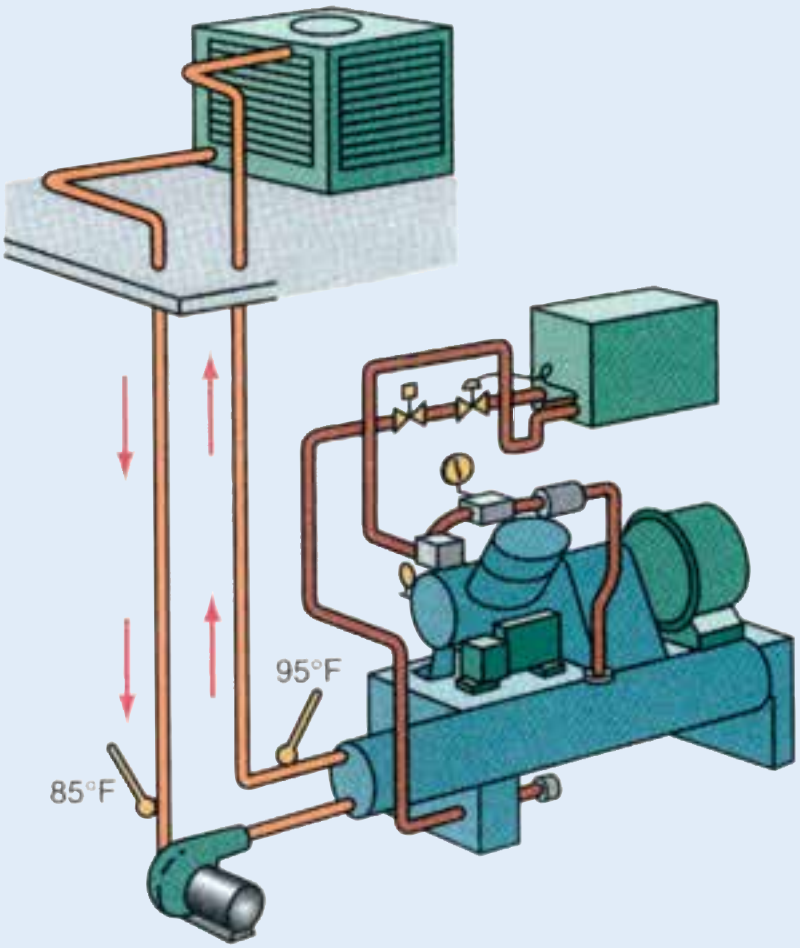
فصل چهارم



فصل چهارم

کندانسرها

پس از پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

۱ــ ضریب عملکرد سیستم تبرید را توضیح دهد.

۲ــ انواع کندانسر را نام ببرد.

۳ــ کندانسرهای هوایی را توضیح دهد.

۴ــ کندانسینگ یونیت را شرح دهد.

۵ــ کندانسرهای آبی را توضیح دهد.

۶ــ انواع کندانسر آبی را از روی شکل شرح دهد.

۷ــ مقدار آب جریانی در کندانسرهای آبی را حساب کند.

۸ــ برج خنک کن را توضیح دهد.

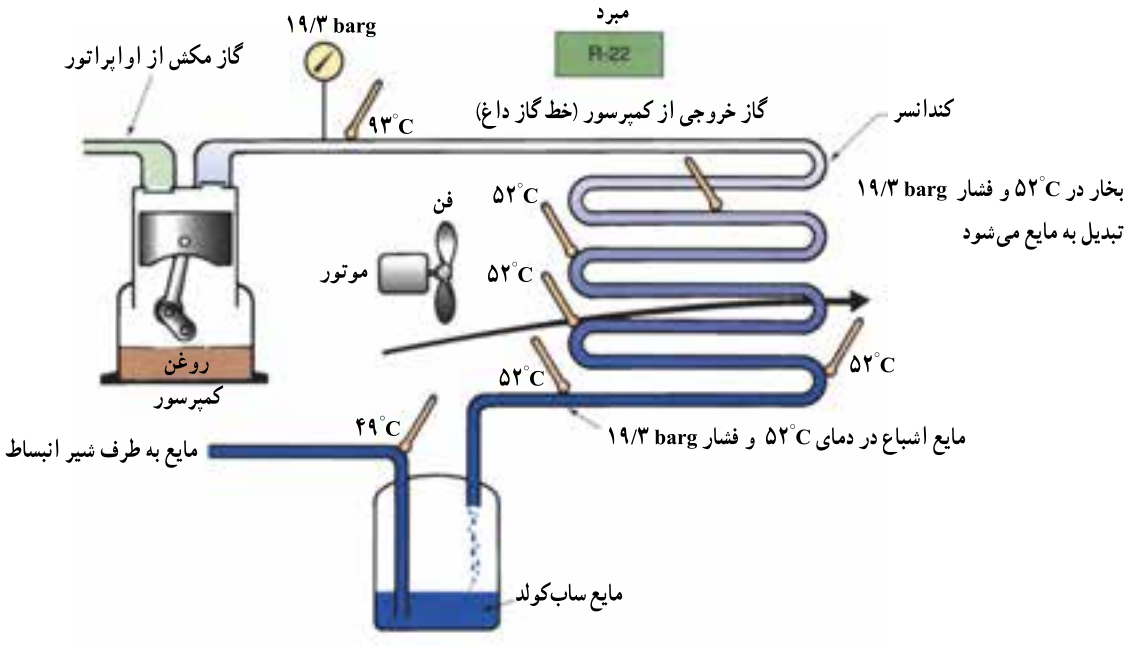
۹ــ کندانسر تبخیری را توضیح دهد.

۱۰ــ انتخاب کندانسینگ یونیت را توضیح دهد.

۴ــ کندانسرها[۱]

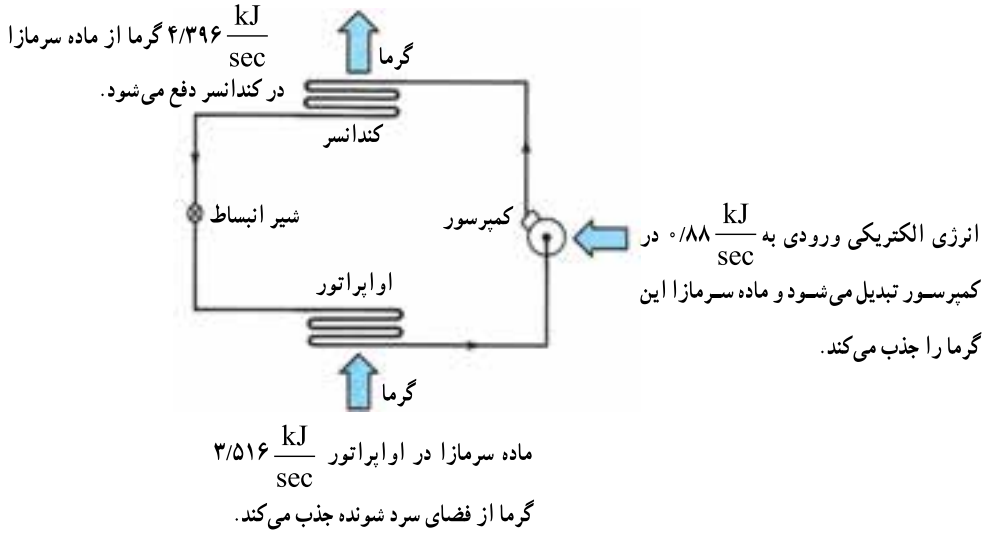
مادهٔ سرمازا پس از تراکم در کمپرسور وارد کندانسر می‌شود. در کندانسر گرمای گاز داغ به هوا یا آب انتقال می‌یابد و تبدیل به مایع می‌شود. گاز داغ ابتدا در کویل‌های اوّلیه تا دمای اشباع خنک می‌شود و سپس در دمای ثابت به حالت مایع درمی‌آید (شکل ۱ــ۴).

۱ــ Condensers



شکل ۱ــ۴ــ بخار در داخل کندانسر به مایع تبدیل می‌شود.

گرمایی که از کندانسر دفع می‌شود معادل مجموع گرمای در کمپرسور است. (شکل ۲ــ۴)
جذب شده در اواپراتور و گرمای حاصل از تراکم (کار مکانیکی)



شکل ۲ــ۴ــ گرمای دفع شده در کندانسر معادل گرمای جذب در اواپراتور و گرمای جذب شده در کمپرسور است.

گرمای حاصل از تراکم در کمپرسور + گرمای جذب شده در اواپراتور = گرمای دفع شده در کندانسر

۴/۳۹۶ = ۳/۵۱۶ + ۰/۸۸

۱ــ۴ــ ضریب عملکرد[۱]

برای بیان بازده در سیستم‌های سردکننده از ضریب عملکرد استفاده می‌کنیم. ضریب عملکرد عبارت است از نسبت سرمای ایجاد شده در اواپراتور به انرژی الکتریکی مصرفی در کمپرسور.

در شکل ۲ــ۴ ضریب عملکرد $\frac{۳/۵۱۶}{۰/۸۸} = ۴$ است که عددی بزرگ‌تر از واحد است یعنی به ازاء هر کیلووات انرژی مصرف شده، ۴ کیلووات سرما حاصل شده است.

۲ــ۴ــ انواع کندانسر

کندانسرها به‌طورکلی سه نوع هستند :

۱ــ کندانسر هوایی

۲ــ کندانسر آبی

۳ــ کندانسر تبخیری

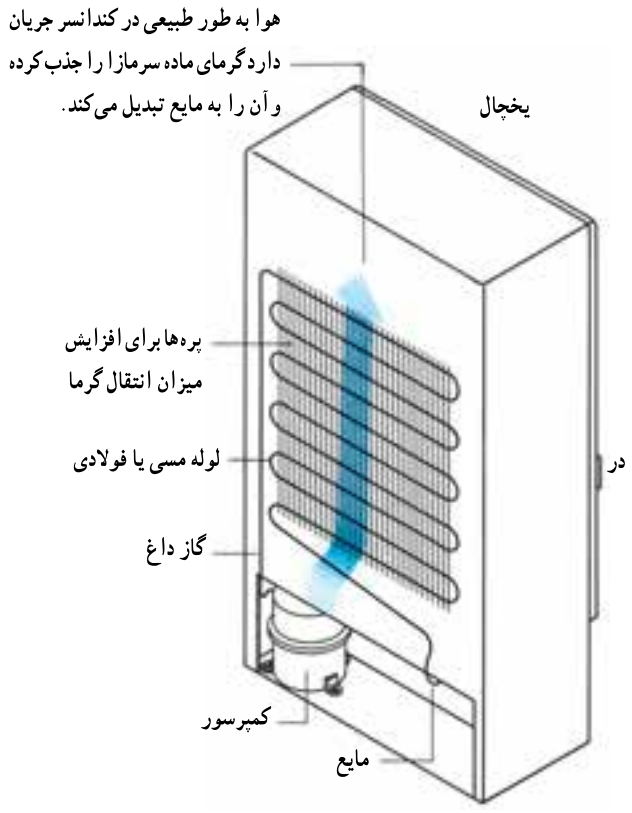
۳ــ۴ــ کندانسرهای هوایی

در کندانسرهای هوایی برای تقطیر گاز مبرد از هوا استفاده می‌کنند. دو نوع کندانسر هوایی وجود دارد که عبارت است از :

۱ــ کندانسر هوایی با جریان طبیعی ۲ــ کندانسر هوایی با جریان اجباری.

در کندانسر با جریان طبیعی هوا، دفع گرما از مبرد به نحوه جابه‌جایی و جریان طبیعی هوا بستگی دارد. این کندانسرها به علت داشتن ساختمان ساده و نداشتن قطعه متحرک، کم هزینه بوده و بسیار مطمئن عمل می‌کنند. ولی به لحاظ محدود بودن سرعت جریان هوا نیاز به یک سطح بزرگ‌تری دارند. لذا به طور معمول از کندانسرهای نوع طبیعی در یخچال و فریزرهای خانگی استفاده می‌شود. شکل ۳ــ۴ کندانسر طبیعی نصب شده پشت یخچال از نوع میله و لوله بوده و گاهی این کندانسرها به شکل صفحه و لوله نیز ساخته می‌شوند.

در کندانسرهای نوع اجباری هوا را توسط فن از میان کویل کندانسر عبور می‌دهند. شکل ۴ــ۴ یک نوع کندانسر جریان



شکل ۳ــ۴ــ کندانسر یخچال خانگی

اجباری را در یک مجموعه نشان می‌دهد. این مجموعه را که در آن کمپرسور، کندانسر به همراه کنترل‌های الکتریکی روی یک شاسی سوار شده است، **واحد تقطیر** یا **کندانسینگ یونیت** می‌گویند. کندانسینگ یونیت‌ها برای انواع اتاقک‌های برودتی دستگاه یخ‌ساز، فریزرها و سایر تأسیساتی که ظرفیتشان از ۳ton (تن تبرید) تجاوز نکند به‌کار برده می‌شود. کندانسرهای هوایی مورد استفاده برای سیستم‌های تا ۱۲۰ton مطابق شکل ۵ــ۴ به صورت یک واحد مستقل ساخته و به‌کار برده می‌شوند. در این نوع کندانسرها از چندین فن جهت عبور دادن هوا از روی کویل استفاده می‌کنند. این کندانسرها برای نصب در هوای آزاد طراحی شده‌اند.

تـذکر : دمای تقطیر در کندانسر هوایی ۱۵ تا ۲۰ درجه سلسیوس بیشتر از دمای هوای ورودی به کندانسر است.

۱ــ coeffient of performance

شکل ۴ــ۴ــ کندانسینگ یونیت کوچک

شکل ۵ــ۴ــ کندانسینگ یونیت بزرگ

۴ــ۴ــ کندانسرهای آبی

در کندانسرهای آبی از آب ۱۵°C تا ۳۲°C به عنوان واسطه انتقال گرما استفاده می‌شود. انواع کندانسرهای آبی عبارت‌اند از :

۱ــ پوسته و لوله

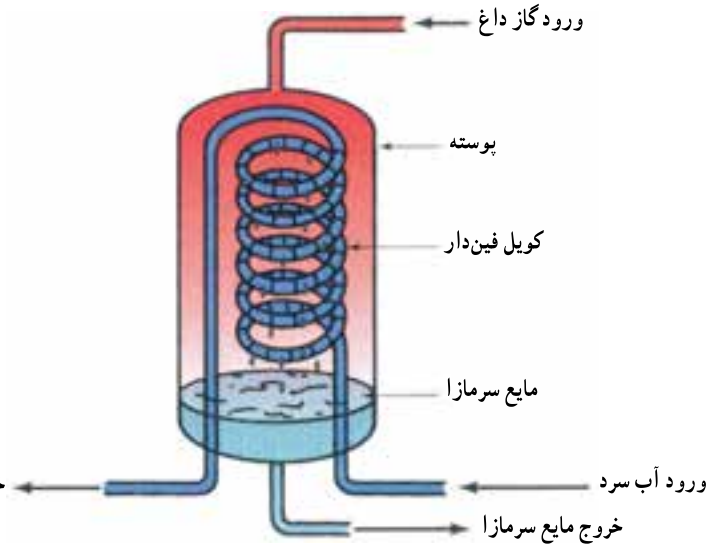
۲ــ پوسته و کویل

۳ــ لوله داخل لوله (دو لوله‌ای) که در شکل‌های ۶ــ۴ و ۷ــ۴ انواع کندانسر آبی نشان داده شده است.

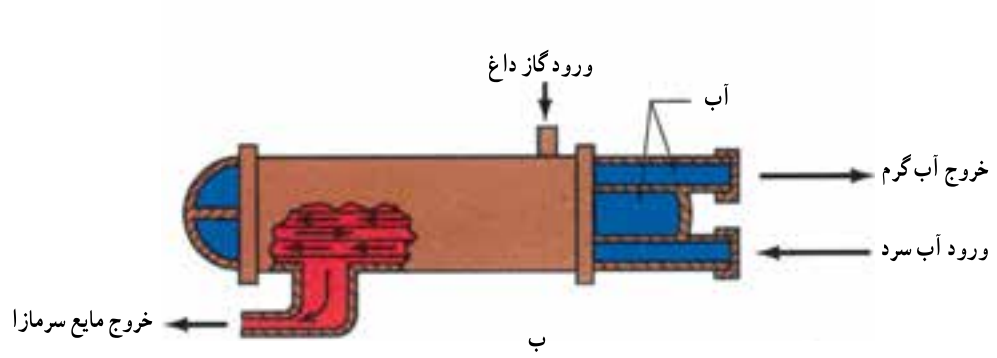
در کندانسرهای آبی آب وارد لوله یا کویل می‌شود و گاز داغ از سمت مخالف ورود آب، وارد پوسته می‌گردد. گرمای گاز داغ، انتقال یافته در نتیجه آب گرم‌تر می‌شود و گاز داغ، خنک شده و تقطیر می‌شود. در کندانسرهای دو لوله‌ای آب وارد لولهٔ داخلی می‌شود.

یک نکته عملی و تجربی این است که دمای تقطیر در حدود ۶°C[1] بالاتر از دمای آب خروجی از کندانسر و دمای آب خروجی

۱ــ در کتاب اصلی ۱۰°F آمده است که معادل ۵/۶°C است.

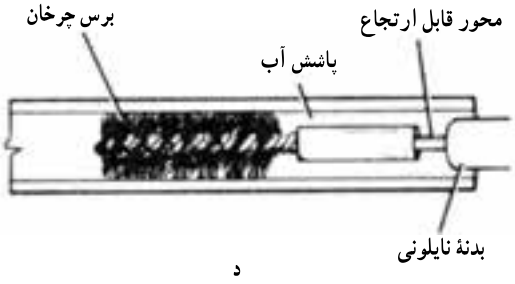


الف



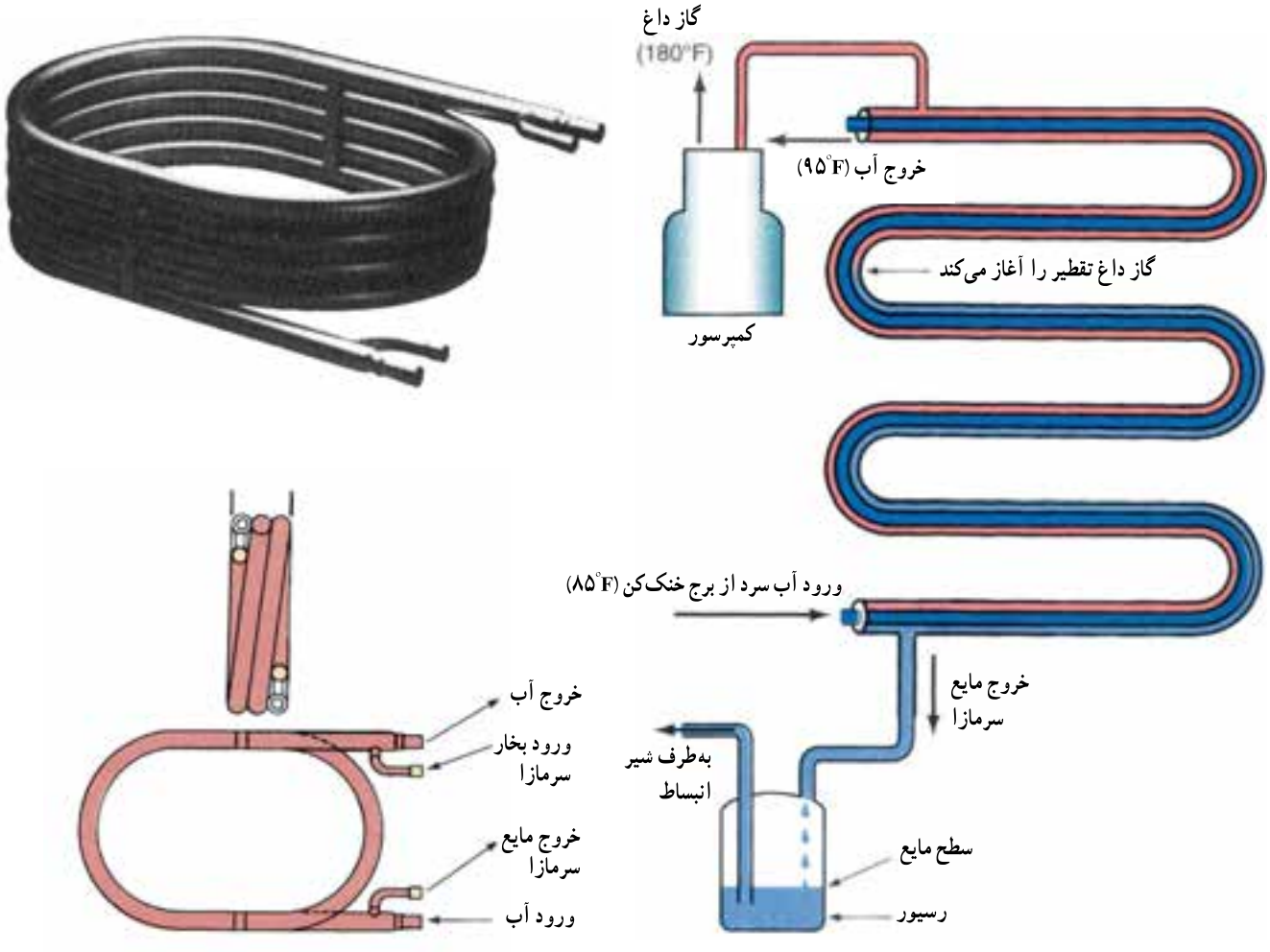
ب

ج



د

شکل ۶ــ۴ــ الف) کندانسر پوسته و کویل ب) کندانسر پوسته و لوله ج) تمیز کردن لوله‌های کندانسر پوسته و لوله
د) برس مخصوص تمیز کردن لوله‌های کندانسر



شکل ۷ــ۴ــ کندانسر لوله در لوله

از کندانسر حدود $6^{\circ}C$ بالاتر از دمای آب ورودی به کندانسر خواهد بود.

بدین ترتیب به‌ازاء یک تن سرمایی حدود ۶۰۰ لیتر در ساعت آب لازم است،

زیرا

$$Q = mc(t_2 - t_1)$$

$$Q = \text{۱ تن سرمایی} = ۱۲۰۰۰ \frac{Btu}{hr} = ۳/۵۱۶ \frac{kJ}{s}$$

$$\approx ۱۵۰۰۰ \frac{Btu}{hr} = ۴/۳۹۶ \frac{kJ}{s} \text{ گرمای دفع شده در کندانسر}$$

$$C = ۴/۱۹۶ \frac{kJ}{kg \cdot {}^{\circ}c}$$

$$m = \frac{Q}{c(t_2 - t_1)} = \frac{۴/۳۹۶}{۴/۱۹۶ \times ۶} = ۰/۱۷۵ \frac{kg}{s}$$

$$= ۰/۱۷۵ \times ۳۶۰۰$$

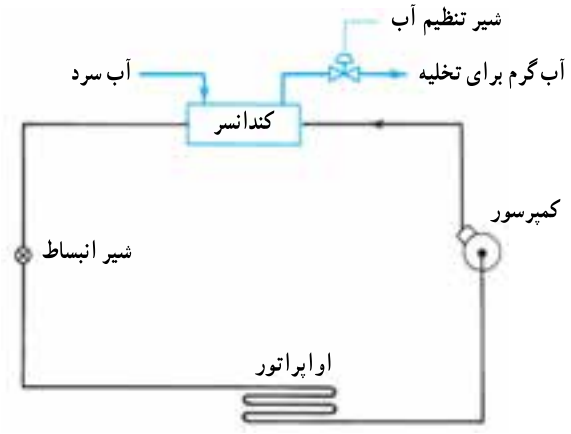
$$= ۶۳۰ \frac{kg}{hr}$$

$$= ۶۳۰ \frac{L}{hr}$$

مثال : ظرفیت سرمایی یک چیلر ۷ تن است چنان‌چه از کندانسر آبی استفاده شود مقدار جریان آب چند لیتر در ساعت است؟

$$Q = ۷ \times ۶۰۰ \frac{L}{hr} = ۴۲۰۰ \frac{L}{hr}$$

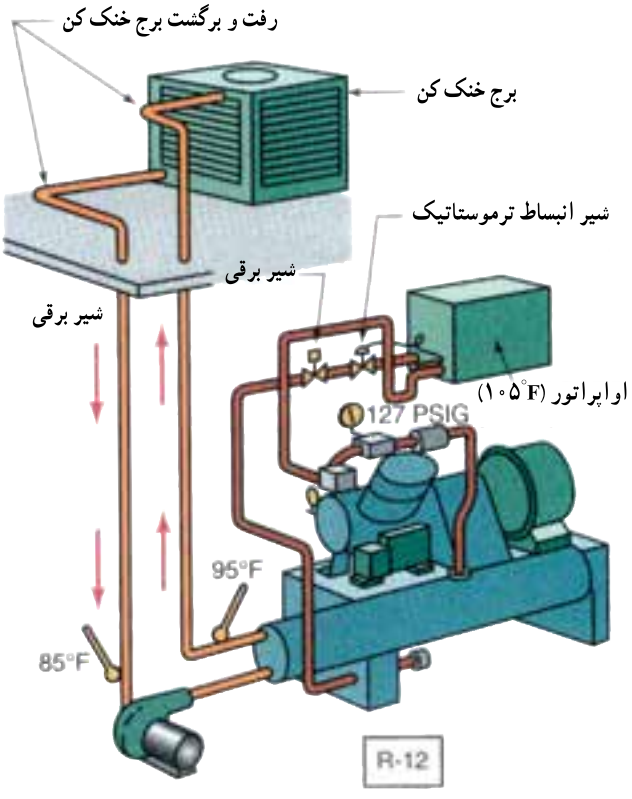
جریان آب در داخل کندانسر می‌تواند مطابق شکل ۸ــ۴ باشد. آب ورودی می‌تواند آب شهر، آب رودخانه یا آب چاه باشد. به‌طور معمول آب خروجی توسط دستگاهی به‌نام برج‌خنک‌کن دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۸ــ۴ــ سیستم تبرید با کندانسر آبی با یک بار مصرف آب

۵ــ۴ــ برج خنک کن

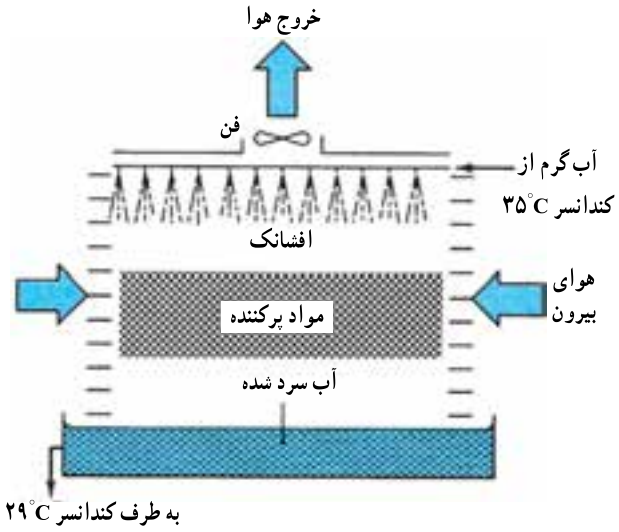
برج خنک کن آب گرم خروجی از کندانسر را خنک می کند تا مجدداً در کندانسر مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۹ــ۴). در برج خنک کن آب گرم خروجی از کندانسر به افشانک‌ها پمپ می‌شود.



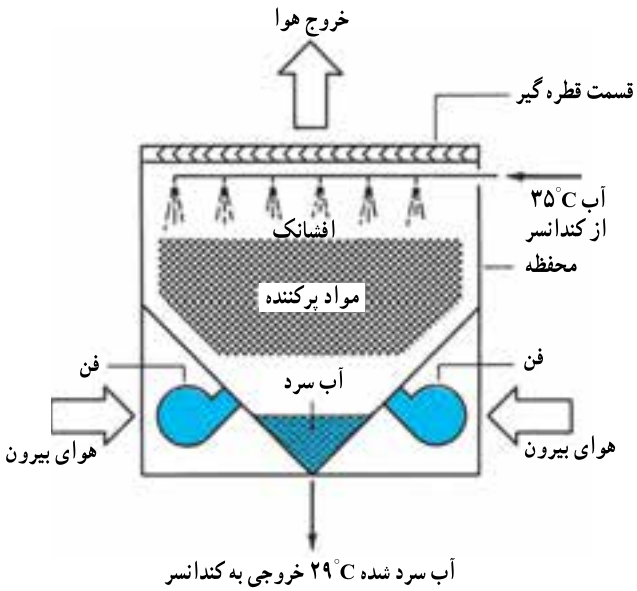
شکل ۹ــ۴ــ ارتباط برج خنک کن با کندانسینگ یونیت

قسمتی از قطرات ریزی که از افشانک‌ها خارج می‌شوند در اثر تماس با هوا به آسانی تبخیر می‌شوند. گرمای لازم برای تبخیر از قسمت تبخیر نشدهٔ قطرات گرفته می‌شود و آنها را خنک می کند. آب خنک شده در تشتک برج جمع می‌شود و به داخل کندانسر برای استفادهٔ مجدد هدایت می‌شود (شکل‌های ۱۰ــ۴ و ۱۱ــ۴).

برج خنک کن مطابق شکل ۱۲ــ۴ نیاز به تغذیه تأمین آب تلف شده دارد زیرا در اثر تبخیر[۱]، پرتاب به بیرون[۲] و تخلیه اجباری[۳]،

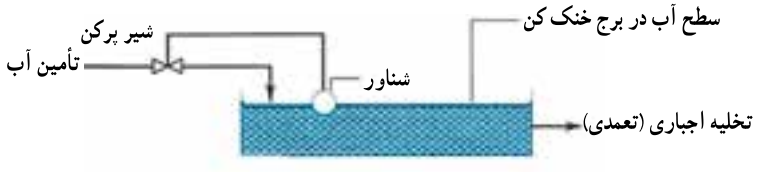


شکل ۱۰ــ۴ــ برج خنک کن با جریان هوای مکشی



شکل ۱۱ــ۴ــ برج خنک کن با جریان هوای وزشی

۱ــ Evaporation ۲ــ Windage ۳ــ Bleed–off



شکل ۱۲ــ۴

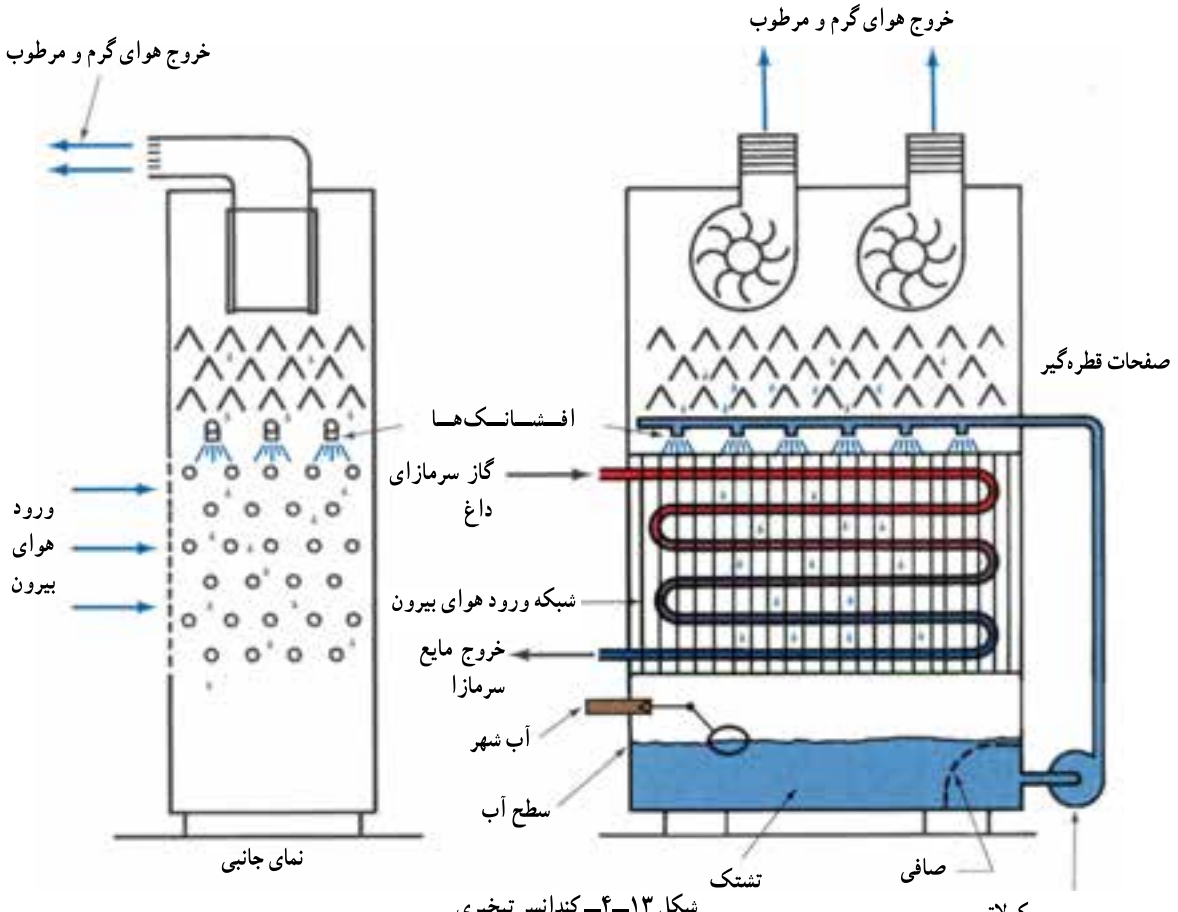
آب برج کم می‌شود و باید جبران شود.

در مورد تخلیه اجباری لازم به توضیح است که در اثر تبخیر آب و باقی ماندن املاح در آن غلظت آب زیاد می‌شود و رسوب گرفتگی کندانسر بیشتر می‌شود. برای کاهش غلظت آب و نگه‌داشتن آن در حد قابل قبولی قسمتی از آب تشتک (۱۰ تا ۲۰ درصد) را تخلیه می‌نمایند.

در برج‌های خنک‌کن از فن برای عبور دادن هوا از روی مواد پرکننده (مانند چوب) استفاده می‌شود. براساس محل قرارگیری فن برج‌های خنک‌کن به دو دسته با جریان هوای مکشی (شکل ۱۰ــ۴) و جریان هوای وزشی (شکل ۱۱ــ۴) تقسیم می‌شوند.

۶ــ۴ــ کندانسر تبخیری[۱]

کندانسر تبخیری را می‌توان ترکیبی از برج خنک‌کن و کندانسر در نظر گرفت. در سیستم‌های بزرگ که محدودیت مصرف در برج خنک‌کن وجود دارد و در سیستم کوچک که امکان استفاده از برج خنک کن نیست، کندانسر مناسبی است (شکل ۱۳ــ۴).



شکل ۱۳ــ۴ــ کندانسر تبخیری

۱ــ Evaporative condensers

همان‌طور که در شکل ۱۳ـ۴ مشاهده می‌شود توسط یک یا دو بادزن که در بالای محفظهٔ کندانسر نصب شده‌اند هوا از پایین به بالا کشیده می‌شود و از لابه‌لای کویل‌های کندانسر عبور می‌کند. گاز سرمازا از بالا وارد کویل کندانسر شده از پایین خارج می‌شود. همزمان یک پمپ جریانی آب را از تشتک گرفته به افشانک‌هایی که در بالای کندانسر قرار گرفته است می‌رساند تا به‌صورت قطرات ریز برروی سطح کویل پاشیده شوند. حرکت رو به بالای هوا موجب تبخیر برروی سطح کویل می‌شود. عمل تبخیر موجب می‌شود که گرمای به‌مراتب بیشتری از ماده سرمازای داخل کویل گرفته شود. و توان دفع گرمای کویل را نسبت به‌حالتی که فقط هوا از روی آنها جریان یابد بیشتر می‌کند. علاوه بر این‌ها پره‌دار بودن کویل کمک بیشتری به دفع گرما می‌نماید.

۷ـ۴ـ انتخاب کندانسینگ یونیت (واحد تقطیر)

کندانسرها همراه کمپرسور روی یک شاسی سوار شده به‌نام کندانسینگ یونیت یا واحد تقطیر خوانده می‌شوند بنابراین علاوه‌بر اینکه کندانسرها و کمپرسورها را به‌طور جداگانه می‌توان انتخاب نمود بیشتر این دو دستگاه یک‌جا انتخاب می‌شود.

برای انتخاب واحد تقطیر در سیستم Si جدول ۱۴ـ۴ تهیه و تنظیم شده است. در این جدول ظرفیت واحد تقطیر را بر حسب کیلووات (kW) داده شده است و مقادیر جدول براساس فرضیات زیر می‌باشد.

در صورتی که کندانسر هوایی باشد درجه حرارت محیط $32^{\circ}C$ فرض شده است.

برای کندانسرهای آبی دمای آب ورودی $24^{\circ}C$ و دمای تقطیر $38^{\circ}C$ فرض شده است.

جدول ۱۴ـ۴ ظرفیت واحد تقطیر بر حسب (kW)

Model Number	Saturated Suction Temperature (°C)										
	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

در جدول ۱۴ـ۴ یازده مقیاس مختلف دمای مکش در حالت اشباع داده شده و ۳۳ مدل TC ارائه گردیده است که با داشتن بار سرمایی سیستم و انتخاب یک دمای مناسب برای گاز سرد اشباع ورودی به کمپرسور می‌توان مدل و مشخصات مناسبی برای واحد تقطیر انتخاب نمود.

برای انتخاب دمای مناسب برای گاز ورودی به کمپرسور با توجه به نوع محصول از جدول مشخصات گوشت، میوه و سبزی رطوبت نسبتی پیشنهادی را برداشت و مشخص نموده و با معلوم بودن نوع جریان هوا (طبیعی یا اجباری) از روی کویل اواپراتور مقدار TD (اختلاف دمای سالن و ماده مبرد جریانی) را تعیین و از دمای سالن کم می‌کنیم تا دمای اشباع معلوم گردد. همچنین از جدول بخار اشباع ماده مبرد مورد استفاده می‌توان فشار خط مکش را نیز به دست آورد.

شکل ۱۵ـ۴ کد راهنمای مدل‌های واحد تقطیر به عنوان تعیین مشخصات با استفاده از شماره و یا حروف به ترتیب زیر می‌باشد:

۱ـ TC نوع مدل واحد تقطیر را نشان می‌دهد که از طرف کارخانه سازنده تعیین می‌شود.

۲ـ سه رقم شماره بعدی حاصل ضرب قدرت اسمی برحسب اسب بخار در عدد ۱۰۰ می‌باشد (۱۰۰× (HP) قدرت اسمی)

۳ـ حرف A و یا W بعد از اعداد سه رقمی معرف هوا یا آبی است که کندانسر را خنک می‌کند و R یعنی کندانسر هوایی جدا.

۴ـ حرف H یا M و یا L به ترتیب شاخص حدود درجات مکش در حالت اشباع می‌باشد که H به معنی حد بالا (بین $-8/5^{\circ}C$ تا $6/5^{\circ}C$) و M یعنی حد متوسط (بین $-3/5^{\circ}C$ تا $-16^{\circ}C$) و L به معنی حد پایین (بین $-13/5^{\circ}C$ تا $-36^{\circ}C$) می‌باشند.

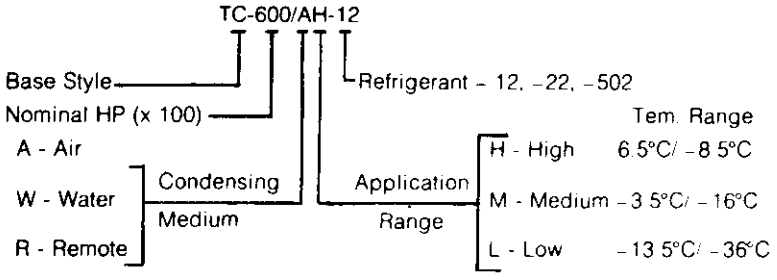
۵ـ اعداد سمت راست (۱۲ و ۲۲ و ۵۰۲) مشخص کننده نوع مبرد به‌کار برده شده در سیستم می‌باشد که به ترتیب فریون ۱۲ و فریون ۲۲ و فریون ۵۰۲ را نشان می‌دهند.

مثال: در صورتی‌که دمای اشباع گاز مبرد در قسمت مکش کمپرسور $-13/5^{\circ}C$ و ظرفیت واحد تقطیر ۲۰kW باشد مدل واحد تقطیر را تعیین نمایید.

حل: از جدول ۱۴ـ۴ با توجه به دمای مکش و ظرفیت واحد تقطیر، مدل دستگاه عبارت است (TC–1000/AL–502).

مثال: در صورتی‌که بخواهیم در سردخانه‌ای گوشت مرغ منجمد را در $-18^{\circ}C$ نگهداری نماییم و ظرفیت واحد تقطیر ۱۰kW محاسبه شده باشد مدل دستگاه واحد تقطیر را تعیین نمایید. با علم بر این‌که سردخانه در منطقه‌ای با آب و هوای مرطوب نصب گردیده و اختلاف دمای ماده مبرد جریانی با هوای سردخانه $8^{\circ}C$ است.

حل: از جدول ۱۴ـ۴ با داشتن دمای سالن $-18^{\circ}C$ و $TD=8^{\circ}C$، دمای اشباع ماده مبرد در مکش $-26^{\circ}C$ انتخاب و با توجه به ظرفیت دستگاه از مقادیر متن جدول دو مدل TC750/AL–502 و TC750/WL–502 را می‌توانیم انتخاب نماییم ولی به لحاظ اینکه سردخانه در منطقه‌ای با آب و هوای مرطوب نصب شده مدل هوایی TC750/AL–502 را انتخاب می‌نماییم.



شکل ۱۵ـ۴ـ راهنمای کد مدل‌های واحد تقطیر

۸ــ۴ــ پرسش و تمرین

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۱ــ ورود گاز به کندانسر از کدام قسمت آن می‌باشد؟ (امتحان نهایی ــ خرداد ۹۱)

الف)بالا　　ب) پایین

ج) وسط　　د) بالا یا پایین

۲ــ کدام مورد از انواع کندانسر نمی‌باشد؟

الف) آبی　　ب) هوایی

ج) تراکمی　　د) تبخیری

۳ــ کدام مورد از انواع کندانسر هوایی با جریان طبیعی است؟

الف) صفحه و لوله ــ پوسته و لوله　　ب) صفحه و لوله ــ پوسته و کویل

ج) میله و لوله ــ پوسته و لوله　　د) میله و لوله ــ صفحه و لوله

۴ــ با وجود کدام دستگاه می‌توان از آب مصرف شده در کندانسرهای آبی مجدداً استفاده کرد؟ (امتحان نهایی ــ شهریور ۹۰)

الف) سختی‌گیر　　ب) صافی

ج) سختی‌گیر و صافی　　د) برج خنک‌کن

۵ــ علّت تخلیه اجباری آب برج خنک‌کن چیست؟ (امتحان نهایی ــ خرداد ۹۰)

الف) دمای خیلی زیاد یا خیلی کم آب برج　　ب) بالا بودن غلظت آب در برج

ج) دمای خیلی کم آب برج　　د) دمای خیلی زیاد آب برج

پرسش‌های درست و نادرست

۶ــ ضریب عملکرد عبارت است از نسبت سرمای ایجاد شده در اواپراتور به گرمای دفع شده در کندانسر.

☐ درست　　☐ نادرست

۷ــ کندانسرهای هوایی در دو نوع جریان طبیعی و جریان اجباری ساخته می شوند.

☐ درست　　☐ نادرست

۸ــ نصب کندانسینگ یونیت برای فریزرهای تا ظرفیت ۳ton مجاز می‌باشد.

☐ درست　　☐ نادرست

۹ــ دبی آب مورد نیاز برای کندانسر آبی یک چیلر ۵ تنی برابر با ۲۰۰۰ لیتر در ساعت می‌باشد.

☐ درست　　☐ نادرست

۱۰ــ برج‌های خنک‌کن بر اساس محل قرارگیری فن برج به دو دسته جریان هوای مکشی و وزشی تقسیم می‌شوند.

☐ درست　　☐ نادرست

پرسش‌های کامل کردنی

۱۱ــ گرمای دفع شده در کندانسر معادل مجموع گرمای ..... و گرمای ..... است.

۱۲ــ اگر دمای هوای ورودی به کندانسر $32^{\circ}C$ باشد دمای تقطیر در کندانسر ..... تا ..... درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

۱۳ــ در کندانسرهای آبی از آب با دمای ..... درجه سانتی‌گراد به‌عنوان واسطه استفاده می‌شود.

۱۴ــ برای کاهش غلظت آب در برج خنک‌کن ..... درصد آب برج را تخلیه می‌کنند.

۱۵ــ اگر دمای آب ورودی به کندانسر ۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد دمای تقطیر ..... درجه سانتی‌گراد است.

واژه‌های مناسب را در جای خالی بنویسید.

«قطعه متحرک ــ ساب کولد ــ کندانسر ــ مکشی ــ اشباع ــ دو لوله‌ای»

۱۶ــ گاز داغ ابتدا در کویل‌های اولیه کندانسر تا دمای ..... خنک و سپس در دمای ثابت به حالت مایع درمی‌آیند.

۱۷ــ کندانسرهای هوایی به‌علت نداشتن ..... بسیار مطمئن عمل می‌کنند.

۱۸ــ کندانسر تبخیری ترکیبی از برج خنک‌کن و ..... می‌باشد.

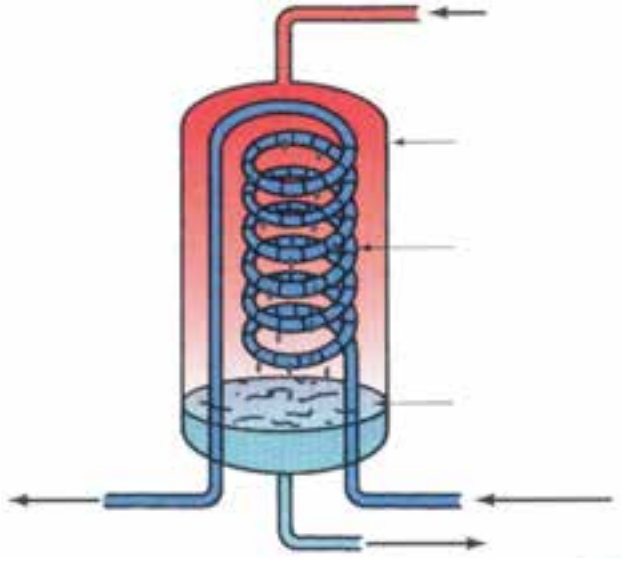
۱۹ــ یکی از انواع کندانسرهای آبی، کندانسر ..... می‌باشد.

پرسش‌های تشریحی

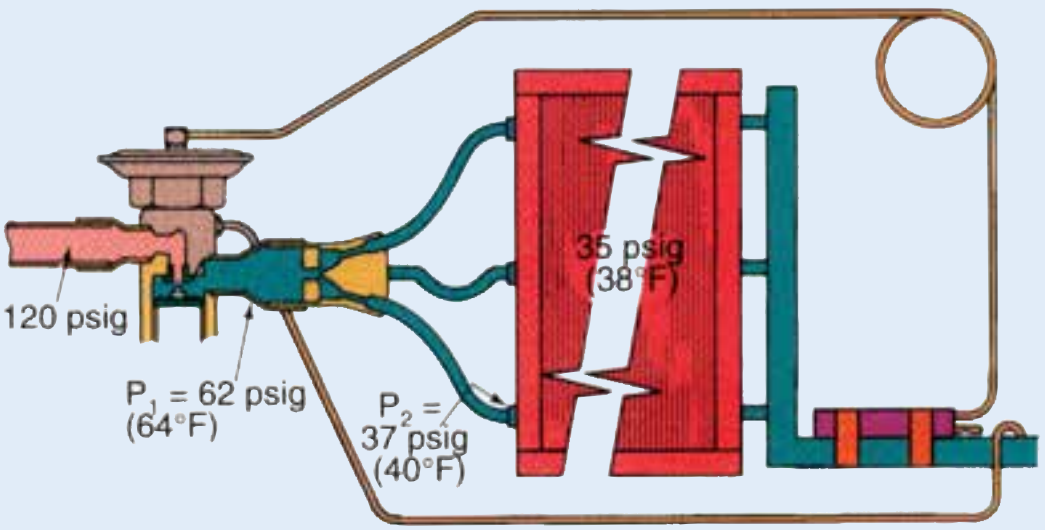
۲۰ــ کندانسینگ یونیت را شرح دهید.

۲۱ــ انواع کندانسرهای آبی را نام ببرید.

۲۲ــ شکل زیر کدام نوع کندانسر را نشان می‌دهد؟ با توجه به فلش‌های روی شکل نوع سیال ورودی یا خروجی در هر قسمت را مشخص نمایید.



۲۳ــ طرز کار برج خنک‌کن را شرح دهید.
۲۴ــ طرز کار کندانسر تبخیری را شرح دهید.


120 psig
P_1 = 62 psig
(64°F)
P_2 =
37 psig
(40°F)
35 psig
(38°F)

فصل پنجم

کنترل کننده‌های مایع مبرد

پس از پایان آموزش این فصل از هنرجو انتظار می رود بتواند :

۱ــ لوله مویین را شرح دهد.

۲ــ شیر انبساط خودکار را توضیح دهد.

۳ــ شیر انبساط ترموستاتیک را شرح دهد.

۴ــ شیر انبساط الکترونیک را شرح دهد.

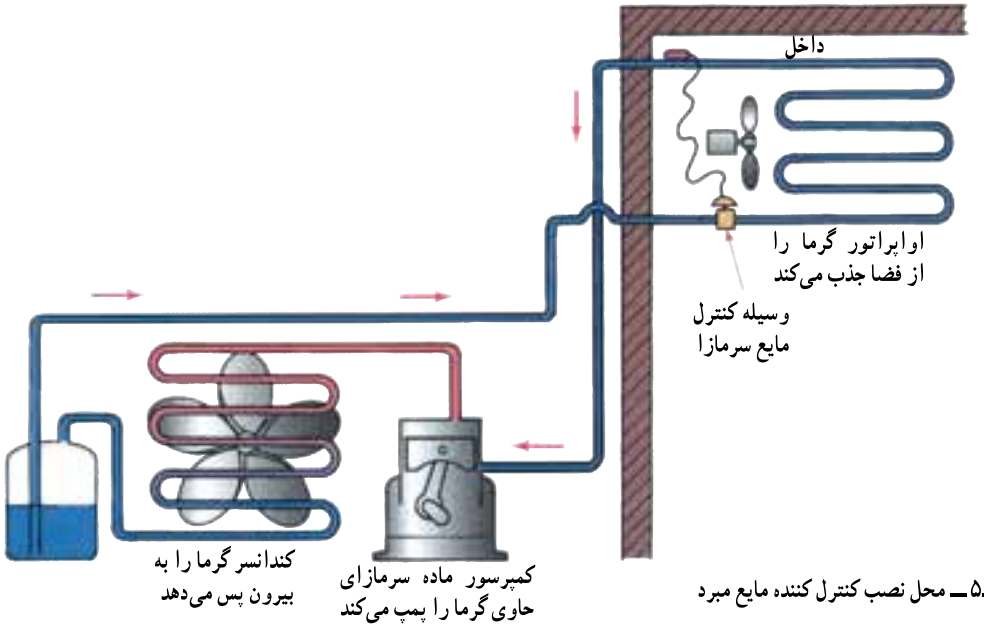
۵ــ روش انتخاب شیر انبساط را توضیح دهد.

۶ــ روش انتخاب لوله مویین را شرح دهد.

۵ــ کنترل کننده‌های مایع مبرد[۱]

در مسیر عبور مایع از کندانسر به اواپراتور از وسایلی به‌نام کنترل کنندهٔ مایع مبرد استفاده می‌شود. وظیفه این وسایل ایجاد افت فشار در مسیر می‌باشد. (شکل ۱ــ۵)

ساده‌ترین کنترل مایع مبرد یک روزنه یا اوریفیس[۲] است.



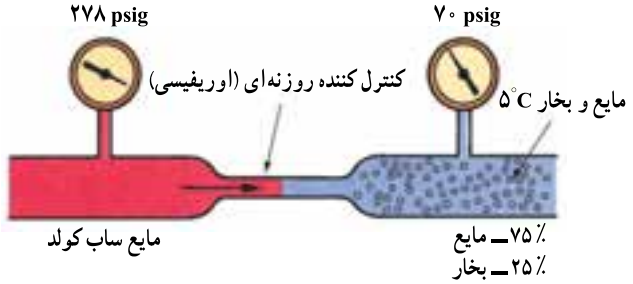
شکل ۱ــ۵ــ محل نصب کنترل کننده مایع مبرد

۱ــ Metering devices

۲ــ orifice

وجود اوریفیس در مسیر مایع مبرد موجب وقفه در عبور تمام جریان می‌شود و این اوریفیس نقطه‌ای است که بخش فشار بالای سیستم را از بخش فشار کم سیستم جدا می‌کند.

مایع ورودی به اوریفیس دارای فشار ۲۷۸psig و دمای ۱۱۰°F است. در حالی که مایع خروجی از آن دارای دمای ۴۱°F می‌باشد که ۲۵٪ آن به‌صورت بخار درآمده و ۷۵٪ آن به‌صورت مایع است. بخار شدن ۲۵٪ از مایع عبوری باعث افت دمای مایع شده و دمای آن را به ۴۱°F می‌رساند. (شکل ۲ــ۵)



شکل۲ــ۵ــ با کم کردن مقطع عبور افت فشار حاصل می شود.

متداول‌ترین وسایل کنترل مایع مبرد عبارت‌اند از :

۱ــ لولهٔ مویین[1]

۲ــ شیر انبساط خودکار[2]

۳ــ شیر انبساط ترموستاتیک[3]

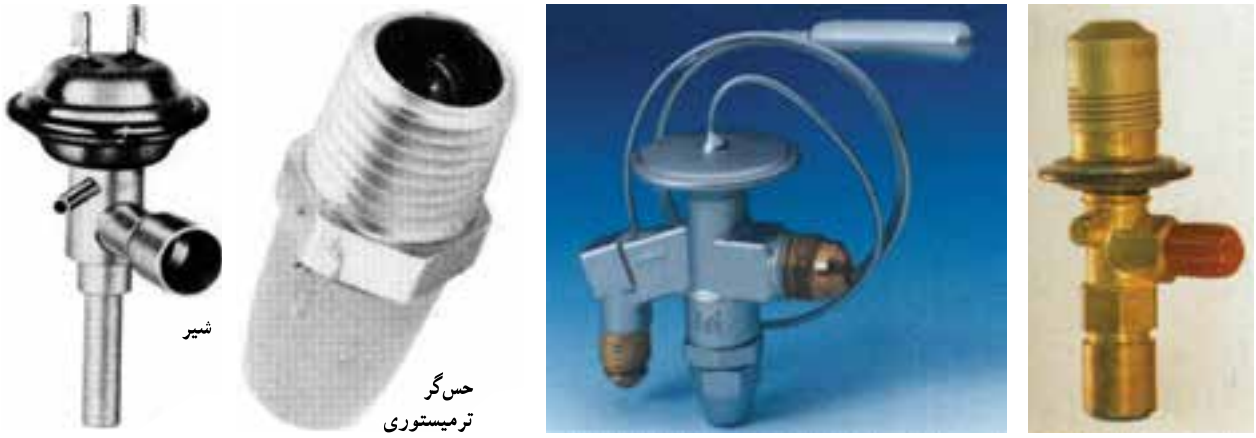
۴ــ شیر انبساط الکترونیک[4] که در شکل ۳ــ۵ نشان داده شده‌اند.

۱ــ ۵ ــ لوله مویین

لوله‌های مویین ساده‌ترین کنترل کنندهٔ مایع مبرد می‌باشند. که شامل یک لوله با طول معین و قطر کم است که در ورودی اواپراتور نصب می‌شود. چون لوله مویین و کمپرسور به‌طور سری در سیستم بسته شده‌اند بنابراین ظرفیت جریان در لوله الزاماً برابر ظرفیت تخلیه کمپرسور است. در نتیجه برای کار مؤثر سیستم، طول و قطر لوله مویین باید متناسب با ظرفیت تخلیه کمپرسور باشد.

انتخاب صحیح لوله مویین بستگی به دو عامل طول لوله و قطر لوله دارد. همان کاری که یک لوله مویین کوتاه با قطر کم می‌تواند انجام دهد لوله مویین بلند با قطر بزرگ‌تر نیز انجام می‌دهد. لوله با قطر بزرگ‌تر ترجیح داده می‌شود زیرا احتمال گرفتگی لوله مویین کمتر است.

یکی از مزایای لوله مویین این است که به هنگام خاموشی کمپرسور، جریان مبرد از سمت فشار زیاد سیستم به سمت فشار کم



الف ب ج

شکل ۳ــ۵ــ الف) شیر انبساط خودکار ب) شیر انبساط ترموستاتیک ج) شیر انبساط الکترونیک

۱ــ Capillary tube

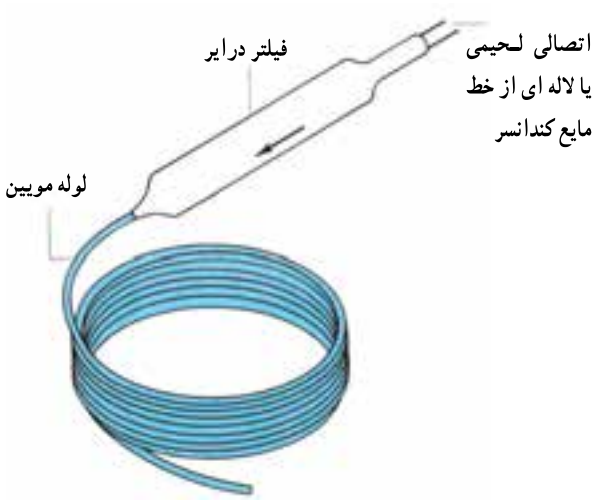
۲ــ Automatic Expansion valve

۳ــ Thermostatic Expansion valve

۴ ــ solid state controlled Expansion valve

ادامه می‌یابد تا تعادل فشار در سیستم برقرار شود. بنابراین کمپرسور بی‌بار راه‌اندازی می‌شود.

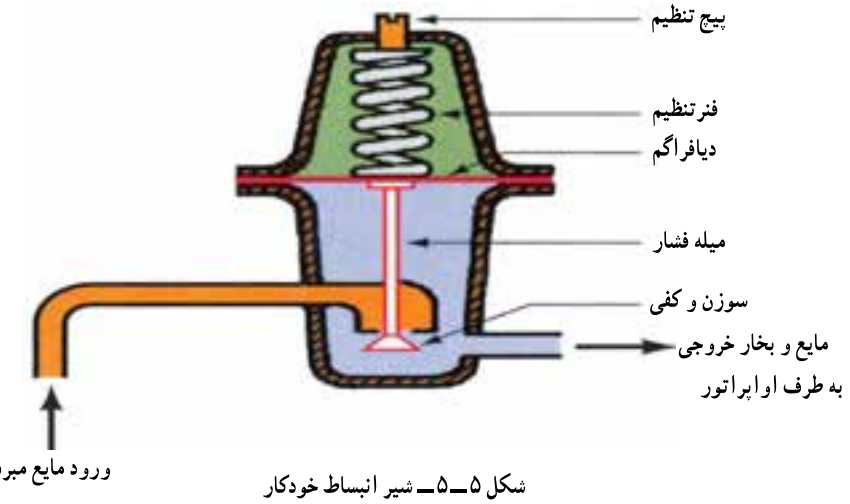
لوله مویین به طور معمول در سیستم‌های تبرید کوچک (در یخچال‌ها، فریزرها و کولرگازی) به‌کار می‌رود. در شکل ۴ــ۵ لوله مویین متصل به فیلتر درایر نشان داده شده است.



شکل ۴ــ۵ــ لوله مویین به همراه فیلتر درایر
(برای محافظت در برابر گرفتگی)

۲ــ۵ــ شیر انبساط خودکار

کار شیر انبساط خودکار حس کردن فشار داخلی اواپراتور و باز و بسته کردن مسیر جریان برای ایجاد یک فشار ثابت در اواپراتور است. فشار خروجی شیر انبساط (همان فشار ورودی اواپراتور) بر زیر دیافراگم وارد می‌شود و شیر را در جهت بسته شدن حرکت می‌دهد. و فشار فنر از بالا بر دیافراگم وارد می‌شود و در جهت باز شدن شیر عمل می‌کند. شکل ۵ــ۵ شماتیک یک شیر انبساط خودکار را نشان می‌دهد.



شکل ۵ــ۵ــ شیر انبساط خودکار

این نوع شیر انبساط در تجهیزات کوچک برودتی که بار نسبتاً ثابت دارند استفاده می‌شود و عملکرد آن طوری است که وقتی کمپرسور خاموش می‌شود شیر انبساط بسته شده و تا کمپرسور مجدداً شروع به کار کند بسته می‌ماند.

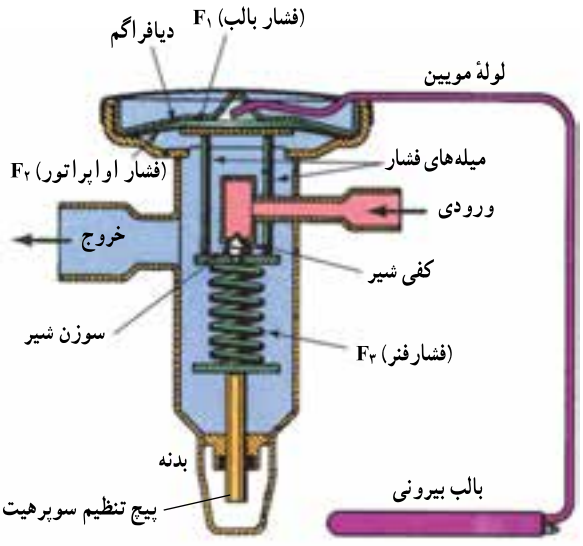
۳ــ۵ــ شیر انبساط ترموستاتیک

شیر انبساط ترموستاتیک مناسب‌ترین وسیله کنترل مایع مبرد می‌باشد که این کار با حس کردن دما در قسمت خروجی اواپراتور و در نتیجه افزایش فشار سیال داخل بالب و لولهٔ مویین ممکن می‌شود.

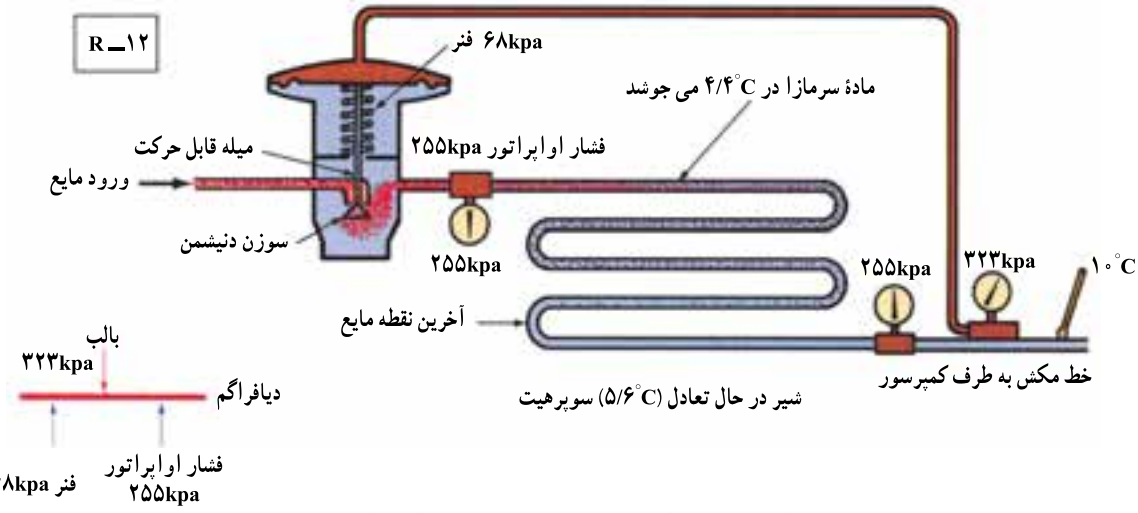
شیر انبساط ترموستاتیک براساس سه نیروی حاصل از فشار بالب، فشار اواپراتور و فشار فنر عمل می‌کند. بالب شیر انبساط که خود حاوی همان مبرد داخل سیستم می‌باشد از دمای مبرد خروجی از اواپراتور متأثر می‌شود. فشار به‌وجود آمده از داخل بالب به قسمت بالای دیافراگم شیر منتقل می‌شود. فشار

اواپراتور به زیر دیافراگم منتقل می‌شود و فشار سوم به‌وسیله فنر ایجاد می‌شود که به زیر دیافراگم اعمال می‌شود. شکل ۶ــ۵ سه فشار متفاوت وارد شده به دیافراگم شیر انبساط ترموستاتیک را نشان می‌دهد.

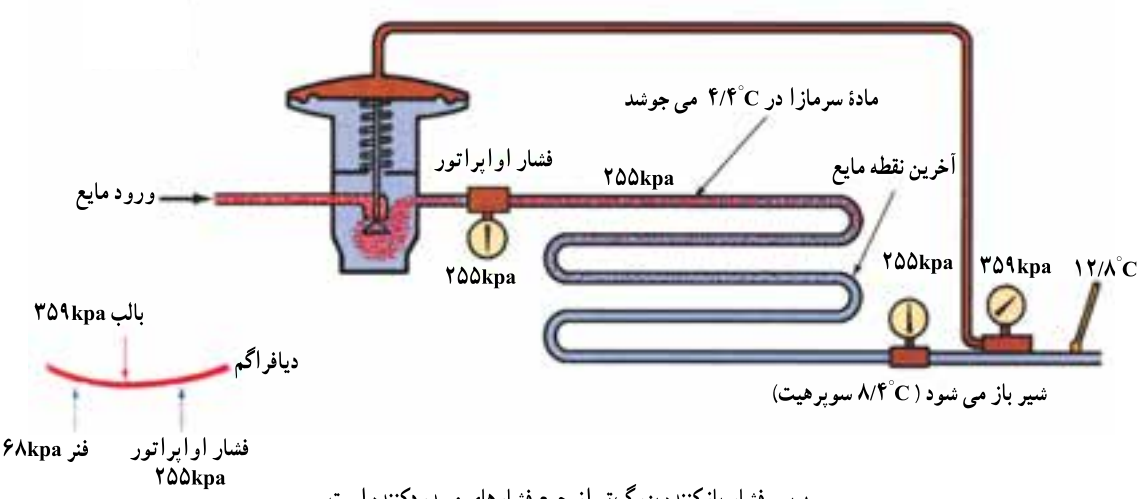
شکل‌های ۷ــ۵ سوپرهیت شدن بیشتر و کمتر را نشان می‌دهد. در تمام موارد مقدار سوپرهیت لازم به فشار فنر بستگی دارد. به این دلیل پیچ تنظیم فنر را «پیچ تنظیم سوپرهیت» می‌گویند.



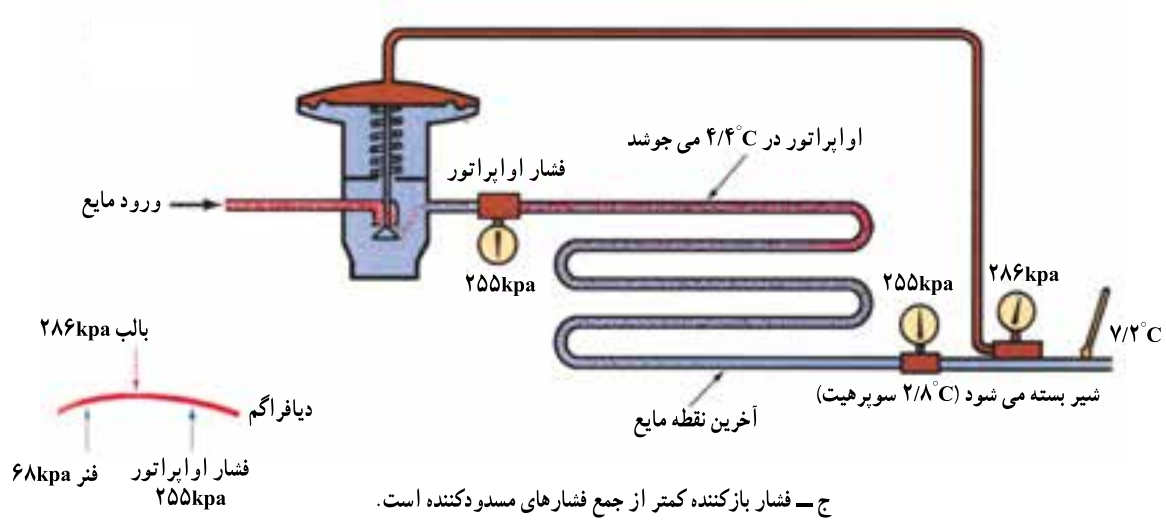
شکل ۶ــ۵ــ سه نیروی وارد بر دیافراگم شیر انبساط ترموستاتیک



الف ــ فشار بازکننده معادل جمع فشارهای مسدودکننده است.



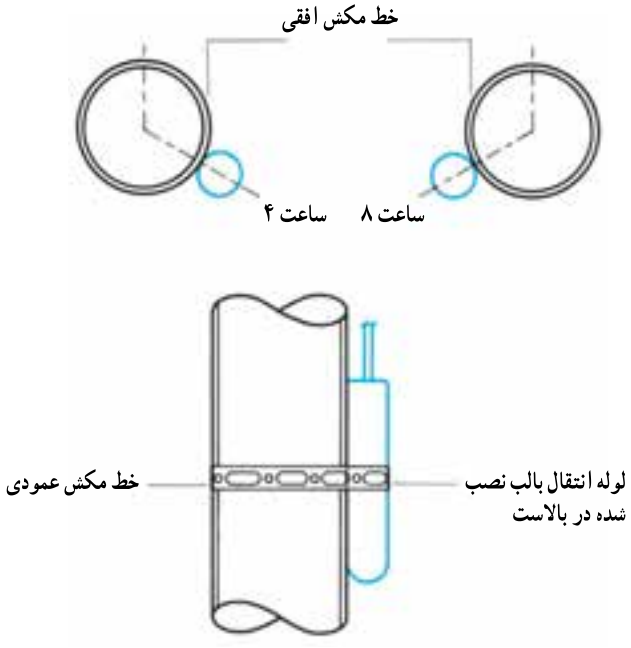
ب ــ فشار بازکننده بزرگ‌تر از جمع فشارهای مسدودکننده است.

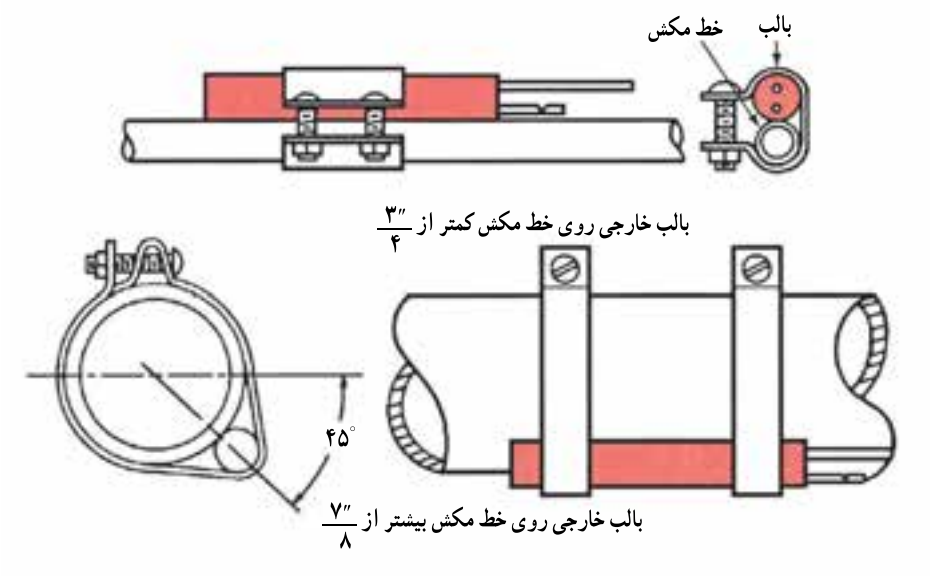


ج ــ فشار بازکننده کمتر از جمع فشارهای مسدودکننده است.

شکل ۷ــ۵ــ چگونگی تنظیم سوپرهیت مبرد در خروج از اواپراتور

محل نصب بالب حس‌کننده دما روی لوله در کارکرد صحیح شیر انبساط ترموستاتیک خیلی اهمیت دارد. موقعیت بالب بر روی لوله افقی مطابق شکل ۸ــ۵ در موقعیت ساعت ۴ یا ۸ است تا الزاماً به هر اندازه مایع مبرد کم دمایی را که از اواپراتور خارج می‌شود حس کند. دقت کنید که بالب حس‌کننده در قسمت زیر لوله موقعیت ساعت ۶ نصب نشود زیرا ممکن است یک لایه نازکی از روغن از داخل لوله به عنوان عایق عمل کند و حساسیت شیر را کم کند. قبل از نصب بالب حتماً محل آن را روی لوله از هرگونه گرد و غبار و چربی تمیز کنید و با کمربند مخصوص محکم روی لوله ببندید و به‌طور مناسب از هوای محیط اطراف ایزوله کنید تا هیچ‌گونه تأثیری غیراز دمای لوله مکش روی آن اثر نکند. در لوله‌های مکش عمودی، بالب شیرطوری نصب می‌شود که لوله انتقال فشار در بالای بالب قرار گیرد.

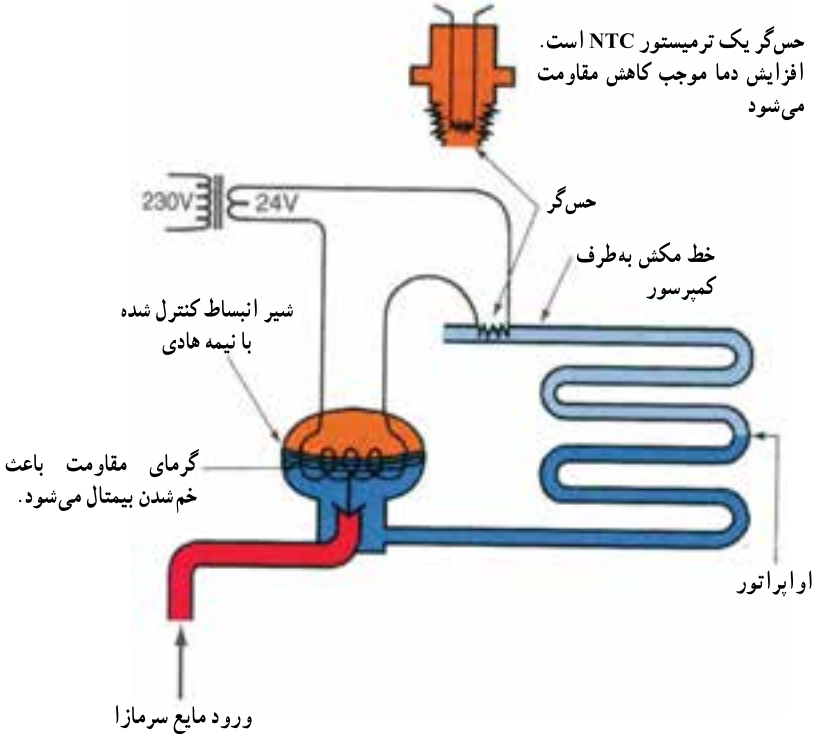




شکل ۸ــ۵ــ موقعیت پیشنهادی قرارگیری بالب حس کننده

۴ــ۵ــ شیر انبساط الکترونیک

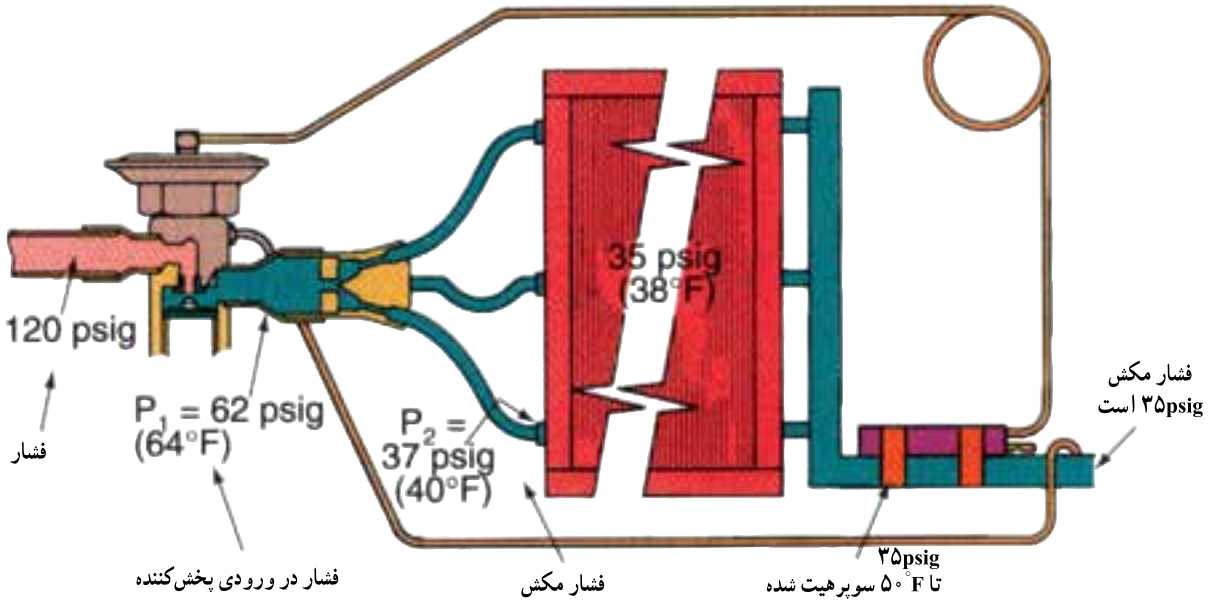
در این نوع شیر از یک تریستور به‌عنوان حس‌گر استفاده شده است وقتی دمای گاز خروجی از اواپراتور بالا رود مقاومت تریستور کم می‌شود در نتیجه شدت جریان گذرنده از گرم‌کن بیشتر می‌شود و گرمای بیشتری توسط هیتر تولید شده و بیمتال شیر را در جهت باز شدن حرکت می‌دهد تامایع بیشتری وارد اواپراتور شود. (شکل ۹ــ۵)



شکل ۹ــ۵ــ نحوه عملکرد شیر انبساط الکترونیک

۵ــ۵ــ انتخاب شیر انبساط

برای انتخاب شیر انبساط ترموستاتیک باید ظرفیت سرمایی و شرایط کار سیستم معلوم باشد. برای مثال با استفاده کاتالوگ سازنده در شکل ۱۱ــ۵ می‌بینیم شیر با ظرفیت نامی ۱تن سرمایی در دمای اواپراتور ۲۰°F هنگامی دارای ظرفیت ۱تن است که افت فشار در شیر انبساط ۶۰psi باشد. اگر دمای محیط ۷۰°F باشد و انتظار رود که افت فشار در شیر در طول سال ۱۲۵psi باشد قدرت سرمایی شیر ۱/۳تن می‌شود. اگر این شیر در محیطی گرم‌تر قرار گیرد فشار ورودی افزایش یابد همان شیر دارای ظرفیت ۱/۶تن می‌شود زیرا بالارفتن فشار ورودی افت فشار را افزایش می‌دهد. (شکل ۱۰ــ۵)



شکل ۱۰ــ۵ــ فشارهای واقعی که در سیستم وجود دارد. افت فشار در شیر انبساط لزوماً برابر با فشار رانش منهای فشار مکش نیست بلکه افت فشار در پخش‌کننده که مقدار قابل توجهی است باید مورد توجه قرار گیرد.

		EVAPORATOR TEMPERATURE (°F)															
		+50								+40							
		PRESSURE DROP ACROSS VALVE (psi)															
Model	Nominal Capacity (tons)	40	60	80	100	125	150	175	200	40	60	80	100	125	150	175	200
128	1/4	0.32	0.38	0.43	0.48	0.55	0.60	0.65	0.72	0.30	0.34	0.38	0.43	0.49	0.53	0.55	0.57
223	1/2	0.50	0.67	0.79	0.86	0.95	1.2	1.3	1.4	0.45	0.65	0.75	0.84	0.90	1.0	1.1	1.3
226	1	0.95	1.1	1.2	1.5	1.7	1.8	2.1	2.3	0.90	1.0	1.2	1.4	1.6*	1.7	2.0	2.2
228	1-1/2	1.5	1.6	1.9	2.1	2.4	2.5	2.6	2.7	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4
326	2	2.0	2.3	2.6	2.9	3.3	3.4	3.5	3.6	1.9	2.2	2.4	2.6	3.0	3.1	3.2	3.3
328	3	3.1	3.5	4.0	4.5	4.9	5.0	5.1	5.2	3.0	3.4	3.7	3.9	4.0	4.2	4.3	4.4
	4	4.0	5.0	5.9	6.8	8.0	8.5	9.4	10.0	3.5	4.5	5.2	6.0	6.6	7.4	8.0	8.5
426/428	5	4.6	5.7	6.5	7.3	8.5	9.3	10.1	10.8	4.4	5.0	5.3	6.5	7.1	7.9	8.6	9.5
407	7-1/2	7.4	9.1	10.5	11.7	13.0	13.5	14.0	14.4	7.0	8.0	9.3	10.3	11.5	11.7	12.0	12.4
	10	9.4	11.5	13.3	14.8	16.6	17.0	17.6	17.9	9.0	10.2	11.8	13.2	14.6	14.9	15.3	15.6
419	12-1/2	10.0	12.3	14.1	15.8	17.6	18.4	19.0	19.5	10.0	10.8	12.5	14.0	15.6	17.1	18.2	19.3
420	16	13.8	15.7	18.1	20.2	22.6	23.1	24.2	25.0	13.0	13.9	16.0	17.9	20.0	21.9	22.9	24.3
	19	16.2	18.6	21.5	23.9	26.6	27.3	28.4	29.3	15.9	16.5	19.0	21.2	23.6	24.5	25.6	27.5
	25	22.0	24.5	28.3	31.5	34.8	35.5	36.7	37.4	21.0	21.7	25.0	28.0	30.9	31.9	33.7	34.9

CONDITION 1

CONDITION 2

EVAPORATOR TEMPERATURE (°F)

Model	Nominal Capacity (tons)	+20								0							
		PRESSURE DROP ACROSS VALVE (psi)															
		60	80	100	125	150	175	200	225	60	80	100	125	150	175	200	225
128	1/4	0.24	0.28	0.31	0.34	0.39	0.44	0.50	0.53	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.36	0.39	0.40
223	1/2	0.50	0.63	0.70	0.79	0.92	1.0	1.2	1.3	0.48	0.55	0.63	0.70	0.88	0.97	1.1	1.2
226	1	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.9	0.89	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8
228	1-1/2	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	2.2	2.4	1.3	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0	2.1	2.2
326	2	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.0	3.2	1.7	2.0	2.1	2.3	2.5	2.6	2.7	3.1
328	3	3.0	3.3	3.5	3.7	3.9	4.0	4.2	4.4	2.8	2.9	3.0	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
	4	3.2	4.0	4.5	5.6	6.3	7.0	7.6	8.2	3.0	3.5	4.0	4.8	5.9	6.6	7.0	7.8
426/428	5	3.7	4.2	4.7	6.0	7.1	7.6	8.2	8.6	3.5	4.0	4.3	5.2	6.3	7.0	7.5	8.0
407	7-1/2	5.9	6.8	7.6	8.4	9.3	9.6	9.9	10.1	4.6	5.0	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4
	10	7.5	8.6	9.6	10.7	11.6	12.1	12.4	12.7	5.8	6.3	6.9	7.7	8.4	9.2	9.9	10.3
419	12-1/2	7.9	9.2	10.2	11.6	12.4	13.1	14.0	14.9	6.0	6.6	7.3	8.2	9.0	9.7	10.5	11.2
420	16	10.1	11.7	13.1	14.7	16.0	17.2	18.1	19.3	7.9	8.4	9.4	10.5	11.5	12.4	13.1	14.2
	19	12.0	13.9	15.6	17.6	19.0	20.5	21.8	23.0	9.4	10.0	11.1	12.4	13.6	14.7	15.3	16.4
	25	15.9	18.3	20.5	23.0	25.0	26.3	27.7	29.1	12.2	13.0	14.6	16.4	17.9	19.4	20.6	22.0

شکل ۱۱ــ۵ــ ظرفیت شیر برای افت فشارهای متفاوت.

مثال : اگر ظرفیت سرمایی سیستم ۲تن سرمایی و دمای اواپراتور $20^{\circ}F$ باشد مدل شیر انبساط را با توجه به شکل ۱۱ــ۵ تعیین کنید. اگر افت فشار در شیر انبساط ۱۷۵psi باشد.

حل : با توجه به شکل در دمای اواپراتور $20^{\circ}F$ در ستون مربوط به افت فشار ۱۷۵psi قدرت سرمایی ۲/۱ تن را پیدا می‌کنیم. مدل شیر در خط افقی را می‌خوانیم. شیر انبساط دارای مدل ۲۲۸ و ظرفیت نامی $1\frac{1}{2}$ تن را انتخاب می‌کنیم.

۶ــ۵ــ انتخاب لوله مویین

برای انتخاب لوله مویین می‌توان از نموداری مانند شکل ۱۲ــ۵ استفاده کرد.

مثال : برای یک دستگاه برودتی یا ماده سرمازای R۵۰۲ــ دمای مکش $18/3^{\circ}C$ و سوپرهیت $0^{\circ}C$ لوله مویین مناسب انتخاب کنید. اگر قدرت سرمایی کمپرسور ۶۰۰۰ $\frac{Btu}{hr}$ فرض شود.

حل : با توجه به داده‌های مثال و با مراجعه به نمودار مربوطه انتخاب لوله مویین می‌تواند یکی از حالت‌زیر باشد :

لوله مویین با قطر داخلی ″۰/۰۵۹ به‌طول ″۵۴

لوله مویین با قطر داخلی ۰/۰۶۴ به‌طول ″۹۰

لوله مویین به‌قطر داخلی ۰/۰۷۰ به‌طول ″۱۲۷

برای تعویض لوله مویین با لوله مویین اصلی در صورت نبودن لوله مویین اصلی می‌توان از جدول ۱۳ــ۵ استفاده نمود.

مثال : قطر لوله مویین اصلی دستگاه سردکننده ″۰/۰۵۸ و طول برابر ″۷۰ است. اگر بخواهیم لوله مویین اصلی را با لوله مویین با قطرهای داخلی ۰/۰۵۰، ۰/۰۵۵، ۰/۰۵۹ عوض کنیم در طول آن چه تغییری حاصل می‌شود؟

حل : با مراجعه به‌جدول ضریب تعویض را پیدا می‌کنیم.

برای تعویض با قطر ۰/۰۵۰ طول لوله مویین را در ضریب ۰/۵۱ ضرب می‌کنیم.

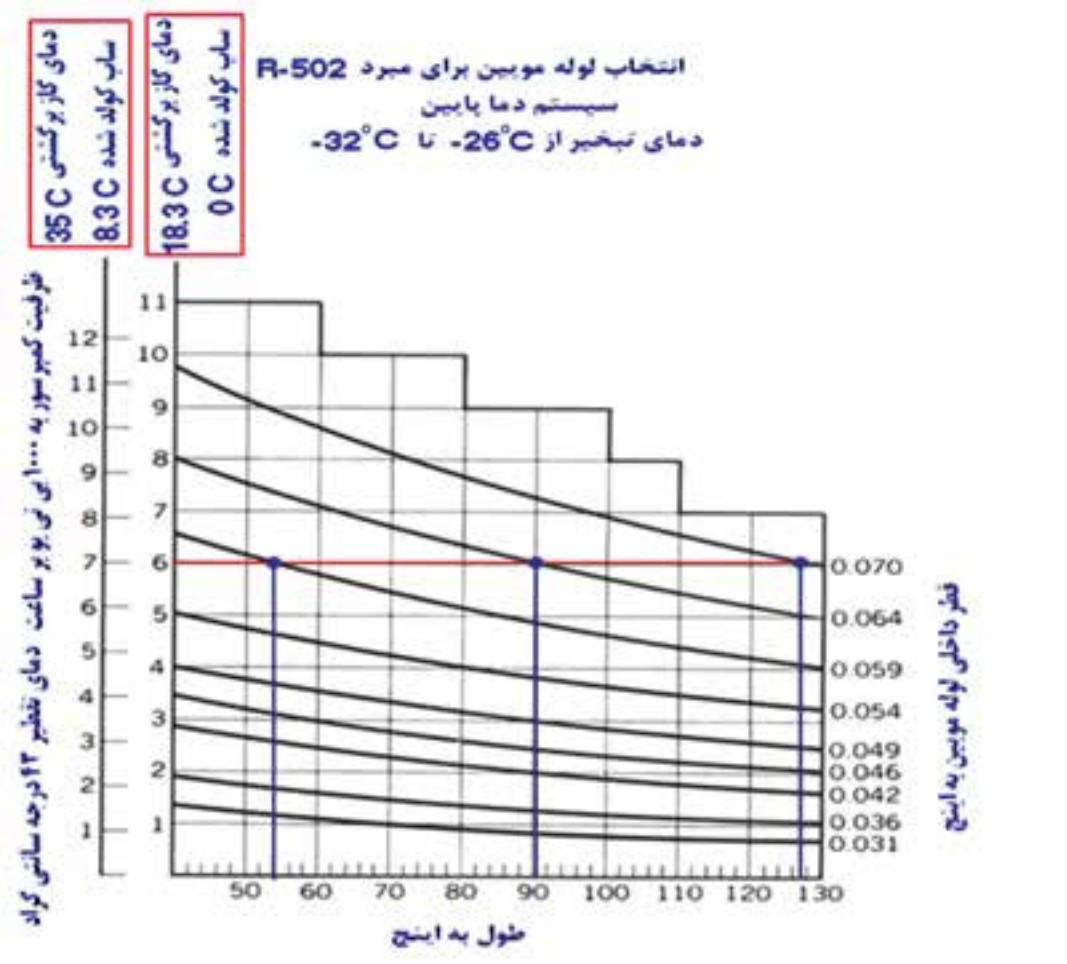
″۳۵/۷ = ۰/۵۱ × ″۷۰

برای تعویض با قطر ۰/۰۵۹ بایستی طول لوله مویین را در ۱/۵ ضرب کنیم.

″۱۰۵ = ۱/۵ × ″۷۰

برای تعویض با قطر ۰/۰۵۵ بایستی طول لوله مویین را در ضریب ۰/۸۰ ضرب کنیم.

″۵۶ = ۰/۸۰ × ″۷۰



شکل ۱۲ــ۵ــ انتخاب لوله مویین با توجه به‌ظرفیت سرمایی کمپرسور

جدول ۱۳ــ۵ــ تعویض لوله مویین

قطر داخلی لوله موبین اصلی	قطر داخلی لوله موبین تعویضی					
	0.031	0.036	0.044	0.050	0.055	0.059
0.028	1.59					
0.030	1.16					
0.031	1.00					
0.032	0.86					
0.033	0.75	1.54				
0.034	0.65	1.35				
0.035	0.58	1.16				
0.036	0.50	1.00				
0.037		0.90				
0.038		0.80				
0.039		0.71				
0.040		0.62	1.55			
0.041		0.56	1.38			
0.042		0.50	1.24			
0.043			1.11			
0.044			1.00			
0.045			0.90			
0.046			0.82	1.47		
0.047			0.74	1.31		
0.048			0.67	1.20		
0.049			0.61	1.09		
0.050			0.56	1.00	1.56	
0.051			0.51	0.93	1.44	
0.052				0.85	1.32	
0.053				0.78	1.20	
0.054				0.70	1.09	
0.055				0.64	1.00	
0.056				0.60	0.94	
0.057				0.55	0.87	
0.058				0.51	0.80	1.50
0.059					0.73	1.00
0.060					0.67	0.73
0.064					0.50	0.54
0.070						
0.075						
0.080						
0.085						
0.090						

۷ــ۵ــ پرسش و تمرین

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۱ــ کدام مورد حالت مبرد خروجی از اوریفیس را بیان می‌کند؟

الف) ۱۵٪ مایع　　ب) ۶۰٪ مایع

ج) ۷۵٪ بخار　　د) ۲۵٪ بخار

۲ــ انتخاب صحیح کدام یک از وسایل کنترل کننده مبرد به طول و قطر آن بستگی دارد؟ (امتحان نهایی ــ خرداد ۹۱)

الف) لوله مویین　　ب) شیر انبساط ترموستاتیک و لوله مویین

ج) شیر انبساط الکترونیک و شیر انبساط ترموستاتیک　　د) شیر انبساط الکترونیک

۳ــ شیر انبساط ترموستاتیک در کدام قسمت سیکل تبرید نصب می‌شود؟

الف) قبل از کمپرسور　　ب) بعد از کمپرسور

ج) قبل از اواپراتور　　د) بعد از اواپراتور

پرسش‌های درست و نادرست

۴ــ وظیفه کنترل کنندهٔ مایع مبرد ایجاد افت فشار در مسیر می‌باشد.

☐ درست　　☐ نادرست

۵ــ لوله مویین در یخچال و فریزر و کولر گازی به‌کار برده می‌شود.

☐ درست　　☐ نادرست

۶ــ بالب حس‌کننده شیر انبساط ترموستاتیک در موقعیت ساعت ۲ یا ۵ نصب می‌شود.

☐ درست　　☐ نادرست

پرسش‌های کامل کردنی

۷ــ ساده‌ترین کنترل‌کننده مایع مبرد ..... می‌باشد.

۸ــ یکی از مزایای استفاده از لوله مویین این است که به‌هنگام خاموشی کمپرسور ..... در سیستم برقرار می‌شود.

۹ــ شیر انبساط خودکار در تجهیزات کوچک برودتی که بار ..... دارند استفاده می‌شود.

پرسش‌های تشریحی

۱۰ــ انواع متداول وسایل کنترل‌کننده مایع مبرد را نام ببرید.

۱۱ــ طرز کار شیر انبساط خودکار را شرح دهید.

۱۲ــ طرز کار شیر انبساط ترموستاتیک را شرح دهید.

۱۳ــ طرز کار شیر انبساط الکترونیک را شرح دهید.