درسنامهٔ تهویه مطبوع

۷

اجزا و چرخهٔ سرمایش

محمدرضا سلطاندوست

اجزا و چرخهٔ سرمایش

اجزا و چرخهٔ سرمایش

ترجمه و تألیف: محمدرضا سلطاندوست

سرشناسه	سلطاندوست، محمد رضا، ۱۳۴۱ -
عنوان و نام پدیدآور	اجزا و چرخه‌ی سرمایش/ ترجمه و تالیف محمدرضا سلطاندوست؛ ویراستار افسانه پایدار داریان.
وضعیت ویراست	ویراست ۲.
مشخصات نشر	تهران : یزدا ، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	۱۱۲ ص.: مصور، جدول؛ ۵/۱۹×۵/۹ س‌م.
شابک	978-600-165-930-0
وضعیت فهرست‌نویسی	فیپا
یادداشت	چاپ سوم.
یادداشت	کتابنامه:ص. ۱۰۸.
موضوع	سردسازی و دستگاه‌های سردکننده Refrigeration and refrigerating machinery سردسازی و دستگاه‌های سردکننده -- طراحی و ساخت Refrigeration and refrigerating machinery -- Design and construction تهویه مطبوع -- وسایل و تجهیزات Air conditioning -- Equipment and supplies
رده‌بندی کنگره	TP۴۹۲
رده‌بندی دیویی	۶۲۱/۵۶
شماره کتابشناسی ملی	۸۷۰۶۱۳۳
اطلاعات رکورد کتابشناسی	فیپا

اجزا و چرخهٔ سرمایش

ویرایش دوم

ترجمه و تألیف: محمدرضا سلطاندوست

ناشر: یزدا / **چاپ اول:** پاییز ۱۴۰۰ / **قطع:** پالتویی / **تعداد صفحات:** ۱۱۲ صفحه / **آماده‌سازی قبل از چاپ:** نشریه تهویه و تبرید / **ویراستار:** فرزانه پایدار داریان / **مدیر تولید:** محمد پیروزمند / **طراح روی جلد:** سهند سلطاندوست / **چاپ و صحافی:** یزدا / **شمارگان:** ۱۰۰ نسخه /

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۵-۹۳۰-۰ **ISBN:** 978-600-165-930-0

نشر یزدا و گروه نشریات

دفتر نشر و نمایشگاه دائمی: تهران، سیدخندان، خیابان ارسباران، کوچهٔ ستاری، شمارهٔ ۲۲، ساختمان یزدا **دورنگار:** ۲۲۸۸۵۶۵۱ (۰۲۱) **تلفن:** ۵۰-۲۲۸۸۵۶۴۷ (۰۲۱)

توجه: به موجب قانون حمایت حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸/۱۰/۱۱ و همچنین قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی مصوب سال ۱۳۵۰ تمام حقوق این اثر به هر نحو برای مؤلف محفوظ است. نشر و پخش تمام یا قسمتی از این کتاب بدون اجازه از مؤلف، باعث پیگرد قانونی خواهد شد.

خرید آنلاین: www. yazdamarket. com

اینستاگرام: https://www. instagram. com/yazdamarket/

فهرست

مقدمه ۸
کمیت و شدت گرما ۹
اندازه‌گیری مقدار گرما ۱۱
جریان گرما از ماده گرم به ماده سرد ۱۲
نرخ جریان گرما ۱۳
تن تبرید ۱۴
اثر انتقال گرما ۱۵
گرمای محسوس ۱۸
گرمای نهان ۱۹
گرمای ویژه ۲۰
مبرد ۲۲
تبخیر اساس تبرید ۲۴
ترمیم سیستم ۲۶
مایع کردن دگربارهٔ مبرد ۲۷
نقطهٔ جوش آب ۲۸
نقطهٔ جوش R-22 ..... ۳۰
چرخهٔ تراکم بخار مبرد ۳۲
چرخهٔ ابتدایی سرمایش تراکمی ۳۴
اواپراتور ۳۵
کمپرسور ۳۶
کندانسور ۳۷
وصالهٔ انبساطی ۳۸
سمت کم فشار و سمت پر فشار ۳۹
نمودار فشار - انتالپی (P-h) ۴۰

نمودار فشار - انتالپی برای آب ۴۲
گرمای تبخیر آب ۴۴
عملکرد اواپراتور در نمودار فشار - انتالپی ۴۵
فوق داغ ۴۷
عملکرد کمپرسور در نمودار فشار - انتالپی ۴۸
گرمای تراکم ۴۹
عملکرد کندانسور در نمودار فشار - انتالپی ۵۰
عملکرد شیر انبساطی در نمودار فشار-انتالپی ۵۲
تحلیل شرایط در شیر انبساطی ۵۴
چرخهٔ سرمایش در نمودار فشار - انتالپی ۵۶
کمپرسور ۵۷
کمپرسور رفت و آمدی ۵۹
اجزای کمپرسور رفت و آمدی ۶۱
کمپرسور اسکرول ۶۲
نحوهٔ تراکم در کمپرسور اسکرول ۶۳
اجزای کمپرسور اسکرول ۶۴
کمپرسور پیچی ۶۵
نحوهٔ تراکم در کمپرسور پیچی ۶۶
اجزای کمپرسور پیچی ۶۷
کمپرسور گریز از مرکز ۶۸
اجزای کمپرسور گریز از مرکز ۶۹
کمپرسور باز، بسته و نیم بسته ۷۰
انواع کندانسور ۷۲
کندانسور هوایی ۷۳
کندانسور هوایی با فن گریز از مرکز ۷۴
کندانسور آبی ۷۵

برج خنک‌کننده ۷۶
کندانسور تبخیری ۷۸
کنترل دبی آب کندانسور ۷۹
کنترل دمای آب کندانسور ۸۰
کنترل کندانسور هوایی ۸۱
کنترل پرشدگی کندانسور هوایی ۸۲
اواپراتور لوله پره‌دار ۸۴
اواپراتور پوسته – لوله ۸۶
کنترل مبرد در اواپراتور لوله – پره‌دار ۸۷
آرایش دو تکه مجزا ۸۸
آرایش درهم‌تنیده ۸۹
آرایش ردیفی ۹۰
کنترل اواپراتور پوسته – لوله ۹۱
شیر انبساطی حرارتی ۹۲
چگونگی عملکرد شیر انبساطی حرارتی ۹۵
مثالی از عملکرد شیر انبساطی حرارتی ۹۶
شیر برقی خط مایع ۹۸
شیر برقی برای کنترل جریان مایع ۹۹
شیر برقی برای چرخهٔ پمپ دان ۱۰۰
صافی – خشک‌کن خط مایع ۱۰۱
شیشه رؤیت ۱۰۳
صافی سمت مکش ۱۰۴
صدا خفه‌کن خط گاز داغ ۱۰۵
شیرهای دستی قطع‌کن ۱۰۶
شیر سرویس ۱۰۷
مراجع ۱۰۸

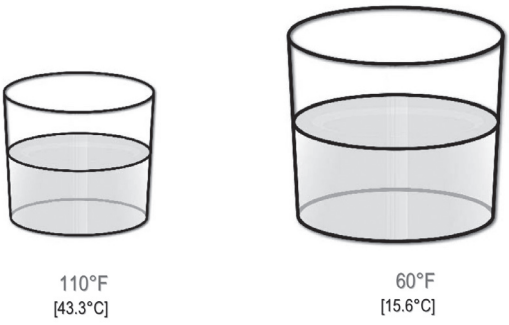
مقدمه

همهٔ مواد به دلیل حرکت مولکولی در حد مشـــخصی دارای انرژی گرمایی هســـتند. مادامی که این حرکت وجود داشته باشـــد، گرما نیز وجود دارد؛ اما شدت و کمیت آن متفاوت اســـت. می‌توان از گرمای ماده‌ای کاســـت و یا به آن افزود. بنابراین به‌طور متعارف ماده‌ای که گرمای آن نسبت به ماده یا مواد دیگری کمتر باشد، به‌طور نسبی سرد خوانده می‌شود. ســـرمایش در واقع گرفتن گرما از ماده اســـت. همواره گرما از ســـوی ماده‌ای با دمای بیشـــتر به سمت ماده‌ای با دمای کمتر جریـــان می‌یابد. گاهی این انتقال بدون اســـتفاده از هیچ وســـیله مکانیکی امکان‌پذیر است؛ اما برای بسیاری از کاربردها می‌باید برای اخذ گرما کار انجام داد و انرژی مصرف کرد. دستگاه‌های گیرنده یا دفع‌کننده گرما، تجهیزات مولد سرمایش خوانده می‌شوند که با در اختیار داشتن ساختاری ویژه و بر مبنای نوعی عملکرد چرخه‌ای این امکان را فراهم می‌آورند. بنابراین فراگرفتن چگونگی کار این چرخه، مقدمه‌ای برای درک کارکرد تجهیزات مولد ســـرمایش است. دو گروه بزرگ از مولدهای سرمایش تراکمی و جذبی که بخش مهمی از تاسیسات سرمایشی و تهویه مطبوع ساختمان‌ها را تشکیل می‌دهند؛ اگر چه در اجزا و نوع مبرد تفاوت‌های بســـیاری با هم دارند؛ اما از نظر اصولی دارای چرخهٔ نســـبتاً مشـــابه‌ای هســـتند؛ در این کتاب اجزا و چرخهٔ ســـرمایش با محوریت سیستم‌های تراکمی تشریح شده است.

محمدرضا سلطاندوست

پائیز یک‌هزار و چهارصد

کمیت و شدت گرما



گرما شکلی از انرژی اســت که شدت آن، با دما قابل درک می‌شــود؛ اما کمیت آن با واحد دیگری مورد سنجش قرار می‌گیرد که به آن خواهیم پرداخت.

برای این که کل گرمای ماده‌ای گرفته و جنبش مولکولی آن متوقف شــود؛ باید دما تا (-459.6°F(-273.2°C کاهش یابد، که به این دما، صفر مطلق[1] می‌گویند.

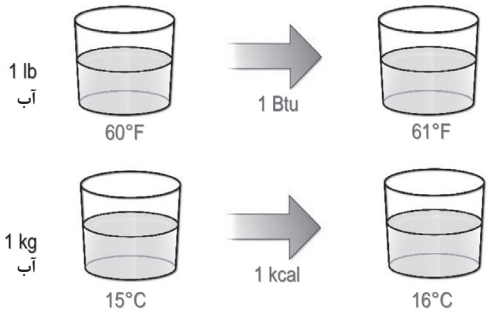
شــدت و کمیت گرما کاملاً از هــم متفاوتند. به عنوان مثال شــدت گرمای یک شعله شمع بسیار بیشتر از شدت گرمای تمام شن‌های داغ بیابان‌هاست. اما کمیت یا مقدار گرمای همان شــن‌ها بسیار بیشتر از شعله شمع است. زیرا شــدت گرما همان دماســت و با واحدهای هم‌چون درجه فارنهایت یا درجه سلسیوس سنجیده می‌شود.

دو ظرفی که در تصویر بالا نمایش داده شده است از نظر دما متفاوتند؛ ولی از نظر محتوای گرمایی یکسان‌اند. اگرچه

1- Absolute Zero

یکی از آنها دارای دمای بیشـــتری است. اما همان که دارای دمای بیشتری است؛ جرم کمتری نیز دارد. بنابراین مقدار انرژی گرمایی فارغ از دمای ماده، ارتباط مستقیمی با جرم آن نیـــز دارد. در مواردی ماده‌ای با جرم زیاد و دمای کم به مراتب انرژی گرمای بیشتری نسبت به ماده‌ای با جرم کم اما با دمای زیاد دارد.

اندازه‌گیری مقدار گرما



در سیســـتم اندازه‌گیری انگلیسی (I-P) مقدار گرما یا انرژی گرمایی با Btu یا واحد گرمایی بریتانیا[1] ســـنجیده می‌شود. و 1Btu مقدار انرژی گرمایی اســـت کـــه دمای 1 پوند آب را به اندازه 1 درجه فارنهایت افزایش دهد.

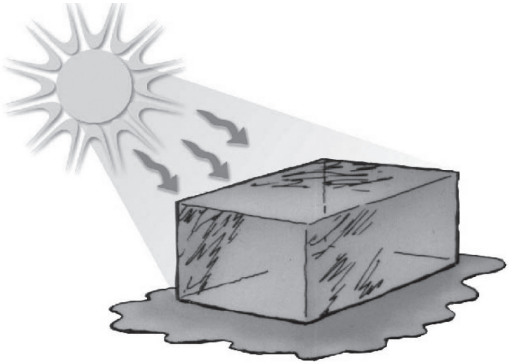
در سیســـتم اندازه‌گیری بین‌المللـــی(SI) مقدار انرژی گرمایی با کیلوژول(kJ) سنجیده می‌شود.

در سیستم متریک از کیلوکالری (kcal) استفاده می‌شود. مقدار انرژی گرمایی لازم برای افزایش دمای یک کیلوگرم آب به اندازه یک درجه سلسیوس 1kcal، است.

هر یک کیلوکالری برابر با 4.19 کیلوژول است.

1- British thermal Unit(Btu)

جریان گرما از ماده گرم به ماده سرد



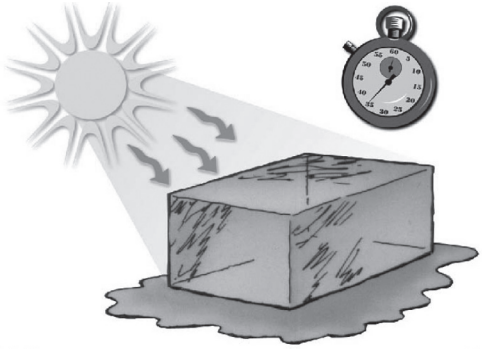
انتقال گرما از سه اصل زیر پیروی می‌کند:

الف)- انرژی گرمایی نابود نمی‌شـــود؛ بلکه تنها منتقل می‌شود. این اصل نشأت گرفته از قانون بقای انرژی است.

ب)- جریان انرژی گرمایی به‌طور طبیعی همواره از سمت ماده‌ای با دمای بیشتر به سمت ماده‌ای با دمای کمتر است. درک عمیق این اصل کمک زیادی به فهم فرایند ســـرمایش می‌کند. زیرا به کارگیری اصطلاح ســـرمایش ممکن اســـت سرمادهی را به ذهن متبادر کند. در صورتی که سرمایش به معنای گرماگیری است.

ج)- انتقال انرژی گرمایی به سه طریق رسانش، جابه‌جایی و تابش صورت می‌گیرد.

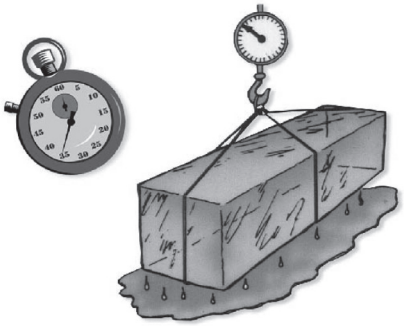
نرخ جریان گرما



در سرمایش نیز هم‌چون گرمایش نرخ جریان گرمایی بین دو ماده با دمای متفاوت در واحد زمان اندازه‌گیری می‌شـــود. در آحاد انگلیسی این نرخ برحسب Btu/h سنجیده می‌شود. یعنی مقدار انرژی گرمایی برحسب Btu که از ماده‌ای با دمای بیشـــتر به ماده‌ای با دمای کمتر در زمان 1 ســـاعت منتقل می‌شود.

در آحاد متریـــک و بین‌المللی (SI) واحـــد نرخ جریان گرمایی به ترتیـــب، کیلوکالری و کیلووات اســـت. هر یک کیلـــووات معادل یک کیلوژول بر ثانیه اســـت. بنابراین هر کیلووات (kW) مقدار انرژی گرمایی بر حسب kJ است که از یک ماده با دمای بیشتر به ماده‌ای با دمای کمتر در مدت 1 ثانیه منتقل می‌شود.

تن تبرید



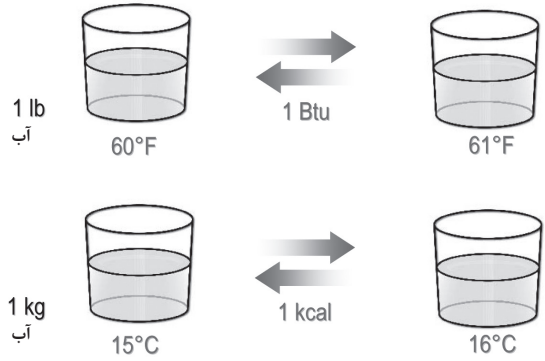
در سیســـتم اندازه‌گیری انگلیســـی، نرخ انتقال گرما برای کاربردهای سرمایشـــی با واحد بزرگتری بـــه نام تن تبرید[1] سنجیده می‌شود که برابر با 12000Btu/h یا 3.517kW است.

برای ایـــن که یک پوند یخ (تقریباً نیـــم کیلوگرم) ذوب شـــود، باید 144Btu گرما جذب کند. بنابراین ذوب یک تن یخ (دو هزار پوند) (2000×144)288000Btu گرما جذب خواهد کرد. براین اساس یک تن تبرید مقدار گرمایی است که برای ذوب یک تن یخ در مدت 24 ساعت مورد نیاز است:

288000÷24=12000 Btu/h

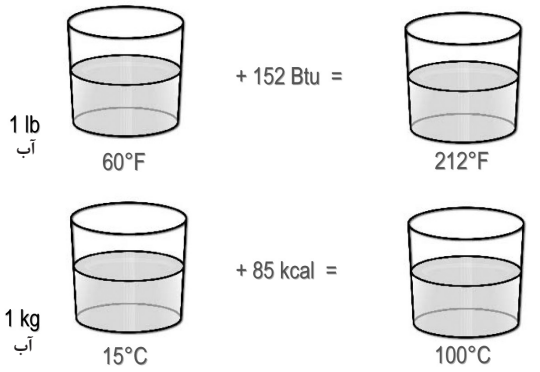
1- *Ton of Refrigeration*

اثر انتقال گرما



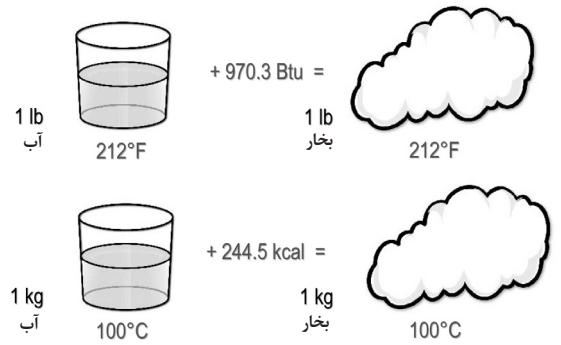
اولین اثر انتقال گرما، افزایش دما در ماده‌ای با دمای کمتر و کاهش دما در ماده‌ای با دمای بیشتر است. این افزایش یا کاهش دما به دلیل انتقال انرژی است. افزایش دمای 1 پوند آب با دمای $60^{\circ}F$ بـــه $61^{\circ}F$ به معنای انتقال انرژی و اضافه شـــدن انرژی گرمایی به اندازه 1Btu است. به تبع آن افزایش دمـــای یک کیلوگرم آب $15^{\circ}C$ بـــه $16^{\circ}C$ به معنای انتقال و افزایش انرژی گرمایی آب به مقدار 1kcal یا 4.2 kJ است.

بنابرایـــن اگر انرژی گرمایی به مقدار 152Btu به یک پوند آب $60^{\circ}F$ اضافه شـــود؛ دمای آن به $212^{\circ}F$ یا نقطهٔ جوش در فشار جو خواهد رسید. در این حالت با اضافه کردن گرما به آب $212^{\circ}F$ ، شرایط برای تغییر حالت یا فاز آب به بخار فراهم می‌شود. به این ترتیب دومین اثر انتقال گرما که همان تغییر فاز ماده است پدیدار خواهد شد.



مشابه آن‌چه آمد؛ براساس آحاد متریک و بین‌المللی با اضافه کردن 85kcal(356kJ) انرژی گرمایی به 1 کیلوگرم آب 15°C دمـــای آن به 100°C یعنی نقطه جوش در فشـــار جو خواهد رسید.

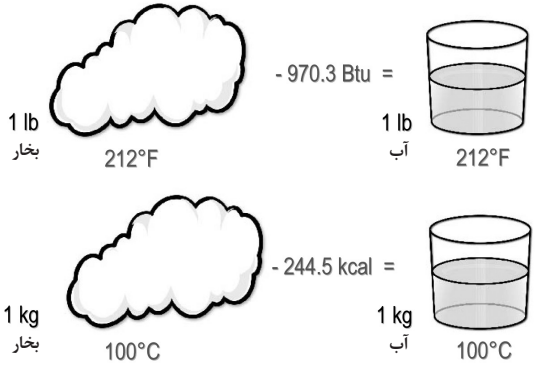
بـــرای این که 1 پوند آب بـــا دمای 212°F به 1 پوند بخار با همین دما تبدیل شـــود؛ لازم است که 970.3Btu گرمای اضافی به آب داده شود.



براساس آحاد متریک و بین‌المللی نیز باید 244.5kcal یا 1023kJ انرژی گرمایی به یک کیلوگرم آب 100°C داده شود تا

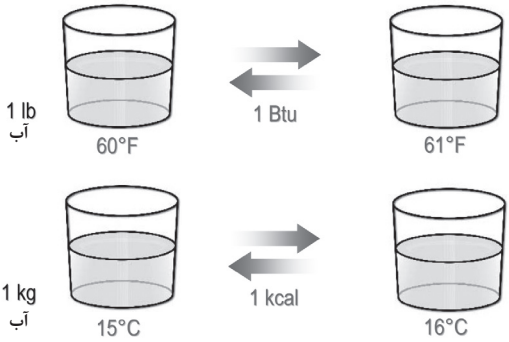
تمامی آب به یک کیلوگرم بخار با دمای 100°C تبدیل شود.

معکـــوس آن‌چه در مـــورد تبدیل آب به بخـــار آمد نیز امکان‌پذیر است. یعنی می‌توان از 1 پوند بخار 212°F به مقدار 970.3Btu انرژی گرمایی گرفت تا به 1 پوند آب با دمای 212°F رسید.



براساس آحاد متریک و بین‌المللی نیز با گرفتن 244.5kcal یـــا 1023kJ گرما از یک کیلوگرم بخـــار 100°C می‌توان آن را تبدیل به یک کیلوگرم آب 100°C کرد.

گرمای محسوس



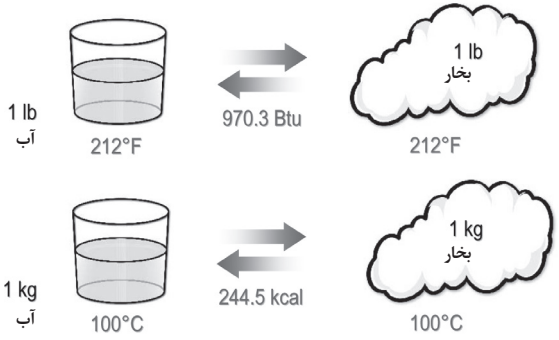
مبردهـــا می‌توانند با جذب گرما باعـــث کاهش دمای ماده دیگری شوند.

انرژی گرمایی که فقط بـــه تغییر دمای ماده می‌انجامد و هیـــچ تغییری در حالـــت آن به وجود نمـــی‌آورد؛ گرمای محسوس[1] خوانده می‌شود.

بنابراین تغییر شـــدت گرمای محسوس با دماسنج قابل اندازه‌گیری است.

1- *Sensible Heat*

گرمای نهان

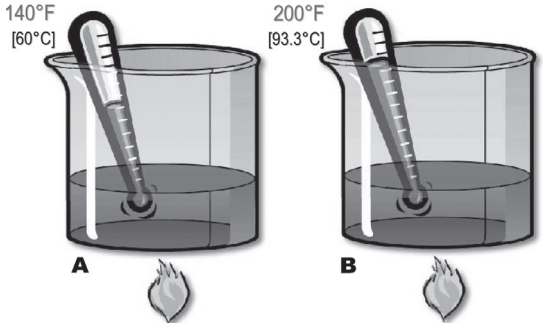


مقدار انرژی گرمایی که صـــرف تغییر حالت ماده از مایع به بخار و یا برعکس می‌شـــود؛ گرمای نهان[1] خوانده می‌شود. شـــدت گرمای نهان با دماســـنج معمولی قابل اندازه‌گیری نیست.

گرمای نهان هوا ناشـــی از وجود رطوبت (بخار آب) در آن است.

1- *Latent Heat*

گرمای ویژه



فرض این است که دو مایع متفاوت با حجم یکسان را در دو ظرف A و B در دمای اتاق به‌طور یکسان با شعله‌ای در زمان مشابه گرم کنیم.

پس از گذشت زمانی، دماسنج ظرف A دمای $140^{\circ}F(60^{\circ}C)$ و دماسنج ظرف B دمای $200^{\circ}F(93.3^{\circ}C)$ را نشان می‌دهند. چه عاملی باعث شده است که در زمانی مشابه و گرمایی یکسان دو مایع با حجمی برابر، دو دمای متفاوت داشته باشند؟

با این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت دو ماده از نظر نوع باعث این اختلاف شده است. بنابراین مواد مختلف ظرفیت جذب گرمای متفاوتی دارند.

بر این اساس به‌طور قطع ظرفیت جذب گرمای مایع ظرف B کمتر از A است. این ظرفیت در جذب گرما، گرمای ویژه[1] خوانده می‌شود.

1- *Specific Heat*

گرمای ویژه هر ماده برحسب Btu، مقدار گرمایی است که بتوانـــد دمای یک پوند آن ماده را به اندازه 1 درجه فارنهایت افزایش دهد و در آحـــاد بین‌المللی مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش 1 درجه سلسیوس از 1 کیلوگرم ماده‌ای برحسب کیلوژول ثانیه، گرمای ویژه آن ماده است.

مبرد



نقطهٔ جوش R-22
-41.4°F
[-40.8°C]

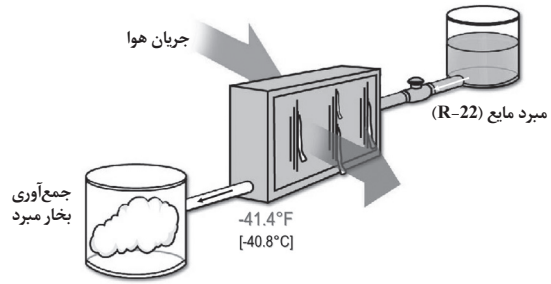
هـــر ماده‌ای به هنگام تبخیر گرما جـــذب می‌کند. بنابراین هر ماده‌ای در شـــرایط خاص می‌تواند مبرد باشـــد. اما در چرخهٔ ســـرمایش اغلب منظور از مبرد، موادی هستند که دمای تبخیر آنها بســـیار پائین است. یکی از انواع مبردها، فرئون 22 یا R-22 اســـت که دمای تبخیر آن در فشـــار جو (-40.8°C)-41.4°F اســـت. بنابراین مایع این مبرد قابلیت جذب گرمای نســـبتاً زیادی را به هنگام تبدیل شدن به گاز دارد.

در سیســـتم‌های مولد ســـرمایش، انواع مبردها مانند R-123، R-134a، R-717 یا همان آمونیاک، R-744 یا همان دی‌اکسید کربن و حتی R-718 یا همان آب تحت فشارهای متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرند تا از تغییر فاز یا حالت آنها از مایع به گاز، فرایند گرماگیری یا همان سرمایش شکل گیرد.

مشخصات برخی مبردها

مبرد	دمای جوش °C (°F)	ویژگی
R-22	-41(-41.8)	غیر قابل اشتعال، غیر سمی، غیر خورنده، پایدار، مخرب لایهٔ ازن
R-134A	-26(-14.8)	بدون اثر مخرب بر لایهٔ ازن، جایگزین R-12
R-404A	-46(-50.8)	غیرقابل اشتعال، با درجه سمی کم، بدون اثر مخرب بر لایهٔ ازن
R-407A	-42(-43.6)	غیرقابل اشتعال، با درجه سمی کم، بدون اثر مخرب بر لایهٔ ازن
R-407C	-43(-45.4)	غیرقابل اشتعال، با درجه سمی کم، بدون اثر مخرب بر لایهٔ ازن، جایگزینی R-22
R-410A	-52(-61.6)	غیرقابل اشتعال، با درجه سمی کم، بدون اثر مخرب بر لایهٔ ازن

تبخیر اساس تبرید



فرض کنید در منبعی R-22 مایع به عنوان مبرد ذخیره شده اســـت. منبع را با یک خط لوله و یک شیر به کوئلی متصل کرده‌ایم که هوا از میان آن می‌گذرد. ســـر دیگر کوئل را نیز به مخزن دیگری متصل کرده‌ایم. با باز کردن شـــیر منبع، R-22 مایـــع به داخل کوئل راه می‌یابد و با اخذ گرما از کوئل و هوای عبوری به ســـرعت تبخیر شده و در مخزن خروجی جمع می‌شـــود. به این ترتیب فراینـــد تبخیر مبرد در کوئل موجب خنک شدن هوای عبوری می‌شود.

آشکارا چنین چیدمانی دارای پاره‌ای نواقص است. اول این که مبردی که تبدیل به گاز شـــده دیگر به کار سرمایش نمی‌آید و باید بار دیگر مایع شود که در این چیدمان اثری از چگونگی دوباره مایع شدن مبرد دیده نمی‌شود.

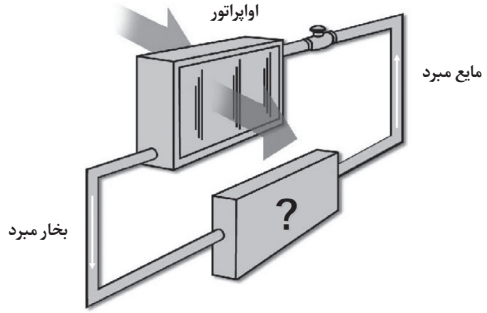
دوم این که فشار منبع مبرد مایع حتماً باید بیش از فشار جو و یا دمای آن بسیار پائین باشد تا مبردی مانند R-22 با

دمای جوش (-40.8°C)-41.4°F در آن به صورت مایع بماند. اگرنه در فشـــار جو بلافاصله مبرد قبل از رســـیدن به کوئل تبخیر خواهد شد.

سوم این که جریان مبرد به کوئل باید به گونه‌ای تنظیم شود تا شدت تبخیر در کوئل منجر به یخ زدن رطوبت موجود در هوا که از ســـطح کوئل عبور می‌کند؛ نشود. زیرا در این صورت پس از مدت کوتاهی و پس از یخ زدن ســـطح کوئل، هیچ هوایی از کوئل عبور نخواهدکرد.

چهـــارم این که پـــس از تبخیر مقـــداری از مایع مبرد، همزمان فشـــار نیز افزایش یافته و فشار موجود در دو منبع ابتدایی و انتهایی و همین‌طور کوئل به تعادل می‌رســـد و در این صورت با حذف اختلاف فشار، تبخیر مایع مبرد متوقف خواهد شد.

ترمیم سیستم

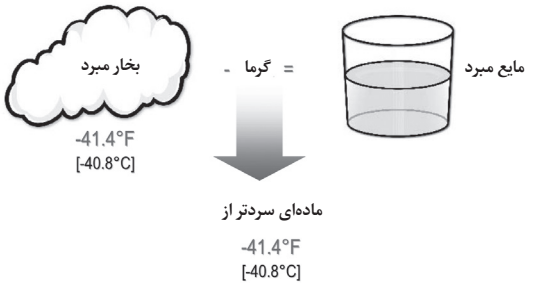


برای فائق آمدن بر مشکلات سیستم خطی که پیش از این معرفی شـــد، باید چیدمان به صورت بسته درآید. بنابراین لازم اســـت که بخار مبرد تقطیر و تبدیل به مایع شده و بار دیگر مورد استفاده قرار گیرد.

چرخهٔ کامل ســـرمایش دارای اجزایی است که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد. اما در وضعیت فعلی یکی از این اجزاء که در آن عمل تبخیر صورت می‌گیرد؛ مشخص است. کوئل، مبدل و یا محفظه‌ای که در آن مایع مبرد تبخیر شده و گرما را از هوا، آب یا هر ماده دیگری می‌گیرد تبخیرکننده یا اواپراتور[1] نامیده می‌شود.

1- Evaporator

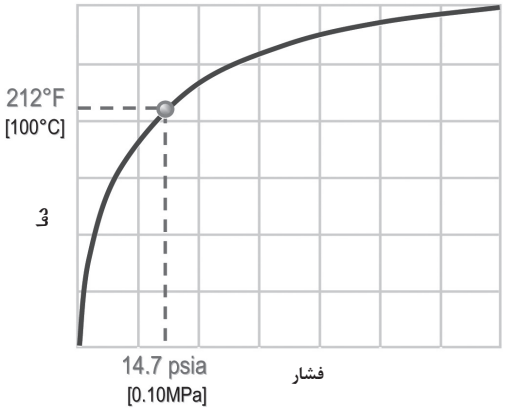
مایع کردن دگربارهٔ مبرد



برای تبدیل بخار مبرد به مایع لازم است که از آن گرما گرفته شود.

بنابراین ماده‌ای که دمای آن سردتر از (-40.8°C)-41.4°F باشد، در صورت دارا بودن جرم مناسب این قابلیت را خواهد داشت که بخار مبرد را بار دیگر تبدیل به مایع کند. اما چنین کاری عبث است. زیرا به همان اندازه که انرژی صرف تبخیر شده است باید صرف تقطیر شود. در ادامه و پس از دو توضیح مختصر به چگونگی رفع این مشکل پرداخته می‌شود.

نقطهٔ جوش آب



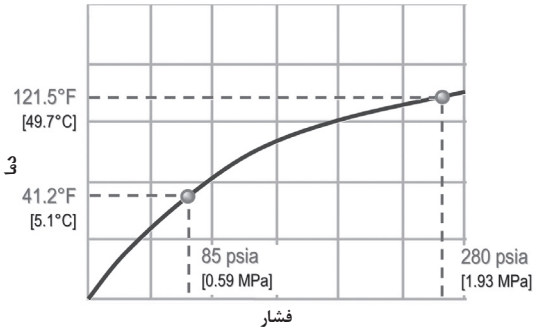
در فشـــار جـــو یعنـــی (14.7psi(010MPa آب در دمـــای 212°F(100°C) تبخیر می‌شود. وقتی فشار افزایش پیدا کند، دمای نقطهٔ جوش آب نیز افزایش می‌یابد. زیرا فشـــار بیشتر نیروی مخالفی را در مقابل انبساط و جدایی مولکول‌های آب وارد می‌کند و آب را در حالت مایع نگه می‌دارد. مگر این که افزایش جنبش مولکولی ناشـــی از افزایش دما بر فشار غلبه کند. در این صورت سرانجام آب به بخار تبدیل خواهد شد؛ اما با دمای بیشتر که معنای آن صرف انرژی گرمایی بیشتر نیز هست.

منحنی تصویر بالا هم همین قاعده را نمایش می‌دهد. با افزایش فشار، دمای نقطهٔ جوش افزایش و با کاهش فشار، نقطهٔ جوش آب نیز کاهش می‌یابد.

از این قاعده برای مبردها نیز می‌توان استفاده کرد. یعنی اگر فشار مبرد افزایش یابد نقطهٔ جوش آن نیز زیاد می‌شود. بنابراین دمای ماده‌ای که باید مبرد را سرد و تبدیل به مایع کند نیز به همان اندازه افزایش می‌یابد.

به عنوان مثال، دیگر لازم نیست که برای تقطیر R-22 از ماده‌ای استفاده شود که دمای آن کمتر از -41.4°F(-40.8°C) باشد.

نقطهٔ جوش R-22



نمودار بالا دمای نقطهٔ جوش R-22 را در دو فشـــار متفاوت نمایش می‌دهد.

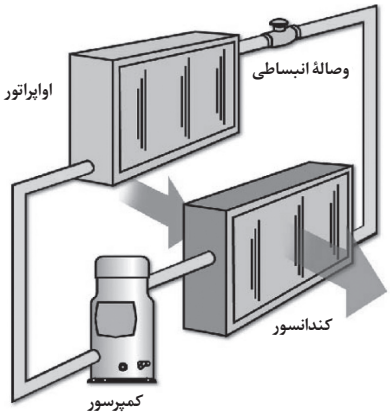
همان‌گونـــه کـــه مشـــاهده می‌شـــود. در فشـــار 85psia(0.59MPa) دمای جوش R-22 برابر با 41.2°F(5.1°C) و در فشـــار 280psia(1.93MPa) دمـــای جـــوش برابـــر بـــا 121.5°F(49.7°C) است.

بنابراین اگر فشار سیستم سرمایش حاوی مبرد R-22 در سمت تبخیرکننده برابر با 85psia(0.59MPa) باشد، می‌توان انتظار داشت که مبرد در دمای 41.2°F(5.1°C) تبخیر شود و یا اگر در سمت تقطیر فشـــار مبرد به 280psia(1.93MPa) رسانده شـــود، می‌توان انتظار داشت که با آب یا هوایی که ســـردتر از 121.5°F(49.7°C) باشد؛ مبرد بار دیگر تبدیل به مایع شود.

بنابراین برای غلبه بر مشکل پیشین لازم است به نحوی فشار سیستم یا چرخهٔ سرمایش در دو سمت تبخیر و تقطیر متفاوت باشد.

در سمت تبخیر باید در حدی کم باشد که تبخیر در دمای کم صورت پذیرد و در سمت تقطیر باید به اندازه‌ای زیاد باشد که تقطیر در دمای زیاد امکان‌پذیر شود.

چرخهٔ تراکم بخار مبرد



پیش از این اشـــاره کردیم که برای ایجـــاد امکان تبخیر در دمای کم و تقطیر در دمای زیاد لازم اســـت که فشار در دو سمت تبخیر و تقطیر کاملاً متفاوت باشد. یکی از راه‌ها برای ایجاد اختلاف فشار، استفاده از کمپرسور است.

کمپرســـور[1] ضمن مکش از اواپراتور از فشار آن کاسته و بـــا متراکم نمودن بخار مبرد دمای نقطـــهٔ جوش آن را بالا می‌برد. به نحوی که با ســـیالی که دمای آن کمتر از دمای بخار مبرد پرفشار باشـــد؛ بتوان مبرد را در کوئل، مبدل یا محفظهٔ دیگری تقطیر کرد. در واقع کمپرسور ضمن به جریان انداختن ســـیال مبرد در چرخه، استعداد لازم برای تبدیل بخار مبرد به مایع مبرد را به وجود می‌آورد.

بدیهی است که فشار بالای ایجاد شده توسط کمپرسور

1- *Compressor*

نبایـــد اواپراتور یا محفظهٔ تبخیر را تحت شـــعاع قرار دهد. اگر نه فشـــار اواپراتور بالا رفته و مبـــرد در دمای کم تبخیر نخواهد شـــد. بنابراین لازم اســـت که در ورودی اواپراتور از وصاله‌ای برای ایجاد افت فشـــار استفاده شود. این وسیله، وصالهٔ انبســـاطی[1] نام دارد که ضمن ایجاد افت فشار لازم، مایع مبرد را به صورت پودرگونه و منبسط شده به محفظهٔ اواپراتور می‌راند تا بازده تبخیر افزایش یابد.

به این ترتیب یک چرخهٔ ابتدایی ســـرمایش از نوع تراکم بخار مبرد[2] با اجزای اصلی زیر شکل می‌گیرد:

الف)- اواپراتـــور به عنوان محفظه یا مبدلی برای تبخیر مادهٔ مبرد و اخذ گرما از هوا یا آب یا هر سیال دیگر

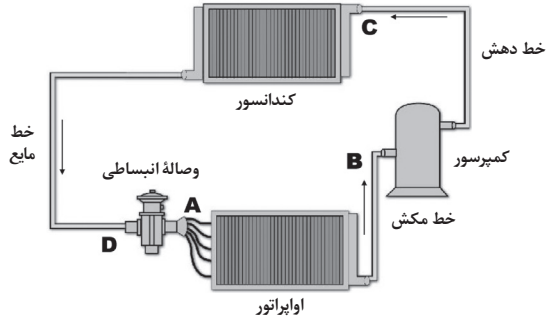
ب)- کندانســـور[3] یا تقطیرکننده بـــه عنوان محفظه یا مبدلی برای تقطیر ماده مبرد با دادن گرما به هوا، آب یا هر سیال دیگری

ج)- کمپرســـور به عنوان عامل اصلی مکانیکی برای به گردش درآوردن سیال مبرد در چرخه و ایجاد اختلاف فشار در دو محفظهٔ اواپراتور و کندانسور

د)- وصالهٔ انبســـاطی برای حفظ فشـــار کم اواپراتور و انبساط مایع مبرد برای افزایش بازده تبخیر در اواپراتور

1- Expansion Device
2- Vapor-Compression Refrigeration Cycle
3- Condenser

چرخهٔ ابتدایی سرمایش تراکمی



تصویر بالا اجزای اصلی یک سیستم سرمایش تراکمی را نمایش می‌دهد، که در آن به ازای هریک از اجزای چهارگانه، چهار مسیر نیز مشخص شده است.

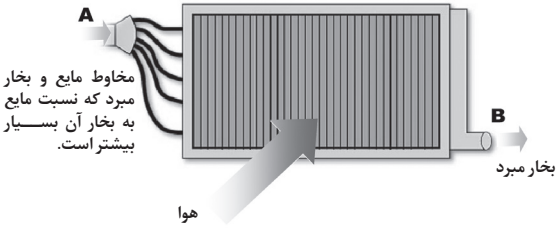
در مسیر A یعنی از وصالهٔ انبساطی تا اواپراتور مایع مبرد منبسط شده و به داخل اواپراتور راه می‌یابد.

در مسیر B یعنی حد فاصل خروجی اواپراتور تا ورودی کمپرسور، خط مکش خوانده می‌شود که در آن بخار مبرد کم فشار با دمای کم جاری است.

در مسیر C یعنی حد فاصل خروجی کمپرسور و ورودی کندانسور خط دهش خوانده می‌شود که در آن بخار پر فشار با دمای زیاد جاری است.

در مسیر D یعنی حد فاصل خروجی تا ورودی وصالهٔ انبساطی خط مایع نامیده می‌شود که در آن مایع مبرد جاری است.

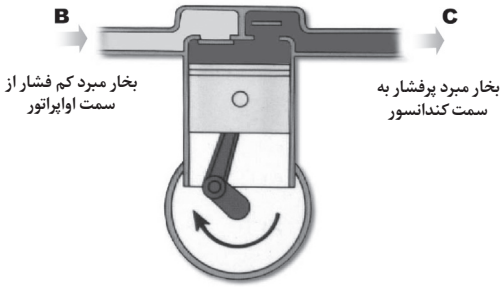
اواپراتور



اواپراتور نمایش داده شده در تصویر بالا از نوع هوایی است.

در وروی اواپراتور مخلوطی از مایع و بخار مبرد وجود دارد که مقدار مایع آن بیشتر است. وجود بخار مبرد فارغ از عملکرد اواپراتور در سمت مکش کمپرسور ناشی از عملکرد شیر انبساطی هم هست. در خروجی اواپراتور بخار مبرد جاری است.

کمپرسور

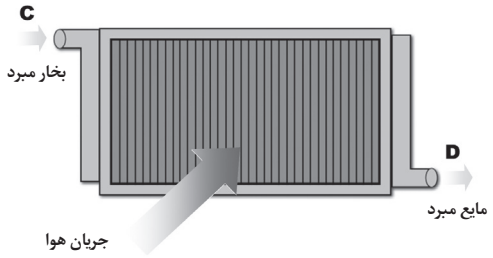


در سمت مکش کمپرسور بخار مبرد با دمای کم توسط کمپرسور مکیده می‌شود و پس از عمل تراکم، بخار مبرد گرم و پر فشار از سمت دهش خارج می‌شود.

طرح‌واره‌ای که از کمپرسور در تصویر بالا نمایش داده شده است از نوع رفت و آمدی[1] یا سیلندر- پیستونی است. در صورتی که در سیستم‌های مولد سرمایش تراکمی از کمپرسورهای دیگری نیز استفاده می‌شود.

1- *Reciprocating Compressor*

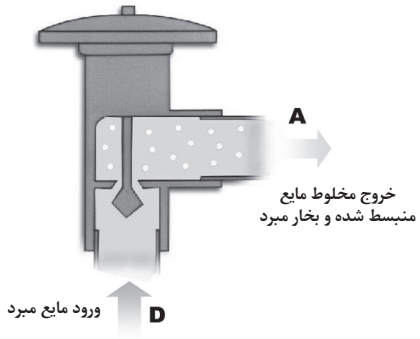
کندانسور



کندانســور، مبدلی برای گرفتن یا دفع گرمای مبرد است. بنابراین در کندانســور بخار مبرد ورودی، گرمای خود را به سیال دیگری مانند هوا می‌دهد تا تبدیل به مایع شود.

کندانسور نمایش داده شده در تصویر بالا از نوع هوایی اســت. در صورتی که کندانســورهای آبی نیز به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند.

وصالهٔ انبساطی



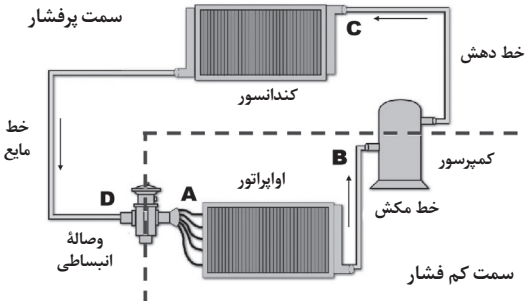
همان‌گونه که پیش از این نیز اشاره شد وصالهٔ انبساطی در ورودی اواپراتور ضمن ایجاد افت فشار در جریان مبرد موجب انبساط آن نیز می‌شود.

در تجهیزات تراکمی با ظرفیت بیش از 5 تن تبرید به‌طور معمول از انواع شیرهای انبساطی استفاده می‌شود؛ اما در تجهیزات کم ظرفیت این نقش را لولهٔ موئین[1] که بسیار نازک و طویل است به عهده دارد.

افت فشار شدید در وصالهٔ انبساطی فارغ از جلوگیری از تحت فشار قرار گرفتن اواپراتور باعث کاهش دمای مبرد نیز می‌شود.

1- *Capillary Tube*

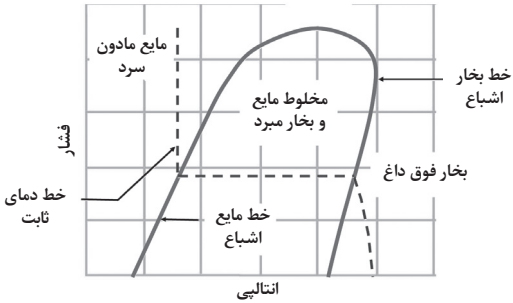
سمت کم فشار و سمت پر فشار



متناسب با عملکرد سوپاپ دهش کمپرسور در ایجاد فشار زیاد و عملکرد وصالهٔ انبساطی در ایجاد کاهش فشار؛ چرخه یا سیستم سرمایش نیز به دو بخش کم فشار و پر فشار تقسیم می‌شود. کندانسور در بخش پر فشار و اواپراتور در بخش کم فشار می‌گنجند. کمپرسور و وصالهٔ انبساطی نیز رابطی بین دو بخش هستند. ورودی کمپرسور و خروجی وصالهٔ انبساطی جزیی از بخش کم فشار و خروجی کمپرسور و ورودی وصالهٔ انبساطی جزیی از بخش پر فشار محسوب می‌شوند.

تمام بخش کم فشار دارای وظیفهٔ جذب گرما و تبخیر است و کل بخش پر فشار در جهت دفع گرما و تقطیر عمل می‌کند.

نمودار فشار - انتالپی (P-h)



نمودار بالا نمایش‌گر، فشار و انتالپی مبرد در مراحل چرخهٔ سرمایش است.

انتالپی[1] محتوای گرمایی ماده به ازای واحد جرم آن است که شامل دو گرمای محسوس و گرمای نهان می‌شود. واحد انتالپی در آحاد انگلیسی با Btu/lb و در آحاد بین‌المللی kJ/kg سنجیده می‌شود.

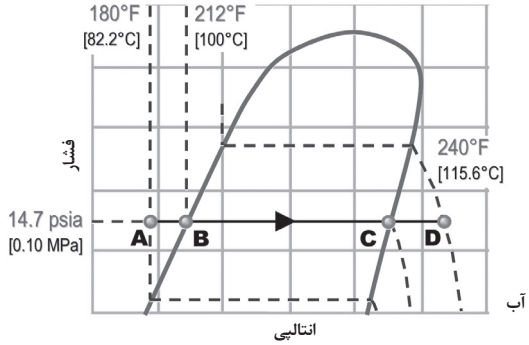
در سمت راست این نمودار، شرایط مبرد در فاز بخار نمایش داده شده است و در سمت چپ، شرایط مبرد در حالت مایع به نمایش درآمده است. میانهٔ منحنی به نمایش درآمده در نمودار نقطهٔ اتصال دو باند مایع اشباع مبرد در سمت چپ و بخار اشباع در سمت راست است و فضای میان این منحنی که بر دو پایهٔ مایع و بخار اشباع قرار دارد،

1- *Enthalpy*

شـــرایط مبرد یا هرسیال دیگری را در حالت مخلوط مایع و بخار نشان می‌دهد.

شـــرایط فوق داغ بودن بخار مبرد و مادون ســـرد بودن مایع مبرد نیز در دو سمت منحنی مشخص می‌شود.

نمودار فشار - انتالپی برای آب



چگونگی استفاده از نمودار فشار - انتالپی برای آب با تصویر بالا و با شرح زیر واضح‌تر می‌شود.

می‌دانیم که آب در شرایط فشار جو یعنی 14.7psi(0.10MPa) در دمای 212°F(100°C) به جوش می‌آید. فرض کنید آب در همین فشار دارای دمای 180°F(82.2°C) است. همان نقطه‌ای که در نمودار با A نمایش داده شده است. بدیهی است که در این فشار و با این دما، آب به صورت مایع خواهد بود. اگر به گرما دادن آب تحت همان فشار اولیه ادامه دهیم و دمای آن را به 212°F(100°C) برسانیم، آب به جوش آمده و تبخیر آن آغاز می‌شود. این نقطه با B بر روی نمودار به نمایش در آمده است. در واقع این نقطه درست روی پایهٔ منحنی نمودار یعنی خط مورب مایع اشباع قرار گرفته است. یعنی حالتی که مایع به مرز تبخیر در فشار مشخصی

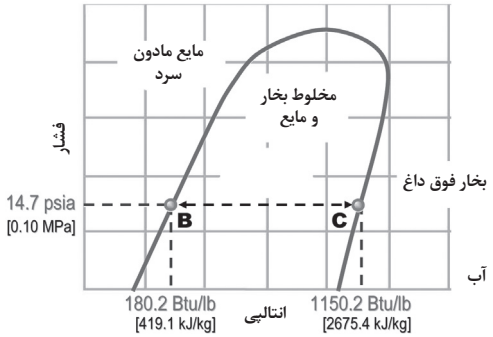
رسیده است.

با گرما دادن بیشـــتر، آب از مرز اشـــباع عبور کرده و با افزایـــش انتالپی یا محتوای گرمایی به وضعیت مخلوط آب و بخار می‌رســـد. هرچه گرمادهی بیشتر شود، درصد بخار هم نســـبت به آب بیشتر می‌شـــود، تا جایی که کل آب به بخار تبدیل می‌شـــود. این همان نقطهٔ C بر روی نمودار است که نشـــان می‌دهد، آب به‌طور کلی تبدیل به بخار شده است. به همین جهت این نقطه روی پایه یا خط مورب بخار اشباع قرار می‌گیرد.

از این نقطه به بعد با گرمادهی بیشتر در فشار ثابت تغییری در فاز ماده به وجود نمی‌آید؛ بلکه بخار دمای بیشـــتری پیدا می‌کند و از بخار اشـــباع تبدیل به بخار فوق داغ[1] می‌شـــود. این نقطه با D نمایش داده شده است که در آن دمای بخار از 212°F(100°C) به 240°F(115.6°C) رسیده است.

1- *Superheated Vapor*

گرمای تبخیر آب

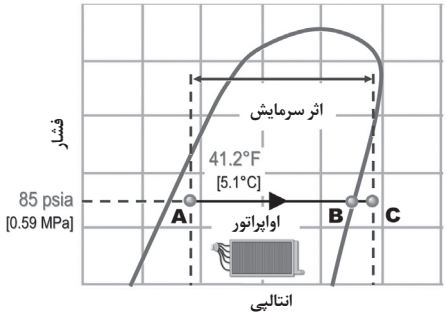


فاصلهٔ بین دو پایهٔ منحنی نشـــانگر مقدار گرمای لازم برای تبدیل مایع اشباع به بخار اشباع در فشار ثابت است.

این مقدار گرما همان گرمای نهان تبخیر یا گرمای بخار آب است.

به عنوان مثال در این نمودار نقطهٔ B نشانگر مایع اشباع با انتالپی (419.1kJ/kg)180.2Btu/lb و نقطهٔ C نشـــانگر بخار اشباع با انتالپی (2675.4kJ/kg)1150.2Btu/h است. اختلاف این دو برابر با (2256.3kJ/kg)970Btu/lb اســـت. این مقدار، گرمای نهان بخار در فشـــار جو است. بنابراین از این نمودار می‌توان برای تعیین انتالپی در فشـــارهای مختلف استفاده کرد. البته هر سیالی نمودار ویژه خود را دارد.

عملکرد اواپراتور در نمودار فشار - انتالپی



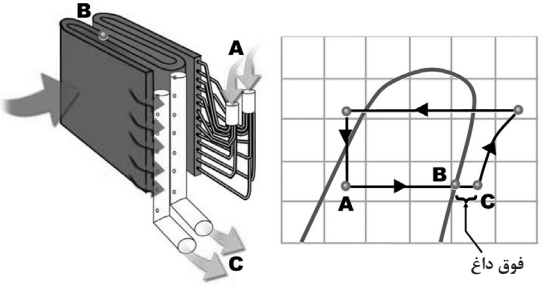
مبرد R-22

در تصویر بالا نمودار فشـــار – انتالپـــی برای مبرد فرئون 22 (R-22) به منظور تحلیل عملکرد اواپراتور به نمایش در آمده است.

از آنجاکه در سیستم سرمایش با چرخه و مدار بسته‌ای روبرو هســـتیم؛ می‌توانیم تحلیل را از هر نقطه آغاز کنیم. به‌طور متعارف این تحلیل از اواپراتور آغاز می‌شود.

در نقطـــهٔ ورودی اواپراتـــور، مبـــرد دارای فشـــار 85psia(0.59MPa) با دمای $41.2^{\circ}F(5.1^{\circ}C)$ است و مخلوط مایع و بخار آن که البته مقدار مایع آن بیشتر است با نقطهٔ A مشخص شده است.

از این نقطه به بعد، مبرد گرما جذب می‌کند و بر میزان بخار آن افزوده و از مقدار مایع آن کاسته می‌شود تا به نقطهٔ



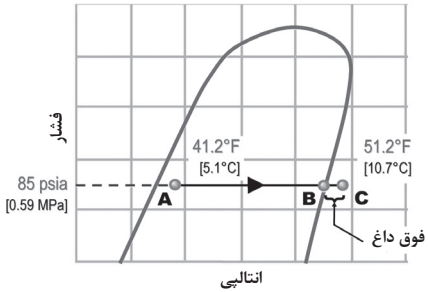
B یعنی پایهٔ بخار اشباع می‌رسد.

از این نقطه به بعد بخار اشـــباع تحت فشار ثابت، دمای بیشتری پیدا می‌کند. و نتیجه آن پدیدار شدن بخار فوق داغ اســـت که با نقطهٔ C نمایش داده شده است. تمام فرایند از نقطهٔ A تا C اثر سرمایش[1] خوانده می‌شود که در اواپراتور به وقوع می‌پیوندد.

بر همین اساس می‌توان مقدار گرمای جذب شده توسط مبرد را نیز به ازای واحد جرم آن برحســـب پوند یا کیلوگرم تعیین کرد.

1- *Refrigeration Effect*

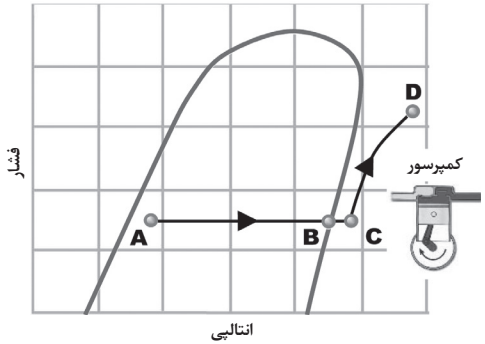
فوق داغ



کمپرسورها برای تراکم و جابه‌جایی گاز یا بخار به کار می‌روند و وجود مایع در آنها در سمت مکش یا دهش موجب صدمه خواهد شد. بخار اشباع ممکن است به صورت کامل، عاری از مایع نباشـــد و احتمال وجود مایع آمیخته با بخار در آن وجود دارد. بیشـــتر گرم کردن بخار اشباع و رساندن آن به حدی که فوق داغ خوانده می‌شود؛ چنین احتمالی را از بین می‌برد. بنابراین بخار اشباع مبرد با جذب گرمای بیشتر در همان فشار، فوق داغ می‌شود. در این نمودار نقطهٔ B شرایط بخار مبرد اشـــباع را نمایش می‌دهـــد و نقطهٔ C نمایش‌گر شرایط بخار فوق داغ مبرد است.

به‌طـــور معمول دمای مبرد فـــوق داغ در حدود 8 تا 12 درجه فارنهایت یا 4.4 تا 6.7 درجه سلسیوس بیشتر از دمای بخار اشباع مبرد است. به این ترتیب از وجود بخار کامل بدون هیچ مایعی در ورودی کمپرسور اطمینان حاصل می‌شود. در این مثال و برای فرئون 22 دمای بخار فوق داغ $10^{\circ}F(5.6^{\circ}C)$ از $41.2^{\circ}F(5.1^{\circ}C)$ تا $51.2^{\circ}F(10.7^{\circ}C)$ است.

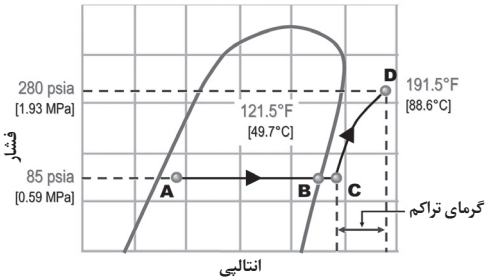
عملکرد کمپرسور در نمودار فشار - انتالپی



در ادامهٔ چرخهٔ سرمایش، کمپرسور مبرد را با شرایط مشخص شده در نقطهٔ C مکش می‌کند. و با متراکم کردن آن فشار را تا نقطهٔ D افزایش می‌دهد و از این نقطه، بخار مبرد از کمپرسور خارج می‌شود.

در خط CD انحرافی دیده می‌شود که ناشی از افزایش دمای بخار متراکم مبرد است. زیرا فارغ از متراکم شدن بخار مبرد، بخشی از انرژی مکانیکی کمپرسور تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود. بنابراین در واقع تراکم بخار مبرد در دمای ثابت صورت نمی‌گیرد.

گرمای تراکم

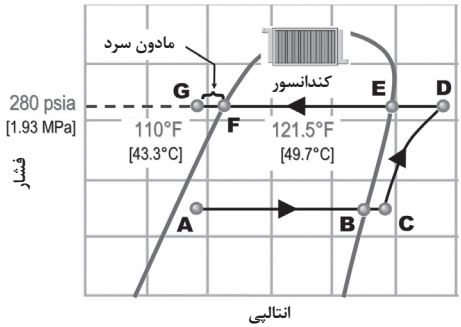


همان‌گونه که پیش از این اشـــاره شـــد؛ در خط تراکم CD انحرافی از نظر دما مشـــاهده می‌شـــود که ناشی از متراکم شدن بخار مبرد و تبدیل بخشی از انرژی مکانیکی به انرژی گرمایی است. این پدیده گرمای تراکم[1] خوانده می‌شود.

در ایـــن مثال مبردی که کمپرســـور را ترک می‌کند در فشـــار (1.93MPa)280psi دارای دمـــای (88.6°C)191.5°F است. در حالی که بدون این گرما، دمای اشباع بخار متراکم می‌بایـــد (49.7°C)121.5°F می‌بـــود. بنابراین در عمل بخار متراکمی که کمپرسور را ترک می‌کند دارای دمایی به اندازهٔ (38.9°C)70°F بیشتر از دمای اشباع است.

1- *Heat of Compression*

عملکرد کندانسور در نمودار فشار - انتالپی



بر روی نمودار فشـــار- انتالپی، عملکرد کندانسور از نقطهٔ D آغاز می‌شود.

در واقـــع از نقطهٔ D به بعد که مرحلهٔ گرماگیری از مبرد توسط هوا یا آب خنک اســـت، انتالپی مبرد در فشار ثابت کاهش می‌یابد. در اینجا فشـــار همان مقدار ســـمت دهش کمپرسور یعنی (280psia(1.93MPa است.

اولیـــن مرحله، کاهش انتالپی از نقطـــهٔ بخار فوق داغ به نقطهٔ بخار اشـــباع اســـت که در نمودار، ایـــن فاصله از D تا E به نمایش در آمده اســـت. نقطـــهٔ E در تلاقی با پایهٔ منحنی بخار اشباع است و دمای بخار مبرد در این نقطه تا (121.5°F(49.7°C کاهش می‌یابد. پس از این به تدریج بخار تبدیل به مایع می‌شود تا به نقطهٔ F برسد.

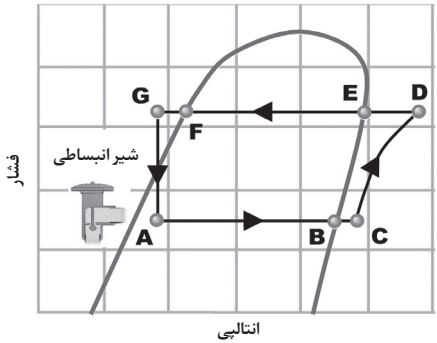
نقطهٔ F در تلاقی با پایهٔ منحنی یا خط مورب مایع اشباع

اســـت. تقطیر در نقطهٔ F به پایان می‌رسد؛ اما خنک‌سازی مبـــرد و کاهش دمای آن در فشـــار ثابت تـــا نقطهٔ G ادامه می‌یابد. بنابراین در این نقطه مایع مبرد مادون سرد می‌شود. از این رو حد فاصل F تا G خط مادون سرد خوانده می‌شود.

در واقع مبرد فرئـــون 22 در دمای (49.7°C)121.5°F در فشار (1.93MPa)280psia تبدیل به مایع می‌شود و گرماگیری اضافه از آن منجر به تغییر فاز نمی‌شـــود؛ بلکه مایع مبرد را سردتر می‌کند. این فرایند مادون سردسازی[1] است که دمای مایع مبرد را تا (43.3°C)110°F کاهش می‌دهد. این اختلاف 11.5 درجه فارنهایتی یا 6.4 درجه سلسیوسی به کمک همان هـــوا یا آب خنک به وجود می‌آیـــد. به این ترتیب همهٔ ماده مبرد به‌طور کامل تبدیل به مایع شـــده و استعداد لازم برای انبساط در شیر انبساطی و ورود به اواپراتور را پیدا می‌کند.

1- *Sub cooler*

عملکرد شیر انبساطی در نمودار فشار-انتالپی



مایع پر فشـــار از نقطهٔ G وارد شیر انبساطی شده و به دلیل ساختار آن دچار افت فشار با انتالپی ثابت می‌شود تا به نقطهٔ A برسد که همان نقطهٔ ورودی به اواپراتور است.

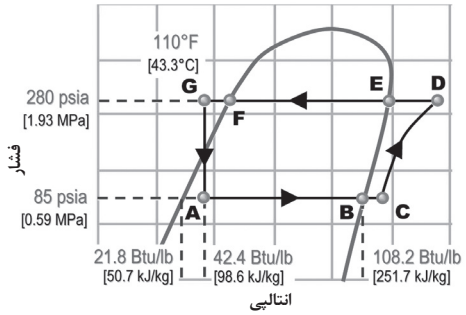
به این ترتیب چرخهٔ ســـرمایش بر روی نمودار فشـــار – انتالپی کامل می‌شود.

بـــا نگاهی به چرخهٔ نمایش داده شـــده بر روی نمودار، وجود دو خط موازی با فشـــار ثابت اما در دو دامنهٔ متفاوت کم فشـــار و پر فشـــار در مســـیر AC و DG کاملاً واضع این مطلب اســـت که دو فرایند تبخیر و تقطیر با تغییر انتالپی ممکن می‌شود.

از سوی دیگر با صرف نظر کردن از انحراف انتالپی ناشی از تراکم و کار مکانیکی کمپرســـور، دو مسیر CD و GA نیز

نشانگر دو فرایند انتالپی ثابت هستند که نشان می‌دهد دو مرحلهٔ تراکم و انبساط بدون تغییر انتالپی و تنها با تغییر فشار ممکن می‌شود. از این رو چرخهٔ سرمایش به مثابهٔ چهارگوشی مجازی است که دو ضلع آن را فرایند انتالپی ثابت و دو ضلع دیگر آن را فرایند فشار ثابت تشکیل می‌دهند.

تحلیل شرایط در شیر انبساطی



دمـــای مبـــرد ورودی بـــه شـــیر انبســـاطی در فشـــار 280psia(1.93MPa) برابر 110°F(43.3°C) اســـت که با نقطهٔ G در نمودار مشخص شده است. البته مبرد پیش از این در نقطهٔ F تبدیل به مایع شده بود و فاصلهٔ F تا G برای رسیدن به شـــرایط مادون سرد است. یعنی شرایطی که بدون تغییر فشـــار تنها دمای مبرد کاهش می‌یابد. در نقطهٔ G انتالپی مبرد 42.4Btu/lb(98.6kJ/kg) است. پیش از این اشاره کردیم که فرایند در شیر انبساطی دارای انتالپی ثابت است. بنابراین می‌توان انتالپی نقطهٔ G را انتالپی مبرد در نقطهٔ A نیز تلقی کرد.

از نقطهٔ A، مبرد شـــیر انبســـاطی را ترک می‌کند و به اواپراتور وارد می‌شود. فشار در این نقطه (85psia(0.58MPa و دما 41.2°F(5.1°C) است. از سوی دیگر انتالپی مایع اشباع

تحت این فشـــار (21.8Btu/lb(50.7kJ/kg است. این تعارض ناشی از اختلاف انتالپی در شرایط مایع مادون سرد و مایع اشباع اســـت. با دقت در محل نقاط G و A مشخص است که نقطهٔ G در بیرون از منحنی و در محدودهٔ مادون ســـرد قرار گرفته است؛ در حالی که نقطهٔ A در درون منحنی جای گرفته اســـت و این محدوده مربوط به مخلوط مبرد مایع و بخار است. بنابراین در فرایند انتالپی ثابت انبساط مقداری بخار مبرد نیز وجود دارد که درصد آن به طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$\% = \frac{h_A - h_{SL}}{h_{SV} - h_{SL}}$$

h_A: انتالپـــی مبرد در نقطهٔ A (ورودی بـــه اواپراتور) بر حسب Btu/lb یا kJ/kg

h_{SL}: انتالپی مبرد مایع اشـــباع (نقطه‌ای که در تلاقی با پایهٔ منحنی یا خط مورب مایع اشـــباع است. در این نمودار بالا با خطچین قبل از نقطهٔ A نمایش داده شده است.) بر حسب Btu/lb یا kJ/kg

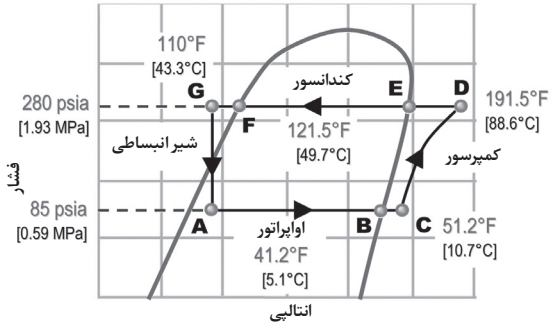
h_{SV}: انتالپـــی بخار اشـــباع مبرد (نقطهٔ B) بر حســـب Btu/lb یا kJ/kg

بنابراین درصد بخار موجود در مخلوط ورودی به اواپراتور برابر با 23.8 درصد است. زیرا:

$$\% = \frac{42.4\text{Btu/lb} - 21.8\text{Btu/lb}}{108.2\text{Btu/lb} - 21.8\text{Btu/lb}} = 23.8\%$$

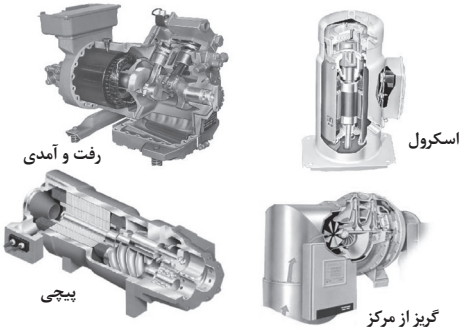
$$\% = \frac{98.6\text{kJ/kg} - 50.7\text{kJ/kg}}{251.7\text{kJ/kg} - 50.7\text{kJ/kg}} = 23.8\%$$

چرخهٔ سرمایش در نمودار فشار - انتالپی



آن‌چه پیش از این به صورت گام به گام دربارهٔ چرخهٔ سرمایش آمد؛ به‌طور کامل در نمودار فشار – انتالپی تصویر بالا نمایش داده شده است.

کمپرسور



خنک‌کن‌های تراکمی ممکن اســت دارای یکی از چهار نوع کمپرسور زیر باشند:

الف) رفت و آمدی[1] یا سیلندر-پیستونی

ب) پیچی[2]

ج) حلقوی یا اسکرول[3]

د) گریز از مرکز[4]

کمپرســورهای رفت و آمدی مانند موتورهای درون‌سوز هستند؛ اما بدون سیستم سوخت‌رســانی و جرقه‌زنی. در این نوع کمپرســورها، محرک اصلی که می‌تواند یک موتور الکتریکــی باشــد، میل‌لنگ را می‌گردانــد و میل‌لنگ هم

1- Reciprocating
2- Screw
3- Scroll
4- Centrifugal

پیستون را در سیلندر به بالا و پائین می‌راند و به این ترتیب بخار مبرد از طریق سوپاپ مکش به داخل سیلندر مکیده می‌شود و با بالا رفتن مجدد پیستون، بخار مبرد متراکم شده و از سوپاپ دهش خارج می‌شود.

در کمپرسورهای پیچی، دو روتور مارپیچ، بخار مبرد را مکیده و با دوران در مجاورت یکدیگر آن را به جلو رانده و متراکم می‌کند.

در کمپرسورهای اسکرول نیز دو نوار حلقوی با حرکت دورانی در داخل هم بخار مبرد را از کناره‌ها مکیده و از میانهٔ دو حلقه به بیرون می‌رانند.

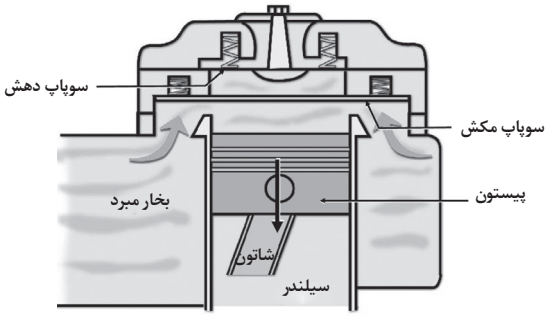
کمپرسور گریز از مرکز با دوران یک پرهٔ گریز از مرکز به بخار مبرد سرعت داده و آن را متراکم می‌کند.

سه نوع کمپرسور رفت و آمدی، پیچی و اسکرول، به‌طور کلی در گروه کمپرسورهای با جابه‌جای مثبت[1] می‌گنجند؛ اما کمپرسور گریز از مرکز نوعی کمپرسور دینامیک[2] محسوب می‌شود. زیرا تنها در این نوع کمپرسور است که انرژی جنبشی بخار مبرد تبدیل به فشار استاتیک می‌شود.

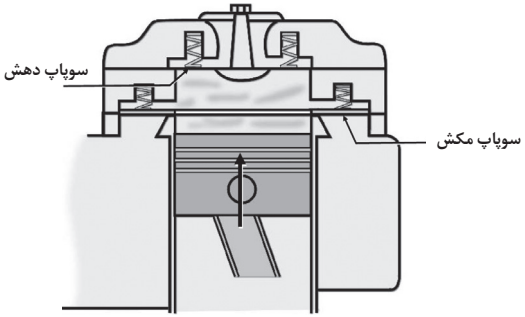
در سه نوع کمپرسور دیگر عمل تراکم به صورت متناوب انجام می‌شود و تغییر فشار، ناشی از تغییر حجم است و نه افزایش سرعت بخار و تبدیل انرژی.

1- Positive-Displacement Compressors
2- Dynamic Compressor

کمپرسور رفت و آمدی

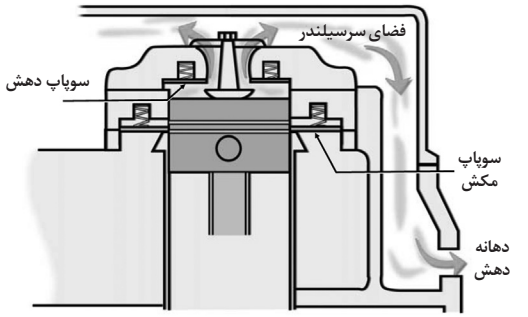


تصویر بالا وضعیت کمپرسوررفت و آمدی را در حالت مکش نشـــان می‌دهد. با حرکت رو به پائین پیستون، بخار مبرد از طریق ســـوپاپ مکش وارد سیلندر می‌شود. در این حالت سوپاپ دهش بسته است.



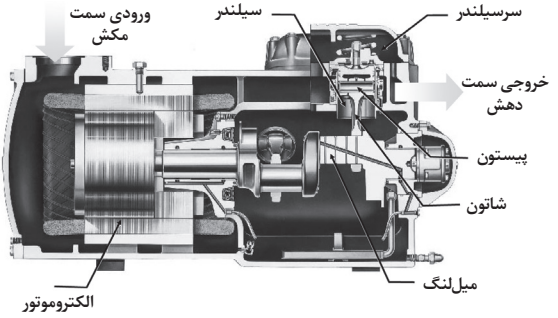
تصویر بالا کمپرســـور رفت و آمـــدی را در حالت تراکم نمایش می‌دهد. با حرکت رو به بالای پیســـتون، بخار مبرد موجود در سیلندر فشرده می‌شود. در این حالت تراکم هنوز به حدی نرسیده است که سوپاپ دهش باز شود. در حالت

تراکم هر دو سوپاپ مکش و دهش بسته خواهند ماند.



تصویر بالا کمپرسور رفت و آمدی را در حالت دهش نمایش داده است. وقتی به اندازهٔ کافی بخار مبرد متراکم شده و فشار آن افزایش یافت، سوپاپ دهش باز می‌شود تا بخار پر فشار و داغ به سمت کندانسور روانه شود. در این حالت سوپاپ مکش بسته است.

اجزای کمپرسور رفت و آمدی



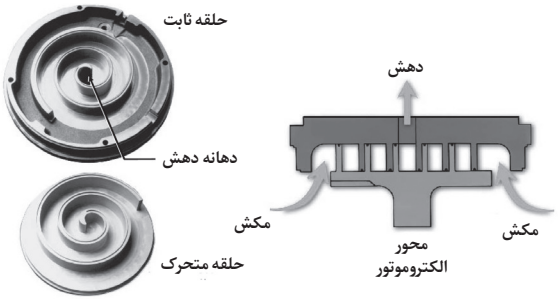
تصویر بالا اجزای اصلی یک کمپرسور رفت و آمدی از نوع بسته را نشان می‌دهد. در کمپرسور بسته یا نیم‌بسته، الکتروموتور و کمپرسور در یک پوسته مشترک قرار می‌گیرند.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این نوع کمپرسورها، معبر مکش در سمت سیم‌پیچ الکتروموتور قرار گرفته است تا بخار نسبتاً خنک‌تر وروی از سمت اواپراتور سیم‌پیچ الکتروموتور را خنک کند.

کمپرسورهای رفت و آمدی متناسب با ظرفیت ممکن است دارای چند زوج سیلندر و پیستون روی یک میل‌لنگ باشند.

حداکثر ظرفیت کمپرسورهای رفت و آمدی 100 تن تبرید است و به‌طور معمول حداکثر تا 40 تن تبرید مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین چیلرهایی با ظرفیت بالا دارای چند کمپرسور هستند.

کمپرسور اسکرول

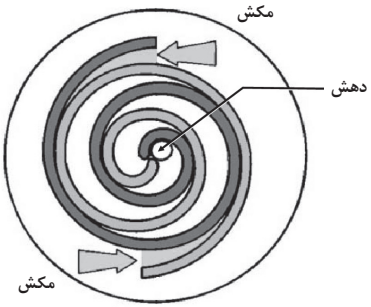


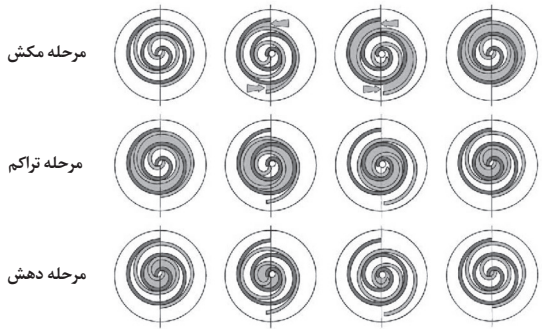
تصویر بـــالا دو قطعهٔ نر و ماده اصلی کمپرســـور حلقوی یا طوماری را نمایش می‌دهد.

این دو حلقه روی هم قرار می‌گیرند و با جابه‌جایی حلقهٔ زیرین، فضای بین تیغه‌های دو صفحه تغییر کرده و منجر به فشردگی بخار مبرد می‌شود.

ســـوپاپ دهش روی حلقهٔ بالایی که ثابت است، تعبیه می‌شـــود. حلقهٔ زیرین که حلقهٔ متحرک خوانده می‌شـــود، متصل به محور الکتروموتور است.

نحوهٔ تراکم در کمپرسور اسکرول

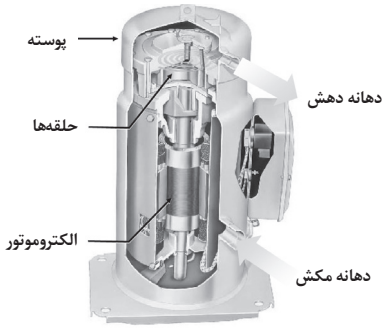




تصویر بالا مراحل تراکم بخار مبرد در کمپرسور اسکرول را در سه مرحلهٔ مکش، تراکم و دهش نمایش می‌دهد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بخار مبرد از لبه‌های دو حلقه وارد شده و با گردش یک حلقه در حلقهٔ دیگر به پیش رانده شده و با توجه به کم شدن فواصل تیغه‌های دو حلقه، بخار مبرد دچار فشـــردگی می‌شود تا در نهایت در مرکز دو حلقه، متراکم شده و از آن نقطه خارج شود.

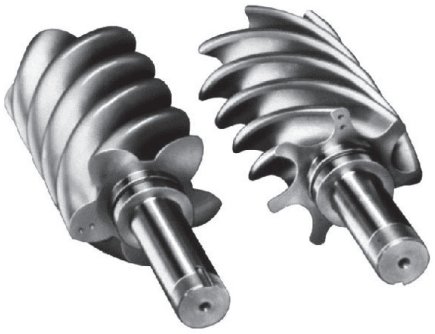
اجزای کمپرسور اسکرول

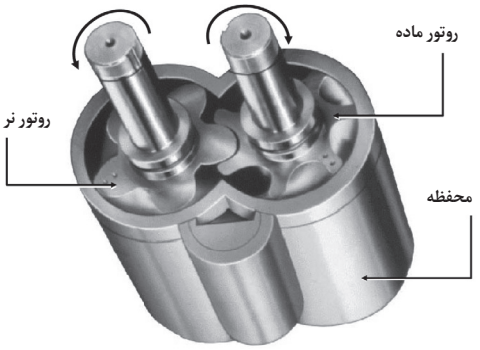


کمپرسورهای اسکرول حداکثر تا ظرفیت 20 تن تبرید مورد استفاده قرار می‌گیرند و به‌طور معمول ساختار آنها عمودی و کاملاً بسته است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود؛ در این نوع کمپرسور هم مانند کمپرسورهای بسته یا نیم‌بسته رفت و آمدی، معبر ورودی بخار مبرد در سمت سیم‌پیچ است تا مبرد ورودی سیم‌پیچ الکتروموتور را خنک کند.

این نوع کمپرسور با توجه به ظرفیت نسبتاً کم و بازده نسبتاً خوب، کاربرد وسیعی در انواع تجهیزات خنک‌کن تراکمی محلی دارد.

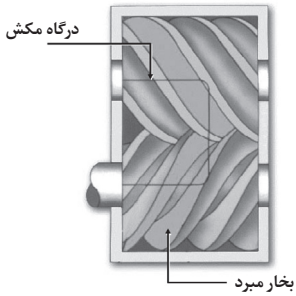
کمپرسور پیچی





دو روتور مارپیچ نر و ماده بخار مبرد را از یک‌سو مکیده و با تغییر حجم، آن را متراکم می‌کند. تنها یکی از این دو روتور به محور الکتروموتور متصل می‌شـــود و روتور دیگر براساس گردش یک روتور و در جهت خلاف آن به گردش در می‌آید.

نحوهٔ تراکم در کمپرسور پیچی

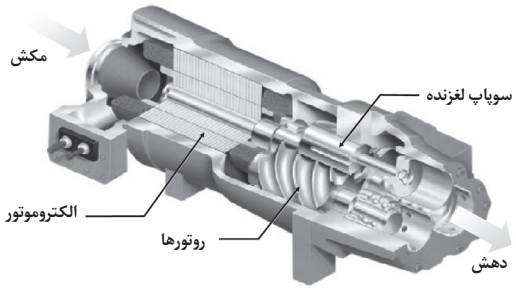




تصویر بالا چگونگی مکش بخار مبرد از یک ســـو و متراکم کردن آن و سپس دهش را از سمت دیگر نمایش می‌دهد.

بخار مبرد در بین دو مارپیچ محبوس شـــده و با گردش روتورها به جلو رانده می‌شود و ضمن حرکت به سمت دهش از حجم آن کاسته و بر فشارش افزوده می‌شود.

اجزای کمپرسور پیچی



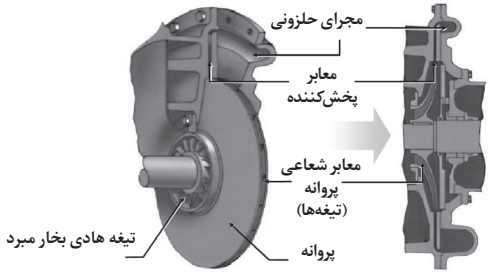
نوعی کمپرسور پیچی بسته در تصویر بالا نمایش داده شده است که در آن مسیر ورود و خروج بخار مبرد کاملاً مشخص است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این نوع کمپرسور هم، ورودی مبرد از سمت اواپراتور، در انتهای کمپرسور و نزدیک به سیم‌پیچ الکتروموتور است.

این نوع کمپرسورها برای چیلرهایی با ظرفیت 70 تا 450 تن تبرید یا 200 تا 1500 کیلووات مورد استفاده قرار می‌گیرند و بازده خوبی نیز دارند.

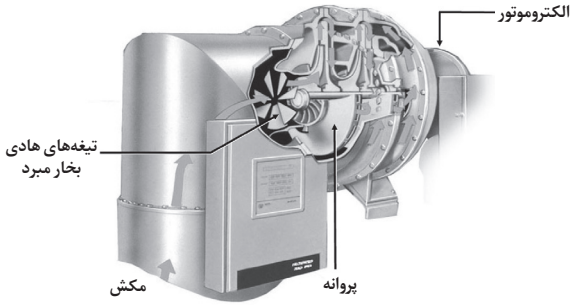
کمپرسور گریز از مرکز





در این نوع کمپرسور یک یا چند پروانهٔ گریز از مرکز با سرعت بخشیدن به بخار مبرد و تبدیل انرژی جنبشی آن به فشار استاتیک، عمل تراکم را انجام می‌دهد. بنابراین در این نوع کمپرسور برخلاف سه نوع کمپرسور دیگر تغییر تدریجی حجم منجر به تراکم نمی‌شود؛ بلکه ورود بخار مبرد پر سرعت خروجی به مجرایی حلزونی شکل موجب افزایش فشار می‌شود. در واقع بخار مبرد پس از افزایش سرعت توسط پروانه وارد مجرای حلزونی شکل خروجی می‌شود و در این مجرا از سرعت مبرد کاسته و به فشار آن افزوده می‌شود.

اجزای کمپرسور گریز از مرکز

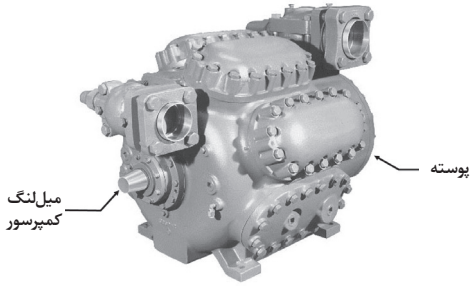


تصویر بالا اجزای اصلی یک کمپرسور گریز از مرکز دو پروانه‌ای را نشان می‌دهد.

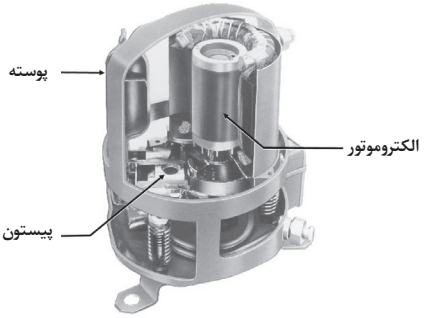
وجود دو یا چند پروانه منجر به افزایش سرعت بخار مبرد ورودی به صورت مرحله‌ای و متوالی می‌شود.

کمپرسورهای گریز از مرکز برای چیلرهایی با ظرفیت 100 تا 3000 تن تبرید یا 350 تا 10500 کیلووات مورد استفاده قرار می‌گیرند و از این نظر پرظرفیت‌ترین نوع کمپرسور محسوب می‌شود.

کمپرسور باز، بسته و نیم بسته

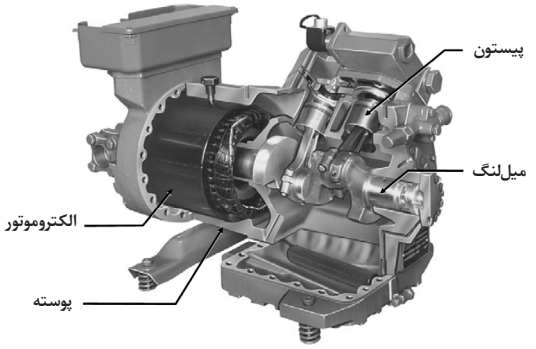


تصویر بالا نوعی کمپرسور باز را نمایش می‌دهد. در این نوع، کمپرسور و الکتروموتور به عنوان دو واحد مجزا به کمک کوپلینگ به یکدیگر متصل می‌شوند. در این نوع ارتباط، الکتروموتور به صورت مجزا خنک شده و تعمیر و نگهداری آن نیز بسیار ساده‌تر است؛ اما احتمال نشتی مبرد از محل بیرون‌زدگی محور کمپرسور وجود دارد.



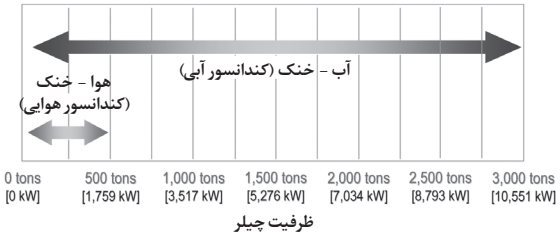
تصویر بالا نوعی کمپرسور بسته را نمایش می‌دهد که در

آن کمپرســـور و الکتروموتور در یک پوسته کاملاً جوشکاری شده قرار گرفته‌اند. در این نوع، الکتروموتور توسط بخار مبرد ورودی خنک می‌شود. مزیت این نوع کمپرسور، عدم وجود نشـــتی مبرد است؛ اما دسترسی به کمپرسور و الکتروموتور بســـیار مشکل اســـت. به همین دلیل از این نوع کمپرسور در ظرفیت‌های بالا استفاده نمی‌شود؛ بلکه حداکثر ظرفیت چنین کمپرسورهایی 20 تن تبرید است.



تصویر بالا نوعی کمپرســـور نیم بسته را نمایش می‌دهد کـــه در آن کمپرســـور و الکتروموتـــور در یک پوســـته قرار می‌گیرند؛اما قسمت‌هایی از کمپرسور قابل باز شدن است و دسترسی محدودی به برخی اجزا وجود دارد. به عنوان مثال در کمپرسور نمایش داده شـــده؛ سرسیلندرها و هم‌چنین درپوش پمپ روغن قابل باز شدن است.

انواع کندانسور

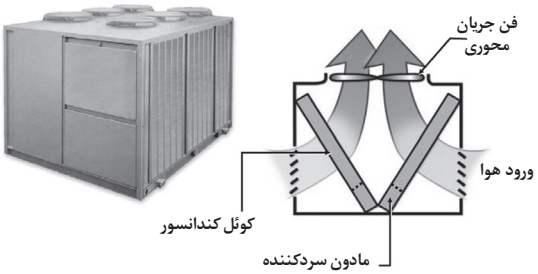


به‌طـــور کلی کندانســـورها در دو گروه عمـــدهٔ آبی و هوایی طبقه‌بندی می‌شـــوند. البته گروهی دیگر از کندانسورها نیز با عنوان کندانسور تبخیری وجود دارند که در واقع ترکیبی از دو کندانســـور هوایی و آبی است و اســـتفاده از آنها رواج کمتری دارد.

کندانسورهای آبی در ظرفیت‌های 10 تا 3000 تن تبرید یا 35 تا 10500 کیلووات کاربرد دارند؛ اما ظرفیت کندانسورهای هوایی کمتر و بین 7.5 تا 500 تن تبرید یا 25 تا 1580 کیلووات است.

کندانســـورهای هوایی علیرغم ظرفیت کمتر محدودیت استفاده از نظر اقلیمی ندارند؛ اما کندانسورهای آبی با توجه بـــه نیاز به برج خنک‌کننده برای مناطق مرطوب مناســـب نیستند.

کندانسور هوایی



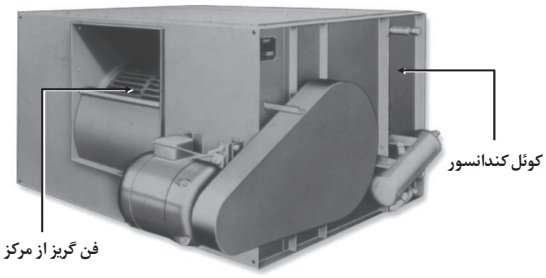
به‌طور معمول کندانسورهای هوایی[1] فارغ از کوئلی که مبرد در آن تبدیـــل به مایع می‌شـــود؛ دارای فن جریان محوری هستند.

اختلاف دمای بین مبرد و هوایی که توســـط فن از روی کوئل عبور می‌کند، موجب تغییر فاز مبرد و تبدیل آن به مایع می‌شود. مایع جمع شده در بخش زیرین کوئل در اثر تبادل حرارت بیشتر و کاهش دما تبدیل به مایع مبرد مادون سرد خواهد شد.

کندانسور هوایی از مزایایی مانند عدم نیاز به آب، تعمیر و نگهداری آسان‌تر، عدم وجود خطر یخزدگی و قابلیت استفاده در مناطق مرطوب برخوردار است.

1- Air –Cooled Condensers

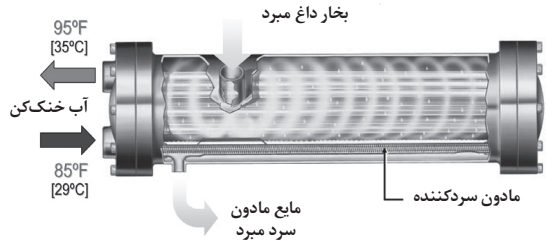
کندانسور هوایی با فن گریز از مرکز



کندانسورها به‌طور متعارف دارای فن جریان محوری هستند؛ اما انـــواع گریز از مرکز آنها نیز وجود دارد. کندانســـورهای هوایی با فن گریز از مرکز[1] هنگامی به کار گرفته می‌شـــود که امکان نصب کندانســـور در فضای آزاد وجود نداشته و لازم باشد تا هوای گرم توسط کانال به فضای باز هدایت شود و یا هوای تغذیهٔ آن نیز توسط کانال تأمین شود. در این صورت با توجه به این که فن‌های گریز از مرکز بر خلاف فن‌های جریان محوری توانایی غلبه بر افت فشار استاتیک را دارند و علاوه بر آن کم ســـر و صدا نیز هستند؛ زمینهٔ کاربرد مؤثری پیدا می‌کنند. اگرچه به‌طور کلی بازده فن‌های گریز از مرکز کمتر از فن‌های جریان محوری است.

1- *Centrifugal fan air-cooled condenser*

کندانسور آبی

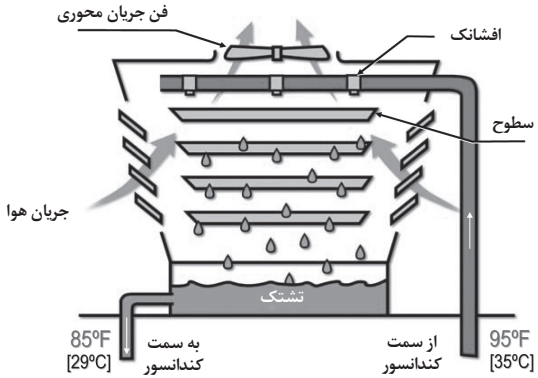


این نوع کندانسورها همان‌گونه که از نامشان پیداست، با آب خنک شده و مبرد را تبدیل به مایع می‌کنند. به‌طور معمول آب خنک این نوع کندانسور از طریق برج خنک‌کننده تأمین می‌شـــود؛ اما امکان استفاده از آب رودخانه، برکه و چاه نیز برای آنها وجود دارد، مشـــروط بر این که تمهیدات ویژه‌ای مانند سختی‌گیری آب، کنترل دبی و دما پیش‌بینی شود.

در کندانســـورهای آبی[1] پوســـته – لوله[2] که نمونه‌ای از آن در تصویر بالا مشـــاهده می‌شود. آب رفت و برگشت برج خنک‌کننـــده از میان لوله‌ها عبور می‌کنـــد و بخار مبرد در فضای پوســـته با دادن گرمای خود بـــه آب تبدیل به مایع می‌شـــود. مبرد جمع شـــده در بخش زیرین پوسته که در معرض آب خنک ورودی قرار دارد، در فشـــار ثابت به دمای کمتری رسیده و مادون سرد می‌شود.

1- Water-Cooled Condensers
2- Shell – and- Tube

برج خنک‌کننده



برج خنک کننده[1] نوعی مولد سرمایش تبخیری است که برای تأمین آب خنک کندانسورهای آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آب گرم برگشتی از کوئل به داخل برج پاشیده می‌شود و از سطوح جاسازی شده در برج می‌گذرد تا با ایجاد سطح تماس زیاد با هوا تبادل گرما کند.

با توجه به سطح تماس زیاد بخشی از آب تبخیر شده و گرمای تبخیر را از بخش دیگری از آب می‌گیرد.

آب خنک باقیمانده در تشتک زیرین برج جمع‌آوری شده و راهی کندانسور می‌شود.

دمای نهایی آب خروجی برج تابعی از دمای مرطوب هواست. چنان‌چه دمای هوای مرطوب زیاد و اختلاف آن

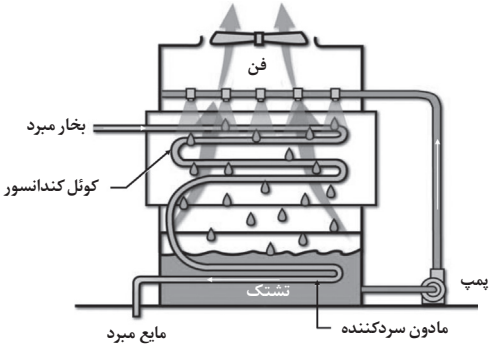
1- *Cooling Tower*

با دمای خشک کم باشـــد، ظرفیت تبخیر کاهش می‌یابد. بنابراین برج خنک‌کننده مناســـب نصب در مناطق مرطوب نیست.

از آنجاکه برج خنک‌کننده براســـاس فرایند تبخیر عمل می‌کنـــد؛ همواره مقداری از آب آن کم شـــده و باید به‌طور مستمر آب آن از طریق سختی‌گیر جبران شود.

تبخیر آب، غلظت املاح را نیز در آب باقیمانده افزایش می‌دهد. بنابراین در صورت افزایش غیر مجاز مواد محلول، باید مقداری از آب برج به میزانی که مواد محلول به زیر حد مجاز برسند با آب تازه تعویض شود.

کندانسور تبخیری



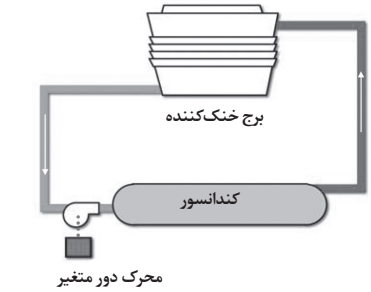
قرار گرفتن کندانسور در داخل محفظه‌ای که هم‌چون یک برج خنک‌کننده عمل می‌کند؛ یک کندانسور تبخیری[1] را تشکیل می‌دهد.

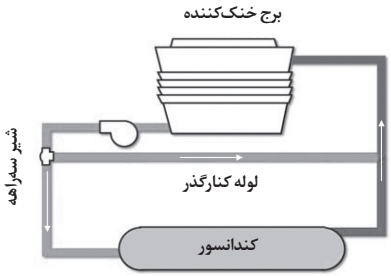
در کندانسور تبخیری که گاهی برج مدار بسته نیز خوانده می‌شود، آب به‌طور مستمر توسط پمپی از تشتک مکیده شده و از طریق افشانک‌ها به روی کوئل پاشیده می‌شود.

در این نوع کندانسور، مبرد از داخل کوئل تعبیه شده در برج عبور می‌کند. به این ترتیب آب، گرمای تبخیر را از بخار مبرد جاری در کوئل گرفته و مبرد با از دست دادن گرما تبدیل به مایع می‌شود.

1- Evaporative Condenser

کنترل دبی آب کندانسور

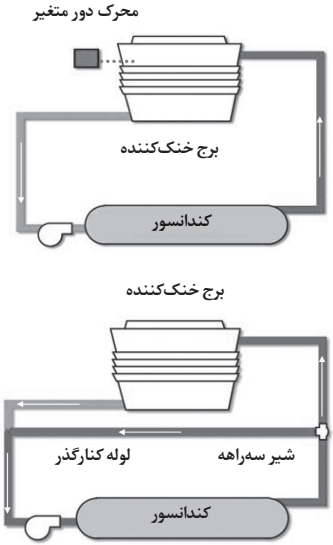




برای کنترل دبی آب کندانسور دو روش استفاده از پمپ دور متغیر و شیر سه راهه وجود دارد که هر دو در تصاویر بالا نمایش داده شده‌اند.

در صورت استفاده از شیر سه راهه، بخشی از آب متناسب با نیاز از طریق لولهٔ کنارگذر بدون این‌که از کندانسور عبور کند به برج باز می‌گردد.

کنترل دمای آب کندانسور

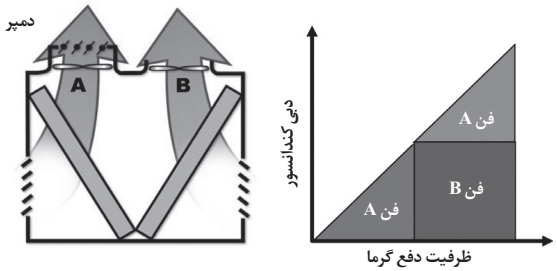


برای کنترل دمای آب کندانســـور می‌توان از دو شیوهٔ نصب شیر ســـه راهه و کنترل دور فن به‌طور انفرادی یا به همراه هم استفاده کرد.

در صورت استفاده از شیر سه راهه بخشی از آب متناسب با نیاز بدون گذر از برج خنک‌کننده وارد کندانسور می‌شود.

با روشن و خاموش کردن فن و یا تغییر دور آن که منجر به تغییر دبی هوا می‌شود نیز می‌توان ظرفیت خنک‌کنندگی برج و به تبع آن دمای آب کندانسور را کنترل کرد.

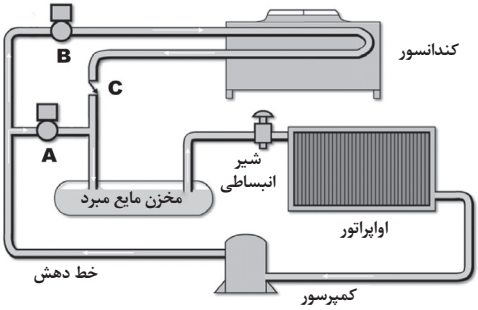
کنترل کندانسور هوایی



کنترل کندانسور هوایی از طریق کنترل فن امکان‌پذیر است. با روشـــن و خاموش کردن فن و یـــا تغییر دور آن به کمک محرک‌های دور متغیر می‌توان ظرفیت کندانســـور هوایی را کنترل کرد. وجود دمپر در مسیر هوای کندانسور نیز امکان کنترل جریان هوا را از طریق باز و بســـته کردن دمپر توأم با کاهش دبی فن ممکن می‌سازد.

در تصویر بالا، کندانسوری با دو فن A و B نمایش داده شـــده است که فن A مجهز به دمپر هم هست. هر دو فن و دمپر تحت تأثیر فشار تقطیر عمل می‌کنند. چنان‌چه نیاز به دفع گرمای بیشتری باشد؛ دمپر فن A باز شده و اجازه عبور جریان هوای بیشتری را می‌دهد و در صورت نیاز بیشتر، فن A و سپس فن B با تمام ظرفیت کار خواهند کرد.

کنترل پرشدگی کندانسور هوایی



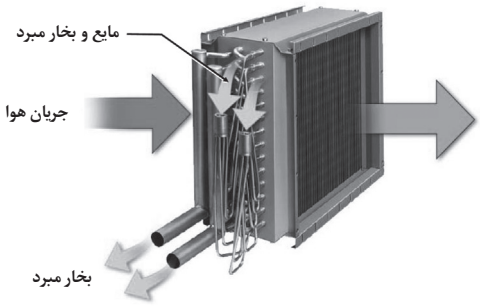
یک روش رایج برای کنترل ظرفیت کندانسور هوایی، اعمال کنتـــرل بر مقدار مایع مبرد اســـت. وقتـــی لوله‌های کوئل کندانسور از مایع مبرد پر می‌شود، سطح تبادل تأثیر خود را از دست می‌دهد؛ زیرا بخار مبردی باقی نمی‌ماند تا کندانسور آن را مایع کند. بنابراین ظرفیت کندانســـور کاهش یافته و فشار تقطیر افزایش می‌یابد.

در شـــرایط طبیعی وقتـــی هوای محیط گرم اســـت، شـــیرهای B و C باز و شیر A بسته می‌شود. فرض کنید که بار سیستم کاهش پیدا می‌کند و همزمان دمای هوای بیرون هـــم به درجه‌ای کاهش می‌یابد کـــه در آن نرخ دفع گرما از کندانسور در تعادل با بار در فشار تقطیر کمتر از حد مطلوب است. حداقل فشار تقطیر، نقطهٔ تنظیم A است. چنان‌چه فشـــار تقطیر در خط دهش کاهش یابد؛ شیر B وارد عمل شـــده و فشـــار را تنظیم می‌کند و هنگامی که فشار به زیر نقطهٔ تنظیم رسید، بار دیگر شیر B بسته می‌شود. در صورت

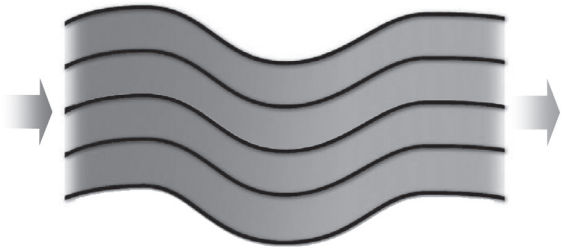
افت فشار تقطیر، شـــیر A باز شده و جریان بخار مبرد گرم و پر فشار را به‌طور مستقیم به مخزن مایع هدایت می‌کند. بخار مبرد پر فشار ورودی موجب افزایش فشار داخل مخزن مایع می‌شـــود و از آنجاکه فشار داخل مخزن بیش از فشار کندانسور می‌شود؛ شیر یک‌طرفه C اجازه نمی‌دهد که مبرد به کندانسور راه یابد.

با بســـته بودن شیر B و باز ماندن شیر A به تدریج فشار در مخـــزن و خط دهش افزایش می‌یابد و وقتی مقدار آن به نقطهٔ تنظیم رسید، شیر B باز شده و اجازه می‌دهد که بخار گرم و پر فشـــار مبرد وارد کندانسور شود. در این حالت نیز مادامی‌که فشار تقطیر کمتر از فشار مخزن تجمع مایع باشد، شیر یک‌طرفه C اجازه عبور مبرد به مخزن را نمی‌دهد. در این حالت کندانسور پر می‌شود تا جایی که فشار تقطیر افزایش یافته و توانایی غلبه بر فشار مخزن مایع را کسب می‌کند. با افزایش فشار تقطیر، امکان عبور مایع مبرد از شیر یک‌طرفه C به وجود می‌آید. در این حالت شیر A که نقطهٔ تنظیم فشار آن براساس حداقل فشار تقطیر است، بسته می‌شود و اجازه ورود بخار مبرد پر فشار به مخزن مایع را نمی‌دهد.

اواپراتور لوله پره‌دار



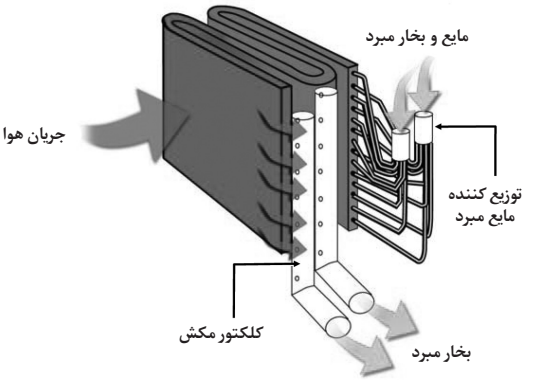
اواپراتور لوله پره‌دار[1] در واقع نوعی کوئل انبســـاط مستقیم است که هوا را خنک می‌کند. وجود صفحات شکل داده شده بر روی لوله‌های حاوی مبرد موجب افزایش سطح تماس با هوای عبوری و ایجاد توربولانس در جریان هوا می‌شود و در عین حال از لایه لایه شدن هوا نیز جلوگیری می‌کند.



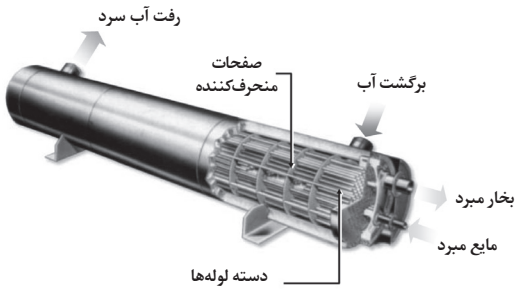
برای ایجاد یکنواختی در انتقال حرارت، مبرد در چندین مدار موازی به صورت یکســـان از طریق توزیع‌کننده، جریان

1- Finned-Tube Evaporator

پیدا می‌کند. تمام لوله‌ها و خطوط توزیع موازی دارای قطر و طول یکسانی هستند.



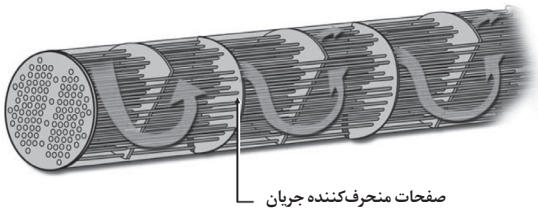
اواپراتور پوسته – لوله



اواپراتور پوسته – لوله[1] که در چیلرهای تراکمی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ نوعی تبخیرکننده انبساط مستقیم برای خنک کردن آب است.

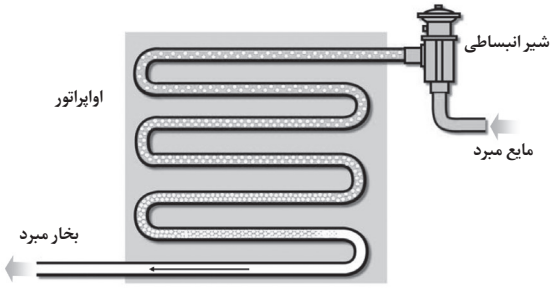
در این نوع اواپراتور، مبرد در داخل لوله‌ها جریان یافته و در همان جا تبخیر می‌شود و گرمای تبخیر را از آب موجود در پوسته می‌گیرد.

در اواپراتور پوسته – لوله از صفحاتی که لوله‌ها را در خود جای داده‌اند به منظور منحرف‌کننده جریان آب استفاده می‌شود تا سطح تماس بین لوله‌های حاوی مبرد و آب افزایش یابد.



1- *Shell-and-Tube Evaporator*

کنترل مبرد در اواپراتور لوله – پره‌دار

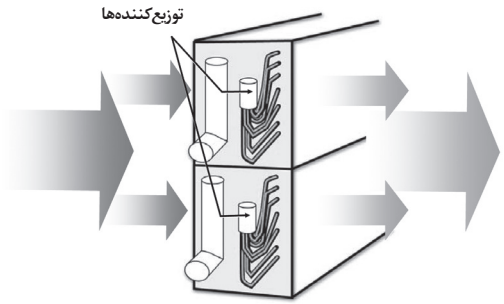


کنترل نرخ جریان در اواپراتور به کمک شـــیر انبســـاطی و متناسب با مقدار بار صورت می‌گیرد.

انبساط ناشی از ایجاد فشار توسط شیر موجب می‌شود که به همراه مایع مبرد، مقداری بخار مبرد نیز وارد اواپراتور شود.

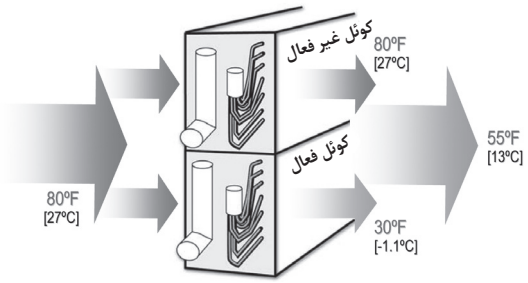
مبـــرد در طول مســـیر اواپراتور و با اخـــذ گرما از هوای عبوری در نهایت به‌طور کامل تبدیل به بخار می‌شود.

آرایش دو تکه مجزا

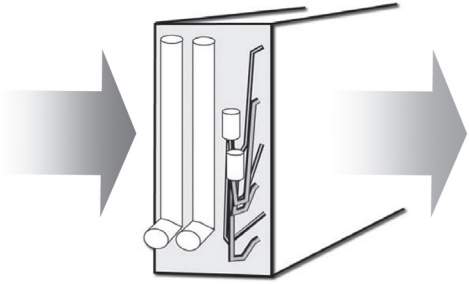


در صورت اســـتفاده از دو کوئل انبســـاط مستقیم دو تکه، هریـــک از کوئل‌ها یا اواپراتورهای لوله – پره‌دار دارای شـــیر انبساطی مخصوص خود خواهند بود و به صورت یکسان و به موازات یکدیگر از دمای هوای عبوری می‌کاهند. اما امکان کنترل هریک به صورت جداگانه وجود دارد.

این نوع آرایش که در تصویر بالا مشاهده می‌شود؛ آرایش «افقی مجزا- جریان موازی» خوانده می‌شود. با تغییر ظرفیت هر یک از کوئل‌های بالا یا پائین، دمای هوای مخلوط خروجی تابعی از دبی و دمای هوای هریک از کوئل‌ها خواهد بود.



آرایش درهم‌تنیده

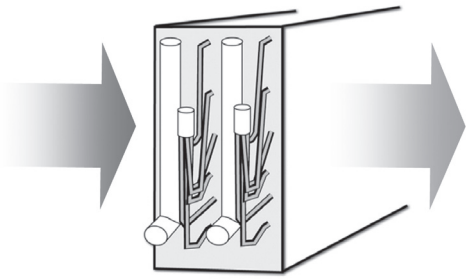


در این نوع اواپراتور، لوله‌های دو کوئل مجزا با دو توزیع‌کننده جداگانه لابه‌لای یکدیگر قـرار می‌گیرند. بنابراین با کنترل هریک از کوئل‌ها می‌توان دمای هوای عبوری را کنترل کرد.

در بار جزیی با توجه به این‌که سـطح کوئل به نسـبت جریان مبرد افزایش می‌یابد، خطر یخ‌زدگی کاهش می‌یابد. از این رو این نوع کوئل‌ها بسیار مناسب استفاده در واحدهای حجم متغیر (VAV) هستند.

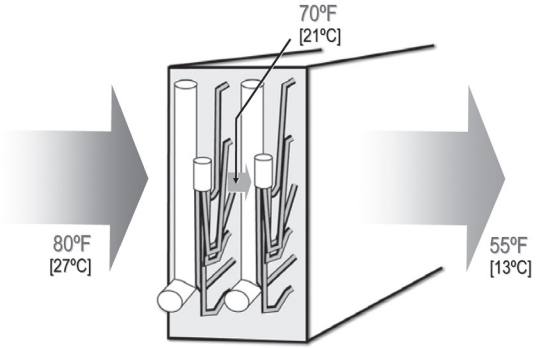
هم‌چنین این نوع کوئل‌ها عملکرد مناسبی برای کنترل رطوبت در بار جزیی دارند.

آرایش ردیفی

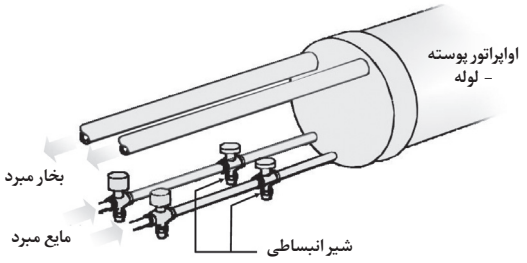


در این نوع آرایش دو ردیف کوئل انبساط مستقیم به صورت جداگانه اما متوالی در یک راســـتا قــرار می‌گیرند. از این رو این نوع کوئل «دوتکه عمودی - جریان ســـری» نیز خوانده می‌شود.

در بارهای کم تنها کوئل دوم فعال می‌شود و در بار کامل هر دو کوئل در مدار استفاده قرار می‌گیرند.



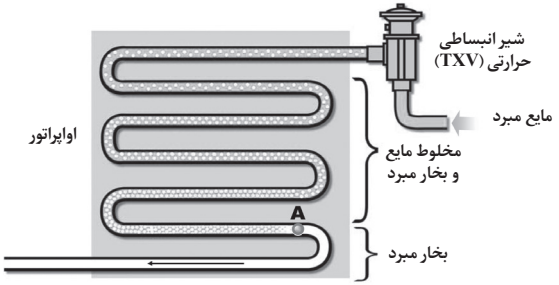
کنترل اواپراتور پوسته – لوله



در اواپراتورهای پوسته – لوله نیز وظیفهٔ کنترل جریان مبرد متناسب با بار به عهدهٔ شیر انبساطی است.

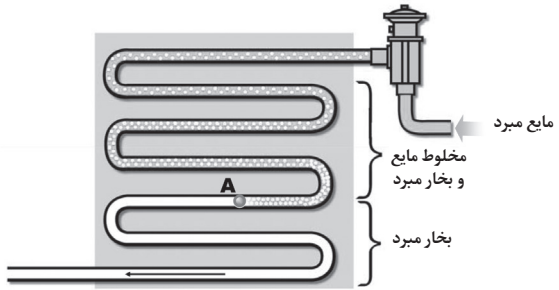
چنان‌چه اواپراتور پوسته – لوله دارای بیش از یک دسته لوله باشد، به ازای هر دسته، از یک شیر انبساطی مجزا استفاده می‌شود. به‌طور معمول اواپراتور چیلرها دارای دو دسته لولهٔ مجزا با دو شیر انبساطی هستند.

شیر انبساطی حرارتی



همان‌گونه که پیش از این نیز اشـــاره شـــد؛ حفظ اختلاف فشـــار و نرخ مایع مبرد ورودی به اواپراتور متناسب با بار به عهدهٔ شیر انبساطی است و یکی از رایج‌ترین انواع وصاله‌های انبساطی، شیر انبســـاطی حرارتی[1] است که براساس دمای خروجی اواپراتور عمل می‌کند.

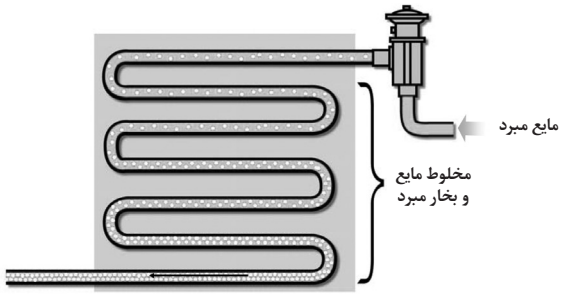
در تصویر بالا نقطهٔ A به عنوان مرزی تعیین شده که پس از آن داخل اواپراتور تنها بخار مبرد وجود دارد.



تصویر بالا وضعیتی را نشان می‌دهد که در آن بخار مبرد

1- *Thermostatic Expansion Valve(TXV)*

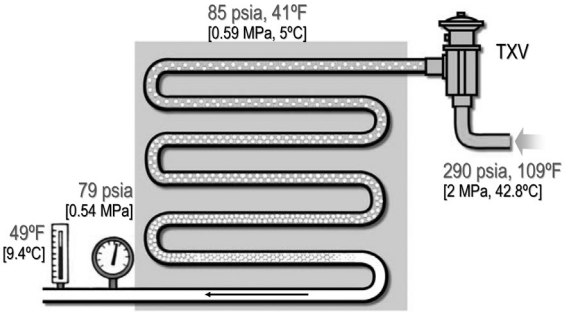
بیشتری تشکیل شده و این نشانگر بار سرمایشی بیشتر است.



تصویر بالا وضعیتی را نشـــان می‌دهد کـــه در آن تمام اواپراتور مملو از مایع اســـت. وجود مایع در این حد نشان‌گر بار کم و عدم تبخیر است.

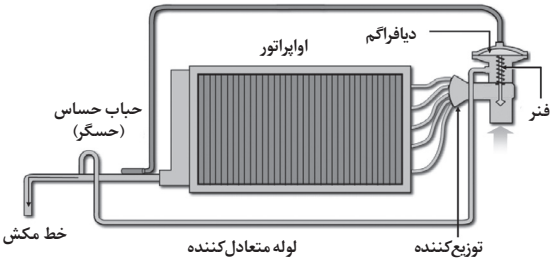
چنان‌چه مایع مبرد در اواپراتور زیاد باشد، شیر انبساطی نباید اجازه ورود مایع بیشتری را به اواپراتور بدهد.

فارغ از این که وجود مایع مبرد در اواپراتور نشانهٔ بار کم اســـت، خروج مایع مبرد از اواپراتور و ورود آن به کمپرسور می‌تواند خساراتی را به بار آورد. بنابراین شیر انبساطی باید بـــه گونه‌ای عمل کند که خروجی اواپراتور حتماً حاوی بخار مبرد باشد و نه مایع مبرد.



تصویر بالا مثالی از فرایند تبخیر در اواپراتور را بعد از شیر انبساطی حرارتی نمایش می‌دهد. در اینجا فرض شده است که دمای مبرد پس از ورود به اواپراتور در فشار (85psia(0.59MPa برابر با (41°F(5°C است و فرض می‌کنیم که مبرد طی عبور از کوئل دچار افت فشاری به اندازه (6psi(0.04MPa می‌شود. بنابراین بخار مبردی که اواپراتور را ترک می‌کند دارای فشار (79psia(0.54MPa است. دماسنج در خروجی اواپراتور نشان می‌دهد که بخار مبرد دارای دمای (49°F(9.4°C و فوق داغ اســـت. مطابق جدول خواص مبردها، مبرد R-22 در فشار (79psia(0.54MPa دارای دمای (37°F(2.8°C است. اختلاف دما بـــه اندازهٔ (12°F(6.7°C بین دمای تبخیر R-22 و دمای بخار مبرد خروجی از اواپراتور نشان می‌دهد که مبرد گرمای اضافی دریافت کرده و به حالت فوق داغ در آمده است. زیرا بدون تغییر فشار، دما افزایش یافته است. چنین حالتی ورود هرگونه مایعی را به کمپرسور منتفی می‌کند و یکی از وظایف مهم شیر انبساطی نیز همین است.

چگونگی عملکرد شیر انبساطی حرارتی

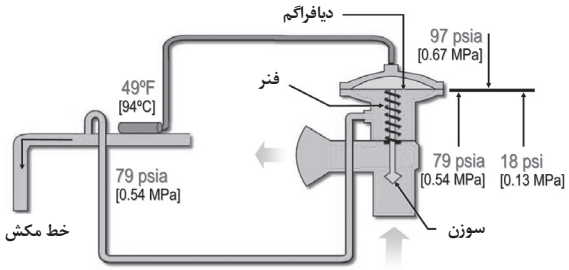


همان‌گونه که در تصویر بالا مشاهده می‌شود؛ حسگر حرارتی شـــیر انبســـاطی روی لولهٔ مکش یا خروجی اواپراتور نصب می‌شود و براساس دمای بخار مبرد خروجی، دیافراگم شیر را پائین و بالا می‌برد.

حرکـــت دیافراگم به یک ســـوزن و فنر منتقل شـــده و متناسب با حرکت سوزن، مسیر ورود مایع مبرد کم یا زیاد می‌شود.

ماده موجود در حسگر شیر انبساطی خود مبردی است که تحت تأثیر گرمای لولهٔ مکش تبخیر شـــده و به دیافراگم فشار وارد می‌کند.

مثالی از عملکرد شیر انبساطی حرارتی



در ایـــن مثال دمای مبـــردی که اواپراتـــور را ترک می‌کند 49°F(9.4°C) اســـت کـــه ایـــن مقـــدار، فشـــاری معادل 97psia(0.67MPa) در لوله و حباب حســـاس شیر انبساطی حرارتی ایجاد می‌کند. این فشـــار به بخش فوقانی دیافراگم وارد می‌شود.

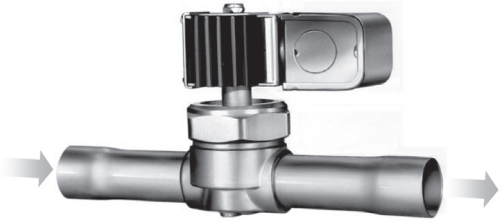
از سوی دیگر فشار خروجی اواپراتور 79psia(0.54MPa) اســـت که از طریق لولهٔ متعادل‌کننده بـــه زیر دیافراگم وارد می‌شود. اختلاف فشار بین این دو خط وضعیت دیافراگم و سوزن را تعیین می‌کند.

باید توجه داشت که فشار فنر نیز 18psi(0.13MPa) است که بر مبنای دمای 12°F(6.7°C) بخار مبرد فوق داغ خروجی از اواپراتور تنظیم شـــده است. تحت این شرایط فشار در دو سمت دیافراگم متعادل اســـت. در صورت هر گونه تغییری در فشـــار که خود ناشی از تغییر دماست، تعادل فشار در دو

بخش دیافراگم به هم خورده و دیافراگم متناسب با فشار، بالا یا پائین می‌رود.

توجه به این نکته ضروری است که با پائین رفتن سوزن، مبرد بیشتری وارد اواپراتور می‌شود و برعکس با بالا رفتن سوزن مسیر ورودی مبرد تنگ‌تر می‌شود.

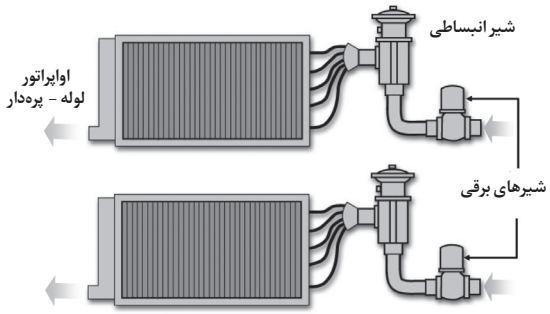
شیر برقی خط مایع



شـــیر برقی خط مایع در واقع نوعی شـــیر مغناطیســـی یا بوبین‌دار[1] است که در حالت عادی بسته[2] است و در صورتی که به بوبین آن برق برسد، مسیر مایع مبرد را باز می‌کند.

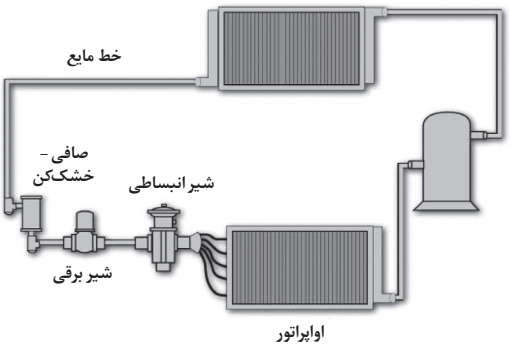
1- *Solenoid Valve*
2- *Normally-Closed*

شیر برقی برای کنترل جریان مایع



در صورت به کارگیری دو یا چند اواپراتور، برای جریان یا عدم جریان مایع مبرد در هر یک از اواپراتورها می‌توان از شیر برقی اســـتفاده کرد. به عنوان مثال یکی از کاربردهای شیر برقی برای اواپراتورهای دو تکه – جریان موازی است.

شیر برقی برای چرخهٔ پمپ دان

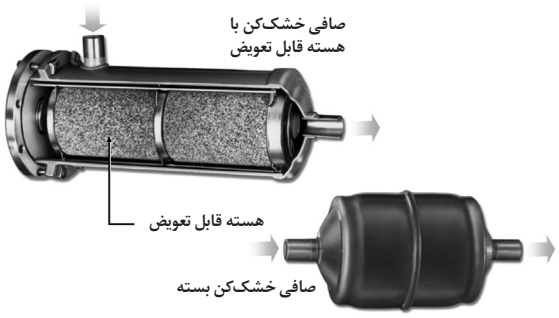


به هنگام خاموش کردن چیلر ابتدا شیر برقی خط مایع بسته می‌شود تا این که فشار اواپراتور در اثر مکش کمپرسور کاهش یابد. وقتی فشار مکش به زیر نقطهٔ تنظیم کنترل‌کننده فشار کم رسید؛ کمپرسور با فرمان این کنترل‌کننده خاموش می‌شود. طی این عملیات مبرد مایع در کندانسور جمع‌آوری می‌شود و خطر وجود مایع در خط مکش و کمپرسور به هنگام راه‌اندازی بعدی از بین می‌رود. چنان‌چه قرار باشد که چیلر مدت طولانی خاموش بماند؛ کل مبرد مایع در کندانسور و مخزن تجمع مبرد جمع‌آوری شده و شیرهای دستی کمپرسور نیز بسته می‌شود.

جمع‌آوری مایع مبرد در کندانسور طی این فرایند، پمپ دان[1] خوانده می‌شود.

1- Pump-Down

صافی – خشک‌کن خط مایع



صافی – خشـــک‌کن[1] قبل از شیر برقی و در خط مایع نصب می‌شود.

حساسیت شیر انبســـاطی اقتضا می‌کند که از ورود هر گونه ناخالصی به آن جلوگیری شود. از این رو صافی قبل از شیر انبساطی و شیر برقی نصب می‌شود تا توانایی لازم برای گرفتن ذرات را داشته باشد.

وجـــود ذرات احتمالی، ناشـــی از خوردگـــی تدریجی قسمت‌های داخلی چیلر است.

این فیلتر فارغ از جذب ذرات، رطوبت احتمالی مایع مبرد را نیز جذب می‌کند.

صافـــی – خشـــک‌کن‌ها در دو نوع مورد اســـتفاده قرار می‌گیرند. نوعی از آنها کاملاً جوشکاری شده و آب‌بندی است و در صورت گرفتگی باید به‌طور کلی تعویض شـــود؛ اما نوع

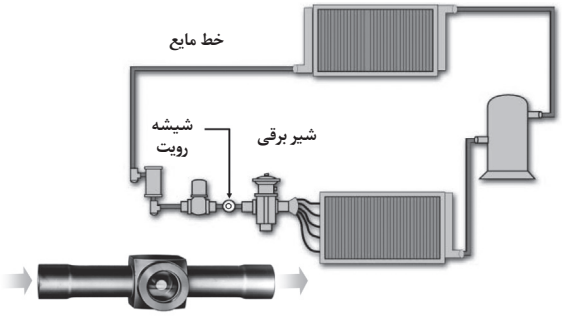
1- *Filter-Drier*

دیگر از صافی – خشک‌کن‌ها به‌طور کلی تعویض نمی‌شوند، بلکه تنها هسته یا فیلتر آنها تعویض می‌شود.

برای تعویض صافی – خشک‌کن‌ها یا هسته[1] آنها دو شیر کروی در دو سمت آن نصب می‌شود.

1- Core

شیشه رؤیت



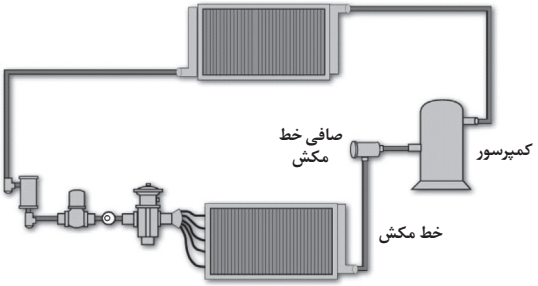
شیشـــه رؤیت[1] بین شیر برقی و شـــیر انبساطی و روی خط مایع نصب می‌شود تا از طریق آن بتوان جریان مایع در خط را مشاهده کرد.

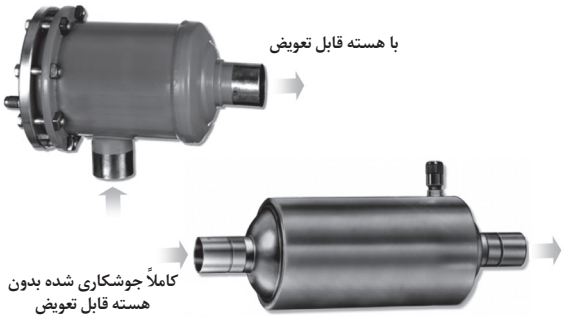
شیشه‌های رؤیت قابلیت نمایش رطوبت موجود در مبرد را نیز دارند.

دیدن حباب در مایع مبرد پیش از شیر انبساطی نشان می‌دهد که مقداری از مایع قبل از شیر به‌طور آنی تبدیل به بخار شده اســـت و این موضوع باید مورد بررسی قرار گیرد. زیرا شیرانبســـاطی فقط توانایی کنترل جریان مایع مبرد را دارد.

1- *Sight Glass*

صافی سمت مکش

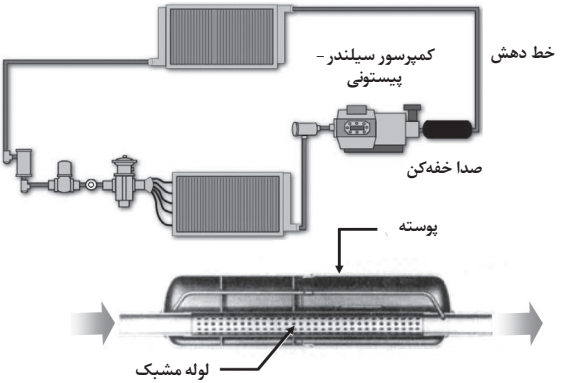




برای جلوگیری از ورود هر ناخالصی به کمپرسور از صافی در خط مکش کمپرسور استفاده می‌شود.

صافی سمت مکش نیز مانند صافی – خشک‌کن سمت مایــع در دو نوع یک بار مصرف و با فیلتر قابل تعویض مورد استفاده قرار می‌گیرد.

صدا خفه‌کن خط گاز داغ



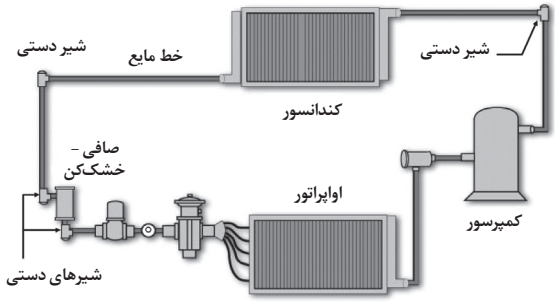
کمپرســـورهای رفت و آمدی ارتعاش زیادی دارند و پر سر و صدا هســـتند. برای کاهش ارتعاش و ســـر و صدای آنها در ســـمت دهش یا خروجی گاز داغ پر فشـــار از صدا خفه‌کن[1] استفاده می‌شود.

صدا خفه‌کن تشکیل شـــده است از یک محفظه که در میان آن یک لوله مشبک قرار دارد. خود محفظه نیز به چند بخش تقسیم شده است.

صدا خفه‌کن باید در حد ممکن کمترین فاصله را نسبت به خروجی دهش کمپرسور داشته باشد.

1- *Muffler*

شیرهای دستی قطع‌کن

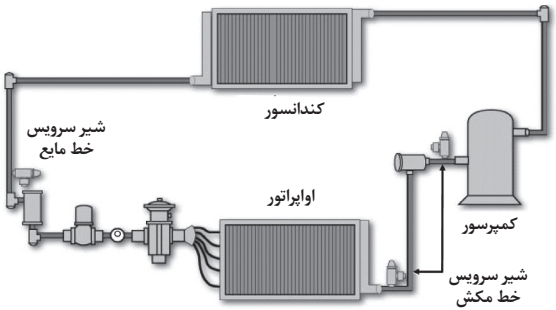


وجود شیرهای دستی جداکننده یا قطع‌کن[1] در قسمت‌های مختلف مدار سرمایش برای موارد زیر ضروری است:

- تعویض صافی – خشک کن خط مایع
- جدا کردن کمپرسور برای انجام تعمیرات یا سرویس‌های معمول
- جدا کردن کندانسور یا مخزن تجمع مایع برای شارژ مبرد یا سرویس‌های معمول

1- *Shutoff Valve*

شیر سرویس



اســـتفاده از شیرهای ســـرویس یا درگاه‌های دسترسی[1] در بخش‌های مختلف مدار سرمایش برای شارژ مبرد و روغن و نصب دماسنج، فشارسنج و سایر لوازم اندازه‌گیری و آزمایش ضروری است.

1- Access Port

مراجع

For more information, refer to the following references:

- Trane Air Conditioning Manual
- Trane Reciprocating Refrigeration Manual
- Helical-Rotary Water Chillers Air Conditioning Clinic (Trane literature order number TRGTRC012-EN)
- Centrifugal Water Chillers Air Conditioning Clinic (Trane literature order number TRGTRC010-EN)
- Hot Gas Bypass Control Applications Engineering Manual (Trane literature order number AM-CON10)
- ASHRAE Handbook – Fundamentals
- ASHRAE Handbook – Refrigeration
- ASHRAE Handbook – Systems and Equipment
- "The DX Refrigerant Cooling Coil Conundrum" (Trane Engineers Newsletter, 1988—volume 17, number 1)

Visit the ASHRAE Bookstore at www.ashrae.org.

For more information on additional educational materials available from Trane, contact local Trane office (request a copy of the Educational Materials catalog – Trane order number EM-ADV1) or visit our online bookstore at www.trane.com/bookstore/.

تاکنون از همین مؤلف منتشر شده است

۱- تئوری گشایش‌ها (سه جلد)، انتشارات گوتنبرگ، ۱۳۶۸
۲- فرهنگ تأسیسات ساختمان، ویراست اول (انتشارات سالکان ۱۳۷۶)، ویراست دوم (نشر کتاب دانشگاهی ۱۳۸۳)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۸)
۳- تله بخار، ویراست اول (انتشارات سورمق ۱۳۸۲)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)
۴- راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه مطبوع ویرایش یازدهم، چاپ اول تا چهارم (نشر کتاب دانشگاهی ۱۳۸۴)، چاپ پنجم (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، چاپ ششم (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)
۵- طبقه‌بندی تجهیزات و سیستم‌ها، ویراست اول (انتشارات سورمق ۱۳۸۵)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۰)
۶- مراجعات سریع، ویراست اول (انتشارات سورمق ۱۳۸۵)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۸)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)
۷- برق برای تهویه مطبوع، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)
۸- سایکرومتریک، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)
۹- چیلر جذبی، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۰)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۷)
۱۰- دستنامه تأسیسات، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۸)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۷)

۱۱- فرهنگ جیبی تأسیسات ساختمان، انتشارات یزدا ۱۳۸۹
۱۲- طراحی موتورخانه، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۹)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۰)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۴)
۱۳- اقلیم، معماری، تهویه‌مطبوع، چاپ اول (انتشارات یزدا ۱۳۹۰)، چاپ دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)
۱۴- جزئیات تأسیسات ساختمان، انتشارات یزدا ۱۳۹۱
۱۵- چیلر تراکمی، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۹۱)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۵)
۱۶- تأسیسات مکانیکی برای دانشجویان معماری، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۹)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۰)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۱)، ویراست پنجم (انتشارات یزدا ۱۳۹۸)
۱۷- تأسیسات برقی برای دانشجویان معماری، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۵)
۱۸- سیستم‌های اعلام حریق، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۵)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۸)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۹)، ویراست چهارم (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)، ویراست پنجم (انتشارات یزدا ۱۳۹۴)
۱۹- محاسبات بار سرمایی و گرمایی، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۴۰۰)
۲۰- چیلر پیچی و گریز از مرکز، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۴۰۰)
۲۱- آشنایی با چیلر جذبی، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۴۰۰)
۲۲- آشنایی با سیستم‌های تهویه مطبوع، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۴۰۰)

۲۳- طراحی تأسیسات ساختمان (دو جلد، انتشارات یزدا ۱۳۹۴)
۲۴- Leed، معیاری برای ساختمان سبز، انتشارات یزدا ۱۳۹۵
۲۵- تاسیسات برقی و مکانیکی ساختمان‌های بلند، انتشارات یزدا ۱۳۹۶
۲۶- پهنه‌بندی اقلیمی ایران، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۲۷- آسایش حرارتی، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۲۸- معماری همساز با اقلیم، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۲۹- دیباچه و تهیه‌ی گزارش فاز یک، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۰- محاسبات بار و انتخاب تجهیزات مولد، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۱- انتخاب تجهیزات تبادل حرارت، مکمل و مرکب، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۲- تجهیزات انتقال و توزیع، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۳- آب و فاضلاب، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۴- طراحی اماکن و تجهیزات خاص، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۵- تنظیم شرایط محیطی (به کمک تأسیسات مکانیکی)، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۶- صدا، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۷- تخمین بارهای گرمایی و سرمایی شهرهای ایران، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۸- مصرف بهینهٔ انرژی در تهویه مطبوع، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۳۹- مبانی سایکرومتری، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۴۰- پمپ حرارتی، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۴۱- سیستم حجم متغیر هوا، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۴۲- سیستم‌های کنترل تهویه مطبوع، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۴۳- فن‌های تهویه مطبوع، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۴۴- شبکه‌های آب سرد، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۴۵- انبارهٔ یخ، انتشارات یزدا ۱۴۰۰

Refrigeration System Component and Refrigeration Cycle

A Trane Air Conditioning Clinic