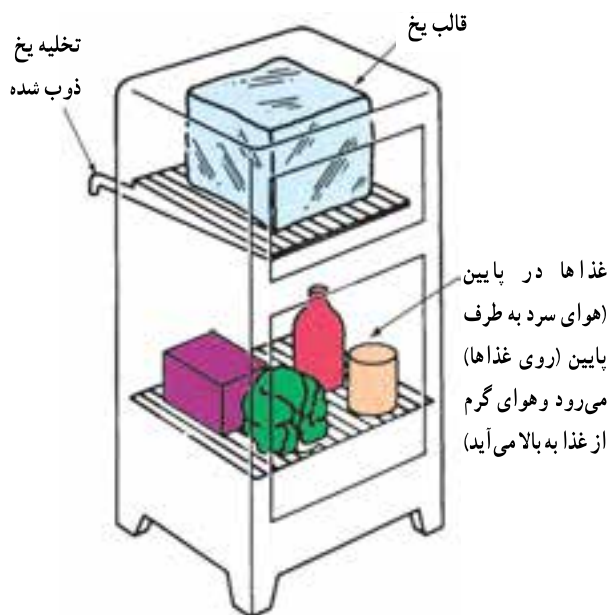


## سیکل تبرید

پس از پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

- ۱- تبرید را توضیح دهد.
- ۲- تن تبرید را بیان نماید.
- ۳- فرآیند تبرید را شرح دهد.
- ۴- رابطه فشار و دمای جوش را بیان کند.
- ۵- رابطه فشار و دمای جوش را برای مبردهای مختلف شرح دهد.
- ۶- سیکل تبرید را توضیح دهد.
- ۷- تغییرات دما و فشار را در سیکل تبرید توضیح دهد.
- ۸- سیکل تبرید را با نمودار P-H بررسی نماید.

## ۲- سیکل تبرید



شکل ۱-۲- جعبه های یخ ابتدا از چوب سپس از فلز ساخته شده با چوب پنبه عایق کاری می شود. اگر قسمت سرد شونده با قالب یخ در یک محفظه قرار می گرفت یک یخچال ساخته می شد.

نگهداری مواد غذایی یکی از وظایف مهم صنعت تبرید است. سرعت فاسد شدن مواد غذایی با کند شدن حرکت مولکولی کم می شود زیرا کند شدن حرکت مولکولی رشد باکتری فاسد کننده مواد غذایی را کم می کند. در زیر نقطه انجماد رشد باکتری های فاسد کننده غذا بسیار کم می شود.

در گذشته محصولات لبنی و سایر محصولات فاسد شدنی در سردترین اتاق منزل، سرداب (زیرزمین)، چاه یا چشمه نگهداری می شد. همچنین از جعبه های دارای یخ نیز برای نگهداری مواد غذایی استفاده می شد. یخ در هنگام ذوب شدن گرمای مواد غذایی را جذب می کند و آن ها را سرد کرده خنک نگه می دارد شکل (۱-۲). در اوایل قرن بیستم میلادی تولید یخ توسط دستگاه های سرد کننده مکانیکی آغاز شد و در جعبه هایی برای فروش عرضه شد با این حال همه مردم نمی توانستند نسبت به خرید آن اقدام نمایند.

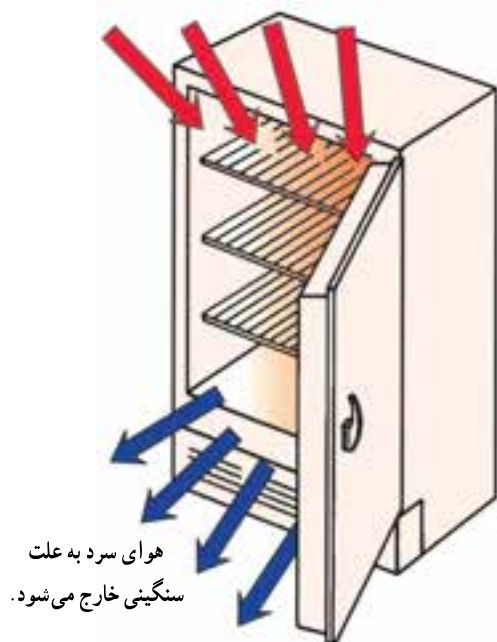
در همین سال‌ها بعضی کارخانه‌ها و سازندگان، یخچال خانگی را تولید کردند که مورد استقبال قرار گرفت و امروزه کمتر خانه‌ای است که حداقل دارای یک یخچال نباشد. از تبرید و سردسازی امروزه در تأمین آسایش مردم، لوازم سردکننده خانگی و تجاری و همچنین تهویه مطبوع ساختمان‌ها و اتومبیل‌ها استفاده می‌شود.

## ۱-۲- 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.

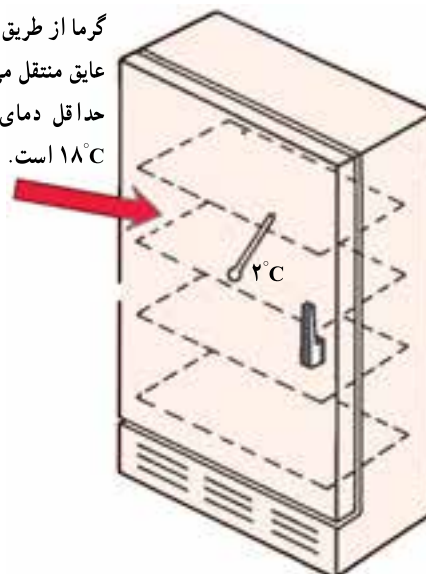
دما در یک آشپزخانه معمولی در تابستان  $32^{\circ}\text{C}$  و در زمستان  $18^{\circ}\text{C}$  است. دمای داخل یخچال در قسمت غذاهای تازه حدود  $2^{\circ}\text{C}$  است. گرما به طور طبیعی از جای گرم به جای سرد جریان می‌یابد. بنابراین گرمای اتاق حتی از طریق جدارهای عایق شده یخچال به داخل یخچال انتقال می‌یابد. 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 ۲-۲ تا ۲-۴).

هوای گرم جای هوای سرد را می‌گیرد.



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

گرما از طریق دیواره‌ها و عایق منتقل می‌شود زیرا حداقل دمای آشپزخانه  $18^{\circ}\text{C}$  است.



شکل ۲-۳- گرما از میان دیواره به داخل محفظه یخچال از طریق هدایت انتقال می‌یابد. دیواره‌ها دارای عایق هستند ولی نمی‌توانند به طور کامل از نفوذ گرما جلوگیری کنند.



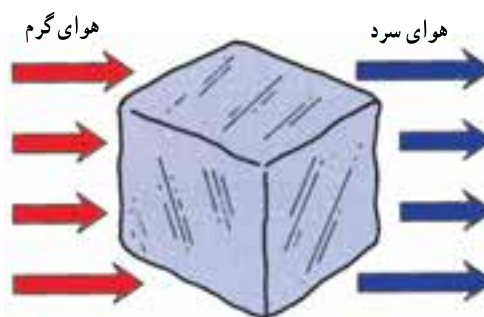
شکل ۲-۴- غذای برداشته شده از اتاق یا اجاق، به یخچال گرما اضافه می‌کند که به منزله نفوذ گرما تلقی می‌شود. این گرمای اضافه شده باید گرفته شود و ال‌دمای داخل یخچال بالا خواهد رفت.

## ۲-۲- تن تبرید<sup>۱</sup>

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 است که یک تن یخ در اثر ذوب شدن در ۲۴ ساعت تولید می‌کند و معادل ۱۲۰۰۰ بی‌تی‌یو در ساعت است. (شکل ۲-۵)

$$\begin{aligned} 1 \text{ TR} &= 12000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \\ 1 \text{ TR} &= 3000 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}} \\ 1 \text{ TR} &= 3480 \text{ W} \approx 3500 \text{ W} \\ 1 \text{ TR} &\approx 2/5 \text{ KW} \end{aligned}$$



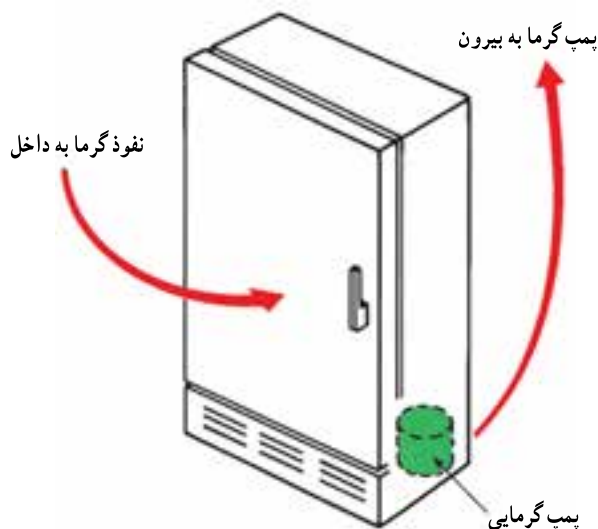
۱ تن یخ (۲۰۰۰ پوند)

شکل ۲-۵- سرمای ایجاد شده توسط یک تن یخ صفر درجه در ۲۴ ساعت تن سرمایی است.

## ۲-۳- فرایند تبرید

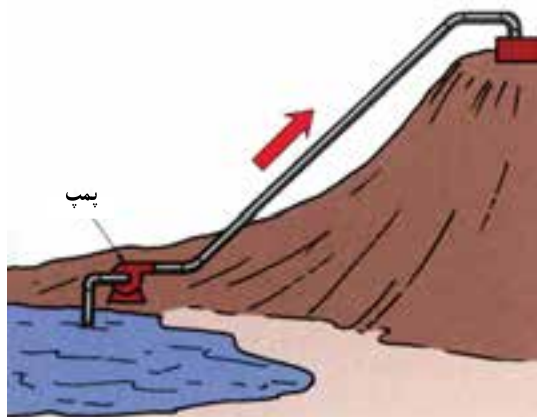
یخچال باید گرما را از سطح دمایی  $18^{\circ}\text{C}$  تا  $2^{\circ}\text{C}$  محفظه داخل یخچال به سطح دمایی  $32^{\circ}\text{C}$  تا  $18^{\circ}\text{C}$  داخل اتاق پمپ نماید. قطعات تشکیل دهنده یخچال با همراهی همدیگر این وظیفه را انجام

می‌دهند (شکل ۲-۶). 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 تا حد معینی بالا رود سیستم سردکننده یخچال شروع به کار می‌کند و گرما را از یخچال خارج می‌کند.



شکل ۲-۶- گرما نفوذی به یخچال باید از آن خارج شود.

فرآیند پمپ گرما از یخچال را با فرآیند پمپ آب از دره به بالای تپه می‌توان مقایسه کرد. پمپ از یک موتور الکتریکی به عنوان انرژی کار استفاده می‌کند (شکل ۲-۷).



شکل ۲-۷- پمپ گرما از داخل یخچال  $2^{\circ}\text{C}$  به خارج با دمای  $24^{\circ}\text{C}$  همانند پمپ آب از پایین تا بالای تپه است.

یک آتمسفر یا  $760$  میلی متر جیوه روی سطح آن اعمال می شود جدول ۸-۲ رابطه فشار و دما را نشان می دهد. این جدول نشان می دهد که اگر بخواهیم آب را در  $6^{\circ}\text{C}$  بجوشانیم باید فشار روی سطح آب را کم کنیم تا  $7/01$  mmHg یا  $0/09347$  bar برسد. در چیلرهای جذبی از آب به عنوان ماده سرمازا استفاده می کنند با اگر بخواهیم آب در دمای بالاتر از  $100^{\circ}\text{C}$  مثلاً،  $250^{\circ}\text{C}$  بجوشانیم باید فشاری برابر  $39/776$  bar بر روی آب وارد شود این کاری است که در دیگ های بخار انجام می شود.

تبرید فرآیندی است که طی آن گرما از محیط با دمای پایین تر به محیط با دمای بالاتر حرکت می کند بنابراین نیاز به انرژی دارد.

#### ۴-۲- رابطه فشار و دمای جوش

آب خالص در کنار دریا در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  می جوشد. دمای جوش آب در ارتفاعات کمتر از  $100^{\circ}\text{C}$  است. نقطه جوش آب با تغییر فشار روی آن تغییر می کند. وقتی می گوئیم آب در کنار دریا در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  می جوشد به معنای آن است که در کنار دریا فشار

جدول ۸-۲- رابطه فشار و دمای اشباع برای آب

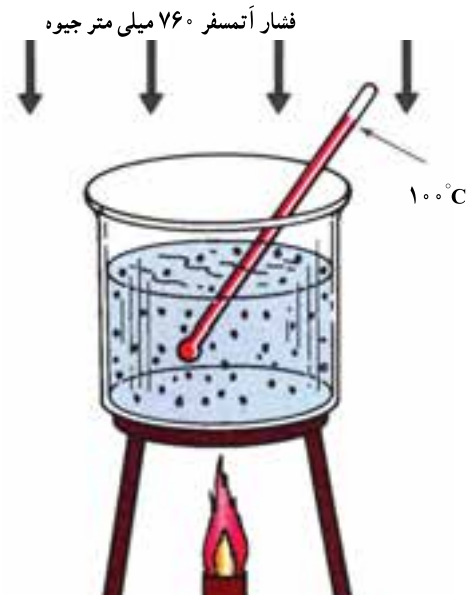
درجه $^{\circ}\text{C}$	فشار اشباع		درجه $^{\circ}\text{C}$	فشار اشباع		درجه $^{\circ}\text{C}$	فشار اشباع	
	mmHg (ab)	bar (ab)		mmHg (ab)	bar (ab)		PSI (ab)	bar (ab)
-5	3/011	0/004013	46	75/666	0/10088	102	15/77	1/0876
-4	3/278	0/004369	48	83/706	0/11163	104	16/91	1/1666
-3	3/380	0/004505	50	92/482	0/12335	106	18/13	1/2504
-2	3/567	0/004754	52	102/083	0/13612	108	19/41	1/3390
-1	4/217	0/005623	54	112/509	0/15001	110	20/77	1/4326
0	4/58	0/006108	56	123/835	0/16510	112	22/20	1/5316
2	5/29	0/007054	58	136/06	0/18146	114	23/72	1/6361
4	6/097	0/008129	60	149/337	0/19917	116	25/32	1/7464
6	7/01	0/009347	62	163/813	0/2184	118	27/01	1/8628
8	8/04	0/010721	64	173/939	0/2391	120	28/78	1/9854
10	9/21	0/012277	66	196/141	0/2615	125	33/65	2/3208
12	10/512	0/014016	68	214/217	0/2856	130	39/16	2/7011
14	11/963	0/015974	70	233/794	0/3117	135	45/38	3/130
16	13/628	0/018170	72	254/721	0/3396	140	52/40	3/614
18	15/466	0/02062	74	277/222	0/3696	145	60/24	4/155
22	19/824	0/02643	78	326/727	0/4365	160	89/61	6/180

ادامه جدول ۸-۲- رابطه فشار و دمای اشباع برای آب

درجه °C	فشار اشباع		درجه °C	فشار اشباع		درجه °C	فشار اشباع	
	mmHg (ab)	bar (ab)		mmHg (ab)	bar (ab)		PSI (ab)	bar (ab)
۲۴	۲۲/۳۶۶	۰/۰۲۹۸۲	۸۰	۳۵۵/۲۲۹	۰/۴۷۳۶	۲۰۰	۲۲۵/۴۸	۱۵/۵۵۱
۲۶	۲۵/۲۰۲	۰/۰۳۳۶۰	۸۲	۳۸۵/۰۰۶	۰/۵۱۳۳	۲۵۰	۵۷۶/۷۵	۳۹/۷۷۶
۲۸	۲۸/۳۴۴	۰/۰۳۷۷۹	۸۴	۴۱۶/۸۸۴	۰/۵۵۵۸	۳۰۰	۱۲۴۵/۸۴	۸۵/۹۲
۳۰	۳۱/۸۱۰	۰/۰۴۲۴۱	۸۶	۴۵۰/۸۶۲	۰/۶۰۱۱	۳۵۰	۲۳۹۷/۸۶	۱۶۵/۳۷
۳۲	۳۵/۶۵۰	۰/۰۴۷۵۳	۸۸	۴۸۷/۱۶۵	۰/۶۴۹۵			
۳۴	۳۹/۸۸۸	۰/۰۵۳۱۸	۹۰	۵۲۵/۸۶۸	۰/۷۰۱۱			
۳۶	۴۴/۵۵۳	۰/۰۵۹۴۰	۹۲	۵۶۷/۰۴۶	۰/۷۵۶۰			
۳۸	۴۹/۶۸۴	۰/۰۶۶۲۴	۹۴	۶۱۰/۹۲۵	۰/۸۱۴۵			
۴۰	۵۵/۳۱۷	۰/۰۷۳۷۵	۹۶	۶۵۷/۵۷۹	۰/۸۷۶۷			
۴۲	۶۱/۴۹	۰/۰۸۱۹۸	۹۸	۷۰۷/۲۳۳	۰/۹۴۲۹			
۴۴	۶۸/۲۶۳	۰/۰۹۱۰۱	۱۰۰	۷۶۰	۱/۰۱۳۱			

این امر باعث می شود که پختن غذاهایی نظیر سیب زمینی، لوبیا به علت نیاز به زمان بیشتر سخت تر شود یا تخم مرغ در چنین ارتفاعی در حالت آب پز سفت نشود.

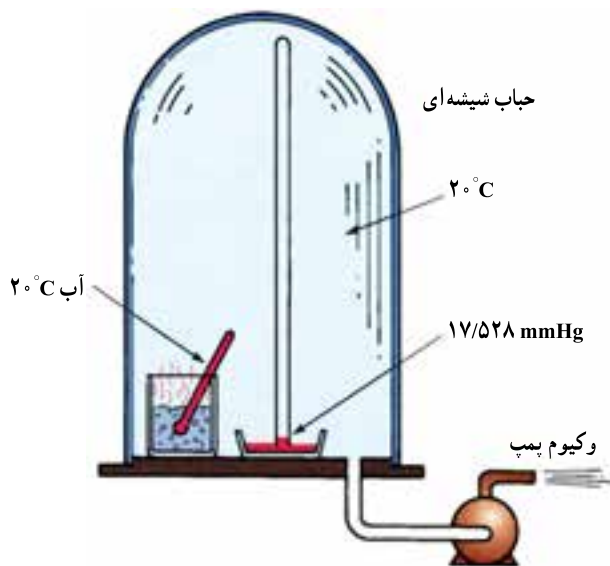
شکل ۹-۲ ظرف آبی را نشان می دهد که در کنار دریا در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  می جوشد اگر این ظرف به قله کوهی برده شود نقطه جوش تغییر می کند (شکل ۱۰-۲). علت آن رقیق تر شدن اتمسفر (جو) و کم شدن فشار است.



شکل ۱۰-۲- آب در فشار  $633/9$  میلی متر جیوه در دمای  $95^{\circ}\text{C}$  می جوشد.

شکل ۹-۲- آب در کنار دریا در  $100^{\circ}\text{C}$  می جوشد.

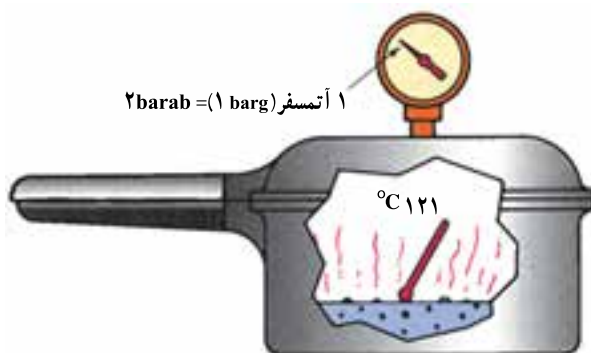
مطابق شکل ۱۲-۲ چنان چه یک ظرف آب خالص با دماسنج و یک بارومتر در داخل یک حباب شیشه‌ای قرار گیرد و وکیوم پمپ روشن شود (فرض کنید دمای آب و دمای اتاق  $20^{\circ}\text{C}$  باشد) وقتی فشار حباب شیشه‌ای به فشار مربوط به  $20^{\circ}\text{C}$  برسد آب شروع به جوشیدن می‌کند.



شکل ۱۲-۲- وقتی فشار داخل ظرف شیشه‌ای به ۱۷/۵۲۸ میلی‌متر جیوه برسد آب در دمای اتاق ( $20^{\circ}\text{C}$ ) می‌جوشد.

با قرار دادن غذا در یک ظرف بسته‌ای که می‌تواند افزایش فشار پیدا کند نظیر دیگ زودپز فشار را حدود یک اتمسفر افزایش می‌دهیم تا فشار مطلق ۲ اتمسفر شود. در این حالت دمای جوش آب به  $121^{\circ}\text{C}$  افزایش می‌یابد (شکل ۱۱-۲).

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 ۱۱-۲- آب در فشار ۲ اتمسفر در دمای  $121^{\circ}\text{C}$  می‌جوشد.

### بیشتر بدانیم

#### رابطه دمای جوش با ارتفاع از سطح دریا

تقریباً به ازای هر  $300$  متر افزایش ارتفاع از سطح دریا  $25$  میلی‌متر جیوه از فشار جو کاسته می‌شود.

مثال: در ارتفاع  $1500$  متری از سطح دریا فشار جو چند میلی‌متر جیوه است؟

$$\text{میلی‌متر جیوه } 125 = \frac{1500}{300} \times 25 = \text{مقدار کاهش فشار}$$

$$\text{میلی‌متر جیوه } 635 = 760 - 125 = \text{مقدار فشار جو}$$

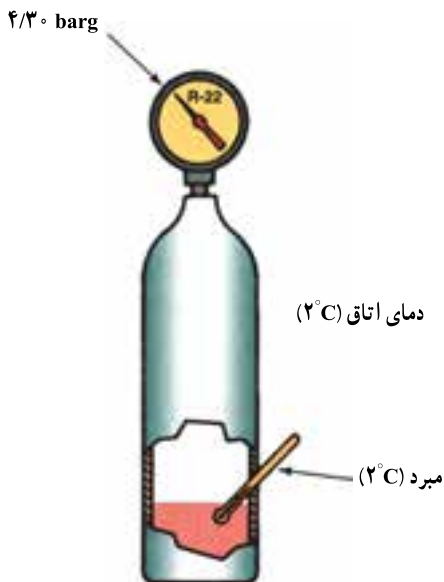
تقریباً به ازای هر  $300$  متر افزایش ارتفاع از سطح دریا  $1^{\circ}\text{C}$  از دمای جوش آب کاسته می‌شود.

مثال: در ارتفاع  $1500$  متری آب در چه درجه‌ای می‌جوشد؟

$$5^{\circ}\text{C} = \frac{1500}{300} = \text{مقدار کاهش نقطه جوش}$$

$$95^{\circ}\text{C} = 100 - 5 = \text{دمای جوش در ارتفاع } 1500 \text{ متری}$$

حال اگر سیلندر با دمای  $22^{\circ}\text{C}$  را به اتاقی با دمای  $38^{\circ}\text{C}$  ببریم به آرامی می جوشد و بخار بیشتری تولید می کند. با تولید بخار فشار نیز افزایش می یابد تا به  $13/6 \text{ barg}$  مطابق جدول ۲-۱۶ برسد (شکل ۲-۱۵).



شکل ۲-۱۴ در دمای  $2^{\circ}\text{C}$  فشار  $4/30 \text{ barg}$  است.



شکل ۲-۱۵ در دمای  $38^{\circ}\text{C}$  فشار نسبی  $13/6 \text{ barg}$  است.

## ۲-۵- رابطه فشار و دما برای مبردهای مختلف

یک سیلندر حاوی مبرد  $\text{R}-22$  در اتاقی با دمای  $22^{\circ}\text{C}$  قرار می دهیم تا دمای آن برابر دمای هوای اتاق شود. قسمتی از سیلندر توسط مایع و قسمتی توسط بخار پر شده است و دارای دمای  $22^{\circ}\text{C}$  است. فشار معادل آن از جدول ۲-۱۶  $8/61 \text{ barg}$  است و فشارسنج روی سیلندر نیز همان فشار  $8/61 \text{ barg}$  را نشان می دهد. (شکل ۲-۱۳)



شکل ۲-۱۳ در دمای  $22^{\circ}\text{C}$  فشارسنج فشار  $8/61 \text{ barg}$  را نشان می دهد.

اگر همان سیلندر را به اتاق با دمای  $2^{\circ}\text{C}$  منتقل کنیم تا پس از گذشت زمان لازم به دمای سردخانه برسد، فشار سیلندر با توجه به جدول ۲-۱۶ به  $4/30 \text{ barg}$  می رسد زیرا وقتی سیلندر سرد می شود قسمتی از بخار در آن به مایع تبدیل می شود تا فشار داخل سیلندر کاهش یابد (شکل ۲-۱۴).

اگر سیلندری که اکنون در دمای  $2^{\circ}\text{C}$  است به اتاق گرم تر با دمای  $22^{\circ}\text{C}$  برگردانیم تا به دمای اتاق برسد مایع داخل سیلندر در اثر گرم شدن به آرامی می جوشد و بخار تولید می کند. تولید بخار باعث افزایش فشار می شود و فشار سیلندر به  $8/61 \text{ barg}$  معادل دمای  $22^{\circ}\text{C}$  از جدول ۲-۱۶ می رسد.



جدول ۱۶-۲- رابطه فشار و دما برای مبردهای مختلف

Temperature		REFRIGERANT					
°C	°F	R-12 barg/mmHg	R-22 barg/mmHg	R-134a barg/mmHg	R-410a barg/mmHg	R-502 barg/mmHg	R-507 barg/mmHg
-50	-58/0	۴۶۷	۲۷۶	۵۳۶	۰/۰۳	۱۴۹	۱۱۴
-48	-۵۴/۴	۴۳۵	۲۲۴	۵۰۹	۰/۱۴	۱۷	۴۶
-46	-۵۰/۸	۴۰۰	۱۶۸	۴۷۹	۰/۲۷	۲۰	۰/۰۴
-44	-۴۷/۲	۳۶۳	۱۰۷	۴۴۷	۰/۴۰	۰/۰۷	۰/۱۴
-42	-۴۳/۶	۳۲۳	۴۲	۴۱۱	۰/۵۴	۰/۱۷	۰/۲۶
-40	-۴۰/۰	۲۷۹	۰/۰۴	۳۷۳	۰/۷۰	۰/۲۸	۰/۳۸
-36	-۳۲/۸	۱۸۲	۰/۲۵	۲۸۵	۱/۰۴	۰/۵۳	۰/۶۵
-34	-۲۹/۲	۱۲۸	۰/۳۷	۲۳۶	۱/۲۳	۰/۶۷	۰/۸۰
-30	-۲۲/۰	۷/۶	۰/۶۳	۱۲۴	۱/۶۶	۰/۹۷	۱/۱۳
-26	-۱۴/۸	۰/۱۷	۰/۹۲	۰/۰۱	۲/۱۴	۱/۳۱	۱/۵۱
-22	-۷/۸	۰/۳۸	۱/۲۶	۰/۲۱	۲/۶۸	۱/۶۹	۱/۹۳
-18	-۰/۴	۰/۶۲	۱/۶۳	۰/۴۴	۳/۲۹	۲/۱۲	۲/۴۰
-14	۶/۸	۰/۸۸	۲/۰۶	۰/۷۰	۳/۹۷	۲/۶۰	۲/۹۳
-10	۱۴/۰	۱/۱۸	۲/۵۴	۰/۹۹	۴/۷۳	۳/۱۳	۳/۵۲
-6	۲۱/۲	۱/۵۰	۳/۰۶	۱/۲۳	۵/۵۷	۳/۷۲	۴/۱۷
-2	۲۸/۴	۱/۸۷	۳/۶۵	۱/۷۱	۶/۵۰	۴/۳۷	۴/۸۸
0	۳۲/۰	۲/۰۷	۳/۹۷	۱/۹۱	۷/۰۰	۴/۷۲	۵/۲۷
2	۳۵/۶	۲/۲۸	۴/۳۰	۲/۱۳	۷/۵۳	۵/۰۸	۵/۶۷
6	۴۲/۸	۲/۷۲	۵/۰۱	۲/۶۱	۸/۶۵	۵/۸۶	۶/۵۴
10	۵۰/۰	۳/۲۱	۵/۸۰	۳/۱۳	۹/۸۸	۶/۷۲	۷/۴۹
14	۵۷/۲	۳/۷۵	۶/۶۶	۳/۷۱	۱۱/۲	۷/۶۴	۸/۵۲
18	۶۴/۴	۴/۳۴	۷/۵۹	۴/۳۶	۱۲/۷	۸/۶۵	۹/۶۵
22	۷۱/۶	۴/۹۸	۸/۶۱	۵/۰۶	۱۴/۳	۹/۷۴	۱۰/۹
26	۷۸/۸	۵/۶۷	۹/۷۱	۵/۸۴	۱۶/۰	۱۰/۹	۱۲/۲
34	۹۳/۲	۷/۲۴	۱۲/۲	۷/۶۱	۱۹/۸	۱۳/۵	۱۵/۲
38	۱۰۰/۴	۸/۱۱	۱۳/۶	۸/۶۲	۲۲/۰	۱۵/۰	۱۶/۹

ادامه جدول ۱۶-۲- رابطه فشار و دما برای مبردهای مختلف

Temperature		REFRIGERANT					
°C	°F	R-12 barg/mmHg	R-22 barg/mmHg	R-134a barg/mmHg	R-410a barg/mmHg	R-502 barg/mmHg	R-507 barg/mmHg
۴۲	۱۰۷/۶	۹/۰۵	۱۵/۱	۹/۷۱	۲۴/۳	۱۶/۵	۱۸/۷
۴۶	۱۱۴/۸	۱۰/۱	۱۶/۷	۱۰/۹	۲۶/۸	۱۸/۲	۲۰/۷
۵۰	۱۲۲/۰	۱۱/۲	۱۸/۴	۱۲/۲	۲۹/۵	۲۰/۰	۲۲/۸
۵۴	۱۲۹/۲	۱۲/۳	۲۰/۳	۱۳/۵	۳۲/۳	۲۱/۹	۲۵/۱
۵۸	۱۳۶/۴	۱۳/۶	۲۲/۲	۱۵/۰	۳۵/۴	۲۳/۹	۲۷/۶
۶۲	۱۴۳/۶	۱۴/۹	۲۴/۳	۱۶/۶	۳۸/۷	۲۶/۱	۳۰/۲

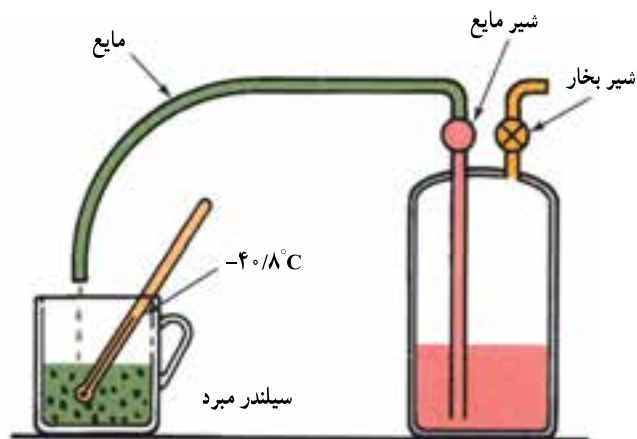
\* فشار بخار برحسب barg و مقادیر روشن (ایتالیک) برحسب mm.Hg می باشد اعداد ایتالیک (های لایت) مقادیر خلأ است.

در این آزمایش فرض می کنیم که شیر به اندازه ای بزرگ است که بخار ایجاد شده به جو انتقال می یابد. اگر لوله باریکی به شیر مایع روی سیلندر وصل شود و شیر به آرامی باز شود مایع مبرد در فنجان جمع شده و در دمای  $-41^{\circ}\text{C}$  می جوشد (شکل ۱۷-۲).

### ۲-۶- چرخه تبرید

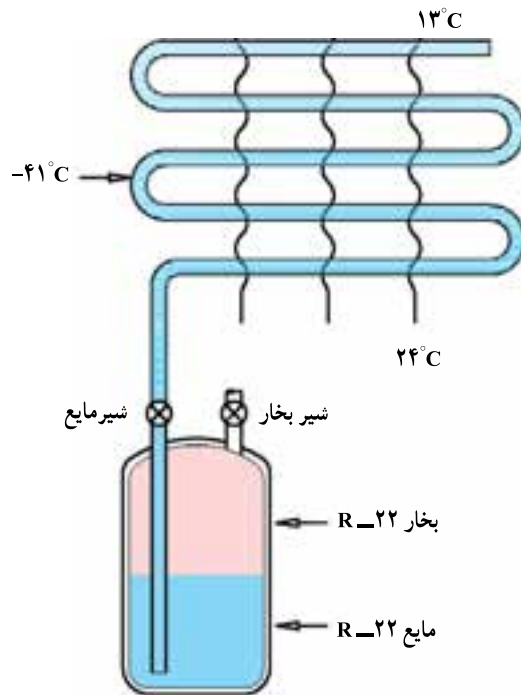
یک کویل لوله مسی به شیر خروجی مایع سیلندر وصل می کنیم و شیر را طوری باز می کنیم تا مایع به تدریج در داخل لوله مسی وارد شود. دمای جوش مبرد  $-22^{\circ}\text{C}$  در فشار یک اتمسفر  $-41^{\circ}\text{C}$  است بنابراین مایع در داخل کویل در دمای  $-41^{\circ}\text{C}$  می جوشد و گرمایی را که برای تبخیر لازم است از محیط اطراف می گیرد و آن را سرد می کند. اگر هوا با دمای  $24^{\circ}\text{C}$  از روی آن عبور نماید دمایش تا  $13^{\circ}\text{C}$  می تواند کاهش پیدا کند (شکل ۱۸-۲). کویل لوله مسی را که مایع در داخل آن به حالت جوش درآمده و بخار می شود، کویل تبخیرکننده یا «اوپراتور» می نامند. برای این که 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

مطالعه بیشتر جدول ۱۶-۲ نشان می دهد که وقتی فشار تا فشار جو پایین رود (مبرد  $-22^{\circ}\text{C}$  در دمای  $-41^{\circ}\text{C}$  می جوشد. این حالت موقعی اتفاق می افتد که شیر سیلندر  $-22^{\circ}\text{C}$  به آرامی باز شود و بخار فریون ۲۲ امکان رها شدن در جو را پیدا نماید. افت فشار بخار باعث می شود که مایع مانده در سیلندر به جوش آید و دمایش کاهش یابد. به ازای هر مایعی که می جوشد گرمایی جذب سیستم می شود و سرمایای ایجاد می نماید. در این حالت گرما از مایع  $-22^{\circ}\text{C}$  گرفته می شود. وقتی فشار داخل تا فشار جو کاهش یابد سیلندر به دمای  $-41^{\circ}\text{C}$  رسیده و از یخ پوشیده می شود.

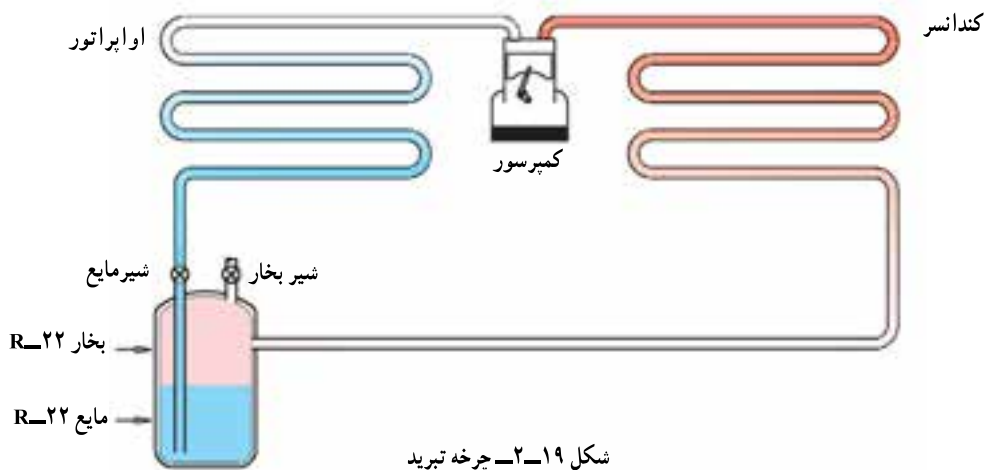


شکل ۱۷-۲-۲-۲۲ R در فشار جو در دمای  $-40/8^{\circ}\text{C}$  می جوشد.

به کویل کم شده و قدرت سرمایی کویل خیلی کاهش می‌یابد. شیر تنظیم<sup>۱</sup> را شیر انبساط<sup>۲</sup> نیز می‌گویند. فریون ۲۲ را که در داخل کویل تبخیر شده و سرما ایجاد می‌کند ماده مبرد<sup>۳</sup> یا ماده سرمازا می‌گویند. در این سیستم دو اشکال عمده وجود دارد. اول این که علاوه بر هدر رفتن ماده سرمازای R-۲۲ این نوع مبرد نباید در جو رها شود<sup>۴</sup>. 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 به حالت مایع درآورده و مورد استفاده قرار دهند. برای رسیدن به این هدف یک کمپرسور<sup>۵</sup> و یک کندانسر<sup>۶</sup> باید به سیستم اضافه کرد. کمپرسور گاز خروجی از اوپراتور 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 ۱۹-۲).



شکل ۱۸-۲- دمای کویل  $-41^{\circ}\text{C}$  است هوای عبوری از آن می‌تواند از  $24^{\circ}\text{C}$  تا  $13^{\circ}\text{C}$  کاهش یابد.



شکل ۱۹-۲- چرخه تبرید

در شکل ۲۰-۲ 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 اوپراتور جزء قسمت فشار کم می‌باشد.

به سیلندر مثال فوق در سیستم‌های سردکننده مخزن تجمع مایع<sup>۷</sup> یا رسیور می‌گویند در سیستم‌های سردکننده کوچک که مقدار مبرد جریانی کم است، مخزن تجمع مایع حذف می‌شود و سیستم به صورت شکل ۲۰-۲ در می‌آید.

۱- Metering device

۲- Refrigerant

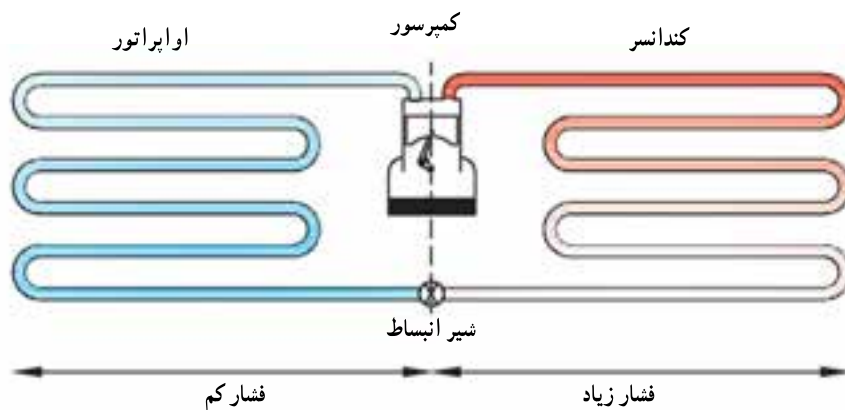
۵- Compressor

۷- Receiver

۲- Expansion Valve

۶- Condenser

۴- رها کردن مبردهای هالوکربنی در جو غیرقانونی است.



شکل ۲-۲۰- چرخه تبرید - قسمت فشار کم - قسمت فشار زیاد

## ۲-۷- تغییرات فشار و دما در چرخه تبرید

۴- وقتی ماده سرمازا به وسط اوپراتور می‌رسد به صورت

۵۰٪ مایع و ۵۰٪ بخار درمی‌آید.

۵- در نقطه ۵ تمام مایع تبدیل به بخار می‌شود. دمای بخار

هنوز  $5^{\circ}\text{C}$  بوده و می‌تواند از هوای اتاق با دمای  $24^{\circ}\text{C}$  گرما جذب

نماید. از این نقطه به بعد جذب گرما باعث افزایش دمای بخار میرد

و سوپرهیت شدن آن می‌شود.

۶- در این نقطه بخار خالص با  $5^{\circ}\text{C}$  سوپرهیت خواهیم

داشت و دمای بخار میرد  $1^{\circ}\text{C}$  خواهد بود.

۷- تحت تأثیر مکش کمپرسور بخار به داخل آن کشیده

می‌شود. بخاری که اوپراتور را ترک می‌کند دارای دمای

$1^{\circ}\text{C}$  یا  $5^{\circ}\text{C}$  سوپرهیت می‌باشد. فاصله بین خروجی اوپراتور

چرخه تبرید شکل ۲-۲۱ 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.

۱- مخلوطی از ۷۵٪ مایع و ۲۵٪ بخار شیر انبساط را

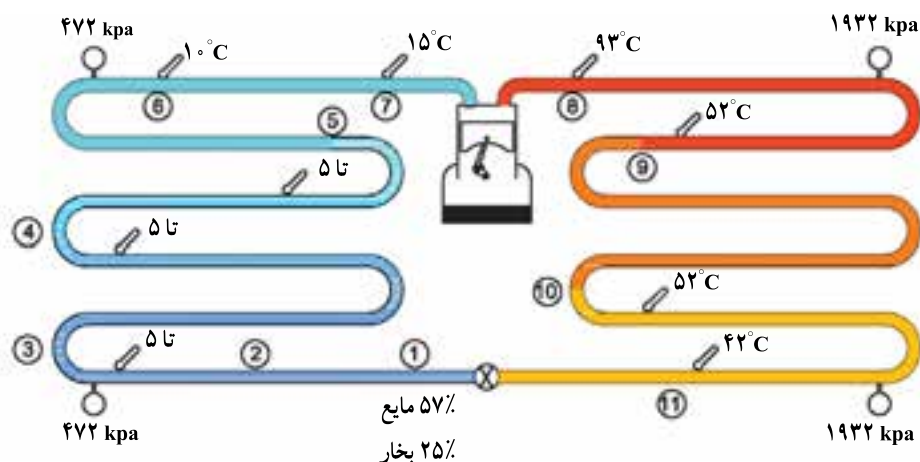
ترک کرده وارد اوپراتور می‌شود.

۲- مخلوط مایع و بخار فریون ۲۲ دارای فشار نسبی

$472\text{ kpa}$  می‌باشد و دمای جوش متناسب با آن  $5^{\circ}\text{C}$  است.

۳- مخلوط مایع و بخار در حال حرکت در اوپراتور با

گرمایی که از هوای  $24^{\circ}\text{C}$  داخل اتاق می‌گیرد تبخیر می‌شود.



شکل ۲-۲۱- نمایش تغییرات دما و فشار در چرخه تبرید

کرده است و آماده شروع مجدد آن است.

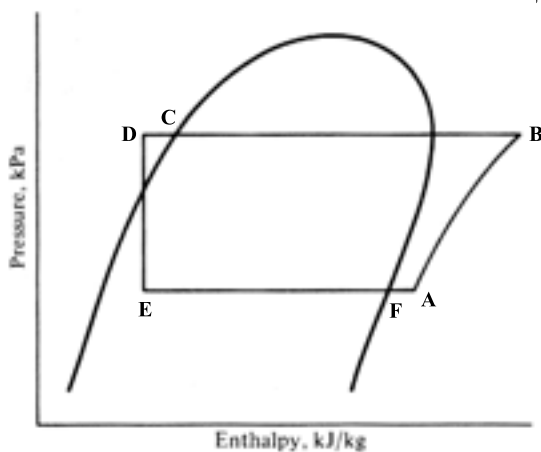
در چرخه تبرید

- ۱- اوپراتور گرما را به داخل سیستم جذب می کند.
- ۲- کمپرسور بخار حامل گرما را به کندانسر پمپ می کند.
- ۳- کندانسر گرما را از سیستم دفع می کند.
- ۴- شیر انبساط جریان ماده سرمازا را تنظیم می کند.

## ۸-۲- بررسی چرخه تبرید با نمودار P-H

اگر چرخه تبریدی که توضیح دادیم بر روی نمودار P-H

رسم کنید شکلی مانند شکل ۲-۲۲ به دست می آید.



شکل ۲-۲۲- نمودار PH

برای ایجاد ارتباط بین شکل ۲-۲۱ با شکل ۲-۲۲ جدول

زیر را پر کنید.

و ورودی کمپرسور را خط مکش<sup>۱</sup> می گویند. برای جلوگیری از افزایش بیش از حد دمای میرد در ورود به کمپرسور خط مکش را عایق می کنند. با این حال دمای ماده میرد در ورود به کمپرسور به  $15^{\circ}\text{C}$  می رسد.

۸- گازی که از طریق خط رانش کمپرسور را ترک می کند دارای فشار و دمای بالایی است. خط رانش دارای دمای  $93^{\circ}\text{C}$  و فشار نسبی  $1932\text{ kPa}$  می باشد. گرچه خط رانش کوتاه است ولی به علت اختلاف دمای زیاد با محیط گرمای خود را به آسانی به محیط منتقل می نماید. دمای محیط حدود  $35^{\circ}\text{C}$  فرض شده است.

۹- با دفع گرما از ماده سرمازا در خط رانش و کویل ابتدایی کندانسر در نقطه ۹ دما به  $52^{\circ}\text{C}$  می رسد. پس از این نقطه دما ثابت مانده دفع گرما باعث می شود که ماده سرمازا از حالت بخار به مایع تبدیل شود.

۱۰- تحول تبدیل بخار به مایع که از نقطه ۹ شروع می شود در نقطه ۱۰ پایان می یابد و در این نقطه ماده سرمازا به صورت  $100\%$  مایع در دمای  $52^{\circ}\text{C}$  است.

۱۱- با حرکت مایع در طول کویل عمل دفع گرما از کویل به محیط ادامه دارد و دمای مایع به دمای پایین تر از دمای تقطیر (اشباع)  $52^{\circ}\text{C}$  یعنی به حدود  $42^{\circ}\text{C}$  می رسد و می گویند مایع حدود  $10^{\circ}\text{C}$  سابکولده<sup>۲</sup> (مادون سرد) شده است. مایع از طریق خط مایع به شیر انبساط می رسد و ماده سرمازا سیکل یا چرخه خود را کامل

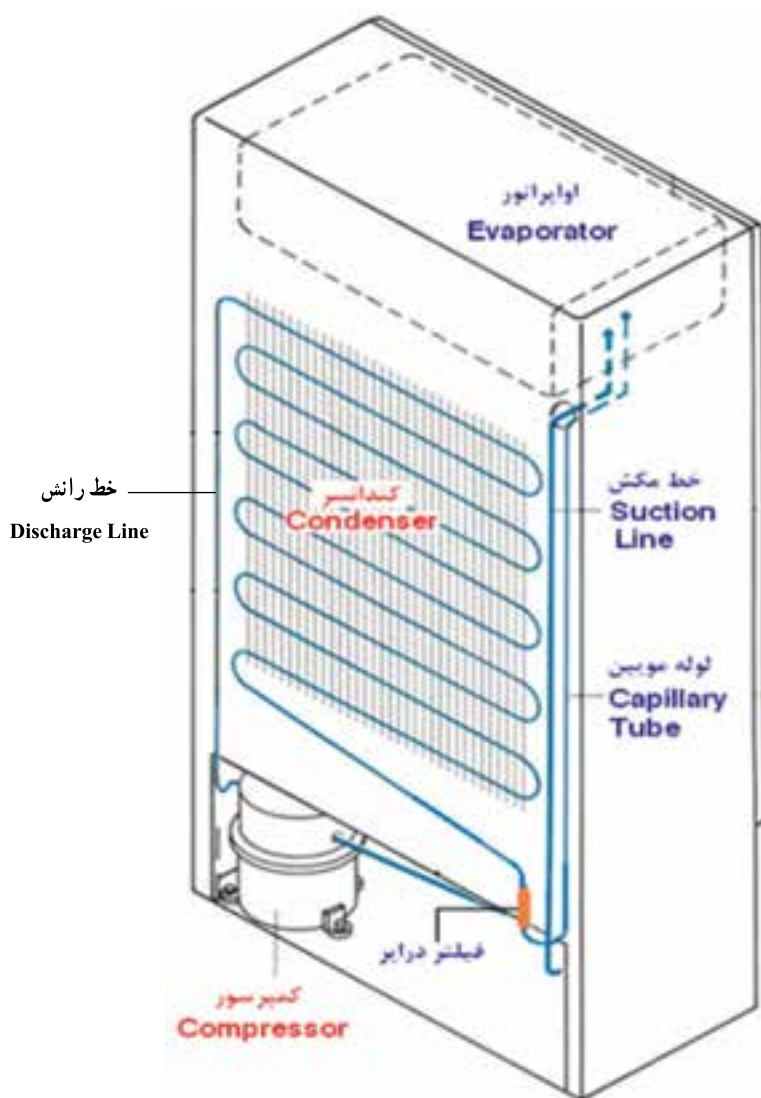
نام قسمت	مایع سابکول شده	مایع اشباع	بخار اشباع	بخار سوپر هیت شده	فشار KPa	دما $^{\circ}\text{C}$
A						
B					۱۹۳۲	
C						
D						۴۲
E						
F			✓			

۱- Suction Line

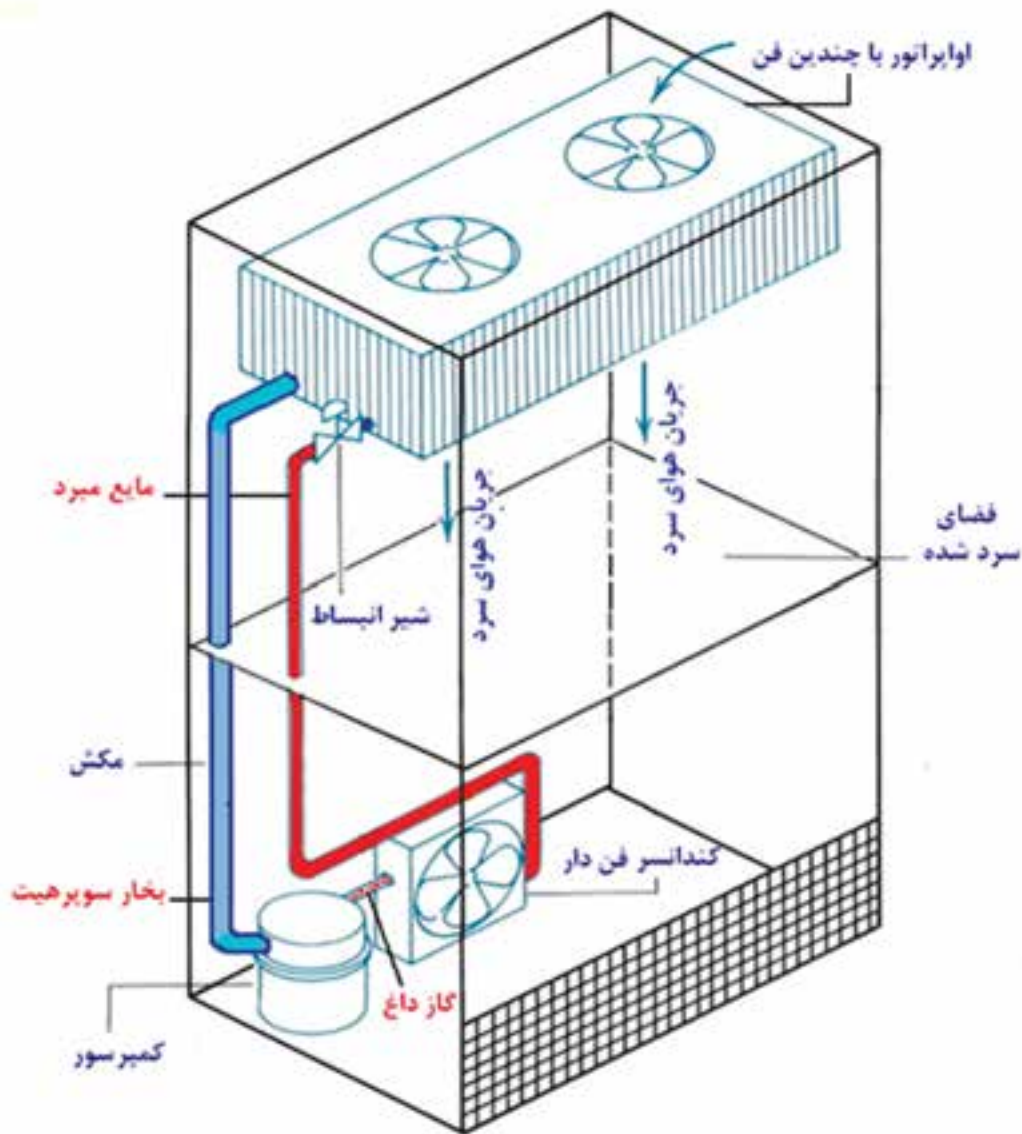
۲- Subcooled

کندانسر در پشت کابین نصب گردیده و کنترل کننده مایع که یک لوله باریک و بلندی است (لوله موئین) از انتهای کندانسر به ابتدای اوپراتور که در داخل کابین است وصل شده است. شکل ۲۴-۲ یک دستگاه یخچال تجاری را نشان می دهد که کمپرسور و کندانسر در پایین یخچال نصب شده است. کابین شامل کویل اوپراتور و شیر کنترل مایع که درست در قسمت ورودی کویل نصب شده است می باشد. در چنین تأسیساتی هر دو کویل کندانسر و اوپراتور مجهز به فن بوده و هوا روی کویل ها دمیده می شود تا انتقال گرمای بیشتر و آسان تری داشته باشیم. در بیشتر یخچال فریزرهای خانگی هم یک یا دو فن نصب شده است.

اگر شما اساس سیکل تبرید توضیح داده شده در این فصل را فهمیده باشید زمینه کامل برای فهمیدن اصول کار اکثر سیستم های سردکننده نظیر یخچال ها، فریزرها، کولرهای گازی، آب سرد کن ها، کولر اتومبیل ها را خواهید داشت. انواع مختلف سیستم های تبرید تراکمی در تأسیسات متفاوت به کار برده شده اند، اساس کار همه آنها یکی است و تمامی این سیستم ها شامل کمپرسور، کندانسر، کنترل کننده مایع میرد و اوپراتور می باشند. در زیر چند نوع از این سیستم ها را بررسی می کنیم. شکل ۲۳-۲ یک یخچال معمولی خانگی را نشان می دهد به طوری که کمپرسور زیر کابین یخچال سوار شده است. کویل



شکل ۲۳-۲ در یک دستگاه یخچال خانگی، کمپرسور در قسمت پایین، کندانسر در پشت، کنترل کننده مایع میرد که یک لوله بلند و باریک است و اوپراتور در فضای داخلی آن نصب شده است.



شکل ۲۴-۲- یک یخچال تجاری با اوپراتور و کنترل کننده مایع مبرد بدون حفاظ برای سرویس در داخل کابین

این که دمای اتاق  $24^{\circ}\text{C}$  و دمای کویل  $5^{\circ}\text{C}$  است انجام انتقال گرما قطعی است.

۴- این انتقال گرما هوای خروجی از کویل و ورودی به فن و خروجی از فن را به  $13^{\circ}\text{C}$  می‌رساند.

۵- دمای کویل بیرونی حدود  $52^{\circ}\text{C}$  است. این کویل

گرمای سیستم را به هوای بیرون منتقل می‌کند. دمای کویل  $52^{\circ}\text{C}$

و دمای هوای بیرون  $35^{\circ}\text{C}$  است بنابراین انجام انتقال گرما از

دستگاه سردکننده به هوای بیرون نیز قطعی است.

شکل ۲۵-۲ 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 بیرونی منتقل می‌شود. کولر گازی

گرمای داخل ساختمان را به بیرون پمپ می‌کند. شرایط کار دستگاه

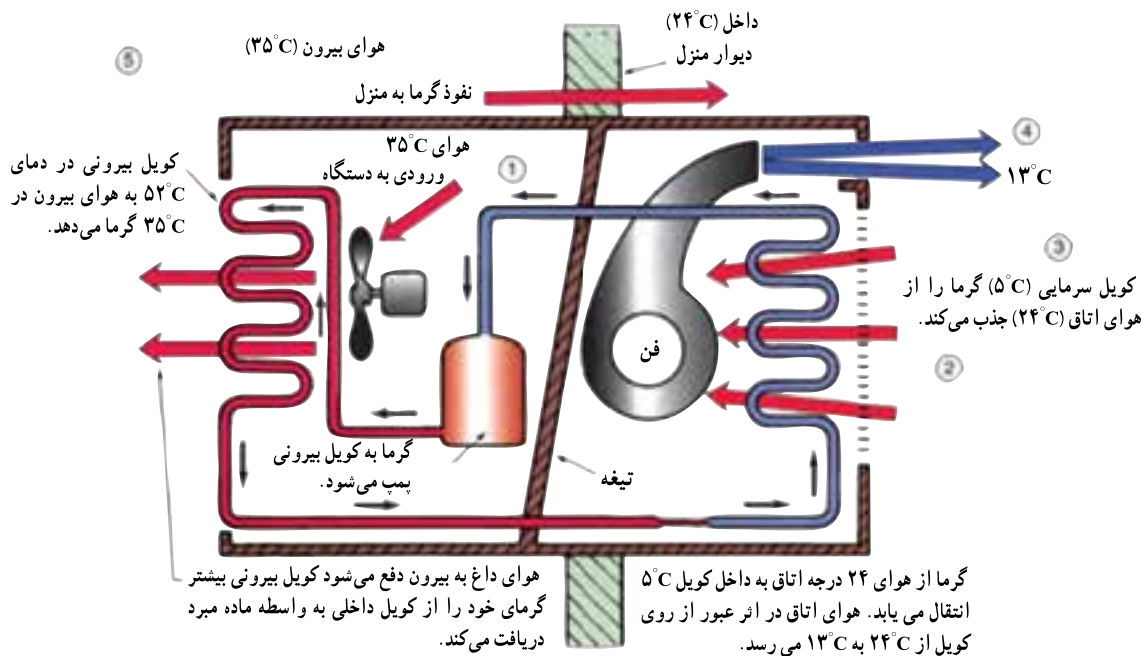
به شرح زیر است:

۱- دمای طرح هوای بیرون  $35^{\circ}\text{C}$

۲- دمای طرح داخل  $24^{\circ}\text{C}$

۳- دمای کویل سردکننده  $5^{\circ}\text{C}$ . این کویل گرما را از اتاق

به سیستم تبرید انتقال می‌دهد. لازم به یادآوری است با توجه به



شکل ۲۵-۲- کولر گازی

## ۹-۲ پرسش و تمرین



### پرسش‌های چهار گزینه‌ای

۱- آب در کدام حالت زیر در دمای بالاتری به جوش می‌آید؟ (امتحان نهایی - خرداد ۹۱)

الف) داخل کتری

ب) داخل زودپز

ج) در ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح دریا

د) در محلی هم سطح دریای آزاد

۲- در صورتی که فشار داخل زودپز ۱/۹۸ bar باشد آب داخل زودپز در چند درجه سانتی‌گراد به جوش می‌آید.

الف) ۶۶

ب) ۱۰۴

ج) ۱۲۰

د) ۱۳۰

۳- با خارج کردن هوای داخل ظرف سر بسته‌ای که تا نیمه آب دارد، دمای جوش آب

الف) افزایش می‌یابد

ب) کاهش می‌یابد

ج) تغییری نمی‌کند

د) دو برابر می‌شود

۴- کدام مورد درصد مایع و بخار مبرد خروجی از شیر انبساط می‌باشد.

الف) ۷۵٪ مایع و ۲۵٪ بخار

ب) ۲۵٪ مایع و ۷۵٪ بخار

ج) ۵۰٪ مایع و ۵۰٪ بخار

د) ۴۰٪ مایع و ۶۰٪ بخار

۵- در کدام قسمت چرخه تبرید گرمایی به مبرد اضافه و یا کم نمی‌شود. (امتحان نهایی - دی ۹۰)

الف) اواپراتور

ب) کندانسور

ج) کمپرسور

د) شیر انبساط



- ۶- مبرد در انتهای کندانسر به چه صورت می باشد؟ (امتحان نهایی - خرداد ۹۰)
- الف) مایع اشباع  
 ب) مایع سوپرهیت  
 ج) مخلوط مایع و بخار  
 د) بخار فوق گرم
- ۷- بیشترین انتقال گرما در کجای سیکل تبرید رخ می دهد؟ (امتحان نهایی - شهریور ۹۰)
- الف) کمپرسور  
 ب) کندانسر  
 ج) اواپراتور  
 د) شیر انبساط

### پرسش های درست و نادرست

- ۸- تبرید فرایندی است که طی آن گرما از محیط با دمای بالا به محیط با دمای پایین حرکت می کند.  
 درست  نادرست
- ۹- گرما در اثر جابه جایی هوا و از طریق جداره های یخچال به داخل یخچال انتقال می یابد.  
 درست  نادرست
- ۱۰- اگر فشار روی سطح آب ۷۵/۶۶ mmHg باشد آب در دمای ۵۶ درجه سانتی گراد به جوش می آید.  
 درست  نادرست
- ۱۱- اساس کار یخچال، کولرگازی و کولر اتومبیل یکی می باشد.  
 درست  نادرست

### پرسش های کامل کردنی

- ۱۲- واحد اندازه گیری قدرت سرمایی دستگاه های سرمایی بزرگ ..... و ..... می باشد.
- ۱۳- ۳۶۰۰۰ بی تی یو در ساعت معادل ..... تن تبرید است.
- ۱۴- با افزایش فشار بر روی سطح آب، نقطه جوش آب ..... می یابد.
- ۱۵- هرگاه سیلندر حاوی مبرد R-۱۲ را در اتاقی با دمای ۱۸ درجه سانتی گراد نگهداری شود فشار داخل سیلندر ..... میلی متر جیوه می باشد.

### واژه های مناسب را در جای خالی بنویسید.

- «تن تبرید - اواپراتور - بی تی یو در ساعت - کندانسر - شیر انبساط - حرکت مولکولی - کمپرسور»
- ۱۶- سرعت فاسد شدن مواد غذایی با کند شدن ..... کم می شود.
- ۱۷- قدرت سرمایی دستگاه های سردکننده کوچک را با ..... می سنجند.
- ۱۸- کویل لوله مسی را که مایع مبرد در داخل آن به حالت جوش در می آید و بخار می شود ..... می نامند.

۱۹- کمپرسور و ..... جزء قسمت فشار زیاد سیستم تبریدی می باشند.

۲۰- جریان ماده سرمازا توسط ..... تنظیم می شود.

پرسش‌های تشریحی

۲۱- تبرید را تعریف کنید.

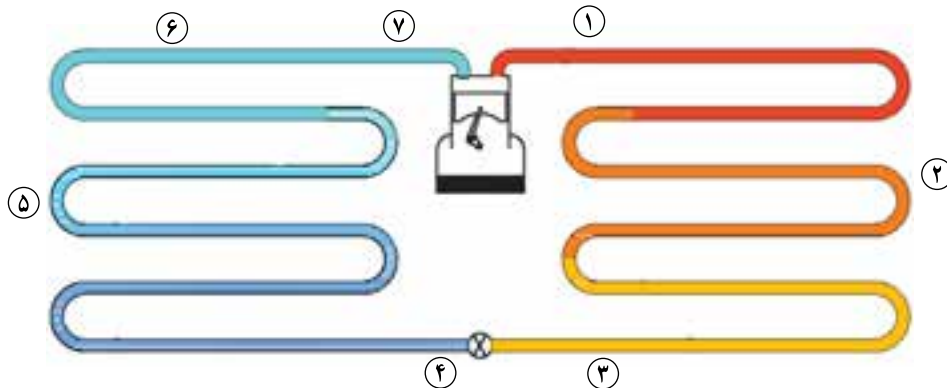
۲۲- تن سرمایی را تعریف کنید.

۲۳- قسمت‌های فشار کم و فشار زیاد در سیکل تبرید را بیان کنید.

۲۴- سیلندر متصل به یک کویل لوله مسی به عنوان یک دستگاه سردکننده را توضیح داده و اشکالات آن را

بنویسید.

۲۵- با توجه به سیکل تبرید شکل زیر جدول را برای مبرد R-۲۲ کامل کنید.



قسمت	دما °C	فشار KPa	حالت و درصد مبرد
۱	۹۳		
۲			
۳		۱۹۳۲	
۴			
۵			۵۰٪ مایع و ۵۰٪ بخار
۶			
۷			

۲۶- اجزاء اصلی سیکل تبرید را به طور مختصر شرح دهید.

۲۷- چرا در اواپراتور و کندانسور با وجود جذب و دفع گرما، دما ثابت می‌ماند. (امتحان نهایی - خرداد ۹۰)

۲۸- نمودار P-H سیکل تبرید را ترسیم کرده و قسمت‌های مختلف آن را مشخص نمایید.

۲۹- تفاوت‌های یخچال خانگی، یخچال تجاری، کولر گازی را بنویسید.