# فصل دوم

## سیکل تبرید

**هدف‌های رفتاری:** پس از پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

۱ــ تبرید را توضیح دهد.

۲ــ تعیین ظرفیت دستگاه‌های تبرید را بیان نماید.

۳ــ فرآیند تبرید را شرح دهد.

۴ــ رابطه فشار و دمای جوش را بیان کند.

۵ــ رابطه فشار و دمای جوش را برای مبردهای مختلف شرح دهد.

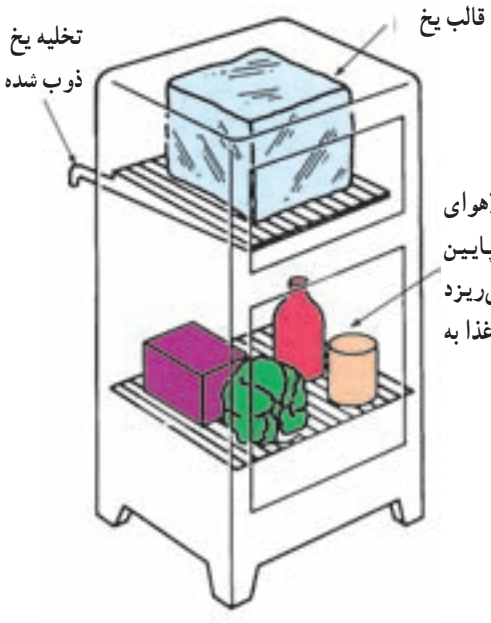
۶ــ سیکل تبرید را توضیح دهد.

۷ــ تغییرات دما و فشار را در سیکل تبرید توضیح دهد.

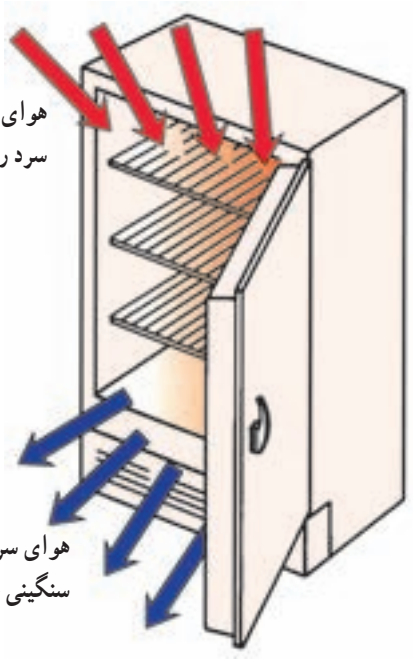
### ۲ــ سیکل تبرید

نگهداری مواد غذایی یکی از کاربردهای مهم صنعت تبرید است. سرعت فاسد شدن مواد غذایی با کند شدن حرکت مولکولی کم می‌شود زیرا کند شدن حرکت مولکولی رشد باکتری فاسدکننده‌ی موادغذایی را کم می‌کند. در زیر نقطه انجماد رشد باکتری‌های فاسدکننده‌ی غذا متوقف می‌شود. نقطه انجماد اغلب غذاها پایین‌تر از $-18^{\circ}C$ است.

در گذشته محصولات لبنی و سایر محصولات فاسد شدنی در سردترین اتاق منزل، سرداب (زیرزمین)، چاه یا چشمه نگهداری می‌شد. همچنین از جعبه‌های دارای یخ نیز برای نگهداری مواد غذایی استفاده می‌شد. یخ در هنگام ذوب شدن گرمای موادغذایی را جذب می‌کند و آن‌ها را سرد کرده خنک نگه می‌دارد. در اوایل قرن بیستم میلادی تولید یخ توسط دستگاه‌های سردکننده مکانیکی آغاز شد و در جعبه‌هایی برای فروش عرضه شد معذالک همه مردم نمی‌توانستند نسبت به خرید آن اقدام نمایند. در همین سال‌ها بعضی کارخانه‌ها و سازندگان، یخچال خانگی را تولید کردند که مورد استقبال قرار گرفت و امروزه کمتر خانه‌ای است که حداقل دارای یک یخچال فریزر نباشد. از تحول تبرید و سردسازی امروزه در تأمین آسایش خانگی و تجاری و همچنین تهویه مطبوع اتوموبیل‌ها استفاده می‌شود.




**شکل ۱ــ۲ــ جعبه‌های یخ ابتدا از چوب سپس از فلز ساخته شده با چوب‌پنبه عایق‌کاری می‌شد. اگر قسمت سرد شونده با قالب یخ در یک محفظه قرار می‌گرفت یک یخچال ساخته می‌شد.**




**شکل ۲ــ۲ــ هوای سرد داخل یخچال به علت سنگینی بیرون می‌آید و هوای گرم جای آن را می‌گیرد.**

## ۱ــ۲ــ تبرید (سردسازی)

تبرید عبارت است از گرفتن گرما از محلی که می‌خواهیم خنک کنیم و انتقال آن به محیطی بزرگ‌تر که تغییر محسوسی در دمای آن ایجاد نمی‌شود.

در یک آشپزخانه معمولی دما تابستان تا زمستان به‌طور معمول از $18^{\circ}C$ تا $32^{\circ}C$ است. دمای داخل یخچال در قسمت غذاهای تازه حدود $2^{\circ}C$ است. گرما به‌طور طبیعی از جای گرم به جای سرد جریان می‌یابد. بنابراین گرمای اتاق حتی از طریق جدارهای عایق شده یخچال به داخل یخچال انتقال می‌یابد. وقتی در یخچال باز می‌شود و غذای گرم در آن قرار می‌گیرد هم گرمای غذا و هم جابه‌جایی هوای گرم اتاق با هوای سرد یخچال باعث می‌شود که به گرمای داخل یخچال اضافه شود که گرمای اضافه شده باید خارج شوند تا از بالا رفتن دمای داخل یخچال جلوگیری گردد (شکل‌های ۲ــ۲ تا ۴ــ۲).

**شکل ۳ــ۲ــ گرما از میان دیواره به داخل محفظه یخچال از طریق هدایت انتقال می‌یابد. دیواره‌ها دارای عایق هستند ولی نمی‌توانند به‌طور کامل از نفوذ گرما جلوگیری کنند.**

شکل ۴ــ۲ــ غذای برداشته شده از اتاق یا اجاق، به یخچال گرما اضافه می‌کند به منزله نفوذ گرما تلقی می‌شود. این گرمای اضافه شده باید گرفته شود والاّ دمای داخل بالا خواهد رفت.

## ۲ــ۲ــ تعیین ظرفیت دستگاه‌های تبرید

دستگاه‌های سردکننده باید دارای یک سیستم تعیین ظرفیت باشند تا امکان مقایسه آن‌ها وجود داشته باشد. برای اندازه‌گیری قدرت سرمایی در دستگاه‌های سردکننده کوچک از وات و در دستگاه‌های بزرگ‌تر از کیلووات استفاده می‌شود.

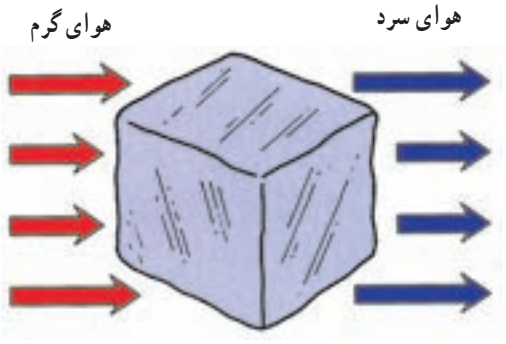
برای ارزیابی قدرت دستگاه‌های سردکننده واحد دیگری وجود دارد و به زمانی برمی‌گردد که از یخ برای سرد کردن استفاده می‌کردند. در این روش قدرت سرمایی دستگاه‌های کوچک را به بی‌تی‌یو در ساعت و قدرت سرمایی دستگاه بزرگ‌تر را به تن سرمایی می‌سنجند. یک تن سرمایی معادل سرمایی که یک تن یخ در اثر ذوب شدن در ۲۴ ساعت تولید می‌کند و معادل ۱۲۰۰۰ بی‌تی‌یو در ساعت است.

$$1\,\text{ton} = 12000\,\frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$1\,\text{ton} = 3000\,\frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

$$1\,\text{ton} = 3480\,\text{W} \neq 3500\,\text{W}$$

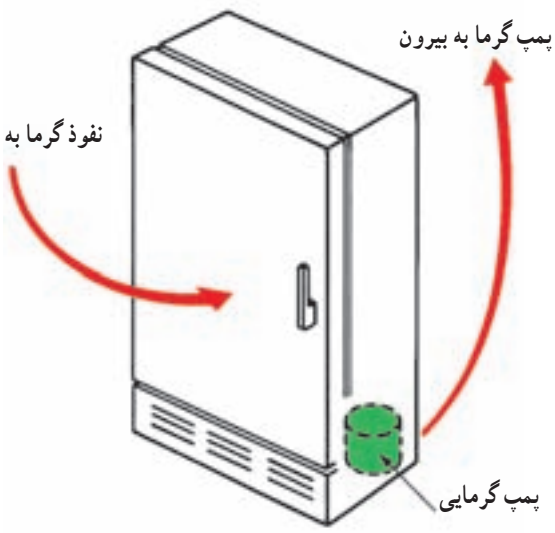
$$1\,\text{ton} \neq 3/5\,\text{kW}$$




شکل ۵ــ۲ــ تن سرمایی سرمای ایجاد شده توسط یک تن یخ در ۲۴ ساعت است.

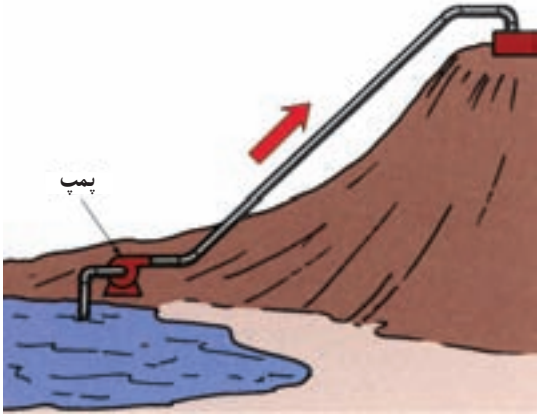
## ۳ــ۲ــ فرایند تبرید

یخچال باید گرما را از سطح دمایی $-18^{\circ}C$ تا $2^{\circ}C$ محفظه داخل یخچال به سطح دمایی $32^{\circ}C$ تا $18^{\circ}C$ داخل اتاق پمپ نماید. قطعات تشکیل‌دهنده یخچال با همراهی همدیگر این وظیفه را انجام می‌دهند (شکل ۶ــ۲). نفوذ گرما به داخل یخچال دمای آن را بالا می‌برد ولی فرصت بالا رفتن دمای مواد غذایی داخل یخچال پیش نمی‌آید زیرا بالا رفتن دمای مواد غذایی باعث فساد آن‌ها می‌شود. بنابراین وقتی دمای هوای داخل یخچال به حد معینی بالا رود سیستم سردکننده‌ی یخچال شروع به‌کار می‌کند و گرما را از یخچال خارج می‌کند.




شکل ۶ــ۲ــ گرما نفوذی به یخچال باید از آن خارج شود.

فرآیند پمپ گرما از یخچال را با فرآیند پمپ آب از درّه به بالای تپه می‌توان مقایسه کرد. پمپ از یک موتور الکتریکی به‌عنوان انرژی کار استفاده می‌کند (شکل ۷ــ۲).




**شکل ۷ــ۲ــ پمپ گرما از داخل یخچال ۲°C به خارج با دمای ۲۴°C همانند پمپ آب از پایین تا بالای تپه است.**

تبرید فرآیندی است که طی آن گرما از محیط با دمای پایین‌تر به محیط با دمای بالاتر حرکت می‌کند بنابراین نیاز به انرژی دارد.

برای بیان اصول تبرید به طرز کار دستگاه تهویه مطبوع پنجره‌ای (کولر گازی) می‌پردازیم. مفهوم تبرید در کولر گازی و یخچال خانگی یکی است. دستگاه کولر گازی گرما را از داخل ساختمان به بیرون ساختمان پمپ می‌کند و یخچال خانگی گرما را از داخل یخچال به داخل آشپزخانه پمپ می‌کند.

شکل ۸ــ۲ نشان می‌دهد که گرمای ساختمان از طریق کویل داخلی به سیستم تبرید انتقال یافته و سپس از طریق کویل بیرونی از سیستم تبرید به هوای بیرون منتقل می‌شود. کولر گازی گرمای داخل ساختمان را به بیرون پمپ می‌کند. شرایط کار دستگاه به شرح زیر است :

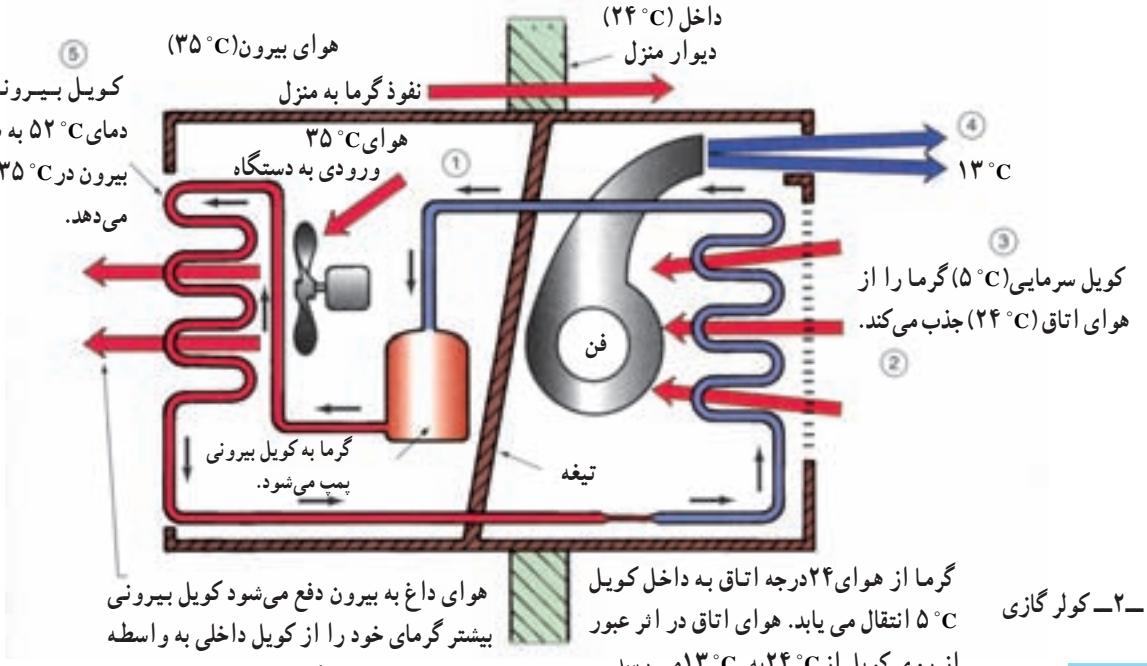
۱ــ دمای طرح هوای بیرون ۳۵°C

۲ــ دمای طرح داخل ۲۳°C

۳ــ دمای کویل سردکننده ۵°C. این کویل گرما را از اتاق به سیستم تبرید انتقال می‌دهد. لازم به یادآوری است با توجه به این‌که دمای اتاق ۲۳°C و دمای کویل ۵°C است انجام انتقال گرما قطعی است.

۴ــ این انتقال گرما هوای خروجی از کویل و ورودی به فن و خروجی از فن را به ۱۳°C می‌رساند.

۵ــ دمای کویل بیرونی حدود ۵۲°C است. این کویل گرمای سیستم را به هوای بیرون منتقل می‌کند. دمای کویل ۵۲°C و دمای هوای بیرون ۳۵°C است بنابراین انجام انتقال گرما از دستگاه سردکننده به هوای بیرون نیز قطعی است.




**شکل ۸ــ۲ــ کولر گازی**

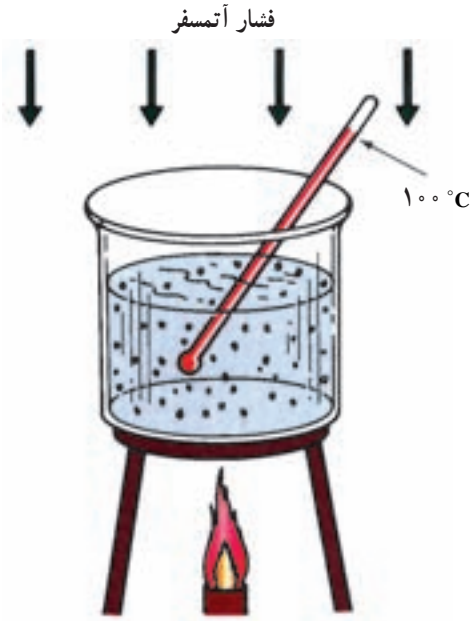
## ۴ــ۲ــ رابطه فشار و دمای جوش

آب خالص در کنار دریا در دمای ۱۰۰ °C می‌جوشد. دمای جوش آب در ارتفاعات کمتر از ۱۰۰ °C است. نقطه‌جوش آب با تغییر فشار روی آن تغییر می‌کند. وقتی می‌گوییم آب در کنار دریا در دمای ۱۰۰ °C می‌جوشد به معنای آن است که در کنار دریا فشار یک آتمسفر یا ۷۶۰ میلی‌متر جیوه روی سطح آن اعمال می‌شود جدول ۱ــ۲ رابطه فشار و دما را نشان می‌دهد.

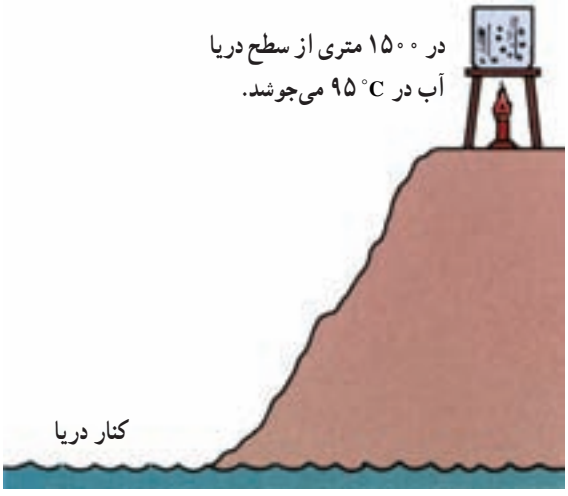
**جدول ۱ــ۲ــ جدول رابطه فشار و دمای جوش برای آب**

| $t_{sat}$ (°C) | $p_{sat}$ (mm Hg) | $t_{sat}$ (°C) | $p_{sat}$ (mm Hg) |
|---|---|---|---|
| – 5 | 3.011 | 35 | 42.18 |
| – 4 | 3.278 | 36 | 44.56 |
| – 3 | 3.567 | 37 | 47.07 |
| – 2 | 3.380 | 38 | 49.69 |
| – 1 | 4.217 | 39 | 52.44 |
| 0 | 4.579 | 40 | 55.32 |
| 41 | 58.34 | 71 | 243.9 |
| 42 | 61.50 | 72 | 254.6 |
| 43 | 64.80 | 73 | 265.7 |
| 44 | 68.26 | 74 | 277.2 |
| 45 | 71.88 | 75 | 289.1 |
| 46 | 75.65 | 76 | 301.4 |
| 47 | 79.60 | 77 | 314.1 |
| 48 | 83.71 | 78 | 327.3 |
| 49 | 88.02 | 79 | 341.0 |
| 50 | 92.51 | 80 | 355.1 |
| 51 | 97.20 | 81 | 396.7 |
| 52 | 102.1 | 82 | 384.9 |
| 53 | 107.2 | 83 | 400.6 |
| 54 | 112.5 | 84 | 416.8 |
| 55 | 118.0 | 85 | 433.6 |
| 56 | 123.8 | 86 | 450.9 |
| 57 | 129.8 | 87 | 468.7 |
| 58 | 136.1 | 88 | 487.1 |
| 59 | 142.6 | 89 | 506.1 |
| 60 | 149.4 | 90 | 525.8 |
| 61 | 156.4 | 91 | 546.1 |
| 62 | 163.8 | 92 | 567.0 |
| 63 | 171.4 | 93 | 588.6 |
| 64 | 179.3 | 94 | 610.9 |
| 65 | 187.5 | 95 | 633.9 |
| 66 | 196.1 | 96 | 657.6 |
| 67 | 205.0 | 97 | 682.1 |
| 68 | 214.2 | 98 | 707.3 |
| 70 | 233.7 | 100 | 760.0 |

شکل ۹ــ۲ ظرف آبی را نشان می‌دهد که در کنار دریا در دمای ۱۰۰ °C می‌جوشد اگر این ظرف به قله کوهی برده شود نقطه جوش تغییر می‌کند (شکل ۱۰ــ۲). علت آن رقیق‌تر شدن آتمسفر (جوّ) و کم شدن فشار است.




شکل ۹ــ۲ــ آب در کنار دریا در ۱۰۰ °C می‌جوشد.

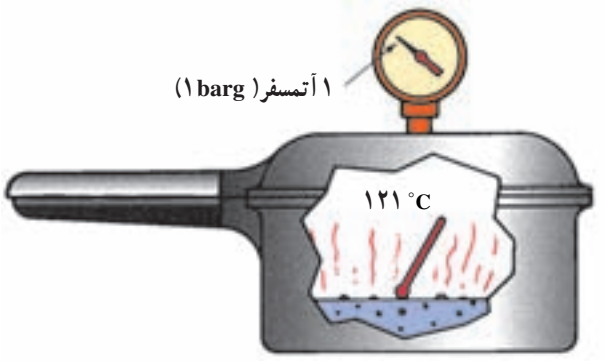



شکل ۱۰ــ۲ــ آب در فشار ۶۳۳/۹ میلی‌متر جیوه در دمای ۹۵ °C می‌جوشد.

این امر باعث می‌شود که پختن غذاهایی نظیر سیب‌زمینی، لوبیا به علت نیاز به زمان بیشتر سخت‌تر شود یا تخم‌مرغ در چنین ارتفاعی درحالت آب‌پز سفت نشود.

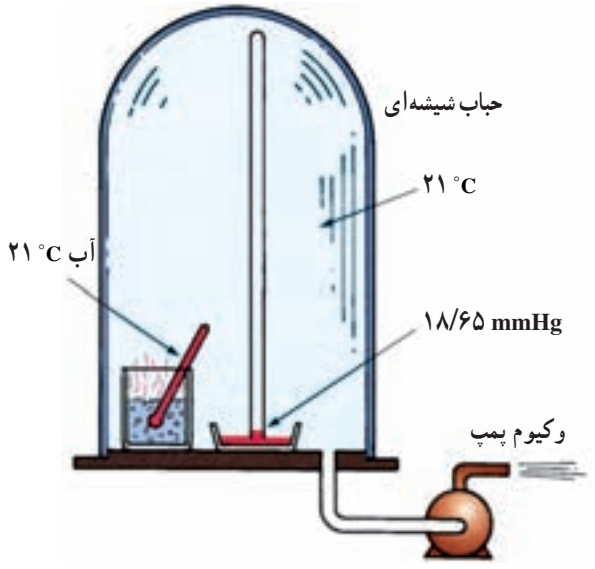
با قرار دادن غذا در یک ظرف بسته‌ای که می‌تواند افزایش فشار پیدا کند نظیر دیگ زودپز فشار را حدود یک آتمسفر افزایش می‌دهیم تا فشار مطلق ۲ آتمسفر شود. در این حالت دمای جوش آب به ۱۲۱ افزایش می‌یابد (شکل ۱۱ــ۲).

مطالعه جدول رابطه فشار / دما معلوم می‌نماید که وقتی فشار افزایش پیدا کند، نقطه جوش نیز افزایش می‌نماید و هرگاه فشار کاهش یابد نقطه جوش نیز پایین‌تر می‌آید.




شکل ۱۱ــ۲ــ آب در فشار ۲ آتمسفر در دمای ۱۲۱ °C می‌جوشد.

مطابق شکل ۱۲ــ۲ چنان‌چه یک ظرف آب خالص با دماسنج و یک بارومتر در داخل یک حباب شیشه‌ای قرار گیرد و وکیوم پمپ روشن شود (فرض کنید دمای آب و دمای اتاق ۲۱ °C باشد) وقتی فشار حباب شیشه‌ای به فشار مربوط به



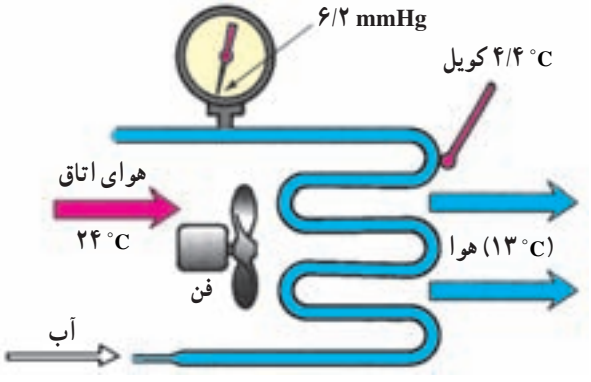

شکل ۱۲ــ۲ــ وقتی فشار داخل ظرف شیشه‌ای به ۱۸/۶۵ میلی‌متر جیوه برسد آب در دمای اتاق (۲۱ °C) می‌جوشد.

نقطه‌ی جوش یعنی ۲۱ °C برسد آب شروع به جوشیدن و بخار شدن می‌نماید. فشار در این حالت ۱۸/۶۵ میلی‌متر جیوه است.

اگر فشار داخل ظرف شیشه‌ای تا فشار معادل دمای ۴/۴ °C یعنی ۶/۲ میلی‌متر جیوه پایین ببریم آب در ۴/۴ °C خواهد جوشید. آب درحال جوشیدن است درحالی که دماسنج دمای ۴/۴ °C را نشان می‌دهد.

حال مطابق شکل ۱۳ــ۲ این آب با دمای ۴/۴ °C را از داخل کویل سرمایی عبور می‌دهیم تا برای سرد کردن هوای اتاق استفاده شود زیرا اگر توسط یک بادزن هوای اتاق از روی کویل عبور داده شود. سرمای کویل را جذب نموده و سرد خواهد شد.

اگر آب بدین‌طریق برای سرد کردن مورد استفاده قرار گیرد ماده مبرد یا ماده سرمازا نامیده می‌شود.




**شکل ۱۳ــ۲ــ فشار ۶/۲mmHg است و آب در ۴/۴ °C می‌جوشد. هوای عبوری از روی کویل دارای دمای ۲۴ °C و هوای خروجی ۱۳ °C است.**

**یک مبرد ماده‌ای است که با جوشاندن به‌آسانی به بخار و با تقطیر به مایع تبدیل شود.** یک مبرد باید توانایی این تغییرات را به‌طور مکرر داشته باشد و خواص آن تغییر ننماید. آب ماده‌ای است که به‌طور معمول از آن به‌عنوان مبرد در موارد و دستگاه‌های کوچک استفاده نمی‌شود. علت طرح آب به‌عنوان مثال آشنایی با خواص و ویژگی‌های آن می‌باشد.

برای تشریح چگونگی کار یک سیستم سردکننده، از ماده سرمازای R ــ۲۲ در مثال زیر استفاده می‌کنیم زیرا این ماده در کولر گازی استفاده می‌شود.

جدول ۲ــ۲ــ رابطه فشار و دما برای مبردهای مختلف

| °C | °F | REFRIGERANT | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 12 | | 22 | | 134a | | 410A | | 502 | | 507 | |
| | | psig | barg | psig | barg | psig | barg | psig | barg | psig | barg | psig | barg |
| -50 | -58.0 | *18.4* | *467* | *10.9* | *276* | *21.1* | *536* | 0.4 | 0.03 | *5.9* | *149* | *4.5* | *114* |
| -48 | -54.4 | *17.1* | *435* | *8.8* | *224* | *20.0* | *509* | 2.1 | 0.14 | *3.4* | *87* | *1.8* | *46* |
| -46 | -50.8 | *15.8* | *400* | *6.6* | *168* | *18.9* | *479* | 3.9 | 0.27 | *0.8* | *20* | 0.5 | 0.04 |
| -44 | -47.2 | *14.3* | *363* | *4.2* | *107* | *17.6* | *447* | 5.8 | 0.40 | 1.0 | 0.07 | 2.1 | 0.14 |
| -42 | -43.6 | *12.7* | *323* | *1.6* | *42* | *16.2* | *411* | 7.9 | 0.54 | 2.5 | 0.17 | 3.7 | 0.26 |
| -40 | -40.0 | *11.0* | *279* | 0.6 | 0.04 | *14.7* | *373* | 10.1 | 0.70 | 4.1 | 0.28 | 5.5 | 0.38 |
| -38 | -36.4 | *9.1* | *232* | 2.0 | 0.14 | *13.0* | *331* | 12.5 | 0.86 | 5.8 | 0.40 | 7.4 | 0.51 |
| -36 | -32.8 | *7.2* | *182* | 3.6 | 0.25 | *11.2* | *285* | 15.1 | 1.04 | 7.7 | 0.53 | 9.4 | 0.65 |
| -34 | -29.2 | *5.0* | *128* | 5.3 | 0.37 | *9.3* | *236* | 17.9 | 1.23 | 9.7 | 0.67 | 11.6 | 0.80 |
| -32 | -25.6 | *2.7* | *70* | 7.1 | 0.49 | *7.2* | *182* | 20.8 | 1.44 | 11.8 | 0.81 | 13.9 | 0.96 |
| -30 | -22.0 | *0.3* | *7.6* | 9.1 | 0.63 | *4.9* | *124* | 24.0 | 1.66 | 14.0 | 0.97 | 16.4 | 1.13 |
| -28 | -18.4 | 1.1 | 0.08 | 11.1 | 0.77 | *2.4* | *62* | 27.4 | 1.89 | 16.4 | 1.13 | 19.0 | 1.31 |
| -26 | -14.8 | 2.5 | 0.17 | 13.4 | 0.92 | 0.1 | 0.01 | 31.0 | 2.14 | 18.9 | 1.31 | 21.8 | 1.51 |
| -24 | -11.2 | 4.0 | 0.27 | 15.7 | 1.08 | 1.5 | 0.10 | 34.8 | 2.40 | 21.6 | 1.49 | 24.8 | 1.71 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -22 | -7.6 | 5.5 | 0.38 | 18.2 | 1.26 | 3.0 | 0.21 | 38.8 | 2.68 | 24.5 | 1.69 | 28.0 | 1.93 |
| -20 | -4.0 | 7.2 | 0.49 | 20.9 | 1.44 | 4.6 | 0.32 | 43.1 | 2.97 | 27.5 | 1.90 | 31.3 | 2.16 |
| -19 | -2.2 | 8.0 | 0.55 | 22.3 | 1.54 | 5.4 | 0.37 | 45.4 | 3.13 | 29.1 | 2.01 | 33.0 | 2.28 |
| -18 | -0.4 | 8.9 | 0.62 | 23.7 | 1.63 | 6.3 | 0.44 | 47.7 | 3.29 | 30.7 | 2.12 | 34.8 | 2.40 |
| -17 | 1.4 | 9.8 | 0.68 | 25.2 | 1.74 | 7.2 | 0.50 | 50.1 | 3.45 | 32.4 | 2.23 | 36.7 | 2.53 |
| -16 | 3.2 | 10.8 | 0.74 | 26.7 | 1.84 | 8.1 | 0.56 | 52.5 | 3.62 | 34.1 | 2.35 | 38.5 | 2.66 |
| -15 | 5.0 | 11.8 | 0.81 | 28.3 | 1.95 | 9.1 | 0.63 | 55.0 | 3.79 | 35.9 | 2.47 | 40.5 | 2.79 |
| -14 | 6.8 | 12.8 | 0.88 | 29.9 | 2.06 | 10.1 | 0.70 | 57.6 | 3.97 | 37.7 | 2.60 | 42.5 | 2.93 |
| -13 | 8.6 | 13.8 | 0.95 | 31.5 | 2.17 | 11.1 | 0.77 | 60.2 | 4.15 | 39.5 | 2.73 | 44.5 | 3.07 |
| -12 | 10.4 | 14.8 | 1.02 | 33.2 | 2.29 | 12.2 | 0.84 | 62.9 | 4.34 | 41.4 | 2.86 | 46.6 | 3.21 |
| -11 | 12.2 | 15.9 | 1.10 | 35.0 | 2.41 | 13.3 | 0.92 | 65.7 | 4.53 | 43.4 | 2.99 | 48.8 | 3.36 |
| -10 | 14.0 | 17.0 | 1.18 | 36.8 | 2.54 | 14.4 | 0.99 | 68.6 | 4.73 | 45.4 | 3.13 | 51.0 | 3.52 |
| -9 | 15.8 | 18.2 | 1.25 | 38.6 | 2.66 | 15.6 | 1.07 | 71.5 | 4.93 | 47.5 | 3.27 | 53.3 | 3.67 |
| -8 | 17.6 | 19.4 | 1.34 | 40.5 | 2.79 | 16.8 | 1.16 | 74.6 | 5.14 | 49.6 | 3.42 | 55.6 | 3.83 |
| -7 | 19.4 | 20.6 | 1.42 | 42.5 | 2.93 | 18.0 | 1.24 | 77.6 | 5.35 | 51.7 | 3.57 | 58.0 | 4.00 |
| -6 | 21.2 | 21.8 | 1.50 | 44.4 | 3.06 | 19.3 | 1.33 | 80.8 | 5.57 | 53.9 | 3.72 | 60.4 | 4.17 |
| -5 | 23.0 | 23.1 | 1.59 | 46.5 | 3.21 | 20.6 | 1.42 | 84.1 | 5.80 | 56.2 | 3.88 | 62.9 | 4.34 |
| -4 | 24.8 | 24.4 | 1.68 | 48.6 | 3.35 | 22.0 | 1.51 | 87.4 | 6.03 | 58.5 | 4.04 | 65.5 | 4.52 |
| -3 | 26.6 | 25.8 | 1.78 | 50.8 | 3.50 | 23.4 | 1.61 | 90.8 | 6.26 | 60.9 | 4.20 | 68.1 | 4.70 |
| -2 | 28.4 | 27.1 | 1.87 | 53.0 | 3.65 | 24.8 | 1.71 | 94.3 | 6.50 | 63.4 | 4.37 | 70.8 | 4.88 |
| -1 | 30.2 | 28.6 | 1.97 | 55.2 | 3.81 | 26.3 | 1.81 | 97.9 | 6.75 | 65.9 | 4.54 | 73.6 | 5.07 |
| 0 | 32.0 | 30.0 | 2.07 | 57.5 | 3.97 | 27.8 | 1.91 | 101.6 | 7.00 | 68.4 | 4.72 | 76.4 | 5.27 |
| 1 | 33.8 | 31.5 | 2.17 | 59.9 | 4.13 | 29.3 | 2.02 | 105.3 | 7.26 | 71.0 | 4.90 | 79.3 | 5.47 |
| 2 | 35.6 | 33.0 | 2.28 | 62.4 | 4.30 | 30.9 | 2.13 | 109.2 | 7.53 | 73.7 | 5.08 | 82.3 | 5.67 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 37.4 | 34.6 | 2.38 | 64.9 | 4.47 | 32.6 | 2.25 | 113.1 | 7.80 | 76.5 | 5.27 | 85.3 | 5.88 |
| 4 | 39.2 | 36.2 | 2.49 | 67.4 | 4.65 | 34.3 | 2.36 | 117.1 | 8.08 | 79.3 | 5.47 | 88.4 | 6.10 |
| 5 | 41.0 | 37.8 | 2.61 | 70.0 | 4.83 | 36.0 | 2.48 | 121.2 | 8.36 | 82.1 | 5.66 | 91.6 | 6.31 |
| 6 | 42.8 | 39.5 | 2.72 | 72.7 | 5.01 | 37.8 | 2.61 | 125.4 | 8.65 | 85.1 | 5.86 | 94.8 | 6.54 |
| 7 | 44.6 | 41.2 | 2.84 | 75.5 | 5.20 | 39.6 | 2.73 | 129.8 | 8.95 | 88.1 | 6.07 | 98.1 | 6.77 |
| 8 | 46.4 | 43.0 | 2.96 | 78.3 | 5.40 | 41.5 | 2.86 | 134.2 | 9.25 | 91.1 | 6.28 | 101.5 | 7.00 |
| 9 | 48.2 | 44.8 | 3.09 | 81.2 | 5.60 | 43.4 | 3.00 | 138.7 | 9.56 | 94.2 | 6.50 | 105.0 | 7.24 |
| 10 | 50.0 | 46.6 | 3.21 | 84.1 | 5.80 | 45.4 | 3.13 | 143.3 | 9.88 | 97.4 | 6.72 | 108.6 | 7.49 |
| 11 | 51.8 | 48.5 | 3.34 | 87.1 | 6.01 | 47.5 | 3.27 | 148.0 | 10.2 | 100.7 | 6.94 | 112.2 | 7.74 |
| 12 | 53.6 | 50.4 | 3.48 | 90.2 | 6.22 | 49.5 | 3.42 | 152.8 | 10.5 | 104.0 | 7.17 | 115.9 | 7.99 |
| 13 | 55.4 | 52.4 | 3.61 | 93.3 | 6.43 | 51.7 | 3.56 | 157.7 | 10.9 | 107.4 | 7.41 | 119.7 | 8.25 |
| 14 | 57.2 | 54.4 | 3.75 | 96.5 | 6.66 | 53.9 | 3.71 | 162.7 | 11.2 | 110.9 | 7.64 | 123.6 | 8.52 |
| 15 | 59.0 | 56.5 | 3.89 | 99.8 | 6.88 | 56.1 | 3.87 | 167.8 | 11.6 | 114.4 | 7.89 | 127.5 | 8.79 |
| 16 | 60.8 | 58.6 | 4.04 | 103.2 | 7.11 | 58.4 | 4.03 | 173.0 | 11.9 | 118.0 | 8.14 | 131.6 | 9.07 |
| 17 | 62.6 | 60.7 | 4.19 | 106.6 | 7.35 | 60.8 | 4.19 | 178.4 | 12.3 | 121.7 | 8.39 | 135.7 | 9.35 |
| 18 | 64.4 | 62.9 | 4.34 | 110.1 | 7.59 | 63.2 | 4.36 | 183.8 | 12.7 | 125.5 | 8.65 | 139.9 | 9.65 |
| 19 | 66.2 | 65.2 | 4.49 | 113.7 | 7.84 | 65.7 | 4.53 | 189.4 | 13.1 | 129.3 | 8.91 | 144.2 | 9.94 |
| 20 | 68.0 | 67.5 | 4.65 | 117.3 | 8.09 | 68.2 | 4.70 | 195.0 | 13.4 | 133.2 | 9.18 | 148.6 | 10.2 |
| 21 | 69.8 | 69.8 | 4.81 | 121.1 | 8.35 | 70.8 | 4.88 | 200.8 | 13.8 | 137.2 | 9.46 | 153.1 | 10.6 |
| 22 | 71.6 | 72.2 | 4.98 | 124.9 | 8.61 | 73.5 | 5.06 | 206.7 | 14.3 | 141.2 | 9.74 | 157.7 | 10.9 |
| 23 | 73.4 | 74.6 | 5.15 | 128.8 | 8.88 | 76.2 | 5.25 | 212.8 | 14.7 | 145.4 | 10.0 | 162.3 | 11.2 |
| 24 | 75.2 | 77.1 | 5.32 | 132.7 | 9.15 | 78.9 | 5.44 | 218.9 | 15.1 | 149.6 | 10.3 | 167.1 | 11.5 |
| 25 | 77.0 | 79.7 | 5.49 | 136.8 | 9.43 | 81.8 | 5.64 | 225.2 | 15.5 | 153.9 | 10.6 | 172.0 | 11.9 |
| 26 | 78.8 | 82.3 | 5.67 | 140.9 | 9.71 | 84.7 | 5.84 | 231.6 | 16.0 | 158.3 | 10.9 | 176.9 | 12.2 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27 | 80.6 | 84.9 | 5.85 | 145.1 | 10.0 | 87.7 | 6.04 | 238.1 | 16.4 | 162.7 | 11.2 | 182.0 | 12.5 |
| 28 | 82.4 | 87.6 | 6.04 | 149.4 | 10.3 | 90.7 | 6.25 | 244.8 | 16.9 | 167.3 | 11.5 | 187.2 | 12.9 |
| 29 | 84.2 | 90.4 | 6.23 | 153.8 | 10.6 | 93.8 | 6.47 | 251.5 | 17.3 | 171.9 | 11.9 | 192.5 | 13.3 |
| 30 | 86.0 | 93.2 | 6.42 | 158.2 | 10.9 | 97.0 | 6.69 | 258.5 | 17.8 | 176.6 | 12.2 | 197.8 | 13.6 |
| 31 | 87.8 | 96.0 | 6.62 | 162.8 | 11.2 | 100.2 | 6.91 | 265.5 | 18.3 | 181.4 | 12.5 | 203.3 | 14.0 |
| 32 | 89.6 | 98.9 | 6.82 | 167.4 | 11.5 | 103.6 | 7.14 | 272.7 | 18.8 | 186.3 | 12.8 | 208.9 | 14.4 |
| 33 | 91.4 | 101.9 | 7.03 | 172.1 | 11.9 | 106.9 | 7.37 | 280.0 | 19.3 | 191.2 | 13.2 | 214.6 | 14.8 |
| 34 | 93.2 | 104.9 | 7.24 | 177.0 | 12.2 | 110.4 | 7.61 | 287.5 | 19.8 | 196.3 | 13.5 | 220.5 | 15.2 |
| 35 | 95.0 | 108.0 | 7.45 | 181.9 | 12.5 | 113.9 | 7.85 | 295.0 | 20.3 | 201.4 | 13.9 | 226.4 | 15.6 |
| 36 | 96.8 | 111.2 | 7.67 | 186.9 | 12.9 | 117.5 | 8.10 | 302.8 | 20.9 | 206.7 | 14.2 | 232.5 | 16.0 |
| 37 | 98.6 | 114.4 | 7.89 | 192.0 | 13.2 | 121.2 | 8.36 | 310.7 | 21.4 | 212.0 | 14.6 | 238.6 | 16.5 |
| 38 | 100.4 | 117.7 | 8.11 | 197.1 | 13.6 | 125.0 | 8.62 | 318.7 | 22.0 | 217.4 | 15.0 | 244.9 | 16.9 |
| 39 | 102.2 | 121.0 | 8.34 | 202.4 | 14.0 | 128.8 | 8.88 | 326.9 | 22.5 | 222.9 | 15.4 | 251.4 | 17.3 |
| 40 | 104.0 | 124.4 | 8.57 | 207.8 | 14.3 | 132.7 | 9.15 | 335.2 | 23.1 | 228.5 | 15.8 | 257.9 | 17.8 |
| 41 | 105.8 | 127.8 | 8.81 | 213.3 | 14.7 | 136.7 | 9.43 | 343.7 | 23.7 | 234.2 | 16.1 | 264.6 | 18.2 |
| 42 | 107.6 | 131.3 | 9.05 | 218.9 | 15.1 | 140.8 | 9.71 | 352.4 | 24.3 | 240.0 | 16.5 | 271.4 | 18.7 |
| 43 | 109.4 | 134.9 | 9.30 | 224.5 | 15.5 | 144.9 | 9.99 | 361.2 | 24.9 | 245.9 | 17.0 | 278.3 | 19.2 |
| 44 | 111.2 | 138.5 | 9.55 | 230.3 | 15.9 | 149.2 | 10.3 | 370.1 | 25.5 | 251.9 | 17.4 | 285.4 | 19.7 |
| 45 | 113.0 | 142.2 | 9.81 | 236.2 | 16.3 | 153.5 | 10.6 | 379.3 | 26.1 | 258.0 | 17.8 | 292.6 | 20.2 |
| 46 | 114.8 | 146.0 | 10.1 | 242.2 | 16.7 | 157.9 | 10.9 | 388.6 | 26.8 | 264.2 | 18.2 | 299.9 | 20.7 |
| 47 | 116.6 | 149.8 | 10.3 | 248.3 | 17.1 | 162.4 | 11.2 | 398.0 | 27.4 | 270.5 | 18.7 | 307.4 | 21.2 |
| 48 | 118.4 | 153.7 | 10.6 | 254.5 | 17.5 | 167.0 | 11.5 | 407.6 | 28.1 | 276.9 | 19.1 | 315.0 | 21.7 |
| 49 | 120.2 | 157.7 | 10.9 | 260.8 | 18.0 | 171.7 | 11.8 | 417.5 | 28.8 | 283.4 | 19.5 | 322.8 | 22.3 |
| 50 | 122.0 | 161.7 | 11.2 | 267.2 | 18.4 | 176.4 | 12.2 | 427.4 | 29.5 | 290.1 | 20.0 | 330.7 | 22.8 |

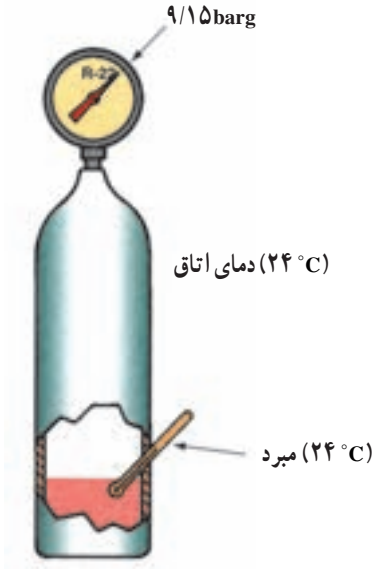
| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 52 | 125.6 | 170.0 | 11.7 | 280.3 | 19.3 | 186.2 | 12.8 | 447.9 | 30.9 | 303.6 | 20.9 | 347.0 | 23.9 |
| 54 | 129.2 | 178.6 | 12.3 | 293.9 | 20.3 | 196.4 | 13.5 | 469.2 | 32.3 | 317.7 | 21.9 | 364.0 | 25.1 |
| 56 | 132.8 | 187.4 | 12.9 | 307.9 | 21.2 | 206.9 | 14.3 | 491.2 | 33.9 | 332.2 | 22.9 | 381.5 | 26.3 |
| 58 | 136.4 | 196.6 | 13.6 | 322.5 | 22.2 | 217.8 | 15.0 | 514.0 | 35.4 | 347.1 | 23.9 | 399.8 | 27.6 |
| 60 | 140.0 | 206.0 | 14.2 | 337.5 | 23.3 | 229.2 | 15.8 | 537.6 | 37.1 | 362.6 | 25.0 | 418.7 | 28.9 |
| 62 | 143.6 | 215.7 | 14.9 | 353.0 | 24.3 | 240.9 | 16.6 | 562.0 | 38.7 | 378.6 | 26.1 | 438.4 | 30.2 |
| 64 | 147.2 | 225.8 | 15.6 | 369.0 | 25.4 | 253.1 | 17.4 | 587.3 | 40.5 | 395.1 | 27.2 | 458.8 | 31.6 |
| 66 | 150.8 | 236.2 | 16.3 | 385.5 | 26.6 | 265.7 | 18.3 | 613.5 | 42.3 | 412.2 | 28.4 | 480.1 | 33.1 |
| 68 | 154.4 | 246.9 | 17.0 | 402.5 | 27.8 | 278.7 | 19.2 | 640.6 | 44.2 | 429.9 | 29.6 | 502.1 | 34.6 |
| 70 | 158.0 | 257.9 | 17.8 | 420.1 | 29.0 | 292.2 | 20.1 | 668.7 | 46.1 | 448.2 | 30.9 | 524.9 | 36.2 |
| 72 | 161.6 | 269.3 | 18.6 | 438.2 | 30.2 | 306.2 | 21.1 | ** | ** | 467.2 | 32.2 | ** | ** |
| 74 | 165.2 | 281.0 | 19.4 | 456.9 | 31.5 | 320.7 | 22.1 | ** | ** | 486.9 | 33.6 | ** | ** |

** از دمای بحرانی بالاتر است ارقامی که با حروف ایتالیک نوشته شده‌اند برحسب واحد اینچ جیوه (در مقیاس psig) یا میلی‌متر جیوه (در مقیاس barg) می‌باشند.

ضرایب تبدیل $kpa = bar \times 100$ و $kg/cm^2 = bar \times 1.01972$

## ۵ــ۲ــ رابطه فشار و دما برای مبردهای مختلف

یک سیلندر حاوی مبرد R ــ۲۲ در اتاقی با دمای ۲۴ °C قرار می‌دهیم تا دمای آن برابر دمای هوای اتاق شود. قسمتی از سیلندر توسط مایع و قسمتی توسط بخار پر شده است و دارای دمای ۲۴ °C است. فشار معادل آن از جدول ۲ــ۲ ۹/۱۵barg است و فشارسنج روی سیلندر نیز همان فشار ۹/۱۵barg را نشان می‌دهد.

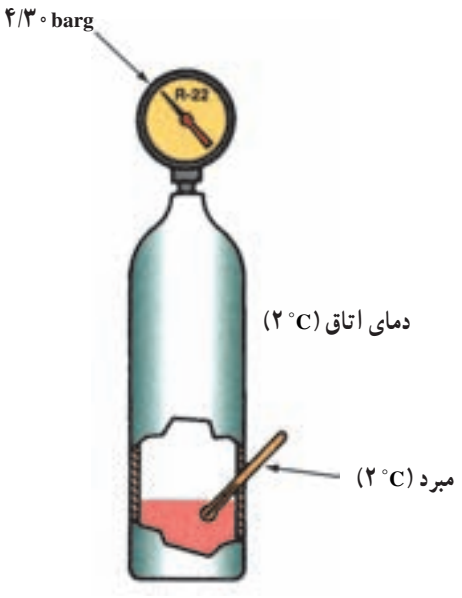



شکل ۱۴ــ۲ــ در دمای ۲۴ °C فشارسنج فشار ۹/۱۵barg را نشان می‌دهد.

اگر سیلندری که اکنون در دمای ۲ °C است به اتاق گرم‌تر با دمای ۲۴ °C برگردانیم تا به دمای اتاق برسد مایع داخل سیلندر در اثر گرم شدن به آرامی می‌جوشد و بخار تولید می‌کند. تولید بخار باعث افزایش فشار می‌شود و فشار سیلندر به ۹/۱۵barg معادل دمای ۲۴ °C از جدول ۲ــ۲ می‌رسد.

حال اگر سیلندر با دمای ۲۴ °C را به اتاقی با دمای ۳۸ °C ببریم به‌آرامی می‌جوشد و بخار بیشتری تولید می‌کند. با تولید بخار فشار نیز افزایش می‌یابد تا به ۱۳/۶barg مطابق جدول ۲ــ۲ برسد (شکل ۱۶ــ۲).

اگر همان سیلندر را به اتاق با دمای ۲ °C منتقل کنیم تا پس از گذشت زمان لازم به دمای سردخانه برسد، فشار سیلندر با توجه به جدول ۲ــ۲ به ۴/۳۰barg می‌رسد زیرا وقتی سیلندر سرد می‌شود قسمتی از بخار در آن به مایع تبدیل می‌شود تا فشار داخل سیلندر کاهش یابد (شکل ۱۵ــ۲).

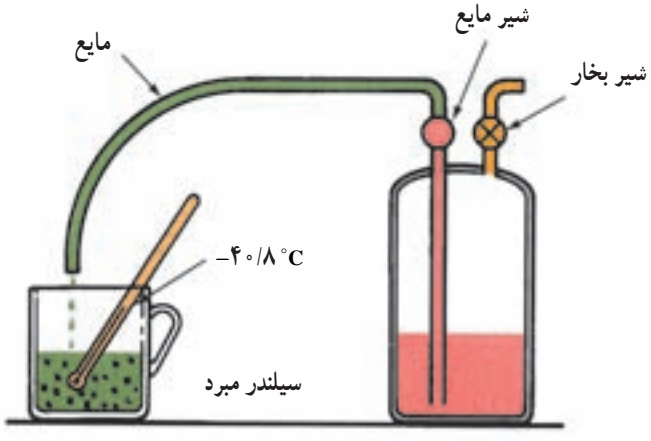



شکل ۱۵ــ۲ــ در دمای ۲ °C فشار ۴/۳۰barg است.

شکل ۱۶ــ۲ــ در دمای ۳۸ °C فشار نسبی ۱۳/۶barg است.

مطالعه بیشتر جدول ۲ــ۲ نشان می‌دهد که وقتی فشار تا فشار جوّ پایین رود (0barg) مبرد R ــ۲۲ در دمای ۴۰/۸ °C– می‌جوشد. این حالت موقعی اتفاق می‌افتد که شیر سیلندر R ــ۲۲ به‌آرامی باز شود و بخار فریون ۲۲ امکان رها شدن در جو را پیدا نماید. افت فشار بخار باعث می‌شود که مایع مانده در سیلندر به جوش آید و دمایش کاهش یابد. به‌ازای هر مایعی که می‌جوشد گرمایی جذب سیستم می‌شود و سرمایی ایجاد می‌نماید. در این حالت گرما از مایع R ــ۲۲ گرفته می‌شود. وقتی فشار داخل تا فشار جو کاهش یابد سیلندر به دمای ۴۰/۸ °C– رسیده و از یخ پوشیده می‌شود.

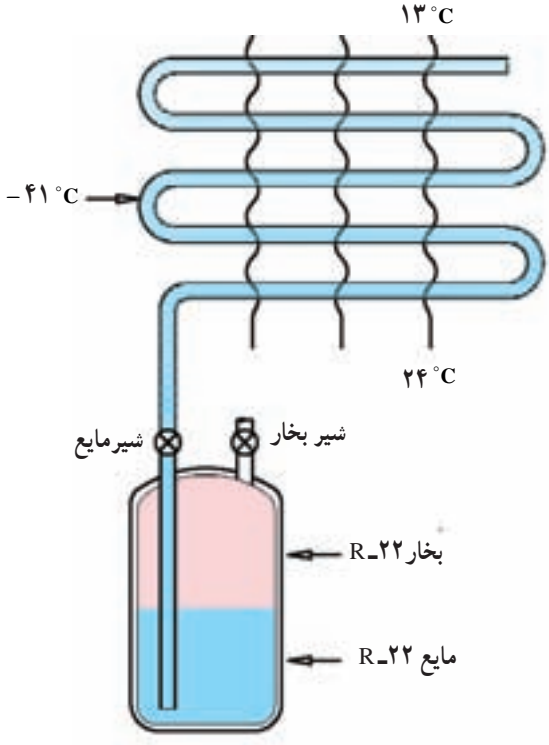
در این آزمایش فرض می‌کنیم که شیر به اندازه‌ای بزرگ است که بخار ایجاد شده به جو انتقال می‌یابد. اگر لوله باریکی به شیر مایع روی سیلندر وصل شود و شیر به‌آرامی باز شود مایع مبرد در فنجان جمع شده و در دمای ۴۰/۸ °C– می‌جوشد (شکل ۱۷ــ۲).




**شکل ۱۷ــ۲ــ R ــ۲۲ در فشار جو در دمای ۴۰/۸ °C– می‌جوشد.**

## ۶ــ۲ــ سیکل تبرید

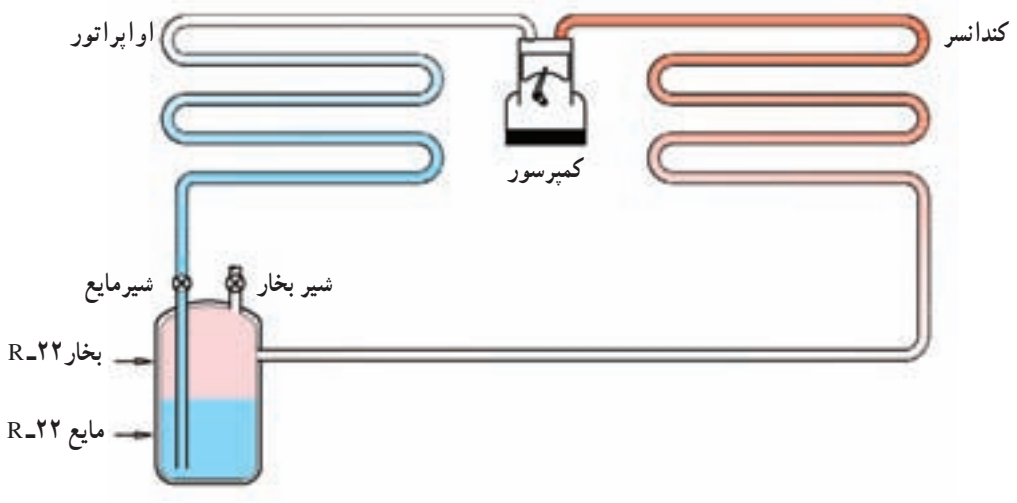
یک کویل لوله مسی به شیر خروجی مایع سیلندر وصل می‌کنیم و شیر را طوری باز می‌کنیم تا مایع به‌تدریج در داخل لوله مسی وارد شود. دمای جوش مبرد R ــ۲۲ در فشار یک آتمسفر ۴۱ °C– است بنابراین مایع در داخل کویل در دمای ۴۱ °C– می‌جوشد و گرمایی را که برای تبخیر لازم است از محیط اطراف می‌گیرد و آن را سرد می‌کند. اگر هوا با دمای ۲۴ °C از روی آن عبور نماید دمایش تا ۱۳ °C می‌تواند کاهش پیدا کند (شکل ۱۸ــ۲).




**شکل ۱۸ــ۲ــ دمای کویل ۴۱ °C– است هوای عبوری از آن می‌تواند از ۲۴ °C تا ۱۳ °C کاهش یابد.**

کویل لوله مسی را که مایع در داخل آن به حالت جوش درآمده و بخار می‌شود، کویل تبخیرکننده یا «اواپراتور[1]» می‌نامند. برای این‌که تمام مایع خروجی تا انتهای کویل تبدیل به بخار شود باید با تنظیم شیر روی سیلندر مقدار معینی مایع وارد کویل لوله مسی شود. اگر شیر مایع بیش از حد باز باشد در خروجی کویل مایع خواهیم داشت و اگر بیش از حد بسته باشد مقدار مایع ورودی به کویل کم شده و قدرت سرمایی کویل خیلی کاهش می‌یابد. شیر تنظیم[2] را شیر انبساط[3] نیز می‌گویند. فریون ۲۲ را که در داخل کویل تبخیر شده و سرما ایجاد می‌کند ماده مبرد[4] یا ماده سرمازا می‌گویند.

در این سیستم دو اشکال عمده وجود دارد. اوّل این‌که علاوه بر هدر رفتن ماده سرمازای R ـ ۲۲ این نوع مبرد نباید در جو رها شود[5]. اشکال دوم این است که ماده مبرد مصرف شده و کپسول خالی می‌شود بنابراین کار سیستم پیوسته نخواهد بود. برای جلوگیری از خروج گاز و هدر رفتن آن باید دستگاه‌های مکملی باشند تا گاز خارج شده را دوباره به‌حالت مایع درآورده و مورد استفاده قرار دهند. برای رسیدن به این هدف یک کمپرسور[6] و یک کندانسر[7] (چگالنده) باید به‌سیستم اضافه کرد. کمپرسور گاز خروجی از اواپراتور را متراکم کرده با فشار و دمای زیاد وارد کندانسر می‌نماید. در کندانسر گاز داغ و متراکم شده توسط آب یا هوا خنک شده به مایع تبدیل می‌شود. مایع خروجی از کندانسر وارد سیلندر می‌شود و مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱۹ ـ ۲).




**شکل ۱۹ ـ ۲ ـ سیکل بسته تبرید**

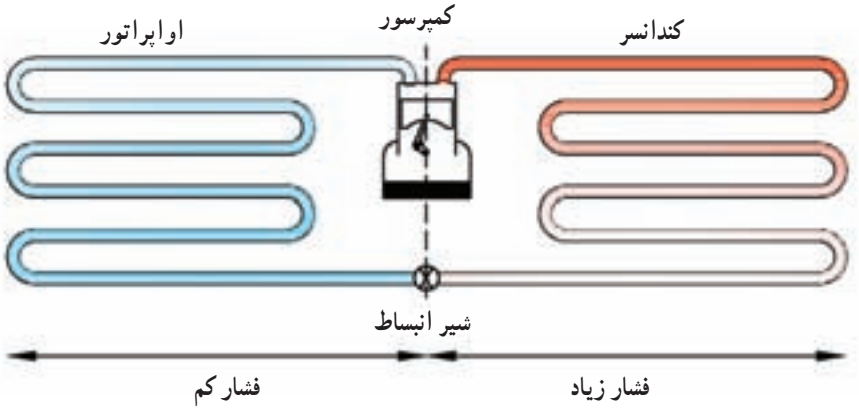
به سیلندر مثال فوق در سیستم‌های سردکننده مخزن تجمع مایع[8] یا رسیور می‌گویند در سیستم‌های سردکننده کوچک که مقدار مبرد جریانی کم است، مخزن تجمع مایع حذف می‌شود و سیستم به‌صورت شکل ۲۰ ـ ۲ درمی‌آید.

---

۱ـ Evaporator ۲ـ Metering device ۳ـ Expanion Valve ۴ـ Refrigerant

۵ـ رها کردن مبردهای هالوکربنی در جو غیرقانونی است.

۶ـ Compressor ۷ـ Condenser ۸ ـ Receiver




شکل ۲۰ــ۲ــ سیکل تبرید ــ قسمت فشار کم ــ قسمت فشار زیاد

در شکل ۲۰ــ۲ اگر خطی از کمپرسور تا شیر انبساط کشیده شود، سیستم تبرید به دو قسمت فشار کم و فشار زیاد تقسیم می‌شود. کمپرسور و کندانسر جزء قسمت فشار زیاد سیستم بوده و خروجی شیر انبساط و اواپراتور جزء قسمت فشار کم می‌باشد.

## ۷ــ۲ــ تغییرات فشار و دما در سیکل تبرید

سیکل تبرید شکل ۲۱ــ۲ یک بار دیگر با توجه به وضعیت فشار و دما در قسمت‌های مختلف آن ترسیم می‌کنیم و مطابق شماره‌هایی که بر روی شکل داده شده است به تشریح آن می‌پردازیم.

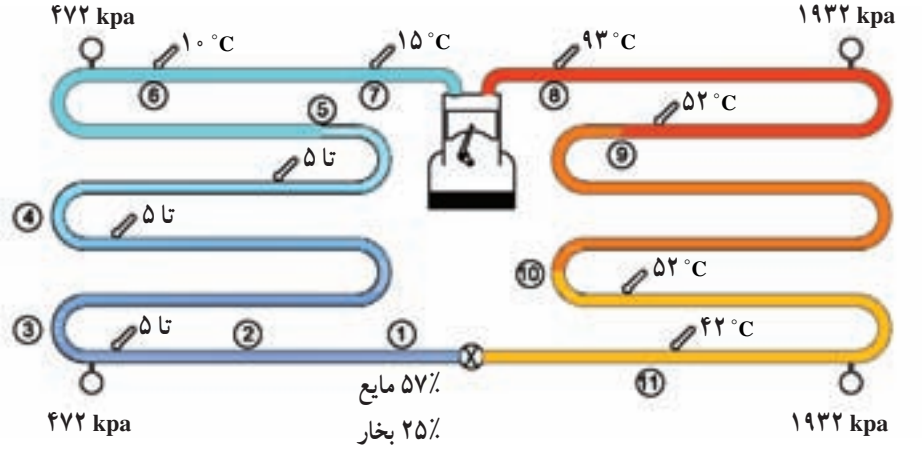
۱ــ مخلوطی از ۷۵٪ مایع و ۲۵٪ بخار شیر انبساط را ترک کرده وارد اواپراتور می‌شود.

۲ــ مخلوط مایع و بخار فریون ۲۲ دارای فشار نسبی ۴۷۲kpa می‌باشد و دمای جوش متناسب با آن ۵ °C است.

۳ــ مخلوط مایع و بخار درحال حرکت در اواپراتور با گرمایی که از هوای ۲۴ °C داخل اتاق می‌گیرد تبخیر می‌شود.

۴ــ وقتی ماده سرمازا به وسط اواپراتور می‌رسد به‌صورت ۵۰٪ مایع و ۵۰٪ بخار درمی‌آید.

۵ــ در نقطه ۵ تمام مایع تبدیل به بخار می‌شود. دمای بخار هنوز ۵ °C بوده و می‌تواند از هوای اتاق با دمای ۲۴ °C گرما جذب نماید. از این نقطه به بعد جذب گرما باعث افزایش دمای بخار مبرد و سوپرهیت شدن آن می‌شود.




شکل ۲۱ــ۲ــ نمایش تغییرات دما و فشار در سیکل تبرید

۶ــ در این نقطه بخار خالص با ۵°C سوپرهیت خواهیم داشت و دمای بخار مبرد ۱۰°C خواهد بود.

۷ــ تحت تأثیر مکش کمپرسور بخار به داخل آن کشیده می‌شود. بخاری که اواپراتور را ترک می‌کند دارای دمای ۱۰°C با ۵°C سوپرهیت می‌باشد. فاصله بین خروجی اواپراتور و ورودی کمپرسور را خط مکش[1] می‌گویند. برای جلوگیری از افزایش بیش از حد دمای مبرد در ورود به کمپرسور خط مکش را عایق می‌کنند. با این حال دمای ماده مبرد در ورود به کمپرسور به ۱۵°C می‌رسد.

۸ــ گازی که از طریق خط رانش کمپرسور را ترک می‌کند دارای فشار و دمای بالایی است. خط رانش دارای دمای ۹۳°C و فشار نسبی ۱۹۳۲kpa می‌باشد. گرچه خط رانش کوتاه است ولی به علت اختلاف دمای زیاد با محیط گرمای خود را به‌آسانی به محیط منتقل می‌نماید. دمای محیط حدود ۳۵°C فرض شده است.

۹ــ با دفع گرما از ماده سرمازا در خط رانش و کویل ابتدایی کندانسر در نقطه ۹ دما به ۵۲°C می‌رسد. پس از این نقطه دما ثابت مانده دفع گرما باعث می‌شود که ماده‌ی سرمازا از حالت بخار به مایع تبدیل شود.

۱۰ــ تحول تبدیل بخار به مایع که از نقطه ۹ شروع می‌شود در نقطه ۱۰ پایان می‌یابد و در این نقطه ماده سرمازا به‌صورت ۱۰۰٪ مایع در دمای ۵۲°C است.

۱۱ــ با حرکت مایع در طول کویل عمل دفع گرما از کویل به محیط ادامه دارد و دمای مایع به دمای پایین‌تر از دمای تقطیر (اشباع) ۵۲°C یعنی به حدود ۴۲°C می‌رسد و می‌گویند مایع حدود ۱۰°C سابکولد[2] (مادون سرد) شده است. مایع از طریق خط مایع به شیر انبساط می‌رسد و ماده سرمازا سیکل یا چرخه خود کامل کرده است و آماده شروع مجدد آن است.

در سیکل تبرید

۱ــ اواپراتور گرما را به داخل سیستم جذب می‌کند.

۲ــ کمپرسور بخار حامل گرما را به کندانسر پمپ می‌کند.

۳ــ کندانسر گرما را از سیستم دفع می‌کند.

۴ــ شیر انبساط جریان ماده سرمازا را تنظیم می‌کند.

---

۱ــ Suction Line

۲ــ Subcooled

## پرسش و تمرین

۱ــ تبرید را تعریف کنید.

۲ــ راه‌های نفوذ گرما به داخل یخچال را بیان کنید.

۳ــ ظرفیت دستگاه‌های سردکننده برحسب چه واحدی اندازه‌گیری می‌کنند؟

۴ــ معادل یک تن تبرید را برحسب $\frac{BTu}{hr}$ ، $\frac{kcal}{hr}$ ، W، kW بیان کنید.

۵ــ طرز کار کولر گازی را از روی شکل توضیح دهید.

۶ــ رابطه فشار و دما را در مورد آب بیان کنید.

۷ــ چرا تخم‌مرغ در ارتفاعات سفت نمی‌شود؟

۸ــ آب در چه فشاری در دمای $40^{\circ}C$ می‌جوشد؟

۹ــ طرز کار زودپز را توضیح دهید.

۱۰ــ اگر بخواهیم آب در دمای $40^{\circ}C$ بجوشد از چه وسیله‌ای باید استفاده کنیم؟

۱۱ــ یک ماده مبرد باید چه خصوصیتی داشته باشد؟

۱۲ــ آیا آب می‌تواند یک مبرد باشد؟

۱۳ــ رابطه فشار و دما را در مورد سیلندر محتوی فریون ۲۲ در شرایطی که در محیط با دماهای $24^{\circ}C$، $2^{\circ}C$ و $38^{\circ}C$ قرار دارد بیان کنید.

۱۴ــ فریون ۲۲ در فشار جوّ در چه دمایی به جوش می‌آید؟

۱۵ــ سیلندر متصل به یک کویل لوله مسی به‌عنوان یک دستگاه سردکننده را توضیح دهید.

۱۶ــ برای جلوگیری از رها شدن مبرد در جو (سؤال قبل) چه وسایلی لازم است؟

۱۷ــ سیکل تبرید و حالت‌های مبرد را در قسمت‌های مختلف آن توضیح دهید.

۱۸ــ قسمت فشار کم و قسمت فشار زیاد در سیکل تبرید را بیان کنید.

۱۹ــ تغییرات دما و فشار در قسمت مختلف سیکل تبرید را بر روی شکل توضیح دهید.

۲۰ــ اجزاء اصلی سیکل تبرید را به‌طور مختصر شرح دهید.

# فصل سوم

## کمپرسورها

**هدف‌های رفتاری:** پس از پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

۱ــ انواع کمپرسور را توضیح دهد.

۲ــ کمپرسورهای تناوبی را شرح دهد.

۳ــ روغن‌کاری کمپرسور را شرح دهد.

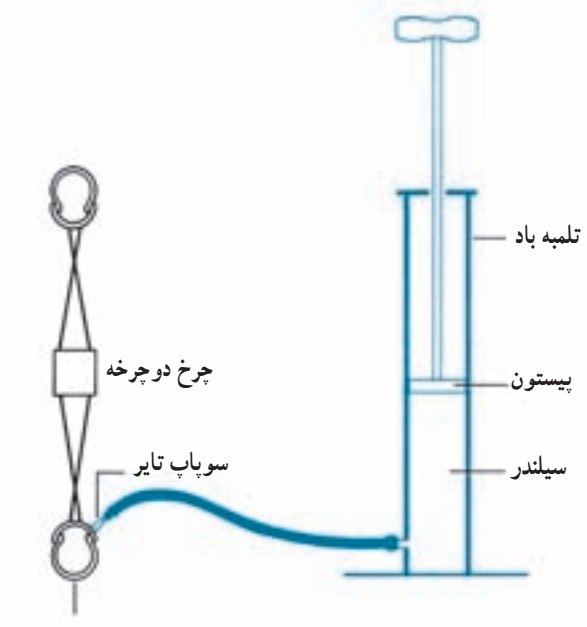
۴ــ نسبت تراکم در کمپرسور را بیان کند.

۵ــ عوامل مؤثر در ظرفیت کمپرسور را بیان کند.

۶ــ کنترل ظرفیت کمپرسور را توضیح دهد.

### ۳ــ کمپرسورها

کمپرسور قلب یک سیستم تبرید تراکمی است که ماده مبرد داخل سیستم را به گردش درآورده و اختلاف فشار موردنیاز برای کار سیستم را تأمین می‌کند. شکل ۱ــ۳ تلمبه باد یک دوچرخه را که نوع ساده یک کمپرسور است نشان می‌دهد. تلمبه شامل یک سیلندر و یک پیستون است. پیستون در داخل سیلندر می‌تواند بالا و پایین حرکت کند. وقتی که پیستون به‌طرف بالا کشیده می‌شود، هوا در اثر فشار آتمسفر داخل سیلندر می‌شود و چنانچه پیستون را به پایین فشار دهیم حجم هوا کم شده و فشار آن بیشتر می‌شود. زمانی که فشار هوا در داخل سیلندر بیشتر از فشار هوا در داخل تایر دوچرخه بشود، سوپاپ روی تایر باز شده و هوا وارد تایر می‌شود. متراکم شدن هوا باعث برخورد بیشتر مولکول‌ها شده درنتیجه دمای هوا افزایش می‌یابد و موجب گرم شدن بدنه سیلندر می‌شود.




شکل ۱ــ۳ــ یک کمپرسور ساده

## ۱ــ۳ــ انواع کمپرسور

کمپرسورهای متداول در سیستم‌های تبرید عبارتند از :

۱ــ کمپرسورهای تناوبی[۱]

۲ــ کمپرسورهای سانتریفوژ (گریز از مرکز[۲])

۳ــ کمپرسورهای دورانی[۳]

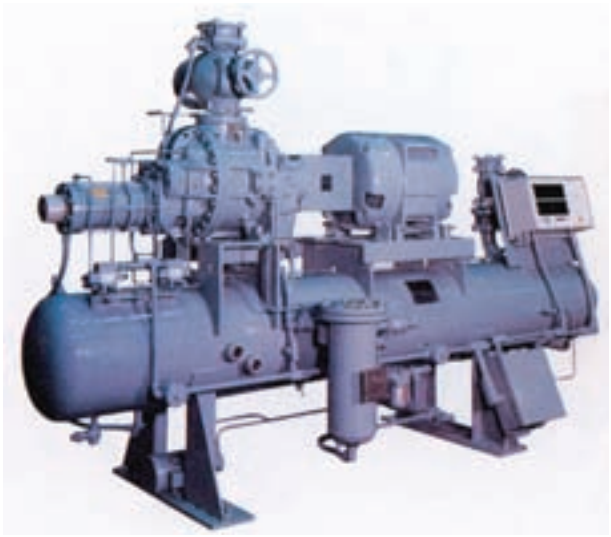
۴ــ کمپرسورهای پیچی[۴]

۵ــ کمپرسورهای طوماری (اسکرول[۵])

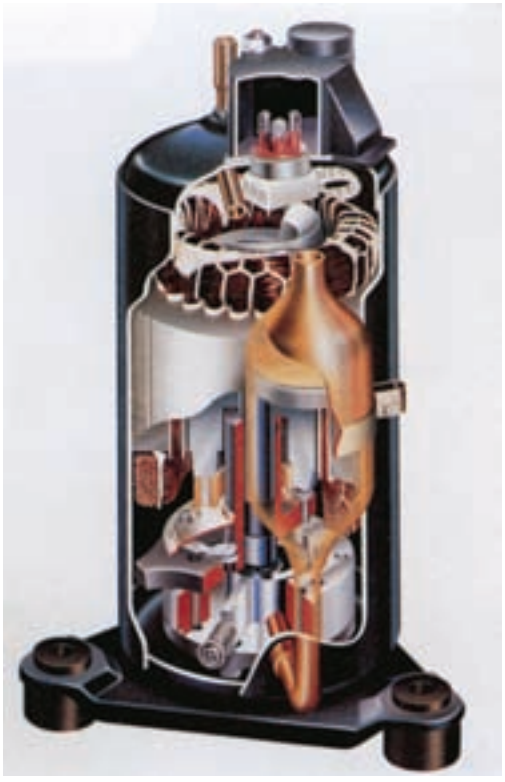
در شکل ۲ــ۳ کمپرسورهای مذکور نشان داده شده است.

الف) کمپرسور تناوبی

ب) کمپرسور سانتریفوژ



ج) کمپرسور پیچی



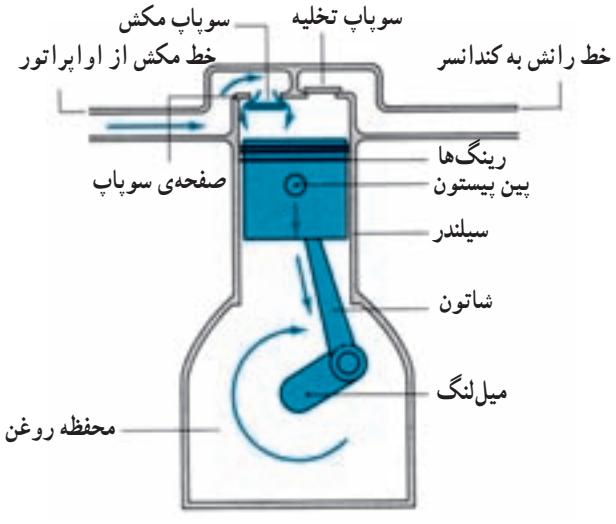
د) کمپرسور دورانی

۱ــ Reciprocating Compressors
۲ــ Centrifugal Compressors
۳ــ Rotray Compressors
۴ــ Screw Compressor
۵ــ Scroll Compressor

هـ) کمپرسور طوماری (اسکرول)

**شکل ۲ــ۳ــ انواع کمپرسور**

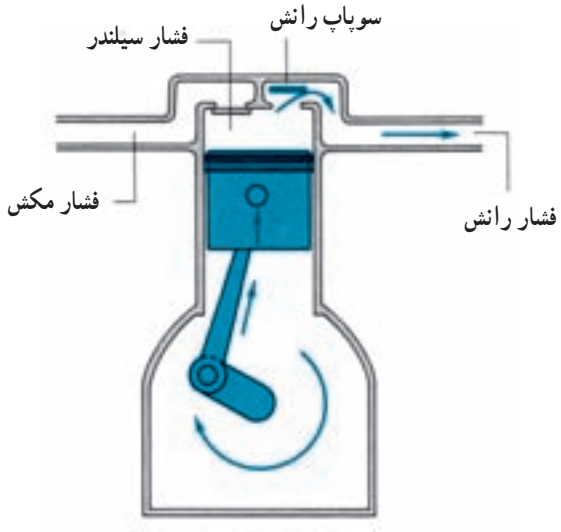
کمپرسورهای تناوبی در اندازه‌های مختلف از $\frac{۱}{۴}$ تن تبرید تا ۱۰۰ تن تبرید در دسترس می‌باشند. شکل ۳ــ۳ قسمت‌هایی از کمپرسورتناوبی را نشان می‌دهد.




**شکل ۳ــ۳ــ کمپرسور تناوبی (ورود گاز مبرد به داخل سیلندر)**

وقتی که پیستون به‌طرف پایین حرکت می‌کند در داخل سیلندر خلأ ایجاد شده و بخار مبرد از میان سوپاپ مکش به داخل سیلندر کشیده می‌شود. زمانی که پیستون به سمت بالا حرکت می‌کند فشار مبرد افزایش می‌یابد تا سوپاپ رانش را باز نماید. پیستون به‌وسیله شاتون و یک پین به میل‌لنگ وصل شده است.

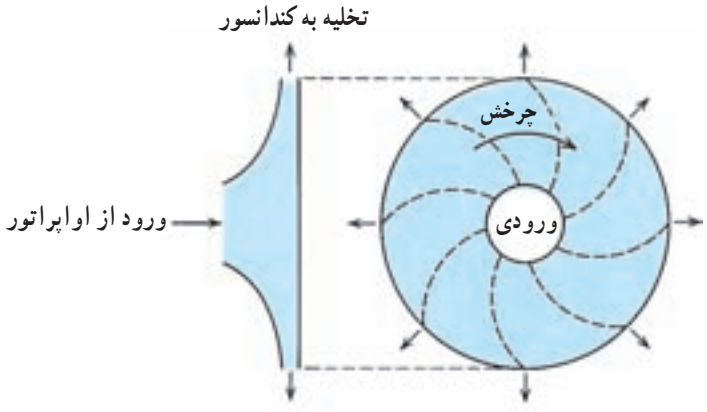
در شکل ۳ــ۳ سوپاپ مکش باز بوده و مبرد به داخل سیلندری که پیستون آن درحال حرکت به پایین است وارد می‌شود. شکل ۴ــ۳ خروج مبرد متراکم شده را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که شکل‌های ۳ــ۳ و ۴ــ۳ برای یک کمپرسور



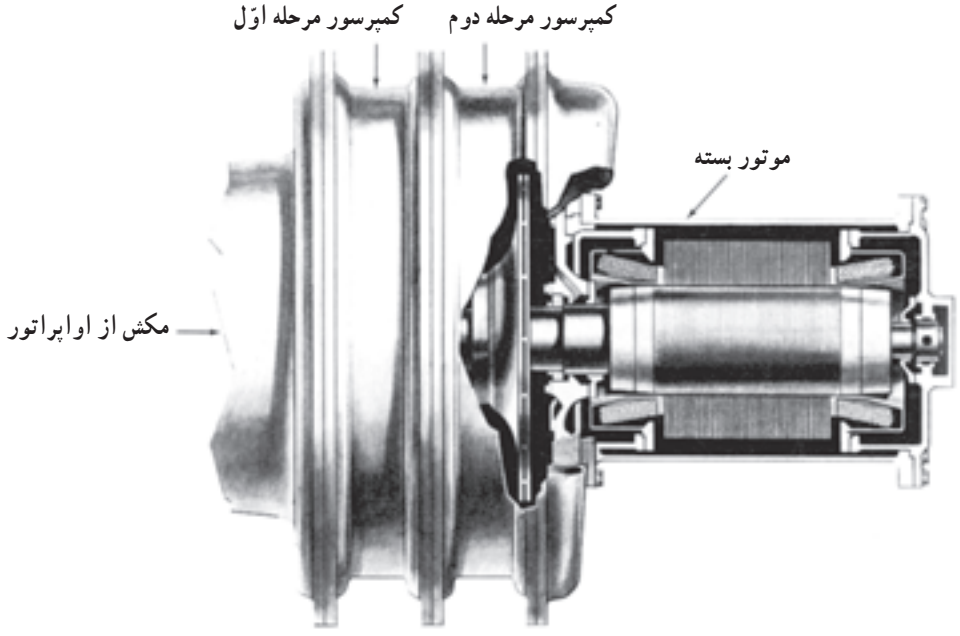

**شکل ۴ــ۳ــ خروج مبرد از سیلندر**

تک سیلندر می‌باشند. کمپرسورها می‌توانند تا هشت سیلندر داشته باشند. شکل‌های ۵ــ۳ و ۶ــ۳ یک دستگاه کمپرسور سانتریفوژ را نشان می‌دهند. این کمپرسورها برای نصب در سیستم‌های تبرید با تناژ بالاتر مناسب هستند. اساس کار این کمپرسورها استفاده از نیروی گریز از مرکز می‌باشد که درشکل ۵ــ۳ و ۶ــ۳ نشان داده شده است.

۱ــ به این کمپرسورها، کمپرسور رفت و برگشتی و کمپرسور سیلندر و پیستونی و گاهی کمپرسور متقارن نیز می‌گویند.




شکل ۵ــ۳ــ نمایی از پره کمپرسور سانتریفوژ



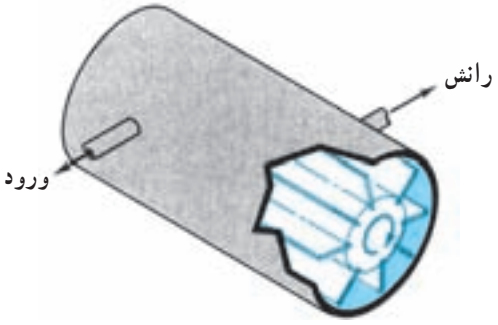

شکل ۶ــ۳ــ کمپرسور سانتریفوژ

شکل ۷ــ۳ یک کمپرسور دورانی و طریقه گردش روتور در داخل سیلندر را به‌طور جداگانه و به‌ترتیب نشان می‌دهد. تیغه‌ها به همراه روتور در داخل شکاف روی روتور حرکت می‌کنند.

شکل ۸ــ۳ یک کمپرسور دورانی را با چندین تیغه نشان می‌دهد. بخار مبرد به وسیله نیروی داخلی (روتور) در یک فضای کوچک‌تر محبوس و فشرده شده و سپس به داخل کندانسر رانده می‌شود.

برای ظرفیت‌های مساوی ابعاد کمپرسورهای دورانی نسبت به کمپرسورهای تناوبی خیلی کوچک‌تر هستند. شکل ۹ــ۳ یکی دیگر از کمپرسورهای دورانی را نشان می‌دهد که با یک تیغه ثابت (بدون حرکت چرخشی) گازبندی بین سیلندر و موتور خارج از مرکز را انجام می‌دهد.

شکل ۷ــ۳ــ یک کمپرسور دورانی




شکل ۸ــ۳ــ نمایش روتور در داخل سیلندر کمپرسور دورانی

الف

گاز محبوس تحت فشارمکش متراکم می‌شود.

ب

درست در زمانی که گاز محبوس شده متراکم می‌شود،
گاز جدید به داخل سیلندر کشیده می‌شود.

ج

با متراکم شدن گاز فشار تولید شده بر فشار کندانسر
غلبه می‌کند و گاز به داخل کندانسر رانده می‌شود.

د

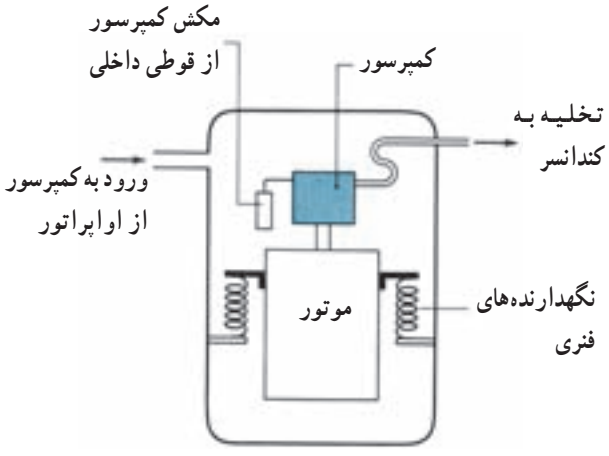
تخلیه کامل شده است آنگاه گاز مکش محبوس
می‌شود و سیکل برای تکرار آماده است.

شکل ۹ــ۳ــ یک کمپرسور دورانی

## ۲ــ۳ــ کمپرسورهای تناوبی

کمپرسورهای تناوبی عموماً در سه گروه بسته[۱]، نیمه‌بسته[۲] و باز[۳] وجود دارند.

در شکل‌های ۱۰ــ۳ و ۱۱ــ۳ یک کمپرسور بسته (جوشی) نشان داده شده است. موتور و کمپرسور در داخل یک محفظه بسته قرار دارند. این کمپرسورها دارای هزینه ساخت کمتر و غیرقابل تعمیر می‌باشند. اگر الکتروموتور آن بسوزد یا سوپاپ یا قطعه دیگر معیوب شود، کمپرسور غیرقابل استفاده می‌شود. بعضی از سازندگان و تعمیرکاران قطعات کمپرسورهای خراب را در داخل کمپرسورهای دیگر استفاده می‌کنند با این وجود تعمیر چنین کمپرسورهایی ناموفق می‌باشد.

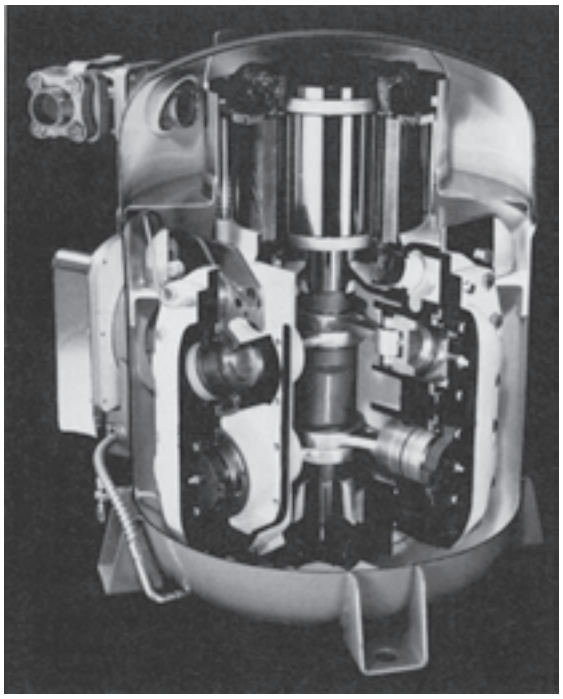



شکل ۱۰ــ۳ــ یک کمپرسور تناوبی با فنرهای نگهدارنده در داخل پوسته

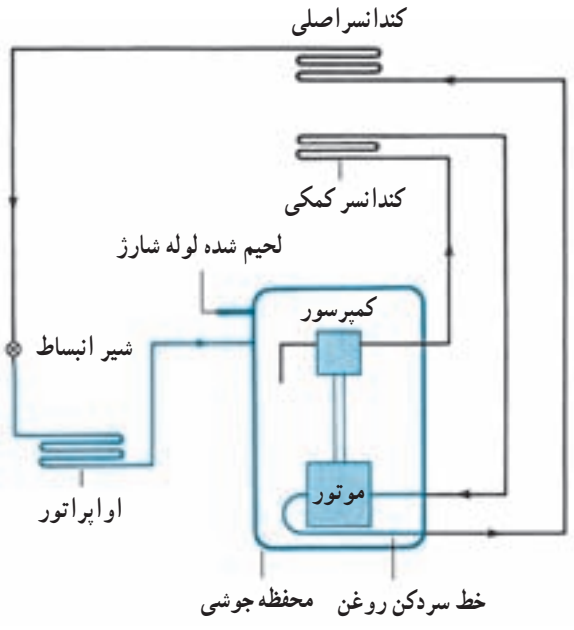
بر روی پوسته بیشتر کمپرسورهای بسته ۳ عدد لوله متصل شده است. سر یکی از لوله‌ها که معمولاً کمتر از ۳۰ سانتی‌متر طول و ۶ میلی‌متر قطر دارد چین داده شده و به‌وسیله لحیم بسته شده است. این لوله به‌نام لوله شارژ نامیده می‌شود. از دو لوله باقی‌مانده روی بدنه، لوله با قطر کم لوله رانش و لوله با قطر بزرگ‌تر لوله مکش است.

بعضی از کمپرسورهای بسته دو اتصال اضافی دیگر برای خنک‌کاری روغن کمپرسور دارند که جمعاً پنج لوله به پوسته کمپرسور متصل شده است.

شکل ۱۲ــ۳ اتصال خنک‌کن روغن و عبور آن از پایین کمپرسور را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ــ۳ــ برش یک کمپرسور چهار سیلندری

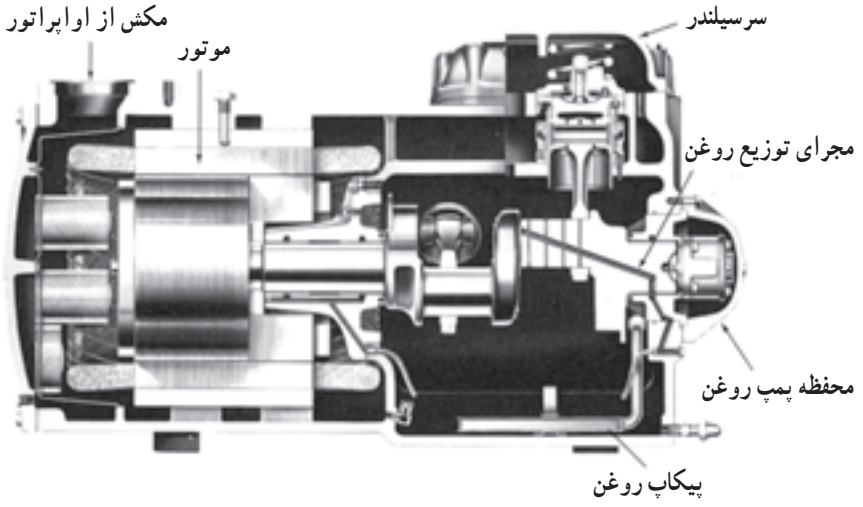



شکل ۱۲ــ۳ــ یک کمپرسور بسته با خنک‌کن روغن

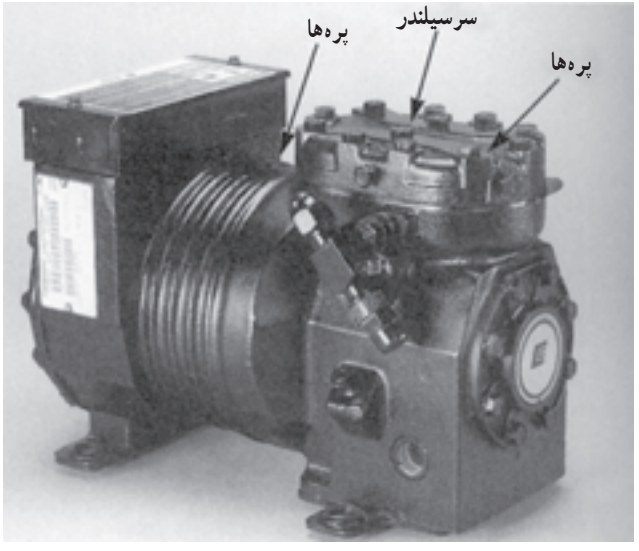
۱ــ Hermetic ۲ــ Semi Hermetie ۳ــ Open

گاز داغ از رانش کمپرسور به سمت کندانسر کمکی رفته پس از عبور از آن کمی خنک می‌شود. گاز خنک شده از میان کویلی که در ته کمپرسور نصب شده عبور کرده و گرمای روغن کمپرسور را خارج می‌کند سپس گاز از میان کندانسر اصلی عبور کرده و فرآیند معمولی سیستم انجام می‌شود.

دومین مورد از کمپرسورهای تناوبی، کمپرسورهای نیمه‌بسته یا بسته‌ی قابل تعمیر می‌باشد که در اندازه‌های بزرگ‌تر ساخته می‌شوند (شکل ۱۳ــ۳). در این نوع کمپرسور، مجموعه موتور و کمپرسور در یک محفظه‌ی بسته می‌باشند ولی بسته بودن کمپرسور طوری است که مجموعه فوق قابل دسترس بوده و کلیه قطعات کمپرسور می‌تواند از هم جدا شده و تعمیر شوند. قسمت موتور به‌وسیله فلنچ به کمپرسور متصل گردیده و می‌تواند به‌راحتی از آن جدا شود. شیرهای سرویس روی قسمت مکش و رانش به بدنه کمپرسور متصل و قابل باز شدن هستند. یک عدد شیشه بر روی کارتر نصب شده تا سطح روغن کمپرسور را مشخص نماید. سرسیلندر کمپرسور، صفحه سوپاپ و پمپ روغن همگی قابل تعویض و تعمیر هستند. کمپرسورهای نیمه‌بسته زیر ۳ تن تبرید به‌ندرت استفاده می‌شوند و استفاده از کمپرسورهای بسته بالای ۲۰ تن تبرید غیرمتداول می‌باشند.



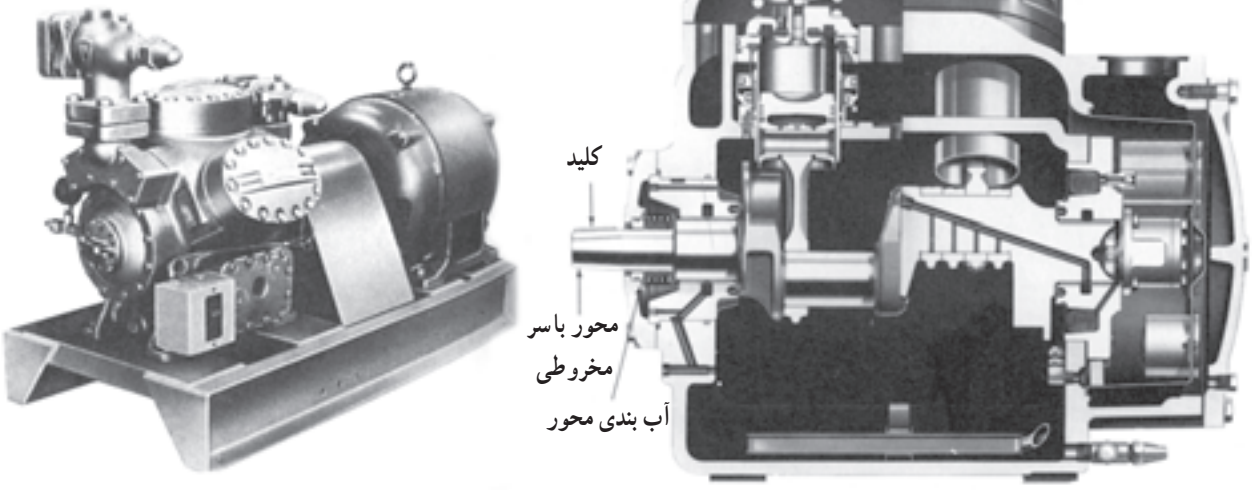

الف) برش یک کمپرسور بسته قابل دسترس (نیمه‌بسته)




ب) کمپرسور نیمه‌بسته

شکل ۱۳ــ۳

سومین مورد از کمپرسورهای تناوبی کمپرسورهای باز (شکل ۱۴ــ۳).
هستند محرک این نوع کمپرسور خارج از سیستم تبرید است




الف) برش خورده یک کمپرسور باز

ب) یک کمپرسور باز

شکل ۱۴ــ۳

## ۳ــ۳ــ روغن‌کاری کمپرسور

سطوح بین قطعات متحرک کمپرسورها باید روغن‌کاری شود. از جمله می‌توان به سطوح زیر اشاره کرد.

۱ــ سطح بین پیستون و دیواره سیلندر

۲ــ سطح اتصال پیستون به شاتون

۳ــ سطح اتصال شاتون به میل‌لنگ

۴ــ سطح اتصال میل‌لنگ به یاتاقان‌های ثابت

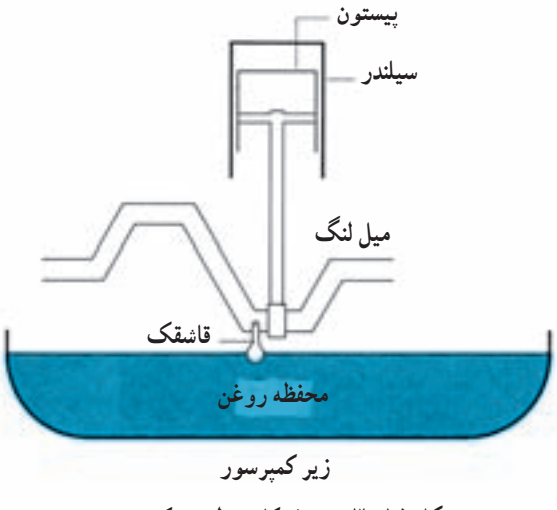
روغن در پایین محفظه میل‌لنگ (کارتر) جمع می‌شود. برای رساندن روغن به سطوحی که نیاز به روغن‌کاری دارند دو روش وجود دارد.

۱ــ روغن‌کاری به روش طبیعی

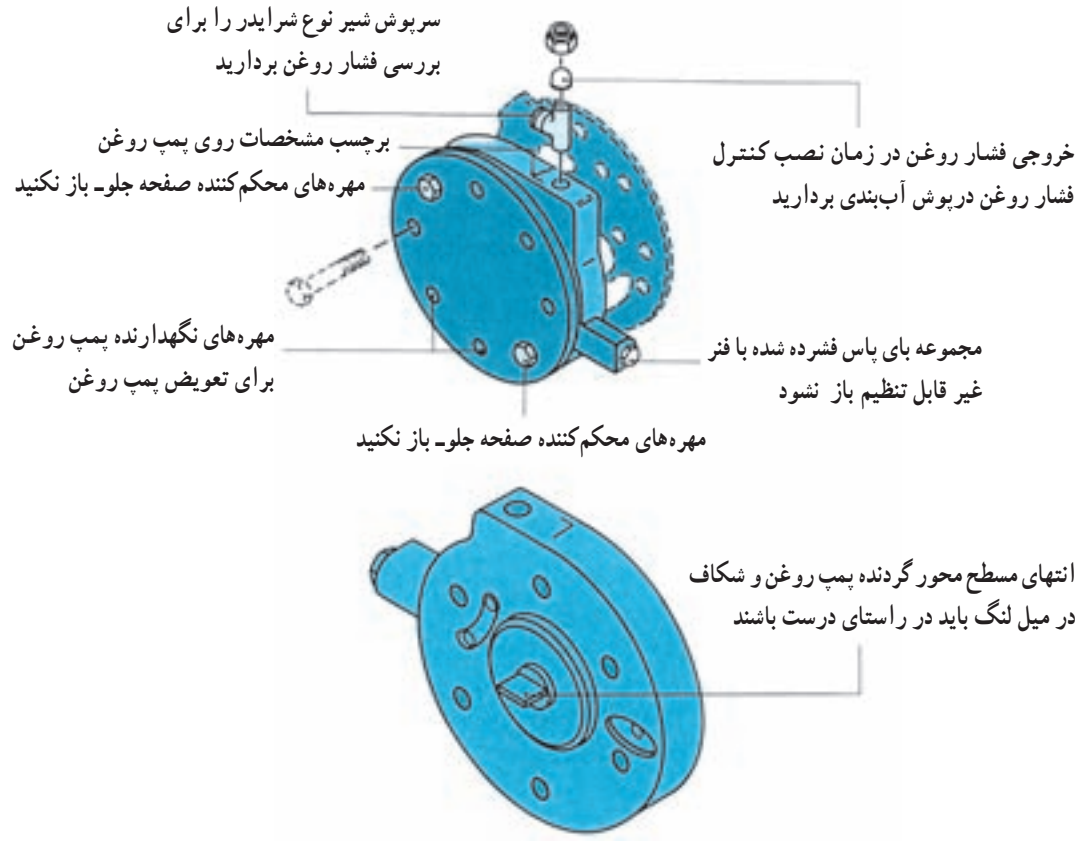
۲ــ روغن‌کاری به روش اجباری

اجرای روغن‌کاری به روش طبیعی کاملاً ساده است در یک نوع آن مطابق شکل ۱۵ــ۳ با هر بار گردش میل‌لنگ قاشقک متصل به میل‌لنگ از داخل مخزن روغن عبور می‌کند در نتیجه روغن را به سطح قسمت‌های داخلی کمپرسور می‌پاشد. این روش به‌طور معمول در کمپرسورهای کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در کمپرسورهای بزرگ برای اطمینان از رسیدن روغن به سطوح موردنیاز و روغن‌کاری مناسب تمام سطوح گردنده از روش اجباری استفاده می‌شد.

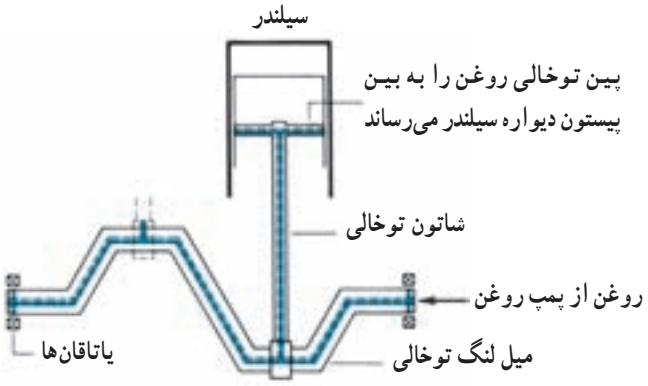



شکل ۱۵ــ۳ــ روغن‌کاری طبیعی کمپرسور



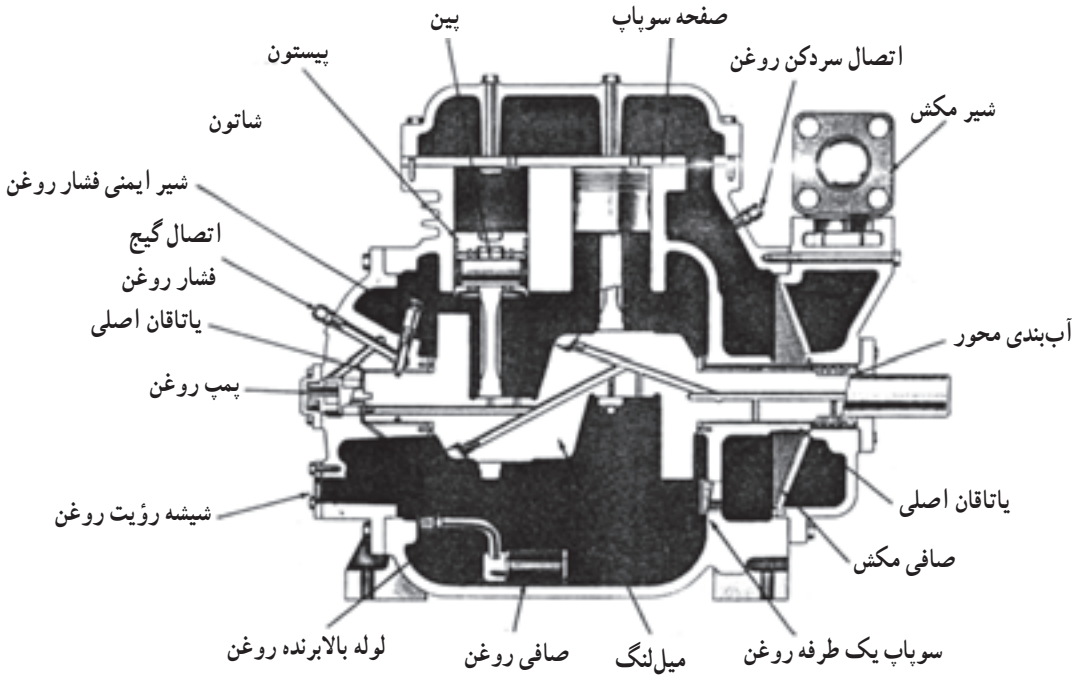

شکل ۱۶ــ۳ــ پمپ روغن

در سیستم روغن‌کاری اجباری (تحت فشار) از یک پمپ روغن مطابق شکل ۱۶ــ۳ استفاده می‌شود. میل‌لنگ با سطح روغن در تماس نیست. پمپ روغن در انتهای میل‌لنگ قرار گرفته است و به‌وسیله میل‌لنگ می‌چرخد (شکل ۱۷ــ۳).




شکل ۱۷ــ۳ــ روغن به‌وسیله پمپ به‌داخل میل‌لنگ تزریق می‌شود.

پمپ، روغن را از محفظه میل‌لنگ (کارتر) گرفته و با فشار از طریق مجاری و راهگاه‌های میل‌لنگ به محل روغن‌کاری می‌رساند. در شکل ۱۸ــ۳ قسمت‌های مختلف یک کمپرسور باز را به همراه مسیر جریان روغن‌کاری در داخل میل‌لنگ را نشان می‌دهد.



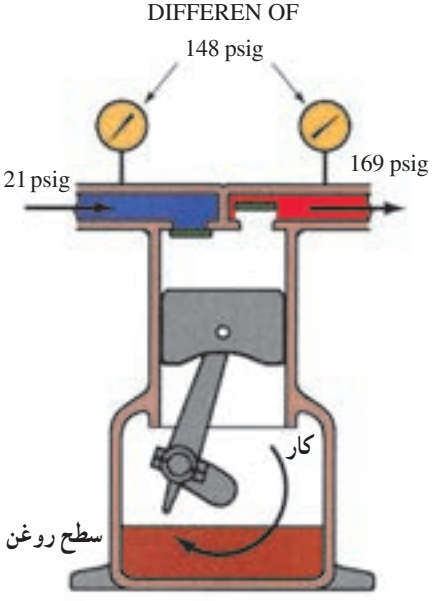

**شکل ۱۸ــ۳ــ کمپرسور باز و برش طولی میل‌لنگ**

در روی میل‌لنگ در محل اتصال به شاتون‌ها سوراخ‌های شعاعی وجود دارد که امکان عبور روغن برای روغن‌کاری را فراهم می‌آورد به علاوه مجرایی در شاتون تعبیه شده که برای انتقال روغن برای روغن‌کاری بین اتصال پیستون به شاتون (گژن‌پین) و همچنین روغن‌کاری مستقیم پیستون و سطح سیلندر استفاده می‌شود. روغن‌کاری محل یاتاقان‌ها و میل‌لنگ (یاتاقان‌های ثابت) مشابه محل اتصال میل‌لنگ به شاتون‌ها انجام می‌گیرد. فشار روغن پس از روغن‌کاری سطوح یاد شده افت کرده و به داخل محفظه میل‌لنگ (کارتر) می‌ریزد. فشار مکش پمپ روغن برابر فشار محفظه میل‌لنگ (کارتر) کمپرسور بوده و آن نیز برابر فشار مکش سیستم می‌باشد. پمپ، روغن را تحت فشار قرار داده داخل میل‌لنگ تزریق می‌کند. فشار خالص موجود برای راندن روغن برابر با اختلاف فشار رانش پمپ روغن و فشار داخل کارتر کمپرسور است. پمپ روغن معمولاً فشاری برابر ۱/۳bar تا ۳/۳bar را به‌وجود می‌آورد. اگر فشار از ۴bar تجاوز نماید از تزریق روغن به تمام سطوح یاد شده به صورت مطلوب آسوده خاطر خواهیم شد. اگر فشار زیر ۰/۷bar – ۱ افت نماید لازم است که مجموعه پمپ روغن تعویض گردد. (معمولاً پمپ‌های روغن به صورت بسته کامل موجود می‌باشند.) لازم است که دقت شود : خاموش شدن کمپرسور به‌وسیله کلید کنترل روغن، زنگ خطری است برای کمپرسور از لحاظ عدم روغن‌کاری صحیح و بسیار واضح است که تکرار عمل قطع تهدید جدی برای گیریپاژ (چسبیدن و شکستن یاتاقان‌ها، رینگ‌ها،قفل شدن موتور ، ... و سوختن سیم‌پیچی موتور) کمپرسور می‌باشد که قبل از وقوع چنین مواردی حتماً پس از خارج شدن کمپرسور از مدار و قبل از استارت مجدد چاره‌اندیشی مناسب بشود.

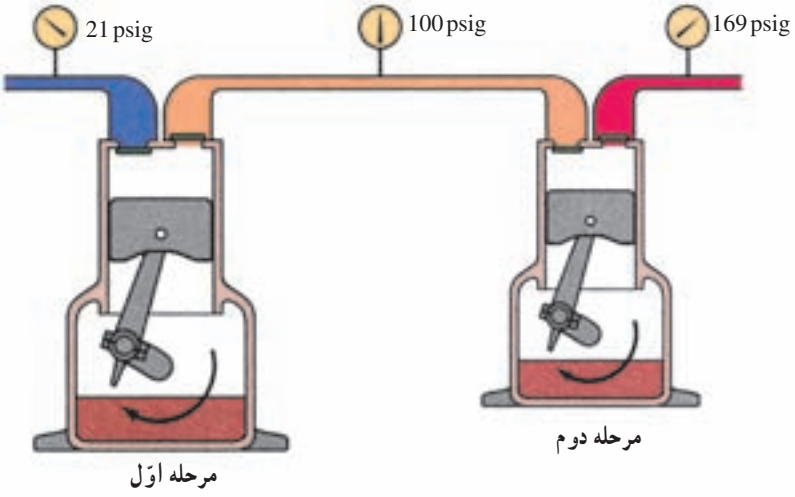
در یک سیستم با طراحی خوب نباید کلید کنترل روغن قطع نماید و تکرار عمل قطع برای یک سیستم معمولی به هیچ‌وجه قابل قبول نیست.

## ۴ــ۳ــ نسبت تراکم

نسبت تراکم در یک کمپرسور از تقسیم فشار مطلق رانش به فشار مطلق مکش به‌دست می‌آید. طراحی سیستم نباید طوری باشد که نسبت تراکم بیشتر از ۱۰:۱ موردنیاز باشد. نسبت تراکم بالاتر باعث انجام کار بیش از حد روی مبرد شده در نتیجه دمای مبرد بیشتر خواهد شد ــ دمای بالا می‌تواند منجر به بروز عیب در قطعات کمپرسور، تجزیه روغن و خستگی زود هنگام قطعات مکانیکی شود. در صورت نیاز به نسبت تراکم بالاتر باید عمل تراکم در دو مرحله انجام گیرد (شکل ۱۹ــ۳).




الف ــ تراکم یک مرحله‌ای




ب ــ تراکم دو مرحله‌ای

شکل ۱۹ــ۳

## ۵ــ۳ــ عوامل مؤثر در ظرفیت کمپرسور

چنانچه گفته شد ظرفیت کمپرسور براساس حجم ماده مبرد تخلیه شده محاسبه می‌شود، مقدار حجم بستگی به قطر پیستون، طول کورس حرکت پیستون، تعداد سیلندر و سرعت چرخش کمپرسور دارد. علاوه بر موارد فوق عوامل دیگری در ظرفیت کمپرسور تأثیرگذار هستند. مثلاً نوع ماده مبرد تأثیر زیادی روی ظرفیت کمپرسور دارد.

کمپرسوری که ماده مبرد سنگین‌تری را تخلیه می‌کند ظرفیت بیشتری را نسبت به کمپرسوری که ماده مبرد سبک‌تر را تخلیه می‌کند دارد. بعلاوه ماده‌ی مبردی که گرمای نهان تبخیر بالایی دارد ظرفیت بیشتری را خواهد داشت با لحاظ نمودن دو مورد فوق، سیستمی که با مبرد R – ۲۲ کار می‌کند در حدود دو برابر ظرفیت سیستمی که با مبرد R – ۱۲ در همان دما با همان کمپرسور کار می‌کند ظرفیت خواهد داشت. دومین عامل مؤثر در ظرفیت کمپرسور، فشار مکش آن است. سیستمی که کمپرسور آن در فشار مکش ۳bar کار می‌کند. از سیستمی که با همان کمپرسور در فشار مکش ۱/۵bar کار می‌کند، ظرفیت بیشتری را خواهد داشت. مورد فوق به‌خاطر این است که وقتی سیلندر در فشار مکش ۳bar پر می‌شود مبرد وارد شده چگالتر (سنگین‌تر) بوده بنابراین جرم بیشتری دارد.

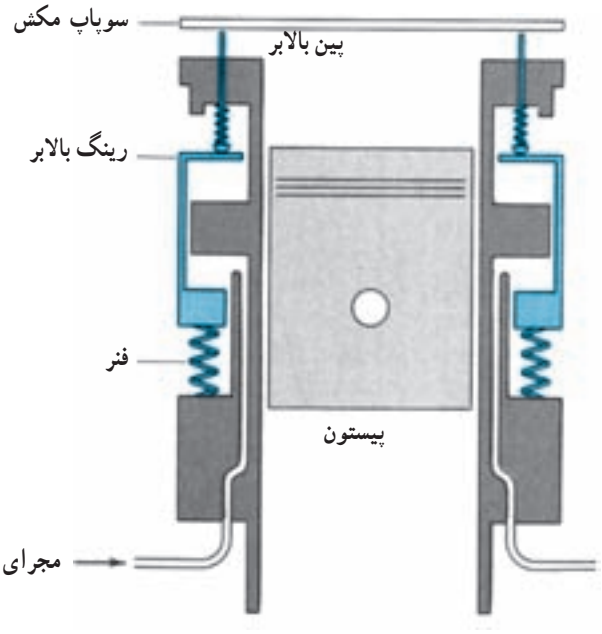
گرمای بیشتری را از اواپراتور جذب نموده و ظرفیت سیستم افزایش می‌یابد.

فشار رانش نیز در ظرفیت سیستم اثر می‌گذارد ولی تأثیر آن کمتر از اثر فشار مکش می‌باشد. وقتی‌که فشار رانش بیشتر می‌شود ظرفیت کمپرسور کمتر می‌شود.

## ۶ــ۳ــ کنترل ظرفیت کمپرسور

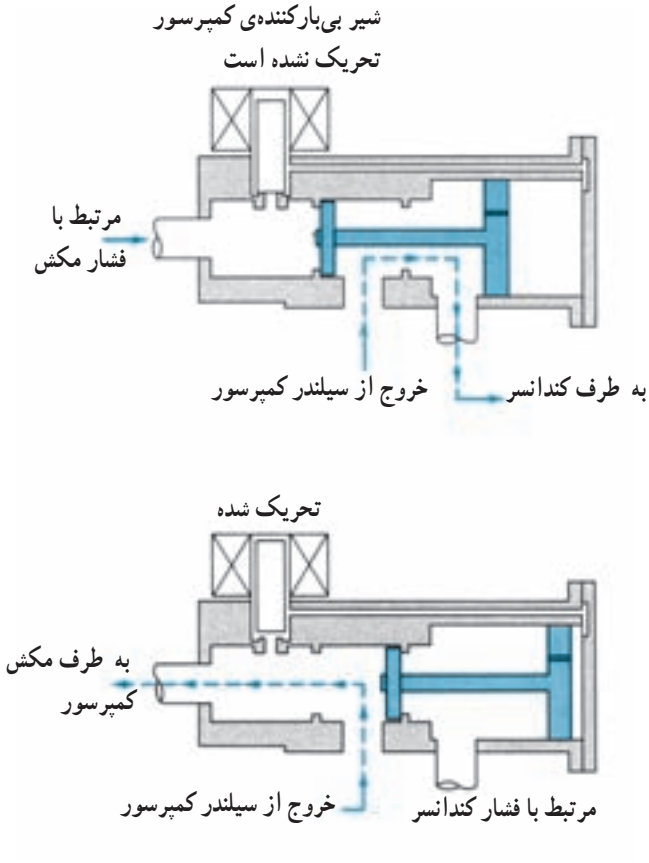
در یک سیستم تبرید معمولاً کمپرسور برای سخت‌ترین شرایط طراحی می‌شود ولی کمپرسور در تمام ساعات برای تأمین ماکزیمم سرما کار نمی‌کند و اغلب در ظرفیتی کمتر از ظرفیت طراحی کار می‌کند بنابراین باید تدابیری برای کنترل ظرفیت کمپرسور پیش‌بینی شود تا بتوان میزان سرمادهی را با توجه به کاهش دمای فضای موردنظر کم کرد. ساده‌ترین کنترل به طریق روشن و خاموش کردن کمپرسور می‌باشد. یخچال‌های خانگی، کولرهای گازی و اکثر سیستم‌های به‌کار برده شده در تأسیسات کوچک به این روش کنترل می‌شوند. در این روش دمای داخل فضای سرد شده مرتباً در حال تغییر می‌باشد. برای این‌که دما را ثابت کنیم بایستی چرخه روشن و خاموش کردن بیشتر شود. در کمپرسورهای بزرگ‌تر موتور استارت بیشتر از یک مرتبه در هر ۳۰ دقیقه را تحمل نمی‌کند. بنابراین کنترل ظرفیت در چنین شرایطی بایستی بدون خاموش کردن کمپرسور اجرا شود. برای کمپرسورهای بیشتر از یک سیلندر، کنترل ظرفیت می‌تواند به‌وسیله‌ی بی‌بار کردن سیلندر انجام گردد.

بی‌بارکننده‌ی سیلندر وسیله‌ای است که می‌تواند به صورت مکانیکی شیر مکش روی یک سیلندر را به حالت باز نگه دارد. در سیلندر بی بار شده عمل تراکم انجام نمی‌شود و مبردی به کندانسر نمی‌رود و توان خیلی کمی از موتور صرف حرکت بالا و پایین آن می‌شود. در یک کمپرسور ۲ سیلندری می‌توانیم بی‌باری را در یک مرحله انجام دهیم (۵۰٪) در یک کمپرسور ۴ سیلندری می‌توانیم ۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ ظرفیت را بی‌بار نماییم. اختلاف صدای کارکرد کمپرسور در صورتی‌که سیلندر باردار یا بی‌بار کار می‌کند با کمی دقت به وضوح قابل شنیدن است. درکمپرسورهای باز کنترل ظرفیت می‌تواند از طریق موتورهای دو سرعتی انجام پذیرد. کارکرد تمام بار، با سرعت بالا بوده و در صورت کم شدن بار، کمپرسور به‌جای خاموش شدن به دور کم سوییچ می‌شود. کمپرسور فقط زمانی خاموش می‌شود که بار اواپراتور افت پیدا کند. در سیستم کنترل دو سرعتی دمای دقیق و ثابت بدون این‌که کمپرسور مرتباً روشن و خاموش شود مهیا می‌شود. شکل ۲۰ــ۳ مکانیزم باز نگه‌داشتن سیلندر نشان می‌دهد.



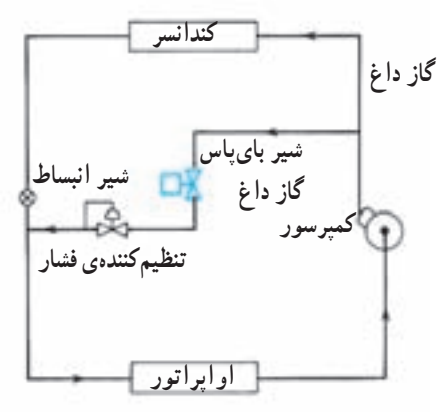

شکل ۲۰ــ۳ــ مکانیزم بی‌بارکننده

شکل ۲۱ــ۳ روش متفاوت دیگر بی‌بار کردن سیلندر را بدون باز کردن سوپاپ مکش نشان می‌دهد. یک مدار کنارگذر برای هر سیلندر تعبیه شده است. وقتی شیربرقی تحریک نیست، فشار رانش شیر کنارگذر را بسته نگه می‌دارد و سیلندر به‌طور عادی کار می‌کند. وقتی بوبین شیر تحریک می‌شود، فشار زیاد در سمت راست شیر نشت می‌کند و شیر به سمت راست حرکت می‌کند خروجی سیلندر به مکش آن برمی‌گردد و سیلندر هیچ تراکمی نخواهد شد.




شکل ۲۱ــ۳ــ بی‌بار کردن با استفاده مسیر کنار گذر

روش دیگر کنترل ظرفیت بای پاس گاز داغ نامیده می‌شود (شکل ۲۲ــ۳). وقتی که شیر کنارگذر (شیر بای پاس) باز می‌شود قسمتی از گاز خروجی کمپرسور مستقیماً به ورودی اواپراتور برمی‌گردد که باعث کاهش سرما می‌شود.




**شکل ۲۲ــ۳ــ بای‌پاس گاز داغ برای کاهش ظرفیت سیستم**

## پرسش و تمرین

۱ــ وظیفه‌ی کمپرسور در سیکل تبرید تراکمی را بنویسید.
۲ــ علت گرم شدن بدنه کمپرسور به هنگام تراکم ماده مبرد چیست؟
۳ــ انواع کمپرسورها را نام ببرید.
۴ــ معمولاً کمپرسورهای تناوبی در کدام محدوده‌ی ظرفیتی ساخته می‌شوند؟
۵ــ اصول تراکم بخار مبرد در کمپرسورهای تناوبی چیست؟
۶ــ انواع مختلف کمپرسورهای سیلندر پیستونی را نام ببرید.
۷ــ کمپرسورهای بسته را تعریف کنید.
۸ــ کمپرسورهای نیمه بسته را تعریف کنید.
۹ــ کمپرسورهای باز را تعریف کنید.
۱۰ــ موارد کاربرد کمپرسورهای بسته را بنویسید.
۱۱ــ فرق کمپرسور بسته ۳ لوله‌ای با کمپرسور بسته ۵ لوله‌ای در چیست؟
۱۲ــ طریقه تشخیص لوله‌های متصل به کمپرسورهای بسته ۳ لوله‌ای را بنویسید.
۱۳ــ طریقه تشخیص لوله‌های متصل به کمپرسورهای بسته ۵ لوله‌ای را بنویسید.
۱۴ــ روش خنک‌کاری روغن در کمپرسورهای بسته ۳ لوله‌ای را توضیح دهید.
۱۵ــ روش خنک‌کاری روغن در کمپرسورهای بسته ۵ لوله‌ای را توضیح دهید.
۱۶ــ فرق کمپرسور بسته با کمپرسور نیمه بسته در چیست؟
۱۷ــ فرق کمپرسور نیمه بسته با کمپرسور باز در چیست؟
۱۸ــ ظرفیت در کمپرسورها بسته و نیمه بسته و باز را بنویسید.

۱۹ــ علت روغن‌کاری کمپرسورها را توضیح دهید.
۲۰ــ روش‌های مختلف روغن‌کاری را نام ببرید.
۲۱ــ روش روغن‌کاری طبیعی را توضیح دهید.
۲۲ــ موارد کاربرد روغن‌کاری طبیعی را بنویسید.
۲۳ــ روش روغن‌کاری اجباری را توضیح دهید.
۲۴ــ موارد کاربرد روغن‌کاری اجباری را بنویسید.
۲۵ــ نحوه‌ی تحریک پمپ روغن (چرخش پمپ) در کمپرسورها را بنویسید.
۲۶ــ طریقه محاسبه فشار خالص پمپ روغن را بنویسید.
۲۷ــ با ایجاد کدام فشار (مقدار آن) توسط پمپ روغن، از روغن‌کاری مطلوب آسوده خاطر می‌شویم؟
۲۸ــ طریقه محاسبه نسبت تراکم در کمپرسورها را بنویسید.
۲۹ــ ظرفیت کمپرسور را تعریف کنید.
۳۰ــ عوامل مؤثر در کاهش ظرفیت کمپرسور را بنویسید.
۳۱ــ عوامل مؤثر در افزایش ظرفیت کمپرسور را بنویسید.
۳۲ــ روش‌های کنترل ظرفیت کمپرسور را نام ببرید.
۳۳ــ کنترل ظرفیت کمپرسور به روش بی‌بارکردن را توضیح دهید.
۳۴ــ کنترل ظرفیت به روش بای‌پاس گاز داغ را بنویسید.