

فهرست دستورالعمل دستگاه

- 1 هدف
- 1 مقدمه
- 2 شرح دستگاه
- 2 اجزای دستگاه
- 2 طریقه روشن کردن دستگاه
- 3 طریقه خاموش کردن دستگاه

هدف :

آشنایی با اجزای اصلی یک پمپ حرارتی صنعتی
تعیین ضریب عملکرد پمپ حرارتی
شناخت پارامترهای تأثیرگذار بر روی ضریب عملکرد
بررسی سیکل بر روی نمودارهای ترمودینامیکی و مقایسه سیکل واقعی با سیکل ایده‌آل

مقدمه :

پمپ حرارتی ماشینی است که اساس کار آن جذب گرما از یک منبع با درجه حرارت پائین در اوپراتور و تحویل این گرما در کندانسور است. پمپ حرارتی برای گرم کردن فضاهای مختلف یا آب گرم خانه مناسب است. با توجه به قابلیت هواسازی راحت‌تر و مناسب‌تر با کمک این سیکل‌ها، امروزه کاربرد بیشتری یافته‌اند.

طبق قانون دوم ترمودینامیک برای انتقال گرما از یک محیط سرد به یک محیط گرم باید کار وارد سیستم شود. با بررسی سیکل تبرید تراکمی، به وضوح مشاهده می‌شود که انرژی گرمایی تولید شده توسط پمپ حرارتی از کار ورودی به آن بیشتر است. بنابراین در سیستم‌های گرمایش به منظور کاهش انرژی مصرفی (نسبت به سیستم‌هایی نظیر بخاری برقی و ...) می‌توان از پمپ حرارتی استفاده نمود. منبع درجه‌حرارت پایین در اوپراتور، عموماً در عمل آب یا هواست. اما می‌توان از منابع دیگری مانند تشعشع خورشیدی، بخار آب فشار پایین، دودکش یا گازهای خروجی ماشینهای حرارتی نیز استفاده نمود.

با شناخت پارامترهای مختلف می‌توان با در نظر گرفتن تمامی مشکلات و محدودیت‌ها بهترین شرایط کاری برای یک سیکل تبرید و یا پمپ حرارتی بدست آورد.

شرح دستگاه :

این سیستم دارای اجزای اصلی یک پمپ حرارتی صنعتی و یا سیکل معکوس آن یعنی تبرید تراکمی صنعتی است که با توجه به قابلیت هواسازی راحت‌تر و مناسب‌تر با کمک این سیکل‌ها، امروزه کاربرد بیشتری یافته‌اند. از آنجا که در این پمپ گرما از هوا به آب داده می‌شود، پمپ حرارتی هوا به آب نامیده می‌شود.

سیال عامل در این پمپ حرارتی $R404$ می‌باشد. منبع با دمای پایین در اوپراتور هوای اتمسفر است، بدین معنی که در اوپراتور حرارت از هوای اتمسفر به $R404$ منتقل می‌شود و $R404$ تبخیر می‌گردد. سپس بخار اشباع با فشار کم وارد کمپرسور شده و در یک فرآیند برگشت‌پذیر و آدیاباتیک، فشار افزایش می‌یابد. در کندانسور بخار داغ $R404$ گرمای نهان خود را به آب منتقل نموده و تقطیر می‌شود. مایع اشباع در یک فرآیند آنتالپی ثابت توسط شیر انبساط، منبسط شده و سپس وارد اوپراتور می‌گردد و دوباره سیکل تکرار می‌شود.

شیر انبساط از نوع ترمو استاتیکی است. سنسورهای دما دیجیتال هستند و دبی آب به وسیله روتامتر اندازه گیری می شود. اگر بار کمپرسور از حد مجاز بیشتر شود توسط سیستمهای حفاظتی، کمپرسور خاموش می شود و در صورت رفع اشکال دوباره بکار می افتد. مطلب قابل توجه این است که بخار ورودی به کمپرسور باید تقریباً به میزان 5-10 k سوپر هیت (ما فوق داغ) باشد. یعنی T_1 دمای R404 در ورودی به کمپرسور، باید 5-10 K بالاتر از دمای اشباع در فشار اواپراتور باشد. (این امر هم به این خاطر است که ورودی به کمپرسور فاز گازی باشد).

اجزای دستگاه :

- 1- اواپراتور(هوایی)
- 2- کمپرسور
- 3- کندانسور (دو لوله ای)
- 4- شیر انبساط (expansion valve)
- 5- فیلتر درایر جهت جذب رطوبت و ناخالصی ها
- 6- نمایشگر دیجیتال توان (ولتاژ و جریان)
- 7- گیج فشار (دو عدد)
- 8- سنسور های دمایی در 6 نقطه
- 9- نمایشگرهای دیجیتال دما
- 10- فن
- 11- ترموستات
- 12- کلید روشن و خاموش کردن دستگاه
- 13- کلید روشن و خاموش کردن فن
- 14- روتامتر جهت محاسبه دبی آب بر حسب لیتر بر دقیقه

اعدادی که فشارسنج ها نشان می دهند، مربوط به فشار قبل از کمپرسور و فشار خروجی کمپرسور می باشد. نمایشگرهای دیجیتال دما نیز، دمای گاز ورودی به کندانسور، گاز خروجی از کندانسور، گاز ورودی به اواپراتور، گاز خروجی از اواپراتور، آب ورودی به کندانسور و آب خروجی از کندانسور را نشان می دهند.

طریقه روشن کردن دستگاه :

1. شیر ورودی آب را به مقدار زیادی باز کنید.
 2. کلید اصلی را روشن کنید.
 3. ترموستات را روی درجه حرارت دلخواه تنظیم کنید.
- بعد از اینکه نمایشگرهای درجه حرارت و فشار، اعداد ثابتی را نشان دادند می توان آزمایش را شروع کرد.

طریقه خاموش کردن دستگاه :

قبل از خاموش کردن دستگاه دبی آب کندانسور را به مدت 2 تا 3 دقیقه افزایش دهید. سپس دستگاه را خاموش کنید و پس از چند دقیقه شیر آب کندانسور را ببندید.
در تمام آزمایش‌ها به خاطر داشته باشید که برای حفاظت دستگاه، ابتدا شیر آب کندانسور را باز نمایید تا آب خنک کننده کندانسور جریان داشته باشد. سپس کمپرسور روشن شود.

فهرست دستور آزمایش ها

- 1 هدف
- 1 تئوری آزمایش
- 1 سیکل تبرید تراکمی
- 1 ضریب عملکرد
- 3 انحراف سیکل تبرید تراکم بخار حقیقی از سیکل ایده‌ال
- 3 طریقه روشن کردن دستگاه
- 4 طریقه خاموش کردن دستگاه
- 4 روش انجام آزمایش
- 4 آزمایش اول
- 4 خواسته های آزمایش اول
- 5 جدول داده ها و محاسبات
- 5 آزمایش دوم
- 6 خواسته های آزمایش دوم

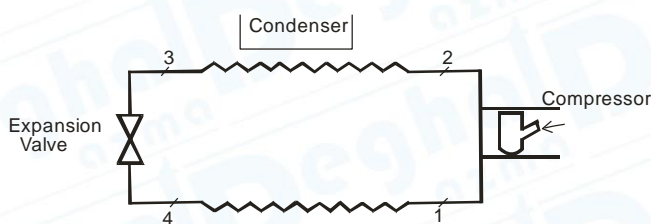
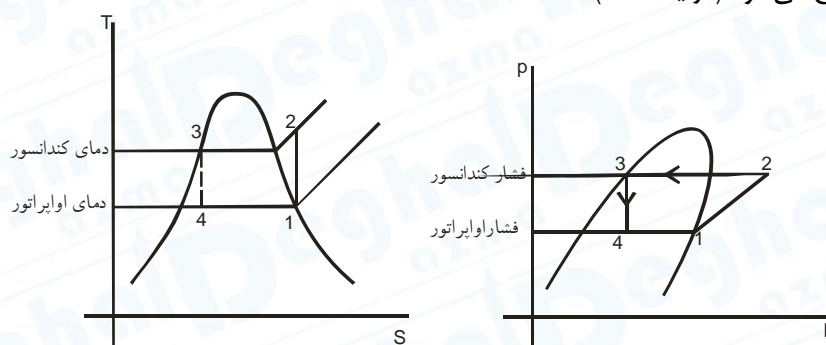
هدف :

آشنایی با اجزای اصلی یک پمپ حرارتی صنعتی
تعیین ضریب عملکرد پمپ حرارتی
شناخت پارامترهای تاثیرگذار بر روی ضریب عملکرد
بررسی سیکل بر روی نمودارهای ترمودینامیکی و مقایسه سیکل واقعی و ایده آل

تئوری آزمایش :

سیکل تبرید تراکمی :

شکل (1) سیکل ایده آل تبرید تراکمی را نشان می دهد (1-2-3-4-1). بخار اشباع با فشار کم وارد کمپرسور می شود در یک فرآیند برگشت پذیر و آدیاباتیکی، فشار افزایش می یابد (فرآیند 1-2) سپس در یک فرآیند فشار ثابت درون کندانسور گرما از دست می دهد (فرآیند 2-3) و به صورت مایع اشباع کندانسور را ترک می کند. مایع اشباع در یک فرآیند آنتالپی ثابت ($h_3 = h_4$) منبسط می شود (فرآیند 3-4). مخلوط مایع و بخار در اوپراتور در یک فرآیند فشار ثابت تبدیل به بخار اشباع می شود (فرآیند 4-1).



شکل 1 : سیکل ایده آل تبرید تراکمی

ضریب عملکرد :

ضریب عملکرد یک سیکل تبرید عبارت است از نسبت ظرفیت تبرید به کار کمپرسور.

$$\beta = \frac{q_L}{w_C} = \frac{q_{4-1}}{w_{1-2}}$$

اگر سیکل برای یک پمپ حرارتی بکار رود ضریب عملکرد عبارت است از نسبت حرارت دفع شده به کار کمپرسور.

$$\beta = \frac{q_h}{w_c} = \frac{q_{2-3}}{w_{1-2}}$$

که در این روابط :

$$q_L = h_1 - h_4 \quad \text{گرمای تبادل شده در اوپراتور بر واحد جرم}$$

$$q_h = h_2 - h_3 \quad \text{گرمای تبادل شده در کندانسور بر واحد جرم}$$

$$w_c = h_2 - h_1 \quad \text{کار ورودی به کمپرسور بر واحد جرم}$$

$$\beta = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

بنابراین ضریب عملکرد یک پمپ حرارتی عبارتست از :

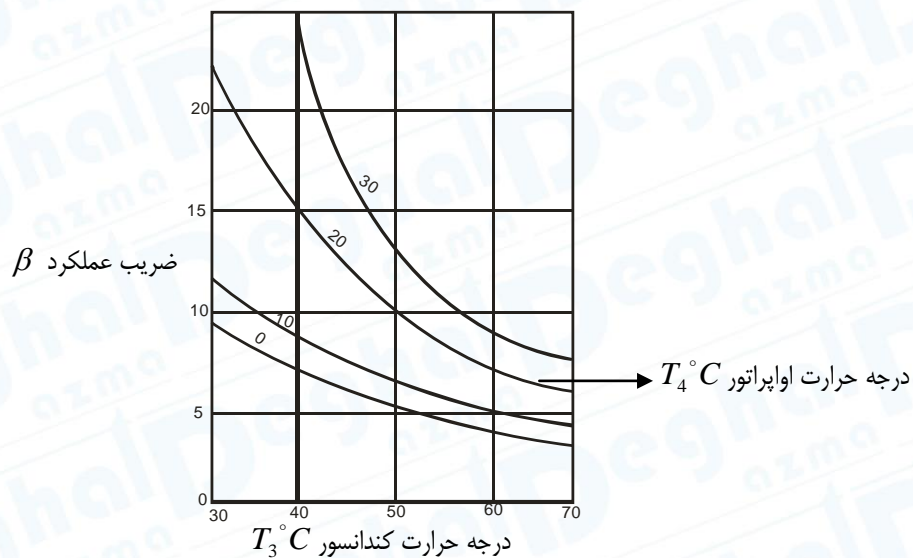
$$\beta = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

و ضریب عملکرد یک سیکل تبرید هم از این رابطه به دست می آید :

تاثیر دمای کندانسور T_3 (یا فشار اشباع هم‌ارز این دما) و دمای اوپراتور T_4 بر روی ضریب عملکرد در سیکل ایده‌آل پمپ حرارتی در شکل (2) نشان داده شده است.

- برای محاسبه دبی مبرد در صورت لزوم می‌توان از موازنه انرژی در کندانسور استفاده نمود. (در هنگام محاسبه تغییر آنتالپی مبرد دقت به تغییر فاز مبرد داشته باشید).

$$\dot{m}_r (h_2 - h_3) = \dot{m}_w C_w (T_6 - T_5)$$



شکل 2 : تاثیر دمای کندانسور و اوپراتور بر روی ضریب عملکرد

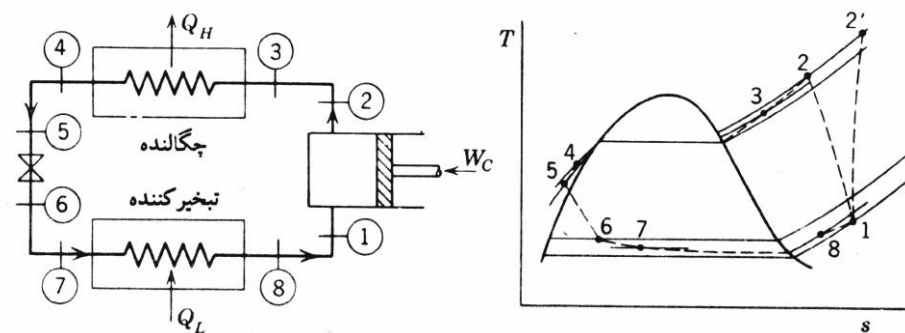
همان‌طور که می‌دانیم تغییر در فشار یا دمای عملکردی کندانسور، اوپراتور و میزان سوپرهیت بودن مبرد در ورودی به کمپرسور و ... عواملی هستند که بر روی ضریب عملکرد تاثیرگذار می‌باشند.

انحراف سیکل تبرید تراکم بخار حقیقی از سیکل ایده‌آل :

بدلیل افت‌های فشار ناشی از جریان سیال و نیز تبادل حرارت با محیط، سیکل تبرید حقیقی از سیکل ایده‌آل انحراف خواهد داشت. سیکل حقیقی می‌تواند به سیکل شکل (3) نزدیک شود.

احتمالاً بخار ورودی به کمپرسور به صورت مافوق گرم خواهد بود. در طی فرآیند تراکم، بازگشت ناپذیری‌ها و تبادل حرارت با محیط (با توجه به درجه حرارت مبرد و محیط) صورت خواهد گرفت. بنابراین در طی این فرآیند، انتروپی ممکن است افزایش یا کاهش یابد. بازگشت ناپذیریها و انتقال حرارت به مبرد، موجب افزایش انتروپی می‌شود و انتقال حرارت از مبرد موجب کاهش انتروپی می‌گردد. این احتمالات با دو خطچین $1-2'$ و $1-2$ نشان داده شده است. فشار مایع خروجی از چگالنده کمتر از فشار بخار ورودی به آن می‌باشد و درجه حرارت مبرد در چگالنده مقداری بیشتر از درجه حرارت محیطی که با آن تبادل حرارت می‌کند خواهد بود. معمولاً درجه حرارت مایع خروجی از چگالنده کمتر از درجه حرارت اشباع است و احتمال دارد که مقدار آن در لوله‌های بین چگالنده و شیر انبساط، افت بیشتری نیز داشته باشد. این امر نمایانگر منفعت است زیرا در اثر این انتقال حرارت، مبرد با آنتالپی کمتری وارد تبخیر کننده می‌شود و می‌توان در تبخیرکننده مقدار حرارت بیشتری به مبرد انتقال داد.

در حین جریان یافتن مبرد از درون تبخیرکننده مقداری افت فشار روی خواهد داد. امکان دارد مبرد در هنگام خروج از تبخیرکننده کمی مافوق گرم باشد. همچنین در اثر انتقال حرارت از محیط به لوله بین تبخیرکننده و کمپرسور درجه حرارت مبرد می‌تواند افزایش یابد. این انتقال حرارت نشان‌دهنده یک نوع افت است زیرا در اثر افزایش حجم مخصوص سیال ورودی به کمپرسور، کار کمپرسور نیز افزایش خواهد یافت.



شکل 3: سیکل واقعی تبرید تراکم

طریقه روشن کردن دستگاه :

1. شیر ورودی آب را به مقدار زیادی باز کنید.
2. کلید اصلی را روشن کنید.
3. ترموستات را روی درجه حرارت دلخواه تنظیم کنید.

بعد از اینکه نشان دهنده‌های درجه حرارت و فشار، اعداد ثابتی را نشان دادند می‌توان آزمایش را شروع کرد. در تمام آزمایش‌ها به خاطر داشته باشید که برای حفاظت دستگاه، ابتدا شیر آب کندانسور را باز نمایید تا آب خنک کننده کندانسور جریان داشته باشد. سپس کمپرسور روشن شود.

طریقه خاموش کردن دستگاه :

قبل از خاموش کردن دستگاه دبی آب کندانسور را به مدت 2 تا 3 دقیقه افزایش دهید. سپس دستگاه را خاموش کنید و پس از چند دقیقه شیر آب کندانسور را ببندید.

روش انجام آزمایش :

آزمایش اول :

هدف : شناخت پارامترهای تأثیرگذار بر روی ضریب عملکرد.

مراحل آزمایش :

- مطابق دستورالعمل فوق دستگاه را روشن نمایید.
- بسته به شرایط هوایی محل آزمایش، دبی آب کندانسور را به حدی باز نمایید که اختلاف دمای آب ورودی (T_5) و خروجی (T_6) از کندانسور حداقل 1 درجه باشد
- صبر کنید تا دستگاه به شرایط دائم برسد. سپس (T_5, T_6) و دمای مبرد (T_1, T_2, T_3, T_4) و همچنین فشار کندانسور و اواپراتور را در جدول (1) یادداشت نمایید.
- در هر مرحله دبی آب را 1 Lit/min کاهش دهید و مراحل فوق را تکرار نمایید.

خواسته های آزمایش اول :

1. در تمام دبی های جدول فوق، قدرت ورودی به کمپرسور و فن، گرمای خروجی و ضریب عملکرد را محاسبه نمایید. (راهنمایی : گرمای خروجی از مبرد در کندانسور با صرف نظر از افت ها، معادل گرمای داده شده به آب سرد کن کندانسور می باشد).
2. با تغییر دبی آب ورودی به محفظه کندانسور، سیکل مبرد دچار تغییراتی می شود. علت این تغییرات را ذکر کنید. همچنین پارامترهایی را که از این تغییر تأثیر می پذیرند را با دقت در اعدادی که در جدول فوق ثبت کرده اید ذکر نمایید.
3. تغییر دبی آب ورودی به محفظه کندانسور چه تأثیری بر فشار عملکردی اواپراتور و کندانسور دارد؟

جدول داده ها و محاسبات

	آزمایش اول			آزمایش دوم		
	1	2	3	1	2	3
قدرت ورودی $P(kw) = V.I$						
فشار گاز خروجی از اوپراتور P_1						
فشار گاز قبل از شیر EXP P_2						
دمای گاز خروجی از اوپراتور $T_1 (^{\circ}C)$						
دمای گاز ورودی به کندانسور $T_2 (^{\circ}C)$						
دمای گاز خروجی از کندانسور $T_3 (^{\circ}C)$						
دمای گاز ورودی به اوپراتور $T_4 (^{\circ}C)$						
دبی جرمی آب ورودی به کندانسور $\dot{m}_w (Lit / min)$						
دمای آب ورودی به کندانسور $T_5 (^{\circ}C)$						
دمای آب خروجی از کندانسور $T_6 (^{\circ}C)$						
گرمای خروجی (j/sec)						
ضریب عملکرد پمپ حرارتی β						

آزمایش دوم :

هدف : مقایسه سیکلهای واقعی و ایده‌آل.

مراحل آزمایش :

- دبی آب کندانسور را در یکی از حالت‌های متوسط قرار دهید. (حدود 4 لیتر بر دقیقه)
- کمپرسور و فن را روشن کنید.
- چند دقیقه صبر کنید تا شرایط دائم بر دستگاه حاکم شود. (حدوداً 10 دقیقه)
- دماها و فشارهای مربوط به مبرد (دماهای T_1, T_2, T_3, T_4 و هر دو فشار کندانسور و اوپراتور) موجود بر روی دستگاه را یادداشت نمایید.

- مراحل زیر را در یکی از دبی‌های میانی انجام دهید. در این مورد فرض های زیر انجام می‌شود:
 - (الف) کاهش فشار در کندانسور قابل چشم‌پوشی است ($P_2 = P_3$).
 - (ب) فرآیند انبساط یک فرآیند آدیاباتیکی است ($h_3 = h_4$).

برای مقایسه بین سیکل ایده‌آل و سیکل واقعی در یک دیاگرام $P-h$ یک کپی از این نمودار تهیه نمایید و نقاط زیر را روی آن مشخص کنید:

نقطه 1: تقاطع بین T_1 و P_1

نقطه 2: تقاطع بین T_2 و P_2

نقطه 2s: روی خط آنتروپی ثابت از نقطه 1 تا فشار P_2 حرکت کنید.

نقطه 3: تقاطع T_3 و P_3 (در کندانسور فرآیند فشار ثابت است) $P_3 = P_2$.

نقطه 4: روی خط آنتالپی ثابت از نقطه 3 تا دمای T_4 حرکت کنید.

نقاط 1، 2، 3، 4 و همچنین 2s و 3 را به هم متصل نمایید.

فرآیند 2-3:

در این فرآیند ابتدا بخار *Super Heat* و سپس به ترتیب تقطیر و *sub cooled* می‌شود. در اینجا مقدار گرما بر واحد جرم $h_2 - h_3$ از مبرد به آب منتقل می‌شود که این خروجی قابل استفاده پمپ حرارتی است.

فرآیند 3-4:

فرآیند آنتالپی ثابت است ($h_3 - h_4$) البته بدلیل انتقال حرارت در شیر انبساط، مقدار h_4 کمی بیشتر از مقدار h_3 است که از این تفاوت صرف‌نظر می‌نماییم. در فرآیند انبساط (3-4) *R404* از مایع فشار بالا تبدیل به مایع اشباع فشار پایین با درصدی از بخار می‌شود.

فرآیند 4-1:

با انتقال حرارت از محیط به *R404* در اواپراتور، آنتالپی *R404* از h_4 به h_1 تبدیل می‌شود و سوپرهیت (فوق داغ) می‌گردد. حرارت تبادل شده (بر واحد جرم) مساوی $h_1 - h_4$ است. دقت کنید که افت فشار در لوله‌ها و مسیر اواپراتور وجود دارد. در ادامه به عنوان یکی از خواسته‌های آزمایش از شما خواسته می‌شود میزان این افت فشار را به دست آورید.

خواسته‌های آزمایش دوم:

1- بر روی یک کپی از منحنی $P-h$ نقاط مربوط به عملکرد سیکل را مشخص نمایید و آن را با سیکل ایده‌آلی که بین فشار کندانسور و اواپراتور سیکل واقعی کار می‌کند، مقایسه نمایید. علت اختلاف‌های موجود را توضیح دهید.

2- تغییرات فشار در طول اواپراتور را در صورت وجود مشخص نمایید. علت آن را توضیح دهید.