

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کتاب معلّم

(راهنمای تدریس)

# تأسیسات برو دتی

رشته تأسیسات

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه ای

وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش

نام کتاب : کتاب معلم تأسیسات برودتی - ۵۵۲/۵

مؤلفان : رضا افشاری‌نژاد، حسن ضیغمی، محمد قربانی و احمد آقازاده هریس

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱ ، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وبسایت : [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)

مدیر امور فنی و چاپ : لیدا نیک‌روش

طراح جلد : طاهره حسن‌زاده

صفحه‌آرا : راحله زادفتح‌اله

حروفچین : فاطمه باقری مهر

مصحح : شاداب ارشادی، رعنا فرج‌زاده دروئی

امور آماده‌سازی خبر : اعظم هاشمی

امور فنی رایانه‌ای : حمید ثابت کلاچاهی، ناهید خیام‌باشی

ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران - تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

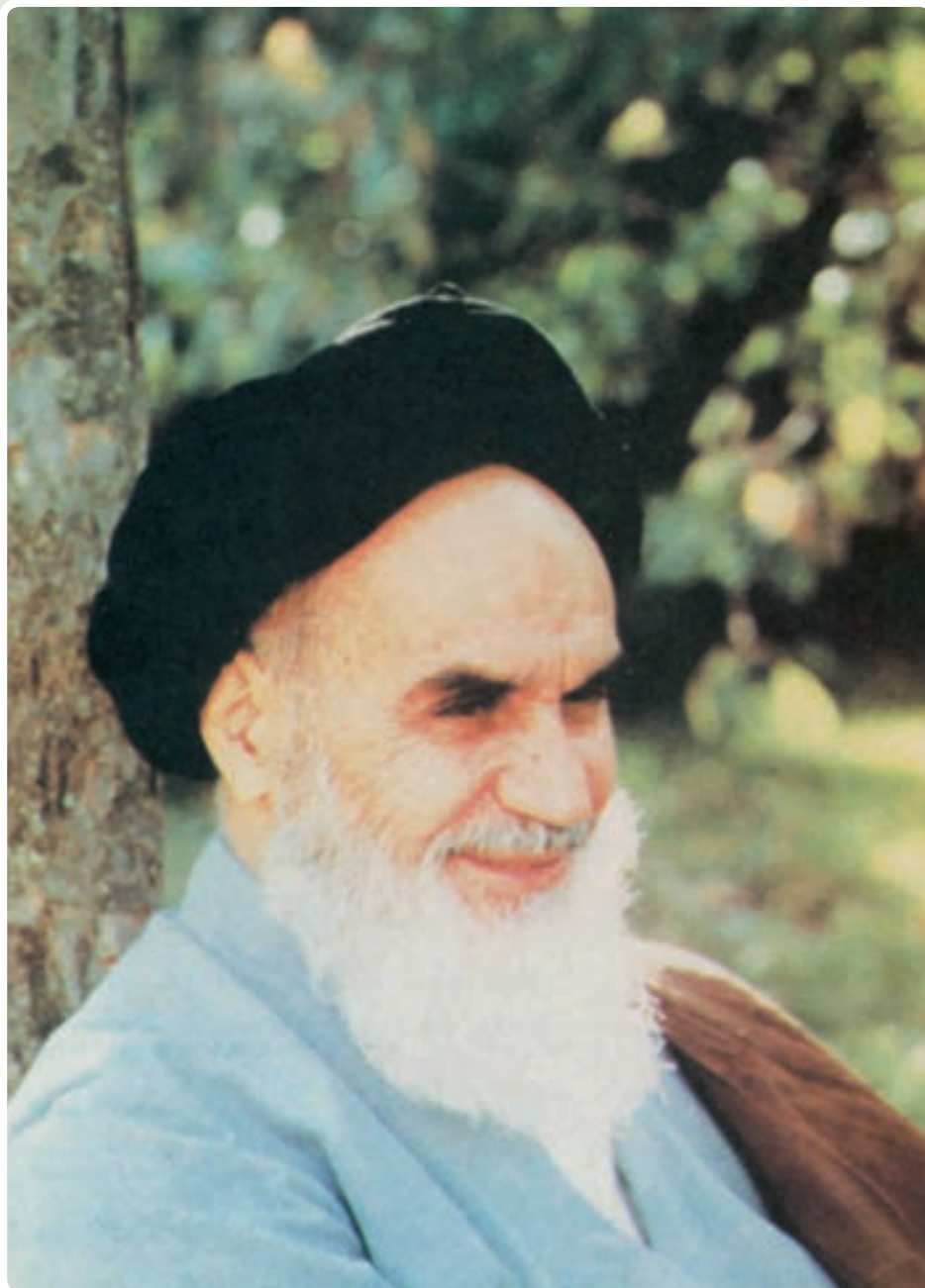
تلفن : ۵-۴۴۹۸۵۱۶۱ ، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰ ، صندوق پستی : ۳۷۵۱۵-۱۳۹

چاپخانه : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار : ۱۳۹۴

حق چاپ محفوظ است.

شابک ۳-۲۲۴۹-۰۵-۹۷۸-۹۶۴-۰۵-۲۲۴۹-۳ ISBN 978-964-05-2249-3



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آید و احتیاجات کشور  
خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتکای  
به اجانب پرهیزید.

امام خمینی «قدس سرّه الشریف»



# فهرست مندرجات

مقدمه

## بخش اول - گزیده‌هایی از روش‌های یاددهی و یادگیری

- ۱- جریان تدریس ..... ۳
- ۲- راهکارهایی در مدیریت کلاس ..... ۵
- ۳- برنامه‌ریزی طرح درس روزانه ..... ۶
- ۴- ساختن آزمون‌ها ..... ۱۱
- ۵- طبقه‌بندی بلوم ..... ۱۵

## بخش دوم - راهنمای تدریس کتاب تأسیسات برودتی

### فصل اول: کلیات ..... ۱۹

- ۱-۱- گرما ..... ۲۰
- ۱-۲- دما ..... ۲۴
- ۱-۳- تفاوت گرما با دما ..... ۲۸
- ۱-۴- فازهای ماده ..... ۳۱
- ۱-۵- نمودار دما - گرما ..... ۳۲
- ۱-۶- بخار اشباع و مایع اشباع ..... ۳۴
- ۱-۷- نمودار دما - حجم ..... ۳۶
- ۱-۸- فشار ..... ۳۸

### فصل دوم: سیکل تبرید ..... ۴۶

- ۲-۱- تاریخچه سردسازی ..... ۴۷
- ۲-۲- تن تبرید ..... ۴۸
- ۲-۳- فرایند تبرید ..... ۴۹
- ۲-۴- رابطه فشار و دمای آب ..... ۵۱
- ۲-۵- جدول فشار-دمای مبردها و کاربرد آن ..... ۵۲
- ۲-۶- چرخه سردسازی ..... ۵۶
- ۲-۷- نمودار فازی فشار-آنتالپی ..... ۵۹

### فصل سوم: کمپرسورها ..... ۶۲

- ۳-۱- انواع کمپرسورهای متداول سیستم تبرید ..... ۶۳

۷۰.....	۳-۲- روش‌های کنترل ظرفیت
۷۲.....	۳-۳- تعیین قدرت کمپرسور
۷۴.....	<b>فصل چهارم: کندانسرها</b>
۷۶.....	۴-۱- انواع کندانسرها
۸۴.....	۴-۲- انتخاب کندانسینگ یونیت
۸۶.....	<b>فصل پنجم: کنترل کننده‌های مایع مبرد</b>
۸۸.....	۵-۱- لوله موئین
۸۹.....	۵-۲- شیر انبساط خودکار
۹۰.....	۵-۳- شیر انبساط ترموستاتیک
۹۳.....	۵-۴- انتخاب لوله موئین
۹۵.....	<b>فصل ششم: اواپراتورها</b>
۹۶.....	۶-۱- کاربرد اواپراتورها
۹۷.....	۶-۲- انواع اواپراتور از نظر نوع تغذیه
۹۷.....	۶-۳- انواع اواپراتور از نظر جریان هوا
۹۸.....	۶-۴- انواع اواپراتور از نظر نوع ساخت
۱۰۰.....	۶-۵- پخش کننده‌ها در اواپراتور
۱۰۲.....	۶-۶- برفک‌زدایی یا دیفراست
۱۰۴.....	۶-۷- انتخاب اواپراتور
۱۰۷.....	<b>فصل هفتم: تجهیزات جانبی دستگاه‌های سردکننده</b>
۱۰۸.....	۷-۱- جداکن روغن
۱۰۹.....	۷-۲- مخزن مایع سرمازا
۱۱۰.....	۷-۳- فیلتر درایر
۱۱۲.....	۷-۴- مبدل گرمایی
۱۱۳.....	۷-۵- شیرهای سرویس رانش و مکش کمپرسور
۱۱۵.....	<b>فصل هشتم: مواد سرمازا و روغن‌ها</b>
۱۱۶.....	۸-۱- تاریخچه
۱۱۷.....	۸-۲- سرمازاها
۱۲۱.....	۸-۳- سرمازاها و محیط زیست
۱۲۸.....	۸-۴- شماره‌گذاری سرمازاها برابر استاندارد ASHRAE۳۴
۱۳۰.....	۸-۵- سرمازاهای خوب
۱۳۲.....	۸-۶- کد رنگی سرمازاها
۱۳۲.....	۸-۷- سرمازاهای کرایوژنیک
۱۳۳.....	۸-۸- روانکاو و روغن‌های تبرید

## **فصل نهم: کنترل ها..... ۱۳۶**

- ۹-۱- ترموستات ..... ۱۳۷
- ۹-۲- تایمر دیفر است ..... ۱۳۸
- ۹-۳- رله ولتاژ ..... ۱۴۰
- ۹-۴- اورلود ..... ۱۴۲
- ۹-۵- کنترل فشار کم (L.P.O) ..... ۱۴۴

## **فصل دهم: دستگاه های سرد کننده خانگی و تجاری ..... ۱۴۷**

- ۱۰-۱- یخچال ..... ۱۴۸
- ۱۰-۲- آب سردکن ..... ۱۵۳
- ۱۰-۳- یخچال ویتربنی ..... ۱۵۶
- ۱۰-۴- محاسبه برآورد بار سرمایی یخچال و فریزر ..... ۱۵۷
- ۱۰-۵- سردخانه (اتاق های سرد) ..... ۱۵۷
- ۱۰-۶- برآورد بار سرمایی سردخانه ..... ۱۵۸

## **فصل یازدهم: دستگاه های تهویه مطبوع ..... ۱۶۰**

- ۱۱-۱- تار یخچه ..... ۱۶۱
- ۱۱-۲- ویژگی های هوا و سایکرومتری ..... ۱۶۲
- ۱۱-۳- آسایش گرمایی ..... ۱۶۶
- ۱۱-۴- پمپ گرمایی ..... ۱۶۹
- ۱۱-۵- بار سرمایی ساختمان ..... ۱۷۱
- ۱۱-۶- سرد کننده تبخیری ..... ۱۷۴

## **فصل دوازدهم: سیستم های دیگر تبرید ..... ۱۷۷**

- ۱۲-۱- سیستم جذبی کریر ..... ۱۷۸
- ۱۲-۲- یخچال جذبی ..... ۱۸۰
- ۱۲-۳- سردسازی ترموالکتریک ..... ۱۸۱
- منابع و مأخذ ..... ۱۸۴

به نام خدا

معلم چو کانونی از آتش است      همه کار او سوزش و سازش است  
 همی سوزد از مهر و گرمی دهد      به سکنین دلاں درس نرمی دهد  
 نه برکس امید و نه از کس حراس      نخواهد به جز دیده حق شناس

نظام وفا

امروزه همراه با کتاب درسی، کتاب دانش آموز، نرم افزار آموزشی و کتاب معلم تهیه می شود که به این مجموعه بسته آموزشی می گویند. با استفاده از بسته آموزشی، دانش آموز نقش فعال تری در کلاس پیدا می کند و معلم فرصت می یابد روش های مختلف یاددهی و یادگیری را در تدریس به کار بندد، دانش آموز با علاقه بیشتری در کلاس درس حاضر می شود و در نهایت بهره وری آموزشی و راندمان کار کلاس افزایش می یابد. با تألیف کتاب راهنمای معلم برای کتاب تأسیسات برودتی گامی برای تهیه بسته آموزشی این درس برداشته شده است. امید است با تهیه نرم افزار آموزشی و کتاب دانش آموز بسته آموزشی این درس کامل شود.

کتاب معلم تأسیسات برودتی در دو بخش تهیه شده است بخش اول تحت عنوان «گزیده هایی از روش های یاددهی و یادگیری» است که از کتاب های نوشته شده در این زمینه برداشت شده است.

بخش دوم تحت عنوان «کتاب معلم تأسیسات برودتی» همانند کتاب درسی آن در دوازده فصل نوشته شده است هر فصل عمدتاً دارای زیرفصل هایی به شرح زیر است :

۱- پیش آزمون : در ابتدای هر فصل و پیش از آغاز تدریس با پرسش هایی از دانش آموزان پیش آزمون انجام می شود. دانش آموزان با پاسخ گویی به این پرسش ها به طور غیر مستقیم وارد بحث اصلی می شوند. هدف درست بودن پاسخ های آنان نیست هدف این است که با پاسخ گویی به این پرسش ها موجب بارش فکری در زمینه درس شود و همکاری آنها را با معلم بیشتر کند. استفاده دیگر آن آگاهی یافتن معلم به دانسته های پیشین دانش آموزان است تا بدین ترتیب تدریس را با دانش و توانایی دانش آموزان متناسب کند.

۲- راهنمای تدریس : چگونگی بیان و شرح موضوع درس است که از طرف مؤلفان پیشنهاد می شود. این پیشنهاد در جایی است که ارائه مطلب در کتاب مبهم یا سنگین است و نیاز به توضیحی افزون بر کتاب دارد یا مؤلف روش بهتری برای تدریس پیشنهاد می نماید.

۳- دانش افزایی : مطالبی که به عنوان دانش افزایی آمده است در سطح بالاتری از کتاب درسی هستند و آوردن آنها در کتاب درسی هم از نظر زمان تدریس و هم از نظر تناسب با توانایی ذهنی هنرجویان ضرورت نداشته است. هدف از آوردن دانش افزایی کمک به همکاری است که فرصت مراجعه به کتاب های مرجع را پیدا نمی کنند. آگاهی به این مباحث اشرف آنان بر مباحث درسی کتاب را بیشتر می کند.

آنچه در این کتاب آمده است پیشنهادی و در حد بضاعت مؤلفان بوده است امیدواریم این کتاب آغازی باشد بر کتاب های راهنمای تدریس دیگر که به دست توانای همکاران نوشته شود. چشم به راه راهنمایی ها، انتقاد و پیشنهاد های ارزنده همکاران و سایر صاحب نظران هستیم.

خدای را سپاس می گوئیم که توفیق نوشتن این کتاب را روزی مان نمود.

و من الله التوفیق



بخش اوّل

# گزیده‌هایی از روش‌های یاددهی و یادگیری

## گزیده‌هایی از روش‌های یاددهی و یادگیری

درس معلم اربودزمره محبتی  
جمعه به مکتب آورد طفل کریمای را

«در مباحث مدیریت کلاس، مقوله‌ای که کمتر بدان توجه می‌شود، مبحث روانشناسی اجتماعی کلاس است به طور معمول، دانش‌آموزان و معلمان نیمی از ساعات بیداری خود را در مدرسه و کلاس می‌گذرانند و در آنجا، همانند سایر محیط‌های اجتماعی، با یکدیگر تعامل دارند. این تعامل در ارتباط برقرار کردن معلم با دانش‌آموزان، دانش‌آموزان با معلم، دانش‌آموزان با یکدیگر و سرانجام با انواع مطالب و مواد درسی تجلی می‌یابد.

معلمان گزارش می‌دهند که هر کلاس ویژگی خاص و منحصر به فردی دارد که آن را از سایر کلاس‌ها متمایز می‌کند. به همین دلیل، دانش‌آموزان اظهار نظرهای و قضاوت‌های متفاوتی درباره کلاس‌های گوناگون دارند و هنگامی که درباره خاطرات دوران تحصیل صحبت می‌کنند، برخی کلاس‌ها را عالی، بعضی را متوسط و پاره‌ای را بد به‌شمار می‌آورند. بدون تردید، همه آنچه دانش‌آموزان از کلاس‌ها به یاد می‌آورند، درباره چیزهایی که معلم به آنان آموخته است نیست، بلکه مربوط به ابعاد روانی-اجتماعی کلاس است. به‌طور کلی، یک کلاس درس را می‌توان نظامی پویا دانست که ساختار سازمان و هنجارهای خاص خود را دارد. کلاس‌ها، ممکن است در ظاهر همانند یکدیگر به نظر آیند، اما در واقع چنین نیست و هر کلاس، همانند اثر انگشت ویژگی خود را دارد و بی‌همتاست. همچنین، هر کلاس، شیوه و الگوهای ارتباطی و محدوده‌های خود را دارد و چنین به نظر می‌رسد که عواملی نامرئی رفتار اعضای کلاس را هدایت و کنترل می‌کنند. با اینکه کلاس‌ها هرروز شکلی متفاوت با روزهای قبل می‌گیرند، در هر کلاس قدری ثبات، پایداری و تداوم وجود دارد که از پیشینه افراد آن سرچشمه می‌گیرد.

روش‌ها و ساختارهایی که معلمان برای بنا نهادن و برقراری کلاس برمی‌گزینند عوامل بسیار مهمی‌اند که بر چگونگی تشکیل کلاس و نحوه اجرای آموزش‌های درسی و اجتماعی اثر می‌گذارند. اتخاذ شیوه مناسب برای ایجاد کلاس‌های «ثمربخش» نیز از جمله مسئولیت‌های معلمان است و چنین کلاسی دارای سه ویژگی است:

۱- محیطی است که در آن دانش‌آموزان نسبت به خودشان، هم کلاسی‌هایشان و کلاس درس به عنوان یک گروه اجتماعی احساس مثبت دارند.

۲- به گونه‌ای سازمان یافته است که ساختار و روش‌های آن، نیازهای دانش‌آموزان را برآورد می‌سازد و نیز مکانی است که در آن دانش‌آموزان تکالیف و وظایف خود را انجام می‌دهند و با معلم و دانش‌آموزان همیاری و کار می‌کنند.

۳- محیطی است که در آن دانش‌آموزان به کسب دانش و مهارت‌های فردی و اجتماعی نایل می‌شوند. آرزوی هر معلم داشتن کلاسی با ویژگی‌های گفته شده در بالاست و لذت‌بخش‌ترین لحظه هنگامی است که معلم با احساس رضایت از کار خود از کلاس خارج می‌شود و حس می‌کند که دانش‌آموزان از اینکه در کلاس او بوده‌اند خرسند هستند.

برای رسیدن به چنین جایگاهی عوامل زیادی باید دست به دست هم دهند از جمله آنها داشتن علاقه به تدریس است، عامل دیگر مهارت و دانش در موضوع تدریس است عامل سوم را می‌توان آشنایی به روش‌ها و فنون یاددهی و یادگیری و به کار بستن آنها دانست. به همکاران ارجمند توصیه می‌کنیم که کتاب‌ها و مقالاتی را که در زمینه روش‌های یاددهی و یادگیری نوشته شده‌است مطالعه کنند و آنها را در مدیریت کلاس به کار بندند و خود را به جایی برسانند که به گفته پاستور در پایان دوران تدریس «با صدای بلند اعلام کنند که من آنچه در توان داشتم انجام دادم».

مزرع سبز فلک دیدم و داس مه نو      یادم از کشته خویش آمد و هنگام درو  
گفتم ای بخت بنجیدی و خورشید مید      گفت با این همه از سابقه نو مید شو  
گر روی پاک و مجرد چو میجا به فلک      از چراغ تو به خورشید رسد صد پرتو

حافظ

در این بخش مواردی کاربردی از کتاب‌های نوشته شده در زمینه یاددهی و یادگیری برگزیده‌ایم و امیدواریم مفید فایده افتد.

## جریان تدریس<sup>۱</sup>

۱

متخصصان مهارت‌آموزی، تدریس را به‌عنوان یک جریان تلقی نموده و برای آن چهار مرحله بنیادی ترسیم نموده‌اند.

۱- آمادگی<sup>۲</sup>

۲- ارائه مطالب<sup>۳</sup>

۳- کاربرد (کار بست)<sup>۴</sup>

۴- امتحان و سنجش<sup>۵</sup>

اجازه دهید هریک از این مراحل را به‌طور خلاصه بیان نماییم.

## مرحله اول: آمادگی

احتیاج به گفتن ندارد که یک معلم خوب باید تکالیف و وظایف مربوط به شغل خویش را به خوبی انجام دهد. معلم باید نسبت به مطالبی که می‌خواهد ارائه دهد تسلط کامل داشته باشد و روش تدریس و ترتیب ارائه مطالب را از قبل دقیقاً تنظیم و برای کلاس آماده نماید. نخستین هدف در مرحله آمادگی جلب توجه و ایجاد انگیزه و رغبت می‌باشد: برای تحقق این هدف راه‌های ذیل پیشنهاد می‌گردد:

الف: در تدریس خویش از وسایل کمک آموزشی استفاده نمایید.

ب: از ضرب‌المثل‌ها در ارتباط با موضوع مورد تدریس استفاده نمایید.

ج: در ارائه مطالب‌تان از روش یادگیری بصری (بر مبنای دیدن) بیشتر استفاده نمایید.

د: از دانش و تجربیات دانش‌آموزان در ارتباط با موضوع مورد تدریس حداکثر بهره‌برداری را نمایید.

معلم باید کاربرد مطالب مورد تدریس را برای مشاغل آینده دانش‌آموزان تجزیه و تحلیل نماید. این عملکرد به ما کمک می‌نماید که دانش‌آموزان مشتاقانه به مطالب گوش فرا دهند و به ضرورت نیاز آن درس پی ببرند. ضمناً یک معلم خوب باید خود را به‌جای دانش‌آموز قرار دهد و از آن دیدگاه نیز به مسئله تدریس و محتوی با توجه به امکانات و محیط آموزش بنگرد. قبل از شروع درس

۱- از کتاب جزئیات روش‌های تدریس، تألیف نادرقلی قورچیان

۲-Preparation

۳-Presentation

۴-Application

۵-Testing

لازم است معلم به معرفی خویش پرداخته و از یکایک دانش آموزان بخواهد که شمه‌ای از سابقه تحصیلی و تجربیات‌شان را در اختیار وی قرار دهند. بزرگ‌ترین حسن این عمل این است که وقتی به ارسال پیامتان می‌پردازید خصوصیات گیرنده دانش آموز را در مد نظر خواهید داشت و ارتباط بهتر و مؤثرتری را برقرار خواهید ساخت.

عدم توجه به مفاهیم فوق که مربوط به مرحله آمادگی بود منجر به عدم علاقه دانش آموزان، عدم ارتباط، بی‌ارزش شدن درس و کسل‌کنندگی محیط خواهد گردید و به عکس توجه به مفاهیم فوق لوح سفید ذهن دانش آموزان را آماده پذیرش مطالب شما خواهد ساخت. مفاهیم اساسی مرحله آمادگی به طور دستورالعمل‌های زیر خلاصه می‌شود:

- ۱- به ایجاد رغبت در دانش آموزان پردازید.
- ۲- مطالب مورد تدریس را با شغل آینده دانش آموزان ارتباط دهید.
- ۳- مطالبی را برای دانش آموزان آماده نمایید که برای آنان معنادار و قابل فهم باشد.
- ۴- از زمینه ذهنی دانش آموزان به عنوان ابزار تدریس استفاده نمایید.

### مرحله دوم: ارائه مطالب

در این مرحله نقش اساسی معلم در ارائه مطالب جدید با استفاده از روش‌های متفاوت و با توجه به زمینه قبلی دانش آموزان می‌باشد. در مرحله قبل یعنی مرحله آمادگی، معلم مطالب و محتوای مورد تدریس را آماده کرده و از میان روش‌های مختلف تدریس (روش سخنرانی، روش نمایش دادن، روش کنفرانس، روش اجرا کردن، روش شاگرد-استادی و روش چند حسی) روشی را انتخاب کرده است و در این مرحله مطالب و محتوای درس را با توجه به بهترین روش تدریس با در نظر گرفتن تعداد دانش آموزان عملاً ارائه می‌دهد. معلم باید در ارائه مطالب از شیوه‌های سمعی و بصری استفاده نماید چرا که برخی از دانش آموزان از طریق دیدن بهتر یاد می‌گیرند و برخی از طریق شنیدن، به طور خلاصه در این مرحله، معلم باید:

- ۱- به ارائه مطالب جدید پردازد.
- ۲- مهارت‌ها و دانش‌ها را تشریح و تحلیل نماید.
- ۳- روش کار خویش را دقیقاً برای دانش آموزان توضیح دهد.
- ۴- از مناسب‌ترین روش تدریس استفاده نماید.

### مرحله سوم: کاربرد (کاربست)

در این مرحله دانش آموز باید مطالب و مهارت‌هایی را که یاد گرفته به کلاس و به معلم مربوطه ارائه دهد. در حالی که دانش آموز در حال انجام دادن و ارائه مطالب است معلم باید به دانش آموز کمک کند تا اشکالاتش مرتفع گردد. در دروس عملی دانش آموز عملاً کار را انجام می‌دهد و در دروس تئوریک به صورت شفاهی و یا کتبی مرحله به مرحله دروس تدریس شده توسط معلم را با کلام خویش بیان می‌نماید.

توجه داشته باشید که ملاک شما برای تشخیص اینکه دانش آموزان مهارت‌های فنی و ذهنی دروس شما را فرا گرفته‌اند انجام مجدد کار عملی و تئوریک به طور صحیح توسط آنان می‌باشد.

زیرا اگر دانش آموز کاری را یک بار درست انجام داد ممکن است آن را تصادفاً و یا از روی حدس و احتمال انجام داده باشد، اما اگر مجدداً وی را آزمایش نمایید و هر دو پاسخ را صحیح مشاهده نمودید عملکرد شما از اعتبار علمی برخوردار خواهد بود. ضمناً در این مرحله اگر دانش آموزان اشکالاتی داشتند معلم باید درس را تکرار کرده و به رفع معضلات دانش آموزان پردازد.

خلاصه کلام در مرحله سوم چنین است :

- ۱- دانش‌آموز باید مطالبی را که توسط معلم فراگرفته است در کلاس ارائه دهد.
- ۲- معلم به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا دچار یادگیری غلط و لغزش علمی نگردند.
- ۳- در صورت ضرورت معلم درس را تکرار می‌نماید.
- ۴- معلم ادراک دانش‌آموزان را از طریق سؤالات گوناگون می‌سنجد و به سؤالات دانش‌آموزان نیز پاسخ می‌دهد.
- ۵- نشانه استنباط و ادراک دانش‌آموزان از مهارت‌های فنی و ذهنی حداقل دوبار انجام صحیح کار یا حل مسئله می‌باشد.

### مرحله چهارم: امتحان و سنجش

در این مرحله از جریان تدریس دانش‌آموز مورد ارزیابی رسمی و نهایی قرار می‌گیرد برخلاف مرحله سوم، در این مرحله یعنی در طی امتحان نباید هیچ‌گونه کمکی به دانش‌آموزان صورت گیرد.

امتحان و سنجش دانش‌آموزان به‌طور کلی به نتایج زیر منجر می‌شود :

- ۱- دقیقاً تعیین می‌نماید که دانش‌آموزان تا چه حد مطالب را فراگرفته‌اند و سطح دانش، درک و کاربرد آنان چه میزان است.
- ۲- نقاط ضعف دانش‌آموزان را برای ما روشن می‌سازد.
- ۳- موجب تقویت آنچه که دانش‌آموزان فراگرفته‌اند می‌گردد.
- ۴- به نوبه خود به عنوان یک عامل انگیزش تلقی می‌گردد.

کوتاه سخن اینکه : رعایت مراحل مختلف جریان تدریس به ما کمک می‌کند که از تجربه آزمایشگاه تربیتی انسان‌ها استفاده نموده و خود را به روش منظم و مرحله‌ای جریان تدریس (یعنی مراحل آمادگی، ارائه مطلب، کاربرد و امتحان) مسلح نماییم.

### ۲ راهکارهایی در مدیریت کلاس<sup>۱</sup>

رفتار معلم در شروع تدریس (سه هفته اول) بسیار اهمیت دارد؛ یعنی اگر سنجیده و درست باشد، آثار مثبت و اگر نادرست باشد آثار منفی بر یادگیری دانش‌آموزان خواهد داشت؛ بنابراین، معلمان باید در هفته‌های نخست سال یا نیم‌سال تحصیلی رهنمودهای زیر را به کار گیرند تا مدیریت اثر بخش‌تری در کلاس داشته باشند :

- برنامه‌های سالانه، نیم سال، ثلث، ماه و هفته را برای دانش‌آموزان شرح دهید.
- مکان‌هایی مانند کتابخانه، آزمایشگاه و کارگاه مدرسه را به دانش‌آموزان نشان دهید و نحوه استفاده از آنها را توضیح دهید.
- نحوه امتحان گرفتن از درس و آیین‌نامه امتحانات و شرایط قبولی، تجدیدی و مردودی را توضیح و نیز نمونه سؤال‌ها را ارائه دهید.
- مقررات غیبت کردن دانش‌آموزان، تأخیر در انجام دادن تکلیف، امتحان گرفتن و نمره دادن را اعلام کنید.
- ساعات رسمی کلاس را اعلام کنید و به آن پایبند باشید.
- هرروز یک دانش‌آموز را انتخاب و اطلاعاتی درباره او کسب کنید.
- از دانش‌آموزان بخواهید تا درباره رویدادهای مهمی که در زندگی شخصی و خانوادگی‌شان رخ داده است مطلبی بنویسند یا بگویند.

- از آنان سؤال کنید که در طول تابستان چه کتاب‌هایی مطالعه کرده‌اند.

۱- از کتاب روش‌ها، فنون و الگوهای تدریس؛ تألیف امان‌الله صفوی

- در صورت غایب بودن دانش‌آموزان، به وسیله یادداشت یا با تلفن با خانواده آنان ارتباط برقرار کنید.
- مطالب را تکرار کنید، زیرا دانش‌آموزان باید حداقل، سه بار مطالب را بشنوند، بخوانند یا ببینند تا به خاطر بسپارند.
- فرصت دهید تا دانش‌آموزان پیشرفت یادگیری خود را به نمایش بگذارند.
- رفتارهای پسندیده را با تحسین کردن، ستاره دادن و نوشتن جمله‌های تحسین‌آمیز تشویق کنید.
- دانش‌آموزان را به اظهار نظر و نقد کارهای یکدیگر (انشاء، مقاله، سؤال‌های امتحانی، نقاشی و ...) تشویق کنید.
- صندوق پیشنهادات و اظهار نظرهایی را در انتهای کلاس قرار دهید و دانش‌آموزان را به ارائه نظر درباره درس و کلاس ترغیب کنید.

- برای امتحانات مهم به اندازه کافی به دانش‌آموزان فرصت بدهید تا برای آزمون آماده شوند.
- در مواردی دانش‌آموزان را به کارهای گروهی مشغول سازید.
- از دانش‌آموزان بخواهید مطالب مرتبط با درس را از روزنامه‌ها و مجله‌ها انتخاب کنند و به کلاس بیاورند و در تابلوی مخصوص نصب کنند.

- اسامی دانش‌آموزان را یاد بگیرید و از دانش‌آموزان بخواهید اسامی یکدیگر را یاد بگیرند.
- از دانش‌آموزان کلاس عکس دسته جمعی بگیرید و آن را در کلاس، دفتر مدرسه و کتابخانه و آزمایشگاه نصب کنید.
- به دانش‌آموزان کمک کنید تا گروه‌های مطالعه تشکیل دهند و در خارج از مدرسه با یکدیگر کار کنند.
- کلاس را به موقع شروع کنید.
- از دانش‌آموزان، پیش‌آزمون به عمل آورید و نقاط قوت و ضعفشان را مشخص کنید.
- سخنان خود را با یک معما، سؤال، تصویر، فیلم و سایر مواردی که به موضوع درس مربوط می‌شود آغاز کنید تا دانش‌آموزان برای آموختن درس جدید آماده شوند.
- سؤال‌های دانش‌آموزان را روی تخته فهرست کنید و در کلاس به آنها پاسخ دهید.
- از دانش‌آموزان بخواهید نکات اصلی و مهم سخنان شما را یادداشت کنند.
- از دانش‌آموزان بخواهید که انتظارانشان را در مورد درس و هدف‌هایشان را در مورد یادگیری بنویسند.
- در هر جلسه روش‌های متفاوت و متنوعی به کار برید.

### ۳ برنامه‌ریزی طرح درس روزانه<sup>۱</sup>

- مهم‌ترین و اثربخش‌ترین بخش مدیریت تدریس، داشتن طرح درس روزانه است. طرح درس روزانه برنامه‌ای است مدون و سنجیده که معلم قبل از تدریس، برای یک جلسه درس تهیه می‌کند؛ دلایل آن مواردی بدین شرح است:
- طرح درس روزانه موجب می‌شود که معلم فعالیت‌های ضروری آموزشی را به ترتیب و یکی پس از دیگری، در مراحل و زمان‌های مشخص و به شیوه‌ای منطقی پیش ببرد و نتایج حاصل از آن را در مراحل بعدی آموزش استفاده کند.
  - احتمالاً در مراحل اولیه تدریس، معلمان تازه‌کار نمی‌توانند همه مراحل تدریس و جزئیات آن را به خاطر بسپارند. داشتن طرح درس، این مشکل را برطرف می‌کند. معلمی که بدون برنامه و آمادگی قبلی به کلاس می‌رود، ممکن است با ناکامی روبه‌رو شود.
  - چون طرح درس طبق اصول معین تهیه می‌شود، موجب می‌شود که معلم به عوامل اصلی جریان تدریس توجه کرده آن را

فراموش نکند.

- طرح درس موجب می‌شود که معلم با اعتماد بیشتری در کلاس حاضر شود.
- طرح درس توجه معلم را به انتخاب روش‌ها و فنون و الگوهای مناسب تدریس برای درس‌های مختلف جلب می‌کند.
- در جریان تهیه طرح درس، معلم فرصت خواهد داشت تا مشکلات احتمالی تدریس را پیش‌بینی کند.
- وجود طرح درس، موجب می‌شود که ارزشیابی تدریس معلم به وسیله ارزشیابان، مانند راهنمایان تعلیماتی، بازرسان به آسانی صورت گیرد.

## دوازده گام برای تهیه طرح درس

**گام ۱.** تعیین مشخصات کلی شامل: موضوع درس، پایه تحصیلی، زمان تدریس، تاریخ تدریس، نام مدرسه و نام معلم

**گام ۲.** تعیین هدف درس: برای اینکه مطمئن شوید طرح درس شما همان چیزی است که می‌خواهید آموزش دهید، باید با توجه به اصول و فنون طبقه‌بندی هدف‌های شناختی، عاطفی و مهارتی که در این کتاب آمده است، هدف‌های طرح درس خود را بنویسید.

**گام ۳.** تعیین رفتار ورودی یا پیش‌آموخته‌ها: به طور معمول رفتار ورودی آموخته و توانایی‌هایی است که دانش‌آموزان قبل از شروع درس جدید باید آنها را کسب کرده باشند تا بتوانند درس جدید را فراگیرند. در حقیقت، رفتار ورودی پیش‌نیاز لازم برای یادگیری درس جدید است. اگر معلم از میزان معلومات و مهارت‌های قبلی دانش‌آموزان آگاه نباشد، ممکن است عده‌ای از آنان درس جدید را درک نکنند؛ بنابراین، معلم پس از تعیین هدف‌های درس جدید، باید از خود سؤال کند: دانش‌آموزان برای رسیدن به این هدف یا هدف‌ها باید چه چیزهایی را از پیش آموخته باشند.

شایان ذکر است که معلم، رفتار ورودی یا پیش‌دانسته‌های لازم برای درس جدید را به‌هنگام تهیه طرح درس و پیش از رفتن به کلاس و اجرای تدریس تعیین می‌کند؛ زیرا او تا این هنگام نمی‌داند که دانش‌آموزان به چه میزان از رفتار ورودی و دانش و مهارت پیش‌نیاز برای یادگیری درس جدید برخوردارند، فقط می‌تواند تشخیص دهد که آنان قبل از آموختن درس جدید باید درس‌های قبل را آموخته باشند تا بتوانند درس جدید را فراگیرند. معلم پس از تهیه آزمون رفتار ورودی، که شرح آن به دنبال خواهد آمد و همچنین بعد از اجرای آن آزمون به میزان دانش و مهارت پیش‌نیاز دانش‌آموزان برای آموختن درس جدید پی خواهد برد.

**گام ۴.** تعیین آزمون رفتار ورودی: پس از تعیین رفتار ورودی و پیش‌دانسته‌های لازم برای درس جدید که در مرحله بالا (مرحله ۳) تشریح شد، معلم باید درباره نوع آزمونی که می‌خواهد به وسیله آن دانش و مهارت پیش‌نیاز دانش‌آموزان را ارزیابی یا امتحان کند تصمیم بگیرد. سؤال‌های آزمونی رفتار ورودی می‌توانند از نوع شفاهی، انشایی، چهارگزینه‌ای، عملی یا آزمایشگاهی باشند.

**گام ۵.** انتخاب مواد و وسایل آموزشی یا رسانه‌ها: انتخاب رسانه‌ها برای تکمیل طرح درس ضرورت دارد. رسانه وسیله‌ای است که سبب ایجاد ارتباط بین پیام‌دهنده و پیام‌گیرنده می‌شود. رسانه مناسب، به خلق شرایط مطلوب برای یادگیری کمک می‌کند و سبب تقویت آن می‌شود. رسانه، به مفهوم معنی وسیع کلمه، جامعه، مدرسه، معلم و حتی خود دانش‌آموزان نیز هست. اما در مفهوم محدودتر، کتاب درسی، بریده روزنامه‌ها و مجلات، تصاویر، جداول، نقشه‌ها، وسایل آزمایشگاهی، اشیای موجود در موزه‌ها و اماکن تاریخی، نوارهای ضبط صوت، فیلم‌ها، تلویزیون، رایانه و... جزء رسانه‌ها محسوب می‌شوند.

معلم باید با توجه به هدف‌های طرح درس از میان انواع مواد و وسایل آموزشی، مناسب‌ترین آنها را که دارای ویژگی‌های فنی باشند، انتخاب کند: (۱) توانایی انتقال پیام مورد نظر، (۲) قابلیت حمل و نقل، (۳) در دسترس بودن، (۴) اقتصادی بودن و (۵) رجوع پذیری. به طور کلی، همه رسانه‌ها، توانایی انتقال هر نوع پیامی را ندارند. برای مثال، با استفاده از تخته و گچ رنگی می‌توان قسمت‌های مختلف یک گل را نشان داد، اما نمی‌توان جریان باز شدن گل را هم روی تخته نشان داد. از سوی دیگر، برای نمایش قسمت‌های مختلف یک گل، خود گل در مقایسه با تصویر آن، رسانه بهتری است، اما اگر گل مورد نظر از انواع گل‌هایی باشد که در محل آموزش

یافت نشود، تخته برای نشان دادن تصویر آن مناسب است.

فرض کنید، در درس جغرافیا هدف معلم، آشنا کردن دانش‌آموزان با خصوصیات مردم چین باشد. ظاهراً، بهترین کار این است که معلم، دانش‌آموزان را به کشور چین ببرد و از نزدیک آنان را با زندگی مردم آن کشور آشنا کند. اما بدیهی است که چنین برنامه‌ای نه تنها عملی نیست، بلکه از نظر اقتصادی هم میسر نیست. در این گونه موارد، نمایش دادن یک فیلم درباره مردم چین انتخاب مناسبی است؛ البته در صورتی که امکانات آن فراهم باشد، مانند بودن فیلم مورد نظر و پرژکتور و قیمت مناسب اجاره آن و نیز آشنایی معلم یا دانش‌آموزان با روش استفاده از آن.

در مثال بالا تصور کنید که معلم فیلم را به عنوان رسانه انتخاب می‌کند و به وسیله آن می‌کوشد تا شاگردان را به هدف آموزشی برساند. چند روز بعد، یک یا چند تن از شاگردان در مورد مردم چین سؤال می‌کنند و معلم سعی می‌کند که بار دیگر فیلم را نشان دهد، ولی متوجه می‌شود که فیلم مزبور فقط همان روز در اختیار بوده و پس از آن به محل دیگری ارسال شده است.

بنابراین، تمام رسانه‌ها به یک اندازه رجوع پذیری ندارند. کتاب درسی یکی از رسانه‌هایی است که قابلیت رجوع پذیری دارند؛ زیرا همیشه در اختیار است. با وجود این، معلم نباید به این دلیل که کتاب به آسانی در اختیار قرار می‌گیرد از سایر رسانه‌ها صرف نظر کند.

**گام ۶. تعیین کارهای مقدماتی:** به طور معمول، معلم باید قبل از شروع تدریس به کارهای مقدماتی بپردازد، مانند: حضور و غیاب، بازدید تکالیف درسی و اطمینان از سلامت جسمی و روانی دانش‌آموزان و نیز دادن تذکر و یادآوری‌ها، لازم است معلم از قبل آنها را در طرح درس پیش‌بینی و یادداشت کند؛ البته مدت این کارها نباید زیاد طولانی باشد، زیرا درنگ‌های طولانی علاوه بر اینکه از زمان یادگیری می‌کاهد، اشتیاق دانش‌آموزان را برای آموختن کاهش می‌دهند.

**گام ۷. تعیین مطالب و روش آماده‌سازی و ایجاد انگیزه برای یادگیری:** معلم باید در طرح درس خود، روشی برای ایجاد علاقه یادگیری در دانش‌آموزان را در نظر گیرد. او باید طی مقدمه‌ای، انگیزه و شوق آموختن را ایجاد کرده، آنان را برای توجه کردن و آموختن درس آماده کند. همچنین در طرح درس خود مشخص کند که با چه مطلب و روشی می‌خواهد این آماده‌سازی و ایجاد انگیزه را انجام دهد.

**گام ۸. تعیین گام به گام ارائه درس جدید:** تعیین گام به گام مراحل ارائه درس جدید به صورت فهرستی است از کارهای اساسی که باید در کلاس انجام شود و نوشتن آنها در طرح درس ضرورت دارد، اما لازم نیست همه جزئیات آن ذکر شود. برای مثال، اگر موضوع درس، آموختن جمع یک‌رقمی بدون انتقال ۲+۳ باشد، معلم این مراحل را انجام می‌دهد: او به هر دانش‌آموز دو مکعب آموزشی می‌دهد و از آنان می‌پرسد چند مکعب دارید؟ که دانش‌آموزان باید عدد ۲ را بنویسند؛ سپس معلم سه مکعب دیگر به دانش‌آموزان می‌دهد و از آنان سؤال می‌کند که اکنون چند مکعب دارید؟ که دانش‌آموزان باید عدد ۳ را همراه با علامت + زیر عدد ۲ بنویسند و یک خط زیر آن بکشند؛ سرانجام، معلم از دانش‌آموزان سؤال می‌کند که در آغاز چند مکعب داشتید، سپس چند مکعب دیگر می‌دهد و از آنان سؤال می‌کند که حالا چند مکعب دارید؟ بنابراین، در پایان مرحله، دانش‌آموزان باید تعداد مکعب‌ها را به طور عینی بشمارند و جمع آنها را بنویسند.

**گام ۹. تعیین اختتامیه درس:** معلم باید در پایان درس یک اختتامیه انتخاب کند و آن را در طرح درس خود بیاورد. برای مثال، معلم در پایان درس جمع اعداد یک‌رقمی، می‌تواند بگوید: اکنون که با جمع کردن آشنا شدید می‌توانید همین جمع‌ها را در برابر والدین خود انجام دهید.

**گام ۱۰. تعیین فرصت تمرین:** معلم باید پس از ارائه درس، فرصتی برای تمرین آن در کلاس به دانش‌آموزان بدهد و آن را در طرح درس منظور کند. برای مثال، پس از آموزش جمع ۲+۳ با استفاده از مکعب‌هایی که در اختیار دارند جمع‌های دیگری بسازند.

**گام ۱۱. ارزشیابی پس از ارائه درس جدید:** همانطور که معلم پیش از آغاز درس جدید، رفتار ورودی یا پیش‌دانشته‌های



دانش‌آموزان را ارزیابی می‌کند، در پایان درس جدید هم باید از چگونگی یادگیری آنان اطمینان حاصل کند و از پیشرفت جمعی و فردی دانش‌آموزان آگاه شود. بنابراین، لازم است او در طرح درس خود برنامه‌ای برای ارزشیابی داشته باشد.

**گام ۱۲. فعالیت‌های جبرانی و تکمیلی:** معلم، پس از انجام دادن ارزشیابی و مشخص کردن نقاط قوت و ضعف یادگیری دانش‌آموزان، باید در طرح درس خود، فعالیت‌ها و تمرین‌های جبرانی برای دانش‌آموزان ضعیف و نیز فعالیت‌های گسترده‌تر و تکمیلی برای دانش‌آموزان قوی در نظر گیرد و برای همه آنان تکلیف شب تعیین کند؛ در اینجا به توضیح این فعالیت می‌پردازیم:

فعالیت‌های تکمیلی از دو بخش تشکیل می‌شود: انتخاب مطلب درباره این گونه فعالیت‌ها و نیز گزینش روش‌ها و فنون انجام دادن آنها.

مطلبی که برای تکمیل یک جلسه تدریس انتخاب می‌شود، ممکن است در مورد این هدف‌ها باشد:

- آماده کردن دانش‌آموزان برای درس جلسه بعد.
- خلاصه کردن درس ارائه شده.
- مرور کردن درس؛ مانند آهسته و بی‌صدا خواندن درس به وسیله دانش‌آموز.
- جمع‌بندی نکات و مفاهیم مجزا و ارتباط دادن آنها به یکدیگر.
- دادن تمرین برای کسب مهارت‌هایی که به تمرین نیاز دارد.
- دادن تمرین‌های عملی، مانند انجام دادن کارهای فنی، آزمایش‌های علوم، فعالیت‌های ورزشی.
- فعال کردن دانش‌آموزان برای یادگرفتن درس.
- ارزشیابی (امتحان قوه).

### انتخاب روش برای فعالیت‌های تکمیلی در طرح درس

انتخاب روش برای انجام دادن فعالیت‌های تکمیلی به موضوع و هدف درس بستگی دارد. برای مثال، اگر درسی که ارائه می‌شود به جمع‌بندی نیاز دارد، معلم باید نوع آن را انتخاب کند. آیا جمع‌بندی را به‌طور شفاهی انجام خواهد داد و از دانش‌آموزان خواهد خواست نکات مهم را یادداشت کنند؟ یا اینکه جمع‌بندی را با خلاصه‌نویسی روی تخته انجام خواهد داد؟ یا ممکن است درسی را که معلم ارائه می‌دهد در پایان به تمرین نیاز داشته باشد. برخی از روش‌های متداول برای انجام دادن فعالیت‌های تکمیلی عبارتند از: تمرین، مسئله دادن و تکلیف شب که معلم باید در طرح درس، گزینش خود را انجام دهد.

### اجرای برنامه طرح درس روزانه در کلاس

معلم پس از آنکه برنامه طرح درس روزانه را تهیه کرد، طبق اجزاء و مراحل آن و در نظر گرفتن و به کارگیری تمام نکات مطالب فصل‌های قبل، به تدریس می‌پردازد. فعالیت‌های معلم در اجرای برنامه طرح درس، که شرح آن گذشت به سه مرحله تقسیم می‌شود:

**مرحله ۱:** در این مرحله فعالیت‌های مقدماتی قبل از شروع درس جدید شامل گام‌های ۲، ۴، ۶ و ۷ (از ۱۲ گام طرح درس) آغاز می‌شود.

**مرحله ۲:** فعالیت‌های ضمن ارائه درس جدید، که معلم باید هدف درس را بیان کند (گام ۲)، دانش‌آموزان را برای توجه یادگیری درس جدید آماده سازد (گام ۷)، درس جدید را با استفاده از وسایل آموزشی (گام ۵) با مراحل گام به گام آن ارائه دهد (گام ۸) و با یک اختتامیه آن را به پایان رساند (گام ۹).

**مرحله ۳:** فعالیت‌های پس از ارائه درس جدید که معلم باید به دانش‌آموزان فرصت دهد تا درس جدید را تمرین کنند (گام ۱۰) سپس از آموخته‌های آنان ارزشیابی به عمل آورد (گام ۱۱) و فعالیت‌های جبرانی و تکمیلی برای دانش‌آموزان تعیین کند (گام ۱۲).

## ساختار کلی طرح درس روزانه

پایه تحصیلی :	رشته تحصیلی :	تاریخ اجرا :	مشخصات کلی		
موضوع درس :	صفحه : تا	شماره جلسه :			
منابع کمکی :					
اهداف کلی :					
حیطه شناختی (دانستنی ها) حیطه عاطفی (نگرشی) حیطه روانی-حرکتی (مهارتی)					
کارهای پیش از تدریس	اهداف رفتاری	حیطه و طبقه			
	فعالیت معلم	رفتار دانش آموز	وسایل	روش تدریس	زمان
کارهای آغازین تدریس	احوال پرس و حضور و غیاب				
	ارزشیابی تشخیصی				
	آماده سازی و ایجاد انگیزه				
ارائه درس	ارائه درس جدید				
کارهای پایانی	جمع بندی				
	ارزشیابی پایانی				
	تکلیف				

## ۱- ساختن آزمون‌های انتخابی (الف: چندگزینه‌ای، ب: درست-نادرست، ج: جورکردنی).

الف) ساختن پرسش‌های چندگزینه‌ای

در نوشتن و ساختن پرسش‌های چندگزینه‌ای از دو طریق می‌توان استفاده کرد.

۱) از طریق فرم استفهامی

۲) از طریق فرم عبارت ناقص

مثال برای فرم استفهامی: ساقه سؤال: در کدام یک از انواع پرسش‌های زیر آزمایش‌شونده باید پاسخ را تهیه کند؟

الف) چندگزینه‌ای

ب) درست و نادرست

ج) جورکردنی

د) کوتاه-پاسخ

مثال برای فرم عبارت ناقص: ساقه سؤال: برای نشان دادن نوع پرسش‌هایی که در آنها لازم است آزمایش‌شونده پاسخ را

تهیه کند می‌توان پرسش

الف) چند انتخابی را ذکر کرد

ب) درست و نادرست را ذکر کرد

ج) جورکردنی را ذکر کرد

د) کوتاه-پاسخ را ذکر کرد

نکات اساسی که در نوشتن و ساختن پرسش‌های چندگزینه‌ای باید رعایت کرد عبارتند از:

۱- ساقه پرسش بایستی برای اندازه‌گیری هدف مهمی طرح ریزی شده باشد.

۲- تلاش شود که در ساقه پرسش تنها یک مطلب که به روشنی تدوین شده ارائه گردد.

۳- ساقه پرسش را با زبان ساده و روشن بیان کنید.

۴- حتی‌الامکان، ساقه پرسش را به صورت مثبت بیان کنید.

۵- چنانچه در ساقه پرسش عبارت منفی به کار رفته آن را مورد تأکید قرار دهید.

۶- اطمینان حاصل کنید که پاسخ مورد نظر واقعاً درست است یا به روشنی بهترین پاسخ محسوب می‌شود.

۷- دقت کنید که همه گزینه‌ها از لحاظ دستوری درست و با ساقه پرسش هماهنگ و با یکدیگر موازی باشند.

۸- از اشارات کلامی که بتواند شاگردان را به انتخاب پاسخ درست یا حذف گزینه‌های نادرست راهنمایی کند، خودداری نمایید.

۹- از به کار بردن لغات مشابه در ساقه گزینه‌ها اجتناب ورزید.

۱۰- پاسخ درست را به همان عبارتی که در کتاب درسی آمده و یا با جملات قالبی در گزینه‌ها نیاورید.

۱۱- از تفصیل بیشتر و نوشتن جزئیات که معمولاً در بیان پاسخ درست به کار می‌رود، اجتناب ورزید.

۱۲- از گنجانیدن کلمات و عبارت‌های مطلق در پاسخ‌ها اجتناب ورزید (مانند همیشه، هرگز، یا هیچ‌یک، فقط...).

۱- از کتاب جزئیات روش‌های تدریس؛ تألیف نادرقلی قورچیان

۱۳- از نوشتن دو پاسخ که معنی یکسانی دارند اجتناب ورزید.

۱۴- از لغات مخالف و ضد هم که یکی از آنها پاسخ درست باشد اجتناب ورزید.

۱۵- لغات تکنیکی که شاگردان نمی‌دانند به کار نبرید.

۱۶- پاسخ‌ها حتی‌المقدور به زبان شاگردان بیان شود.

۱۷- پاسخ‌های همگن بسازید.

۱۸- از به کار بردن گزینه «همه پاسخ‌های بالا و هیچ‌یک از پاسخ‌های بالا» به کلی اجتناب ورزید چون محتوای پرسش و پاسخ

دارای هیچ‌گونه پیام و هدفی نیست.

### ب) ساختن پرسش‌های درست-نادرست

پرسش درست-نادرست از یک عبارت خبری تشکیل می‌شود که دانش‌آموز باید درباره درست بودن یا درست نبودن مطلب آن داوری کند. فرم اصلی پرسش درست-نادرست را می‌توان در بعضی موارد تغییر داد و از دانش‌آموز خواست که پاسخ خود را به صورت آری-نه، موافق، مخالف، و مانند آنها بیان کند.

مشکلی که برای این پرسش‌ها وجود دارد اینکه چون تنها دو پاسخ وجود دارد. دانش‌آموز غیر مطلع پنجاه درصد برای یافتن پاسخ درست شانس دارد. تنها در مواردی از پرسش‌های درست-نادرست استفاده می‌کنیم که نتوان پرسش‌های چندگزینه‌ای برای اندازه‌گیری برآیندهای مورد نظر به کار برد.

مثال برای پرسش درست-نادرست : پرسش درست-نادرست از جمله پرسش‌هایی است که در آنها آزمایش شونده خود

پاسخ را تهیه می‌کند؟

از معایب پرسش‌های درست-نادرست :

الف) پرسش‌ها مبهم هستند.

ب) پرسش‌ها اکثراً منجر به آسان شدن بیش از حد می‌شوند.

ج) عامل حدس را افزایش می‌دهند.

در نوشتن پرسش‌های درست-نادرست این مطالب را رعایت کنید :

۱- در هر پرسش تنها یک مطلب مهم و اساسی را بیان کنید.

۲- یک قسمت از جمله درست و قسمت دیگر نادرست نباشد.

۳- از به کار بردن اصطلاحات منفی در جاهایی که ضروری نیست اجتناب ورزید مگر اینکه برآیندهای یادگیری ایجاب نمایند.

۴- جملات پیچیده را به کار نبرید.

۵- از به کار بردن لغاتی مانند (هر، همه، فقط، نه و هرگز) اجتناب کنید.

۶- جملات را کوتاه و همگن بنویسید.

ج) ساختن پرسش‌های جورکردنی<sup>۱</sup> : پرسش‌های جورکردنی توانایی دانش‌آموزان را برای جور کردن یا به هم پیوستن در

موضوعات، ایده‌ها، مفاهیم یا واقعیات مربوط به هم اندازه می‌گیرد.

پرسش‌های جورکردنی را جز پرسش‌های چندگزینه‌ای تلقی می‌گردد. در این نوع پرسش به جای ارائه پاسخ‌ها تحت ساقه هر

پرسش تعداد ساقه در یک ستون و پاسخ‌ها در ستون دیگر ارائه می‌گردد. دانش‌آموز بایستی هر ساقه و پاسخ را که به هم مربوط می‌شود

جلوی ستون مناسب بنویسد.

مثال پرسش‌های جورکردنی :

در پرسش‌های زیر حرف‌های مربوطه در ستون (ب) را در جای مناسب روی خطوط تعیین شده بنویسید.

محل پاسخ	ستون الف	ستون ب
.....	۱- بهترین پرسش برای اندازه‌گیری در محاسبه	الف) پرسش جورکردنی
.....	۲- نامناسب‌ترین پرسش برای تشخیص دشواری‌های تربیتی	ب) پرسش چندگزینه‌ای
.....	۳- انواع مختلف برآندهای یادگیری را اندازه می‌گیرد.	ج) پرسش درست-نادرست

از معایب پرسش‌های جورکردنی :

الف : نوشتن این گونه پرسش‌ها برای سطوح بالاتر از دانش مشکل خواهد بود.

ب : پیدا کردن ایده‌هایی که بتوان آنها را به شکل پرسش‌های جورکردنی درآورد مشکل است. در نوشتن پرسش‌های جورکردنی نکته‌های زیر را رعایت نمایید.

۱- فهرست مطالب باید کوتاه باشد و پاسخ‌ها در ستون سمت چپ قرار داده شود.

۲- در هر پرسش جورکردنی تنها از مطالب همگن استفاده کنید و پاسخ‌ها همگن باشند.

۳- مبنای جورکردن را در دستورالعمل مشخص و تصریح کنید که هر پاسخ را می‌توان یک یا چندبار به کاربرد یا اصلاً مورد استفاده قرار نداد.

۴- فقط اطلاعات اصولی و اساسی را آزمایش کنید.

۵- جواب‌ها را به ترتیب منطقی بنویسید.

## ۲- ساختن پرسش‌های تهیه کردنی

فرم اصلی پرسش‌های تهیه کردنی عبارتند از :

الف : پرسش‌های کامل کردنی

ب : پرسش‌های کوتاه-پاسخ

ج : پرسش‌های انشایی

الف : ساختن پرسش‌های کامل کردنی : در این گونه پرسش‌ها جای خالی در وسط و یا بیشتر در انتهای جمله در نظر گرفته

می‌شود که آزمایش‌شونده باید آن را پر کرده و آن را کامل نماید. در نوشتن پرسش‌های کامل کردنی نکته‌های زیر اساسی به نظر می‌رسد :

۱- در هر جمله فقط یک جای خالی بگذارید.

۲- جای خالی حتی‌المقدور در پایان جمله باشد.

۳- پرسش‌ها را طوری بنویسید که فقط یک پاسخ درست داشته باشند.

۴- پرسش‌ها را از روی متن کتاب کپی نکنید.

۵- سعی کنید همه جاهای خالی طول یکسان داشته باشند.

ب: ساختن پرسش‌های کوتاه-پاسخ: پرسش‌های کوتاه-پاسخ پرسش‌هایی هستند که دانش‌آموز بایستی در محلی که داده شده

پاسخ کوتاه خود را بنویسد. در پاسخ دادن به آن آزمایش شونده باید به جای انتخاب پاسخ درست، آن را تهیه کند. این گونه پرسش‌ها برای آزمایش توانایی فراگیران در به یادآوردن واقعیات، مفاهیم اصلی و اصول اساسی به کار برده می‌شود.

مثال: در پرسش چندگزینه‌ای قسمتی که مطلب اصلی پرسش را بیان می‌کند چه نامیده می‌شود؟

در نوشتن این نوع پرسش نکات زیر را رعایت کنید:

۱- پرسش را طوری بیان کنید که تنها یک پاسخ ساده و مختصر داشته باشد.

۲- مطمئن شوید که پاسخ درست به نکته اصلی موضوع مربوط باشد.

۳- از آوردن اشارات کلامی خودداری کنید.

### ۳- ساختن پرسش‌های انشایی

پرسش‌های انشایی برای اندازه‌گیری برآیندهای معلوماتی مناسب نیست. اما گاهی ضرورت دارد آزمایش شونده آزادی

بیشتری برای پاسخ دادن داشته باشد و منظور ما اندازه‌گیری قدرت ابتکار، خلاقیت، نحوه استدلال، چگونگی مقدمه چیدن و به نتیجه رسیدن و تلفیق کردن و چگونگی بیان کردن باشد از این نوع پرسش استفاده می‌کنیم.

مثال: مزایا و معایب استفاده از پرسش‌هایی انشایی در آزمون را شرح دهید.

از معایب آزمون انشایی این که نمره دادن آن ذهنی است و بر اساس قضاوت شخصی مصحح است و مستلزم صرف وقت زیادی

برای تصحیح کردن می‌باشد. نکته دیگر اینکه نمونه‌گیری از محتوای درس محدود خواهد شد زیرا تعداد این گونه پرسش‌ها را نمی‌توان

زیاد انتخاب کرد نمونه‌گیری‌ها در این روش معرف پیشرفت‌های مورد نظر نخواهد بود و در نتیجه ممکن است پرسش‌هایی در امتحان

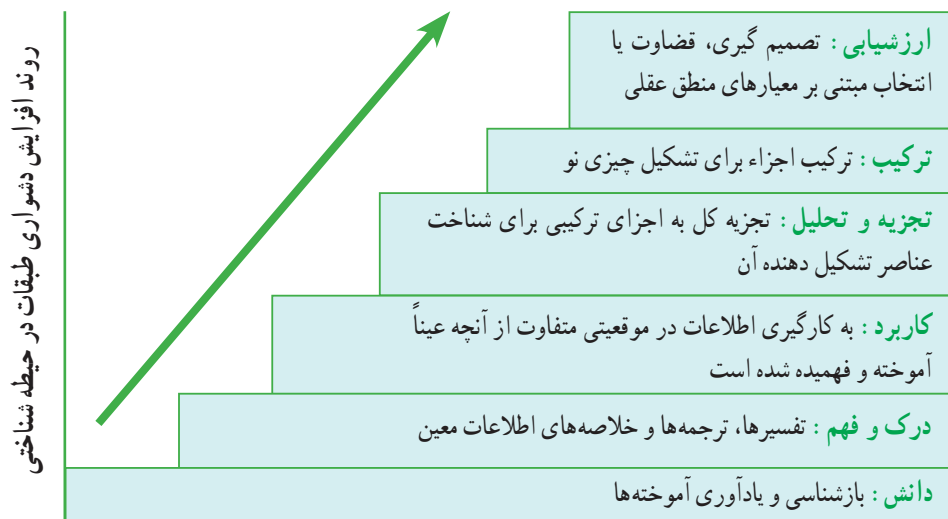
آید که یک دانش‌آموز تصادفاً فقط همان یک قسمت را مطالعه کرده باشد و دانش‌آموز نمره تصنعی بالایی بگیرد و دانش‌آموز دیگری

که تمام قسمت‌های کتاب را خوانده و برای آن قسمت مورد پرسش وقت کمتری صرف مطالعه کرده است نمره‌ای خواهد گرفت که

استحقاق بیشتر از آن را داشته است.

در طبقه‌بندی بلوم و همکاران هدف‌های آموزشی در سه حیطه شناختی، روانی حرکتی و عاطفی دسته‌بندی شده‌اند که هریک از حیطه‌ها دارای چندین سطح و طبقه آموزشی است.

### الف) حیطه شناختی :

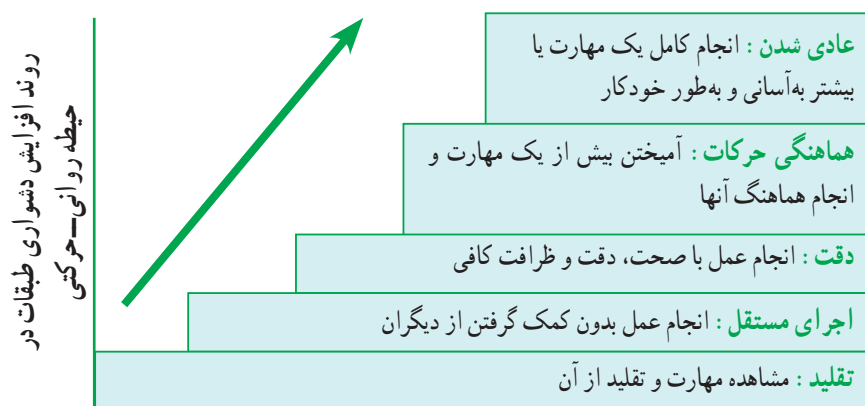


### طبقات اصلی در حیطه شناختی

نمونه «هدف‌های کلی آموزشی» و فعل‌های رفتاری هر طبقه در حیطه شناختی

طبقات	هدف‌های کلی آموزشی (نتایج یادگیری)	فعل‌های رفتاری (به صورت زمان حال ساده و سوم شخص مفرد)
دانش	اصطلاحات متداول را می‌داند. مفاهیم اساسی را می‌داند. روش‌ها را می‌داند.	تعریف می‌کند، توصیف می‌کند، مشخص می‌کند، فهرست می‌کند. نام می‌برد، تکرار می‌کند، بیان می‌کند. جور می‌کند، نسخه‌برداری می‌کند.
درک و فهم (فهمیدن)	اصول را می‌فهمد. تئوری‌ها را می‌فهمد. قوانین را می‌فهمد.	مثال می‌زند، حل می‌کند، ترجمه می‌کند، برگردان می‌کند. تمیز می‌دهد، تخمین می‌زند، توضیح می‌دهد، بسط می‌دهد، تعمیم می‌دهد، بازنویسی می‌کند، خلاصه می‌کند، پیش‌بینی می‌کند.
کاربرد	مفاهیم و اصول را در موقعیت جدید به کار می‌برد. قوانین و نظریه‌ها را در موقعیت عملی به کار می‌برد.	تغییر می‌دهد، محاسبه می‌کند، نمایش می‌دهد، کشف می‌کند، اندازه‌گیری و کنترل می‌کند.
تجزیه و تحلیل	ساختار یک اثر هنری را تجزیه و تحلیل می‌کند. جداول و نمودارها را تجزیه و تحلیل می‌کند. یک متن ادبی را تجزیه و تحلیل می‌کند.	به اجزا تقسیم می‌کند یا نمودار نشان می‌دهد، مجزا می‌کند، تجزیه می‌کند، تفکیک می‌کند، جدا می‌کند، هجی می‌کند
ترکیب	اصول و قواعد را با یکدیگر ترکیب می‌کند. طرح جدیدی ابداع می‌کند. مطالب را با یکدیگر ترکیب می‌کند.	طبقه‌بندی می‌کند، درهم می‌آمیزد، انشاء می‌کند، تجدید نظر می‌کند بازنویسی می‌کند، سخنرانی می‌کند، داستان‌نویسی یا شعر می‌سراید، تجدید سازمان می‌کند، مدون می‌کند، نمودار تهیه می‌کند گروه‌بندی می‌کند.
ارزشیابی	یک اثر هنری را ارزشیابی می‌کند. روش‌های تدریس را ارزشیابی می‌کند. قوانین یادگیری را ارزشیابی می‌کند.	ارزیابی می‌کند، مقایسه می‌کند، نتیجه‌گیری می‌کند، مقابله می‌کند، انتقاد می‌کند، تفسیر می‌کند، ربط می‌دهد، قضاوت می‌کند. داوری می‌کند.

## ب) حیطه روانی - حرکتی



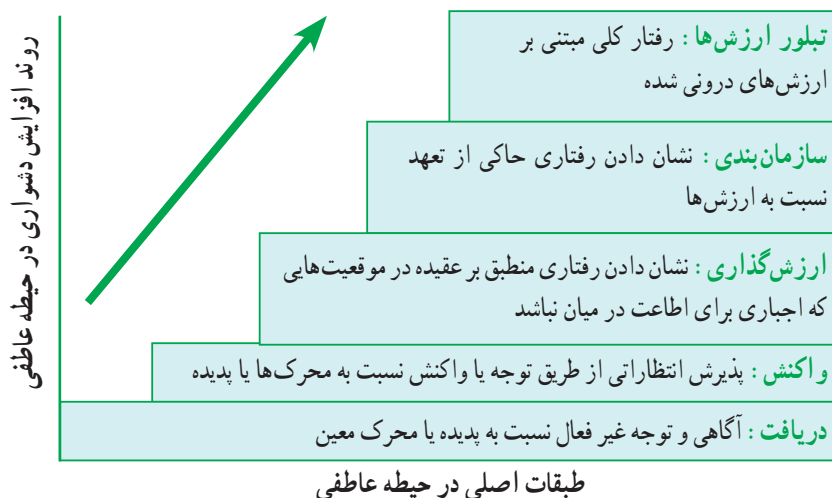
طبقات اصلی حیطه روانی-حرکتی

نمونه «هدف‌های کلی آموزشی» و فعل‌های رفتاری هر طبقه در حیطه روانی-حرکتی

طبقه	هدف‌های کلی آموزشی (مهارت کلی)	فعل‌های رفتاری
تقلید	از ابزار و وسایل تراشکاری آگاهی دارد. از حیث جسمی برای تراشکاری آمادگی دارد. به تراشکاری تا حدودی علاقه دارد. با کمک استادکار، تراشکاری می‌کند.	تمیز می‌کند، اشتباه خود را رفع می‌کند، تمرین می‌کند، حرارت می‌دهد، گره می‌زند، مخلوط می‌کند، میخ‌کوبی می‌کند، به هم می‌زند، وزن می‌کند، می‌پیچد، به هم می‌پیچد، محکم می‌کند، بسته‌بندی می‌کند، می‌چیند.
اجرای مستقل	به تنهایی تراشکاری می‌کند. به تنهایی نقاشی ساختمان را انجام می‌دهد. به تنهایی می‌سازد.	سوار می‌کند، اره می‌کند، آسیاب می‌کند، خمیر می‌کند، می‌یزد، می‌دوزد، می‌بافد، تیز می‌کند، رنگ می‌کند، سمپاشی می‌کند، درو می‌کند، مسواک می‌زند، ناخن می‌گیرد.
دقت	با دقت موتور مولد را سیم‌پیچی می‌کند. با دقت رادیو را تعمیر می‌کند. با دقت جوشکاری می‌کند.	با مته سوراخ می‌کند، آب‌بندی می‌کند، فنر ساعت را جا می‌اندازد، لحیم می‌کند، صحافی می‌کند، رفو می‌کند، گچکاری می‌کند، کاشی‌کاری می‌کند، حدیده می‌کند، سیم‌کشی می‌کند.
هماهنگی حرکات	با هماهنگی چشم و دست مجسمه می‌سازد. با هماهنگی چشم و دست چکش می‌زند. با هماهنگی دست و چشم و گوش، ارکستر را رهبری می‌کند.	با چرخ خیاطی می‌دوزد، آبشار می‌زند، شنا می‌کند، شیرجه می‌رود، اسکی می‌کند، دوچرخه‌سواری می‌کند، سر می‌خورد، و بولون می‌زند، تیراندازی می‌کند.
عادی شدن	با مهارت رانندگی می‌کند. با مهارت با تراکتور شخم می‌زند. با مهارت قالی می‌بافد.	همزمان ترمز و کلاج را فشار می‌دهد (با مهارت) چرخ خیاطی را به کار می‌اندازد، (با مهارت) می‌سازد (با مهارت) تعمیر می‌کند و غیره.



## ج) حیطه عاطفی



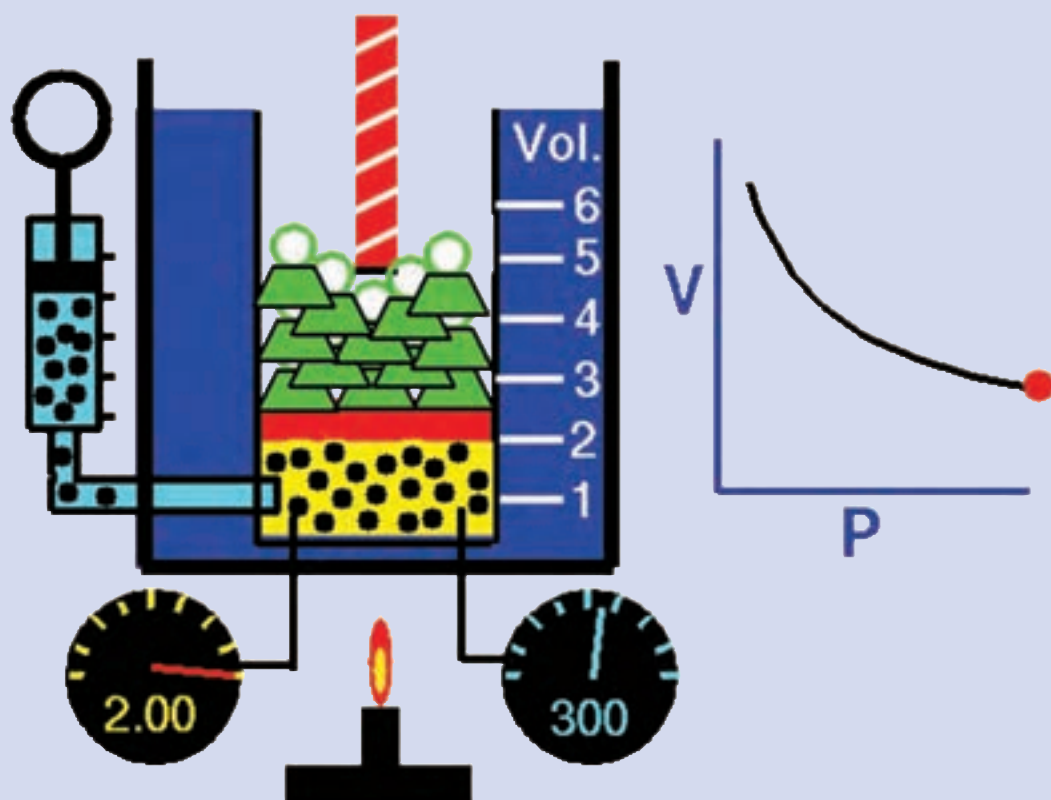
نمونه «هدف‌های کلی تربیتی» و فعل‌های رفتاری هر طبقه در حیطه عاطفی

طبقات	هدف‌های کلی تربیتی	فعل‌های رفتاری
دریافت (توجه)	نسبت به اهمیت یادگیری، آگاهی نشان می‌دهد نسبت به نیازهای انسان و مسائل اجتماعی حساسیت نشان می‌دهد. بادقت به فعالیت‌های کلاس توجه می‌کند.	می‌پرسد، انتخاب می‌کند، دنبال می‌کند، قرار می‌دهد، نام می‌برد، اشاره می‌کند، توصیف می‌کند، مشخص می‌کند، با دقت گوش می‌دهد، سؤال می‌کند، می‌نشیند، ارائه می‌دهد.
واکنش (دقت)	قوانین مدرسه را رعایت می‌کند. برای انجام کاری ویژه، داوطلب می‌شود. از مطالعه شعر و ادب لذت می‌برد.	پاسخ می‌دهد، کمک می‌کند، موافقت می‌کند، اجابت می‌کند، پیروی می‌کند، تبریک می‌گوید، اجرا می‌کند، تمرین می‌کند، می‌خواند، گزارش می‌دهد.
ارزش‌گذاری (اظهار نظر)	به نقش علم و زندگی روزمره ارجحیت می‌دهد. نسبت به رفاه و آسایش دیگران علاقه نشان می‌دهد. خود را در قبال پیشرفت اجتماعی متعهد می‌داند.	کامل می‌کند، پیش‌قدم می‌شود، دعوت می‌کند، ملحق می‌شود، پیشنهاد می‌کند، سهمیم می‌شود، کار می‌کند، مطالعه می‌کند، تحسین می‌کند، تشکر می‌کند.
سازمان‌بندی	نقش برنامه‌ریزی منظم در حل مسائل را می‌شناسد. مطابق توانایی‌ها، علایق و اعتقادات خویش برنامه‌ای برای زندگی خود تدوین می‌کند.	طرفداری می‌کند، تغییر می‌دهد، تنظیم می‌کند، تلقین می‌کند، مقایسه می‌کند، تعمیم می‌دهد، تعدیل می‌کند، تغییر می‌دهد، اصلاح می‌کند، منظم می‌کند، سازمان می‌دهد، ربط می‌دهد، ترکیب می‌کند.
تبلور (درونی شدن)	برای انجام کار مستقل از خود اعتماد به نفس نشانی می‌دهد. در فعالیت‌های گروهی، عملاً همکاری می‌کند. عادات خوب بهداشتی را جذب می‌کند.	تمیز می‌دهد، تحت نفوذ قرار می‌دهد، کیفیت چیزی را تعیین می‌کند، تجدیدنظر می‌کند، خدمت می‌کند، ممیزی می‌کند، گلچین می‌کند، داوری می‌کند، قضاوت می‌کند.

بخش دوم

# راهنمای تدریس کتاب تأسیسات برودتی

# کلیات



## کلیات

قبل از شروع درس توجه هنرجویان را به رو و پشت جلد کتاب جلب کنید و از ایشان بخواهید درباره طرح رو و پشت جلد کتاب اظهار نظر کنند نظرهای ایشان را روی تخته یادداشت کنید. سپس هدف کلی کتاب را در کنار نظر ایشان نوشته و برای ایشان توضیح دهید که در پایان کتاب هنرجویان باید چه موضوعاتی را فراگرفته باشند.

## پیش آزمون

- ۱- می دانیم که اگر یک قطعه آهن داغ را درون یک ظرف آب سرد وارد کنیم آهن سرد می شود، گرمای آهن کجا می رود؟
- ۲- می دانیم که اگر یک لیوان آب گرم را داخل یخچال بگذاریم سرد می شود، گرمای آب کجا می رود؟
- ۳- گرمای آب خلیج فارس خیلی بیشتر از گرمای آب جوش کتری است. درست □ نادرست □

## ۱-۱- گرما

## روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می توانند مطالبی نظیر :

- ۱- برداشت هنرجویان از سرشت گرما
  - ۲- مفهوم و تعریف های دما
  - ۳- خلاصه تاریخچه گرما
  - ۴- یکاهای گرما در سه سیستم (بدون بیان هیچ معادله ای)
  - ۵- اصل پایداری انرژی
- و ... را بیان کنند.

با مطرح کردن پرسش های پیش آزمون می توان وارد موضوع شد. توجه کنید که این پرسش ها صرفاً به منزله بارش فکری است و نباید در مورد جواب آنها قضاوت، ارزشیابی یا انتقاد کرد و فقط جواب چند نفر را در گوشه ای از تخته یادداشت کنید. چنانچه هنوز هنرجویان در برداشت از گرما مشکل داشتند بیشتر توضیح دهید و وارد بحث دما شوید. بعد از پرداختن به تفاوت گرما با دما هنرجو برداشت بهتری از این موضوع خواهد داشت.

## دانش افزایی

توجه : دانش افزایی ها الزاماً برای طرح در کلاس نمی باشند.

## الف) تاریخچه گرما

برای نخستین بار پدیده گرما توسط مرد و زن غارنشین ماقبل تاریخ برای آفرودن آتش برای گرم شدن و برای پخت غذا کشف شد.

فلاسفه باستان بر این باور بودند که جهان از چهار عنصر آب، خاک، باد و آتش ساخته شده است. بنابراین آنها گرما (آتش) را یکی از عناصر چهارگانه جهان می دانستند.



شکل ۱-۱ کنت رامفورد

دانشمندان روزگاران گذشته گرما را شاره ای از یک سیال نامرئی به نام «کالریک» در نظر می گرفتند. عقیده بر این بود که جسم با دمای بالا مقدار زیادی کالریک و جسم با دمای پایین مقدار کمتری کالریک دارد و چون دو جسم نزدیک یکدیگر قرار گیرند جسمی که از نظر کالریک غنی است مقداری از آن را به جسم دیگر می داد و دمای نهایی بین دو دمای اولیه قرار می گرفت. بنجامین تامسون<sup>۱</sup> معروف به کنت رامفورد (۱۷۵۳-۱۸۱۴) نقشی قابل توجه در تصحیح نظریه سرشت گرما دارد. تامسون به هنگام سوراخ کردن لوله یک توپ جنگی در اواخر سال های ۱۷۹۰ متوجه شد که سلاح پس از مدت کوتاهی بسیار داغ می شود. او ظرف عایق و آب بندی شده ای را که حاوی ده لیتر آب بود در تماس با لوله توپ قرار داد. در حالی که لوله توپ سوراخ می شد، آب موجود در ظرف داغ و داغ تر شد و پس از دو ساعت و نیم شروع به جوشیدن کرد. او نتیجه گرفت که کار انجام شده برای سوراخ کردن لوله به گرما تبدیل شده است. او در صدد تعیین رابطه میان کار انجام شده و آبی که جوشیده بود برآمد اما رابطه معینی به دست نیاورد.



شکل ۱-۲ جیمز ژول

بعد از تامسون نیز تلاش هایی برای دستیابی به معادله صورت گرفت تا اینکه جیمز پرسکات ژول<sup>۲</sup> (۱۸۱۸-۱۸۸۹) با آزمایش های دقیق معادل بودن کار و گرما را ثابت کرد. این موضوع باعث به وجود آمدن مفهوم جدیدی از گرما به صورت نوعی انرژی، و نظریه جنبشی مولکولی شد. او آزمایش های فراوانی در این راستا به انجام رسانید. با اندازه گیری اختلاف دمای آب در بالا و پایین یک آبشار صد و ده متری تبدیل انرژی پتانسیل آب به گرما را بررسی کرد. پس از انجام این بررسی ها او به این نتیجه رسید که مقدار انرژی در جهان ثابت است فقط می تواند از صورتی به صورت دیگر تبدیل شود. پس اجسام می توانند در حالت تعادل گرمایی وجود داشته باشند. ژول اظهار داشت که هرگاه مقدار معینی از انرژی مکانیکی به نظر ناپدید آید، همراه آن مقدار معینی گرما ظاهر شده است و این دلالت بر پایداری انرژی دارد.

### ب) مفهوم گرما:

گرما انرژی داخلی گذرا است. این انرژی از بخشی از یک سیستم به بخش دیگر آن و یا از یک سیستم به سیستم دیگر، صرفاً به علت اختلاف دما جریان پیدا می کند. در خلال جریان گرما فرایند گرما نامعلوم است و کمیت معلوم سرعت جریان گرما است که تابعی از زمان است. فقط پس از پایان یافتن جریان است که می توان گرما را به عنوان «انرژی داخلی منتقل شده از یک سیستم با دمای بالاتر به یک سیستم با دمای پایین تر» تعریف کرد. پس ادای عبارت «گرمای یک جسم» درست نیست همان گونه که گفتن از کار یک جسم نیز درست نیست. انجام کار و جریان گرما روش هایی هستند که توسط آنها انرژی درونی یک سیستم تغییر داده می شود. جدا کردن انرژی داخلی به یک بخش مکانیکی و یک بخش گرمایی غیرممکن است.

۱- Benjamin Thompson

۲- James Prescott Joule

پ) نظریه جنبشی مولکولی گازها<sup>۱</sup>

نظریه جنبشی مولکولی گازها از مهم ترین نظریه های ترمودینامیک است که نتیجه آن این است که انرژی جنبشی متوسط یک مولکول فقط تابع دما است (و به حجم یا فشار یا نوع مولکول) بستگی ندارد.

نظریه جنبشی گازها شامل فرضیات زیر است :

- ۱- گازها متشکل از مجموعه ای از ذرات است که آن ذرات به صورت مستقیم حرکت می کنند (از قوانین نیوتون تبعیت می کنند).
- ۲- از حجم ذره ها صرف نظر می شود (در مقابل ظرف که حجم زیادی دارد).
- ۳- به هنگام برخورد انرژی جنبشی یک ذره به ذره دیگر انتقال می یابد، بدون آنکه مقدار کل انرژی جنبشی ذره ها تغییر کند.
- ۴- مولکول ها هیچ گونه نیرویی به هم وارد نمی کنند.

۵- میانگین انرژی جنبشی یک مولکول متناسب با دمای آن جسم است ( $E_c = \frac{3kT}{2}$ )

انرژی جنبشی یک مولکول از فرمول  $E_c = \frac{3kT}{2}$  به دست می آید که در آن

$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8.314}{6.022 \times 10^{23}} = 1.38 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{molecule} \cdot \text{K}}$$

و T دمای مطلق بر حسب کلوین است.

مثال : انرژی جنبشی یک مولکول منفرد از گازی در دمای ۳۰۰ کلوین چند ژول است؟

$$E_c = \frac{mV^2}{2} = \frac{3KT}{2} = \frac{3 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300}{2} = 6.21 \times 10^{-21}$$

انرژی جنبشی کل مولکول های در یک مول گاز با دمای ۳۰۰ کلوین چند ژول و چند کالری است؟

طبق نظریه آووگادرو هر مول گاز دارای  $6.022 \times 10^{23}$  مولکول می باشد بنابراین :

$$\begin{aligned} \text{انرژی یک مولکول} \times \text{تعداد مولکول ها} &= U \text{ انرژی یک مول گاز} \\ &= 6.022 \times 10^{23} \times 6.21 \times 10^{-21} = 3739 \text{ J} \end{aligned}$$

## ت) یکای گرما

در قرن هجدهم برای گرما یکایی به نام کالری<sup>۲</sup> تعریف شد و آن مقدار گرمایی است که دمای یک گرم آب را یک درجه سلسیوس بالا ببرد. بعدها معلوم شد که گرمای لازم برای گرم کردن یک گرم آب از ۹۰°C به ۹۱°C بیشتر از مقدار لازم برای رسانیدن آب از ۳۰°C به ۳۱°C است. لذا تعریف را تصحیح کرده و آن را برای رسانیدن آب ۱۴/۵°C به ۱۵/۵°C (به نام کالری ۱۵°C) تعریف کردند. واحد گرما در سیستم انگلیسی<sup>۱</sup> بی تی یو<sup>۲</sup> است و آن مقدار گرمای لازم برای گرم کردن یک پوند آب ۶۳°F به ۶۴°F است.

همانگونه که اشاره شد گرما یک نوع انرژی و یکاهای آن نیز از همان نوع می باشند. به یاد ژول که آزمایش های مختلفی را بر روی رابطه بین کار و گرما انجام داده است یکای انرژی در دستگاه بین المللی SI<sup>۳</sup> را ژول (J) نام گذاری کردند. به تجربه ثابت شده است که :  $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$

برای تبدیل این یکاها به یکدیگر می توان از معادله  $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$  کمک گرفت.

۱- Kinetic Molecular Theory of Gases

۲- کالری واحد گرما در سیستم متریک یا (MKS) می باشد. (سیستم متریک یک سیستم ددهی است)

$$1 \text{ cal} = 1 \text{ gr} \times 1 \frac{\text{cal}}{\text{gr} \cdot ^\circ \text{C}} \times 1 ^\circ \text{C}$$

$$1 \text{ Btu} = 1 \text{ lb} \times 1 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ \text{F}} \times 1 ^\circ \text{F}$$

$$1 \text{ lb}_m = 453 / 59237 \text{ gr} \quad 1 ^\circ \text{C} = 1 / 1.8 ^\circ \text{F} \quad C_{\text{water}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{gr} \cdot ^\circ \text{C}} = 1 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ \text{F}}$$

$$1 \text{ Btu} = 453 / 59237 \text{ gr} \times 1 \times \frac{1}{1.8} = 251 / 99576 \text{ cal} \approx 252 \text{ cal}$$

$$1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal} = 252 \times 4 / 186 \text{ J} = 1055 \text{ J}$$

$$1 \text{ Btu} = 1055 \text{ J} \rightarrow 1 \text{ kcal} = 3 / 968 \text{ Btu} \approx 3 \text{ Btu}, \quad 1 \text{ kcal} = 4 / 186 \text{ kJ}$$

## کار در کلاس ۱-۱

۱- از هنرجویان بخواهید که کف هر دو دست را به یکدیگر مالش دهند و دلیل گرم شدن آن را توضیح دهند.

۲- شخصی به وزن  $700 \text{ N}$  ۵ متر حرکت می کند چند ژول انرژی مصرف می شود؟

$$W = F \cdot d = 700 \times 5 = 3500 \text{ J}$$

۳- چنانچه تمام کار انجام شده شخص در مثال قبل به گرما تبدیل شود چند ژول و چند بی تی و چند کالری گرما تولید شده است؟

$$3500 \text{ J} \quad \frac{3500}{1055} = 3 / 3 \text{ Btu} \quad \frac{3500}{4 / 186} = 836 \text{ cal}$$

## توجه:

هنرآموزان گرمایی می توانند با توجه به نوع پرسش آن را به چند شکل مطرح نمایند:

الف) برای پاسخ سر کلاس در زمان تدریس

ب) برای آزمون در شروع هر جلسه از مطلب جلسه گذشته<sup>۱</sup>

پ) برای تحقیق توسط هنرجویان (تک نفره یا گروهی)

## پرسش و پاسخ

۱- نظریه دانشمندان روزگاران گذشته را درباره گرما بیان کنید و دلیل رد آن نظریه درباره گرما چه بود؟

۲- انرژی گرمایی را تعریف کنید.

۳- گرما را تعریف کنید.

۱- این سیستم به نام های FPS (فوت-پوند-ثانیه) و IP (اینچ-پوند) نیز نام گذاری شده است.

۲- British Thermal Unit

۳- International System of Units = Systeme Internationale (لفظ فرانسوی است.)

۴- Quiz

- ۴- یکای انرژی ..... و یکای گرما ..... است.
- ۵- برای کاهش دمای یک کیلوگرم آب  $20^{\circ}\text{C}$  به آب صفر درجه سلسیوس چند کیلوژول انرژی مورد نیاز است؟ این مقدار را برحسب کیلوکالری و بی تی یو به دست آورید.
- ۶- در زمان فرود هواپیما دمای ترمز به  $600$  تا  $700$  درجه سلسیوس می رسد. علت را توضیح دهید.
- ۷- علت اینکه در زمان لمس کردن یک جسم داغ یا یک جسم خیلی سرد دست ما دچار سوختگی می شود، چیست؟ (به ویژه اگر چشم ما بسته باشد و متوجه نشویم که جسم سرد است یا گرم)

## ۲-۱- دما

### روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می توانند مطالبی نظیر :

- ۱- کاربرد دما در زندگی روزمره
  - ۲- ضرورت اندازه گیری دما
  - ۳- مفهوم و تعریف های دما
  - ۴- خلاصه تاریخچه دماسنجی
  - ۵- وسایل اندازه گیری دما
  - ۶- و... را بیان کنند
- با مطرح کردن پرسش های پیش آزمون می توان وارد موضوع شد.

### پیش آزمون

- ۱- یکای اندازه گیری دما کدام است؟ الف- ژول    ب- کالری    پ- سلسیوس
- ۲- دمای داخل یخچال  $4^{\circ}\text{C}$  و دمای سردکن آن  $20^{\circ}\text{C}$  .... است.
- ۳- فکر می کنید کولر آبی دمای اتاق را چند درجه کاهش می دهد؟
- ۴- فکر می کنید کولر گازی دمای اتاق را چند درجه کاهش می دهد؟

### دانش افزایی

#### الف) تعریف دما

دما دو تعریف رایج دارد :

- ۱- تعریف عملیاتی : دما معیاری است که سردی و گرمی اجسام را نشان می دهد.
- ۲- تعریف از دیدگاه مولکولی : دمای هر جسم متناسب با میانگین انرژی جنبشی مولکول های سازنده آن جسم است. در واقع دما کمیتی نسبی است که به میزان انرژی جنبشی ذرات جسم بستگی دارد.



دما یک خاصیت فیزیکی ماده است که کمیت مشترک همه اجسام است. بسیاری از خواص مواد شامل جامد، مایع، گاز یا پلاسما، چگالی، حلالیت، فشار بخار و رسانایی الکتریکی به دما بستگی دارد. دما نقش مهمی در انجام و سرعت واکنش‌های شیمیایی دارد. همچنین میزان گرمای تشعشعی از یک سطح را تعیین می‌کند.

### ب) تاریخچه دماسنجی:

حال که با تعریف دما آشنا شدیم، چگونه باید دما را اندازه بگیریم؟  
بی‌شک حس لامسه اولین ابزار بشر برای اندازه‌گیری دما بوده است.  
اما این حس چقدر دقیق است؟

اگر در روزهای برفی زمستان به مدت زیاد برف بازی کرده باشید، به خاطر می‌آورید وقتی به خانه برمی‌گشتید و دستان سرد خود را روی بخاری یا زیر آب گرم می‌گرفتید، تشخیصی از گرمای هوا یا آب نداشتید. بلکه برعکس به نظرتان آب یا هوا، سرد می‌آمد. در واقع این اشتباه از اینجا ناشی می‌شود که حواس ما در سرمای زیاد تقریباً کارایی خود را از دست می‌دهند و دیگر تشخیص درستی از سرما و گرما ندارند. پس ظاهراً حس لامسه با وجود اینکه اولین و در دسترس‌ترین ابزار تعیین دماست، چندان دقیق و مناسب نیست. اندازه‌گیری دما با «دماسنج» امکان‌پذیر است.

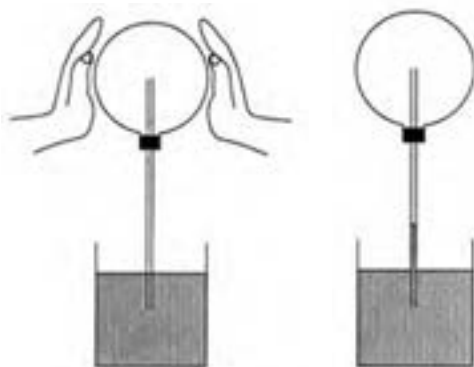


شکل ۱-۳ گالیلئو گالیله (۱۶۴۲-۱۵۶۴)

در قرن دوم میلادی یک فیزیکدان یونانی به نام گالن ثابت کرد که می‌توان حس‌هایی مثل سرما و گرما را به کمک وسیله‌ای شامل یک ستون چهار درجه‌ای اندازه‌گیری کرد.  
این نظریه تا پایان قرن شانزدهم پایه‌ای بر تعلیمات پزشکی بود.

نخستین وسیله واقعی علمی را برای اندازه‌گیری دما در سال ۱۵۹۳ گالیله اختراع کرد. این دستگاه به طور کیفی، (نه از نظر کمی و مقدار معین دما) اثر گرما را در انبساط هوا نشان می‌داد. دماسنج ساده آن زمان شامل یک حباب و یک لوله شیشه‌ای بود که

درون آن آب رنگی قرار داشت و وقتی حباب گرما می‌دید، هوای داخل آن منبسط می‌شد و از دهانه لوله باریک و بلند خارج می‌گردید. سپس حباب به طور وارونه به داخل آب قرار داده می‌شد. هوای جمع‌شده داخل حباب به هنگام خروج، آب اطراف آن را بالا می‌برد. تغییرات بعدی میزان ارتفاع آب، نشانگر گرمای هوای متراکم داخل حباب بود. وسیله گالیله مقیاسی واقعی برای سنجش دما نبود به طوری که وسیله وی بیشتر جنبه دمانما (ترموسکوپ)<sup>۱</sup> داشت تا جنبه دماسنج (ترمومتر)<sup>۲</sup>. برای مثال برای اندازه‌گیری دمای بدن، شخص بیمار دست خود را در اطراف حباب می‌گذاشت و با دمای بدن شخص سالم مقایسه می‌شد.



شکل ۱-۵ اندازه‌گیری دمای نسبی با دمانما



شکل ۱-۴ دمانما

بعدها عده‌ای میزان دمای خون و عده‌ای دیگر دمای ذوب کره و... را مبنای مدرج‌سازی دماسنج قرار دادند. تا در سال ۱۷۱۴ گابریل دانیل فارنهایت موفق شد، دماسنجی بسازد که امروز استفاده می‌شود. فارنهایت در شهر دانزیگ واقع در کشور مشترک‌المنافع لهستان و لیتوانی متولد شد و بعد از مرگ والدینش در سن کودکی به هلند رفته و بقیه عمر خود را به تحصیل در رشته شیمی پرداخته و موفق به ساخت دماسنج الکلی و در نهایت جیوه‌ای شد. ذوق و حرفه اصلی وی ساختن وسایل هواشناسی بود. چون در آن زمان برای مطالعه اقلیم‌ها دماسنج ضرورت داشت. او توجه خاصی به ساختن اسباب اندازه‌گیری دما کرد. در قرن هفدهم نوعی دماسنج گازی و الکلی ساخته شده بود که دقت کافی نداشتند. فارنهایت جیوه را مورد استفاده قرار داد و در سال ۱۷۱۴ میلادی دماسنجی جیوه‌ای ساخت. وی نخست راه را برای پاک‌سازی جیوه اختراع کرد. به طوری که جیوه دیگر به دیواره‌های لوله باریک نمی‌چسبید. دماسنج جیوه‌ای دارای این مزیت بود که اندازه‌گیری دماهای بالاتر از نقطه جوش و پایین‌تر از نقطه انجماد آب را ممکن می‌ساخت. از این گذشته میزان انبساط و تراکم جیوه به نسبت ثابت‌تر از غالب مواد دیگر است. به همین دلیل درجه‌بندی دقیق آن مقدور بود.



شکل ۷-۱ دماسنج فارنهایت



شکل ۶-۱ گابریل دانیل فارنهایت (۱۶۸۶-۱۷۳۶)

بر اساس مقاله‌ای که در ۱۷۲۶ توسط او نوشته شده، مقیاس او بر اساس سه نقطه پایه‌گذاری شده است. نقطه اول دمای مخلوط یک‌به‌یک آب و یخ و نشادر است که به عنوان صفر در نظر گرفته شده است. نقطه بعدی دمای مخلوط یک‌به‌یک آب خالص و یخ است و نقطه سوم دمای بدن انسان است. فارنهایت بعد از مشاهده فاصله این نقاط از هم به این نتیجه رسید که فاصله نقطه ذوب یخ خالص و یخ با نشادر نصف فاصله نقطه ذوب یخ خالص از دمای بدن است. پس برای سادگی تقسیم‌بندی بین این نقاط فاصله‌ها را به دو مقدار ۳۲ قسمتی و ۶۴ قسمتی تقسیم نمود که با نصف کردن چندباره فاصله‌ها امکان‌پذیر است. پس در مقیاس او دمای ذوب یخ خالص برابر با ۳۲ و دمای بدن برابر با ۹۶ درجه (۳۲+۶۴) اندازه‌گیری شد. فارنهایت مشاهده کرد که آب با این مقیاس در ۲۱۲ درجه به جوش می‌آید. بعدها دانشمندان در این مقیاس تغییراتی دادند تا نقطه ذوب یخ دقیقاً ۳۲ درجه و دمای جوش آب ۲۱۲ درجه در نظر گرفته شود و فاصله آنها ۱۸۰ واحد باشد. به خاطر همین تغییرات دمای بدن انسان در این مدل ۹۸ درجه به دست آمد.

آندره سلسیوس، دماسنج خود را در سال ۱۷۴۲ اختراع کرد. مقیاس او بر اساس دو نقطه پایه‌گذاری شده است. نقطه اول دمای مخلوطی از آب و یخ در حال تعادل و تحت فشار جو و نقطه بعدی دمای مخلوط آب و بخار در حال تعادل در فشار جو است و بین این دو را به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم کرد و هر قسمت را یک درجه سانتی‌گراد (این نام از واژه لاتین centum به معنی «۱۰۰») و gradus به معنی «گام» یا «مرحله» گرفته شده است. او ابتدا نقطه جوش آب را صفر و نقطه انجماد آب را ۱۰۰ تعیین کرد، اما سال بعد

این روش را معکوس کرد و این همان درجه بندی است که به درجه بندی سلسیوس یا سانتی گراد یا صدبخشی معروف است. (از ۱۹۵۴ بر اساس پذیرش جهانی، «درجه سلسیوس» یا یکای سلسیوس با دو دما تعریف می شود: صفر مطلق و نقطه سه گانه آب خالص ( $0.01^{\circ}\text{C}$ )).



شکل ۹-۱ لرد کلونین (۱۸۲۴-۱۹۰۷)



شکل ۸-۱ آندره سلسیوس (۱۷۴۴-۱۷۰۱)

ویلیام تامسون مشهور به لرد کلونین یکی از پیشگامان مهم علوم طبیعی در قرن نوزدهم بود. او کارهای مهمی در ترمودینامیک انجام داد. او به خاطر پیشنهاد مقیاس دمای ترمودینامیکی کلونین در ۱۸۴۸ معروف است. این واحد اندازه گیری دما که مستقل از خواص فیزیکی ماده است، به افتخار او مقیاس دمای کلونین نام گرفته است.

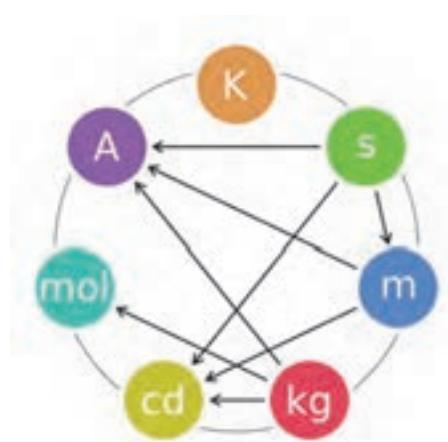
### (ب) دمای صفر مطلق:

ایده «صفر مطلق» در نیمه دوم قرن ۱۸ مطرح شد با این سؤال که آیا برای میزان سرد بودن ماده حدی وجود دارد؟ پاسخ مثبت است. همانگونه که آورده شد دما معیاری از انرژی جنبشی است و هر زمان که ماده کمترین انرژی را داشته باشد دما صفر می شود. اما صفر کلونین چگونه تعیین می شود؟ در واقع صفر کلونین دمایی نیست که بتوان به آن دست یافت. اما برای مشخص کردن شاخص مقیاس کلونین نقطه سه گانه آب را معادل  $273.15$  درجه کلونین در نظر می گیرند.

قانون سوم ترمودینامیک بیان می کند که ممکن نیست از طریق یک سلسله فرایند متناهی به صفر مطلق دست یافت. به عبارتی رسیدن به دمای صفر مطلق محال است. البته به نزدیکی های صفر مطلق می شود رسید، اما خود صفر مطلق قابل دسترس نمی باشد. (سردترین جای شناخته شده دنیا، قلب سحابی بومرنگ است که پنج هزار سال با ما فاصله دارد. دانشمندان در سال ۲۰۰۳ گزارش کردند

که گازهای به جا مانده از یک ستاره مرکزی در حال مرگ، با سرعت خیره کننده ای جارو می شوند و آن ناحیه از فضا تا دمای یک درجه کلونین سرد شده است. در سال ۲۰۰۰ دانشمندان هلسینکی فنلاند اعلام کردند که به دمای  $10^{-10}$  پیکو کلونین (پیکو  $10^{-12}$ ) رسیده اند.)

توجه داشته باشید که دمای مطلق با کلونین (K) نشان داده می شود نه بر حسب درجه کلونین و از علامت درجه ( $^{\circ}$ ) برای آن استفاده نمی شود. این یکا به عنوان یکی از هفت یکای اصلی در سیستم SI پذیرفته شده است.



شکل ۱۰-۱ هفت یکای اصلی سیستم SI

m=متر	S=ثانیه
mol=مول	K=کلونین
A=آمپر	kg=کیلوگرم
	cd=شمع

## ۱-۳- تفاوت گرما با دما

## روش آموزش

جدول یکاها را در سه سیستم روی تخته رسم کنید و از هنرجویان بخواهید که آن را تکمیل نمایند.

سیستم یکا کمیت	سیستم بین المللی SI	متریک (MKS)	سیستم انگلیسی FPS or IP
گرما	J	Kcal	BTU
دما	K	°C	°F

سپس در این قسمت تعریف هایی که راجع به گرما آمده در یک ستون و تعریف های مربوط به دما را در ستون دیگر بیاورید :

تعریف های گرما	تعریف های دما
یکی از صورت های انرژی است.	معیاری است برای سنجش سردی و گرمی اجسام
انرژی مکانیکی می تواند به گرما تبدیل شود.	متناسب با انرژی جنبشی متوسط مولکول های سازنده آن جسم است.
گرما انرژی داخلی گذرا است.	کمیتی نسبی است که به میزان انرژی جنبشی ذرات بستگی دارد.
این انرژی از بخشی از یک سیستم به بخش دیگر و یا از یک سیستم به سیستم دیگر جریان پیدا می کند.	دما یک خاصیت فیزیکی ماده است.
انرژی داخلی منتقل شده از یک سیستم با دمای بالاتر به یک سیستم با دمای پایین تر صرفا به علت اختلاف دما	رسیدن به دمای صفر مطلق محال است.
	در دمای صفر مطلق فشار گاز صفر می شود.
	شدت انرژی جنبشی یک ماده را بیان می کند.

## کار در کلاس ۱-۲

در این زمان می توانید کبریت و بلوک فولادی کتاب را مثال بزنید و برای اینکه هنرجو متوجه افزایش دما شود می توان دمای تعادل را محاسبه کرد :

$$t_{\text{iron}} = 200^{\circ}\text{C}, t_{\text{air}} = 20^{\circ}\text{C}, m_{\text{iron}} = 300 \cdot \text{kg}, c_{\text{iron}} = 0.45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$c_{\text{air}} = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$Q_{\text{iron}} = Q_{\text{air}} \rightarrow m_1 \times c_1 \times (200 - t) = m_2 \times c_2 \times (t - 20)$$

حال چنانچه حجم این اتاق  $3 \times 4 \times 6 = 72 \text{ m}^3$  فرض شود و با جرم مخصوص هوا  $1/2$  دمای اتاق برابر است با :

$$m = 72 \times 1/2 = 36 \text{ kg} \approx 100 \text{ kg}$$

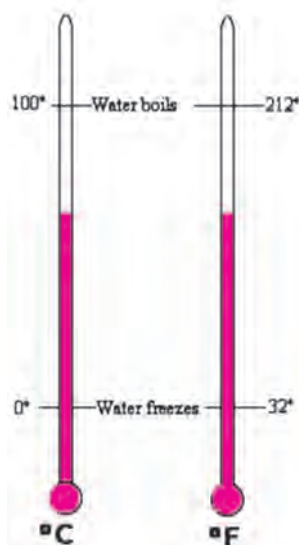
$$300 \times 0.45 \times (200 - t) = 100 \times 1 \times (t - 20)$$

$$1350 \times (200 - t) = 100 \times (t - 20) \rightarrow t = 187^{\circ}\text{C}$$

## الف) تبدیل یکاهای دما:

برای تبدیل دو یکای سلسیوس و فارنهایت به یکدیگر کافی است دو نقطه جوش آب و ذوب یخ را در دو سیستم با هم مقایسه کنیم با توجه به شکل رابطه زیر برقرار است:

$$\frac{F-32}{212-32} = \frac{C}{100-0} \rightarrow \frac{F-32}{180} = \frac{C}{100} \rightarrow F = \frac{180}{100}C + 32 \rightarrow F = \frac{9}{5}C + 32 \rightarrow F = 1.8C + 32$$



شکل ۱-۱۱ مقایسه دو دماسنج

در شکل ۱-۱۲ نمودار تبدیل دمای سلسیوس به فارنهایت و بالعکس آورده شده است در جدول کتاب (پیوست ۳) نیز تبدیل به این شکل انجام می شود که عدد مورد نظر برای تبدیل در ستون وسط می آید و عدد تبدیل شده در دو طرف آن خوانده می شود به هنجاریان یادآوری کنید که برای استفاده از این جدول نمی توان یک ستون را جا انداخت و فقط ستون هایی که در کنار همدیگر هستند قابل تبدیل اند.

C	F	C	F	C	F	C	F
-40	-40	-40	15.6	60	140		
-23.3	-10	14	18.3	65	149		
20.6	-5	23	21.1	70	158		
-17.8	0	32	23.9	75	167		
-15	5	41	26.7	80	176		
-12.2	10	50	29.4	85	185		
-9.4	15	58	32.2	90	194		
-6.7	20	68	35	95	203		
-3.9	25	77	37	98.6	209.5		
-1.1	30	86	37.2	99	210.2		
1.7	36	95	37.8	100	212		
4.4	40	104	38.3	101	213.6		
7.2	45	113	38.9	102	215.6		
10	50	122	39.4	103	217.4		
12.8	55	131	40	104	219.2		

www.temperatureWorld.com

شکل ۱-۱۳ جدول تبدیل دما



تبدیل دمای سلسیوس به فارنهایت

شکل ۱-۱۲ نمودار تبدیل دما

برای مثال برای تبدیل صفر درجه سلسیوس به فارنهایت، صفر را از ستون وسط انتخاب و در ستون راست آن ۳۲ درجه فارنهایت به دست می‌آید و برای صفر درجه فارنهایت به سلسیوس باز به همان قسمت رفته و از ستون سمت چپ ۱۷/۸- به دست می‌آید. ولی نمی‌توان ۱۷/۸°C را با ۳۲°F برابر قرار داد. بدیهی است برای تبدیل درجه سلسیوس به کلونین باید آن را با ۲۷۳/۱۵ جمع کرد.

$$T_K = T_C + 273/15$$

ویلیام جان رانکین (۱۸۷۲-۱۸۲۰) بر اساس صفر مطلق و مقیاس فارنهایت در سال ۱۸۵۹ مقیاس برابر درجه ۱/۸ دیگری را پیشنهاد داد که به نام خود او به کار می‌رود. می‌دانیم که هر درجه فارنهایت ۴۵۹/۶۷-۳۲=۴۹۱/۶۷ ، ۴۹۱/۶۷-۳۲=۴۵۹/۶۷ ، ۲۷۳/۱۵×۱/۸=۴۹۱/۶۷ ، کلونین است پس صفر مطلق رانکین برابر ۴۵۹/۶۷- می‌باشد پس برای تبدیل درجه فارنهایت به رانکین از معادله :

$$T_R = T_F + 459/67$$

و برای تبدیل کلونین به رانکین :

$$T_R = T_K \times \frac{9}{5}$$

### فعالیت خارج از کلاس

در مورد انواع دماسنج‌های زیر تحقیق و به کلاس ارائه شود.

- ۱- جیوه‌ای ۲- الکلی ۳- دماسنج شیشه‌ای قابل رؤیت از دور ۴- دماسنج دوفلزی ۵- تابشی ترمیستوری ۶- فروسرخ ۷- ترموکوپلی



شکل ۱۵-۱ دماسنج‌های دوفلزی



شکل ۱۴-۱ دماسنج‌های شیشه‌ای



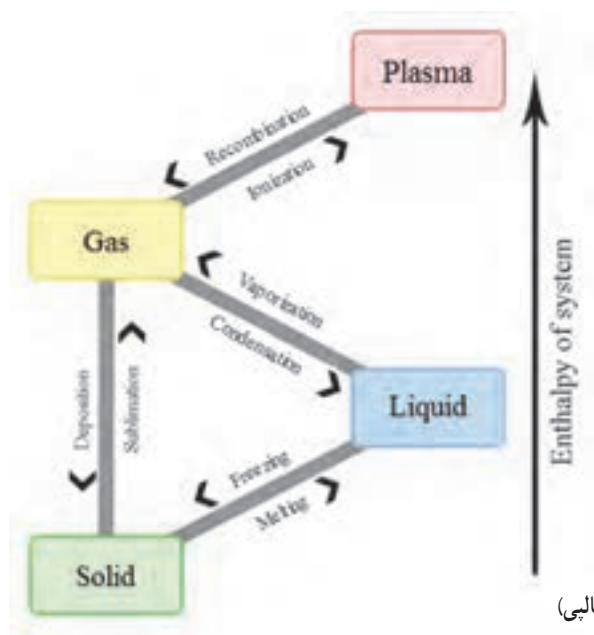
## ۴-۱- فازهای ماده

## روش آموزش

به موضوع فاز یا حالت به اندازه کافی در درس‌های فیزیک و شیمی پرداخته شده است فقط در این قسمت می‌توان علاوه بر مطالب کتاب به خلاصه‌ای از فازهای دیگر ماده که در دانش افزایی آمده پرداخت.

## دانش افزایی

دانشمندان باستان، عالم را متشکل از چهار عنصر آتش، خاک، آب و هوا می‌دانستند. اما ما می‌دانیم که عنصرها بیشتر هستند ولی تعبیر دیگری نیز ارائه شده و آن این است که آتش را بیانگر انرژی دانسته و سه عنصر دیگر نشان‌دهنده سه حالت از ماده جامد، مایع و گاز می‌باشند. بر طبق این دسته‌بندی، مواد جامد دارای شکل و ابعاد مشخصی بوده و همچنین جرم، حجم و وزن مشخصی دارند. مایعات و گازها شماره هستند، یعنی جریان می‌یابند. این اجسام شکل معینی ندارند و شکل ظرفی را که در آن قرار دارند به خود می‌گیرند. علاوه بر این حالت‌ها، حالت‌هایی دیگر از ماده وجود دارد که به طور معمول در دمای معمولی جو زمین قابل تشخیص نیستند. پلاسما حالت چهارمی از ماده است که دانش‌امروزی توانسته آنها را جزو سه حالت دیگر پندارد و مجبور شده آن را حالت مستقلی به حساب آورد. این ماده با ماهیت محیط یونیزه، ترکیبی از یون‌های مثبت و الکترون با غلظت معین می‌باشد که مقدار الکترون‌ها و یون‌های مثبت در یک محیط پلاسما تقریباً برابر است و حالت پلاسمای مواد، تقریباً حالتی شبیه خنثی دارد. پدیده‌های طبیعی زیادی از جمله آتش، خورشید، ستارگان و غیره در رده حالت پلاسمایی ماده قرار می‌گیرند. پلاسما شبیه گاز است، ولی مرکب از ذرات باردار متحرکی به نام یون است. یون‌ها به شدت تحت تأثیر نیروهای الکتریکی و مغناطیسی قرار می‌گیرند. مواد طبیعی در حالت پلاسما عبارتند از انواع شعله، بخش خارجی جو زمین، اتمسفر ستارگان، بسیاری از مواد موجود در فضای سحابی و بخشی از دم ستاره دنباله‌دار و شفق‌های قطبی شمالی. نمایش خیره‌کننده از حالت پلاسمایی ماده است که در میدان مغناطیسی جریان می‌یابد. بدانید که دانش‌امروزی حالات دیگری از جمله برهم‌کنش قوی و ضعیف هسته‌ای را نیز در دسته‌بندی‌ها به عنوان حالات پنجم و ششم ماده به حساب می‌آورد که از این حالات در توجیه خواص نکلون‌های هسته، نیروهای هسته‌ای، واکنش‌های هسته‌ای و در کل فیزیک ذرات بنیادی استفاده می‌شود.



شکل ۱۶-۱ تغییر فاز مواد (با توجه به آنتالپی)

## ۵-۱- نمودار دما-گرما

## پیش آزمون

- ۱- آب در صفر درجه سلسیوس در فاز .... است.
- ۲- دمای بخار آب چند درجه سلسیوس است؟ کمتر از صد ( ) بیشتر از صد ( )

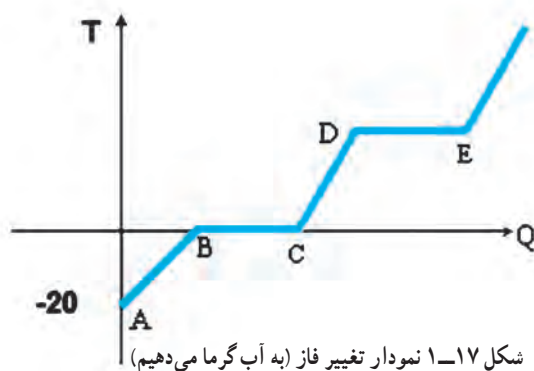
## روش آموزش

هنرآموزان گرمی در این بخش بهتر است نمودار، فاز به فاز کشیده شود. در ابتدا دو نکته که در مورد بیشتر مواد به خصوص آب درست است به هنرجویان گفته شود.

اول اینکه اگر ما به آرامی به جسم گرما دهیم یا تغییر فاز داریم یا تغییر دما و هر دو فرایند با هم اتفاق نمی افتد. دوم اینکه این شرایط برای حالتی است که به جسم در فشار ثابت (جو) گرما می دهیم.

شما می توانید به جای محور گرما، محور زمان را به کار ببرید و همین نتیجه را می گیرید. چنانچه هنرجویان شما کشش داشتند شما می توانید روش به دست آوردن مقدار گرما برای تغییر فاز را نیز آموزش دهید. توجه داشته باشید دمای منفی را زیر تقاطع دو محور نیز می توان رسم نمود.

بهتر است پس از ترسیم نمودار نقطه ذوب یا انجماد، نقطه جوش، گرمای نهان و گرمای محسوس را توضیح دهید.



## پرسش و پاسخ

- ۱- مفهوم نمودار فازی را بیان کنید؟
- ۲- پیش فرض رسم نمودار فازی چند نکته است؟ آنها را بیان کنید.
- ۳- چنانچه به جای محور گرما عامل زمان را در نمودار دما گرما داشته باشیم به لحاظ ظاهری نمودار چه تغییری می کند؟

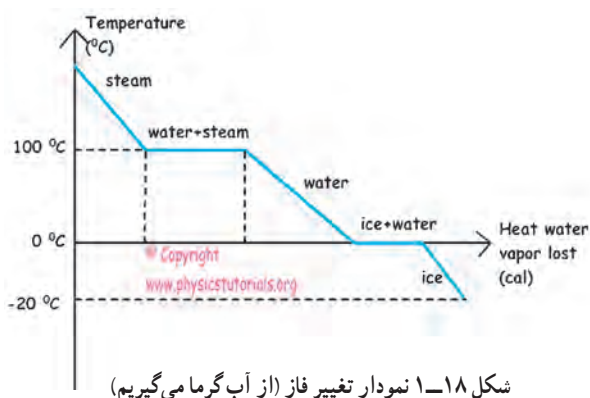
## دانش افزایی

## الف) نمودار فازی

نمودارهای فازی یک روش متداول برای ثبت اطلاعات مربوط به فازهای مواد و استفاده از آنهاست. نمودار فازی آب (Phase diagram of water) نموداری است که در آن ارتباط بین فازهای مختلف آب بررسی می شود. آب در دماهای مختلف



حالت گاز، مایع و جامد در طبیعت وجود دارد. نوع تبدیل آنها به یکدیگر، به خواص ترمودینامیکی بستگی دارد. در نمودار فازی به بررسی این خواص نیز پرداخته می‌شود. همان‌طور که مشخص است، بیشتر مواد در بیشتر از یک فاز موجود می‌باشند (فاز قسمتی از ماده است که دارای خواص فیزیکی و شیمیایی یکسان می‌باشد). نمودارهای فازی بر حسب نیاز می‌تواند از دیدگاه‌های متفاوت فشار، دما، حجم مخصوص، آنتروپی و... رسم شود.



### ب) نقطه ذوب یا انجماد

به دمایی که در آن، دما به طور کامل از حالت جامد به مایع (یا بالعکس) تبدیل می‌شود دمای ذوب یا دمای انجماد می‌گویند. دمای ذوب یا انجماد در نمودارهای فازی به عنوان نقطه ذوب یا نقطه انجماد مطرح می‌شود. تعریف یک دما به عنوان دمای ذوب یا دمای انجماد به دیدگاه ما بستگی دارد. هنگام گرم کردن، این نقطه، نقطه ذوب و هنگام سرد کردن نقطه انجماد است. توجه کنید تمامی نقاطی که روی خط میان فاز مایع و جامد قرار دارند همگی بیانگر نقطه ذوب و انجماد هستند. نقطه ذوب و انجماد همیشه برای مواد خالص در نظر گرفته می‌شود. ناخالصی و فشار روی نقطه ذوب یا انجماد تأثیر می‌گذارد. در حین ذوب شدن یا منجمد شدن دمای جسم ثابت می‌ماند. فشار بر نقطه ذوب یا انجماد مواد تأثیرگذار است. با بالا رفتن فشار نقطه ذوب یا انجماد نیز بالا می‌رود. (البته در مورد بعضی مواد مثل آب (یخ) استثنا وجود دارد و آن اینکه با بالا رفتن فشار نقطه ذوب آن پایین می‌آید). با کاهش فشار، نقطه ذوب یخ افزایش می‌یابد، به همین دلیل، یخ‌ها در کوه دیرتر آب می‌شوند، زیرا فشار هوا در آن محل کمتر است.

### پ) نقطه جوش

نقطه جوش یک ماده، دمایی است که در آن فشار بخار مایع با فشار بخار اطراف مایع یکسان می‌شود و مایع آماده تبدیل به بخار می‌شود. در این دما جنبش مولکول‌های مایع به بیشینه مقدار ممکن می‌رسد. با افزایش فشار، دمای نقطه جوش مایع افزایش و با کاهش فشار دمای نقطه جوش کاهش می‌یابد به طوری که در خلأ دمای نقطه جوش کمترین مقدار خود را دارد. برای مثال چنانچه بتوانیم فشار را به  $26 \text{ kPa}$  برسانیم دمای جوش آب به  $1^\circ \text{C}$  می‌رسد.

### ت) گرمای نهان

گرمای نهان، گرمایی است که ماده در هنگام تبدیل از حالتی به حالت دیگر از دست داده و یا جذب می‌کند. نام دیگر گرمای نهان «گذار فازی» است. گرمای جذب شده توسط یک جامد در هنگام مایع شدن در نقطه ذوب را گرمای نهان ذوب و گرمای جذب شده توسط یک مایع برای تبدیل شدن به بخار در فشار یک اتمسفر و در نقطه جوش را گرمای نهان تبخیر می‌گویند. این تغییر زمانی که تغییر فاز جامد به مایع داریم گرماگیر و در جهت عکس گرماده است. انرژی ای که قبلاً برای تبخیر شدن گرفته شده بود به صورت گرمای محسوس آزاد می‌شود. این گرما به منظور غلبه بر نیروی جاذبه نگهدارنده اتم‌ها در مکان‌های بلورین منظم مورد نیاز است.

معادله گرمای نهان ذوب به این صورت است :  $Q=mL$

•  $Q$  مقدار انرژی دریافتی یا آزاد شده هنگام تغییر فاز (ژول)

•  $m$  جرم ماده مورد نظر

•  $L$  گرمای نهان ویژه یک ماده مشخص ( $J/kg$ )

**ث) گرمای محسوس**

اگر نتیجه افزایش یا کاهش گرمای یک ماده فقط تغییرات دمای ماده باشد و در ماده هیچ گونه تغییر حالتی روی ندهد، به آن گرمای محسوس گویند. کلمه محسوس در مورد گرمایی به کار گرفته می شود که بتوان اثر آن را با یک دماسنج ملاحظه نمود.

### پرسش و پاسخ

۱- دمای نقطه ذوب و دمای نقطه انجماد را روی نمودار فازی آب مشخص کنید.

۲- علت اینکه برف ها روی کوه دیرتر آب می شوند کدام است؟

۳- چرا به محض در آوردن ظرف نوشابه از داخل فریزر یخچال و باز کردن آن نوشابه یخ می زند؟

چون بعد از مدتی دمای آن به زیر صفر درجه سلسیوس می رسد اما چون فشار داخل ظرف زیاد است منجمد نمی شود زیرا با افزایش فشار وارد بر آب دمای انجماد آن کاهش می یابد. یعنی در این شرایط آب داخل ظرف در صفر درجه سلسیوس منجمد نمی شود بلکه در دمای زیر صفر برای مثال  $7^{\circ}C$  منجمد می شود. بنابراین اگر دمای فریزر  $5^{\circ}C$  باشد نمی تواند نوشابه را منجمد کند. حال اگر این نوشابه را باز کنیم فشار سریعاً کم می شود پس دمای انجماد دوباره به عدد صفر برمی گردد در حالی که دمای نوشابه  $7^{\circ}C$  می باشد در نتیجه نوشابه به یکباره منجمد می شود.

## ۶-۱- بخار اشباع و مایع اشباع

### روش آموزش

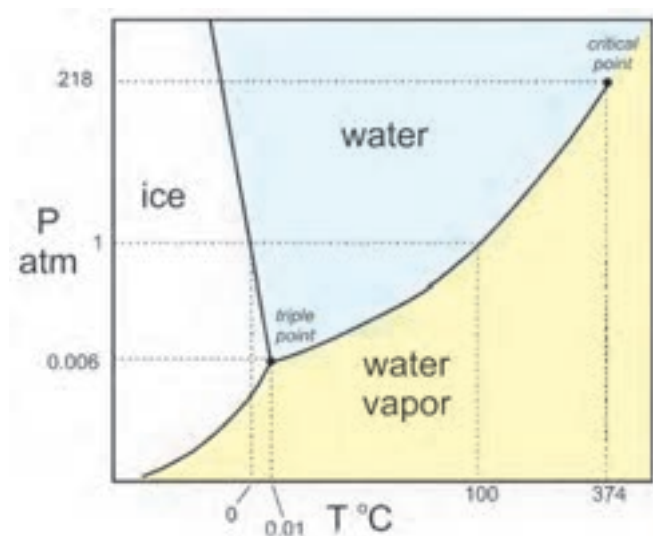
هنر آموزان گرمای بهتر است ابتدا نمودار فشار-دمای آب را رسم نموده و مشخصات فشار و دمای دو سر خط اشباع که مرز بین مایع بخار می باشد نوشته و توضیح دهند که هر نقطه اشباع وابسته به دو پارامتر دما و فشار است.  
برای مثال : ( $100^{\circ}C$ ,  $1\text{ atm}$ ) یا ( $374^{\circ}C$ ,  $218\text{ atm}$ ) یا ( $10^{\circ}C$ ,  $0.006\text{ atm}$ )

### پرسش و پاسخ

۱- آب با دمای  $100^{\circ}C$  در کدام حالت است؟ سوپرهیت □ سابکولد □ بستگی به فشار دارد □

۲- آب در کدام شرایط سوپرهیت است؟ □ ( $100^{\circ}C$ ,  $2\text{ atm}$ ) □ ( $110^{\circ}C$ ,  $0.005\text{ atm}$ )

به عبارت ساده «دمای اشباع به معنی نقطه جوش» می باشد. (با توجه به نمودار، حد فاصل  $t_p$  تا  $t_p$  نقطه جوش است.) دمای اشباع، دمایی متناظر با فشار اشباع است که در آن یک مایع در حال جوش به بخار تبدیل می شود. همچنین می توان گفت: این مایع از انرژی گرمایی اشباع شده است و گرمای اضافه صرف تبدیل به تغییر فاز می شود. همانطور که گفته شد نمودارهای فازی با توجه به کاربرد با پارامترهای متفاوت رسم می شوند در این قسمت نمودار فشار-دما آمده است.



شکل ۲۱-۱ نمودار فازی فشار-دما برای آب

همان طور که از نمودار فشار-دمای آب مشخص است چنانچه ما روی خط اشباع باشیم به هر دلیل (کاهش فشار یا افزایش دما) وارد منطقه زرد رنگ شویم وارد منطقه سوپرهیت شده ایم و چنانچه به هر دلیل (افزایش فشار یا کاهش دما) وارد منطقه آبی رنگ شویم وارد منطقه سابکولد شده ایم.

در نمودار فازی فشار-دما نقطه ای به نام نقطه بحرانی<sup>۱</sup> تعریف می شود که در بالای آن، ماده به هیچ وجه نمی تواند به مایع تبدیل شود. این موضوع به این معناست که منحنی فشار بخار باید در این نقطه تمام شود. بالاترین دمایی که در آن گاز و مایع می توانند با یکدیگر در تعادل باشند، به عنوان نقطه بحرانی شناخته می شود. فشاری که برای مایع کردن گاز در دمای بحرانی مورد نیاز است را فشار بحرانی می گوئیم. اطلاعات مربوط به فشار و دمای بحرانی را در روی نمودار به عنوان نقطه بحرانی تعریف می کنیم. در دماهای بالاتر از نقطه بحرانی، ماده را به عنوان سیال فوق بحرانی<sup>۲</sup> نام گذاری می کنند. رفتار ماده در این حالت بسیار جالب است. یک سیال فوق بحرانی کشش سطحی نداشته و لزجت بسیار کمی دارد، در حالی که چگالی آن هنوز همان چگالی مایع بوده و حلال بسیار خوبی می باشد. از این خاصیت در بعضی از رآکتورها استفاده می شود.

۱- Critical Point

۲- Super Critical fluid

## ۱-۷- نمودار دما-حجم

## روش آموزش

هنرآموزان گرامی بهتر است ابتدا تفاوت حجم مخصوص و حجم را توضیح دهند سپس مختصات دما-حجم مخصوص را رسم نموده و بر اساس جدول ۱-۲ در هر دما حجم مخصوص مایع اشباع  $V_f$  و حجم مخصوص بخار اشباع  $V_g$  را مشخص نموده سپس با اتصال نقاط به یکدیگر نمودار دما-حجم مخصوص آب را رسم نمایند. پس از آن خط‌های فشار ثابت را بکشید. (برای کشیدن خط‌های فشار ثابت می‌توان به مشابهت تقریبی آن با خط فشار ثابت نمودار دما-گرما اشاره کرد.) و مناطق مایع سابکولد، بخار سوپر هیت و منطقه بین مایع اشباع و بخار اشباع را مشخص نمایید. پس از رسم هنرجویان متوجه تغییرات زیاد دمای اشباع بخار و تغییرات کم دما اشباع مایع خواهند شد. همچنین چون در دماهای پایین  $V_g$  بسیار بالا است رسم منحنی با مقیاس فضای زیادی نیاز دارد که از مقیاس صرف نظر می‌کنند.

جدول ۱-۲ حجم مخصوص در فشارهای متفاوت

PMPa	T°C	$v_f \frac{dm^3}{Kg}$	$v_g \frac{dm^3}{Kg}$
۰/۰۰۰۶۱۱۳	۰/۰۱	۱/۰۰۰	۲۰۶۱۴۰
۰/۱	۹۹/۶۳	۱/۰۴۳	۱۶۹۴
۱	۱۷۹/۹۱	۱/۱۲۷	۱۹۴
۱۰	۳۱۱/۰۶	۱/۴۵۲	۱۸
۲۲/۰۹	۳۷۴/۱۴	۳/۱۵۵	۳/۱۵۵

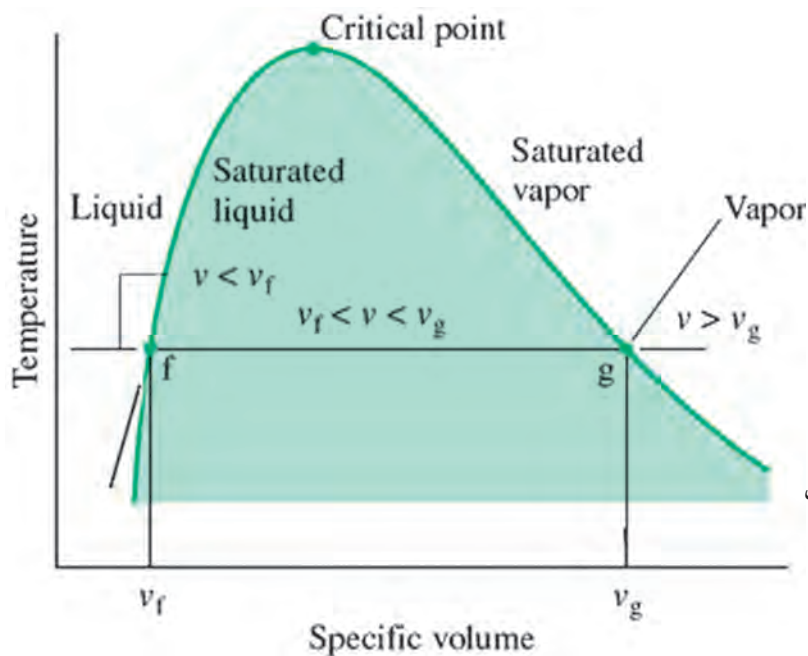
## پرسش و پاسخ

۱- حجم مخصوص آب در ۱۰۰ درجه سلسیوس  $\frac{dm^3}{Kg}$  ۸۰۰ است. آب در کدام فاز قرار دارد؟  
 سوپر هیت □ سابکولد □ بین مایع و بخار □

## دانش افزایی

## الف) نمودار دما-فشار

می‌دانیم معادله مشخصه  $(PV=nRT)$  رابطه‌ای بین متغیرهای  $P, T, V$  است. در مبحث قبل نمودار فازی فشار-دما آمد. یکی دیگر از نمودارهای فازی آب، نمودار دما-حجم می‌باشد. برای آنکه مقدار آب بر روی نمودار تأثیر نگذارد به جای حجم کل از محور حجم مخصوص ( $v$ ) استفاده می‌شود. همان‌طور که می‌دانیم حجم مخصوص، حجم واحد جرم می‌باشد ( $v=v/m$ ) و عکس چگالی است ( $\rho=\frac{1}{v}$ ).



شکل ۱-۲۱ نمودار فازي دما-حجم مخصوص

چنانچه در دمای اشباع (خط fg) ماده بین مایع اشباع  $v_f$  و بخار اشباع  $v_g$  باشد آن ماده دارای کیفیت است. کیفیت (x) بدین صورت تعریف می‌شود: نسبت جرم بخار به جرم کل  
برای مثال: چنانچه جرم بخار ۲۵٪ کیلوگرم و جرم کل ۱ کیلوگرم باشد، کیفیت ۲۵٪ یا ۲۵ درصد است.

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{80 - 1}{1673 - 1} = 0.48$$

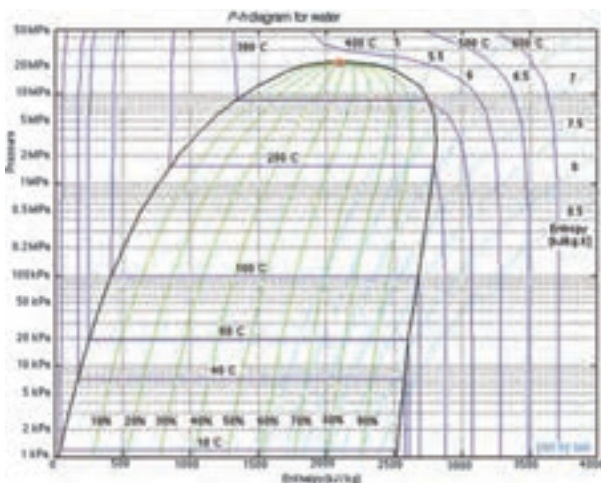
راه حل پرسش ۱: کیفیت ۴۸٪ بدین معنی است که ما ۴۸ درصد بخار داریم.

### ب) نمودار فشار-آنتالپی

آنتالپی (اندرتافت) مقدار گرمای کل یک سیستم در فشار ثابت است. واحد اندازه‌گیری آنتالپی در سامانه استاندارد بین‌المللی یکاها ژول (J) نام دارد. توجه کنید تغییر آنتالپی در طول فرایند هم‌فشار برابر مقدار گرمایی است که منتقل می‌شود. آنچه که ما به عنوان گرمای نهان (ذوب یا جوش) می‌شناسیم، همان تغییر آنتالپی است.

در نمودار دما-گرما برای آب در فشار جو در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس اختلاف گرمای  $h_{fg} = 3053 - 797 = 2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  همان اختلاف آنتالپی بخار اشباع و مایع اشباع است.

چون در سیستم‌های تبرید کاربرد فرایندهای هم‌فشار بیشتر از کاربرد فرایندهای هم‌حجم می‌باشد لذا در این قسمت یکی از مهم‌ترین نمودارهای هم‌فشار که نمودارهای فشار-آنتالپی است، شناسانده خواهد شد. در شکل ۱-۲۲ نمودار فشار-آنتالپی برای آب آمده است:



شکل ۱-۲۲ نمودار فازي فشار-آنتالپی

در این نمودار خط‌های افقی نشان‌دهنده فشار و خط‌های عمودی نشان‌دهنده آنتالپی می‌باشند. خط‌های آبی نشانه دما و خط‌های نشانه کیفیت (بر حسب درصد) است. همچنین خط‌های نیلی رنگ نشانه آنتروپی است. در بعضی از نمودارها حجم مخصوص نیز آمده است. در این نمودار نیز همانند نمودار دما-حجم مخصوص سه قسمت مایع سابکولد، بخار سوپر هیت و حالت بین مایع و بخار آمده است.

### پ) آنتروپی (S)

آنتروپی کمیتی ترمودینامیکی است که اندازه‌ای برای درجه بی‌نظمی در هر سیستم است. هرچه درجه بی‌نظمی بالاتر باشد، آنتروپی بیشتر است. بنابراین برای یک ماده معین در حالت تعادل درونی کامل در هر حالت، داریم: آنتروپی جامد > آنتروپی مایع > آنتروپی گاز واحد آنتروپی در سیستم SI، ژول بر کلون است. (J/K)

مثال: تغییر آنتروپی آب در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس از مایع اشباع تا بخار اشباع چند کیلوژول بر کلون است؟

$$dS = \frac{dQ}{T} = \frac{2256}{100 + 273/15} = 6/04 \frac{kJ}{K}$$

## ۸-۱- فشار

### پیش‌آزمون

- ۱- آیا تا به حال با کفش ورزشی میخ‌دار روی برف راه رفته‌اید؟
- ۲- آیا تا به حال از خود پرسیده‌اید که چرا چاقو دست را می‌برد؟

### روش آموزش

هنرآموزان گرامی به این نکته توجه داشته باشند که هنجاریان مفهوم فشار و بعضی از واحدهای اندازه‌گیری آن را در درس‌های دیگر به‌ویژه فیزیک (۲) خوانده‌اند و یادآوری آن در این بخش مفید است. اما ما می‌توانیم به روش زیر موضوع فشار را مطرح کنیم:

- ۱- تعریف فشار و مثال در مورد فشار بلوک مکعبی و نوک تیز با جرم برابر و فشار متفاوت
- ۲- ما در اینجا روی فشار شارها بحث می‌کنیم.
- ۳- تاریخچه کوتاه فشارسنجی و آزمایش توریچلی و ترسیم شکل بارومتر توریچلی در کنار دریا و قله اورست
- ۴- عوامل مؤثر بر فشار در مایع و گاز
- ۵- انواع فشار
- ۶- خلأ
- ۷- روش اندازه‌گیری انواع فشار (فشارسنجی)
- ۸- یکاهای فشار
- ۹- دقت اندازه‌گیری گیج فشار نسبی

### کار در کلاس

- ۱- در تهران فشار یک محفظه با یک گیج نسبی ۰/۶bar - اندازه‌گیری شده است. فشار مطلق تهران در آن لحظه (از سایت‌های هواشناسی) ۰/۸۷bar گزارش شده است. فشار مطلق محفظه چند bar می‌باشد؟

$$P_a = P_g + P_b = -0/6 + 0/87 = 0/27 \text{ bar}$$

- ۲- بعضی از کاربران خلأ در درخواست خود عنوان می‌کنند که به فشار ۱- بار نیاز دارند:

$$P_a = P_g + P_b = -1 + 0.87 = -0.13 \text{ bar}$$

چون فشار مطلق نمی‌تواند منفی باشد. پس رسیدن به فشار ۱- بار در تهران ممکن نیست ولی در بندرعباس با فشار گزارش شده ۱۰۱۰ میلی بار، دستیابی به فشار ۱- بار ممکن است :

$$P_a = P_g + P_b = -1 + 1.0 = 0.0 \text{ bar}$$

## دانش افزایی

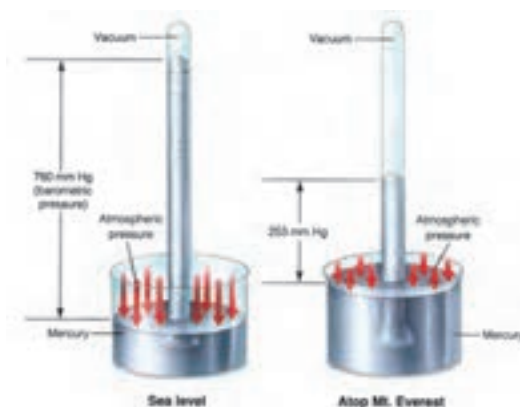
### الف) تعریف فشار

فشار نیروی عمود بر واحد سطح است. در جامدات بیشتر از اصطلاح تنش به جای فشار استفاده می‌شود.

### ب) تاریخچه فشارسنجی

اوان جلیستا تورچلی<sup>۱</sup> (۱۶۴۷-۱۶۰۸) از اولین کسانی است که به صورت علمی بر روی فشارسنجی تحقیقات گسترده‌ای انجام داد. او به توصیه گالیله بر روی پمپ‌های هیدرولیکی تحقیقاتی انجام داد و مشاهده نمود که بیشترین ارتفاع مکش پمپ آب ۱۰ متر است و چنانچه ارتفاع مکش بیشتر شود آب توسط پمپ بالا نمی‌آید. او نتیجه گرفت که هوا وزن دارد و وزن هوا باعث فشار روی مکش پمپ شده و آب را بالا می‌آورد. او برای تکمیل نظریه خود یک لوله شیشه‌ای به طول یک متر را پر از جیوه کرد، (علت انتخاب جیوه این بود که چگالی جیوه حدود ۱۳/۶ برابر آب است و اگر می‌خواست از آب استفاده کند لوله‌ای به طول ۱۴ متر نیاز داشت که ساخت آن مشکل ساز بود). تورچلی در کنار دریا لوله را پر از جیوه نمود و انگشت خود را روی سر آن گذاشته و لوله را داخل تشتک جیوه برگرداند. او مشاهده کرد که جیوه تا ارتفاع ۷۶ سانتی متر پایین آمد و متوقف شد و بالای لوله خالی ماند. نظریه او در مورد وزن هوا اثبات شد و گفت فشار هوا نگذاشت که جیوه پایین تر بیاید. (شکل ۲۳-۱)

پاسکال<sup>۲</sup> (۱۶۴۲-۱۶۲۳) نیز مطالعاتی در زمینه هواسنج و فشار هوا دارد که بسیار مهم است. فراموش نباید کرد که پاسکال کسی بود که برای اولین بار به اختلاف فشار هوا در ارتفاعات و نقاط هم سطح دریا پی برد. او با این جمله، پیش‌بینی خود را اعلام کرد : حقیقت ساده‌ای وجود دارد و آن این است که فشار هوا در ارتفاعات، کمتر از فشار هوا در دشت، یا نقاط هم سطح دریا است.



شکل ۲۳-۱ بارومتر تورچلی که فشار را در سطح دریا و در قله اورست نشان می‌دهد.



## پ) عوامل مؤثر بر فشار

عوامل مؤثر بر فشار در شاردها، چگالی و ارتفاع مایع می باشد که در یک ظرف حاوی مایع با چگالی  $\rho$  و ارتفاع  $h$  از رابطه زیر به دست می آید :

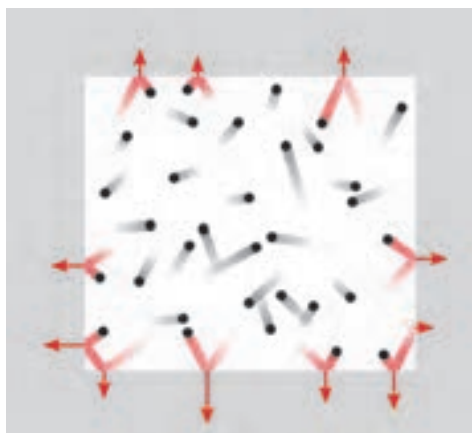
$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot h \cdot g}{A} = \rho \cdot g \cdot h$$

در گازها مولکول های گاز از طریق انرژی جنبشی مولکول ها، به سطح ظرف ضربه یا نیرو وارد می کنند. هرچه دما بالاتر باشد مولکول ها با سرعت بیشتری حرکت می کنند و به دیواره ظرف نیروی بیشتری وارد می نمایند. از آنجا که فشار گاز از جنبش مولکولی ناشی می شود و همچنین جنبش مولکولی به صورت مستقیم با دما رابطه دارد، بر اساس تئوری جنبشی گازها، فشار گاز برابر است با :

$$PV = nRT = \frac{1}{3} N m u^2 \rightarrow P = \frac{1}{3} \times \frac{N}{V} m u^2$$

در این معادله  $m$  جرم مولکول بر حسب گرم،  $u$  سرعت متوسط مولکول ها بر حسب  $\frac{cm}{sec}$  و  $\frac{N}{V}$  دانسیته مولکولی ( $N$  عدد آووگادرو،  $V$  حجم گاز) بر حسب تعداد بر سانتی متر مکعب است.

همانگونه که در معادله مشاهده می شود رابطه فشار با دما، حجم و سرعت مولکول ها داده شده است و برای مثال چنانچه سرعت مولکول ها دو برابر شود، فشار چهار برابر می شود.



شکل ۲۴-۱ فشار وارده توسط برخورد ذرات درون یک فضای بسته

## ت) انواع فشار

فشار در شاردها بر چهارگونه جو، نسبی، مطلق و تفاضلی می باشد :

۱- فشار جو<sup>۱</sup> : جو یا اتمسفر زمین لایه ای از گازها است که زمین را احاطه کرده اند که این گازها به وسیله جاذبه زمین نگهداشته شده اند. مرز دقیقی بین لایه های جو وجود ندارد و با افزایش ارتفاع جو رقیق می شود و هیچ مرز مشخصی بین جو و فضای خارج از جو وجود ندارد. ۷۵٪ از جو زمین تا ارتفاع ۱۱ کیلومتر از سطح زمین است. فشار جو نتیجه مستقیمی از وزن هواست. این به این معنی است که به همراه مکان و زمان فشار جو تغییر می کند چون وزن هوای بالای زمین به همراه مکان و زمان تغییر می کند. پس فشار جو تابعی از ارتفاع، دما، رطوبت هوا و... است. این فشار را فشار محیط یا فشار محلی یا فشار بارومتر<sup>۲</sup> نیز می نامند و برای نمایش آن از حرف  $b$  استفاده می کنند. در جدول ۲۵-۱ ارتفاع و فشار متناسب با آن همچنین دمای آن نقطه در جو آمده است.

۱- Atmospher Pressure

۲- Barometric Pressure



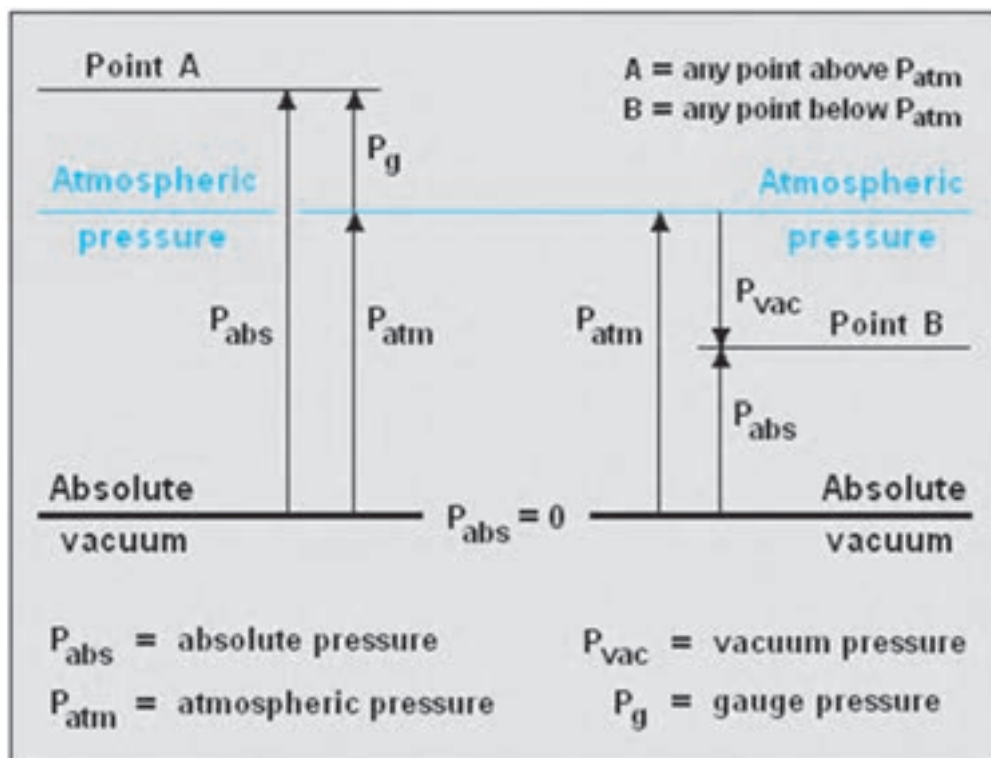
جدول ۲۵-۱ فشار و دمای متناظر با ارتفاع

Altitude (feet)	Pressure (in/Hg)	Pressure (mm/Hg)	Pressure (psi)	Temperature (°C)	Temperature (°F)
Sea Level	29.92	760.0	14.69	15.0	59.0
10,000	20.58	522.6	10.11	-4.8	23.3
18,000	14.95	379.4	7.34	-20.7	-5.3
20,000	13.76	349.1	6.75	-24.6	-12.3
25,000	10.51	281.8	5.45	-34.5	-30.1
30,000	8.90	225.6	4.36	-44.4	-48.0
34,000	7.40	187.4	3.62	-52.4	-62.3
35,332	6.80	175.9	3.41	-55.0	-67.0
40,000	5.56	140.7	2.72	-55.0	-67.0
43,000	4.43	119.0	2.30	-55.0	-67.0
50,000	3.44	87.3	1.69	-55.0	-67.0

۲- فشار نسبی<sup>۱</sup>: فشار نسبی، فشاری است که صفر آن، فشار محلی است. چون این فشار با فشارسنج‌های معمولی قابل اندازه‌گیری است آن را فشار، فشارسنج نیز می‌نامند.

۳- فشار مطلق<sup>۲</sup>: فشار مطلق، فشاری است که صفر آن خلأ کامل است.

رابطه بین سه فشار نامبرده برابر است با:  $P_{ab} = P_g + P_b$



شکل ۲۶-۱ انواع فشار و رابطه آنها با یکدیگر

**ث) خلاء (Vacuum)**

خلاء به فضایی گفته می‌شود که خالی از ماده باشد. در چنین حالتی مولکول‌های هوا که عامل ایجاد فشار می‌باشند نیز وجود ندارند. این تعریف ایده‌آل خلاء می‌باشد. فشار صفر مطلق، در این فضا تعریف می‌شود. در عمل رسیدن به چنین محیطی امکان‌پذیر نیست زیرا همیشه تعدادی مولکول گاز وجود دارند. در اصطلاح به فشارهای پایین‌تر از فشار اتمسفر هوا، حالت خلاء گفته می‌شود. با این وصف فشار مابین فشار اتمسفر (جو) و صفر مطلق را می‌توان حوزه سیستم‌های وکیوم دانست. خلاء بسته به فشار گاز به چند دسته تقسیم‌بندی می‌شود. میزان خلاء روی ماه یک نانو پاسکال است. پایین‌ترین فشار قابل دستیابی تاکنون در محیط آزمایشگاهی و دمای استاندارد، حدود سیزده پیکو پاسکال می‌باشد. البته در سیستم‌های دمای پایین (در حدود ۴ کلوین) فشارهای کمتری نیز به صورت غیرمستقیم اندازه‌گیری شده‌است. از آنجا که فشار گاز از جنبش مولکولی ناشی می‌شود و همچنین جنبش مولکولی به صورت مستقیم با دما رابطه دارد، فشارهای بسیار پایین را می‌توان در دماهای نزدیک به صفر مطلق تجربه نمود.

**ج) فشارسنج‌ها**

برای اندازه‌گیری فشار و خلاء دستگاه‌های اندازه‌گیری متفاوتی ساخته شده‌است که براساس بازه اندازه‌گیری، بازه دمای عملکرد و از همه مهم‌تر نوع فشار اندازه‌گیری طبقه‌بندی می‌شوند. در زیر به چند نمونه آنها اشاره می‌شود:

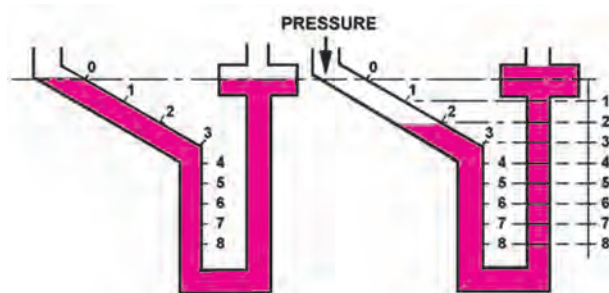


شکل ۲۷-۱ بارومتر ساعتی

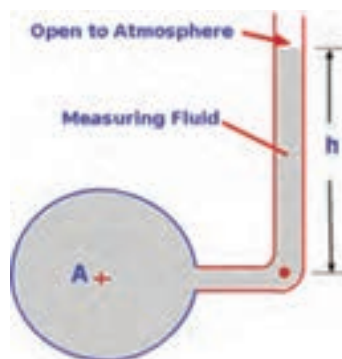
۱- بارومتر<sup>۱</sup>: برای اندازه‌گیری فشار جو از آن استفاده می‌شود. مقدار هوا همواره

در حال تغییر است در نتیجه وزن آن که همان فشار هواست به طور مداوم تغییر می‌کند. تغییر در فشار هوا باعث تغییر در شرایط آب و هوایی می‌شود که این تغییرات را با بارومتر نشان می‌دهند. بارومترها به گونه‌ای زینه‌بندی می‌شوند که فشار در ارتفاعات و دره‌ها را نمایش دهند. ساده‌ترین نوع بارومتر، همان فشارسنج توریچلی است. چون حمل این بارومتر سخت است از بارومترهای دیگری نظیر بارومتر ساعتی استفاده می‌شود.

۲- پیزومتر<sup>۲</sup>: ساده‌ترین وسیله اندازه‌گیری فشار پیزومتر است. پیزومتر یک لوله شفاف می‌باشد که به صورت عمودی به مخزن یا لوله‌ای که می‌خواهیم فشار آن را اندازه‌گیری کنیم متصل می‌شود. از پیزومتر برای اندازه‌گیری فشار مایعات استفاده می‌شود. برخلاف بارومتر، در پیزومتر انتهای لوله باز می‌باشد. پیزومتر ممکن است قائم یا شیب‌دار باشد.



شکل ۲۹-۱ پیزومتر شیب‌دار



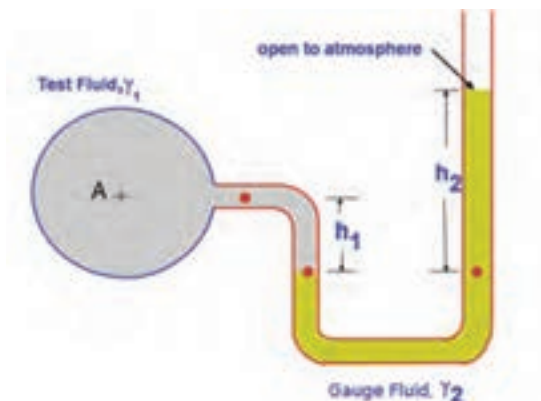
شکل ۲۸-۱ پیزومتر قائم

معادله فشار نسبی که در مخزن A در پیزومتر نشان داده شده را بیابید.

$$P_A - P_{atm} = \rho \cdot g \cdot h$$

۳- مانومتر (U-tube) : لوله یو جایگزینی مناسب برای پیزومتر است. در لوله یو از یک مایع غیرقابل اختلاط با سیال

استفاده می شود.



شکل ۱-۳ لوله یو

معادله فشار نسبی در مخزن گاز A در لوله U نشان داده شده را بیابید.

$$P_A + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 = P_{atm} + \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

چون چگالی گاز در برابر چگالی مایع ناچیز است می توان از آن صرف نظر کرد و چون فشار نسبی مد نظر است پس :

$$P_A - P_{atm} = \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

۴- فشارسنج بوردون (Bourdon gauge) : در سال ۱۸۴۹ میلادی این اختراع به نام ایگنه بوردون در فرانسه ثبت شد و

به دلیل حساسیت عالی، عملکرد خطی و درستی آن به طور گسترده ای از آن در اندازه گیری فشار استفاده می شود. برای اندازه گیری اختلاف فشار نیز می توان از فشارسنجی که دارای دو لوله بوردون مختلف که به طور مناسبی با هم ارتباط دارند استفاده کرد. اگر داخل لوله وکیوم شود از آن برای اندازه گیری فشار اتمسفر می توان استفاده کرد.



شکل ۱-۳۱ فشارسنج تفاضلی بوردون

انواع دیگری نیز از فشارسنج ها مانند فشارسنج الکترونیکی رایج است که در زمان این قسمت نمی گنجد.

## چ) یکاهای فشار

بسته به کشور، جنس شاره، خلأ و کاربرد آن از یکاهای فشار متفاوتی استفاده می‌شود. برای مثال برای فشار خون بیشتر از یکای میلی‌متر جیوه ولی برای فشار گاز داخل لوله از اینچ‌آب استفاده می‌شود. واحد فشار در سیستم SI،  $\frac{N}{m^2}$  که به پاس فعالیت‌های بلز پاسکال، پاسکال Pa نامیده شد. چون این واحد کوچک است از کیلوپاسکال و مگاپاسکال بیشتر استفاده می‌شود. (یک پاسکال در حدود فشاری است که یک اسکناس روی میز می‌آورد.)

اولین یکای فشار میلی‌متر جیوه (mmHg) است که توسط توریچلی اندازه‌گیری شد و به پاس او آن را تور (Torr) نیز می‌نامند.

زمانی که گویند فشار خون  $120 \frac{mmHg}{V}$  است به این معناست که فشار ماکزیمم  $120$  تور و فشار مینیمم  $70$  تور است. فشار خون در نقاط مختلف بدن یکسان نیست و معیار رایج بازو که هم‌تراز با قلب است می‌باشد.

از یکاهای دیگر اینچ جیوه (inHg) است که فشار هوا برابر  $29.92$  اینچ جیوه می‌باشد.

$$P_{inHg} = \frac{760}{25.4} = 29.921$$

با توجه به ارتفاع جیوه در آزمایش توریچلی فشار هوا را بر حسب پاسکال برابر است با:

(جرم ویژه در دمای صفر درجه سلسیوس  $1359/51$  کیلوگرم بر مترمکعب)

$$P = \rho \cdot g \cdot h = 13595 / 1 \frac{kg}{m^3} \times 9.80665 \frac{m}{s^2} \times 0.760 = 101325 \text{ pa}$$

و چنانچه به جای جیوه از آب استفاده کنیم فشار جو بر حسب متر ستون آب (water column) برابر است با:

$$\rho_1 \cdot g \cdot h_1 = \rho_2 \cdot g \cdot h_2 \rightarrow h_2 = \frac{\rho_1}{\rho_2} \times h_1 = \frac{13595 / 1}{1000} \times 0.760 = 10.332 \text{ m}$$

فشار هوا در کنار دریا یک اتمسفر است که آن را اتمسفر استاندارد نیز نامیده و با (atm) نشان می‌دهند.

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ Torr} = 29.92 \text{ inHg} = 10.332 \text{ mwc}$$

در تعریف فشار، نسبت نیرو به واحد سطح آمده‌است بنابراین:

$$1 \text{ N} = \frac{1}{9.80665} = 0.101971 \text{ Kg}_f$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2} = 1 \text{ Pa} = \frac{0.101971 \text{ Kg}_f}{10000 \text{ cm}^2} = 1.0197 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2}$$

کیلوگرم نیرو بر سانتی‌متر مربع را اتمسفر فنی نیز می‌نامند و با نماد (at) نشان می‌دهند.

فشار جو:

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 101325 \times 1.0197 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} = 1.0332 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ Lb} = 0.45359237 \text{ Kg} \rightarrow 1 \text{ Kg} = 2.204622 \text{ Lb} \rightarrow 1 \text{ Kg}_f = 2.204622 \text{ Lb}_f$$

$$1 \text{ atm} = 1.0332 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} = \frac{1.0332 \times 2.204622 \text{ Lb}_f}{1 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ in}^2}{2.54 \times 2.54 \text{ cm}^2}} = 14.69 \frac{\text{Lb}_f}{\text{in}^2} = 14.69 \text{ Psi}$$

Psi مخفف پوند نیرو بر اینچ مربع

در دستگاه CGS یکای نیرو دین (dyne) است :

$$1\text{N} = 1\text{Kg} \times \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1000\text{gr} \times \frac{10^{-3}\text{cm}}{\text{s}^2} = 10^5 \frac{\text{gr.cm}}{\text{s}^2} = 10^5 \text{dyne}$$

$$1\text{Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \times \frac{10^5 \text{dyne}}{10000 \text{cm}^2} = 10^{-5} \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2}$$

دین بر سانتی مترمربع را باری (Barye) می نامند و با نماد (Ba) نشان می دهند.

در سال ۱۹۰۹ یک هواشناس به نام ویلیام ناپیر شاو پیشنهاد یکایی به نام بار (bar) را که برابر یک میلیون دین بر سانتی مترمربع

است را داد، بنابراین :

$$1\text{Pa} = 10^{-5} \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} = 10^{-5} \times \frac{1}{10^6} \text{bar} = 10^{-11} \text{bar} \rightarrow 1\text{atm} = 101325\text{pa} = 1/101325\text{bar}$$

### ج) دقت اندازه گیری گیج فشار نسبی

پارامترهای زیادی از جمله دما، رطوبت، شرایط آب و هوایی، وزش باد، ارتفاع از سطح دریا و... فشار آتمسفر را تغییر می دهند و اندازه گیری دقیق فشار آتمسفر را با دشواری روبه رو می کند. با تغییر هریک از این پارامترها نقطه صفر گیج جابه جا می شود و فشار خوانده شده مقدار واقعی نخواهد بود. حال فرض می کنیم تمامی پارامترهای بالا ثابت بوده، و تنها ارتفاع از سطح دریا تعیین کننده میزان فشار آتمسفر باشد. فشار آتمسفر در سطح دریا ۱ آتمسفر یا ۱۰۱۳ میلی بار است، با افزایش ارتفاع از سطح دریا این مقدار کاهش می یابد. برای مثال آتمسفر در تهران بین ۸۵۰ تا ۹۰۰ میلی بار می باشد.

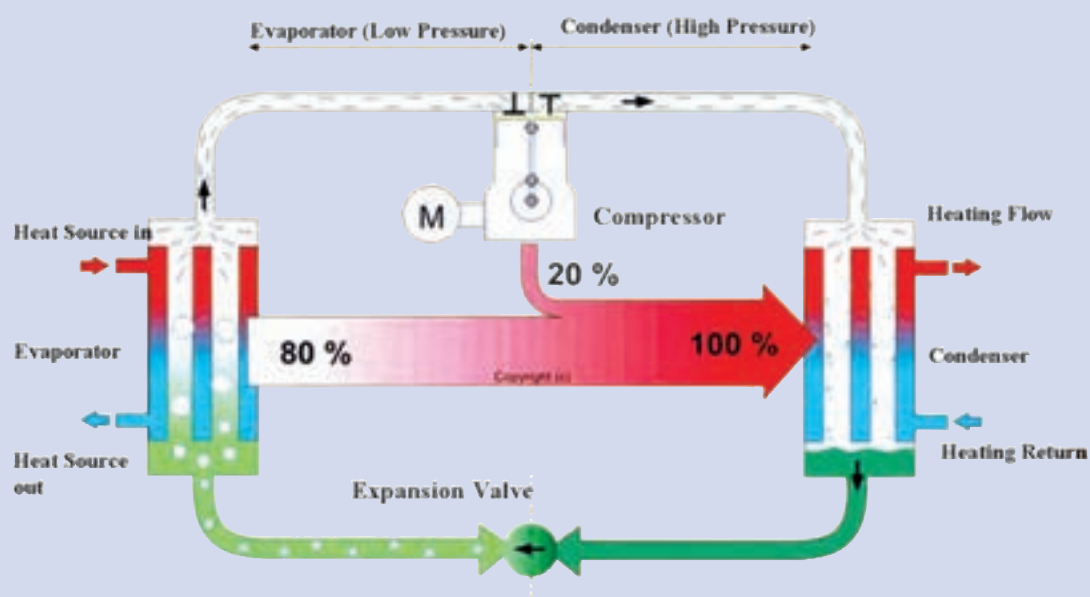
گیج های فشار نسبی به غیر از مشکل وابسته بودن به فشار آتمسفر، مشکل دیگری نیز دارند و آن اینکه توانایی خواندن فشارهای کمتر از میلی بار را ندارند. بنابراین برای خواندن فشار پمپ و کیوم با دقت زیاد باید از گیج های دقیق تر مانند فشارسنج های الکترونیکی استفاده کرد.

به طور کلی از دو فشارسنج (گیج) برای خواندن فشار خلأ استفاده می شود، گیج فشار نسبی و گیج فشار مطلق. مقایسه این

دو گیج را می توان در جدول زیر مشاهده نمود :

مقایسه دو فشارسنج (گیج) برای خواندن فشار خلأ	
گیج فشار مطلق	گیج فشار نسبی
مقدار خوانده شده فشار توسط گیج فشار مطلق از فشار آتمسفر (فشار هوا در محل اندازه گیری) می باشد.	مقدار خوانده شده فشار توسط گیج فشار نسبی به مقدار فشار محیط بستگی دارد.
تغییر میزان فشار آتمسفر اثری بر روی فشار خوانده شده توسط این گیج ندارد.	کافی است فشار محیط کمی تغییر کند تا فشار در حال اندازه گیری توسط گیج فشار نسبی نیز دستخوش تغییر قرار گیرد.
برای انجام کارهای دقیق تر باید از این گیج استفاده کرد.	برای انجام کارهایی که تنها اندازه گیری مقدار تقریبی فشار کافی است، می توان از این گیج استفاده کرد.
این گیج فشار آتمسفر را مقدار واقعی آن در نظر می گیرد. با کاهش فشار، به سمت صفر می رود و هرگز از صفر پایین تر نمی رود.	این گیج فشار آتمسفر را مبدأ و نقطه صفر در نظر می گیرد و با کاهش فشار سیستم، مقادیر منفی را نشان می دهد.
اعداد نشان داده شده توسط این گیج مثبت است.	اعداد نشان داده شده توسط این گیج منفی است.

## سیکل تبرید





## پیش آزمون

- ۱- چرا داخل یخچال سرد و لوله‌های پشت آن گرم هستند؟
- ۲- دمای یک ماده مبرد در یک نقطه  $42^{\circ}\text{C}$  و در نقطه دیگر  $1^{\circ}\text{C}$  است. این ماده در کدام نقطه سوپرهیت و در کدام نقطه ساب کولد است؟

## ۱-۲- تاریخچه سردسازی

## روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند ابتدا به خلاصه تاریخچه سردسازی بپردازند. و پس از آن تن تبرید را تعریف و محاسبه نمایند.

## دانش‌افزایی

## تاریخچه سردسازی

در جدول زیر گام‌هایی که در راستای پیشرفت صنعت سردسازی انجام شده، آمده است.

شکل ۱-۲ جدول خلاصه تاریخچه سردسازی

سال (میلادی)	عملیات
پیش از تاریخ	برداشت برف و یخ در فصل سرد و استفاده از آن در فصل‌های گرم در بسیاری از فرهنگ‌های باستانی از جمله چینی، یونانی، رومی و ایرانی مرسوم بوده است. یخ و برف ذخیره شده در غارها یا گودال‌ها با کاه پوشش داده می‌شدند. ایرانیان یخ ذخیره شده در گودال را یخچال می‌نامیدند.
قرن ۱۱	نزدیک به هزار سال پیش گویا ابن سینا برای تقطیر بخار عطر یک کویل سرد را به کار گرفته است.
۱۵۵۰	شیمیدان‌ها با افزودن نیترات پتاسیم یا نیترات سدیم به آب باعث افت دمای آب شدند این روش به نام خنک کردن (to refrigerate) ثبت شد.
۱۷۴۸	نخستین یخچال مصنوعی شناخته شده به دست ویلیام کالن رونمایی شد. کالن توانست با استفاده از یک پمپ خلأ، فشار ظرفی را که حاوی اتر بوده کاهش داده و آن را بجوشاند و گرمای هوای اطراف را جذب نماید. با این آزمایش فقط می‌توان مقدار کوچکی از یخ را به دست آورد که در آن زمان هیچ کاربرد عملی نداشت.
۱۷۸۷	دی‌اکسید گوگرد مایع به عنوان مبرد به کار برده شد.

۱۷۸۰	آمونیاک مایع به عنوان مبرد به کار برده شد.
۱۸۰۵	الیور اوانز طرح اولین دستگاه سردساز را داد که در آن به جای مایع از بخار استفاده می شد.
۱۸۲۴	اصول سردسازی جذبی توسط مایکل فارادی کشف شد.
۱۸۳۴	ژاکوب پرکینز با تغییر در طرح اولیه اوانز توانست اولین سردساز جهان را بسازد.
۱۸۴۰	یخچال در خودروها برای حمل و نقل شیر و کره مورد استفاده قرار گرفت.
۱۸۴۲	جان گوری بر پایه طرح اوانز توانست هوای اتاق بیمارانی را که مبتلا به تب زرد بودند را خنک نماید. اساس کار او بر فشرده سازی گاز و انبساط آن در یک کوئل بود. (شبیه یخچال های تراکمی امروزی)
۱۸۵۱	جان گوری با ادامه آزمایش برای ساخت یخ توانست اختراع خود را به ثبت برساند.
۱۸۵۹	اولین دستگاه تبرید جذبی آب آمونیاک توسط فردیناند کاری اختراع شد.
۱۸۹۰	از کلرواتان $C_2H_5Cl$ در کمپرسورهای روتاری توسط پالمرا استفاده شد.
۱۹۲۰	ایزوبوتان توسط ادموند کوپلند و هری ادوارد در یخچال های کوچک مورد استفاده قرار گرفت.
۱۹۲۲	از دی کلرواتان $C_2H_4Cl_2$ توسط کریر در کمپرسورهای سانتریفوژ استفاده شد.
۱۹۲۳	سردسازی سریع و استفاده از آن در مواد غذایی یخ زده توسعه یافت.
۱۹۲۶	مبرد مصنوعی CFC با نام تجاری فریون توسط توماس میدگلی اختراع شد.
۱۹۲۶	اولین یخچال خانگی مدار بسته ساخته شد.
۱۹۲۷	سیستم سردکننده خودکار تهویه مطبوع عرضه شد.
۱۹۵۰	از انرژی خورشیدی برای تولید یخ (بر اساس تبرید جذبی) استفاده شد.
۱۹۷۳	پروفسور جیمز لاولاک از وجود بسیار کم از گازهای مبرد در جو زمین گزارش داد.
۱۹۷۴	شرود رولند و ماریو مولینا تخریب لایه ازن توسط فریون ها را پیش بینی کردند.
۱۹۸۵	«حفره اوزون» بر سر قطب جنوب کشف شد.

## ۲-۲- تن تبرید

### روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می توانند تن تبرید را تعریف و سپس در یکاهای دیگر آن را محاسبه نمایند.

### پرسش و پاسخ

۱- توان یک کولر گازی ۳۶۰۰۰ بی تی یو بر ساعت است. این مقدار برابر چند تن تبرید است؟

$$P = 36000 \frac{\text{B.t.u}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{TR}}{12000 \frac{\text{B.t.u}}{\text{hr}}} = 3 \text{TR}$$



## تن تبرید

می دانیم که یکی از یکاهای اندازه گیری جرم تن می باشد و در سیستم های مختلف اندازه های متفاوت دارد در سیستم متریک برابر ۱۰۰۰ کیلوگرم است. دو نوع دیگر به نام تن بزرگ (انگلیسی) برابر ۲۲۴۰ پوند (۱۰۱۶ کیلوگرم) و تن کوچک (آمریکایی) برابر ۲۰۰۰ پوند (۹۰۷ کیلوگرم) رایج است.

تعریف تن تبرید: مقدار گرمایی که یک تن (تن کوچک) یخ با دمای ۳۲ درجه فارنهایت در یک شبانه روز جذب می کند تا تمام آن به آب ۳۲ درجه فارنهایت تبدیل شود.

$$۱۴۴ \frac{\text{BTU}}{\text{lbm}} = ۳۳۵ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = ۸۰ \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

چون گرمای نهان ذوب یخ

با توجه به این تعریف این مقدار گرما برابر است با:

$$\dot{VTR} = \frac{۱۴۴ \text{ Btu/lbm} \times ۲۰۰۰ \text{ lbm}}{۲۴ \text{ hr}} = ۱۲۰۰۰ \text{ Btu/hr}$$

در سیستم بین المللی این مقدار برابر خواهد بود با:

$$\dot{VTR} = \frac{۳۳۵ \text{ kJ/kg} \times ۹۰۷ / ۱۸ \text{ kg}}{۲۴ \times ۳۶۰۰ \text{ s}} = ۳ / ۵۱۷ \text{ kJ/s} = ۳ / ۵۱۷ \text{ kw}$$

در سیستم متریک این مقدار برابر خواهد بود با:

$$\dot{VTR} = \frac{۸۰ \text{ kcal/kg} \times ۹۰۷ / ۱۸ \text{ kg}}{۲۴ \text{ hr}} = ۳۰۲۴ \text{ kcal/hr}$$

با تبدیل یکا نیز همان مقدار به دست می آید:

$$۱۲۰۰۰ \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \times ۰.۲۵۲ \frac{\text{kcal}}{\text{Btu}} = ۳۰۲۴ \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

$$۱۲۰۰۰ \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \times ۱ / ۰.۵۵ \frac{\text{kJ}}{\text{Btu}} \times \frac{۱ \text{ hr}}{۳۶۰۰ \text{ s}} = ۳ / ۵۱۷ \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

بنابراین:

$$\dot{VTR} = ۱۲۰۰۰ \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} = ۳ / ۵۱۷ \text{ kw} = ۳۰۲۴ \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

## ۲-۳- فرایند تبرید

## روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می توانند ابتدا سردسازی را تعریف نموده و سپس آن را دسته بندی نمایند و نشان دهند که یخچال خانگی در کدام قسمت این دسته بندی قرار دارد.

## دانش افزایی

## تعریف تبرید

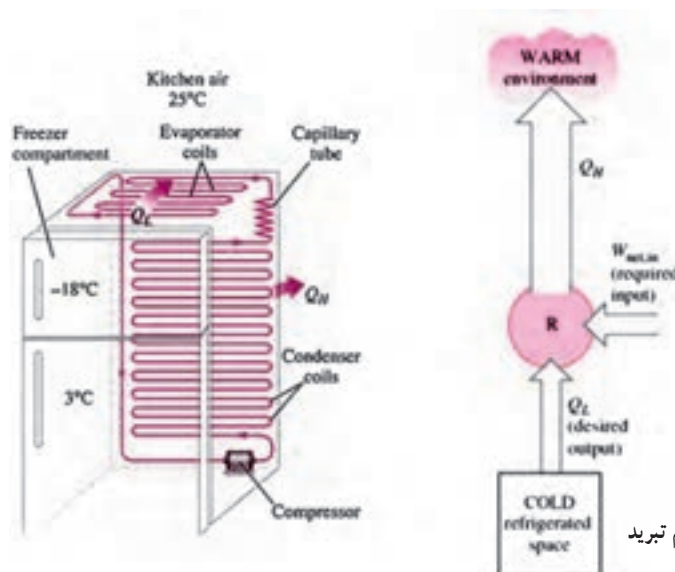
تبرید یا سردسازی عبارت است از: «ایجاد شرایط مناسب برای کاهش دمای یک مکان (یا یک ماده) نسبت به محیط آن» به بیان دیگر تبرید «انتقال گرما از یک محیط با دمای پایین به یک محیط با دمای بالاتر است.»

سردسازی را می‌توان از چند دیدگاه دسته‌بندی نمود. یک طبقه‌بندی روش‌های اساسی سردسازی به شکل زیر است :

۱- سردسازی مدار باز ۲- سردسازی مدار بسته ۳- سردسازی به روش‌های ویژه

۱- سردسازی مدار باز : وقتی یک تکه یخ را در داخل یک لیوان قرار می‌دهید تا آب خنک شود. با این روش دمای آب از طریق تماس مستقیم سردتر گردیده است. همچنین چنانچه یک تکه یخ را برابر یک پنکه قرار دهید و وزش پنکه را به سمت خود قرار دهید حس می‌کنید که قالب یخ کمک به خنک تر شدن بیشتر هوا می‌کند. انتقال غیر مستقیم گرما توسط جسم سوم یعنی هوایی که بین ماده سرد (یخ) و جسمی که می‌خواهند خنک شود (شما) صورت می‌گیرد. کولر آبی از همین روش پیروی می‌کند.

۲- سردسازی مدار بسته : در این روش گرما را از یک محیط با دمای پایین به یک محیط با دمای بالا انتقال می‌دهیم در این روش نیاز به کار خارجی داریم.



شکل ۲-۲- اصل اساسی یک سیستم تبرید

همان‌طور که می‌دانیم گرما از یک محیط با دمای بالاتر به یک محیط با دمای پایین‌تر به خودی خود انتقال می‌یابد و نیاز به کار نداریم ولی چنانچه بخواهیم عکس این کار را انجام دهیم حتماً نیاز به کار داریم. (قانون دوم ترمودینامیک)

دمای بالا و پایین را می‌توان به بالا و پایین یک تپه تشبیه نمود که آب از بالای تپه به پایین به خودی خود سرازیر می‌شود و حتی می‌تواند یک توربین را بچرخاند ولی برای انتقال آب از پایین به بالا نیاز به کار داریم.

پرکاربردترین سردسازی با این روش سیستم تراکمی<sup>۱</sup> و سیستم جذبی<sup>۲</sup> می‌باشد.

این روش خود به دو دسته کلی مدار بخار و مدار گاز تقسیم می‌شود.

۱-۲- سردسازی با مدار بسته بخار : این روش نیز خود به دو دسته سیستم تبرید تراکمی و سیستم تبرید جذبی دسته‌بندی می‌شود.

۱-۱-۲- سیستم تبرید تراکمی : در این سیستم مقداری گرما در اواپراتور جذب و مقدار بیشتری گرما در کندانسر دفع می‌گردد.

۲-۱-۲- سیستم تبرید جذبی : در اوایل قرن بیستم سیستم تبرید جذبی آب- آمونیاک بسیار محبوب بود ولی با توسعه سیستم تراکمی کاربرد آن کم شد ولی مجدداً سیستم جذبی با استفاده آب- لیتیوم برماید به دلیل استفاده از گرمای اضافی در محیط‌های

صنعتی و همچنین در جایی که گاز بیش از برق در دسترس است مورد استفاده قرار می گیرد.

- ۲-۲- سردسازی با مدار بسته گاز : زمانی که ما از یک گاز به عنوان سیال در سیکل تبرید استفاده می کنیم ولی گاز تبخیر و تقطیر نمی شود و به همان حالت می ماند آن سیکل را سیکل گاز می نامند. پرکاربردترین گاز در این سیکل هوا می باشد.
- ۳- سردسازی به روش های ویژه : روش هایی دیگر نیز برای سردسازی وجود دارند که برخی از آنها بازده کمی داشته و برخی نیز برای سیستم های دمای پایین به کار می روند. از معروف ترین این سیستم ها می توان سردسازی ترموالکتریک، سردسازی مغناطیسی، سردسازی نوری و سردسازی گرما - صوتی را نام برد.

## ۲-۴- رابطه فشار و دمای آب

### روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می توانند با مراجعه به فصل اول رابطه فشار و دمای نقطه جوش آب را بیان نموده و در مجموع توضیح دهند که هرچه فشار کمتر باشد دمای نقطه جوش پایین تر است و هرچه فشار بیشتر باشد دمای نقطه جوش بالاتر می رود. و این تصور را که نقطه جوش نمی تواند کمتر از صفر درجه سلسیوس باشد از ذهن هنرجویان بزدايند.

در شکل ۲-۳ رابطه و دمای نقطه اشباع آب برای مثال آورده شده است. توجه کنید که یکای فشار در زیر فشار آتمسفر در یک ستون جدول برحسب میکرون آمده است که هر اینچ جیوه برابر ۲۵۴۰ میکرون است. و در این ستون فشار مطلق است.

شکل ۲-۳ جدول فشار و دمای نقطه اشباع آب

Saturated Water (H2O) Pressure & Temperature Chart			
Temperature In °F	PSIG		Pounds Sq. In. Absolute PSIA
281	35.3psig	↑	50.00
274	30.3psig		45.00
267	25.3psig		40.00
259	20.3psig		35.00
250	15.3psig		30.00
240	10.3psig	Low Pressure	25.00
228	5.3psig	↓	20.00
213	.3psig		15.00
Above Atmospheric Pressure			
212°	0.00	759,968	14.696
Below Atmospheric Pressure			
Temperature In °F	Inches of Hg. Vacuum	Microns	Pounds Sq. In. Absolute PSIA
205°	4.92	535,000	12.279
194°	9.23	525,526	10.162
176°	15.94	355,092	6.866
158°	20.72	233,680	4.519
140°	24.04	149,352	2.888
122°	26.28	92,456	1.788
104°	27.75	55,118	1.066
86°	28.67	31,750	.614
80°	28.92	25,400	.491
76°	29.02	22,860	.442
72°	29.12	20,320	.393
69°	29.22	17,780	.344
64°	29.32	15,240	.295
59°	29.42	12,700	.246
53°	29.52	10,160	.196
45°	29.62	7,620	.147
32°	29.74	4,572	.088
21°	29.82	2,540	.049
6°	29.87	1,270	.0245
-24°	29.91	254	.0049
-35°	29.915	127	.00245
-60°	29.919	25.4	.00049
-70°	29.9195	12.7	.00024
-90°	29.9199	2.54	.000049

## پرسش و پاسخ

۱- دمای نقطه جوش آب در فشار مطلق  $2^{\circ}\text{psia}$  چند درجه فارنهایت است؟

پاسخ:  $228^{\circ}\text{F}$  درجه فارنهایت

۲- دمای نقطه جوش آب در فشار خلأ  $29/91$  اینچ جیوه چند درجه سلسیوس است؟

$$-24^{\circ}\text{F} \rightarrow \text{C} = \frac{\text{F} - 32}{1/8} = \frac{-24 - 32}{1/8} = \frac{-56}{1/8} = -31$$

## ۵-۲- جدول فشار - دمای مبردها و کاربرد آن

### روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند مانند آب رابطه فشار و دمای اشباع مواد سرمازای دیگر را نیز بیان نمایند. در ادامه انواع جدول‌هایی را که در این زمینه وجود دارند به لحاظ ساختاری توضیح دهند. سپس یکی از کاربردهای این جدول‌ها را در شارژ گاز یا مایع سردکننده به سیستم توضیح دهند. (جدول‌های ۲-۴ و ۲-۵)

## پرسش و پاسخ

۱- در فشار آتمسفر نقطه جوش سردکننده‌های  $41^{\circ}\text{R}$  و  $134^{\circ}\text{R}$  و  $22^{\circ}\text{R}$  به ترتیب چند درجه سلسیوس است؟

پاسخ:  $65^{\circ}\text{C}$  و  $41^{\circ}\text{C}$  و  $55^{\circ}\text{C}$

۲- در فشار  $5\text{barg}$  بار گیج نقطه جوش سردکننده‌های  $41^{\circ}\text{R}$  و  $134^{\circ}\text{R}$  و  $22^{\circ}\text{R}$  به ترتیب چند درجه سلسیوس است؟

پاسخ:  $51^{\circ}\text{C}$  و  $24^{\circ}\text{C}$  و  $41^{\circ}\text{C}$

۳- می‌خواهیم یک سیستم تبرید را با گاز مبرد  $134^{\circ}\text{R}$  شارژ کنیم فشارسنج انتهای اوایراتور، مقدار یک بار را نشان می‌دهد، چنانچه با دماسنج، مقدار دما را اندازه بگیریم صفر درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. (سیستم ۵ درجه سوپرهیت باشد) باید کدام عمل را انجام دهیم؟

مقدار شارژ مناسب است ☐ مقدار گاز زیاد است و باید کمی گاز تخلیه کنیم ☐ باید به شارژ ادامه دهیم ☐

پاسخ: با استفاده از جدول، دمای متناظر یک بار  $10^{\circ}\text{C}$  درجه است.

$$10 = (10 - 0) = \text{دمای اشباع گاز} - \text{دمای گاز} = \text{دمای سوپرهیت}$$

دمای سوپرهیت ۵ درجه بالاتر از حد خواسته شده است پس باید به شارژ کردن گاز ادامه دهیم.

## کاربرد جدول مبردها

چنانچه ما در هر نقطه از چرخه تبرید دما یا فشار را به تنهایی داشته باشیم با جدول های فشار – دما<sup>۱</sup> می توانیم فشار یا دمای متناظر را پیدا کنیم. برای مثال چنانچه دمای گاز R۱۳۴ در یک چرخه تبرید  $35^{\circ}\text{C}$  باشد فشار اشباع این گاز در همان نقطه  $7/93$  بار گیج است. یکی از کاربردهای این جدول ها در شارژ گاز می باشد که با توجه به نوع دمای کار سیستم و اینکه با مایع شارژ شود یا گاز از روش های مختلف استفاده می شود:

یکم (اندازه گیری قسمت فشار بالا): بدین صورت که به دمای محیط  $15^{\circ}\text{C}$  افزوده و با این دما فشار کار کندانسر را به دست می آورند. (مقدار دقیق این دما با توجه به نوع سیستم و دمای هوای خشک خارج و دمای مرطوب داخل تعیین می شود)

مثال: چنانچه بخواهیم گاز R۱۳۴ را به کار ببریم و دمای محیط  $30^{\circ}\text{C}$  باشد:

$$30 + 15 = 45^{\circ}\text{C} \rightarrow 10/67 \text{ barg}$$

در این حالت شارژ را تا زمانی ادامه می دهند تا فشارسنج، فشار  $10/67$  بار را نشان دهد.

دوم (اندازه گیری سوپر هیت): گاز بهتر است در انتهای اواپراتور  $5$  درجه سلسیوس سوپر هیت شود، برای اینکار با فشارسنج، فشار خروجی را خوانده و هم زمان در همان نقطه با دماسنج، دمای گاز را می خوانیم. برای مثال می خواهیم یک سیستم تبرید را با گاز مبرد R۲۲ شارژ کنیم فشار را در انتهای اواپراتور اندازه گرفته، مقدار  $5$  بار را نشان می دهد، دمای اشباع متناظر این فشار از جدول  $6^{\circ}\text{C}$  می شود؛ چنانچه با دماسنج، مقدار دما را اندازه بگیریم  $20^{\circ}\text{C}$  را نشان می دهد. این بدین معنی است که سیستم  $14$  درجه سوپر هیت است پس ما باید به شارژ ادامه داده تا اختلاف کمتر شده و به حدود  $7$  درجه برسد. اما چنانچه دمای اندازه گیری شده  $8^{\circ}\text{C}$  باشد اختلاف  $2$  درجه است پس کمی گاز باید تخلیه شود.

دمای اشباع گاز – دمای گاز = دمای سوپر هیت

سوم (اندازه گیری دمای ساب کولد): در شیر سرویس، فشار و دمای مایع مبرد را اندازه گیری می کنیم. سپس دمای متناظر آن فشار (دمای اشباع) را از جدول به دست می آوریم.

دمای مایع – دمای اشباع مایع = دمای ساب کولد

مثال: در یک چرخه R۱۳۴ دما و فشار اندازه گیری شده در انتهای کندانسر  $30^{\circ}\text{C}$  و  $8$  بار است. وضعیت ماده مبرد در چه حالتی قرار دارد؟  $5$  درجه ساب کولد است.

$$35 - 30 = 5 = \text{دمای مایع} - \text{دمای اشباع مایع} = \text{دمای ساب کولد}$$

جدول های مبردها با توجه به یکای به کار رفته و فشار مطلق یا گیج بسیار متنوع می باشند برای مثال در شکل ۲-۴ دما برحسب درجه سلسیوس و فشار برحسب بار گیج می باشد. منتها شماره های مثبت، فشار بیشتر از آتمسفر و شماره های منفی، فشار کمتر از آتمسفر را نشان می دهد.

در شکل ۲-۵ چند یکای فشار برای یک نوع مبرد آورده شده است و فشار هم برحسب فشار مطلق و هم برحسب فشار نسبی آمده است. در ستون اول این جدول که برحسب PSIG تعریف شده در منطقه زیر فشار آتمسفر (خلاء) در داخل پرانتز شماره ها برحسب اینچ جیوه می باشد. (توجه کنید در این حالت صفر نشانه فشار آتمسفر و  $29/92$  نشانه خلاء کامل است.) به طور معمول در جدول هایی که فشار مثبت با بار گیج نشان داده می شود فشار خلاء ممکن است با میلی متر جیوه نمایش داده شود و در این حالت نیز صفر نشانه آتمسفر و  $760$  نشانه خلاء کامل است.



شکل ۴-۲ جدول دما و فشار مبردها (فشار برحسب بارگیج) (barg)

t °C	R22	R12	R134	R404a	R502	R410A	R717	R410a	R507a	R600	R23	R290	R142b	R406a	R409A
-70	-0.81	-0.88	-0.92	-0.74	-0.72	-	-0.89	-0.65	-0.72	-	0.94	-	-	-	-
-65	-0.74	-0.83	-0.88	-0.63	-0.62	-	-0.84	-0.51	-0.61	-	1.48	-	-	-0.94	-
-60	-0.63	-0.77	-0.84	-0.52	-0.51	-0.74	-0.78	-0.36	-0.50	-	2.12	-	-	-0.9	-
-55	-0.49	-0.69	-0.77	-0.35	-0.35	-0.63	-0.69	-0.22	-0.32	-	2.89	-	-	-0.83	-
-50	-0.35	-0.61	-0.70	-0.18	-0.19	-0.52	-0.59	0.08	-0.14	-	3.8	-	-	-0.8	-
-45	-0.2	-0.49	-0.59	-0.11	-0.14	-0.34	-0.44	0.25	-0.02	-	4.86	-	-	-0.66	-
-40	0.05	-0.36	-0.48	0.32	0.30	-0.16	-0.28	0.73	0.39	-0.71	6.09	0.12	-	-0.62	-
-35	0.25	-0.18	-0.32	0.68	0.64	-0.06	-0.24	1.22	0.77	-0.62	7.51	0.37	-	-0.4	-
-30	0.64	0.00	-0.15	1.04	0.98	0.37	0.19	1.71	1.15	-0.53	9.12	0.68	-	-0.2	-
-25	1.05	0.26	-0.06	1.53	1.45	0.75	0.55	2.38	1.67	-0.38	10.98	1.03	-	-0.1	0.06
-20	1.48	0.51	0.33	2.02	1.91	1.12	0.90	2.98	2.18	-0.27	13.04	1.44	-	0.2	0.32
-15	2.01	0.85	0.67	2.67	2.53	1.64	1.41	3.85	2.86	-0.18	15.37	1.91	-	0.4	0.62
-10	2.55	1.19	1.01	3.32	3.14	2.16	1.91	4.72	3.54	0.09	17.96	2.45	0	0.6	0.98
-5	3.27	1.64	1.47	4.16	3.94	2.87	2.6	5.85	4.42	0.33	20.85	3.06	0.22	1.1	1.4
0	3.98	2.08	1.93	5.03	4.73	3.57	3.29	6.98	5.29	0.57	24	3.75	0.47	1.6	1.88
5	4.89	2.66	2.54	6.11	5.73	4.43	4.22	8.37	6.40	0.89	27.54	4.52	0.75	2.1	2.43
10	5.80	3.23	3.14	7.18	6.73	5.28	5.15	9.76	7.51	1.21	31.37	5.38	1.08	2.6	3.07
15	6.95	3.95	3.93	8.52	7.97	6.46	6.36	11.56	8.88	1.62	35.56	6.33	1.46	3.3	3.78
20	8.10	4.67	4.72	9.86	9.20	7.63	7.57	13.35	10.25	2.02	40.11	7.39	1.9	4.0	4.59
25	9.5	5.39	5.71	11.5	10.70	9.14	9.12	15.00	11.94	2.54	45.03	8.55	2.38	4.8	5.5
30	10.90	6.45	6.70	13.14	12.19	10.65	10.67	16.65	13.63	3.05	-	9.82	2.94	5.7	6.51
35	12.60	7.53	7.93	15.13	13.98	12.45	12.61	19.78	15.69	3.69	-	11.21	3.55	6.7	7.64
40	14.30	8.60	9.16	17.11	15.77	14.25	14.55	22.90	17.74	4.32	-	12.73	4.25	7.6	8.88
45	16.3	10.25	10.67	19.51	17.89	16.48	16.94	26.2	20.25	5.09	-	14.38	5.02	9.1	10.26
50	18.30	11.90	12.18	21.90	20.01	18.70	19.33	29.50	22.75	5.86	-	16.16	5.87	10.4	11.78
55	20.75	13.08	14.00	24.76	22.51	21.45	22.24	-	25.80	6.79	-	18.08	6.81	11.9	13.41
60	23.20	14.25	15.81	27.62	25.01	24.20	25.14	-	28.85	7.72	-	20.14	7.85	13.6	15.2
70	29.00	17.85	20.16	-	30.92	-	32.12	-	-	9.91	-	24.72	10.23	17.3	19.26
80	-	22.04	25.32	-	-	-	40.40	-	-	-	-	29.94	13.07	21.5	23.99
90	-	26.88	31.43	-	-	-	50.14	-	-	-	-	35.82	16.4	-	29.43

شکل ۵-۲ جدول دما و فشار اشباع فریون ۲۲

Refrigerant R-22 Pressure / Temperature chart																
Gauge pressure			Absolute pressure				Fahrenheit			Celsius			Kelvin			
PSIG	KG/CM2	KPA-G	KG/CM2	Mbar	Pascals	KPA	PSIA	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl
-14 (29")	-.98	-96.5	.05	48	4,798	4.8	6.7	-130.1			-90.1			183.1		
-13 (28")	-.91	-89.4	.12	117	11,693	11.7	1.7	-109.0			-79.3			194.8		
-12 (24")	-.84	-82.7	.19	186	18,588	18.6	2.7	-98.7			-71.5			201.7		
-11 (22")	-.77	-75.8	.26	255	25,482	25.5	3.7	-87.7			-66.5			206.7		
-10 (20")	-.70	-68.9	.33	324	32,377	32.4	4.7	-80.6			-62.6			210.6		
-9 (18")	-.63	-62.1	.40	393	39,272	39.3	5.7	-74.5			-59.2			214.0		
-8 (16")	-.56	-55.2	.47	462	46,167	46.2	6.7	-69.3			-56.3			216.9		
-7 (14")	-.49	-48.3	.54	531	53,061	53.1	7.7	-64.7			-53.7			219.4		
-6 (12")	-.42	-41.4	.61	600	59,956	60.0	8.7	-60.5			-51.4			221.8		
-5 (10")	-.35	-34.5	.68	669	66,851	66.9	9.7	-56.8			-49.3			223.8		
Gauge pressure			Absolute pressure				Fahrenheit			Celsius			Kelvin			
PSIG	KG/CM2	KPA-G	KG/CM2	Mbar	Pascals	KPA	PSIA	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl
-4 (8")	-.28	-27.6	.75	737	73,746	73.7	10.7	-53.3			-47.4			225.8		
-3 (6")	-.21	-20.7	.82	806	80,641	80.6	11.7	-50.0			-45.6			227.6		
-2 (4")	-.14	-13.8	.89	875	87,536	87.5	12.7	-47.0			-43.9			229.3		
-1 (2")	-.07	-6.9	.96	944	94,431	94.4	13.7	-44.1			-42.3			230.9		
0	.00	0	1.03	1,013	101,325	101.3	14.7	-41.5			-40.8			232.3		
1	.07	6.9	1.10	1,082	108,220	108.2	15.7	-38.9			-39.4			233.8		
2	.14	13.8	1.17	1,151	115,115	115.1	16.7	-36.5			-38.1			235.1		
3	.21	20.7	1.24	1,220	122,010	122.0	17.7	-34.2			-36.8			236.4		
4	.28	27.6	1.31	1,289	128,904	128.9	18.7	-32.0			-35.6			237.6		
5	.35	34.5	1.38	1,358	135,799	135.8	19.7	-29.9			-34.4			238.8		
Gauge pressure			Absolute pressure				Fahrenheit			Celsius			Kelvin			
PSIG	KG/CM2	KPA-G	KG/CM2	Mbar	Pascals	KPA	PSIA	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl
6	.42	41.4	1.46	1,427	142,694	142.7	20.7	-27.8			-33.2			239.9		
7	.49	48.3	1.53	1,496	149,589	149.6	21.7	-25.9			-32.2			241.0		
8	.56	55.2	1.60	1,565	156,483	156.5	22.7	-24.0			-31.1			242.0		
9	.63	62.1	1.67	1,634	163,378	163.4	23.7	-22.1			-30.1			243.1		
10	.70	68.9	1.74	1,703	170,273	170.3	24.7	-20.4			-29.1			244.0		
11	.77	75.8	1.81	1,772	177,168	177.2	25.7	-18.7			-28.2			245.0		
12	.84	82.7	1.88	1,841	184,062	184.1	26.7	-17.0			-27.2			245.9		
13	.91	89.6	1.95	1,910	190,957	191.0	27.7	-15.4			-26.3			246.8		
14	.98	96.5	2.02	1,979	197,852	197.9	28.7	-13.8			-25.4			247.7		
15	1.05	103.4	2.09	2,047	204,747	204.7	29.7	-12.3			-24.6			248.5		
Gauge pressure			Absolute pressure				Fahrenheit			Celsius			Kelvin			
PSIG	KG/CM2	KPA-G	KG/CM2	Mbar	Pascals	KPA	PSIA	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl
16	1.12	110.3	2.16	2,116	211,641	211.6	30.7	-10.8			-23.8			249.4		
17	1.20	117.2	2.23	2,185	218,536	218.5	31.7	-9.3			-22.9			250.2		
18	1.27	124.1	2.30	2,254	225,431	225.4	32.7	-7.9			-22.2			251.0		
19	1.34	131.0	2.37	2,323	232,326	232.3	33.7	-6.5			-21.4			251.8		
20	1.41	137.9	2.44	2,392	239,220	239.2	34.7	-5.2			-20.7			252.5		
21	1.48	144.8	2.51	2,461	246,115	246.1	35.7	-3.9			-19.9			253.2		
22	1.55	151.7	2.58	2,530	253,010	253.0	36.7	-2.6			-19.2			253.9		
23	1.62	158.6	2.65	2,599	259,905	259.9	37.7	-1.3			-18.5			254.7		
24	1.69	165.5	2.72	2,668	266,800	266.8	38.7	0.0			-17.8			255.4		
25	1.76	172.4	2.79	2,737	273,694	273.7	39.7	1.2			-17.1			256.0		
Gauge pressure			Absolute pressure				Fahrenheit			Celsius			Kelvin			
PSIG	KG/CM2	KPA-G	KG/CM2	Mbar	Pascals	KPA	PSIA	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl
26	1.83	179.3	2.86	2,806	280,589	280.6	40.7	2.4			-16.4			256.7		
27	1.90	186.2	2.93	2,875	287,484	287.5	41.7	3.5			-15.8			257.3		
28	1.97	193.1	3.00	2,944	294,379	294.4	42.7	4.7			-15.2			258.0		
29	2.04	199.9	3.07	3,013	301,273	301.3	43.7	5.8			-14.6			258.6		
30	2.11	206.8	3.14	3,082	308,168	308.2	44.7	6.9			-13.9			259.2		
31	2.18	213.7	3.21	3,151	315,063	315.1	45.7	8.0			-13.3			259.8		
32	2.25	220.6	3.28	3,220	321,958	322.0	46.7	9.1			-12.7			260.4		
33	2.32	227.5	3.35	3,289	328,852	328.9	47.7	10.2			-12.1			261.0		
34	2.39	234.4	3.42	3,357	335,747	335.7	48.7	11.2			-11.6			261.6		
35	2.46	241.3	3.49	3,426	342,642	342.6	49.7	12.2			-11.0			262.2		
Gauge pressure			Absolute pressure				Fahrenheit			Celsius			Kelvin			
PSIG	KG/CM2	KPA-G	KG/CM2	Mbar	Pascals	KPA	PSIA	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl	T	Dew	Bbl

HYACUSA.com

HVACSuite.com



جدول‌هایی نیز برای مبردها وجود دارند که علاوه بر دما و فشار سایر ویژگی‌های ترمودینامیکی را نشان می‌دهد. (شکل ۲-۶)

شکل ۲-۶ جدول خواص مایع و بخار اشباع آمونیاک

Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapour. R717, Ammonia, NH <sub>3</sub>								
Temp. T °C	Pressure P, bar	Volume, v <sub>g</sub> m <sup>3</sup> /kg	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/kg K		Sp. Heat, kJ/kg K	
			Liquid h <sub>f</sub>	Vapour h <sub>g</sub>	Liquid s <sub>f</sub>	Vapour s <sub>g</sub>	Liquid c <sub>f</sub>	Vapour c <sub>g</sub>
-40	0.7168	1.5535	19.60	1408.41	0.2885	6.2455	4.396	2.175
-38	0.7970	1.4068	28.41	1411.54	0.3260	6.2082	4.406	2.192
-36	0.8844	1.2765	37.24	1414.62	0.3634	6.1717	4.417	2.210
-34	0.9795	1.1603	46.09	1417.66	0.4005	6.1359	4.427	2.229
-32	1.0826	1.0566	54.97	1420.65	0.4374	6.1008	4.437	2.248
-30	1.1944	0.96377	63.86	1423.60	0.4741	6.0664	4.448	2.268
-28	1.3153	0.88062	72.78	1426.51	0.5105	6.0327	4.458	2.289
-26	1.4459	0.80595	81.72	1429.36	0.5467	5.9997	4.469	2.310
-24	1.5866	0.73877	90.68	1432.17	0.5828	5.9672	4.479	2.332
-22	1.7382	0.67822	99.66	1434.93	0.6186	5.9354	4.490	2.355
-20	1.9011	0.62356	108.67	1437.64	0.6542	5.9041	4.501	2.379
-18	2.0760	0.57413	117.69	1440.30	0.6896	5.8734	4.512	2.404
-16	2.2634	0.52936	126.74	1442.91	0.7248	5.8433	4.523	2.429
-14	2.4640	0.48874	135.82	1445.47	0.7599	5.8137	4.534	2.455
-12	2.6785	0.45182	144.91	1447.97	0.7947	5.7846	4.545	2.482
-10	2.9075	0.41823	154.03	1450.42	0.8294	5.7559	4.556	2.510
-8	3.1517	0.38761	163.18	1452.81	0.8638	5.7278	4.568	2.538
-6	3.4117	0.35966	172.35	1455.15	0.8981	5.7001	4.580	2.567
-4	3.6862	0.33411	181.54	1457.43	0.9323	5.6728	4.592	2.597
-2	3.9821	0.31073	190.76	1459.65	0.9662	5.6460	4.604	2.628
0	4.2941	0.28929	200.00	1461.81	1.0000	5.6196	4.617	2.660
2	4.6248	0.26962	209.27	1463.91	1.0336	5.5936	4.630	2.692
4	4.9749	0.25154	218.57	1465.94	1.0671	5.5679	4.643	2.726
6	5.3454	0.23491	227.89	1467.91	1.1004	5.5426	4.656	2.760
8	5.7370	0.21959	237.24	1469.82	1.1335	5.5177	4.670	2.795
10	6.1504	0.20545	246.62	1471.66	1.1666	5.4931	4.683	2.831
12	6.5865	0.19240	256.03	1473.43	1.1994	5.4688	4.698	2.868
14	7.0461	0.18034	265.46	1475.13	1.2321	5.4448	4.712	2.906
16	7.5301	0.16917	274.93	1476.75	1.2647	5.4212	4.727	2.945
18	8.0392	0.15882	284.43	1478.30	1.2972	5.3977	4.742	2.985

## ۲-۶- چرخه سردسازی

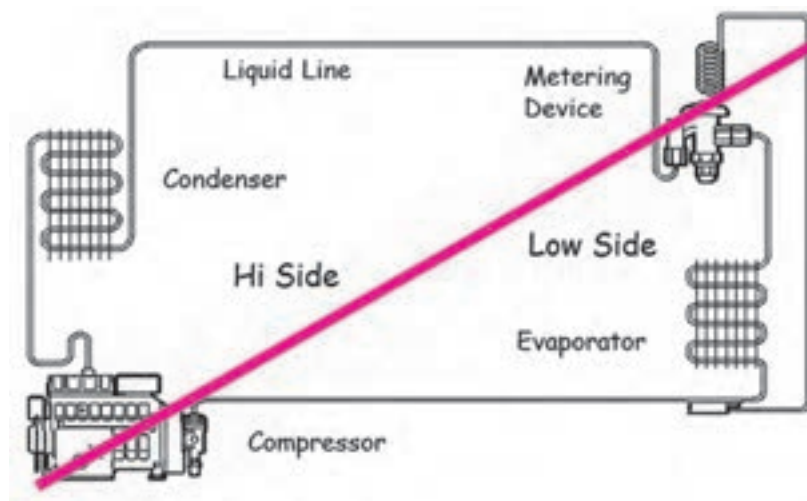
### روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند با توجه به شکل ۲-۸ چهار قسمت اصلی هر چرخه را توضیح داده و دما و فشار در هر بخش را بیان نمایند و با توجه به شکل ۲-۹ بین چرخه سردسازی جذبی و تراکمی مقایسه‌ای برقرار نمایند.

همچنین می‌توان چهار بخش اصلی سیستم تبرید را برابر شکل ۲-۷ روی تابلو رسم نمود و خطی که مرز بین قسمت پرفشار از کم فشار را جدا می‌کند کشید. در نهایت هنرجو را متوجه مفهوم ساب کولد و سوپر هیت در سیکل کرده و توضیح دهیم که این مفاهیم



صرفاً در اثر بالا و پایین بودن دما نیست چرا که در انتهای اواپراتور با دمای  $10^{\circ}$  درجه ما حالت سوپرهیت و در انتهای کندانسر با دمای  $42^{\circ}$  درجه ما در موقعیت ساب کولد هستیم.



شکل ۷-۲- مرز جدایی بین بخش فشار پایین و فشار بالا

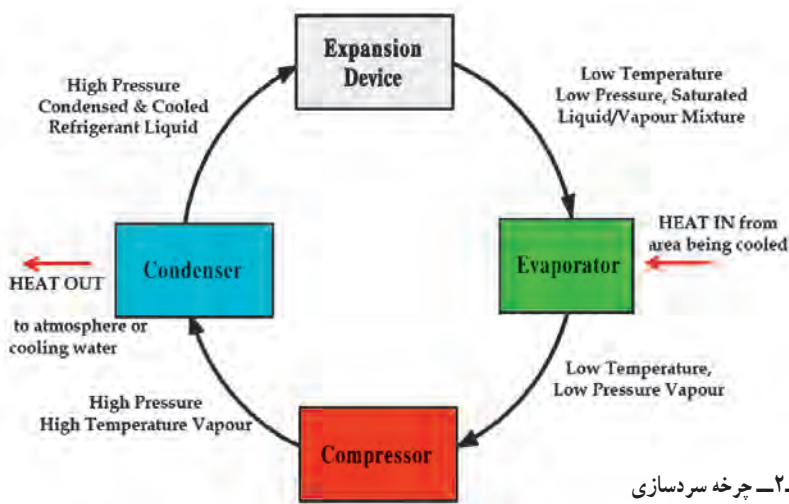
### پرسش و پاسخ

- ۱- در کدام قسمت ماده مبرد بیشترین فشار را دارد؟
- ۲- در کدام قسمت ماده مبرد بیشترین دما را دارد؟
- ۳- آیا رابطه‌ای بین دما و فشار در هر قسمت وجود دارد؟
- ۴- آیا فقط دما با مفاهیم سوپرهیت و ساب کولد رابطه دارد؟

### دانش افزایی

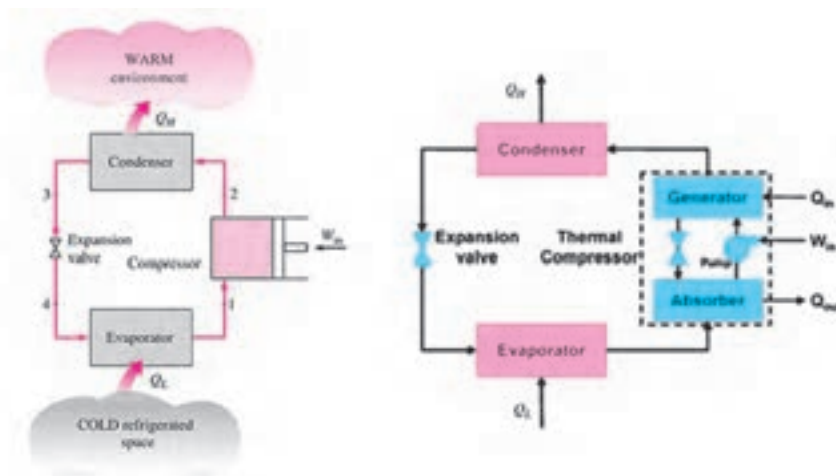
#### چرخه سردسازی

هر چرخه سردسازی نیاز به چهار بخش دارد. (شکل ۸-۲)



شکل ۸-۲- چرخه سردسازی

چنانچه شرایط طرح به گونه‌ای باشد که بخواهیم از سیستم تبرید تراکمی استفاده کنیم از یک کمپرسور مکانیکی و چنانچه از سیستم جذبی استفاده کنیم از یک کمپرسور گرمایی استفاده می‌کنیم. (شکل ۹-۲)



شکل ۹-۲- مقایسه چرخه سردسازی جذبی و تراکمی

چهار فرایند سیستم تبرید تراکمی عبارت است از :

۱-۲ تراکم گاز تا دمایی بالاتر از دمای تقطیر (در کمپرسور)

۲-۳ تقطیر هم فشار و دفع گرما در محیط (در کندانسر)

۳-۴ خفقاں شامل افت فشار و دما (در شیر انبساط)

۴-۱ تبخیر مایع مبرد به صورت هم دما و هم فشار و جذب گرما (در اواپراتور)

همانطور که می‌دانیم دستگاهی که این چرخه را در چنین جهتی بپیماید دستگاه سردکننده<sup>۱</sup> می‌نامند و سیستمی را که دستخوش چنین چرخه‌ای می‌شود را سیستم سردکنندگی (تبرید)<sup>۲</sup> می‌نامند.

در مورد هر دستگاه سردکننده هدف گرفتن بیشترین مقدار گرما از منبع سرد با صرف کمترین کار است.

با این بیان «ضریب عملکرد<sup>۳</sup>» یا «نسبت انرژی سردکنندگی» به صورت زیر تعریف می‌شود :

$$COP = \frac{Q_L}{W_{in}}$$

$Q_L$  - سرمای ایجاد شده در اواپراتور،  $W_{in}$  - کار کمپرسور،  $COP$  - ضریب عملکرد

توجه : چنانچه در صورت و مخرج به جای انرژی، توان را بگذاریم فرقی نمی‌کند و این رابطه برقرار است.

مثال : ضریب عملکرد یک کولر گازی  $24000$  بی تی یو بر ساعت با توان کمپرسور  $2300$  وات چند است؟

$$Q_L = 24000 \times \frac{1}{3.141} = 7641 \text{ watt} \rightarrow COP = \frac{Q_L}{W_{in}} = \frac{7641}{2300} = 3.32$$

$$COP = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

راه دیگر پیدا کردن ضریب عملکرد با استفاده از دما می‌باشد :

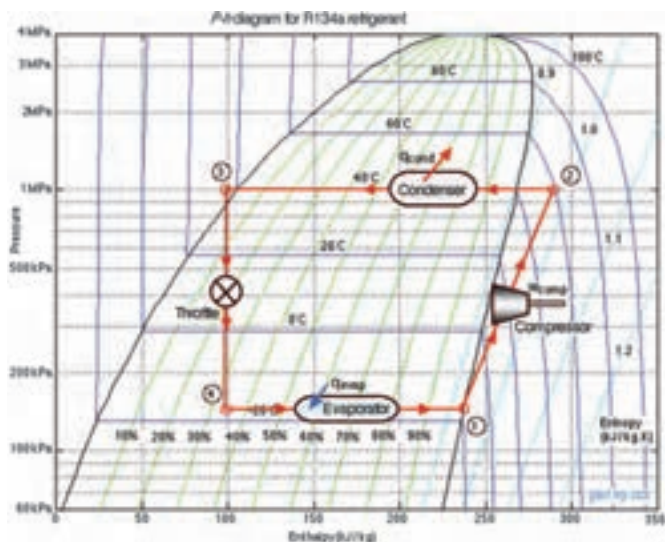
که در آن  $T_L$  و  $T_H$  دمای مطلق ماده مبرد در اواپراتور و کندانسر می‌باشد.

مثال : دمای ماده مبرد در کندانسر و اواپراتور یک سیستم به ترتیب  $52$  و  $5$  درجه سلسیوس است، ضریب عملکرد چند است؟

$$COP = \frac{273 + 5}{52 - 5} = \frac{278}{47} = 5.9$$

## ۲-۷- نمودار فازی فشار - آنتالپی

## روش آموزش



هنرآموزان گرمی در فصل اول در مورد نمودار فشار - آنتالپی صحبت شده است در این فصل این نمودار را با چرخه سردسازی تطبیق داده برای مثال می توان با توجه به شکل ۲-۱۰ نشان داد که هر کدام از چهار بخش اصلی در کدام قسمت نمودار قرار می گیرند سپس می توان نشان داد که گرما در کدام قسمت جذب و در کدام قسمت دفع و در کدام قسمت کار انجام می گیرد.

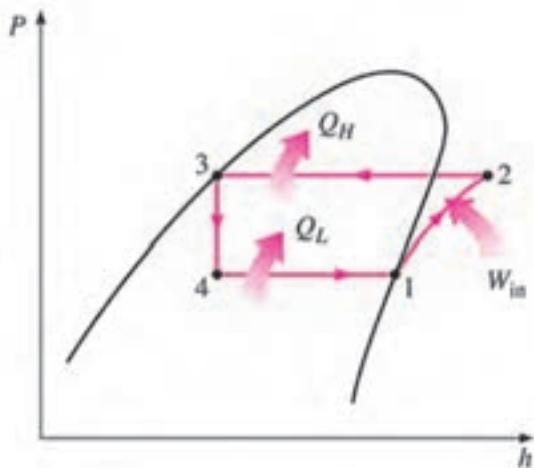
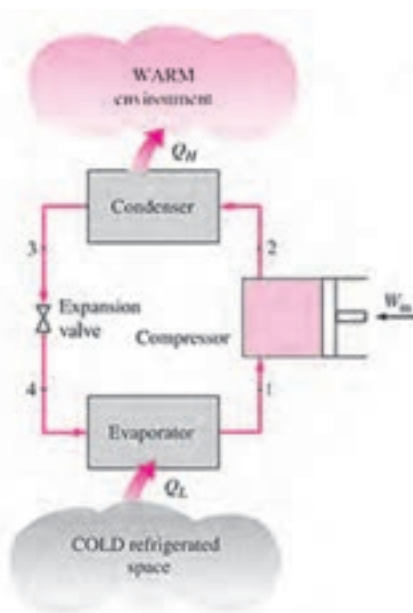
شکل ۲-۱۰- نمودار فشار - آنتالپی گاز R134

سپس با ترسیم یک چرخه سردسازی تراکمی و در کنار آن یک نمودار Ph نقاط ورود و خروج به دستگاه ها را مشابه سازی نموده و یک سیکل ایده آل را رسم می کنیم. (شکل ۲-۱۱) چون در واقع سیکل های ما ایده آل نیست یک سیکل واقعی را نیز نشان داده (شکل ۲-۱۲) و تفاوت آن را در نقاط سوپرهیت و ساب کولد بیان می کنیم. در نهایت برابر شکل ۲-۱۴ روش ترسیم یک نمودار Ph را توضیح می دهیم.

## دانش افزایی

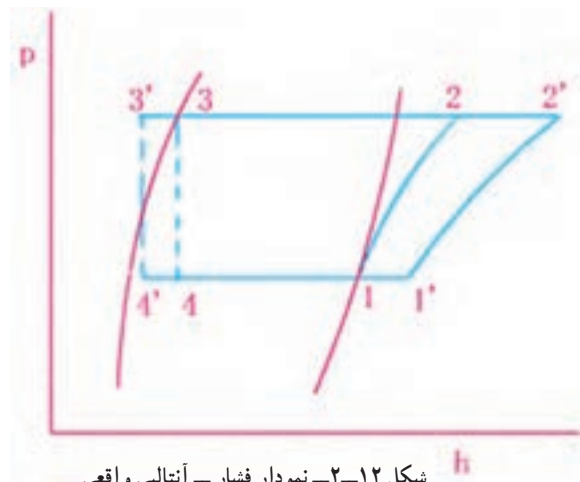
## بررسی یک چرخه سردساز با نمودار فازی فشار - آنتالپی

در فصل اول گفته شد که یکی از نمودارهای فازی پرکاربرد، نمودار فازی فشار - آنتالپی (P-h) می باشد. در یک چرخه سردسازی تراکمی این نمودار در شکل ۲-۱۱ آمده است.



شکل ۲-۱۱- نمودار فشار - آنتالپی

همان‌طور که از روی نمودار مشخص است گاز در نقطه ۱ در حالت فشار و دمای اشباع قرار دارد و پس از اینکه توسط کمپرسور فشار گاز افزایش یافت و کار بر روی آن انجام گرفت در نقطه ۲ بیشترین دما را داشته با همان دما وارد کندانسر می‌شود. در اثر فشار بالا در کندانسر ماده مبرد گرمای خود را از دست داده و کم کم تقطیر شده تا در نقطه ۳ تمام آن به صورت مایع درآید در این حالت مایع در فشار و دمای اشباع قرار دارد. مایع در این نقطه وارد شیر انبساط شده و در اثر پدیده خفکان<sup>۱</sup>، فشار به شدت افت کرده تا در نقطه ۴ به فشار اوپراتور برسد. در اثر فشار کم در اوپراتور ماده مبرد گرمای اطراف خود را جذب کرده و کم کم به صورت بخار در می‌آید تا به نقطه ۱ رسیده و چرخه تکرار شود.



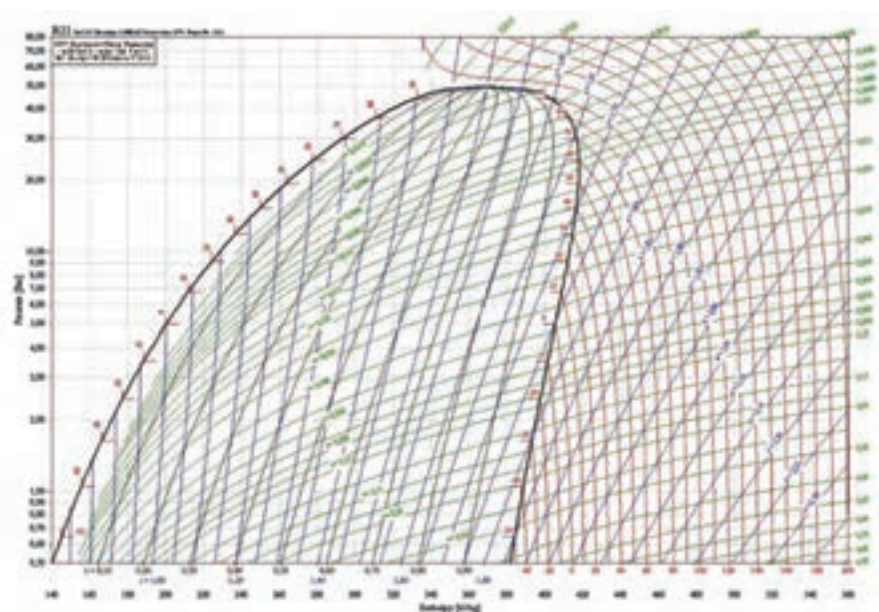
شکل ۱۲-۲ نمودار فشار - آنتالپی واقعی

همان‌گونه که مشاهده می‌شود این نمودار در حالت ایده‌آل رسم شده است و ما در واقعیت برای افزایش بهره‌وری تا جایی که مقدور است دمای گاز خروجی اوپراتور را سوپرهیت و دمای مایع خروجی از کندانسر را ساب‌کولد می‌نماییم. (شکل ۱۲-۲)

اما یک نمودار فشار - آنتالپی را چگونه رسم کنیم :

برای رسم یک نمودار چنانچه ما فقط دما را در هر بخش داشته باشیم می‌توانیم با توجه به نمودار خام ماده مبرد چرخه را رسم کنیم. (شکل ۱۳-۲)

توجه کنید که فشار در این جدول‌ها مطلق است.



شکل ۱۳-۲ نمودار فشار - آنتالپی  
گاز R۲۲

برای مثال برای R۲۲ در جدول دما و فشار آمده است :

ورود به کمپرسور	ورود به شیر انبساط	خروجی کندانسر	اوپراتور	R۲۲
-۱۰	۲۵	۳۰	-۱۵	دما (درجه سلسیوس)

برای رسم نمودار برایشکل (۱۴-۲) پنج مرحله را طی می کنیم :

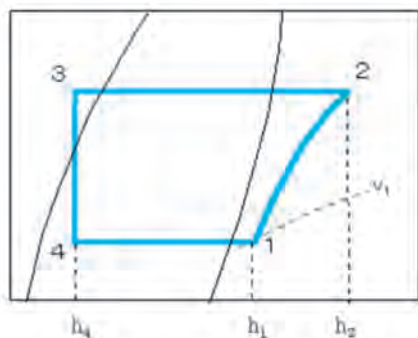
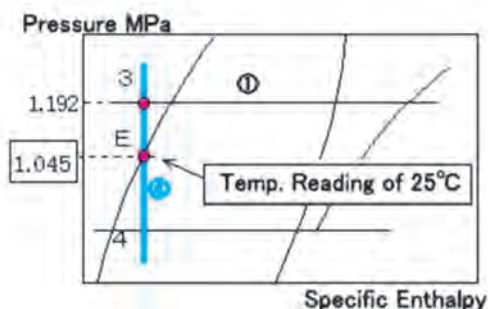
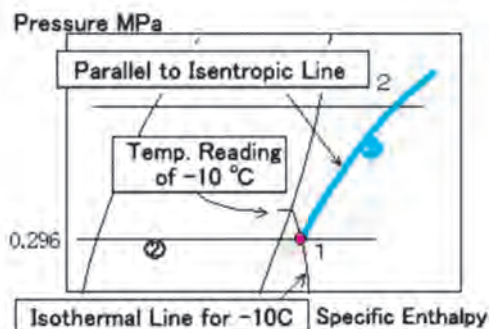
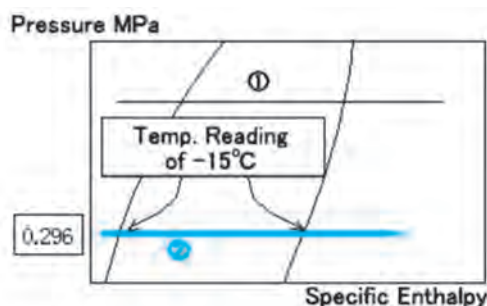
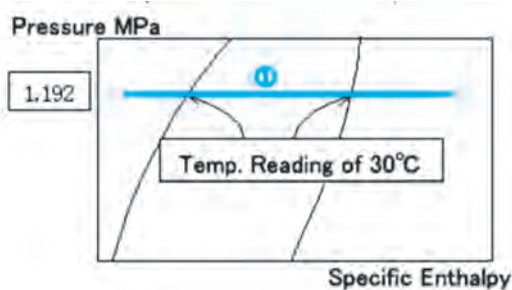
مرحله اول رسم خط کندانسر : خط ۱ که در دمای کندانسر (۳۰) می باشد را می کشیم .

مرحله دوم رسم خط اوپراتور : خط ۲ که در دمای اوپراتور (-۱۵) می باشد را می کشیم .

مرحله سوم رسم خط کمپرسور : چون گاز ۵ درجه سوپرهیت شده محل تقاطع خط (۱۰-) با خط ۲ را با نقطه ۱ مشخص می کنیم . سپس از نقطه ۱ روی خط آنتروپی ثابت (خط ۳) حرکت کرده تا نقطه ۲ به دست آید .

مرحله چهارم رسم خط شیر انبساط : روی خط عمودی دمای ۲۵ درجه حرکت کرده تا خط های ۱ و ۲ را در نقاط ۳ و ۴ قطع کند .

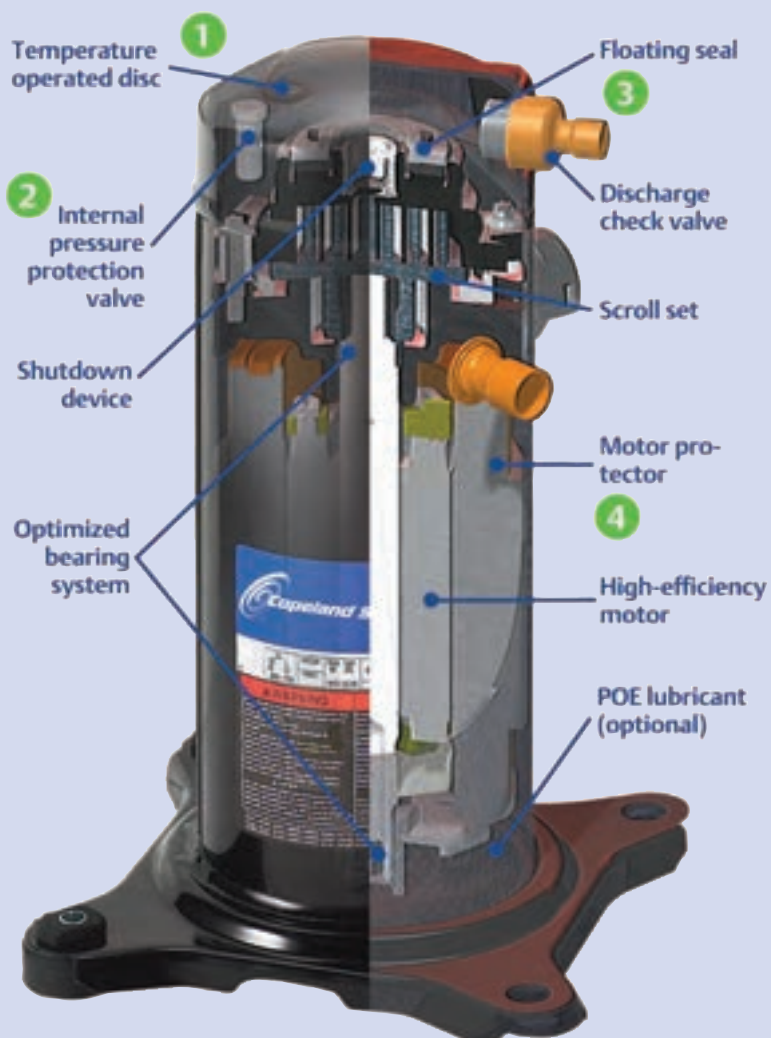
مرحله پنجم : نقطه های به دست آمده ۱ تا ۴ را به هم متصل نمایید .



شکل ۱۴-۲- مراحل رسم نمودار فشار - آنالپی



## کمپرسورها



### پیش آزمون

در ابتدای کلاس با مطرح نمودن این پرسش که: «چه دستگاه‌هایی در مایعات یا گازها اختلاف فشار ایجاد نموده و سبب افزایش فشار و جابه‌جایی آنها می‌شود و اینکه آیا در زندگی روزمره با آنها برخورد داشته‌اید» توجه هنرجویان را به موضوع درس جلب کرده و سپس مقدمه شروع مبحث کمپرسورها را با این مطالب بیان نماییم:

برای انتقال مایعات از پمپ استفاده می‌شود که یکی از کاربردهای آن بالا کشیدن آب از چاه می‌باشد. همچنین برای تراکم هوا و گازهای دیگر از کمپرسور استفاده می‌شود که یکی از موارد استفاده از آن کمپرسور کوچکی است که هوا را به داخل آکواریوم می‌دمد. اما در سیکل تبرید کمپرسور:

مصرف انرژی الکتریکی، گاز مبرد را از اواپراتور مکش می‌کند و سپس آن را فشرده ساخته و وارد کندانسر می‌نماید.

### ۳-۱- انواع کمپرسورهای متداول سیستم تبرید

۱- کمپرسور سانتریفوز (گریز از مرکز)

۲- کمپرسور پیچی (اسکرو)

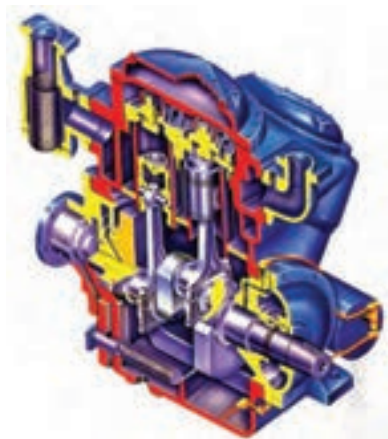
۳- کمپرسور طوماری (اسکرو)

۴- کمپرسور تناوبی (پیستونی)

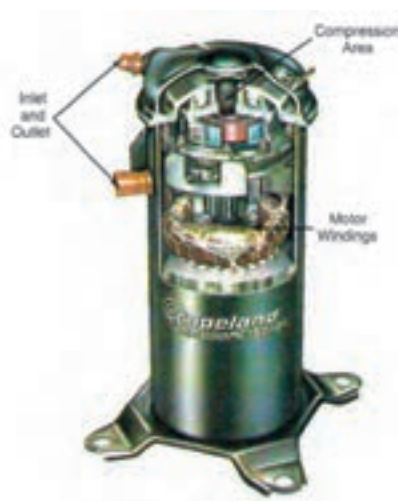
شکل ۳-۱ انواع کمپرسورهای متداول را نشان می‌دهد.



الف) کمپرسور سانتریفوز



د) کمپرسور تناوبی



ج) کمپرسور طوماری



ب) کمپرسور پیچی

۱-۱-۳- کمپرسور گریز از مرکز: در این نوع کمپرسور همان طور که از نام آن مشخص است ارتفاع نظیر فشار از نیروی گریز از مرکز ناشی می شود. (شکل ۳-۲)



شکل ۳-۲- کمپرسور سانتریفوژ

روتورهای گردنده با سرعت زیاد با پره هایی که به گونه خاصی طراحی شده اند تا ماده سرمازا را از واحد تبخیر می گیرند (مکش) و مولکول های آن را با سرعت بسیار زیاد از محیط روتور به خارج از آن می رانند (شکل ۳-۳). تعدادی از مبردهای رایج در کمپرسورهای گریز از مرکز، مبردهای R-۱۱، R-۱۲، R-۱۳، R-۵۰ و آمونیاک می باشند.



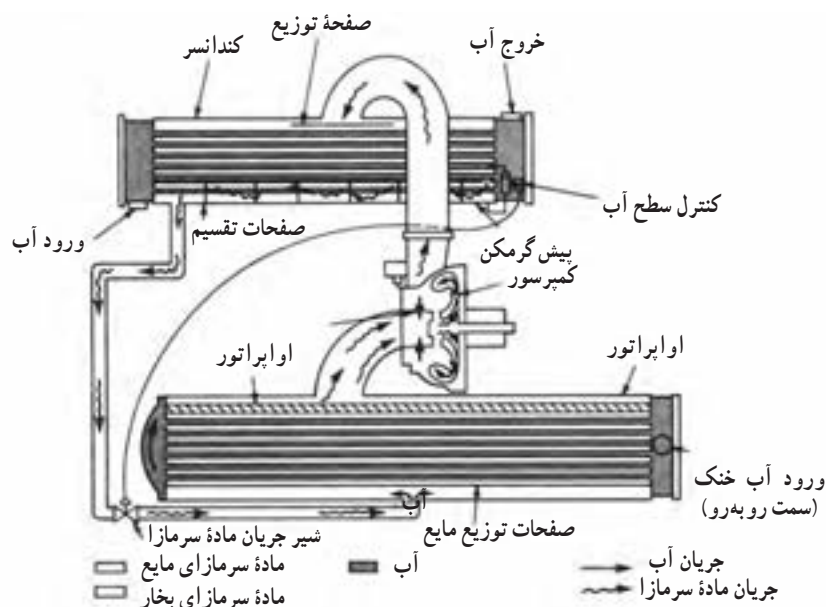
شکل ۳-۳- ماده سرمازا از مرکز وارد پروانه شده و در اثر نیروی گریز از مرکز از محیط روتور خارج می شود.

مواد سرمازای مورد استفاده در کمپرسورهای سانتریفوژ دارای چگالی بخار کم و حجم مخصوص زیاد هستند زیرا کمپرسورهای گریز از مرکز برای انتقال حجم بسیار زیادی از ماده سرمازایی که چگالی بخار کمی دارد بسیار مناسب اند. گاهی لازم است که تراکم در دو یا چند مرحله صورت گیرد و سرعت چرخش باید بسیار زیاد باشد تا نیروی گریز از مرکز لازم برای تولید ارتفاع



نظیر فشار مورد نیاز حاصل شود.

سرعت چرخش کمپرسورهای گریز از مرکز از ۴۰۰۰ دور در دقیقه برای ماشین‌هایی که ظرفیت آنها بسیار بالاست (۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ تن) تا ۸۰۰۰ rpm برای ماشین‌های کم ظرفیت (۵۰ تا ۱۰۰ تن) متغیر است. امتیاز اصلی کمپرسورهای گریز از مرکز ظرفیت زیاد آنها می‌باشد. (شکل ۳-۴)



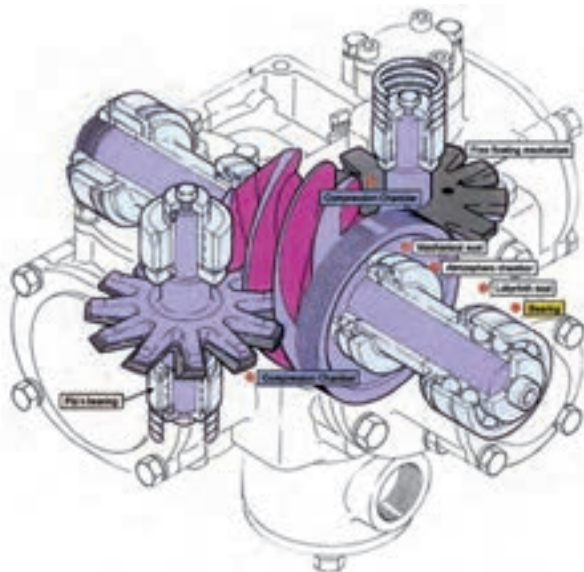
شکل ۳-۴- کمپرسور گریز از مرکز سانتریفوژ در یک چیلر

## ۲-۱-۳- کمپرسورهای پیچی (اسکرو): دو طرح مختلف برای کمپرسورهای پیچی در نظر گرفته شده است.

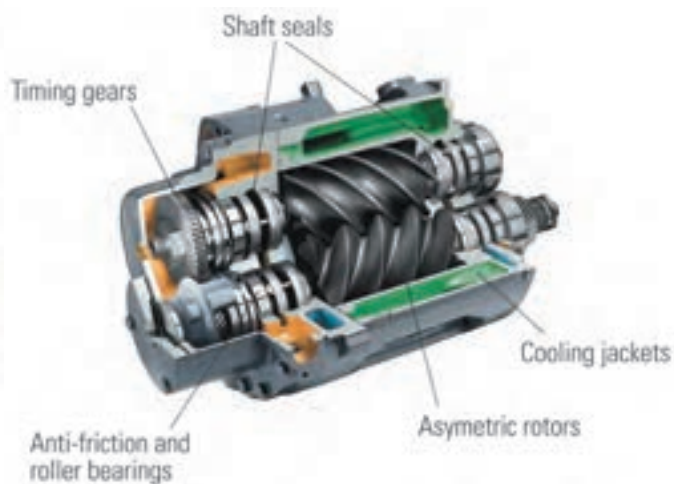
۱- کمپرسور پیچی جفت (دوبل)

۲- کمپرسور پیچی منفرد

شکل ۳-۵ دو نوع کمپرسور پیچی را نشان می‌دهد.



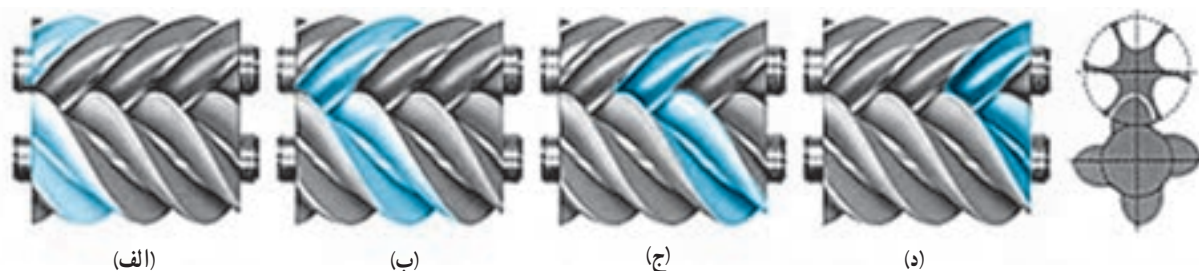
(ب) کمپرسور پیچی منفرد



(الف) کمپرسور پیچی دوبل

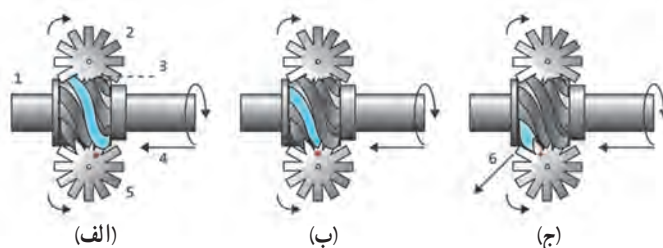
شکل ۳-۵

در کمپرسورهای پیچی جفت عمل تراکم توسط دو رتور ماریپیچ انجام می‌گیرد (شکل ۳-۶). در اثر گردش رتورها ماده سرمازا به داخل شیارهای ماریپیچ رتور مکیده می‌شود (۳-۶ الف) و با توجه به جهت چرخش رتور به سمت جلو فشرده می‌شود (۳-۶ ب و ج) و در انتهای دنده‌های ماریپیچ به علت اینکه فضای بین دنده‌های رتور به حداقل رسیده ماده سرمازا کاملاً متراکم شده و با فشار از انتهای شبکه ماریپیچ خارج می‌شود (شکل ۳-۶ د).



شکل ۳-۶- نحوه تراکم ماده سرمازا در کمپرسور پیچی جفت

اما در کمپرسورهای پیچی منفرد عمل تراکم توسط یک رتور ماریپیچ و دو چرخ ستاره‌ای صورت می‌گیرد (شکل ۳-۷). در اثر چرخش سریع رتور و چرخ ستاره‌ای گاز مبرد به داخل شیارهای رتور ماریپیچ مکیده شده (شکل ۳-۷ الف) و در اثر کاهش حجم فضای ماریپیچ رتور فشار مبرد افزایش یافته و در انتها با فشار زیاد خارج می‌شود (شکل ۳-۷ ج).



شکل ۳-۷- نحوه تراکم ماده سرمازا در کمپرسور پیچی منفرد

مزایای این نوع کمپرسورها عبارت‌اند از :

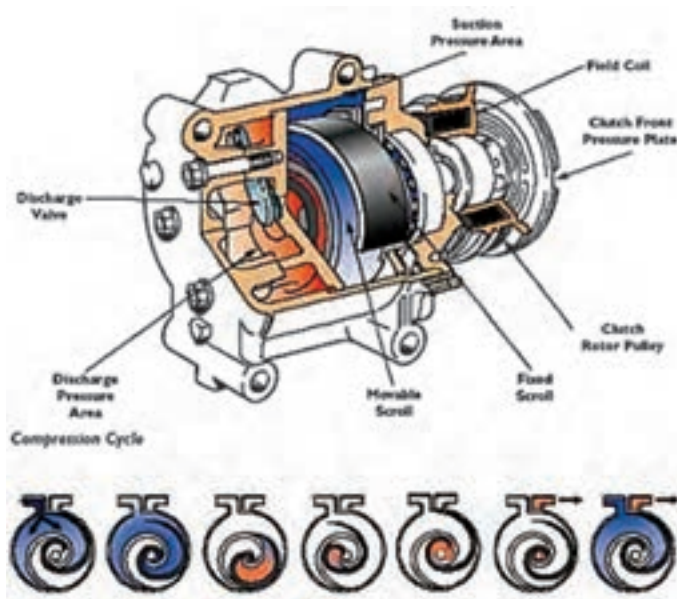
- ۱- عملکرد آرام این نوع کمپرسورها که ناشی از تراکم چرخشی محورهای کمپرسور است.
  - ۲- به علت حرکت دورانی حلزون‌های کمپرسور لرزش آن بسیار کم می‌باشد.
  - ۳- به علت هم پوشانی سیکل مکش و دهش کمپرسورهای پیچی، جریان مبرد یکنواخت و مستمر می‌باشد.
  - ۴- کمپرسورهای پیچی حدود یک دهم کمپرسورهای تناوبی قطعه متحرک دارند لذا خرابی کمپرسور پیچی نسبت به کمپرسورهای تناوبی کمتر بوده و تعمیرات آن راحت‌تر می‌باشد.
  - ۵- در کمپرسورهای پیچی فضای مرده وجود ندارد لذا راندمان حجمی این نوع کمپرسورها بالا می‌باشد.
- از معایب کمپرسورهای پیچی می‌توان به دو مورد اشاره نمود :
- ۱- سرعت گردش بالای محور کمپرسور
  - ۲- نیاز این نوع کمپرسورها به روغن کاری مخصوص

۳-۱-۳- کمپرسورهای طوماری (اسکرول): کمپرسور اسکرول از دو قطعه اصلی اسکرول ثابت و اسکرول متحرک تشکیل شده است (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸- اسکرول ثابت و اسکرول متحرک

این دو قطعه در داخل یکدیگر قرار گرفته‌اند، اسکرول متحرک در داخل اسکرول ثابت حرکت کرده و با توجه به فاصله لبه‌های هر دو قطعه گاز مبرد از قسمت سمت چپ مکیده شده و با فشار از مرکز اسکرول با فشار زیاد خارج می‌شود. این قسمت به لوله‌ سمت راست که لوله دهش می‌باشد متصل شده است (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹- مراحل کار کمپرسور اسکرول

مزایای کمپرسور اسکرول:

- ۱- بازده کمپرسورهای اسکرول ۱۰ تا ۱۵ درصد بیشتر از کمپرسورهای پیستونی است.
- ۲- تخلیه گاز به صورت پیوسته و مدام و به طور یکنواخت انجام می‌شود.

۳- قطعات متحرک کمپرسور اسکرو بسیار کم بوده و امکان خرابی این نوع کمپرسورها نسبت به کمپرسورهای پیستونی بسیار کمتر می باشد.

۴- ارتعاش و سروصدای این نوع کمپرسورها کمتر از کمپرسورهای پیستونی است.  
شکل ۱۰-۳ یک کمپرسور اسکرو را نشان می دهد.



شکل ۱۰-۳- کمپرسور اسکرو

۴-۱-۳- **کمپرسورهای رفت و برگشتی:** برای جابه جا کردن مواد سرمازی که چگالی بخار آنها بسیار زیاد است و همچنین مواد سرمازی که فشار چگالش آنها نسبتاً بالاست، کمپرسور رفت و برگشتی (پیستونی) مناسب ترین دستگاه محسوب می شود. آمونیاک، R-۱۲، R-۱۳۴a، R-۴۱۰، R-۴۰۷، R-۲۲، R-۵۰۰ و R-۵۰۲ جزء مواد سرمازی هستند که برای تراکم آنها کمپرسور رفت و برگشتی بهترین راندمان را خواهند داشت.

این کمپرسورها براساس متغیرهای زیر طبقه بندی می شوند:

۱- نوع محرک (وسیله چرخاننده یا گرداننده)

۲- آرایش سیلندر و پیستون

۳- سیستم های خنک کننده و روغن کاری

۴-۱-۲-۳- **نوع محرک:** کمپرسورها به کمک الکتروموتور کار می کنند اما در سیستم های تهویه مطبوع وسایل حمل و نقل عمومی مانند اتوبوس ها، قطارها، هواپیماها و کشتی ها نیرو یا توان محرک، به وسیله موتورهای درون سوز تأمین می شود. کمپرسورهای مجهز به ماشین بخار نیز موجود است ولی این نوع کمپرسورها فقط در جاهایی به کار می رود که از بخار آب برای مصارف دیگر نیز استفاده می شود.

کمپرسور را می توان به وسیله موتور هم محور (کوپلینگ مستقیم) یا موتوری که محور آن جداست (با استفاده از فلکه و تسمه) چرخاند.

این نوع کمپرسورها را نوع باز می نامند. ممکن است موتور محرک مستقیماً کمپرسور را بگرداند و موتور درون کمپرسور قرار گیرد و با آن یکپارچه شده است. این نوع کمپرسورها از نوع بسته و نیمه بسته می باشند. کمپرسورهای بسته از لحاظ جاگیری بسیار مناسب اند و فضای اندکی را اشغال می کنند و در صورت خراب شدن اجزای داخل کمپرسور قابل تعمیر نمی باشند اما کمپرسورهای نیمه بسته قابل تعمیر می باشند.

امتیاز مشخص کمپرسورهای بسته و نیمه بسته مصنویت از نشت ماده سرمازا و فراغت از دردهای مربوط به فلکه و تسمه است.

کاستی‌های کمپرسورهای بسته :

- ۱- محدودیت ظرفیت
  - ۲- لزوم چرخیدن کمپرسور با همان سرعت گردش موتور
  - ۳- عدم دسترسی برای تعمیر و نگهداری
  - ۴- انتقال گرمای حاصل از کار موتور به سیکل تبرید
- آرایش سیلندر و پیستون

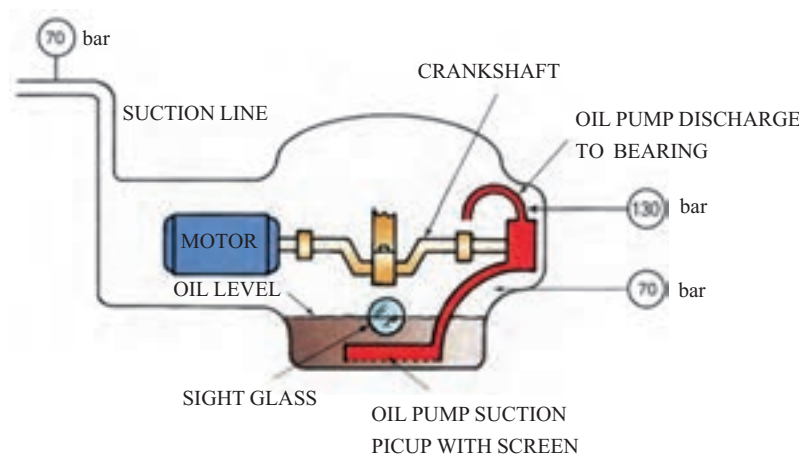
بیشتر کمپرسورهای رفت و برگشتی که امروزه در سیستم‌های تهویه مطبوع به کار می‌روند از نوع یک طرفه اند یعنی فقط با یک بار حرکت پیستون به طرف بالا گاز تراکم می‌شود. ممکن است سیلندر عمود قرار گیرد یا به شکل V (خورجینی) یا V / W باشد سرعت چرخشی ۶۰۰ تا ۱۸۰۰ rpm متداول است و گاهی از ماشین‌های با سرعت ۳۶۰۰ rpm نیز استفاده می‌شود.

### خنک کردن و روغن کاری

سیلندر و سرسیلندر کمپرسور را می‌توان با آب یا هوا خنک کرد. معمولاً واحدهای خیلی بزرگ را با آب خنک می‌کنند. آب در بدنه دو جداره سیلندر و سرسیلندر جریان دارد و بیشتر کمپرسورهای متداول در سیستم‌های تهویه مطبوع با هوا خنک می‌شوند. جدار سیلندر و سرسیلندر را پره دار می‌سازند تا سطح زیادی داشته باشند و گرما را به خوبی منتقل کنند. کمپرسورهای بسته به وسیله بخار مکش خنک می‌شوند.

کمپرسورها را با استفاده از سیستم پاشش ساده و سیستم‌های تغذیه اجباری به کمک پمپ روغن کاری می‌کنند. در کمپرسورهای کوچک منحصراً از سیستم روغن کاری پاششی استفاده می‌شود اما در کمپرسورهای نیمه بسته و باز روغن کاری توسط پمپ روغن انجام می‌گیرد. بدلیل اهمیت روغن کاری می‌بایستی از وجود روغن کافی در کمپرسور مطمئن شد به همین منظور بر روی بدنه کمپرسور شیشه‌ای قرار دارد تا بتوان سطح روغن داخل کمپرسور را کنترل نمود و در صورت پایین آمدن سطح روغن از اندازه تعیین شده نسبت به شارژ روغن اقدام نمود.

همچنین برای اطمینان از کار صحیح پمپ روغن از کلید کنترل فشار استفاده می‌شود تا در صورت خراب شدن پمپ روغن و نبودن فشار مناسب جهت روغن کاری اجزاء کمپرسور، توسط کنترل فشار روغن کمپرسور خاموش می‌شود.





## ۳-۲- روش‌های کنترل ظرفیت

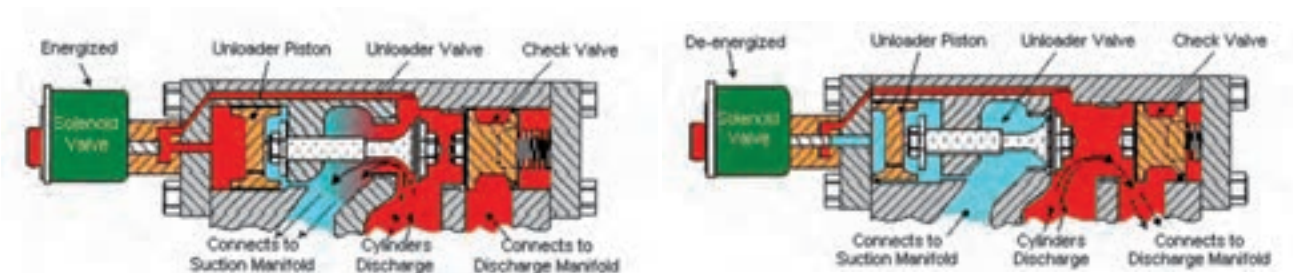
سیستم‌های سردسازی ۱۰ تنی و بزرگ‌تر، اغلب به وسایلی برای کنترل ظرفیت کمپرسور نیاز دارد. امروزه چهار روش برای این کار متداول است:

- ۱- استفاده از چند کمپرسور
- ۲- بی‌بار کردن سیلندر
- ۳- کنترل جریان ماده سرمازا، مانند هدایت گاز داغ از مسیر کنار گذر یا تنظیم فشار واحد تبخیر
- ۴- کنترل سرعت دوران کمپرسور (rpm)

**۳-۲-۱- استفاده از چند کمپرسور:** در کمپرسورهای چند واحدی باید وسایلی برای کنترل ظرفیت و تغییرات توان نصب کرد. معمولاً یک یا چند کمپرسور کار می‌کنند و یکی از این واحدها در مواقع لازم روشن یا خاموش می‌شوند تا با نوسان‌های بار مقابله کنند. برای متوقف کردن یک یا چند واحد معمولاً از فشار واحد تبخیر استفاده می‌شود. هرازگاه واحد در حال کار را تغییر می‌دهند تا فقط یک واحد فرسوده نشود. در چنین سیستمی باید آرایش مداربندی واحد تبخیر دقیق باشد و ظرفیت کندانسر کنترل شود تا بتوان بین بقیه اجزای سیستم و ظرفیت کاهش یافته کمپرسور موازنه برقرار کرد.

**۳-۲-۲- بی‌بار کردن سیلندر:** در کمپرسورهای چند سیلندر (۴ سیلندر یا بیشتر) ظرفیت کمپرسور به جابجایی حجمی گاز مبرد توسط سیلندرها کمپرسور بستگی دارد لذا می‌توان ظرفیت هر کمپرسور را به آسانی با بای‌پاس کردن گاز خروجی از هر سیلندر کاهش داد.

شکل ۳-۱۱ یک نمونه از شیر بی‌بار کننده سیلندر کمپرسور را نشان دهد. همان‌طور که در شکل ۳-۱۱-الف دیده می‌شود کمپرسور در حال کار معمول خود می‌باشد. گاز خروجی از سیلندر کمپرسور با هل دادن شیر یک طرفه از سمت راست تخلیه می‌شود. با کاهش ظرفیت سیستم برودتی و به منظور خارج نمودن این سیلندر از چرخه تراکم گاز مطابق شکل ۳-۱۱-ب شیر برقی مغناطیس می‌شود. در این حالت مسیر گاز دهش به پشت شیر بی‌بار کننده باز شده و آنرا به سمت راست حرکت می‌دهد. در این وضعیت مسیر برگشت گاز که در سمت چپ بی‌بار کننده قرار دارد باز شده و گاز از این مسیر به قسمت مکش کمپرسور برگشت داده می‌شود. بر روی تمامی سیلندرهای کمپرسور یک نمونه از این شیر بی‌بار کننده نصب می‌شود تا در صورت کاهش تدریجی بار به تدریج سیلندرهای کمپرسور از مدار خارج شوند.



ب) شیر بی‌بار کننده در وضعیت بی‌بارکنندگی سیلندر کمپرسور

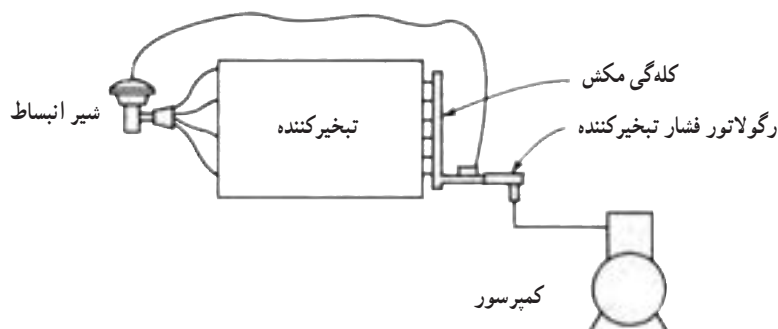
الف) شیر بی‌بار کننده در حالت کار معمول کمپرسور

شکل ۳-۱۱- طرز کار شیر بی‌بار کننده

وظیفه کنترل عملکرد شیرهای بی‌بارکننده که بر روی هریک از سیلندرها کمپرسور نصب شده بر عهده ترموستات چند مرحله‌ای می‌باشد. این ترموستات به گونه‌ای طراحی شده است که با کاهش دمای سردخانه در هر مرحله یکی از شیرهای بی‌بارکننده را مغناطیس می‌کند تا توسط آن سیلندر کمپرسور از مدار تراکم گاز خارج شود.

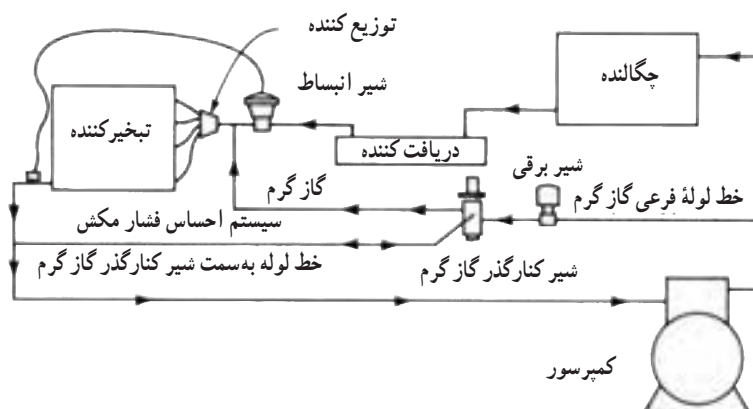
### ۳-۲-۳- کنترل جریان ماده سرمازا : با کنترل جریان ماده سرمازا به دو روش می‌توان ظرفیت دستگاه را کنترل کرد.

در روش اول از رگولاتور تنظیم کننده فشار واحد تبخیر برای کاهش فشار واحد تبخیر به کمترین مقدار ممکن در هنگام کاهش بار واحد تبخیر استفاده می‌شود. (شکل ۳-۱۲)



شکل ۳-۱۲- نمودار نشان‌دهنده روش نصب رگولاتور فشار واحد تبخیر برای نگه داشتن فشار واحد تبخیر در بالاتر از حداقل لازم برای کار در حالت بار پایین.

در روش دوم گاز گرم از سمت تخلیه کمپرسور از طریق کنار گذر به نقطه‌ای بین ورودی واحد تبخیر - واحد توزیع و شیر انبساط جریان پیدا می‌کند. گاز گرم باری جزئی برای واحد تبخیر است که پمپ می‌شود شیر انبساط از جریان مایع بکاهد و در نتیجه ظرفیت واحد تبخیر را کم کند. فشار مکش کمپرسور حفظ می‌شود ولی ظرفیت خالص واحد تبخیر یا سیستم تهویه مطبوع کاهش می‌یابد. (شکل ۳-۱۳)



شکل ۳-۱۳- نمودار نشان‌دهنده طرز کار شیر کنارگذر گاز گرم برای تأمین گاز گرم به صورت «بار کاذب» برای واحد تبخیر، به منظور کنترل ظرفیت کمپرسور در شرایطی که بار پایین است.

۴-۲-۳- کنترل سرعت کمپرسور : امروزه می توان توسط اینورتر سرعت گردش محور کمپرسور را کنترل نمود و در صورت کاهش بار با کم کردن سرعت کمپرسور، حجم جابه جایی میرد را کاهش داد.

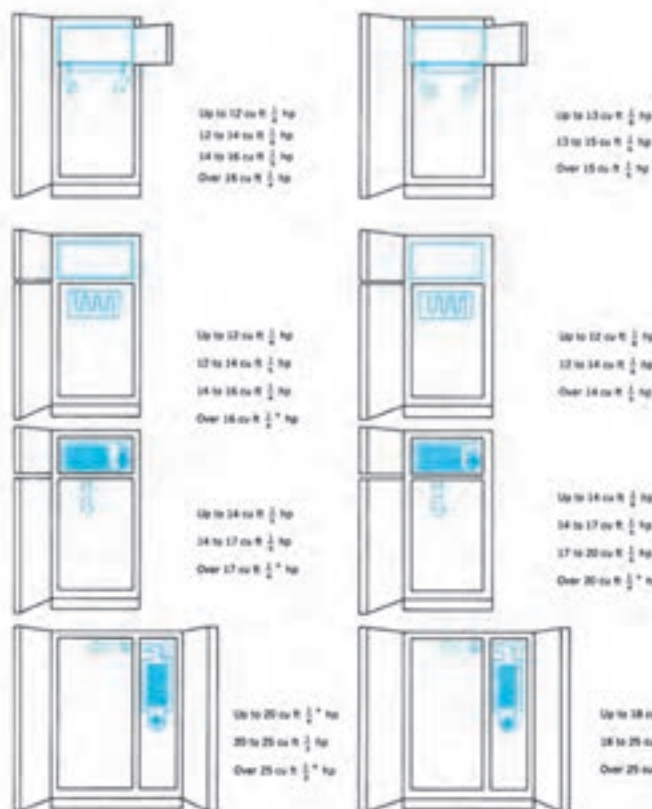
### ۳-۳- تعیین قدرت کمپرسور

برای تعیین قدرت کمپرسور یخچال و یخچال فریزر از شکل ۱۶-۳ استفاده می شود. ابتدا می بایستی ۳ مشخصه یخچال یا یخچال فریزر مشخص گردد.

۱- نوع یخچال یا یخچال فریزر

۲- نوع عایق به کار رفته در بدنه یخچال

۳- حجم داخل یخچال



شکل ۱۶-۳- قدرت کمپرسور برای انواع مختلف یخچال و فریزر، با دو نوع عایق پشم شیشه و فوم

**مثال :** قدرت کمپرسور مورد نیاز برای یک یخچال دو در را که در بدنه یخچال از عایق پلی یورتان استفاده شده و حجم داخلی آن ۱۳ فوت مکعب است بدست آورید.

**جواب :** با استفاده از شکل ۱۶-۳ در ردیف دوم برای یخچال دو در با عایق فوم و با توجه به حجم ۱۳ فوت مکعب قدرت کمپرسور  $\frac{1}{2}$  اسب بخار بدست می آید.

یک فریزر صندوقی خوابیده با عایق پشم شیشه به ابعاد  $100 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$  ساخته شده است، قدرت کمپرسور مورد نیاز برای این فریزر را بدست آورید.

**جواب :** ابتدا حجم داخل فریزر را بدست می آوریم :

$$V = L \times b \times h$$

$$V = 1 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 0.7 \text{ m} = 0.35 \text{ m}^3$$

سپس حجم مورد نظر را به فوت مکعب تبدیل می نماییم.

$$1 \text{ m}^3 = 35.3 \text{ ft}^3$$

$$0.35 = x$$

$$1 \times x = 0.35 \times 35.3$$

$$V = 12.36 \text{ ft}^3$$

حال با استفاده از شکل ۱۶-۳ قدرت کمپرسور  $\frac{1}{2}$  hp انتخاب می شود.



**مثال:** حجم یک یخچال دو در با عایق پشم شیشه ۳۰۰ لیتر می‌باشد، قدرت کمپرسور مناسب برای این یخچال چند اسب بخار است.

$$۳۰۰ \quad ۱ \text{ m}^3 = ۱۰۰۰ \text{ lit}$$

$$x = ۳۰۰$$

$$x \times ۱۰۰۰ = ۱ \times ۳۰۰$$

$$x = \frac{۳۰۰}{۱۰۰۰} = ۰/۳ \text{ m}^3$$

$$۱ \text{ m}^3 = ۳۵/۲۸ \text{ ft}^3$$

$$۰/۳ = x$$

$$x \times ۱ = ۰/۳ \times ۳۵/۲۸$$

$$x = ۱۰/۵۸ \text{ ft}^3$$

با توجه به جدول ۳-۱۶ قدرت  $\frac{1}{6}$  اسب انتخاب می‌شود.

#### تحقیق

از هنجاریان بخواهید نوع کمپرسور هریک از وسایل برودتی زیر را مشخص نمایند.

اسکرول	اسکرو	تناوبی نیمه بسته	تناوبی بسته	نوع وسیله	
			✓	یخچال	۱-
				یخچال فریزر	۲-
				آب سردکن	۳-
				کولرگازی پنجره‌ای	۴-
				کولرگازی اسپلیت	۵-
				سردخانه کوچک فروشگاه	۶-

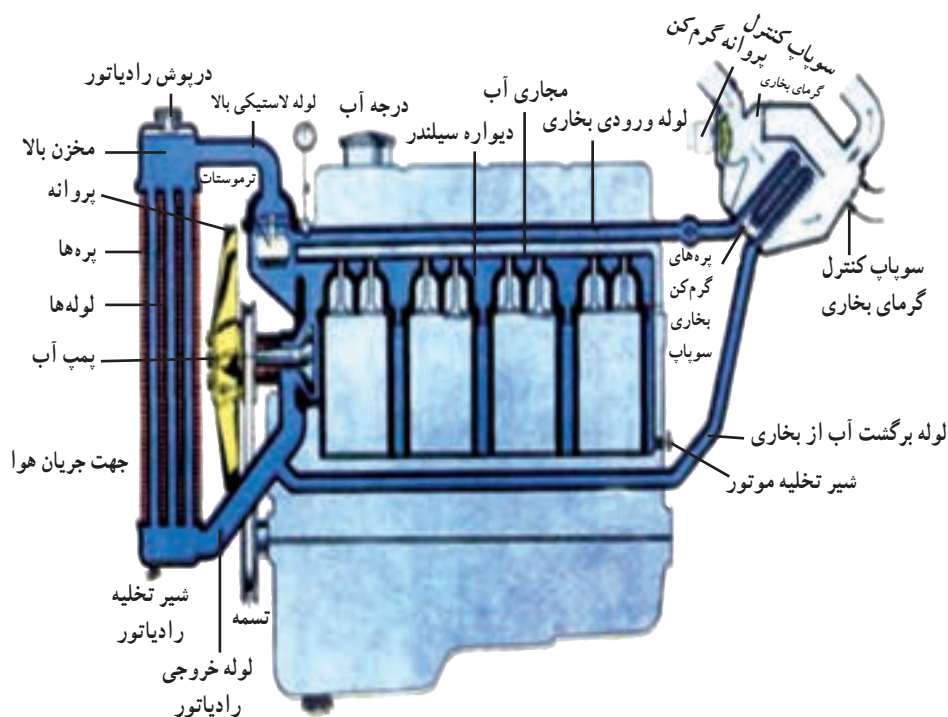
## کندانسرها



## پیش‌آزمون

هنرآموزان محترم در شروع کلاس با طرح این سؤال که «کدام یک از شما می‌توانید علت استفاده از رادیاتور در اتومبیل را بیان کند» توجه هنرجویان را به موضوع درس جلب نمائید.

احتراق بنزین در سیلندر موتور ماشین دمایی در حدود ۲۰۰۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد می‌کند. در صورتی که این دمای بالا دفع نشود به اجزای موتور صدمه خواهد زد لذا از آب برای انتقال گرما استفاده می‌شود. آب در مسیرهایی که در اطراف سیلندر و سرسیلندر تعبیه شده حرکت کرده و پس از جذب گرمای بدنه موتور به وسیله لوله‌های لاستیکی از بالا وارد رادیاتور می‌شود تا در اثر گردش هوا که توسط یک فن ایجاد می‌شود گرمای آب را به هوا منتقل نماید. برای افزایش سرعت حرکت آب و انتقال بیشتر گرما از یک پمپ برای به گردش درآوردن آب استفاده می‌شود. (شکل ۴-۱)



شکل ۴-۱- مسیر حرکت آب در جداره‌های موتور اتومبیل

در اواپراتور بر اثر تبخیر مبرد گرمای یخچال جذب مبرد می‌شود، همچنین در کمپرسور بر اثر تراکم گاز مبرد دمای آن افزایش می‌یابد لذا برای دفع گرمای جذب شده در اواپراتور و گرمای حاصل از تراکم مبرد در کمپرسور از کندانسر استفاده می‌شود.

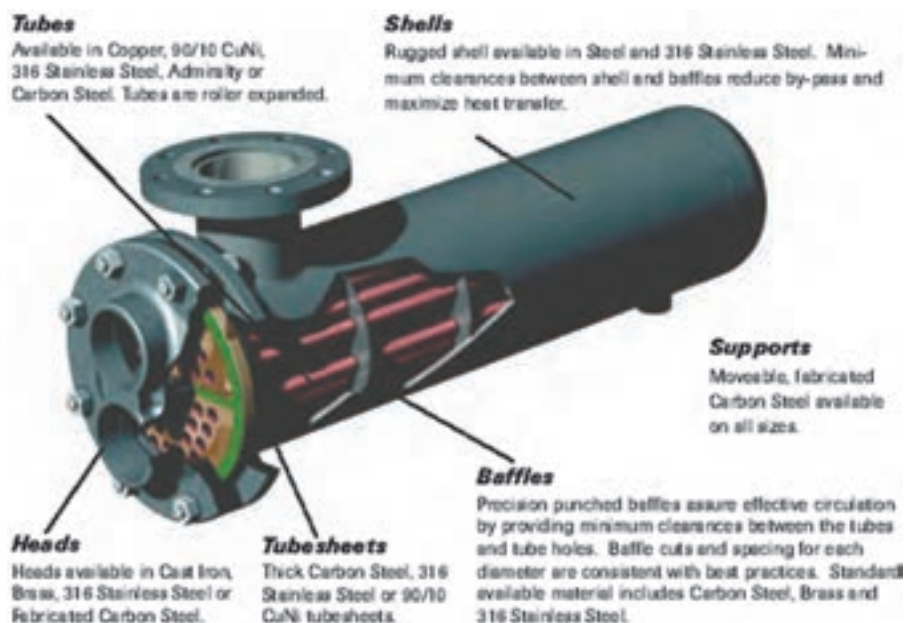
## ۴-۱- انواع کندانسرها

کندانسرها به سه دسته تقسیم می شوند (شکل ۴-۲ الف، ب و ج).

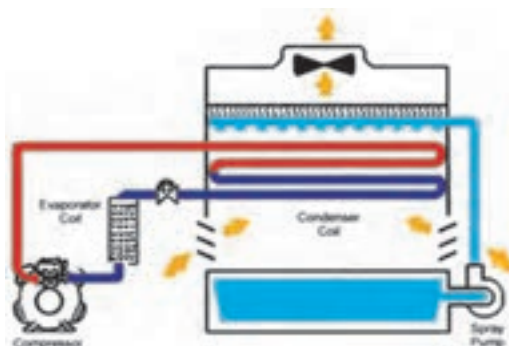
۱- کندانسر هوایی

۲- کندانسر آبی

۳- کندانسر تبخیری



الف) کندانسر آبی



ج) کندانسر تبخیری



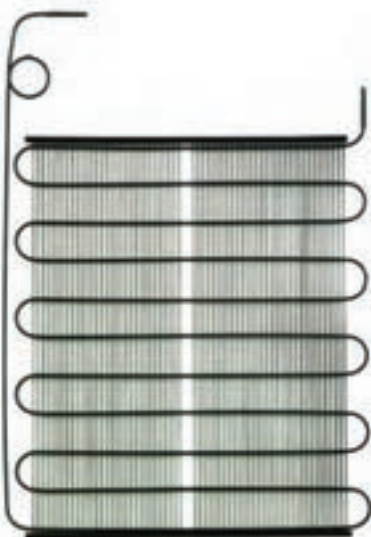
ب) کندانسر هوایی

شکل ۴-۲- انواع کندانسر آبی، هوایی و تبخیری

در بیشتر واحدهای بسیار بزرگ و برخی از واحدهای کوچک، از کندانسر خنک شونده با آب استفاده می شود. کندانسرهای خنک شونده با هوا بیشتر در واحدهای کم ظرفیت (۲۰ تن و کمتر) به کار می روند. اکنون کندانسرهای خنک شونده با هوا در سیستم های تهویه مطبوع خانگی و در جاهایی که ارزش آب بسیار زیاد است یا دفع فاضلاب دشوار است یا در مواردی که نمک های موجود در آب از لحاظ تشکیل قشر رسوبی مشکل جدی ایجاد می کنند دستگاه هایی استاندارد محسوب می شوند. بسیاری از سیستم های هوایی که ظرفیت متوسط تا بسیار زیاد دارند برای مناطق کم آب یا جاهایی که آب بها گران است یا در محل هایی که آب از کیفیت خوبی برخوردار نیست به کار برده می شوند.

**۴-۱-۱- کندانسر خنک شونده با هوا (هوایی):** در سال های اخیر استفاده از کندانسرهای هوایی در سیستم های تهویه مطبوع متوسط و کوچک به شدت افزایش یافته است. مهم ترین دلیل این استقبال احتمالاً این است که این نوع کندانسرها به تعمیر و نگهداری زیادی نیاز ندارند.

این عامل معمولاً عوامل دیگری مانند هزینه برق مصرفی، دوام و عمر کمپرسور و بازده سیستم را دست کم در نظر بسیاری از صاحب خانه ها و خریداران سیستم تهویه مطبوع کوچک تحت الشعاع قرار می دهد. بیشتر واحدهایی که توان آنها از ۱۰ hp کمتر



شکل ۴-۳- کندانسر هوایی با جریان طبیعی

است با هوا خنک می‌شوند. در واحدهای تا  $20\text{ hp}$  استفاده از دستگاه‌های خنک شونده با هوا معمول است و در واحدهای خیلی بزرگ مجهز به کندانسره‌های خنک شونده با هوا را برای آب و هوای بیابانی به کار برده‌اند.

کندانسره‌های هوایی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- کندانسر هوایی با جریان طبیعی

۲- کندانسر هوایی با جریان اجباری

کندانسره‌های هوایی با جریان طبیعی در دو نوع صفحه و لوله و یا میله و لوله ساخته می‌شوند. کندانسر میله و لوله از یک لوله مارپیچ مسی یا فولادی ساخته می‌شود که بر روی آن تعداد زیادی میله جوش داده شده است تا باعث افزایش میزان انتقال گرما از کندانسر شود. (شکل ۴-۳)

در کندانسره‌های هوایی با جریان اجباری لوله‌های مسی از بین تعداد زیادی پره آلومینیومی عبور می‌کند تا سطح تبادل گرما را به مقدار قابل توجه‌ای افزایش دهد. همچنین از یک یا چند فن برای به گردش درآوردن هوا استفاده می‌شود. (شکل ۴-۴)



شکل ۴-۴- کندانسر هوایی با جریان اجباری

کندانسره‌های هوایی معمولاً برای کار با دمای تقطیر حدود  $17$  تا  $22$  درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای محیط طراحی شده‌اند. یکی از معایب عمده دستگاه‌های خنک شونده با هوا همین است، زیرا در آب و هوای گرم که دمای محیط بعد از ظهرها به  $43^\circ\text{C}$  نیز می‌رسد، دمای تقطیر ممکن است  $66$  درجه سانتی‌گراد باشد که مطابق با فشار  $249\text{ psia}$  برای  $R-12$  و یا فشار  $369\text{ psia}$  مربوط به  $R-22$  است. توان الکتریکی مورد نیاز برای تأمین این چنین فشارهایی بسیار بالا می‌باشد. در چنین شرایطی دمای آب احتمالاً از  $24$  درجه سانتی‌گراد بالاتر نمی‌رود. دمای تقطیر در کندانسر آبی با فشار تقطیر حدود  $13^\circ\text{psia}$  برای  $R-12$  یا با فشار تقطیر حدود  $21\text{ psia}$  برای  $R-22$  در حدود  $38$  درجه سانتی‌گراد است. مزایای کندانسر آبی در اینجا کاملاً روشن می‌شود که عبارت از مصرف برق کمتر و دوام و عمر بیشتر کمپرسور است.

**۴-۱-۲- کندانسر آبی:** این کندانسرها در جاهایی که آب مناسب و فراوان و ارزان در اختیار باشد به صرفه‌ترین کندانسر محسوب می‌شود. مسائل خوردگی ناشی از آب یا دفع فاضلاب را باید در نظر گرفت. برای واحدهای  $5$  تنی و بزرگ‌تر که به آب زیادی نیاز است معمولاً از یک برج خنک‌کن استفاده می‌شود.

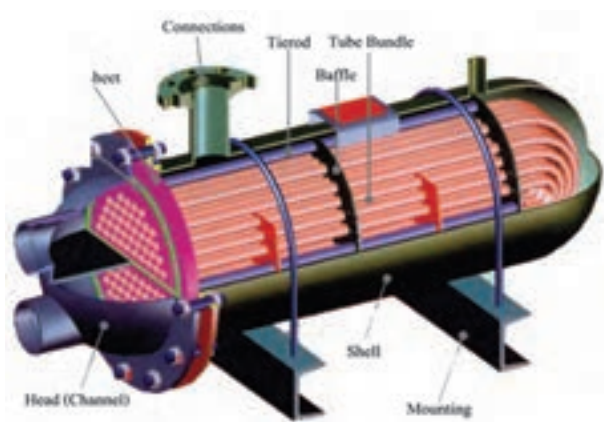
کندانسره‌های آبی در سه نوع ساخته می‌شوند :

۱- پوسته و لوله

۲- پوسته و کویل

۳- لوله داخل لوله

در کندانسره‌های آبی پوسته و لوله و کندانسره‌های پوسته و کویل گاز داغ از بالا وارد پوسته شده و پس از تبادل گرما با آب سرد داخل لوله یا کویل تقطیر شده و مایع مبرد از پایین پوسته خارج می‌شود. آب داخل لوله‌ها نیز پس از جذب گرمای مبرد یا در رودخانه و چاه ریخته می‌شوند و یا توسط برج خنک کن خنک شده و مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرند. (شکل ۴-۵)



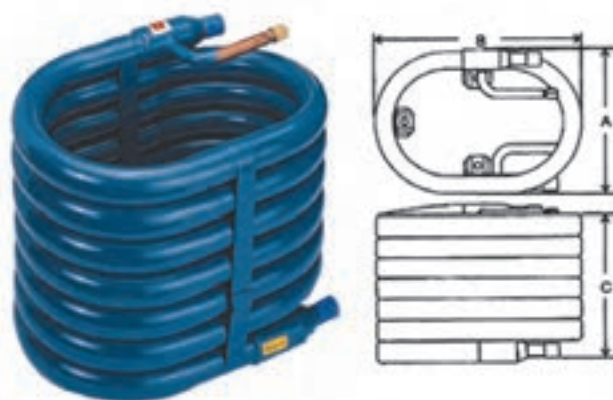
ب) کندانسر پوسته و کویل



الف) کندانسر پوسته و لوله

شکل ۴-۵- کندانسر پوسته و لوله و پوسته و کویل

آب سرد در لوله داخلی کندانسر دو لوله‌ای جریان داشته و گاز داغ نیز در لوله خارجی به گردش درآمده و پس از تبادل گرما تقطیر و از سمت دیگر کندانسر خارج می‌شود. (شکل ۴-۶)

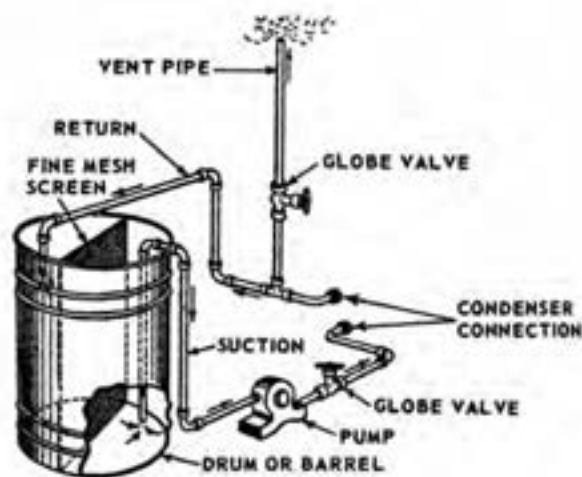


شکل ۴-۶- کندانسر دو لوله‌ای



هر قدر مقدار آبی که با دمای معین از کندانسر گردش می کند بیشتر باشد، فشار تقطیر پایین تر می رود و بدین ترتیب هزینه برق کمتر و عمر و دوام کمپرسور بیشتر می شود ولی در صورتی که آب گران قیمت باشد نقطه موازنه ای باید تعیین شود که در مجموع بهترین شرایط اقتصادی کار سیستم را تامین کند.

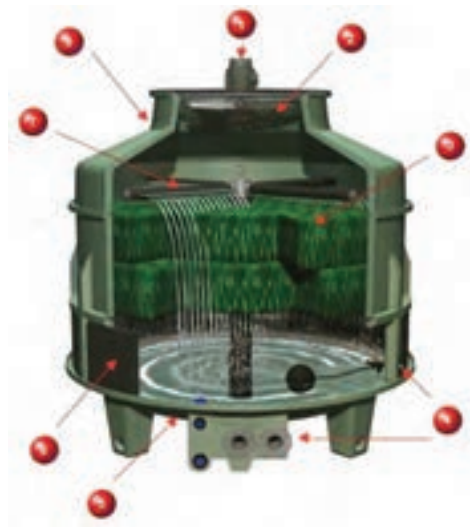
پس از مدتی در اثر گردش آب بر روی جداره داخلی لوله ها و کویل کندانسر آبی رسوب ایجاد می شود که مانع از انتقال گرما بین گاز مبرد و آب خواهد شد. برای رسوب گیری از اسید با غلظت پایین استفاده می شود. برای این کار مطابق شکل ۴-۷ داخل مخزن اسید ریخته شده و توسط یک پمپ آن را در داخل لوله های کندانسر به گردش در می آورند تا سبب جدا شدن رسوب های داخل لوله شوند. در زمان رسوب گیری شیرهای ورود و خروج آب به سمت برج خنک کن در حالت بسته قرار می گیرند.



شکل ۴-۷- نحوه انتقال مخزن رسوب گیر به کندانسر آبی

در کندانسر آبی گرمای ماده سرمازا به وسیله آب جذب می شود و سپس گرمای آب به یکی از روش های زیر دفع می شود.

- ۱- در صورت امکان تأمین آب تازه با قیمت ارزان، آب گرم خروجی از کندانسر وارد رودخانه یا دریاچه شده و دوباره آب سرد تازه وارد کندانسر می شود.



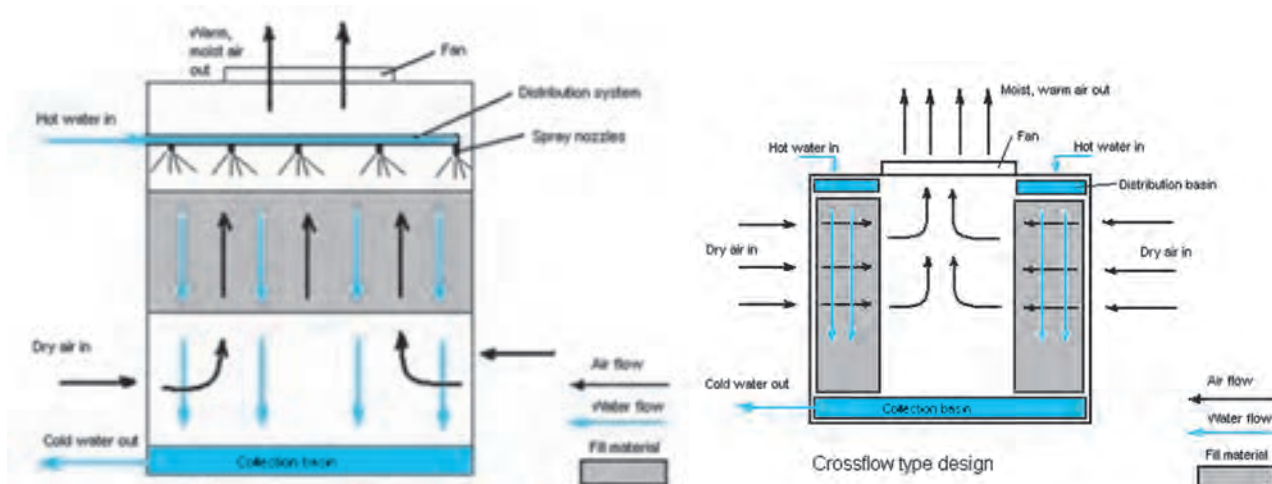
شکل ۴-۸- برج خنک کن

- ۲- با وارد کردن آب خروجی از کندانسر به یک چاه خشک، آب گرم به زمین منتقل می شود. در جاهایی که ماسه ای باشد و آب را بکشد، می توان چاهی به قطر ۶۱ سانتی متر و عمق ۱۰۰ متر حفر کرد و دیواره آن را آجرچینی کرد و سپس آن را برای دفع کامل آب گرم کندانسرها ۳ تا ۱۰ تنی به کار برد. آب بها در بسیاری از مناطق عامل تعیین کننده ای است و اغلب کشورها اجازه نمی دهند که آب ضایع شود.

- ۳- به وسیله برج خنک کن، استخر پاشش، گرمای آب به هوای اطراف منتقل می شود. برای بسیاری از تأسیسات سومین مورد بهترین روش است. برج خنک کن و استخر پاشش آب را در تماس کامل با هوای در حال وزش قرار می دهد. شکل ۴-۸ یک برج خنک کن را نشان می دهد. آب از طریق انتقال گرمای محسوس که دمای خشک هوای در حال وزش را بالا می برد تا حدودی خنک می شود ولی دلیل اصلی خنک شدن آب مبادله گرمای نهان تبخیر بخش کوچکی از آن است.

پایین ترین دمایی که می توان بر اثر خنک کردن آب در برج خنک کن به آن رسید معادل دمای مرطوب هواست. در عمل این دما هرگز دست نیافتنی نیست و معمولاً دمای نهایی آب حدود ۲۱ درجه سانتی گراد و بالاتر از دمای تر هوا در همان زمان است. در فصل تابستان بر اثر اتلاف ۹/۰٪ آب در گردش، معمولاً ۱۸ درجه سانتی گراد سرمایش حاصل می شود.

برج های خنک کن را با توجه به عوامل مختلف تقسیم بندی می کنند. برج های خنک کن از نظر نحوه برخورد جریان آب و هوا به دو دسته ۱- جریان هوای متقاطع ۲- جریان هوای مخالف تقسیم بندی می کنند. (شکل ۹-۴)

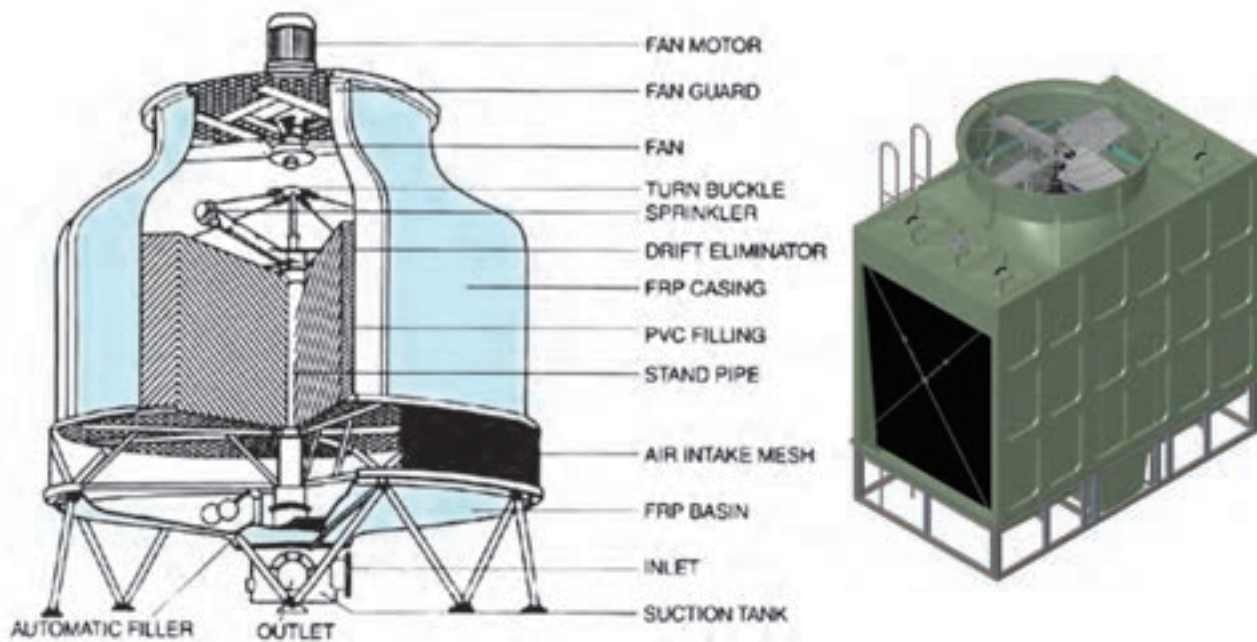


(ب) برج خنک کن با جریان هوای مخالف

(الف) برج خنک کن با جریان متقاطع

شکل ۹-۴- انواع برج خنک کن از نظر برخورد جریان آب و هوا

برج های خنک کن از نظر جنس بدنه نیز به دو دسته ۱- بدنه آهنی ۲- فایبرگلاس تقسیم بندی می شوند. (شکل ۱۰-۴)



(ب) برج خنک کن از جنس فایبرگلاس

(الف) برج خنک کن از جنس آهن

شکل ۱۰-۴- انواع برج خنک کن از نظر جنس بدنه

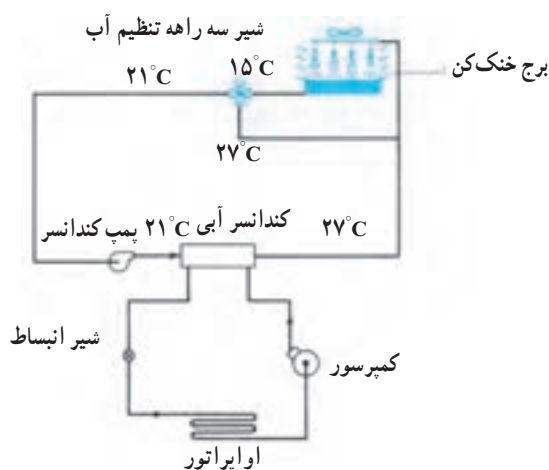


درون برج‌های خنک‌کن که از بدنه آهنی ساخته می‌شود از بالا به پایین و در فواصل مساوی تعداد زیادی تخته به صورت افقی قرار می‌گیرد. توسط پمپ آب از کف برج به بالا منتقل شده و بر روی چوب‌ها پاشیده می‌شود.

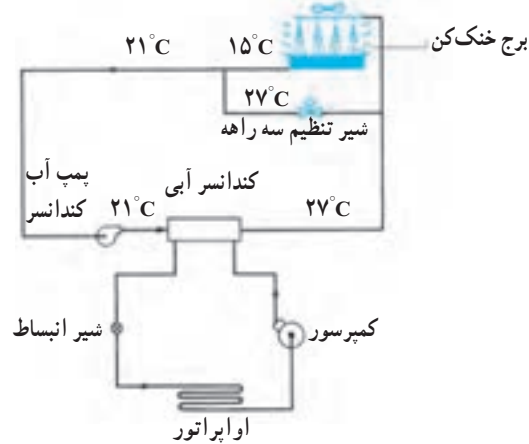
هم‌زمان با ریزش آب از تخته‌های بالا بر روی تخته‌های پایینی مقداری از ذرات آب تبخیر شده و امکان سرد شدن آب را فراهم می‌کنند. در برج‌های خنک‌کن فایبرگلاس به جای تخته‌های چوبی از پکینگ‌های PVC استفاده می‌شود. این پکینگ‌ها با افزایش سطح تماس جریان آب با هوا و همچنین کاهش سرعت جریان آب در خنک‌سازی جریان آب نقش مؤثری دارند. پکینگ‌ها به صورت شبکه‌ای ساخته می‌شوند و از عمر طولانی برخوردارند. در صورت کاهش دمای هوای بیرون در فصل زمستان کندانسرها آبی مشکل کاهش بیش از حد فشار روی مبرد قبل از شیر انبساط دارند. زمانی که درجه حرارت آب به  $24^{\circ}\text{C}$  افت نماید در اولین مرحله برای کاهش ظرفیت برج خنک‌کن و جبران افت فشار مایع مبرد، فن برج را خاموش می‌کنیم.

در مرحله دوم از طریق بای‌پاس کردن آب برج به وسیله شیرهای دوراها و سه راهه شکل ۴-۱۱ و ۴-۱۲ ظرفیت برج را کم می‌کنیم. در هر کدام از این روش‌ها درجه حرارت آب خروجی از برج توسط سنسور حس می‌شود. اگر دما به پایین‌تر از نقطه تنظیم (معمولاً  $15^{\circ}\text{C}$  تا  $20^{\circ}\text{C}$ ) برسد.

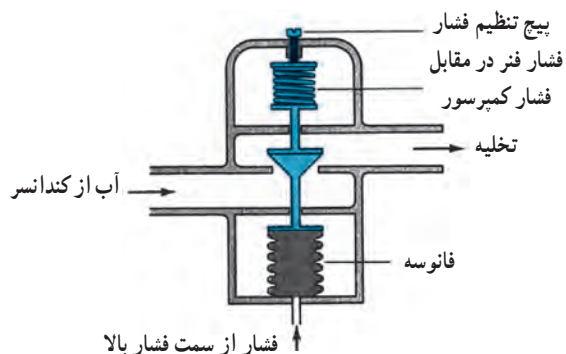
شیر بای‌پاس عمل نمود. تمام یا قسمتی از آب برج بای‌پاس می‌شود تا فشار روی مبرد در کندانسر و قبل از شیر انبساط در حد قابل قبول ثابت بماند. با توجه به بحث بای‌پاس نمودن برج، اگر احتمال یخ‌زدگی آب برج وجود داشته باشد از طریق المنت حرارتی یا تزریق بخار مانع از آن می‌شویم. شکل ۴-۱۳ شیر دو راهه کندانسر و ساختمان و طرز کار آن را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۲- برج خنک‌کن با کنترل از طریق شیر سه راهه



شکل ۴-۱۱- برج خنک‌کن با کنترل از طریق شیر دو راهه



ب) ساختمان و طرز شیر دو راهه کندانسر



الف) شیر دو راهه کندانسر

شکل ۴-۱۳- شیر دوراها کندانسر

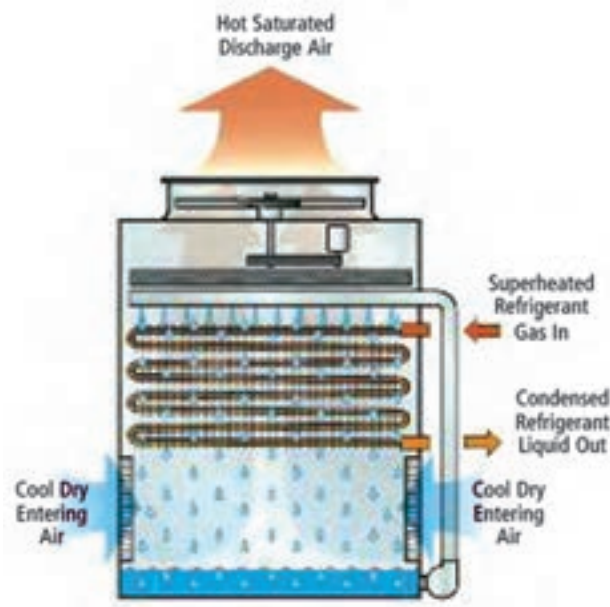
در برج خنک کن با بخار شدن بخشی از آب در جریان سیرکوله برج، بقیه آب خنک می شود و میزان مصرف آب تقریباً با این میزان بخار شدن آب برابر است. برای تبخیر شدن یک گالن آب حدود  $870^\circ \text{Btu}$  گرما لازم است. به عبارت دیگر با تبخیر هر گالن آب حدود  $870^\circ \text{Btu}$  گرما از برج دفع می شود. حال فرض کنیم ظرفیت برج خنک کن  $10^\circ \text{ton}$  تن تبرید باشد در این صورت:

$$100 \times 12000 = 1200000 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

با تقسیم این عدد به  $870^\circ$  میزان مصرف آب در ساعت  $138$  گالن یعنی حدود  $525$  لیتر خواهد بود. البته این عدد با لحاظ نمودن راندمان تبخیر  $10^\circ$  درصدی برای برج می باشد که در عمل راندمان برج بین  $6^\circ$  الی  $8^\circ$  درصد خواهد بود لذا تبخیر آب به ازای هر تن سرمایی را حدود  $600$  لیتر در ساعت در نظر می گیرند.

**۳-۱-۴- کندانسر تبخیری:** کندانسر تبخیری تلفیقی از کندانسر هوایی، کندانسر آبی و برج خنک کن می باشد. (شکل

(۴-۱۴)

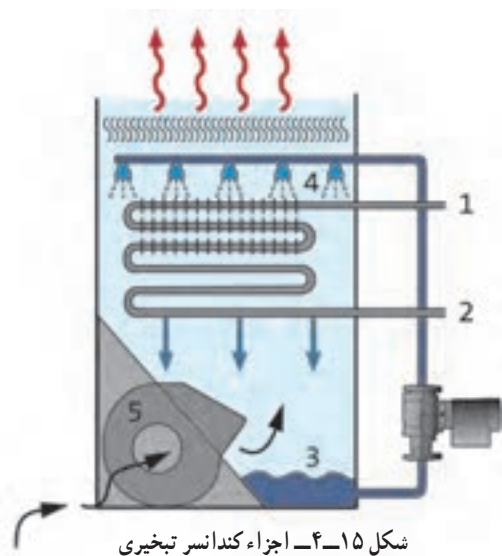


شکل ۴-۱۴- کندانسر تبخیری

طرز کار کندانسر تبخیری طی ۴ مرحله به شرح زیر می باشد.

- ۱- بخار متراکم و داغ ماده سرمازا از کمپرسور وارد کویل داخل کندانسر تبخیری شده و گرمای آن به آبی که بر روی کویل پاشیده می شود انتقال می یابد. در این حالت کویل دائماً با پاشش آب خیس نگه داشته می شود.
- ۲- بخشی از آب با گرمای ماده سرمازا تبخیر می شود و گرمای نهان تبخیر بسیار بالای آب اثر سرمایشی و تقطیر مناسبی ایجاد می کند و بخش کوچکی از آب بخار شده را سرد و مایع می کند.
- ۳- آب تبخیر نشده با جذب گرما از ماده سرمازا گرم می شود و بنابراین اگر مطابق مرحله بعدی خنک نمی شد از لحاظ ایجاد سرمایش بیشتر دیگر قابل استفاده نبود.

۴- هوا از لایه لای ذرات آب در حال ریزش از شیپوره پاشش آب عبور می کند و با تبخیر بخشی از آب سرمایش مناسبی ایجاد می کند در صورتی که بادزن و شیپوره های پاشش آب خوب کار کنند آب در مقایسه با دمای مرطوب هوای خروجی چند درجه خنک تر می شود. در حدود  $5\%$  آب در گردش تبخیر می شود و این کمبود به وسیله یک شیر شناور تأمین و وارد مخزن می شود. تبخیر بخشی از آب، غلظت نمک را در آب باقیمانده بالا می برد و بنابراین تصفیه و نمک زدایی آب ضروری است. اگر سر ریز کوچک و با ریزش مداوم



تعبیه شود، غلظت نمک در آب مخزن بالا نخواهد رفت. کندانسر تبخیری به صورت واحدهای تکی برای ظرفیتهای تا ۱۰۰ تن سردسازی ساخته می شود و اگر ظرفیت بالاتری مورد نیاز باشد از چند واحد استفاده می شود. اما این نوع کندانسر را بیشتر برای واحدهای ۱۰ تا ۵۰ تن بکار می برند.

استفاده از این نوع کندانسر در مواردی ضرورت پیدا می کند که آب کمیاب یا گرانیقیمت باشد، دفع آب زاید مشکل ایجاد کند یا استفاده از برج خنک کن عملی نباشد. کندانسر تبخیری فضای اندکی اشغال می کند زیرا کندانسر ماده سرمازا و تجهیزات خنک کننده آب با هم تلفیق شده و در یک محفظه جای گرفته اند.

شکل ۱۵-۴ اجزا یک کندانسر تبخیری را نشان می دهد. شماره ۱ و ۲ محل ورود و خروج آب خنک شونده، شماره ۳ محل جمع شدن آب در کف کندانسر، شماره ۴ افشانک های پاشش آب از بالای کندانسر و شماره ۵ فن کندانسر را نشان می دهد.

جدول ۱۶-۴ ظرفیت واحد تقطیر بر حسب (kW)

Model Number	Saturated Suction Temperature (°C)										
	6.5	1.5	-3.5	-8.5	-13.5	-16	-18.5	-21	-26	-31	-36
TC-510/AH-12	17.15	14.27	11.96	9.23							
TC-500/AM-12			13.39	10.87	8.70	7.76					
TC-500/AL-12						9.51	8.50	7.64	5.92	4.44	3.14
TC-600/AH-12	19.78	16.66	13.95	11.20							
TC-750/AH-12	25.66	21.27	17.66	14.24							
TC-750/AM-12			22.40	18.05	14.16	12.50					
TC-750/AL-12							10.33	9.00	6.76	5.07	3.82
TC-900/AH-12	33.35	28.07	22.76	18.35							
TC-1000/AH-12	33.50	28.01	23.15	18.63							
TC-755/AH-22	27.65	23.12	19.02	16.91	15.21						
TC-900/AH-22	33.28	27.77	22.64	17.93							
TC-1000/AH-22	41.18	34.32	28.45	23.07	18.26						
TC-500/AL-502							9.21	8.19	6.17	4.65	3.26
TC-600/AL-502						12.56	11.20	9.82	7.40	5.40	3.68
TC-750/AL-502					18.26	16.53	15.02	13.28	10.19	7.61	5.50
TC-1000/AL-502					23.09	20.68	18.57	16.57	12.75	9.36	6.52
TC-500/WH-12	20.23	16.60	13.28	10.49							
TC-500/WM-12			14.94	11.85	9.20	8.03					
TC-500/WL-12						10.26	9.13	8.00	6.04	4.38	3.02
TC-600/WH-12	22.49	18.49	14.94	11.85							
TC-750/WH-12	27.85	22.72	18.41	14.49							
TC-750/WM-12			24.38	18.94	14.64	12.60					
TC-750/WL-12							11.02	9.43	6.87	4.91	3.62
TC-900/WH-12	36.84	30.19	24.38	18.94							
TC-1000/WH-12	36.99	30.19	24.45	19.31							
TC-755/WH-22	30.33	24.91	20.08	15.70							
TC-900/WH-22	36.99	29.89	23.85	18.79	14.49						
TC-1000/WH-22	44.23	36.52	29.89	23.77	18.34						
TC-1500/WH-22	61.72	47.10	38.63	30.48	24.15						
TC-500/WL-502					13.13	11.47	9.96	8.39	6.43	4.65	3.17
TC-600/WL-502						13.74	12.00	10.49	7.67	5.43	3.55
TC-750/WL-502						19.62	17.50	15.40	13.74	10.26	7.55
TC-1000/WL-502						25.06	22.04	19.62	17.21	12.83	9.21

## ۴-۲- انتخاب کندانسینگ یونیت

برای انتخاب مدل کندانسینگ یونیت از جدول ۴-۱۶ استفاده می‌شود. با مشخص بودن ظرفیت واحد تقطیر برحسب (kW) و بدست آوردن دمای مکش گاز کمپرسور می‌توانیم مدل کندانسینگ یونیت را تعیین نماییم.

برای محاسبه دمای مکش می‌بایستی اطلاعات زیر را در اختیار داشته باشیم.

- ۱- دمای سالن نگهداری محصول  $t_i$  (با توجه به نوع محصول تعیین می‌شود)
- ۲- رطوبت نسبی سالن (با توجه به نوع محصول تعیین می‌شود)
- ۳- اختلاف دمای هوای سالن و ماده مبرد جریان داخل کویل اوپراتور (TD)
- ۴- نوع اوپراتور از نظر جریان هوا (طبیعی یا اجباری)

با توجه به رطوبت نسبی سالن سردخانه و نوع جریان هوا در اوپراتور از جدول ۴-۱۷ مقدار اختلاف دمای سالن و ماده مبرد (TD) را بدست می‌آوریم.

برای بدست آوردن دمای مکش از رابطه زیر استفاده می‌نماییم :

$$T_e = t_i - TD$$

$T_e$  - دمای مکش کمپرسور (معادل دمای جوش مبرد)

$t_i$  - دمای سالن

TD - اختلاف دمای سالن و ماده مبرد

جدول ۴-۱۷- تعیین TD سردخانه برحسب تغییرات رطوبت نسبی  
(TD اختلاف دمای هوای سالن و ماده مبرد جریانی در داخل کویل اوپراتور)

رطوبت نسبی %	اختلاف درجه حرارت (TD) °C	
	هوا با جریان طبیعی	هوا با جریان اجباری
۹۵-۹۱	۷-۸	۵-۶
۹۰-۸۶	۸-۹	۶-۷
۸۵-۸۱	۹-۱۰	۷-۸
۸۰-۷۶	۱۰-۱۱	۸-۹
۷۵-۷۰	۱۱-۱۲	۹-۱۰

پس از تعیین دمای مکش کمپرسور و با داشتن ظرفیت واحد تقطیر به جدول ۴-۱۶ مراجعه و مدل واحد تقطیر را بدست می‌آوریم. برای مثال در صورتی که ظرفیت واحد تقطیر ۱۴kW و دمای مکش کمپرسور  $12^{\circ}\text{C}$  - باشد برای انتخاب مدل ابتدا در بالای جدول دمای مکش  $5/13^{\circ}\text{C}$  - را انتخاب کرده و به سمت پایین حرکت می‌کنیم تا به عدد ظرفیت واحد تقطیر برسیم در این ستون سه مدل می‌تواند چنین ظرفیتی را تأمین نماید. مدل‌های  $TC-75^{\circ}/AM-12$ ،  $TC-75^{\circ}/WM-12$  و  $TC-90^{\circ}/WH-22$  برای ظرفیت ۱۴kW و دمای مکش  $12^{\circ}\text{C}$  - مناسب می‌باشد.

از مدل TC-۷۵۰/AM-۱۲ برای شرایط اقلیمی که امکان استفاده از کندانسر هوایی باشد استفاده می‌شود و از مدل‌های TC-۷۵۰/WM-۱۲ و TC-۹۰۰/WH-۲۲ برای شرایطی که امکان استفاده از کندانسر آبی باشد استفاده می‌شود.

مثال: دمای نگهداری سالن ۱۱- درجه سانتی‌گراد و درصد رطوبت نسبی در سالن ۷۷٪ می‌باشد. در صورتی که اواپراتور از نوع فن‌دار بوده و ظرفیت واحد تقطیر ۱۲kw باشد مدل دستگاه واحد تقطیر را بدست آورید.

حل: ابتدا با توجه به رطوبت ۷۷٪ و نوع فن اواپراتور که از نوع اجباری می‌باشد از جدول ۱۷-۴ اختلاف دمای هوای سالن و ماده مبرد TD را بدست می‌آوریم  $T_D = 8 - 9^{\circ}\text{C}$  حال با استفاده از رابطه  $T_e = T_i - T_D$  دمای جوش مبرد که همان دمای مکش مبرد توسط کمپرسور است را بدست می‌آوریم.

$$T_e = t_i - T_D \quad T_e = -11 - 9 = -20^{\circ}\text{C}$$

در جدول عدد ۲۰- در ردیف دماهای مکش کمپرسور وجود ندارد لذا عدد ۲۱- را انتخاب کرده و در این ستون ظرفیت ۱۲kw را پیدا می‌کنیم و چون این عدد نیز وجود ندارد بزرگترین عدد بزرگتر از ۱۲ را انتخاب نموده و مدل دستگاه را بدست می‌آوریم که عبارتند از مدل‌های:

$$TC-750/AL-502$$

$$TC-750/WL-502$$

در صورتی که این دستگاه در منطقه با آب و هوای خشک به کار برده شود از مدل TC-۷۵۰/WL-۵۰۲ استفاده می‌شود و در صورتی که دستگاه در منطقه با آب و هوای مرطوب استفاده شود بایستی از دستگاه مدل TC-۷۵۰/AL-۵۰۲ استفاده نمود.

در صورت بکارگیری از واحد تقطیر مدل TC-۷۵۰/AL-۵۰۲ مشخصات این دستگاه به شرح زیر می‌باشد:

۱- قدرت اسمی دستگاه ۷۵۰۰۰ اسب بخار است.  $750 \times 100 = 75000 \text{ HP}$

۲- کندانسر این دستگاه از نوع هوایی است (A).

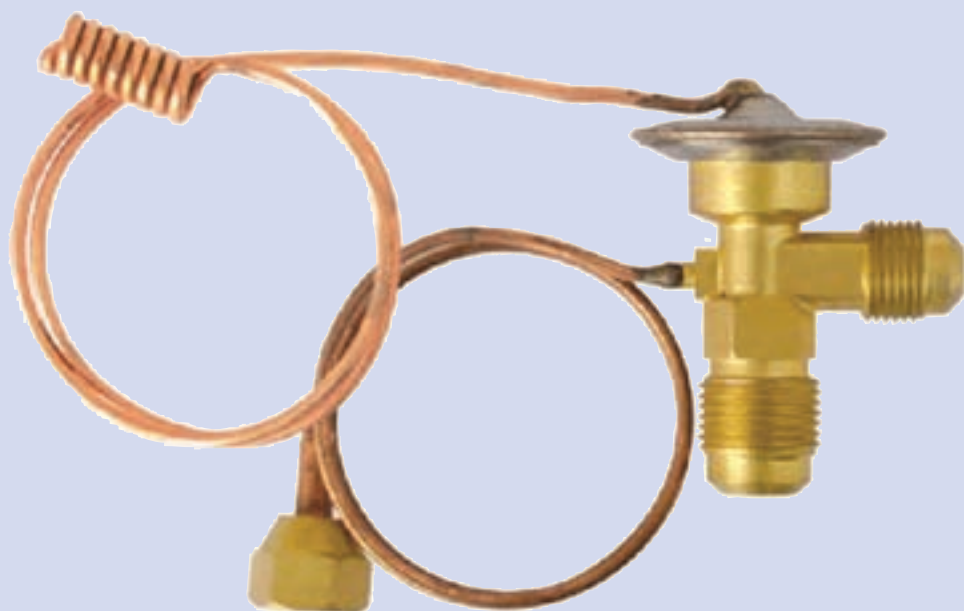
۳- دمای مکش کمپرسور در حالت اشباع می‌تواند بین  $13/5^{\circ}\text{C}$  تا  $36^{\circ}\text{C}$  باشد.

۴- مبرد بکار رفته در واحد تقطیر R-۵۰۲ می‌باشد.

#### تحقیق

از هنرجویان بخواهید با مشاهده انواع دستگاه‌های سردکننده موجود در خانه و مغازه‌های مختلف محل زندگی خود و نوع کندانسر آنها را مشخص نمایند.

## کنترل کننده‌های مایع مبرد



## کنترل کننده‌های مایع مبرد



### پیش آزمون

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

۱- علت استفاده از شیر فلکه در شبکه لوله کشی آب چیست؟

۲- کاربرد شیر فشارشکن چیست؟

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

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

کنترل کننده‌های مایع مبرد دو وظیفه را برعهده دارند :

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

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

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

۱- لوله موئین

۲- شیر انبساط خودکار

۳- شیر انبساط ترموستاتیک

۴- شیر انبساط الکترونیکی

شکل ۵-۱ متداول‌ترین وسایل کنترل کننده مایع مبرد را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱- انواع متداول وسایل کنترل کننده مایع مبرد



## ۱-۵- لوله موین

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

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

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

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

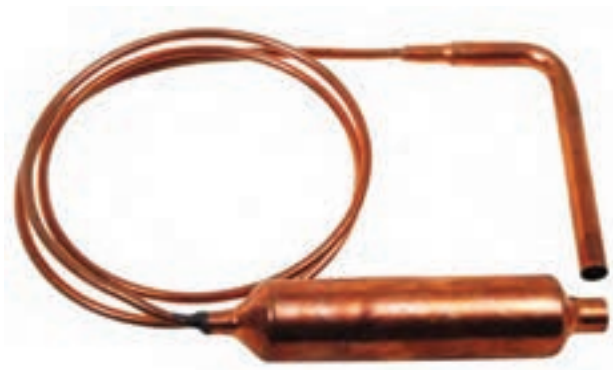
لوله موین از این نظر که در طول خاموش بودن سیکل، جریان مبرد مایع به اواپراتور را متوقف نمی‌کند با سایر انواع کنترل کننده‌های جریان مبرد متفاوت می‌باشد. لوله موین علاوه بر ساختمان ساده و قیمت ارزان، با ساده کردن سیستم تبرید هزینه تولید را پایین می‌آورد. چون در چنین سیستم‌هایی در طول خاموش بودن سیکل قسمت‌های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

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

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

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

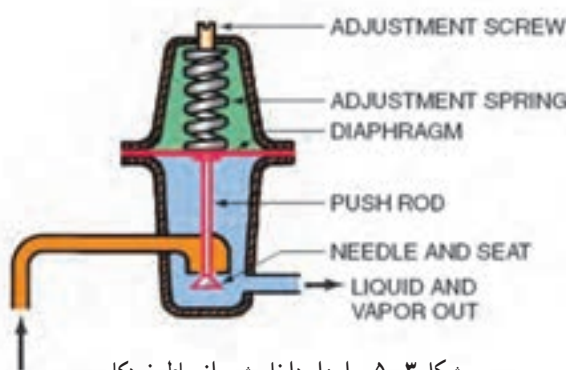
لوله موئین به قسمت خروجی فیلتر درایر جوش داده می‌شود. (شکل ۵-۲)



شکل ۵-۲- اتصال لوله موئین به فیلتر درایر

## ۵-۲- شیر انبساط خودکار

این شیر تشکیل شده است از ۱- سوزن و نشیمنگاه ۲- دیافراگم فشار ۳- فنر که می‌توان به وسیله پیچ تنظیمی فشار آن را کنترل نمود ۴- صافی در ورودی شیر برای جلوگیری از ورود مواد خارجی و انسداد شیر. شکل ۵-۳ ساختمان واقعی نمونه‌ای از شیر انبساط خودکار را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳- اجزاء داخلی شیر انبساط خودکار

شیر خودکار مقدار مبرد ورودی به اوپراتور را با توجه به تغییرات بار تبرید تنظیم نموده و فشار آن را در حد ثابتی نگه می‌دارد. خاصیت ثابت بودن فشار شیر از مقابله دو نیروی مخالف ۱- فشار اوپراتور و ۲- فشار فنر ناشی می‌شود. فشار اوپراتور که به یک طرف دیافراگم وارد می‌شود می‌خواهد شیر را ببندد ولی فشار فنر که به طرف مقابل دیافراگم اثر می‌کند باعث باز شدن شیر می‌شود. به این ترتیب در هنگام کار کمپرسور این شیر فشار اوپراتور را با فشار فنر در حال تعادل نگه می‌دارد.

همانطوری که از اسم این شیرها برمی آید به صورت خودکار عمل کرده و یا با یک بار تنظیم نمودن فنر به ازای فشار مورد نظر، تنظیم جریان مبرد مایع به اواپراتور به صورت اتوماتیک انجام شده و فشار در اواپراتور بدون توجه به بار آن، در حد ثابتی باقی می ماند. مثلاً فرض کنید فنر طوری تنظیم شده که فشار اواپراتور  $5^{\circ}\text{kpa}$  باشد با کاهش فشار اواپراتور به کمتر از  $5^{\circ}\text{kpa}$ ، فشار فنر از فشار اواپراتور بیشتر شده باعث باز شدن شیر می شود. به این ترتیب مایع بیشتری به اواپراتور جریان یافته و سطح بیشتری از آن با مبرد مایع تماس می یابد. به این ترتیب به دلیل افزایش سطح جذب کننده حرارت اواپراتور، شدت تبخیر افزایش یافته و افزایش فشار اواپراتور تا برابر شدن با فشار فنر افزایش می یابد.

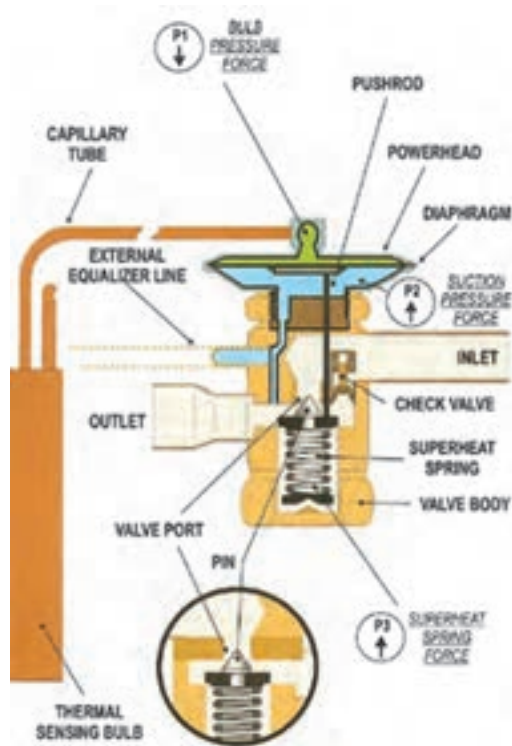
چنانچه فشار اواپراتور از  $5^{\circ}\text{kpa}$  بیشتر شود، فشار اواپراتور بر فشار فنر غلبه می کند و شیر بسته می شود. به این ترتیب جریان مایع به اواپراتور کاهش و مقدار سطح مؤثر اواپراتور نیز کاهش می یابد. بدیهی است این امر شدت تبخیر را کاهش می دهد و فشار اواپراتور را تا برقراری مجدد تعادل با فشار فنر تقلیل می دهد.

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

عیب اصلی شیرهای خودکار راندمان نسبتاً کم آنها در مقایسه با سایر انواع کنترل کننده های مبرد می باشد. با توجه به اینکه شیر انبساط خودکار اجازه می دهد در زمان بارهای سنگین تنها قسمت کوچکی از اواپراتور با مایع پر شود، ظرفیت و راندمان سیستم تبرید به دلیل ثابت بودن فشار شیر، محدود می شود و نمی توان به ظرفیت و راندمان های بالاتری دست یافت. همچنین به دلیل اینکه فشار اواپراتور در طول کار کمپرسور ثابت می ماند بایستی شیر را برای کمترین درجه حرارت لازم اواپراتور تنظیم نمود. این امر موجب کاهش ظرفیت و راندمان کمپرسور خواهد شد زیرا در اوایل سیکل کاری سیستم، اواپراتور پر و دمای مکش بالاتر است و کمپرسور نمی تواند بلافاصله اواپراتور را تخلیه نماید و سریعاً دما را کاهش دهد. عیب دیگر شیرهای خودکار که به ثابت بودن فشار آن مربوط می شود این است که نمی توان آن را همراه با کنترل کننده فشار کم به کار برد زیرا کار اصلی کنترل کننده فشار کم به تغییرات فشار اواپراتور در طول سیکل بستگی دارد، چیزی که به هنگام استفاده از شیر انبساط خودکار عملاً نمی تواند وجود داشته باشد. راندمان شیرهای انبساط خودکار در شرایط بارهای زیاد، کم می باشد و به همین دلیل صرفاً در تجهیزات کوچک نظیر یخچال ها و فریزرهای خانگی و یخچال های کوچک بستنی که بارهای نسبتاً ثابتی دارند به کار می روند. ولی حتی در این موارد نیز به علت مؤثر بودن و ارزان بودن سایر انواع کنترل کننده های جریان مبرد، به ندرت از شیرهای انبساط خودکار استفاده می کنند.

### ۳-۵- شیر انبساط ترموستاتیک

شیرهای انبساط ترموستاتیک به دلیل راندمان بالا و سهولت سازگاری با هر کاربرد تبریدی، بیشتر از سایر کنترل های ماده مبرد در دستگاه های سردکننده به کار می روند. درحالی که کار شیر انبساط خودکار به فشار ثابت اواپراتور متکی می باشد، کار شیرهای انبساط ترموستاتیک به سوپر هیت شدن ثابت بخار خروجی از اواپراتور بستگی دارد، پدیده ای که اجازه می دهد اواپراتور تحت تمام شرایط بار سیستم از مبرد کاملاً پر باشد. با توجه به اینکه شیرهای انبساط ترموستاتیک تحت تمام شرایط کاری استفاده کامل و مؤثر از سطح اواپراتور را میسر می سازند در سیستم های تبرید با تغییرات بار زیاد، مناسب ترین نوع کنترل کننده مبرد می باشند. شکل ۴-۵ اجزاء داخلی شیر انبساط ترموستاتیک را نشان می دهد.



شکل ۴-۵- اجزاء داخلی شیر انبساط ترموستاتیک

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

بالب شیر انبساط به لوله مکش در خروجی اواپراتور بسته شده و به تغییرات دمای بخار مبرد عبوری از آن نقطه حساس است. هرچند بین دمای بخار مبرد در لوله مکش و دمای گاز داخل بالب اختلاف جزئی وجود دارد عملاً درجه حرارت آن دو برابر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین می‌توان فرض کرد که فشار وارده به وسیله گاز داخل کپسول همواره برابر فشار اشباع گاز در دمای لوله مکش می‌باشد. ملاحظه می‌شود که فشار سیال داخل بالب از طریق لوله موئین به فضای بالای دیافراگم اثر می‌نماید و می‌خواهد شیر را باز کند در حالی که فشار اواپراتور و فنر به طرف دیگر دیافراگم وارد می‌آیند و می‌خواهند شیر را در جهت بسته شدن حرکت دهند. مثال زیر اصول کار شیر را بیشتر روشن می‌نماید. در شکل ۴-۵ فرض کنید فریون ۱۲ مایع در دمای  $4^\circ\text{C}$  که برابر فشار اشباع ( $P_2$ )  $250\text{ kpa}$  (۳۵۱ کپا مطلق) می‌باشد، تبخیر می‌شود به علاوه فرض کنید فنر ( $P_3$ ) چنان تنظیم شده است که فشار  $60\text{ kpa}$  اعمال نماید.

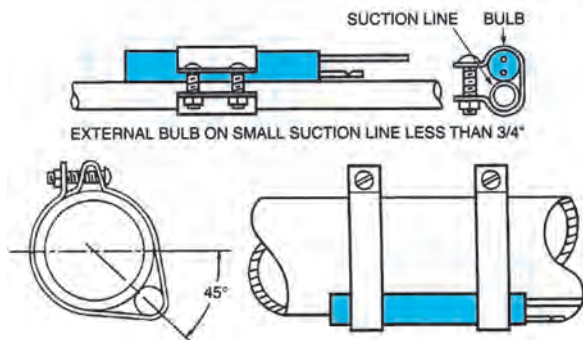
به این ترتیب کل فشاری که می‌خواهد شیر را ببندد مجموع فشارهای  $P_2$  و  $P_3$  یعنی  $310\text{ kpa}$  ( $250 + 60$ ) خواهد بود در صورتی که از افت فشار مبرد در اواپراتور صرف نظر شود می‌توان فرض کرد که فشار و دمای مبرد در تمام قسمت‌های اواپراتور برابر است. بنابراین در نقطه خروجی اواپراتور تمام مایع تبخیر می‌شود و مبرد در دما و فشار اشباع به صورت بخار اشباع خواهد بود. اما در انتهای اواپراتور بخار با جذب حرارت از محیط سوپرهیت شده و با وجود ثابت ماندن فشار، درجه حرارتش افزایش می‌یابد.

فرض کنید تا محل نصب کپسول حساس کنترل کننده جریان (بالب حرارتی) پنج درجه سانتی گراد سوپرهیت شده و دمای آن از  $4^{\circ}\text{C}$  به  $9^{\circ}\text{C}$  افزایش یابد بنابراین گاز داخل بالب در دمای سوپرهیت لوله مکش بوده و فشار آن ( $P_1$ ) برابر فشار اشباع فریون ۱۲ در دمای  $9^{\circ}\text{C}$  یعنی  $310\text{ kpa}$  یا  $411\text{ kpa}$  (مطلق) خواهد بود. این فشار از طریق لوله‌های موین به پشت دیافراگم اثر می‌نماید و نیرویی را که می‌خواهد شیر را در جهت باز شدن حرکت دهد ایجاد می‌کند. تحت شرایط تنظیم و تعیین شده، نیروی بازکننده شیر دقیقاً برابر نیرویی است که می‌خواهد شیر را ببندد ( $P_1 = P_v + P_r$ ) به این ترتیب شیر در فشار متعادل است و تا زمانی که میزان سوپرهیت شدن بخار مکش نیروها را تغییر نداده و باعث حرکت شیر در یک جهت نشود، در تعادل باقی خواهند ماند، شیر تنها موقعی در تعادل خواهد بود که میزان سوپرهیت شدن بخار مکش در محل بالب برابر  $5^{\circ}\text{C}$  باشد که دقیقاً برابر فشار لازم برای جبران فشار فنر می‌باشد. بنابراین هرگونه تغییر در میزان سوپرهیت شدن بخار مکش، باعث حرکت شیر در جهتی خواهد شد که مقدار سوپرهیت لازم را ایجاد نماید و دوباره تعادل برقرار گردد و چنانچه سوپرهیت بخار مکش کمتر از  $5^{\circ}\text{C}$  باشد، فشار بالب کمتر از مجموع فشارهای اواپراتور و فنر می‌شود و شیر را در جهت بسته شدن حرکت می‌دهد و تا زمانی که میزان سوپرهیت شدن بخار مکش به  $5^{\circ}\text{C}$  افزایش یابد، جریان میرد و ورودی به اواپراتور را می‌بندد. از طرف دیگر چنانچه میزان سوپرهیت شدن بیش از  $5^{\circ}\text{C}$  باشد فشار بالب از مجموع فشارهای اواپراتور و فنر زیادتر می‌شود و شیر را در جهت باز شدن حرکت می‌دهد و تا زمانی که میزان سوپرهیت شدن بخار مکش به  $5^{\circ}\text{C}$  کاهش یابد جریان میرد به اواپراتور افزایش می‌یابد.

در تمام موارد میزان سوپرهیت لازم برای ایجاد تعادل در شیر انبساط ترموستاتیکی به میزان تنظیم فنر بستگی دارد و به همین دلیل تنظیم فنر، تنظیم سوپرهیت نیز نامیده می‌شود. با افزایش نیروی فنر میزان سوپرهیت شدن لازم برای جبران فشار فنر و برگشت شیر به حالت تعادل افزایش و با کاهش آن کاهش می‌یابد. افزایش میزان سوپرهیت شدن بخار مکش از این لحاظ که سطح مؤثر اواپراتور را کاهش می‌دهد، مطلوب نیست. با وجود اینکه کاهش میزان سوپرهیت شدن بخار مکش، سطح مؤثر اواپراتور را افزایش می‌دهد. معمولاً شیرهای انبساط ترموستاتیکی برای  $4^{\circ}\text{C}$  تا  $5^{\circ}\text{C}$  سوپرهیت شدن بخار مکش تنظیم می‌شوند و چون این میزان برای بیشتر کاربردهای تبرید مناسب می‌باشد جز در موارد کاملاً ضروری نباید آن را تغییر داد.

### ۱-۳-۵- محل نصب کپسول حساس شیر انبساط (بالب): عملکرد شیرهای انبساط ترموستاتیک تا حد زیادی به محل

و نصب صحیح کپسول (بالب) بستگی دارد. بالب ترموستات بایستی به طور محکم به وسیله بست‌های فلزی به قسمت افقی لوله مکش نزدیک خروجی اواپراتور و ترجیحاً در داخل فضای سردشونده نصب شود. با توجه به اینکه بالب باید به دمای بخار لوله مکش حساس باشد، لازم است که تمام طول آن با لوله مکش تماس حرارتی خوبی داشته باشد. در لوله‌های مکش با قطر خارجی کمتر از  $2^{\circ}$  میلی‌متر معمولاً بالب را در بالای لوله نصب می‌کنند ولی در لوله‌های مکش با قطر خارجی  $2^{\circ}$  میلی‌متر و بیشتر، نصب کپسول حساس در وضعیت ساعت ۴ یا ۸ معمولاً کنترل رضایت بخشی خواهد داشت (شکل ۵-۵).



شکل ۵-۵- موقعیت نصب بالب ترموستات

## ۴-۵- انتخاب لوله موئین

تعیین قطر لوله موئین با استفاده از نمودار شکل ۵-۱۲ کتاب اصلی صورت می‌گیرد. این جدول برای مبرد  $R-502$  طراحی گردیده است.

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

مثال: در یک سیکل برودتی قدرت سرمایی  $880 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$  و دمای گاز برگشتی  $52^\circ\text{C}$  و ماده سرمازا  $R-502$  می‌باشد. چنانچه بخواهیم از لوله موئین با قطر داخلی  $0.70\%$  اینچ استفاده نماییم طول مناسب لوله موئین را به دست آورید.

در ستون اول از سمت چپ شکل ظرفیت  $880 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$  را به دست آورده به سمت راست حرکت می‌کنیم با برخورد با منحنی قطر  $0.70\%$  به سمت پایین آمده و طول  $83''$  را به دست می‌آوریم.

همانطور که قبلاً اشاره شد انتخاب صحیح لوله موئین به دو عامل طول لوله و قطر لوله بستگی دارد و همان کاری که یک لوله موئین کوتاه با قطر کم می‌تواند انجام دهد لوله موئین بلند با قطر بزرگ‌تر نیز انجام می‌دهد. در صورتی که ناگزیر به تعویض لوله موئین باشیم و قطر لوله تعویض با قطر لوله اصلی یکسان نباشد می‌بایستی طول لوله موئین جدید را متناسب با قطر لوله موئین تغییر دهیم. برای این کار از جدول ۵-۱۳ کتاب اصلی استفاده می‌شود. ابتدا از جدول ضریب تغییر طول لوله را به دست آورده و در طول قبلی لوله موئین ضرب می‌کنیم تا طول جدید لوله موئین به دست آید. برای به دست آوردن «ضریب تغییر طول» از ستون سمت چپ جدول قطر داخلی لوله اصلی را به دست آورده و خطی به سمت راست می‌کشیم، حال از ردیف بالای جدول قطر داخلی لوله موئین تعویضی را به دست آورده و خطی دیگر به سمت پایین جدول ترسیم می‌نماییم، محل تلاقی این دو خط «ضریب تغییر طول» لوله موئین می‌باشد. مثال: قطر داخلی لوله موئین یک یخچال  $0.34\%$  و طول آن  $6''$  می‌باشد.

در صورتی که بخواهیم لوله موئین با قطر  $0.36\%$  را جایگزین لوله موئین اصلی نماییم طول لوله موئین جدید را به دست آورید. حل: با توجه به جدول ۵-۶ ضریب تغییر طول لوله  $1/35$  خواهد بود لذا طول لوله موئین تعویضی برابر خواهد بود با:

$$6'' \times 1/35 = 81'' = \text{طول جدید لوله موئین}$$



جدول ۵-۶- تعویض لوله موین

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



## اوپراتورها





## پیش آزمون

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

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

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

برای جذب گرمای داخل یخچال از اوپراتور استفاده می شود. در اوپراتور نیز مایع مبرد به بخار تغییر حالت داده و برای این کار گرمای داخل یخچال را جذب می کند.

## ۱-۶- کاربرد اوپراتورها

اوپراتورها سطوح انتقال حرارتی هستند که در آنها ماده مبرد با دریافت گرمای نهان تبخیر از فضا یا محصولات سردشونده از مایع به بخار تبدیل شده و سبب سرد شدن فضای سردخانه یا یخچال می شود.

اوپراتور در دستگاه های گوناگونی برای ایجاد سرما استفاده می شود که تعدادی از کاربردهای آن عبارتست از :

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

۲- ساختمان های عمومی، کاهش دمای آب جهت ایجاد هوای خنک در فن کویل و تأمین آب سرد بهداشتی در آب سردکن.

۳- کاربرد صنعتی، خنک کردن شیر، انجماد محصولات غذایی مانند گوشت، بستنی و ...، تأمین دمای پایین جهت انجام کارهای تحقیقاتی، دستگاه های یخ ساز.

به دلیل کاربرد متعدد و متنوع تبرید، اوپراتورها در انواع شکل ها، اندازه ها و طرح های گوناگون ساخته می شوند و می توان آنها را از جنبه های مختلف دسته بندی نمود. از جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد :

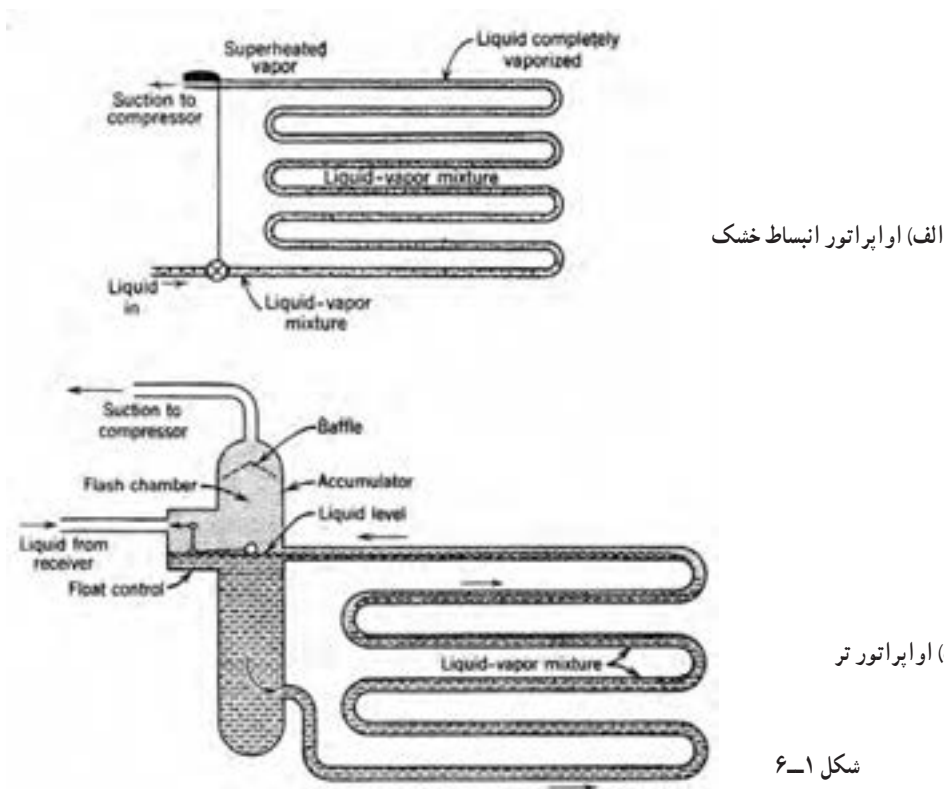
۱- انواع اوپراتور از نظر نوع تغذیه } ۱- انبساط مستقیم (خشک)  
۲- اوپراتور پر

۲- انواع اوپراتور از نظر چگونگی جریان هوا } ۱- با جریان اجباری هوا  
۲- با جریان طبیعی هوا

۳- انواع اوپراتور از نظر نوع ساخت } ۱- کویلی پره دار  
۲- کویلی بدون پره

## ۶-۲- انواع اواپراتور از نظر نوع تغذیه

اواپراتورها را می‌توان برحسب نوع تغذیه مبرد به دو نوع انبساط خشک<sup>۱</sup> و تر<sup>۲</sup> طبقه بندی نمود. در روش انبساط خشک مقدار تغذیه مبرد اواپراتور، به مقدار تبخیر آن در واحد زمان بستگی دارد. مبرد در لوله مکش کمپرسور به صورت بخار خواهد بود (شکل ۶-۱ الف) در این روش کنترل کننده مبرد اغلب یک شیر انبساط ترموستاتیکی یا لوله موین است. برای اطمینان کامل از تبخیر مبرد در اواپراتور و جلوگیری از ورود مایع مبرد به لوله مکش و کمپرسور، مبرد در خروج از اواپراتور تقریباً ۵ درجه سانتی گراد سوپرهیت می‌شود. این امر عملاً ۱۰ تا ۲۰ درصد سطح اواپراتور را به خود اختصاص می‌دهد. درحالی که راندمان اواپراتورهای انبساط خشک، قدری از اواپراتورهای تر کمتر است به علت ساختمان ساده تر، هزینه کمتر، اشغال فضای کمتر، نیاز به مبرد کمتر، و کمتر بودن مشکل برگشت روغن، از متداول ترین انواع اواپراتور می‌باشند. در اواپراتورهای تر به دلیل پر بودن اواپراتور با مبرد مایع، حداکثر سطح خیس شده لوله‌ها و ماکزیمم شدت انتقال حرارت به دست می‌آیند. این اواپراتورها مطابق شکل ۶-۱ ب یک جمع کننده یا مخزن ذخیره اضافی می‌باشند که مبرد مایع در آن جمع می‌شود و در اثر ثقل، به لوله‌های اواپراتور جریان می‌یابد. سطح مایع موجود در جمع کننده به وسیله شناور کنترل می‌شود.



## ۶-۳- انواع اواپراتور از نظر جریان هوا

اواپراتورها از نظر جریان هوا به دو دسته جریان هوای طبیعی و جریان هوای اجباری تقسیم می‌شوند. در اواپراتورهای با جریان طبیعی به علت کم بودن سرعت گردش هوا بین اواپراتور و فضایی که می‌خواهیم سرد نماییم تبادل گرما نیز کمتر صورت می‌گیرد لذا از این نوع اواپراتورها معمولاً در یخچال‌های خانگی و فضاهای کوچک استفاده می‌شود. شکل ۶-۲ چند نمونه از اواپراتورهای با جریان طبیعی هوا را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup>— dry expansion

<sup>۲</sup>— flooded



شکل ۶-۲- انواع اواپراتور با جریان طبیعی هوا

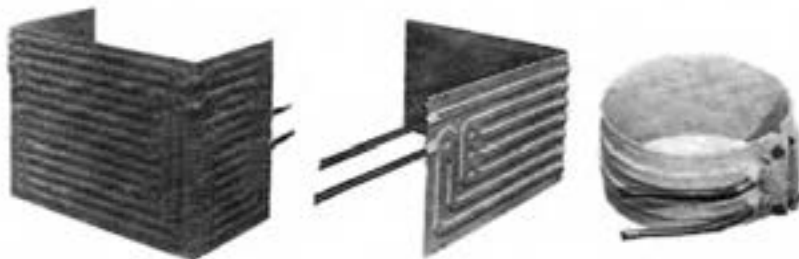
در صورتی که به برودت بیشتری نیاز داشته باشیم با به گردش درآوردن هوای داخل سردخانه یا یخچال، سرعت تبادل گرما بین هوا و اواپراتور را افزایش می‌دهیم. (شکل ۶-۳)



شکل ۶-۳- اواپراتور با جریان هوای اجباری

#### ۶-۴- انواع اواپراتور از نظر نوع ساخت

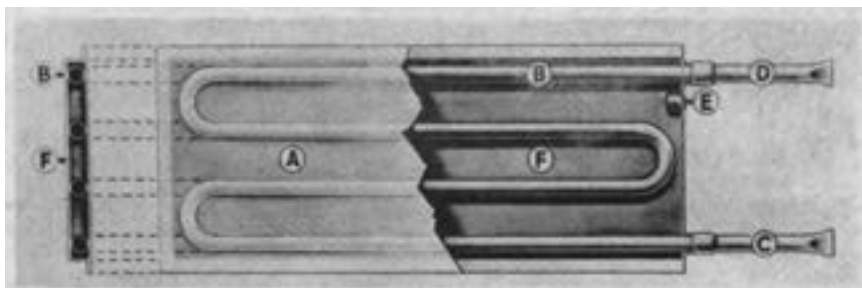
اواپراتورها از نظر نوع ساخت به دو دسته کویلی پرده‌دار و کویلی بدون پرده تقسیم می‌شوند. یک نوع از اواپراتورهای کویلی بدون پرده از دو صفحه فلزی که بر روی آنها شیارهایی برای عبور مبرد ایجاد شده است ساخته می‌شوند. (شکل ۶-۴)



شکل ۶-۴- اواپراتور کویلی بدون پرده

این نوع از اواپراتورها به دلیل شکل پذیری به فرم دلخواه، ساخت اقتصادی و سهولت تمیز شدن به طور وسیعی در یخچال ها و فریزرهای خانگی مورد استفاده قرار می گیرند.

نوع دیگری از اواپراتورهای کویلی بدون پره از لوله ای واقع بین دو صفحه فلزی ساخته می شود. صفحات فلزی در انتها به یکدیگر جوش می شوند. (شکل ۵-۶) در این اواپراتورها برای ایجاد تماس حرارتی مطلوب بین صفحات و لوله حامل مبرد، فضای بین صفحات را با محلول اتکتیک<sup>۱</sup> پریا خلأ ایجاد می کنند به طوری که فشار اتمسفریک بیرون باعث تماس حرارتی خوبی بین لوله ها و صفحات گردد. اواپراتورهای حاوی محلول اتکتیک به ویژه در مواقعی که ظرفیت ذخیره شده ای مورد نیاز باشد مفید است و بیشتر در کامیون های یخچال دار در سقف یا دیواره های آن نصب می شود.



شکل ۵-۶: اواپراتورهای صفحه ای

(a) پوسته بیرونی اواپراتور با سطح تخت که ضخیم بوده و جوش الکتریکی شده است.

(b) لوله فولادی که مبرد از داخل آن جریان می یابد.

(c) ورودی از کمپرسور

(d) خروجی به کمپرسور که برای تمام مبردها غیر از آمونیاک مسی می باشد و برای آمونیاک فولادی به کار می رود.

(e) اتصال برای ایجاد خلأ مابین صفحات که بعداً آب بندی می شود.

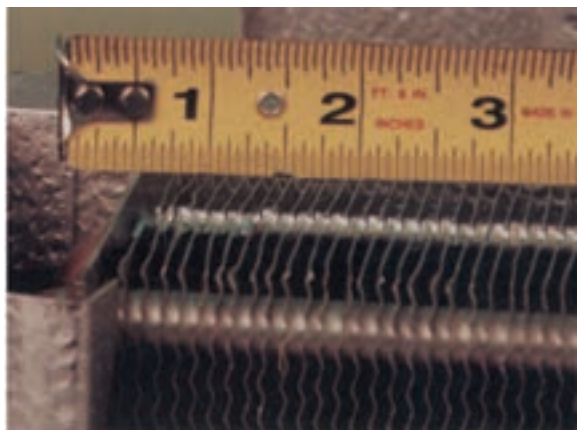
(f) فضای خلأ در اواپراتورهای خشک. اواپراتورهای با ظرفیت ذخیره تبرید حاوی محلول اتکتیک می باشند.

اواپراتور کویلی پره دار نوعی از اواپراتورهای لوله ای می باشند که در آنها به منظور افزایش سطح خارجی و در نتیجه بهبود راندمان سرد کردن هوا، پره هایی به عنوان سطوح ثانویه جذب حرارت بر روی لوله ها قرار گرفته اند. در اواپراتورهای لوله ای قسمت اعظم هوا بدون تماس با سطوح کویل سرد از آن عبور می کند ولی با افزودن پره هایی به لوله، سطوح تبادل حرارت به داخل فضای باز بین لوله ها نفوذ کرده و به صورت جمع کننده های حرارتی عمل می کند و حرارت قسمتی از هوا را که معمولاً با سطوح اولیه تماس نمی یابد گرفته و به لوله هدایت می کند. فاصله و اندازه پره ها تا حدودی به نوع کاربرد و قطر لوله بستگی دارد و برحسب دمای اواپراتور تعداد آنها در هر متر بین ۴۰ تا ۵۰۰ عدد متغیر است.

چون تشکیل برفک بر روی کویل های سردکننده هوایی که در درجات حرارت پایین کار می کنند غیر قابل اجتناب است و تشکیل برفک موجب محدود شدن مجرای بین پره ها و کند شدن جریان هوا در روی کویل می شود بایستی برای به حداقل رساندن احتمال محدود شدن جریان هوا در اواپراتورهای طراحی شده برای کاربردهای با دمای پایین، فاصله پره ها بیشتر و تعداد آنها کمتر باشد (حدود ۸۰ تا ۲۰۰ پره در هر متر) ولی در کویل های تهویه مطبوع و سایر کاربردهایی که در آنها دمای سطح کویل از دمای انجماد بالاتر است به دلیل عدم تشکیل برفک، پره ها حتی با فواصل ۱/۸ میلی متر نیز چیده می شوند. شکل ۶-۶ فاصله پره های در اواپراتورهای با دمای پایین و اواپراتورهای با دمای متوسط را نشان می دهد.

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

آسان ذوب است.



ب) اواپراتور با دمای متوسط



الف) اواپراتور با دمای پایین

شکل ۶-۶

اواپراتورهای کویلی پره‌دار نسبت به اواپراتورهای ساده سطوح حرارتی بیشتری دارند و در ظرفیت‌های یکسان فضای کمتری را اشغال می‌نمایند و لذا استفاده از آنها موجب صرفه جویی قابل ملاحظه‌ای در فضای نصب آنها می‌شود. (شکل ۶-۷)



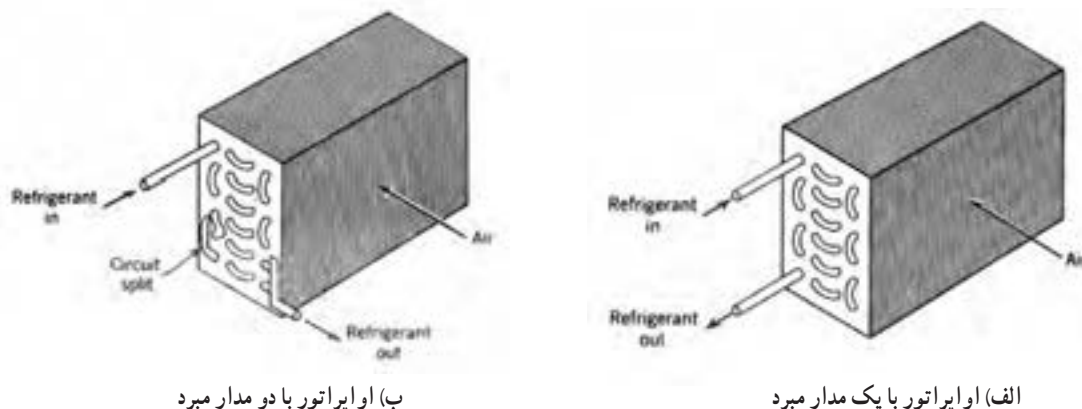
شکل ۶-۷- اواپراتور کویلی پره‌دار مورد استفاده در دستگاه‌های هواساز

## ۶-۵- پخش‌کننده‌ها در اواپراتور

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



با تقسیم لوله‌های اواپراتور به دو مدار می‌توان افت فشار اضافی در قسمت انتهایی اواپراتور را تا اندازه‌ای از بین برد. در این صورت مبرد تا زمان رسیدن به ماکزیمم سرعت مجاز، در یک مسیر واحد حرکت می‌نماید و سپس به دو مسیر موازی تقسیم می‌شود. به این ترتیب سرعت مبرد به نصف مقدار آن در مسیر واحد، تقلیل می‌یابد و افت فشار آن در واحد طول به  $\frac{1}{8}$  افت فشار واحد طول مدار واحد می‌رسد. البته این امر امکان بارگذاری بیشتر اواپراتور را بدون تجاوز افت فشار از حد مجاز میسر می‌سازد و در ضمن سرعت همه قسمت‌های کویل، در محدوده مورد نظر باقی می‌ماند و به این ترتیب شدت انتقال حرارت بی‌مورد تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. (شکل ۸-۶)



شکل ۸-۶

روش دیگر کاهش افت فشار استفاده از پخش کننده در مسیر ورودی مبرد به هر مدار اواپراتور و نصب کلکتور در انتهای هر مدار اواپراتور می‌باشد. نصب پخش کننده در مسیر ورودی مبرد به اواپراتور سبب می‌شود که ماده مبرد به صورت مساوی برای تمام مدارهای اواپراتور به طور مساوی تقسیم شود. (شکل ۹-۶)



شکل ۹-۶- محل نصب پخش کننده و کلکتور بر روی اواپراتور



## ۶-۶-۶-۶ برفک زدایی یا دیفر است

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

۶-۱۰)



شکل ۶-۱۰- تشکیل برفک بر روی اواپراتور

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

به‌طور کلی زمان برفک زدایی با میزان تجمع برفک بر روی اواپراتور و شدت انتقال حرارت برای ذوب برفک تعیین می‌شود. میزان تجمع برفک به نوع تأسیسات، فصل و فواصل زمانی برفک زدایی بستگی دارد.

### ۶-۶-۱-۶-۶ برفک زدایی با گرمکن الکتریکی :

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



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

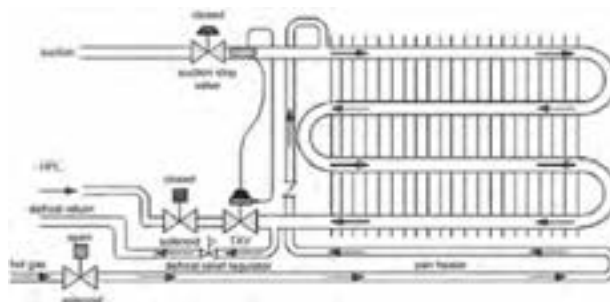
سیکل برف‌زدایی الکتریکی ممکن است به‌طور دستی یا به وسیله یک تایمر برفک‌گیر به‌طور اتوماتیک روشن و خاموش شود.

برای جلوگیری از انتقال گرما به فضای سردشونده فن‌های اواپراتور در زمان دیفر است خاموش خواهند بود. (شکل ۶-۱۱)

شکل ۶-۱۱- محل نصب هیترهای مورد نیاز

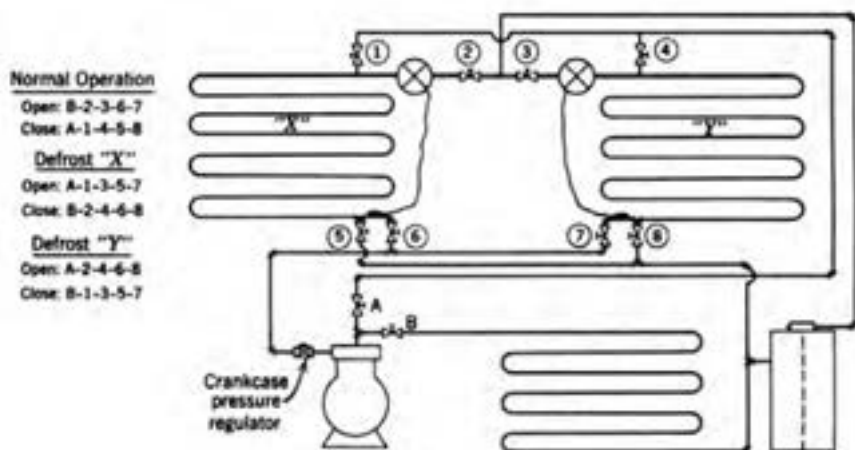
برای برفک زدایی

**۶-۶-۲- برفک زدایی با گاز داغ:** روش های برفک زدایی با گاز داغ تنوع زیادی دارند ولی همه آنها به نحوی از گاز داغ خروجی از کمپرسور به عنوان منبع حرارت برای برفک زدایی بهره می گیرند. یکی از ساده ترین روش ها برفک زدایی با گاز داغ مطابق شکل ۶-۱۲ می باشد.



شکل ۶-۱۲- دیفراست با گاز داغ

یک لوله میان بر مجهز به شیر برقی و شیر یک طرفه مابین خروجی کمپرسور و اواپراتور قرار می گیرد. هنگامی که شیر برقی باز می شود گاز داغ خروجی از کمپرسور میان بر می شود و پس از عبور از اواپراتور و ذوب کردن برفک های اواپراتور از شیر فشار شکن عبور کرده و پس از کاهش فشار گاز به سمت مکش کمپرسور بر می گردد. در زمان دیفراست شیر برق که در مسیر اصلی مبرد قبل از شیر انبساط قرار دارد در حالت بسته می باشد. در صورتی که در مدار سیکل تبرید دو اواپراتور نصب شده باشد مطابق شکل ۶-۱۳ عمل دیفراست هر اواپراتور را می توان با باز یا بستن شیرهای مشخص شده در شکل انجام داد. برای مثال برای دیفراست اواپراتور «X» می بایستی شیرهای (A-۱-۳-۵-۷) باز و شیرهای (B-۲-۴-۶-۸) را بست تا همزمان با کار کمپرسور و ایجاد پروت در اواپراتور «Y»، برفک های اواپراتور «X» در اثر عبور گاز داغ ذوب شود.

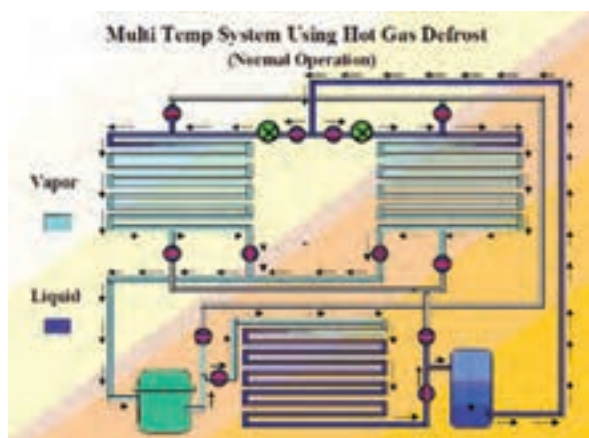


شکل ۶-۱۳- دیفراست با گاز داغ در مدار با دو اواپراتور

شکل ۶-۱۴ سیکل دیگری که از گاز داغ برای دیفراست استفاده شده را نشان می دهد. برخلاف روش دیفراست یا گرم کن الکتریکی در این روش در زمان دیفراست کمپرسور به کار خود ادامه خواهد داد.



ب) دیفراسست اوپراتور



الف) کار عادی سیکل

شکل ۱۵-۶

## ۶-۷- انتخاب اوپراتور

مدل اوپراتور از جدول ۶-۱۷ کتاب اصلی و با در اختیار داشتن دو عامل ظرفیت سرمایی سردخانه و دمای جوش ماده مبرد (Te) به دست می آید.

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

$$Te = Ti - TD$$

Ti- دمای سالن (دمای نگهداری محصول)

TD- اختلاف دمای هوای سالن و ماده مبرد جریان داخل کویل اوپراتور. دمای سالن که همان دمای نگهداری محصول می باشد را می توان با توجه به نوع محصول از جدول ۶-۱۹ کتاب اصلی بدست آورد. برای محاسبه اختلاف دمای هوای سالن و ماده مبرد جریان داخل کویل اوپراتور (TD) با توجه به رطوبت نسبی سالن سردخانه که از جدول ۶-۱۹ بدست آمده به جدول ۶-۱۶ کتاب اصلی مراجعه نموده و با در نظر گرفتن نوع جریان هوای اوپراتور TD را بدست می آوریم.

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

**حل :** با استفاده از جدول ۶-۱۹ کتاب اصلی دمای نگهداری ماهی تازه  $Ti = -1^{\circ}\text{C}$  می باشد. مقدار رطوبت نسبی سالن نگهداری ماهی تازه نیز ۸۵-۸۰ درصد می باشد.

طبق جدول ۶-۱۶ کتاب اصلی با فرض رطوبت ۹۳ درصد و نوع هوای جریان اجباری اوپراتور، TD معادل ۷-۸ درجه سانتی گراد بدست می آید. و در نهایت دمای جوش مبرد (۸-، -۹) بدست می آید.

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

$$Te = -1 - 8 = -9 \quad \text{و یا}$$

انتخاب مدل اوپراتور با داشتن دو عامل دمای جوش مبرد و ظرفیت برودتی انجام می گیرد. در جدول ۶-۱۷ کتاب اصلی ستون های دوم برای دمای جوش تا  $5^{\circ}\text{C}$  و ستون سوم برای دمای جوش  $3^{\circ}\text{C}$  طراحی شده است، با توجه به دمای جوش مبرد که قبلاً محاسبه نموده ایم در یکی از این دو ستون به سمت پایین حرکت می کنیم تا به عدد معادل ظرفیت برودتی مورد نیاز برسیم. در

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

**مثال:** ظرفیت برودتی یک سردخانه  $10000\text{ W}$  و دمای جوش مبرد  $5^\circ\text{C}$  است، مدل اواپراتور را بدست آورید.

**جواب:** مدل‌های (۸-۶۰۹-۸)، (۸-۶۰۶-۸)، (۸-۴۱۲-۸)، (۸-۴۱۴-۸)

را می‌توان برای این ظرفیت در نظر گرفت.

**مثال:** بار برودتی یک سردخانه که برای نگهداری ماهی منجمد استفاده می‌شود  $42\text{ kW}$  است. در صورتیکه بخواهیم در این

سردخانه دو اواپراتور با جریان اجباری هوا نصب نماییم ظرفیت هر یک از اواپراتورها را بدست آورید.

**حل:** با استفاده از جدول ۶-۱۹ کتاب اصلی:

$$T_i = -18^\circ\text{C} \quad \text{و} \quad RH = 85\%$$

با استفاده از جدول ۶-۱۶ کتاب اصلی و با فرض رطوبت  $85\%$ :

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

$$T_e = T_i - TD \quad T_e = -18 - 8 = -26^\circ\text{C}$$

از جدول ۶-۱۷ کتاب اصلی با توجه به ظرفیت هر اواپراتور

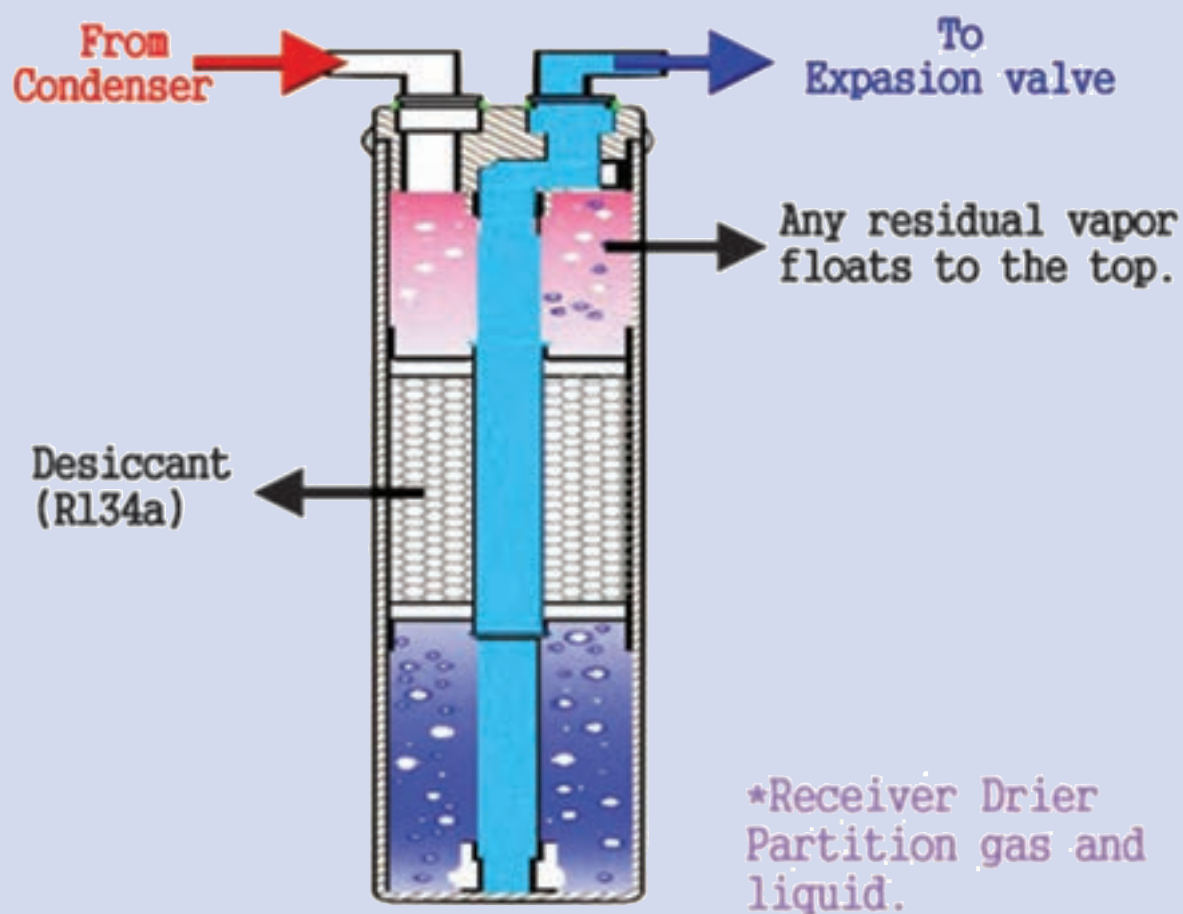
$$42 \div 2 = 21\text{ kW} = 21000\text{ W}$$

و دمای جوش مبرد  $Te = -37^\circ\text{C}$  مدل‌های (۸-۸۱۲-۸) و (۸-۶۱۴-۸) بهترین انتخاب می‌باشد. (شکل ۶-۱۶)

جدول ۱۶-۶- کاتالوگ نمونه انتخاب اواپراتور

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

## تجهیزات جانبی دستگاه‌های سردکننده







## تجهیزات جانبی دستگاه‌های سردکننده

### ۷-۱- جداکن روغن

#### پیش‌آزمون

اگر در یک سیستم تبرید تراکمی روغن به تدریج از کمپرسور به داخل سیکل برود و به کمپرسور برگردد چه اتفاقی می‌افتد؟

#### روشن‌آموزش

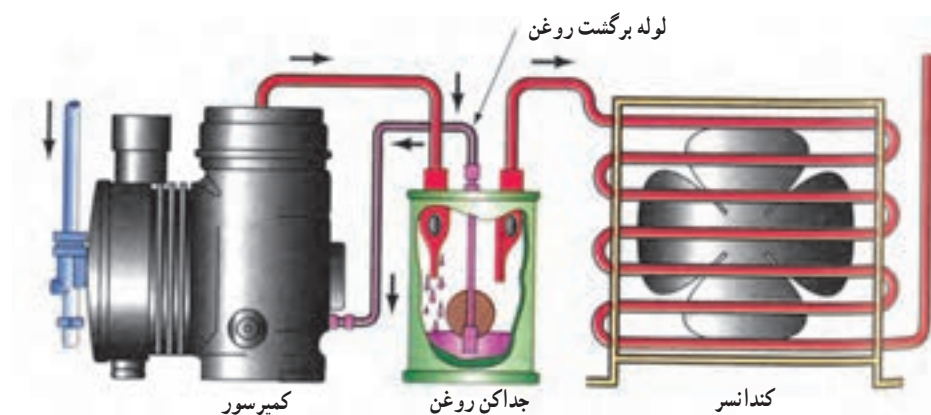
تأثیر روغن در کمپرسور و نیاز مبرم به آن در کمپرسور توضیح داده شود. همچنین زیان‌های روغن در کندانسر و اواپراتور و در نهایت ضرورت برگشت روغن خروجی از کمپرسور به کمپرسور گفته شود.

#### دانش‌افزایی

مطابق شکل ۷-۱ جداکن روغن پس از کمپرسور نصب می‌شود. وقتی گاز داغ به همراه روغن وارد جداکن روغن می‌شود گاز چون سبک است در قسمت بالا و روغن چون سنگین است در قسمت پایین جداکن روغن جمع می‌شود و بدین وسیله گاز و روغن از هم جدا می‌شوند. گاز تحت فشار رانش کمپرسور به سمت کندانسر می‌رود. حجم روغن در جداکن زیاد شده و باعث می‌شود سوپاپ ته تله روغن که در مسیر لوله برگشت روغن به کمپرسور است باز شده و تحت مکش کمپرسور روغن جمع شده در جداکن روغن به کمپرسور برگشت داده شود.

#### کار در کلاس

شکل ۷-۱ کتاب اصلی را رسم کرده سیکل را تکمیل کرده قسمت‌های مختلف سیکل را نام‌گذاری کرده و لوله‌های رانش و مکش و برگشت روغن جداکن روغن را روی آن مشخص کنید.



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

الف) جداکن روغن روی خط رانش نصب می‌شود.

شکل ۷-۱- جداکن روغن



- ۱- محل نصب تله روغن در سیکل تبرید کجاست؟ بعد از کمپرسور و قبل از کندانسر
- ۲- چه عاملی باعث برگشت روغن از تله روغن به کمپرسور می شود؟ فشار رانش روی روغن از یک طرف و فشار مکش کمپرسور از طرف دیگر باعث برگشت روغن به کمپرسور می شود.
- ۳- دو مورد از وظایف جداکن روغن را بنویسید.
- ۱- جلوگیری و حفاظت کمپرسور از کارکرد بدون روغن
- ۲- پیشگیری از جدا شدن موم از روغن
- ۴- چه عاملی باعث جدا شدن روغن از گاز در جداکن روغن می شود؟ سبک بودن گاز و سنگین بودن روغن، گاز را در سطح بالا و روغن را در سطح پایین جداکن روغن قرار می دهد و بدین وسیله از هم جدا می شوند.
- ۵- چه عاملی باعث باز شدن دهانه لوله برگشت روغن در جداکن روغن می شود؟ اگر ازدیاد حجم روغن در جداکن به اندازه ای برسد که نیروی ارشمیدس شناور را از جای خود بالا ببرد و راه دهانه برگشت باز شود.

## تحقیق

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

## ۷-۲- مخزن مایع سرمازا

## پیش آزمون

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

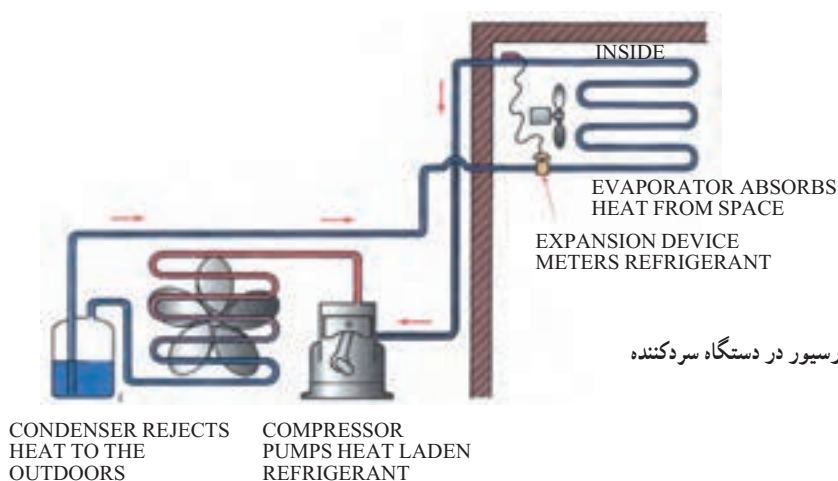
## روشن آموزی

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

## دانش افزایی

شکل ۷-۲ چگونگی قرارگیری رسیور در دستگاه سردکننده را نشان می دهد.

مخزن مایع سرمازا در دو نوع افقی و عمودی ساخته می شود و در سیستم هایی که کندانسر هوایی دارند استفاده می شود. محل نصب آن بعد از کندانسر می باشد که در دو حالت از آن استفاده می شود الف) حالتی که سیستم نیاز به تعمیر داشته باشد به خاطر اینکه مبرد به هوا نرود آن را در رسیور جمع آوری کرده و پس از تعمیر سیستم به سیکل برمی گردانند. ب) در بعضی از سیستم های تبرید خاموش روشن شدن سیستم با استفاده از پایین و بالا شدن فشار مکش کمپرسور انجام می گیرد. در این حالت با قطع ترموستات شیر برقی بعد از رسیور مسیر را می بندد و گاز در رسیور جمع می شود و باعث پایین آمدن فشار در کمپرسور و خاموش شدن آن می شود و با باز شدن شیر برقی مبرد به کمپرسور رفته فشار مکش بالا رفته و کمپرسور روشن می شود.



شکل ۷-۲- چگونگی قرارگیری رسیور در دستگاه سردکننده

### کار در کلاس

- ۱- پرسش و پاسخ: انواع رسیور را نام ببرید. افقی و عمودی
- ۲- محل نصب رسیور کجاست؟ بعد از کندانسر
- ۳- سیستم‌های برودتی با کندانسر آبی چرا رسیور ندارند؟ پایین پوسته کندانسر به جای رسیور عمل می‌کند.

### تحقیق

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

### ۷-۳- فیلتر درایر

#### پیش‌آزمون

اگر داخل سیستم تبرید مواد زائدی به همراه ماده مبرد به داخل سیستم برود چه اتفاقی ممکن است بیفتد؟

#### روشن‌آموزش

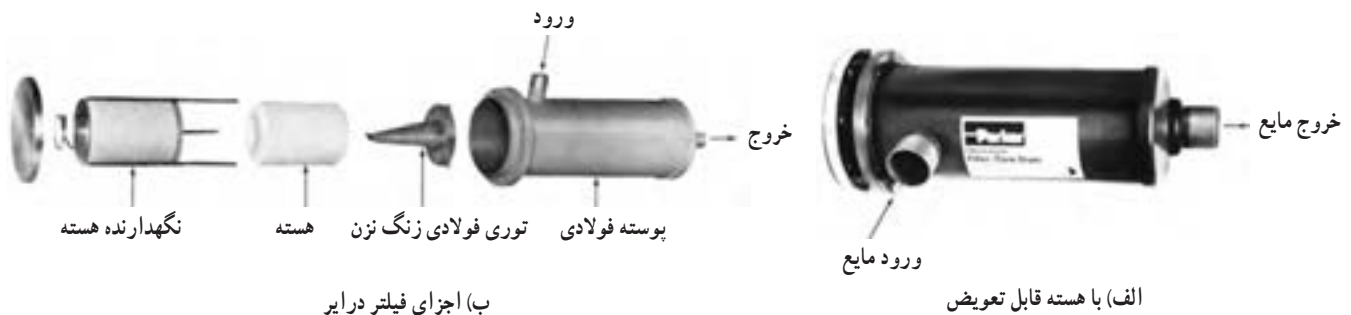
لازم است در خصوص گرفتگی سیستم تبرید مخصوصاً در سیستم‌های کوچک و در محل لوله مویی توضیحاتی داده شود. همچنین مضرات رطوبت برای مواد مبرد گفته شده سپس فیلتر درایرهای ثابت و هسته قابل تعویض توضیح داده شود.

#### دانش‌افزایی

شکل ۷-۳ فیلتردرایرهای قابل استفاده در سیستم‌های تبرید کوچک را نشان می‌دهد. در داخل این فیلتر درایرها مقداری آلومینای احیا شده یا سلیکاژل وجود دارد که نوعی جاذب رطوبت هستند و چنانچه ماده مبرد رطوبتی به همراه داشته باشد توسط این مواد جذب شده و به دام می‌افتند به همین دلیل به آن درایر (خشک کننده یا رطوبت گیر) می‌گویند.



شکل ۷-۳: فیلتر درایر قابل استفاده در سیستم های تبرید کوچک



شکل ۷-۴: فیلتر درایر

در سیستم های کوچک که از فیلتر درایرهای کوچک استفاده می شود لوله مویی به خروجی فیلتر درایر وصل می شود. بعضی از فیلتر درایرها علاوه بر لوله ورودی یک لوله اضافی هم دارند که در صورت لزوم استفاده از شارژ ماده مبرد به صورت مایع از آن استفاده می کنند در سیستم های بزرگ تر از فیلتر درایرهایی استفاده می شود که هسته آنها قابل تعویض است. (شکل ۷-۴) در این فیلتر درایرها در ابتدای فصل راه اندازی ماده مبرد را در رسیور یا کندانسر جمع آوری کرده هسته فیلتر درایر را عوض کرده سپس ماده مبرد را به سیستم برمی گردانند.

## کار در کلاس

فیلتر درایرها را با توجه به شکل های ۷-۶ تا ۷-۸ بررسی کرده اجزای داخلی آنها را به ترتیب طبقه بندی کرده و بنویسید.

## پرسش و پاسخ

۱- علت گفتن درایر در نام گذاری فیلتر درایر چیست؟

**جواب:** موادی به اسم آلومینای احیا شده یا سلیکاژل در داخل فیلتر درایر است که کارش به دام انداختن رطوبت های احتمالی می باشد به این دلیل به آن درایر هم می گویند.

۲- لوله اضافی که روی بعضی از فیلتر درایرهای یخچال های خانگی وجود دارد برای چیست؟ برای شارژ ماده مبرد به صورت مایع.

چنانچه سلیکاژل داخل فیلتر درایی از رطوبت اشباع شده باشد و آن را عوض نکنیم چه اتفاقی می افتد؟

## ۷-۴- مبدل گرمایی

### پیش آزمون

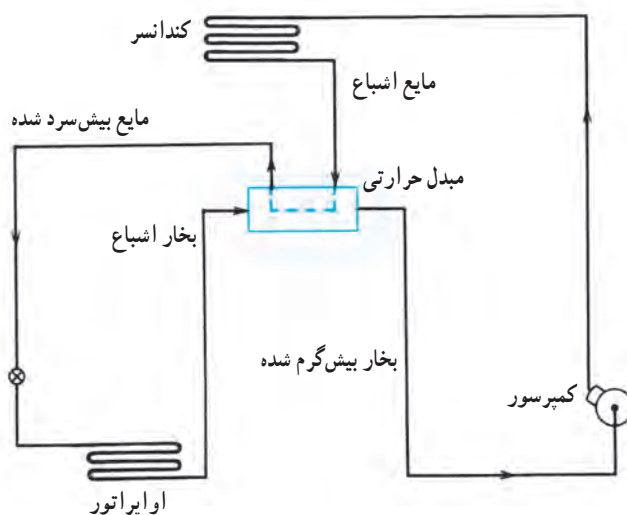
چکار کنیم تا در یک سیستم تبرید راندمان بیشتری داشته باشیم؟

### روش آموزش

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

### دانش افزایی

ماده مبرد در خروجی از کندانسر و قبل از ورود به اواپراتور هرچه سردتر باشد وقتی که به اواپراتور می رود چون کاملاً مایع خواهد بود و گازی همراه نخواهد داشت گرمای بیشتری از محیط اواپراتور برای تبخیر می گیرد در نتیجه سرمای بیشتری تولید می شود. از طرفی ماده مبرد در هنگام برگشت به کمپرسور بایستی به حالت سوپرهیت باشد تا هیچ مایعی همراه آن نباشد. برای رسیدن به هر دو منظور از دستگاهی به اسم مبدل گرمایی استفاده می کنند. در این دستگاه لوله خروجی از کندانسر را قبل از اواپراتور و لوله مکش را قبل از کمپرسور طوری کنار هم قرار می دهند که مایع قبل از ورود به اواپراتور گرمایش را به لوله مکش بدهد در نتیجه هم مبرد قبل از ورود به اواپراتور بیش سرد می شود و از طرف دیگر مبرد برگشتی قبل از ورود به کمپرسور بیش گرم می شود. (شکل ۷-۵ را ببینید)



شکل ۷-۵- مبدل گرمایی جهت بیش سرد کردن مبرد در خط مایع و بیش گرم شدن بخار مبرد در خط مکش

سیکل تبرید را رسم کرده و محل مبدل گرمایی را در آن مشخص کرده و قسمت های سیکل را نام گذاری کنید.

## پرسش و پاسخ

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

**پاسخ:** باعث بالا رفتن ظرفیت برودتی سیستم تبرید می شود.

۲- در یخچال خانگی مبدل گرمایی کجاست؟ در یخچال خانگی لوله موئین را به دور لوله برگشت از اواپراتور می پیچانند یا در مجاورت آن و چسبیده به لوله برگشت اواپراتور و یا گاهی لوله موئین را از داخل لوله برگشت اواپراتور عبور می دهند تا تبادل گرمایی در لوله های قبل و بعد از اواپراتور صورت بگیرد.

## تحقیق

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

## ۵-۷- شیرهای سرویس رانش و مکش کمپرسور

## پیش آزمون

۱- چگونه می شود کمپرسوری را جهت تعمیر از یک سیکل تبرید باز کرد به طوری که مبرد آن را تخلیه نکنیم؟

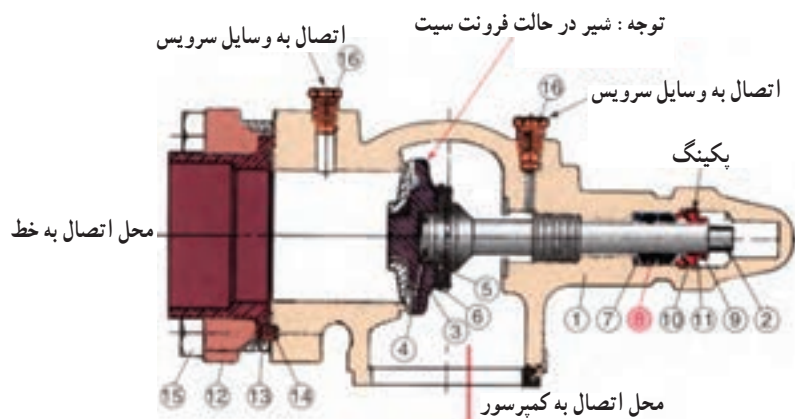
## روش آموزش

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

## دانش افزایی

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

الف) شیر سرویس



ب) برش خورده شیر سرویس

شکل ۶-۷

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

## کار در کلاس

شکل ۶-۷ را بررسی کرده و قسمت‌های شماره گذاری آن را نام برده چند بار تکرار کنید تا خوب یاد بگیرید.

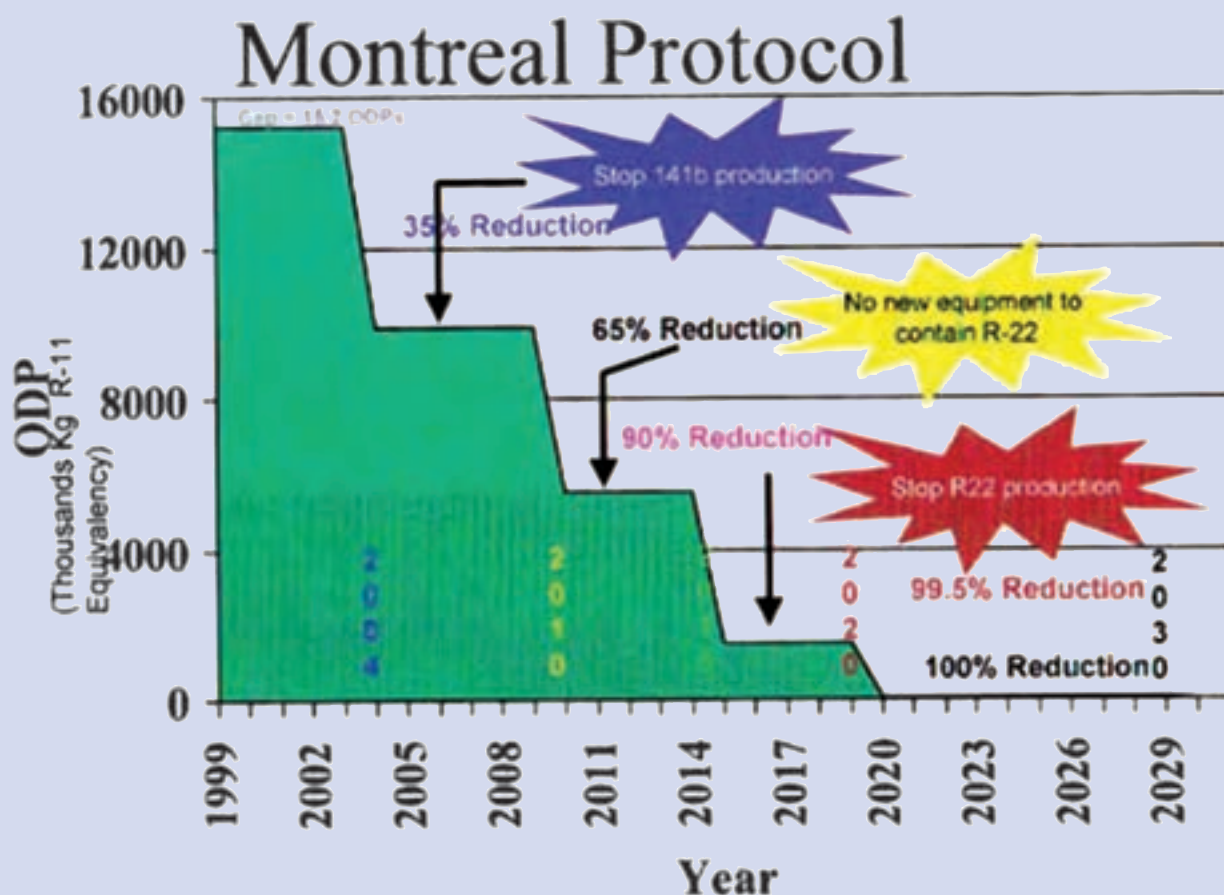
## پرسش و پاسخ

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

## تحقیق

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

## مواد سرمازا و روغن‌ها



Switching to HFC alternatives is more important than ever!



## مواد سرمازا و روغن‌ها



## پیش‌آزمون

- ۱- چرا لایه ازن سوراخ شده است؟
- ۲- چرا یخ‌های قطبی در حال آب شدن هستند؟
- ۳- چند سرمازا را نام ببرید.
- ۴- روان‌کاری کمپرسور را کدام ماده انجام می‌دهد؟

## ۸-۱- تاریخچه

## روش آموزش

هدف از پرسش‌های پیشنهادی پیش‌آزمون بارش فکری است و نباید در مورد پاسخ آنها داوری، ارزشیابی یا خرده‌گیری کرد و تنها پاسخ چند نفر را در گوشه‌ای از تخته یادداشت کنید. در ادامه هنرآموزان می‌توانند ابتدا به چکیده‌ای از تاریخچه سرمازاها اشاره کنند.

## دانش‌افزایی

## تاریخچه پیدایش مواد سرمازا

در جدول شکل ۸-۱ گام‌هایی که در راستای پیدایش مواد سرمازا انجام شده، آمده است.

جدول ۸-۱- تاریخچه پیدایش مواد سرمازا

عملیات	سال (میلادی)
کشف آمونیاک	۱۷۷۴
کاربرد دی‌اکسید گوگرد مایع به‌عنوان مبرد	۱۷۸۷
تولید دی‌اکسید کربن در حالت جامد	۱۸۳۴
کاربرد آمونیاک مایع به‌عنوان مبرد	۱۷۸۰
استفاده از کلرواتان $C_2H_5Cl$ در کمپرسورهای روتاری توسط پالمر	۱۸۹۰
استفاده از ایزوبوتان توسط ادموند کولپند و هری ادوارد در یخچال‌های کوچک	۱۹۲۰
استفاده از دی‌کلرواتان $C_2H_2Cl$ توسط کریپر در کمپرسورهای سانتریفوژ	۱۹۲۲

۱۹۲۶	اختراع مبرد مصنوعی CFC با نام تجاری فریون توسط توماس میدگلی
۱۹۳۰	تولید فریون ۱۲
۱۹۳۵	تولید فریون ۲۲
۱۹۵۳	تولید فریون ۵۰۲
۱۹۷۳	گزارش پروفیسور جیمز لاولاک از وجود بسیار کم از گازهای مبرد در جو زمین
۱۹۷۴	پیش‌بینی شروود رولند و ماریو مولینا در مورد تخریب لایه ازن توسط فریون‌ها
۱۹۸۵	کشف «حفره ازن» بر سر قطب جنوب
۱۹۸۵	کنوانسیون وین درباره حفاظت از لایه ازن
۱۹۸۷	امضای پروتکل پیشگیری از تولید سرمازاهای ویرانگر لایه ازن (CFC) در مونترال
۱۹۹۲	پذیرش پیشگیری از کاربرد سرمازاهای در برگرنده کلر و حتی هیدروژن (HCFC) در چهارمین گردهمایی امضاکنندگان پروتکل مونترال در کپنهاک
۱۹۹۵	گزارش گروه بین‌المللی متخصصان درباره تغییرات آب و هوا (IPCC) که انتظار می‌رود تا پایان قرن ۲۱ دمای زمین به ۲۰ درجه سلسیوس برسد. (دمای کنونی ۱۴ درجه)
۱۹۹۷	امضای پروتکل پیشگیری از تولید سرمازاهای پتانسیل بالا در گرمایش زمین در کیوتو

## ۸-۲- سرمازاها

### روش آموزش

پس از تاریخچه می‌توان دو دیدگاه را برای آموزش برگزید:

**دیدگاه یکم:** همانند کتاب تأسیسات برودتی در آغاز موضوع محیط زیست و مواد سرمازا را بیان کنید.

**دیدگاه دوم:** در آغاز دسته‌بندی سرمازاها را توضیح داده و سپس به محیط زیست پردازید.

در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند پس از یادآوری اندکی از شیمی آلی که هنرجویان در سال اول متوسطه آموخته‌اند به ساختار آلکان‌ها اشاره و بر مبنای آن متان و اتان را بیان کنند. چون کاربرد سرمازای R-۱۳۴ زیاد است با کشیدن شکل آن بدون در نظر گرفتن ایزومرهای آن ثابت کنید که این گاز در سری اتان است. همانطور که می‌دانید نام این گاز تترافلورواتان است و فرمول شیمیایی آن  $\text{CH}_2\text{FCF}_3$  است. البته می‌توانید قبل از اینکه به این بحث پردازید، دسته‌بندی سرمازاها را با نموداری که در بخش دانش‌افزایی آمده آغاز نمایید و نمودار را در گوشه‌ای از تخته بکشید که تا آخر این درس هنرجو بتواند جایگاه هر سرمازا را ببیند. سپس برابر شکل ۸-۴ برای کربن، هیدروژن، فلور و کلر یک رنگ در نظر گرفته و چهار حالت هالوکربن‌ها را رسم کنید. البته گروه FC در کتاب نمی‌باشد و برای دانش‌افزایی می‌توان آن را بیان نمود.

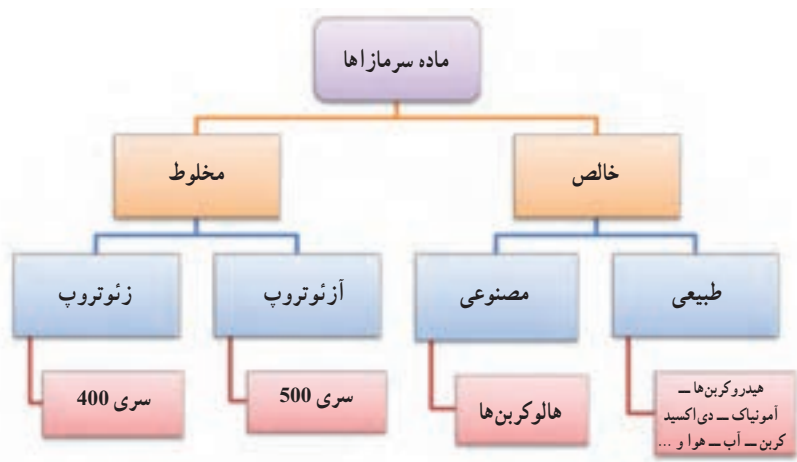
سرمازاهای مخلوط را به دلیل کاربرد فراوان آنها و اشاره کتاب به سرمازای R-۴۰۷ می‌توان بیان نمود. سپس به سرمازاهای طبیعی اشاره شود و به دلیل مشکلاتی که سرمازاهای مصنوعی برای محیط زیست پیش آورده است و بازگشت به سرمازاهای طبیعی بهتر است که با یک نگاه ویژه به آنها توجه شود.

الف) شیمی آلی<sup>۱</sup>

شیمی آلی درباره پیوندهای کربن یا مواد آلی سخن می گوید. موادی که از منابع آلی بدست می آیند، در یک ویژگی مشترک هستند و آن اشتراک در دارا بودن عنصر کربن است. شیمی آلی، شیمی ترکیبات کربن با سایر عناصر به ویژه هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، هالوژن ها و غیر فلزات دیگر نظیر گوگرد و منیزیم است. ساختمان موجودات زنده به غیر از آب، به طور عمده از مواد آلی ساخته شده اند. برخی از ترکیبات آلی فقط شامل دو عنصر، هیدروژن و کربن هستند و از این رو به عنوان هیدروکربن شناخته می شوند. هیدروکربن ها براساس ساختمان آنها، به دو دسته اصلی، آلیفاتیک و آروماتیک تقسیم می شوند. هیدروکربن های آلیفاتیک خود به گروه های آلکان ها ( $C_nH_{2n+2}$ )، آلکن ها ( $C_nH_{2n}$ )، آلکین ها ( $C_nH_{2n-2}$ )، و ترکیبات حلقه ای مشابه سیکلو آلکان ها و غیره تقسیم می گردند. آلکان ها که آغازگر آنها متان است به ترکیبات غیر حلقوی و خطی کربن و هیدروژن اطلاق می شود. در آلکان ها تعداد اتم های هیدروژن نسبت به اتم های کربن، دو برابر به علاوه دو می باشد. برای مثال در مولکول بوتان، چهار اتم کربن و ده اتم هیدروژن وجود دارد. در آلکان ها، انتظار می رود هرچه تعداد اتم ها افزایش یابد، تعداد آرایش های ممکن اتم ها نیز زیادتر می شود. به تدریج که در سری آلکان ها پیش می رویم، تعداد ایزومرها در هم رده های متوالی به میزان شگفت آوری افزایش می یابند. برای مثال هپتان دارای نه ایزومر می باشد، یعنی در شیمی آلی نه ماده مختلف با ویژگی های گوناگون هستند که فرمول همگی آنها  $C_7H_{16}$  است. برای نامیدن ترکیبات گوناگون و پیچیده آلی از روش استاندارد آیوپاک استفاده می کنند. همچنین آلکن ها، هیدروکربن هایی هستند که یک پیوند دوگانه کربن با کربن ( $C=C$ ) دارند. آلکن ها سیر نشده هستند، یعنی می توانند هیدروژن بگیرند و سیر شوند. آلکین ها نیز هیدروکربن هایی هستند که دست کم یک پیوند سه گانه بین دو اتم کربن دارند. نام آیوپاک کوچک ترین آلکین، اتین  $C_2H_2$  است. پیش تر اتین به نام استیلن شناخته می شد به همین دلیل آلکین ها به نام استیلن ها نیز نامیده می شوند.

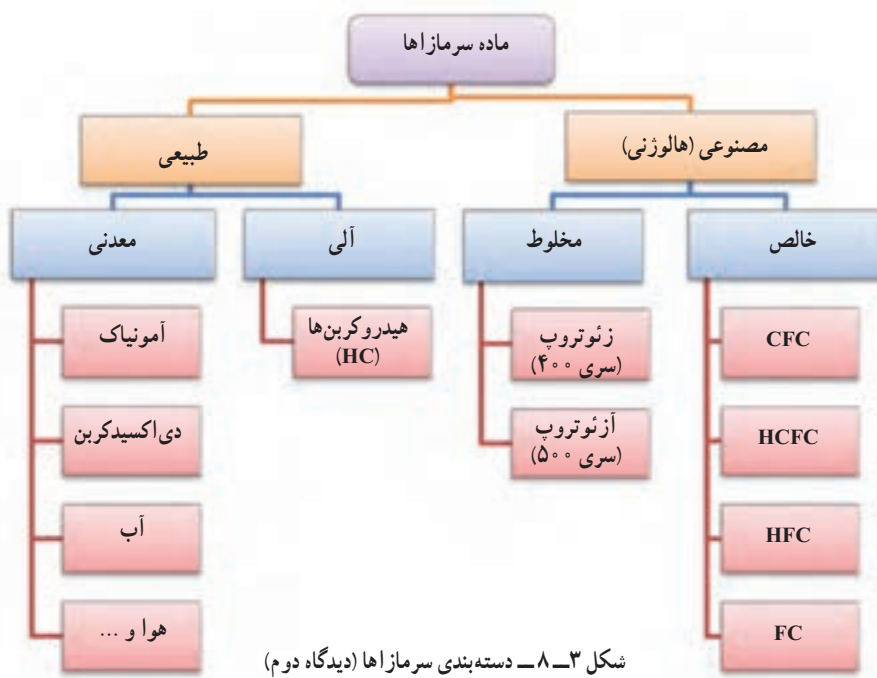
## ب) دسته بندی سرمازاها

به ماده ای سرمازا<sup>۲</sup> گویند که در یک چرخه گرمایی بتواند افزون بر گرفتن گرما و پس دادن آن در محل دیگر، برگشت پذیر بوده و از مایع به گاز و بالعکس تبدیل شود. استاندارد ASHRAE ۳۴ بیش از صد سرمازا را نامبرده است. سرمازاها را از چند دیدگاه می توان دسته بندی نمود. یک دیدگاه آن در شکل ۸-۲ آمده است:



شکل ۸-۲ - دسته بندی سرمازاها (دیدگاه یکم)

در شکل ۸-۳ همان سرمازاها را از دیدگاهی دیگر دسته‌بندی نموده است :



در این بخش به شرح دسته‌بندی از دیدگاه دوم پرداخته می‌شود :

## ۱- سرمازاهای مصنوعی

این سرمازاها در طبیعت یافت نمی‌شوند و به‌صورت مصنوعی تولید می‌شوند. بیشتر این بخش را، هالوکربن‌ها (هر سرمازا که دست کم دارای یک نوع هالوژن (کلر، فلور، برم و ید) باشد) تشکیل می‌دهند و خود در دو گروه قرار دارند :

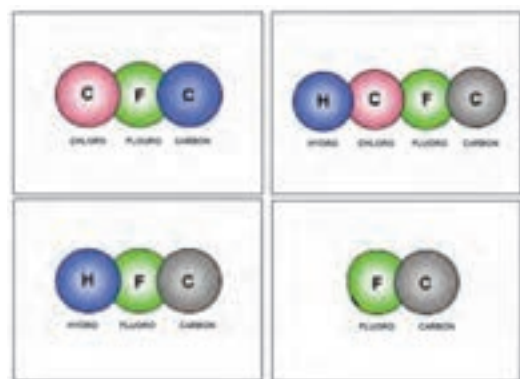
### سرمازاهای خالص

سرمازاهای هالوژنی خالص از یک نوع مولکول تشکیل شده‌اند و خود در چهار گروه دسته‌بندی می‌شوند :

**گروه CFC:** ماده تشکیل دهنده شامل کربن و فلور و کلر است. چون در ساختار این گروه فقط کربن و هالوژن‌ها قرار دارند آن را گروه هالوژنی کامل کلداری نیز می‌نامند. مانند : R-۱۲

**گروه HCFC:** ماده تشکیل دهنده آن شامل عناصر کربن و فلور و کلر و هیدروژن است. چون در ساختار این گروه علاوه بر کربن و هالوژن‌ها، هیدروژن نیز قرار دارد آن را گروه هالوژنی ناقص نیز می‌نامند.

مانند : R-۲۲



شکل ۸-۴ - هالوکربن‌ها

**گروه HFC:** ماده تشکیل دهنده آن شامل عناصر کربن و فلور و هیدروژن است. همانطور که دیده می‌شود کلر از ساختار این

گروه خارج شده است. مانند: R۱۳۴a

**گروه FC:** ماده تشکیل دهنده آن شامل عناصر کربن و فلور است. گاهی این گروه را PCF<sup>۱</sup> نیز می نامند. همانطور که دیده می شود کلر و هیدروژن از ساختار این گروه خارج شده است. آن را گروه هالوژنی کامل بدون کلر نیز می نامند. مانند: R۱۴

## سرمازاهاى مخلوط

مخلوط دو یا چند ماده سرمازا را با نسبت خاصی با یکدیگر که خود به دو گروه اصلی دسته بندی می شوند:

**آزئوتروپ ها<sup>۲</sup>:** آزئوتروپ ها از آمیختن دو یا چند سرمازا که بعد از درهم شدن یک ماده تازه را تشکیل می دهند که ویژگی آن ماده با هر یک از مواد تشکیل دهنده آن متفاوت است، به دست می آید. درصد های مواد تشکیل دهنده این سرمازاها در حالت های گاز و مایع مساوی است. سرمازا های سری ۵۰۰ از این دسته می باشند. مانند R۵۰۷ که ترکیبی از ۵۰ درصد R۱۲۵ و ۵۰ درصد R۱۳۴a است.

**زئوتروپ ها<sup>۳</sup>:** زئوتروپ ها از آمیختن دو یا چند سرمازا که در فشار و دمای معین درصدهای تشکیل دهنده مواد در حالت گاز و مایع برابر نیستند، به دست می آیند. در نتیجه عمل تبخیر یا تقطیر در دمای ثابتی انجام نمی شود. مواد سرمازای سری ۴۰۰ از این دسته می باشند. مانند R۴۱۰a که ترکیبی از ۵۰ درصد R۱۲۵ و ۵۰ درصد R۳۲ است.

## مواد سرمازای طبیعی

### مواد سرمازای آلی

**هیدروکربن ها (HC):** ساختار اصلی این دسته را کربن و هیدروژن تشکیل می دهد و در بعضی از کشورها این دسته سرمازا بسیار به کار می رود. از شناخته ترین هیدروکربن هایی که در تبرید رایج می باشند پروپان (R۲۹۰) و ایزوبوتان (R۶۰۰a) می باشد. از ویژگی های این سرمازاها: اثر نامطلوب زیست محیطی کم، اشتعال پذیری بالا، راندمان زیاد، سردکنندگی خیلی خوب می باشد.

## مواد سرمازای معدنی

**آمونیاک (NH<sub>3</sub>):** آمونیاک (R۷۱۷) مهم ترین ترکیب هیدروژنه ازت است و در طبیعت از تجزیه مواد آلی ازت دار بدست می آید. آمونیاک گازی است بی رنگ، با مزه فوق العاده تند و زننده که اشک آور و خفه کننده است. گاز آمونیاک از هوا سبک تر بوده و به سهولت به مایع تبدیل می شود. آمونیاک در آب بسیار محلول بوده و نقطه ذوب آن ۷۸°C- و نقطه جوش آن ۳۴°C- است. آمونیاک سبب تحریکات دستگاه تنفسی، پوست و چشم شده و با آسیب رساندن به شش ها در اثر مواجهه با حجم زیاد این گاز می تواند سبب مرگ شود. آمونیاک به شکل نمک آمونیاک نخستین بار توسط جابر ابن حیان شیمیدان ایرانی شناخته شد.

اما آنچه جلب توجه می کند قیمت پایین، بازدهی بالای سیکل و ضریب انتقال گرمایی و دمای بالای بحرانی این ماده است. ضمن اینکه بی تأثیر بودن نسبت به نفوذ آب به سیستم و تشخیص سریع محل نشست در سیستم و حل نشدن روغن در آمونیاک از مزایای دیگر این ماده است. به خصوص که اثر مخرب بر ازن ندارد و اثر گرمایی نیز ندارد.

نکات منفی در مورد آمونیاک بوی تند، سمی بودن و توانایی افروزش و انفجار و سبک تر از هوا بودن است.

**دی اکسید کربن ( $\text{CO}_2$ ):** یکی دیگر از سرمازاهای طبیعی دی اکسید کربن ( $\text{R}-744$ ) است که در جو یافت می‌شود. قیمت پایین و سادگی سیستم و کارکرد با روغن معدنی و بی خطر بودن برای طبیعت از مزایای این ماده است. دی اکسید کربن دارای فشار بحرانی بالا و دمای بحرانی پایین ( $31^\circ\text{C}$ ) و دمای نقطه سه گانه نسبتاً بالا ( $-56^\circ\text{C}$ ) است.

**آب:** در سیستم‌های جذبی از آب ( $\text{R}-718$ ) به عنوان ماده سرمازا استفاده می‌شود.

**هوا:** گرچه استفاده از هوا ( $\text{R}-729$ ) در چرخه‌ها نسبت به سایر سرمازاها بهره کمتری دارد با این حال در صنایع و سردکردن کابین هواپیما از آن استفاده می‌شود.

در شکل ۸-۵ جدول مواد سرمازای خالص آورده شده است.

شکل ۸-۵ — جدول مواد سرمازای خالص

هالوژنی				غیر هالوژنی	
کلردار		بدون کلر		هیدروکربن‌ها HC	غیر آلی
هالوژنی کامل CFC	هالوژنی ناقص HCFC	هالوژنی کامل FC	هالوژنی ناقص HFC		
R11	R22	R14	R23	$\text{R}17^\circ$ (اتان)	$\text{R}7^\circ 2$ (هیدروژن)
R12	R123	R116	R125	$\text{R}29^\circ$ (پروپان)	$\text{R}7^\circ 4$ (هلیوم)
R13	R124	R218	R32	$\text{R}6^\circ 0$ (پوتان)	$\text{R}717$ (آمونیاک)
$\text{R}13\text{B}1$	$\text{R}142\text{b}$	$\text{RC}318$	$\text{R}134\text{a}$	$\text{R}6^\circ 0\text{a}$ (ایزوبوتان)	$\text{R}718$ (آب)
R113			$\text{R}143\text{a}$	$\text{R}115^\circ$ (اتیلن)	$\text{R}728$ (نیتروژن)
R114			$\text{R}152\text{a}$		$\text{R}732$ (اکسیژن)
R115			$\text{R}227$		$\text{R}740$ (آرگون)
					$\text{R}744$ ( $\text{CO}_2$ )
					$\text{R}764$ ( $\text{SO}_2$ )

### ۸-۳ — سرمازاها و محیط زیست

#### روش آموزش

هنرآموزان محترم در این بخش برای اینکه روشن شود سرمازاها چه تأثیری بر محیط زیست دارند بهتر است در آغاز به لایه ازن و سرمازاها که در برگیرنده چهار موضوع لایه ازن، پتانسیل تخریب لایه ازن، رویه تخریب لایه ازن و پروتکل مونترال است پرداخته شود.

در بخش بعدی به گرم شدن زمین و سرمازاها که خود دربرگیرنده سه موضوع گازهای گلخانه‌ای، توان گرم کردن زمین و پروتکل کیوتو است اشاره شود.

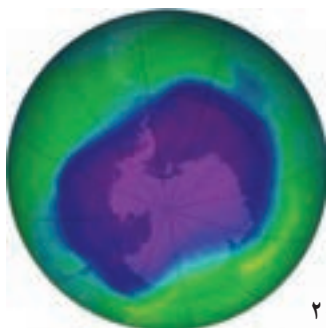


شکل ۶-۸- لایه‌های اتمسفر

**الف) لایه ازن:** گاز ازن ( $O_3$ ) یکی از شکل‌های گاز اکسیژن است. این گاز را شیمیدان آلمانی به نام کریستین فردریش شونباین<sup>۱</sup> کشف و نام آن را از واژه‌ای یونانی به معنی «بو» گرفته است. علت این نام‌گذاری این است که بعد از آذرخش و باران بوی مطبوعی در هوا می‌پیچد که دلیل آن وجود گاز ازن است. این گاز در اثر برخورد پرتوهای فرابنفش یا آذرخش به مولکول‌های اکسیژن و تجزیه آن به دو اتم اکسیژن و در نتیجه ترکیب یک اتم با یک مولکول ایجاد می‌شود. در لایه استراتوسفر زمین گاز ازن قرار دارد. لایه ازن با غلظت بالایی از مولکول‌های ازن تشکیل شده است و در سال ۱۹۱۳ توسط دو فیزیک‌دان فرانسوی به نام‌های چارلز فابری و هنری بویسون کشف شد. چنانچه از فضا به زمین نگاه شود این لایه به شکل یک نوار آبی نازک قابل مشاهده است. علت قرار گرفتن این گاز در این لایه این است که در بالای ازن ذراتی وجود دارند که آنها را شبه عناصر می‌نامند. در حالت طبیعی زمین ذرات بسیار ریزی را از خود تولید می‌کند که این ذرات سبک‌تر از گاز ازن می‌باشد. خورشید نوعی موج ویژه دارد که پس از برخورد با زمین تا قسمت بیرونی لایه ازن منعکس می‌گردد و دقیقاً در مرز انعکاس این امواج، ذرات مذکور در لایه‌ای حدود سه تا چهار کیلومتر تشکیل می‌شوند. این ذرات به صورت محافظ، از ازن نگهداری می‌کنند. این لایه با جذب ۹۷ تا ۹۹ درصد پرتوهای فرابنفش خورشید، زندگی را بر روی زمین ممکن می‌سازد. لایه ازن از پرتوهای پر انرژی فرابنفش را جذب کرده و آنها را به شکل پرتوهای فروسرخ درمی‌آورد و به سطح زمین می‌فرستد.

از نیمه اول قرن بیستم، فعالیت انسان روی زمین موجب بروز ضایعاتی در لایه ازن شده و به نظر می‌رسد که زندگی روی کره زمین در معرض مخاطره قرار گرفته است. در واقع انسان ناخواسته هوا را با مواد شیمیایی آلوده می‌کند و سپر حفاظتی خود را از بین می‌برد. لایه ازن را می‌توان با کاتالیزور رادیکال‌های آزاد، از جمله اکسید نیتریک ( $NO$ )، اکسید نیتروژن ( $N_2O$ )، هیدروکسید ( $OH$ )، اتم کلر ( $Cl$ )، و اتم برم ( $Br$ ) از بین برد. در سال‌های اخیر با توجه به پخش مقادیر زیادی از ترکیبات هالوژن‌های ساخته شده به‌ویژه کلروفلوروکربن‌ها ( $CFCs$ ) و برموفلوروکربن‌ها لایه ازن تندتر در حال از بین رفتن است. این ترکیبات بسیار پایدار می‌باشند که در آن کلر و برم آزاد توان شکستن بیش از یکصد هزار مولکول ازن را دارند.

پس از استفاده از کلروفلوروکربن‌ها، این ترکیبات به استراتوسفر راه یافتند و عناصر کلر و برم موجود در آنها طی واکنش‌های شیمیایی موجب تخریب تدریجی لایه ازن شدند. به‌ویژه ضخامت لایه ازن بر فراز قطب جنوب به شدت کاهش یافته است. (شکل ۷-۸)



شکل ۷-۸- شکاف لایه ازن در قطب جنوب سال ۲۰۰۶

۱- Christian Friedrich Schönbein (1799-1868)



سطح ازن با تغییر فصل‌ها، وزش باد و تغییرات خورشید نیز تغییر می‌یابد. حدود ۱۰ درصد مولکول‌های ازن در تروپوسفر (پایین‌ترین لایه آتمسفر) است. توجه داشته باشید که گرچه لایه ازن در استراتوسفر مفید است ولی ازن در تروپوسفر آلاینده به‌شمار می‌آید و آسیب‌هایی به بافت‌های جانوری و گیاهی می‌رساند.

**(ب) پتانسیل تخریب لایه ازن<sup>۱</sup> (ODP):** ODP یک شاخص برای سنجش ویرانگری لایه ازن توسط مواد گوناگون می‌باشد. این معیار یک مقدار نسبی است که نسبت به ماده سرمازای CFC-۱۱ سنجیده می‌شود. پس ماده CFC-۱۱ با ODP برابر یک تعریف می‌شود و سایر مواد با توجه به این نقطه مرجع محاسبه می‌شوند. بنابراین چنانچه ODP یک ماده ۲/۰ باشد به این مفهوم است که این ماده یک پنجم بدی CFC-۱۱ را در تخریب لایه ازن دارد. در نتیجه ODP به‌شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$ODP = \frac{\text{Global loss of Ozone due to X}}{\text{Global loss of Ozone due to CFC-11}}$$

پس ODP نسبت از دست دادن جهانی ازن توسط ماده X به از دست دادن جهانی ازن توسط CFC-۱۱ است. همانگونه که می‌دانیم مولکول ویرانگر پس از یک بار ویرانگری یک مولکول ازن از بین نمی‌رود و ما باید عامل زمان را نیز در معادله دخالت دهیم. اما چنانچه بازه زمانی را در تخریب لایه ازن دخالت دهیم معادله به‌شکل زیر است:

$$ODP(X, T) = \frac{\text{loss of Ozone due to X over time period T}}{\text{loss of Ozone due to CFC-11 over time period T}}$$

در این حالت ODP نسبت از دست دادن ازن به علت ماده X در مدت زمان T به از دست دادن ازن با توجه به CFC-۱۱ در مدت زمان T است. در جدول شکل ۸-۸ مقدار ODP چند ماده در چندین سال و در حالت پایدار آمده است:

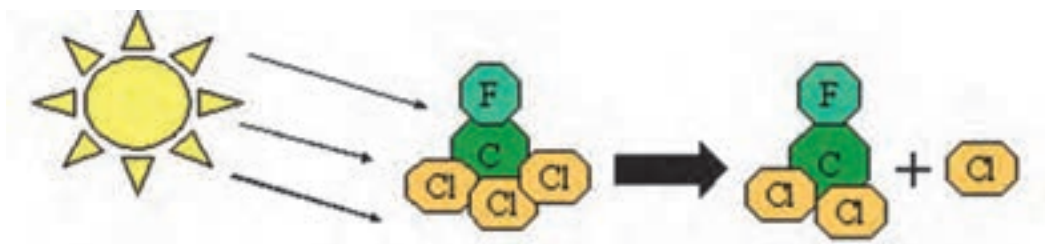
شکل ۸-۸- جدول ODP چند ماده

		ODP			
		۱۰ سال	۳۰ سال	۱۰۰ سال	حالت پایدار
CFC-۱۱۳	CF <sub>3</sub> ClCFCl <sub>2</sub>	۰/۵۶	۰/۶۲	۰/۷۸	۱/۱۰
Carbon tetrachloride	CCl <sub>4</sub>	۱/۲۵	۱/۲۲	۱/۱۴	۱/۰۸
methyl chloroform	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	۰/۷۵	۰/۳۲	۰/۱۵	۰/۱۲
HCFC-۲۲	CHF <sub>2</sub> Cl	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۵
Halon-۱۳۰۱	CF <sub>3</sub> Br	۱۰/۴	۱۰/۷	۱۱/۵	۱۲/۵

**(پ) رویه ویرانی لایه ازن:** همانطور که توضیح داده شد هالوژن‌ها یکی از مواد ویرانگر لایه ازن<sup>۲</sup> (ODS) می‌باشند. یک نمونه از ترکیب ماده سرمازای R-۱۱ به‌شکل ۸-۹ خواهد بود:

۱- Ozone Depletion Potential

۲- Ozone Depleting Substances



UV rays strike CFC molecules, causing a Cl to break away



Lone Cl strikes ozone, leaving chlorine monoxide & oxygen molecule, which results in a loss of ozone

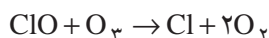
شکل ۹-۸- ویرانی ازن با کلر

همان گونه که دیده می شود :

۱- اتم کلر از R-۱۱ با تابش پرتوهای فرابنفش آزاد می شود.

۲- اتم کلر با مولکول ازن که ناپایدار است برخورد کرده و ضمن ساخت کلرومونواکسید یک مولکول اکسیژن نیز می سازد.

۳- کلرومونواکسید با یک مولکول ازن دیگر برخورد کرده و ضمن آزاد سازی کلر دو مولکول اکسیژن نیز می سازد.



همان طور که دیده می شود در این فرایند کلر همچنان باقی می ماند تا دست کم یکصد هزار مولکول ازن را از بین ببرد.

**ت) کنوانسیون وین و پروتکل مونترال:** به دنبال کشف حفره ازن در سال ۱۹۸۵ کنوانسیون وین برای حفاظت از لایه

ازن توسط سازمان ملل متحد و دیگر کشورهای جهان تدوین گردید. این کنوانسیون را ۲۸ کشور امضا کردند. گرچه این کنوانسیون به طور عمده توسط کشورهای پیشرفته به امضا رسید و در برگیرنده هیچ اقدام کنترلی بین المللی نبود با این همه یک نقطه عطف به شمار می رود. در حقیقت این کنوانسیون نخستین موافقت نامه بین المللی برای ایجاد زمینه همکاری های علمی و فنی برای حفاظت از لایه ازن می باشد. این کنوانسیون زمینه تشکیل دومین ساختار حقوقی بین المللی برای اقدامات حفاظتی از لایه ازن (مونترال) را به وجود آورد.

دو سال پس از کنوانسیون وین، در سال ۱۹۸۷ طرح های مذاکره کننده بین المللی برای بحث و تبادل نظر درباره تعهدات محکم تر بین المللی برای CFC ها و حفاظت از لایه ازن در مونترال گردهم آمدند. در حقیقت پروتکل مونترال، به عنوان مکمل کنوانسیون وین بوده و نخستین اقدام کنترلی بین المللی در مورد مواد از بین برنده لایه ازن در آن پیش بینی شده است.

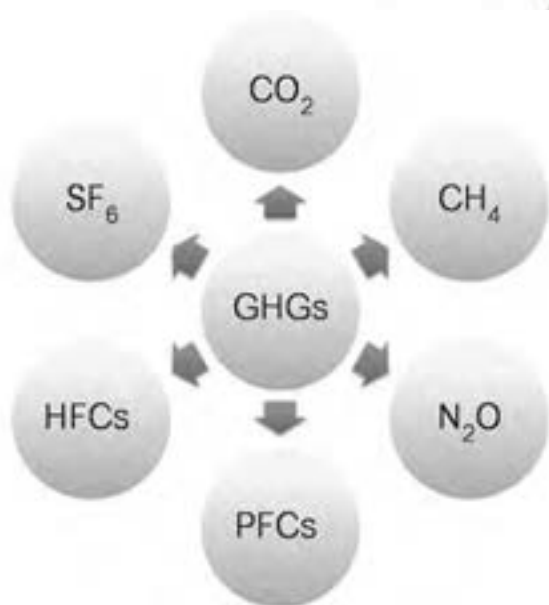
پروتکل مونترال اولین معاهده بین المللی بود که تعهدات متفاوتی را برای کشورهای در حال توسعه و پیشرفته در نظر گرفت. این امر یک موفقیت مهم در صحنه بین المللی به شمار می رفت. زیرا شرایط خاص کشورهای در حال توسعه را شناسایی و مورد توجه قرار داده است. براساس این پروتکل، ابتدا کشورهای پیشرفته ملزم به کاهش انتشار CFC ها به میزان ۵۰ درصد تا سال

۲۰۰۰ شدند. پروتکل مونترال تاکنون چندین بار اصلاح و تعدیل شده است که تغییرات آن بدین شرح می‌باشد: الحاقیه لندن (۱۹۹۰)، الحاقیه کپنهاگ (۱۹۹۲)، تطبیقات وین (۱۹۹۵) و الحاقیه‌های مونترال (۱۹۹۷).

ایران نیز در سال ۱۹۹۰ (۱۳۶۹) به عضویت کنوانسیون وین درآمد و یکی از اعضای امضاکنندگان پروتکل مونترال می‌باشد. قوانین (راهکارهای) ملی و بین‌المللی مربوط به حفاظت از محیط زیست بنا به اهمیت موضوع حفاظت از محیط زیست، اصل ۵۰ قانون اساسی ایران و برنامه‌های توسعه همگی تأکید بر جلوگیری از اختلالات زیست محیطی شهری و روستایی دارند. علاوه بر آن، قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست (مصوب ۱۳۵۳/۳/۲۸ و اصلاحیه ۱۳۷۱/۸/۲۴) در ۲۱ ماده و چندین تبصره، راهکارهایی را برای کنترل محیط و جلوگیری از تخریب آن ارائه داده است و این مهم را از وظایف سازمان حفاظت محیط زیست دانسته است. این قانون بر ماده نهم تأکید دارد؛ بر اینکه «اقدام به هر عملی که موجبات آلودگی محیط زیست» را فراهم نماید، ممنوع است. منظور از آلوده ساختن محیط زیست عبارتست از پخش یا آمیختن مواد خارجی به آب یا هوا یا زمین به‌میزانی که زیان‌آور به حال انسان یا سایر موجودات زنده و یا گیاهان و ... می‌باشد. آنچه که در این قانون (ماده ۱۵) پیش‌بینی شده، این است که مأمورین سازمان حفاظت محیط زیست ضابطین دادگستری محسوب می‌شوند که نشان‌دهنده اهمیت موضوع است.



شکل ۱۰-۸- نتیجه پروتکل مونترال



شکل ۱۱-۸- چند گاز گلخانه‌ای

### ث) گاز گلخانه‌ای<sup>۱</sup>: یک گاز گلخانه‌ای (GHG) گازی

است که پرتوهایی که در محدوده فروسرخ در آتمسفر قرار دارند را جذب و پخش می‌کند. بخار آب ( $H_2O$ )، دی‌اکسید کربن ( $CO_2$ )، متان ( $CH_4$ ) و ازن ( $O_3$ ) از مؤثرترین گازهای گلخانه‌ای هستند شکل (۸-۱۱). علاوه بر گازهای نام‌برده، اکسیددی‌نیتروژن ( $N_2O$ )<sup>۲</sup>، هیدروفلوروکربن‌ها (HFCs)، کلروفلوروکربن‌ها (CFCs)، هیدروکلروفلوروکربن‌ها (HCFCs) و پرفلوروکربن‌ها (PFCs) نیز از جمله این گازها می‌باشند.

۱- GreenHouse Gas

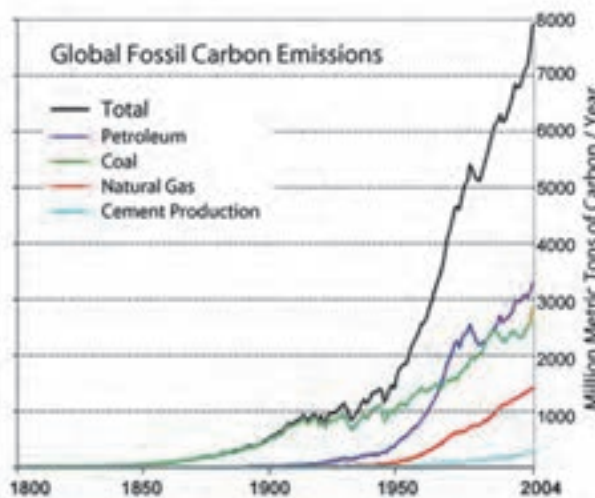
۲- گاز ( $N_2O$ ) را نباید با گازهای ( $NO_x$ ) مانند دی‌اکسید نیتروژن ( $NO_2$ ) و مونواکسید نیتروژن ( $NO$ ) که تولید باران‌های اسیدی می‌کنند اشتباه گرفت.

گازهای گلخانه‌ای تا حد زیادی بر دمای زمین تأثیر می‌گذارند، بدون آنها، سطح زمین به‌طور متوسط در حدود ۳۳ درجه سلسیوس سردتر از حال حاضر می‌بود. (دمای زمین به‌طور متوسط در حال حاضر ۱۴ درجه سلسیوس است.) با وجودی که نمی‌توان به‌طور دقیق مشخص کرد که سهم هر کدام از این گازها در اثر گلخانه‌ای زمین چقدر است با این حال در جدول شکل ۸-۱۲ جدول تقریبی سهم هر کدام از گازها در فرایند گلخانه‌ای آورده شده است.

شکل ۸-۱۲- جدول سهم هر کدام از گازها در فرایند گلخانه‌ای

نام گاز	فرمول شیمیایی	سهم گاز در اثر گلخانه‌ای (درصد)
بخار آب	H <sub>2</sub> O	۳۶-۷۲
کربن دی‌اکسید	CO <sub>2</sub>	۹-۲۶
متان	CH <sub>4</sub>	۴-۹
اوزن	O <sub>3</sub>	۳-۷

بخار آب یک «گاز طبیعی گلخانه‌ای» است و بالاترین نقش را در اثر گلخانه‌ای ایفا می‌کند. میزان غلظت بخار آب در منطقه‌های گوناگون در نوسان است، توجه داشته باشید که نقش انسان در تولید بخار آب ناچیز است. از آغاز انقلاب صنعتی با افزایش به‌کارگیری انسان از سوخت‌های فسیلی مقدار دی‌اکسید کربن در آتمسفر از ۲۸۰ppm به ۳۹۷ppm رسیده است. در شکل ۸-۱۳ نیز نمودار رشد انتشار سوخت‌های کربنی در آتمسفر را برحسب میلیون تن در سال می‌بینید.



شکل ۸-۱۳- نمودار رشد انتشار سوخت‌های کربنی

با توجه به نوع گاز گلخانه‌ای «زمان ماندگاری در جو»<sup>۱</sup> برای هر گاز متفاوت است. گذشته از بخار آب که در نزدیک سطح زمین زمان ماندگاری مشخصی دارد، بیشتر گازهای گلخانه‌ای مدت طولانی می‌گذرد تا جو زمین را ترک کنند. کار آسانی نیست که به‌طور دقیق بی‌بریم چه مدتی طول می‌کشد، زیرا جو یک سیستم بسیار پیچیده است. اما برآوردهایی از مدت ماندن آنها وجود دارد که در ستون سوم جدول شکل ۸-۱۴ آمده است.

**ج) توان گرم کردن زمین<sup>۲</sup> (GWP):** GWP یک اندازه نسبی است که نشان دهنده میزان گرمای به‌دام افتاده توسط گازهای گلخانه‌ای در جو زمین است. مبنای اندازه‌گیری GWP، گاز CO<sub>2</sub> است. با این شکل که ابتدا گرمای به‌دام افتاده توسط دی‌اکسید کربن را در یک جرم و زمان مشخص محاسبه کرده و گرمای به‌دام افتاده با همان جرم و زمان را نسبت به آن اندازه می‌گیرند. GWP در بازه زمانی ۲۰ و ۱۰۰ و ۵۰۰ سال اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین GWP دی‌اکسید کربن در هر حالت یک است. در جدول شکل ۸-۱۴ مقدار GWP برای چند ماده آمده است. زمانی که ما می‌گوییم GWP گاز ۲۲-HCFC در ۲۰ سال ۵۱۶۰ می‌باشد، بدین معنی است که این گاز ۵۱۶۰ مرتبه بیشتر از دی‌اکسید کربن در این مدت و در جرم برابر گرما را به‌دام می‌اندازد.

شکل ۸-۱۴- جدول GWP چند گاز و زمان ماندگاری آنها

نام گاز	فرمول شیمیایی	زمان ماندگاری	GWP		
			۲۰ سال	۱۰۰ سال	۵۰۰ سال
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>		۱	۱	۱
Methane	CH <sub>4</sub>	۱۲	۷۲	۲۵	۷/۶
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	۱۱۴	۲۸۹	۲۹۸	۱۵۳
CFC-۱۲	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	۱۰۰	۱۱۰۰۰	۱۰۹۰۰	۵۲۰۰
HCFC-۲۲	CHClF <sub>2</sub>	۱۲	۵۱۶۰	۱۸۱۰	۵۴۹
HFC-۲۳	CHF <sub>3</sub>	۲۷۰	۱۱۰۰۰	۱۴۸۰۰	۱۲۲۰۰
HFC-۱۳۴a (hydrofluorocarbon)	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	۱۴	۳۸۳۰	۱۴۳۰	۴۳۵
Tetrafluoromethane-R۱۴	CF <sub>4</sub>	۵۰۰۰۰	۵۲۱۰	۷۳۹۰	۱۱۲۰۰
Hexafluoroethane-R۱۱۶	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	۱۰۰۰۰	۸۶۳۰	۱۲۲۰۰	۱۸۲۰۰
Sulfur hexafluoride	SF <sub>6</sub>	۳۲۰۰	۱۶۳۰۰	۲۲۸۰۰	۳۲۶۰۰
Nitrogen trifluoride	NF <sub>3</sub>	۷۴۰	۱۲۳۰۰	۱۷۲۰۰	۲۰۷۰۰

**ج) کنوانسیون سازمان ملل متحد در مورد تغییرات آب و هوا (تغییرات اقلیمی) و پروتکل کیوتو:** کنوانسیون سازمان ملل متحد در مورد تغییرات آب و هوا (تغییرات اقلیمی) در سال ۱۹۹۲ با هدف ثابت نگه داشتن مقدار گازهای گلخانه‌ای تشکیل شد. این معاهده در هر کشور دارای یک مجری طرح ملی است. ایران از سال ۱۹۹۶ به عضویت این کنوانسیون درآمد و دفتر

۱- Atmospheric Lifetime

۲- Global Warming Potential

طرح ملی تغییرات آب و هوایی، این مسئولیت را به عهده داشته و با همکاری برنامه عمران ملل متحد و برنامه محیط زیست ملل متحد، طرح‌های مشترکی را در خصوص تغییرات آب و هوا انجام می‌دهد.

تا کنون سه کنفرانس بین‌المللی در زمینه نحوه اجرای تعهدات کنوانسیون تغییرات آب و هوا توسط کشورهای مختلف به ترتیب در برلن، سال ۱۹۹۵، در ژنو، سال ۱۹۹۶ و در سال ۱۹۹۷ در کیوتو تشکیل شده است.

در پروتکل کیوتو برنامه زمان بندی شده کمی، برای کشورهای توسعه یافته صنعتی در قرن ۲۱ به ویژه در دهه‌های اول آن برای کاهش گازهای گلخانه‌ای وضع شده است. به عبارتی تعیین اهداف کمی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در مدت زمانی مشخص محور اصلی این نشست را تشکیل می‌دهد. همچنین شناسایی سیاست‌ها و اقدامات برای دستیابی به این هدف و تداوم اجرای این تعهدات از دیگر محورهای این پروتکل بودند.

## ۴-۸- شماره گذاری symboles برابر استاندارد ASHRAE ۳۴

### روش آموزش

روش شماره گذاری که در کتاب آمده به صورت چکیده است و بهتر است روشی که در دانش افزایی این بخش آمده است به کار گرفته شود.

### دانش افزایی

symboles را می‌توان همان گونه که در نمودار دسته بندی symboles دیده شد، برابر استاندارد ASHRAE ۳۴ شماره گذاری نمود.

#### ۱- شماره گذاری symboles هالوژنی خالص: R-nXYZ

— در شروع آن حرف R که نشانه symboles است آورده می‌شود.

— سپس یک عدد چهار رقمی در جلوی آن می‌آید.

— اولین حرف از سمت راست تعداد فلور است.  $Z=F$

— دومین حرف از سمت راست تعداد هیدروژن‌ها به اضافه یک است.  $Y=H+1$

— سومین حرف از سمت راست تعداد کربن منهای یک است.  $X=C-1$

— چهارمین عدد از سمت راست تعداد پیوندهای کربن سیر نشده<sup>۱</sup> می‌باشد.

$(F) (H+1) (C-1)$  (تعداد پیوندهای کربن سیر نشده) — R

— چنانچه در ساختار آن از برم Br استفاده شده باشد حرف B و تعداد اتم برم در جلوی آن نوشته می‌شود.

— چنانچه symboles چند ایزومر داشته باشد در حالت ساختار متقارن هیچ حرفی جلوی آن نوشته نمی‌شود و در سایر حالت‌ها،

حرف‌های a و b و c نوشته می‌شود. (مانند ۱۳۴a-R)

— البته بهتر است با توجه به اثر تخریب کنندگی کلر در لایه ازن به جای حرف R نوع symboles را نوشت. (مانند ۱۲-CFC یا

۲۲-HCFC یا ۱۳۴a-HFC)

**مثال ۱:** symboles  $CBBrClF_7$  را شماره گذاری کنید.

$(F) (H+1) (C-1)$  (تعداد پیوندهای کربن سیر نشده) — R

$R-12B1$   $\rightarrow (2) (1+1) (1-1) (0)$

۱- پیوندهای دو گانه و سه گانه، پیوندهای سیر نشده (غیر اشباع) نامیده می‌شوند و از نظر شیمیایی کاملاً واکنش پذیر می‌باشند.

**مثال ۲:** سرمازای  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  را شماره گذاری کنید.

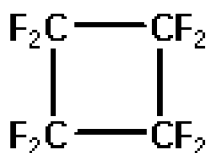
همان گونه که مشخص است یک پیوند کربن سیر نشده است:

$$R_nXYZ \rightarrow R_{-1}(2-1)(4+1)(0) \rightarrow R_{-1150}$$

**مثال ۳:** سرمازای  $\text{CH}_2=\text{CHF}$  را شماره گذاری کنید.

همان گونه که مشخص است یک پیوند کربن سیر نشده است:

$$R_nXYZ \rightarrow R_{-1}(2-1)(3+1)(1) \rightarrow R_{-1141}$$



**مثال ۴:** سرمازای  $\text{C}_4\text{F}_8$  (Octafluorocyclobutane) با ساختار نشان داده شده را شماره گذاری کنید.

$$R_nXYZ \rightarrow R_{-0}(4-1)(0+1)(8) \rightarrow R_{-C318}$$

همان گونه که در شکل نشان داده شده است ساختار مولکول آن به صورت حلقوی است و این ساختار را سیکلو می نامند و چون

ساختار آن حلقوی است حرف C را اضافه می کنیم. بنابراین شماره کامل آن:  $R_{-C318}$  است.

**۲- شماره گذاری سرمازاهای هالوژنی مخلوط:**

برای این نوع سرمازاها از تروپ‌ها با سری ۴xx و آزتروپ‌ها با سری ۵xx نشان می دهند. (مانند  $R_{-407}$  و  $R_{-502}$ )

**۳- شماره گذاری سرمازاهای آلی:**

سرمازاهای آلی سری متان، اتان و پروپان را همانند سرمازاهای هالوژنی خالص شماره گذاری می کنند و سایر آنها را با ۶xx

شماره گذاری می کنند (مانند بوتان  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  که با شماره  $R_{-600}$  مشخص می شود).

**مثال:** پروپان  $\text{C}_3\text{H}_8$  را شماره گذاری کنید.

$$R_nXYZ \rightarrow R_{-0}(3-1)(8+1)(0) \rightarrow R_{-290}$$

**۴- شماره گذاری سرمازاهای طبیعی معدنی:**

سرمازاهای معدنی نیز با ۷xx شماره گذاری می شوند. XX نشانه جرم مولکولی آن سرمازا است.

**مثال:** سرمازای  $\text{CO}_2$  را شماره گذاری کنید.

$$C=12, O=16 \rightarrow 12+2 \times 16=44 \rightarrow R_{-744}$$

**مثال:** گاز  $\text{N}_2\text{O}$  را شماره گذاری کنید.

$$N=14, O=16 \rightarrow 2 \times 14+16=44 \rightarrow R_{-744} \rightarrow R_{-744A}$$

چون شماره این گاز نیز  $R_{-744}$  شد برای پیشگیری از اشتباه آن را  $R_{-744A}$  می نامند.

شماره گذاری سرمازاهایی که در این بخش آورده شد براساس استاندارد ۳۴ ASHRAE است و در استانداردهای دیگر،

روش‌های دیگری و گازهای دیگری وجود دارد، مانند گازهای پیشنهادی دانشگاه انرژی مسکو؛ برای مثال CM۱ که جایگزین

$R_{-12}$  معرفی شده است.



## ۵-۸- سرمازای خوب

## روش آموزش

در آغاز به ویژگی‌های فیزیکی یک سرمازای خوب اشاره می‌شود و سپس به موضوع زیست محیطی آن اشاره می‌کنیم.

## دانش افزایی

در نگاه آغازین چشم داشت ما از یک سرمازای خوب این است که :

- سمی نباشد.
  - آتش نگیرد و منفجر نشود. (حتی پس از درهم شدن با هوا)
  - خورنده نباشد.
  - نشستی آن به آسانی قابل تشخیص باشد.
  - نقطه جوش آن پایین باشد.
  - با روغن درهم شده و باز از آن جدا شود.
  - گرمای نهان آن بالا باشد. (هرچه گرمای نهان سرمازا بالاتر باشد به مقدار کمتری سرمازا نیاز است.)
  - دمای بحرانی آن بالا باشد. (برای آنکه سرمازا در دماهای بالا، در فاز بخار پایدار بماند.)
  - بازده آن بالا باشد. (بازده بالای سرمازا توان مورد نیاز کمپرسور را برای فشرده کردن کاهش داده و ضریب عملکرد چرخه سردسازی را افزایش می‌دهد.)
  - حجم ویژه آن پایین باشد. (هرچه حجم ویژه سرمازا کمتر باشد دستگاه‌ها کوچک‌تر خواهند شد.)
  - هادی الکتریسیته نباشد.
  - با روغن ترکیب شیمیایی نشود و ...
- در زیر چند مورد پیش گفته توضیح داده می‌شود :

۱- سمیت<sup>۱</sup>

سمیت و توانایی افروزش دو نمایه کلیدی برای نشان دادن درجه ایمنی یک ماده سرمازا هستند. در استاندارد ASHRAE۳۴ این دو نمایه به صورت نسبی در جدول شکل ۸-۱۵ آمده است.

شکل ۸-۱۵- جدول نمایه نسبی سمیت و توانایی افروزش

	کمترین درجه سمی بودن	بیشترین درجه سمی بودن
بیشترین درجه افروزش	A۳	B۳
کمترین درجه افروزش	A۲	B۲
بدون توانایی افروزش	A۱	B۱

## ۲- توانایی افروزش

دومین معیار کلیدی برای سنجش سطح ایمنی ماده سرمازا، توانایی افروزش آن ماده است. آب را به عنوان یک ماده غیر قابل آتش گیر و پروپان ( $R-290$ ) را با توانایی افروزش زیاد در نظر بگیرید. به هر حال هر ماده‌ای با توجه به شرایطی که در آن وجود دارد ممکن است، بسوزد. آنچه برای سوختن یک ماده مورد نیاز است متفاوت است. یک کاغذ ممکن است در دمای اتاق با یک شعله بسوزد و یا می‌تواند بدون شعله در دمای  $233$  درجه سلسیوس خود به خود آتش بگیرد. توانایی افروزش مواد سرمازا در سه رده دسته‌بندی می‌شوند.

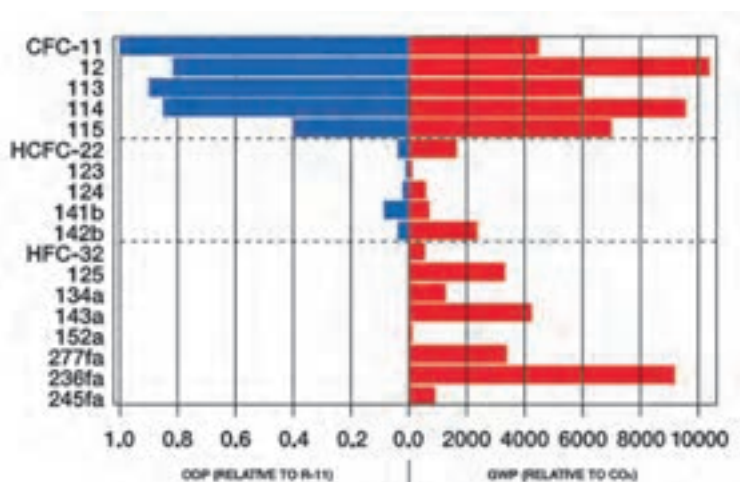
## ۳- بازده

گاهی دیده می‌شود که مفهوم بازده ماده سرمازا با ضریب عملکرد سیستم به اشتباه گرفته شده است. ضریب عملکرد مربوط به کل سیستم می‌باشد و پارامترهای زیادی روی آن تأثیر می‌گذارد. در ضریب عملکرد موارد مختلفی از جمله بازده‌های کمپرسور، موتور، اواپراتور، کندانسر، مواد به کار رفته، طراحی سیستم و ... تأثیر گذارند. ولی در بازده ماده سرمازا مواردی همچون روش انتقال ماده، خاصیت هدایت گرمایی، سرعت صوت و مواردی از این قبیل دخالت دارند.

کدام سرمازا بهتر است؟ در پاسخ، قبل از پرداختن به ترموفیزیکی چنانچه به مسائل زیست محیطی اهمیت دهیم، باید ابتدا بگوییم که «سرمازایی که از پروتکل‌های مونترال و کیوتو پیروی کند».

اما همان گونه که دیدیم پس از پروتکل مونترال و الحاقیه آن به کارگیری سرمازاهای CFC و HCFC به دلیل وجود کلر در آنها ممنوع شد و پس از پروتکل کیوتو نیز به کارگیری HFC ها در یک برنامه زمان بندی شده باید ممنوع شود.

به شکل ۱۶-۸ نگاه کنید از دیدگاه شما کدام سرمازا بهتر است؟



شکل ۱۶-۸- مقایسه GWP و ODP چند سرمازا

چنانچه بخواهیم بهترین سرمازا را از دیدگاه زیست محیطی شناسایی کنیم باید به سرمازاهای طبیعی بازگشت کنیم که هم ODP و هم GWP آنها صفر و یا بسیار کم است. یک بار دیگر چکیده‌ای از ویژگی‌های چند سرمازاهای طبیعی را بازگو می‌کنیم:

— دی‌اکسید کربن: غیر قابل افروزش، غیر سمی، ارزان و به طور گسترده‌ای در دسترس، فشار کار بالا و GWP کم

— هیدروکربن‌های ساده ( $HC_s$ ): توانایی افروزش بالا، سمی، ODP صفر، GWP ناچیز، جایگزین مناسبی برای هالوکربن‌ها،

سازگار با مس، توانایی درهم شدن با روغن‌های معدنی، صرفه جویی در انرژی نسبت به سایر سرمازاها تا ۲۰ درصد با توجه به جرم

مولکولی کم و فشار بخار، کاهش دهنده اسیدهای تشکیل شده همچنین قابل استفاده در سردکن‌های خانگی و تهویه مطبوع می‌باشند. همان‌گونه که می‌دانیم بیشتر سرمازاها توانایی افروزش دارند اما نقطه خودسوزی آنها متفاوت است. نقطه خودسوزی  $R-22$  برابر  $63^{\circ}$  درجه سلسیوس و  $R-12$  برابر  $75^{\circ}$  درجه و  $R-134a$  برابر  $74^{\circ}$  و  $R-290$  برابر  $465^{\circ}$  و  $R-600a$  برابر  $47^{\circ}$  درجه می‌باشد. همچنین بیشتر هیدروکربن‌های ساده نیاز به دو تا ده درصد هوا داشته تا بسوزند. از طرفی چنانچه هیدروکربن‌ها بسوزند، محصولات آن بخار آب و دوده کربن است. ولی چنانچه هالوکربن‌ها بسوزند نتیجه آن دود بسیار سمی است.

— آمونیاک : ODP و GWP صفر، ویژگی‌های ترمودینامیکی عالی (جرم مولکولی کوچک، گرمای نهان زیاد، چگالی بخار بالا و ویژگی‌های انتقال گرمای بسیار خوب)، دمای بحرانی بالا ( $132^{\circ}$  درجه سلسیوس)، عدم سازگاری با مس، در صورت نشت بوی تند آن باعث تشخیص نشت می‌شود و قبل از رسیدن به غلظت‌های خطرناک می‌توان آن را برطرف نمود.

همچنین چون جرم آن کمتر از هوا است به تندی بالا رفته و باعث مسمومیت نمی‌شود. همچنین قیمت آن به نسبت ارزان است.

## ۶-۸- کد رنگی سرمازاها

### تحقیق

از هنرجویان بخواهید که یکی از نرم افزارهایی که بر روی کامپیوتر یا تلفن همراه قابل نصب می‌شود را یافته و نصب نمایند.



شکل ۱۸-۸- رنگ سیلندرهای سرمازاها مصنوعی

شکل ۱۷-۸- نمونه نرم افزار مربوط به یک سرمازا که بر روی گوشی تلفن همراه نصب می‌شود.

## ۷-۸- سرمازاهای کرایوژنیک<sup>۱</sup>

کلمه کرایو (cryo) به معنی سرد و از واژه یونانی کرایوس به معنی سرد و یخ‌زده گرفته شده است. در علم فیزیک پژوهش روی تولید سرما در دماهای پایین را کرایوژنیک گویند. بنابراین می‌توان کرایوژنیک را به معنای سرماپژوهی شناخت. اما در مورد دامنه

دمای کرایوژنیک دیدگاه‌های گوناگونی مطرح است. دمای کرایوژنیک مرز بین پایان تبرید<sup>۱</sup> و کرایوژنیک است. بیشتر دانشمندان این مرز را ۱۵۰- درجه سلسیوس یا ۱۲۳ کلوین می‌شناسند. گروهی از مراکز دیگر این دما را ۱۸۰- یا ۹۳ کلوین فرض می‌کنند. این عدد منطقی‌تر به نظر می‌رسد چرا که نقطه جوش بیشتر گازهای کرایوژنیک مانند هلیوم، هیدروژن، نئون، نیتروژن، اکسیژن و هوا زیر ۱۸۰- است در حالی که نقطه جوش فریون‌ها و سرمازاهای رایج بالاتر از ۱۸۰- است.

## ۸-۸- روانکاوی<sup>۲</sup> و روغن‌های تبرید<sup>۳</sup>

### روش آموزش

پس از آموزش ویژگی‌هایی که ما از روغن انتظار داریم به دسته‌بندی روغن‌ها پرداخته و جدول شکل ۸-۱۹ را توضیح دهید. هنرجویان را متوجه این مسئله نمایید که نام‌هایی همچون GS۴، نام‌های تجاری هستند و برای گزینش روغن باید به گونه آن و سازگاری آن با سرمازا توجه شود.

### دانش‌افزایی

برای پیشگیری از سایش بین دو یا چند قطعه گردنده از سیستم روانکاوی استفاده می‌شود. به عنوان روان کننده بیشتر از روغن استفاده می‌شود. به طور کلی یک روغن باید ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

- نقطه جوش بالا
- نقطه انجماد پایین
- گرانروی مناسب
- پایداری گرمایی
- پایداری در برابر اکسیداسیون
- از خوردگی پیشگیری بکند.
- و ...

**۱- تأثیر متقابل روغن و ماده سرمازا بر یکدیگر:** در بیشتر کمپرسورها ماده سرمازا با روغن روانکاوی در تماس مستقیم می‌باشد. بنابراین از هر دو دیدگاه شیمیایی و فیزیکی روغن و ماده سرمازا نباید تأثیری بر روی یکدیگر داشته باشند. گرچه بعضی از سرمازاها تا حدی با روغن واکنش نشان می‌دهند ولی به شرط به کارگیری روغن با کیفیت بالا و تمیز و خشک بودن سیستم، در شرایط طبیعی معمولاً واکنش جزئی است و اهمیت چندانی ندارد. اما هنگامی که مقدار قابل ملاحظه‌ای از مواد آلوده کننده نظیر هوا و رطوبت در سیستم وجود داشته باشد، اغلب میان ماده سرمازا و روغن واکنش رخ می‌دهد. این امر به تجزیه شدن روغن، تشکیل اسیدهای خورنده و لجن‌ها و اندود مس شدن و یا به خوردگی شدید سطوح صیقلی فلزی منجر می‌شود. زیاد بودن دمای تخلیه این تحولات و به ویژه تجزیه روغن را تسریع بخشیده و منجر به تشکیل رسوبات کربنی می‌شود. تشکیل اندود مس در قسمت‌های مختلف کمپرسور در سیستم‌هایی که از مبردهای هالوکربنی استفاده می‌کنند مشاهده شده است. علت اصلی این امر دقیقاً مشخص نشده ولی دلیل آن احتمالاً وجود رطوبت و استفاده از روغن‌های با کیفیت پایین می‌باشد. در سیستم‌های آمونیاکی به دلیل عدم استفاده از

۱- Refrigeration

۲- Lubrication

۳- Refrigeration Oil

لوله‌های مسی، مس اندود شدن وجود نخواهد داشت. در هر حال بدون توجه به طبیعت و یا دلایل واکنش‌های نامطلوب بین میرد و روغن روانکاو می‌توان با استفاده از روغن‌های با کیفیت بالا با نقطه سیلان و یا نقطه انجماد پایین با پاک نگه داشتن نسبی سیستم از آلاینده‌هایی نظیر هوا و رطوبت و طراحی سیستم برای دمای تخلیه نسبتاً پایین، این معایب را به حداقل رساند.

**۲- توانایی درهم شدن روغن با ماده سرمازا:** یکی از مشخصه‌های مهم روغن، توانایی درهم شدن آن با ماده سرمازا می‌باشد. این مشخصه توانایی حل شدن ماده سرمازا در روغن و عکس آن را بیان می‌کند. این مشخصه در سرمازاهای گوناگون متفاوت است. سرمازاها را از دیدگاه توانایی درهم شدن آنها با روغن می‌توان به سه گروه دسته‌بندی نمود:

– سرمازاهایی که با هر نسبتی با روغن درهم می‌شوند.

– سرمازاهایی که با روغن درهم شده و در اوپراتور از آن جدا می‌شوند.

– سرمازاهایی که در کندانسر با روغن درهم نمی‌شوند. (یا به میزان خیلی کم درهم می‌شوند.)

توانایی درهم شدن روغن با ماده سرمازا را از دیدگاه‌های گوناگونی می‌توان بررسی نمود، ولی آنچه مسلم است چنانچه سرمازا با روغن باشد، روغن رقیق می‌شود. در نتیجه کاهش گرانروی و کیفیت روانکاو را به دنبال دارد. برای برطرف نمودن این عیب باید گرانروی روغن بیشتر باشد.

از آثار دیگر روغن در یک سیستم سردکننده جریان یافتن آن با سرمازا درون سیستم و کاهش راندمان سیستم است. دلیل اصلی آن تشکیل یک فیلم روغن روی سطح داخلی لوله‌های کندانسر و اوپراتور است. این عمل موجب کاهش جابجایی گرما می‌شود. چون با کاهش دما روغن لزج‌تر می‌شود و تمایل بیشتری به چسبیدن به سطوح می‌یابد، این مشکل در اوپراتور بیشتر است و با کاهش بیشتر دما شدیدتر می‌شود.

بدیهی است هنگامی که روغن از کمپرسور اجازه خارج شدن را پیدا نکند وظیفه خود را به بهترین نحو انجام می‌دهد ولی چنانچه مقداری روغن به صورت ذرات ریز به همراه بخار ماده سرمازا از کمپرسور خارج شود، برای پیشگیری از کاهش سطح روغن در کارتل کمپرسور باید آن را بازگشت داد.

**۳- گزینش روغن:** روغن کمپرسور نیز مانند روغن‌های دیگر از دو بخش اصلی روغن پایه و مواد افزودنی تشکیل شده است که روانکاو، خنک‌کاری، گازبندی و جلوگیری و سایش از مهمترین وظایف عمومی این روغن‌ها به‌شمار می‌رود. گزینش روغن بر چند پایه انجام می‌شود:

– ماده سرمازا

– نوع اوپراتور خشک (روغن راه‌یافته به آن کمتر از ۱۵ درصد) و دمای کار آن

– نوع اوپراتور مرطوب (روغن راه‌یافته به آن بیشتر از ۱۵ درصد) و دمای کار آن

– نوع کمپرسور و دمای خروجی آن

– توصیه شرکت سازنده کمپرسور

به هر حال می‌توان روغن‌ها را با توجه به سرمازاهای گوناگون برابر جدول شکل ۱۹-۸ به کار برد.

شکل ۱۹-۸- جدول روغن‌های پیشنهادی برای هر سرمازا به ترتیب اولویت

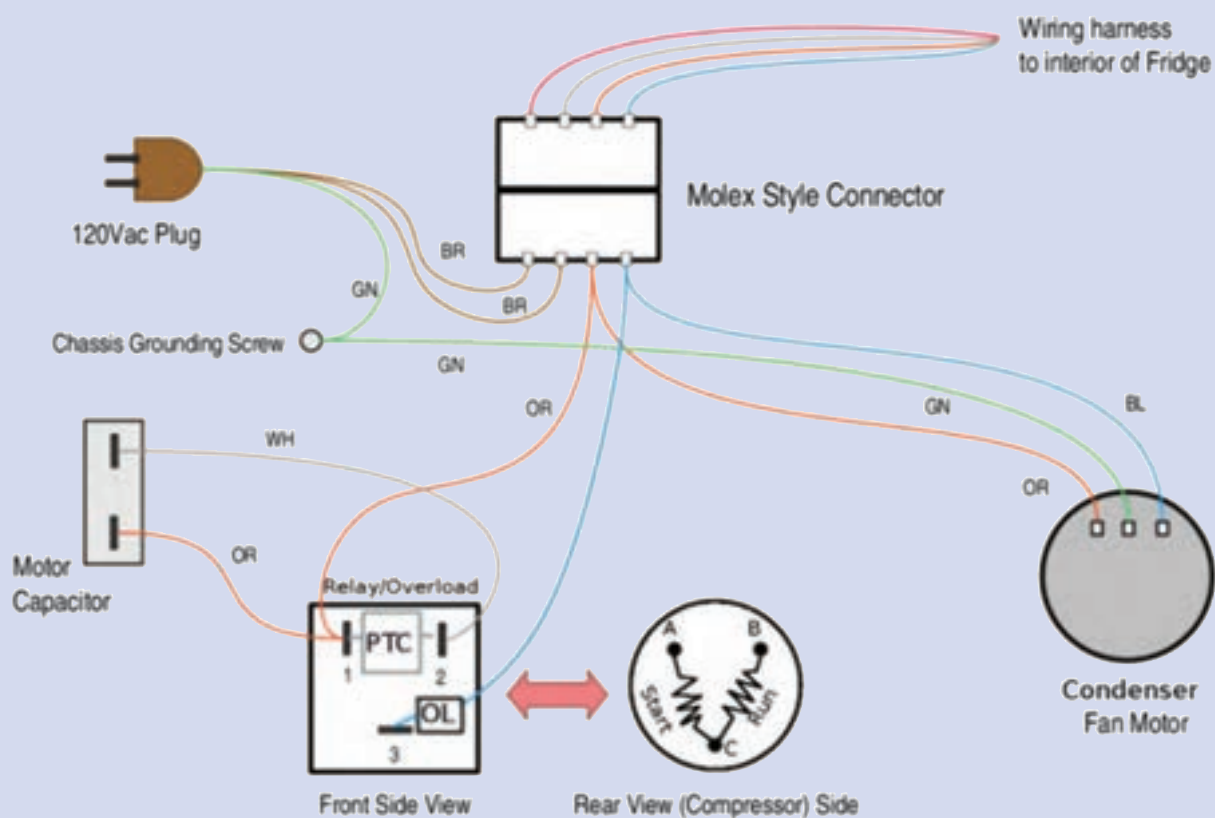
نوع روغن پیشنهادی	گونه سرمازا
۱- معدنی نفتنی ۲- معدنی پارافینی ۳- پلی آلفا الفین (PAO) ۴- آلکیل بنزن (AB)	CFC, HCFC
پلیول استر (POE)	HFC
۱- معدنی نفتنی ۲- معدنی پارافینی ۳- پلی آلفا الفین (PAO) ۴- آلکیل بنزن (AB)	آمونیاک
۱- پلی آلفا الفین (PAO) ۲- استرها ۳- پلی آلکالین گلیکول‌ها (PAG)	CO <sub>2</sub>
۱- پلی آلکالین گلیکول‌ها (PAG) ۲- معدنی نفتنی	هیدروکربن‌ها (HC)

در جدول شکل ۲۰-۸ نام چند شرکت سازنده که فرآورده‌های آن با نشانه‌های تجاری گوناگون و ویژه آن شرکت برای هر سرمازا پیشنهاد شده آورده شده است.

شکل ۲۰-۸- جدول روغن‌های پیشنهادی چند شرکت سازنده

	Product #	Shell	Mobile	Refrigerant	Oil	Notes/Comments	Flash	CP	Grade	Viscosity	Color
Automotive Ref. Systems	158-151	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-151		158-151	158-151
	158-152	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-152		158-152	158-152
HFC Ref. Systems	158-153	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-153		158-153	158-153
	158-154	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-154		158-154	158-154
	158-155	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-155		158-155	158-155
	158-156	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-156		158-156	158-156
	158-157	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-157		158-157	158-157
	158-158	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-158		158-158	158-158
	158-159	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-159		158-159	158-159
	158-160	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-160		158-160	158-160
	158-161	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-161		158-161	158-161
	158-162	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-162		158-162	158-162
HFC Ref. Systems	158-163	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-163		158-163	158-163
	158-164	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-164		158-164	158-164
	158-165	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-165		158-165	158-165
	158-166	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-166		158-166	158-166
	158-167	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-167		158-167	158-167
	158-168	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-168		158-168	158-168
	158-169	Shell 46	Shell 46	Capella Premium 50	Capella Premium 50	Shell 46	Shell 46	158-169		158-169	158-169

# کنترل ها





# ۹ کنترل‌ها

## ۹-۱- ترموستات

### پیش‌آزمون

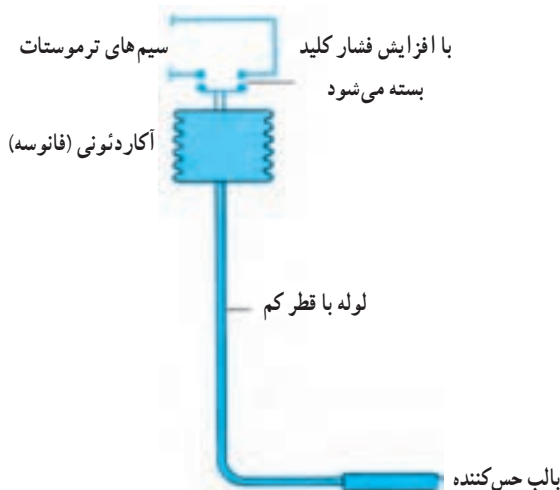
- ۱- گرما و سرما چه تأثیری در انبساط و انقباض سیالات (مایعات و گازها) دارند؟
- ۲- حرکت مولکول‌های یک سیال (مایع و گاز) با گرما و سرما چه تغییری می‌کند؟

### روشن‌آموزش

پس از جمع‌آوری جواب سؤالات بهتر است مفهوم کنترل کردن با آوردن مثالی ساده برای هنرجویان تفهیم شود. مثلاً کنترل یک لامپ به وسیله کلید تک پل مثال زده شود و مدار آن نیز رسم شود. سپس ترموستات توضیح داده شود.

### دانش‌افزایی

گرمای داخل یخچال باعث می‌شود تا حرکت مولکول‌های مایع یا گاز داخل بالب ترموستات زیاد شده و در نتیجه ازدیاد حجم پیدا کند. این ازدیاد حجم باعث می‌شود تا محفظه آکاردئونی ترموستات باز شده و باعث وصل شدن کنتاکت‌های کلید ترموستات و در نتیجه عبور جریان شود و چون این کلید با کمپرسور یا مدار فرمان آن سری می‌شود باعث راه‌اندازی کمپرسور می‌شود. وقتی که کمپرسور به اندازه لازم کار کرد و فضای داخل یخچال به اندازه کافی سرد شد، سرما باعث انقباض مایع یا گاز داخل محفظه آکاردئونی شده در نتیجه حجم آن کاهش یافته و محفظه آکاردئونی کنتاکت‌های کلید ترموستات را از هم جدا کرده و جریان برق کمپرسور قطع و در نتیجه کمپرسور خاموش می‌شود (شکل ۹-۱).



شکل ۹-۱- اساس کارکرد ترموستات بالب و فانوسه‌ای پر شده با مایع یا گاز

اسامی تعدادی از وسایل سردکننده و گرم کننده را که در آنها برای کنترل دما از ترموستات استفاده می شود نام ببرید.

پاسخ: وسایل سردکننده مانند یخچال، فریزر، آب سردکن، یخساز، فن کوئل. وسایل گرم کننده مانند فن کوئل، دیگ آب گرم، دیگ بخار و پمپ های سیر کولاتور آب گرم.

## پرسش و پاسخ

- ۱- در یک یخچال خانگی که ترموستات آن از نوع بالب و فانوسه می باشد با گرم شدن داخل یخچال کلید ترموستات قطع می شود یا وصل؟  
پاسخ: وصل می شود.
- ۲- در یک ترموستات که در اتاقی روی دیوار نصب شده است در فصل زمستان با بالا رفتن دمای هوای اتاق کلید ترموستات فن کوئل را قطع می کند یا وصل؟  
پاسخ: قطع
- ۳- روی دکمه تنظیم ترموستات یخچالی از ۱ تا ۵ درجه بندی شده است. اگر این دکمه را روی ۵ تنظیم کنیم معنی آن چیست؟  
پاسخ: یعنی اینکه دمای داخل یخچال تا پایین ترین نقطه تنظیم ترموستات (تا جایی که ترموستات اجازه می دهد یعنی بیشترین سرما) سرد می شود. در واقع یخچال بیشتر کار می کند و بیشتر سرد می کند.
- ۴- تفاوت ترموستات آب سردکن و فریزر چیست؟ پاسخ: ترموستات آب سردکن ترموستات بالای صفر است اما ترموستات فریزر ترموستات زیر صفر است.

## تحقیق

اگر بالب ترموستات یک دستگاه یخچال خانگی شکسته شده و سیال داخل بالب از آن خارج شود چنانچه یخچال به برق وصل باشد کمپرسور خاموش است یا روشن؟

پاسخ: عاملی که باعث می شود کلید ترموستات وصل و برق به کمپرسور برسد، گاز یا مایع داخل بالب ترموستات است. اگر بالب شکسته شود و سیال داخل آن تخلیه شود دیگر سیالی وجود ندارد تا منبسط شود و باعث وصل کلید ترموستات شود در نتیجه کلید ترموستات همیشه قطع و کمپرسور خاموش می باشد.

## ۹-۲- تایمر دیفر است

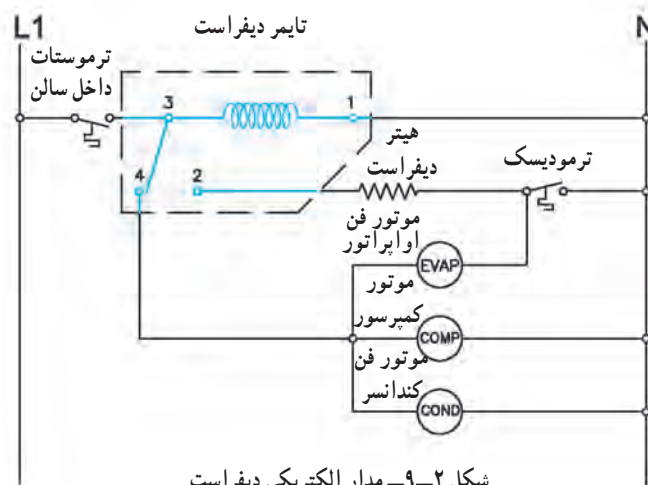
## پیش آزمون

- ۱- اگر اواپراتور یخچال خانه شما برفک بزند چکار می کنید؟
- ۲- برفکی که روی اواپراتور یخچال می نشیند چه تأثیری روی ظرفیت برودتی یخچال می گذارد؟

بهتر است در خصوص عایق‌های حرارتی توضیح داده شود و گفته شود که برفک نیز خود یک عایق حرارتی است و مانع رسیدن سرما به محصولات داخل یخچال می‌شود. همچنین گفته شود که گاهی برای برفک‌زدایی وسایل داخل یخچال را از آن خارج کرده و یخچال را از برق می‌کشند و درب یخچال را باز می‌کنند تا برفک‌ها آب شود و این یکی از راه‌های برفک‌زدایی است. در اینجا گفته شود که راه‌های دیگری نیز برای برفک‌زدایی وجود دارد که تایمر دیفراسست نیز یکی از این راه‌هاست.

### دانش‌افزایی

زمانی که یک دستگاه سردکننده کار می‌کند در محل اواپراتور سرما ایجاد می‌شود در نتیجه هوای اطراف اواپراتور سرد می‌شود. زمانی که هوای اطراف اواپراتور به نقطه شبنم رسید بخارات آب موجود در هوای اطراف اواپراتور تقطیر شده چون باز هم سرد می‌شود به حالت برف درآمده که می‌گویند اطراف اواپراتور برفک زده است چون برفک یک عایق حرارتی می‌باشد اجازه نمی‌دهد محصولات محیط اواپراتور سرد شود به همین دلیل برفک‌ها را ذوب و از سیستم سرد کننده خارج می‌کند. یکی از راه‌های ذوبان برفک استفاده از تایمر دیفراسست است.



شکل ۹-۲- مدار الکتریکی دیفراسست

**شرح مدار :** در مدار شکل ۹-۲ فاز از طریق  $L_1$  وارد ترموستات شده پس از عبور از ترموستات از طریق کنتاکت شماره ۳ به بوبین موتور تایمر رسیده و از طرف دیگر نیز نول از طریق  $N$  به آن می‌رسد و در تمام مدت زمانی که کلید ترموستات وصل است موتور تایمر هم کار می‌کند. سپس فاز در حالت کار عادی سیستم از طریق کنتاکت ۳ به ۴ رفته و از آنجا به فن اواپراتور، کمپرسور و فن کندانس می‌رسد و از طرف دیگر نیز نول آنها تأمین شده و سیستم به کار عادی ادامه می‌دهد. تایمر طوری تنظیم شده است که ۲ تا ۳ بار در ۲۴ ساعت و هر بار حدود نیم ساعت (بسته به نیاز) کنتاکت ۳ از ۴ جدا شده و به ۲ وصل می‌شود در این حالت کمپرسور، فن اواپراتور و فن کندانس هر سه خاموش شده و هیتر الکتریکی که زیر اواپراتور قرار دارد به مدار آمده و شروع به گرم شدن و در نتیجه ذوب برفک‌های اطراف اواپراتور می‌شود. پس از آنکه مدت زمان تنظیم شده تایمر به اتمام رسید کنتاکت شماره ۳ از ۲ جدا شده و به محل اولیش یعنی کنتاکت شماره ۴ وصل می‌شود و سیستم کار عادی را ادامه می‌دهد. چنانچه در زمان دیفراسست برفک‌ها زودتر از زمان تنظیم شده تایمر ذوب شوند اگر هیتر به گرم کردن ادامه دهد گرمای اضافی در اطراف اواپراتور ایجاد شده و این گرمای اضافی باعث صرف کار بیشتر توسط کمپرسور می‌شود برای جلوگیری از ایجاد این گرمای اضافی ترموستاتی را به نام ترموستات محافظ یا

ترمودیسک با هیتر ذوبان برفک به صورت سری وصل می کنند. چنانچه هیتر اطراف اواپراتور را زیاد گرم کند یعنی اینکه برفک ها ذوب شده است ترمودیسک نیز که محل نصب آن بدنه اواپراتور است این گرمای اضافی را احساس کرده و هیتر را خاموش می کند تا زمان تایمر بسر آید در این صورت سیستم به کار عادی اش ادامه می دهد.

### کار در کلاس

با مداد و با استفاده از دست آزاد بر روی کاغذ مدار تایمر دیفراسست را رسم کنید و مشخصات آن را روی آن بنویسید. این کار را آنقدر ادامه دهید تا بدون نگاه به مدار خودتان از حفظ آن را رسم کنید.

### پرسش و پاسخ

- ۱- کدام یک از ترموستات های اصلی و محافظ می توانند برق هیتر دیفراسست را قطع کنند؟  
پاسخ: هر دوی آنها وقتی قطع شوند برق هیتر دیفراسست را قطع می کنند.
- ۲- برق موتور تایمر دیفراسست معمولاً چه زمانی قطع می شود؟  
پاسخ: وقتی که ترموستات اصلی قطع می کند برق موتور تایمر نیز قطع می شود.
- ۳- اگر کنتاکت های تایمر دیفراسست را با کنتاکت های یک کلید تبدیل مقایسه کنیم کدام کنتاکت تایمر دیفراسست مشابه کنتاکت مشترک در کلید تبدیل است؟  
پاسخ: کنتاکت شماره ۳
- ۴- در مدار ۹-۲ اگر جای فاز و نول ( $L_1, N$ ) را عوض کنیم چه تأثیری در کار سیستم به وجود می آورد؟  
پاسخ: فرقی نمی کند و سیستم به کار عادی اش ادامه می دهد.

### تحقیق

شکل ۹-۲ مدار الکتریکی تایمر دیفراسست را خوب بررسی کنید. آیا می شود تغییری در مدار ایجاد کرد که از نظر صرفه جویی انرژی بهتر از وضعیت موجود باشد؟  
پاسخ: بله اگر نول اواپراتور را از کنتاکت دوم ترمودیسک یعنی بین ترمودیسک و هیتر دیفراسست بگیریم آن وقت اگر اطراف اواپراتور گرم باشد و زمان دیفراسست به سر آید و سیستم به کار عادی برگردد ترمودیسک اجازه کار به فن اواپراتور نمی دهد در نتیجه هوای گرم اطراف اواپراتور به بقیه قسمت ها منتقل نمی شود.

### ۹-۳- رله ولتاژ

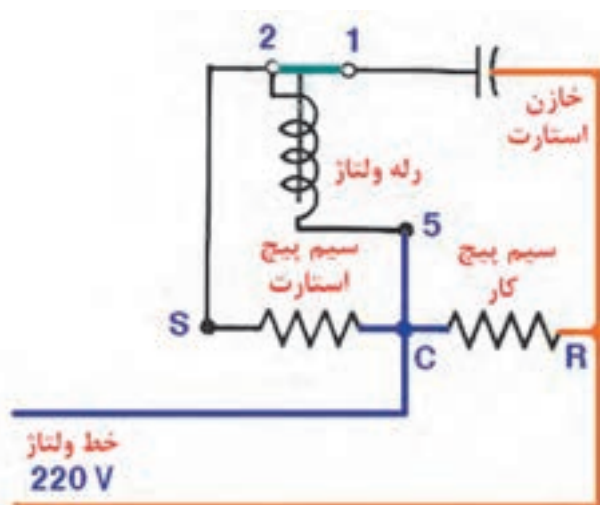
#### پیش آزمون

- ۱- کنتاکت های ۱ و ۲ رله ولتاژ از نوع NC هستند یا NO
- ۲- پسوند ولتاژ در رله ولتاژ چه معنایی دارد؟

تفاوت اصلی رله ولتاژ و جریان بیان شود. تولید میدان مغناطیسی توسط سیم پیچ گفته شود. تولید جریان بر اثر میدان مغناطیسی گفته شود. برای درک بهتر سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه در ترانس‌ها توضیح داده شود. سپس طرز کار رله ولتاژ گفته شود.

## دانش افزایی

شکل ۳-۹ مدار الکتریکی رله ولتاژ را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۹ مدار الکتریکی رله ولتاژ در کمپرسور تک فاز با خازن استارت

رله ولتاژ در کمپرسورهایی که به گشتاور راه‌اندازی بالایی نیاز دارند استفاده می‌شود. این رله یک بوبین دارد که به دور یک قرقره پیچیده شده است که بین سیم پیچ اصلی و فرعی به صورت موازی بسته می‌شود. به دلیل همین موازی بودن است که به آن رله ولتاژ می‌گویند. یک میله که یک تیغه بدان وصل است در داخل قرقره وجود دارد که مطابق شکل ۳-۹ کنتاکت‌های ۱ و ۲ را در یک حالت وصل و در حالت دیگر قطع می‌نماید. زمانی که کمپرسور خاموش است کنتاکت‌های ۱ و ۲ در حالت وصل هستند در شروع راه‌اندازی سیم پیچ اصلی در مدار قرار می‌گیرد. در این حالت سیم پیچ استارت که یک خازن به منظور ایجاد گشتاور راه‌اندازی بیشتر با آن سری شده با سیم پیچ اصلی به صورت موازی قرار دارد و به مدار آمده و کمپرسور شروع به کار می‌کند.

پس از راه‌اندازی لازم است که خازن راه‌انداز و سیم پیچ استارت از مدار خارج شوند. در لحظه راه‌اندازی فاز و نول از طریق سر مشترک سیم پیچ‌های اصلی و استارت و خازن به بوبین رله می‌رسند. بوبین مغناطیس شده و میله‌ای که داخل قرقره است کنتاکت ۱ را از ۲ جدا می‌کند در نتیجه خازن، بوبین رله و سیم پیچ استارت هر سه از مدار مستقیم جریان برق خارج می‌شوند اما از این لحظه به بعد سیم پیچ بوبین رله و سیم پیچ استارت با هم سری می‌شوند و سیم پیچ استارت مانند سیم پیچ ثانویه یک ترانسفورماتور عمل می‌کند و سیم پیچ اصلی نیز مانند سیم پیچ اولیه در ترانسفورماتور عمل می‌کند. میدان مغناطیسی اطراف سیم پیچ اصلی، سیم پیچ استارت را قطع کرده و باعث تولید جریانی در سیم پیچ استارت می‌شود. چون سیم پیچ بوبین رله و سیم پیچ استارت با هم سری هستند در نتیجه جریان تولید شده در سیم پیچ استارت از بوبین رله نیز عبور می‌کند که این جریان باعث تولید یک میدان مغناطیسی در اطراف سیم پیچ رله می‌شود که این میدان مغناطیسی کنتاکت‌های ۱ و ۲ را از هم جدا کرده و سیم پیچ فرعی را قطع نگه می‌دارد.

برای یادآوری و درک بهتر از رله‌های استارت جریان و ولتاژ روابط الکتریکی از جمله جریان، مقاومت و ولتاژ را در مدارات سری و موازی مورد بررسی و بازبینی قرار دهید و مقاومت معادل دو مقاومت  $10^\circ$  اهمی را در حالت‌های سری و موازی بدست آورید.

## پرسش و پاسخ

۱- پسوند جریان و ولتاژ در رله‌های جریان و ولتاژ به چه معناست؟

پاسخ: یکی از معانی جریان سری و ولتاژ موازی است. در رله استارت جریان بوبین رله با سیم پیچ اصلی بصورت سری قرار دارد در نتیجه آن را رله جریان می‌گویند اما بوبین رله ولتاژ بصورت موازی با سیم پیچ اصلی قرار می‌گیرد به همین دلیل آن را رله ولتاژ می‌گویند.

۲- اگر کنتاکت‌های ۱ و ۲ در لحظه راه‌اندازی ابتدا باز باشند چه اتفاقی می‌افتد؟

پاسخ: کمپرسور روشن نمی‌شود.

۳- نقش خازن راه‌انداز در رله ولتاژ چیست؟

پاسخ: ایجاد گشتاور بیشتر به منظور راه‌اندازی بهتر کمپرسور.

۴- اگر در شکل ۹-۱۵ مدار الکتریکی رله ولتاژ، محل سیم پیچ‌های اصلی و فرعی را با هم عوض کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟

پاسخ: سیم پیچ فرعی بعثت اینکه دائم در مدار است می‌سوزد.

## تحقیق

شرح رله ولتاژ را از منابع معتبر دیگر (غیر از کتاب درسی) استخراج کرده با ذکر منبع آن، برای جلسه آینده تحویل دهید.

## ۹-۴- اورلود

## پیش آزمون

اگر کمپرسور یخچالی بیش از اندازه گرم شود چه اتفاقی برای آن می‌افتد؟

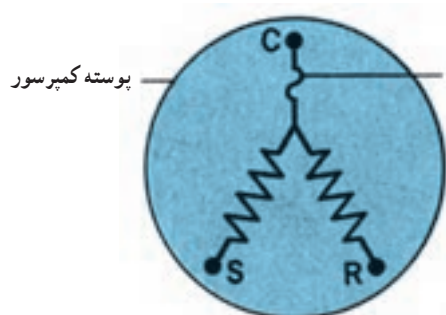
## روشن آموزش

هنرجو بایستی با مفهوم تولید گرما بر اثر عبور جریان برق آشنا شود. فرمول  $Q = RI^2T$  نشان می‌دهد که میزان تولید گرمای تولید شده در اورلود با مقاومت آن نسبت مستقیم و با مجذور جریان عبوری تولید شده در اورلود نسبت مستقیم دارد همچنین با زمان عبوری از آن نسبت مستقیم دارد. توضیح داده شود که گرمای اضافی حاصل از عبور جریان باعث سوختن سیم پیچ کمپرسور می‌شود و برای جلوگیری از این اتفاق از اورلود استفاده می‌شود.

## دانش افزایی

اورلود وسیله‌ای است که در دو نوع داخلی و خارجی تولید می‌شود. نوع خارجی آن در کمپرسورهای یخچال نصب می‌شود

و آن وسیله‌ای است که اگر برای مدت زمان معینی جریانی بیشتر از حد معمول از آن عبور کند گرمای بیش از حد تولید کرده و این گرما موجب انبساط سطحی صفحه‌ای که در آن قرار دارد می‌شود. صفحه بر اثر گرم شدن و انبساط سطحی از دو طرف به سمت مرکز خم شده و جریان عبوری از خود را قطع می‌کند و چون جریان کمپرسور از آن عبور می‌کند کمپرسور را خاموش می‌کند پس از سرد شدن صفحه مجدداً وصل می‌شود. این عمل باعث محافظت سیم پیچ کمپرسور می‌شود (شکل ۹-۴).



پوسته کمپرسور

اورلود محافظت‌کننده داخلی

(ب) موقعیت اورلود داخلی در مدار کمپرسور بسته



(الف) موقعیت اورلود داخلی موتور در داخل سیم پیچ

شکل ۹-۴- اورلود داخلی

## کار در کلاس

اهم متر و اورلود را از انبار گرفته سالم بودن اورلود را با اهم متر امتحان کنید.  
پاسخ: اهم متر را روی اهم گذاشته کنتاکت‌های ۱ و ۳ را به فیش‌های اهم متر می‌زنیم. اگر راه داد اورلود سالم است.

## پرسش و پاسخ

- ۱- چرا اورلود خارجی را به بدنه کمپرسور متصل می‌کنند؟  
پاسخ: برای اینکه اورلود گرمای بدنه کمپرسور را نیز احساس کند و چنانچه گرما بیش از حد باشد صفحه اورلود گرم شده و کمپرسور را خاموش می‌کند.
- ۲- در اورلودی که در مدار قدرت یک یخچال خانگی قرار می‌گیرد با قطع شدن آن چه تأثیری بر لامپ داخل یخچال می‌گذارد؟  
پاسخ: لامپ داخل یخچال مستقل از اورلود است و قطع و وصل اورلود تأثیری در آن ندارد.
- ۳- در اورلودی که در مدار فرمان کمپرسور قرار می‌گیرد چه قسمتی از اورلود با بوبین کنتاکتور سری می‌شود؟  
پاسخ: کنتاکت معمولاً بسته اورلود
- ۴- اگر بخواهیم اورلودی را در مسیر یک کمپرسور سه فاز قرار بدهیم چگونه در مدار قرار می‌گیرد؟  
پاسخ: در اینجا از اورلودی به اسم بی‌متال استفاده می‌کنیم که خود از دو مدار فرمان و قدرت تشکیل شده است. قسمت قدرت آن در مسیر سه فاز عبوری از کنتاکتور به کمپرسور و قسمت فرمان آن در مسیر بوبین کمپرسور قرار می‌گیرد. چنانچه بی‌متال بیش از اندازه گرم شود (بر اثر عبور جریان اضافی) قسمت فرمان برق آن بوبین کنتاکتور را قطع می‌کند.



## ۹-۵- کنترل فشار کم (L.P.O)

### پیش آزمون

۱- لوله کنترل فشار به کجای سیستم برودتی وصل می شود؟

۲- خود کنترل فشار کم کجا نصب می شود؟

### روش آموزش

لازم است توضیح داده شود که لوله کنترل فشار کم به خط مکش وصل می شود و سیالی که در آن قرار می گیرد مبرد خود سیستم است و تغییر فشار مبرد قسمت مکش باعث قطع و وصل کنتاکت های کنترل فشار کم می شود.

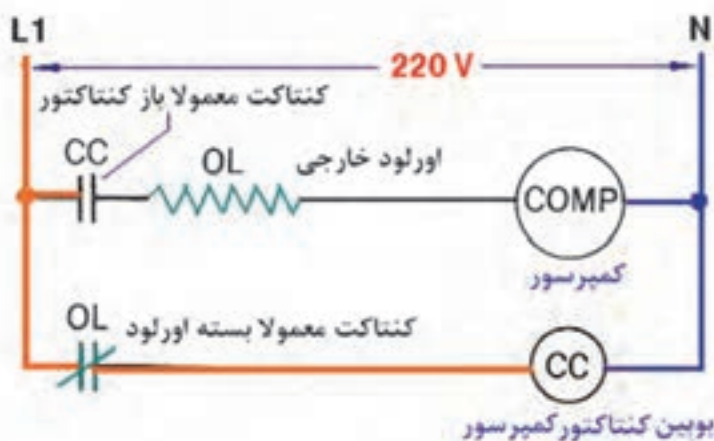
### دانش افزایی

یکی از روش های قرارگیری کنترل فشار کم در مدار بدین صورت است که وقتی ترموستات سرمای بیش از حد را احساس کرد به شیر برقی که روی لوله رانش بعد از کندانسور نصب شده فرمان قطع می دهد. وقتی برق شیر برقی از طریق ترموستات قطع شد شیر برقی مسیر ماده مبرد به سمت برگشت کمپرسور را مسدود می کند در حالی که کمپرسور کار می کند مبرد را از سمت مکش گرفته و به داخل کندانسر یا رسیور می فرستد. چون شیر برقی راه را بسته ماده مبرد به مکش کمپرسور بر نمی گردد در نتیجه فشار در قسمت مکش کمپرسور پایین آمده و کنترل فشار کم که کنتاکت های آن در مدار فرمان کنتاکتور کمپرسور قرار دارند عمل کرده و کمپرسور را خاموش می کنند. وقتی کمپرسور برای مدتی خاموش باشد سرمای اوپراتور کم شده ترموستات احساس گرما کرده و کنتاکت های آن وصل می شود. با وصل شدن ترموستات برق به شیر برقی رسیده و شیر برقی مسیر لوله رانش را باز می کند. اختلاف فشار در قسمت رانش و مکش سیکل تبرید در حالی که کمپرسور هنوز خاموش است باعث می شود که ماده مبرد به سمت کمپرسور برگشته و در نتیجه آن فشار در مکش کمپرسور بالا رفته در نتیجه کنتاکت های کنترل فشار کم وصل شده و کمپرسور روشن می شود.

### کار در کلاس

مدار برقی یک سیکل تبرید را با دست آزاد طوری ترسیم کنید که کنترل فشار کم در آن، کمپرسور را خاموش و روشن کند.

پاسخ: شکل ۹-۶



شکل ۹-۵- مدار الکتریکی حفاظت کمپرسور از طریق کنترل مدار فرمان

۱- کدام یک از موارد زیر نماد کنترل فشار کم در مدار برقی است؟



پاسخ: ب درست است.

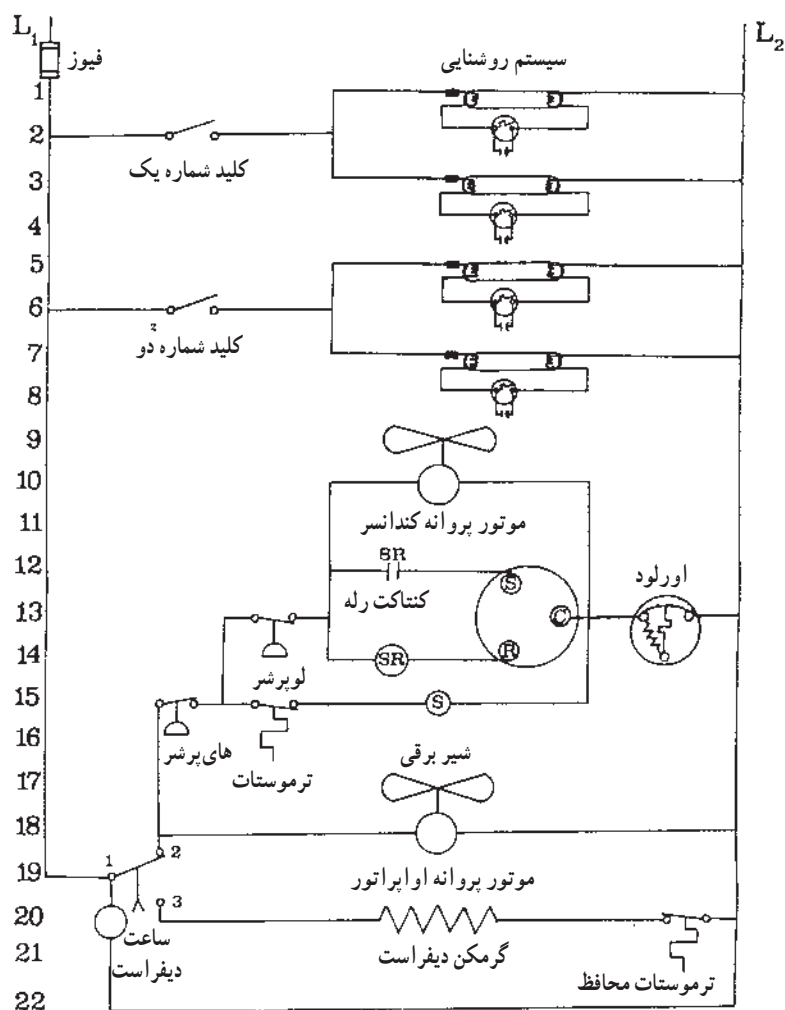
۲- بالا رفتن فشار در مکش کمپرسور باعث کدام یک از موارد زیر است.

(الف) روشن کردن کمپرسور (ب) خاموش کردن کمپرسور

پاسخ: الف درست است.

۳- لوله کنترل فشار کم به کجا وصل می‌شود؟ پاسخ: به قسمت مکش کمپرسور

۴- داخل لوله کنترل فشار کم چه سیالی وجود دارد؟ پاسخ: ماده مبرد موجود در سیکل تبرید

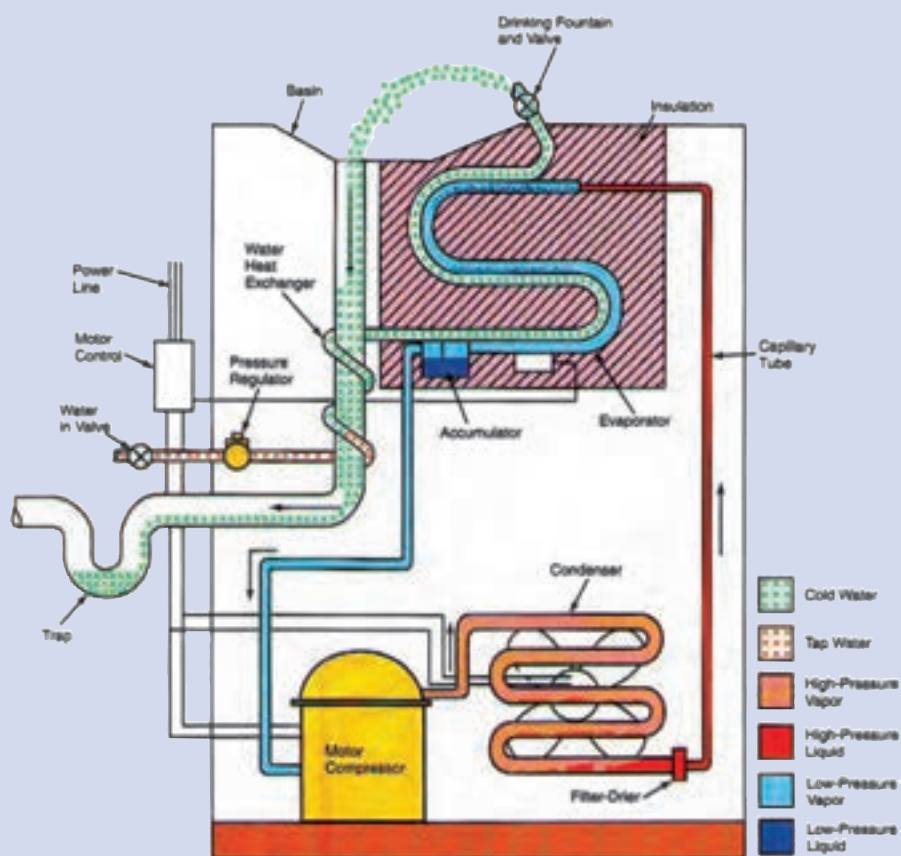


شکل ۹-۶- مدار الکتریکی یک نمونه اتاق سرد

تفاوت کنترل فشار کم و کنترل فشار زیاد چیست؟

اول اینکه کنترل فشار کم با پایین آمدن فشار از حد لازم کمپرسور را خاموش می‌کند و با بالا رفتن فشار به حد لازم کمپرسور روشن می‌شود ولی کنترل فشار زیاد با بالا رفتن فشار از حد لازم کمپرسور را خاموش ولی با پایین آمدن فشار کمپرسور روشن نمی‌شود زیرا معمولاً وجود یک اشکال در سیستم تبرید باعث بالا رفتن فشار سیستم و قطع برق کمپرسور توسط کنترل فشار زیاد می‌شود. بنابراین وقتی کنترل فشار زیاد کمپرسور را خاموش می‌کند بایستی اول مشکل سیستم را برطرف کرد سپس اواپراتور دستی کنترل فشار زیاد را به مدار آورده و آن را روشن کند.

## دستگاه‌های سردکننده خانگی و تجاری



## دستگاه‌های سردکننده خانگی و تجاری



هنرآموزان گرامی با طرح سؤال «قبل از اختراع یخچال مواد غذایی چگونه نگهداری می‌شدند» آمادگی لازم جهت ارائه مطلب درس این فصل را فراهم نمایند.

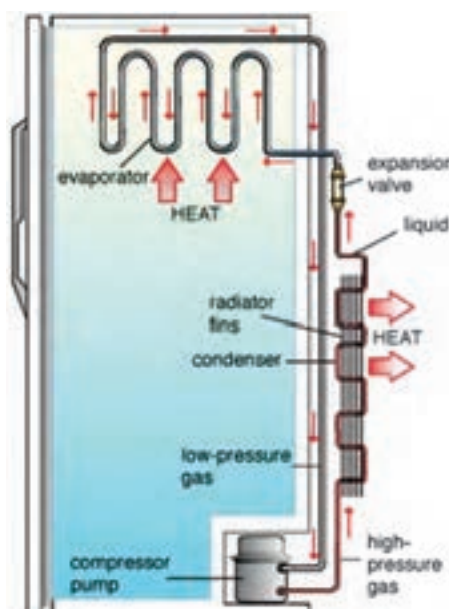
### ۱-۱- یخچال



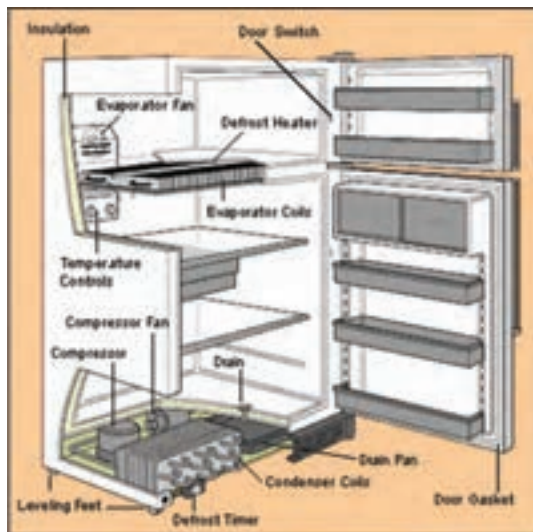
قبل از اختراع یخچال‌های امروزی در محفظه‌های نگهداری غذا مقداری یخ قرار می‌دادند تا در اثر ذوب شدن تدریجی یخ، هوای محفظه را خنک نگه داشته شود. نخستین یخچال در سال ۱۷۸۴ میلادی به‌دست ویلیام کولین در دانشگاه گلاسکو در معرض دید عموم قرار گرفت و از آن زمان تاکنون به‌تدریج تکمیل گردید به‌طوری که امروزه یخچال‌ها علاوه بر محفظه انجماد (جایخی) و فضای نگهداری غذا، مجهز به محفظه تأمین آب یخ نیز می‌باشند. (شکل ۱-۱)

**۱-۱-۱- اجزاء مکانیکی یخچال:** کمپرسور یخچال در قسمت پایین کابینت قرار گرفته و کاملاً بدون منفذ بوده مجهز به یک موتور القایی دو میدانی می‌باشند. کندانسر از نوع جریان هوای طبیعی بوده و دستگاه کنترل مایع معمولاً لوله موئین است. اواپراتور نیز از آلومینیوم یا فولاد ضد زنگ ساخته می‌شود. حجم و فضای قفسه‌ای زیادی برای ذخیره غذای منجمد، ساختن یخ قالبی و سرد کردن غذا و نوشابه و تأمین آب سرد پیش‌بینی شده است. (شکل ۱-۲)

شکل ۱-۱- یخچال فریزر مجهز به آب سردکن



شکل ۱-۲- اجزاء مکانیکی یخچال



در یخچال فریزرهای بزرگ کندانسر از نوع جریان اجباری هوا بوده و برای گردش هوای داخل یخچال و تبادل گرمای بیشتر بین محصولات غذایی و اواپراتور، یک فن هوا را به گردش در می‌آورد. (شکل ۳-۱۰)

شکل ۳-۱۰ محل نصب کندانسر و اواپراتور یخچال فریزر

در یخچال دو دمای متفاوت ایجاد می‌شود.

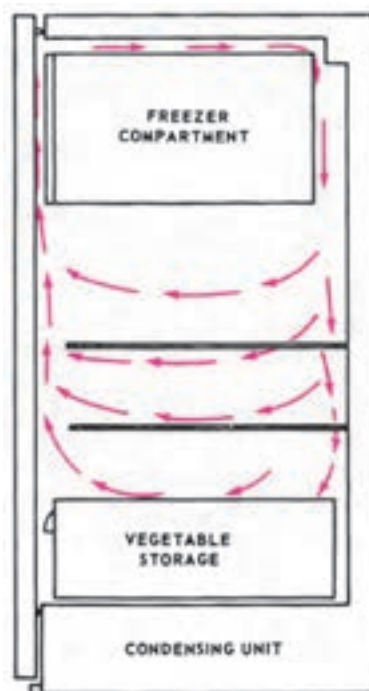
۱- دمای جایشی (محفظه غذای منجمد) . دمای این محفظه باید  $15^{\circ}\text{C}$  یا کمتر نگاه داشته شود.

۲- دمای کابین اصلی یخچال هیچگاه نباید از صفر درجه سانتی گراد کمتر شود (معمولاً بین  $2-7^{\circ}\text{C}$  نگاه داشته می‌شود) زیرا

اگر دمای یخچال به زیر صفر درجه سانتی گراد برسد بیشتر غذاها یخ زده و خراب می‌شوند.

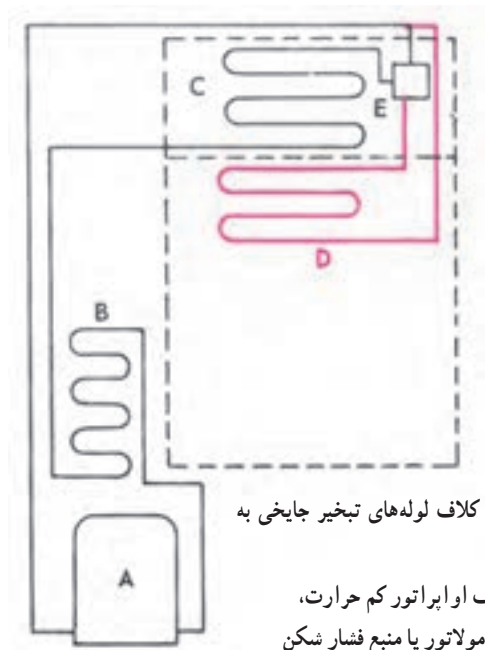
برای تأمین دو دمای متفاوت از روش‌های گوناگون استفاده می‌شود :

۱- کوران و گردش هوای سرد فریزر یا محفظه غذای منجمد در کابینت اصلی (شکل ۴-۱۰)



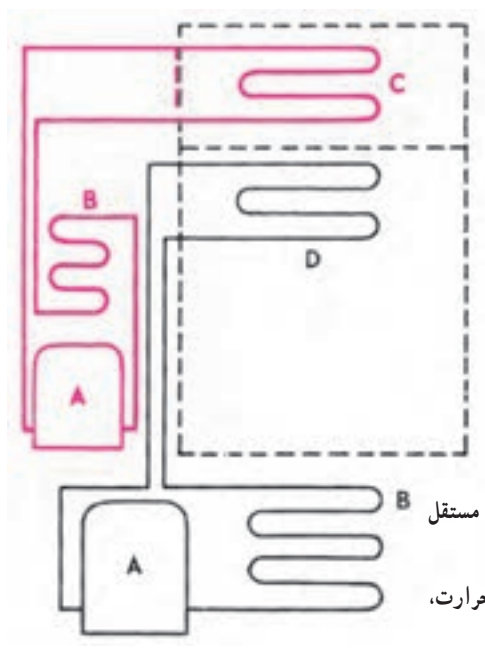
شکل ۴-۱۰ کوران هوای سردی که از قسمت غذای منجمد (جایشی) سرازیر می‌شود قفسه‌های کابینت یخچال را خنک می‌کند.

۲- سرریز شدن مایع سرمازا از اواپراتور فریزر به اواپراتور کابینت اصلی مانند (شکل ۵-۱۰).



شکل ۵-۱۰- سرریز مایع سرمازا از کلاف لوله‌های تبخیر جایشی به کلاف کابین، کابین را خنک می‌کند.  
A- کمپرسور، B- کندانسر، C- کلاف اواپراتور کم حرارت،  
D- کلاف اواپراتور مرطوب، E- آکومولاتور یا منبع فشار شکن

۳- استفاده از دو مکانیزم سردکننده، سردکننده جداگانه و کاملاً مستقل (شکل ۶-۱۰).

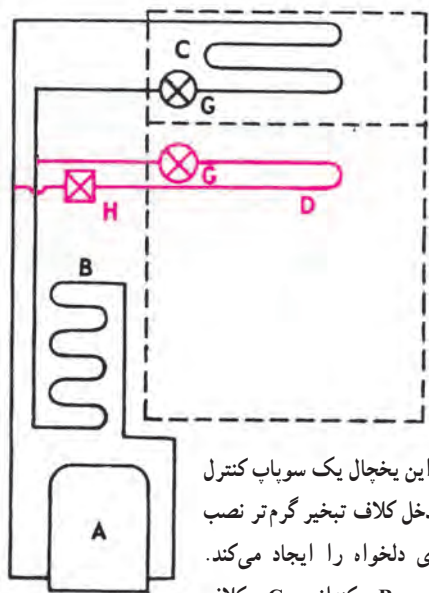


شکل ۶-۱۰- این دو محفظه مختلف‌الحرارت با دو واحد کاملاً مستقل و جداگانه خنک می‌شوند.  
A- موتور - کمپرسور، B- کندانسر، C- کلاف تبخیر کم حرارت،  
D- کلاف اواپراتور مرطوب

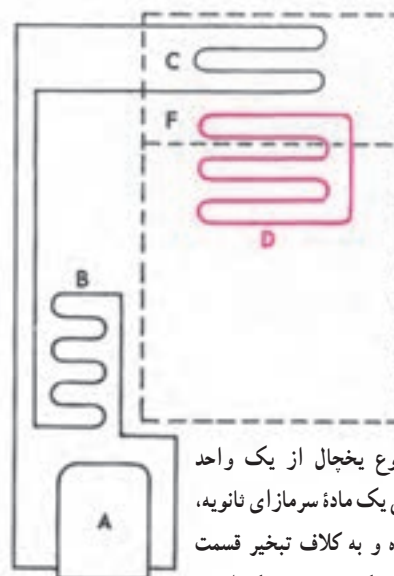
۴- سیستم دو ماده‌ای که در آن یک ماده سرمازای ثانویه در یک مدار بسته به گردش درآمده و هوای گرم کابینت اصلی را جذب و آن را به اواپراتور محفظه بالایی (جایشی) منتقل می‌نماید. (شکل ۷-۱۰)

۵- نصب سوپاپ کنترل دو دمایی در مدار لوله حامل مایع سرمازا (در مدخل گرم تر کلاف سوار می‌شود). (شکل ۸-۱۰)





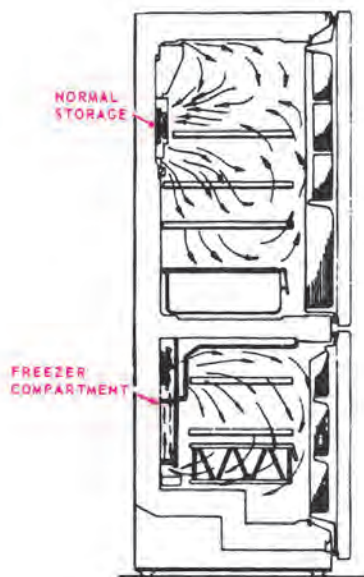
شکل ۸-۱۰ در این یخچال یک سوپاپ کنترل دو گرمایی که در مدخل کلاف تبخیر گرم‌تر نصب شده دو نوع سرمای دلخواه را ایجاد می‌کند. A — موتور کمپرسور، B — کندانسر، C — کلاف اواپراتور سردتر، D — کلاف اواپراتور مرطوب، دستگاه‌های کنترل ماده سرمازا، H — سوپاپ کنترل دو گرمایی



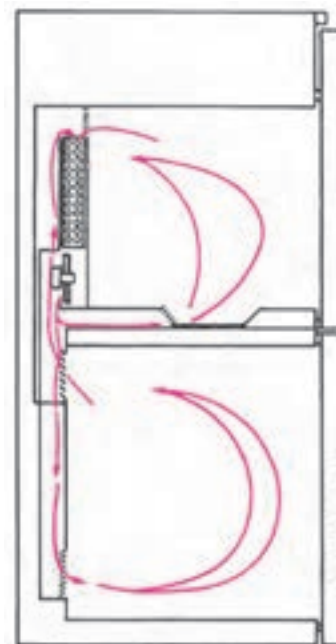
شکل ۷-۱۰ در این نوع یخچال از یک واحد تقطیرکننده استفاده شده ولی یک ماده سرمازای نانویه، حرارت کابین را جذب کرده و به کلاف تبخیر قسمت فریزر می‌دهد. A — موتور — کمپرسور B — کندانسر، C — اواپراتور کم حرارت، D — کلاف اواپراتور مرطوب، E — کندانسر نانوی

۶ — استفاده از اواپراتور کوران مصنوعی که در آن یک پنکه، هوای سرد اطراف اواپراتور را در هر دو محفظه به جریان می‌اندازد. (شکل ۹-۱۰)

۷ — استفاده از اواپراتور کوران القایی که در آن دو پنکه مستقل هوای سرد اطراف کلاف را به محفظه‌ها منتقل می‌کند. (شکل ۱۰-۱۰)



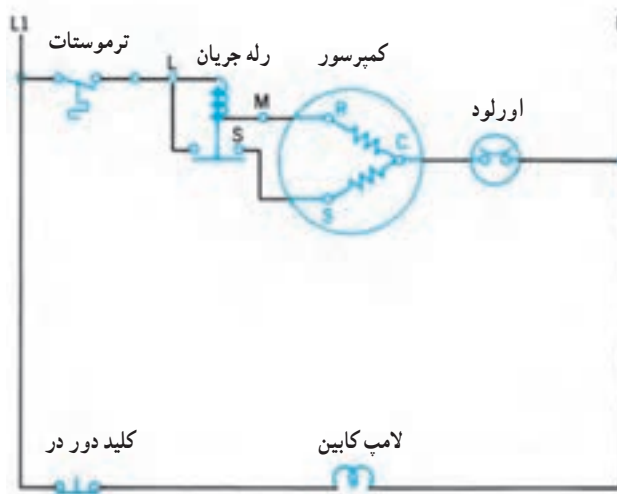
شکل ۱۰-۱۰ اواپراتور کوران القایی که در آن از پنکه‌های جداگانه برای به گردش درآوردن هوای سرد در کابینت اصلی و فریزر استفاده شده است. ۱ — کابینت اصلی، ۲ — فریزر



شکل ۹-۱۰ اواپراتور کوران مصنوعی که در آن از یک پنکه برای به گردش درآوردن هوای سرد در هر دو محفظه استفاده شد.

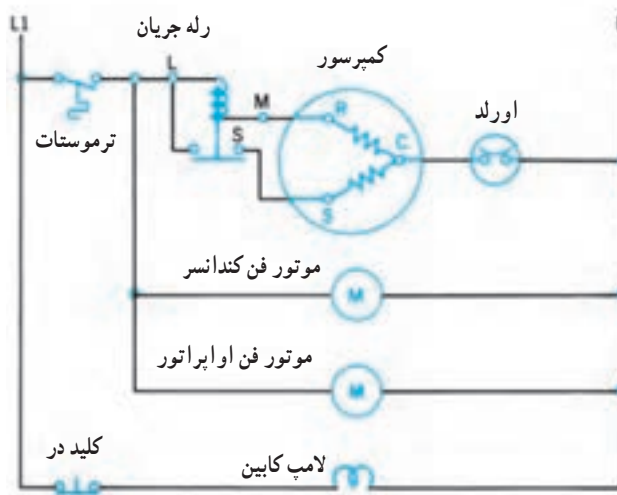
۱-۲-۱ مدار الکتریکی یخچال: مدار الکتریکی یخچال معمولی را می‌توان به دو خط اصلی تقسیم نمود. (شکل

۱۱-۱۰)



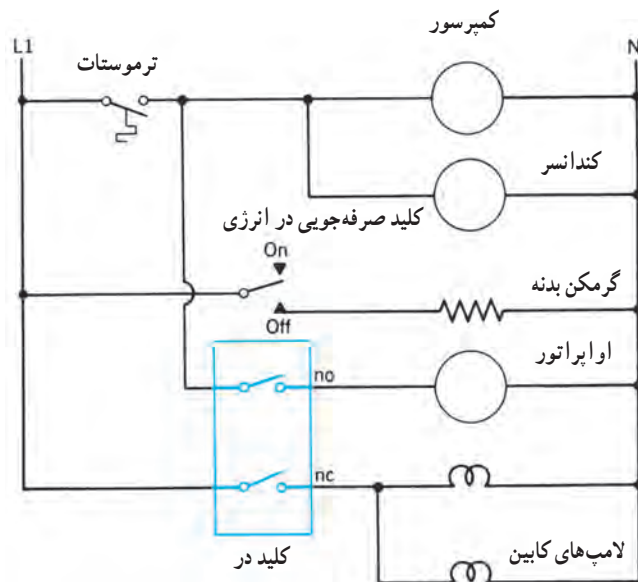
شکل ۱۱-۱۰ مدار الکتریکی یک دستگاه یخچال خانگی

خط اول برق کمپرسور را کنترل می‌کند، در این مسیر ترموستات قرار گرفته است تا هنگامی که دمای داخل یخچال به دمای تنظیم رسید برق کمپرسور را قطع نماید. همچنین در این مسیر رله جریان قرار دارد تا بتوان در هنگام راه‌اندازی کمپرسور، سیم‌پیچ کمکی را وارد مدار نمود و پس از راه‌اندازی کمپرسور سیم‌پیچ کمکی را از مدار خارج نماید. در انتهای مسیر نیز اورلود نصب می‌شود تا در صورت عبور جریانی بیش از جریان نامی کمپرسور مانند یک فیوز جریان برق را قطع نماید. مسیر دوم برای کنترل لامپ داخل یخچال استفاده می‌شود. در زمان باز شدن در یخچال لامپ روشن و با بستن در یخچال لامپ خاموش خواهد شد. در مدار الکتریکی یخچال فریزر علاوه بر دو مسیر قبلی، دو مسیر دیگر که متعلق به برق فن‌های کندانسور و فن‌های اواپراتور است نیز اضافه می‌شود. برق ورودی این دو مسیر بعد از ترموستات گرفته شده تا همزمان با خاموش و روشن شدن کمپرسور، فن‌های کندانسور و اواپراتور نیز خاموش یا روشن شوند. (شکل ۱۲-۱۰)



شکل ۱۲-۱۰ مدار الکتریکی یک دستگاه یخچال فریزر

در صورتی که برای تبادل گرمای بیشتر بین مواد غذایی داخل یخچال و اواپراتور از فن برای به گردش درآوردن هوا استفاده شود، با باز شدن درب یخچال هوای سرد داخل یخچال به بیرون دمیده می‌شود. برای جلوگیری از این امر مطابق شکل ۱۰-۱۳ از یک کلید دو حالت در مدار برق اواپراتور و لامپ داخل کابین یخچال استفاده می‌شود. هنگامی که درب یخچال بسته است کلیدی که در مدار فن اواپراتور قرار دارد در حالت بسته و کلیدی که در مدار لامپ قرار دارد باز می‌باشد. حال اگر در یخچال باز شود کلید لامپ تغییر حالت داده و بسته می‌شود اما کلیدی که در مدار فن اواپراتور قرار دارد باز شده و از ادامه کار اواپراتور جلوگیری می‌کند.



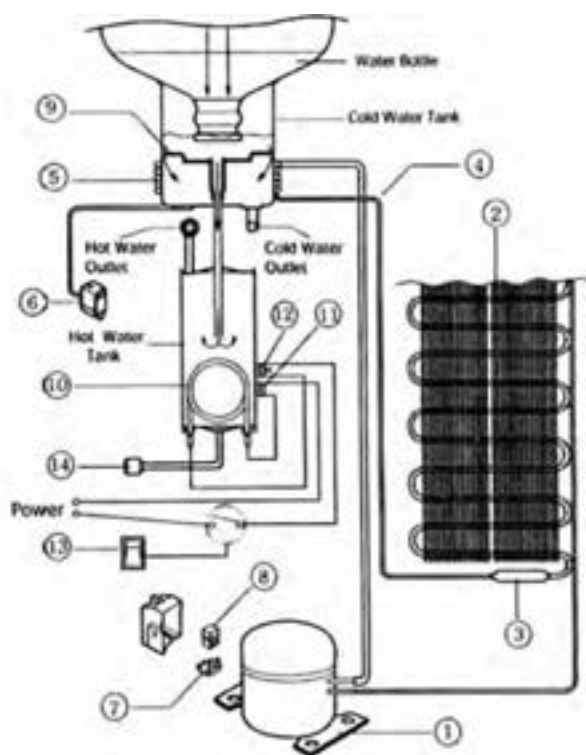
شکل ۱۰-۱۳- طرح دیگری از مدار الکتریکی یخچال فریزر

## ۲-۱۰- آب سردکن

۲-۱-۱۰- مدار مکانیکی آب سردکن: مدار مکانیکی آب سرد کن در دو نوع ساخته می‌شوند. در نوع اول بر روی آب سردکن یک بطری آب نصب می‌شود. آب داخل بطری توسط اواپراتوری که بر روی بدنه دستگاه نصب شده خنک می‌شود. (شکل ۱۰-۱۴)



شکل ۱۰-۱۴- آب سردکن دارای بطری آب



لوله‌های اوپراتور در بالای دستگاه به صورت کلاف دور محلی که در تماس با آب مخزن است پیچیده می‌شوند تا آب مخزن را خنک نماید (شکل ۱۵-۱۰). امروزه این دستگاه‌ها مجهز به یک هیتر می‌باشند تا آب داغ را نیز تهیه نمایند. با خالی شدن آب داخل بطری، بطری خالی را با بطری پر از آب تعویض می‌کنند.

اجزاء تشکیل دهنده این دستگاه دو کاره که آب سرد و آب گرم را تأمین می‌کند عبارتند از:

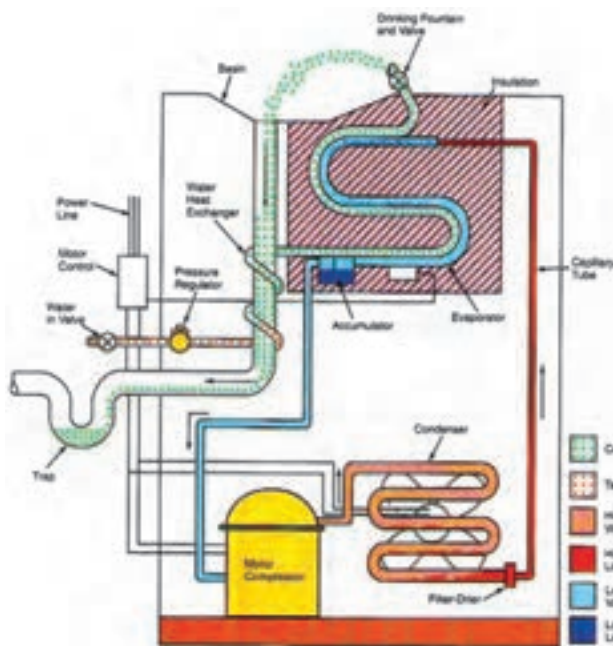
- |                       |                        |
|-----------------------|------------------------|
| ۱- کمپرسور            | ۸- رله                 |
| ۲- کندانسر            | ۹- مخزن نگهداری آب سرد |
| ۳- فیلتر درایر        | ۱۰- هیتر               |
| ۴- لوله رفت مایع مبرد | ۱۱- بی متال            |
| ۵- کویل اوپراتور      | ۱۲- ترموستات آب گرم    |
| ۶- ترموستات آب سرد    | ۱۳- کلید قطع و وصل     |
| ۷- اورلود             | ۱۴- خروج آب گرم        |

شکل ۱۵-۱۰ اجزاء دستگاه آب سردکن بطری دار مجهز به هیتر گرم کن آب داغ

در نوع دیگر آب سردکن از یک مخزن باز یا یک مخزن بسته استفاده می‌شود که لوله‌های اوپراتور به دور مخزن پیچیده می‌شود. (شکل ۱۶-۱۰)



شکل ۱۶-۱۰ آب سردکن با مخزن ذخیره آب



البته ممکن است به جای استفاده از مخزن، لوله های اوپراتور به لوله های آب سرد لحیم شوند تا انتقال حرارت از آب داخل لوله به اوپراتور به خوبی صورت گیرد. (شکل ۱۷-۱°)

شکل ۱۷-۱۰- اجزاء داخلی آب سردکن

در مسیر آب شهر یک شیر قطع و وصل و یک شیر تنظیم فشار قرار دارد، لوله آب شهر ابتدا به دور لوله تخلیه پیچیده می‌شود تا در اثر تبادل حرارت با آب سردی که تخلیه می‌شود کمی خنک شده و در ادامه مسیر حرکت آب داخل لوله‌هایی که به کویل اواپراتور لحیم شده است دمای آب خروجی از آب سردکن به دمای تنظیمی خواهد رسید.

**۲-۲-۱۰- مدار الکتریکی آب سردکن :** مدار الکتریکی آب سردکن همانند مدار الکتریکی یخچال معمولی بوده با این تفاوت که مدار روشنایی حذف شده و مدار تغذیه فن کندانسرها اضافه می‌شود. اتصال فن بعد از ترموستات انجام می‌گیرد تا روشن و خاموش شدن فن کندانسرها همزمان با کارکرد کمپرسور باشد. (شکل ۱۸-۱)



شکل ۱۸-۱۰ مدار الکتریکی آب سردکن

## ۳-۱۰- یخچال ویترینی

در فروشگاه‌ها برای نگهداری مواد غذایی از یخچال‌های ویترینی استفاده می‌شود. جلوی این یخچال‌ها از شیشه ساخته می‌شود تا خریداران بتوانند به راحتی محصولات داخل یخچال را ببینند. یخچال‌های ویترینی به دو دسته ویترینی شیشه‌ای بسته و ویترینی نمایشی روباز می‌شود. (شکل ۱۹-۱۰)



ب) یخچال ویترینی نمایشی روباز



الف) یخچال ویترینی شیشه‌ای بسته

شکل ۱۹-۱۰

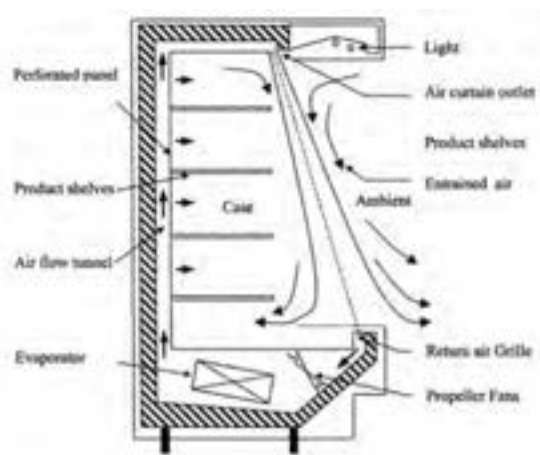
یخچال‌های ویترینی گاهی برحسب محل قرار گرفتن اواپراتور نیز طبقه‌بندی می‌شوند.

۱- اواپراتور در سقف

۲- اواپراتور بر روی دیوار

۳- اواپراتور در کف

به منظور تسهیل دسترسی مشتری به مواد غذایی در سلف سرویس‌ها و سوپرمارکت‌ها استفاده از یخچال‌های ویترینی روباز کاملاً متداول است. در این یخچال‌ها از اواپراتور فن‌دار استفاده می‌شود و هوای سرد از طریق کانال‌هایی به شبکه‌های عقبی یخچال دمیده شده و برودتی در حد سرمای غذاهای منجمد ایجاد می‌کند و هوای گرم از قسمت جلوی یخچال به پایین می‌رود. چراغ‌های روشنایی این یخچال‌ها معمولاً در خارج از شیشه ویترین کار گذاشته می‌شود تا حرارت آنها باعث ازدیاد کار یخچال نگردد. (شکل ۲۰-۱۰)



شکل ۲۰-۱۰- جریان هوا در یخچال ویترینی



برای حفظ و نمایش محصولات کشاورزی از یخچال‌های ویترینی روباز با برودتی معادل  $5^{\circ}\text{C}$  استفاده می‌شود اما در یخچال‌های روباز مخصوص ارائه و فروش مواد غذایی منجمد برودتی نزدیک به  $-18^{\circ}\text{C}$  نیاز است که ایجاب می‌کند اواپراتورهای آنها در دمای  $12^{\circ}\text{C}$  تا  $-1^{\circ}\text{C}$  کار کند. در محل‌هایی که ممکن است رطوبت موجود در هوا تقطیر شده و یخ بزند سیم‌های حرارتی نصب می‌شود. بعضی از یخچال‌ها به سیستم اخطاری مجهزند که در صورت بالا رفتن درجه حرارت با به صدا درآوردن زنگ با روشن شدن چراغ هشدار می‌دهند.

#### ۴-۱- محاسبه برآورد بار سرمایی یخچال و فریزر

برای بدست آوردن بار برودتی یخچال‌های معمولی، یخچال فریزرها و یخچال‌های پیش‌ساخته از جدول ۱۶-۱۰ کتاب اصلی استفاده می‌شود. ابتدا حجم خارجی یخچال را محاسبه نموده و مقدار آن را از ستون سمت چپ جدول پیدا کرده و به سمت راست می‌رویم تا بار برودتی یخچال را بدست آوریم.

**مثال:** یک یخچال پیش‌ساخته با دمای  $5^{\circ}\text{C}$  به ابعاد  $100\text{ cm} \times 120\text{ cm} \times 200\text{ cm}$  ساخته شده است، بار برودتی یخچال را بدست آورید.

**حل:** ابتدا حجم خارجی یخچال را بدست می‌آوریم:

$$V = 2\text{ m} \times 1/2\text{ m} \times 1\text{ m} = 2/4\text{ m}^3$$

از جدول ۱۶-۱۰ بار برودتی  $765\text{ W}$  بدست می‌آید.

#### ۵-۱- سردخانه (اتاق‌های سرد)

فروشگاه‌های گوشت و مواد غذایی از یخچال‌های بسیار بزرگ اتاق مانند استفاده می‌کنند. در ساختمان کابینت انواع متداول این یخچال‌ها از عایق پلی‌یورتان و پوشش فلزی خارجی استفاده می‌شود و رویه داخلی با لایه‌ای از لعاب و قسمت خارجی با رنگ پخته پوشیده می‌شود. (شکل ۲۱-۱)



شکل ۲۱-۱ دو نمونه سردخانه





شکل ۲۲-۱ اجزاء پیش ساخته سردخانه

سردخانه‌ها در دو نوع ثابت و متحرک ساخته می‌شوند. اتاق سردخانه‌های ثابت از مصالح ساختمانی ساخته شده و پس از نصب عایق بر روی دیوارهای داخلی، روی عایق با ورق‌های نازک آلومینیومی روکش می‌شود. جداره‌های خارجی دیوار سردخانه نیز با مصالح ساختمانی پوشیده می‌شود. سردخانه متحرک از قطعات پیش ساخته تشکیل می‌شود که در محل ساخت سردخانه به یکدیگر متصل می‌شوند. وسط این قطعات پیش ساخته عایق قرار گرفته و دو طرف آن با ورق فلزی پوشیده می‌شود. (شکل ۲۲-۱)

در یخچال نیز مانند دیوارهای سردخانه‌های متحرک ساخته می‌شوند و برای جلوگیری از ورود هوای خارج از درز در به داخل سردخانه نوار لاستیکی دور در تعبیه می‌شود. قفل و بست و دستگیره در این اتاق‌های سرد به منظور ایمنی از داخل نیز باز می‌شوند. اطراف در به سیم‌های حرارتی الکتریکی مجهز است تا از یخ زدن در جلوگیری شود. (شکل ۲۳-۱)



شکل ۲۳-۱ در سردخانه

## ۶-۱- برآورد بار سرمایی سردخانه

برآورد بار سرمایی سردخانه‌های پیش ساخته کوچک با استفاده از نمودار شکل ۲۲-۱ کتاب اصلی صورت می‌گیرد. برای محاسبه بار سردخانه ابتدا سطح خارجی سردخانه را بدست آورده و مقدار آن را بر روی محور عمودی نمودار مشخص کرده و به سمت راست حرکت می‌کنیم تا خط مورب داخل نمودار را قطع نماید. سپس از همان محل به سمت پایین رفته و مقدار بار برودتی سردخانه را از روی محور افقی می‌خوانیم.

لازم به ذکر است که نمودار برآورد سرمایی سردخانه براساس ۳۲ درجه دمای محیط و ۱۶ تا ۱۸ ساعت کار برای تجهیزات طراحی شده است. در صورتی که دمای محیط  $38^{\circ}\text{C}$  و دمای سالن  $1/5$  درجه سانتی گراد باشد، پس از محاسبه بار از نمودار ۱۲٪

به مقدار بدست آمده اضافه می‌نماییم. همچنین در صورتی که دمای محیط  $38^{\circ}\text{C}$  و دمای سالن  $29^{\circ}\text{C}$  باشد  $10\%$  به مقادیر بدست آمده از نمودار اضافه خواهد شد. در بالای نمودار ضخامت مناسب عایق جداره‌های سردخانه مشخص شده است.

**مثال ۱:** سطوح خارجی سردخانه‌ای  $28^{\circ}$  متر مربع است. اگر سردخانه در محیطی با دمای  $32^{\circ}\text{C}$  قرار گرفته باشد بار سرمایی سردخانه را بدست آورید.

**حل:** با استفاده از نمودار بار سرمایی برابر با  $12/7\text{kw}$  خواهد بود.

**مثال ۲:** سردخانه‌ای به ابعاد خارجی  $10\text{m} \times 8\text{m} \times 4\text{m}$  مفروض است. در صورتی که دمای محیط  $35^{\circ}\text{C}$  و دمای سالن سردخانه  $18^{\circ}\text{C}$  باشد مطلوب‌بست ۱- بار سرمایی سردخانه ۲- ضخامت مناسب برای عایق جداره‌های سردخانه

**حل:** محاسبه سطح خارجی سردخانه از دو راه امکان پذیر است.

راه اول: سطح جانبی سردخانه:

$$10 \times 4 \times 2 = 80\text{m}^2$$

$$8 \times 4 \times 2 = 64\text{m}^2$$

$$10 \times 8 \times 2 = 160\text{m}^2$$

سطح کف و سقف سردخانه:

$$80 + 64 + 160 = 304\text{m}^2$$

سطح کل سردخانه:

راه دوم: با استفاده از جدول ۲۴-۱ کتاب اصلی، ابتدا در ستون «طول» عدد  $10$  متر را انتخاب می‌نماییم و در ستون «عرض» عدد  $8$  متر را انتخاب و به سمت راست حرکت می‌کنیم، در ستون ارتفاع  $4\text{m}$  سطح خارجی سردخانه  $304$  متر مربع بدست خواهد آمد.

با داشتن سطح خارجی  $304\text{m}^2$  از نمودار بار سرمایی سردخانه  $13/7$  کیلووات خواهد بود اما به دلیل تفاوت شرایط دمای محیطی سردخانه با شرایط نمودار، می‌بایستی بار بدست آمده را اصلاح نماییم. برای این کار  $10\%$  به بار سرمایی اضافه خواهد شد.

$$13/7 + \frac{1}{10} = 1/37\text{kw}$$

بار سرمایی سردخانه:

$$13/7 + 1/37 = 15/07\text{kw}$$

با توجه به توضیحات بالای نمودار ضخامت مناسب عایق پشم شیشه برای این سردخانه  $150$  میلی متر می‌باشد.

## دستگاه‌های تهویه مطبوع





## دستگاه‌های تهویه مطبوع

### پیش‌آزمون

- ۱- تهویه مطبوع چیست؟
- ۲- تفاوت کولر آبی و کولر گازی در چیست؟

### روشن‌آموزش

هدف از پرسش‌های پیشنهادی پیش‌آزمون بارش فکری است و نباید در مورد پاسخ آنها داوری، ارزشیابی یا خرده‌گیری کرد و تنها پاسخ چند نفر را در گوشه‌ای از تخته یادداشت کنید. در ادامه هنرآموزان محترم می‌توانند پس از تعریف تهویه مطبوع و گستره آن به چکیده‌ای از تاریخچه تهویه مطبوع اشاره کنند.

## ۱-۱-۱- تاریخچه

### دانش‌افزایی

- الف - تعریف تهویه مطبوع<sup>۱</sup>:** «تهویه مطبوع، فرایندی برای دگرگونی ویژگی‌های هوا به شرایط دلخواه است.»
- تهویه مطبوع دربرگیرنده سیستم‌های سردکن، گرم کردن، تهویه و گندزدایی هوا است.
- ب - تاریخچه پیدایش سیستم‌های تهویه مطبوع:** در جدول شکل ۱-۱۱ گام‌هایی که در راستای پیدایش سیستم‌های تهویه مطبوع انجام شده، آمده است.

شکل ۱-۱۱ - جدول تاریخچه پیدایش سیستم‌های تهویه مطبوع

سال (میلادی)	کارهای انجام شده
قدمت تاریخی	به کارگیری نی در پنجره‌ها و ریختن آب روی آن توسط مصریان باستان - گذر آب درون دیوارها توسط رومی‌های باستان، کاربرد بادگیرها توسط ایرانیان
قرن نوزدهم	پیشرفت تهویه مطبوع به دلیل پیشرفت دانش شیمی
قرن دوم	ساخت بادزنی با هفت پر به قطر ۳ متر (گردش با نیروی دست) توسط دینگ هوان از سلسله هان چین
قرن هشتم	ساخت بادزنی که با نیروی آب به گردش درمی‌آمد و آب نیز در هوا اسپری می‌شد در زمان امپراطور ژوان سونگ از سلسله تانگ چین
۱۷۵۸	آزمایش‌های بنجامین فرانکلین و جان هدلی برای کشف اصل تبخیر (به عنوان وسیله‌ای برای سرد کردن یک شی به تندی) - آنها به این نتیجه رسیدند که یک نفر را می‌توان تا سر حد مرگ در تابستان سرد کرد.

کشف مایکل فارادی در مورد سردسازی با فشرده‌سازی و میعان آمونیاک و اجازه تبخیر به آن	۱۸۲۰
به کارگیری جان گوری از کمپرسور و ماشین یخ ساز برای سرد کردن اتاق بیماران مبتلا به تب زرد و پایین آوردن رطوبت هوای اتاق‌ها	۱۸۴۲
ساخت دستگاه تهویه مطبوع برقی توسط ویلیس کریر	۱۹۰۲
طراحی نمودار سایکرومتریک توسط ویلیس کریر	۱۹۰۴
بررسی راه‌هایی برای اضافه کردن رطوبت به هوا در کارخانه نساجی توسط استوارت کرامر و ابداع اصطلاح «تهویه مطبوع»، و در نتیجه ابداع سیستم خنک‌کننده تبخیری	۱۹۰۶
اختراع کولرگازی پنجره‌ای توسط رابرت شرمن که ضمن سرد و گرم کردن می‌توانست هوا را رطوبت‌گیری، رطوبت-زدایی و فیلتر کند.	۱۹۴۵

## ۱۱-۲- ویژگی‌های هوا و سایکرومتری

### الف - ویژگی‌های هوا

#### روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند هفت ویژگی هوا شامل دمای حباب خشک، دمای حباب مرطوب، دمای نقطه شبنم، رطوبت ویژه، رطوبت نسبی، آنتالپی و حجم مخصوص را توضیح داده و با به کارگیری اختلاف دمای مرطوب و دمای خشک هوا رطوبت نسبی را به دست آورند. (جدول ۱۱-۲)

Relative Humidity (%)

Dry-Bulb Temperature (°C)	Difference Between Wet-Bulb and Dry-Bulb Temperatures (°C)														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
-22	100	98													
-18	100	96													
-14	100	94													
-10	100	91	88												
-6	100	86	83	80											
-2	100	81	78	75	72										
2	100	76	73	70	67	64									
6	100	71	68	65	62	59	56								
10	100	66	63	60	57	54	51	48							
14	100	61	58	55	52	49	46	43	40						
18	100	56	53	50	47	44	41	38	35	32					
22	100	51	48	45	42	39	36	33	30	27	24				
26	100	46	43	40	37	34	31	28	25	22	19	16			
30	100	41	38	35	32	29	26	23	20	17	14	11	8		
34	100	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3		
38	100	31	28	25	22	19	16	13	10	7	4	1			
42	100	26	23	20	17	14	11	8	5	2					
46	100	21	18	15	12	9	6	3							
50	100	16	13	10	7	4	1								
54	100	11	8	5	2										
58	100	6	3												
62	100	1													

شکل ۱۱-۲- جدول رطوبت نسبی هوا

#### پرسش و پاسخ

دمای هوای خشک اتاقی ۲۰ درجه سلسیوس و اختلاف بین دمای خشک و دمای مرطوب هوا ۵ درجه سلسیوس است رطوبت نسبی چند درصد است؟ با استفاده از جدول رطوبت نسبی ۵۸ درصد است.

## ب- نمودار سایکرومتریک<sup>۱</sup>

### روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند هفت ویژگی هوا را که پیش از این بیان نموده‌اید بر روی نمودار سایکرومتریک<sup>۲</sup> (شکل ۱۱-۳) نشان دهند. هنرجویان به طور معمول رطوبت ویژه<sup>۳</sup> (نسبت رطوبت یا رطوبت مطلق) را با رطوبت نسبی<sup>۴</sup> اشتباه می‌گیرند که بهتر است در این مورد توضیح بیشتری داده شود.

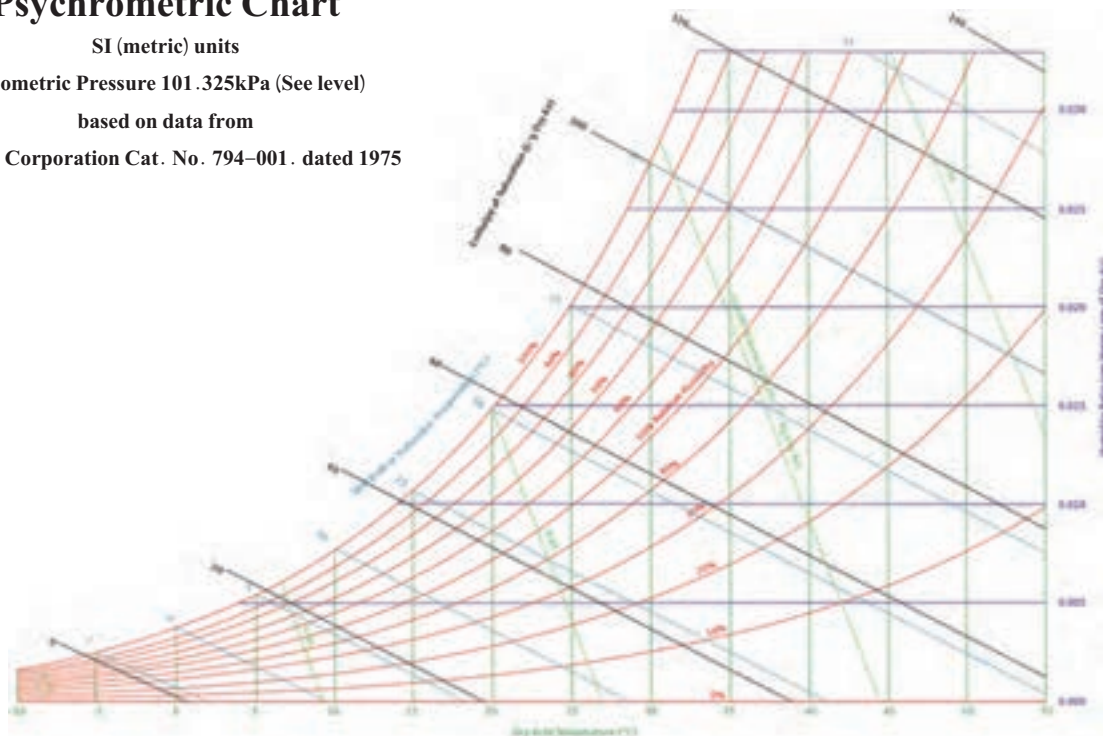
## Psychrometric Chart

SI (metric) units

Barometric Pressure 101.325 kPa (See level)

based on data from

Carrier Corporation Cat. No. 794-001. dated 1975



شکل ۱۱-۳ - نمودار سایکرومتریک

### پرسش و پاسخ

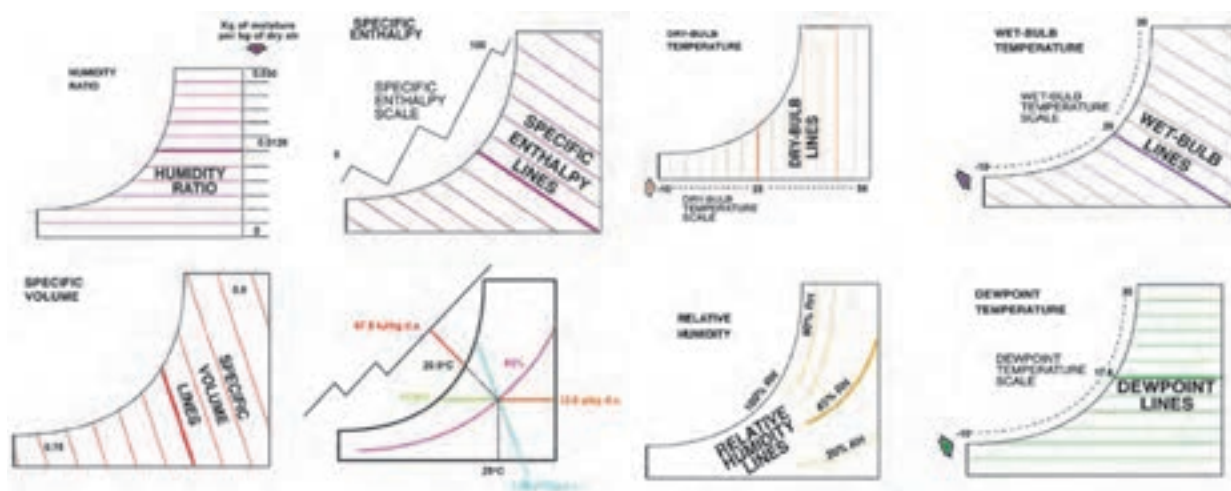
دمای خشک هوای یک اتاق ۲۵ درجه سلسیوس و دمای مرطوب آن ۲۰ درجه سلسیوس است، ویژگی‌های دیگر هوای این اتاق را پیدا کنید. الف) رطوبت نسبی ب) دمای نقطه شبنم پ) رطوبت ویژه ث) آنتالپی

۱- Psychrometric chart

۲- نمودار رطوبی هوا

۳- Humidity Ratio

۴- Relative Humidity



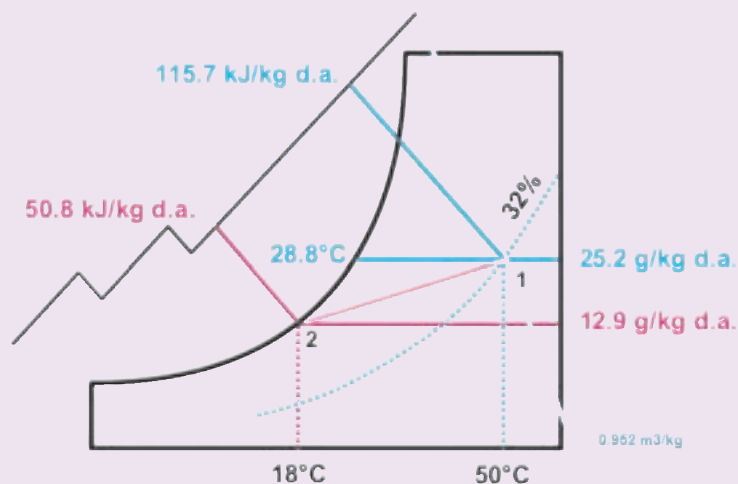
الف) چهار ویژگی هوا بر روی نمودار

ب) سه ویژگی دیگر هوا بر روی نمودار و پاسخ به پرسش و پاسخ مربوطه

شکل ۴ - ۱۱

### پرسش و پاسخ

هوای با دمای  $5^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس و دبی  $1/10$  متر مکعب بر ثانیه و رطوبت نسبی  $32\%$  درصد را از روی کویل یک کولر گازی عبور داده تا در شرایط اشباع به دمای  $18^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس برسد، ظرفیت سرمایی این کولر چند کیلووات است؟ (از گرمای گرفته شده آب روی کویل صرف نظر کنید.)

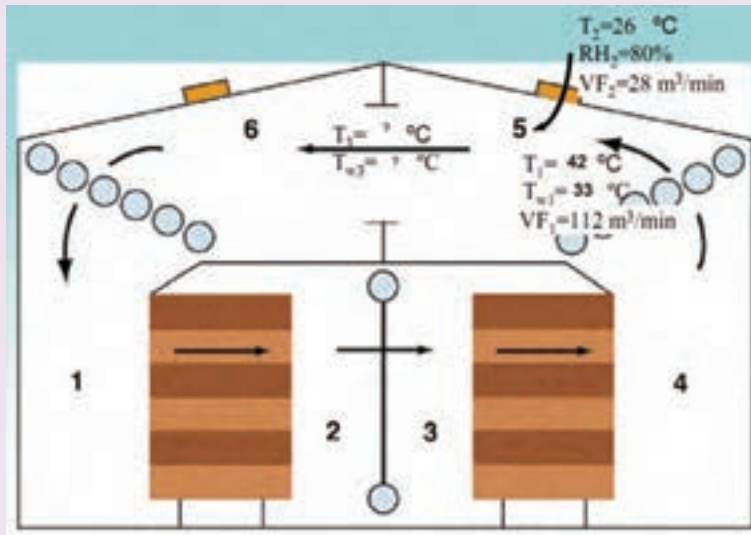


شکل ۵ - ۱۱

$$q = \left( \frac{1}{10} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \div \frac{0.952 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}{\text{kg}} \right) \times (115.7 - 50.8) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 6.8 \text{ kW}$$

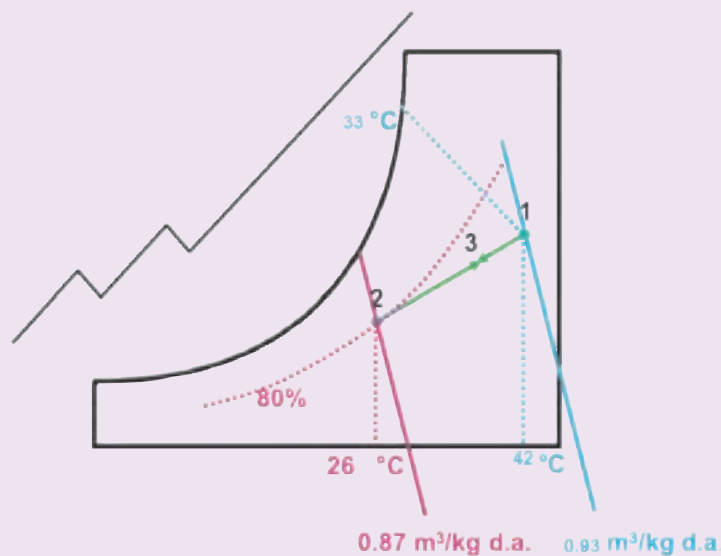


هوای با ویژگی‌هایی که در شکل ۱۱-۶ نشان داده شده است درون یک اتاق در گردش است. چنانچه مقداری هوای تازه وارد اتاق شود، دمای خشک و مرطوب هوا بعد از درهم شدن چند درجه سلسیوس است؟



شکل ۱۱-۶

ویژگی‌های داده شده را بر روی نمودار سایکرومتریک مشخص می‌کنیم، سپس از نقطه ۱ خطی را به سوی نقطه ۲ امتداد می‌دهیم. ویژگی‌های درهم شده در نقطه‌ای مانند ۳، بین نقاط ۱ و ۲ واقع می‌شود. (شکل ۱۱-۷)



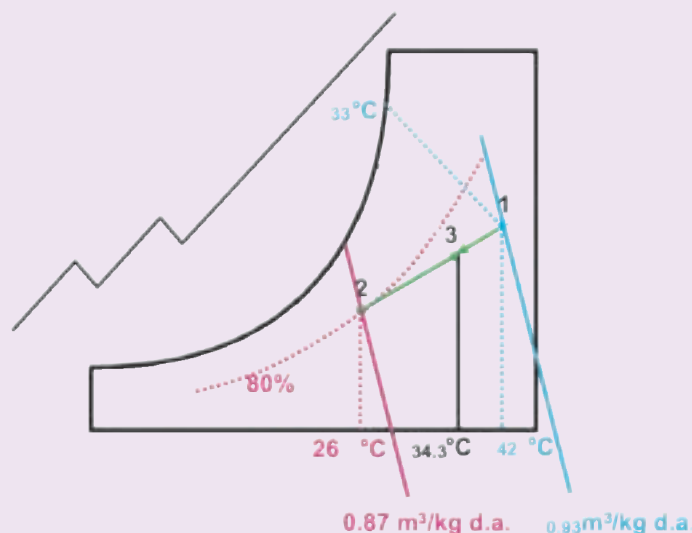
شکل ۱۱-۷ الف - مشخص نمودن نقاط روی نمودار

برای اینکه محل نقطه ۳ را بدست آوریم به روش زیر عمل می‌کنیم:

$$T_C = \frac{0/93 \times 42^\circ\text{C} + 0/87 \times 26^\circ\text{C}}{0/93 + 0/87} = \frac{39/06 + 22/62}{1/8}$$

$$T_C = 34/3^\circ\text{C}$$

از نقطه  $T_C = 34/3^\circ\text{C}$  خطی عمود ترسیم می‌کنیم تا خط ۱-۲ را در نقطه ۳ قطع کند.



شکل ۷-۱۱ ب- پاسخ پرسش روی نمودار

### ۱۱-۳- آسایش گرمایی<sup>۱</sup>

#### دانش افزایی

دمای داخلی بدن انسان در حالت عادی در حدود ۳۷ درجه سلسیوس است که این دما در سطح پوست به ۳۲ درجه کاهش می‌یابد. در صورتی که دمای هوا، بیشتر شود بدن احساس گرمی کرده و در صورتی که دمای هوا از آن کمتر شود بدن احساس سردی می‌کند. بنابراین همواره تبادل حرارتی بین بدن و محیط اطرافش در جریان است. حال اگر این تبادل حرارت به حالت تعادل درآید یعنی بدن در هر لحظه بتواند انرژی اضافی خود را به محیط منتقل کند یا انرژی مورد نیاز را از محیط جذب کند، آسایش گرمایی برقرار شده است. یعنی حالتی که فرد نه احساس سرما و نه احساس گرما می‌کند.

#### الف- عوامل مؤثر بر آسایش گرمایی

- ۱- دمای خشک
- ۲- دمای مرطوب
- ۳- رطوبت
- ۴- سرعت جریان هوا
- ۵- تابش
- ۶- پوشش: واحد اندازه‌گیری پوشش لباس cloth است. در نمودارهای آسایش گرمایی به صورت پیش فرض پوشش افراد برابر ۰/۵ (لباس رسمی) در نظر گرفته می‌شود.

۱- Thermal comfort

## ۷- عوامل فیزیکی (سن، جنس، نژاد)

افراد مسن برای احساس آسایش احتیاج به دمایی ۱ تا ۲ درجه بالاتر از افراد عادی دارند. زن‌ها نیز برای احساس آسایش احتیاج به دمایی ۱ تا ۲ درجه بیشتر از مرد‌ها دارند. عامل دیگر نژاد است. برای مثال افرادی که در مناطق گرمسیر زندگی می‌کنند راحت‌تر می‌توانند دماهای بالاتر از نقطه آسایش را تحمل کنند.

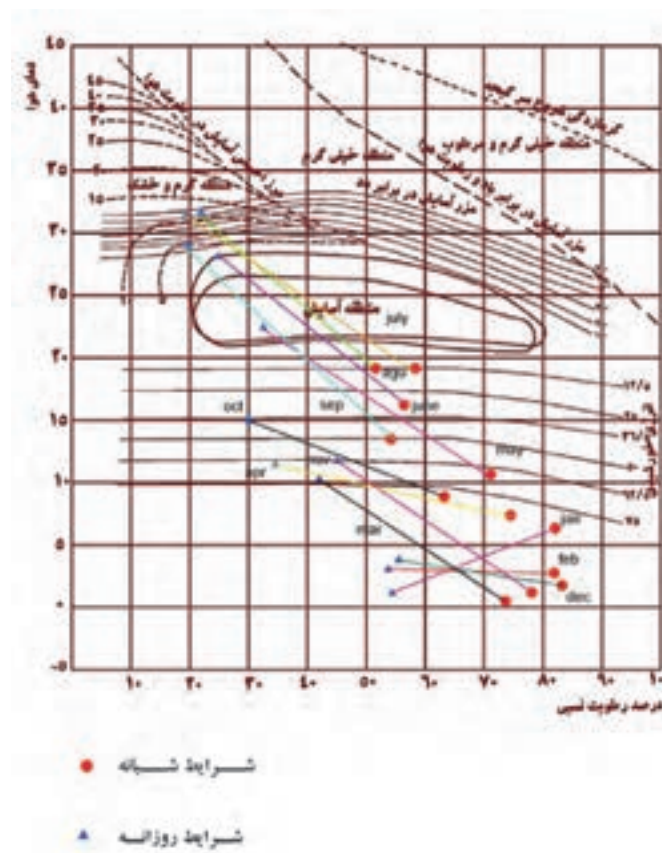
## ب- نقطه آسایش

به شرایطی که در آن مجموع فاکتورهای دما، رطوبت، جریان هوا، تابش و پوشش برای آسایش فراهم باشد، نقطه آسایش می‌گوییم. با تغییر هر یک از فاکتورهای پیش‌گفته شرایط آسایش از بین رفته و برای جبران آن باید فاکتور دیگر را تغییر دهیم. مثلاً در صورت افزایش دما می‌توان پوشش را کم کرد یا با افزایش جریان هوا مجدداً به یک نقطه آسایش جدید برسیم. مجموعه تمام نقاط آسایش را محدوده آسایش می‌نامند.

محدوده آسایش را می‌توان در نمودارهایی که نمودارهای زیست اقلیمی یا بیوکلماتیک نامیده می‌شوند نشان داد. این نمودارها خود بر دو گونه دسته‌بندی می‌شوند:

## ۱- نمودار بیوکلماتیک انسانی

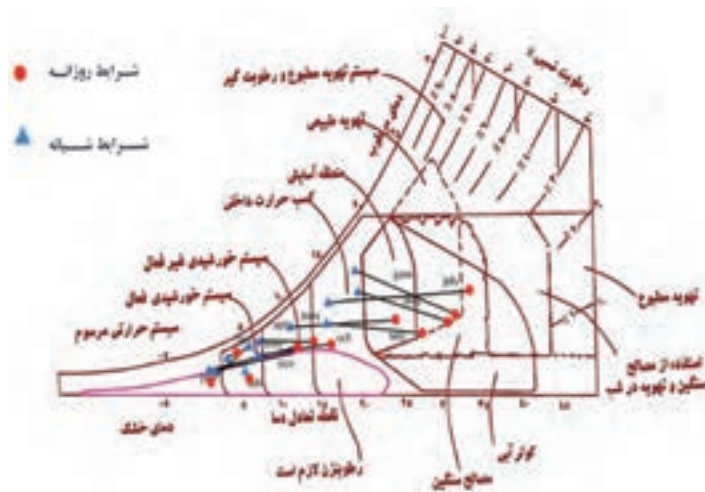
این نمودار شرایط آسایش فیزیکی انسان را با توجه به شرایط اقلیمی پیرامون او مشخص می‌سازد. محور افقی نشانگر رطوبت نسبی و محور عمودی نشانگر دمای محیط است. حد نهایی تحمل جریان هوا  $70^{\circ}$  فوت در دقیقه (۳/۵ متر بر ثانیه) است. پوشش در این نمودار به صورت پیش فرض ۵٪ فرض شده است. (شکل ۸-۱۱)



شکل ۸-۱۱- نمودار بیوکلماتیک انسانی

## ۲- نمودار بیوکلماتیک ساختمانی

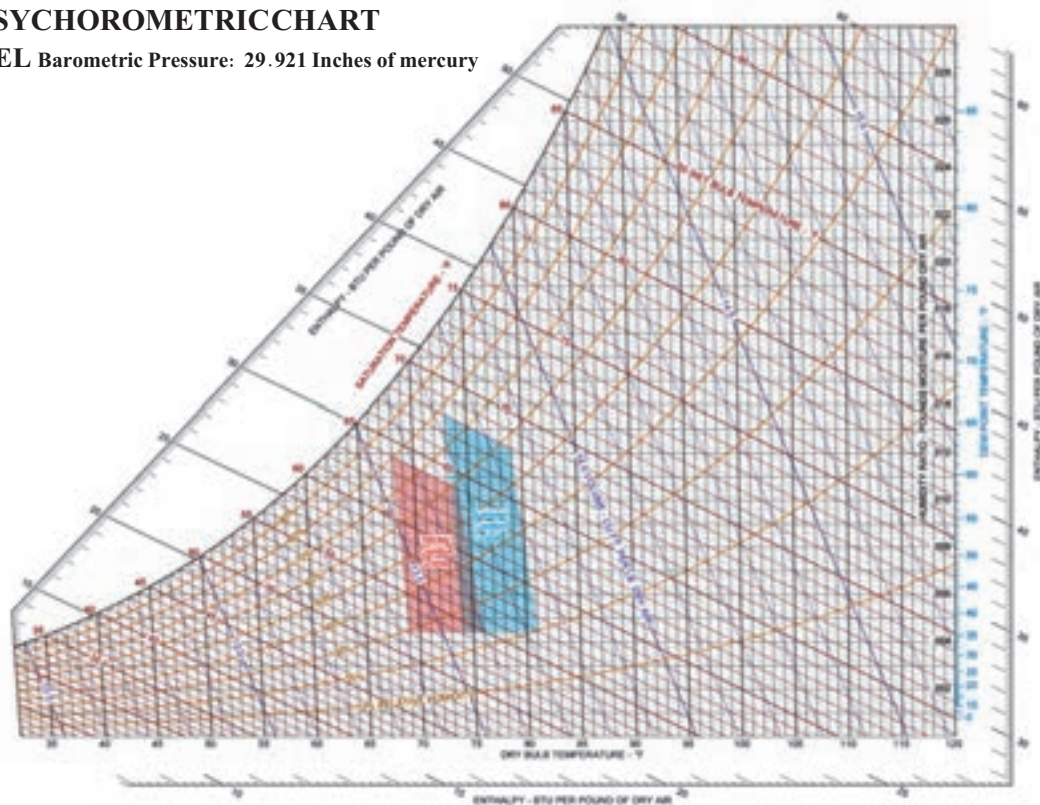
این نمودار شرایط آسایش انسان را در محیط مسکونی نشان می‌دهد. و بر روی نمودار سایکرومتریک قابل مشاهده است. در این نمودار محدوده آسایش در تابستان و زمستان نشان داده می‌شود. (شکل ۹-۱۱- الف و ب)



شکل ۹-۱۱- الف - نمودار بیوکلماتیک

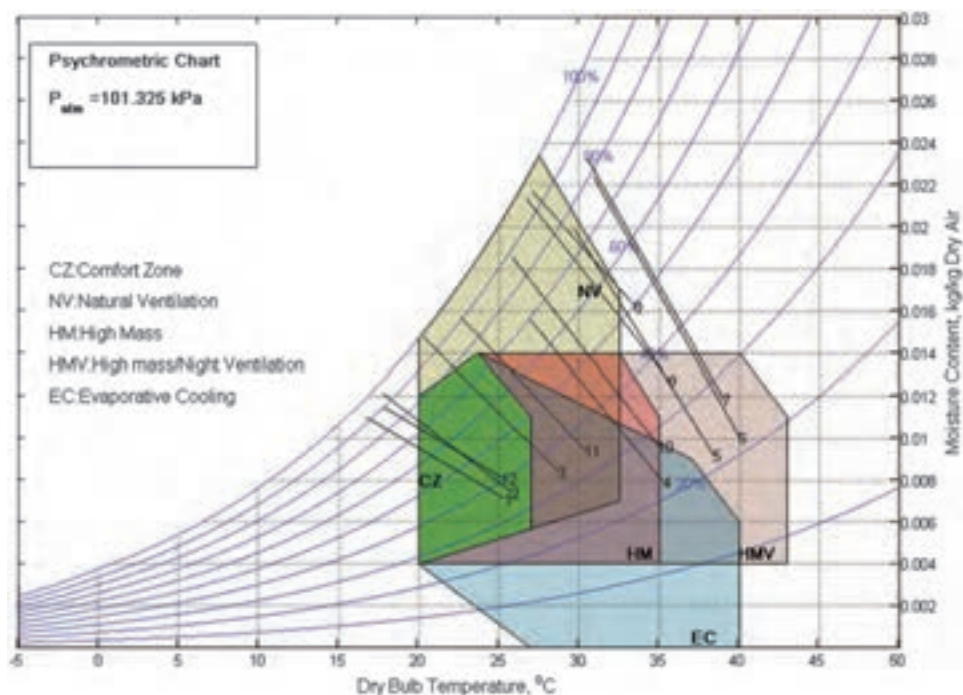
## PSYCHROMETRIC CHART

SEA LEVEL Barometric Pressure: 29.921 Inches of mercury



شکل ۹-۱۱- ب - نمودار بیوکلماتیک ساختمانی

در شکل ۱۰-۱۱ یک نمودار بیوکلماتیک ساختمانی دیگر که در آن منطقه آسایش (CZ)، تهویه طبیعی (NV)، ساختمان با مصالح سنگین (HM)، ساختمان با مصالح سنگین و تهویه در شب (HNV) و سرمایش تبخیری (EC) نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۱۱ - نمودار بیوکلماتیک ساختمانی در یکی از شهرهای کناره خلیج فارس

#### ۴-۱۱- پمپ گرمایی

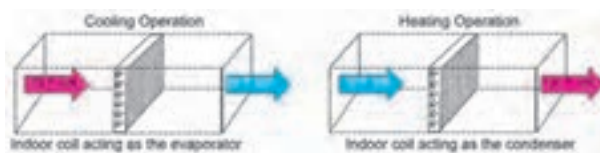
پمپ گرمایی دستگاهی است که گرما را در خلاف جهت جریان طبیعی آن منتقل می‌کند. به عبارت دیگر پمپ گرمایی، گرما را از محیط سرد به محیط گرم منتقل می‌کند. این فرایند در تابستان از درون ساختمان به بیرون و در زمستان از بیرون به درون ساختمان انجام می‌شود. (شکل ۱۱-۱۱)



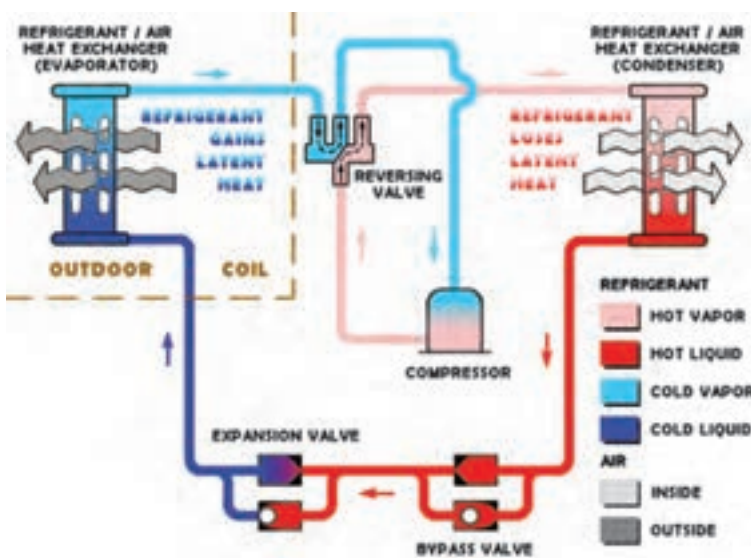
شکل ۱۱-۱۱ - پمپ گرمایی دو فصلی در یک ساختمان



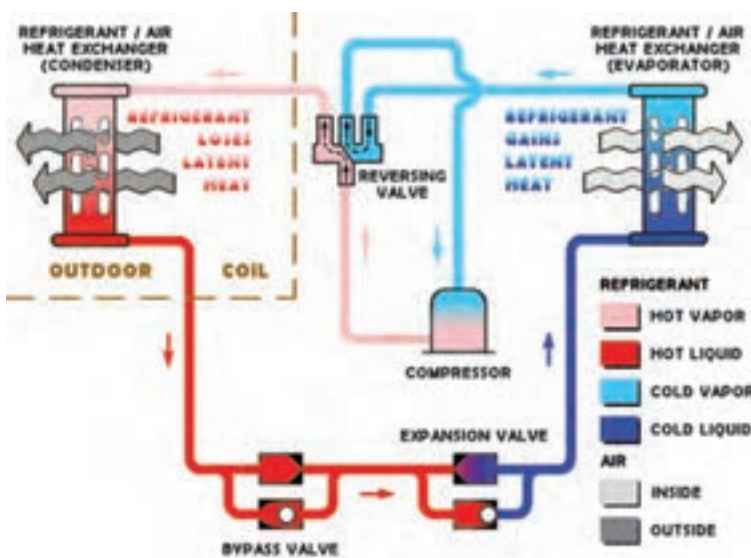
با جابه جا کردن کندانسر و اواپراتور به اقتضای فصل می توان از چرخه سردسازی به عنوان پمپ های گرمایی استفاده کرد.  
(شکل های ۱۱-۱۲ و ۱۳-۱۱)



شکل ۱۲-۱۱- کارکرد یک کولر گازی در دو فصل

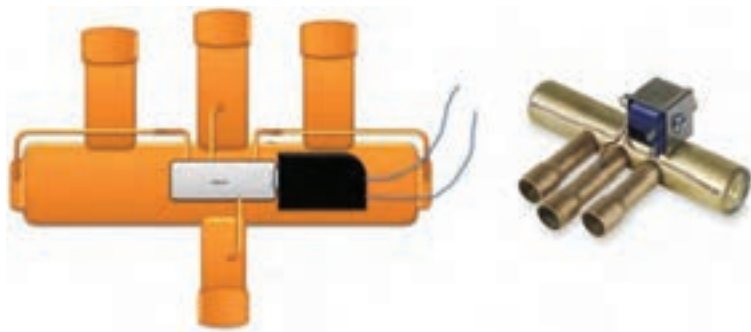


شکل ۱۳-۱۱- الف- جهت گردش ماده سرمازا در زمستان



شکل ۱۳-۱۱- ب- جهت گردش ماده سرمازا در تابستان

در شکل ۱۴-۱۱ شیر معکوس کننده گردش ماده سرمازا در یک پمپ گرمایی و درون آن نشان داده شده است.



شکل ۱۴-۱۱ - شیر معکوس کننده گردش ماده سرمازا

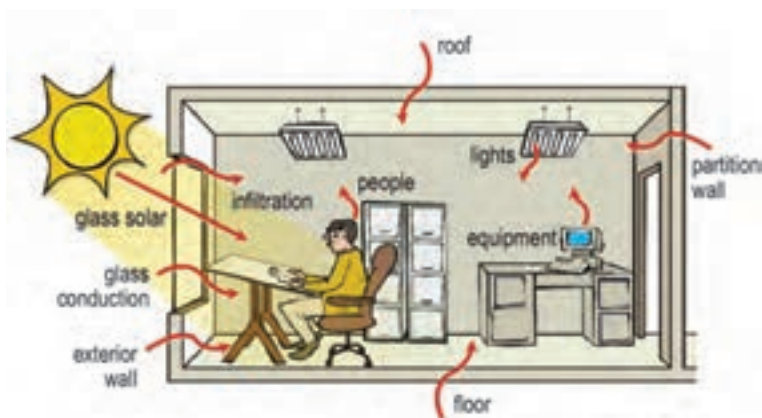
## ۵-۱۱ - بار سرمایی ساختمان

بار سرمایی مقدار گرمایی است که ساختمان در روز طرح فصل تابستان در واحد زمان می‌گیرد. بر خلاف بار گرمایی ساختمان که عوامل به وجودآورنده آن محدود است، مؤلفه‌های تشکیل دهنده بار برودتی متعدد و شامل عوامل مختلف در داخل و خارج ساختمان می‌باشد. قدم اول در طراحی سیستم‌های برودتی، بررسی اولیه شرایط ساختمان می‌باشد.

- تعیین شرایط آب و هوایی، طرح خارج
- تعیین شرایط طرح داخل برابر منحنی آسایش
- جنس دیوارها
- جهت ساختمان در مقابل باد یا خورشید
- موقعیت ساختمان نسبت به ساختمان‌های اطراف
- نحوه تابش آفتاب
- مشخصات پنجره‌ها (ابعاد، قاب، مواد تشکیل دهنده، تعداد جدار شیشه‌ها)
- تعداد افراد حاضر در ساعت طرح و نوع فعالیت و مدت زمان حضور
- سیستم روشنایی
- مشخصات وسائل برقی و گرمایی
- گونه بهره‌برداری از ساختمان
- افزایش گرما در یک ساختمان به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود:
- ۱- بار سرمایی بخش خارجی
- شامل هدایت از دیوارها، پنجره‌ها، سقف، کف، تابش، هوای نفوذی و همه گرمای محسوس منتقل شده از خارج
- ۲- بار سرمایی بخش داخلی
- شامل گرمای محسوس و نهان تولید شده مانند ساکین، روشنایی، دستگاه‌ها و ...



در شکل ۱۵-۱۱ عواملی که در یک ساختمان منبع تولید گرما می‌باشند نشان داده شده است.



شکل ۱۵-۱۱ - منبع تولید گرما در ساختمان

برای برآورد بار سرمایی سه روش اصلی به کار می‌رود:

۱- محاسبات دقیق

۲- محاسبات نیمه مهندسی

۳- محاسبات سرانگشتی

در این بخش به چند نمونه برآورد سرانگشتی اشاره می‌شود.

الف - برآورد سرانگشتی بار سرمایی بر اساس هوای گذریافته از روی کویل

$$Q = (AF) \times (CLF) \times (A) \times (XT_o + YT_i + T_c)$$

ضریب هوا (AF)

$$AF = p \times C_p \times 60$$

مثال: ضریب هوا را در سطح دریا بدست آورید.

$$P \text{ (چگالی هوا در سطح دریا)} = 0.075 \text{ lb/ft}^3$$

$$C_p \text{ (گرمای ویژه هوا)} = 0.24 \text{ Btu/lb.F}$$

۶۰ نیز ضریب تبدیل دقیقه به ساعت است.

$$AF = 0.075 \times 0.24 \times 60 = 1.08 \text{ Btu.min/ft}^3 \cdot \text{F.hr}$$

از جدول شکل ۱۶-۱۱ مقدار ضریب هوا (AF) را در سایر ارتفاع‌ها از سطح دریا را برای شهر مورد نظر می‌توان مشخص کرد.

شکل ۱۶-۱۱ - جدول مقدار ضریب هوا (AF)

ارتفاع از سطح دریا (متر)	۰	۳۰۰	۶۰۰	۹۰۰	۱۲۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰	۲۱۰۰	۲۴۰۰	۲۷۰۰	۳۰۰۰
AF	۱/۰۸	۱/۰۴	۱/۰۱	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۰	۰/۷۷	۰/۷۴

ضریب بار سرمایی (CLF)، ضریب حجم هوای مورد نیاز به ازای واحد سطح را برای ساختمان‌های گوناگون نشان می‌دهد. در جدول ۱۷ - ۱۱ ضریب بار سرمایی (CLF) برای ساختمان‌های گوناگون آورده شده است.

شکل ۱۷ - ۱۱ - جدول ضریب بار سرمایی (CLF)

CLF (CFM/ft <sup>2</sup> )	ساختمان نوع کاربری
۱	ساختمان مسکونی - آپارتمان
۱/۲	ساختمان اداری یا تجاری
۱/۵	کلاس درس - مدارس
۲	بیمارستان (اتاق بیماران)
۲/۵	ساختمان‌های چند منظوره - مجتمع‌ها - فروشگاه‌های بزرگ

A - مساحت فضا

X - سهم هوای تازه بیرون

Y - سهم هوای بازگشتی به دستگاه

To - دمای خشک طرح خارج

Ti - دمای خشک طرح داخل

Tc - دمای نقطه شبنم کویل سرد

**مثال:** بار سرمایی یک ساختمان اداری در تهران به مساحت ۱۰۰۰ فوت مربع، چند تن تبرید است؟ (۲۰ درصد هوای تازه)

برای شرایط تهران داریم:

$$CLF = 1/2 \quad AF = 0.93 \quad T_c = 55^\circ F \quad T_i = 75^\circ F \quad T_o = 105^\circ F$$

بنابراین:

$$Q = 0.93 \times 1/2 \times 1000 \times (0.2 \times 105 + 0.8 \times 75 - 55) = 29016 \text{ Btu/hr} = 2/4 \text{ T.C}$$

همانطور که می‌دانیم در کولر گازی هوای برگشتی نداریم پس معادله به شکل زیر درمی‌آید:

$$Q = (AF) \times (CLF) \times (A) \times (T_i - T_c)$$

و چنانچه بخواهیم مساحت و دما را در سیستم متریک قرار دهیم:

$$Q = (AF) \times (CLF) \times (1.1A) \times (1/8 \times (T_i - T_c)) \rightarrow$$

شکل ۱۸ - ۱۱ - جدول برآورد سرانگشتی بار سرمایی

Sl.no	Application	Required cooling capacity (TR) for 1000 ft <sup>2</sup> of floor area
1.	Office buildings: External zones	25% glass: 3.5 TR 50% glass: 4.5 TR 75% glass: 5.0 TR
	Internal zones	2.8 TR
2.	Computer rooms	6.0 – 12.0 TR
3.	Hotels Bedrooms	Single room: 0.6 TR per room Double room: 1.0 TR per room
	Restaurants	5.0 - 9.0 TR
4.	Department stores Basement & ground floors	4.5 – 5.0 TR
	Upper floors	3.5 – 4.5 TR
5.	Shops	5.0 TR
6.	Banks	4.5 – 5.5 TR
7.	Theatres & Auditoriums	0.07 TR per seat

$$Q = 2.0 (AF) \times (CLF) \times (A) \times (T_i - T_c)$$

**مثال:** بار سرمایی یک ساختمان اداری در تهران به مساحت ۹۰ متر مربع، چند تن تبرید است؟  
برای شرایط تهران داریم:

$$CLF = 1/2 \quad AF = 0.93 \quad T_i = 24^\circ\text{C} \quad T_c = 13^\circ\text{C}$$

$$Q = 2.0 \times (0.93) \times (1/2) \times (90) \times (24 - 13) = 220.95 \text{ Btu/hr} = 1/8 T_c$$

ب - برآورد سرانگشتی بار سرمایی بر اساس نوع کاربری

در جدول شکل ۱۸ - ۱۱ برآورد سرانگشتی بار سرمایی بر اساس نوع کاربری آورده شده است.

**مثال:** بار سرمایی یک دفتر کار به مساحت ۱۱۰ متر مربع که از یک طرف پنجره خارجی دارد چند تن تبرید است؟

$$A = 110 \times 11 = 1100 \text{ ft}^2 \rightarrow Q = \frac{1100}{1000} \times 3/5 = 3/85 \text{ TR}$$

## ۶-۱۱ - سرد کننده تبخیری<sup>۱</sup>

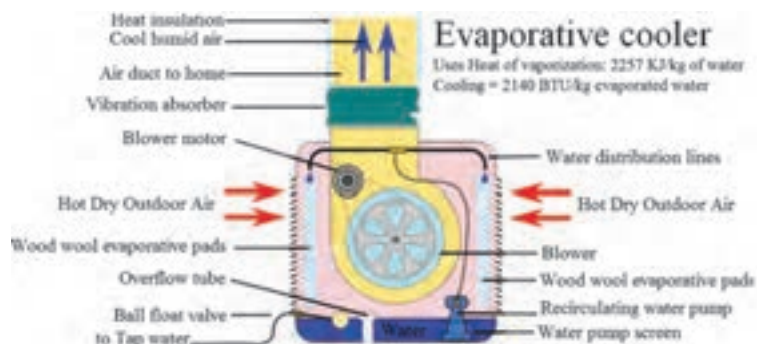
دستگاه‌های سرد کننده تبخیری هوا را می‌توان به دو گروه مستقیم و غیرمستقیم دسته‌بندی کرد. در سرمایش تبخیری از طریق

کم کردن دمای حباب خشک هوا، شرایط محیطی مناسب‌تری تأمین می‌گردد.

فرایند سرمایش تبخیری مستقیم، یک فرایند تبادل گرما آدیاباتیک است که در آن گرما از هوا به آب انتقال می‌یابد و آب تبخیر می‌گردد. به این ترتیب دمای حباب خشک هوا کاهش یافته و سرمایش محسوس انجام می‌شود. چندگونه از این دستگاه‌ها عبارتند از:

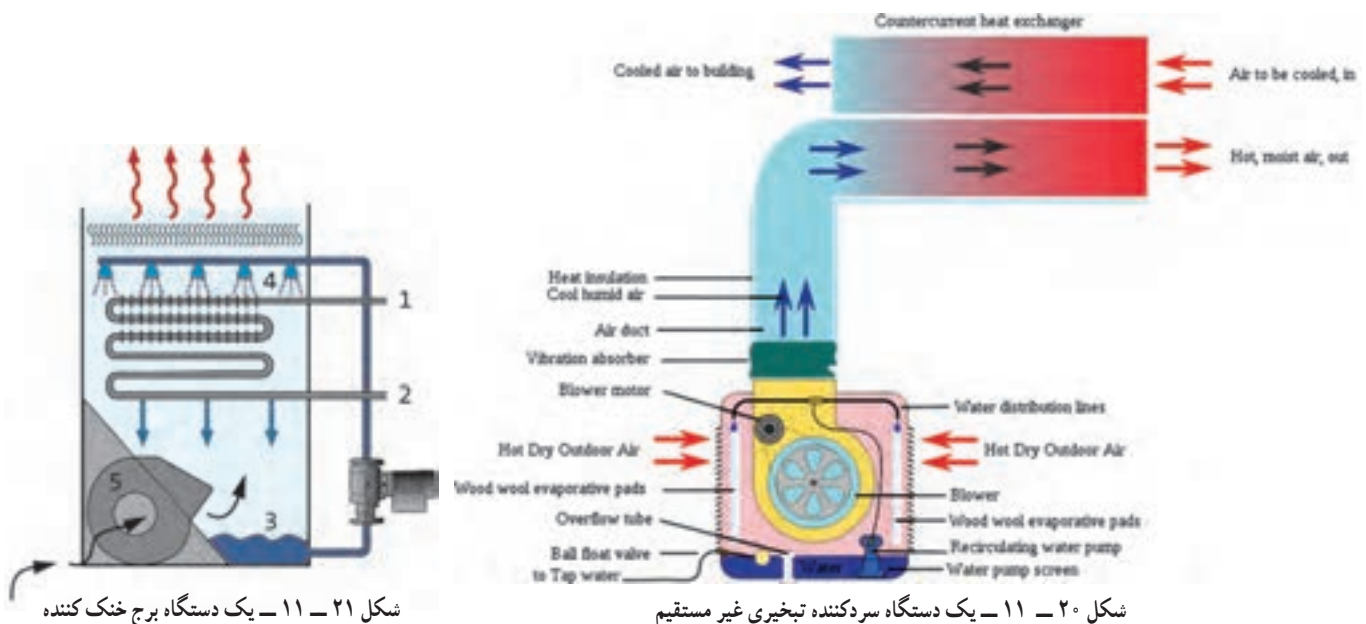
- (۱) کولرهای تبخیری
- (۲) هواسوی‌ها
- (۳) واحدهایی که در آنها بر روی کویل آب پاشیده می‌شود.
- (۴) رطوبت زن‌ها

در شکل ۱۹ - ۱۱ یک دستگاه سردکننده تبخیری که با نام کولر آبی شناخته می‌شود نشان داده شده است.



شکل ۱۹ - ۱۱ - یک دستگاه سردکننده تبخیری

در سیستم‌های تبخیری غیر مستقیم هوا در یک مبدل گرمایی که جریان هوای ثانویه از آن می‌گذرد، سرد می‌شود هوای ثانویه را نیز می‌توان مستقیماً به روش تبخیری و یا توسط آبی که به روش تبخیری خنک شده است سرد کرد. کولرهای تبخیری غیرمستقیم (شکل ۲۰ - ۱۱) و برج‌های خنک کننده (شکل ۲۱ - ۱۱) نمونه‌ای از این دستگاه‌ها می‌باشند.



شکل ۲۱ - ۱۱ - یک دستگاه برج خنک کننده

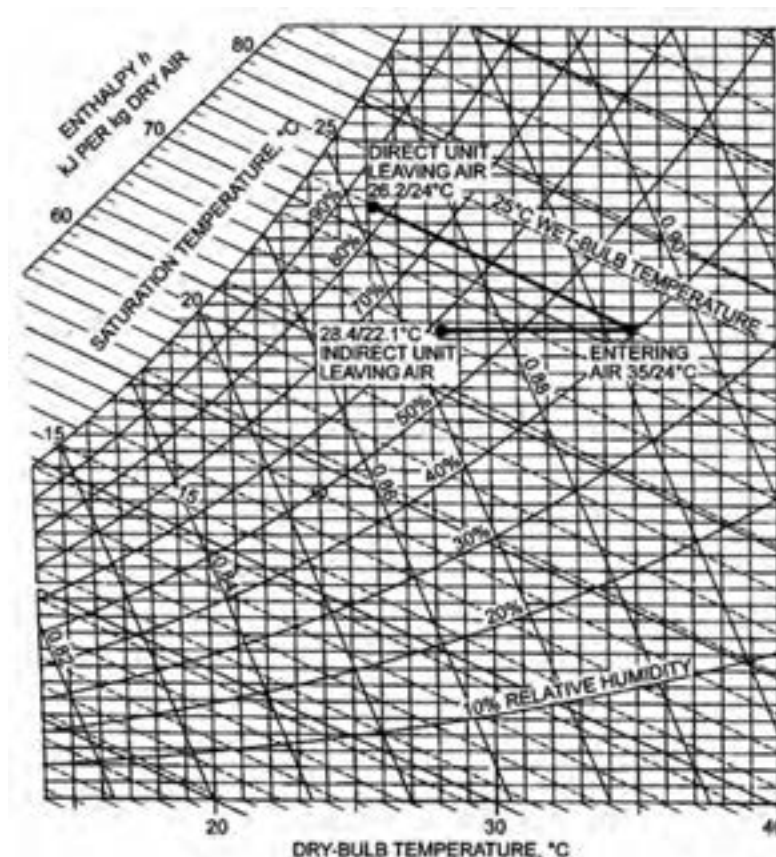
شکل ۲۰ - ۱۱ - یک دستگاه سردکننده تبخیری غیر مستقیم

## پرسش و پاسخ

دمای حباب خشک و تر هوای ورودی به یک کولر تبخیری مستقیم ۳۵ و ۲۴ درجه سلسیوس است. چنانچه کارایی این کولر ۸۰ درصد باشد دمای هوای خروجی از کولر را محاسبه کنید.

$$\Delta T_{dw} = 35 - 24 = 11^\circ\text{C}, \Delta T_d = 0.8 \times 11 = 8.8^\circ\text{C} \rightarrow T_{do} = 35 - 8.8 = 26.2^\circ\text{C}$$

چون در کولر تبخیری مستقیم آب در گردش است و فرض بر این است که مقدار کمی از آن تبخیر شده، آدیاباتیک در نظر گرفته می‌شود. پس دمای هوای تر ورودی با دمای آب یکسان است. (شکل ۲۲ - ۱۱)



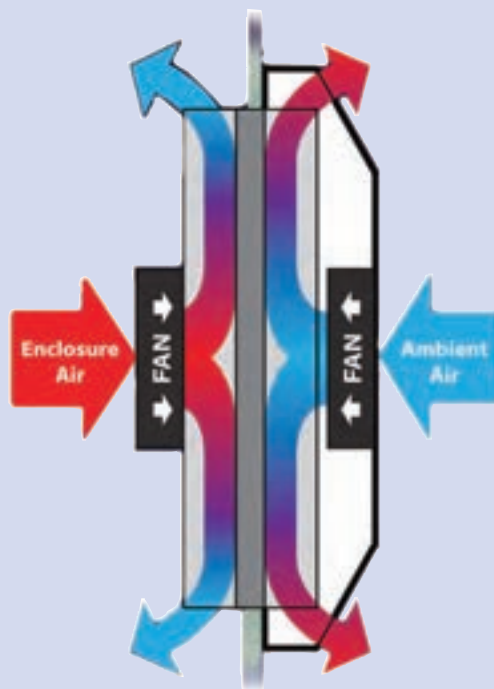
شکل ۲۲ - ۱۱ - نشان دادن مشخصات دو گونه کولر تبخیری

## پرسش و پاسخ

دمای حباب خشک و تر هوای ورودی به یک کولر تبخیری غیر مستقیم ۳۵ و ۲۴ درجه سلسیوس است. چنانچه کارایی این کولر ۶۰ درصد باشد دمای هوای خروجی از کولر را محاسبه کنید.

$$\Delta T_{dw} = 35 - 24 = 11^\circ\text{C}, \Delta T_d = 0.6 \times 11 = 6.6^\circ\text{C} \rightarrow T_{do} = 35 - 6.6 = 28.4^\circ\text{C}$$

## سیستم‌های دیگر تبرید





## ۱۲

## سیستم‌های دیگر تبرید

## ۱-۱۲- سیستم جذبی کریر

## پیش‌آزمون

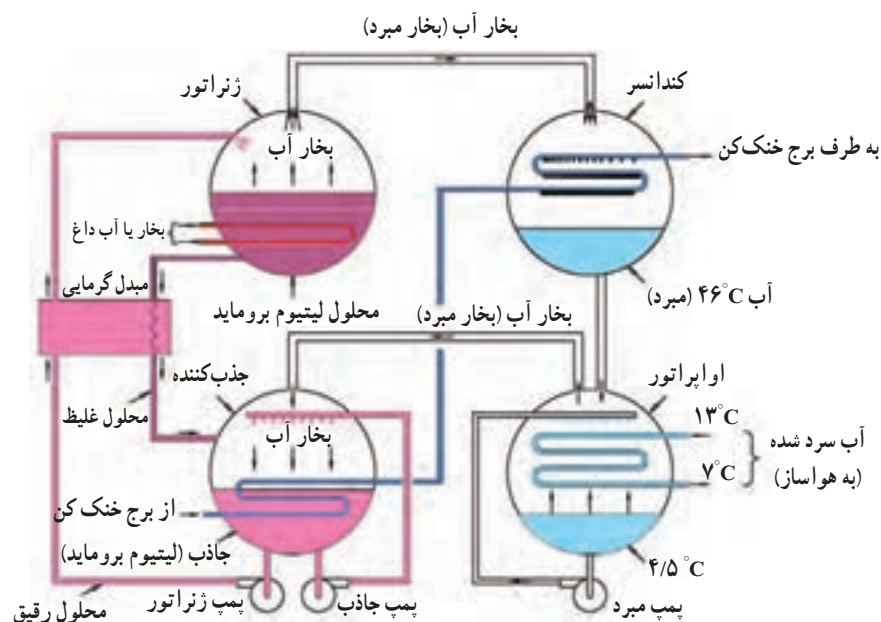
- ۱- چگونه می‌شود بدون کمپرسور یک سیستم تبرید درست کرد که بتواند سرما ایجاد کند؟
- ۲- آیا می‌شود از آب به عنوان ماده سرمازا استفاده کرد؟

## روش آموزش

بایستی دمای جوش آب را در فشارهای مختلف توضیح داد طوری که هنرجو بفهمد که مثلاً ممکن است آب در  $10^{\circ}\text{C}$  بجوشد تا آن‌را به عنوان ماده مبرد بپذیرد. خصوصیت جاذب آب توسط نمک‌ها و در نهایت سیکل کریر را طی مراحل مختلف آن‌چنان که کتاب گفته توضیح داده شود و در نهایت سیکل کامل گردد. در مراحل مختلف بایستی اطمینان حاصل کرد که هنرجویان مرحله قبل را فهمیده‌اند.

## دانش‌افزایی

شکل ۱-۱۲ سیکل کامل یک سیستم تبرید جذبی را نشان می‌دهد. شرح مدار: این سیکل از چهار قسمت اصلی کندانسر، اواپراتور، ژنراتور و جذب کننده تشکیل شده است. در قسمت اواپراتور فشار و دما پایین است ماده مبرد که آب است وقتی وارد اواپراتور می‌شود تبخیر شده و سرما تولید می‌کند این سرما کوئل آبی را سرد می‌کند که آب فن کوئل‌ها را تأمین کند.



شکل ۱-۱۲ - سیکل کامل یک سیستم تبرید جذبی



آب سرد شده با پمپ مبرد از ته اواپراتور روی کویل آبی که به اواپراتور می‌رود ریخته شده تا بیشتر آن را سرد کند در داخل جذب کننده محلول لیتیوم بروماید قرار دارد که از طریق لوله رابط بین اواپراتور و ژنراتور بخارات آب اواپراتور را جذب کرده تا فضای کافی برای تبخیر بیشتر آب در اواپراتور و در نتیجه ایجاد سرمای بیشتر وجود داشته باشد. وقتی لیتیوم بروماید نیز مقدار زیادی بخار آب جذب کرد اشباع می‌شود و به وسیله پمپ ژنراتور آن را به ژنراتور فرستاده و داخل محفظه ژنراتور که در کف آن کویل بخار داغ عبور می‌کند می‌ریزم سپس گرمای کویل بخار باعث می‌شود که آب از لیتیوم بروماید جدا شود. آب جدا شده بخار شده به سمت کندانسر رفته تقطیر شده برای تبخیر مجدد و تولید سرما به اواپراتور می‌رود لیتیوم بروماید نیز به جذب کننده برگشته تا بخار بیشتری را از اواپراتور جذب کند و این سیکل تکرار می‌شود مبدل گرمایی نیز باعث می‌شود تا لیتیوم بروماید احیا شده غلیظ‌تر به ژنراتور برگردد و لیتیوم بروماید رقیق نیز گرم‌تر به ژنراتور برود و این عمل ظرفیت برودتی سیستم را بالا می‌برد آبی که بین کندانسر بر جذب کننده و برج خنک کننده به وسیله پمپ در جریان است باعث تقطیر آب در کندانسور، غلیظ کردن بیشتر لیتیوم بروماید با جذب گرما توسط آب و پس دادن گرمای دریافتی در کندانسر و جذب کننده در برج خنک کننده به هوای بیرون. این سیستم چون کمپرسور ندارد مصرف برق خیلی کمی دارد، سرو صدا ندارد در تناژ برودتی بالا تولید می‌شود.

### کار در کلاس

با مداد روی کاغذ به صورت دست آزاد سیکل سیستم جذبی کریر آنقدر رسم کنید و اسامی قسمت‌های اصلی را روی آن بنویسید تا کاملاً بر ترسیم آن مسلط شوید.

### پرسش و پاسخ

در سیستم جذبی کریر چند نوع آب وجود دارد؟

- ۱- آبی که در اواپراتور جاذب، ژنراتور و کندانسر جریان دارد و به عنوان ماده سرمازا عمل می‌کند.
  - ۲- آبی که بین فن کویل و اواپراتور به وسیله پمپ سیرکولاتور در جریان است و کار آن خنک کردن کویل‌های فن کویل و در نتیجه هوای محیط فن کویل است.
  - ۳- آبی که بین کندانسر و برج خنک کننده به وسیله پمپ سیرکولاتور در جریان است و کار آن خنک کردن بخار آب (مبرد) است که در ژنراتور از لیتیوم بروماید جدا شده است.
  - ۴- آب دائمی که در ژنراتور کار جدا کردن آب از لیتیوم بروماید را انجام می‌دهد.
- وظیفه پمپ مبرد در اواپراتور چیست؟ ۱- این پمپ آب سرد شده را بر روی کویلی که حامل آب فن کویل‌ها می‌باشد پاشیده و باعث سرد شدن آن می‌شود.
- ۲- حدوداً آب در اواپراتور که به عنوان ماده مبرد عمل می‌کند چند درجه سلسیوس سرد می‌شود؟
- $5^{\circ}\text{C} - 4/5^{\circ}\text{C}$  درجه

- ۳- تفاوت پمپ جاذب و پمپ ژنراتور در سیستم جذبی کریر چیست؟ پمپ جاذب لیتیوم بروماید را از نازل‌هایی در داخل جذب کننده عبور داده و به شکل پودر درمی‌آورد تا بتواند مقدار بیشتری بخارات آب را در اواپراتور جذب کند اما پمپ ژنراتور کارش انتقال محلول لیتیوم بروماید و آب از جذب کننده به ژنراتور با هدف جداسازی آب از لیتیوم بروماید است.
- ۴- چند نوع سیستم تبرید جذبی وجود دارد؟ سیستم‌های جذبی را بر حسب نوع جداسازی آب از لیتیوم بروماید در ژنراتور طبقه‌بندی می‌کنند و این عوامل معمولاً عبارتند از: ۱- آب گرم ۲- آب داغ ۳- بخار داغ ۴- شعله مستقیم (Direct fire)

علت تشکیل کریستال در چیلر جذبی چیست و راه کریستال زدایی چگونه است؟

## ۱۲-۲- یخچال جذبی

### پیش آزمون

۱- چگونه می‌شود در جایی که برق وجود ندارد از یخچال استفاده کرد؟

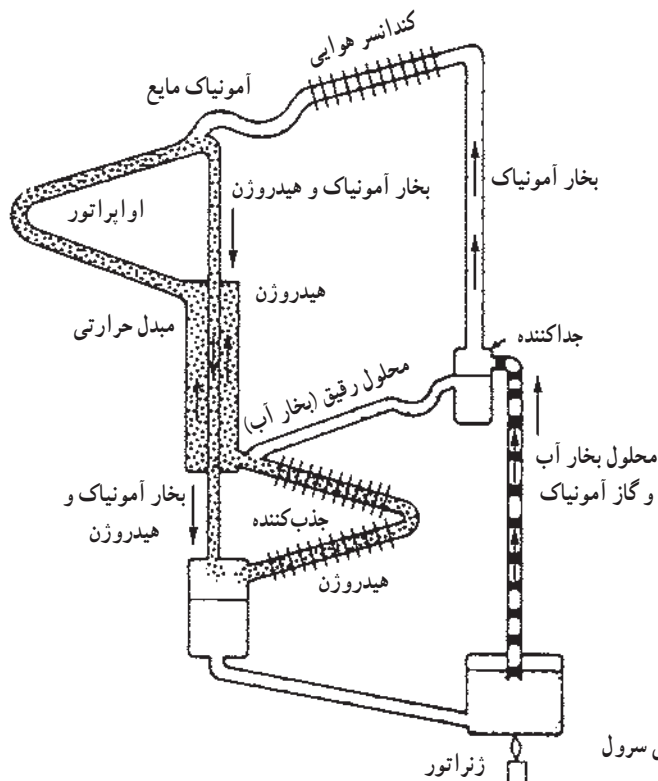
۲- آیا می‌شود از آمونیاک به عنوان ماده مبرد استفاده کرد؟

### روش آموزش

بایستی در مورد ترکیب آب و آمونیاک و علاقه‌مندی محلولیت این دو برای هنرجویان توضیح داد همچنین در خصوص تأثیر هیدروژن در تبخیر آمونیاک سپس سیکل جذبی سرول را تشریح کرد.

### دانش‌افزایی

شکل ۳-۱۲ سیکل ساده یخچال نفتی را نشان می‌دهد. بخار آمونیاک پس از عبور از کندانسر تقطیر شده به اواپراتور رفته در آنجا به کمک هیدروژن تبخیر شده و سرما تولید می‌کند سپس بخار آمونیاک به همراه هیدروژن به سمت جذب کننده رفته در آنجا بخار آمونیاک جذب آبی شده که از جداکننده به سمت جذب کننده می‌آید در جدا کننده مقداری از گرمای خود را از دست داده آب و آمونیاک به صورت محلولی غلیظ سمت ژنراتور حرکت می‌کنند و هیدروژن به سمت اواپراتور برمی‌گردد.



شکل ۲-۱۲ سیکل یخچال جذبی سرول

محلول آب و آمونیاک غلیظ در ژنراتور تحت تأثیر گرما قرار گرفته آمونیاک از آب جدا شده به سمت کندانسور رفته پس از تقطیر سیکل را تکرار می‌کند آب نیز پس از جدایی از آمونیاک به سمت جذب کننده رفته با بخار آمونیاک ترکیب و برای ادامه سیکل به ژنراتور می‌رود.

### کار در کلاس

یکی از هنجریان شکل یخچال جذبی سرول را روی تخته رسم کرده و بقیه هنجریان به نوبت هر کدام قسمتی از شکل را نام برده و توضیح دهند.

### پرسش و پاسخ

۱- ماده سرمازا در یخچال نفتی سرول چیست؟

پاسخ: آمونیاک

۲- نقش هیدروژن در یخچال نفتی سرول چیست؟

پاسخ: علت استفاده از گاز هیدروژن کاهش فشار بخار آمونیاک در اواپراتور و فراهم کردن امکان تبخیر مایع آمونیاک است.

۳- هدف از نصب دو عدد تله مایع U شکل در بالا و پایین یخچال نفتی سرول چیست؟ هدف از نصب دو عدد تله مایع U شکل این است که مانع از خارج شدن گاز هیدروژن از اواپراتور و جذب کننده شوند.

## ۱۲-۳ سردسازی ترموالکتریک

### پیش آزمون

چگونه می‌شود با استفاده از برق اما بدون استفاده از کمپرسور سرما تولید کرد؟

### روشن آموزش

ابتدا حرکت الکترون‌ها و سرعت آنها را توضیح داده جریان‌های مستقیم و متناوب، عایق‌ها، هادی‌ها و نیمه هادی‌ها را توضیح داده اشاره‌ای به تولید جریان در ترموکوپل به وسیله گرما و کاربرد آن در آبگرمکن‌ها و بخاری‌ها کرده و سپس تبرید ترموالکتریک گفته شود.

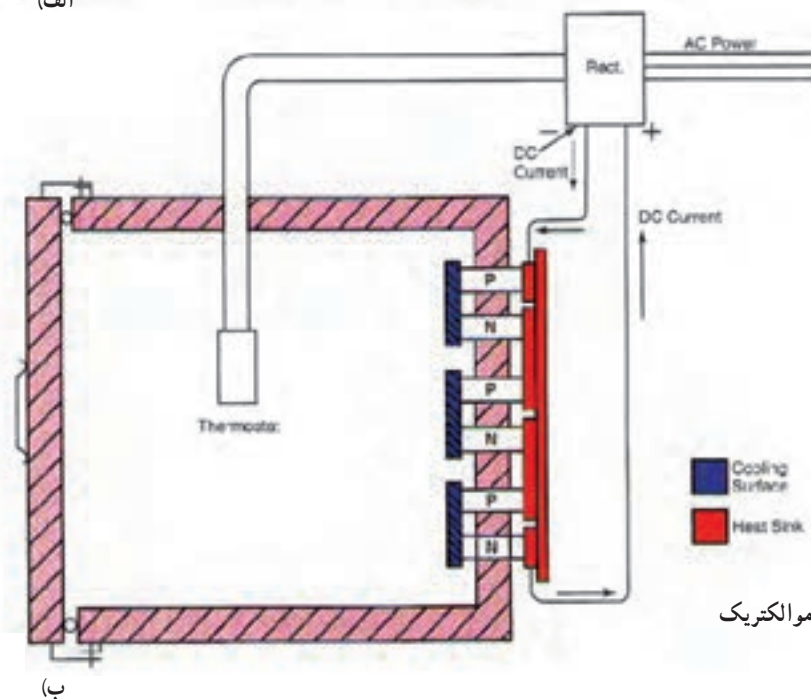
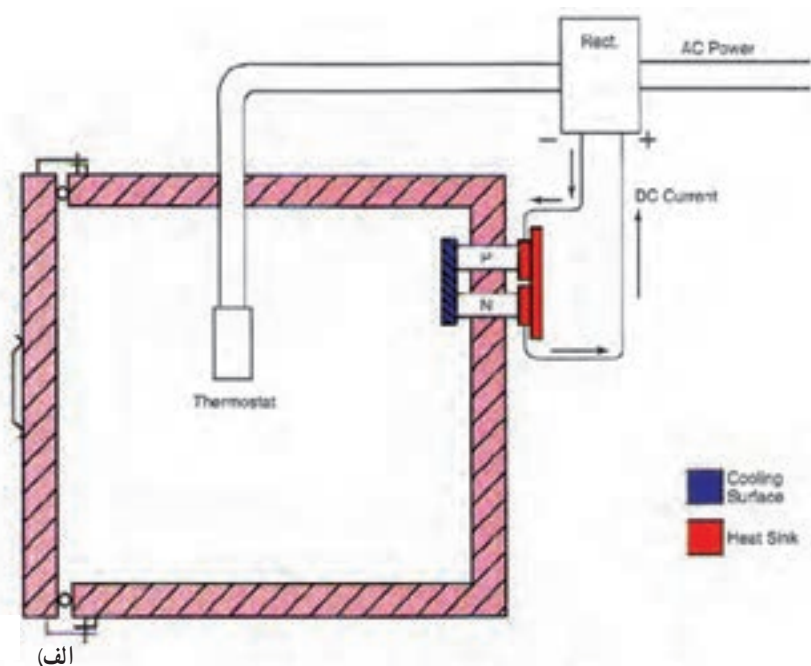
در سیستم سردکننده ترموالکتریک انتقال حرارت از یک جسم با محیط دیگر توسط الکترون‌ها (بجای مایع سردکننده) انجام می‌شود. شکل ۱۲-۳ الف - یک سیستم سردکننده ترموالکتریک ساده است که قادر می‌باشد حرارت اتاقک عایق بندی شده را به وسیله الکترون‌ها به قسمت رادیاتور در بیرون انتقال می‌دهد. پره‌های نازک زیادی برای پخش حرارت محیط به بیرون بر روی رادیاتور و در خارج آن گذاشته شده است کارآیی این کوپل ترموالکتریک به اختلاف سطح انرژی موجود در دو قطب شبه هادی P و N بستگی دارد. باید توجه داشت که دو قطب P و N قطب‌های مثبت و منفی الکتریکی نیستند بلکه اجسام نیمه هادی از نوع ترانزیستور می‌باشند و به‌طور الکتریکی

کار می‌کنند پیشرفت علم الکترونیک، نیمه هادی‌ها، آلیاژها، و اکسیدهایی را شناسانده که اختلاف سطح انرژی متفاوتی دارند خواص الکتریکی این گونه نیمه هادی‌ها چیزی در حد بین عایق‌ها و هادی‌هاست. کارآیی این وسیله به نوع موادی که به عنوان نیمه هادی‌های P و N به کار می‌رود بستگی دارد. نظر به اینکه مواد به کار رفته در ساختمان P و N هادی‌های خوبی نیستند سطح مقطع آنها نسبتاً بزرگ انتخاب می‌شود تا هم مقاومت الکتریکی آنها کم باشد و هم گرمای حاصل از عبور جریان برق از آنها کمتر شود.

شکل ۳-۱۲ - الف - یک کوپل ترموالکتریک را نشان می‌دهد حرارت زیادی را نمی‌توان با یک عدد ترموکوپل انتقال داد برای افزایش قدرت تولید سرما از چندین کوپل سری استفاده شده است.

شکل ۳-۱۲ - ب - نشان دهنده یک سرد کننده ترموالکتریک چندتایی است که در آن برای افزایش ظرفیت جذب حرارت سه عدد ترموکوپل

به طور سری به هم متصل شده‌اند. تعدادی ترموکوپل سری شده با هم را مدول گویند. برای افزایش بیشتر قدرت سردکنندگی می‌توان چندین مدول را به صورت موازی به هم مربوط کرد. یک عنصر حساس حرارتی (ترموستات) که در داخل اطاق سردکننده وجود دارد جریان برق ترانسفورماتور یکسوکننده را کنترل می‌کند. یکسوکننده یک جریان مستقیم ثابت و حساب شده‌ای را برای مدول‌ها تأمین می‌کند و بدین وسیله حرارت داخل سردکننده را کنترل می‌کند. در این سیستم هیچ نقطه متحرکی وجود ندارد به جز ساختمان مدول بقیه سیستم از نظر ساختمانی بسیار ساده است. بازدهی حرارتی این سیستم کم است بدین معنی که مقدار تأثیر سردکنندگی آن نسبت به برق مصرفی به مراتب کمتر از سردکننده‌هایی است که با کمپرسور کار می‌کنند. باید توجه داشت که اگر جهت جریان برق مدول عوض شود جهت انتقال حرارت معکوس می‌شود.



شکل ۳-۱۲ - اساس کار سردساز ترموالکتریک

یعنی مدول‌ها حرارت را از بیرون دریافت داشته و به داخل اتاق می‌فرستند و به عنوان یک سیستم گرمکن کار می‌کند. از این وسیله ممکن است هم برای سرد کردن و هم گرم کردن یک محیط استفاده کرد (با تعویض جهت جریان). از این سیستم در تهویه مطبوع زیر دریایی‌های اتمی به مقیاس وسیعی استفاده می‌شود. همچنین از این وسیله برای خنک نگه داشتن وسایل الکترونیکی مانند کامپیوتر و تجهیزات فضایی به مقیاس گسترده‌ای استفاده می‌شود.

### پرسش و پاسخ

- ۱- نقش رکتی فایر در تبرید ترموالکتریک چیست؟ در تبرید ترموالکتریک از جریان مستقیم استفاده می‌شود. یکی از وظایف رکتی فایر تبدیل جریان AC به DC است وظیفه دیگر رکتی فایر کم و زیاد کردن جریان DL خروجی به سمت P و N با تأثیرپذیری از ترموستات و در نتیجه تنظیم سرمای حاصل از تبرید به وسیله ترموالکتریک است.
- ۲- اگر جهت جریان در تبرید ترموالکتریک را عوض کنیم یعنی جای مثبت و منفی عوض شود چه تأثیری در سیستم تبرید ترموالکتریک بوجود می‌آید؟ محل صفحات سرد و گرم عوض می‌شود اصطلاحاً می‌گویند جای اواپراتور و کندانسر عوض می‌شود.
- ۳- چند نوع نیمه هادی را که در تبرید ترموالکتریک کاربرد دارند را نام ببرید.  
سیلیکون - ژرمانیم
- ۴- چند مورد از استفاده ترموالکتریک را نام ببرید: تجهیزات الکترونیک - کامپیوتر - وسایل هوافضا - سرد کردن مایعات - خنک کردن هوا

### تحقیق

تحقیق کنید که چگونه ترموستات به رکتی فایر فرمان تنظیم سرما را در تبرید ترموالکتریک می‌دهد.

- ۱- قورچیان، نادرقلی، جزئیات روش‌های تدریس، انتشارات فراشناختی اندیشه
- ۲- صفوی، امان‌الله - روش‌ها، فنون و الگوهای تدریس، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)
- ۳- حاج سقطی، اصغر و جعفری، سید احمد - مترجمان اصول تبرید طراحی و محاسبات سیستم‌های سردکننده - انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران
- مقاله مبردهای جدید، مخلوط مبردها و اثرات زیست محیطی، سید مجتبی نائینیان - مصطفی مافی
- مقالات و مطالب علمی از وبگاه سراسری گروه صنعتی باکمن [www.wikipg.com](http://www.wikipg.com)
- مقاله بررسی و تحقیق در مورد مناسب‌ترین مبرد، علی اکبر عظمتی از وبگاه <http://www.nosazimadares.ir/fanni/tasisat/DocLib3>
- فیزیک ۲، فنی و حرفه‌ای
- خلاصه تاریخچه ترمودینامیک، خسروی الحسینی و آلان غلام ویسی از وبگاه <http://www.kiau.ac.ir>
- کالیبره انواع دستگاه‌ها از مرجع کالیبراسیون رسام از وبگاه <http://rasamlab.ir>
- پروتکل مونترال از وبگاه <http://iranhse.ir/?p=1285>
- سمیعی، یدالله، کتاب الکترونیکی اصول و اجزای سیستم‌های سرمایشی، گرمایشی و تهویه مطبوع از وبگاه [www.asa.ir](http://www.asa.ir)
- معرفی کوتاه انواع مبردها و مبرد 134 R از وبگاه <http://www.prozhe.com>
- مقالات علمی از وبگاه [www.ROSHD.IR](http://www.ROSHD.IR)

1 - ASHRAE HANDBOOK 2010

2 - WWW.Wikipedia.ORG

3- AG 31 - 007 Refrigerant Application Guide from <http://www.mcquay.com/McQuay/DesignSolution/GreenWaypage3>

Load Calculation Spreadsheets Quick Answers Without Relying on Rules of Thumb from ASHRAE Journal, January 2012

4 - Dr. Sam C M Hui Load Calculations

5- N . Al - Azari , Y.Zurigat and Al - Rawahi Development of Bioclimatic Chart for Passive Building Design in Muscat - Oman

