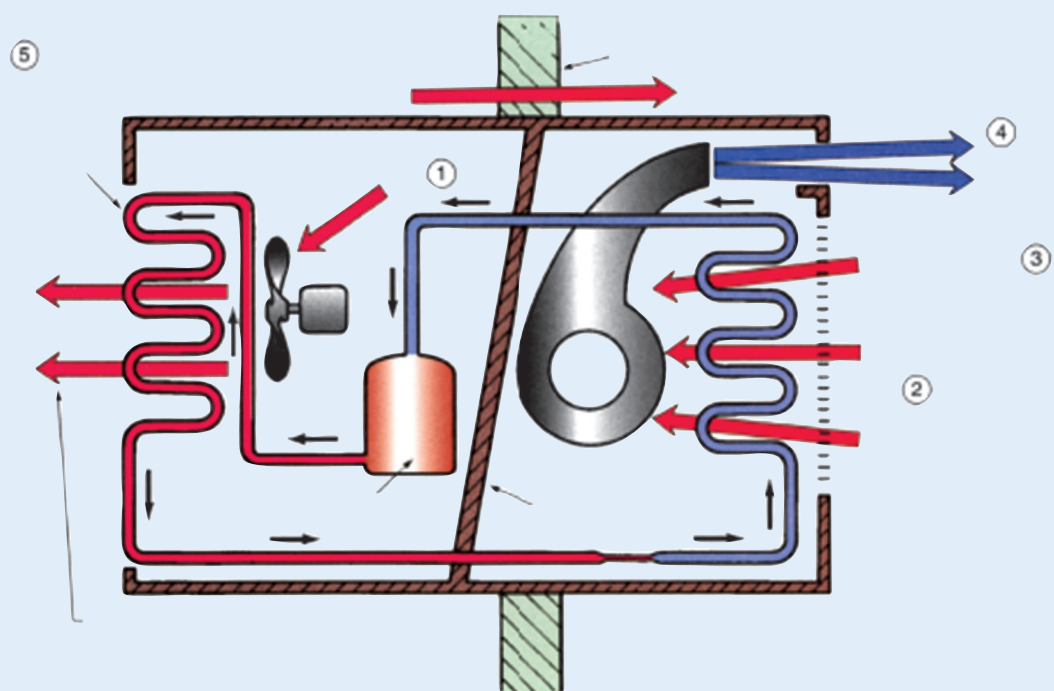


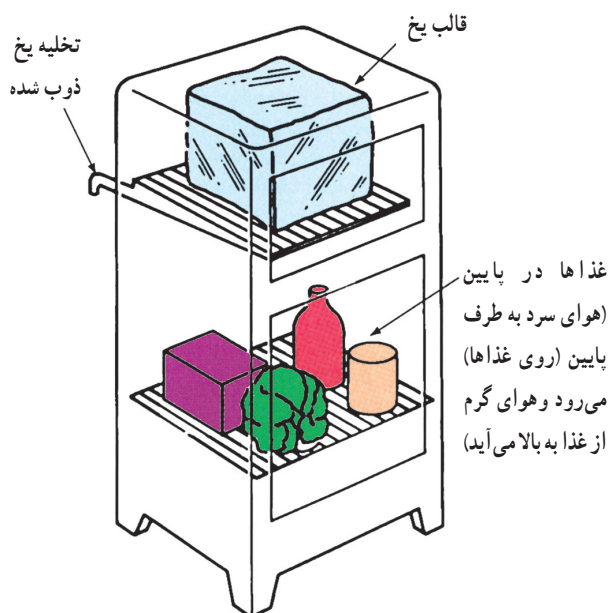


سیکل تبرید

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 ۲-۱- جعبه‌های یخ ابتدا از چوب سپس از فلز ساخته شده با چوب پنبه عایق کاری می‌شد. اگر قسمت سرد شونده با قالب یخ در یک محفظه قرار می‌گرفت یک یخچال ساخته می‌شد.

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

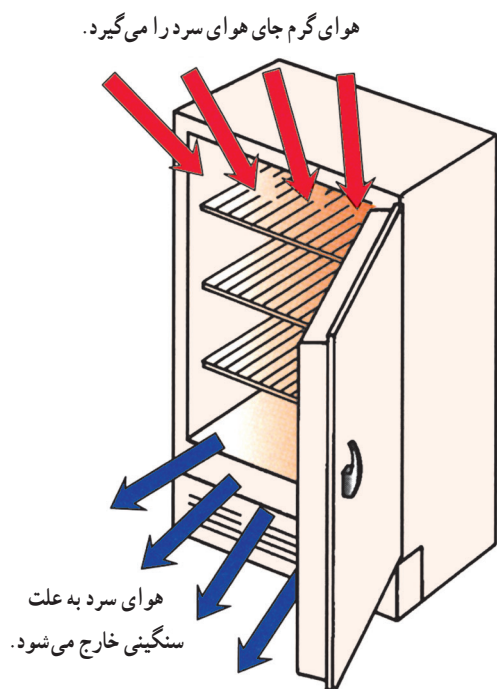
در گذشته محصولات لبنی و سایر محصولات فاسد شدنی در سردترین اتاق منزل، سرداب (زیرزمین)، چاه یا چشمه نگهداری می‌شد. همچنین از جعبه‌های دارای یخ نیز برای نگهداری مواد غذایی استفاده می‌شد. یخ در هنگام ذوب شدن گرمای مواد غذایی را جذب می‌کند و آن‌ها را سرد کرده خنک نگه می‌دارد شکل (۲-۱). در اوایل قرن بیستم میلادی تولید یخ توسط دستگاه‌های سرد کننده مکانیکی آغاز شد و در جعبه‌هایی برای فروش عرضه شد با این حال 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 نباشد. از تبرید و سردسازی امروزه در تأمین آسایش مردم، لوازم سردکننده خانگی و تجاری و همچنین تهویه مطبوع ساختمان‌ها و اتومبیل‌ها استفاده می‌شود.

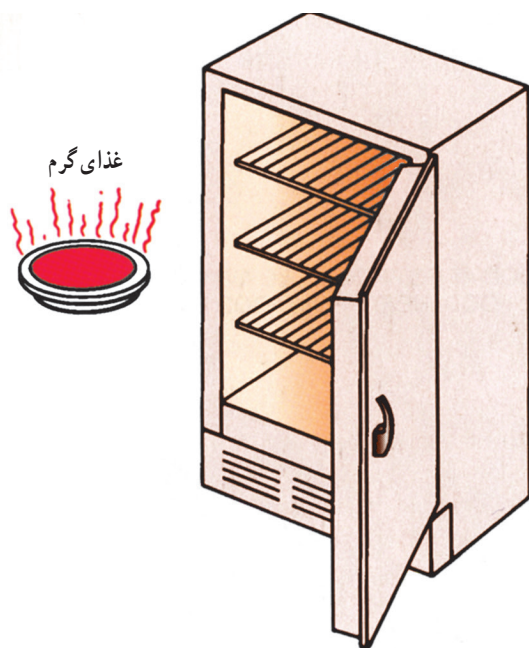
۱-۲- تبرید (سردسازی)

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

دما در یک آشپزخانه معمولی در تابستان 32°C و در زمستان 18°C است. دمای داخل یخچال در قسمت غذاهای تازه حدود 2°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 گرماهای 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).

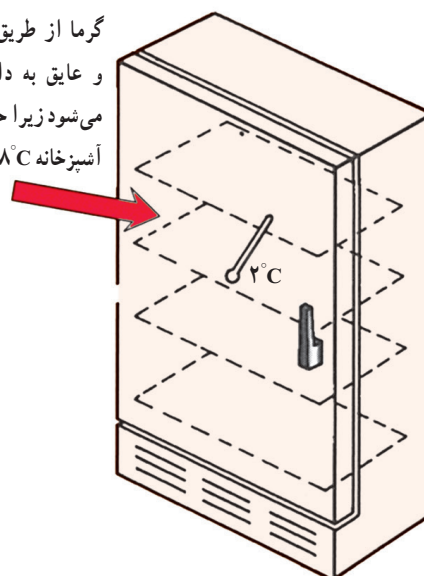


شکل ۲-۲- هوای سرد داخل یخچال به علت سنگینی بیرون می‌آید و هوای گرم جای آن را می‌گیرد.



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.

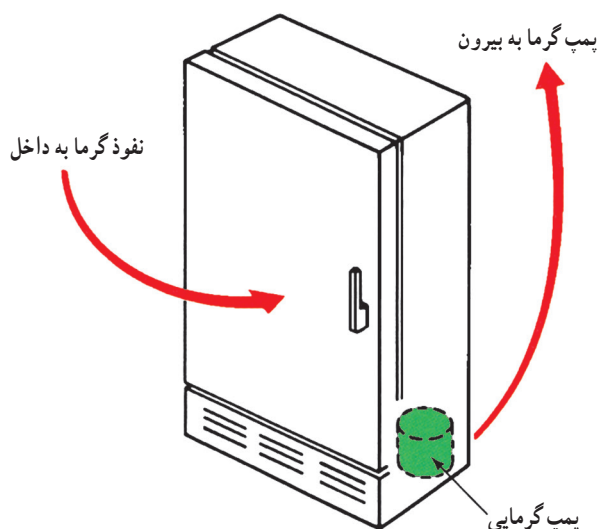
گرما از طریق دیواره‌ها و عایق به داخل منتقل می‌شود زیرا حداقل دمای آشپزخانه 18°C است.



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.

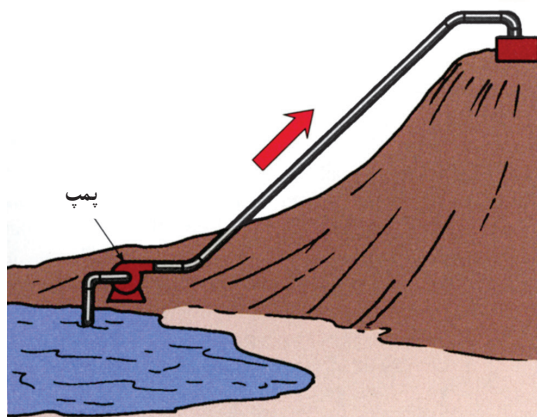
۲-۲- تن تبرید^۱

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- گرمای نفوذی به یخچال باید از آن خارج شود.

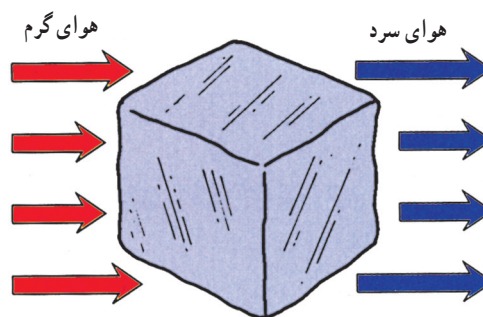
فرایند پمپ گرما از یخچال را با فرایند پمپ آب از دره به بالای تپه می‌توان مقایسه کرد. پمپ از یک موتور الکتریکی به عنوان انرژی کار استفاده می‌کند (شکل ۲-۷).



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

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)

$$\begin{aligned} 1 \text{ TR} &= 12000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \\ 1 \text{ TR} &= 3000 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}} \\ 1 \text{ TR} &= 3480 \text{ W} \approx 3500 \text{ W} \\ 1 \text{ TR} &\approx 3/5 \text{ KW} \end{aligned}$$



۱ تن یخ (۲۰۰۰ پوند)

شکل ۲-۵- سرمایی 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 ۱۸°C تا ۲°C محفظه داخل یخچال به سطح دمایی ۳۲°C تا ۱۸°C داخل اتاق پمپ نماید. قطعات تشکیل دهنده یخچال با همراهی همدیگر این وظیفه را انجام

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°C می جوشد. دمای جوش آب در ارتفاعات کمتر از 100°C است. نقطه جوش آب با تغییر فشار روی آن تغییر می کند. وقتی می گوئیم آب در کنار دریا در دمای 100°C می جوشد به معنای آن است که در کنار دریا فشار

یک اتمسفر 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°C بجوشانیم باید فشار روی سطح آب را کم کنیم تا $7/01\text{ mmHg}$ یا 0.9347 bar برسد. در چیلرهای جذبی از آب به عنوان ماده سرمازا استفاده می کنند با اگر بخواهیم آب در دمای بالاتر از 100°C مثلاً، 250°C بجوشانیم باید فشاری برابر $39/776\text{ bar}$ بر روی آب وارد شود این کاری است که در دیگ های بخار انجام می شود.

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

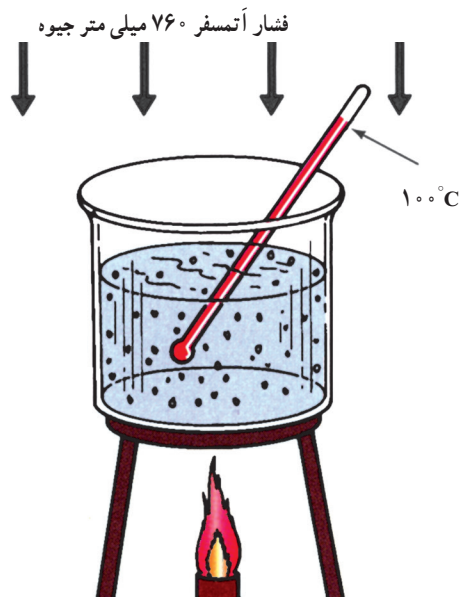
درجه °C	فشار اشباع		درجه °C	فشار اشباع		درجه °C	فشار اشباع	
	mmHg (ab)	bar (ab)		mmHg (ab)	bar (ab)		PSI (ab)	bar (ab)
۲۴	۲۲/۳۶۶	۰/۰۲۹۸۲	۸۰	۳۵۵/۲۲۹	۰/۴۷۳۶	۲۰۰	۲۲۵/۴۸	۱۵/۵۵۱
۲۶	۲۵/۲۰۲	۰/۰۳۳۶۰	۸۲	۳۸۵/۰۰۶	۰/۵۱۳۳	۲۵۰	۵۷۶/۷۵	۳۹/۷۷۶
۲۸	۲۸/۳۴۴	۰/۰۳۷۷۹	۸۴	۴۱۶/۸۸۴	۰/۵۵۵۸	۳۰۰	۱۲۴۵/۸۴	۸۵/۹۲
۳۰	۳۱/۸۱۰	۰/۰۴۲۴۱	۸۶	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 10°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.

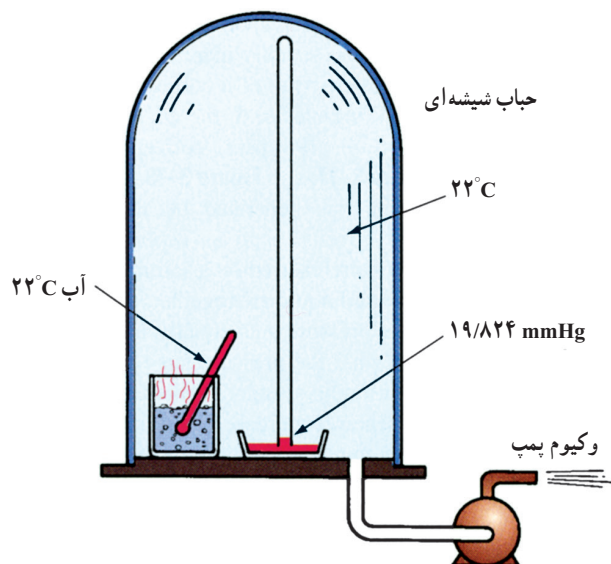


شکل ۱۰-۲- آب در فشار $633/9$ میلی متر جیوه در دمای 95°C می جوشد.



شکل ۹-۲- آب در کنار دریا در 10°C می جوشد.

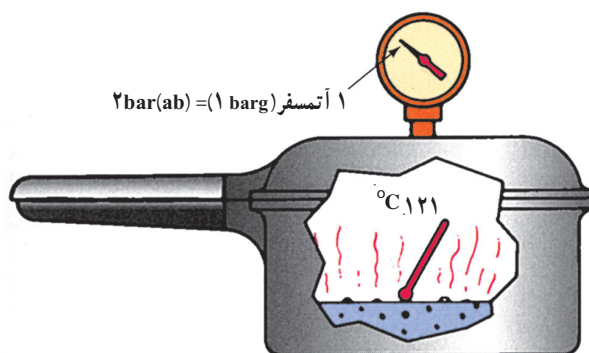
مطابق شکل ۱۲-۲ چنانچه یک ظرف آب خالص با دماسنج و یک بارومتر در داخل یک حباب شیشه‌ای قرار گیرد و وکیوم پمپ روشن شود (فرض کنید دمای آب و دمای اتاق 22°C باشد) وقتی فشار حباب شیشه‌ای به $19/824 \text{ mmHg}$ برسد آب شروع به جوشیدن می‌کند.



شکل ۱۲-۲: وقتی فشار داخل ظرف شیشه‌ای به $19/824$ میلی‌متر جیوه برسد آب در دمای اتاق (22°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°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°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°C از دمای جوش آب کاسته می‌شود.

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

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

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

۵-۲- رابطه فشار و دما برای مبردهای مختلف

یک سیلندر حاوی مبرد R-۲۲ در اتاقی با دمای 22°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 22°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 می‌دهد. (شکل ۲-۱۳)



شکل ۲-۱۳- در دمای 22°C فشارسنج فشار $8/61 \text{ barg}$ را نشان می‌دهد.

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



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

اگر سیلندری که اکنون در دمای 2°C است به اتاق گرم‌تر با دمای 22°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 $8/61 \text{ barg}$ معادل دمای 22°C از جدول ۲-۱۶ می‌رسد.

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

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

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

Temperature		REFRIGERANT					
°C	°F	R-۱۲ barg/mmHg	R-۲۲ barg/mmHg	R-۱۳۴a barg/mmHg	R-۴۱۰a barg/mmHg	R-۵۰۲ barg/mmHg	R-۵۰۷ barg/mmHg
-۵۰	-۵۸/۰	۴۶۷*	۲۷۶*	۵۳۶*	۰/۰۳	۱۴۹*	۱۱۴*
-۴۸	-۵۴/۴	۴۳۵*	۲۲۴*	۵۰۹*	۰/۱۴	۱۷*	۴۶*
-۴۶	-۵۰/۸	۴۰۰*	۱۶۸*	۴۷۹*	۰/۲۷	۲۰*	۰/۰۴
-۴۴	-۴۷/۲	۳۶۳*	۱۰۷*	۴۴۷*	۰/۴۰	۰/۰۷	۰/۱۴
-۴۲	-۴۳/۶	۳۲۳*	۴۲*	۴۱۱*	۰/۵۴	۰/۱۷	۰/۲۶
-۴۰	-۴۰/۰	۲۷۹*	۰/۰۴	۳۷۳*	۰/۷۰	۰/۲۸	۰/۳۸
-۳۶	-۳۲/۸	۱۸۲*	۰/۲۵	۲۸۵*	۱/۰۴	۰/۵۳	۰/۶۵
-۳۴	-۲۹/۲	۱۲۸*	۰/۳۷	۲۳۶*	۱/۲۳	۰/۶۷	۰/۸۰
-۳۰	-۲۲/۰	۷/۶*	۰/۶۳	۱۲۴*	۱/۶۶	۰/۹۷	۱/۱۳
-۲۶	-۱۴/۸	۰/۱۷	۰/۹۲	۰/۰۱	۲/۱۴	۱/۳۱	۱/۵۱
-۲۲	-۷/۸	۰/۳۸	۱/۲۶	۰/۲۱	۲/۶۸	۱/۶۹	۱/۹۳
-۱۸	-۰/۴	۰/۶۲	۱/۶۳	۰/۴۴	۳/۲۹	۲/۱۲	۲/۴۰
-۱۴	۶/۸	۰/۸۸	۲/۰۶	۰/۷۰	۳/۹۷	۲/۶۰	۲/۹۳
-۱۰	۱۴/۰	۱/۱۸	۲/۵۴	۰/۹۹	۴/۷۳	۳/۱۳	۳/۵۲
-۶	۲۱/۲	۱/۵۰	۳/۰۶	۱/۳۳	۵/۵۷	۳/۷۲	۴/۱۷
-۲	۲۸/۴	۱/۸۷	۳/۶۵	۱/۷۱	۶/۵۰	۴/۳۷	۴/۸۸
۰	۳۲/۰	۲/۰۷	۳/۹۷	۱/۹۱	۷/۰۰	۴/۷۲	۵/۲۷
۲	۳۵/۶	۲/۲۸	۴/۳۰	۲/۱۳	۷/۵۳	۵/۰۸	۵/۶۷
۶	۴۲/۸	۲/۷۲	۵/۰۱	۲/۶۱	۸/۶۵	۵/۸۶	۶/۵۴
۱۰	۵۰/۰	۳/۲۱	۵/۸۰	۳/۱۳	۹/۸۸	۶/۷۲	۷/۴۹
۱۴	۵۷/۲	۳/۷۵	۶/۶۶	۳/۷۱	۱۱/۲	۷/۶۴	۸/۵۲
۱۸	۶۴/۴	۴/۳۴	۷/۵۹	۴/۳۶	۱۲/۷	۸/۶۵	۹/۶۵
۲۲	۷۱/۶	۴/۹۸	۸/۶۱	۵/۰۶	۱۴/۳	۹/۷۴	۱۰/۹
۲۶	۷۸/۸	۵/۶۷	۹/۷۱	۵/۸۴	۱۶/۰	۱۰/۹	۱۲/۲
۳۴	۹۳/۲	۷/۲۴	۱۲/۲	۷/۶۱	۱۹/۸	۱۳/۵	۱۵/۲
۳۸	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-۱۲ barg/mmHg	R-۲۲ barg/mmHg	R-۱۳۴a barg/mmHg	R-۴۱۰a barg/mmHg	R-۵۰۲ barg/mmHg	R-۵۰۷ 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

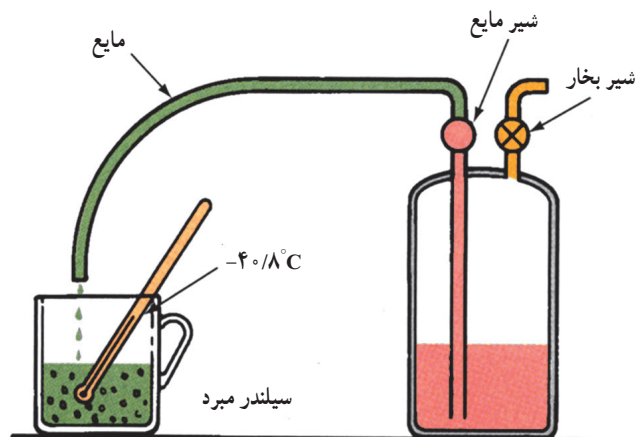
* فشار بخار برحسب barg و مقادیر روشن (ایتالیک) برحسب mm.Hg می باشد اعداد ایتالیک (بولد شده) مقادیر خلأ است.

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 میرد در فنجان جمع شده و در دمای -41°C می جوشد (شکل ۱۷-۲).

۶-۲- چرخه تبرید^۱

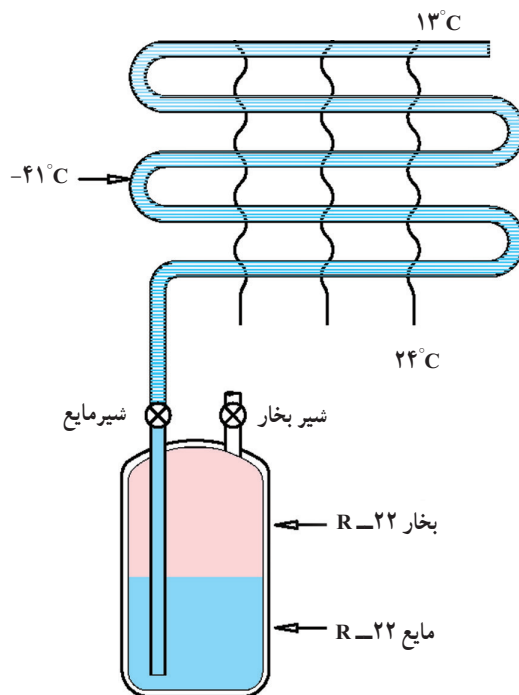
یک کویل لوله مسی به شیر خروجی مایع سیلندر وصل می کنیم و شیر را طوری باز می کنیم تا مایع به تدریج در داخل لوله مسی وارد شود. دمای جوش مبرد -22°C در فشار یک اتمسفر -41°C است بنابراین مایع در داخل کویل در دمای -41°C می جوشد و گرمایی را که برای تبخیر لازم است از محیط اطراف می گیرد و آن را سرد می کند. اگر هوا با دمای 24°C از روی آن عبور نماید دمایش تا 13°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»^۲ 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 (barg) مبرد -22°C در دمای -41°C می جوشد. این حالت موقعی اتفاق می افتد که شیر سیلندر -22°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 مقدار مایعی که می جوشد مقداری گرما جذب سیستم می شود و مقداری سرما ایجاد می نماید. در این حالت گرما از مایع -22°C گرفته می شود. وقتی فشار داخل تا فشار جو کاهش یابد سیلندر به دمای -41°C رسیده و از یخ پوشیده می شود.

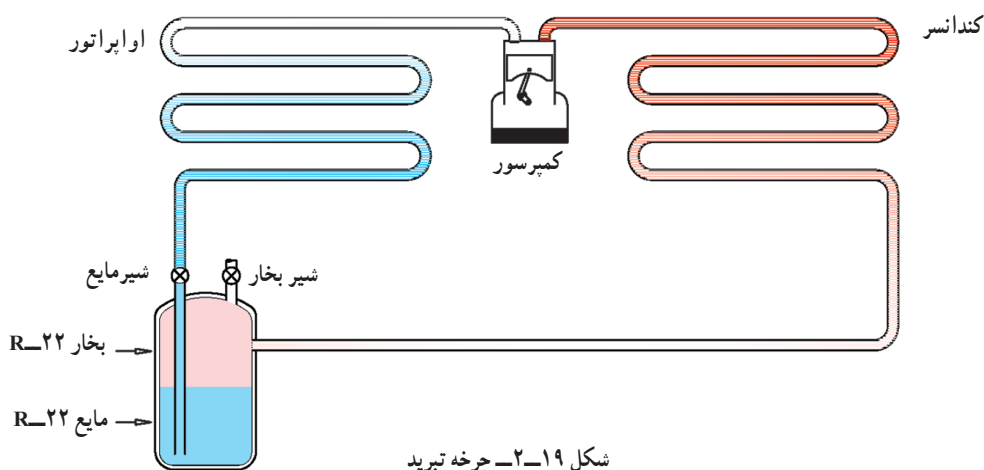


شکل ۱۷-۲- -22°C R در فشار جو در دمای $-40/8^{\circ}\text{C}$ می جوشد.

به کویل کم شده و قدرت سرمایی کویل خیلی کاهش می‌یابد. شیر تنظیم^۱ را شیر انبساط^۲ نیز می‌گویند. فریون ۲۲ را که در داخل کویل تبخیر شده و سرما ایجاد می‌کند ماده مبرد^۳ 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^۴. 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^۵ و یک کندانسر^۶ باید به سیستم 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 ۱۹-۲).



شکل ۱۸-۲- دمای کویل -41°C است هوای عبوری از آن می‌تواند از 24°C تا 13°C کاهش یابد.



شکل ۱۹-۲- چرخه تبرید

در شکل ۲-۲ 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 اواپراتور جزء قسمت فشار کم می‌باشد.

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

۱- Metering device

۲- Expansion Valve

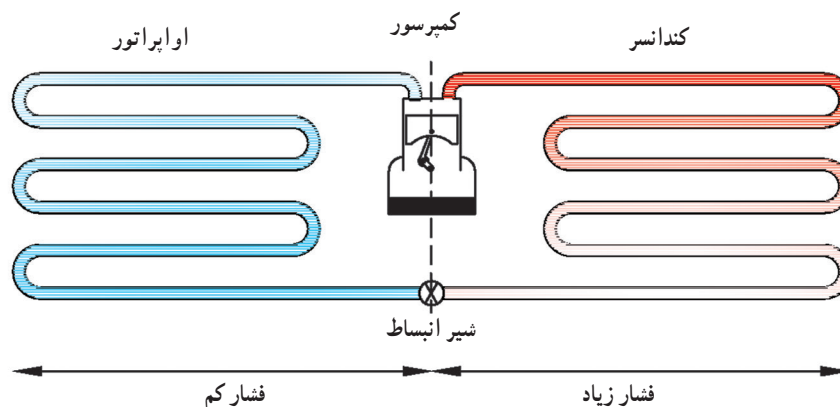
۳- Refrigerant

۴- رها کردن مبردهای هالوکربنی در جو غیرقانونی است.

۵- Compressor

۶- Condenser

۷- Receiver



شکل ۲۰-۲- 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°C بوده و می‌تواند از هوای اتاق با دمای 24°C گرما جذب نماید. از این نقطه به بعد جذب گرما باعث افزایش دمای بخار می‌برد و سوپرهیت شدن آن می‌شود.

۶- در این نقطه بخار خالص با 5°C سوپرهیت خواهیم

داشت و دمای بخار می‌برد 1°C خواهد بود.

۷- تحت تأثیر مکش کمپرسور بخار به داخل آن کشیده

می‌شود. بخاری که اوپراتور را ترک می‌کند دارای دمای

1°C با 5°C سوپرهیت می‌باشد. فاصله بین خروجی اوپراتور

چرخه تبرید شکل ۲۰-۲ 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

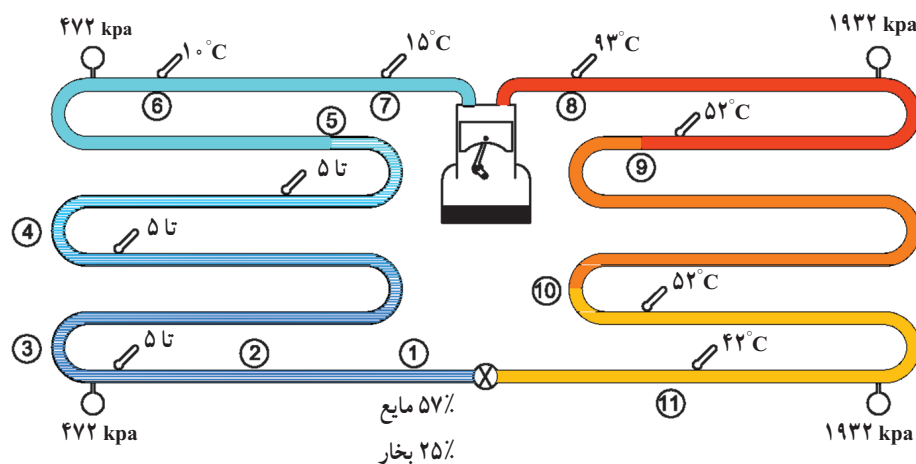
ترک کرده وارد اوپراتور می‌شود.

۲- مخلوط مایع و بخار فریون ۲۲ دارای فشار نسبی

472 kpa می‌باشد و دمای جوش متناسب با آن 5°C است.

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

گرمایی که از هوای 24°C داخل اتاق می‌گیرد تبخیر می‌شود.



شکل ۲۰-۲- نمایش تغییرات دما و فشار در چرخه تبرید

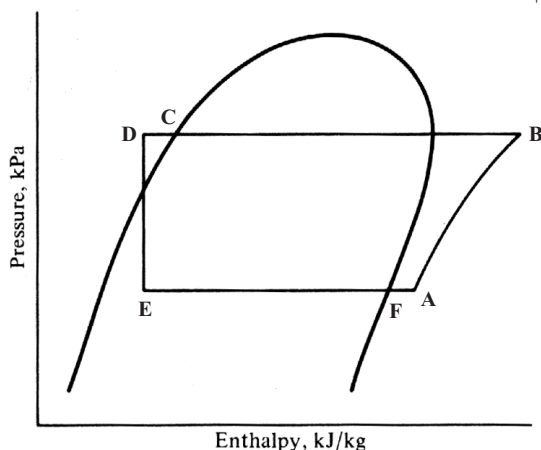
کرده است و آماده شروع مجدد آن است.

در چرخه تبرید

- ۱- اواپراتور 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 چرخه تبرید تراکمی

برای ایجاد ارتباط بین شکل ۲-۲۱ با شکل ۲-۲۲ جدول زیر را پر کنید.

نام قسمت	مایع سابکول شده	مایع اشباع	بخار اشباع	بخار سوپر هیت شده	فشار KPa	دما °C
A						
B					۱۹۳۲	
C						
D						۴۲
E						
F			✓			

و ورودی کمپرسور را خط مکش^۱ می گویند. برای جلوگیری از افزایش بیش از حد دمای مبرد در ورود به کمپرسور خط مکش را عایق می کنند. با این حال دمای ماده مبرد در ورود به کمپرسور به 15°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°C و فشار نسبی ۱۹۳۲kpa 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°C فرض شده است.

۹- با دفع گرما از ماده سرمازا در خط رانش و کویل ابتدایی کندانسر در نقطه ۹ دما به 52°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°C است.

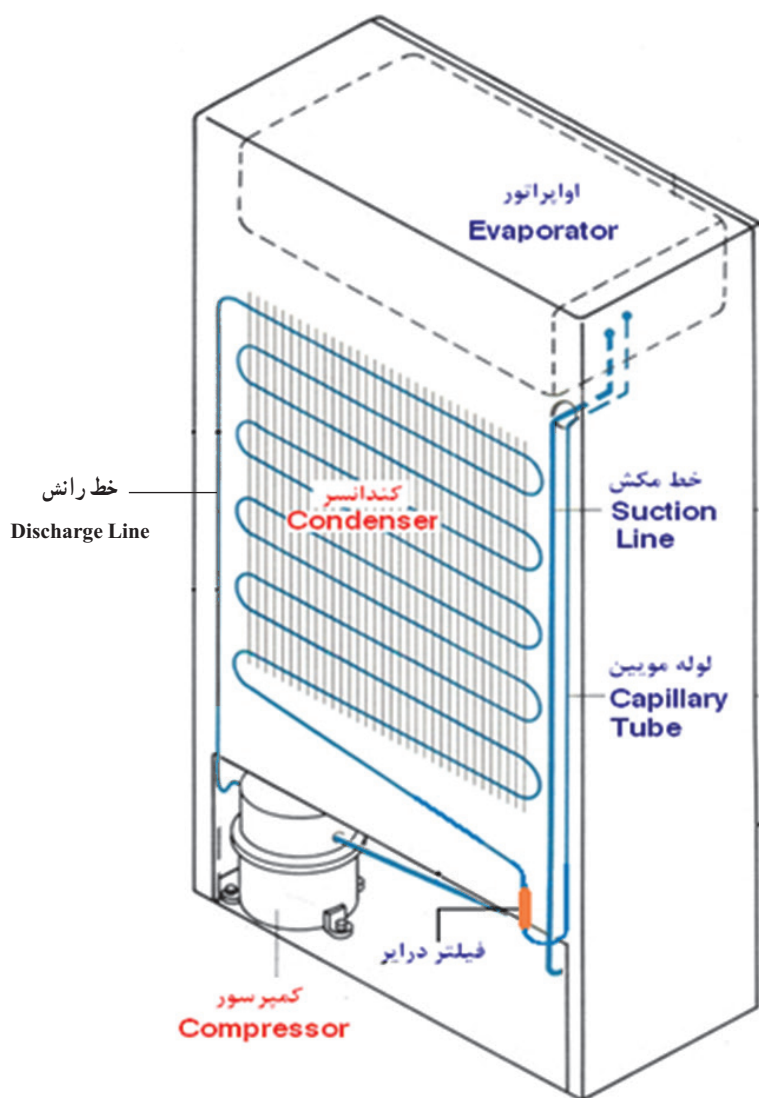
۱۱- با حرکت مایع در طول کویل عمل دفع گرما از کویل به محیط ادامه دارد و دمای مایع به دمای پایین تر از دمای تقطیر (اشباع) 52°C یعنی به حدود 42°C می رسد و می گویند مایع حدود 10°C ساب کولده^۲ (مادون سرد) شده است. مایع از طریق خط مایع به شیر انبساط می رسد و ماده سرمازا سیکل یا چرخه خود را کامل

^۱ Suction Line

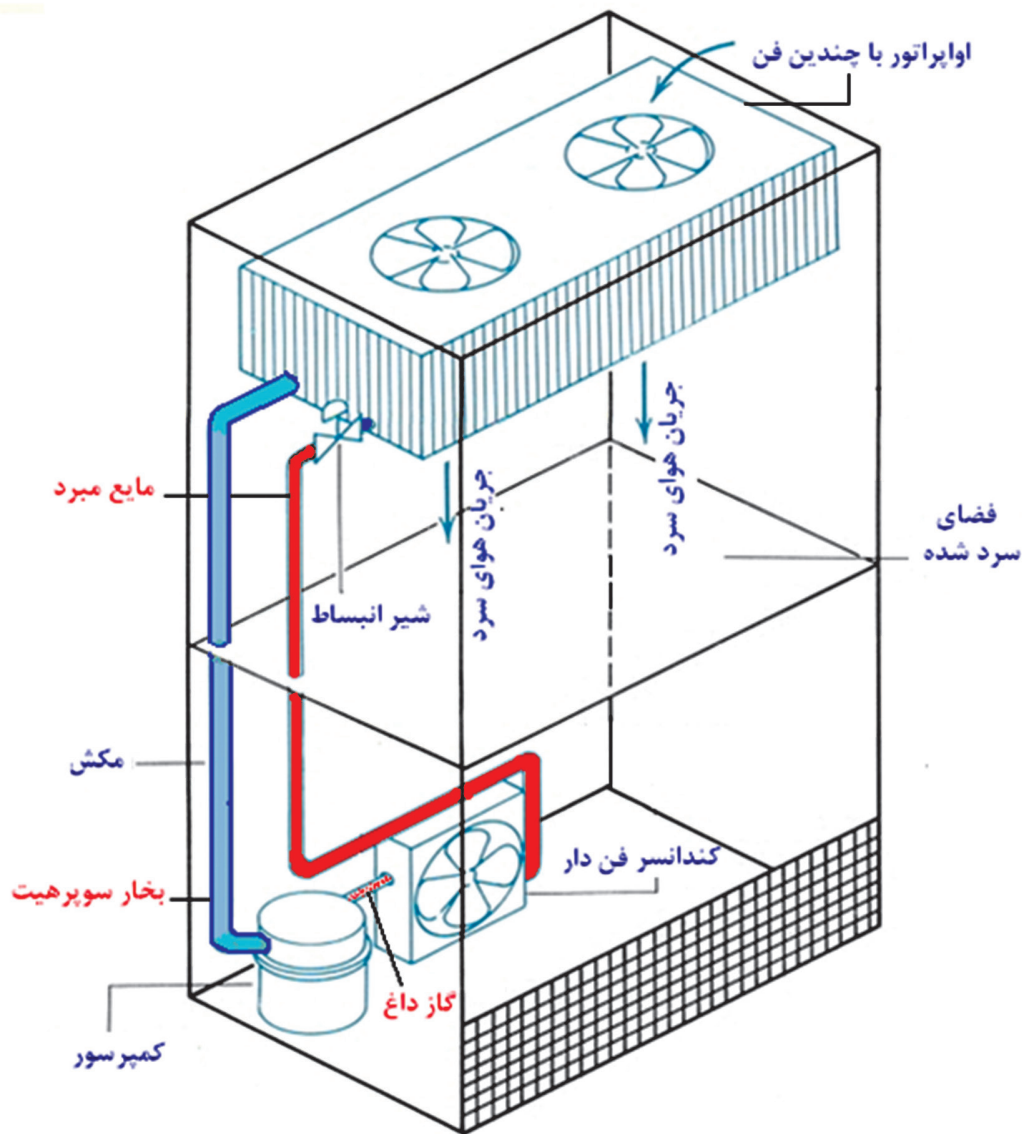
^۲ Subcooled

کندانسر در پشت کابین نصب گردیده و کنترل کننده مایع که یک لوله باریک و بلندی است (لوله موئین) از انتهای کندانسر به ابتدای اواپراتور که در داخل کابین است وصل شده است. شکل ۲۴-۲ یک دستگاه یخچال تجاری را نشان می‌دهد که کمپرسور و کندانسر در پایین یخچال نصب شده است. کابین شامل کویل اواپراتور و شیر کنترل مایع که درست در قسمت ورودی کویل نصب شده است می‌باشد. در چنین تأسیساتی هر دو کویل کندانسر و اواپراتور مجهز به فن بوده و هوا روی کویل‌ها دمیده می‌شود تا انتقال گرمای بیشتر و آسان‌تری داشته باشیم. در بیشتر یخچال‌های 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 سیستم‌های سردکننده نظیر یخچال‌ها، فریزرها، کولرهای گازی، آب سرد کن‌ها، کولر اتومبیل‌ها را خواهید داشت. انواع مختلف سیستم‌های تبرید تراکمی در تأسیسات متفاوت به کار برده شده‌اند، اساس کار همه آنها یکی است و تمامی این سیستم‌ها شامل کمپرسور، کندانسر، کنترل کننده مایع میرد و اواپراتور می‌باشند. در زیر چند نوع از این سیستم‌ها را بررسی می‌کنیم. شکل ۲۳-۲ یک یخچال معمولی خانگی را نشان می‌دهد 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 اواپراتور 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°C و دمای کویل 5°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°C می‌رساند.

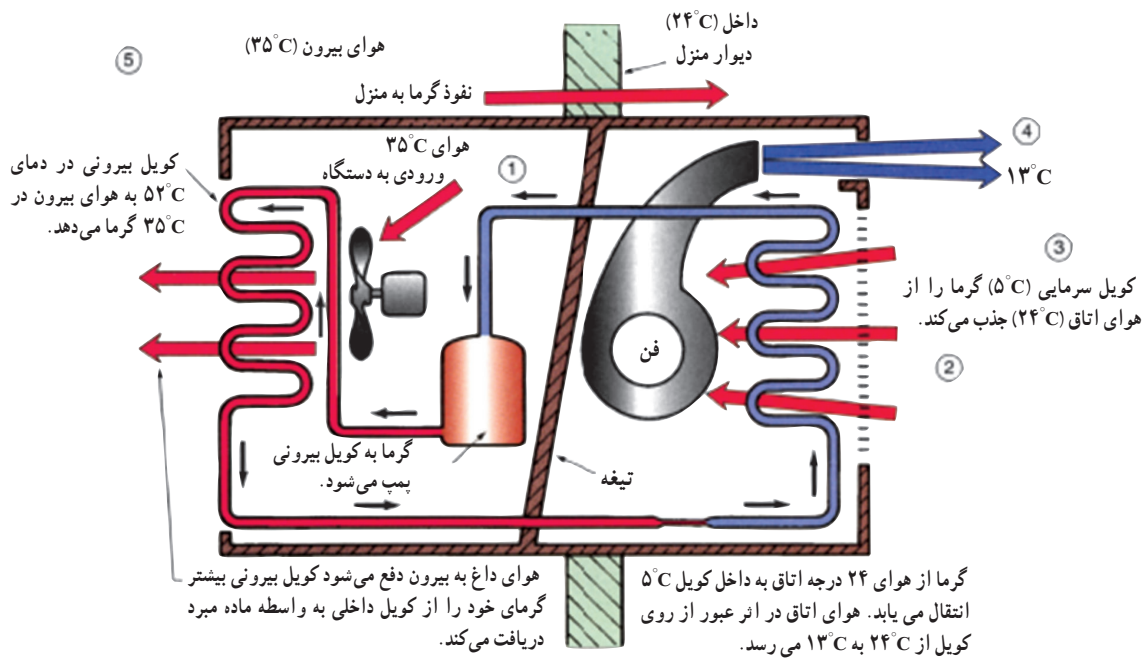
۵- دمای کویل بیرونی حدود 52°C است. این کویل گرمای سیستم را به هوای بیرون منتقل می‌کند. دمای کویل 52°C و دمای هوای بیرون 35°C است بنابراین انجام انتقال گرما از دستگاه سردکننده به هوای بیرون نیز قطعی است.

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°C

۲- دمای طرح داخل 24°C

۳- دمای کویل سردکننده 5°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



پرسش های چهار گزینه ای

۱- آب در کدام حالت زیر در دمای بالاتری به جوش می آید؟ (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 سانتی گراد به جوش می آید.

(الف) ۶۶

(ب) ۱۰۴

(ج) ۱۲۰

(د) ۱۳۰

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

(الف) افزایش می یابد

(ب) کاهش می یابد

(ج) تغییری نمی کند

(د) دو برابر می شود

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

(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 نمی شود. (امتحان نهایی - دی ۹۰)

(الف) اواپراتور

(ب) کندانسر

(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 $75/66 \text{ mmHg}$ 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 ۱۲-R 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- کوئل 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.

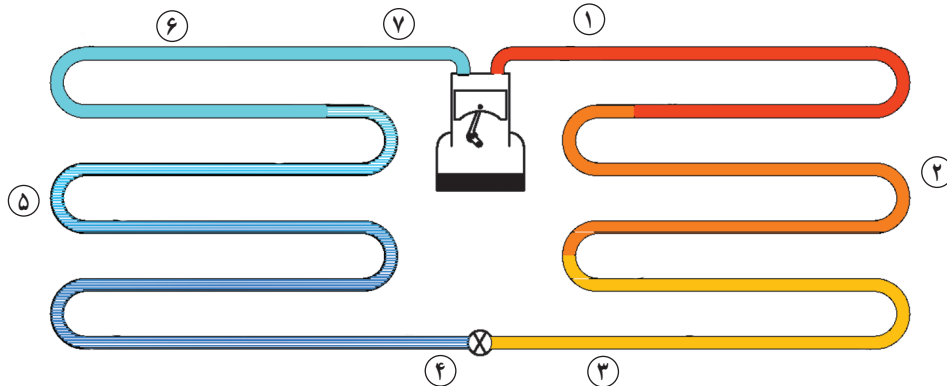
۲۲- تن سرمایی را تعریف کنید.

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.