



ج) ۲۵

د) وجود آمونیاک مطلقاً مجاز نیست.

پاسخ) طبق جدول ۱۴-۱۳-۲-۳ صفحه ۱۷۲ مبحث ۱۴، گزینه ج صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۱۷» آزمون «اسفند» سال ۹۱ می‌باشد.

پرسش ۵-۱۷) مشترک کدامیک از مبردهای R-134a, R-407C, R-410A و R-123 بالاترین حد بالای میزان مبرد در محل کار را دارند؟ (آبان ۱۴۰۳ (طراحی) «۳»)

د) R-123

ج) R-410A

ب) R-134a

الف) R-407C

پاسخ) طبق جدول ۱۴-۱۳-۲-۳ صفحه ۱۷۰ مبحث ۱۴، مقدار مبرد R-410A در مترمکعب فضای کاربری نسبت به سایر گزینه‌ها بیش‌تر می‌باشد، بنابراین گزینه ج صحیح است.

۵-۳ سیکل تبرید

سیکل‌های تبرید را می‌توان به طور کلی به دو دسته سیکل جذبی و تراکمی تقسیم بندی کرد. در سیکل جذبی از ماده جاذب و ژنراتور برای چرخش مبرد در سیکل استفاده می‌شود؛ در حالی که در سیکل‌های تراکمی که امروزه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است، از یک کمپرسور برای این منظور استفاده می‌شود. سیکل تبرید تراکمی در انواع کاربردهای سرمایشی از قبیل یخچال‌ها، کولرهای گازی و چیلرها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵-۳-۱ تجهیزات سیکل تبرید تراکمی

در سیکل تبرید تراکمی، از تجهیزات مختلفی استفاده می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت است از:

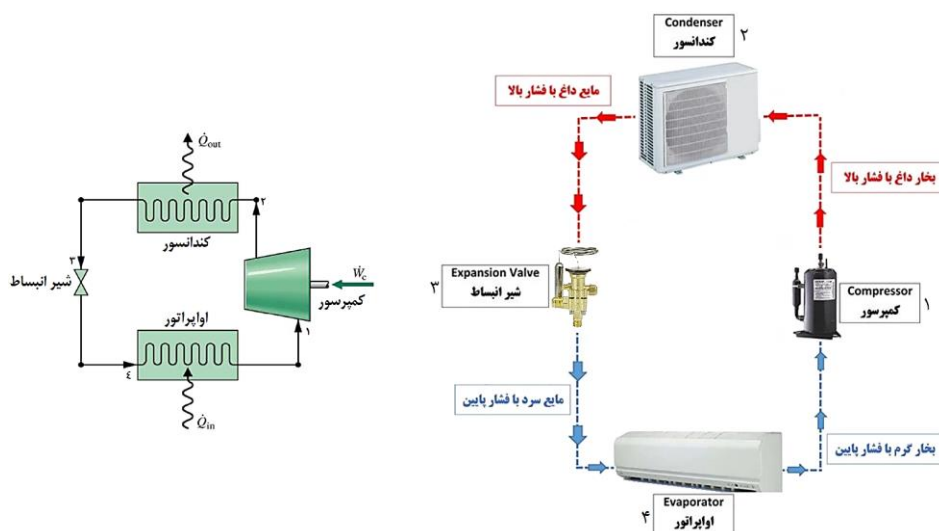
الف) **اوپراتور (Evaporator):** اوپراتور یا تبخیرکننده یک مبدل حرارتی بوده که مایع مبرد در آن به گردش درآمده و با جذب گرما به صورت غیر مستقیم از محیط داخلی، گرمای پیرامون اوپراتور را جذب کرده و باعث تبدیل آن به بخار شود. این فرایند باعث کاهش دما در محیط داخلی و اطراف اوپراتور می‌گردد.

ب) **کمپرسور (Compressor):** کمپرسور نقش اصلی یک سیکل تبرید تراکمی را بر عهده دارد. این تجهیز وظیفه افزایش فشار مبرد را بر عهده داشته، که این فشرده سازی نیز منجر به افزایش دمای آن نیز خواهد شد. کمپرسورها دارای یک موتور الکتریکی بوده که با مصرف برق، کار مکانیکی بر روی مبرد انجام می‌دهند.

ج) **کندانسور (Condenser):** کندانسور یا چگالنده نیز همانند اوپراتور، یک مبدل حرارتی بوده، اما در این قسمت وظیفه دفع حرارت از مبرد به محیط بیرون را بر عهده دارد. از کندانسور به عنوان مبدل دما بالا نیز یاد می‌شود.

د) **شیر انبساط (Expansion Valve):** شیر انبساط یا اکسپنشن ولو، یک شیر کنترل فشار بوده که دارای روزنه کوچکی برای عبور مبرد است. وجود این شیر باعث کاهش فشار و دمای مایع مبرد و تبدیل فاز آن به حالت اشباع می‌شود. بنابراین، مبرد خروجی از این شیر دارای شرایط مناسب برای ورود مجدد به اوپراتور و جذب حرارت است.

علاوه بر موارد فوق، می‌توان به لوله‌های اتصال و مبرد جاری در این لوله نیز اشاره کرد. مجموعه این تجهیزات به صورت یک سیستم پیوسته و با تعامل مناسب با یکدیگر، سیکل تبرید تراکمی را تشکیل می‌دهند.

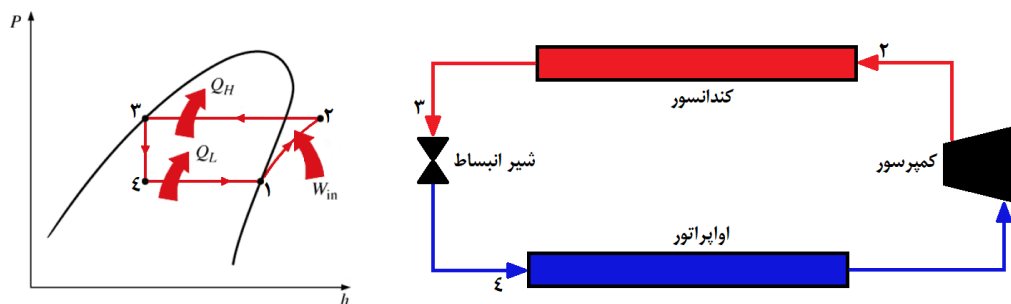


شکل (۵-۱) اجزای اصلی سیستم تبرید

۵-۳-۲ عملکرد سیکل تبرید

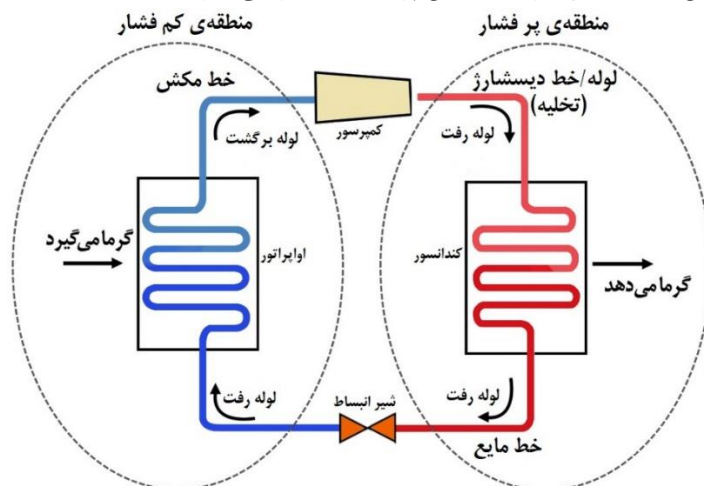
تحوالات سیکل تبرید به ترتیب زیر است که در شکل زیر نیز مراحل عمل مشهود است:

- الف) مرحله تراکم آدیاباتیکی
- ب) مرحله دفع حرارت در درجه حرارت ثابت
- ج) مرحله انبساط آدیاباتیکی
- د) مرحله جذب حرارت در درجه حرارت ثابت



شکل (۵-۲) شماتیک سیستم تبرید و نمودار فشار-انتالپی سیکل تبرید

هر سیکل تبرید از دو بخش تشکیل شده است و یک بخش آن، بخش پرفشار و بخش دیگر، بخش کم فشار است. در سیکل تبرید گرما از بخش کم فشار گرفته شده و در بخش پر فشار جدا می‌شود. در این سیکل از قسمت شیر انبساط تا بخش ورودی کمپرسور را بخش کم فشار و خود کمپرسور و بقیه بخش‌های سیکل تبرید را بخش پر فشار در نظر می‌گیرند.



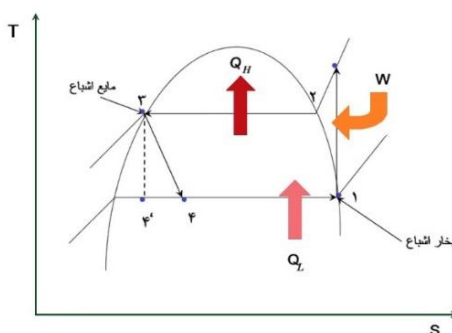
شکل (۵-۳) مناطق پرفشار و کم‌فشار سیکل تبرید

در سیکل تبرید ابتدا مبرد به صورت بخار اشباع از لوله مکش با فشار کم به کمپرسور که وظیفه تراکم و افزایش فشار مبرد را برعهده دارد وارد شده و سپس به صورت بخار داغ (سوپرهیت یا مافوق گرم) با فشار زیاد از طریق لوله رانش از کمپرسور خارج می‌گردد، مبرد در انتهای لوله رانش وارد کندانسور می‌گردد. کندانسور یک یخچال خانگی ساده عموماً از نوع هوایی با جریان طبیعی و در کولر گازی و یخچال‌های جدید به صورت جریان اجباری می‌باشد. در کندانسور مبرد تقطیر شده بصورت مایع اشباع وارد لوله مایع می‌گردد و مایع مبرد در لوله مایع از فیلتر دارای عبور می‌کند سپس مبرد تمیز و خشک وارد شیر انبساط یا در سیستم‌های با ظرفیت پایین وارد لوله موئین می‌شود. در شیر انبساط طی فرایند آدیاباتیکی فشار مایع مبرد کم شده و به صورت دوفازی وارد اواپراتور می‌شود. مبرد با فشار کم از شیر انبساط به اواپراتور وارد می‌شود. در اواپراتور مایع مبرد بر اثر جذب حرارت محیط تبخیر می‌شود و در نتیجه با گرفتن گرما از محیط دمای مطلوب و مورد نظر را فراهم می‌کند. مبرد در انتهای اواپراتور به صورت بخار اشباع به سمت لوله مکش کمپرسور رانده می‌شود. از انتهای کویل اواپراتور تا ورودی کمپرسور را لوله مکش می‌نامند. باید توجه داشت که سایز لوله مکش از سایز لوله رانش بزرگ‌تر بوده و حساسیت سیستم به سایز



این لوله بیش تر است. از سمت لوله مکش ورودی کمپرسور به سمت لوله رانش خروجی کمپرسور فشار افزایش می‌یابد. به خطی که از کندانسور به وسیله انبساطی می‌رود، خط مایع می‌گویند.

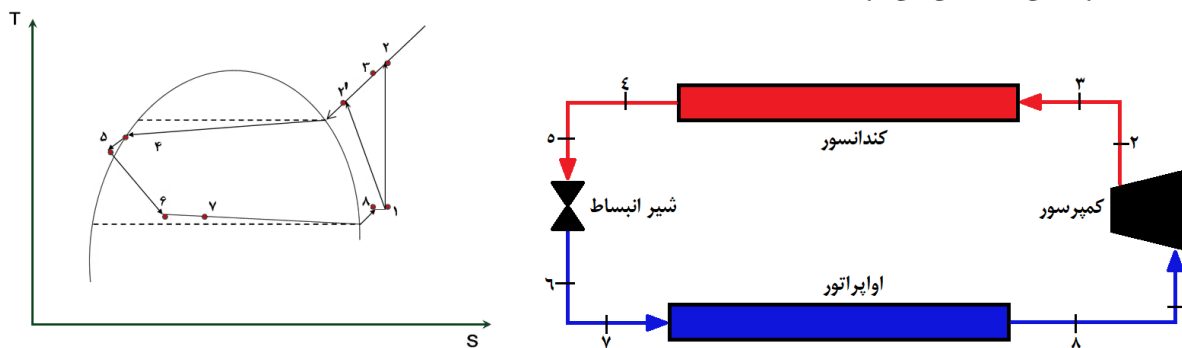
در سیکل تبرید فرایند ۱ به ۲ فرایند آیزنتروپیک^۱ (آنتروپی ثابت) می‌باشد که بخار اشباع به بخار سوپر هیت تبدیل می‌شود در این فرایند دما و فشار افزایش می‌یابد، فرایند ۲ به ۳ فرایند فشار ثابت است که بخار سوپر هیت با از دست دادن گرما به محیط به مایع اشباع تبدیل می‌شود در این فرایند دما کاهش می‌یابد، فرایند ۳ به ۴ فرایند آنتالپی ثابتی می‌باشد که فشار و دما به وسیله شیر انبساط از کندانسور به اواپراتور کاهش می‌یابد و مبرد از مایع اشباع به حالت دوفازی تغییر می‌کند و در نهایت فرایند ۴ به ۱ فرایند فشار ثابتی است که مبرد با گرفتن گرمای محیط داخل کابین یا اتاق از حالت دوفازی به بخار اشباع تبدیل می‌شود همچنین با سوپرهیت کردن مبرد در این مرحله می‌توان اطمینان حاصل کرد که مبرد به صورت مایع وارد کمپرسور نشود چرا که ورود مبرد به صورت مایع به کمپرسور باعث خرابی آن می‌شود.



شکل (۵-۴) نمودار دما-آنتروپی سیکل تبرید

سیکل تبرید تراکمی واقعی:

سیکل تبرید تراکمی واقعی با سیکل ایده آل چند تفاوت دارد و این تفاوت‌ها عمدتاً ناشی از برگشت ناپذیری‌هایی (اصطکاک و...) که در اجزای مختلف روی می‌دهد ناشی می‌شود.



شکل (۵-۵) سیکل تبرید واقعی

پرسش ۵-۱۸) مشترک خط بین کندانسور و شیر انبساط در سیستم تبرید تراکمی چه نام دارد؟ (مرداد ۱۴۰۳ (نظارت) «۳۲»)
 الف) خط مکش ب) خط انبساط ج) خط مایع د) خط دهش
پاسخ) طبق شکل زیر، گزینه ج صحیح است.

پرسش ۵-۱۹) مشترک در سیکل تبرید تراکمی، خط مایع به چه خطی اطلاق می‌شود؟ (اسفند ۱۴۰۲ (نظارت) «۲۵»)
 الف) خروجی کمپرسور را به ورودی کندانسور متصل می‌کند. ب) خروجی اوپراتور را به ورودی کمپرسور متصل می‌کند.
 ج) خروجی کندانسور را به وسیله انبساطی متصل می‌کند. د) خروجی وسیله انبساطی را به ورودی اوپراتور متصل می‌کند.
پاسخ) به خطی که از کندانسور به وسیله انبساطی می‌رود، خط مایع می‌گویند. گزینه ج صحیح است.

پرسش ۵-۲۰) مشترک خطی که اوپراتور را به کمپرسور متصل می‌کند چه نام دارد؟ (مرداد ۱۴۰۳ (اجرا) «۳۴»)
 الف) خط انبساط ب) خط دهش ج) خط مایع د) خط مکش

^۱ فرایند آدیاباتیک بازگشت پذیر یا بی درو



پاسخ) با توجه به سیکل تبرید، گزینه د صحیح است.

پرسش ۵-۲۱) مشترک حساسیت عملکرد سیستم تبرید تراکمی به اندازه کدام لوله بیشتر است؟ (مرداد ۱۴۰۳ (اجرا) «۳۱»)

الف) خط دهش (ب) خط مکش (ج) خط مایع (د) خط انبساط

پاسخ) طبق مطالب بالا، حساسیت سیستم تبرید روی اندازه‌ی خط مکش بیش‌تر بوده و قطر این لوله بیش‌تر از قطر لوله‌ی رانش است. گزینه ب صحیح است.

پرسش ۵-۲۲) مشترک کدام گزینه در مورد خط مکش سیکل تبرید تراکمی در کارکرد عادی صحیح است؟ (اسفند ۱۴۰۲ (نظارت) «۲۴»)

الف) حاوی بخار مبرد اشباع بوده، فشار پایین و دما پایین است و نیاز به عایق‌کاری ندارد.

ب) حاوی بخار مبرد مافوق گرم بوده، فشار پایین و دما پایین است و نیاز به عایق‌کاری دارد.

ج) حاوی بخار مبرد اشباع بوده، فشار بالا و دما پایین است و نیاز به عایق‌کاری دارد.

د) حاوی مایع مادون سرد بوده، فشار پایین و دما پایین است و نیاز به عایق‌کاری دارد.

پاسخ) مبرد مایع از اواپراتور عبور کرده و گرمای محیط را از طریق اواپراتور گرفته و به بخار گرم با دما و فشار پایین تبدیل می‌شود و سپس از طریق لوله‌ی عایق‌کاری شده به سمت کمپرسور حرکت می‌کند. گزینه ب صحیح است.

پرسش ۵-۲۳) مشترک در یک سیکل تبرید تراکمی، کدام بخش‌های فرآیند در فشار ثابت صورت می‌گیرد؟ (شهریور ۹۱ «۵۱»)

الف) اواپراتور (ب) کندانسور و اواپراتور (ج) کندانسور و شیر انبساط (د) شیر انبساط و کمپرسور

پاسخ) با توجه به نمودار فشار - آنتالپی در مراحل ۲ به ۳ (عبور مبرد از کندانسور) و ۴ به ۱ (عبور از اواپراتور) فرآیندها در فشار ثابت صورت می‌گیرند. گزینه ب صحیح است.

پرسش ۵-۲۴) مشترک بخار مبرد دما پایین، در کدام قسمت از یک سیکل تبرید واقع است؟ (شهریور ۹۵ «۴۵»)

الف) خط گاز داغ (ب) خط مکش (ج) خط دهش (د) خط مایع

پاسخ) طبق مطالب بالا، گزینه ب صحیح است.

پرسش ۵-۲۵) مشترک حضور بخار مبرد در بالا دست مضر است. (شهریور ۹۵ «۴۷»)

الف) کندانسور (ب) شیر انبساط (ج) اواپراتور (د) کمپرسور

پاسخ) طبق سیکل تبرید، ورود به شیر انبساط حداقل بایستی به صورت مایع اشباع باشد. گزینه ب صحیح است.

پرسش ۵-۲۶) مشترک دمای گاز مبرد در یک سیکل تبرید، پس از شیر انبساط (t_1) با دمای آن پس از کندانسور (t_2) چه نسبتی دارد؟ (آذر ۹۰ «۲۲»)

الف) $t_1 > t_2$ (ب) $t_1 = t_2$ (ج) $t_1 < t_2$ (د) به نوع گاز بستگی دارد.

پاسخ) پس از عبور مبرد از شیر انبساط فشار آن کاهش یافته در نتیجه نقطه جوش آن پایین می‌آید و بخشی از مبرد مایع برای بخار شدن گرمای نهان تبخیر را از خودش گرفته و در نهایت بعد از شیر انبساط مخلوط بخار و مایع مبرد سرد داریم. گزینه ج صحیح است.

پرسش ۵-۲۷) مشترک در جدول زیر فشار اشباع مبرد R134a در دماهای مختلف داده شده است. در یک سردخانه، اتاقکی واقع

شده که در آن یک اواپراتور فن‌دار قرار دارد. در حالت کارکرد سیستم سرمایی و فن اواپراتور، همواره دمای مبرد ۱۰ درجه فارنهایت سردتر از دمای سطح اواپراتور و دمای سطح اواپراتور ۱۰ درجه فارنهایت سردتر از دمای هوای اتاقی باقی می‌ماند. سیستم در دمای اتاق ۳۸ درجه فارنهایت استارت می‌کند و در دمای اتاق ۳۲ درجه فارنهایت خاموش می‌شود. فشار مبرد اواپراتور قبل از روشن شدن، بعد از روشن شدن و قبل از خاموش شدن به ترتیب چند پوند بر اینچ مربع است؟ (اسفند ۱۴۰۲ (طراحی) «۲۴»)



T (°F)	P (psi)
۱۰	۱۲/۰
۱۶	۱۵/۷
۲۲	۱۹/۹
۲۸	۲۴/۵
۳۲	۲۷/۸
۳۸	۳۳/۱

الف) ۱۷/۱ و ۱۳/۲ و ۳۳/۱ (ب) ۱۷/۱ و ۱۷/۱ و ۱۳/۲ (ج) ۱۷/۱ و ۱۳/۲ و ۱۳/۲ (د) ۱۷/۱ و ۱۳/۲ و ۳۳/۱

پاسخ) زمانی که سیستم خاموش است دمای سطح اواپراتور و مبرد با دمای اتاق به تعادل می‌رسد پس دمای مبرد قبل از روشن شدن با دمای اتاق برابر است و طبق جدول فشار آن برابر با ۳۳/۱ psi می‌باشد. بعد از روشن شدن سیستم سرمایی هنوز دمای اتاق ۳۸ درجه می‌باشد ولی دمای سطح اواپراتور ۱۰ درجه کمتر از دمای اتاق و دمای مبرد ۱۰ درجه کمتر از دمای سطح اواپراتور یعنی ۱۸ درجه است بنابراین فشار مبرد در این دما با میانمایی از جدول برابر است با:

$$\frac{18-16}{22-16} = \frac{P_{18^\circ}-15.7}{19.9-15.7} \Rightarrow P_{18^\circ} = 17.1 \text{ psi}$$

هنگام خاموش شدن سیستم سرمایی دمای اتاق به ۳۲ درجه رسیده است پس دمای سطح اواپراتور ۲۲ درجه و دمای مبرد ۱۲ درجه می‌باشد، فشار مبرد در این حالت برابر است با:

$$\frac{12-10}{16-10} = \frac{P_{12^\circ}-12}{15.7-12} \Rightarrow P_{12^\circ} = 13.2 \text{ psi}$$

گزینه د صحیح است.

پرسش ۵-۲۸) مشترک یک داکت اسپلیت در تابستان در فضاهای مشغول به کار است. سیستم تبرید از مبرد R-134a استفاده می‌کند. فشار قبل و بعد کمپرسور به ترتیب ۵۰ و ۱۸۵ پوند بر اینچ مربع است. دمای اشباع مبرد در فشار پایین ۴۰ درجه فارنهایت است. دمای بدنه اواپراتور و دمای هوای خروجی به ترتیب چند درجه فارنهایت می‌تواند باشد؟ (مرداد ۱۴۰۳ (نظارت) «۲۱»)

الف) ۵۰ و ۶۰ (ب) ۵۰ و ۴۰ (ج) ۴۰ و ۵۰ (د) ۴۰ و ۴۰

پاسخ) در جداول ترمودینامیکی برای مبرد R-134a در فشار ۵۰ پوند بر اینچ مربع دمای بخار اشباع حدود ۵۰ درجه است و دمای بدنه اواپراتور باید حداقل ۵۰ درجه و دمای خروجی باید بیشتر از آن باشد، بنابراین گزینه الف صحیح است.

۵-۳-۳ سابکولینگ^۱

فرآیند سابکول و چگالش در کندانسور اتفاق می‌افتد و به فرآیندی گفته می‌شود که در آن دمای مبرد تا کمتر از نقطه اشباع آن پایین آورده شود. اکثر سیستم‌های تبرید دارای یک مرحله خنک‌کننده فرعی هستند که می‌تواند هم در داخل و هم در خارج از مبدل‌های حرارتی انجام شود. در یک سیستم تبرید، از این فرآیند برای آوردن مبرد از کندانسور به شیر انبساط به صورت کاملاً مایع استفاده می‌شود. مبرد هنگام خروج از کمپرسور، در دما و فشار بالایی قرار دارد. بنابراین با رسیدن به کندانسور گرما را جذب کرده و در محیط رها می‌کند به طوری که وقتی مبرد از آن خارج می‌شود در فاز مایع اشباع قرار گرفته و می‌تواند به سمت شیر انبساط حرکت کند.

۵-۳-۴ سوپر هیت^۲

وقتی بخار بالاتر از نقطه جوش حرارت داده شود، سوپر هیت (Superheat) اتفاق می‌افتد. فرآیند سوپر هیت در دستگاه‌های تهویه مطبوع، حیاتی و ضروری است زیرا تضمین می‌کند که مبرد مایع قبل از خروج از اواپراتور و رفتن به کمپرسور، کاملاً به بخار تبدیل شده است. زیرا حتی مقادیر کم مایع می‌تواند باعث آسیب جدی به کمپرسور در سیستم HVAC شود. سوپر هیت به صورت زیر محاسبه می‌شود:

سوپر هیت = دمای فعلی - نقطه جوش

^۱ Subcooling

^۲ Superheat



اگر سوپرهیت کم باشد ممکن است مقداری مایع مبرد وارد کمپرسور شده و باعث خرابی آن شود و اگر مقدار سوپرهیت زیاد باشد باعث کاهش ظرفیت سرمایشی سیستم خواهد شد.

۵-۴ کمپرسور

کمپرسور دستگاهی است که مبرد مایع را از اواپراتور در فشار پایین گرفته و به صورت بخار داغ در فشار بالا تحویل کندانسور می‌نماید. توسعه، تکمیل و ساخت کمپرسورهای بسته، متضمن بیش‌ترین دقتی بوده است که تاکنون صنعت به یاد دارد، زیرا قسمت‌های مختلف سیستم با دقت میکرونی روی هم سوار می‌شود. دو نوع از متداول‌ترین کمپرسورها عبارت است از: کمپرسورهای دینامیکی و کمپرسورهای جابجایی مثبت. گرمای حاصله‌ی موتور و کمپرسور از طریق پاشیدن سریع روغن به جدار داخلی موتور کاهش داده می‌شود. در برخی از کمپرسورها نیز برای خنک کردن روغن کلافی در نظر می‌گیرند که روغن گرم را از طریق هوای عبوری از کلاف‌های خنک کننده روغن در بیرون از کمپرسور سرد کرده و برای پاشش دوباره برای کاهش دمای موتور آماده می‌کند.

نکته ۵-۴) ظرفیت کمپرسور، مقدار دبی گازی است که کمپرسور می‌تواند در زمان مشخصی تا فشار مشخصی، فشرده کند. معمولاً دبی کمپرسورها با واحد لیتر بر دقیقه و فشار آن‌ها با واحد بار یا کیلوپاسکال مشخص می‌شود. ظرفیت کمپرسور به عنوان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های آن، نشان‌دهنده حجم هوایی است که کمپرسور قادر به تولید یا مصرف در واحد زمان می‌باشد.

برای محاسبه ظرفیت کمپرسور، متغیرهای گوناگونی همچون حجم مکش و فشرده‌سازی، فشار ورودی و خروجی، نوع و سایز کمپرسور، دمای محیط کاری و نحوه استفاده مصرف‌کننده وجود دارد که باید در نظر گرفته شوند.

در بسیاری از موارد، به جای ظرفیت کمپرسور که به صورت حجمی بیان می‌شود، از توان کمپرسور برای نشان دادن قابلیت آن استفاده می‌شود. به طور مثال، گفته می‌شود که توان یک کمپرسور خاص پیستونی، یک کیلووات یا یک اسب بخار است.

ممکن است یک کمپرسور، توان بیشتری از یک کمپرسور دیگر مصرف کند اما دبی حجمی پایین‌تری را تولید کند. علاوه بر این، در محاسبه توان یک کمپرسور، میزان فشار تاثیر زیادی در مقدار به دست آمده خواهد داشت.

با کاهش فشار ورودی کمپرسور، ظرفیت آن کاهش یافته و برای ایجاد فشار مناسب در خروجی، توان بیش‌تری مصرف می‌کند.

پرسش ۵-۲۹) مشترک با کاهش فشار در خط مکش، ظرفیت کمپرسور (شهریور ۹۵ «۴۸»)

الف) کاهش می‌یابد. (ب) ثابت می‌ماند.

ج) افزایش می‌یابد. (د) فقط در حالت مبرد اشباع، افزایش می‌یابد.

پاسخ) طبق نکته بالا، گزینه الف صحیح می‌باشد.

پرسش ۵-۳۰) مشترک در سیکل تبرید تراکمی با افزایش مافوق گرم شدن مبرد در خط مکش، ظرفیت کمپرسور و توان مصرفی کمپرسور به ترتیب و (اردیبهشت ۹۷ (طراحی) «۱۸»)

الف) افزایش می‌یابد - کاهش می‌یابد. (ب) کاهش می‌یابد - افزایش می‌یابد.

ج) کاهش می‌یابد - کاهش می‌یابد. (د) افزایش می‌یابد - افزایش می‌یابد.

پاسخ) با افزایش سوپرهیت یا مافوق گرم شدن مبرد در خط مکش، گاز منبسط‌تر شده و فاصله‌ی بین ملکول‌های آن بیش‌تر می‌شود بنابراین در مدت زمان مشخص مقدار گاز کمتری وارد کمپرسور شده و دبی کمپرسور کاهش می‌یابد پس طبق تعریف ال، ظرفیت کمپرسور کم می‌شود همچنین برای فشرده‌سازی این مبرد سوپرهیت، کمپرسور باید توان بیش‌تری مصرف کرده تا به فشار مورد نیاز در خروجی برسد در نتیجه گزینه ب صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۲۶» آزمون «مرداد» سال ۹۴ می‌باشد.

نکته ۵-۵) وجود گاز غیرقابل چگالش در سیستم تبرید که اغلب با نفوذ هوا در سیستم ایجاد می‌شود، باعث بالا رفتن فشار در ورودی و خروجی کمپرسور می‌شود.

پرسش ۵-۳۱) مشترک در یک سیکل تبریدی تراکمی گازهای غیر قابل چگالش وجود دارد، این مطلب باعث (اسفند ۱۴۰۲ (اجرا) «۲۷»)

الف) فشار پایین قبل و بعد از کمپرسور می‌شود. (ب) فشار بالا قبل از کمپرسور می‌شود.



ج) فشار بالا بعد از کمپرسور می‌شود.

د) گزینه‌های ب و ج هر دو صحیح است.

پاسخ) طبق نکته بالا، گزینه د صحیح است.

۵-۴-۱ انواع کمپرسور

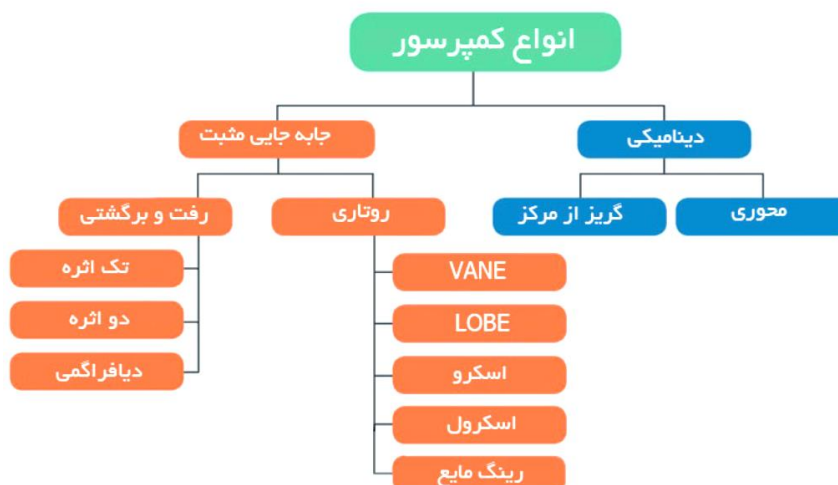
کمپرسورها را می‌توان از لحاظ محل قرارگیری موتور آن به سه دسته^۱، نیمه بسته^۲ و باز^۳ تقسیم‌بندی کرد:

الف) کمپرسور بسته: در این نوع، موتور به همراه اجزای کمپرسور، در یک پوسته و به صورت یکپارچه قرار دارد، این کمپرسورها در ظرفیت‌های پایین ساخته شده و قابل تعمیر نیستند اما طول عمر بالایی دارند.

ب) کمپرسور نیمه بسته: در این نوع، موتور و اجزای کمپرسور با هم بوده اما موتور قابل جدا شدن و تعمیر شدن است، به طوری که گاز خنک مکیده شده توسط کمپرسور از سمت اواپراتور چیلر، ابتدا از روی سیمپیچ کمپرسور عبور کرده و پس از خنک‌کاری آن وارد بخش تراکم می‌شود.

ج) کمپرسور باز: در این نوع، کمپرسور و موتور آن به صورت مجزا از هم قرار گرفته و موتور و کمپرسور توسط کوپلینگ یا پولی و فلکه به هم متصل می‌شوند. از کمپرسورهای باز معمولاً در ظرفیت‌های بالا استفاده شده و چون موتور و کمپرسور جدا از هم می‌باشند، خنک‌کاری موتور معمولاً با هوا انجام می‌شود. این نوع کمپرسور دارای سر و صدای بیش‌تری بوده و سیستم کوپلینگ آن بسیار حساس است.

همچنین کمپرسورها از لحاظ ساختار عملکردی داخل آن‌ها، به دو دسته اصلی دینامیکی و جابه‌جایی مثبت تقسیم‌بندی می‌شوند که در شکل زیر، انواع آن نشان داده شده است.



شکل (۵-۶) انواع کمپرسور

کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت با استفاده از کاهش حجم، سیالات را متراکم کرده در حالیکه کمپرسورهای دینامیکی، با استفاده از روش افزایش سرعت، این کار را انجام می‌دهند. انتقال انرژی به سیال در کمپرسورهای دینامیکی به طور مداوم بوده و در فشار پایین و دبی‌های بالاتر استفاده می‌شوند. بر خلاف کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت که با جریان ثابت کار می‌کنند، این کمپرسورها با فشار ثابتی کار کرده و عملکرد آن‌ها تحت تأثیر شرایط بیرونی قرار دارد.

نکته ۵-۶) روغن کمپرسور یک نوع روانکاری کمپرسور است که از ترکیب روغن پایه و مواد افزودنی مخصوص تولید می‌گردد.

روغن کمپرسور دارای سه ویژگی اصلی به شرح زیر است:

- کلیه قطعات با روانکاری روغن می‌توانند بدون سایش در کنار هم کار کنند و از ساییدگی هر کدام از آن‌ها جلوگیری به عمل می‌آید.

^۱ Hermetic

^۲ Semihermetic

^۳ Open Type



- روغن باعث خنک‌کاری قطعات متحرک شده و از داغ شدن بیش از حد آن‌ها جلوگیری می‌کند. داغ شدن زیاد قطعات باعث منبسط شدن آن‌ها شده و در زمان کوتاهی باعث از کار افتادنشان خواهد شد.
- روغن باعث آب‌بندی کمپرسور و مهر و موم شدن آن شده که با این آب‌بندی سیستم بدون از دست‌دادن فشار در طول مسیر با حداکثر بازده به کار خود ادامه می‌دهد.

پرسش ۵-۳۲) مشترک وظیفه روغن در کمپرسور رفت و برگشتی سیستم تولید تراکمی چیست؟ (مرداد ۱۴۰۳ (نظارت) «۲۷»)

الف) کاهش احتمال ورود بخار مبرد به کمپرسور
 ب) روانکاری
 ج) گاز بند کردن قطعات متحرک
 د) گزینه‌های ب و ج هر دو صحیح است.

پاسخ) طبق نکته بالا، بنابراین گزینه د صحیح است.

۵-۵) کندانسور (چگالنده)

کندانسورها یا دستگاه‌های تقطیر کننده ماده مبرد، بعد از کمپرسور قرار گرفته و گاز مبرد پس از ورود به این دستگاه تبادل حرارت کرده و تقطیر می‌گردد. کندانسورها به سه دسته زیر تقسیم بندی می‌شوند:

- کندانسور آبی
- کندانسور هوایی
- کندانسور تبخیری

۵-۵-۱) کندانسور آبی یا آب خنک

در این نوع کندانسور از آب برای خنک کردن سیالات استفاده می‌شود؛ به‌طوری‌که که سیالات با عبور از کندانسور آبی، توسط آب خنک دمای خود را از دست داده و سرد می‌گردند (سیال گازی از حالت گاز به مایع تبدیل می‌شود) که به این تغییر فاز، تقطیر یا کندانس شدن می‌گویند. انواع کندانسورهای آبی به سه دسته‌ی کندانسور آبی لوله‌ای، کندانسور آبی صفحه‌ای و کندانسور آبی پوسته و لوله تقسیم می‌شوند. کندانسور لوله‌ای از رایج‌ترین انواع کندانسور بوده و در بیشتر دستگاه‌های صنعتی از آن استفاده می‌شود.

نکته ۵-۷) مقدار حرارت دفع شده در کندانسور توسط برج خنک‌کننده، به دبی جریان آب برج، دبی مبرد داخل کندانسور و اختلاف دمای آب برج با دمای مبرد داخل کندانسور، بستگی دارد.

پرسش ۵-۳۳) طراحی حرارت دفع شده از کندانسور آب خنک به کدام یک از موارد زیر وابسته نیست؟ (اردیبهشت ۹۷ (طراحی) «۲۵»)

الف) دبی جریان آب داخل کندانسور
 ب) دبی جریان مبرد داخل کندانسور
 ج) فشار آب در کندانسور
 د) اختلاف دمای آب و مبرد در کندانسور

پاسخ) در کندانسور آب خنک، مبرد توسط آب خنک‌کننده، سرد می‌شود بنابراین حرارت دفع شده از کندانسور به دبی آب خنک کننده، اختلاف دمای بین مبرد و آب و دبی مبرد عبوری مرتبط است. گزینه ج پاسخ مورد نظر است.

نکته ۵-۸) روش‌های کنترل ظرفیت کندانسور:

- کنترل فشار مبرد در کندانسور
- کنترل درجه حرارت آب برج خنک‌کن (آب ورودی به کندانسور)
- استفاده از شیر موتوری سه راهه برای رسیدن به فشار و درجه حرارت ثابت آب ورودی به کندانسور
- استفاده از شیر بای پاس قطع و وصل در مدار آب برج به کندانسور

پرسش ۵-۳۴) طراحی در سیستم‌های برودتی با کندانسور آب خنک، کدام یک از روش‌های زیر برای کنترل ظرفیت کندانسور کاربرد ندارد؟ (اردیبهشت ۹۷ (طراحی) «۳۷»)

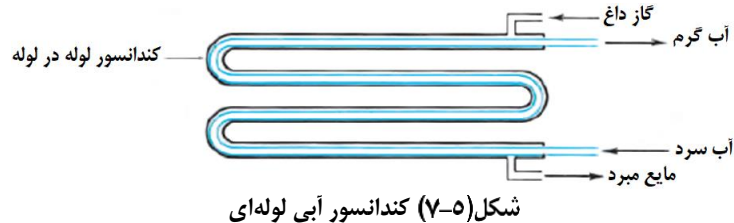
الف) استفاده از ترکیب شیر منحرف کننده (سه‌راهه) و لوله کنار گذر (Bypass) آب کندانسور
 ب) کاهش فشار مبرد در کندانسور
 ج) استفاده از پمپ آب دور متغیر برای آب کندانسور
 د) تغییر دمای آب ورودی به کندانسور



پاسخ) طبق نکته بالا، گزینه ج صحیح است.

الف) کندانسور آبی لوله‌ای

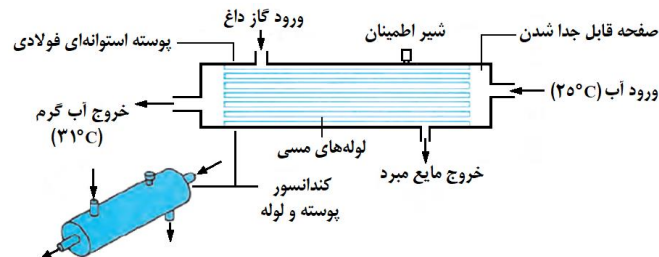
یکی از ساده‌ترین انواع کندانسور آبی، کندانسور آبی لوله‌ای است. این کندانسور از لوله‌هایی تشکیل شده که لوله بیرونی از قطر بیشتری برخوردار بوده و لوله‌های داخلی را احاطه کرده است. در لوله‌ای که قطر بیشتری دارد، آب سرد به جریان در می‌آید و از لوله‌های داخلی گاز داغ، بخار و یا سیالی با دمای بالا عبور می‌کند، بدین ترتیب به تدریج دمای سیال موردنظر کاهش یافته و تقطیر می‌گردد. به بیانی دیگر باید گفت در این کندانسور، سیال داغ از سمتی و آب سرد از سمت دیگر وارد کندانسور می‌شود و بین آن‌ها تبادل حرارت رخ می‌دهد. آب خنک‌کننده بعد از خروج از کندانسور گرم می‌شود و باید توسط یک دستگاه برودتی مجدداً خنک شده و به کندانسور بازگردد.



شکل (۷-۵) کندانسور آبی لوله‌ای

ب) کندانسور آبی پوسته و لوله

این نوع کندانسور از یک دسته لوله تشکیل شده که حالت افقی و موازی دارند. در داخل این لوله‌ها سیال داغ جریان دارد و از پیرامون آن آب عبور می‌کند (برعکس این حالت نیز صورت می‌گیرد). در برخی از این کندانسورها، جهت افزایش سطح حرارت در سطح لوله‌ها از تعدادی پره (فن تیوب یا لوله مسی فین دار) استفاده شده است. این کندانسور نسبت به سایر کندانسورها فشار بیشتری را تحمل می‌کند.



شکل (۸-۵) کندانسور آبی پوسته و لوله

پرسش ۵-۳۵) مشترک در کندانسورهای آب خنک از نوع پوسته لوله‌ای: (شهریور ۹۵ «۵۷»)

الف) بخار آب داخل لوله و مبرد مایع داخل پوسته حرکت می‌کند.

ب) مبرد مایع داخل لوله و بخار آب داخل پوسته حرکت می‌کند.

ج) بخار مبرد داخل لوله و آب داخل پوسته حرکت می‌کند.

د) آب داخل لوله و بخار مبرد داخل پوسته حرکت می‌کند.

پاسخ) در کندانسور آب خنک، آب درون لوله و مبرد درون پوسته قرار می‌گیرد گزینه د صحیح است.

پرسش ۵-۳۶) مشترک در کندانسورهای آب خنک از نوع پوسته - لوله و در اواپراتورهای آبی انبساط مستقیم (خشک) از نوع پوسته - لوله، به ترتیب آب در کدام سمت جریان دارد؟ (اردیبهشت ۹۷ (نظارت) «۳۳»)

الف) لوله - پوسته ب) لوله - لوله ج) پوسته - لوله د) پوسته - پوسته

پاسخ) در کندانسور چیلرهای آب خنک، آب درون لوله و مبرد درون پوسته قرار می‌گیرد این در حالتی است که در اواپراتور همین چیلرها آب درون پوسته و مبرد درون لوله قرار می‌گیرد. گزینه الف صحیح می‌باشد.

نکته ۵-۹) کندانسور و اواپراتور فلودد (Flooded) نوعی مبدل حرارتی پوسته و لوله می‌باشد. سیال خنک شونده که معمولاً آب است از داخل لوله‌ها عبور کرده و جریان مبرد وارد پوسته (معمولاً از پایین) می‌شود، به نحوی که تقریباً تمام لوله‌ها درون مایع مبرد غوطه‌ور می‌شوند. به همین دلیل به این کندانسور یا اواپراتورها، فلودد یعنی مستغرق گفته می‌شود. بعلاوه، با توجه به آنکه تقریباً تمام سطح تبادل حرارتی با مایع اشباع در تماس است، آن را کندانسور یا اواپراتور مرطوب (Wet) نیز می‌نامند.

پرسش ۵-۳۷) طراحی در اواپراتور و کندانسور آب خنک چیلرهای مستغرق (Flooded) با مبدل‌های حرارتی پیوسته و لوله، مبرد

و آب چگونه جریان دارد؟ (مرداد ۱۴۰۳ (طراحی) «۸»)



- الف) در اواپراتور، مبرد در پوسته و آب در لوله - در کندانسور، مبرد در پوسته و آب در لوله
 ب) در اواپراتور، مبرد در لوله و آب در پوسته - در کندانسور، مبرد در پوسته و آب در لوله
 ج) در اواپراتور، مبرد در لوله و آب در پوسته - در کندانسور، مبرد در لوله و آب در پوسته
 د) در اواپراتور، مبرد در پوسته و آب در لوله - در کندانسور، مبرد در لوله و آب در پوسته
 پاسخ) طبق نکته بالا، گزینه الف صحیح است.

ج) کندانسور آبی صفحه‌ای:

ساختار کندانسورهای آبی صفحه‌ای از تعداد زیادی صفحه تشکیل شده که در مجاورت یکدیگر قرار گرفته که به طور کامل آب‌بند بوده و فاصله کمی بینشان وجود دارد، در فضای بین صفحات یکی در میان سیال خنک‌کننده و خنک‌شونده جریان دارند. به این ترتیب صفحات باعث انتقال حرارت بین دو سیال شده و در عین حال از ترکیب شدن آن‌ها با یکدیگر جلوگیری می‌کنند. این صفحات نازک توسط دو صفحه بزرگتر از دو جهت در کنار هم محکم می‌شوند. صفحات نگه‌دارنده معمولاً به وسیله پیچ و مهره به یکدیگر متصل می‌شوند. ویژگی اصلی این نوع کندانسور آبی، توان انتقال حرارت زیاد در ابعاد کوچک است، لذا در مواردی که محدودیت فضا وجود داشته باشد کندانسورهای آبی صفحه‌ای گزینه مناسبی هستند. از معایب این کندانسورها نیز می‌توان به کم بودن تحمل فشار و هزینه بالای آن‌ها اشاره کرد.

پرسش ۵-۳۸) طراحی کندانسور سیکل تبرید، با سطح انتقال حرارت ۲۰ فوت مربع، برای چگالش (به صورت فشار ثابت) گاز اشباع R-۱۳۴a با دمای ۱۴۰ درجه فارنهایت و آنتالپی ۱۲۰ بی‌تی‌یو بر پوند به مایع اشباع با آنتالپی ۶۰ بی‌تی‌یو بر پوند مورد استفاده قرار گرفته است. اگر دمای آب خنک‌کننده ورودی ۶۰ درجه فارنهایت، دمای آب خروجی ۷۵ درجه فارنهایت و ضریب انتقال

حرارت کلی کندانسور $8 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{hr}} \cdot \Delta T$ باشد، دبی جرمی گاز مبرد چند پوند در ساعت است؟ (مرداد ۱۴۰۰) (طراحی) «۴۷»

الف) ۱۹۲ (ب) ۲۱ (ج) ۴۲ (د) ۹۶

پاسخ) می‌خواهیم مبرد با دمای ۱۴۰ درجه فارنهایت را به وسیله آب خنک‌کننده که دمای ورودی آن ۶۰ درجه و دمای خروجی آن ۷۵ درجه است، خنک کنیم. در این حالت دمای سطح کندانسور تقریباً برابر یا متوسط دمای آب خنک‌کننده ورودی و خروجی می‌باشد، یعنی:

$$T_m = \frac{75 + 60}{2} = 67.5^\circ \text{F}$$

با توجه به سطح انتقال حرارت کندانسور و ضریب انتقال حرارت آن (با توجه به رابطه مقدار انتقال حرارت از جدار، فصل اول)، مقدار گرمای گرفته شده از مبرد برابر است با:

$$Q = UA \Delta T = 8 \times 20 \times (140 - 67.5) = 11600 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

گاز اشباع R-۱۳۴a با آنتالپی ۱۲۰ بی‌تی‌یو بر پوند برای تبدیل به مایع اشباع با آنتالپی ۶۰ بی‌تی‌یو بر پوند باید ۱۱۶۰۰ بی‌تی‌یو بر ساعت گرما از دست بدهد پس دبی جرمی گاز مبرد برابر است با:

$$Q = \dot{m} \Delta h \Rightarrow \dot{m} = \frac{Q}{h_g - h_f} = \frac{11600}{120 - 60} = 193.3 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

گزینه الف صحیح است.

۵-۵-۲ کندانسور هوایی یا هوا خنک

این نوع کندانسور از هوای محیط، جهت انتقال گرما استفاده می‌کند و در دو حالت جریان طبیعی (بدون فن) و جریان اجباری (فن دار) تولید می‌شود. کندانسور هوا خنک معمولاً از جنس مس می‌باشد که به فین‌های آلومینیومی مجهز شده است.