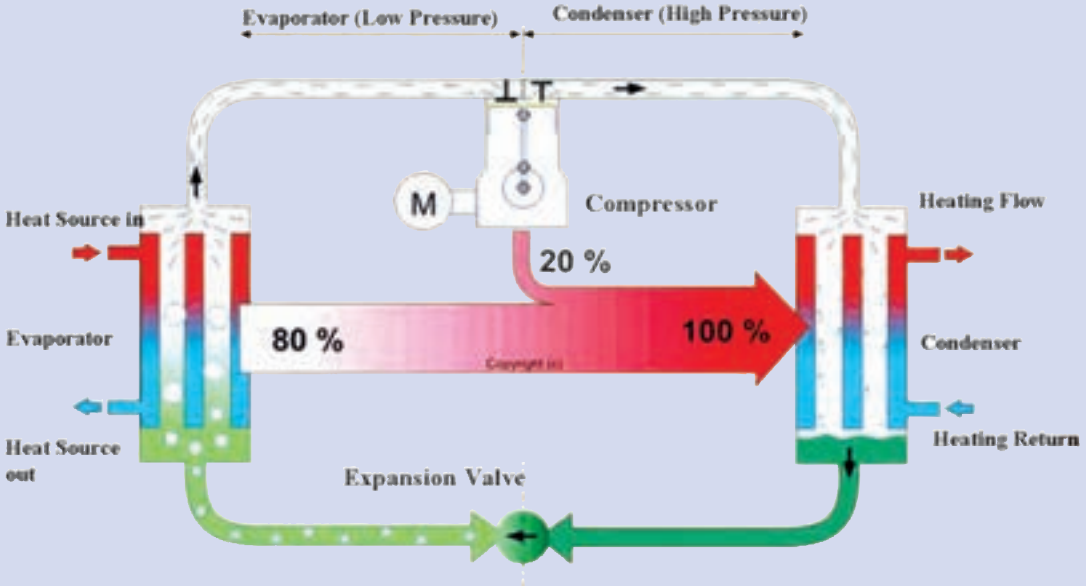
فصل ۲

سیکل تبرید



۲ سیکل تبرید

پیش آزمون

۱ــ چرا داخل یخچال سرد و لوله‌های پشت آن گرم هستند؟

۲ــ دمای یک ماده مبرد در یک نقطه $۴۲^{\circ}C$ و در نقطه دیگر $۱۰^{\circ}C$ است. این ماده در کدام نقطه سوپرهیت و در کدام نقطه ساب‌کولد است؟

۱ــ۲ــ تاریخچه سردسازی

روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند ابتدا به خلاصه تاریخچه سردسازی بپردازند. و پس از آن تن تبرید را تعریف و محاسبه نمایند.

دانش افزایی

تاریخچه سردسازی

در جدول زیر گام‌هایی که در راستای پیشرفت صنعت سردسازی انجام شده، آمده است.

شکل ۱ــ۲ جدول خلاصه تاریخچه سردسازی

سال (میلادی)	عملیات
پیش از تاریخ	برداشت برف و یخ در فصل سرد و استفاده از آن در فصل‌های گرم در بسیاری از فرهنگ‌های باستانی از جمله چینی، یونانی، رومی و ایرانی مرسوم بوده است. یخ و برف ذخیره شده در غارها یا گودال‌ها با کاه پوشش داده می‌شدند. ایرانیان یخ ذخیره شده در گودال را یخچال می‌نامیدند.
قرن ۱۱	نزدیک به هزار سال پیش گویا ابن سینا برای تقطیر بخار عطر یک کویل سرد را به‌کار گرفته است.
۱۵۵۰	شیمیدان‌ها با افزودن نیترات پتاسیم یا نیترات سدیم به آب باعث افت دمای آب شدند این روش به نام خنک کردن (to refrigerate) ثبت شد.
۱۷۴۸	نخستین یخچال مصنوعی شناخته شده به‌دست ویلیام کالن رونمایی شد. کالن توانست با استفاده از یک پمپ خلأ، فشار ظرفی را که حاوی اتر بوده کاهش داده و آن را بجوشاند و گرمای هوای اطراف را جذب نماید. با این آزمایش فقط می‌توان مقدار کوچکی از یخ را به‌دست آورد که در آن زمان هیچ کاربرد عملی نداشت.
۱۷۸۷	دی‌اکسید گوگرد مایع به‌عنوان مبرد به‌کار برده شد.

۱۷۸۰	آمونیاک مایع به‌عنوان مبرد به‌کار برده شد.
۱۸۰۵	الیور اوانز طرح اولین دستگاه سردساز را داد که در آن به‌جای مایع از بخار استفاده می‌شد.
۱۸۲۴	اصول سردسازی جذبی توسط مایکل فارادی کشف شد.
۱۸۳۴	ژاکوب پرکینز با تغییر در طرح اولیه اوانز توانست اولین سردساز جهان را بسازد.
۱۸۴۰	یخچال در خودروها برای حمل و نقل شیر و کره مورد استفاده قرار گرفت.
۱۸۴۲	جان گوری بر پایهٔ طرح اوانز توانست هوای اتاق بیمارانی را که مبتلا به تب زرد بودند را خنک نماید. اساس کار او بر فشرده سازی گاز و انبساط آن در یک کویل بود. (شبیه یخچال‌های تراکمی امروزی)
۱۸۵۱	جان گوری با ادامه آزمایش برای ساخت یخ توانست اختراع خود را به ثبت برساند.
۱۸۵۹	اولین دستگاه تبرید جذبی آب آمونیاک توسط فردیناند کاری اختراع شد.
۱۸۹۰	از کلرواتان C_2H_5Cl در کمپرسورهای روتاری توسط پالمر استفاده شد.
۱۹۲۰	ایزوبوتان توسط ادموند کوپلند و هری ادوارد در یخچال‌های کوچک مورد استفاده قرار گرفت.
۱۹۲۲	از دی‌کلرواتان $C_2H_2Cl_2$ توسط کریر در کمپرسورهای سانتریفوژ استفاده شد.
۱۹۲۳	سردسازی سریع و استفاده از آن در مواد غذایی یخ زده توسعه یافت.
۱۹۲۶	مبرد مصنوعی CFC با نام تجاری فریون توسط توماس میدگلی اختراع شد.
۱۹۲۶	اولین یخچال خانگی مدار بسته ساخته شد.
۱۹۲۷	سیستم سردکننده خودکار تهویه مطبوع عرضه شد.
۱۹۵۰	از انرژی خورشیدی برای تولید یخ (بر اساس تبرید جذبی) استفاده شد.
۱۹۷۳	پروفسور جیمز لاولاک از وجود بسیار کم از گازهای مبرد در جو زمین گزارش داد.
۱۹۷۴	شروود رولند و ماریو مولینا تخریب لایه ازن توسط فریون‌ها را پیش بینی کردند.
۱۹۸۵	«حفره اوزون» بر سر قطب جنوب کشف شد.

۲ــ۲ــ تن تبرید

روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند تن تبرید را تعریف و سپس در یکاهای دیگر آن را محاسبه نمایند.

پرسش و پاسخ

۱ــ توان یک کولر گازی ۳۶۰۰۰ بی تی یو برساعت است. این مقدار برابر چند تن تبرید است؟

$$P = ۳۶۰۰۰\frac{B.t.u}{hr} \times \frac{۱TR}{۱۲۰۰۰\frac{B.t.u}{hr}} = ۳TR$$

دانش افزایی

تن تبرید

می‌دانیم که یکی از یکاهای اندازه‌گیری جرم تن می‌باشد و در سیستم‌های مختلف اندازه‌های متفاوت دارد در سیستم متریک برابر ۱۰۰۰ کیلوگرم است. دو نوع دیگر به‌نام تن بزرگ (انگلیسی) برابر ۲۲۴۰ پوند (۱۰۱۶ کیلوگرم) و تن کوچک (آمریکایی) برابر ۲۰۰۰ پوند (۹۰۷ کیلوگرم) رایج است.

تعریف تن تبرید : مقدار گرمایی که یک تن (تن کوچک) یخ با دمای ۳۲ درجه فارنهایت در یک شبانه روز جذب می‌کند تا تمام آن به آب ۳۲ درجه فارنهایت تبدیل شود.

چون گرمای نهان ذوب یخ $۱۴۴\frac{BTU}{lbm}=۳۳۵\frac{kJ}{kg}=۸۰\frac{Kcal}{Kg}$

با توجه به این تعریف این مقدار گرما برابر است با :

$$۱TR=\frac{۱۴۴Btu/lbm\times۲۰۰۰lbm}{۲۴hr}=۱۲۰۰۰Btu/hr$$

در سیستم بین المللی این مقدار برابر خواهد بود با :

$$۱TR=\frac{۳۳۵kJ/kg\times۹۰۷/۱۸kg}{۲۴\times۳۶۰۰s}=۳/۵۱۷kJ/s=۳/۵۱۷kw$$

در سیستم متریک این مقدار برابر خواهد بود با :

$$۱TR=\frac{۸۰kcal/kg\times۹۰۷/۱۸kg}{۲۴hr}=۳۰۲۴kcal/hr$$

با تبدیل یکا نیز همان مقدار به‌دست می‌آید :

$$۱۲۰۰۰\frac{Btu}{hr}\times۰\ ۲۵۲\frac{kcal}{Btu}=۳۰۲۴\frac{kcal}{hr}$$

$$۱۲۰۰۰\frac{Btu}{hr}\times۱/۰۵۵\frac{kJ}{Btu}\times\frac{۱hr}{۳۶۰۰s}=۳/۵۱۷\frac{kJ}{S}$$

بنابراین :

$$۱TR=۱۲۰۰۰\frac{Btu}{hr}=۳/۵۱۷kw=۳۰۲۴\frac{kcal}{hr}$$

۳ــ۲ــ فرایند تبرید

روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند ابتدا سردسازی را تعریف نموده و سپس آن را دسته بندی نمایند و نشان دهند که یخچال خانگی در کدام قسمت این دسته بندی قرار دارد.

دانش افزایی

تعریف تبرید

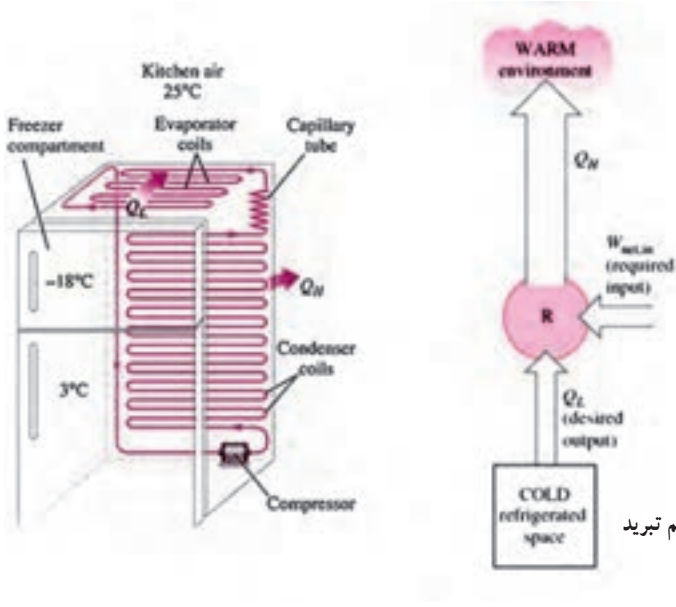
تبرید یا سردسازی عبارت است از : «ایجاد شرایط مناسب برای کاهش دمای یک مکان (یا یک ماده) نسبت به محیط آن» به بیان دیگر تبرید «انتقال گرما از یک محیط با دمای پایین به یک محیط با دمای بالاتر است.»

سردسازی را می‌توان از چند دیدگاه دسته‌بندی نمود. یک طبقه‌بندی روش‌های اساسی سردسازی به‌شکل زیر است :

۱ــ سردسازی مدار باز ۲ــ سردسازی مدار بسته ۳ــ سردسازی به‌روش‌های ویژه

۱ــ سردسازی مدار باز : وقتی یک تکه یخ را در داخل یک لیوان قرار می‌دهید تا آب خنک شود. با این روش دمای آب از طریق تماس مستقیم سردتر گردیده است. همچنین چنانچه یک تکه یخ را برابر یک پنکه قرار دهید و وزش پنکه را به‌سمت خود قرار دهید حس می‌کنید که قالب یخ کمک به خنک‌تر شدن بیشتر هوا می‌کند. انتقال غیر مستقیم گرما توسط جسم سوم یعنی هوایی که بین ماده سرد (یخ) و جسمی که می‌خواهند خنک شود (شما) صورت می‌گیرد. کولر آبی از همین روش پیروی می‌کند.

۲ــ سردسازی مدار بسته : در این روش گرما را از یک محیط با دمای پایین به یک محیط با دمای بالا انتقال می‌دهیم در این روش نیاز به کار خارجی داریم.



شکل ۲ــ۲ــ اصل اساسی یک سیستم تبرید

همان‌طور که می‌دانیم گرما از یک محیط با دمای بالاتر به یک محیط با دمای پایین‌تر به‌خودی خود انتقال می‌یابد و نیاز به کار نداریم ولی چنانچه بخواهیم عکس این کار را انجام دهیم حتماً نیاز به‌کار داریم. (قانون دوم ترمودینامیک)

دمای بالا و پایین را می‌توان به بالا و پایین یک تپه تشبیه نمود که آب از بالای تپه به پایین به‌خودی خود سرازیر می‌شود و حتی می‌تواند یک توربین را بچرخاند ولی برای انتقال آب از پایین به بالا نیاز به کار داریم.

پرکاربردترین سردسازی با این روش سیستم تراکمی[۱] و سیستم جذبی[۲] می‌باشد.

این روش خود به دو دسته کلی مدار بخار و مدار گاز تقسیم می‌شود.

۱ــ۲ــ سردسازی با مدار بسته بخار : این روش نیز خود به دو دسته سیستم تبرید تراکمی و سیستم تبرید جذبی دسته‌بندی می‌شود.

۱ــ۱ــ۲ــ سیستم تبرید تراکمی : در این سیستم مقداری گرما در اواپراتور جذب و مقدار بیشتری گرما در کندانسر دفع می‌گردد.

۲ــ۱ــ۲ــ سیستم تبرید جذبی : در اوائل قرن بیستم سیستم تبرید جذبی آب ــ آمونیاک بسیار محبوب بود ولی با توسعه سیستم تراکمی کاربرد آن کم شد ولی مجدداً سیستم جذبی با استفاده آب ــ لیتیوم برماید به دلیل استفاده از گرمای اضافی در محیط‌های

۱ــ Vapour Compression Refrigeration (VCR)

۲ــ Vapour Absorption Refrigeration (VAR)

صنعتی و همچنین در جایی که گاز بیش از برق در دسترس است مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲ــ۲ــ سردسازی با مدار بسته گاز : زمانی که ما از یک گاز به‌عنوان سیال در سیکل تبرید استفاده می‌کنیم ولی گاز تبخیر و تقطیر نمی‌شود و به‌همان حالت می‌ماند آن سیکل را سیکل گاز می‌نامند. پرکاربردترین گاز در این سیکل هوا می‌باشد.

۳ــ سردسازی به‌روش‌های ویژه : روش‌هایی دیگر نیز برای سردسازی وجود دارند که برخی از آنها بازده کمی داشته و برخی نیز برای سیستم‌های دمای پایین به‌کار می‌روند. از معروف‌ترین این سیستم‌ها می‌توان سردسازی ترموالکتریک، سردسازی مغناطیسی، سردسازی نوری و سردسازی گرما ــ صوتی را نام برد.

۴ــ۲ــ رابطه فشار و دمای آب

روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند با مراجعه به فصل اول رابطه فشار و دمای نقطه جوش آب را بیان نموده و در مجموع توضیح دهند که هرچه فشار کمتر باشد دمای نقطه جوش پایین‌تر است و هرچه فشار بیشتر باشد دمای نقطه جوش بالاتر می‌رود. و این تصور را که نقطه جوش نمی‌تواند کمتر از صفر درجه سلسیوس باشد از ذهن هنرجویان بزدایند.

در شکل ۳ــ۲ رابطه و دمای نقطه اشباع آب برای مثال آورده شده است. توجه کنید که یکای فشار در زیر فشار آتمسفر در یک ستون جدول برحسب میکرون آمده است که هر اینچ جیوه برابر ۲۵۴۰۰ میکرون است. و در این ستون فشار مطلق است.

شکل ۳ــ۲ جدول فشار و دمای نقطه اشباع آب

Saturated Water (H_2O) Pressure & Temperature Chart			
Temperature In °F	PSIG		Pounds Sq. In. Absolute PSIA
281	35.3psig	↑	50.00
274	30.3psig		45.00
267	25.3psig		40.00
259	20.3psig	High Pressure	35.00
250	15.3psig	Lo/Hi Division	30.00
240	10.3psig	Low Pressure	25.00
228	5.3psig	↓	20.00
213	.3psig		15.00
Above Atmospheric Pressure			
212°	0.00	759,968	14.696
Below Atmospheric Pressure			
Temperature In °F	Inches of Hg. Vacuum	Microns	Pounds Sq. In. Absolute PSIA
205°	4.92	535,000	12.279
194°	9.23	525,526	10.162
176°	15.94	355,092	6.866
158°	20.72	233,680	4.519
140°	24.04	149,352	2.888
122°	26.28	92,456	1.788
104°	27.75	55,118	1.066
86°	28.67	31,750	.614
80°	28.92	25,400	.491
76°	29.02	22,860	.442
72°	29.12	20,320	393
69°	29.22	17,780	.344
64°	29.32	15,240	.295
59°	29.42	12,700	.246
53°	29.52	10,160	.196
45°	29.62	7,620	.147
32°	29.74	4,572	.088
21°	29.82	2,540	.049
6°	29.87	1,270	.0245
-24°	29.91	254	.0049
-35°	29.915	127	.00245
-60°	29.919	25.4	.00049
-70°	29.9195	12.7	.00024
-90°	29.9199	2.54	.000049

پرسش و پاسخ

۱ــ دمای نقطه جوش آب در فشار مطلق ۲۰psia چند درجه فارنهایت است؟

پاسخ : ۲۲۸ درجه فارنهایت

۲ــ دمای نقطه جوش آب در فشار خلأ ۲۹/۹۱ اینچ جیوه چند درجه سلسیوس است؟

$$-۲۴^{\circ}F \rightarrow C = \frac{F-۳۲}{۱/۸} = \frac{-۲۴-۳۲}{۱/۸} = \frac{-۵۶}{۱/۸} = -۳۱$$

۵ــ۲ــ جدول فشار ــ دمای مبردها و کاربرد آن

روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند مانند آب رابطه فشار و دمای اشباع مواد سرمازای دیگر را نیز بیان نمایند. در ادامه انواع جدول‌هایی را که در این زمینه وجود دارند به‌لحاظ ساختاری توضیح دهند. سپس یکی از کاربردهای این جدول‌ها را در شارژ گاز یا مایع سردکننده به سیستم توضیح دهند. (جدول‌های ۴ــ۲ و ۵ــ۲)

پرسش و پاسخ

۱ــ در فشار آتمسفر نقطه جوش سردکننده‌های R۴۱۰ و R۱۳۴ و R۲۲ به‌ترتیب چند درجه سلسیوس است؟

پاسخ : ۶۵- و ۴۱- و ۵۵-

۲ــ در فشار ۰/۵barg بار گیج نقطه جوش سردکننده‌های R۴۱۰ــ و R۱۳۴ــ و R۲۲ــ به‌ترتیب چند درجه سلسیوس است؟

پاسخ : ۵۱- و ۲۴- و ۴۱-

۳ــ می‌خواهیم یک سیستم تبرید را با گاز مبرد R۱۳۴ــ شارژ کنیم فشارسنج انتهای اواپراتور، مقدار یک بار را نشان می‌دهد، چنانچه با دماسنج، مقدار دما را اندازه بگیریم صفر درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. (سیستم ۵ درجه سوپرهیت باشد) باید کدام عمل را انجام دهیم؟

مقدار شارژ مناسب است ☐ مقدار گاز زیاد است و باید کمی گاز تخلیه کنیم ☐ باید به شارژ ادامه دهیم ☐

پاسخ : با استفاده از جدول، دمای متناظر یک بار ۱۰- درجه است.

۱۰ = (۱۰-) - ۰ = دمای اشباع گاز - دمای گاز = دمای سوپرهیت

دمای سوپرهیت ۵ درجه بالاتر از حد خواسته شده است پس باید به شارژ کردن گاز ادامه دهیم.

دانش افزایی

کاربرد جدول مبردها

چنانچه ما در هر نقطه از چرخه تبرید دما یا فشار را به‌تنهایی داشته باشیم با جدول‌های فشار ــ دما[1] می‌توانیم فشار یا دمای متناظر را پیدا کنیم. برای مثال چنانچه دمای گاز R۱۳۴ در یک چرخه تبرید ۳۵°C باشد فشار اشباع این گاز در همان نقطه ۷/۹۳ بار گیج است. یکی از کاربردهای این جدول‌ها در شارژ گاز می‌باشد که با توجه به نوع دمای کار سیستم و اینکه با مایع شارژ شود یا گاز از روش‌های مختلف استفاده می‌شود :

یکم (اندازه‌گیری قسمت فشار بالا) : بدین صورت که به دمای محیط ۱۵°C افزوده و با این دما فشار کار کندانسر را به دست می‌آورند. (مقدار دقیق این دما با توجه به نوع سیستم و دمای هوای خشک خارج و دمای مرطوب داخل تعیین می‌شود)

مثال : چنانچه بخواهیم گاز R۱۳۴ را به‌کار ببریم و دمای محیط ۳۰°C باشد :

۳۰+۱۵ = ۴۵°C→ ۱۰/۶۷ barg

در این حالت شارژ را تا زمانی ادامه می‌دهند تا فشارسنج، فشار ۱۰/۶۷ بار را نشان دهد.

دوم (اندازه‌گیری سوپرهیت) : گاز بهتر است در انتهای اواپراتور ۵ درجه سلسیوس سوپرهیت شود، برای اینکار با فشارسنج، فشار خروجی را خوانده و هم‌زمان در همان نقطه با دماسنج، دمای گاز را می‌خوانیم. برای مثال می‌خواهیم یک سیستم تبرید را با گاز مبرد R۲۲ شارژ کنیم فشار را در انتهای اواپراتور اندازه گرفته، مقدار ۵ بار را نشان می‌دهد، دمای اشباع متناظر این فشار از جدول ۶°C می‌شود؛ چنانچه با دماسنج، مقدار دما را اندازه بگیریم ۲۰°C را نشان می‌دهد. این بدین معنی است که سیستم ۱۴ درجه سوپرهیت است پس ما باید به شارژ ادامه داده تا اختلاف کمتر شده و به‌حدود ۷ درجه برسد. اما چنانچه دمای اندازه‌گیری شده ۸°C باشد اختلاف ۲ درجه است پس کمی گاز باید تخلیه شود.

دمای اشباع گاز – دمای گاز = دمای سوپرهیت

سوم (اندازه‌گیری دمای ساب‌کولد) : در شیر سرویس، فشار و دمای مایع مبرد را اندازه‌گیری می‌کنیم. سپس دمای متناظر آن فشار (دمای اشباع) را از جدول به‌دست می‌آوریم.

دمای مایع – دمای اشباع مایع = دمای ساب‌کولد

مثال : در یک چرخه R۱۳۴ دما و فشار اندازه‌گیری شده در انتهای کندانسر ۳۰°C و ۸ بار است. وضعیت ماده مبرد در چه حالتی قرار دارد؟ ۵ درجه ساب‌کولد است.

۵ = ۳۰ – ۳۵ = دمای مایع – دمای اشباع مایع = دمای ساب‌کولد

جدول‌های مبردها با توجه به یکای به‌کار رفته و فشار مطلق یا گیج بسیار متنوع می‌باشند برای مثال در شکل ۴ــ۲ دما برحسب درجه سلسیوس و فشار برحسب بار گیج می‌باشد. منتها شماره‌های مثبت، فشار بیشتر از آتمسفر و شماره‌های منفی، فشار کمتر از آتمسفر را نشان می‌دهد.

در شکل ۵ــ۲ چند یکای فشار برای یک نوع مبرد آورده شده است و فشار هم برحسب فشار مطلق و هم برحسب فشار نسبی آمده است. در ستون اول این جدول که برحسب PSIG تعریف شده در منطقه زیر فشار آتمسفر (خلأ) در داخل پرانتز شماره‌ها برحسب اینچ جیوه می‌باشد. (توجه کنید در این حالت صفر نشانه فشار آتمسفر و ۲۹/۹۲ نشانه خلأ کامل است.) به‌طور معمول در جدول‌هایی که فشار مثبت با بارگیج نشان داده می‌شود فشار خلأ ممکن است با میلی‌متر جیوه نمایش داده شود و در این حالت نیز صفر نشانه آتمسفر و ۷۶۰ نشانه خلأ کامل است.

۱ــ P/T Chart

شکل ۴ــ۲ جدول دما و فشار مبردها (فشار برحسب بارگیج) (barg)

t °C	R22	R12	R134	R404a	R502	R717	R410a	R507a	R600	R23	R290	R142b	R406a	R409A
-70	-0,81	-0,88	-0,92	-0,74	-0,72	-	-0,89	-0,65	-0,72	-	0,94	-	-	-	-
-65	-0,74	-0,83	-0,88	-0,63	-0,62	-	-0,84	-0,51	-0,61	-	1,48	-	-	-0,94	-
-60	-0,63	-0,77	-0,84	-0,52	-0,51	-0,74	-0,78	-0,36	-0,50	-	2,12	-	-	-0,9	-
-55	-0,49	-0,69	-0,77	-0,35	-0,35	-0,63	-0,69	-0,22	-0,32	-	2,89	-	-	-0,83	-
-50	-0,35	-0,61	-0,70	-0,18	-0,19	-0,52	-0,59	0,08	-0,14	-	3,8	-	-	-0,8	-
-45	-0,2	-0,49	-0,59	-0,11	-0,14	-0,34	-0,44	0,25	-0,02	-	4,86	-	-	-0,66	-
-40	0,05	-0,36	-0,48	0,32	0,30	-0,16	-0,28	0,73	0,39	-0,71	6,09	0,12	-	-0,62	-
-35	0,25	-0,18	-0,32	0,68	0,64	-0,06	-0,24	1,22	0,77	-0,62	7,51	0,37	-	-0,4	-
-30	0,64	0,00	-0,15	1,04	0,98	0,37	0,19	1,71	1,15	-0,53	9,12	0,68	-	-0,2	-
-25	1,05	0,26	-0,06	1,53	1,46	0,75	0,55	2,35	1,67	-0,38	10,98	1,03	-	-0,1	0,06
-20	1,46	0,51	0,33	2,02	1,91	1,12	0,90	2,98	2,18	-0,27	13,04	1,44	-	0,2	0,32
-15	2,01	0,85	0,67	2,67	2,53	1,64	1,41	3,85	2,86	-0,18	15,37	1,91	-	0,4	0,62
-10	2,55	1,19	1,01	3,32	3,14	2,16	1,91	4,72	3,54	0,09	17,96	2,45	0	0,8	0,98
-5	3,27	1,64	1,47	4,16	3,94	2,87	2,6	5,85	4,42	0,33	20,85	3,06	0,22	1,1	1,4
0	3,98	2,08	1,93	5,03	4,73	3,57	3,29	6,98	5,29	0,57	24	3,75	0,47	1,6	1,88
5	4,89	2,66	2,54	6,11	5,73	4,43	4,22	8,37	6,40	0,89	27,54	4,52	0,75	2,1	2,43
10	5,80	3,23	3,14	7,18	6,73	5,28	5,15	9,76	7,51	1,21	31,37	5,38	1,08	2,6	3,07
15	6,95	3,95	3,93	8,52	7,97	6,46	6,36	11,56	8,88	1,62	35,56	6,33	1,46	3,3	3,78
20	8,10	4,67	4,72	9,86	9,20	7,63	7,57	13,35	10,25	2,02	40,11	7,39	1,9	4,0	4,59
25	9,5	5,39	5,71	11,5	10,70	9,14	9,12	15,00	11,94	2,54	45,03	8,55	2,38	4,8	5,5
30	10,90	6,45	6,70	13,14	12,19	10,65	10,67	16,65	13,63	3,05	-	9,82	2,94	5,7	6,51
35	12,60	7,53	7,93	15,13	13,98	12,45	12,61	19,78	15,69	3,69	-	11,21	3,55	6,7	7,64
40	14,30	8,60	9,16	17,11	15,77	14,25	14,55	22,90	17,74	4,32	-	12,73	4,25	7,8	8,88
45	16,3	10,25	10,67	19,51	17,89	16,48	16,94	26,2	20,25	5,09	-	14,38	5,02	9,1	10,28
50	18,30	11,90	12,18	21,90	20,01	18,70	19,33	29,50	22,75	5,86	-	16,16	5,87	10,4	11,78
55	20,75	13,08	14,00	24,76	22,51	21,45	22,24	-	25,80	6,79	-	18,08	6,81	11,9	13,41
60	23,20	14,25	15,81	27,62	25,01	24,20	25,14	-	28,85	7,72	-	20,14	7,85	13,6	15,2
70	29,00	17,85	20,16	-	30,92	-	32,12	-	-	9,91	-	24,72	10,23	17,3	19,26
80	-	22,04	25,32	-	-	-	40,40	-	-	-	-	29,94	13,07	21,5	23,99
90	-	26,88	31,43	-	-	-	50,14	-	-	-	-	35,82	16,4	-	29,43

شکل ۵ــ۲ جدول دما و فشار اشباع فریون ۲۲

Refrigerant R-22 Pressure / Temperature chart

Gauge pressure			Absolute pressure					Fahrenheit			Celsius			Kelvin		
PSIG	KG/CM2	KPA-G	KG/CM2	Mbar	Pascals	KPA	PSIA	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl
-14 (29")	-.98	-96.5	.05	48	4,798	4.8	0.7	-130.1			-90.1			183.1		
-13 (26")	-.91	-89.6	.12	117	11,693	11.7	1.7	-109.0			-78.3			194.8		
-12 (24")	-.84	-82.7	.19	186	18,588	18.6	2.7	-96.7			-71.5			201.7		
-11 (22")	-.77	-75.8	.26	255	25,482	25.5	3.7	-87.7			-66.5			206.7		
-10 (20")	-.70	-68.9	.33	324	32,377	32.4	4.7	-80.6			-62.6			210.6		
-9 (18")	-.63	-62.1	.40	393	39,272	39.3	5.7	-74.5			-59.2			214.0		
-8 (16")	-.56	-55.2	.47	462	46,167	46.2	6.7	-69.3			-56.3			216.9		
-7 (14")	-.49	-48.3	.54	531	53,061	53.1	7.7	-64.7			-53.7			219.4		
-6 (12")	-.42	-41.4	.61	600	59,956	60.0	8.7	-60.5			-51.4			221.8		
-5 (10")	-.35	-34.5	.68	669	66,851	66.9	9.7	-56.8			-49.3			223.8		
Gauge pressure			**Absolute pressure**					**Fahrenheit**			**Celsius**			**Kelvin**		
PSIG	**KG/CM2**	**KPA-G**	**KG/CM2**	**Mbar**	**Pascals**	**KPA**	**PSIA**	**T**	**Dew**	**Bbl**	**T**	**Dew**	**Bbl**	**T**	**Dew**	**Bbl**
-4 (8")	-.28	-27.6	.75	737	73,746	73.7	10.7	-53.3			-47.4			225.8		
-3 (6")	-.21	-20.7	.82	806	80,641	80.6	11.7	-50.0			-45.6			227.6		
-2 (4")	-.14	-13.8	.89	875	87,536	87.5	12.7	-47.0			-43.9			229.3		
-1 (2")	-.07	-6.9	.96	944	94,431	94.4	13.7	-44.1			-42.3			230.9		
0	.00	.0	1.03	1,013	101,325	101.3	14.7	-41.5			-40.8			232.3		
1	.07	6.9	1.10	1,082	108,220	108.2	15.7	-38.9			-39.4			233.8		
2	.14	13.8	1.17	1,151	115,115	115.1	16.7	-36.5			-38.1			235.1		
3	.21	20.7	1.24	1,220	122,010	122.0	17.7	-34.2			-36.8			236.4		
4	.28	27.6	1.31	1,289	128,904	128.9	18.7	-32.0			-35.6			237.6		
5	.35	34.5	1.38	1,358	135,799	135.8	19.7	-29.9			-34.4			238.8		
Gauge pressure			**Absolute pressure**					**Fahrenheit**			**Celsius**			**Kelvin**		
PSIG	**KG/CM2**	**KPA-G**	**KG/CM2**	**Mbar**	**Pascals**	**KPA**	**PSIA**	**T**	**Dew**	**Bbl**	**T**	**Dew**	**Bbl**	**T**	**Dew**	**Bbl**
6	.42	41.4	1.46	1,427	142,694	142.7	20.7	-27.8			-33.2			239.9		
7	.49	48.3	1.53	1,496	149,589	149.6	21.7	-25.9			-32.2			241.0		
8	.56	55.2	1.60	1,565	156,483	156.5	22.7	-24.0			-31.1			242.0		
9	.63	62.1	1.67	1,634	163,378	163.4	23.7	-22.1			-30.1			243.1		
10	.70	68.9	1.74	1,703	170,273	170.3	24.7	-20.4			-29.1			244.0		
11	.77	75.8	1.81	1,772	177,168	177.2	25.7	-18.7			-28.2			245.0		
12	.84	82.7	1.88	1,841	184,062	184.1	26.7	-17.0			-27.2			245.9		
13	.91	89.6	1.95	1,910	190,957	191.0	27.7	-15.4			-26.3			246.8		
14	.98	96.5	2.02	1,979	197,852	197.9	28.7	-13.8			-25.4			247.7		
15	1.05	103.4	2.09	2,047	204,747	204.7	29.7	-12.3			-24.6			248.5		
Gauge pressure			**Absolute pressure**					**Fahrenheit**			**Celsius**			**Kelvin**		
PSIG	**KG/CM2**	**KPA-G**	**KG/CM2**	**Mbar**	**Pascals**	**KPA**	**PSIA**	**T**	**Dew**	**Bbl**	**T**	**Dew**	**Bbl**	**T**	**Dew**	**Bbl**
16	1.12	110.3	2.16	2,116	211,641	211.6	30.7	-10.8			-23.8			249.4		
17	1.20	117.2	2.23	2,185	218,536	218.5	31.7	-9.3			-22.9			250.2		
18	1.27	124.1	2.30	2,254	225,431	225.4	32.7	-7.9			-22.2			251.0		
19	1.34	131.0	2.37	2,323	232,326	232.3	33.7	-6.5			-21.4			251.8		
20	1.41	137.9	2.44	2,392	239,220	239.2	34.7	-5.2			-20.7			252.5		
21	1.48	144.8	2.51	2,461	246,115	246.1	35.7	-3.9			-19.9			253.2		
22	1.55	151.7	2.58	2,530	253,010	253.0	36.7	-2.6			-19.2			253.9		
23	1.62	158.6	2.65	2,599	259,905	259.9	37.7	-1.3			-18.5			254.7		
24	1.69	165.5	2.72	2,668	266,800	266.8	38.7	0.0			-17.8			255.4		
25	1.76	172.4	2.79	2,737	273,694	273.7	39.7	1.2			-17.1			256.0		
Gauge pressure			**Absolute pressure**					**Fahrenheit**			**Celsius**			**Kelvin**		
PSIG	**KG/CM2**	**KPA-G**	**KG/CM2**	**Mbar**	**Pascals**	**KPA**	**PSIA**	**T**	**Dew**	**Bbl**	**T**	**Dew**	**Bbl**	**T**	**Dew**	**Bbl**
26	1.83	179.3	2.86	2,806	280,589	280.6	40.7	2.4			-16.4			256.7		
27	1.90	186.2	2.93	2,875	287,484	287.5	41.7	3.5			-15.8			257.3		
28	1.97	193.1	3.00	2,944	294,379	294.4	42.7	4.7			-15.2			258.0		
29	2.04	199.9	3.07	3,013	301,273	301.3	43.7	5.8			-14.6			258.6		
30	2.11	206.8	3.14	3,082	308,168	308.2	44.7	6.9			-13.9			259.2		
31	2.18	213.7	3.21	3,151	315,063	315.1	45.7	8.0			-13.3			259.8		
32	2.25	220.6	3.28	3,220	321,958	322.0	46.7	9.1			-12.7			260.4		
33	2.32	227.5	3.35	3,289	328,852	328.9	47.7	10.2			-12.1			261.0		
34	2.39	234.4	3.42	3,357	335,747	335.7	48.7	11.2			-11.6			261.6		
35	2.46	241.3	3.49	3,426	342,642	342.6	49.7	12.2			-11.0			262.2		
Gauge pressure			**Absolute pressure**					**Fahrenheit**			**Celsius**			**Kelvin**		
PSIG	**KG/CM2**	**KPA-G**	**KG/CM2**	**Mbar**	**Pascals**	**KPA**	**PSIA**	**T**	**Dew**	**Bbl**	**T**	**Dew**	**Bbl**	**T**	**Dew**	**Bbl**

HVACSuite.com

جدول‌هایی نیز برای مبردها وجود دارند که علاوه بر دما و فشار سایر ویژگی‌های ترمودینامیکی را نشان می‌دهد. (شکل ۶ــ۲)

شکل ۶ــ۲ جدول خواص مایع و بخار اشباع آمونیاک

Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapour
R717, Ammonia, NH_3

Temp. T °C	Pressure P, bar	Volume, v_g m^3/kg	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/kg K		Sp Heat, kJ/kg K	
			Liquid h_f	Vapour h_g	Liquid s_f	Vapour s_g	Liquid c_l	Vapour c_g
−40	0.7168	1.5535	19.60	1408.41	0.2885	6.2455	4.396	2.175
−38	0.7970	1.4068	28.41	1411.54	0.3260	6.2082	4.406	2.192
−36	0.8844	1.2765	37.24	1414.62	0.3634	6.1717	4.417	2.210
−34	0.9795	1.1603	46.09	1417.66	0.4005	6.1359	4.427	2.229
−32	1.0826	1.0566	54.97	1420.65	0.4374	6.1008	4.437	2.248
−30	1.1944	0.96377	63.86	1423.60	0.4741	6.0664	4.448	2.268
−28	1.3153	0.88062	72.78	1426.51	0.5105	6.0327	4.458	2.289
−26	1.4459	0.80595	81.72	1429.36	0.5467	5.9997	4.469	2.310
−24	1.5866	0.73877	90.68	1432.17	0.5828	5.9672	4.479	2.332
−22	1.7382	0.67822	99.66	1434.93	0.6186	5.9354	4.490	2.355
−20	1.9011	0.62356	108.67	1437.64	0.6542	5.9041	4.501	2.379
−18	2.0760	0.57413	117.69	1440.30	0.6896	5.8734	4.512	2.404
−16	2.2634	0.52936	126.74	1442.91	0.7248	5.8433	4.523	2.429
−14	2.4640	0.48874	135.82	1445.47	0.7599	5.8137	4.534	2.455
−12	2.6785	0.45182	144.91	1447.97	0.7947	5.7846	4.545	2.482
−10	2.9075	0.41823	154.03	1450.42	0.8294	5.7559	4.556	2.510
−8	3.1517	0.38761	163.18	1452.81	0.8638	5.7278	4.568	2.538
−6	3.4117	0.35966	172.35	1455.15	0.8981	5.7001	4.580	2.567
−4	3.6862	0.33411	181.54	1457.43	0.9323	5.6728	4.592	2.597
−2	3.9821	0.31073	190.76	1459.65	0.9662	5.6460	4.604	2.628
0	4.2941	0.28929	200.00	1461.81	1.0000	5.6196	4.617	2.660
2	4.6248	0.26962	209.27	1463.91	1.0336	5.5936	4.630	2.692
4	4.9749	0.25154	218.57	1465.94	1.0671	5.5679	4.643	2.726
6	5.3454	0.23491	227.89	1467.91	1.1004	5.5426	4.656	2.760
8	5.7370	0.21959	237.24	1469.82	1.1335	5.5177	4.670	2.795
10	6.1504	0.20545	246.62	1471.66	1.1666	5.4931	4.683	2.831
12	6.5865	0.19240	256.03	1473.43	1.1994	5.4688	4.698	2.868
14	7.0461	0.18034	265.46	1475.13	1.2321	5.4448	4.712	2.906
16	7.5301	0.16917	274.93	1476.75	1.2647	5.4212	4.727	2.945
18	8.0392	0.15882	284.43	1478.30	1.2972	5.3977	4.742	2.985

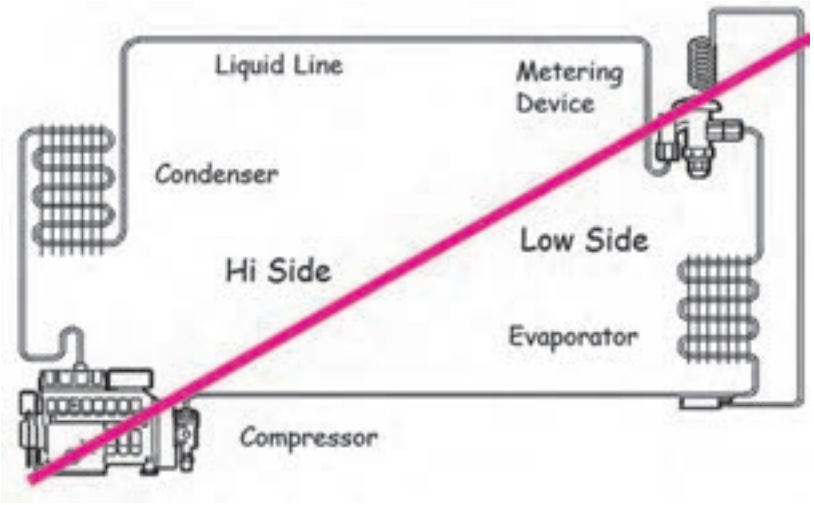
۶ــ۲ــ چرخه سردسازی

روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند با توجه به شکل ۸ــ۲ چهار قسمت اصلی هر چرخه را توضیح داده و دما و فشار در هر بخش را بیان نمایند و با توجه به شکل ۹ــ۲ بین چرخه سردسازی جذبی و تراکمی مقایسه‌ای برقرار نمایند.

همچنین می‌توان چهار بخش اصلی سیستم تبرید را برابر شکل ۷ــ۲ روی تابلو رسم نمود و خطی که مرز بین قسمت پرفشار از کم فشار را جدا می‌کند کشید. در نهایت هنرجو را متوجه مفهوم ساب‌کولد و سوپرهیت در سیکل کرده و توضیح دهیم که این مفاهیم

صرفاً در اثر بالا و پایین بودن دما نیست چرا که در انتهای اواپراتور با دمای ۱۰ درجه ما حالت سوپرهیت و در انتهای کندانسر با دمای ۴۲ درجه ما در موقعیت ساب‌کولد هستیم.



شکل ۷ــ۲ــ مرز جدایی بین بخش فشار پایین و فشار بالا

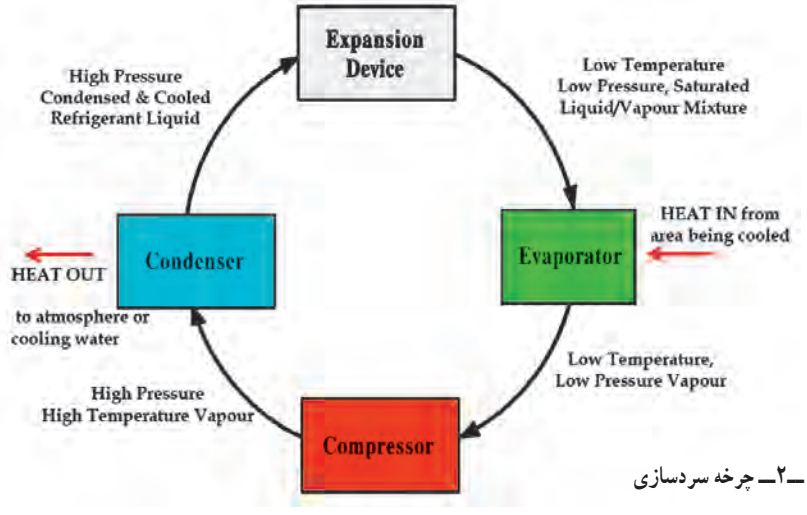
پرسش و پاسخ

۱ــ در کدام قسمت ماده مبرد بیشترین فشار را دارد؟
۲ــ در کدام قسمت ماده مبرد بیشترین دما را دارد؟
۳ــ آیا رابطه‌ای بین دما و فشار در هر قسمت وجود دراد؟
۴ــ آیا فقط دما با مفاهیم سوپرهیت و ساب‌کولد رابطه دارد؟

دانش افزایی

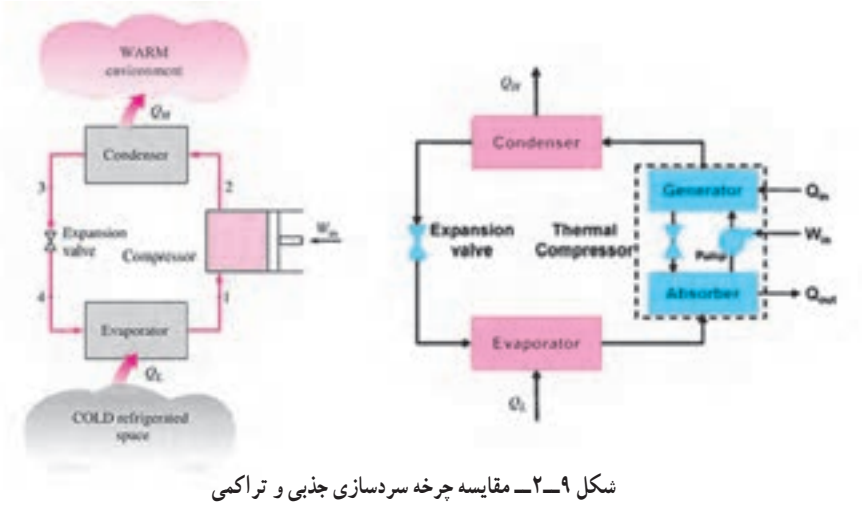
چرخه سردسازی

هر چرخه سردسازی نیاز به چهار بخش دارد. (شکل ۸ــ۲)



شکل ۸ــ۲ــ چرخه سردسازی

چنانچه شرایط طرح به‌گونه‌ای باشد که بخواهیم از سیستم تبرید تراکمی استفاده کنیم از یک کمپرسور مکانیکی و چنانچه از سیستم جذبی استفاده کنیم از یک کمپرسور گرمایی استفاده می‌کنیم. (شکل ۹ــ۲)



شکل ۹ــ۲ــ مقایسه چرخه سردسازی جذبی و تراکمی

چهار فرایند سیستم تبرید تراکمی عبارت است از :

۲ــ۱ تراکم گاز تا دمایی بالاتر از دمای تقطیر (در کمپرسور)

۳ــ۲ تقطیر هم‌فشار و دفع گرما در محیط (در کندانسر)

۴ــ۳ خفقان شامل افت فشار و دما (در شیر انبساط)

۱ــ۴ تبخیر مایع مبرد به‌صورت هم‌دما و هم‌فشار و جذب گرما (در اواپراتور)

همانطور که می‌دانیم دستگاهی که این چرخه را در چنین جهتی بپیماید دستگاه سردکننده[۱] می‌نامند و سیستمی را که دستخوش چنین چرخه‌ای می‌شود را سیستم سردکنندگی (تبرید)[۲] می‌نامند.

در مورد هر دستگاه سردکننده هدف گرفتن بیشترین مقدار گرما از منبع سرد با صرف کمترین کار است.

با این بیان «ضریب عملکرد[۳]» یا «نسبت انرژی سردکنندگی» به‌صورت زیر تعریف می‌شود :

$$COP = \frac{Q_L}{W_{in}}$$

QL– سرمای ایجاد شده در اواپراتور، Win ــ کار کمپرسور، COP ــ ضریب عملکرد

توجه : چنانچه در صورت و مخرج به‌جای انرژی، توان را بگذاریم فرقی نمی‌کند و این رابطه برقرار است.

مثال : ضریب عملکرد یک کولر گازی ۲۴۰۰۰ بی تی یو برساعت با توان کمپرسور ۲۳۰۰ وات چند است؟

$$Q_L = ۲۴۰۰۰ \times \frac{۱}{۳/۱۴۱} = ۷۶۴۱ watt \rightarrow COP = \frac{Q_L}{W_{in}} = \frac{۷۶۴۱}{۲۳۰۰} = ۳/۳۲$$

راه دیگر پیدا کردن ضریب عملکرد با استفاده از دما می‌باشد : $COP = \frac{T_L}{T_H - T_L}$

که در آن T_L و T_H دمای مطلق ماده مبرد در اواپراتور و کندانسر می‌باشد.

مثال : دمای ماده مبرد در کندانسر و اواپراتور یک سیستم به‌ترتیب ۵۲ و ۵ درجه سلسیوس است، ضریب عملکرد چند است؟

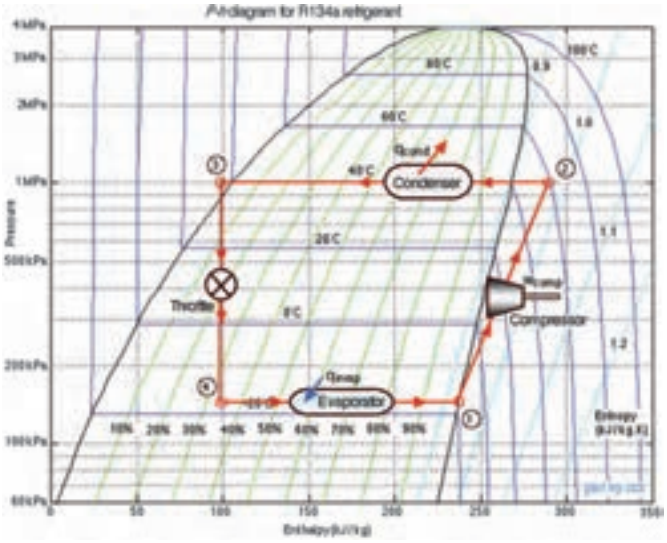
$$COP = \frac{۲۷۳ + ۵}{۵۲ - ۵} = \frac{۲۷۸}{۴۷} = ۵/۹$$

۱ــ Refrigerator ۲ــ Refrigeration ۳ــ Coefficient Of Performance

۷ــ۲ــ نمودار فازی فشار ــ آنتالپی

روش آموزش

هنرآموزان گرامی در فصل اول در مورد نمودار فشار ــ آنتالپی صحبت شده است در این فصل این نمودار را با چرخه سردسازی تطبیق داده برای مثال می‌توان با توجه به شکل ۱۰ــ۲ نشان داد که هر کدام از چهار بخش اصلی در کدام قسمت نمودار قرار می‌گیرند سپس می‌توان نشان داد که گرما در کدام قسمت جذب و در کدام قسمت دفع و در کدام قسمت کار انجام می‌گیرد.



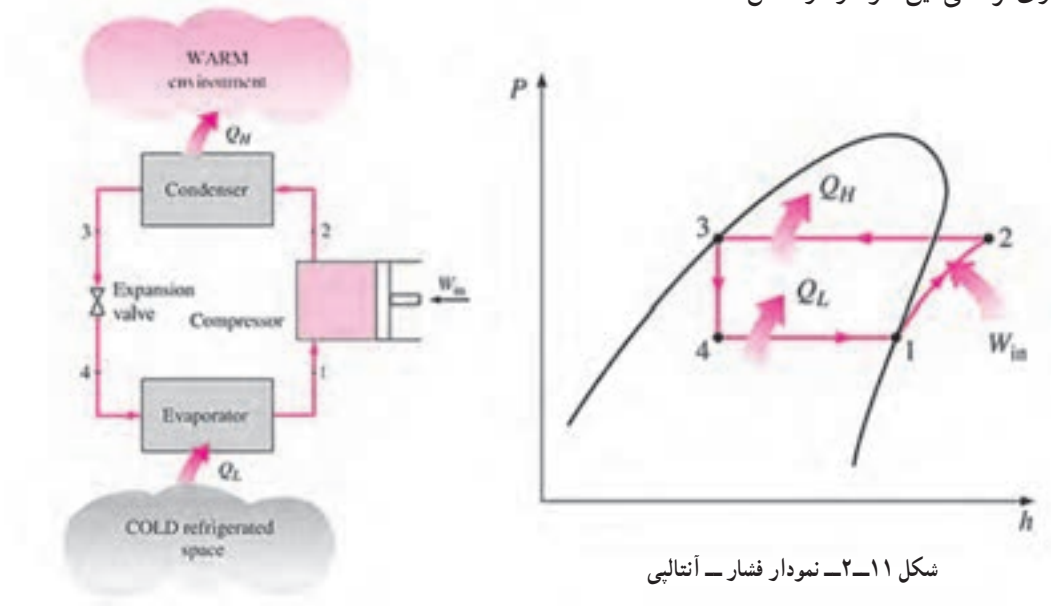
شکل ۱۰ــ۲ــ نمودار فشار ــ آنتالپی گاز R۱۳۴

سپس با ترسیم یک چرخه سردسازی تراکمی و در کنار آن یک نمودار Ph نقاط ورود و خروج به دستگاه‌ها را مشابه سازی نموده و یک سیکل ایده‌آل را رسم می‌کنیم. (شکل ۱۱ــ۲) چون در واقع سیکل‌های ما ایده‌آل نیست یک سیکل واقعی را نیز نشان داده(شکل ۱۲ــ۲) و تفاوت آن را در نقاط سوپرهیت و ساب‌کولد بیان می‌کنیم. در نهایت برابر شکل ۱۴ــ۲ روش ترسیم یک نمودار Ph را توضیح می‌دهیم.

دانش افزایی

بررسی یک چرخه سردساز با نمودار فازی فشار ــ آنتالپی

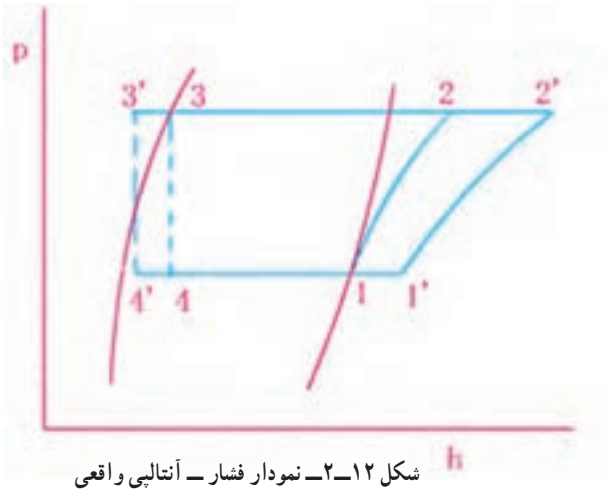
در فصل اول گفته شد که یکی از نمودارهای فازی پرکاربرد، نمودار فازی فشار ــ آنتالپی (P_h) می‌باشد. در یک چرخه سردسازی تراکمی این نمودار در شکل ۱۱ــ۲ آمده است.



شکل ۱۱ــ۲ــ نمودار فشار ــ آنتالپی

همان‌طور که از روی نمودار مشخص است گاز در نقطه ۱ در حالت فشار و دمای اشباع قرار دارد و پس از اینکه توسط کمپرسور فشار گاز افزایش یافت و کار برروی آن انجام گرفت در نقطه ۲ بیشترین دما را داشته با همان دما وارد کندانسر می‌شود. در اثر فشار بالا در کندانسر ماده مبرد گرمای خود را از دست داده و کم کم تقطیر شده تا در نقطه ۳ تمام آن به‌صورت مایع درآید در این حالت مایع در فشار و دمای اشباع قرار دارد. مایع در این نقطه وارد شیر انبساط شده و در اثر پدیده خفقان[1]، فشار به شدت افت کرده تا در نقطه ۴ به فشار اواپراتور برسد. در اثر فشار کم در اواپراتور ماده مبرد گرمای اطراف خود را جذب کرده و کم کم به صورت بخار در می‌آید تا به نقطه ۱ رسیده و چرخه تکرار شود.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود این نمودار در حالت ایده‌آل رسم شده است و ما در واقعیت برای افزایش بهره‌وری تا جایی که مقدور است دمای گاز خروجی اواپراتور را سوپرهیت و دمای مایع خروجی از کندانسر را ساب‌کولد می‌نماییم. (شکل ۱۲ــ۲)

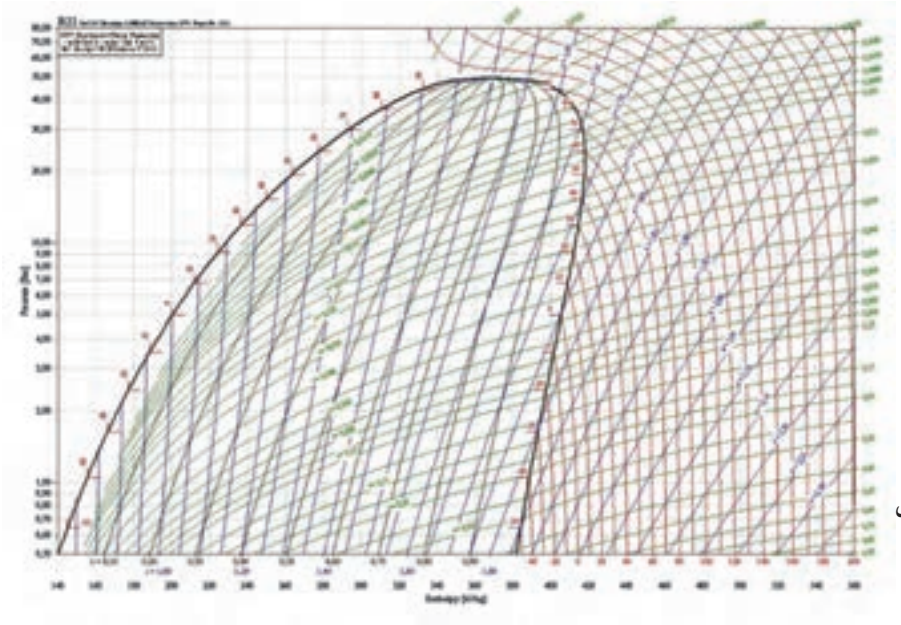


شکل ۱۲ــ۲ــ نمودار فشار ــ آنتالپی واقعی

اما یک نمودار فشار ــ آنتالپی را چگونه رسم کنیم :

برای رسم یک نمودار چنانچه ما فقط دما را در هر بخش داشته باشیم می‌توانیم با توجه به نمودار خام ماده مبرد چرخه را رسم کنیم. (شکل ۱۳ــ۲)

توجه کنید که فشار در این جدول‌ها مطلق است.



شکل ۱۳ــ۲ــ نمودار فشار ــ آنتالپی گاز R۲۲

۱ــ Throttling

برای مثال برای R۲۲ در جدول دما و فشار آمده است :

R۲۲	اواپراتور	خروجی کندانسر	ورود به شیر انبساط	ورود به کمپرسور
دما (درجه سلسیوس)	-۱۵	۳۰	۲۵	-۱۰

برای رسم نمودار برابر شکل (۱۴ــ۲) پنج مرحله را طی می‌کنیم :

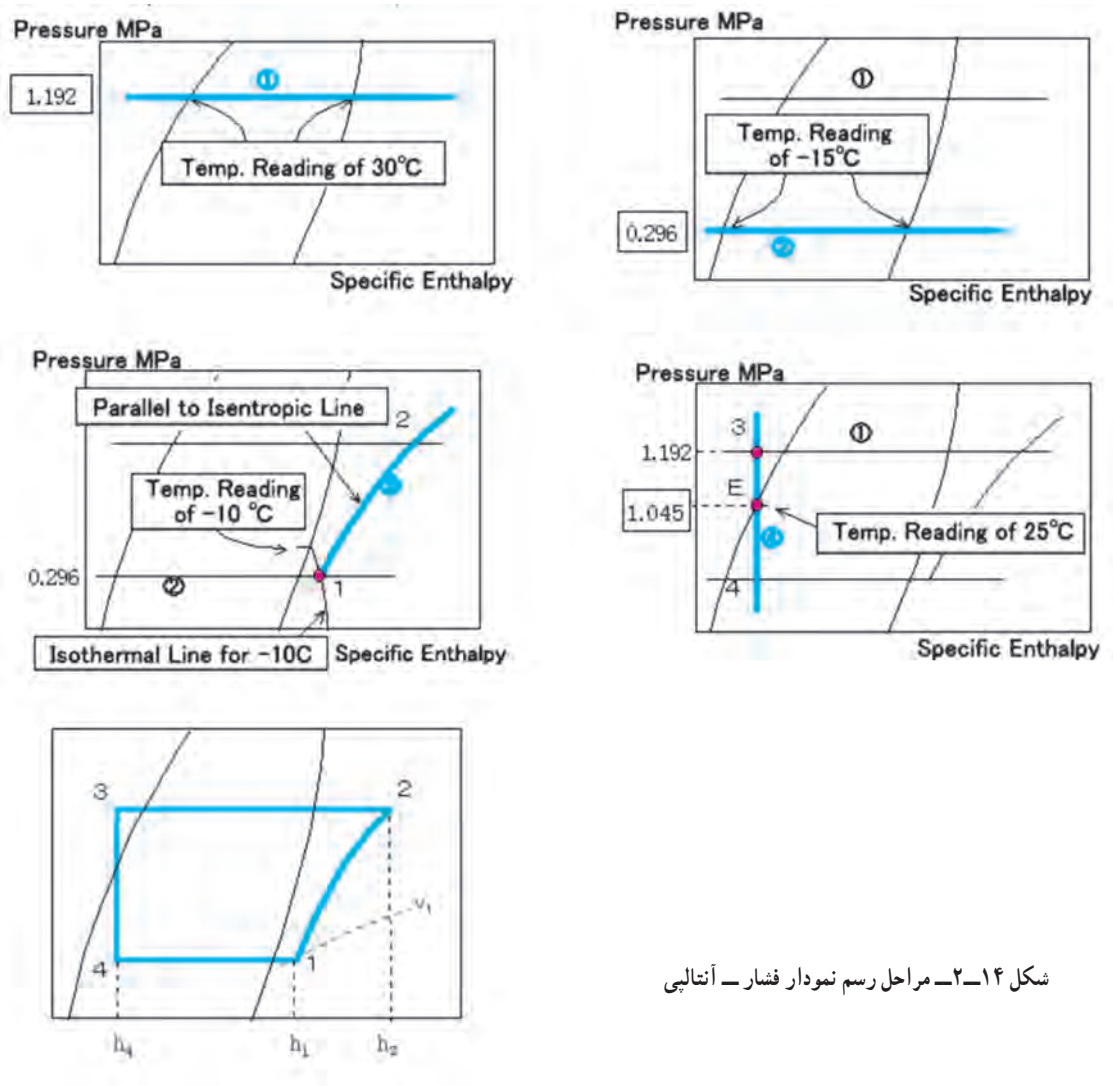
مرحله اول رسم خط کندانسر : خط ۱ که در دمای کندانسر (۳۰) می‌باشد را می‌کشیم.

مرحله دوم رسم خط اواپراتور : خط ۲ که در دمای اواپراتور (۱۵-) می‌باشد را می‌کشیم.

مرحله سوم رسم خط کمپرسور : چون گاز ۵ درجه سوپرهیت شده محل تقاطع خط (۱۰-) با خط ۲ را با نقطه ۱ مشخص می‌کنیم. سپس از نقطه ۱ روی خط آنتروپی ثابت (خط ۳) حرکت کرده تا نقطه ۲ به‌دست آید.

مرحله چهارم رسم خط شیر انبساط : روی خط عمودی دمای ۲۵ درجه حرکت کرده تا خط‌های ۱ و ۲ را در نقاط ۳ و ۴ قطع کند.

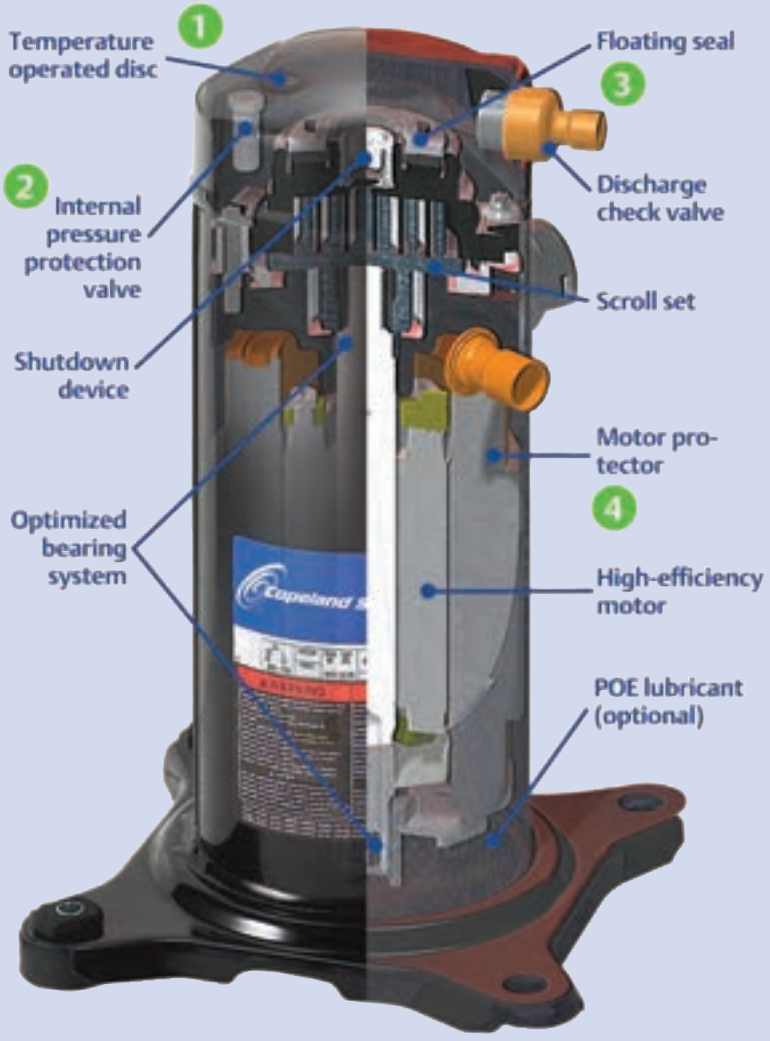
مرحله پنجم : نقطه‌های به‌دست آمده ۱ تا ۴ را به‌هم متصل نمایید.



شکل ۱۴ــ۲ــ مراحل رسم نمودار فشار ــ آنتالپی

فصل ۳

کمپرسورها



۳ کمپرسورها

پیش آزمون

در ابتدای کلاس با مطرح نمودن این پرسش که : «چه دستگاه‌هایی در مایعات یا گازها اختلاف فشار ایجاد نموده و سبب افزایش فشار و جابه‌جایی آنها می‌شود و اینکه آیا در زندگی روزمره با آنها برخورد داشته‌اید » توجه هنرجویان را به موضوع درس جلب کرده و سپس مقدمه شروع مبحث کمپرسورها را با این مطالب بیان نماییم :

برای انتقال مایعات از پمپ استفاده می‌شود که یکی از کاربردهای آن بالا کشیدن آب از چاه می‌باشد. همچنین برای تراکم هوا و گازهای دیگر از کمپرسور استفاده می‌شود که یکی از موارد استفاده از آن کمپرسور کوچکی است که هوا را به‌داخل آکواریوم می‌دمد.

اما در سیکل تبرید کمپرسور :

مصرف انرژی الکتریکی، گاز مبرد را از اواپراتور مکش می کند و سپس آن را فشرده ساخته و وارد کندانسر می‌نماید.

۱ــ۳ــ انواع کمپرسورهای متداول سیستم تبرید

۱ــ کمپرسور سانتریفوژ (گریز از مرکز)

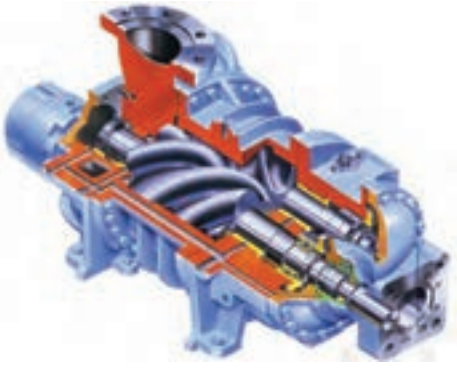
۲ــ کمپرسور پیچی (اسکرو)

۳ــ کمپرسور طوماری (اسکرول)

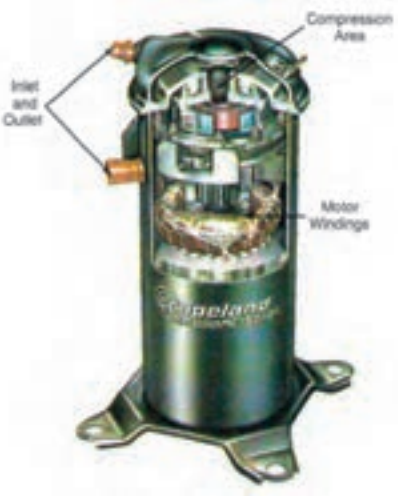
۴ــ کمپرسور تناوبی (پیستونی)

شکل ۱ــ۳ انواع کمپرسورهای متداول را نشان می‌دهد.

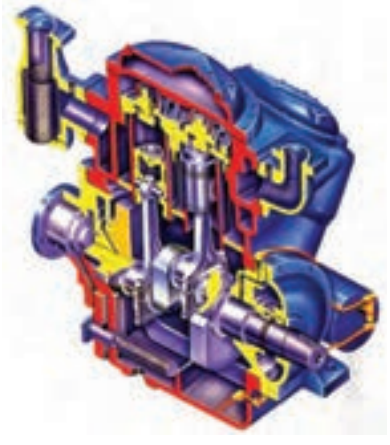
الف) کمپرسور سانتریفوژ



ب) کمپرسور پیچی



ج) کمپرسور طوماری



د) کمپرسور تناوبی

شکل ۱ــ۳

۱ــ۱ــ۳ــ کمپرسور گریز از مرکز : در این نوع کمپرسور همان‌طور که از نام آن مشخص است ارتفاع نظیر فشار از نیروی گریز از مرکز ناشی می‌شود. (شکل ۲ــ۳)

شکل ۲ــ۳ــ کمپرسور سانتریفوژ

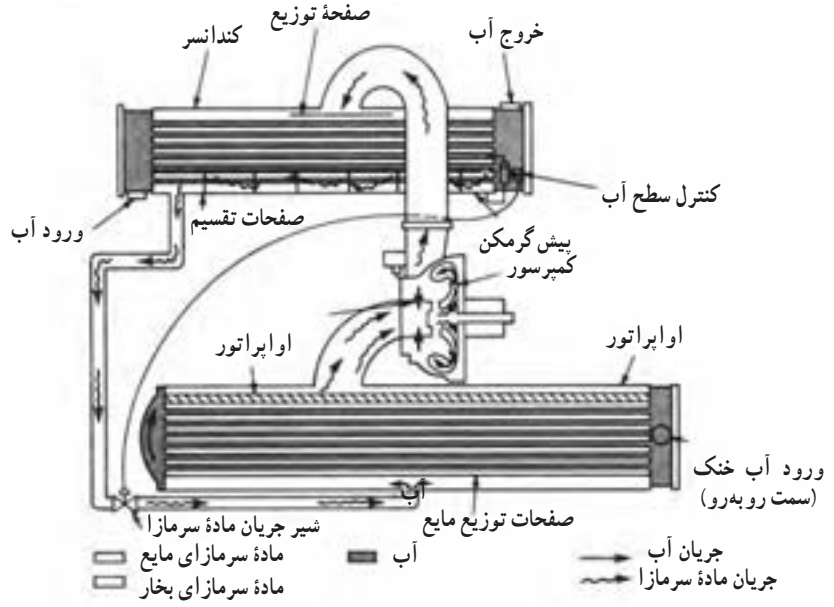
روتورهای گردنده با سرعت زیاد با پره‌هایی که به‌گونه خاصی طراحی شده‌اند تا ماده سرمازا را از واحد تبخیر می‌گیرند (مکش) و مولکول‌های آن را با سرعت بسیار زیاد از محیط روتور به‌خارج از آن می‌رانند (شکل ۳ــ۳). تعدادی از مبردهای رایج در کمپرسورهای گریز از مرکز، مبردهای R ــ۱۱ ، R ــ۱۲، R ــ۱۳، R ــ۵۰۰ و آمونیاک می‌باشند.

شکل ۳ــ۳ــ ماده سرمازا از مرکز وارد پروانه شده و در اثر نیروی گریز از مرکز از محیط روتور خارج می‌شود.

مواد سرمازای مورد استفاده در کمپرسورهای سانتریفوژ دارای چگالی بخار کم و حجم مخصوص زیاد هستند زیرا کمپرسورهای گریز از مرکز برای انتقال حجم بسیار زیادی از ماده سرمازایی که چگالی بخار کمی دارد بسیار مناسب‌اند. گاهی لازم است که تراکم در دو یا چند مرحله صورت گیرد و سرعت چرخش باید بسیار زیاد باشد تا نیروی گریز از مرکز لازم برای تولید ارتفاع

نظیر فشار مورد نیاز حاصل شود.

سرعت چرخش کمپرسورهای گریز از مرکز از ۴۰۰۰ دور در دقیقه برای ماشین‌هایی که ظرفیت آنها بسیار بالاست (۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ تن) تا ۸۰۰۰rpm برای ماشین‌های کم ظرفیت (۵۰ تا ۱۰۰ تن) متغیر است. امتیاز اصلی کمپرسورهای گریز از مرکز ظرفیت زیاد آنها می‌باشد. (شکل ۴ــ۳)



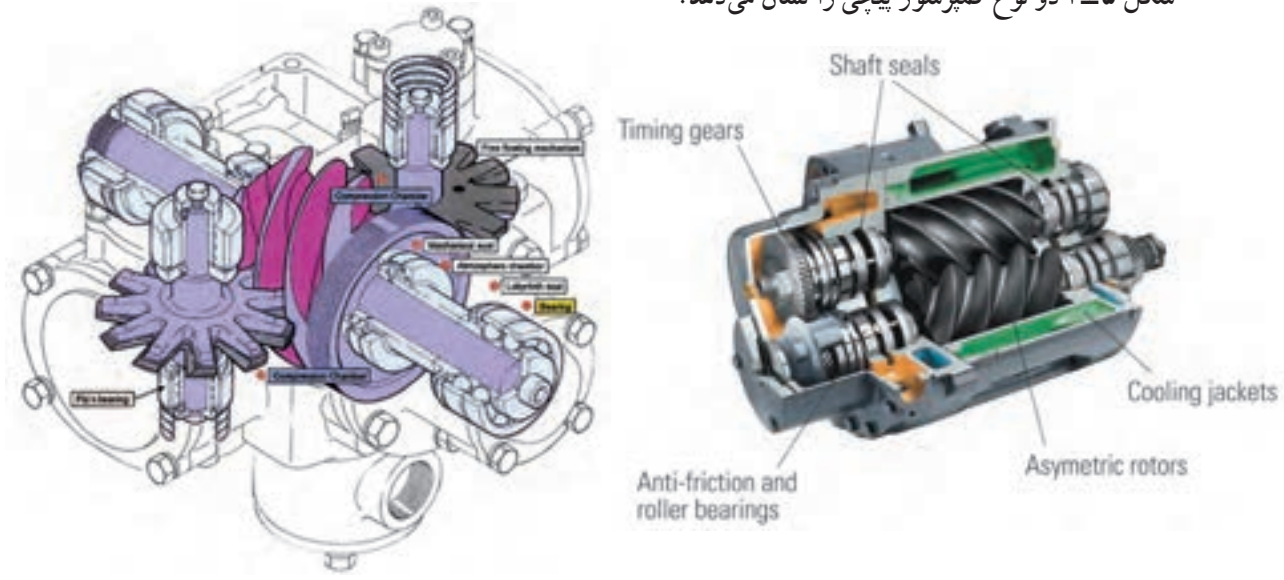
شکل ۴ــ۳ــ کمپرسور گریز از مرکز سانتریفوژ در یک چیلر

۲ــ۱ــ۳ــ کمپرسورهای پیچی (اسکرو) : دو طرح مختلف برای کمپرسورهای پیچی در نظر گرفته شده است.

۱ــ کمپرسور پیچی جفت (دوبل)

۲ــ کمپرسور پیچی منفرد

شکل ۵ــ۳ دو نوع کمپرسور پیچی را نشان می‌دهد.

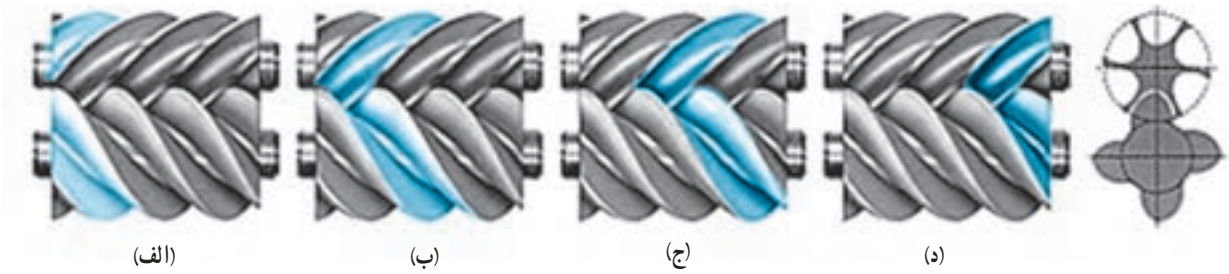


ب) کمپرسور پیچی منفرد

الف) کمپرسور پیچی دوبل

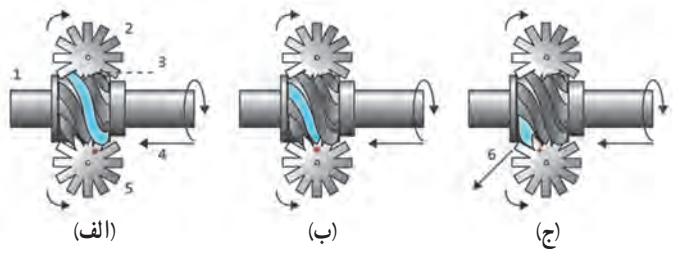
شکل ۵ــ۳

در کمپرسورهای پیچی جفت عمل تراکم توسط دو رتور مارپیچ انجام می‌گیرد (شکل ۶ــ۳) . در اثر گردش رتورها ماده سرمازا به‌داخل شیارهای مارپیچ رتور مکیده می‌شود (۶ــ۳ــ الف) و با توجه به‌جهت چرخش رتور به‌سمت جلو فشرده می‌شود (۶ــ۳ــ ب و ج) و در انتهای دنده‌های مارپیچ به‌علت اینکه فضای بین دنده‌های رتور به حداقل رسیده ماده سرمازا کاملاً متراکم شده و با فشار از انتهای شبکه مارپیچ خارج می‌شود (شکل ۶ــ۳ــ د).



شکل ۶ــ۳ــ نحوه تراکم ماده سرمازا در کمپرسور پیچی جفت

اما در کمپرسورهای پیچی منفرد عمل تراکم توسط یک رتور مارپیچ و دو چرخ ستاره‌ای صورت می‌گیرد (شکل ۷ــ۳). در اثر چرخش سریع رتور و چرخ ستاره‌ای گاز مبرد به‌داخل شیارهای رتور مارپیچ مکیده شده (شکل ۷ــ۳ــ الف) و در اثرکاهش حجم فضای مارپیچ رتور فشار مبرد افزایش یافته و در انتها با فشار زیاد خارج می‌شود (شکل ۷ــ۳ــ ج).



شکل ۷ــ۳ــ نحوه تراکم ماده سرمازا در کمپرسور پیچی منفرد

مزایای این نوع کمپرسورها عبارت‌اند از :

۱ــ عملکرد آرام این نوع کمپرسورها که ناشی از تراکم چرخشی محورهای کمپرسور است.

۲ــ به‌علت حرکت دورانی حلزون‌های کمپرسور لرزش آن بسیار کم می‌باشد.

۳ــ به‌علت هم‌پوشانی سیکل مکش و دهش کمپرسورهای پیچی، جریان مبرد یکنواخت و مستمر می‌باشد.

۴ــ کمپرسورهای پیچی حدود یک دهم کمپرسورهای تناوبی قطعه متحرک دارند لذا خرابی کمپرسور پیچی نسبت به کمپرسورهای تناوبی کمتر بوده و تعمیرات آن راحت‌تر می‌باشد.

۵ــ در کمپرسورهای پیچی فضای مرده وجود ندارد لذا راندمان حجمی این نوع کمپرسورها بالا می‌باشد.

از معایب کمپرسورهای پیچی می‌توان به دو مورد اشاره نمود :

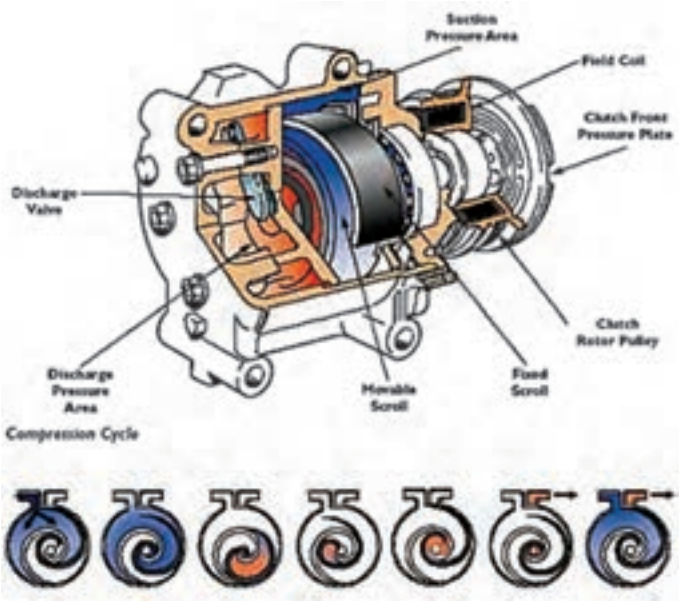
۱ــ سرعت گردش بالای محور کمپرسور

۲ــ نیاز این نوع کمپرسورها به روغن‌کاری مخصوص

۳ــ۱ــ۳ــ کمپرسورهای طوماری (اسکرول) : کمپرسور اسکرول از دو قطعه اصلی اسکرول ثابت و اسکرول متحرک تشکیل شده است (شکل ۸ــ۳).

شکل ۸ــ۳ــ اسکرول ثابت و اسکرول متحرک

این دو قطعه در داخل یکدیگر قرار گرفته‌اند، اسکرول متحرک در داخل اسکرول ثابت حرکت کرده و با توجه به فاصله لبه‌های هر دو قطعه گاز مبرد از قسمت سمت چپ مکیده شده و با فشار از مرکز اسکرول با فشار زیاد خارج می‌شود. این قسمت به لولهٔ سمت راست که لوله دهش می‌باشد متصل شده است (شکل ۹ــ۳).



شکل ۹ــ۳ــ مراحل کار کمپرسور اسکرول

مزایای کمپرسور اسکرول :

۱ــ بازده کمپرسورهای اسکرول ۱۰ تا ۱۵ درصد بیشتر از کمپرسورهای پیستونی است.

۲ــ تخلیه گاز به‌صورت پیوسته و مدام و به‌طور یکنواخت انجام می‌شود.

۳ــ قطعات متحرک کمپرسور اسکرول بسیار کم بوده و امکان خرابی این نوع کمپرسورها نسبت به کمپرسورهای پیستونی بسیار کمتر می‌باشد.

۴ــ ارتعاش و سروصدای این نوع کمپرسورها کمتر از کمپرسورهای پیستونی است.

شکل ۱۰ــ۳ یک کمپرسور اسکرول را نشان می‌دهد.

شکل ۱۰ــ۳ــ کمپرسور اسکرول

۴ــ۱ــ۳ــ کمپرسورهای رفت و برگشتی : برای جابه‌جا کردن مواد سرمازایی که چگالی بخار آنها بسیار زیاد است و همچنین مواد سرمازایی که فشار چگالش آنها نسبتاً بالاست، کمپرسور رفت و برگشتی (پیستونی) مناسب‌ترین دستگاه محسوب می‌شود. آمونیاک، R_۱۲، R_۱۳۴a، R_۴۱۰، R_۴۰۷، R_۲۲، R_۵۰۰ و R_۵۰۲ جزء مواد سرمازایی هستند که برای تراکم آنها کمپرسور رفت و برگشتی بهترین راندمان را خواهند داشت.

این کمپرسورها براساس متغیرهای زیر طبقه‌بندی می‌شوند :

۱ــ نوع محرک (وسیله چرخاننده یا گرداننده)

۲ــ آرایش سیلندر و پیستون

۳ــ سیستم‌های خنک کننده و روغن‌کاری

۱ــ۴ــ۲ــ۳ــ نوع محرک : کمپرسورها به کمک الکتروموتور کار می‌کنند اما در سیستم‌های تهویه مطبوع وسایل حمل‌و نقل عمومی مانند اتومبیل‌ها، قطارها، هواپیماها و کشتی‌ها نیرو یا توان محرک، به‌وسیله موتورهای درون‌سوز تأمین می‌شود. کمپرسورهای مجهز به ماشین بخار نیز موجود است ولی این نوع کمپرسورها فقط در جاهایی به‌کار می‌رود که از بخار آب برای مصارف دیگر نیز استفاده می‌شود.

کمپرسور را می‌توان به‌وسیله موتور هم محور (کوپلینگ مستقیم) یا موتوری که محور آن جداست (با استفاده از فلکه وتسمه) چرخاند.

این نوع کمپرسورها را نوع باز می‌نامند. ممکن است موتور محرک مستقیماً کمپرسور را بگرداند و موتور درون کمپرسور قرار گیرد و با آن یکپارچه شده است. این نوع کمپرسورها از نوع بسته و نیمه بسته می‌باشند. کمپرسورهای بسته از لحاظ جاگیری بسیار مناسب‌اند و فضای اندکی را اشغال می‌کنند و در صورت خراب شدن اجزای داخل کمپرسور قابل تعمیر نمی‌باشند اما کمپرسورهای نیمه بسته قابل تعمیر می‌باشند.

امتیاز مشخص کمپرسورهای بسته و نیمه بسته مصونیت از نشت ماده سرمازا و فراغت از دردسرهای مربوط به فلکه و تسمه است.

کاستی‌های کمپرسورهای بسته :

۱ــ محدودیت ظرفیت

۲ــ لزوم چرخیدن کمپرسور با همان سرعت گردش موتور

۳ــ عدم دسترسی برای تعمیر و نگهداری

۴ــ انتقال گرمای حاصل از کار موتور به سیکل تبرید

آرایش سیلندر و پیستون

بیشتر کمپرسورهای رفت و برگشتی که امروزه در سیستم‌های تهویه مطبوع به‌کار می‌روند از نوع یک طرفه‌اند یعنی فقط با یک‌بار حرکت پیستون به‌طرف بالا گاز متراکم می‌شود. ممکن است سیلندر عمود قرار گیرد یا به شکل V (خورجینی) یا W / V باشد سرعت چرخشی ۶۰۰ تا ۱۸۰۰rpm متداول است و گاهی از ماشین‌های با سرعت ۳۶۰۰rpm نیز استفاده می‌شود.

خنک‌کردن و روغن‌کاری

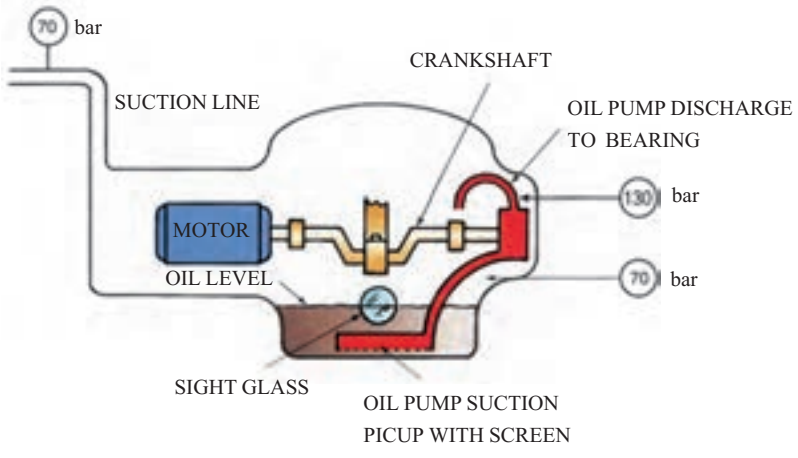
سیلندر و سرسیلندر کمپرسور را می‌توان با آب یا هوا خنک کرد. معمولاً واحدهای خیلی بزرگ را با آب خنک می‌کنند. آب در بدنه دو جداره سیلندر و سرسیلندر جریان دارد و بیشتر کمپرسورهای متداول در سیستم‌های تهویه مطبوع با هوا خنک می‌شوند.

جدار سیلندر و سرسیلندر را پره دار می‌سازند تا سطح زیادی داشته باشند و گرما را به‌خوبی منتقل کنند.

کمپرسورهای بسته به‌وسیله بخار مکش خنک می‌شوند.

کمپرسورها را با استفاده از سیستم پاشش ساده و سیستم‌های تغذیه اجباری به‌کمک پمپ روغن‌کاری می‌کنند. در کمپرسورهای کوچک منحصراً از سیستم روغن‌کاری پاششی استفاده می‌شود اما در کمپرسورهای نیمه بسته و باز روغن‌کاری توسط پمپ روغن انجام می‌گیرد. بدلیل اهمیت روغن‌کاری می‌بایستی از وجود روغن کافی در کمپرسور مطمئن شد به همین منظور برروی بدنه کمپرسور شیشه‌ای قرار دارد تا بتوان سطح روغن داخل کمپرسور را کنترل نمود و در صورت پایین آمدن سطح روغن از اندازه تعیین شده نسبت به شارژ روغن اقدام نمود.

همچنین برای اطمینان از کار صحیح پمپ روغن از کلید کنترل فشار استفاده می‌شود تا در صورت خراب شدن پمپ روغن و نبودن فشار مناسب جهت روغن‌کاری اجزاء کمپرسور، توسط کنترل فشار روغن کمپرسور خاموش می‌شود.



۲ــ۳ــ روش‌های کنترل ظرفیت

سیستم‌های سردسازی ۱۰ تنی و بزرگ‌تر، اغلب به وسایلی برای کنترل ظرفیت کمپرسور نیاز دارد. امروزه چهار روش برای این کار متداول است :

۱ــ استفاده از چند کمپرسور

۲ــ بی‌بار کردن سیلندر

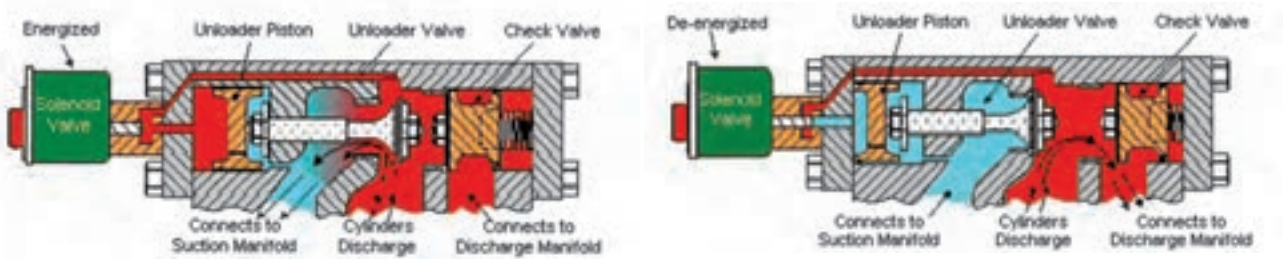
۳ــ کنترل جریان ماده سرمازا، مانند هدایت گاز داغ از مسیر کنار گذر یا تنظیم فشار واحد تبخیر

۴ــ کنترل سرعت دوران کمپرسور (rpm)

۱ــ۲ــ۳ــ استفاده از چند کمپرسور : در کمپرسورهای چند واحدی باید وسایلی برای کنترل ظرفیت و تغییرات توان نصب کرد. معمولاً یک یا چند کمپرسور کار می‌کنند و یکی از این واحدها در مواقع لازم روشن یا خاموش می‌شوند تا با نوسان‌های بار مقابله کنند. برای متوقف کردن یک یا چند واحد معمولاً از فشار واحد تبخیر استفاده می‌شود. هرازگاه واحد در حال کار را تغییر می‌دهند تا فقط یک واحد فرسوده نشود. در چنین سیستمی باید آرایش مداربندی واحد تبخیر دقیق باشد و ظرفیت کندانسر کنترل شود تا بتوان بین بقیه اجزای سیستم و ظرفیت کاهش یافته کمپرسور موازنه برقرار کرد.

۲ــ۲ــ۳ــ بی‌بار کردن سیلندر : در کمپرسورهای چند سیلندر (۴ سیلندر یا بیشتر) ظرفیت کمپرسور به جابجایی حجمی گاز مبرد توسط سیلندرها کمپرسور بستگی دارد لذا می‌توان ظرفیت هر کمپرسور را به آسانی با بای‌پاس کردن گاز خروجی از هر سیلندر کاهش داد.

شکل ۱۱ــ۳ یک نمونه از شیر بی‌بار کننده سیلندر کمپرسور را نشان دهد. همان‌طور که در شکل ۱۱ــ۳ــ الف دیده می‌شود کمپرسور در حال کار معمول خود می‌باشد. گاز خروجی از سیلندر کمپرسور با هل دادن شیر یک طرفه از سمت راست تخلیه می‌شود. با کاهش ظرفیت سیستم برودتی و به‌منظور خارج نمودن این سیلندر از چرخه تراکم گاز مطابق شکل ۱۱ــ۳ــ ب شیر برقی مغناطیس می‌شود. در این حالت مسیر گاز دهش به پشت شیر بی‌بار کننده باز شده و آن‌را به‌سمت راست حرکت می‌دهد. در این وضعیت مسیر برگشت گاز که در سمت چپ بی‌بار کننده قرار دارد باز شده و گاز از این مسیر به قسمت مکش کمپرسور برگشت داده می‌شود. برروی تمامی سیلندرهای کمپرسور یک نمونه از این شیر بی بار کننده نصب می‌شود تا در صورت کاهش تدریجی بار به تدریج سیلندرهای کمپرسور از مدار خارج شوند.



الف) شیر بی بار کننده در حالت کار معمول کمپرسور

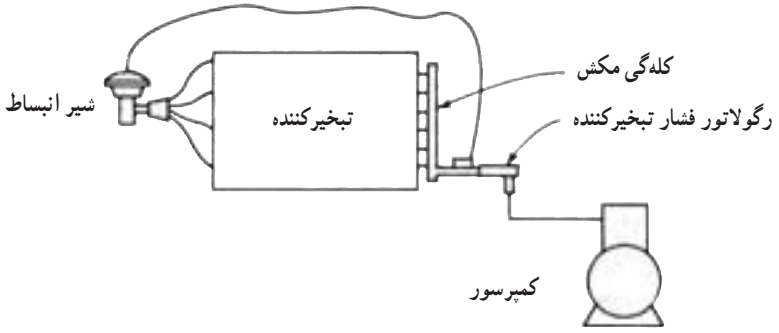
ب) شیر بی‌بار کننده در وضعیت بی‌بارکنندگی سیلندر کمپرسور

شکل ۱۱ــ۳ــ طرز کار شیر بی‌بارکننده

وظیفه کنترل عملکرد شیرهای بی‌بارکننده که برروی هریک از سیلندرها کمپرسور نصب شده بر عهده ترموستات چند مرحله‌ای می‌باشد. این ترموستات به‌گونه‌ای طراحی شده است که با کاهش دمای سردخانه در هر مرحله یکی از شیرهای بی‌بارکننده را مغناطیس می‌کند تا توسط آن سیلندر کمپرسور از مدار تراکم گاز خارج شود.

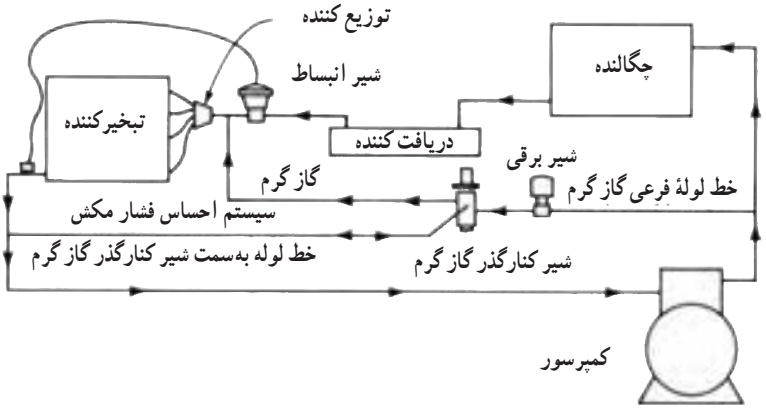
۳ــ۲ــ۳ــ کنترل جریان ماده سرمازا : با کنترل جریان ماده سرمازا به دو روش می‌توان ظرفیت دستگاه را کنترل کرد.

در روش اول از رگولاتور تنظیم کننده فشار واحد تبخیر برای کاهش فشار واحد تبخیر به کمترین مقدار ممکن در هنگام کاهش بار واحد تبخیر استفاده می‌شود. (شکل ۱۲ــ۳)



شکل ۱۲ــ۳ــ نمودار نشان‌دهندهٔ روش نصب رگولاتور فشار واحد تبخیر برای نگه داشتن فشار واحد تبخیر در بالاتر از حداقل لازم برای کار در حالت بار پایین.

در روش دوم گاز گرم از سمت تخلیه کمپرسور از طریق کنار گذر به نقطه‌ای بین ورودی واحد تبخیر ــ واحد توزیع و شیر انبساط جریان پیدا می‌کند. گاز گرم باری جزیی برای واحد تبخیر است که پمپ می‌شود شیر انبساط از جریان مایع بکاهد و در نتیجه ظرفیت واحد تبخیر را کم کند. فشار مکش کمپرسور حفظ می‌شود ولی ظرفیت خالص واحد تبخیر یا سیستم تهویه مطبوع کاهش می‌یابد. (شکل ۱۳ــ۳)



شکل ۱۳ــ۳ــ نمودار نشان‌دهندهٔ طرز کار شیر کنارگذر گاز گرم برای تأمین گاز گرم به‌صورت «بار کاذب» برای واحد تبخیر، به‌منظور کنترل ظرفیت کمپرسور در شرایطی که بار پایین است.

۴ــ۲ــ۳ــ کنترل سرعت کمپرسور : امروزه می‌توان توسط اینورمتر سرعت گردش محور کمپرسور را کنترل نمود و در صورت کاهش بار با کم کردن سرعت کمپرسور، حجم جابه‌جایی مبرد را کاهش داد.

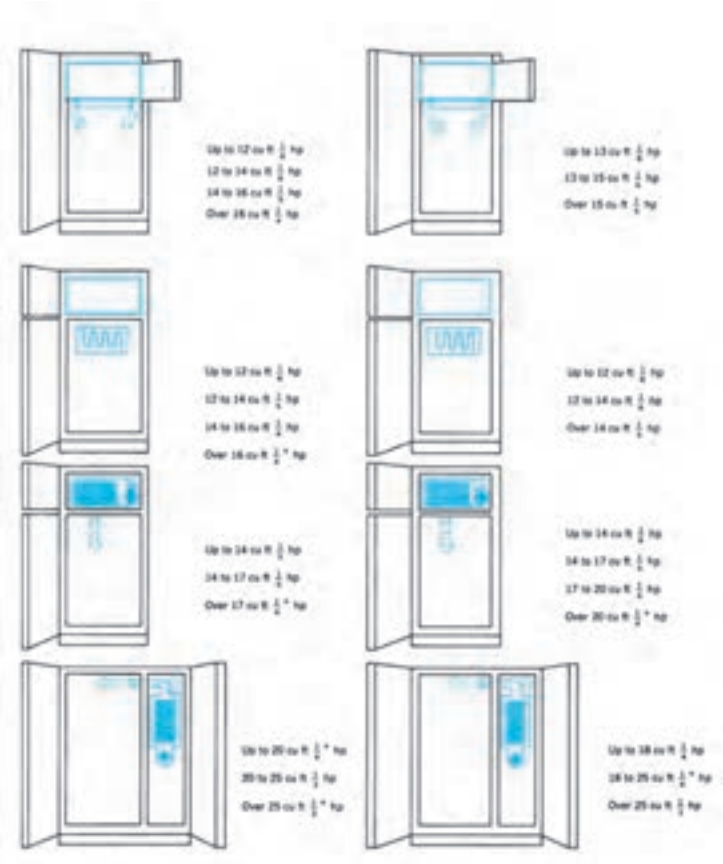
۳ــ۳ــ تعیین قدرت کمپرسور

برای تعیین قدرت کمپرسور یخچال و یخچال فریزر از شکل ۱۶ــ۳ استفاده می‌شود. ابتدا می‌بایستی ۳ مشخصه یخچال یا یخچال فریزر مشخص گردد.

۱ــ نوع یخچال یا یخچال فریزر

۲ــ نوع عایق به‌کار رفته در بدنه یخچال

۳ــ حجم داخل یخچال



شکل ۱۶ــ۳ــ قدرت کمپرسور برای انواع مختلف یخچال و فریزر، با دو نوع عایق پشم شیشه و فوم

مثال : قدرت کمپرسور مورد نیاز برای یک یخچال دو در را که در بدنه یخچال از عایق پلی یورتان استفاده شده و حجم داخلی آن ۱۳ فوت مکعب است بدست آورید.

جواب : با استفاده از شکل ۱۶ــ۳ در ردیف دوم برای یخچال دو در با عایق فوم و با توجه به حجم ۱۳ فوت مکعب قدرت کمپرسور $\frac{۱}{۶}$ اسب بخار بدست می‌آید.

یک فریزر صندوقی خوابیده با عایق پشم شیشه به ابعاد ۱۰۰cm × ۵۰cm × ۷۰cm ساخته شده است، قدرت کمپرسور مورد نیاز برای این فریزر را بدست آورید.

جواب : ابتدا حجم داخل فریزر را بدست می‌آوریم :

$V = L \times b \times h$

$V = ۱\ m \times ۰/۵\ m \times ۰/۷\ m = ۰/۳۵\ m^۳$

سپس حجم مورد نظر را به فوت مکعب تبدیل می‌نماییم.

$۱\ m^۳ = ۳۵۳\ ft^۳$

$۰/۳۵ = x$

$۱ \times x = ۰/۳۵ \times ۳۵/۳$

$V = ۱۲/۳۴\ ft^۳$

حال با استفاده از شکل ۱۶ــ۳ قدرت کمپرسور $\frac{۱}{۵}$hp انتخاب می‌شود.

مثال : حجم یک یخچال دو در با عایق پشم شیشه ۳۰۰ لیتر می‌باشد، قدرت کمپرسور مناسب برای این یخچال چند اسب بخار است.

$$۳۰۰ \qquad ۱\ m^۳ = ۱۰۰۰\ lit$$

$$x = ۳۰۰$$

$$x \times ۱۰۰۰ = ۱ \times ۳۰۰$$

$$x = \frac{۳۰۰}{۱۰۰۰} = ۰/۳ m^۳$$

$$۱\ m^۳ = ۳۵/۲۸\ ft^۳$$

$$۰/۳ = x$$

$$x \times ۱ = ۰/۳ \times ۳۵/۲۸$$

$$x = ۱۰/۵۸\ ft^۳$$

با توجه به جدول ۱۶ـ۳ قدرت $\frac{۱}{۶}$ اسب انتخاب می‌شود.

تحقیق

از هنرجویان بخواهید نوع کمپرسور هریک از وسایل برودتی زیر را مشخص نمایند.

	نوع وسیله	تناوبی بسته	تناوبی نیمه بسته	اسکرو	اسکرول
۱ـ	یخچال	✓			
۲ـ	یخچال فریزر				
۳ـ	آب سردکن				
۴ـ	کولرگازی پنجره‌ای				
۵ـ	کولر گازی اسپلیت				
۶ـ	سردخانه کوچک فروشگاه				

فصل ۴

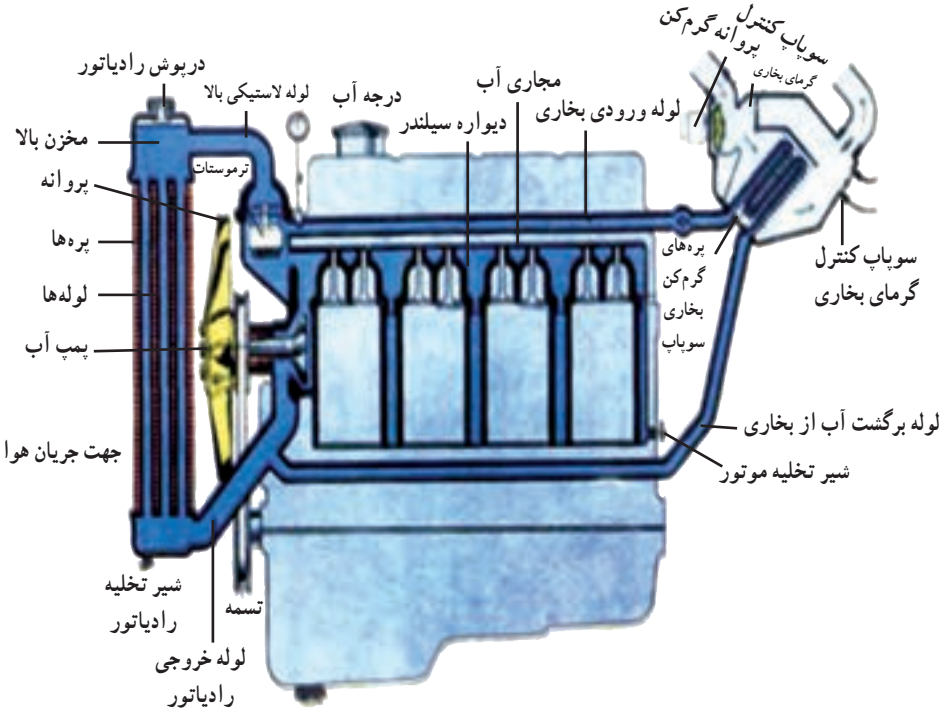
کندانسرها

۴ کندانسرها

پیش آزمون

هنرآموزان محترم در شروع کلاس با طرح این سؤال که «کدام یک از شما می‌توانید علت استفاده از رادیاتور در اتومبیل را بیان کند» توجه هنرجویان را به موضوع درس جلب نمائید.

احتراق بنزین در سیلندر موتور ماشین دمایی در حدود ۲۰۰۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد می‌کند. در صورتی‌که این دمای بالا دفع نشود به اجزای موتور صدمه خواهد زد لذا از آب برای انتقال گرما استفاده می‌شود. آب در مسیرهایی که در اطراف سیلندر و سرسیلندر تعبیه شده حرکت کرده و پس از جذب گرمای بدنه موتور به‌وسیله لوله‌های لاستیکی از بالا وارد رادیاتور می‌شود تا در اثر گردش هوا که توسط یک فن ایجاد می‌شود گرمای آب را به‌هوا منتقل نماید. برای افزایش سرعت حرکت آب و انتقال بیشتر گرما از یک پمپ برای به‌گردش درآوردن آب استفاده می‌شود. (شکل ۱ــ۴)



شکل ۱ــ۴ــ مسیر حرکت آب در جداره‌های موتور اتومبیل

در اواپراتور بر اثر تبخیر مبرد گرمای یخچال جذب مبرد می‌شود، همچنین در کمپرسور بر اثر تراکم گاز مبرد دمای آن افزایش می‌یابد لذا برای دفع گرمای جذب شده در اواپراتور و گرمای حاصل از تراکم مبرد در کمپرسور از کندانسر استفاده می‌شود.

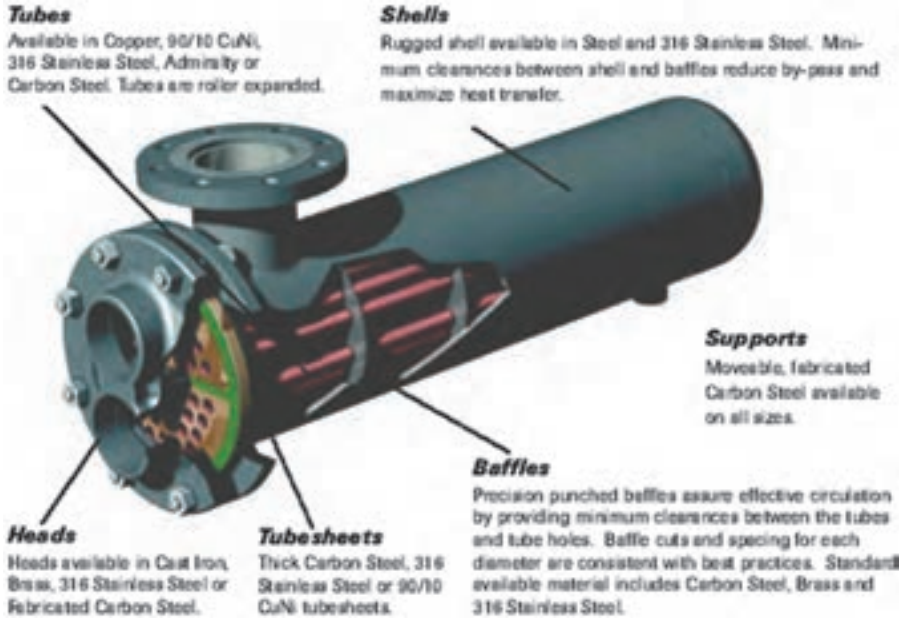
۱ــ۴ــ انواع کندانسر

کندانسرها به سه دسته تقسیم می شوند (شکل ۲ــ۴ الف، ب و ج).

۱ــ کندانسر هوایی

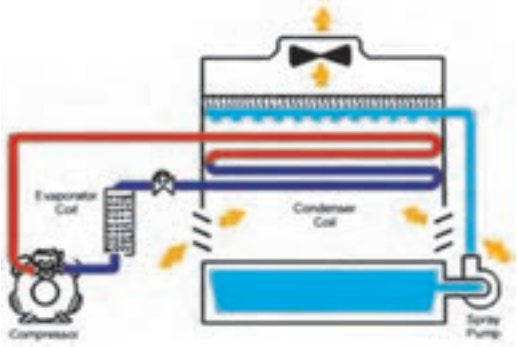
۲ــ کندانسر آبی

۳ــ کندانسر تبخیری



الف) کندانسر آبی

ب) کندانسر هوایی



ج) کندانسر تبخیری

شکل ۲ــ۴ــ انواع کندانسر آبی، هوایی و تبخیری

در بیشتر واحدهای بسیار بزرگ و برخی از واحدهای کوچک، از کندانسر خنک شونده با آب استفاده می‌شود. کندانسرهای خنک شونده با هوا بیشتر در واحدهای کم ظرفیت (۲۰ تن و کمتر) به‌کار می‌روند. اکنون کندانسرهای خنک شونده با هوا در سیستم‌های تهویه مطبوع خانگی و در جاهایی که ارزش آب بسیار زیاد است یا دفع فاضلاب دشوار است یا در مواردی که نمک‌های موجود در آب از لحاظ تشکیل قشر رسوبی مشکل جدی ایجاد می‌کنند دستگاه‌هایی استاندارد محسوب می‌شوند. بسیاری از سیستم‌های هوایی که ظرفیت متوسط تا بسیار زیاد دارند برای مناطق کم آب یا جاهایی که آب‌بها گران است یا در محل‌هایی که آب از کیفیت خوبی برخوردار نیست به‌کار برده می‌شوند.

۱ــ۱ــ۴ــ کندانسر خنک شونده با هوا (هوایی) : در سال‌های اخیر استفاده از کندانسرهای هوایی در سیستم‌های تهویه مطبوع متوسط و کوچک به‌شدت افزایش یافته است. مهم‌ترین دلیل این استقبال احتمالاً این است که این نوع کندانسرها به تعمیر و نگهداری زیادی نیاز ندارند.

این عامل معمولاً عوامل دیگری مانند هزینه برق مصرفی، دوام و عمر کمپرسور و بازده سیستم را دست کم در نظر بسیاری از صاحب خانه‌ها و خریداران سیستم تهویه مطبوع کوچک تحت الشعاع قرار می‌دهد. بیشتر واحدهایی که توان آنها از ۱۰hp کمتر

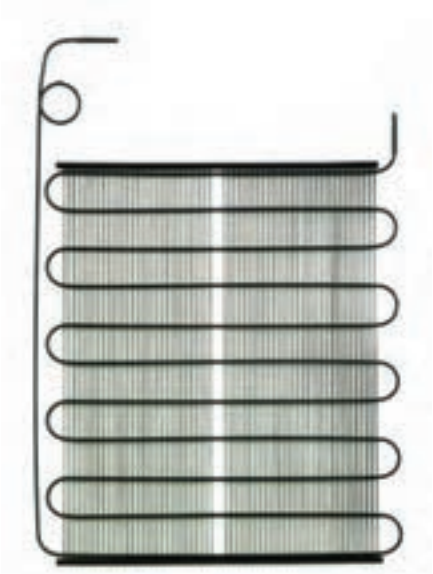
است با هوا خنک می‌شوند. در واحدهای تا ۲۰hp استفاده از دستگاه‌های خنک شونده با هوا معمول است و در واحدهای خیلی بزرگ مجهز به کندانسرهای خنک شونده با هوا را برای آب و هوای بیابانی به‌کار برده‌اند.

کندانسرهای هوایی به دو دسته تقسیم می‌شوند :

۱ــ کندانسر هوایی با جریان طبیعی

۲ــ کندانسر هوایی با جریان اجباری

کندانسرهای هوایی با جریان طبیعی در دو نوع صفحه و لوله و یا میله و لوله ساخته می‌شوند. کندانسر میله و لوله از یک لوله مارپیچ مسی یا فولادی ساخته می‌شود که برروی آن تعداد زیادی میله جوش داده شده است تا باعث افزایش میزان انتقال گرما از کندانسر شود. (شکل ۳ــ۴)



شکل ۳ــ۴ــ کندانسر هوایی با جریان طبیعی

در کندانسرهای هوایی با جریان هوایی اجباری لوله‌های مسی از بین تعداد زیادی پره آلومینیومی عبور می‌کند تا سطح تبادل گرما را به‌مقدار قابل توجه‌ای افزایش دهد. همچنین از یک یا چند فن برای به گردش درآوردن هوا استفاده می‌شود. (شکل ۴ــ۴)

شکل ۴ــ۴ــ کندانسر هوایی با جریان هوایی اجباری

کندانسرهای هوایی معمولاً برای کار با دمای تقطیر حدود ۱۷ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای محیط طراحی شده‌اند. یکی از معایب عمده دستگاه‌های خنک شونده با هوا همین است، زیرا در آب و هوای گرم که دمای محیط بعدازظهرها به ۴۳°C نیز می‌رسد، دمای تقطیر ممکن است ۶۶ درجه سانتی‌گراد باشد که مطابق با فشار ۲۴۹psia برای R_۱۲ و یا فشار ۳۶۹psia مربوط به R_۲۲ است. توان الکتریکی مورد نیاز برای تأمین این چنین فشارهایی بسیار بالا می‌باشد. در چنین شرایطی دمای آب احتمالاً از ۲۴درجه سانتی‌گراد بالاتر نمی‌رود. دمای تقطیر در کندانسر آبی با فشار تقطیر حدود ۱۳۰psia برای R_۱۲ یا با فشار تقطیر حدود ۲۱۰psia برای R_۲۲ در حدود ۳۸ درجه سانتی‌گراد است. مزایای کندانسر آبی در اینجا کاملاً روشن می‌شود که عبارت از مصرف برق کمتر و دوام و عمر بیشتر کمپرسور است.

۲ــ۱ــ۴ــ کندانسر آبی : این کندانسرها در جاهایی که آب مناسب و فراوان و ارزان در اختیار باشد به صرفه‌ترین کندانسر محسوب می‌شود. مسائل خوردگی ناشی از آب یا دفع فاضلاب را باید در نظر گرفت. برای واحدهای ۵ تنی و بزرگ‌تر که به آب زیادی نیاز است معمولاً از یک برج خنک‌کن استفاده می‌شود.

کندانسرهای آبی در سه نوع ساخته می‌شوند :

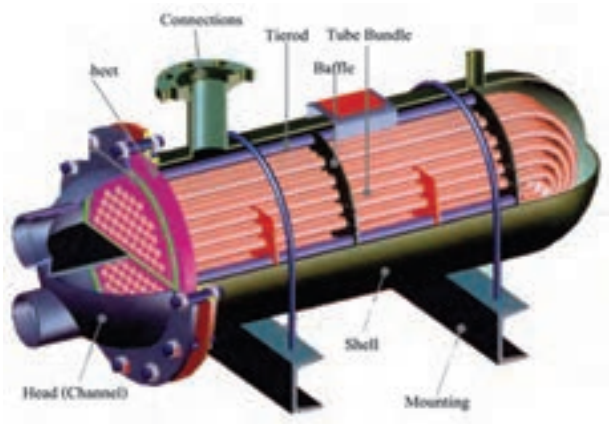
۱ــ پوسته و لوله

۲ــ پوسته و کویل

۳ــ لوله داخل لوله

در کندانسرهای آبی پوسته و لوله و کندانسرهای پوسته و کویل گاز داغ از بالا وارد پوسته شده و پس از تبادل گرما با آب سرد داخل لوله یا کویل تقطیر شده و مایع مبرد از پایین پوسته خارج می‌شود. آب داخل لوله‌ها نیز پس از جذب گرمای مبرد یا در رودخانه و چاه ریخته می‌شوند و یا توسط برج خنک‌کن خنک شده و مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرند. (شکل ۵ــ۴)

الف) کندانسر پوسته و لوله



ب) کندانسر پوسته و کویل

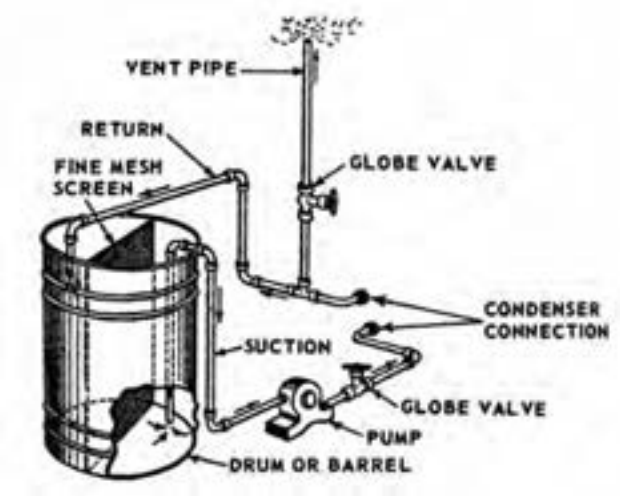
شکل ۵ــ۴ــ کندانسر پوسته و لوله و پوسته و کویل

آب سرد در لوله داخلی کندانسر دو لوله‌ای جریان داشته و گاز داغ نیز در لوله خارجی به گردش درآمده و پس از تبادل گرما تقطیر و از سمت دیگر کندانسر خارج می‌شود. (شکل ۶ــ۴)

شکل ۶ــ۴ــ کندانسر دو لوله‌ای

هرقدر مقدار آبی که با دمای معین از کندانسر گردش می‌کند بیشتر باشد، فشار تقطیر پایین‌تر می‌رود و بدین ترتیب هزینه برق کمتر و عمر و دوام کمپرسور بیشتر می‌شود ولی در صورتی که آب گران قیمت باشد نقطه موازنه‌ای باید تعیین شود که در مجموع بهترین شرایط اقتصادی کار سیستم را تامین کند.

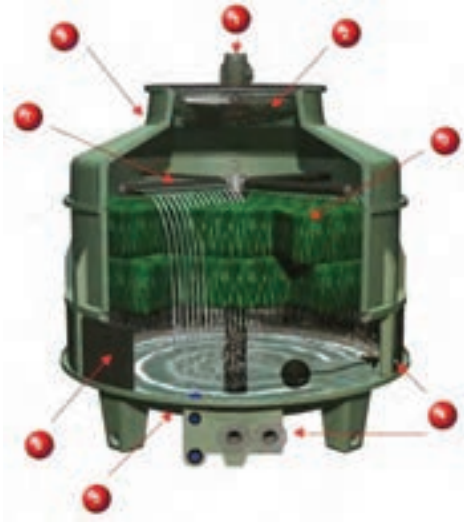
پس از مدتی در اثر گردش آب برروی جداره داخلی لوله‌ها و کویل کندانسر آبی رسوب ایجاد می‌شود که مانع از انتقال گرما بین گاز مبرد و آب خواهد شد. برای رسوب‌گیری از اسید با غلظت پایین استفاده می‌شود. برای این‌کار مطابق شکل ۷ــ۴ داخل مخزن اسید ریخته شده و توسط یک پمپ آن را در داخل لوله‌های کندانسر به‌گردش در می‌آورند تا سبب جدا شدن رسوب‌های داخل لوله شوند. در زمان رسوب‌گیری شیرهای ورود و خروج آب به‌سمت برج خنک‌کن در حالت بسته قرار می‌گیرند.



شکل ۷ــ۴ــ نحوه انتقال مخزن رسوب‌گیر به کندانسر آبی

در کندانسر آبی گرمای ماده سرمازا به‌وسیله آب جذب می‌شود و سپس گرمای آب به یکی از روش‌های زیر دفع می‌شود.

۱ــ در صورت امکان تأمین آب تازه با قیمت ارزان، آب گرم خروجی از کندانسر وارد رودخانه یا دریاچه شده و دوباره آب سرد تازه وارد کندانسر می‌شود.



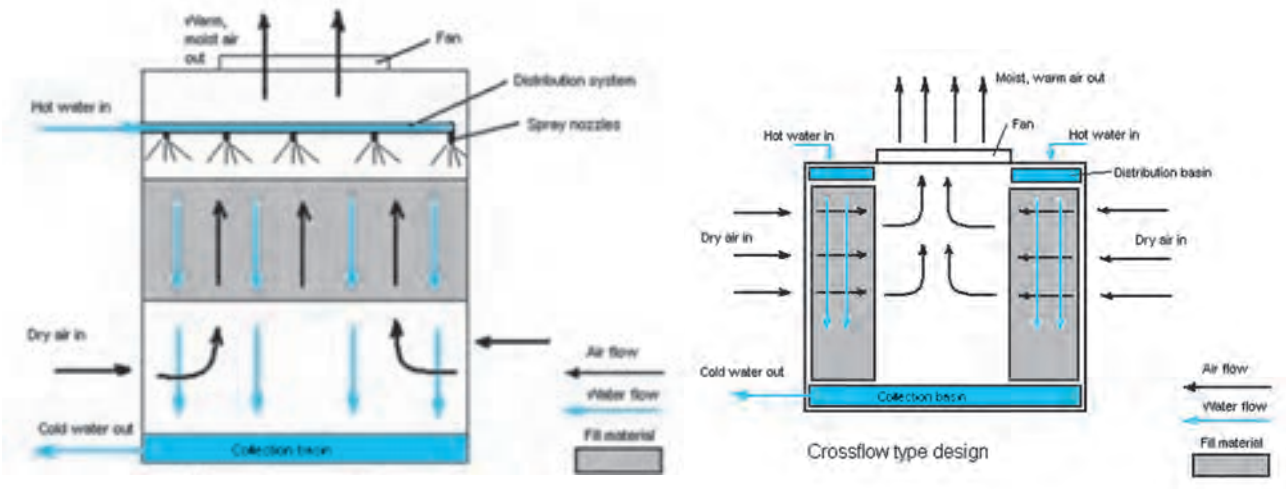
شکل ۸ــ۴ــ برج خنک‌کن

۲ــ با وارد کردن آب خروجی از کندانسر به یک چاه خشک، آب گرم به زمین منتقل می‌شود. در جاهایی که ماسه‌ای باشد و آب را بکشد، می‌توان چاهی به قطر ۶۱ سانتی‌متر و عمق ۱۰۰ متر حفر کرد و دیواره آن را آجرچینی کرد و سپس آن را برای دفع کامل آب گرم کندانسرهای ۳ تا ۱۰ تنی به‌کار برد. آب بها در بسیاری از مناطق عامل تعیین کننده‌ای است و اغلب کشورها اجازه نمی‌دهند که آب ضایع شود.

۳ــ به‌وسیله برج خنک کن، استخر پاشش، گرمای آب به هوای اطراف منتقل می‌شود. برای بسیاری از تأسیسات سومین مورد بهترین روش است. برج خنک‌کن و استخر پاشش آب را در تماس کامل با هوای درحال وزش قرار می‌دهد. شکل ۸ــ۴ یک برج خنک‌کن را نشان می‌دهد. آب از طریق انتقال گرمای محسوس که دمای خشک هوای در حال وزش را بالا می‌برد تا حدودی خنک می‌شود ولی دلیل اصلی خنک شدن آب مبادله گرمای نهان تبخیر بخش کوچکی از آن است.

پایین‌ترین دمایی که می‌توان بر اثر خنک کردن آب در برج خنک‌کن به آن رسید معادل دمای مرطوب هواست. در عمل این دما هرگز دست نیافتنی نیست و معمولاً دمای نهایی آب حدود ۲۱ درجه سانتی‌گراد و بالاتر از دمای تر هوا در همان زمان است. در فصل تابستان بر اثر اتلاف ۰/۹٪ آب در گردش، معمولاً ۱۸ درجه سانتی‌گراد سرمایش حاصل می‌شود.

برج‌های خنک‌کن را با توجه به عوامل مختلف تقسیم‌بندی می‌کنند. برج‌های خنک‌کن از نظر نحوه برخورد جریان آب و هوا به دو دسته ۱ــ جریان هوای متقاطع ۲ــ جریان هوای مخالف تقسیم‌بندی می‌کنند. (شکل ۹ــ۴)

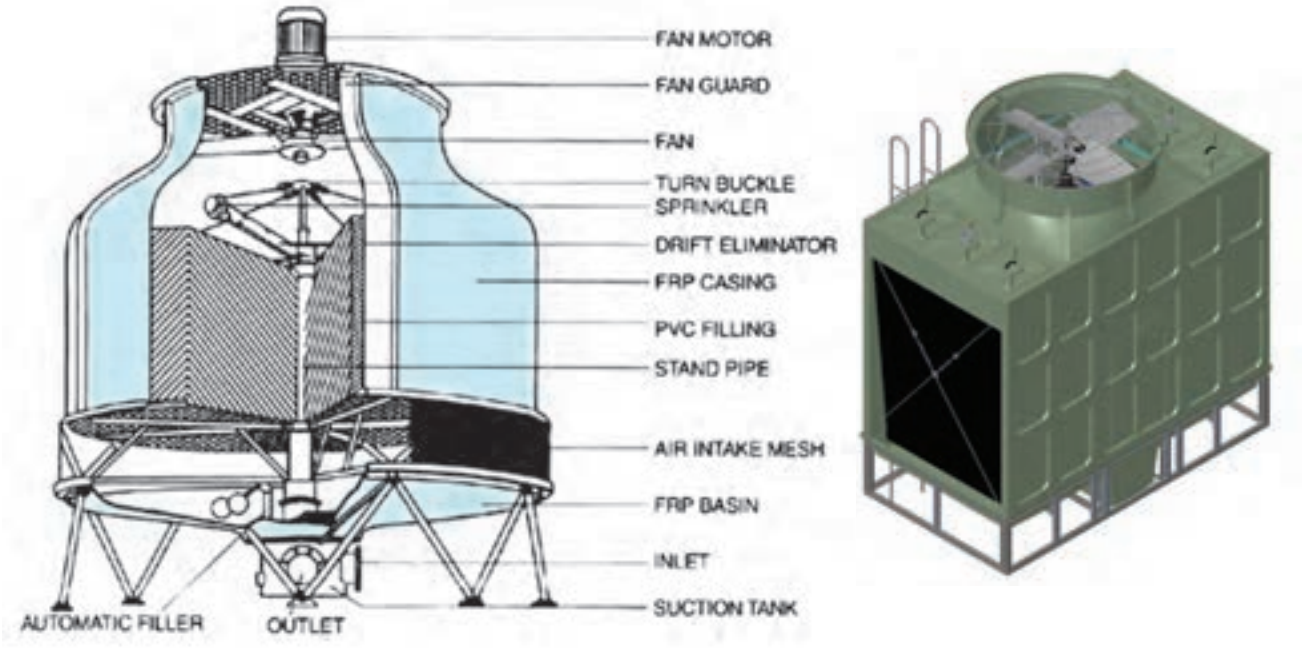


ب) برج خنک‌کن با جریان هوای مخالف

الف) برج خنک‌کن با جریان متقاطع

شکل ۹ــ۴ــ انواع برج خنک‌کن از نظر برخورد جریان آب و هوا

برج‌های خنک‌کن از نظر جنس بدنه نیز به دو دسته ۱ــ بدنه آهنی ۲ــ فایبرگلاس تقسیم‌بندی می‌شوند. (شکل ۱۰ــ۴)



ب) برج خنک‌کن از جنس فایبرگلاس

الف) برج خنک‌کن از جنس آهن

شکل ۱۰ــ۴ــ انواع برج خنک‌کن از نظر جنس بدنه

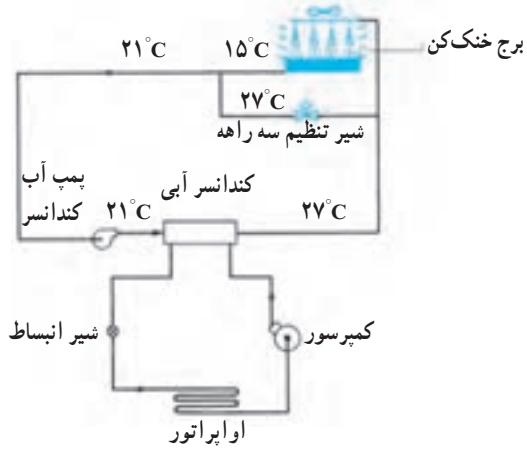
درون برج‌های خنک‌کن که از بدنه آهنی ساخته می‌شود از بالا به پایین و در فواصل مساوی تعداد زیادی تخته به‌صورت افقی قرار می‌گیرد. توسط پمپ آب از کف برج به بالا منتقل شده و برروی چوب‌ها پاشیده می‌شود.

هم‌زمان با ریزش آب از تخته‌های بالا برروی تخته‌های پایینی مقداری از ذرات آب تبخیر شده و امکان سرد شدن آب را فراهم می‌کنند.

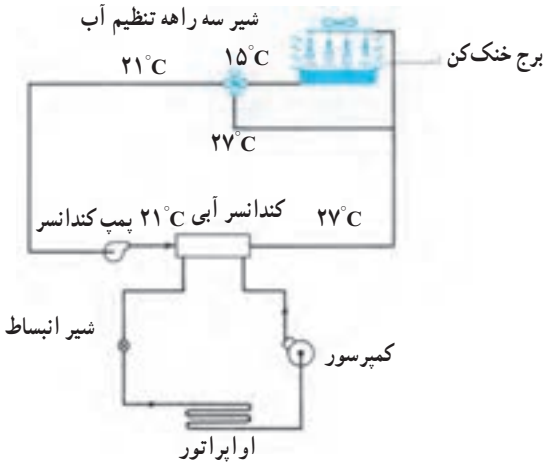
در برج‌های خنک‌کن فایبرگلاس به‌جای تخته‌های چوبی از پکینگ‌های PVC استفاده می‌شود. این پکینگ‌ها با افزایش سطح تماس جریان آب با هوا و همچنین کاهش سرعت جریان آب در خنک سازی جریان آب نقش مؤثری دارند. پکینگ‌ها به‌صورت شبکه‌ای ساخته می‌شوند و از عمر طولانی برخوردارند. در صورت کاهش دمای هوای بیرون در فصل زمستان کندانسرهای آبی مشکل کاهش بیش از حد فشار روی مبرد قبل از شیر انبساط دارند. زمانی که درجه حرارت آب به $24^{\circ}C$ افت نماید در اولین مرحله برای کاهش ظرفیت برج خنک‌کن و جبران افت فشار مایع مبرد، فن برج را خاموش می‌کنیم.

در مرحله دوم از طریق بای‌پاس کردن آب برج به‌وسیله شیرهای دوراهه و سه راهه شکل ۱۱ــ۴ و ۱۲ــ۴ ظرفیت برج را کم می‌کنیم. در هر کدام از این روش‌ها درجه حرارت آب خروجی از برج توسط سنسور حس می‌شود. اگر دما به پایین‌تر از نقطه تنظیم (معمولاً $15^{\circ}C$ تا $20^{\circ}C$) برسد.

شیر بای‌پاس عمل نمود. تمام یا قسمتی از آب برج بای‌پاس می‌شود تا فشار روی مبرد در کندانسر و قبل از شیر انبساط در حد قابل قبول ثابت بماند. با توجه به بحث بای‌پاس نمودن برج، اگر احتمال یخ‌زدگی آب برج وجود داشته باشد از طریق المنت حرارتی یا تزریق بخار مانع از آن می‌شویم. شکل ۱۳ــ۴ شیر دو راهه کندانسر و ساختمان و طرز کار آن را نشان می‌دهد.

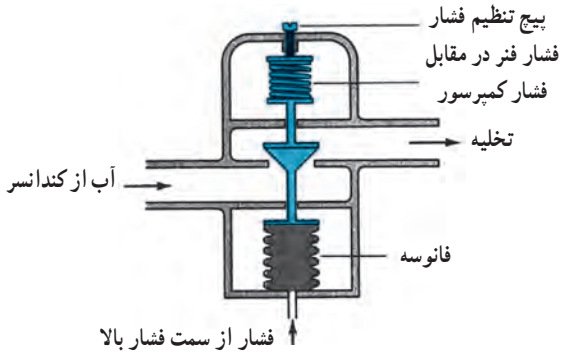


شکل ۱۱ــ۴ــ برج خنک‌کن با کنترل از طریق شیر دو راهه



شکل ۱۲ــ۴ــ برج خنک‌کن با کنترل از طریق شیر سه راهه

الف) شیر دو راهه کندانسر



ب) ساختمان و طرز شیر دو راهه کندانسر

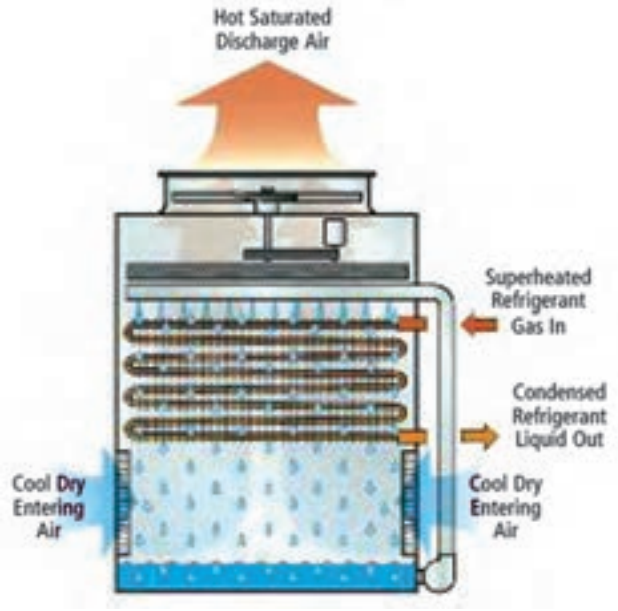
شکل ۱۳ــ۴ــ شیر دوراهه کندانسر

در برج خنک‌کن با بخار شدن بخشی از آب در جریان سیرکوله برج، بقیه آب خنک می‌شود و میزان مصرف آب تقریباً با این میزان بخار شدن آب برابر است. برای تبخیر شدن یک گالن آب حدود ۸۷۰۰Btu گرما لازم است. به عبارت دیگر با تبخیر هر گالن آب حدود ۸۷۰۰Btu گرما از برج دفع می‌شود. حال فرض کنیم ظرفیت برج خنک‌کن ۱۰۰ton تن تبرید باشد در این صورت :

$$۱۰۰\times۱۲۰۰۰=۱۲۰۰۰۰۰\frac{Btu}{hr}$$

با تقسیم این عدد به ۸۷۰۰ میزان مصرف آب در ساعت ۱۳۸ گالن یعنی حدود ۵۲۵ لیتر خواهد بود. البته این عدد با لحاظ نمودن راندمان تبخیر ۱۰۰ درصدی برای برج می‌باشد که در عمل راندمان برج بین ۶۰ الی ۸۰ درصد خواهد بود لذا تبخیر آب به ازای هر تن سرمایی را حدود ۶۰۰ لیتر در ساعت در نظر می‌گیرند.

۳ــ۱ــ۴ــ کندانسر تبخیری : کندانسر تبخیری تلفیقی از کندانسر هوایی، کندانسر آبی و برج خنک‌کن می‌باشد. (شکل ۴ــ۱۴)



شکل ۴ــ۱۴ــ کندانسر تبخیری

طرز کار کندانسر تبخیری طی ۴ مرحله به‌شرح زیر می‌باشد.

۱ــ بخار متراکم و داغ ماده سرمازا از کمپرسور وارد کویل داخل کندانسر تبخیری شده و گرمای آن به آبی که برروی کویل پاشیده می‌شود انتقال می‌یابد. در این حالت کویل دائماً با پاشش آب خیس نگه داشته می‌شود.

۲ــ بخشی از آب با گرمای ماده سرمازا تبخیر می‌شود و گرمای نهان تبخیر بسیار بالای آب اثر سرمایشی و تقطیر مناسبی ایجاد می‌کند و بخش کوچکی از آب بخار شده را سرد و مایع می‌کند.

۳ــ آب تبخیر نشده با جذب گرما از ماده سرمازا گرم می‌شود و بنابراین اگر مطابق مرحله بعدی خنک نمی‌شد از لحاظ ایجاد سرمایش بیشتر دیگر قابل استفاده نبود.

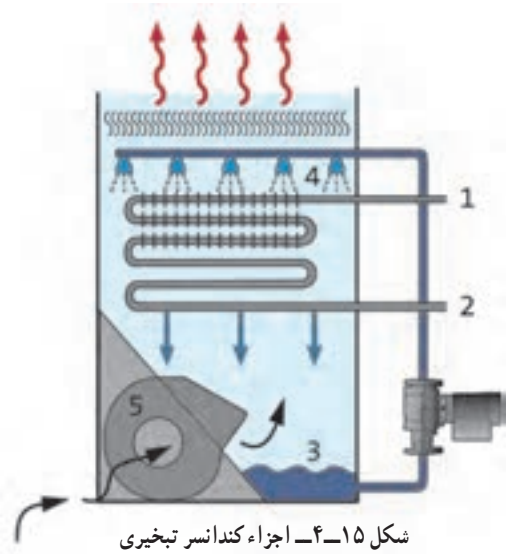
۴ــ هوا از لابه‌لای ذرات آب در حال ریزش از شیپوره پاشش آب عبور می‌کند و با تبخیر بخشی از آب سرمایش مناسبی ایجاد می‌کند در صورتی که بادزن و شیپوره‌های پاشش آب خوب کار کنند آب در مقایسه با دمای مرطوب هوای خروجی چند درجه خنک‌تر می‌شود.

در حدود ۵٪ آب در گردش تبخیر می‌شود و این کمبود به‌وسیله یک شیر شناور تأمین و وارد مخزن می‌شود. تبخیر بخشی از آب، غلظت نمک را در آب باقیمانده بالا می‌برد و بنابراین تصفیه و نمک زدایی آب ضروری است. اگر سر ریز کوچک و با ریزش مدوام

تعبیه شود، غلظت نمک در آب مخزن بالا نخواهد رفت. کندانسر تبخیری به‌صورت واحدهای تکی برای ظرفیت‌های تا ۱۰۰ تن سردسازی ساخته می‌شود و اگر ظرفیت بالاتری مورد نیاز باشد از چند واحد استفاده می‌شود. اما این نوع کندانسر را بیشتر برای واحدهای ۱۰ تا ۵۰ تن بکار می‌برند.

استفاده از این نوع کندانسر در مواردی ضرورت پیدا می‌کند که آب کمیاب یا گرانقیمت باشد، دفع آب زاید مشکل ایجاد کند یا استفاده از برج خنک‌کن عملی نباشد. کندانسر تبخیری فضای اندکی اشغال می‌کند زیرا کندانسر ماده سرمازا و تجهیزات خنک‌کننده آب با هم تلفیق شده و در یک محفظه جای گرفته‌اند.

شکل ۱۵ــ۴ اجزا یک کندانسر تبخیری را نشان می‌دهد. شماره ۱ و ۲ محل ورود و خروج آب خنک شونده، شماره ۳ محل جمع شدن آب در کف کندانسر، شماره ۴ افشانک‌های پاشش آب از بالای کندانسر و شماره ۵ فن کندانسر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵ــ۴ــ اجزاء کندانسر تبخیری

جدول ۱۶ــ۴ــ ظرفیت واحد تقطیر برحسب (kW)

	Saturated Suction Temperature (°C)										
Model Number	6.5	1.5	-3.5	-8.5	-13.5	-16	-18.5	-21	-26	-31	-36
TC-510/AH-12	17.15	14.27	11.96	9.23							
TC-500/AM-12			13.39	10.87	8.70	7.76					
TC-500/AL-12						9.51	8.50	7.64	5.92	4.44	3.14
TC-600/AH-12	19.78	16.66	13.95	11.20							
TC-750/AH-12	25.66	21.27	17.66	14.24							
TC-750/AM-12			22.40	18.05	14.16	12.50					
TC-750/AL-12							10.33	9.00	6.76	5.07	3.82
TC-900/AH-12	33.35	28.07	22.76	18.35							
TC-1000/AH-12	33.50	28.01	23.15	18.63							
TC-755/AH-22	27.65	23.12	19.02	16.91	15.21						
TC-900/AH-22	33.28	27.77	22.64	17.93							
TC-1000/AH-22	41.18	34.32	28.45	23.07	18.26						
TC-500/AL-502							9.21	8.19	6.17	4.65	3.26
TC-600/AL-502						12.56	11.20	9.82	7.40	5.40	3.68
TC-750/AL-502					18.26	16.53	15.02	13.28	10.19	7.61	5.50
TC-1000/AL-502					23.09	20.68	18.57	16.57	12.75	9.36	6.52
TC-500/WH-12	20.23	16.60	13.28	10.49							
TC-500/WM-12			14.94	11.85	9.20	8.03					
TC-500/WL-12						10.26	9.13	8.00	6.04	4.38	3.02
TC-600/WH-12	22.49	18.49	14.94	11.85							
TC-750/WH-12	27.85	22.72	18.41	14.49							
TC-750/WM-12			24.38	18.94	14.64	12.60					
TC-750/WL-12							11.02	9.43	6.87	4.91	3.62
TC-900/WH-12	36.84	30.19	24.38	18.94							
TC-1000/WH-12	36.99	30.19	24.45	19.31							
TC-755/WH-22	30.33	24.91	20.08	15.70							
TC-900/WH-22	36.99	29.89	23.85	18.79	14.49						
TC-1000/WH-22	44.23	36.52	29.89	23.77	18.34						
TC-1500/WH-22	61.72	47.10	38.63	30.48	24.15						
TC-500/WL-502					13.13	11.47	9.96	8.39	6.43	4.65	3.17
TC-600/WL-502						13.74	12.00	10.49	7.67	5.43	3.55
TC-750/WL-502					19.62	17.50	15.40	13.74	10.26	7.55	5.28
TC-1000/WL-502					25.06	22.04	19.62	17.21	12.83	9.21	6.34

۲ــ۴ــ انتخاب کندانسینگ یونیت

برای انتخاب مدل کندانسینگ یونیت از جدول ۱۶ــ۴ استفاده می‌شود. با مشخص بودن ظرفیت واحد تقطیر برحسب (kW) و بدست آوردن دمای مکش گاز کمپرسور می‌توانیم مدل کندانسینگ یونیت را تعیین نماییم.

برای محاسبه دمای مکش می‌بایستی اطلاعات زیر را در اختیار داشته باشیم.

۱ــ دمای سالن نگهداری محصول ti (با توجه به‌نوع محصول تعیین می‌شود)

۲ــ رطوبت نسبی سالن (با توجه به‌نوع محصول تعیین می‌شود)

۳ــ اختلاف دمای هوای سالن و ماده مبرد جریان داخل کویل اواپراتور (TD)

۴ــ نوع اواپراتور از نظر جریان هوا (طبیعی یا اجباری)

با توجه به رطوبت نسبی سالن سردخانه و نوع جریان هوا در اواپراتور از جدول ۱۷ــ۴ مقدار اختلاف دمای سالن و ماده مبرد (TD) را بدست می‌آوریم.

برای بدست آوردن دمای مکش از رابطه زیر استفاده می‌نماییم :

$Te = ti - TD$

Teــ دمای مکش کمپرسور (معادل دمای جوش مبرد)

tiــ دمای سالن

TDــ اختلاف دمای سالن و ماده مبرد

جدول ۱۷ــ۴ــ تعیین TD سردخانه برحسب تغییرات رطوبت نسبی
(TD اختلاف دمای هوای سالن و ماده مبرد جریانی در داخل کویل اواپراتور)

رطوبت نسبی ٪	اختلاف درجه حرارت (TD) °C	
	هوا با جریان طبیعی	هوا با جریان اجباری
۹۵ــ۹۱	۷ــ۸	۵ــ۶
۹۰ــ۸۶	۸ــ۹	۶ــ۷
۸۵ــ۸۱	۹ــ۱۰	۷ــ۸
۸۰ــ۷۶	۱۰ــ۱۱	۸ــ۹
۷۵ــ۷۰	۱۱ــ۱۲	۹ــ۱۰

پس از تعیین دمای مکش کمپرسور و با داشتن ظرفیت واحد تقطیر به جدول ۱۶ــ۴مراجعه و مدل واحد تقطیر را بدست می‌آوریم. برای مثال در صورتی‌که ظرفیت واحد تقطیر ۱۴kw و دمای مکش کمپرسور ۱۲°C- باشد برای انتخاب مدل ابتدا در بالای جدول دمای مکش ۱۳/۵°C- را انتخاب کرده و به‌سمت پایین حرکت می‌کنیم تا به عدد ظرفیت واحد تقطیر برسیم در این ستون سه مدل می‌تواند چنین ظرفیتی را تأمین نماید. مدل‌های ۱۲ــTC ــ۷۵۰/AM، ۱۲ــTC ــ۷۵۰/WM و ۲۲ــTC ــ۹۰۰/WH برای ظرفیت ۱۴kw و دمای مکش ۱۲°C- مناسب می‌باشد.

از مدل TC_۷۵۰/AM_۱۲ برای شرایط اقلیمی که امکان استفاده از کندانسر هوایی باشد استفاده می‌شود و از مدل‌های TC_۷۵۰/WM_۱۲ و TC_۹۰۰/WH_۲۲ برای شرایطی که امکان استفاده از کندانسر آبی باشد استفاده می‌شود.

مثال : دمای نگهداری سالن ۱۱- درجه سانتی‌گراد و درصد رطوبت نسبی در سالن ۷۷٪ می‌باشد. درصورتی که اواپراتور از نوع فن‌دار بوده و ظرفیت واحد تقطیر ۱۲kw باشد مدل دستگاه واحد تقطیر را بدست آورید.

حل : ابتدا با توجه به رطوبت ۷۷٪ و نوع فن اواپراتور که از نوع اجباری می‌باشد از جدول ۱۷_۴ اختلاف دمای هوای سالن و ماده مبرد TD را بدست می‌آوریم $TD = ۸ _ ۹^{\circ}C$ حال با استفاده از رابطه Te= Ti-TD دمای جوش مبرد که همان دمای مکش مبرد توسط کمپرسور است را بدست می‌آوریم.

$$Te=ti-TD \qquad Te = -۱۱-۹ = -۲۰^{\circ}C$$

در جدول عدد ۲۰- در ردیف دماهای مکش کمپرسور وجود ندارد لذا عدد ۲۱- را انتخاب کرده و در این ستون ظرفیت ۱۲kw را پیدا می‌کنیم و چون این عدد نیز وجود ندارد بزرگترین عدد بزرگتر از ۱۲ را انتخاب نموده و مدل دستگاه را بدست می‌آوریم که عبارتند از مدل‌های :

TC_۷۵۰/AL_۵۰۲

TC_۷۵۰/WL_۵۰۲

درصورتی که این دستگاه در منطقه با آب و هوای خشک به‌کار برده شود از مدل TC_۷۵۰/WL_۵۰۲ استفاده می‌شود و درصورتی که دستگاه در منطقه با آب و هوای مرطوب استفاده شود بایستی از دستگاه مدل TC_۷۵۰/AL_۵۰۲ استفاده نمود.

در صورت بکارگیری از واحد تقطیر مدل TC_۷۵۰/AL_۵۰۲ مشخصات این دستگاه به‌شرح زیر می‌باشد :

۱_ قدرت اسمی دستگاه ۷۵۰۰۰ اسب بخار است. $۷۵۰ \times ۱۰۰ = ۷۵۰۰۰HP$

۲_ کندانسر این دستگاه از نوع هوایی است (A) .

۳_ دمای مکش کمپرسور در حالت اشباع می‌تواند بین $۱۳/۵^{\circ}C$- تا $۳۶^{\circ}C$- باشد.

۴_ مبرد بکار رفته در واحد تقطیر R_۵۰۲ می‌باشد.

تحقیق

از هنرجویان بخواهید با مشاهده انواع دستگاه‌های سردکننده موجود در خانه و مغازه‌های مختلف محل زندگی خود و نوع کندانسر آنها را مشخص نمایند.