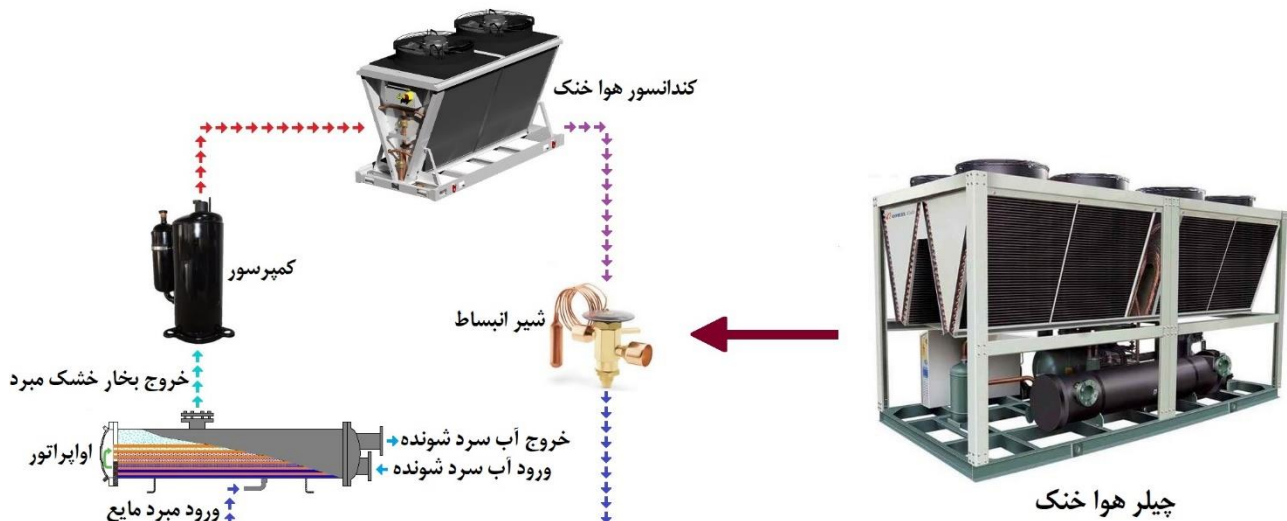


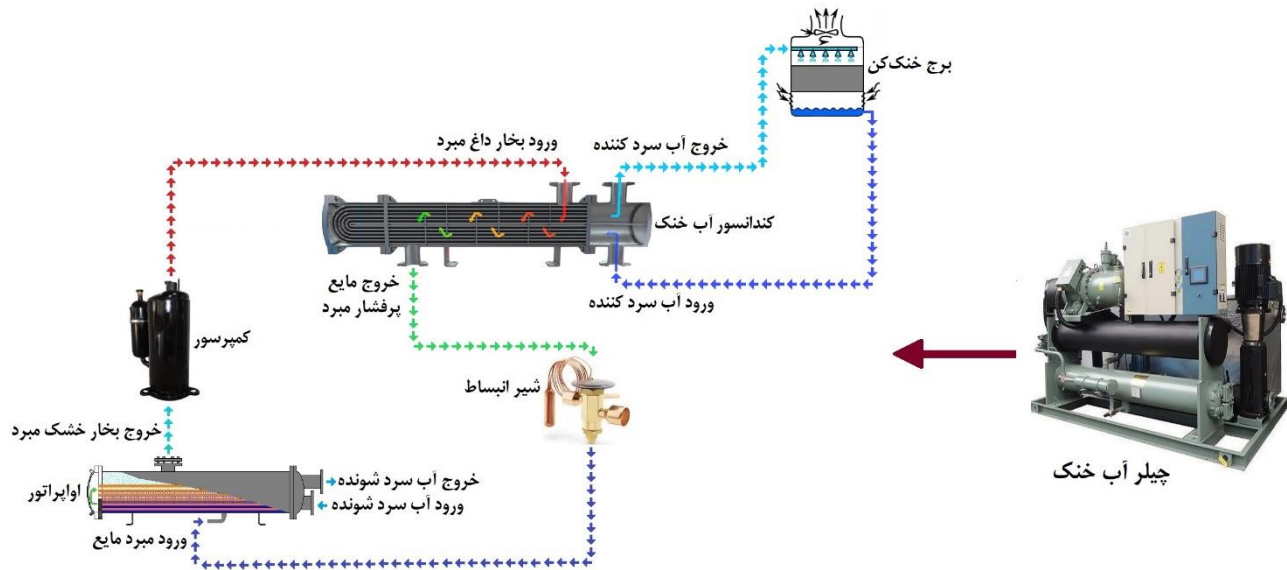


#### ۴-۶-۱ چیلر تراکمی

این چیلرها اساساً از اواپراتور، کمپرسور، کندانسور، شیر انبساط و تعدادی وسایل کنترلی، تشکیل شده‌اند، مایع مبرد در داخل پوسته‌ی اواپراتور که فشار آن کمتر از فشار جو است تبخیر شده و با گرفتن حرارت تبخیر خود از آب جاری در لوله‌ها، آن را خنک می‌کند، بخار خشک مبرد از طریق لوله مکش به کمپرسور رفته و با افزایش فشار و دمای آن در کمپرسور به کندانسور ارسال می‌شود، در کندانسور بخار داغ مبرد، توسط آب جاری در لوله‌ها (در کندانسورهای آب خنک)، یا توسط هوا (در کندانسورهای هوا خنک) به تدریج تقطیر شده و پس از عبور از شیر انبساط و کاهش فشار بار دیگر به لوله‌های اواپراتور فرستاده می‌شود و سیکل تبرید به این صورت تکرار می‌شود.



شکل (۴-۱): چیلر هوا خنک و اجزای آن



شکل (۴-۲): چیلر آب خنک و اجزای آن

#### الف) اواپراتور:

اواپراتور چیلر یکی از قسمت‌های اصلی چیلر و در واقع نوعی مبدل حرارتی است که حرارت را از آبی که باید در چیلر سرد شود، جذب کرده و به مبرد در حال تبخیر انتقال می‌دهد و بدین ترتیب آب سرد می‌شود. اواپراتور دارای یک مسیر ورود و خروج مبرد و یک مسیر ورود و خروج آب می‌باشد. اواپراتورها به دو دسته پوسته لوله‌ای و صفحه‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند. هر اواپراتور پوسته لوله‌ای، از تعدادی لوله که توسط یک پوسته بیرونی که به دور آن‌ها قرار دارد، تشکیل می‌شود، اواپراتورهای پوسته لوله‌ای به دو دسته‌ی اواپراتور انبساط مستقیم (DX)<sup>۱</sup> و اواپراتور پر (Flooded) تقسیم شده که تفاوت اصلی آن‌ها در چگونگی ورود و خروج

<sup>۱</sup> Direct Expansion



آب و مبرد است، در اواپراتورهای DX یا انبساط مستقیم آب درون پوسته و مبرد درون لوله‌ها در جریان است اما در اواپراتور پُر آب درون لوله‌ها و مبرد درون پوسته قرار دارد.

به دلیل سطح زیاد انتقال حرارت بین مبرد و آب در اواپراتور پُر یا غرقابی، انتقال حرارت بالایی اتفاق افتاده و راندمان دستگاه بسیار بالاتر است. در این نوع از اواپراتور مقدار شارژ مبرد حدود ۵۵ تا ۶۵ درصد از حجم موثر کل پوسته را دربر می‌گیرد و نیاز به مقدار مبرد بیشتری دارد. این مبرد پس از انتقال حرارت با آب درون لوله‌ها به سمت دهانه خروجی که در آن یک جداکننده مایع برای گرفتن قطرات مایع مبرد تعبیه شده است، حرکت کرده و از اواپراتور خارج می‌شود.

نحوه‌ی کار **اواپراتور صفحه‌ای** بدین شکل است که تعداد زیادی صفحه در کنار هم و به صورت آب‌بندی شده نسبت به هم قرار گرفته و در فضای خالی بین صفحات و با الگوی یکی در میان، مبرد و آب جریان می‌یابد و حرارت از طریق دیواره صفحات از آب به مبرد منتقل می‌شود. سطح تبادل حرارت در این نوع اواپراتور نسبت به نوع پوسته لوله‌ای بیش‌تر بوده و در ابعاد کوچک‌تر می‌تواند حرارت زیادی را منتقل کند اما قیمت این اواپراتور نسبت به پوسته لوله‌ای بیش‌تر است و به اندازه آن قابلیت تحمل فشارهای بالا را ندارد. با این حال در برخی از چیلرها که ظرفیت پایینی دارند از این نوع اواپراتور نیز استفاده می‌شود.

**پرسش ۴-۴۰) مشترک** در خصوص مقایسه چیلر دارای اواپراتور پُر (Flooded Evaporator) و چیلر دارای اواپراتور انبساط مستقیم (DX Evaporator) کدام یک از جملات زیر درست است؟ (اردیبهشت ۹۷ (طراحی) «۱۷»)

الف) اواپراتور انبساط مستقیم دارای ضریب انتقال حرارت بالاتری است.

ب) ضریب انتقال حرارت در هر دو اواپراتور برابر است.

ج) اواپراتور پُر دارای ضریب انتقال حرارت بالاتری است.

د) در بالادست اواپراتور پُر بخار مبرد به میزان حداقل ۲۰٪ وجود دارد.

**پاسخ)** طبق نکته بالا، گزینه ج صحیح است.

**ب) کمپرسور:**

یکی از وظایف مهم کمپرسور، پمپ کردن به موقع گاز مبرد موجود در اواپراتور به کمپرسور می‌باشد، اگر در این مرحله کمپرسور به کندی عمل کند بخار مبرد جمع شده در اواپراتور، فشار داخلی را بالا برده و در این صورت دمای جوش مبرد بالا می‌رود و در مرحله خنک کردن دچار مشکل می‌شود، وظیفه‌ی مهم دیگر کمپرسور، رساندن گاز مبرد از فشار پایین به فشار بالا است، در مرحله این مرحله، مبرد از بخار کم دما و کم فشار به گاز داغ پرفشار تبدیل می‌شود.

کمپرسورها به دو دسته‌ی گریز از مرکز<sup>۱</sup> (سانتریفیوژ) و جابه‌جایی مثبت تقسیم‌بندی می‌شوند؛ به طور معمول سه نوع کمپرسور مکانیکی در تاسیسات ساختمان استفاده می‌شود که عبارتند از ضربه‌ای<sup>۲</sup>، دورانی<sup>۳</sup> (کمپرسورهای اسکرال و اسکرو از این نوع هستند) و گریز از مرکز. کمپرسورهای با جابه‌جایی مثبت<sup>۴</sup> (نوع ضربه‌ای و دورانی) در ظرفیت‌های کمتر از ۱۰۰ تن اقتصادی‌تر هستند، کمپرسورهای گریز از مرکز برای ظرفیت‌های کوچک اقتصادی نبوده و در ظرفیت‌های ۸۰ تن تا چند هزار تن کاربرد دارند. هر یک از انواع کمپرسورهای گفته شده مزایا و معایبی دارند. استفاده از یک نوع خاص کمپرسور بسته به نیازهای کاربرد دارد همچنین فشار کار و عملکرد کمپرسور تابع عوامل زیادی از قبیل دمای مبرد در اواپراتور و کندانسور می‌باشد.

**پرسش ۴-۴۱) مشترک** در انتخاب چیلر تراکمی برای ظرفیت سرمایی تا میزان ۹۰ کیلووات، معمولاً استفاده از چه نوع کمپرسوری توصیه می‌شود؟ (خرداد ۹۳ «۳۹»)

ب) نوع ضربه‌ای یا اسکرو

الف) نوع ضربه‌ای یا اسکرو

د) نوع اسکرو یا سانتریفیوژ

ج) نوع ضربه‌ای یا سانتریفیوژ

**پاسخ)** طبق مطالب بالا، استفاده از کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت برای این ظرفیت اقتصادی‌تر می‌باشد، گزینه ب صحیح است.

<sup>۱</sup> Centrifugal

<sup>۲</sup> Reciprocating

<sup>۳</sup> Rotary

<sup>۴</sup> Positive displacement



**نکته ۴-۱۲)** برای توضیح سیکل فشرده سازی در کمپرسور و بررسی این موضوع که کمپرسور تا چند برابر حالت اولیه گاز را فشرده خواهد کرد از واحدی به نام نسبت تراکم<sup>۱</sup> استفاده می‌شود، این نسبت وابسته به فشار بوده و می‌توان با فشار دهش و مکش کمپرسور آن را محاسبه کرد. این نسبت که کمپرسور با آن کار می‌کند برای طول عمر یک کمپرسور بسیار بحرانی می‌باشد.

**پرسش ۴-۴۲) مشترک** در یک چیلر، کمپرسور دارای فشار تخلیه ۳۳۵/۳ psig و فشار مکش ۳۵/۳ psig است. نسبت تراکم این کمپرسور چقدر است؟ (در شرایط استاندارد) (بهن ۹۴ «۱۱»)

الف) ۸ به ۱ (ب) ۶ به ۱ (ج) ۵ به ۱ (د) ۶/۷ به ۱

**پاسخ)** نسبت تراکم کمپرسور برابر با نسبت فشار مطلق خروجی به فشار مطلق ورودی می‌باشد:

$$P_{abs} = P_{atm} + P_g \Rightarrow \begin{cases} P_{in} = 35.3 + 14.7 = 50 \text{ psia} \\ P_{out} = 235.3 + 14.7 = 250 \text{ psia} \end{cases} \Rightarrow R = \frac{250}{50} = 5$$

در این کمپرسور، گاز تا ۵ برابر حالت اولیه فشرده شده است، بنابراین گزینه ج صحیح است.

**ج) کندانسور:**

کندانسور یک نوع مبدل حرارتی است که در آن انتقال گرما بین مبرد و آب و یا بین مبرد و هوا صورت می‌گیرد. اگر مبرد گرما را به آب دهد به آن کندانسور آب خنک گفته می‌شود و اگر مبرد گرما را به هوا دهد به آن کندانسور هوا خنک گفته می‌شود.

**نکته ۴-۱۳)** در عملکرد کندانسور هوایی چیلر هوا خنک، میزان رطوبت هوایی که کندانسور را خنک می‌کند تأثیری در ظرفیت آن نداشته و دمای خشک هواست که افزایش یا کاهش آن به ترتیب باعث افزایش یا کاهش ظرفیت کندانسور می‌شود، همچنین با افزایش ارتفاع از سطح دریا به دلیل کاهش چگالی هوا، ظرفیت جذب گرما توسط هوا کمتر شده، در نتیجه ظرفیت کندانسورهای هوایی نیز کاهش می‌یابد.

**پرسش ۴-۴۳) مشترک** در یک چیلر هوا خنک با ظرفیت نامی ۱۰۰ تن تبرید، با کاهش دمای خشک هوای بیرون ظرفیت واقعی چیلر ..... و با کاهش رطوبت نسبی هوای بیرون ظرفیت واقعی چیلر ..... (اردیبهشت ۹۷ (طراحی) «۲۴»)

الف) کاهش می‌یابد - کاهش می‌یابد. (ب) کاهش می‌یابد - افزایش می‌یابد.

ج) تغییر نمی‌کند - تغییر نمی‌کند. (د) افزایش می‌یابد - تغییر نمی‌کند.

**پاسخ)** طبق نکته بالا، هرچه دمای خشک هوای بیرون کمتر باشد، به عمل خنک کردن مبرد داخل کندانسور کمک بیشتری کرده و گرمای بیشتری از مبرد می‌گیرد در نتیجه باعث افزایش ظرفیت چیلر می‌شود، کاهش رطوبت نسبی هوا تأثیری در ظرفیت چیلر هوا خنک نداشته چرا که ظرفیت جذب گرمای محسوس هوا باعث تغییر در عملکرد کندانسور هوا خنک و چیلر خواهد شد و با رطوبت آن ارتباطی ندارد. گزینه د صحیح است.

**پرسش ۴-۴۴) مشترک** با افزایش ارتفاع محیط از سطح دریا و با افزایش رطوبت مطلق محیط خارج، ظرفیت دفع گرما (Heat Rejection) کندانسورهای هوایی به ترتیب چه تغییری می‌کند؟ (سایر شرایط اقلیمی را ثابت در نظر بگیرید) (مهر ۱۴۰۲ (طراحی) «۳»)

الف) افزایش می‌یابد - کاهش می‌یابد. (ب) کاهش می‌یابد - افزایش می‌یابد.

ج) افزایش می‌یابد - افزایش می‌یابد. (د) کاهش می‌یابد - ثابت باقی می‌ماند.

**پاسخ)** طبق نکته بالا، با افزایش ارتفاع از سطح دریا، چگالی هوا کم شده و ظرفیت دفع گرما از کندانسورهای هوایی نیز کاهش می‌یابد و از آنجایی که تبادل گرمایی در کندانسور سبب بالا رفتن گرمای محسوس هوا شده پس افزایش یا کاهش رطوبت هوا تأثیری در عمل خنک کاری هوا ندارد، هرچند مبرد در کندانسور با دفع گرمای نهان خود تغییر فاز داده و دمای آن تغییر نمی‌کند.

$$Q = \rho_{air} \cdot \dot{V} \cdot c_{air} \cdot \Delta T \Rightarrow \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

گزینه د صحیح است.

**نکته ۴-۱۴)** در چیلرهای آب خنک، هرچه دمای آب خنک‌کنندهی برج خنک‌کن به دمای مرطوب نزدیک‌تر باشد، راندمان کندانسور افزایش می‌یابد.

**پرسش ۴-۴۵) مشترک** در چیلرهای خنک شونده با آب، دمای آب ورودی به کندانسور باید: (خرداد ۹۳ «۳۱»)

<sup>۱</sup> Compression Ratio

الف) به مقدار عددی رطوبت نسبی نزدیک باشد. (ب) به دمای خشک محیط نزدیک باشد.  
 ج) به نقطه شبنم محیط نزدیک باشد. (د) به دمای مرطوب محیط نزدیک باشد.  
**پاسخ)** هر چه دمای آب ورودی به کندانسور به دمای مرطوب هوای محیط نزدیک‌تر باشد راندمان افزایش می‌یابد. گزینه د صحیح است.

**نکته ۴-۱۵)** با افزایش غلظت ضد یخ گرمای ویژه کاهش یافته بنابراین ظرفیت سرمایشی چیلر نیز کاهش می‌یابد  
**پرسش ۴-۴۶) مشترک)** افزایش ارتفاع منطقه و افزایش غلظت ضد یخ در چیلر تراکمی هوا خنک به ترتیب چه اثری بر ظرفیت سرمایشی آن دارد؟ (دی ۱۴۰۱) (طراحی) «۳۷»  
 الف) کاهش- افزایش (ب) افزایش- کاهش (ج) کاهش- کاهش (د) افزایش- تغییر نمی‌کند.  
**پاسخ)** طبق نکات بالا، گزینه ج صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۳۴» آزمون «اجرا شهریور» سال ۱۴۰۱ می‌باشد.

**د) شیر انبساط:**

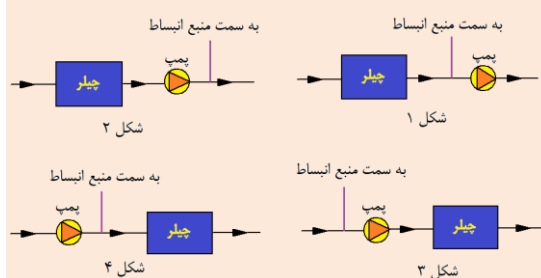
شیر انبساط علاوه بر کاهش فشار و دمای مایع مبرد، دبی مبردی را که وارد اواپراتور می‌شود نیز کنترل می‌کند، در سیکل تبرید چیلرهای تراکمی معمولاً از شیر انبساط نوع ترموستاتیکی (حرارتی) و الکترونیکی (استفاده از شیر انبساط ترموستاتیکی رایج‌تر است) استفاده می‌شود، انتخاب شیر انبساط مناسب برای چیلر باعث بهینه شدن عملکرد چیلر و افزایش سرمایش آن است، همچنین انتخاب نابه‌جای آن می‌تواند در طولانی مدت آسیب جدی به چیلر وارد کند.

**پرسش ۴-۴۷) مشترک)** در چیلرهای تراکمی تهویه مطبوع معمولاً وسیله انبساط مایع مبرد کدام است؟ (بهمن ۸۳ «۴۱»)  
 الف) لوله‌های موئین (ب) شیر انبساط حرارتی (ج) شیر انبساط شناوردار (د) شیر انبساط فشار ثابت  
**پاسخ)** طبق مطالب بالا، گزینه ب صحیح است.

**منبع انبساط**

برای سیستم آب خنک‌شونده‌ی چیلر یک منبع انبساط جهت کنترل فشار و انبساط آب، زمانی که دمای آن افزایش یافته است، در نظر می‌گیرند که بهترین محل نصب آن قبل از پمپ یعنی در قسمت مکش آن (جهت جلوگیری از ایجاد فشار منفی) و بعد از چیلر (جهت جلوگیری از تحمیل افت فشار به اواپراتور چیلر) می‌باشد.

**پرسش ۶-۱) مشترک)** کدام گزینه مناسب‌ترین چیدمان برای اتصال منبع انبساط بسته به سیستم سرمایش با آب سرد را نشان می‌دهد؟ (مهر ۱۴۰۲) (طراحی) «۵۷»



الف) شکل ۱ (ب) شکل ۲ (ج) شکل ۳ (د) شکل ۴  
**پاسخ)** طبق نکته بالا، گزینه الف صحیح است.

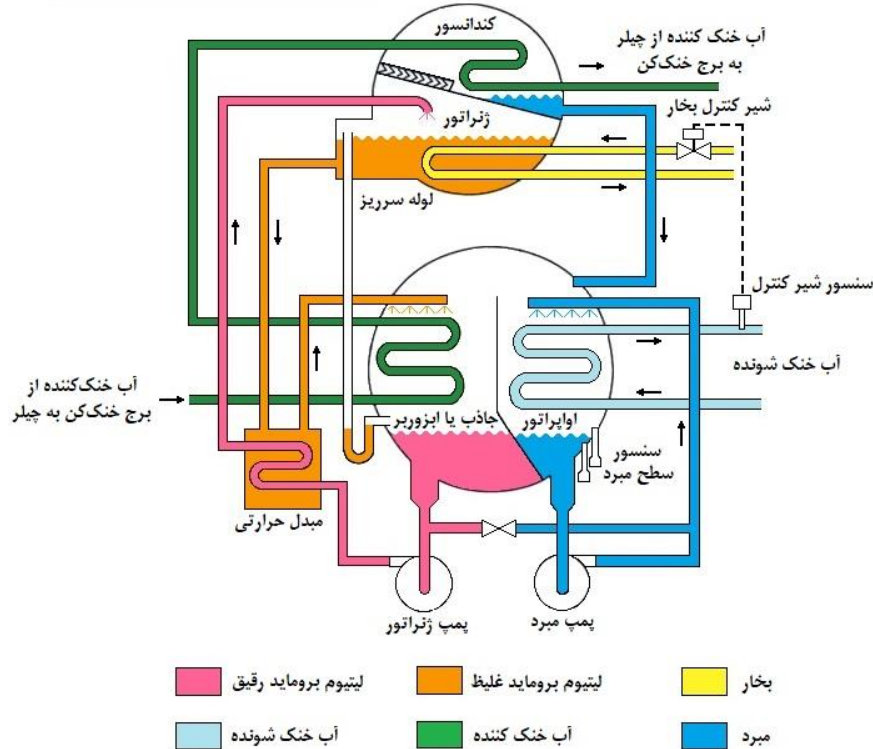
این پرسش، مشابه پرسش «۳۴» آزمون «طراحی مرداد» سال ۱۴۰۰ می‌باشد.

**۴-۶-۲ چیلر جذبی**

چرخه کاری چیلرهای جذبی و اجزای تشکیل دهنده‌ی آن با چیلرهای تراکمی متفاوت بوده و این چیلرها فاقد کمپرسور می‌باشند، اجزای تشکیل دهنده‌ی چیلرهای جذبی عبارت است از: اواپراتور، ژنراتور، کندانسور، مبدل حرارتی، پمپ و تجهیزات کنترلی. بخار مبرد (آب) که در اواپراتور تولید شده است، توسط مایع جذب کننده (لیتیوم بروماید) جذب شده و محلولی رقیق می‌سازد، این محلول توسط پمپ به مبدل حرارتی ارسال گردیده و دمایش افزایش می‌یابد سپس راهی ژنراتور شده و دمایش بازم به بالاتر می‌رود تا جایی که مایع مبرد موجود در محلول تبخیر شده و از محلول جدا می‌شود، با جدا شدن مقدار زیادی از مبرد، محلول غلیظ شده و از طریق مبدل



حرارتی به محفظه‌ی جاذب بازمی‌گردد، بخار مبردی که در ژنراتور تولید شده است راهی کندانسور می‌شود و در آنجا تقطیر گردیده سپس به اواپراتور بازمی‌گردد، در داخل اواپراتور، مایع مبرد حرارت نهان تبخیرش را از آب جاری در لوله‌ها گرفته و آن را خنک می‌کند و دوباره در محفظه‌ی جاذب توسط لیتیم بروماید جذب شده و چرخه تکرار می‌شود. به چیلرهایی با این سیکل کاری چیلر تک اثر نیز می‌گویند. آب در اواپراتور چیلرهای جذبی، تحت فشار نزدیک به خلا قرار داشته بنابراین در دمای بسیار پایینی (معمولاً ۴ درجه سانتی‌گراد) بخار می‌شود به همین دلیل برای تقطیر این بخار از ماده‌ی جاذب استفاده می‌کنند.



شکل (۴-۳): عملکرد چیلر جذبی تک اثره

**پرسش ۴-۴۸) مشترک** کدام یک از موارد زیر به عنوان مبرد در چیلرهای جذبی مورد استفاده قرار می‌گیرد؟ (مهر ۹۹ (نظارت) «۳۳»)

الف) آب (ب) لیتیوم بروماید (ج) R ۱۳۴a (د) R ۲۲  
پاسخ) در چیلرهای جذبی آب به عنوان مبرد و لیتیوم بروماید به عنوان جاذب مورد استفاده قرار می‌گیرد. گزینه الف صحیح است.

**پرسش ۴-۴۹) مشترک** در سیستم تولید برودت جذبی: (بهمن ۸۳ «۵۵»)  
الف) نمک لیتیوم بروماید مبرد و آب واسط انتقال حرارت است.  
ب) نمک لیتیوم بروماید فقط به عنوان جاذب بخار آب عمل می‌کند.  
ج) نمک لیتیوم بروماید جاذب و آب خالص به عنوان مبرد عمل می‌کنند.  
د) هر دو مورد ب و ج

پاسخ) با توجه به چرخه تبرید جذبی نمک لیتیوم بروماید جاذب و آب خالص به عنوان مبرد عمل می‌کنند. گزینه ج صحیح است.

**پرسش ۴-۵۰) مشترک** انرژی مورد نیاز در یک سیستم برودت جذبی: (خرداد ۹۳ «۳۶»)  
الف) انرژی مکانیکی است. (ب) انرژی الکتریکی است.  
ج) انرژی گرمایی است. (د) ترکیب انرژی الکتریکی و مکانیکی است.  
پاسخ) جهت جداسازی مبرد از ماده‌ی جاذب در سیکل چیلر جذبی، به انرژی گرمایی که توسط ژنراتور تأمین می‌شود نیاز است، بنابراین گزینه ج صحیح است.

چیلر دو اثره



به سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی و افزایش راندمان چیلرهای جذبی، از چیلرهای دو اثره استفاده می‌کنند که سیکل کاری آن‌ها شباهت بسیاری به سیکل کاری چیلرهای تک اثره دارد با این تفاوت که در چیلر جذبی تک اثره که بخار مبرد تشکیل شده در ژنراتور مستقیماً توسط آب برج خنک‌کن، خنک می‌شود و به میزان بیش‌تری انتقال حرارت در برج خنک‌کن نیاز دارد، در چیلرهای دو اثره از این گرمای تلف شده برای گرم کردن محلول آبی لیتیم بروماید و تبخیر آب در یک مرحله دیگر استفاده می‌کنند.

بدین صورت که از بخار مبرد تبخیر شده از محلول لیتیم بروماید در ژنراتور اولیه برای گرمایش مجدد محلول استفاده می‌شود، اگر دمای بخار مبرد و محلول گرم شده در یک ژنراتور با هم برابر باشد امکان تبادل حرارتی بین آن‌ها وجود نخواهد داشت، بنابراین جهت استفاده از این گرمای اضافی به طور موثر، در چیلرهای دو اثره ژنراتور دیگری به نام ژنراتور دمای پایین در نظر گرفته شده است که در آن آب گیری و تغلیظ محلول با دمای جوش پایین‌تر در فشار پایین‌تر اتفاق می‌افتد؛ به بیان دیگر چیلر جذبی دو اثره با فشار بخاری برابر ۰/۸ مگا پاسکال بیش‌تر از فشار بخار مصرفی چیلرهای تک اثره (۰/۱۵ مگا پاسکال) کار می‌کنند. چیلرهای جذبی دو اثره انرژی کمتری نسبت به نوع تک اثره مصرف می‌نمایند در نتیجه بازده بیش‌تری دارند.

### چیلر شعله مستقیم

چیلر جذبی شعله مستقیم یا دایرکت فایر<sup>۱</sup> نوعی پرکاربرد از انواع چیلرهای جذبی می‌باشد که در آن انرژی لازم برای به حرکت درآوردن سیکل کاری دستگاه توسط یک مشعل و شعله مستقیم آتش تامین می‌شود؛ این مشعل که در ژنراتور دستگاه جاسازی شده می‌تواند با استفاده از سوخت گاز طبیعی یا سوخت مایع (مانند گازوئیل یا نفت سفید) و ... فرآیند احتراق را در ژنراتور به وجود آورد.

### چیلر آمونیاکی

در چیلرهای لیتیم بروماید ( $\text{LiBr} - \text{H}_2\text{O}$ )، آب نقش مبرد و لیتیم بروماید نقش جاذب را برعهده دارد اما در چیلرهای آمونیاکی ( $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ ) آب جاذب و آمونیاک مبرد است، چیلرهای آمونیاکی برخلاف که آب سرد خروجی از این چیلرها (به خاطر خاصیت ویژه آمونیاک که در دماها و فشارهای بسیار پایین همچنان به صورت بخار باقی می‌ماند) می‌تواند تا  $-40^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد سرد شود. بنابراین این چیلرها بیشتر در کاربردهای دما پایین (از  $+5^\circ\text{C}$  تا  $-40^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد) مورد استفاده قرار می‌گیرند. این در حالی است که در سیستم‌های لیتیم بروماید که آب به عنوان مبرد استفاده می‌شود دمای آب سردشونده در اواپراتور نهایتاً می‌تواند تا  $44^\circ\text{C}$  درجه فارنهایت ( $6/7^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد) کاهش یابد بنابراین از آن فقط در مصارف تهویه مطبوع استفاده می‌شود.

به دلیل اینکه مس و آلیاژهای آن در اثر تماس با آمونیاک دچار خوردگی شدید می‌شوند، نباید در مدار این دستگاه از مس استفاده کرد و به جای آن از تجهیزات فولادی استفاده می‌شود همچنین با وجود اینکه آمونیاک ماده‌ای بسیار مناسب برای سیکل تبرید محسوب می‌شود ولی به خاطر سمی بودن و قابل اشتعال بودن این ماده، نباید از آن در کاربری‌های مرتبط با تهویه ساختمانی استفاده شود. در چیلرهای جذبی آمونیاکی کندانسور می‌تواند به صورت هوا خنک طراحی شود تا دیگر نیازی به برج خنک کننده نباشد همچنین بر خلاف چیلرهای لیتیم بروماید که تحت خلاء کار می‌کنند (پمپ‌های خلاء برای مدت زمان کوتاهی در شروع کار سیستم مورد نیاز هستند) چیلرهای جذبی آمونیاکی در فشارهای متوسط کار می‌کنند و تا  $-30^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد به خلاء نیاز نیست.

**پرسش ۴-۵۱) مشترک** در سامانه‌های تبرید جذبی آمونیاکی، آب و آمونیاک خاصیت زیر را دارا هستند. (خرداد ۹۳ «۴»)

الف) آب و آمونیاک هر دو ماده جاذب است. (ب) آمونیاک ماده جاذب و آب مبرد است.

ج) آب ماده جاذب و آمونیاک مبرد است. (د) آب و آمونیاک هر دو ماده مبرد است.

**پاسخ)** در سیستم‌های تبرید جذبی آمونیاکی آب به عنوان جاذب و آمونیاک به عنوان مبرد عمل می‌کند گزینه ج صحیح است.

### ۴-۶-۳ مقایسه‌ی چیلرهای تراکمی و جذبی

- چیلرهای تراکمی به نسبت چیلرهای جذبی قیمت پایین‌تری دارند.
- چیلر تراکمی سر و صدای بیشتری نسبت به جذبی دارد.
- در چیلرهای جذبی به خاطر عدم استفاده از برق در تامین انرژی، مصرف انرژی بسیار کم بوده و همچنین به فراهم کردن تجهیزات برق اضطراری نیازی ندارد.
- از چیلرهای تراکمی می‌توان در هر شرایط آب و هوایی استفاده کرد.

<sup>۱</sup> Direct fired



- ضریب عملکرد چیلرهای جذبی حدوداً بین ۰/۶ تا ۱ و ضریب عملکرد چیلرهای تراکمی حدوداً بین ۳ تا ۶ می‌باشد (در میان چیلرهای تراکمی ضریب عملکرد چیلرهایی با کمپرسور نوع جابه‌جایی مثبت (ضربه‌ای و دورانی) از انواع دیگر بیشتر است)

**پرسش ۴-۵۲) مشترک** ضریب عملکرد (COP) کدام یک از چیلرها بیشتر است؟ (مرداد ۹۴ «۴۰»)

(الف) چیلر جذبی شعله مستقیم

(ب) چیلر جذبی یک مرحله‌ای

(ج) چیلر جذبی دو مرحله‌ای

(د) چیلر کمپرسوری ضربه‌ای

**پاسخ)** ضریب عملکرد چیلرهای جذبی از چیلرهای تراکمی کمتر است گزینه د صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۲۶» آزمون «اسفند» سال ۸۹ و مشابه پرسش «۳۸» آزمون «آذر» سال ۸۴ می‌باشد.

**نکته ۴-۱۶)** مصرف انرژی گرمایی در چیلرهای شعله مستقیم با سیکل جذبی آب-لیتیوم بروماید، برای هر کیلو وات انرژی سرمایی ۱ کیلووات و COP آن نیز تقریباً برابر ۱ است.

**پرسش ۴-۵۳) مشترک** مصرف انرژی گرمایی در مبردهای شعله مستقیم جذبی لیتیوم بروماید برای هر کیلو وات انرژی سرمایی و COP دستگاه تقریباً برابر است با: (اسفند ۸۷ «۴۵»)

(الف) یک کیلو وات و ۱ (ب) دو کیلو وات و ۰/۵ (ج) سه کیلو وات و ۰/۳ (د) یک کیلو وات و ۲

**پاسخ)** طبق نکته بالا، گزینه الف صحیح است.

**نکته ۴-۱۷)** مصرف انرژی الکتریکی چیلر با کمپرسور ضربه‌ای ۰/۷-۰/۹ کیلووات بر تن سرمایی و چیلر با کمپرسور نوع سانتریفیوژ ۰/۶۵ کیلووات بر تن سرمایی می‌باشد.

**پرسش ۴-۵۴) مشترک** کدام یک از گزینه‌ها در مورد مصرف انرژی الکتریکی انواع چیلرها صحیح است؟ (آذر ۹۰ «۲۳»)

(الف) چیلر کمپرسوری ضربه‌ای: ۰/۷-۰/۹ کیلووات بر تن سرمایی، سانتریفیوژ: ۰/۶۵ کیلووات بر تن سرمایی.

(ب) چیلر کمپرسوری ضربه‌ای: ۰/۶۵ کیلووات بر تن سرمایی، سانتریفیوژ: ۰/۶ کیلووات بر تن سرمایی.

(ج) چیلر کمپرسوری ضربه‌ای: ۱ کیلووات بر تن سرمایی، سانتریفیوژ: ۰/۷۵ کیلووات بر تن سرمایی.

(د) چیلر کمپرسوری ضربه‌ای: ۱/۱ کیلووات بر تن سرمایی، سانتریفیوژ: ۰/۵ کیلووات بر تن سرمایی.

**پاسخ)** طبق نکته بالا، گزینه الف صحیح است.

#### ۴-۶-۴ محاسبات مربوط به ظرفیت چیلرها

ظرفیت اواپراتور چیلر از رابطه‌ی زیر (به ترتیب برحسب بی‌تی‌یو بر ساعت و وات) محاسبه می‌شود:

$$Q_{eva} = 500 \times \text{gpm} \times \Delta T \quad \text{or} \quad Q_{eva} = \rho \dot{V} c \Delta T \quad (۳۳-۴)$$

در رابطه بالا، gpm (برحسب گالن بر دقیقه) و  $\dot{V}$  (برحسب مترمکعب بر ثانیه) میزان دبی آبی است که توسط اواپراتور چیلر خنک می‌شود (آب خنک شونده)،  $\Delta T$  تغییرات دمای آن (در رابطه‌ی اول برحسب درجه فارنهایت و در رابطه‌ی دوم برحسب درجه سلسیوس)،  $\rho$  چگالی آب برحسب کیلوگرم بر مترمکعب و  $c$  گرمای ویژه‌ی آب برحسب ژول بر کیلوگرم بر درجه کلوین می‌باشد.

**پرسش ۴-۵۵) مشترک** گذر آب اواپراتور یک چیلر تراکمی ۱۰ لیتر در ثانیه و دمای آب ورودی و خروجی اواپراتور به ترتیب ۱۲ و ۶ درجه سلسیوس است. ظرفیت واقعی چیلر حدوداً چند تن سرمایی است؟ (مهر ۹۹ (نظارت) «۳۱»)

(الف) ۴۰ (ب) ۷۲ (ج) ۲۷۰ (د) ۱۵۰

**پاسخ)** طبق رابطه زیر داریم:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta t = \rho \cdot \dot{V} \cdot c \cdot \Delta t = 1000 \times \left( 10 \frac{\text{lit}}{\text{s}} \times \frac{3.6 \text{ m}^3/\text{hr}}{\text{lit/s}} \right) \times 4.184 \times (12 - 6) = 903744 \frac{\text{kJ}}{\text{hr}} \times 7.9 \times 10^{-5} = 71.4 \text{ TR}$$

گزینه ب صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۲۰» آزمون «نظارت مرداد» سال ۱۴۰۳ می‌باشد.

**پرسش ۴-۵۶) مشترک** دبی آب اواپراتور در یک دستگاه چیلر تراکمی با ظرفیت واقعی ۷۵ تن تبرید که اختلاف دمای آب ورودی به اواپراتور و خروجی از آن برابر با ۵ درجه سلسیوس باشد، چه مقدار است؟ (شهریور ۹۵ «۴»)

(الف) ۲۰۰ گالن در دقیقه (ب) ۳۰۰ گالن در دقیقه (ج) ۷۵ گالن در دقیقه (د) ۱۵۰ گالن در دقیقه



پاسخ) دبی آب اوپراتور برابر است با:

$$Q = 500 \times \text{gpm} \times \Delta T \quad \Delta T_F = 1.8 \Delta T_C \Rightarrow \Delta T_F = 9 \quad \Rightarrow \quad \text{gpm} = \frac{75 \text{ TR} \times \frac{12000 \text{ Btu/hr}}{1 \text{ TR}}}{500 \times 9} = 200 \text{ gpm}$$

گزینه الف صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۳۷» آزمون «طراحی مهر» سال ۹۶ و مشابه پرسش «۲۳» آزمون «شهریور» سال ۸۶ و مشابه پرسش «۳۶» آزمون «بهمن» سال ۸۳ و مشابه پرسش «۴۶» آزمون «تیر» سال ۷۸ می‌باشد.

**پرسش ۴-۵۷) مشترک** در سیستم سرمایش یک موتورخانه بار برودتی ۲۰۰۰۰۰۰ بی‌تی‌یو بر ساعت است. دبی آب در گردش سیستم ۵۰۰ گالن در دقیقه و دمای آب خروجی از چیلر ۴۴ درجه فارنهایت است. دمای آب ورودی به چیلر چند درجه فارنهایت است؟ (دی ۱۴۰۱ (طراحی) «۲۱»)

الف) ۵۰ (ب) ۴۸ (ج) ۵۲ (د) ۵۴

پاسخ) دمای آب ورودی به چیلر از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = 500 \times \text{gpm} \times \Delta T \quad \Rightarrow \quad \Delta T = \frac{Q}{500 \times \text{gpm}} = \frac{2000000}{500 \times 500} = 8^\circ \text{F} \quad \Rightarrow \quad \Delta T = T_{\text{in}} - T_{\text{out}} \quad \Rightarrow \quad T_{\text{in}} = 8 + 44 = 52^\circ \text{F}$$

گزینه ج صحیح است.

**پرسش ۴-۵۸) مشترک** در سیستم لوله‌کشی آب سردکننده (Chilled Water) یک ساختمان، جریان آب سرد برگشتی از فن کویل‌ها با گذر ۵۰ gpm و دمای ۴۸ درجه فارنهایت با جریان آب سرد برگشتی از هواسازها با گذر ۸۰ gpm و دمای ۵۵ درجه فارنهایت مخلوط شده و سپس وارد یک چیلر می‌شوند. در صورتی که دمای آب سرد خروجی از این چیلر ۴۵ درجه فارنهایت باشد، بار چیلر چند تن تبرید می‌باشد؟ (بهمن ۹۴ «۱۸»)

الف) ۴۶ تن (ب) ۳۶ تن (ج) ۴۰ تن (د) ۳۴ تن

پاسخ) دمای نهایی مخلوط آب سرد فن کویل و هواساز برابر است با:

$$T_{\text{mix}} = \frac{\text{gpm}_{\text{fancoil}} \times T_{\text{fancoil}} + \text{gpm}_{\text{AHU}} \times T_{\text{AHU}}}{\text{gpm}_{\text{fancoil}} + \text{gpm}_{\text{AHU}}} = \frac{50 \times 48 + 80 \times 55}{50 + 80} = 52.3^\circ \text{F}$$

بار چیلر برابر است با:

$$Q = 500 \times \text{gpm} \times \Delta T = 500 \times (50 + 80) \times (52.3 - 45) = 474500 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ TR}}{12000 \text{ Btu/hr}} = 39.54 \approx 40 \text{ TR}$$

گزینه ج صحیح است.

#### ۴-۶-۵ معیار عملکرد چیلر

برای سنجش عملکرد چیلرها معیارهای مختلفی مانند  $\text{COP}^1$ ،  $\text{EER}^2$  و  $\text{IPLV}^3$  تعریف می‌شود که عبارت است از: معیار  $\text{COP}$  یا ضریب عملکرد برای چیلر همانند سیکل تبرید و بخش سرمایشی سیستم پمپ حرارتی می‌باشد و مقدار آن از نسبت ظرفیت برودتی در بار کامل (بر حسب وات) بر توان ورودی الکتریکی (بر حسب وات) بدست می‌آید.

$$\text{COP}_{\text{compression chiller}} = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C}, \quad \text{COP}_{\text{absorption chiller}} = \frac{Q_C}{E} = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C} \quad (34-4)$$

در رابطه‌ی بالا،  $Q_C$  ظرفیت سرمایی چیلر (ظرفیت اوپراتور)،  $W$  مقدار توان مصرفی کمپرسور در چیلرهای تراکمی،  $E$  مجموع مقدار انرژی‌هایی است که در سیکل چیلرهای جذبی مصرف می‌شود و  $Q_H$  مقدار گرمایی است که از کندانسور به هوای بیرون یا به آب سردکننده‌ی برج خنک‌کن داده می‌شود، می‌باشد.

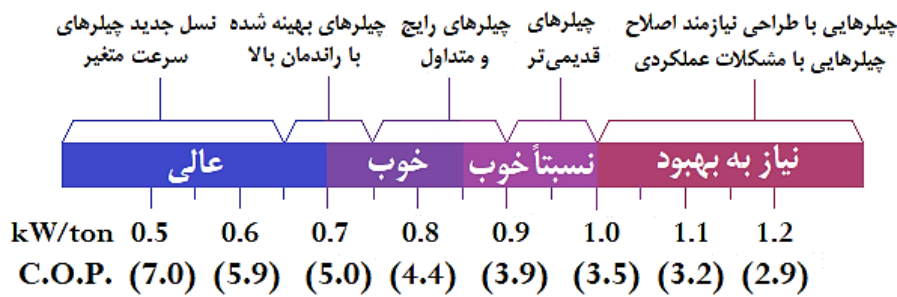
<sup>1</sup> Coefficient Of Performance

<sup>2</sup> Energy Efficiency Ratio

<sup>3</sup> Integrated Part Load Value



مقدار COP معمولاً بزرگ‌تر از یک بوده و استاندارد ASHRAE برای چیلرها که ماشین‌های سرد کننده آب هستند مقادیر زیر را بیان می‌کند به‌طوری‌که چیلرهایی با COP به مقدار ۴/۵ دارای موقعیت خوب هستند.



شکل (۴-۴): استاندارد ASHRAE برای مقدار COP انواع چیلر

معیار EER یا "نسبت بازده انرژی" برای چیلر

EER عبارتست از نسبت ظرفیت برودتی برحسب (Btu/hr) به توان ورودی (بر حسب وات)، رابطه‌ی EER و COP به‌صورت زیر می‌باشد:

$$EER = COP \times 3.412$$

معیار IPLV یا "مقدار بار جزئی یکپارچه"

به طور کلی، COP یک دستگاه تهویه مطبوع در شرایط ۱۰۰٪ بار یا بار کامل<sup>۱</sup> به دست می‌آید. اما عموماً یک سیستم تهویه مطبوع تنها در ۱٪ از عمر خود با بار ۱۰۰٪ طراحی کار می‌کنند. از این رو برای محاسبه مقدار عملکرد دقیق دستگاه از میانگین COP در شرایط بار جزئی، استفاده می‌شود که به آن IPLV می‌گویند. برای محاسبه‌ی معیار IPLV از میانگین ۴ نقطه بار جزئی<sup>۲</sup> به‌صورت زیر استفاده می‌شود:

$$IPLV = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D$$

ضرایب A، B، C، D به ترتیب مربوط به COP در ۱۰۰٪، ۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ بار در طول روز می‌باشند. همچنین این ضرایب تابع شرایط اقلیمی و میزان بارهای داخلی فضا نیز می‌باشند.

**پرسش ۴-۵۹) مشترک** کدام عبارت در مورد EER و IPLV صحیح است؟ (مهر ۹۸ (طراحی) «۸»)

الف) EER معادل با IPLV است.

ب) EER فقط برای چیلر کاربرد دارد ولی IPLV برای تأسیسات گرمایی نیز کاربرد دارد.

ج) EER بازده چیلر در بار کامل و IPLV بازده چیلر در بار جزئی (Partial load) را نشان می‌دهد.

د) EER بازده چیلر در بار کامل و IPLV بازده تجمیعی چیلر در بار جزئی (Partial load) و کامل را نشان می‌دهد.

**پاسخ) گزینه ج صحیح است.**

**پرسش ۴-۶۰) مشترک** کدام یک از روابط زیر، مقایسه COP و EER صحیح است؟ (خرداد ۹۳ «۳۴»)

الف)  $COP = 0.293 EER$  ب)  $COP = 12 EER$  ج)  $COP = 3/5 EER$  د)  $COP = 16 EER$

**پاسخ) طبق مطالب بالا داریم:**

$$EER = 3.412 COP \Rightarrow COP = \frac{1}{3.412} EER = 0.293 EER$$

**گزینه الف صحیح است.**

**این پرسش، مشابه پرسش «۱۴» آزمون "شهریور" سال ۸۶ می‌باشد.**

**پرسش ۴-۶۱) مشترک** یک سیستم تهویه مطبوع ۲۰ تن تبریدی با توان الکتریکی ۳۰ kW مفروض است. EER آن چقدر است؟

(بهمن ۹۴ «۱۲»)

الف) ۱۰/۶

ب) ۸

ج) ۱۲/۵

د) ۶

**پاسخ) EER این چیلر برابر است با:**

<sup>۱</sup> Full Load

<sup>۲</sup> Partial Load



$$EER = \frac{Q_c (\text{Btu/hr})}{W (\text{Watt})} = \frac{20 \times 12000}{30000} = 8$$

گزینه ب صحیح است.

**پرسش ۴-۶۲) مشترک** با فرض ضریب بهره چیلر  $COP=4/5$  برای یک چیلر تراکمی آب خنک با ظرفیت واقعی ۱۵۰ تن تبرید، توان الکتریکی ورودی به آن در حالت ماکزیمم ظرفیت و مقدار ضریب مصرف انرژی EER این دستگاه به ترتیب چه مقدار است؟ (شهریور ۱۴۰۱ (اجرا) «۵۶»)

(الف) ۱۱۷/۲ کیلووات و ۱/۳۲

(ب) ۱۱۷/۲ کیلووات و ۱۵/۳۶

(ج) ۳۳ کیلووات و ۱/۳۲

(د) ۵۲۷/۴ کیلووات و ۱۵/۵۶

**پاسخ)** با توجه به رابطه COP و EER داریم:

$$Q_c = 150 \text{ TR} \times \frac{12000 \text{ Btu/hr}}{1 \text{ TR}} \times \frac{1 \text{ kW}}{3413 \text{ Btu/hr}} = 527.4 \text{ kW}, \quad COP = \frac{Q_c}{W} \Rightarrow W = \frac{Q_c}{COP} = \frac{527.4}{4.5} = 117.2 \text{ kW}$$

$$EER = 3.413 \text{ COP} = 3.413 \times 4.5 = 15.36$$

گزینه ب صحیح است.

**پرسش ۴-۶۳) مشترک** انرژی گرمایی مورد نیاز برای یک دستگاه چیلر جذبی با ظرفیت سرمایی ۵۰۰ تن تبرید و  $COP = 0.8$  چند بی‌تی‌یو در ساعت است؟ (مرداد ۱۴۰۰ (نظارت) «۳۳»)

(الف) ۶۲۵۰۰۰۰

(ب) ۷۵۰۰۰۰۰

(ج) ۴۰۰۰۰۰۰

(د) ۴۸۰۰۰۰۰۰

**پاسخ)** طبق رابطه COP چیلر جذبی داریم:

$$COP = \frac{Q_c}{E_{gen}} \Rightarrow E_{gen} = \frac{Q_c}{COP} = \frac{(500 \times 12000)}{0.8} = 7500000 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

گزینه ب صحیح است.

**پرسش ۴-۶۴) مشترک** در یک چیلر کمپرسوری ضربه ای به ظرفیت ۱۰۰ تن سرمایی و  $4/5$  درجه سلسیوس اختلاف دمای آب ورود و خروج، به ترتیب میزان جریان آب سرد و برق مصرفی تقریبی چیلر کدام است؟ (آذر ۹۰ «۲۱»)

(الف) ۶۷۲۰۰ کیلوگرم در ساعت - ۹۰ کیلووات

(ب) ۷۵۰۰۰ کیلوگرم در ساعت - ۱۲۰ کیلووات

(ج) ۵۹۰۰۰ کیلوگرم در ساعت - ۹۰ کیلووات

(د) ۴۰۰۰۰ کیلوگرم در ساعت - ۵۰ کیلووات

**پاسخ)** میزان جریان آب سرد برابر است با:

$$Q = 500 \times \text{gpm} \times \Delta T \quad \Delta T_f = 1.8 \Delta T_c \Rightarrow \text{gpm} = \frac{100 \times 12000}{500 \times (1.8 \times 4.5)} = 296.3 \frac{\text{m}^3/\text{hr}}{4.4 \text{ gal/min}} = 67.3 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \Rightarrow \dot{m} = \rho \dot{V} = 1000 \times 67.3 = 67300 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

اگر ضریب عملکرد چیلر با کمپرسور ضربه‌ای را ۴ در نظر بگیریم، مقدار برق مصرفی آن تقریباً برابر است با:

$$COP = \frac{Q_c}{W} \Rightarrow W = \frac{100 \text{ TR} \times \frac{3.5 \text{ kW}}{1 \text{ TR}}}{4} = 87.5 \text{ kW}$$

گزینه الف صحیح است.

#### ۴-۷ هواساز

هواساز (AHU)<sup>۱</sup> دستگاهی برای تأمین هوای مطبوع و سالم به منظور دستیابی به دما و رطوبت مناسب است. هواساز یکی از اصلی‌ترین دستگاه‌های تهویه مطبوع بوده که در مسیر چیلر و بویلر با کانال هوا قرار می‌گیرد.

#### ۴-۷-۱ اجزای هواساز

هواسازها عموماً دارای اجزایی نظیر بادزن (فن)، فیلتر، کویل‌های گرمایش و سرمایش، رطوبت زن، دمپر و تجهیزات کنترلی می‌باشد که همگی از اجزای اصلی یک هواساز به‌شمار می‌روند، در ادامه توضیحاتی در رابطه با نقش این تجهیزات در هواساز ارائه شده است:

(الف) کویل

<sup>۱</sup> Air Handling Unit