

(۳) HVAC تبرید برای تکنسین‌های

نوشته‌ی: Leo A. Meyer

برگردان: مهندس رامین تابان

منبع: Refrigeration For HVAC Technicians



مقایسه واحدهای فشار قانون پاسکال

قانون پاسکال بیان می‌دارد که اگر در یک ظرف درسته، فشاری بر یک سیال (مایع یا گاز) اعمال شود، سیال فشار یکسانی را در تمامی جهات بر جداره ظرف وارد می‌نماید. اصل پاسکال، اساس کار سیستم‌های هیدرولیکی به شمار می‌رود. علاوه بر آن، سیستم‌های برودتی نیز بر اساس همین اصل کار می‌کنند. مایع مبرد و بخار فضای موجود را اشغال می‌کنند.

البته نیازی نیست که شما قانون پاسکال را به طور مستقیم به کار ببرید، بلکه تنها باید از موضوع و اساس آن آگاهی داشته باشید.

فشارهایی که باید بدانید

نکته‌ای که باید بدان توجه کنید این است، استفاده از واژه فشار به تنها یعنی نامفهوم و ناقص است چرا که ما همواره با سه مقیاس فشار مختلف سروکار خواهیم داشت:

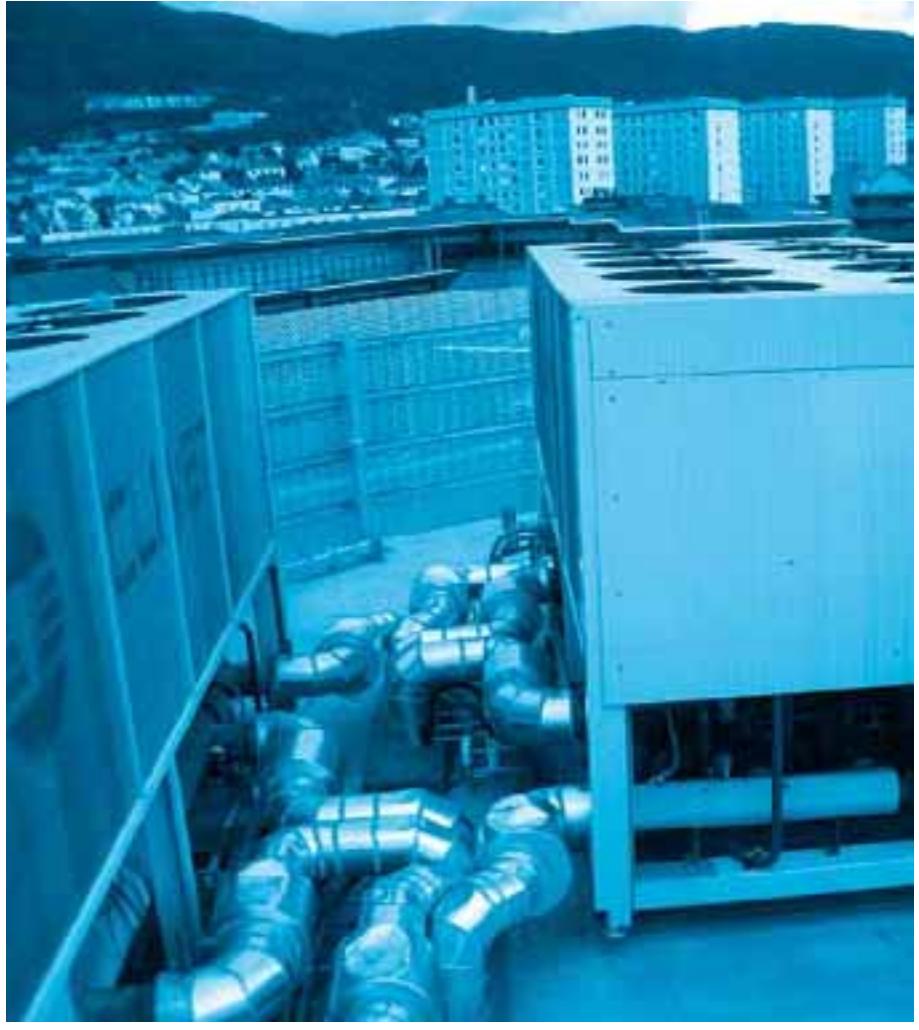
- فشار جو
- فشار نسبی
- فشار مطلق

فشار جو

فشاری که توسط جو زمین ایجاد می‌شود را فشار جو می‌گویند. هوا دارای وزن است و در سطح دریا وزن هوای بالای سر ما فشاری برابر با $14,7 \text{ psi}$ (معادل با $29,92$ اینچ جیوه) را ایجاد می‌کند.

میزان ارتفاع بر روی فشار جو تاثیرگذار است، به طوری که هرچه از سطح دریا بالاتر برویم، هوای کمتری در بالای سر ما خواهد بود و در نتیجه فشار جو نیز کاهش خواهد یافت. در ارتفاع 5000 پا، فشار جو برابر با $12,23 \text{ psi}$ می‌باشد.

علاوه بر ارتفاع، دما نیز بر روی فشار جو تاثیرگذار است، به طوری که هرچه هوا گرم‌تر می‌شود، فاصله بین مولکول‌های هوا افزایش یافته و هوا منبسط می‌شود، در نتیجه وزن آن کاهش می‌یابد. دلیل این که هوای داغ تمایل دارد که به سمت بالا حرکت کند نیز همین است.



در سطح دریا، آب در دمای 50°F می‌جوشد و در ارتفاع 5000 پا، آب در دمای 20°F به جوش می‌آید. این اصل در سیستم‌های برودتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به طوری که:

- هنگامی که فشار افزایش می‌یابد، مبرد در دمای بالاتری تقطیر می‌شود یا می‌جوشد.
- هنگامی که فشار کاهش می‌یابد، مبرد در دمای پایین‌تری تقطیر می‌شود یا می‌جوشد.

رابطه بین فشار و دما به سیستم برودتی این اسکان را می‌دهد تا از گرمای نهان جذب شده یا آزاد شده توسط تغییر حالت استفاده نماید.

گرمای نهان

به طور کلی ماده در سه حالت می‌تواند وجود داشته باشد:

مقادیری که از روی دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار خوانده می‌شود، عموماً بر حسب psi داده می‌شود، ولی باید توجه داشت که این مقادیر در واقع فشار نسبی هستند. فشار مطلق برابر است با فشار نسبی به علاوه فشار جو. فشار مطلق با psia (بوند بر اینچ مربع مطلق) نمایش داده می‌شود. فشار نسبی 100 psig برابر است با فشار مطلق 114.7 psia (که برابر است با $100 + 14.7 \text{ psi}$ فشار جو).

فشار و دما

تغییرات فشار بر روی دمایی که مایع تغییر حالت می‌دهد (می‌جوشد و یا تقطیر می‌شود) تاثیرگذار است. رابطه فشار - دما یکی از روابط مهم برای سرمایش محاسبه می‌شود.

با کاهش فشار، دمای تغییر حالت ماده نیز کاهش می‌یابد. به عنوان مثال،

هوای استاندارد، هوای خشک در سطح دریا با دمای 50°F و فشار 14.7 psi می‌باشد. برای انجام محاسبات تهويه مطبوع، مقدار هوای استاندارد برای ارتفاع‌های تا 2000 پا و برای دماهای بین $40-100^{\circ}\text{F}$ مورد استفاده قرار می‌گیرد. تغییرات فشار برای انجام محاسبات در کارهای برودتی از اهمیت خاصی برخوردارند. چنان که مبرد مورد استفاده در سیستم‌های برودتی، هنگامی که در ارتفاع بالاتری قرار می‌گیرد، به دلیل کاهش یافتن فشار جو، در دمای پایین‌تر تغییر حالت می‌دهد (می‌جوشد).

فشار نسبی

فشاری که بر روی دستگاه‌های اندازه‌گیری مکانیکی فشار نمایش داده می‌شود، همگی میزان بالاتر یا پایین‌تر بودن فشار نسبت به فشار جو را نمایش می‌دهند. به عبارت دیگر، فشار نسبی فشار یک سیستم بدون در نظر گرفتن فشار جو است. فشار نسبی با psig می‌شود. به عبارت دیگر، فشار 100 psig بدین معنی است که فشار مورد نظر ما به میزان 100 psi بزرگ‌تر از فشار جو است.

ذکر این نکته ضروری است که،

جدول (۱) مقایسه واحدهای فشار

	psi	"Hg	"wg
$1 \text{ psi} =$		2.042°Hg	27.7°wg
$1^{\circ} \text{ Hg} =$	0.491 psi		13.58°wg
$1^{\circ} \text{ wg} =$	0.036 psi	0.074°Hg	



در دمای 32°F ، گرمایی برابر با 144 BTU/lb جذب می‌شود.

شکل (۱۴) مقادیر مختلف گرمای نهان آب را نشان می‌دهد. گرمای نهان اضافه یا کم شده در زمان تغییر حالت ماده، اسمای به خصوصی دارد که در شکل (۱۵) نشان داده شده است. اسمای مهمی که برای سرمایش وجود دارند عبارتند از:

- گرمای نهان تبخیر
- گرمای نهان تقطیر

گرمای نهان، اساس کار سیستم‌های سرمایش بهشمار می‌رود، بدین معنی که مقادیر به نسبت بزرگ‌تری از گرمای، می‌تواند با استفاده از تغییرات به نسبت کوچکی در دما انتقال یابد.

ماده مختلف مقادیر گرمای نهان متغّری دارد. به عنوان مثال، مقادیر گرمای نهان تبخیر برای آب و مبرد $R134a$ در بخش زیر با یکدیگر مقایسه شده است:

گرمای نهان تبخیر	970 BTU/lb
آب	970 BTU/lb
مبرد	916 BTU/lb
	$R134a$

با وجود آن‌که، تغییر حالت مبردها در دمای پایین‌تر و فشار بالاتری اتفاق می‌افتد، مبردهایی از قبیل $R134a$. گرمای نهان تبخیر پایین‌تری نسبت به آب دارند. دلیل استفاده از این مبردها در سیستم‌های سرمایشی نیز همین است.

گرمای تراکم

هنگامی که یک گاز متراکم می‌شود، انرژی مورد نیاز برای متراکم کردن گاز، تبدیل به گرمای محسوس شده و توسط گاز جذب می‌شود. این انرژی، گرمای تراکم نامیده می‌شود. در چرخه تبرید، کمپرسور، بخار مبردی که با فشار پایین

تبدیل می‌گردد، 970 BTU/lb آزاد می‌شود.

• هنگامی که آب در دمای 212°F می‌جوشد و به بخار تبدیل می‌گردد، 970 BTU/lb گرمای جذب می‌شود.

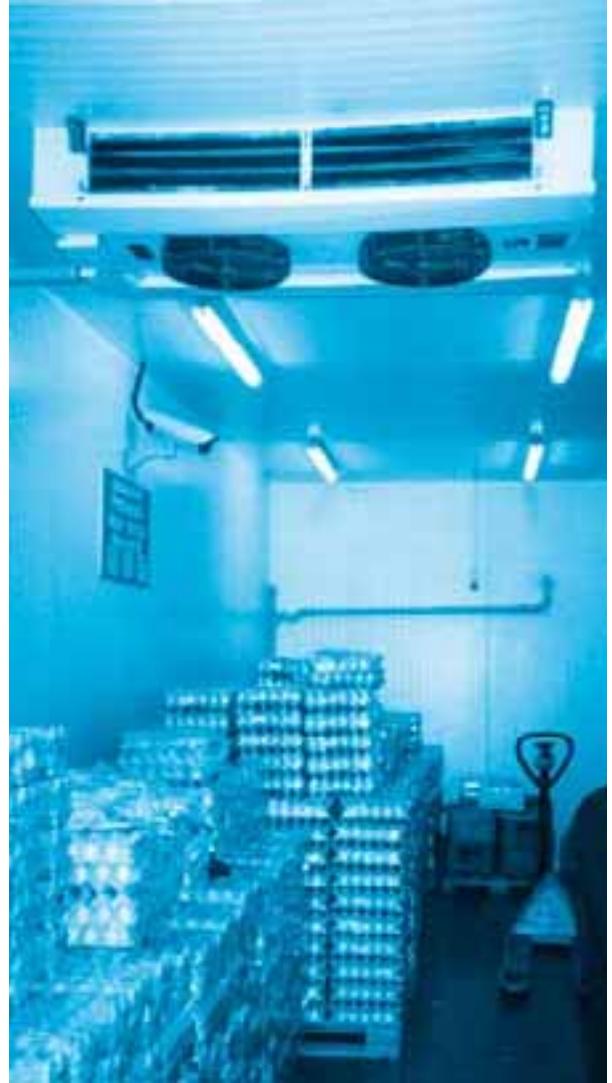
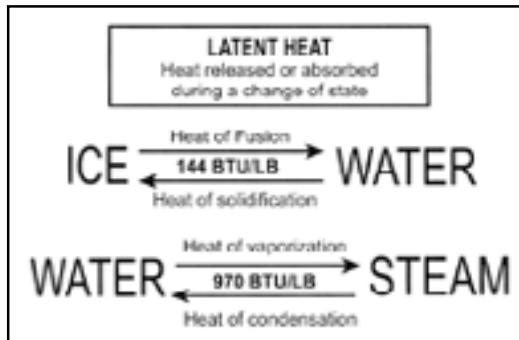
اگر یک پوند آب تا دمای 212°F گرم شود، به بخار تبدیل می‌شود. در این حالت، دمای بخار و دمای آب هر دو برابر 212°F خواهد بود. هنگامی که تمامی آب موجود به بخار تبدیل شود، بخار حاصل، به میزان 970 BTU محتوی گرمایش بیشتری نسبت به آب در همان دما خواهد داشت. اگر بخار را سرد کنیم، مجدداً چگالیده می‌شود و به حالت مایع در می‌آید و مقدار گرمای را 970 BTU/lb آزاد خواهد نمود.

هنگامی که بخوبی می‌شود و تبدیل به آب می‌گردد یا آب منجمد می‌شود، گرمای نهانی برای آب 144 BTU/lb جذب می‌شود و یا آزاد می‌شود. در این فرایند:

• هنگامی که آب در دمای 32°F منجمد می‌شود و تبدیل به بخوبی می‌گردد، در دمای 22°F ، گرمایی برای آب 144 BTU/lb می‌شود.

• هنگامی که بخوبی می‌شود و تبدیل به آب می‌گردد، ذوب می‌شود و تبدیل به آب می‌گردد.

شکل (۱۶) گرمای نهان برای آب



• جامد

• مایع

• گاز

به عنوان مثال، سه حالت ماده برای آب عبارت است از:

• جامد: بخ.

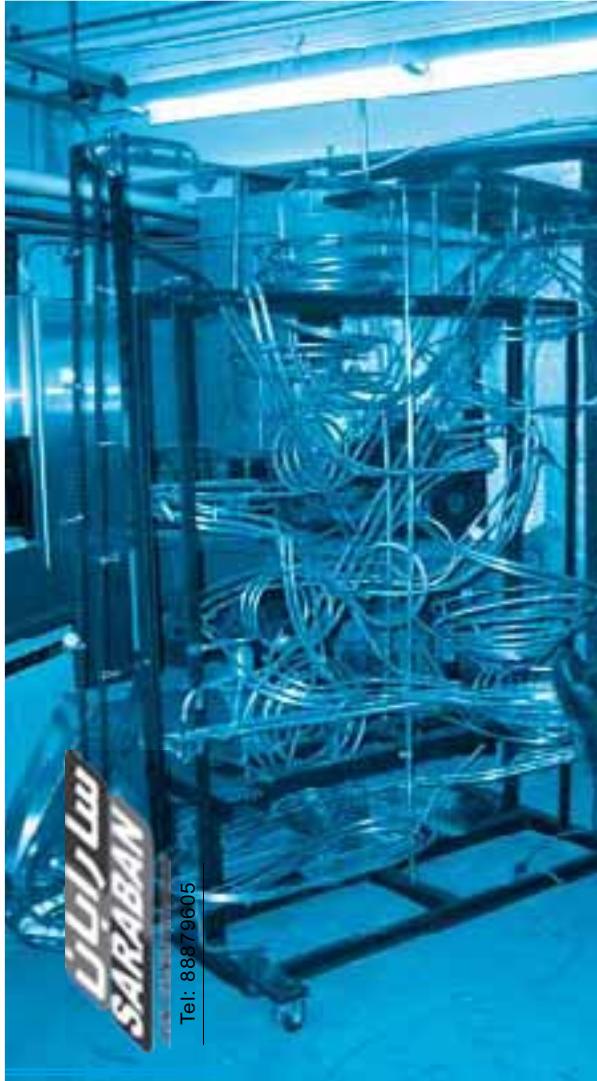
• مایع: آب

• گاز: بخار یا بخار آب

واژه بخار می‌تواند به معنی گاز نیز باشد، یا می‌تواند به معنی گازی با قطرات مایع معلق در آن نیز به کار رود (که در این حالت به آن بخار مرتبط نیز گفته می‌شود). واژه بخار به همراه مبردها در چرخه سرمایش بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گرمای محسوس، مقدار گرمایی است که توسط یک ماده آزاد می‌شود و یا جذب می‌شود، هنگامی که آن ماده بدون تغییر دما، تغییر حالت می‌دهد. به عنوان مثال:

• هنگامی که بخار در دمای 212°F تقطیر می‌شود و به آب



UTJU SARABAN

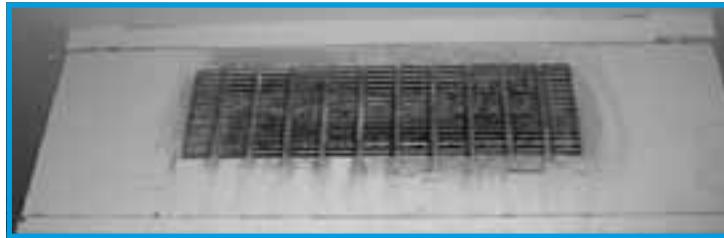
tel: ۸۸۷۹۰۵

- تبدیل به بخار می‌گردد، گرمای نهان آزاد می‌کند یا جذب؟
۱۶- هنگامی که بخار آب متراکم می‌شود، گرمتر می‌شود یا سردتر؟
۱۷- هنگامی که بخار مبرد در کندانسور یک چیز، تقطیر می‌شود و به حالت مایع در می‌آید، گرمای نهان آزاد می‌کند یا جذب؟
۱۸- هنگامی که فشار موجود بر روی یک مبرد کاهش می‌یابد، مبرد سردرت می‌شود یا گرمتر؟
اصطلاحات زیر را تعریف نمایید.
۱۹- هوای استاندارد
۲۰- فنار جو
۲۱- فشار نسبی
۲۲- فشار مطلق

یک سیستم تبرید تراکمی

ساده

اکنون که از مفاهیم پایه‌ای مورد نیاز برای سیستم‌های برودتی آگاهی پیدا کرده‌اید، در این بخش به بررسی یک سیستم برودتی تراکمی رفت و برگشتی بسیار ساده خواهیم



ایجاد می‌کند؟

- ۶- در یک روز گرم، دمای هوا برابر با 85°F و رطوبت نسبی برابر 50% درصد است. در صورتی که دما به 75°F کاهش یابد، رطوبت نسبی کاهش می‌یابد یا افزایش؟

- ۷- یک تن برودتی برابر با چند BTU/hr است؟

- ۸- دمای هوا در بالادست یک کویل سرمایشی برابر با 82°F است. دمای هوا در پایین دست کویل برابر با 55°F است. دمای هوا در خروجی اناقی برابر می‌باشد. دمای هوا در خروجی اناقی برابر با 56°F است. اختلاف دمای (ΔT) کویل سرمایشی چقدر است؟

- ۹- یک مبرد دارای گرمای ویژه 0.28 kJ/kg است. این مقدار به چه معناست؟

- ۱۰- یک ماده مایع که به سادگی با آب حل نمی‌شود و وزن مخصوصی برابر با 1.5 g/cm^3 دارد، در یک مخزن آب شناور خواهد ماند و یا به انتهای مخزن فرو خواهد رفت؟

- ۱۱- فشار 5 psi از 5 atm اینچ جیوه کمتر است یا بیشتر؟

- ۱۲- فشار 0.4 atm از فشار 0.4 kg/cm^2 بیشتر است یا کمتر؟

- ۱۳- فشار 1.5 psi از 1.5 atm بیشتر است یا کمتر؟

- ۱۴- هنگامی که هوا گرم می‌شود، منبسط می‌شود و یا منقبض؟

- ۱۵- هنگامی که آب می‌جوشد و

از اوپرатор می‌آید را تحت فشار قرار می‌دهد. این افزایش فشار موجب افزوده شدن گرمای تراکم مبرد شده و در نتیجه این گرما توسط کندانسور از مبرد به هوا منتقل می‌شود.

آنالپی

آنالپی مفهومی است که برای تمامی اهداف کاربردی، مورد استفاده قرار می‌گیرد و عبارت است از محتوای کلی گرمای یک ماده.

- آنالپی یک ماده در حالت مایع برابر است با گرمای محسوس آن ماده در آن دما

- آنالپی یک ماده بخار برابر است با گرمای محسوس به علاوه گرمای نهان موردنیاز به منظور تشکیل بخار در آن دما مهندسان در کارهای طراحی از آنالپی استفاده می‌کنند.

مرونی بر مطالب ارایه شده

در این بخش به منظور مرون مطالب ارایه شده، تعدادی سوال مطرح شده است:

- ۱- دمای جوش آب بر حسب فارنهایت چقدر است؟

- ۲- دمای انجماد آب بر حسب فارنهایت چقدر است؟

- ۳- دمای انجماد آب بر حسب سانتی گراد چقدر است؟

- ۴- دمای جوش آب بر حسب سانتی گراد چقدر است؟

- ۵- پلاک نامی موتور یک

پمپ بیانگر آن است که این پمپ در صورتی که دمای محیط بالاتر از 40°C باشد، نباید مورد استفاده قرار گیرد. دمای اتاق تجهیزات مکانیکی برابر با 90°F است. آیا این دما برای کارکرد صحیح پمپ در این اتاق مشکلی

شکل (۱۵) انواع گرمای نهان

CHANGE OF STATE	EXAMPLE	LATENT HEAT NAME
Solid to Liquid Liquid to Solid	Ice to Water Water to Ice	Heat of Fusion Heat of Solidification
Liquid to Gas Gas to Liquid	Water to Steam Steam to Water	Heat of Vaporization Heat of Condensation

پرداخت.

سیستم‌های تراکمی مجهر به یک کمپرسور هستند که توسط یک موتور به حرکت در می‌آید. این سیستم‌ها گستره وسیعی دارند و از یک دستگاه تهویه مطبوع ساده گرفته تا چیلرهای مورد استفاده در ساختمان‌های بسیار بلند، همگی در این دسته جای می‌گیرند. با این حال، اصول کارکرد همگی آن‌ها مشابه با یکدیگر است. انتظار می‌رود در پایان این بخش اطلاعات کافی در زمینه چگونگی انتقال گرما از فضای داخل ساختمان به هوای خارج، توسط یک سیستم سرمایشی را کسب نموده باشید.

چرخه برودتی

اساس کارکرد چرخه برودتی مجهر به یک کندانسور هوا خنک که نمونه‌ای از آن در شکل (۱۶) نشان داده شده است، به صورت زیر می‌باشد:

- اواپراتور، مبرد را تبخیر نموده و آن را به صورت بخار با فشار و دمای پایین در می‌آورد و از هوای محیط گرما می‌گیرد.
- کمپرسور، بخار سرد مبرد را متراکم نموده و بخار گرم متراکم شده را به کندانسور تخلیه می‌کند.
- کندانسور، بخار مبرد را تقطیر نموده و آن را به مایع تبدیل می‌کند و گرمای گرفته شده از بخار مبرد را به هوای محیط



(که در آن گرما به محیط داده می‌شود)، سیستم تحت فشار زیادی قرار دارد، که به آن سمت فشار بالا گفته می‌شود. سیستم لوله‌کشی از اواپراتور تا کمپرسور اغلب خط مکش نامیده می‌شود. در مقابل سیستم لوله‌کشی از کندانسور تا وسیله اندازه‌گیری اغلب خط مایع نامیده می‌شود.

وسیله انبساط

در ابتدا، از وسیله انبساط شروع می‌کنیم و فرایندی که در آن رخ می‌دهد را با جزیبات بیشتری تشریح می‌کنیم. وسیله انبساط یک وسیله کاهنده فشار است، که سمت فشار بالای سیستم سرمایشی را از سمت فشار پایین آن مجزا می‌کند. هنگامی که مبرد وارد وسیله انبساط می‌شود، به صورت یک مایع گرم است و کاهش فشار مبرد در وسیله انبساط موجب می‌شود تا مقدار کمی از آن به جوش آید و تبدیل به بخار شود، که این امر منجر به خنک شدن مبرد مایع می‌گردد.

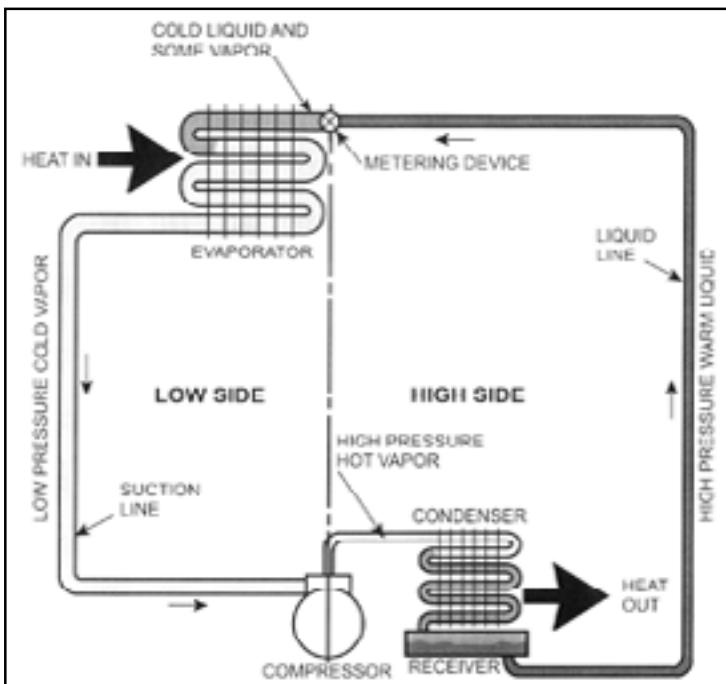
اوپراتور

مبرد در داخل اوپراتور در فشار پایین قرار دارد، از این رو:

- از آنجایی که کاهش فشار یک مایع موجب پایین آمدن نقطه جوش آن می‌شود، مبرد مایع در اوپراتور شروع به جوشیدن می‌کند و تبدیل به بخار نیازمند تغییر حالت مبرد از مایع به بخار، نیازمند دریافت گرمای نهان تبخیر توسط مایع می‌باشد. در نتیجه، گرمای (نهان تبخیر) موردنیاز از هوا یا آبی که در داخل اوپراتور در جریان است گرفته می‌شود.
- با ادامه یافتن فرایند، مبرد موجود در اوپراتور به طور کامل تبخیر می‌شود. پس از آن با گذشت زمان کافی، مبرد به صورت بخار سرد با فشار پایین از اوپراتور خارج می‌شود.

می‌دهد.
• وسیله انبساط، فشار مبرد را کاهش می‌دهد و سپس آن را به اواپراتور می‌فرستد و بدین ترتیب این فرایند مجدد تکرار می‌شود.
مراحلی که در این قسمت به عنوان اساس کارکرد چرخه سرمایشی مطرح شد، به ظاهر ساده به نظر می‌رسند ولی در این بین جزیيات بسیار بیشتری باید مدنظر قرار گیرد. اولین نکته‌ای که باید به خاطر بسیارید این است که یک سیستم سرمایشی در بخش اواپراتور (که در آن گرما جذب می‌کند)، تحت فشار کمی قرار دارد، که به آن سمت فشار پایین گفته می‌شود. در مقابل، در بخش کندانسور

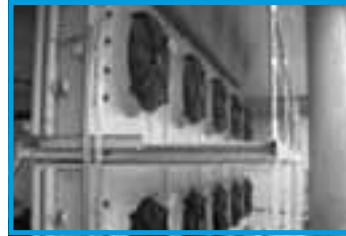
شکل (۱۶) شکل زیر نمونه‌ای از یک چرخه برودتی هوا خنک ساده شده را نمایش می‌دهد



فشارها و دماهای سیستم‌های برودتی را به شما خواهد داد، با این وجود به خاطر داشته باشید که این مقادیر می‌توانند بهطور قابل ملاحظه‌ای تغییر کنند.

مروری بر مطالب این بخش جهاتی خالی را با تعریف مناسب پر کنید.

- ۱- وسیله اندازه‌گیری
 - ۲- کندانسور
 - ۳- سمت بالا
 - ۴- سمت پایین
 - ۵- گرمایی نهان تبخیر
 - ۶- گرمایی نهان نقطه‌گیر
 - ۷- کمپرسور
 - ۸- اوپراتور
- (الف) خط مکش
- (ب) خط مایع
- (ج) فشار مبرد را کاهش می‌دهد
- (د) بخار داغ مبرد را به مایع تبدیل می‌کند
- (ه) به منظور تبدیل بخار سرد مبرد به بخار داغ از فشار استفاده می‌کند
- (و) با جذب گرما، مبرد مایع را به بخار تبدیل می‌نماید
- (ز) در حین تغییر حالت مبرد، گرما آزاد می‌کند
- (ح) در حین تغییر حالت مبرد، گرما می‌گیرد



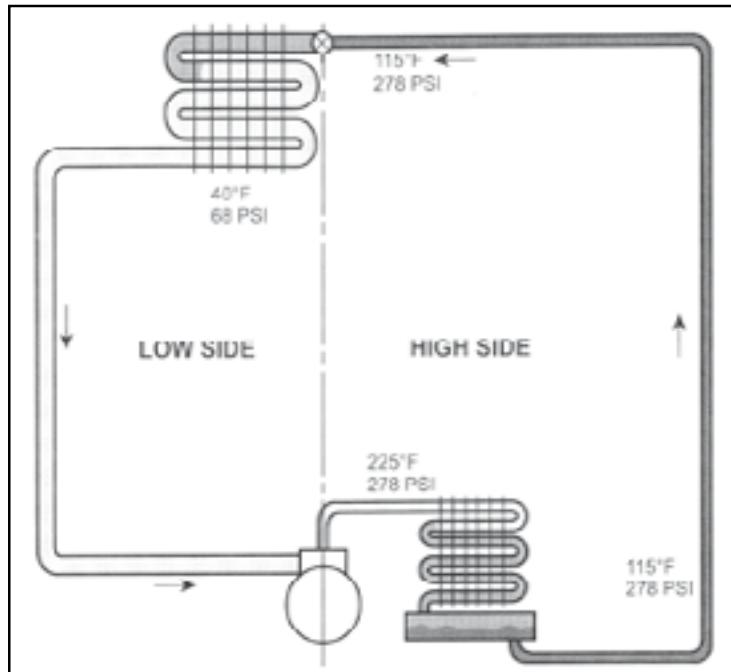
زیادی از گرما را با استفاده از تغییرات به نسبت کمی در دما انتقال دهد.

دماها و فشارهای نمونه

نکته‌ای که باید مدنظر قرار گیرد این است که ذکر فشار بالا و دمای بالا به تنها یعنی اطلاعات زیادی را در اختیار ما قرار نمی‌دهد. مساله این است که فشارها و دماهای یک سیستم، بسته به نوع مبرد مورد استفاده، می‌توانند تغییرات قبل ملاحظه‌ای را تجربه کنند.

شکل (۱۷) دماها و فشارهای نمونه را برای یک مبرد رایج (R۲۲) در یک سیستم تراکمی رفت و برگشتی نمایش می‌دهد. این اعداد و ارقام یک در کلی از محدوده

شکل (۱۷) دماها و فشارهای نمونه برای مبرد R۲۲ در یک سیستم برودتی رفت و برگشتی را نشان می‌دهد



کمپرسور

کمپرسور یکی دیگر از نقاط مجرماً کننده چرخه سرمایشی در سمت فشار بالا و سمت فشار پایین به شمار می‌آید. کمپرسور در واقع نقطه شروع سمت فشار بالا محسوب می‌شود. کمپرسور، بخار مبرد با دمای پایین را تحت فشار قرار می‌دهد و در نتیجه دمای مبرد افزایش می‌یابد.

کندانسور

کندانسور بخار داغ فشار بالا را از کمپرسور دریافت می‌کند:

- همزمان با جریان بخار مبرد در داخل کندانسو، بخار داغ سرد شده و به مایع تبدیل می‌گردد، در نتیجه موجب آزاد شدن گرمایی نهان نقطه‌گیر مبرد می‌گردد.
- گرمایی آزاد شده از داخل کویل کندانسور عبور می‌کند و (برای یک سیستم هوا خنک) به هوای خارج منتقل می‌شود. مبردی که از کندانسور خارج می‌شود، به صورت یک مایع گرم با فشار بالا خواهد بود و به وسیله انبساط انتقال داده می‌شود و بدین ترتیب چرخه مجدد تکرار می‌شود.

گرمای انتقال

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، چرخه برودتی در حقیقت به عنوان ابزاری برای انتقال حرارت به شمار می‌رود. این چرخه، گرمای را به داخل اوپراتور جذب نموده و از کندانسور به محیط پس می‌دهد. چرخه برودتی از تغییرات فشار به منظور تغییر نقطه جوش مبرد استفاده می‌کند.

علاوه بر آن، در این چرخه گرمای نهان تغییر حالت مبرد، به منظور جذب گرمای به داخل اوپراتور و آزادسازی گرمای از کندانسور مورد استفاده قرار می‌گیرد. به دلیل ماهیت گرمای نهان که در بخش گذشته به توضیح آن پرداختیم، چرخه برودتی قابلیت آن را دارد تا مقادیر بسیار