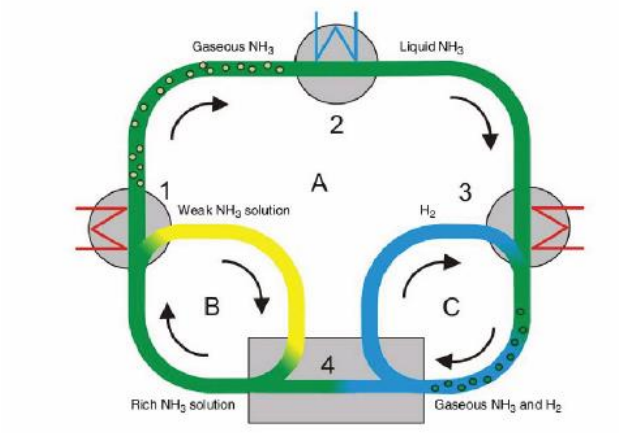
مخزن آب حاوی مخلوط حدود 65 % آب و حدود 35 % آمونیاک میباشد .این مخلوط، آمونیاک غنی نامیده میشود .آمونیاک غنی از مخزن به سمت بویلر جریان مییابد .در اینجا بخار آمونیاک از مخلوط در دمای حدود 150درجه سلسیوس جدا میشود و به صورت حباب به قسمت بالای لوله منتقل میشود .این اتفاق در بویلر مانند یک پمپ عمل میکند که تمام سیستم را در حرکت نگه میدارد .مخلوطی که قسمت زیادی از آمونیاک خود را از دست داده مخلوط ضعیف نامیده میشود .فشار بخار ایجاد شده در بویلر، مخلوط ضعیف را به جاذب میفرستد .مخلوط ضعیف در لوله های کویل جاذب می چکد و به مخزن ذخیره باز میگردد .در اینجا سیکل آب کامل میگردد.

مدار آمونیاک

بخارآمونیاک که در بویلر از مخلوط جدا شده در دمای حدود ۶۰ درجه به کندانسور میرسد. کندانسور توسط پره‌های روی آن در دمای اتاق نگهداری میشود. در این دما(دمای اتاق) و فشار حدود ۲۵ بار(فشار مطلق) بخار آمونیاک چگالیده می شود. آمونیاک مایع درون یک لوله موئین که به عنوان یک بازدارنده نیز عمل میکند جریان مییابد و سپس از مبدل حرارتی گازی و اواپراتور عبور میکند. آمونیاک لوله‌های داخلی اواپراتور را مرطوب میکند. در این هنگام گاز کمکی هیدروژن به درون اواپراتور دمیده میشود. گاز هیدروژن باعث افت فشار جزئی آمونیاک در اواپراتور شده و در نتیجه آمونیاک شروع به تبخیر و جذب حرارت از محیط میکند. بنابراین اواپراتور سرد میشود. سپس، مخلوط گازی آمونیاک و هیدروژن به مخزن باز میگردد و مجددا در لوله‌های جاذب بالا میرود. در اینجا (درون جاذب) مخلوط گازی آمونیاک و هیدروژن در تماس با مخلوط ضعیف (در مدار آب) قرار میگیرد. در اینجا آمونیاک تقریبا بهطور کامل در آب حل شده و به‌صورت مخلوط غنی به مخزن باز میگردد.

مدار هیدروژن

مخلوط ضعیف در جاذب، آمونیاک را تقریبا به صورت کامل جذب میکند درحالی که هیدروژن کاملا دست نخورده باقی میماند .هیدروژن گازی تقریبا خالص و سبک، جاذب را قسمت بالا به سمت اواپراتور ترک مینماید .هیدروژن در قسمت بالای اواپراتور در آمونیاک مرطوب (آمونیاک مایع و خالصی که از لوله موئین وارد اواپراتور شده است) دمیده میشود .با تبخیر آمونیاک در هیدروژن، دما در اواپراتور تا دماهای پایین کاهش مییابد .بنابراین فشار در اواپراتور از یک بار فشار بخار آمونیاک (فشار مطلق) و 24 بار فشار هیدروژن (فشار مطلق) تشکیل شده است. تبخیر پیوسته آمونیاک باعث میشود که فشار بخار آمونیاک (و به همان نسبت دمای تبخیر) به آرامی افزایش یابد. چگالی مخلوط گاز آمونیاک و هیدروژن به صورت معناداری بیشتر از چگالی هیدروژن خالص میباشد .مخلوط گازی سنگین هیدروژن و آمونیاک به سمت مخزن کشیده میشود. حرکت مخلوط سنگین به سمت پایین باعث بالارفتن مخلوط آمونیاک و گاز هیدروژن در سمت جاذب میگردد. در جاذب مخلوط گاز آمونیاک و هیدروژن در مجاورت مخلوط آب ضعیف بازگشتی از بویلر قرار می گیرند و آمونیاک آن جذب میشود. هیدروژن سبک نیز باقی میماند که به سمت بالای اواپراتور هدایت میشود تا مجددا در آمونیاک مایع در بالای اواپراتور دمیده شود و سیکل هیدروژن کامل گردد. در پایین جاذب، مخلوط آب و آمونیاک به مخزن باز میگردد.



شکل(۱) سیکل جذبی آمونیاک

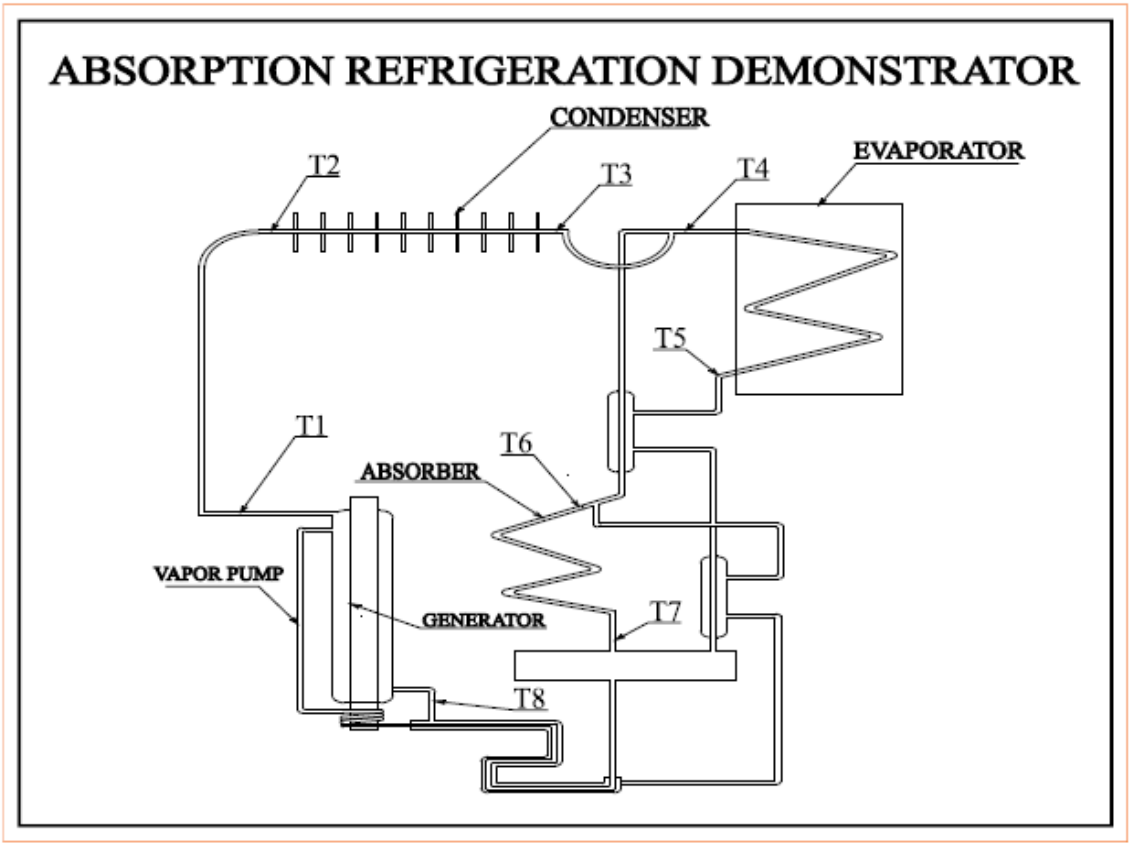
شرح دستگاه و روش انجام آزمایش:

همانطور که گفته شد دستگاه شامل دو مدار اصلی آب و آمونیاک می باشد و همچنین سیستم شامل کندانسور، اواپراتور، جاذب و ژنراتور میباشد. در سیکل تبرید یخچال نفتی ابتدا با حرارت تولید شده توسط المنت حرارتی دمای محلول آب و امونیاک موجود در ژنراتور افزایش مییابد تا جایی که آمونیاک به علت دمای جوش پایینتر بخار شده و از محلول جدا میشود. بخار آمونیاک از لوله باریکی که پمپ حباب نام دارد بالا میرود و همراه خود مقداری محلول رقیق آب و آمونیاک را نیز به سمت بالا میبرد و وارد مسیر جدیدی به سمت جاذب میشود.

بخار آمونیاک بعد از عبور از کندانسور هوایی که در پشت یخچال قرار دارد تقطیر میشود. آمونیاک مایع وارد اواپراتور یخچال شده و با گرفتن حرارت از درون یخچال مجدداً تبخیر میشود. تا اینجا عملیات تبرید به پایان رسیده است، ولی برای ادامه تبرید باید بخار آمونیاک مجدداً وارد محلول آب و آمونیاک شود.

برای این امر از گاز کمکی هیدروژن کمک میگیرند این گاز عملیات جذب آمونیاک توسط آب را تسهیل مینماید و در پایان مجدداً از محلول جدا شده و وارد مخزن هیدروژن می شود. با این حساب بخار آمونیاک متصاعد شده از اواپراتور(مبرد)، هیدروژن(تسهیل کننده جذب) و محلول رقیق آب و امونیاک که توسط پمپ حباب به جریان افتاده در یک سری لوله به نام جاذب در مجاورت هم قرار میگیرند و در طول جاری شدن از لوله که شیب کمی به سمت پایین دارد به مرور بخار آمونیاک جذب محلول رقیق آب و آمونیاک شده و محلول غلیظ حاصل در مخزنی ذخیره میشود تا سیکل تبرید را ادامه دهند. به علت بازده بالای سیستمهای تراکمی در مقیاس مشابه از این سیستم استفاده چندانی نمیشود اما هنوز در جاهایی که گاز و برق برای تبرید وجود ندارد از یخچال نفتی استفاده می شود. از محاسن این چیلرها میتوان به مصرف کم الکتریسیته به خاطر عدم وجود کمپرسور، بازده بالا، توانایی کار در محیطهای گرم (بالای 45 درجه سانتی گراد) به علت دارا بودن کندانسور هوایی و غیره نام برد.

در این دستگاه از المنت حرارتی به عنوان مصرف کننده (روی اواپراتور) استفاده شده است. با تغییر توان المنت توسط تغییر ولتاژ می توان COP دستگاه را محاسبه کرد.



شکل (۲) شماتیک دستگاه

اجزای کلی دستگاه

- کندانسور
- اواپراتور
- جاذب
- ژنراتور
- مخزن ذخیره
- فن
- ترموکوپل
- تابلو برق و کنترل و ادوات ابزار دقیق

مقادیر اندازه‌شده گیری

T_1 : دمای خروجی بویلر

T_2 : دمای ورودی کندانسور

T_3 : دمای خروجی کندانسور

T_4 : دمای ورودی اواپراتور

T_5 : دمای خروجی اواپراتور

T_6 : دمای ورودی جاذب

T_7 : دمای خروجی جاذب

T_8 : دمای ورودی بویلر

P_1 : مقدار حرارت تولیدی در بویلر

نتایج و محاسبات:

مرحله اول:

در ابتدا کلید ON سیستم را فعال کرده ،با روشن شدن هیتر درون ژنراتور فرآیند سیکل آغاز می‌شود. حدود ۴۵ تا ۶۰ دقیقه به سیستم زمان دهید تا سیکل به حالت پایدار برسد. سپس به ترتیب دماهای T_1 تا T8 را از نمایشگر مربوطه خوانده و در جدول یادداشت کرده و COP دستگاه را به دست آورید. جهت محاسبه توان ژنراتور مقاومت آن را ۶۴۰ اهم در نظر بگیرید.

مرحله دوم:

در مرحله دوم با استفاده از کلید FAN ON/OFF ، فن دستگاه را روشن نمائید و بعد از یادداشت و COP مربوطه را محاسبه کنید. با این کار تاثیر فریند جابجایی روی اواپراتور را مشاهده خواهید نمود.

مرحله سوم:

در مرحله سوم با روشن نمودن هیتر و فن به صورت همزمان درون محفظه مراحل قبل را نمایید. COP سیکل را می توانید با تغییر ولتاژ مصرف کننده (هیتر روی اواپراتور) محاسبه کنید.

مقاومت هیتر را حدود ۴۸۰ اهم در نظر بگیرید.

این مرحله از آزمایش این امکان را به شما خواهد داد که قانون دوم ترمودینامیک را برای یک حجم کنترل مورد بررسی قرار دهید. بدین منظور با استفاده از یک سرعت‌سنج سرعت هوای عبوری از فن را یادداشت نموده و با داشتن سطح مقطع ورود و خروج هوا $\dot{m}$ را محاسبه نمائید.

$$Q - W = m\,(h_i - h_0)$$

$$Q = MCP(T_i - T_0)$$

CP هوا را از جدول موجود در منابع در دمای میانگین محفظه استخراج نمائید.

محاسبات

با توجه به اینکه:

$$T_G\text{: Temperature of Generator} = \frac{T1+T8}{2}$$

$$T_C\text{: Temperature of Condenser} = \frac{T2+T10}{2}$$

T_E: Temperature of Evaporator $= \frac{T4+T5}{2}$

T_A: Temperature of Absorber $= \frac{T6+T7}{2}$

COPمربوط به سیستمهای تبرید جذبی را میتوان به صورت رابطه(۲) نوشت:

$$COP = \frac{q_E}{q_G}$$

$$COP = \frac{T_E(T_G - T_C)}{T_G(T_A - T_E)} \qquad (۱)$$

جدول (۱):دماهای مورد نیاز

Sr.No.	P(Watt)	$T_1(^\circ C)$	$T_2(^\circ C)$	$T_3(^\circ C)$	$T_4(^\circ C)$	$T_5(^\circ C)$	$T_6(^\circ C)$	$T_7(^\circ C)$	$T_8(^\circ C)$	$T_9(^\circ C)$	$T_{10}(^\circ C)$
۱											
۲											
۳											
۴											

- مقاومت المنت هیتر بویلر ۶۴۰ اهم می باشد.
- مقاومت المنت هیتر اواپراتور ۴ ۸۰ اهم می باشد.

آزمایش سوم: تعیین ضریب هدایت حرارتی جامدات

هدف آزمایش:

تعیین عملی ضریب هدایت حرارتی برای میله ساده ، میله مرکب و دیسک(حالت شعاعی)

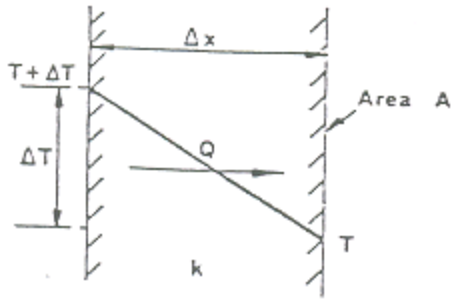
مقدمه :

انتقال حرارت بطریق هدایت در داخل اجسام موقعی پدید می آید که گرادیان دمایی بین دو نقطه از جسم ایجاد شود و هر قدر گرادیان دمایی (گرادیان درجه حرارت) بیشتر باشد شدت انتقال حرارت هم زیادتر خواهد بود. البته انتقال حرارت بطریق هدایت در اجسام جامد بهتر صورت می گیرد تا مایعات و گازها، و برعکس انتقال حرارت بطریق جابجایی در مایعات و گازها خیلی بهتر انجام می شود که در جامدات اصلا" صورت نمی گیرد. انتقال حرارت بطریق هدایت معمولا در داخل اجسام بطور سه بعدی انجام می پذیرد. آنالیز سه بعدی انتقال حرارت ساده نبوده و نیازمند صرف وقت زیاد جهت انجام محاسبات است. که البته از طریق المان های محدود و برنامه های کامپیوتری می توان در صرف وقت و مشکلات دیگر صرفه جوئی کرد. دستگاهی که در این آزمایشگاه بکار می رود انتقال حرارت بطریق هدایت یک بعدی را مورد بررسی قرار می دهد.

تئوری آزمایش:

هدایت حرارتی در طول یک میله ساده:

اگر سطح دیوار به ضخامت (ΔX) و سطح (A) باشد و اختلاف درجه حرارت دو طرف دیواره درضخامت ΔX برابر با ΔT باشد، مقدار حرارت منتقل شده از طریق هدایت :



شکل -۱

در واحد زمان از رابطه زیر بدست می آید :

$$Q \cong KA\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

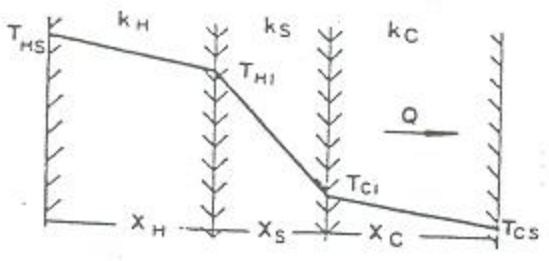
اگر جنس دیوار از یک ماده یکنواخت با ضریب هدایت حرارتی (K) باشد رابطه فوق بصورت زیر در می آید:

$$Q = -KA\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

هدایت حرارت در طول یک میله با جنس مرکب:

برای جریان حرارتی ثابت در داخل نمونه، مقدار حرارت منتقله در سطح مقطع نمونـه در تمـام قسـمت هـای مختلف میله مورد نظر در واحد زمان مقدار ثابت است و لذا قانون فوریه را می شود برای قسمت های مختلـف میله بصورت زیر نوشت.

$$\frac{Q}{A} = K_H\frac{T_{HS}-T_{HI}}{X_H} = K_S\frac{T_{HI}-T_{CI}}{X_S} = K_C\frac{T_{CI}-T_{CS}}{X_C}$$



شکل-۲

اگر رابطه کلی انتقال حرارت با ضریب کلی هدایت حرارتی را بصورت زیر بنویسیم.

$$\frac{Q}{A} = U(T_{HS}-T_{CS})$$

با توجه به روابط قبلی میتوانیم رابطه زیر را بدست آوریم :

$$\frac{1}{U} = \frac{X_H}{K_H}+\frac{X_H}{K_S}+\frac{X_C}{K_C}$$

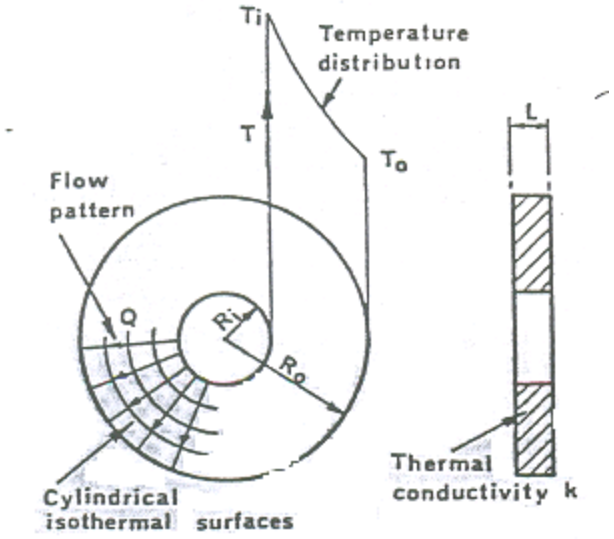
که در آن K_H , Ks, Kc به ترتیب ضرایب هدایت حرارتی اجزاء مختلفی که نمونه را تشکیل میدهنـد و U ضریب انتقال حرارت کلی میله است و $\frac{1}{U}$ عبارتست از مقاومت حرارتی نمونه مورد آزمایش.

هدایت حرارت در یک دیسک(حالت شعاعی):

موقعیکه یک دیواره استوانه ای ضخیم دارای درجه حرارت ثابت داخلی و خارجی باشد، جریان حرارت از مرکز بطرف محیط برقرار خواهد شد. از آنجائیکه فلوی حرارتی مقدار ثابتی بوده و جسم در حالت ثابت دمایی مـی باشد و لذا جریان حرارت با افزایش شعاع، افزایش می یابد.

بنابراین درجه حرارت کم خواهد شد و رابطه مقدار حرارت جریان یافته بصورت زیر در می آید.

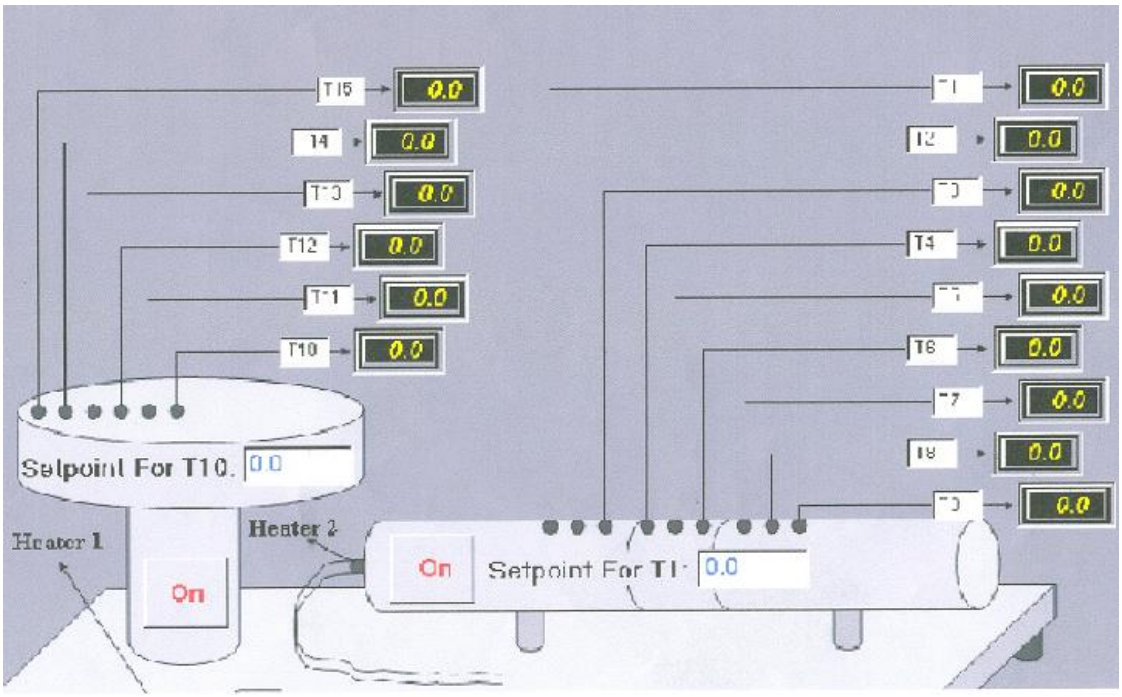
$$Q = 2\pi LK \frac{(T_i - T_o)}{Ln\frac{R_O}{R_i}}$$



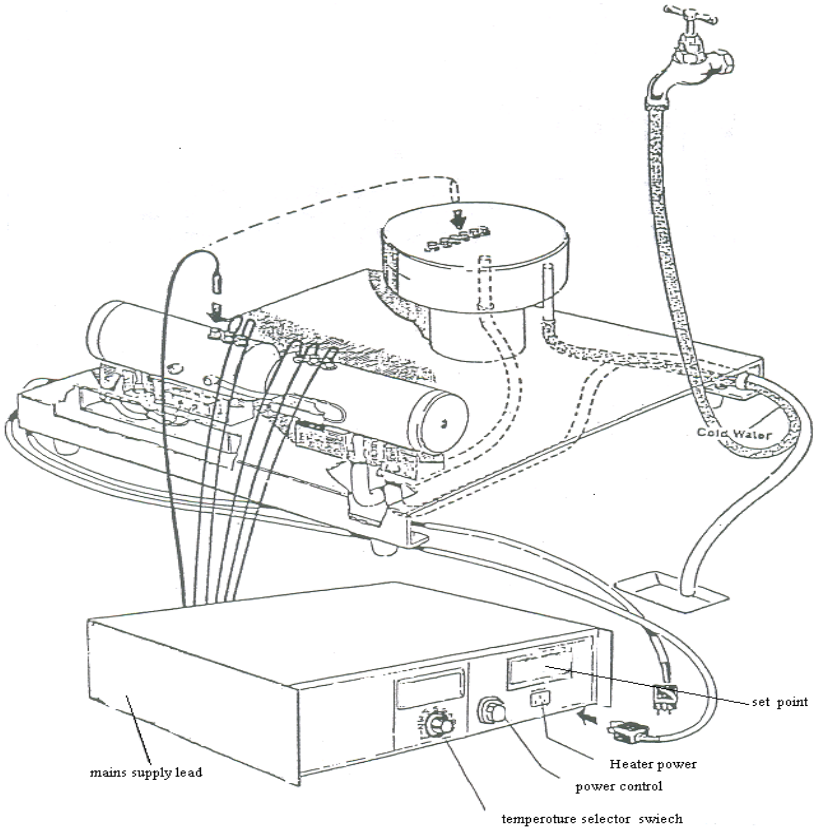
شکل-۳

شرح دستگاه و روش انجام آزمایش:

دستگاه مورد نظر شامل دو قسمت می باشد که یک قسمت آن انتقال حرارت را در جهت محوری و قسمت دیگر در جهت شعاعی نشان میدهد. هر دو قسمت دارای سنسور هایی هستند که درجه حرارت را در نقاط مختلف نشان میدهند. یک المان حرارتی جهت تولید حرارت در قسمت گرم بکار رفته است و جهت خنک نمودن قسمت سرد از آب شهر استفاده می شود. سنسور هائیکه در این دستگاه بکار رفته است درجه حرارت را با دقت 1C اندازه گیری می نماید، توان مصرفی هیتر را می توان تغییر داد. این دستگاه طوری طراحی شده است که خطاهای آزمایش مربوط به انتقال حرارت را در سه بعد به حداقل خود برساند و از اتلافات حرارتی از طریق جابجایی و تشعشع جلوگیری نماید.از این دستگاه می توان ضریب هدایت حرارتی مواد جامد مختلف را اندازه گیری کرد . (بشرط آنکه بتوان بصورت المانی مناسب بین دو قسمت سرد و گرم قرار داد) شکل ها، شمای کلی دستگاه آزمایش و قطعات مربوطه را نشان می دهد .


T15
0.0
T4
0.0
T3
0.0
T12
0.0
T1
0.0
T10
0.0
T2
0.0
T5
0.0
T6
0.0
T7
0.0
T8
0.0
T9
0.0
Setpoint For T10.
0.0
Heater 1
On
Heater 2
On
Setpoint For T1
0.0

شکل -۴


Cold Water
set point
Heater power
power control
temperature selector swiech
mains supply lead

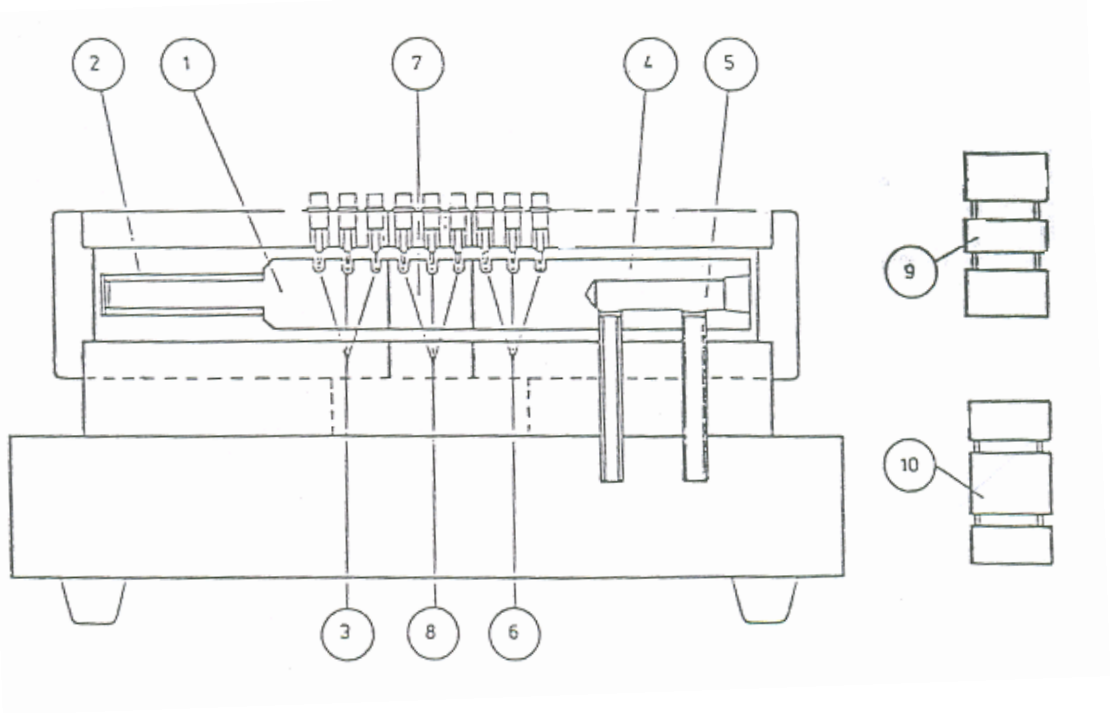
شکل -۵

واحد انتقال حرارت خطی (محوری) :

با استفاده از این واحد می توان قانون هدایت حرارتی فوریه را بسادگی نشان داد، این دستگاه تشکیل شده است از قسمت گرم کننده (۱) که از برنج ساخته شده است و یک هیتر برقی در آن جا سازی شده است (۲) سه عدد سنسور (۳) روی این قسمت به فاصله 13 میلی متر از یکدیگر قرار گرفته اند که درجه حرارت را در جهت محوری این میله برنجی بقطر 29 میلیمتر (۴) اندازه می گیرد . در طرف دیگر دستگاه کویلی وجود دارد که توسط یک جریان آب (۵) خنک می شود و قسمت سرد را تشکیل می دهد و روی این قسمت سنسور هایی بفاصله 13 میلیمتر از یکدیگر تعبیه شده است (۶) . قسمت گرم (۱) ممکن است مستقیماً به قسمت سرد (۴) متصل شود و تشکیل میله واحد برنجی بقطر 29میلیمتر را داده که روی آن ۶ عدد سنسور بفواصل 13 میلیمتر از یکدیگر تعبیه شده که می تواند بعنوان یک واحد مجزا مورد آزمایش قرار گیرد.

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

اولین المان از این نوع عبارتست از یک میله برنجی بقطر 29 میلیمتر و طول 30 میلی متر (۷) که روی آن ۳ عدد سنسور بفاصله13 میلیمتر (۸) از یکدیگر تعبیه شده اند . شکل زیر این المان را (۷) در حالیکه بین دو قسمت گرم و سرد جا داده شده و بصورت یک میله یکنواخت که دارای ۹ عدد سنسور متوالی و بفاصله های 13 میلیمتر از یکدیگر تعبیه شده اند نشان می دهد.



شکل-۶

شرح کار :

نمونه ی برنجی را بین دو قسمت گرم و سرد دستگاه قرار دهید .

توجه

۱- موقعیکه نمونه مورد آزمایش را بین دو قسمت گرم و سرد قرار میدهید بایستی مواظب باشیدکه نمونه کاملا تنظیم شود.

۲- مطمئن شوید که نقاطی که برای اندازه گیری درجه حرارت هستند در یک محور نصف النهاری – نمونه مورد آزمایش قرار گیرند

کنترل کننده گرم کن را در حد ۲۰۰ ولت قرار داده و صبر نمائید (حدود ۲۵ دقیقه) تا بحالت تعادل حرارتی برسد و سپس درجه حرارت ۹ نقطه در طول نمونه مورد آزمایش را یادداشت نمائید و هم چنین توان ورودی را یادداشت نمائید . این مرحله را حداقل برای ۳ حالت مختلف تکرار نموده به شرطی که درجه حرارت از ۱۰۰ درجه بالاتر نرود(دمای مربوط به set point راتا ۱۰۰ درجه قرار دهید) . توجه داشته باشید بعد از هر تغییر توان بایستی باندازه کافی صبر نموده تا سیستم بحالت تعادل دمائی برسد و نتایج را در جدول زیر ثبت نمائید.

Test NO	Q Watt	T_1 ^0C	T_2 ^0C	T_3 ^0C	T_4 ^0C	T_5 ^0C	T_6 ^0C	T_7 ^0C	T_8 ^0C	T_9 ^0C
A										
B										
C										

جدول-۱

برای حالت میله مرکب روش آزمایش مطابق آزمایش قبلی بوده و پس از انجام آزمایش جدول۲ را تکمیل نمایید.دو المان دیگر همراه دستگاه موجود می باشد که از لحاظ ابعاد و اندازه مشابه المان اول و از لحاظ جنس فرق می کند. تمام آزمایش های گفته شده را می توان با هر سه المان انجام داد و نتایج را با هم مقایسه نمود.
دومین المان (۹) که میتواند بین قسمت سرد و گرم قرار گیرد از فولاد ضد زنگ ساخته شده است که ابعاد آن برابر ابعاد اولین المان می باشد و روی آن جای سه سنسور وجود دارد .
سومین المان (۱۰) که میتواند بین قسمت سرد و گرم قرار گیرد از آلومینیوم ساخته شده است که ابعاد آن برابر ابعاد اولین المان می باشد و روی آن جای سه سنسور وجود دارد .
این المان ها امکان بررسی و تحقیق اثر تغییر جنس در طول معبر جریان هدایت حرارتی را فراهم می سازد.
برای اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی مواد عایق می توان هر نوع عایقی را بین دو قسمت سرد و گرم قرارداد و ضریب هدایت حرارتی آنرا بدست آورد. نمونه ای از مواد عایق می تواند یک ورق کاغذ باشد.
سنسور هائیکه برای اندازه گیری دما تعبیه شده از طریق یک سوئیچ انتخاب کننده (Selector Switch) به نمایشگر دیجیتال وصل می شوند.

توجه: برای انجام حالت میله مرکب از دو قطعه آلمینیومی و فولاد ضد زنگ یکی را انتخاب کنید و آزمایش را انجام دهید

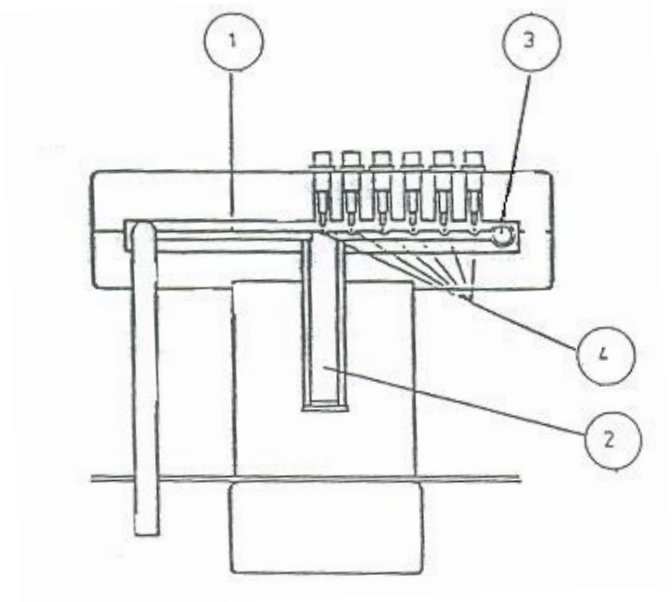
Test NO	Q Watt	T_1 ^0C	T_2 ^0C	T_3 ^0C	T_4 ^0C	T_5 ^0C	T_6 ^0C	T_7 ^0C	T_8 ^0C	T_9 ^0C
A										
B										
C										

جدول-۲

واحد انتقال حرارت شعاعی:

دستگاه آزمایش مطابق شکل ۴و۵ تشکیل شده از یک دیسک برنجی که در مرکز آن المان حرارتی قرار گرفته و در پیرامون آن خنک کننده برقرار است و لذا فرض می شود که تمام حرارت تولید شده در مرکز المان فقط در جهت شعاعی و بطریق هدایت منتقل شود و شکل شماتیک دیسک با شعاع های داخلی و خارجی و همچنین جریان حرارت با جهت شعاعی و منحنی تغییرات دما بر جهت شعاعی در شکل -۷ نشان داده شده است.

مطابق شکل-۷ این واحد تشکیل شده است از یک دیسک برنجی (۱) بقطر ۱۵۷ و ضخامت ۴میلیمترکه مرکز این دیسک توسط یک المان الکتریکی (۲) حرارت لازم تولید می شود و محیط آن توسط یک لوله مسی دایره ای شکل که آب شهر میتواند در آن جریان یابد خنک می شود (۳) . ۶ عدد سنسور به فواصل (۴) ۱۳ میلیمتر از یکدیگر به ترتیب از مرکز دیسک و در جهت شعاعی قرار گرفته است که میتواند تغییرات درجه حرارت را در جهت شعاعی اندازه گیری نماید.



شکل-۷

روش آزمایش مطابق آزمایش قبلی می باشد و پس از انجام آزمایش جدول زیر را تکمیل نمائید.

Test NO	Q Watt	T_1 ^0C	T_2 ^0C	T_3 ^0C	T_4 ^0C	T_5 ^0C	T_6 ^0C
A							
B							
C							

جدول-۳

نتایج و محاسبات:

میله ساده:

۱- جدول شماره (۱) را کامل کنید.

۲- منحنی تغییرات دما را نسبت به طول میله رسم نمایید. که در اینصورت بایستی منحنی ها برای سه تکرار اولاً بصورت خط راست بوده ثانیاً بطور موازی باشند یعنی ضریب زاویه آنها تقریباً $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ مساوی باشد .(توجه: در صورت پراکندگی داده ها برای آنها رگرسیون خطی انجام دهید.)

برای محاسبه ضریب هدایت حرارتی از قانون هدایت فوریه استفاده می کنیم. ($Q = -KA\frac{\Delta T}{\Delta x}$)

۳- مقادیر ضریب هدایت حرارتی بدست آمده را با مقادیر داده شده در جداولیکه در کتب مختلف چاپ شده است مقایسه گردد. (نام منبع مورد استفاده را ذکر کنید)

۴- در مورد اثر درجه حرارت روی ضریب هدایت حرارتی نظر داده که آیا این اثر باعث افزایش یا کاهش ضریب حرارتی می شود و هم چنین اثر این فاکتور را روی شکل پروفیل درجه حرارت بیان نمایید.

۵- برای یک تکرار رگرسیون را به صورت دستی(مطابق با بحث تکمیلی) انجام دهید.

میله مرکب:

۱- جدول شماره (۲) را کامل کنید.

۲- منحنی تغییرات دما را نسبت به طول میله رسم نمایید. این نمودار با نمودار میله ساده چه تفاوتی دارد؟

۳- ضریب هدایت حرارتی المان وسط را بدست آورید و با جداول کتاب مقایسه کنید.

حالت شعاعی:

۱- جدول شماره (۳) را کامل کنید.

۲- منحنی تغییرات دما را نسبت به شعاع رسم نموده و از روی آن درجه حرارت To مربوط به شعاع خارجی ro را بدست آورید سپس از روی فرمول مربوط مقدار حرارت جریان یافته را محاسبه نموده آن را با حرارتیکه از طریق توان الکتریکی تولید شده مقایسه نمائید.

۳- نظرات خود را در مورد اختلاف این دو مقدار بیان نمایند.

بحث تکمیلی:

رگرسیون خطی:

در نظر بگیرید که می خواهیم یک تابع خطی که بر داده های جدول-۱ فیکس می شود را با کمترین انحراف بیابیم. تابع خطی که با این روش مشخص می شود خط رگرسیون نامیده می شود.

i	x	y
1	0.1	0.61
2	0.4	0.92
3	0.5	0.99
4	0.7	1.52
5	0.7	1.47
6	0.9	2.03

جدول-۱ دادهای اندازه گیری شده

تابع خطی به شکل زیر تعریف می شود:

$$g(x) = a + bx$$

که a و b ثابت های نامعینی می باشند.انحراف خط از هر کدام از نقاط داده ها به صورت زیر تعریف می شود:

$$r_i = y_i - g(x_i) = y_i - (a + bx_i), \quad i = 1, 2, \ldots, L$$

که L تعداد کل نقاط می باشد(در مثال حاضر ۶ است) و ثابت های a و b باید به دست آیند.

جمع مربعات انحراف ها به شکل زیر بیان می شود:

$$R = \sum_{i=1}^{L} (r_i)^2 = \sum_{i=1}^{L} (y_i - a - bx_i)^2$$

به علت اینکه a و b پارامتر های دلخواه هستند می توانند با مینیمم شدنR به دست آیند. مینیمم R زمانی است که مشتقات جزئی R نسبت به a و b صفر شود:

$$\frac{\partial R}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^{L} (y_i - a - bx_i) = 0$$

$$\frac{\partial R}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^{L} x_i(y_i - a - bx_i) = 0$$

که می توان به شکل زیر باز نویسی کرد:

$$\begin{bmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} \\ A_{2,1} & A_{2,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \end{bmatrix}$$

که در آن:

$$A_{1,1} = L$$
$$A_{1,2} = \sum x_i$$
$$Z_1 = \sum y_i$$
$$A_{2,1} = \sum x_i$$
$$A_{2,2} = \sum (x_i)^2$$
$$Z_2 = \sum x_i y_i$$

در روابط بالا مقدار i از ۱ تا L است.توجه داشته باشید که $A_{1,2} = A_{2,1}$. با حل معادله برای a و b داریم:

$$a = \frac{A_{2,2}Z_1 - A_{1,2}Z_2}{d}$$

$$b = \frac{A_{1,1}Z_2 - A_{2,1}Z_1}{d}$$

که برای d داریم:

$$d = A_{1,1}A_{2,2} - A_{1,2}A_{2,1}$$

مثال:

برای داده های جدول ۱ رگرسیون خطی انجام دهید.

حل:

ضرایب معادله در جدول زیر محاسبه شده اند:

Purpose	A12, A21	Z1	A22	Z2
i	x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$
1	.1	.61	.01	.061
2	.4	.92	.16	.368
3	.5	.99	.25	.495
4	.7	1.52	.49	1.064
5	.7	1.47	.49	1.029
6	.9	2.03	.81	1.827
Total	3.3	7.54	2.21	4.844

جدول-۲

از نتایج جدول ۲ به دست می آوریم:

$$A11 = L = 6, \quad A12 = 3.3, \quad Z1 = 7.54$$
$$A21 = 3.3, \quad A22 = 2.21, \quad Z2 = 4.844$$

بنابراین داریم:

$$\begin{bmatrix} 6 & 3.3 \\ 3.3 & 2.21 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7.54 \\ 4.844 \end{bmatrix}$$

که با حل معادله بالا a و b را بدست می آیند:

$$a = 0.2862, \quad b = 1.7645$$

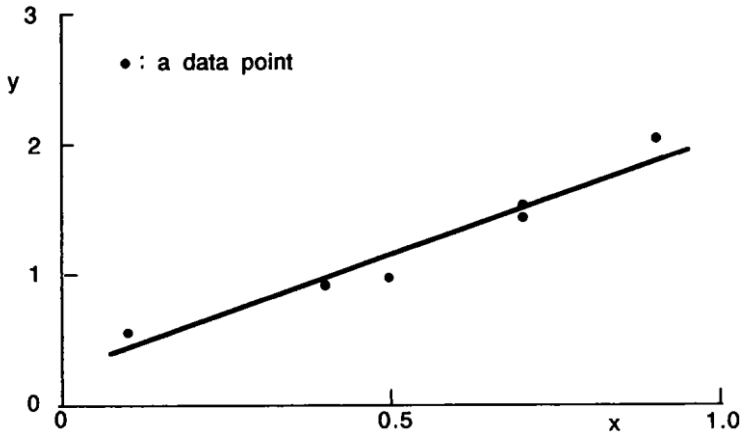
پس خط رگرسیون به شکل زیر به دست می آید:

$$g(x) = 0.2862 + 1.7645x$$

در شکل زیر خط به دست آمده به همراه نقاط داده ها رسم شده اند و مقادیر انحراف ها نیز در جدول ۳ محاسبه شده اند:

i	$x(i)$	$y(i)$	$g = ax + b$	Deviation
1	0.1	0.61	0.4626161	0.14738
2	0.4	0.92	0.9919831	−0.07198
3	0.5	0.99	1.168439	−0.17844
4	0.7	1.52	1.52135	−0.00135
5	0.7	1.47	1.52135	−0.05135
6	0.9	2.03	1.874261	0.15574

جدول-۳



نمودار-۱

آزمایش چهارم: موتور بنزینی

هدف آزمایش:

تست موتور بنزینی(محاسبه مصرف سوخت و هوا و همچنین میزان راندمان و توان مفید)

تئوری آزمایش:

اندازه گیری قدرت و گشتاورخروجی $P_{M,out}$:

$$P_G = V \times I$$

$$P_{M,out} \cong P_G$$

برای به دست آوردن گشتاور خروجی موتور به ترتیب زیر عمل می کنیم.

$$P_{M,out} = \frac{2\pi N}{60} \times T$$

که در این رابطه :

$P_{M,out}$: قدرت (توان) خروجی موتور با توجه به فرضیات فوق

N : دور موتور

T : گشتاور خروجی موتور

مشخصات یک موتور ایده آل و محاسبه ی توان مصرفی موتور $P_{M,in}$:

برای سوختن کامل یک سوخت می بایست مقدار هوای کافی در اختیار آن قرار داده شود اگر از حجم اشغال شده توسط سوخت صرف نظر کنیم حجم هوای داخل سیلندر در هر سیکل عبارت است از حجم جارو شده V_s . اگر هوا دارای جرم حجمی ρ_{air} در اتمسفر باشد.

داریم :

جرم هوای ایده آل در هر سیکل = $\rho_{air}.V_s$

در یک موتور دو زمانه در هر چرخش یک سیکل کامل می شود.

بنابراین شدت هوای مصرفی عبارت است از :

$$m_{air} = N/60 \times \rho_{air} \times V_s$$

که در این رابطه :

m_{air} : دبی جرمی هوای ایده آل با واحد کیلوگرم در هر ثانیه

در یک موتور چهار زمانه یک سیکل در دو چرخش کامل می شود و خواهیم داشت :

$$m_{air} = N/2 \times 60 \times \rho_{air} \times V_s$$

شدت سوخت مصرف شده بستگی به ضریب R (دبی جرمی هوا / دبی جرمی سوخت) دارد.

$$m_f = m_{air} \times R$$

که R مقدار 14.8 را دارا است.

هرگاه احتراق کامل را در نظر بگیریم مقدار حرارت ناشی شده از سوخت معادل با ارزش حرارتی توان H است که مقدار H برای بنزین ۴۲۰۰۰ kj/kg و برای گازوئیل ۳۹۰۰۰ kj/kg است.

شدت گرمای وارد شده به موتور عبارت است از :

$$Q = m_f \times H$$

اگر تمام انرژی حرارتی به انرژی مکانیکی تبدیل گردد مقدار توان موتور عبارت است از :

$$P_{M,in} = Q$$

حال برای یک موتور دو زمانه خواهیم داشت :

$$\mathrm{P_{M,in}} = RH \times \frac{N}{60} \times \rho_{air} \times V_s = RH \times \frac{N}{60} \times m_{air}$$

و برای یک موتور چهار زمانه :

$$\mathrm{P_{M,in}} = RH \times \frac{N}{2 \times 60} \times \rho_{air} \times V_s = RH \times \frac{N}{60} \times m_{air}$$

محاسبه ی هوای مصرفی یک موتور واقعی :

در حالت قبل فرضی که صورت گرفته بود این بود که جرم هوای لازم عبارت است از حاصل ضرب حجم جارو شده در جرم حجمی هوا . در عمل جرم هوا کمتر از این مقدار است. جرم واقعی هوای استفاده شده در هـر سیکل از شدت هوای مصرفی در هر سیکل و تعداد سیکلهای کامل شده در واحد زمان قابل محاسبه است.

قابل توجه است که شدت هوای مصرفی در موتور بر حسب واحد $\mathrm{kg/h}$ سنجیده می شود.

اگر شدت هوای مصرفی m بر حسب kg/h باشد برای موتور دوزمانه:

$$\text{جرم واقعی در هر سیکل} = \frac{m_a}{60} \times \frac{1}{N}$$

برای یک موتور چهار زمانه :

$$\text{جرم واقعی در هر سیکل} = = \frac{m_a}{60} \times \frac{2}{N}$$

محاسبه ی هوای مصرفی :

m_a : در اینجا جرمی از هوا است که در مدت N سیکل وارد موتور می شود .

موقع استفاده از آنومتر جرم واقعی هوا برای هر سیکل برابر است با :

l : سرعت باد که از روی نمایشگر بر حسب km/h می خوانید .

A : سطح مقطع ورودی هوا بر حسب متر

ρ_{air} : چگالی هوا

$$m_{air} = lA\rho_{air}$$

روش اندازه گیری حجم سوخت :

مانومتر سوخت دستگاهی است برای اندازه گیری حجم سوخت. این وسیله لوله ی شیشه ای است که در انتهای آن شیری وجود دارد . روی بدنه ی لوله مدرج شده و مقدار مصرف سوخت را با توجه به واحد آن می توان قرائت کرد . در این جا حجم سوخت مصرفی را بر حسب میلی لیتر گزارش دهید تا در بقیه مراحل استفاده شود .

برای اندازه گیری دبی سوخت می توان از مانومتر و یک کرنومتر استفاده کرد.

به این طریق که برای حجم مشخصی از سوخت با استفاده از کرنومتر حساب می کنیم که چقدر طول می کشد تا مصرف شود و بر اساس زمان بدست آمده دبی را مشخص می کنیم .

سیستم سوخت و اندازه گیری میزان مصرف سوخت :

سیستم سوخت موتور از یک منبع که به دستگاه متصل است تأمین می شود.

فرض کنید مقدار $A(ml)$ از یک سوخت در زمان t ثانیه مصرف شده باشد.

$$m_f = s_g f \times \frac{A\times 10^{-3}}{t} kg/s$$

$$m_f = \frac{s_g f \times A\times 10^{-3}}{t}$$

هرگاه بخواهیم مصرف سوخت را بر حسب واحد kg / hr اندازه بگیریم خواهیم داشت :

$$m_f = \frac{(\ A\times \text{sgf} \times 10^{-3}\ )}{3600\times \text{t}} (\text{Kg/hr})$$

که sgf برای سوختهای گوناگون به شرح زیر است :

۰/۷۴ بنزین

۰/۷۴۱ بنزین + روغن روان کننده

۰/۸۴ گازوئیل

محاسبه ی راندمان موتور :

میزان مصرف سوخت را با دو روشی که شرح داده شده محاسبه کنید . مقدار حرارت ناشی شده از سوخت معادل با ارزش حرارتی توان H است که مقدار H برای بنزین kj/kg ۴۲۰۰۰ و برای گازوئیل kj/kg ۳۹۰۰۰ است. با توجه به این مقدار توان مصرفی موتور را محاسبه کنید .

$P_M = m_f \times H$ توان ورودی موتور

$P_{M,22} = V \times I$ *توان خروجی موتور*

برای محاسبه ی راندمان توان خروجی سیستم را به توان مصرفی تقسیم کنید . از این طریق می توان راندمان موتور را حساب کرد .

مصرف ویژه سوخت و محاسبه ی راندمان موتور با توجه به میزان مصرف سوخت SFC:

روش دیگری برای اندازه گیری راندمان یک موتور اندازه گیری میزان مصرف ویژه سوخت است. که بوسیله تقسیم شدت سوخت مصرفی به قدرت ترمزی قابل محاسبه است. با اندازه گیری P_M بر حسب کیلو وات و m_f بر حسب کیلو گرم بر ساعت داریم :

$$SFC = (m_f / P_M)_{*10}$$

با مقایسه این رابطه مشاهده می شود که مقدار SFC متناسب با معکوس راندمان ترمز حرارتی است.

خلاصه ای از افت های شرح داده شده :

گفتیم که در یک موتور احتراق داخلی به وسیله احتراق سوخت در سیلندر و ایجاد فشار حرکت پیستون میسر میگردد و با تبدیل این حرکت رفت و برگشتی به حرکت دورانی می توان قدرت خروجی لازم را بدست آوریم که این مقدار قدرت در موتور ایده آل متناسب با مقدار سرعت است. افت حرارتی و مکانیکی باعث می گردد که این رابطه خطی بین قدرت و سرعت از بین برود و منحنی قدرت موتور دارای یک نقطه ماکزیمم باشد . منحنی گشتاور نیز شامل این افتها شده تحت سرعت ثابت باقی نمی ماند.

در این میان وظیفه اگزوز :

۱-دور کردن CO_2 از سیلندر.

۲-صدای احتراق را خفه می کند.

معمولاً در اگزوز چند کانال شیار دار توی هم دیگر است که باعث می شود دمای اگزوز خیلی کاهش یابد.

می دانیم که میزان CO_2 بعد از سوختن در موتورهای بنزینی حدود ٪ ۸/۷ است ولی این میزان در موتورهای دیزل حدود ۰/۸ - ۰/۷ ٪ است.

پس موتورهای بنزینی خطر خیلی کمتری دارند چون میزان مونوکسید کربن حاصل کمتر است .

معمولاً در موتورهای بنزینی عمل پس سوز انجام می شود یعنی هوای حاصل سوختن را دوباره میسوزانیم پس این هوای سوزانده شده CO_2 کامل است.

شرح دستگاه و روش انجام آزمایش:

در شکل نمایی از دستگاه دیده می شود.دستگاه به طور کلی شامل موارد زیر است :

۱- یک محفظه برای سوخت

۲ - هندل،

۳ - ساسات برای هوای سرد،

۴ - محفظه روغن و لوله اگزوز،

۵ - دما سنج،

۶ - ولت متر و آمپر متر وجود دارد که به صورت دیجیتالی تغییرات و مقادیر را نشان می دهد

۷ - پنل بار که در این پنل ۲ ردیف لامپ وجود دارد.

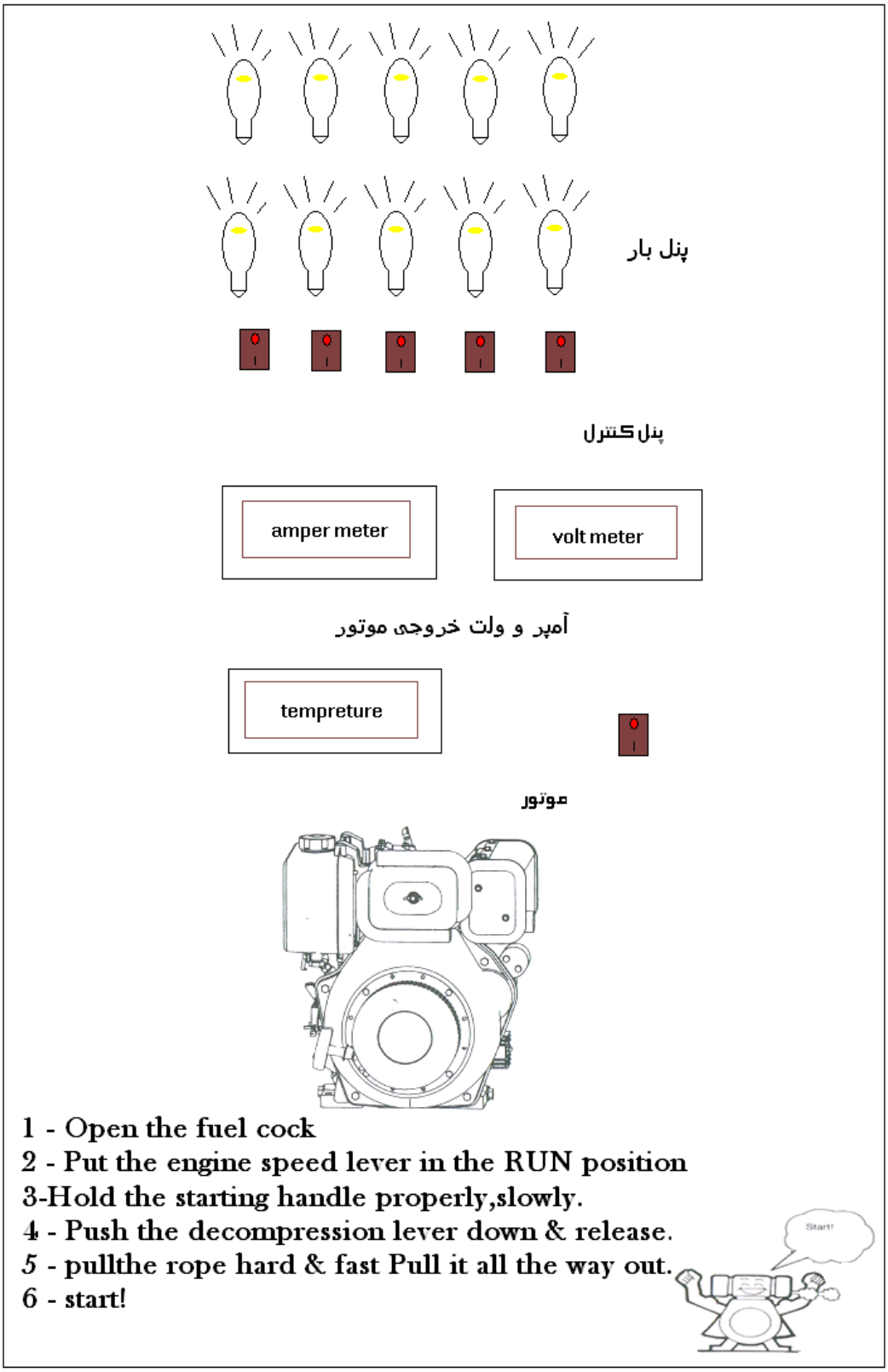
با روشن کردن هر کدام از کلید ها که در قسمت پنل بار قرار دارد لامپ هایی که بالای کلید مربوطه قرار دارد روشن می شود .

روش کار:

ابتدا باید سوخت و مخزن روغن را چک کرده واز میزان روغن مطلع شد که به مقدار کافی موجود باشد بعد شیر مخزن را باز کرده و باید توجه کرد که حتماً در داخل محفظه سوخت باشد .سپس ساسات را پایین می بریم باید توجه داشت که منظور از به کار بردن ساسات در این آزمایش برای ایجاد فشار اولیه است و همین طور مواقعی که هوا سرد باشد کمک به راه اندازی می کند سپس دکمه دستگاه را از حالت خاموش به حالت (ران) RUN می بریم بعد از آن هندل را کشیده تا سرعت اولیه در حدود Rpm (دور در دقیقه) ایجاد شود چون برای به کار افتادن موتور لازم است که دور موتور در ابتدا به یک حد اولیه رسیده باشد.

درون مخزن هوا متراکم شده و با این تراکم و به واسطه اصطکاک هوا و دیواره مخزن درجه حرارت به ۸۰۰ ـ ۶۰۰ درجه می رسد که دمای مورد نیاز برای احتراق سوخت است. شیر مخزن سوخت را باز کرده و موتور شروع به کار می کند بعد در این هنگام منتظر می مانیم در حدود دو دقیقه مراحل انجام شود و بعد از آن دما ها و ولت و آمپر را از روی پانل می خوانیم . در این حالت آمپر سنج صفر را نشان می دهد و همچنین ولتاژ ما، ولتاژ ماکزیمم تولید شده می باشد بعد با توجه به توان تئوری دینام که همان توان خروجی است میزان بار ماکزیمم مشخص می شود و در این هنگام شروع به وصل کردن چراغها می کنیم. که در این حالت سرعت و ولتاژ کاهش یافته و جریان افزایش می یابد.اگر بخواهیم ماکزیمم بار را بکشیم ، موتور خاموش می شود . این همان تـوان ماکزیمم مصرفی است.

در ادامه آزمایش با افزایش میزان بار می توان میزان افت ولتاژ و سرعت موتور و افزایش جریان را نمونه برداری کرد. در انتها از روی میزان مصرف توان مفید موتور را بدست می آوریم.در این حالت توان خروجی موتور برابر با توان تئوری دینام است.


پنل بار
پنل کنترل
amper meter
volt meter
آمپر و ولت خروجی موتور
tempreture
موتور
1 - Open the fuel cock
2 - Put the engine speed lever in the RUN position
3-Hold the starting handle properly,slowly.
4 - Push the decompression lever down & release.
5 - pullthe rope hard & fast Pull it all the way out.
6 - start!
Start!

شکل-۱

نتایج و محاسبات:

۱- در حالتی که هیچ یک از لامپ ها روشن نیست ولتاژ و آمپر را از روی پانل دستگاه یادداشت کنید.

۲- هر بار یکی از لامپ ها را وارد مدار کنید و میزان سوخت مصرفی ،ولتاژ،جریان ،توان مصرفی ،توان خروجی، بازده، جرم هوای ایده آل،شدت هوای مصرفی،دور موتور ودمای خروجی از اگزوز را محاسبه کنید.

۳- نمودار راندمان برحسب جریان را رسم کنید و آنرا تحلیل نمایید.

۴- نمودار دمای خروجی از اگزوز را بر حسب دور موتور رسم کنید.

۵- نمودار ولتاژ بر حسب جریان را رسم کنید.

بحث تکمیلی:

موتور بنزینی :

به طوریکه می دانیم در موتورهای بنزینی در زمان اول : در اثر حرکت پیستون در سیلندر از نقطه مرگ بالا به پایین در اثر فشار کم ایجاد شده در محفظه سیلندر و پیستون هوا به داخل مکیده می شود چـون در مجـرای ورود هوا به سیلندر ژیگلور یا پستانک کرموراتور قرار دارد. بنزین به صورت مخلوط با هوا وارد سیلندر می گردد در این سیستم اختلاط هوا و بنزین در خارج سیلندر صورت می گیرد بدین جهت در این نوع موتورها از ترکیب سوخت خارجی نام برده می شود و علامت مشخصه ای برای موتور بنزینی است.

در زمان دوم : در این نوع موتورها پس از آنکه پیستون از نقطه مرگ پایین شروع به بالا رفتن کرد گاز و هوا را می فشارد بنابراین موتورهای بنزینی متراکم کننده مخلوط گاز و هوا می باشند.

در زمان سوم : برای ایجاد جرقه ولتاژ زیاد به شمع ارسال و مخلوط هوا و بنزین در سیلندر منفجر می گردد.

در زمان چهارم : پیستون هنگام حرکت از نقطه مرگ پایین به بالا تخلیه دود انجام می دهد بنابراین دو علامت مشخصه موتور بنزینی ترکیب سوخت خارجی و زدن جرقه در داخل سیلندر می باشد .

زمان سوم در موتورهای چهارزمانه و زمان دوم در موتورهای دو زمانه مثبت یا انجام کارمی باشد و انرژی حاصل توسط پیستون به میل لنگ و چرخ طیار منتقل و در چرخ طیار ذخیره می شود.

در موتور بنزینی، هوا سخت از داخل کاربراتور محتوی بنزین گذشته و مقداری بنزین از آنجا برداشته و آن را به صورت بخار بنزین با خود به داخل سیلندر وارد می کند (ولی همان طور که می دانیم در انژکتوری تنها هوا وارد سیلندر می شود).

در تمام طول مدت تنفس که پیستون رو به پایین در حرکت است ظرفیت سیلندر از مخلوط هوا و بخار بنزین (در مورد موتورهای مجهز به کاربراتور) و هوا و پودر سوخت (در مورد موتورهای انژکتوری) پر می شود وقتـی که پیستون به انتهای (نقطه توقف) پایین رسید سوپاپ ورودی بسته شده و بدین سان قسمت محصـور بـالای سیلندر مسدود می گردد از این لحظه به بعد مرحله دوم یا تراکم آغاز می شود در این مرحله محتوی سیلندر سر بسته به تدریج فشرده شده حجم آن به حدود یک ششم حجم اولیه می رسد. میزان فشار حاصل، نسبت تراکم موتور را مشخص می کند که برابر نسبت حجم سیلندر در بالاترین وضع آن است نسبت مزبور بر حسب موتورهای مختلف فرق می کند به عنوان مثال در موتوری که حجم سیلندر آن در نقطه پایین پیستون۴۰اینچ مکعب (۶۲۶ سانتی مترمکعب) و در بالاترین وضع پیستون ۵ اینچ مکعب (۸۲ سانتی متر مکعب) باشد نسبت تراکم برابر خارج قسمت ۴۰/۵ یعنی ۸ می باشد در طرح موتورهای جدیدکه در ساخت آنها از فلزات مقاوم استفاده شده نسبت تراکم را افزایش داده اند تا بر مقدار قدرتی که از آنان بدست می آید افزوده شود.

هنگامیکه پیستون در طی مرحله تراکم به بالاترین حد میسر خود رسید هوا یا مخلوط هـوا و سـوخت کـاملاً فشرده و گرم می شود و شرایط لازم برای تولید احتراق مناسب حاصل می گردد. در مورد موتورهـای بنزینـی درست در همین لحظه جرقه ای در شکاف شمع تولید شده و موجب اشتعال بخار بنزین مـی گـردد. سـرعت احتراق بنزین زیاد است و به محض آغاز احتراق همه بخار بنزین یک مرتبه آتش می گیرد (انفجار حاصل می

کند) به این ترتیب فشار زیادی (حدود ۶۰۰ پوند بر اینچ مربع) در داخل سیلندر به وجود می آید به عنوان مثال هرگاه قطر پیستون برابر ۳ اینچ (۷۶/۲ میلی متر) و سطح بالای پیستون برابر ۷ اینچ مربع (۴۵/۱۶ سانتیمتر مربع) باشد نیرو (فشار) وارد به آن بالغ بر ۴۰۰۰ پوند (۱۸۱۴ کیلوگرم) خواهد بود.

فشار مزبور در مرحله احتراق پیستون را با نیروی بسیار زیادی به پایین می راند این حرکت توسط شاتون به میل لنگ انتقال یافته موجب دوران آن می شود از این رو ((ضربه و احتراق)) تنها ضربه مفید پیستون است که قدرت موتور را به وجود می آورد.

هنگامیکه در این مرحله پیستون به انتهای پایین مسیر خود رسید تمام فضای سیلندر را گازهای سوخته ناشی از احتراق سوخت پر می کند واضح است این گازها باید تخلیه شوند از این رو سوپاپ دود که تا این لحظه بسته بود، باز شده در مرحله چهارم (تخلیه) پیستون بالا رفته، گازهای سوخته (دود) را بیرون می راند.

پس از آنکه پیستون در مرحله تخلیه به بالاترین نقطه مسیر خود رسید سوپاپ گاز بسته شده و سوپاپ ورودی باز می شود و سپس پیستون از نو حرکت خود را برای اجرای مرحله تنفس رو به پایین آغاز می کند. چهار مرحله متوالی گفته شده در بالا در تمام مدتی که موتور مشغول کار است تکرار شده و هر بار که یکی از سیلندرها در مرحله سوم عمل می کند میل لیگ نیروی محرکه را از سیلندر مذبور دریافت می دارد.

در یک موتور چهار زمانه بنزینی هوا داخل کاربراتور با بنزین مخلوط شده و توسط یک گلویی بداخل موتور هدایت می گردد.این مخلوط در داخل سیلندر متراکم شده سپس توسط جرقه شمع محترق می گردد .

آزمایش پنجم: تهویه مطبوع

هدف آزمایش:

آشنایی با فرآینده های هوا در کنترل ترمودینامیکی و شرایط مطبوع

تئوری آزمایش:

مقدمه:

هوا مخلوطی از گازهای مختلف است که بیشتر وزن آن اکسیژن و ازت، و مقدار کم و متغیری بخار آب در آن وجود دارد. اگرچه میزان بخار آب موجود در هوای جو کمتر از یک درصد وزن هوا در مناطق آب و هوایی معتدل و کمتر از سه درصد در بالاترین مقدار آن است، تغییر آن در این محدوده اثرات قابل ملاحظه ای بر آسایش انسان و خواص و رفتار مواد دارد. بنابر این، اندازه گیری میزان رطوبت هوا و مطالعهٔ اثر خواص هوای مرطوب در صنعت تهویهٔ مطبوع از اهمیت زیادی برخوردار است.

تعاریف و روابط:

۱- سایکومتری: فن و یا روش اندازه گیری رطوبت موجود در هوا را سایکومتری می نامند. علمی که خواص حرارتی هوای مرطوب را بررسی می کند و اندازه گیری و کنترل هوای مرطوب را مورد توجه قرار می دهد و اثر رطوبت هوای محیط را بر مواد و آسایش انسان مطالعه می کند، علم سایکومتریک نامیده می شود.

۲- دمای خشک: دمایی که با یک دماسنج معمولی اندازه گیری می شود.

$$Dray\ Balb\ Temp. \rightarrow DBT \quad or \quad T_{db}$$

۳- دمای مرطوب یا دمای اشباع آدیاباتیک: دمائی که در آن دما آب یا یخ بتواند با تبخیر بی دررو به داخل هوا، آن را به حد اشباع برساند.

$$Wet\ balb\ Temp. \rightarrow WBT \quad or \quad T_{wb}$$

۴- دمای نقطهٔ شبنم: دمایی است که اگر هوا را تا آن دما بدون اسپری آب سرد کنیم، بخار آب موجود در هوا بصورت قطرات آب ظاهر شود.

$$Dew\ Point\ Temp. \rightarrow DPT \quad or \quad T_{dp}$$

۵- رطوبت مخصوص: نسبت وزن بخارآب موجود در هوا به وزن هوای خشک را رطوبت مخصوص یا نسبت رطوبت و یا رطوبت مطلق می نامند و با ω نشان می دهند.

۶- رطوبت نسبی: نسبت فشار جزئی بخار آب موجود در هوا در دمای خشک T به فشار جزئی بخار آب هوایی که در همان دما به حالت اشباع رسیده باشد را رطوبت نسبی گویند و آن را با φ یا RH نشان می

دهند. تعریف دیگر رطوبت نسبی به صورت نسبت جرم بخار آب موجود در هوا به جرم بخار آب موجود در هوای اشباع در همان دمای خشک می باشد و معمولاً به صورت درصد بیان می شود. *Releative Humidity*

- *رطوبت نسبی بالا دلیل بر بالا بودن بخار آب در هوا نمی باشد.*

$$\varphi = \frac{P_v}{P_g} = \frac{P_v/P}{P_g/P} = \frac{x_v}{x_g} \longleftarrow \text{کسر مولی}$$

$$P = P_t \qquad \text{فشار کلی} = \underbrace{P_{O_2} + P_{N_2} + P_{Ar} + P_{Co_2}}_{\text{هوای خشک}} + P_v$$

$$\left.\begin{aligned} m_v &= \frac{P_v V}{R_v T} \\ m_a &= \frac{P_a V}{R_a T} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v R_a}{P_a R_v} = \frac{P_v M_v}{P_a M_a} = \frac{18.015 P_v}{28.962 P_a} = 0.6219 \frac{P_v}{P_a} \times \frac{P_g}{P_g} = 0.6219 \frac{\overbrace{P_v}^{\varphi}}{P_g} \times \frac{P_g}{P_a}$$

$$\Rightarrow \omega = 0.6219 \varphi \frac{P_g}{P_a} \Rightarrow \varphi = \frac{\omega P_a}{0.6219 P_g} \Rightarrow \omega = 0.6219 \frac{P_v}{P - P_v}$$

۷- حجم مخصوص هوا: حجم مربوط به واحد جرم هوای خشک موجود در آن را حجم مخصوص هوا می نامند.

۸- گرمای ویژهٔ هوا: گرمای ویژهٔ هوا، مقدار حرارتی است که اگر به مخلوطی از یک پوند هوای خشک و ω پوند بخار آب داده شود دمای مخلوط را یک درجهٔ فارنهایت افزایش می دهد.

با توجه به اینکه گرمای ویژهٔ هوای خشک $0.24 \, {Btu}/{lb^\circ F}$ است گرمای ویژهٔ هوای مرطوب که با C_p نشان داده می شود، بصورت زیر محاسبه می شود.

$$C_p = 0.24 + 0.444\omega \frac{Btu}{lb.^\circ F}$$

$$C_p = 1 + 1.86\omega \frac{kj}{kg.^\circ C}$$

۹- آنتالپی مخلوط: یک خاصیت حرارتی که میزان انرژی حرارتی موجود در یک جسم روان را نسبت به یک مبدأ نشان می دهد.(در برخی از کتابها آنتالپی را با i و در برخی مراجع با h نشان می دهند.)

$$\left.\begin{array}{l} h = h_a + \omega.h_v \\ or \\ i = i_a + \omega.i_v \end{array}\right\} \Rightarrow h = C_{p_a}.t + \left(h_g + C_{p_v}.t\right)\begin{cases} h = 0.24t + \omega(1001.2 + 0.444t)\dfrac{Btu}{lb} \\ h = 1.0t + \omega(2501.3 + 1.86t)\dfrac{kJ}{kga} \end{cases}$$

۱۰- محاسبهٔ رطوبت مخصوص هوا بر حسب دماهای خشک و مرطوب:

می دانیم که با یک دما سنج معمولی به سادگی می توان دماهای خشک و مرطوب هوای محیط را اندازه گرفت. بنابراین مفید خواهد بود اگر بتوانیم با داشتن دماهای خشک و تر خواص هوا را محاسبه نمائیم. با روابطی که تاکنون بدست آوردیم، محاسبهٔ خواص هوا با معلوم بودن دمای خشک و تر امکان پذیر نمی باشد. برای این محاسبات نیاز به یک سری روابط دیگری می باشد.

کانال مربوط به فرآیند اشباع ادیاباتیک را در نظر بگیرید:

قانون اول:

$$\sum m_i h_i = \sum m_e h_e$$

$$h_{a_1} + \omega_1 h_{v_1} + \left(\omega^*_{s_2} - \omega_1\right)h^*_f = h_{a_2} + \omega^*_{s_2} h^*_{v_2}$$

- مقدار آبی را که به واسطهٔ تبخیر در اینجا وارد می شود، با کم کردن میزان آب که در حالت ۱ و ۲ داریم بدست می آوریم.

$$\Rightarrow \boldsymbol{\omega_1}\left(\boldsymbol{h_{v_1}} - \boldsymbol{h^*_w}\right) = \boldsymbol{C_p}\left(\boldsymbol{t^*_2} - \boldsymbol{t_1}\right) + \boldsymbol{\omega^*_{s_2}}\boldsymbol{h_{fg_2}}$$

- (*) به حالت اشباع آدیاباتیک اطلاق می شود.
-

حالت ۲ اشباع است:

$$h^*_w = h_f = h_l, h^*_{v_2} = h_{g_2}$$

$$\boldsymbol{\omega_1} = \frac{\boldsymbol{C_{p_a}}\left(\boldsymbol{t^*_2} - \boldsymbol{t_1}\right) + \boldsymbol{\omega^*_{s_2}}\boldsymbol{h_{fg_2}}}{\boldsymbol{h_{v_1}} - \boldsymbol{h^*_w}}$$

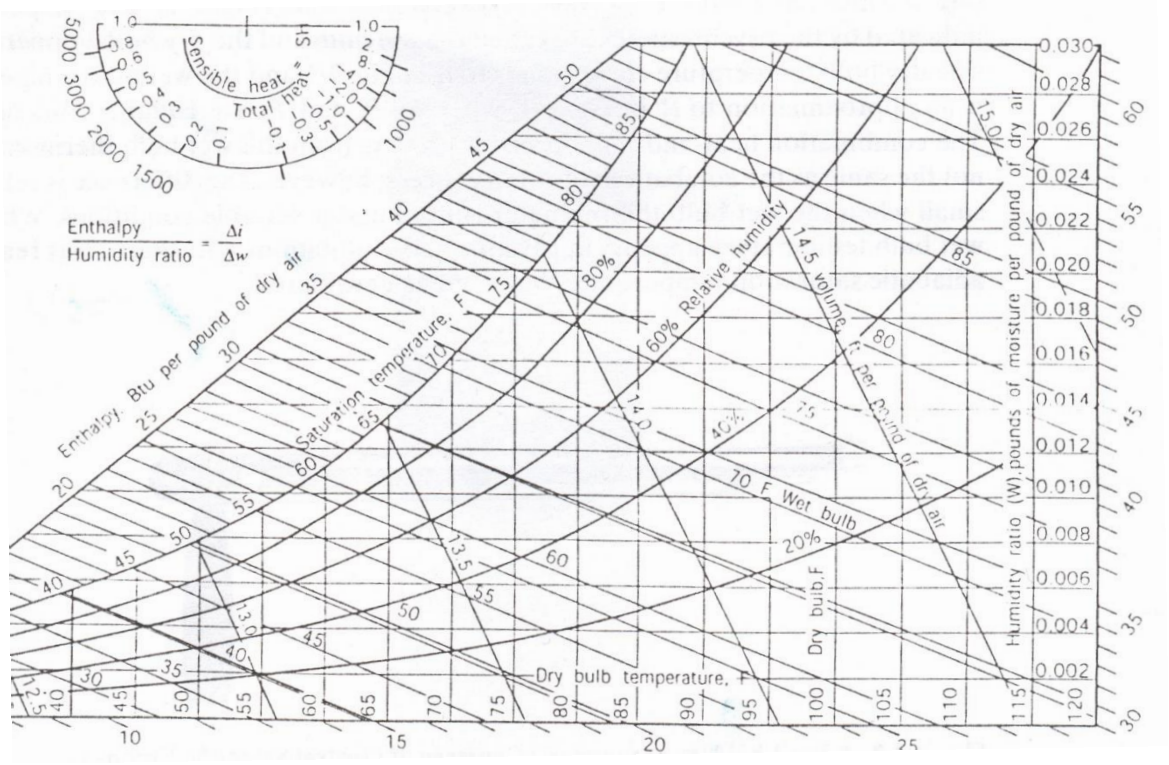
$$\Rightarrow P_{v_2} = P_{s_2} = P_g @ t^*_2 \quad , \quad h^*_{fg_2} @ t^*_2 \quad , \quad h_{v_1} @ t_1 \quad , \quad h^*_w = h_f @ t^*_2$$

مخلوط $h = h_a + \omega h_g$

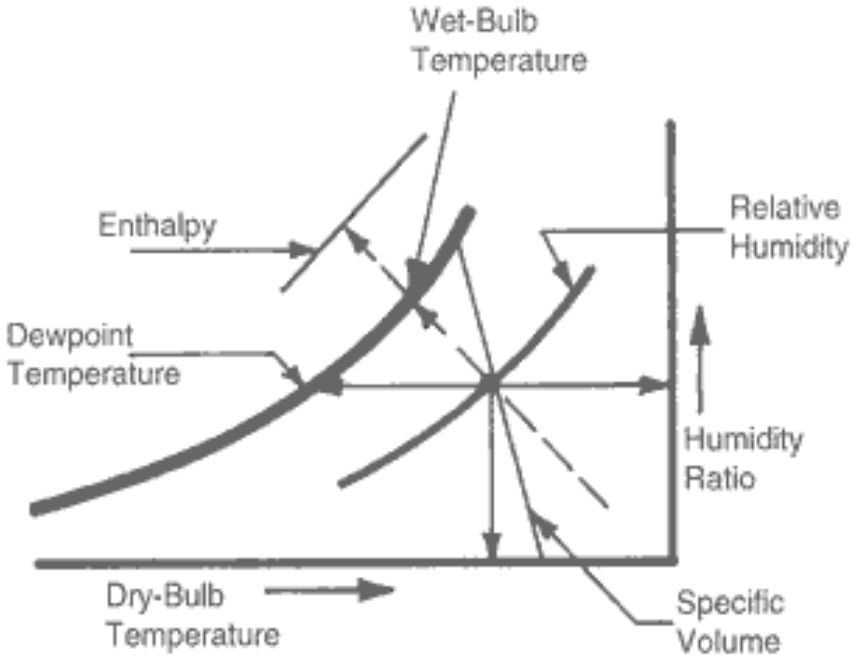
۱۱- منحنی سایکومتریک:

در بخشهای قبل دیدیم که با معلوم بودن دو خاصیت از خواص هوا می توان خواص دیگر را از روابط سایکومتریک محاسبه کرد. برای ساده کردن و سرعت بخشیدن به تعیین خواص هوا، روابط بین خواص هوا

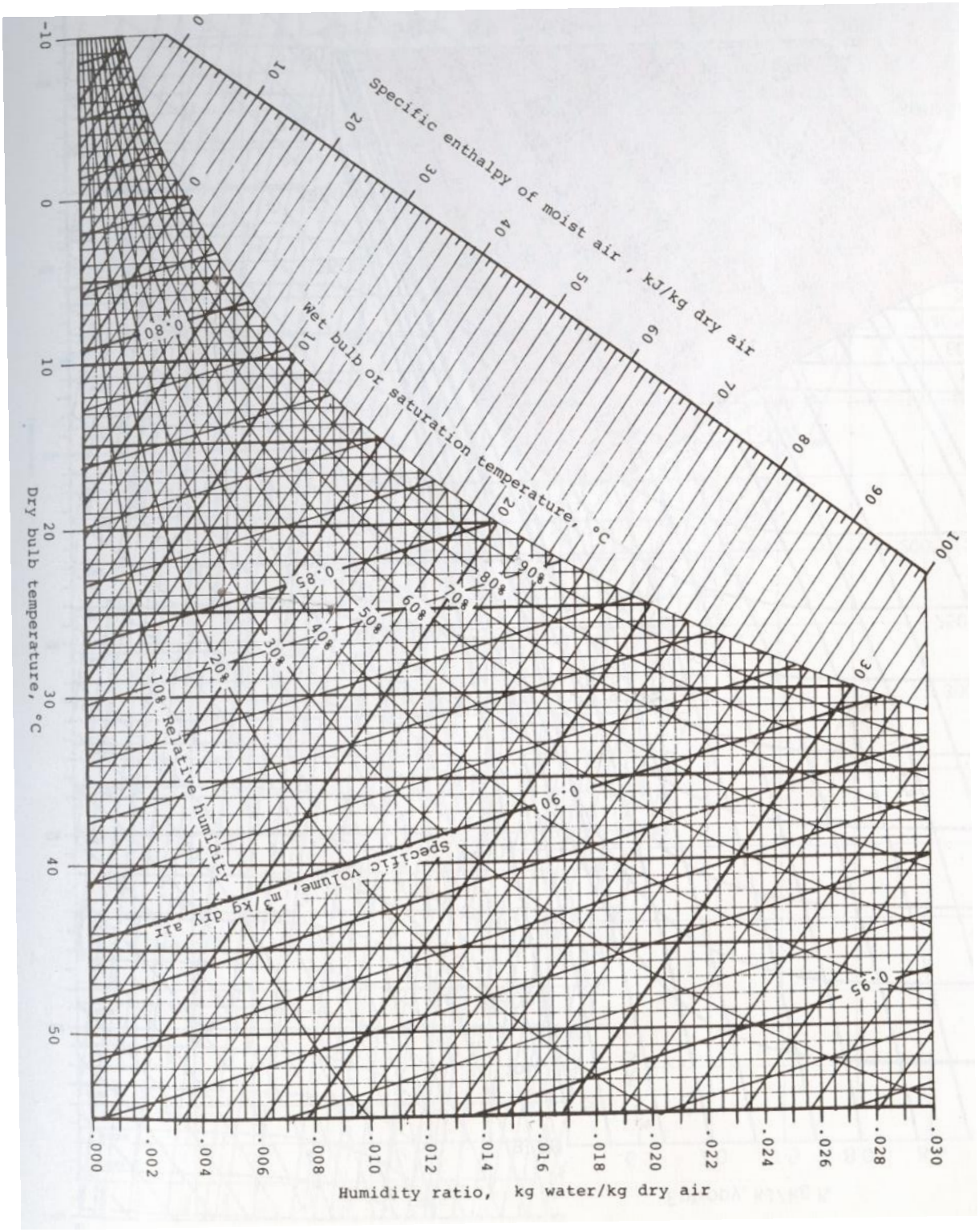
(یعنی مخلوط هوا و آب) به صورت ترسیمی و به شکل یک منحنی واحد نمایش داده اند. این منحنی به **چارت سایکومتریک** معروف است.



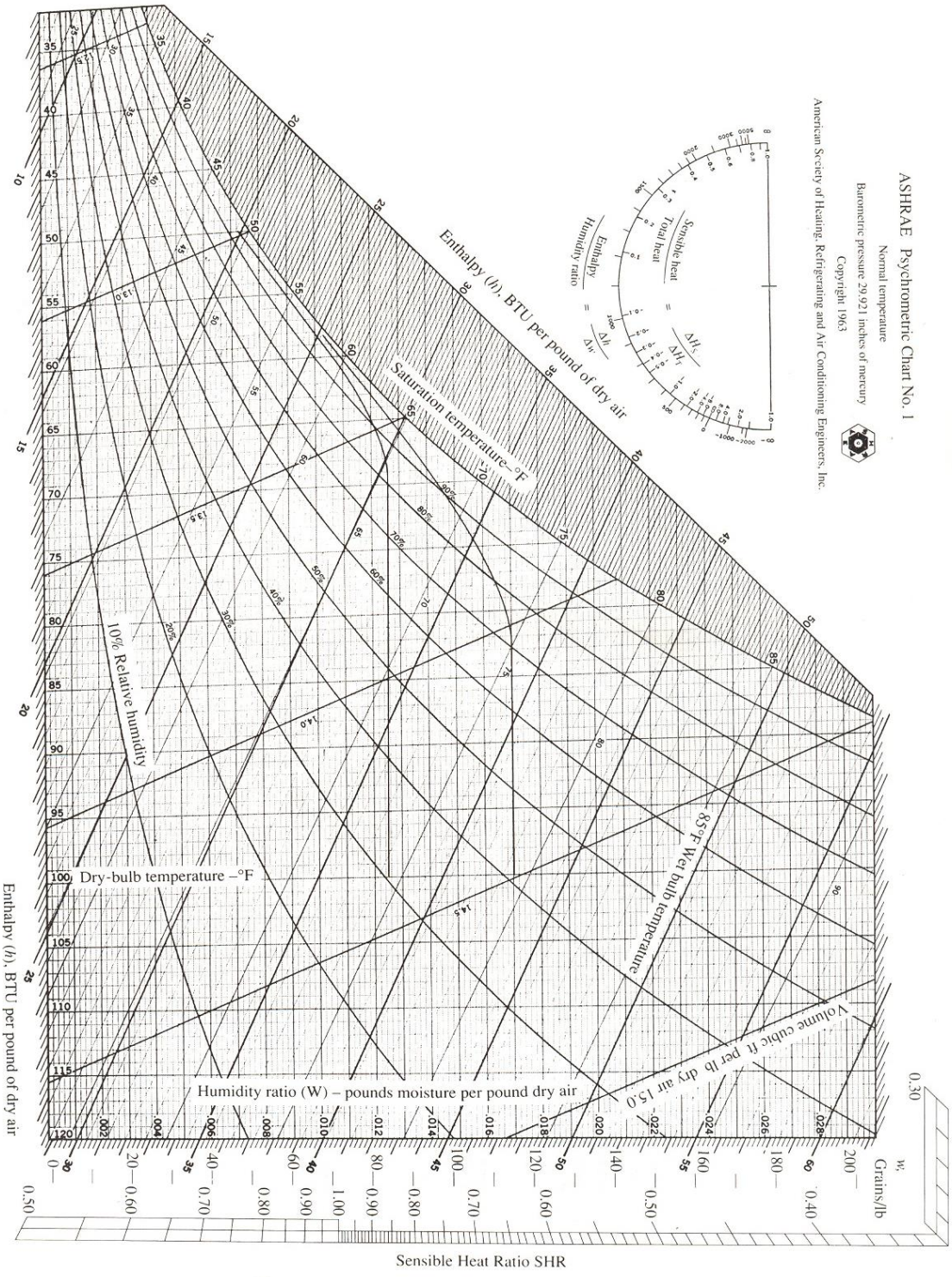
شکل-۱



شکل-۲


Specific enthalpy of moist air , kJ/kg dry air
Wet bulb or saturation temperature, °C
Dry bulb temperature, °C
Relative humidity
Specific volume, m³/kg dry air
Humidity ratio, kg water/kg dry air

شکل-۳


ASHRAE Psychrometric Chart No. 1
Normal temperature
Barometric pressure 29.921 inches of mercury
Copyright 1963
American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
Enthalpy (h), BTU per pound of dry air
Saturation temperature –°F
10% Relative humidity
Dry-bulb temperature –°F
Wet bulb temperature
Volume cubic ft. per lb dry air
Humidity ratio (W) – pounds moisture per pound dry air
Enthalpy (h), BTU per pound of dry air
Sensible Heat Ratio SHR
w, Grains/lb

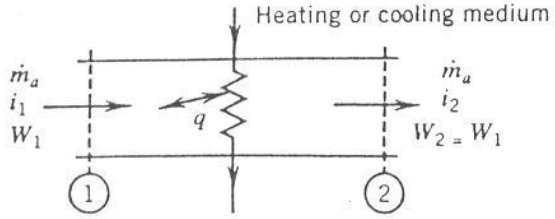
شکل-۴

۱۲- انواع فرآیندها

۱۲-۱- فرآیند گرمایش محسوس هوا:(بدون رطوبت زدن) -فرآیند سرمایش محسوس هوا

1←2: سرمایش

2 ←1: گرمایش



شکل-۵ شماتیکی از سرمایش و گرمایش

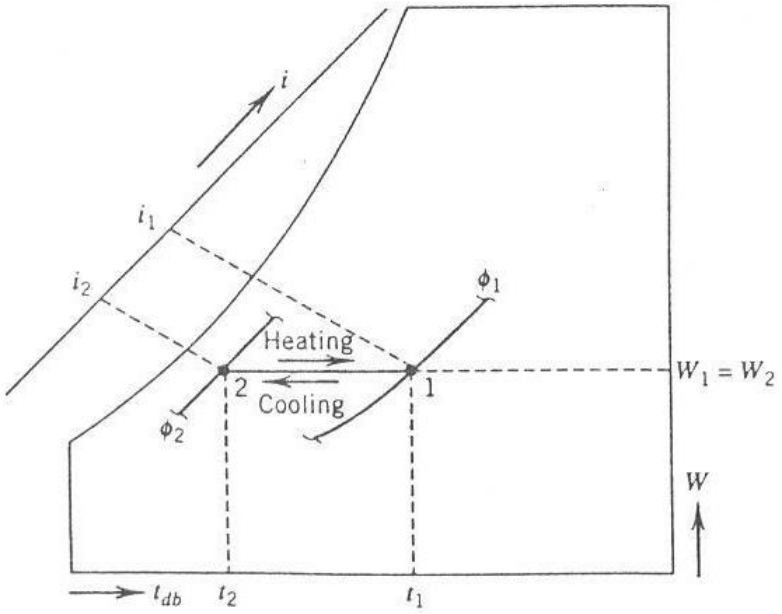
$$\dot{m}_a h_2 + \dot{q} = \dot{m}_a h_1 \Rightarrow |\dot{q}_s| = \dot{m}_a (h_1 - h_2) \quad heating$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{q} = \dot{m}_a h_2 \Rightarrow |\dot{q}_s| = \dot{m}_a (h_2 - h_1) \quad cooling$$

$$\begin{cases} h_1 = h_{a_1} + \omega_1 h_{v_1} \\ h_2 = h_{a_2} + \omega_2 h_{v_2} \end{cases} \Rightarrow \dot{\boldsymbol{q}}_{\boldsymbol{s}} = \dot{\boldsymbol{m}}_{\boldsymbol{a}} \left[\left(\boldsymbol{h}_{\boldsymbol{a}_1} - \boldsymbol{h}_{\boldsymbol{a}_2} \right) + \boldsymbol{\omega} \left(\boldsymbol{h}_{\boldsymbol{v}_1} - \boldsymbol{h}_{\boldsymbol{v}_2} \right) \right]$$

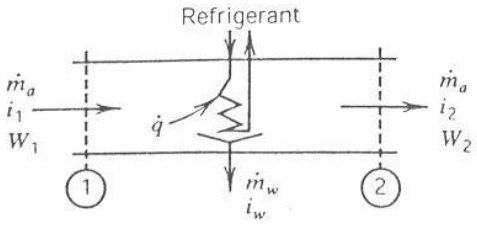
$$\dot{q}_s = \dot{m}_a \left[C_{p_a} (t_1 - t_2) + \omega C_{p_v} (t_1 - t_2) \right] = \dot{m}_a \underbrace{\left(C_{p_{air}} + \omega C_{p_{vapar}} \right)}_{C_{p_{mix}}} (t_1 - t_2) = \dot{m}_a C_{p_{mix}} (t_1 - t_2)$$

$$C_{p_{mix}} = 0.24 + 0.45\omega \frac{Btu}{lbm^\circ F} \quad ; \quad C_{p_{mix}} = 1 + 1.86\omega \frac{kj}{kg^\circ C}$$



شکل-۶ فرایند های گرمایش و سرمایش محسوس هوا

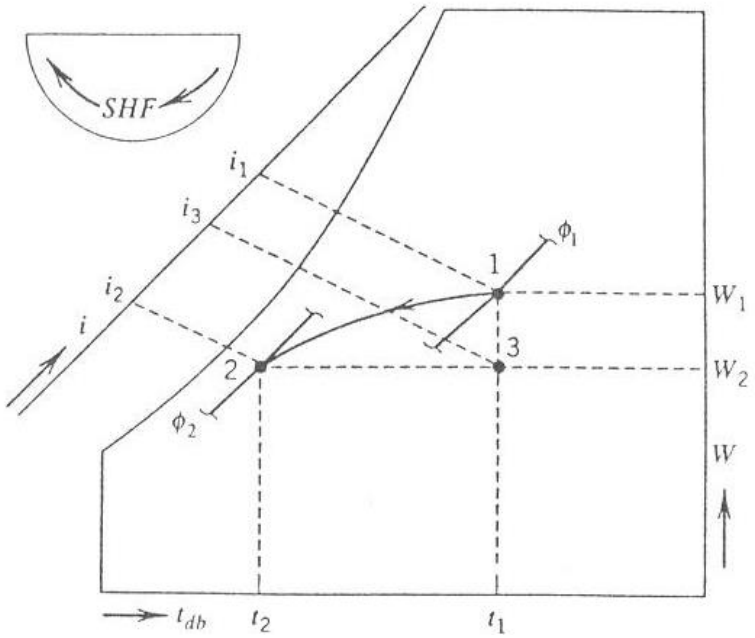
۱۲-۲- فرآیند سرمایش توأم با رطوبت گیری:



شکل-۷ شماتیکی از سرمایش توأم با رطوبت گیری

$$\left.\begin{aligned}\dot{m}_a h_1 &= \dot{q} + \dot{m}_a h_2 + \dot{m}_w h_w \\ \dot{m}_a \omega_1 &= \dot{m}_w + \dot{m}_a \omega_2\end{aligned}\right\} \Rightarrow \dot{q} = \dot{m}_a (h_1 - h_2) - \underbrace{\dot{m}_a (\omega_1 - \omega_2) h_w}$$

از این عبارت معمولاً
در مقابل جملهٔ اول
صرف نظر می شود.



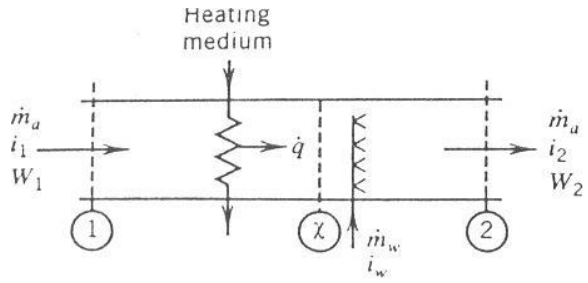
شکل-۸ فرایند سرمایش توأم با رطوبت گیری

چون فرآیند ۱ به ۲ به راحتی قابل اجرا نیست پس به دو قسمت تقسیم می شود. یکی فرآیند ۱ به۳ و دیگری فرآیند۳ به۲.

$$\dot{q}_{tot} = \dot{q}_s + \dot{q}_l \Rightarrow \begin{cases} \dot{q}_s = \dot{m}_a(h_3 - h_2) = \dot{m}_a C_p(t_1 - t_2) \\ \dot{q}_l = \dot{m}_a(h_1 - h_3) = \dot{m}_a(\omega_1 - \omega_2)h_{fg} \end{cases}$$

$$\Rightarrow SHF = \frac{\dot{q}_s}{\dot{q}_{tot}} \begin{cases} \dot{q}_s \text{ or } \dot{q}_l < 0 \Rightarrow \textit{Heat Transfer From System.} \\ \dot{q}_s \text{ or } \dot{q}_l > 0 \Rightarrow \textit{Heat Transfer to System.} \end{cases}$$

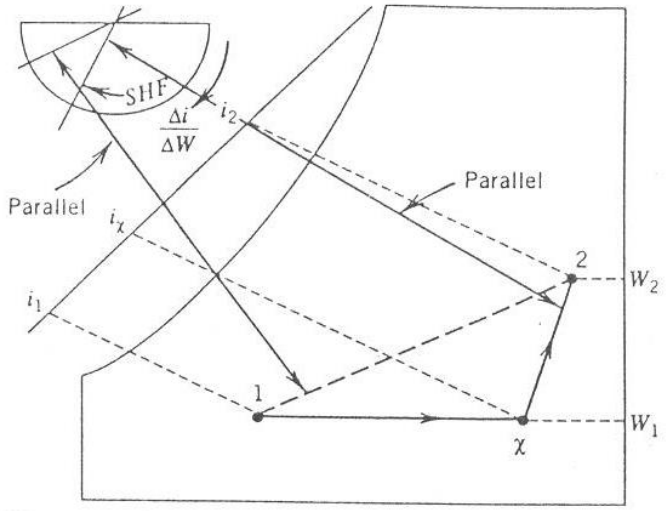
۱۲-۳- فرآیند گرم کردن و رطوبت زنی:



شکل-۹ شماتیکی از گرمایش و رطوبت زنی

$$\begin{cases}\dot{m}_a h_1 + \dot{q} + \dot{m}_\omega h_\omega = \dot{m}_a h_2 \\ \dot{m}_a \omega_1 + \dot{m}_w = \dot{m}_a \omega_2\end{cases} \Rightarrow \frac{h_2 - h_1}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{\dot{q}}{\dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1)} + h_w \quad or \quad \frac{h_2 - h_1}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{\dot{q}}{\dot{m}_w} + h_w \Rightarrow$$

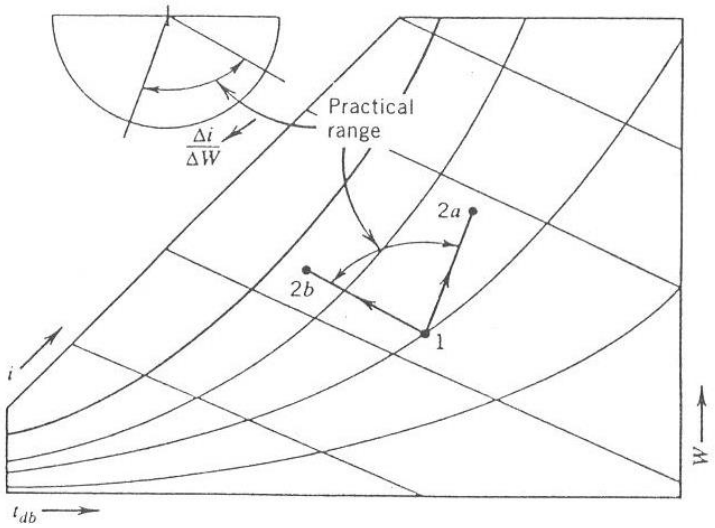
$$\Rightarrow \frac{\Delta h}{\Delta \omega} = \frac{\dot{q}}{\dot{m}_w} + h_w$$



شکل-۱۰ فرایند گرمایش و رطوبت زنی

۱۲-۴- فرآیند رطوبت زنی بی دررو:

$$\left.\begin{array}{l}\frac{\Delta h}{\Delta \omega} = \frac{\dot{q}}{\dot{m}_w} + h_w \\ \dot{q} = 0\end{array}\right\} \Rightarrow \frac{\Delta h}{\Delta \omega} = h_w \Rightarrow \begin{cases}\frac{h_2 - h_1}{\omega_2 - \omega_1} \langle 0 : 1 \rightarrow 2b \ \ "Heating" \\ \frac{h_2 - h_1}{\omega_2 - \omega_1} \rangle 0 : \ 1 \rightarrow 2a \ \ "cooling"\end{cases}$$

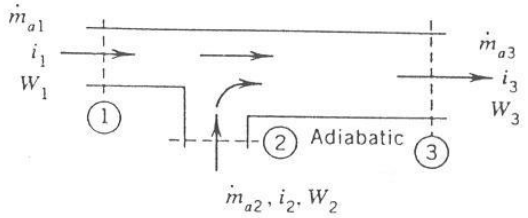


شکل-۱۱ فرآیند رطوبت زنی بی دررو

خطوط $1-2b, 1-2a$ به موازات خطوط داخل نیم دایره و با توجه به + و- بودن رسم شده است.
گرمازاست. $\Rightarrow \dot{m}C_p\Delta T \rangle C_p h_{fg}$

مثال: به یک واحد سرد کنندهٔ هوا و رطوبت ساز، هوای محیط خارج در $100kPa$ و $35^{\circ}C$ و رطوبت نسبی 90% وارد می شود. مخلوط هوا و بخار آب ابتدا تا درجه حرارت پائین سرد می شود و تا مقدار مناسب آب چگالیده می شود. سپس مخلوط هوا و بخار آب گرم شده و در $20^{\circ}C, 100kPa$ با رطوبت نسبی 30% از واحد مورد نظر خارج می شود. دبی حجمی جریان مخلوط هوا و بخار آب در خروج $0.01m^3/s$ است.
الف) درجه حرارت سرد شدن ابتدائی مخلوط و جرم آب چگالیده شده به ازای هر کیلوگرم هوای خشک را بیابید.
ب) فرآیندی را که آب طی کرده در نمودار $T-s$ نشان دهید.
ج) فرآیند مخلوط هوا-بخار را روی نمودار سایکومتریک رسم کنید.
د) اگر تمامی مایع چگالیده شده در حداقل درجه حرارت از واحد خارج شود میزان انتقال حرارت را بیابید.

۱۲-۵- فرآیندهای اختلاط آدیاباتیک

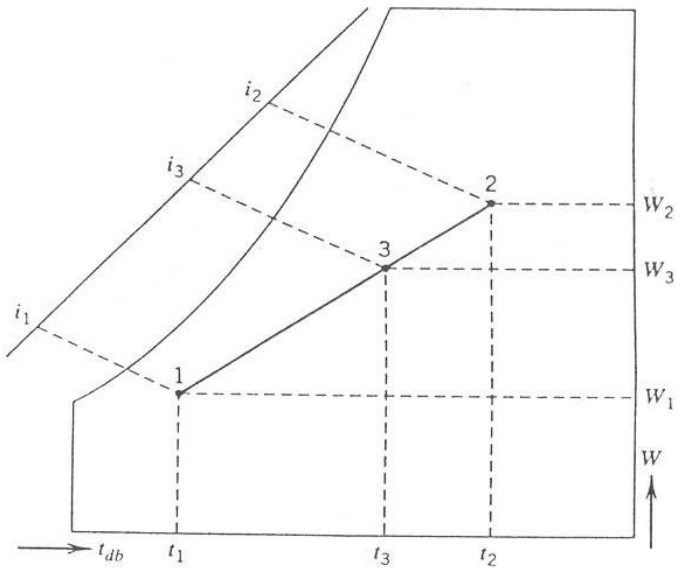


شکل-۱۲ شماتیکی از اختلاط آدیاباتیک دو جریان هوا

$$\left.\begin{matrix}\dot{m}_1, T_1, \omega_1 \rightarrow \\ \dot{m}_2, T_2, \omega_2 \rightarrow\end{matrix}\right\rangle \rightarrow \dot{m}_3, T_3, \omega_3 \qquad \dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$$

$$\left.\begin{matrix} First\ Low: \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 \Rightarrow h_3 = \dfrac{\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2}{\dot{m}_3} \\ \omega_3 = \dfrac{\dot{m}_1 \omega_1 + \dot{m}_2 \omega_2}{\dot{m}_3} \end{matrix}\right\} \Rightarrow \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = \frac{\omega_3 - \omega_2}{\omega_1 - \omega_3} = \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_3} \approx \frac{t_3 - t_2}{t_1 - t_3}$$

$$\Rightarrow \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = \frac{32}{13}, \quad \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_3} = \frac{32}{12}, \quad \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3} = \frac{13}{12}$$



شکل-۱۳ فرایند اختلاط ادیاباتیک

شرح دستگاه و روش آزمایش:

اجزای این دستگاه عبارتند از :

۱) دمنده سانتریفوژ همراه با کنترل سرعت
۲) بویلر
۳) پیش گرمکن هوا
۴) سرد کننده هوا
۵) گرمکن هوا
۶) کانال آزمایش
۷) سنسور های دما برای اندازه گیری دمای هوای خشک و هوای مرطوب

جهت افزایش رطوبت هوای ورودی به کانال از بویلر استفاده می شود که این بویلر شامل مخزن فلزی مستطیلی است که در ان مقداری آب ریخته و برای گرم کردن و تبخیر آی درون مخزن از المان الکتریکی استفاده شده است . سرد کننده هوا یک سیکل تبرید بوده و اواپراتور آن در داخل کانال آزمایش نصب شده است و به کمک آن هوای عبوری از کانال خشک می شود. برای اندازه گیری دمای مرطوب هوا سنسور ها را در پنبه آغشته به آب قرار دهید.

روش کار:

ابتدا سوئیچ را روشن کرده تا فن به کار بیافتد سرعت فن را در حدود مناسبی قرار دهید میزان آب بویلر را چک کنید که میزان آب داخل آن از حد معین کمتر نباشد . حال با روشن کردن گرمکن های داخل بویلر معادل ۳,۲ کیلو وات گرما به اب بدهید و پس از ۱۵ دقیقه یکی از پیش گرم کن های هوا را روشن کرده وگرمکن های ثانویه را نیز روشن کنید . همزمان سیکل تبرید را روشن کنید . بعد از رسیدن دستگاه به حالت تعادل از یک استوانه مدرج برای جمع اوری اب تقطیر شده استفاده کنید .

در مرحله دوم سرعت هوا را روی مقدار دلخواه تنظیم کرده و فقط پیش گرمکن ها را روشن کنید و بعد از به تعادل رسیدن مجددا پارا متر ها را یادداشت کنید .

نتایج و محاسبات:

۱- دو تا از فرایند های تعریف شده و قابل انجام با شرایط دستگاه را با راهنمایی مسئول آزمایشگاه انتخاب و انجام دهید.

۲- هر فرایند را به طور کامل تحلیل کنید و آن را در نمودار سایکومتریک رسم کنید.

۳- کلیه خواص مربوط به شروع و پایان فرایندها را با کمک نمودار سایکومتریک به دست آورید.

آزمایش ششم: برج خنک کن

هدف آزمایش:

بررسی عملکرد برج خنک کن

تئوری آزمایش:

با رشد روزافزون استفاده از سیستمهای تهویه مطبوع و از طرف دیگر نیاز به آب خنک کن در واحدهای مختلف صنعتی تقاضا برای برج خنک کن افزایش یافته است.

اگر مایع گرم با گاز اشباع نشده تماس یابد، بخشی از مایع تبخیر می شود و دمای آن کاهش می یابد. هدف بسیاری از عملیات های تماس گاز با مایع مخصوصاً تماس هوا با آب، سرد کردن مایع است آب در مقادیر زیاد در حوضچه های پاششی یا در برج های بلندی که از آن هوا به طور طبیعی یا به کمک یک پنکه عبور می کند، سرد می شود. در برج سرد کننده هدف حفظ آب سرد و مصرف چند باره آن است. آب گرم، که معمولاً از یک مبرد یا هر واحد انتقال گرمای دیگر عبور می کند، از بالای برج وارد و توزیع می شود و از شبکه ای عبور می کند که سطح فراوانی بین هوا و آب برقرار می سازند. هوا توسط پنکه به بالای برج فرستاده می شود.

تغییر دمای آب از ورودی به خروجی را دامنه می گویند. لذا اگر آب در تماس با هوا از $95F^0$ به $80F^0$سرد شود، دامنه $15F^0$ است.

تئوری که در پس عملکرد برج خنک کن وجود دارد قانون اول ترمودینامیک است که مربوط به بقای انرژی می باشد. به عبارت دیگر انرژی که وارد سیستم می شود می بایستی از سیستم خارج شود: انرژی نه تولید می شود و نه از بین می رود بلکه تنها از یک فرم به فرم دیگر تبدیل می شود. انرژی که وارد برج خنک کن می شود به فرم آب داغ است. (از دیگر انواع انرژی از قبیل تولید گرما مربوط به اصطکاک در آب و هوا،افت انرژی در لوله و غیره صرفنظر می شود. تلفات آب براثر تبخیر در حین عملیات جزئی است چون برای تبخیر 1lb آب تقریباً 100BTU گرما نیاز داریم. 100lb آب باید به میزان $10F^0$سرد شود تا گرمای کافی برای تبخیر یک پوند آب فراهم کند. لذا به ازای تغییر $10F^0$ دمای آب، تلفات ناشی از تبخیر ۱٪ است.علاوه بر این، تلفات ناشی از پاششی مکانیکی نیز وجود دارد، اما در برخی از برج ها که خوب طراحی شده است این تلفات فقط حدود ۰/۲٪ است.)

موارزنه انرژی حالتی است که انرژی های وردی و خروجی سیستم را تشریح می کند. پارامتر اصلی از موازنه انرژی آنتالپی است که بصورت زیر تعریف می شود:

$$H=U+PV$$

که H آنتالپی ،U انرژی داخلی،P فشار و V حجم می باشد.جمله ترکیبی U+PV آنتالپی است که به گرما مرتبط است.آنتالپی می تواند محاسبه شود و یا از جداول خواص سیال به دست آید. در آزمایش، سیالاتی که مورد استفاده قرار می گیرند هوا و آب هستند که مقادیر آنتالپی آنها از جداول کتاب به دست می آیند. از آنجائیکه هر دو دمای ورودی و خروجی از آب گرم ورودی و آب خنک خروجی اندازه گیری می شوند ، دمای ورودی می تواند به عنوان دمای مرجع قرار داده شود و آنتالپی بدست آید. به طور مشابه آنتالپی آب خنک خروجی می تواند به عنوان مرجع انتخاب شود و موازنه انرژی برای آب انجام شود.

تغییر آنتالپی آب در بالا و پایین برج:

برای مثال اگر آب در فشار اتمسفر مثلاً از ۵۰ درجه تا ۲۰ درجه سرد شود آنتالپی ویژه از 209.3 تا 84 KJ/Kg پایین می آید که کاهش برابر ۱۲۵ خواهد داشت:

آنتالپی ویژه یک مایع برابر

$$h = h_f + \upsilon_f (p - p_{sat})$$

می باشد که در آن:

که در دمای 20° $h_f = 83.9 \, {kj}/{kg}$

که در دمای 20° $P_{sat} = 0.02337 bar$

بالای برج: $P = 1.013 bar$

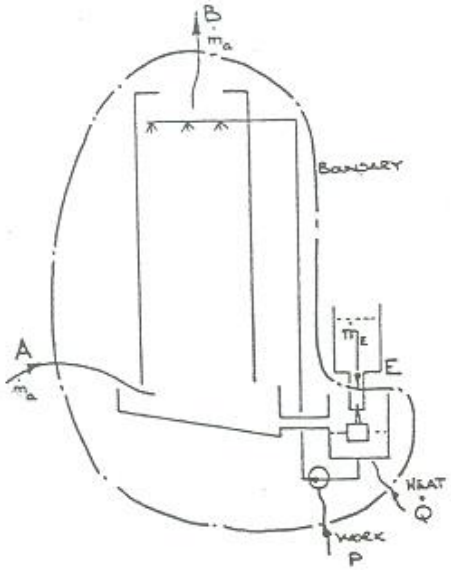
حجم مخصوص: $\upsilon_f = 0.001 \, {m^3}/{kg}$

$$h = 83.9 + 0.001(1.013 - 0.02337)$$

$$= 84 \, {kj}/{kg}$$

کاربرد شرایط Steady State جریان در معادله انرژی:

قبل از اینکه بتوان معادله را نوشت باید سیستم راتعریف کرد.



شکل-۱

برای سیستم بالا گرما توسط تانک آبگرم به سیستم وارد می شود و ممکن است مقداری نیز با محیط تبادل شود.

کار توسط پمپ به سیستم وارد می شود.

هوای با رطوبت پایین از نقطه A وارد می شود

هوای با رطوبت بالا از B خارج می شود.

با توجه به روابط Steady Stute می توان نوشت $Q^{\bullet} - O_W^{\bullet} = H_{exit} - H_{entry}$

$Q_w^{\bullet} = (1.8\% - 2\% Q_{total})$

$Q^{\bullet} - O_W^{\bullet} = \dot{m_{air}}(h_{(up)} - h_{down})$

توان پمپ بعنوان کار ورودی بحساب می آید.

آنتالپی ویژه هوا و بخار آب و آب را می توان توسط جداول تخمین زد.

b)مقدار m_E معمولاً بسیار کوچکتر از ترمهای دیگر است.

معادله بالانس جرم:

با در نظر گرفتن معادله بقای جرم می توان در حالت Steady Stute معادله بقای جرم را نوشت.

$(m_a^{\bullet})_A = (m_a^{\bullet})_B$

$(m_s^{\bullet})_A + m_E^{\bullet} = (m_s^{\bullet})_B$

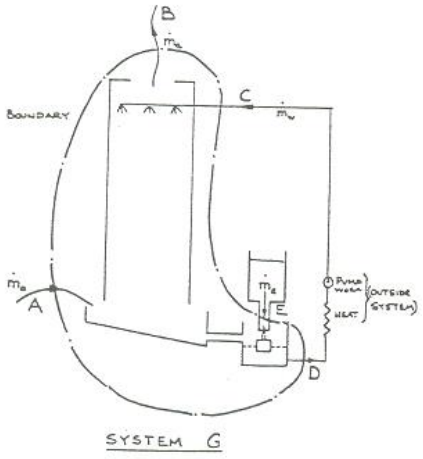
$m_E^{\bullet} = (m_s^{\bullet})_B - (m_s^{\bullet})_A$

$(m_s^{\bullet})_A$: دبی آب ورودی

$m_E^{\bullet}$: بعد از مدتی که هیتر روشن است سطح آب در مخزن کم می شود. و دانشجو باید این کاهش را با افزودن آب توسط بشر به سیستم جبران کند .

نسبت بخار به هوا (w) برای یک حالت نهائی را می توان از نمودارهای سایکرومتریک در کتابها بدست آورد.

$$(m_s^{\bullet})_B = m^{\bullet}{}_a w_B$$
$$(m_s^{\bullet})_A = (m_a^{\bullet}) w_A$$



شکل-۲

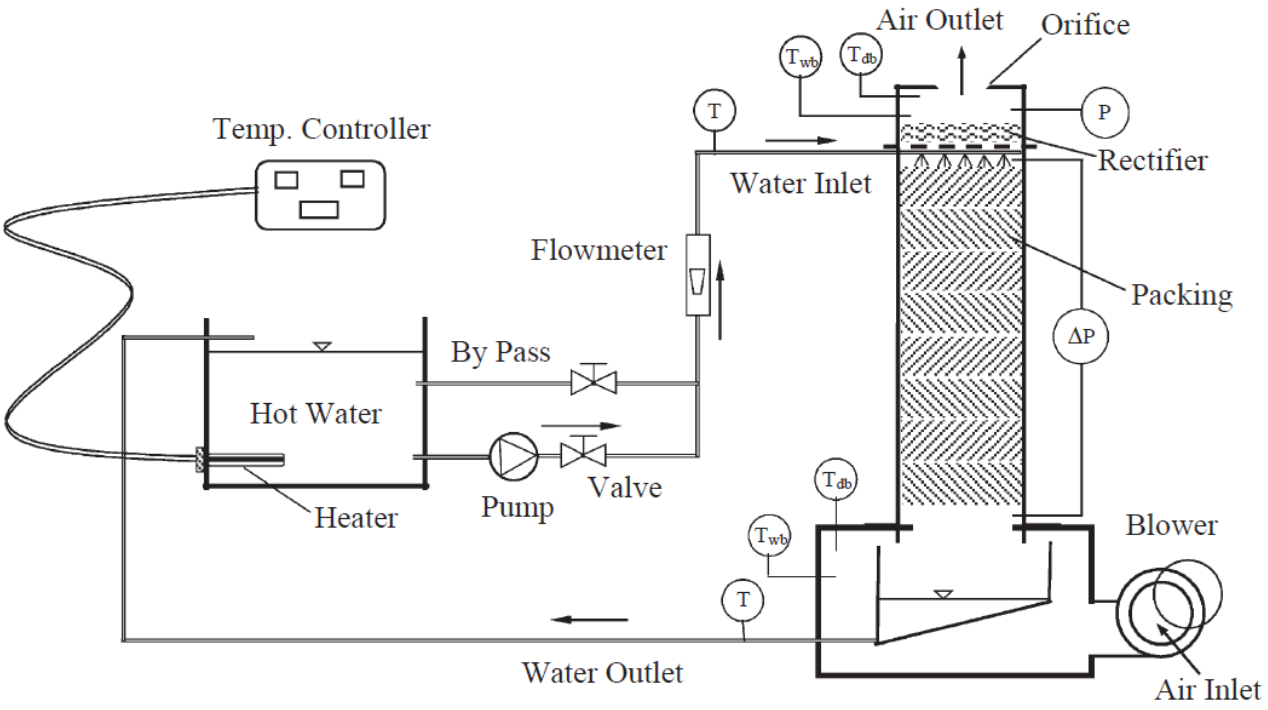
سیستم را می توان بشکل زیر نیز توصیف کرد.

$$m_E^{\bullet} = m_a^{\bullet}(w_B - w_A)$$
$$Q - Q_W^{\bullet} = H^{\bullet}{}_{exit} - H^{\bullet}{}_{inlet}$$
$$Q^{\bullet} - Q^{W} = m_a^{\bullet} h_B + m_w^{\bullet} h_D - (m_a^{\bullet} h_A + m_w^{\bullet} h_c + m_E^{\bullet} h_E^{\bullet})$$
$$Q^{\bullet} - Q_W^{\bullet} = m_a^{\bullet}(h_B - h_A) + m_W^{\bullet}(h_D - h_C) - m_E^{\bullet} h_E^{\bullet}$$
$$= m_a^{\bullet}(h_B - h_A) + m_W^{\bullet}(C_P(t_D - t_C)) - m_E^{\bullet} h_E^{\bullet}$$

شرح دستگاه و روش آزمایش:

در شکل نمایی از دستگاه موجود را مشاهده می کنید. دستگاه موجود برای بررسی پدیده های انتقال جـرم و انتقال حرارت در برجهای خنک کن طراحی و ساخته شده است . این سیستم همچنین یک مثال خوب برای سیستم باز می باشد که در آن دو سیال آب و هوا در جریان می باشد و انتقال حرارت از یک سیال بـه سـیال

دیگر انجام می شود.در این دستگاه یک مسیر حرکت هوا و یک سیکل مربوط به آب وجود دارد کـه بـه طـور جداگانه بررسی میشود هوای محیط توسط یک دمنده از محیط گرفته شده و وارد سیستم میشود .



شکل-۳

شرح ساختمان دستگاه:

۱-مدار گردش آب:

آب تانک توسط یک سیستم گرمایش گرم می شود. روی دستگاه یک صفحه دیجیتالی مشاهده می شود که یک دکمه set point کنار آن قرار گرفته است. چنانچه عدد set point را در دمای معین تنظـیم نمائیـد، آب درون مخزن توسط هیتر تا دمای set point گرم خواهد شد.

آب گرم توسط سیستم لوله کشی به بالای برج خنک کن منتقل شده و در آنجا توسط یک لوله با سوراخهای ریز روی (دوش)هوای عبوری از برج دوش می شود. بعلت تبخیر آب درتماس با هوا درجه حرارت آب در پایین برج پایین خواهد آمد.

۲-گردش هوا:

هوا توسط یک فن از اتمسفر به داخل سیستم دمیده می شود. در زیر برج یک محفظه بنام محفظه تقسیم هوا وجود دارد. هوا از فن وارد این محفظه می شود و در آنجا با دو دماسنج با حالتهـای wet bulb و dry bulb تماس پیدا می کند .

با توجه به این که دیواره برجها از جنس شفاف ساخته شده است جریانهای موجود در برج را می توان به راحتی مشاهده نمود.

۳) تانک آب گرم:

این تانک بین محفظه پخش هوا و باکس الکترونیک دستگاه قرار دارد. آب این تانک توسط یک هیتر با دمای set point گرم می شود. تا زمانی که دمای تانک پایین تر از دمای set point باشد هیترها کار خواهند کرد و این سیستم یک کلید اطمینان است که دمای تانک از دمای مشخص بالاتر نرود.

۴-باکس الکترونیکی شامل موارد زیر است:

۱-کلید سمت چپ فن را روشن می کند.

۲-کلید وسط هیتر را روشن می کند.

۳-کلید راست پمپ را روشن می کند.

توصیه های مهم درمورد دستگاه :

۱-آب تانک را باید بعد از حدود ۲۰ ساعت کار دستگاه عوض کرده و همچنین برای جلوگیری از گردش آب آلوده در مسیر چنانچه مدت طولانی از دستگاه استفاده نمی شود باید آنرا عوض کرد.

۲-برای جلوگیری از خراب شدن هیتر، در هنگام خالی بودن تانک آبگرم هیتر را روشن نکنید.

روش کار:

ابتدا دستگاه و همچنین هیترهای مربوط با مخزن آب را (این هیترها به این دلیل گذاشته شده اند که اب به صورت مصنوعی گرم شود که ما بهتر بتوانیم عملکرد برج را ببینیم) روشن می کنیم و با کمک شیری که در دستگاه تعبیه شده است دبی اب ورودی را کنترل کرده و یک مقدارثابت انتخاب می کنیم سپس در حدود چند دقیقه صبر می کنیم تا دستگاه به حالت پایدار خود برسد سپس مقادیر مورد نیاز برای محاسبات را یادداشت می کنیم. تمامی دما ها را از روی صفحه دیجیتال در جدولی مشابه جدول زیر ثبت کنید.

توجه کنید که برای اندازه گیری دمای حباب خیس هوا در پایین و بالای برج حتما سنسور ها در پنبه آغشته به آب قرار گیرند.

ردیف	تکرار۱	تکرار۲	تکرار۳	تکرار۴
Q(دبی)				
T_1				
T_2				
T_3				
T_4				
T_5				
T_6				
V(ولت)				
I(امپر)				
سرعت هوای ورودی				
سرعت هوای خروجی				

جدول-۱

نتایج و محاسبات:

۱- آزمایش را برای ۴ دبی مختلف تکرار کنید و جدول ۱ را کامل کنید. (در مورد مقدار دمای هیتر و آب ورودی برج با مسئول آزمایشگاه هماهنگ کنید.)

۲- آنتالپی مربوط به آب در بالا و پایین برج را برای هر تکرار بدست آورید.

۳- آنتالپی مربوط به هوا در بالا و پایین برج را برای هر تکرار بدست آورید.

۴- تغییرات آنتالپی بر حسب دبی آب را برای آب رسم کنید.

۵- در مورد تاثیر دبی آب جریانی در برج بر عملکرد آن بحث کنید.

۶- میزان رطوبت هوای بیرون چگونه بر عملکرد برج تاثیر دارد؟

آزمایش ششم: مبدل حرارتی پوسته و لوله

هدف آزمایش:

آشنایی با طرز کار یک مبدل حرارتی پوسته و لوله (*shell & tube*)
بررسی فرآیند انتقال حرارات بین آب گرم و آب سرد
بررسی انتقال حرارت در جریان موازی همسو و غیر همسو
محاسبه ضریب انتقال حرارت کلی و راندمان مبدل حرارتی

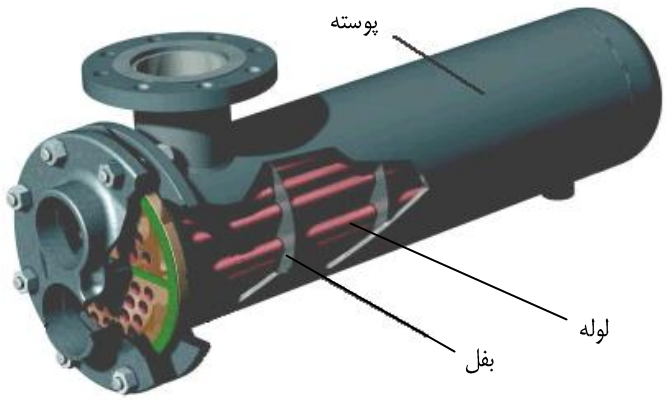
تئوری آزمایش:

مقدمه

مبدل حرارتی دستگاهی است که برای انتقال حرارت موثر بین دو سیال (گاز یا مایع) استفاده می‌گردد. این مبدل ها به صورت وسیعی به عنوان خنک کن های روغن، چگالنده ها و پیش گرم کن ها در نیروگاهها، و به عنوان مولدهای بخار در نیروگاههای هسته ای و نیز در کندانسور چیلرهای تبرید تراکمی، مولد بخار، اواپراتور، تبخیر کننده ها، برج خنک کن، پیش گرم کن فن کویل، خنک کن و گرم کن روغن، رادیاتور ها، کوره ها و ... استفاده می شوند. معمولاً مبدل های حرارتی به منظور خنک کردن سیال گرم و یا گرم کردن سیال با دمای پایین تر و یا هر دو، مورد استفاده قرار می گیرند.

از آنجا که مبدل‌های پوسته و لوله *(shell & tube)* ، از جمله مبدل‌های پرکاربرد در صنعت می‌باشند؛ لذا با مورد تست قرار دادن یک مبدل ساده پوسته و چند لوله‌ای به وسیله این دستگاه، سعی شده است تا مفاهیم اولیه و پایه این

نوع مبدل‌ها مورد بررسی و مطالعه قرار گیرند. طرح برش خورده یک نوع مبدل حرارتی پوسته و لوله را در شکل (۲) مشاهده می نمایید.



شکل ۲ : طرح برش خوده یک مبدل حرارتی پوسته ولوله

در مبدل های حرارتی پوسته و لوله, سه نوع آرایش جریان داریم :

۱. جریان همسو (موازی): سیال گرم و سیال سرد از یک طرف مبدل وارد شده و از طرف دیگر خارج می شوند.

۲. جریان غیرهمسو (مخالف) : سیال گرم و سیال سرد از دو سمت مخالف هم وارد مبدل می شوند.

۳. جریان عمود برهم (متقاطع) : سیال سرد و گرم عمود بر هم حرکت می کنند.

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

۱- هدایت

۲- جابجایی

۳- تشعشع

تحلیل مبدل های گرمایی

برای تحلیل مبدل های گرمایی دو روش وجود دارد:

۱. روش اختلاف دمای متوسط لگاریتمی ($LMTD$): این روش زمانی به کار می رود که دمای سیالات ورودی و خروجی مشخص باشد.

۲. روش ε - NTU: این روش زمانی بکار می رود که دمای سیالات ورودی و خروجی مشخص نباشد.

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

۱. تغییرات انرژی های پتانسیل و جنبشی ناچیز است.
۲. گرماهای ویژه سیالات در یک محدوده دمایی ثابت است.
۳. سطح بیرونی مبدل کاملاً عایق است و تبادل گرمایی فقط بین دو سیال صورت می گیرد.
۴. هدایت گرمایی در امتداد محور لوله ها ناچیز است.
۵. ضریب انتقال گرمایی کلی ثابت است.
۶. فرایند به صورت پایا است.
۷. تولید گرما نداریم.

برای محاسبه نرخ انتقال گرما داریم:

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

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

$q = UA\Delta T_{LMTD}$

اندیس های h و c به ترتیب برای سیالات گرم و سرد، و اندیس های i و o به ترتیب برای شرایط ورودی و خروجی سیالات اند. q مقدار حرارت منتقل شده از آب در واحد زمان و U ضریب انتقال حرارت کلی مبدل می باشد.

حال اگر سیال گرم A از درجه حرارت $T_{h,i}$ به $T_{h,o}$ و سیال سرد B از درجه حرارت $T_{c,i}$ به $T_{c,o}$ برسد, اختلاف درجه حرارت متوسط لگاریتمی, با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

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

برای جریان موازی (همسو):

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

برای جریان مخالف (غیر همسو):

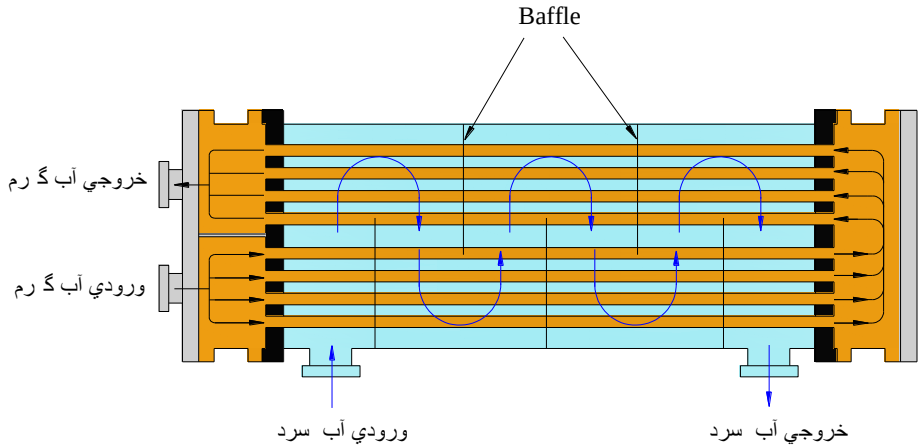
$$\begin{cases} \Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,o} \\ \Delta T_2 = T_{h,0} - T_{c,i} \end{cases}$$

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

شرح دستگاه و روش انجام آزمایش:

شرح دستگاه

مبدل های حرارتی پوسته و لوله، از لوله هایی با مقطع دایره ای که در یک پوسته استوانه ای بزرگ نصب شده اند، ساخته می شوند. به طوری که محور لوله ها موازی با محور پوسته است. سیال گرم درون لوله های موجود در پوسته جریان می یابد و در محفظه ی میانی لوله ها (درپوسته) سیال سرد پس از عبور از مسیر های تعیین شده، با سطح جانبی لوله ها برخورد کرده و تبادل حرارت صورت می گیرد. در انتها از مجرای مخصوص خارج می شود. طرح شماتیک مبدل مورد استفاده در دستگاه را در شکل (۳) مشاهده می کنید.



شکل ۳ : طرح شماتیک مبدل دستگاه

دستگاه حاضر از یک مبدل حرارتی *shell & tube* از نوع پوسته و چند لوله با سطح انتقال حرارت $A = 0.57\ m^2$ تشکیل شده است که به وسیله آن امکان بررسی مبدل در حالت جریان همسو و ناهمسو وجود دارد. سیال سرد و گرم در دو جهت مخالف و موافق حرکت میکنند و انتقال حرارت صورت میگیرد. در شرایط یکسان برای یک مبدل با جریان ناهمسو میزان انتقال حرارت بیشتر از مبدل با جریان همسو خواهد بود. در نتیجه راندمان کار بیشتر می شود.

اجزای دستگاه عبارت اند از:

۱. واحد آب گرم، شامل یک مخزن با یک گرم‌کن الکتریکی است که ۲ کیلووات قدرت گرمایی دارد و آب را تا درجه حرارت مورد نظر گرم می کند.
۲. واحد آب سرد، که شامل ورودی و خروجی آب سرد می باشد.
۳. یک عدد پمپ که آب گرم را در سیستم به گردش در می‌آورد.
۴. مبدل حرارتی یک پوسته و تعدادی لوله که از جنس مس است.

۵. سنسورهای دمایی، در چهار نقطه، دمای آب گرم ورودی و خروجی و همچنین دمای آب سرد ورودی و خروجی به مبدل را اندازه گیری می کنند.
۶. مقدار دمای چهار نقطه دمایی، به وسیله یک نمایشگر دمای چهار کاناله، نمایش داده می شود.
۷. حجم آب گرم و آب سرد ورودی به مبدل، توسط دو عدد کنتور اندازه گیری می شود.
۸. دو عدد شیر ربع گرد برای ایجاد جریان همسو و ناهمسو.

روش کار با دستگاه

۱. به وسیله کلید *on/off* دستگاه روشن می شود. همزمان با روشن شدن دستگاه، هیتر نیز روشن می شود (حدوداً ۲۰ دقیقه قبل از شروع آزمایش، دستگاه روشن شود).
۲. پمپ آب گرم، به وسیله کلید *on/off* مربوطه، شروع به کار کرده و آب گرم را از مخزن آب گرم به داخل لوله پمپاژ می نماید.
۳. ورودی آب سرد را به آب شهر و خروجی آن را به فاضلاب هدایت کنید.(به کمک شلنگ)
۴. حجم آب گرم ورودی به مبدل، به وسیله شیر تنظیم دبی تعبیه شده در قسمت ورودی آب گرم، تنظیم شده و توسط کنتور نصب شده در مسیر، قابل اندازه گیری است.
۵. حجم آب سرد ورودی به مبدل، به وسیله شیر تنظیم دبی تعبیه شده در قسمت ورودی آب سرد، تنظیم شده و توسط کنتور نصب شده در مسیر آب سرد ورودی به پوسته، قابل اندازه گیری می شود.
۶. چهار سنسور دمایی، دمای آب ورودی و خروجی لوله و همچنین دمای آب ورودی و خروجی پوسته را اندازه گیری می کنند.
۷. دماهای اندازه گیری شده به وسیله سنسورها، توسط نمایشگرهای دیجیتال مربوطه برحسب درجه سانتیگراد نمایش داده می شود.
۸. مطابق شکل زیر وقتی هر دو شیر ربع گرد در حالت افقی هستند جریان همسو و زمانی که هر دو شیر در حالت عمودی هستند جریان ناهسو است.

آزمایش ها

الف) جریان دائم :

در این قسمت مدت زمان لازم برای رسیدن دماها به دماهای پایا به صورت زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱- ابتدا مخزن آب گرم را چک کنید و مطمئن شوید که مخزن خالی نباشد.
۲- حدوداً ۲۰ دقیقه قبل از شروع آزمایش, دستگاه را روشن کنید تا آب درون مخزن گرم شود.
۳- به کمک شلنگ ورودی و خروجی آب سرد را وصل کنید.
۴- پمپ های آب گرم را روشن کنید تا جریان در مدار به وجود آید.

۵- دبی جریان آب گرم و سرد را روی مقدار دلخواهی تنظیم کنید.

۶- قبل از رسیدن سیستم به حالت تعادل, هر چند ثانیه یکبار, برای یک دبی معین برای هر دو سیال دماها را در جدول (۱) یادداشت نمایید. مدت زمان لازم برای این که پدیده انتقال حرارت، یک انتقال حرارت دایم (*steady state*) باشد، بدست می‌آید

جدول ۱ :حالت دائم

زمان $t(sec)$	$T_{h,i}\,(°C)$	$T_{h,o}\,(°C)$	$T_{c,i}\,(°C)$	$T_{c,o}\,(°C)$

ب) جریان موازی و مختلف الجهت (غیر همسو)

۱- جریان های آب گرم و سرد را در سیستم برقرار کنید.

۲- دبی ها را روی عدد دلخواه تنظیم نمایید.

۳- پس از رسیدن دماهای $T_{h,i}, T_{h,o}, T_{c,i}, T_{c,o}$ به یک مقدار ثابت، عدد آن‌ها را در جدول (۳) یادداشت نمایید.

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

جدول ۲ : جریان غیر همسو

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

ج) جریان موازی و هم الجهت (همسو)

۱- جریان های آب گرم و سرد را در سیستم برقرار کنید.

۲- دبی ها را روی عدد دلخواه تنظیم نمایید.

۳- پس از رسیدن دماهای $T_{c,o}, T_{c,i}, T_{h,o}, T_{h,i}$ به یک مقدار ثابت، عدد آن‌ها را در جدول (۳) یادداشت نمایید.
۴- آزمایش را برای یک یا چند دبی دلخواه تکرار نمایید.

جدول ۳ : جریان همسو

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

نتایج و محاسبات:

۱. با استفاده از دماهای میانگین آب سرد و گرم (ورودی و خروجی) خواص فیزیکی سیال گرم و سرد را از جداول خواص فیزیکی آب بخوانید.
۲. حرارتی را که آب گرم از دست داده است (q_h) و هم‌چنین حرارتی را که آب سرد گرفته (q_c) را محاسبه کنید.
۳. راندمان مبدل را بدست آورید. $\eta = \frac{q_c}{q_h}$
۴. اختلاف درجه حرارت متوسط لگاریتمی *(LMTD)* را بدست آورید.
۵. ضریب کلی انتقال حرارت بر مبنای سطح داخلی (U_i) را با استفاده از موازنه انرژی محاسبه نمایید.
$\dot{Q}$: مقدار حرارت منتقل شده از آب در واحد زمان $q = \dot{Q} = \dot{m} C \Delta T = U_i A_i \Delta T_{LMTD}$
۶. اثر افزایش و کاهش دبی‌های سیال سرد و گرم را بررسی کنید و در مورد آن بحث کنید. هم‌چنین علت کاهش یا افزایش انتقال حرارت را نیز در هر یک از حالات توضیح دهید.

مراجع:

1- Introduction to thermodynamics by van wylen,borgnakke,Sonntag.
2- Introduction to heat transfer by Frank P.Incropera,David P.De Witt.
3- Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and design by Jerald D.Parker,faye C.McQuiston,Jeffrey D.spitler.
4- Study on the heat transfer characteristics of an evaporative cooling tower , Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, 63 Rangsit-Nakhonnayok,Ongkharak, Nakhon-Nayok, 26120, Thailand.

۵- جزوه اولیه توضیحات شرکت سازنده (صنایع دقیق البرز کوشا)
۶- جزوه اولیه توضیحات شرکت سازنده (شرکت دقت آزما)
۷- جزوه اولیه توضیحات شرکت سازنده (شرکت رادمان صنعت)