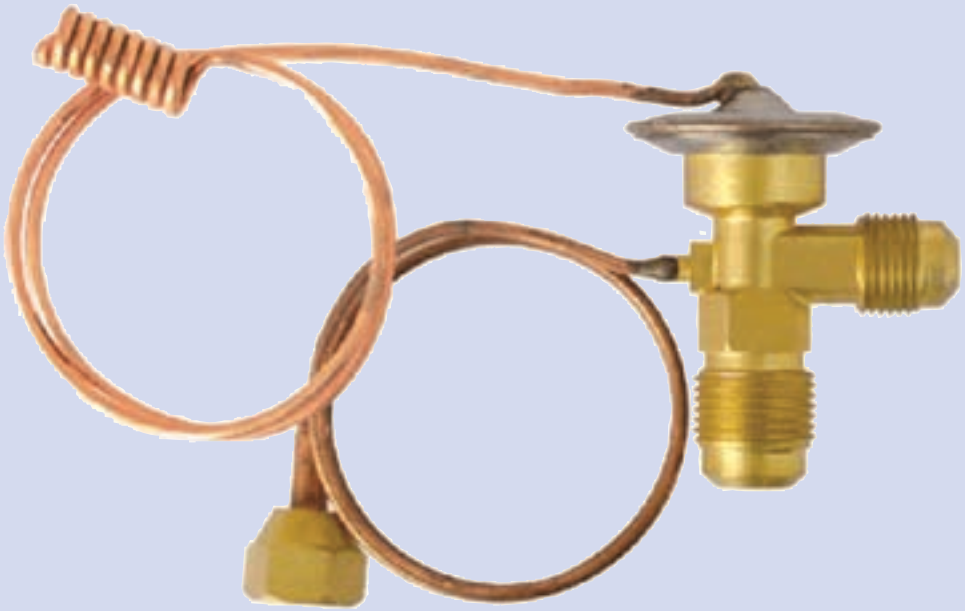
فصل ۵

# کنترل‌کننده‌های مایع مبرد



# ۵ کنترل کننده‌های مایع مبرد

## پیش آزمون

هنرآموزان گرامی با طرح دو سؤال آمادگی لازم برای ارائه مطالب درس را آماده نمایید.

۱ــ علت استفاده از شیر فلکه در شبکه لوله‌کشی آب چیست؟

۲ــ کاربرد شیر فشارشکن چیست؟

همانطور که در کتاب تأسیسات بهداشتی خواندیم از شیر فلکه برای کنترل دبی سیال و از شیر فشارشکن برای کاهش فشار سیالی که در شبکه لوله‌کشی جریان دارد استفاده می‌شود.

فشار ماده سرمازا در کمپرسور افزایش می‌یابد و در کندانسر از گاز به مایع تبدیل می‌شود، برای اینکه ماده سرمازا بتواند در اواپراتور گرمای داخل یخچال را جذب نماید بایستی شرایطی فراهم شود تا بتواند از مایع به گاز تبدیل شود. علاوه بر آن می‌بایستی دبی ماده سرمازایی که از اواپراتور عبور می‌کند نیز کنترل شود. این عمل توسط کنترل کننده‌های ماده مبرد انجام می‌گیرد.

کنترل کننده‌های مایع مبرد دو وظیفه را برعهده دارند :

۱ــ ایجاد اختلاف فشار بین طرفین پرفشار و کم فشار سیستم برای اینکه مبرد بتواند تحت شرایطی که در فشار کم در اواپراتور تبخیر می‌شود در همان زمان در فشار زیاد در کندانسر نیز تقطیر شود.

۲ــ اجازه جریان مبرد مایع از لوله مایع به اواپراتور متناسب با شدت تبخیر مایع در اواپراتور.

کنترل کننده‌های مایع مبرد برروی لوله مایع مبرد قبل از اواپراتور نصب می‌شود. متداول‌ترین این وسایل عبارتند از :

۱ــ لوله مویین

۲ــ شیر انبساط خودکار

۳ــ شیر انبساط ترموستاتیک

۴ــ شیر انبساط الکترونیک

شکل ۱ــ۵ متداول‌ترین وسایل کنترل کننده مایع مبرد را نشان می‌دهد.

الف) لوله مویین

ب) شیر انبساط خودکار

ج) شیر انبساط ترموستاتیک

د) شیر انبساط الکترونیک

شکل ۱ــ۵ــ انواع متداول وسایل کنترل کننده مایع مبرد

## ۱ــ۵ــ لوله مویین

ساده‌ترین کنترل کننده ماده مبرد لوله مویین می‌باشد که از طول یعنی لوله با قطر خیلی کم ساخته شده و مابین کندانسر و اواپراتور و معمولاً به‌جای لوله مایع قرار می‌گیرد. لوله مویین به‌علت مقاومت اصطکاک زیاد ناشی از طول زیاد و قطر کم و همچنین پدیده خفگی ناشی از تبخیر تدریجی مایع مبرد در لوله به‌دلیل کاهش فشار به کمتر از فشار اشباع، در مقابل جریان مبرد از کندانسر به اواپراتور مقاومت می‌نماید و با کنترل دبی مبرد عبوری، اختلاف فشار مابین آن دو را در حد لازم نگه می‌دارد.

با توجه به اینکه لوله مویین و کمپرسور در سیستم به‌طور سری نصب می‌شوند لازم است که ظرفیت جریان در لوله برابر ظرفیت پمپاژ کمپرسور باشد. بنابراین چنانچه بخواهیم سیستم در شرایط کاری متوازن و مؤثر عمل نماید بایستی طول و قطر لوله مویین چنان باشد که ظرفیت جریان آن در فشارهای تبخیر و تقطیر طراحی شده دقیقاً برابر ظرفیت پمپاژ کمپرسور در همان شرایط باشد.

اگر مقاومت لوله چنان باشد که ظرفیت جریان آن بیشتر یا کمتر از ظرفیت پمپاژ کمپرسور در شرایط طراحی باشد، سیستم در شرایطی غیر از شرایط طراحی به تعادل خواهد رسید. مثلاً اگر مقاومت لوله مویین خیلی زیاد باشد (لوله خیلی بلند و یا قطر آن کم باشد) ظرفیت جریان لوله مویین برای عبور مبرد مایع از کندانسر به اواپراتور از ظرفیت پمپاژ کمپرسور در شرایط طراحی کمتر خواهد بود در این صورت اواپراتور از مبرد خالی شده و مایع اضافی در قسمت تحتانی کندانسر در مدخل لوله مویین جمع می‌شود چون خالی شدن اواپراتور باعث کاهش فشار مکش شده و جمع شدن مایع در کندانسر به‌دلیل کاهش سطح تقطیر آن موجب افزایش درجه حرارت تقطیر می‌شود. اثر مقاومت خیلی زیاد لوله مویین در مقابل جریان مبرد، کاهش فشار مکش و افزایش فشار تقطیر را در پی خواهد داشت.

و در پی کاهش ظرفیت کمپرسور ظرفیت کل سیستم از ظرفیت طراحی آن کمتر خواهد بود.

از طرف دیگر اگر لوله مویین مقاومت کافی در مقابل جریان مبرد را نداشته باشد (لوله خیلی کوتاه و یا قطور باشد) ظرفیت جریان لوله از ظرفیت پمپاژ کمپرسور در شرایط طراحی بیشتر شده اواپراتور بیش از حد تغذیه خواهد شد و خطر ورود مایع به کمپرسور وجود خواهد داشت. همچنین چون مایع در قسمت تحتانی کندانسر جمع نمی‌شود گازهای تقطیر نشده ورودی به کندانسر خواهند توانست به همراه مایع خروجی از کندانسر وارد لوله مویین شده و به‌دلیل کاهش ظرفیت حرارت نهان اواپراتور به‌دلیل ورود گازهای تقطیر نشده، ظرفیت کل سیستم کاهش خواهد یافت.

لوله مویین از این نظر که در طول خاموش بودن سیکل، جریان مبرد مایع به اواپراتور را متوقف نمی‌کند با سایر انواع کنترل‌کننده‌های جریان مبرد متفاوت می‌باشد. لولهٔ مویین علاوه بر ساختمان ساده و قیمت ارزان، با ساده کردن سیستم تبرید هزینه تولید را پایین می‌آورد. چون در چنین سیستم‌هایی در طول خاموش بودن سیکل قسمت‌های پرفشار و کم فشار سیستم از طریق لوله مویین متعادل می‌شوند. کمپرسور به‌صورت بی‌بار راه‌اندازی شده و برای به حرکت درآوردن آن به موتور با گشتاور راه‌اندازی کم نیاز خواهد بود.

معمولاً در تمام واحدهای تبرید خانگی اعم از یخچال و فریزر و کولرهای گازی و بعضی دیگر از واحدهای تجاری کوچک نظیر دستگاه‌های تهویه مطبوع کوچک، از لوله مویین استفاده می‌شود. کندانسرهای طراحی شده برای سیستم‌های با لوله مویین باید طوری باشند که مایع آزادانه از آنها تخلیه شود و از تله شدن مایع در کندانسر در طول خاموش بودن سیکل جلوگیری شود زیرا مایع تله شده در طول خاموشی سیکل پس از تبخیر در کندانسر از طریق لوله مویین وارد اواپراتور می‌شود و با تقطیر شدن در آن، به‌دلیل وارد نمودن بار نهان اضافی به اواپراتور، ظرفیت سیستم را کاهش می‌دهد.

همچنین قطر لوله‌های کندانسر در چنین سیستم‌هایی بایستی حتی‌المقدور کوچک باشد به‌طوری که جمع شدن مقدار خیلی کمی مایع در ورودی لوله مویین بتواند با ایجاد افزایش قابل ملاحظه‌ای در فشار تقطیر، افزایش زیادی در ظرفیت جریان لوله مویین به وجود آورد.

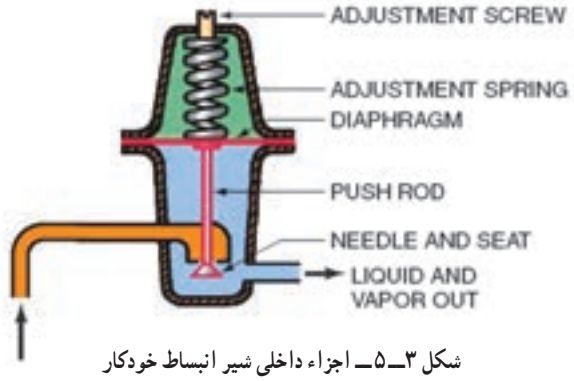
اواپراتورهایی که با لوله مویین به‌کار می‌روند بایستی برای جلوگیری از برگشت مایع به کمپرسور در لحظه راه‌اندازی، امکان جمع‌آوری مبرد مایع را فراهم سازند. برای این منظور در خروجی اواپراتور محفظه کوچکی به‌نام آکومولاتور قرار می‌دهند تا در صورت خروج مایع از اواپراتور، مایع به تله افتاده و به آرامی تبخیر شود. پیچیدن (لحیم کردن) طول معینی از لوله مویین به لوله مکش برای ایجاد انتقال حرارت بین آن دو، به منظور در حداقل نگه داشتن تبخیر مبرد در لوله مویین مطلوب است زیرا تبخیر مبرد در لوله به‌دلیل انبساط تدریجی مایع ناشی از کاهش فشار، ظرفیت آن را شدیداً کاهش می‌دهد و در صورت عدم پیچیدن لوله مویین به لوله مکش بایستی برای جبران عمل خفگی بخار در لوله، طول آن را به اندازه کافی کوتاه نمود.

لوله مویین به قسمت خروجی فیلتر درایر جوش داده می‌شود. (شکل ۲ــ۵)

شکل ۲ــ۵ــ اتصال لوله مویین به فیلتر درایر

## ۲ــ۵ــ شیر انبساط خودکار

این شیر تشکیل شده است از ۱ــ سوزن و نشیمنگاه ۲ــ دیافراگم فشار ۳ــ فنر که می‌توان به‌وسیله پیچ تنظیمی فشار آن را کنترل نمود ۴ــ صافی در ورودی شیر برای جلوگیری از ورود مواد خارجی و انسداد شیر. شکل ۳ــ۵ ساختمان واقعی نمونه‌ای از شیر انبساط خودکار را نشان می‌دهد.




شکل ۳ــ۵ــ اجزاء داخلی شیر انبساط خودکار

شیر خودکار مقدار مبرد ورودی به اواپراتور را با توجه به تغییرات بار تبرید تنظیم نموده و فشار آن را در حد ثابتی نگه می‌دارد. خاصیت ثابت بودن فشار شیر از مقابله دو نیروی مخالف ۱ــ فشار اواپراتور و۲ــ فشار فنر ناشی می‌شود. فشار اواپراتور که به یک طرف دیافراگم وارد می‌شود می‌خواهد شیر را ببندد ولی فشار فنر که به‌طرف مقابل دیافراگم اثر می‌کند باعث باز شدن شیر می‌شود. به این ترتیب در هنگام کار کمپرسور این شیر فشار اواپراتور را با فشار فنر در حال تعادل نگه می‌دارد.

همانطوری که از اسم این شیرها برمی‌آید به‌صورت خودکار عمل کرده و یا با یک بار تنظیم نمودن فنر به‌ازای فشار موردنظر، تنظیم جریان مبرد مایع به اواپراتور به‌صورت اتوماتیک انجام شده و فشار در اواپراتور بدون توجه به بار آن، در حد ثابتی باقی می‌ماند. مثلاً فرض کنید فنر طوری تنظیم شده که فشار اواپراتور ۵۰kpa باشد با کاهش فشار اواپراتور به کمتر از ۵۰kpa، فشار فنر از فشار اواپراتور بیشتر شده باعث باز شدن شیر می‌شود. به این ترتیب مایع بیشتری به اواپراتور جریان یافته و سطح بیشتری از آن با مبرد مایع تماس می‌یابد. به این ترتیب به‌دلیل افزایش سطح جذب کننده حرارت اواپراتور، شدت تبخیر افزایش یافته و افزایش فشار اواپراتور تا برابر شدن با فشار فنر افزایش می‌یابد.

چنانچه فشار اواپراتور از ۵۰kpa بیشتر شود، فشار اواپراتور بر فشار فنر غلبه می‌کند و شیر بسته می‌شود. به این ترتیب جریان مایع به اواپراتور کاهش و مقدار سطح مؤثر اواپراتور نیز کاهش می‌یابد. بدیهی است این امر شدت تبخیر را کاهش می‌دهد و فشار اواپراتور را تا برقراری مجدد تعادل با فشار فنر تقلیل می‌دهد.

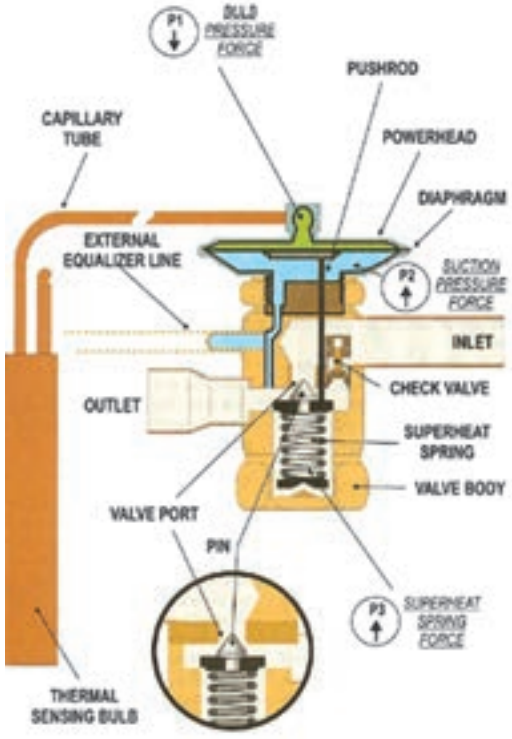
همانطور که قبلاً شرح داده شد تبخیر مبرد در اواپراتور مدت کوتاهی پس از خاموش شدن کمپرسور ادامه می‌یابد و چون بخار تولید شده به‌وسیله کمپرسور مکیده نمی‌شود، فشار اواپراتور افزایش می‌یابد و بدین ترتیب در طول خاموش بودن کمپرسور، فشار اواپراتور همواره از فشار فنر زیادتر بوده و شیر کاملاً بسته می‌ماند ولی با روشن شدن کمپرسور، بلافاصله فشار اواپراتور به کمتر از فشار فنر کاهش می‌یابد، شیر باز شده و اجازه می‌دهد برای برقراری تعادل بین فشارهای اواپراتور و فنر، مایع کافی به اواپراتور جریان یابد.

عیب اصلی شیرهای خودکار راندمان نسبتاً کم آنها در مقایسه با سایر انواع کنترل کننده‌های مبرد می‌باشد. با توجه به اینکه شیر انبساط خودکار اجازه می‌دهد در زمان بارهای سنگین تنها قسمت کوچکی از اواپراتور با مایع پر شود، ظرفیت و راندمان سیستم تبرید به‌دلیل ثابت بودن فشار شیر، محدود می‌شود و نمی‌توان به ظرفیت و راندمان‌های بالاتری دست یافت. همچنین به‌دلیل اینکه فشار اواپراتور در طول کار کمپرسور ثابت می‌ماند بایستی شیر را برای کمترین درجه حرارت لازم اواپراتور تنظیم نمود. این امر موجب کاهش ظرفیت و راندمان کمپرسور خواهد شد زیرا در اوایل سیکل کاری سیستم، اواپراتور پر و دمای مکش بالاتر است و کمپرسور نمی‌تواند بلافاصله اواپراتور را تخلیه نماید و سریعاً دما را کاهش دهد. عیب دیگر شیرهای خودکار که به ثابت بودن فشار آن مربوط می‌شود این است که نمی‌توان آن را همراه با کنترل‌کننده فشار کم به‌کار برد زیرا کار اصلی کنترل کننده فشار کم به تغییرات فشار اواپراتور در طول سیکل بستگی دارد، چیزی که به‌هنگام استفاده از شیر انبساط خودکار عملاً نمی‌تواند وجود داشته باشد.

راندمان شیرهای انبساط خودکار در شرایط بارهای زیاد، کم می‌باشد و به همین دلیل صرفاً در تجهیزات کوچک نظیر یخچال‌ها و فریزرهای خانگی و یخچال‌های کوچک بستنی که بارهای نسبتاً ثابتی دارند به کار می‌روند. ولی حتی در این موارد نیز به‌علت مؤثر بودن و ارزان بودن سایر انواع کنترل کننده‌های جریان مبرد، به ندرت از شیرهای انبساط خودکار استفاده می‌کنند.

## ۳ــ۵ــ شیر انبساط ترموستاتیک

شیرهای انبساط ترموستاتیک به‌دلیل راندمان بالا و سهولت سازگاری با هر کاربرد تبریدی، بیشتر از سایر کنترل‌های ماده مبرد در دستگاه‌های سردکننده به‌کار می‌روند. درحالی که کار شیر انبساط خودکار به‌فشار ثابت اواپراتور متکی می‌باشد، کار شیرهای انبساط ترموستاتیکی به سوپرهیت شدن ثابت بخار خروجی از اواپراتور بستگی دارد، پدیده‌ای که اجازه می‌دهد اواپراتور تحت تمام شرایط بار سیستم از مبرد کاملاً پر باشد. با توجه به اینکه شیرهای انبساط ترموستاتیک تحت تمام شرایط کاری استفاده کامل و مؤثر از سطح اواپراتور را میسر می‌سازند در سیستم‌های تبرید با تغییرات بار زیاد، مناسب‌ترین نوع کنترل کننده مبرد می‌باشند. شکل ۴ــ۵ اجزاء داخلی شیر انبساط ترموستاتیک را نشان می‌دهد.




**شکل ۴ــ۵ــ اجزاء داخلی شیر انبساط ترموستاتیک**

قسمت‌های اصلی این شیر عبارتند از : ۱ــ سوزن و نشیمنگاه ۲ــ دیافراگم ۳ــ کپسول (بالب) حسگر گرما که پر از گاز مبرد بوده و به‌وسیله لولهٔ مویین به‌فضای بالای دیافراگم مرتبط می‌شود. ۴ــ فنر که میزان فشردگی آن معمولاً به‌وسیله یک پیچ تنظیم کنترل می‌شود. در این نوع شیر انبساط نیز معمولاً برای جلوگیری از ورود مواد خارجی از یک صافی استفاده می‌شود. کار شیر انبساط ترموستاتیک از مقابله سه نیروی مستقل : ۱ــ فشار بخار بالب ترموستات ($P_1$) ۲ــ فشار اواپراتور ($P_2$) ۳ــ فشار فنر ($P_3$) ناشی می‌شود.

بالب شیر انبساط به لوله مکش در خروجی اواپراتور بسته شده و به تغییرات دمای بخار مبرد عبوری از آن نقطه حساس است. هرچند بین دمای بخار مبرد در لوله مکش و دمای گاز داخل بالب اختلاف جزیی وجود دارد عملاً درجه حرارت آن دو برابر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین می‌توان فرض کرد که فشار وارده به‌وسیله گاز داخل کپسول همواره برابر فشار اشباع گاز در دمای لوله مکش می‌باشد.

ملاحظه می‌شود که فشار سیال داخل بالب از طریق لوله مویین به‌فضای بالای دیافراگم اثر می‌نماید و می‌خواهد شیر را باز کند درحالی که فشار اواپراتور و فنر به‌طرف دیگر دیافراگم وارد می‌آیند و می‌خواهند شیر را در جهت بسته شدن حرکت دهند. مثال زیر اصول کار شیر را بیشتر روشن می‌نماید. در شکل ۴ــ۵ فرض کنید فریون ۱۲ مایع در دمای $4^{\circ}C$ که برابر فشار اشباع ($P_2$) ۲۵۰kpa (۳۵۱kpa مطلق) می‌باشد، تبخیر می‌شود به‌علاوه فرض کنید فنر ($P_3$) چنان تنظیم شده است که فشار ۶۰kpa اعمال نماید.

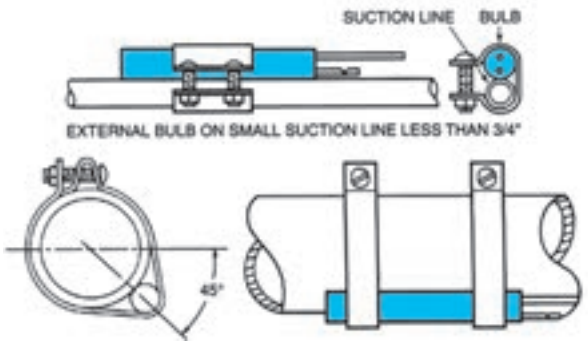
به این ترتیب کل فشاری که می‌خواهد شیر را ببندد مجموع فشارهای $P_2$ و $P_3$ یعنی ۳۱۰kpa (۶۰+۲۵۰) خواهد بود درصورتی که از افت فشار مبرد در اواپراتور صرف نظر شود می‌توان فرض کرد که فشار و دمای مبرد در تمام قسمت‌های اواپراتور برابر است. بنابراین در نقطه خروجی اواپراتور تمام مایع تبخیر می‌شود و مبرد در دما و فشار اشباع به‌صورت بخار اشباع خواهد بود. اما در انتهای اواپراتور بخار با جذب حرارت از محیط سوپرهیت شده و با وجود ثابت ماندن فشار، درجه حرارتش افزایش می‌یابد.

فرض کنید تا محل نصب کپسول حساس کنترل کننده جریان (بالب حرارتی) پنج درجه سانتی‌گراد سوپرهیت شده و دمای آن از $4^{\circ}C$ به $9^{\circ}C$ افزایش یابد بنابراین گاز داخل بالب در دمای سوپرهیت لوله مکش بوده و فشار آن ($P_1$) برابر فشار اشباع فریون ۱۲ در دمای $9^{\circ}C$ یعنی ۳۱۰kpa یا (۴۱۱kpa مطلق) خواهد بود. این فشار از طریق لوله‌های مویین به‌پشت دیافراگم اثر می‌نماید و نیرویی را که می‌خواهد شیر را در جهت باز شدن حرکت دهد ایجاد می‌کند. تحت شرایط تنظیم و تعیین شده، نیروی بازکننده شیر دقیقاً برابر نیرویی است که می‌خواهد شیر را ببندد ($P_1 = P_2+P_3$) به این ترتیب شیر در فشار متعادل است و تا زمانی که میزان سوپرهیت شدن بخار مکش نیروها را تغییر نداده و باعث حرکت شیر در یک جهت نشود، در تعادل باقی خواهند ماند، شیر تنها موقعی در تعادل خواهد بود که میزان سوپرهیت شدن بخار مکش در محل بالب برابر $5^{\circ}C$ باشد که دقیقاً برابر فشار لازم برای جبران فشار فنر می‌باشد. بنابراین هرگونه تغییر در میزان سوپرهیت شدن بخار مکش، باعث حرکت شیر در جهتی خواهد شد که مقدار سوپرهیت لازم را ایجاد نماید و دوباره تعادل برقرار گردد و چنانچه سوپرهیت بخار مکش کمتر از $5^{\circ}C$ باشد، فشار بالب کمتر از مجموع فشارهای اواپراتور و فنر می‌شود و شیر را در جهت بسته شدن حرکت می‌دهد و تا زمانی که میزان سوپرهیت شدن بخار مکش به $5^{\circ}C$ افزایش یابد، جریان مبرد ورودی به اواپراتور را می‌بندد. از طرف دیگر چنانچه میزان سوپرهیت شدن بیش از $5^{\circ}C$ باشد فشار بالب از مجموع فشارهای اواپراتور و فنر زیادتر می‌شود و شیر را در جهت باز شدن حرکت می‌دهد و تا زمانی که میزان سوپرهیت شدن بخار مکش به $5^{\circ}C$ کاهش یابد جریان مبرد به اواپراتور افزایش می‌یابد.

در تمام موارد میزان سوپرهیت لازم برای ایجاد تعادل در شیر انبساط ترموستاتیکی به میزان تنظیم فنر بستگی دارد و به‌همین دلیل تنظیم فنر، تنظیم سوپرهیت نیز نامیده می‌شود. با افزایش نیروی فنر میزان سوپرهیت شدن لازم برای جبران فشار فنر و برگشت شیر به‌حالت تعادل افزایش و با کاهش آن کاهش می‌یابد. افزایش میزان سوپرهیت شدن بخار مکش از این لحاظ که سطح مؤثر اواپراتور را کاهش می‌دهد، مطلوب نیست. با وجود اینکه کاهش میزان سوپرهیت شدن بخار مکش، سطح مؤثر اواپراتور را افزایش می‌دهد.

معمولاً شیرهای انبساط ترموستاتیکی برای ۴ تا $5^{\circ}C$ سوپرهیت شدن بخار مکش تنظیم می‌شوند و چون این میزان برای بیشتر کاربردهای تبرید مناسب می‌باشد جز در موارد کاملاً ضروری نباید آن را تغییر داد.

**۱ــ۳ــ۵ــ محل نصب کپسول حساس شیر انبساط (بالب) :** عملکرد شیرهای انبساط ترموستاتیک تا حد زیادی به محل و نصب صحیح کپسول (بالب) بستگی دارد. بالب ترموستات بایستی به‌طور محکم به‌وسیله بست‌های فلزی به قسمت افقی لوله مکش نزدیک خروجی اواپراتور و ترجیحاً در داخل فضای سردشونده نصب شود. با توجه به اینکه بالب باید به دمای بخار لوله مکش حساس باشد، لازم است که تمام طول آن با لوله مکش تماس حرارتی خوبی داشته باشد. در لوله‌های مکش با قطر خارجی کمتر از ۲۰ میلی‌متر معمولاً بالب را در بالای لوله نصب می‌کنند ولی در لوله‌های مکش با قطر خارجی ۲۰ میلی‌متر و بیشتر، نصب کپسول حساس در وضعیت ساعت ۴ یا ۸ معمولاً کنترل رضایت بخشی خواهد داشت (شکل ۵ــ۵) .




شکل ۵ــ۵ــ موقعیت نصب بالب ترموستات

## ۴ــ۵ــ انتخاب لوله مویین

تعیین قطر لوله مویین با استفاده از نمودار شکل ۱۲ــ۵ کتاب اصلی صورت می‌گیرد. این جدول برای مبرد R ــ۵۰۲ طراحی گردیده است.

ابتدا با داشتن دمای گاز برگشتی یکی از دو ستون سمت چپ شکل را انتخاب نموده و برروی آن مقدار ظرفیت کمپرسور را مشخص می‌کنیم حال برروی خط افقی به سمت راست حرکت کرده تا یکی از نمودارهای مورب که قطر داخلی لوله مویین می‌باشد را قطع کند حال با حرکت به‌سمت پایین شکل می‌توان طول لوله مویین را برحسب اینچ به‌دست آورد.

**مثال :** در یک سیکل برودتی قدرت سرمایی $۸۸۰۰\frac{Btu}{hr}$ و دمای گاز برگشتی $۵۳^{\circ}C$ و ماده سرمازا R ــ۵۰۲ می‌باشد. چنانچه بخواهیم از لوله مویین با قطر داخلی ۰/۰۷۰ اینچ استفاده نماییم طول مناسب لوله مویین را به‌دست آورید.

در ستون اول از سمت چپ شکل ظرفیت $۸۸۰۰\frac{Btu}{hr}$ را به‌دست آورده به‌سمت راست حرکت می‌کنیم با برخورد با منحنی قطر ۰/۰۷۰ به‌سمت پایین آمده و طول ″۸۳ را به‌دست می‌آوریم.

همانطور که قبلاً اشاره شد انتخاب صحیح لوله مویین به دو عامل طول لوله و قطر لوله بستگی دارد و همان کاری که یک لوله مویین کوتاه با قطر کم می‌تواند انجام دهد لوله مویین بلند با قطر بزرگ‌تر نیز انجام می‌دهد. درصورتی‌که ناگزیر به تعویض لوله مویین باشیم و قطر لوله تعویض با قطر لوله اصلی یکسان نباشد می‌بایستی طول لوله مویین جدید را متناسب با قطر لوله مویین تغییر دهیم. برای این‌کار از جدول ۱۳ــ۵ کتاب اصلی استفاده می‌شود. ابتدا از جدول ضریب تغییر طول لوله را به‌دست آورده و در طول قبلی لوله مویین ضرب می‌کنیم تا طول جدید لوله مویین به‌دست آید. برای به‌دست آوردن «ضریب تغییر طول» از ستون سمت چپ جدول قطر داخلی لوله اصلی را به‌دست آورده و خطی به‌سمت راست می‌کشیم، حال از ردیف بالای جدول قطر داخلی لوله مویین تعویضی را به‌دست آورده وخطی دیگر به‌سمت پایین جدول ترسیم می‌نماییم، محل تلاقی این دو خط «ضریب تغییر طول» لوله مویین می‌باشد.

**مثال :** قطر داخلی لوله مویین یک یخچال ″۰/۰۳۴ و طول آن ″۶۰ می‌باشد.

در صورتی‌که بخواهیم لوله مویین با قطر ″۰/۰۳۶ را جایگزین لوله مویین اصلی نماییم طول لوله مویین جدید را بدست آورید.

**حل :** با توجه به جدول ۶ــ۵ ضریب تغییر طول لوله ۱/۳۵ خواهد بود لذا طول لوله مویین تعویضی برابر خواهد بود با :

طول جدید لوله مویین = ۶۰ × ۱/۳۵ = ″۸۱

## جدول ۶ــ۵ــ تعویض لوله مویین

| قطر داخلی لوله مویین اصلی | قطر داخلی لوله مویین 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 | | | | | | |

فصل ۶

# اواپراتورها

# ۶ اواپراتورها

**پیش آزمون**

هنرآموزان گرامی با طرح سؤال زیر آمادگی لازم را برای طرح درس در بین هنرجویان ایجاد نمایند.

«برروی دست کدام یک از شما الکل یا بنزین ریخته شده است؟ در صورت داشتن این تجربه احساس شما چه بوده است؟»

هنگام تماس پوست بدن با اتر یا بنزین، انسان بر روی پوست خود احساس خنکی خواهد نمود. علت این امر تبخیر بنزین می‌باشد. بنزین برای تبخیر شدن گرمای پوست بدن را جذب نموده و از مایع به بخار تبدیل می‌شود.

برای جذب گرمای داخل یخچال از اواپراتور استفاده می‌شود. در اواپراتور نیز مایع مبرد به بخار تغییر حالت داده و برای این‌کار گرمای داخل یخچال را جذب می‌کند.

## ۱ــ۶ــ کاربرد اواپراتورها

اواپراتورها سطوح انتقال حرارتی هستند که در آنها ماده مبرد با دریافت گرمای نهان تبخیر از فضا یا محصولات سردشونده از مایع به بخار تبدیل شده و سبب سردشدن فضای سردخانه یا یخچال می‌شود.

اواپراتور در دستگاه‌های گوناگونی برای ایجاد سرما استفاده می‌شود که تعدادی از کاربردهای آن عبارتست از :

۱ــ ساختمان‌های مسکونی، برای خنک کردن هوای اتاق در تابستان توسط کولر گازی و یا نگهداری مواد غذایی داخل یخچال در دمای پایین.

۲ــ ساختمان‌های عمومی، کاهش دمای آب جهت ایجاد هوای خنک در فن کویل و تأمین آب سرد بهداشتی در آب سردکن.

۳ــ کاربرد صنعتی، خنک‌کردن شیر، انجماد محصولات غذایی مانند گوشت، بستنی و ...، تأمین دمای پایین جهت انجام کارهای تحقیقاتی، دستگاه‌های یخ‌ساز.

به‌دلیل کاربرد متعدد و متنوع تبرید، اواپراتورها در انواع شکل‌ها، اندازه‌ها و طرح های گوناگون ساخته می‌شوند و می‌توان آنها را از جنبه‌های مختلف دسته‌بندی نمود. از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

۱ــ انواع اواپراتور از نظر نوع تغذیه
- ۱ــ انبساط مستقیم (خشک)
- ۲ــ اواپراتور پر

۲ــ انواع اواپراتور از نظر چگونگی جریان هوا
- ۱ــ با جریان اجباری هوا
- ۲ــ با جریان طبیعی هوا

۳ــ انواع اواپراتور از نظر نوع ساخت
- ۱ــ کویلی پره‌دار
- ۲ــ کویلی بدون پره

## ۲ــ۶ــ انواع اواپراتور از نظر نوع تغذیه

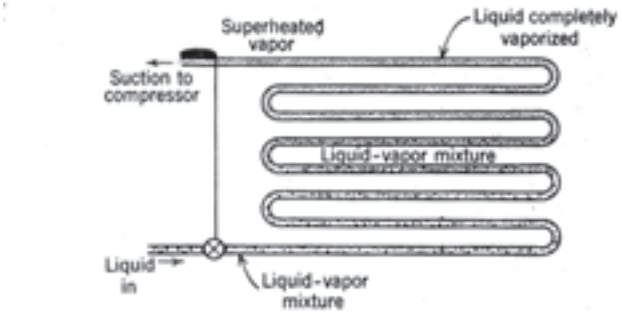
اواپراتورها را می‌توان برحسب نوع تغذیه مبرد به دو نوع انبساط خشک[۱] و تر[۲] طبقه بندی نمود.

در روش انبساط خشک مقدار تغذیه مبرد اواپراتور، به‌مقدار تبخیر آن در واحد زمان بستگی دارد.

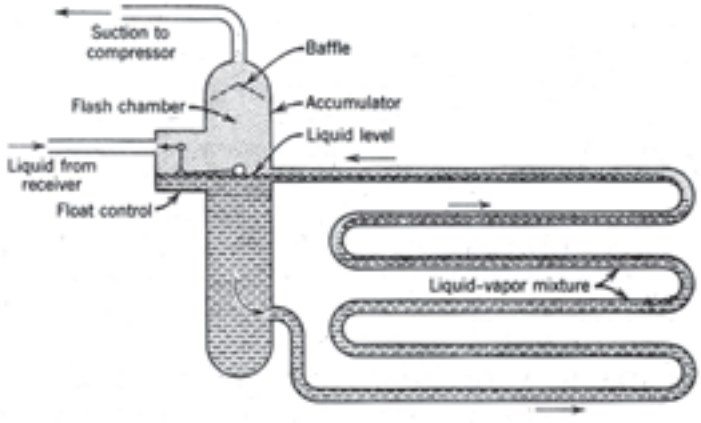
مبرد در لوله مکش کمپرسور به صورت بخار خواهد بود (شکل ۱ــ۶ــ الف) در این روش کنترل کننده مبرد اغلب یک شیر انبساط ترموستاتیکی یا لوله مویین است. برای اطمینان کامل از تبخیر مبرد در اواپراتور و جلوگیری از ورود مایع مبرد به لوله مکش و کمپرسور، مبرد در خروج از اواپراتور تقریباً ۵ درجه سانتی‌گراد سوپرهیت می‌شود. این امر عملاً ۱۰ تا ۲۰ درصد سطح اواپراتور را به‌خود اختصاص می‌دهد.

درحالی که راندمان اواپراتورهای انبساط خشک، قدری از اواپراتورهای تر کمتر است به‌علت ساختمان ساده‌تر، هزینه کمتر، اشغال فضای کمتر، نیاز به مبرد کمتر، و کمتر بودن مشکل برگشت روغن، از متداول‌ترین انواع اواپراتور می‌باشند.

در اواپراتورهای تر به‌دلیل پر بودن اواپراتور با مبرد مایع، حداکثر سطح خیس شده لوله‌ها و ماکزیمم شدت انتقال حرارت به‌دست می‌آیند. این اواپراتورها مطابق شکل ۱ــ۶ــ ب یک جمع کننده یا مخزن ذخیره اضافی می‌باشند که مبرد مایع در آن جمع می‌شود و در اثر ثقل، به لوله‌های اواپراتور جریان می‌یابد. سطح مایع موجود در جمع کننده به‌وسیله شناور کنترل می‌شود.




الف) اواپراتور انبساط خشک




ب) اواپراتور تر

شکل ۱ــ۶

## ۳ــ۶ــ انواع اواپراتور از نظر جریان هوا

اواپراتورها از نظر جریان هوا به دو دسته جریان هوای طبیعی و جریان هوای اجباری تقسیم می‌شوند.

در اواپراتورهای با جریان طبیعی به‌علت کم بودن سرعت گردش هوا بین اواپراتور و فضایی که می‌خواهیم سرد نماییم تبادل گرما نیز کمتر صورت می‌گیرد لذا از این نوع اواپراتورها معمولاً در یخچال‌های خانگی و فضاهای کوچک استفاده می‌شود.

شکل ۲ــ۶ چند نمونه از اواپراتورهای با جریان طبیعی هوا را نشان می‌دهد.

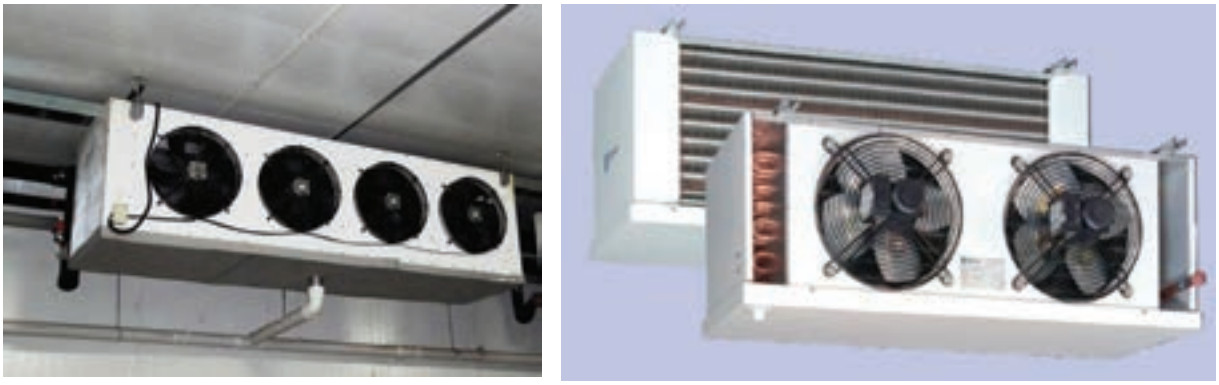
---

۱ــ dry expansion

۲ــ flooded

شکل ۲ــ۶ــ انواع اواپراتور با جریان طبیعی هوا

درصورتی که به برودت بیشتری نیاز داشته باشیم با به گردش درآوردن هوای داخل سردخانه یا یخچال، سرعت تبادل گرما بین هوا و اواپراتور را افزایش می‌دهیم. (شکل ۳ــ۶)

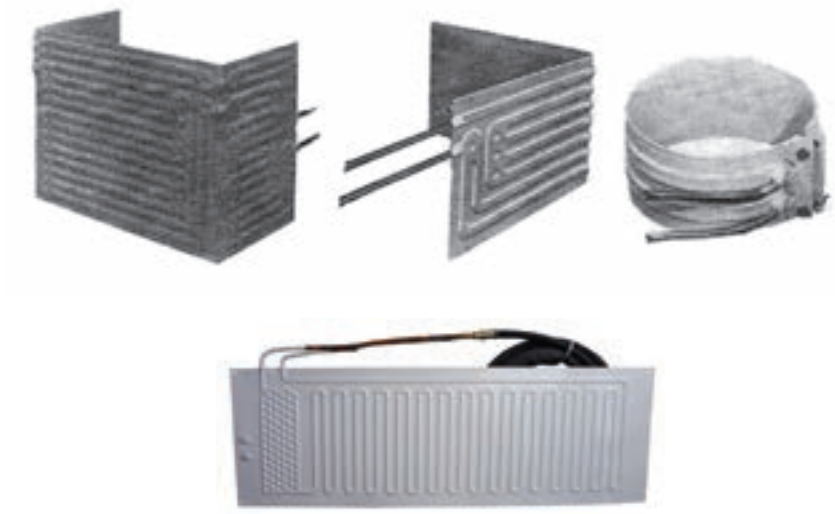


شکل ۳ــ۶ــ اواپراتور با جریان هوای اجباری

## ۴ــ۶ــ انواع اواپراتور از نظر نوع ساخت

اواپراتورها از نظر نوع ساخت به دو دسته کویلی پره‌دار و کویلی بدون پره تقسیم می‌شوند.

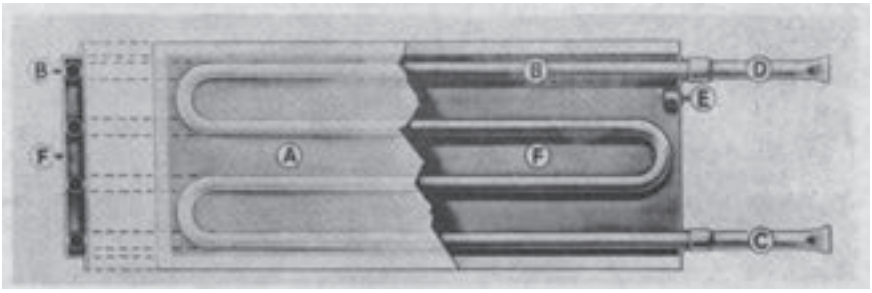
یک نوع از اواپراتورهای کویلی بدون پره از دو صفحه فلزی که برروی آنها شیارهایی برای عبور مبرد ایجاد شده است ساخته می‌شوند. (شکل ۴ــ۶)



شکل ۴ــ۶ــ اواپراتور کویلی بدون پره

این نوع از اواپراتورها به‌دلیل شکل‌پذیری به‌فرم دلخواه، ساخت اقتصادی و سهولت تمیز شدن به‌طور وسیعی در یخچال‌ها و فریزرهای خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نوع دیگری از اواپراتورهای کویلی بدون پره از لوله‌ای واقع بین دو صفحه فلزی ساخته می‌شود. صفحات فلزی در انتها به یکدیگر جوش می‌شوند. (شکل ۵ــ۶) در این اواپراتورها برای ایجاد تماس حرارتی مطلوب بین صفحات و لوله حامل مبرد، فضای بین صفحات را با محلول اتکتیک[1] پر یا خلأ ایجاد می‌کنند به‌طوری که فشار اتمسفریک بیرون باعث تماس حرارتی خوبی بین لوله‌ها و صفحات گردد. اوپراتورهای حاوی محلول اتکتیک به‌ویژه در مواقعی که ظرفیت ذخیره شده‌ای موردنیاز باشد مفید است و بیشتر در کامیون‌های یخچال‌دار در سقف یا دیواره‌های آن نصب می‌شود.




**شکل ۵ــ۶ــ اواپراتورهای صفحه‌ای**

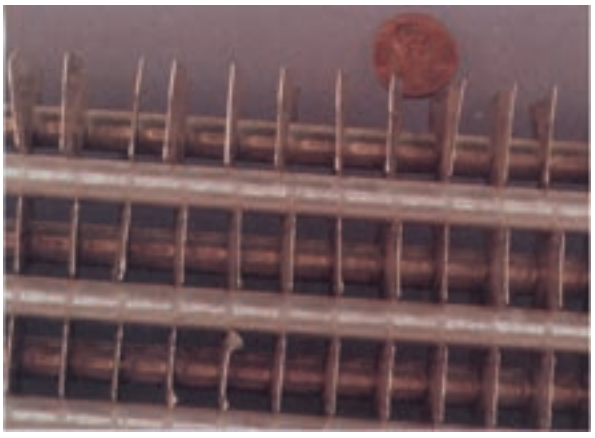
**a) پوسته بیرونی اواپراتور با سطح تخت که ضخیم بوده و جوش الکتریکی شده است.**
**b) لوله فولادی که مبرد از داخل آن جریان می‌یابد.**
**c) ورودی از کمپرسور**
**d) خروجی به کمپرسور که برای تمام مبردها غیر از آمونیاک مسی می‌باشد و برای آمونیاک فولادی به‌کار می‌رود.**
**e) اتصال برای ایجاد خلأ مابین صفحات که بعداً آب‌بندی می‌شود.**
**f)فضای خلأ در اواپراتورهای خشک. اواپراتورهای با ظرفیت ذخیره تبرید حاوی محلول اتکتیک می‌باشند.**

اواپراتور کویلی پره‌دار نوعی از اواپراتورهای لوله‌ای می‌باشند که در آنها به‌منظور افزایش سطح خارجی و در نتیجه بهبود راندمان سرد کردن هوا، پره‌هایی به‌عنوان سطوح ثانویه جذب حرارت بر روی لوله‌ها قرار گرفته‌اند. در اواپراتورهای لوله‌ای قسمت اعظم هوا بدون تماس با سطوح کویل سرد از آن عبور می‌کند ولی با افزودن پره‌هایی به لوله، سطوح تبادل حرارت به‌داخل فضای باز بین لوله‌ها نفوذ کرده و به‌صورت جمع‌کننده‌های حرارتی عمل می‌کند و حرارت قسمتی از هوا را که معمولاً با سطوح اولیه تماس نمی‌یابد گرفته و به لوله هدایت می‌کند. فاصله و اندازه پره‌ها تا حدودی به‌نوع کاربرد و قطر لوله بستگی دارد و برحسب دمای اواپراتور تعداد آنها در هر متر بین ۴۰ تا ۵۰۰ عدد متغیر است.

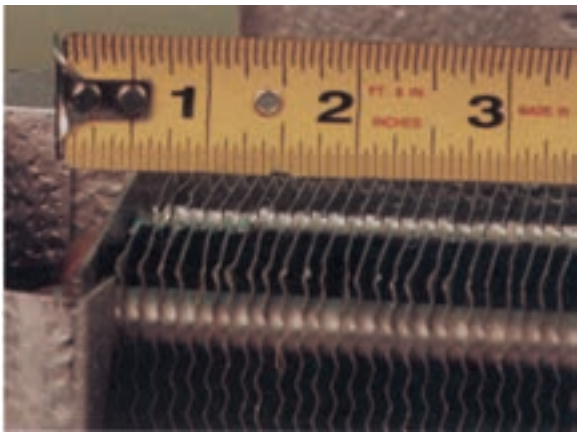
چون تشکیل برفک برروی کویل‌های سردکننده هوایی که در درجات حرارت پایین کار می‌کنند غیر قابل اجتناب است و تشکیل برفک موجب محدود شدن مجرای بین پره‌ها و کند شدن جریان هوا در روی کویل می‌شود بایستی برای به‌حداقل رساندن احتمال محدود شدن جریان هوا در اواپراتورهای طراحی شده برای کاربردهای با دمای پایین، فاصله پره‌ها بیشتر و تعداد آنها کمتر باشد (حدود ۸۰ تا ۲۰۰ پره در هر متر) ولی در کویل‌های تهویه مطبوع و سایر کاربردهایی که در آنها دمای سطح کویل از دمای انجماد بالاتر است به‌دلیل عدم تشکیل برفک، پره‌ها حتی با فواصل ۱/۸ میلی‌متر نیز چیده می‌شوند. شکل ۶ــ۶ فاصله پره‌های در اواپراتورهای با دمای پایین و اواپراتورهای با دمای متوسط را نشان می‌دهد.

---

۱ــ محلول دوتایی که دارای نقطه ذوب یا نقطه انجماد پایین باشد. لفظ یونانی اتکتیک شامل دو کلمه eu به معنای خوب و tectos به معنای ذوب شدن بنابراین اتکتیک به معنای آسان ذوب است.



الف) اواپراتور با دمای پایین



ب) اواپراتور با دمای متوسط

شکل ۶ــ۶

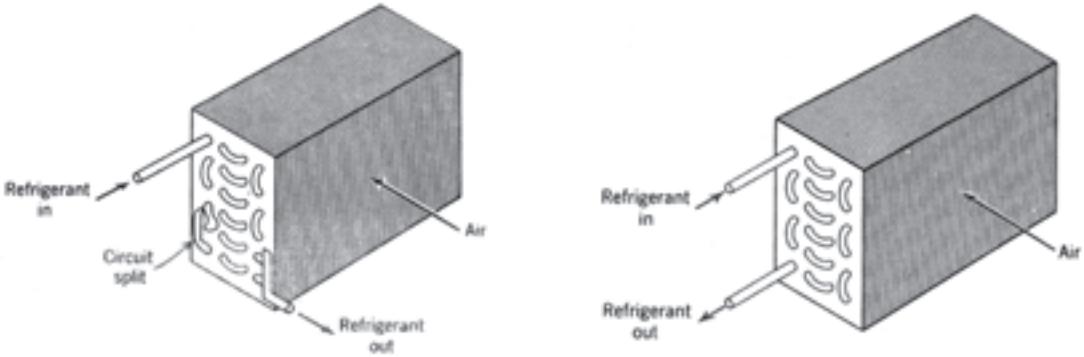
اواپراتورهای کویلی پره‌دار نسبت به اواپراتورهای ساده سطوح حرارتی بیشتری دارند و در ظرفیت‌های یکسان فضای کمتری را اشغال می‌نمایند و لذا استفاده از آنها موجب صرفه جویی قابل ملاحظه‌ای در فضای نصب آنها می‌شود. (شکل ۷ــ۶)

شکل ۷ــ۶ــ اواپراتور کویلی پره‌دار مورد استفاده در دستگاه‌های هواساز

## ۵ــ۶ــ پخش‌کننده‌ها در اواپراتور

اواپراتورهایی که تنها دارای یک مدار مبرد هستند در محدوده‌های معینی از بار، عملکرد مطلوبی دارند ولی هنگامی که محدوده بار آنها افزایش یابد سرعت مبرد از حد مجاز تجاوز می‌نماید و افت فشار بیشتر می‌شود چون حجم مبرد در ضمن تبخیر افزایش می‌یابد، با حرکت مبرد در طول مدار، سرعت و افت فشار در واحد طول افزایش می‌یابد و در انتهای لوله که مبرد به‌صورت صددرصد بخار است مقدار سرعت و افت فشار ماکزیمم می‌گردد.

با تقسیم لوله‌های اواپراتور به دو مدار می‌توان افت فشار اضافی در قسمت انتهایی اواپراتور را تا اندازه‌ای از بین برد. در این صورت مبرد تا زمان رسیدن به ماکزیمم سرعت مجاز، در یک مسیر واحد حرکت می‌نماید و سپس به دو مسیر موازی تقسیم می‌شود. به این ترتیب سرعت مبرد به نصف مقدار آن در مسیر واحد، تقلیل می‌یابد و افت فشار آن در واحد طول به $\frac{۱}{۸}$ افت فشار واحد طول مدار واحد می‌رسد. البته این امر امکان بارگذاری بیشتر اواپراتور را بدون تجاوز افت فشار از حد مجاز میسر می‌سازد و در ضمن سرعت همه قسمت‌های کویل، در محدوده مورد نظر باقی می‌ماند و به این ترتیب شدت انتقال حرارت بی‌مورد تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. (شکل ۸ــ۶)

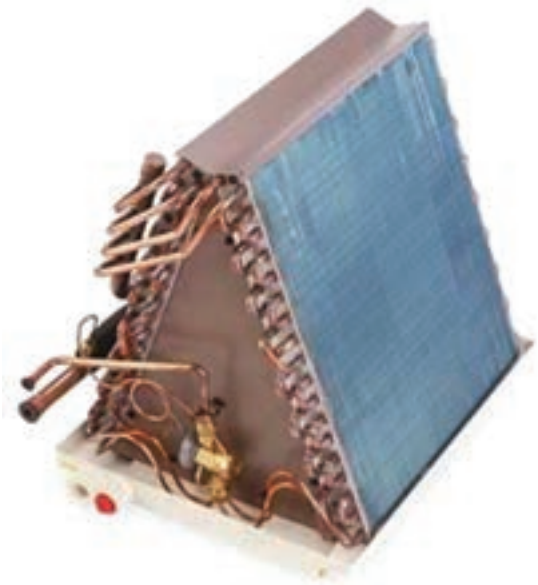



الف) اواپراتور با یک مدار مبرد

ب) اواپراتور با دو مدار مبرد

شکل ۸ــ۶

روش دیگر کاهش افت فشار استفاده از پخش کننده در مسیر ورودی مبرد به هر مدار اواپراتور و نصب کلکتور در انتهای هر مدار اواپراتور می‌باشد. نصب پخش کننده در مسیر ورودی مبرد به اواپراتور سبب می‌شود که ماده مبرد به صورت مساوی برای تمام مدارهای اواپراتور به‌طور مساوی تقسیم شود. (شکل ۹ــ۶)



شکل ۹ــ۶ــ محل نصب پخش کننده و کلکتور برروی اواپراتور

## ۶ــ۶ــ برفک زدایی یا دیفراست

با عبور هوا از روی سطح اواپراتور بخارات موجود در هوا بر روی اواپراتور تقطیر شده و به برفک تبدیل می‌شود. (شکل ۱۰ــ۶)

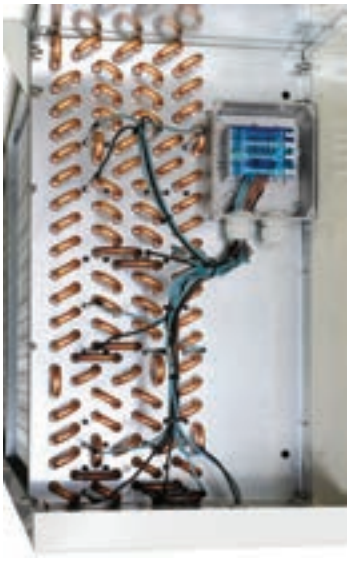
شکل ۱۰ــ۶ــ تشکیل برفک بر روی اواپراتور

با افزایش برفک ایجاد شده بر روی سطح اواپراتور میزان تبادل گرما بین هوا و مبرد کاهش می‌یابد لذا می‌بایستی با استفاده از روش‌های مختلف نسبت به ذوب برفک اقدام نمود.

به‌طور کلی زمان برفک زدایی با میزان تجمع برفک بر روی اواپراتور و شدت انتقال حرارت برای ذوب برفک تعیین می‌شود.

میزان تجمع برفک به‌نوع تأسیسات، فصل و فواصل زمانی برفک زدایی بستگی دارد.

**۱ــ۶ــ۶ــ برفک زدایی با گرمکن الکتریکی :** گرمکن‌های الکتریکی به‌طور وسیعی برای برفک زدایی کویل‌های پره‌ای فن‌دار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روش هیترهایی بین کویل‌های اواپراتور قرار می‌گیرد تا با اتصال جریان برق، هیترها گرم شده و برفک را ذوب نماید. مصرف این هیترها ۴۰۰ وات و بیشتر می‌باشد. عمل تبرید دستگاه در طی مدت برفک زدایی به‌طور خودکار قطع می‌شود و پس از انجام برفک زدایی کامل، یک ترموستات دستگاه را به کار عادی برمی‌گرداند.



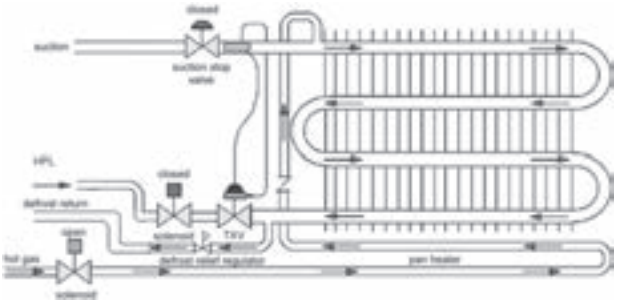
این هیترها کاملاً عایق‌بندی شده‌اند و در مدار آنها از یک فیوز استفاده شده است. در مدار بعضی از این هیترها یک ترموستات ایمنی نیز کار گذاشته می‌شود تا در صورت افزایش بیش از حد حرارت مدار برق را قطع نماید.

سیکل برف‌زدایی الکتریکی ممکن است به‌طور دستی یا به وسیله یک تایمر برفک‌گیر به‌طور اتوماتیک روشن و خاموش شود.

برای جلوگیری از انتقال گرما به فضای سردشونده فن‌های اواپراتور در زمان دیفراست خاموش خواهند بود. (شکل ۱۱ــ۶)

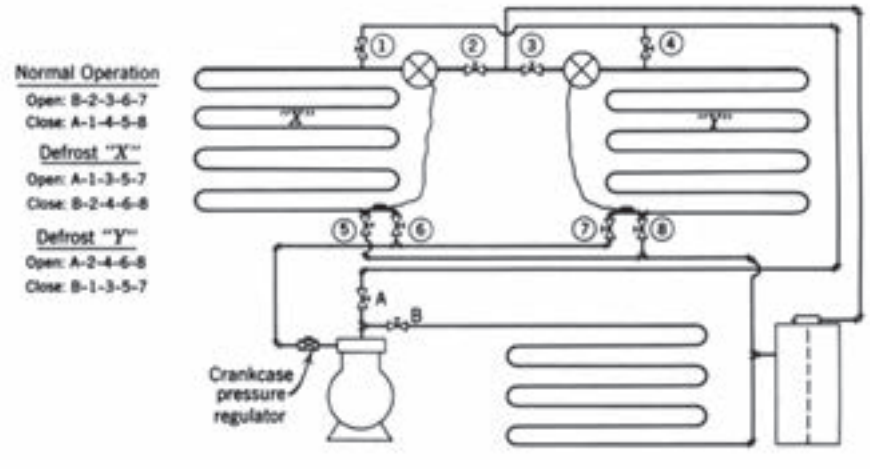
شکل ۱۱ــ۶ــ محل نصب هیترهای مورد نیاز برای برفک زدایی

**۲ــ۶ــ۶ــ برفک زدایی با گاز داغ :** روش‌های برفک‌زدایی با گاز داغ تنوع زیادی دارند ولی همه آنها به‌نحوی از گاز داغ خروجی از کمپرسور به‌عنوان منبع حرارت برای برفک‌زدایی بهره می‌گیرند. یکی از ساده‌ترین روش‌ها برفک‌زدایی با گاز داغ مطابق شکل ۱۲ــ۶ می‌باشد.



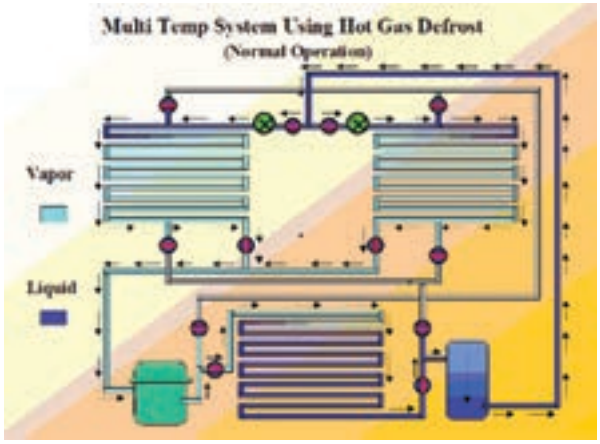
شکل ۱۲ــ۶ــ دیفراست با گاز داغ

یک لوله میان‌بر مجهز به شیربرقی و شیر یک طرفه مابین خروجی کمپرسور و اواپراتور قرار می‌گیرد. هنگامی که شیر برقی باز می‌شود گاز داغ خروجی از کمپرسور میان‌بر می‌شود و پس از عبور از اواپراتور و ذوب کردن برفک‌های اواپراتور از شیر فشارشکن عبور کرده و پس از کاهش فشار گاز به‌سمت مکش کمپرسور برمی‌گردد. در زمان دیفراست شیر برق که در مسیر اصلی مبرد قبل از شیر انبساط قرار دارد در حالت بسته می‌باشد. درصورتی‌که در مدار سیکل تبرید دو اواپراتور نصب شده باشد مطابق شکل ۱۳ــ۶ عمل دیفراست هر اواپراتور را می‌توان با باز یا بستن شیرهای مشخص شده در شکل انجام داد. برای مثال برای دیفراست اواپراتور «x» می‌بایستی شیرهای (A ــ۱ــ۳ــ۵ــ۷) باز و شیرهای (B ــ۲ــ۴ــ۶ــ۸) را بست تا همزمان با کار کمپرسور و ایجاد برودت در اواپراتور «y» ، برفک‌های اواپراتور «x» در اثر عبور گاز داغ ذوب شود.




شکل ۱۳ــ۶ــ دیفراست با گاز داغ در مدار با دو اواپراتور

شکل ۱۴ــ۶ سیکل دیگری که از گاز داغ برای دیفراست استفاده شده را نشان می‌دهد. برخلاف روش دیفراست یا گرم‌کن الکتریکی در این روش در زمان دیفراست کمپرسور به‌کار خود ادامه خواهد داد.




الف) کار عادی سیکل

ب) دیفراست اواپراتور

شکل ۱۵ــ۶

## ۷ــ۶ــ انتخاب اواپراتور

مدل اواپراتور از جدول ۱۷ــ۶ کتاب اصلی و با در اختیار داشتن دو عامل ظرفیت سرمایی سردخانه و دمای جوش ماده مبرد (Te) به‌دست می‌آید.

برای محاسبه دمای جوش ماده مبرد (Te) از رابطه زیر استفاده می‌شود :

$Te=Ti-TD$

Tiــ دمای سالن (دمای نگهداری محصول)

TDــ اختلاف دمای هوای سالن و ماده مبرد جریان داخل کویل اواپراتور. دمای سالن که همان دمای نگهداری محصول می‌باشد را می‌توان با توجه به‌نوع محصول از جدول ۱۹ــ۶ کتاب اصلی بدست آورد. برای محاسبه اختلاف دمای هوای سالن و ماده مبرد جریان داخل کویل اواپراتور (TD) با توجه به رطوبت نسبی سالن سردخانه که از جدول ۱۹ــ۶ بدست آمده به جدول ۱۶ــ۶ کتاب اصلی مراجعه نموده و با در نظر گرفتن نوع جریان هوای اواپراتور TD را بدست می‌آوریم.

**مثال :** در یک سالن سردخانه ماهی تازه نگهداری می‌شود. اگر اواپراتورهای سالن از نوع هوا با جریان اجباری باشد دمای سالن (Ti) و اختلاف دمای هوای سالن و ماده مبرد جریان در کویل اواپراتورهای سالن (TD) و دمای جوش مبرد (Te) را مشخص نمایید.

**حل :** با استفاده از جدول ۱۹ــ۶ کتاب اصلی دمای نگهداری ماهی تازه $Ti= -1^{\circ}C$ می‌باشد. مقدار رطوبت نسبی سالن نگهداری ماهی تازه نیز ۸۵ــ۸۰ درصد می‌باشد.

طبق جدول ۱۶ــ۶ کتاب اصلی با فرض رطوبت ۹۳ درصد و نوع هوای جریان اجباری اواپراتور، TD معادل ۸ــ۷ درجه سانتی‌گراد بدست می‌آید. و در نهایت دمای جوش مبرد (۸–،۹–) بدست می‌آید.

$Te=Ti-TD$ $\qquad Te= -1-7 = -8^{\circ}C$

$Te= -1-8 = -9$ $\qquad$ و یا

انتخاب مدل اواپراتور با داشتن دو عامل دمای جوش مبرد و ظرفیت برودتی انجام می‌گیرد. در جدول ۱۷ــ۶ کتاب اصلی ستون‌های دوم برای دمای جوش تا $-5^{\circ}C$ و ستون سوم برای دمای جوش $-30^{\circ}C$ طراحی شده است، با توجه به دمای جوش مبرد که قبلاً محاسبه نموده‌ایم در یکی از این دو ستون به سمت پایین حرکت می‌کنیم تا به عدد معادل ظرفیت برودتی مورد نیاز برسیم. در

صورتی که عدد مورد نظر در جدول نبود عدد بزرگ‌تر را انتخاب نموده به‌سمت چپ حرکت کرده و مدل اواپراتور را از ستون اول تعیین می‌نماییم.

**مثال :** ظرفیت برودتی یک سردخانه ۱۰۰۰۰w و دمای جوش مبرد $-5^{\circ}C$ است، مدل اواپراتور را بدست آورید.

**جواب :** مدل‌های (۸ـ۶۰۹ـ۸) ، (۸ـ۶۰۶ـ۱۲) ، (۸ـ۴۱۲ـ۸) ، (۸ـ۴۱۴ـ۴)

را می‌توان برای این ظرفیت در نظر گرفت.

**مثال :** بار برودتی یک سردخانه که برای نگهداری ماهی منجمد استفاده می‌شود ۴۲kw است. درصورتیکه بخواهیم در این سردخانه دو اواپراتور با جریان اجباری هوا نصب نماییم ظرفیت هر یک از اواپراتورها را بدست آورید.

**حل :** با استفاده از جدول ۱۹ـ۶ کتاب اصلی :

$Ti = -18^{\circ}C$ و $RH = 80-\%85$

با استفاده از جدول ۱۶ـ۶ کتاب اصلی و با فرض رطوبت ۸۵٪ :

$TD = 7^{\circ}C-8^{\circ}C$

$Te= Ti-TD$ $\quad Te = -18-8 = -26^{\circ}C$

از جدول ۱۷ـ۶ کتاب اصلی با توجه به ظرفیت هر اواپراتور

$42 \div 2 = 21kw = 21000w$

و دمای جوش مبرد $Te=-37^{\circ}C$ مدل‌های (۸ـ۸۱۲ـ۱۲) و (۸ـ۶۱۴ـ۱۲) بهترین انتخاب می‌باشد. (شکل ۱۶ـ۶)

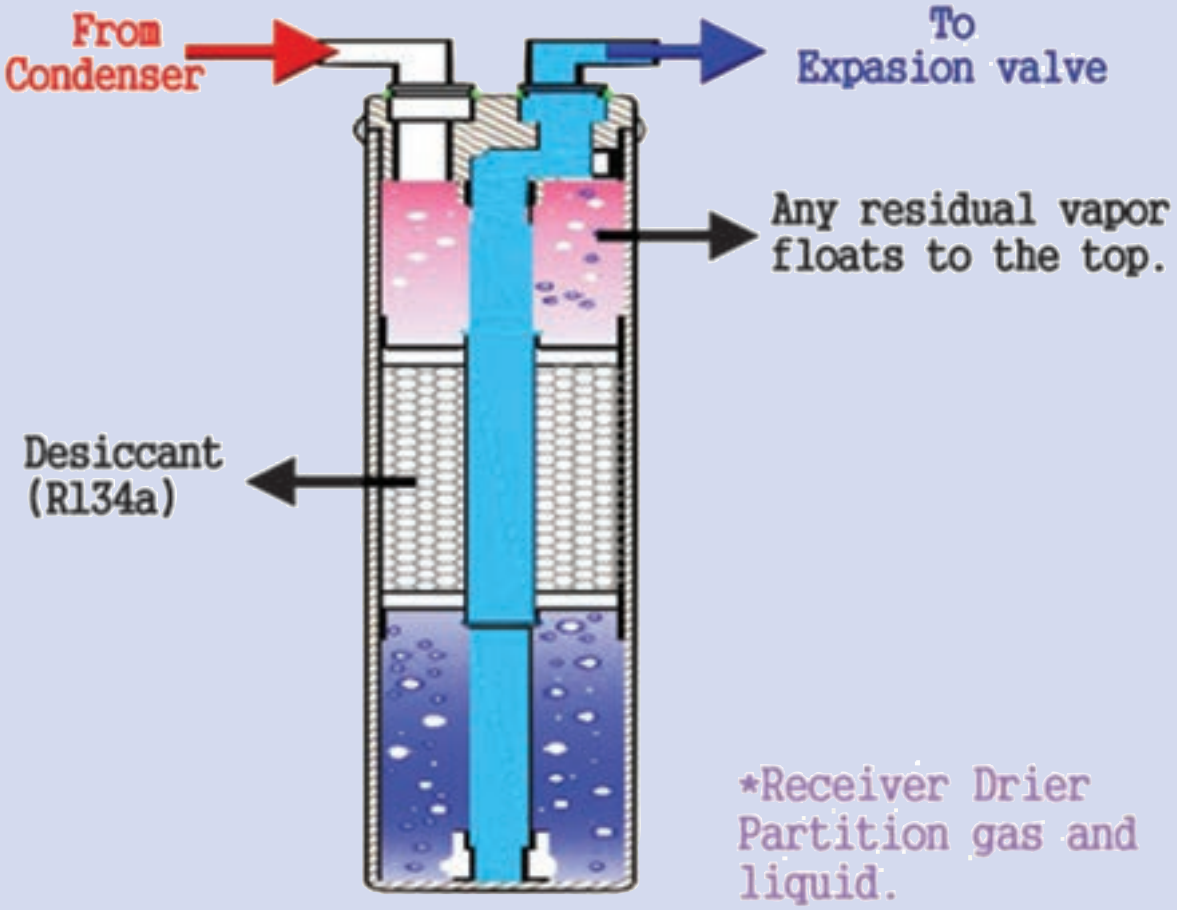
جدول ۱۶ــ۶ــ کاتالوگ نمونه انتخاب اواپراتور

## 8mm FIN SPACING TECHNICAL DATA

| | CAPACITY Te = -5°C w | CAPACITY Te = -30°C w | AIRFLOW m 3 /h | SURFACE m2 | COIL VOLUME lit | FANS NO. | FANS DIA. | FANS A | FANS KW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8-406-8 | 5101 | 4397 | 5700 | 20 | 7 | 1 | 450 | 0.88 | 0.45 |
| 8-606-8 | 7010 | 6042 | 5600 | 30 | 12 | 1 | 450 | 0.88 | 0.45 |
| 12-606-8 | 11500 | 9890 | 8300 | 45 | 16 | 1 | 500 | 1.95 | 0.76 |
| 12-806-8 | 13067 | 11237 | 8200 | 60 | 21 | 1 | 500 | 1.95 | 0.76 |
| 8-409-8 | 7525 | 6471 | 8400 | 30 | 10 | 1 | 500 | 1.95 | 0.76 |
| 8-609-8 | 10488 | 9019 | 8300 | 45 | 15 | 1 | 500 | 1.95 | 0.76 |
| 12-609-8 | 15606 | 13421 | 10600 | 68 | 24 | 1 | 630 | 1.55 | 0.72 |
| 12-809-8 | 20155 | 17333 | 10300 | 89 | 29 | 1 | 630 | 1.55 | 0.72 |
| 8-412-8 | 10495 | 9025 | 11400 | 40 | 12 | 2 | 450 | 0.88 | 0.45 |
| 8-612-8 | 14267 | 12269 | 11200 | 59 | 18 | 2 | 450 | 0.88 | 0.45 |
| 12-612-8 | 21059 | 18110 | 16600 | 89 | 28 | 2 | 500 | 1.95 | 0.76 |
| 12-812-8 | 26413 | 22715 | 16400 | 119 | 37 | 2 | 500 | 1.95 | 0.76 |
| 8-414-8 | 10966 | 9430 | 11400 | 46 | 14 | 2 | 450 | 0.88 | 0.45 |
| 8-614-8 | 16471 | 14165 | 11200 | 69 | 21 | 2 | 450 | 0.88 | 0.45 |
| 12-614-8 | 25165 | 21641 | 18600 | 104 | 36 | 2 | 560 | 2.1 | 0.9 |
| 12-814-8 | 31441 | 27039 | 18400 | 139 | 46 | 2 | 560 | 2.1 | 0.9 |
| 8-418-8 | 14910 | 12822 | 16800 | 60 | 18 | 2 | 500 | 1.95 | 0.76 |
| 8-618-8 | 20800 | 17888 | 16600 | 89 | 31 | 2 | 500 | 1.95 | 0.76 |
| 12-618-8 | 31215 | 26844 | 21200 | 134 | 40 | 2 | 630 | 1.55 | 0.72 |
| 12-818-8 | 40174 | 34549 | 20600 | 178 | 56 | 2 | 630 | 1.55 | 0.72 |
| 12-624-8 | 41693 | 35855 | 27900 | 179 | 56 | 3 | 560 | 2.1 | 0.9 |
| 12-824-8 | 51542 | 44326 | 27600 | 238 | 76 | 3 | 560 | 2.1 | 0.9 |
| 12-124-8 | 65112 | 55996 | 34400 | 298 | 91 | 2 | 630 | 4.2 | 2.3 |
| 16-624-8 | 62384 | 53650 | 47000 | 238 | 76 | 2 | 710 | 6 | 3.3 |
| 16-824-8 | 76475 | 65768 | 46000 | 317 | 101 | 2 | 710 | 6 | 3.3 |
| 16-124-8 | 88167 | 75823 | 45200 | 397 | 121 | 2 | 710 | 6 | 3.3 |
| 12-628-8 | 50957 | 43823 | 36000 | 208 | 61 | 2 | 630 | 4.2 | 2.3 |
| 12-828-8 | 63050 | 54223 | 35600 | 278 | 81 | 2 | 630 | 4.2 | 2.3 |
| 12-128-8 | 73670 | 63356 | 34400 | 347 | 101 | 2 | 630 | 4.2 | 2.3 |
| 16-628-8 | 66442 | 57140 | 47000 | 278 | 81 | 2 | 710 | 6 | 3.3 |
| 16-828-8 | 83771 | 72043 | 46000 | 370 | 111 | 2 | 710 | 6 | 3.3 |
| 16-128-8 | 97559 | 83917 | 45200 | 463 | 141 | 2 | 710 | 6 | 3.3 |
| 12-636-8 | 66159 | 56896 | 42400 | 268 | 81 | 4 | 630 | 1.55 | 0.72 |
| 12-836-8 | 82637 | 71067 | 41200 | 357 | 106 | 4 | 630 | 1.55 | 0.72 |
| 12-136-8 | 94004 | 80843 | 37200 | 446 | 131 | 4 | 630 | 1.55 | 0.72 |
| 16-636-8 | 80528 | 69254 | 54000 | 357 | 111 | 3 | 630 | 4.2 | 2.3 |
| 16-836-8 | 106753 | 91807 | 69000 | 476 | 141 | 3 | 710 | 6 | 3.3 |
| 16-136-8 | 131832 | 113375 | 67800 | 595 | 181 | 3 | 710 | 6 | 3.3 |
| 12-642-8 | 76342 | 65654 | 54000 | 312 | 91 | 3 | 630 | 4.2 | 2.3 |
| 12-842-8 | 99704 | 85745 | 53400 | 417 | 121 | 3 | 630 | 4.2 | 2.3 |
| 12-142-8 | 107952 | 92838 | 51600 | 521 | 151 | 3 | 630 | 4.2 | 2.3 |
| 16-642-8 | 94992 | 81693 | 72400 | 417 | 121 | 3 | 710 | 6 | 3.3 |
| 16-842-8 | 126047 | 108400 | 69000 | 556 | 161 | 3 | 710 | 6 | 3.3 |
| 16-142-8 | 148730 | 127907 | 67800 | 695 | 201 | 3 | 710 | 6 | 3.3 |

فصل ۷

# تجهیزات جانبی دستگاه‌های سردکننده



# ۷ تجهیزات جانبی دستگاه‌های سردکننده

## ۱ــ۷ــ جداکن روغن

### پیش آزمون

اگر در یک سیستم تبرید تراکمی روغن به‌تدریج از کمپرسور به‌داخل سیکل برود و به‌کمپرسور برنگردد چه اتفاقی می‌افتد؟

### روش آموزش

تأثیر روغن در کمپرسور و نیاز مبرم به آن در کمپرسور توضیح داده شود. همچنین زیان‌های روغن در کندانسر و اواپراتور و در نهایت ضرورت برگشت روغن خروجی از کمپرسور به کمپرسور گفته شود.

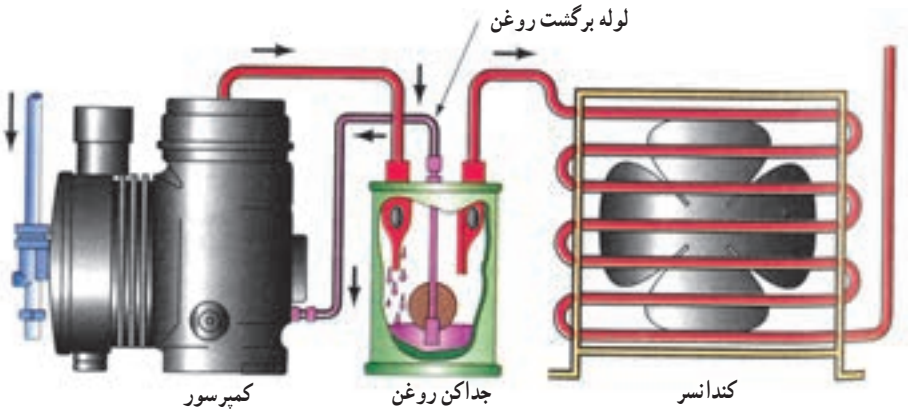
### دانش‌افزایی

مطابق شکل ۱ــ۷ جداکن روغن پس از کمپرسور نصب می‌شود. وقتی گاز داغ به‌همراه روغن وارد جداکن روغن می‌شود گاز چون سبک است در قسمت بالا و روغن چون سنگین است در قسمت پایین جداکن روغن جمع می‌شود و بدین‌وسیله گاز و روغن از هم جدا می‌شوند. گاز تحت فشار رانش کمپرسور به‌سمت کندانسر می‌رود. حجم روغن در جداکن زیاد شده و باعث می‌شود سوپاپ ته تله روغن که در مسیر لوله برگشت روغن به کمپرسور است باز شده و تحت مکش کمپرسور روغن جمع شده در جداکن روغن به کمپرسور برگشت داده شود.

### کار در کلاس

شکل ۱ــ۷ کتاب اصلی را رسم کرده سیکل را تکمیل کرده قسمت‌های مختلف سیکل را نام‌گذاری کرده و لوله‌های رانش و مکش و برگشت روغن جداکن روغن را روی آن مشخص کنید.

الف) جداکن روغن روی خط رانش نصب می‌شود.




ب) این شیر شناوری مبرد مایع را مانند روغن به کمپرسور برمی‌گرداند. بنابراین باید گرم نگه داشته شود تا از تقطیر گاز مبرد جلوگیری شود.

شکل ۱ــ۷ــ جداکن روغن

**پرسش و پاسخ**

۱ــ محل نصب تله روغن در سیکل تبرید کجاست؟ بعد از کمپرسور و قبل از کندانسر

۲ــ چه عاملی باعث برگشت روغن از تله روغن به کمپرسور می‌شود؟ فشار رانش روی روغن از یک طرف و فشار مکش کمپرسور از طرف دیگر باعث برگشت روغن به کمپرسور می‌شود.

۳ــ دو مورد از وظایف جداکن روغن را بنویسید.

۱ــ جلوگیری و حفاظت کمپرسور از کارکرد بدون روغن

۲ــ پیشگیری از جدا شدن موم از روغن

۴ــ چه عاملی باعث جدا شدن روغن از گاز در جداکن روغن می‌شود؟ سبک بودن گاز و سنگین بودن روغن، گاز را در سطح بالا و روغن را در سطح پایین جداکن روغن قرار می‌دهد و بدین‌وسیله از هم جدا می‌شوند.

۵ــ چه عاملی باعث باز شدن دهانه لوله برگشت روغن در جداکن روغن می‌شود؟ اگر ازدیاد حجم روغن در جداکن به اندازه‌ای برسد که نیروی ارشمیدس شناور را از جای خود بالا ببرد و راه دهانه برگشت باز شود.

**تحقیق**

در مورد رابطه ظرفیت تله روغن با ظرفیت کمپرسور تحقیق کنید.

## ۲ــ۷ــ مخزن مایع سرمازا

### پیش آزمون

اگر بخواهیم کمپرسور یک سیکل تبرید را تعمیر کنیم و حجم مبرد موجود در سیکل نیز زیاد باشد بار ماده سرمازای داخل سیستم را چه کنیم؟ در فضا رها کنیم؟ یا در جایی ذخیره کنیم؟

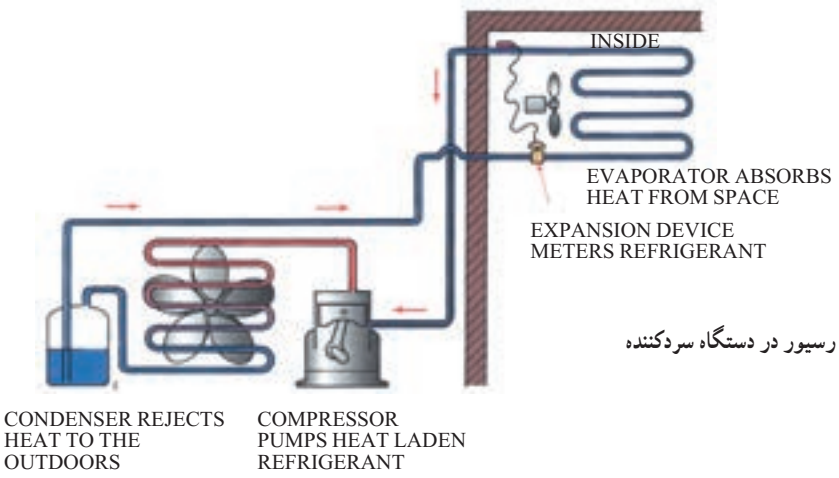
### روش آموزش

لازم است در خصوص ارزش ماده مبرد و اینکه در هنگام تعمیر سیستم آن‌را بایستی ذخیره کرد توضیح داده شود. همچنین ضرورت، انواع و محل نصب مخزن سرمازا توضیح داده شود.

### دانش‌افزایی

شکل ۲ــ۷ چگونگی قرارگیری رسیور در دستگاه سردکننده را نشان می‌دهد.

مخزن مایع سرمازا در دو نوع افقی و عمودی ساخته می‌شود و در سیستم‌هایی که کندانسر هوایی دارند استفاده می‌شود. محل نصب آن بعد از کندانسر می‌باشد که در دو حالت از آن استفاده می‌شود الف) حالتی که سیستم نیاز به تعمیر داشته باشد به‌خاطر اینکه مبرد به هوا نرود آن را در رسیور جمع‌آوری کرده و پس از تعمیر سیستم به سیکل برمی‌گردانند. ب) در بعضی از سیستم‌های تبرید خاموش روشن شدن سیستم با استفاده از پایین و بالا شدن فشار مکش کمپرسور انجام می‌گیرد. در این حالت با قطع ترموستات شیر برقی بعد از رسیور مسیر را می‌بندد و گاز در رسیور جمع می‌شود و باعث پایین آمدن فشار در کمپرسور و خاموش شدن آن می‌شود و با باز شدن شیربرقی مبرد به کمپرسور رفته فشار مکش بالا رفته و کمپرسور روشن می‌شود.




شکل ۲ــ۷ــ چگونگی قرارگیری رسیور در دستگاه سردکننده

**کار در کلاس**

طریقه جمع‌آوری مبرد در رسیور را با طرح مدار برقی بنویسید.

**پرسش و پاسخ** :۱ــ انواع رسیور را نام ببرید. افقی و عمودی

۲ــ محل نصب رسیور کجاست؟ بعد از کندانسر

۳ــ سیستم‌های برودتی با کندانسر آبی چرا رسیور ندارند؟ پایین پوسته کندانسر به جای رسیور عمل می‌کند.

**تحقیق**

حجم رسیور چه نسبتی با حجم مبرد داخل سیستم تبرید دارد؟

## ۳ــ۷ــ فیلتر درایر

**پیش آزمون**

اگر داخل سیستم تبرید مواد زائدی به‌همراه ماده مبرد به‌داخل سیستم برود چه اتفاقی ممکن است بیفتد؟

**روش آموزش**

لازم است در خصوص گرفتگی سیستم تبرید مخصوصاً در سیستم‌های کوچک و در محل لوله مویی توضیحاتی داده شود. همچنین مضرّات رطوبت برای مواد مبرد گفته شده سپس فیلتر درایرهای ثابت و هسته قابل تعویض توضیح داده شود.

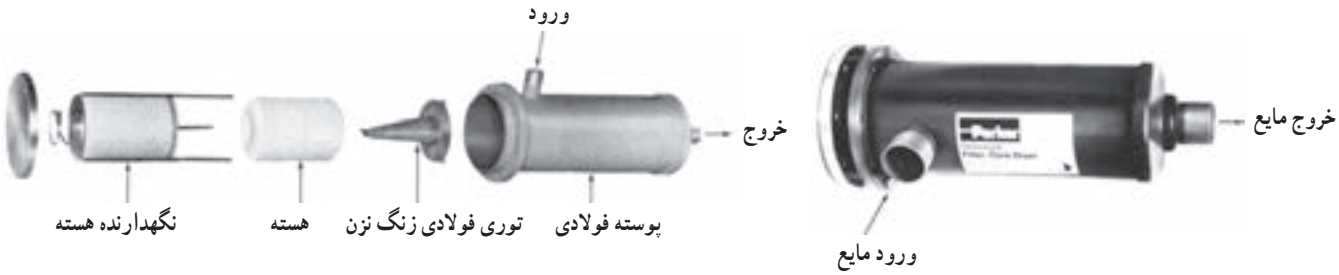
**دانش افزایی**

شکل ۳ــ۷ فیلتردرایرهای قابل استفاده در سیستم‌های تبرید کوچک را نشان می‌دهد.

در داخل این فیلتر درایرها مقداری آلومینای احیا شده یا سلیکاژل وجود دارد که نوعی جاذب رطوبت هستند و چنانچه ماده مبرد رطوبتی به‌همراه داشته باشد توسط این مواد جذب شده و به‌دام می‌افتند به‌همین دلیل به‌آن درایر (خشک کننده یا رطوبت‌گیر)

می‌گویند. همچنین در قسمت خروجی آنها یک توری فلزی وجود دارد که مواد زائد احتمالی عبوری از سیستم را می‌گیرد به‌همین دلیل به آن فیلتر هم گفته می‌شود و محل نصب آن بعد از کندانسر می‌باشد. چنانچه سیستمی رسیور داشته باشد محل نصب فیلتر درایر بعد از رسیور می‌باشد.

شکل ۳ــ۷ــ فیلتر درایر قابل استفاده در سیستم‌های تبرید کوچک




ب) اجزای فیلتر درایر

الف) با هسته قابل تعویض

شکل ۴ــ۷ــ فیلتر درایر

در سیستم‌های کوچک که از فیلتر درایرهای کوچک استفاده می‌شود لوله مویی به‌خروجی فیلتر درایر وصل می‌شود. بعضی از فیلتر درایرها علاوه بر لوله ورودی یک لوله اضافی هم دارند که در صورت لزوم استفاده از شارژ ماده مبرد به‌صورت مایع از آن استفاده می‌کنند در سیستم‌های بزرگ‌تر از فیلتر درایرهایی استفاده می‌شود که هسته آنها قابل تعویض است. (شکل ۴ــ۷)

در این فیلتر درایرها در ابتدای فصل راه‌اندازی ماده مبرد را در رسیور یا کندانسر جمع‌آوری کرده هسته فیلتر درایر را عوض کرده سپس ماده مبرد را به سیستم برمی‌گردانند.

### کار در کلاس

فیلتر درایرها را با توجه به شکل‌های ۶ــ۷ تا ۸ــ۷ بررسی کرده اجزای داخلی آنها را به ترتیب طبقه‌بندی کرده و بنویسید.

### پرسش و پاسخ

۱ــ علّت گفتن درایر در نام‌گذاری فیلتر درایر چیست؟

**جواب :** موادی به اسم آلومینای احیا شده یا سلیکاژل در داخل فیلتر درایر است که کارش به دام انداختن رطوبت‌های احتمالی می‌باشد به این دلیل به آن درایر هم می‌گویند.

۲ــ لوله اضافی که روی بعضی از فیلتر درایرهای یخچال‌های خانگی وجود دارد برای چیست؟ برای شارژ ماده مبرد به‌صورت مایع.

**تحقیق**

چنانچه سلیکاژل داخل فیلتر درایری از رطوبت اشباع شده باشد و آن را عوض نکنیم چه اتفاقی می‌افتد؟

## ۴ــ۷ــ مبدل گرمایی

### پیش آزمون

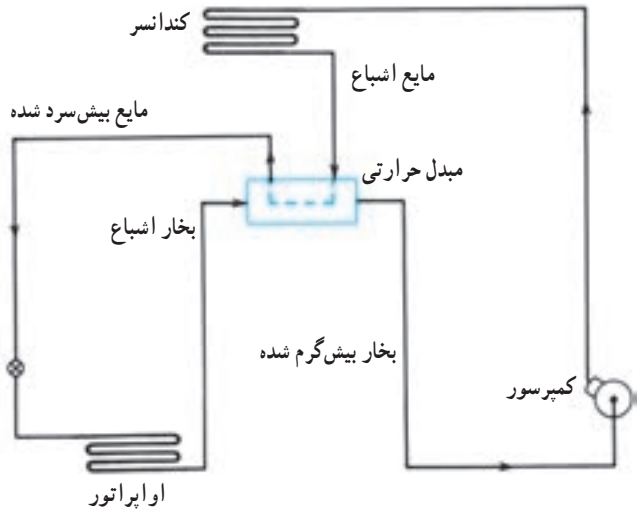
چکار کنیم تا در یک سیستم تبرید راندمان بیشتری داشته باشیم؟

### روش آموزش

در خصوص سوپرهیت و ساب‌کولد توضیح داده شود. همچنین چنانچه مبردی قبل از ورود به اواپراتور مایعی گرم یا سرد باشد چه تأثیری در میزان تبخیر و تولید سرما در اواپراتور دارد را برای هنرجویان توضیح دهید.

### دانش‌افزایی

ماده مبرد در خروجی از کندانسر و قبل از ورود به اواپراتور هرچه سردتر باشد وقتی که به اواپراتور می‌رود چون کاملاً مایع خواهد بود و گازی همراه نخواهد داشت گرمای بیشتری از محیط اواپراتور برای تبخیر می‌گیرد در نتیجه سرمای بیشتری تولید می‌شود. از طرفی ماده مبرد در هنگام برگشت به کمپرسور بایستی به‌حالت سوپرهیت باشد تا هیچ مایعی همراه آن نباشد. برای رسیدن به هر دو منظور از دستگاهی به اسم مبدل گرمایی استفاده می‌کنند. در این دستگاه لوله خروجی از کندانسر را قبل از اواپراتور و لوله مکش را قبل از کمپرسور طوری کنار هم قرار می‌دهند که مایع قبل از ورود به اواپراتور گرمایش را به لوله مکش بدهد در نتیجه هم مبرد قبل از ورود به اواپراتور بیش‌سرد می‌شود و از طرف دیگر مبرد برگشتی قبل از ورود به کمپرسور بیش‌گرم می‌شود. (شکل ۵ــ۷ را ببینید)




شکل ۵ــ۷ــ مبدل گرمایی جهت بیش‌سرد کردن مبرد در خط مایع و بیش‌گرم شدن بخار مبرد در خط مکش

**کار در کلاس**

سیکل تبرید را رسم کرده و محل مبدل گرمایی را در آن مشخص کرده و قسمت‌های سیکل را نام‌گذاری کنید.

**پرسش و پاسخ**

۱ــ مبدل گرمایی چه تأثیری در ظرفیت برودتی سیستم تبرید دارد؟

**پاسخ :** باعث بالارفتن ظرفیت برودتی سیستم تبرید می‌شود.

۲ــ در یخچال خانگی مبدل گرمایی کجاست؟ در یخچال خانگی لوله مویین را به دور لوله برگشت از اواپراتور می‌پیچانند یا در مجاورت آن و چسبیده به لوله برگشت اواپراتور و یا گاهی لوله مویین را از داخل لوله برگشت اواپراتور عبور می‌دهند تا تبادل گرمایی در لوله‌های قبل و بعد از اواپراتور صورت بگیرد.

**تحقیق**

اگر مبدل گرمایی بین لوله رانش قبل از کندانسر و لوله برگشت اواپراتور نصب شود چه تأثیری در ظرفیت برودتی دارد؟

## ۵ــ۷ــ شیرهای سرویس رانش و مکش کمپرسور

**پیش آزمون**

۱ــ چگونه می‌شود کمپرسوری را جهت تعمیر از یک سیکل تبرید باز کرد به‌طوری که مبرد آن را تخلیه نکنیم؟

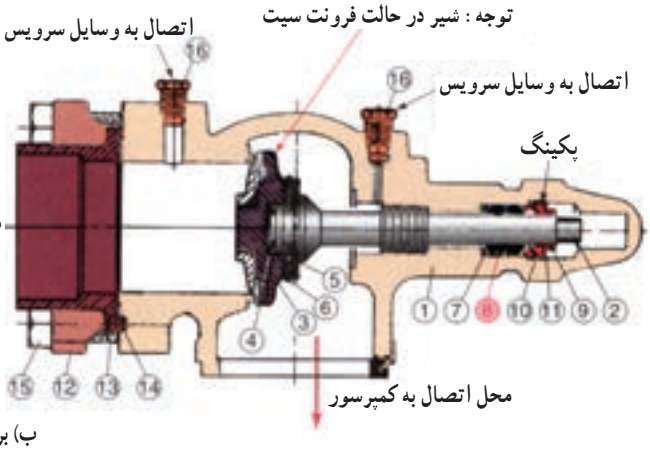
**روش آموزش**

در خصوص سرویس سیستم شامل وکیوم کردن، تست فشار و شارژ گاز و همچنین تعمیر قسمت‌های سیستم طوری توضیح داده شود که نیاز به شیر سرویس احساس شود سپس شیرهای سرویس رانش و مکش و تفاوت‌های آنها توضیح داده شود.

**دانش‌افزایی**

**۱ــ شیر سرویس مکش :** شیر سرویش مکش روی کمپرسور نصب می‌شود. یک راه به کمپرسور، یک راه به لوله مکش و یک راه به مجرای سرویس دارد. طوری نصب می‌شود که اگر شیر را کاملاً ببندیم و با بازکردن فلنج آنرا از کمپرسور جدا کنیم شیر روی لوله مکش باقی می‌ماند و می‌تواند مانع از خروج مبرد به بیرون شود. ساختار شیر سرویس مکش طوری است که اگر شیر را در جهت عقربه‌های ساعت کاملاً سفت کنیم مسیر لوله برگشت اواپراتور به کمپرسور کاملاً بسته شده و مسیر کمپرسور به مجرای سرویس کاملاً باز می‌شود. اگر شیر سرویس را در جهت خلاف عقربه های ساعت بچرخانیم و کاملاً باز شود مسیر کمپرسور به اواپراتور کاملاً باز و ارتباط کمپرسور مجرای سرویس کاملاً بسته می‌شود. اگر شیر را نیمه باز کنیم مسیر کمپرسور به اواپراتور و به محل سرویس هر سه باز می‌شود.

الف) شیر سرویس




ب) برش خورده شیر سرویس

۱ــ بدنه
۲ــ ساقه
۳ــ دیسک
۴ــ فنر دیسک
۵ــ پین دیسک
۶ــ حلقه نگهدارنده
۷ــ واشر آب‌بندی
۸ــ پکینگ (وسایل آب‌بندی)
۹ــ گلند پکینگ
۱۰ــ درپوش
۱۱ــ واشر درپوش
۱۲ــ فلنج
۱۳ــ آداپتور
۱۴ــ واشر
۱۵ــ پیچ
۱۶ــ درپوش لوله

شکل ۶ــ۷

**۲ــ شیر سرویس رانش** : شیر سرویس رانش سمت رانش کمپرسور بسته می‌شود. طوری تعبیه شده که اگر فلنج شیر را باز کنیم شیر روی لوله رانش می‌ماند و اگر شیر کاملاً بسته باشد مانع خروج مبرد به بیرون می‌شود. چنانچه شیر را در جهت عقربه‌های ساعت کاملاً ببندیم مسیر لوله رانش از سمت کندانسر کاملاً بسته و کمپرسور به بیرون راه پیدا می‌کند. اگر دسته شیر را در جهت خلاف عقربه‌های ساعت کاملاً باز کنیم کمپرسور به خط رانش باز شده و مسیر داخل سیستم با مجرای سرویس کاملاً بسته می‌شود. اگر دسته شیر را نیمه باز کنیم کمپرسور به کندانسور و مجرای سرویس راه پیدا می‌کند.

### کار در کلاس

شکل ۶ــ۷ را بررسی کرده و قسمت‌های شماره‌گذاری آن را نام برده چند بار تکرار کنید تا خوب یاد بگیرید.

### پرسش و پاسخ

۱ــ محل نصب شیر سرویس مکش کجاست؟ روی برگشت کمپرسور
۲ــ محل نصب شیر سرویس رانش کجاست؟ روی رانش (خروجی)کمپرسور
۳ــ وقتی شیر سرویس مکش در حالت frontseat باشد چه مسیری از سیستم باز یا بسته است؟ اواپراتور به کمپرسور بسته می‌شود. ارتباط کمپرسور با مجرای سرویس باز می‌شود.
۴ــ وقتی شیر سرویس کاملاً backseat باشد چه مسیری در سیستم باز یا بسته است؟ مسیر داخل و خارج سیستم بسته و اواپراتور به کمپرسور باز است.

### تحقیق

شیرهای سرویس رانش و مکش از نظر قطر شیر چه تفاوتی با هم دارند و چرا؟