مفاهیم پایه نظام مهندسی مکانیک

مؤلف

دکتر سجاد امامی

مهندس فائزه کمندی

◂نام کتاب: مفاهیم پایه نظام مهندسی مکانیک
◂تألیف: سجاد امامی، فائزه کمندی
◂ناشر: خانه کتاب مهندسین
◂ویراستار و صفحه‌آرا: فائزه کمندی
◂طراح جلد: نیوشا محبعلی
◂نوبت چاپ: اول ۱۴۰۳
◂قطع: رحلی
◂تیراژ: ۱۰۰۰
◂شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۹۸۳۷۰-۸-۵

سرشناسه: امامی، سجاد، ۱۳۶۲
عنوان و تکرار پدیدآور: مفاهیم پایه نظام مهندسی مکانیک / سجاد امامی، فائزه کمندی.
مشخصات نشر: اردبیل: خانه‌ی کتاب مهندسین، ۱۴۰۳.
مشخصات ظاهری: ۶۷ص.:
شابک: ۷-۸۰-۷۳۲۷-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
موضوع: مهندسی مکانیک - راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع: Mechanical Engineering -- Study and teaching (Higher)
موضوع: مهندسی مکانیک -- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)
موضوع: Mechanical Engineering -- Examinations, questions, etc. (Higher)
موضوع: مهندسی مکانیک -- پرسش‌ها و پاسخ‌ها (عالی)
موضوع: Mechanical Engineering -- Questions and answers (Higher)
شناسه‌ی افزوده: کمندی، فائزه، ۱۳۷۵
رده بندی کنگره: ۱۳۹۵ ۴د۴ک/۱۴۵ TK
رده‌بندی دیویی: ۶۲۱/۳۰۷
شماره‌ی کتابشناسی ملی: ۴۵۴۰۵۲۸

کلیه حقوق قانونی و مادی و معنوی برای ناشر محفوظ است هیچ شخص حقیقی یا حقوقی حق تکثیر تمام یا قسمتی از این مجموعه را ندارد در صورت مشاهده تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

آدرس: تهران، بلوار آیت الله کاشانی به سمت فلکه دوم صادقیه، کنارگذر کاشانی، بین رامین شمالی و گلستان شمالی، مجموعه تجاری امید سنتر، طبقه اول
تلفن: ۹۰۰۰۶۰۲۰

فهرست مطالب

فهرست مطالب ۳

فصل اول: مفاهیم پایه و تبدیل واحدها ٦

۱-۱ انتقال حرارت از جدارهای سری ٦

۱-۲ سایکرومتری ۷

۱-۲-۱ نمودار سایکرومتریک ۸

۱-۲-۲ پارامترهای هوا ۱۰

فصل دوم: لوله‌کشی تأسیسات مکانیکی ۱٤

۲-۱ کلیات لوله‌کشی تأسیسات ۱٤

۲-۱-۱ مصالح لوله‌کشی ۱۴

۲-۲ لوله‌های فولادی در شفت تأسیساتی ۱۸

۲-۲-۱ فاصله لوله‌های فولادی بدون فلنج (M.D. 301-01-1): ۱۸

۲-۲-۲ فاصله لوله‌های فولادی فلنج دار (M.D. 301-01-2): ۲۰

۲-۲-۳ فاصله لوله‌های فولادی فلنج دار و بدون فلنج (M.D. 301-01-3): ۲۲

۲-۳ حلقه انبساط – قطعه انبساط ۲۳

۲-۳-۱ زانوی انبساط (L BEND) برای لوله فولادی (M.D. 301-03-2) ۲۳

۲-۳-۲ دو خم انبساط (Z BEND) برای لوله فولادی (M.D. 301-03-3) ۲۴

۲-۳-۳ حلقه انبساط (U BEND) برای لوله فولادی (M.D. 301-03-4) ۲۵

فصل سوم: پمپ و سیستم پمپاژ ۲۷

۳-۱ پمپ و انواع آن ۲۷

۳-۱-۱ انواع پمپ ۲۷

۳-۱-۲ مقدار گذر آب یا آبدهی یا دبی (Q) ۲۸

۳-۱-۳ اختلاف ارتفاع یا فشار یا هد پمپ (H) ۲۸

۳-۲ توان پمپ ۲۹

۳-۳ قوانین تشابه ۲۹

۳-۳-۱ فشار مثبت در مکش (NPSH) ۳۰

۳-۳-۲ پدیده‌ی کاویتاسیون ۳۱

۳-٤ نصب و راه‌اندازی پمپ ۳۲

۳-۴-۱ جزئیات نصب پمپ روی فوندانسیون (M.D. 315-01-3) ۳۲

فصل چهارم: حرارت مرکزی ۳۳
۴-۱ دیگ ۳۳
۴-۱-۱ دیگ بخار ۳۳
۴-۲ منبع انبساط ۳۵
۴-۲-۱ منبع انبساط باز ۳۵
۴-۲-۲ منبع انبساط بسته ۳۶
۴-۳ موتورخانه دیگ بخار ۳۶
۴-۳-۱ سیکل تولید بخار و کندانس ۳۶
۴-۳-۲ محاسبه میزان تولید بخار و کندانس ۳۷
۴-۳-۳ فضای موتورخانه دیگ بخار ۳۸

فصل پنجم: تبرید و سردخانه ۴۰
۵-۱ تبرید و اصول سیستم تبرید ۴۰
۵-۱-۱ تبرید و بار برودتی ۴۰
۵-۱-۲ عملکرد سیکل تبرید ۴۰
۵-۲ سایر اجزای سیکل تبرید ۴۲
۵-۳ موتورخانه تبرید ۴۳
۵-۳-۱ تعویض هوا (۱۴-۱۳-۵-۴) ۴۳

فصل ششم: تهویه مطبوع ۴۶
۶-۱ تامین و تعویض هوا ۴۶
۶-۱-۱ محاسبه‌ی دبی هوای تازه جهت تأمین و تعویض هوا ۴۶
۶-۱-۲ تعویض هوای طبیعی (۱۴-۴-۳) ۴۷
۶-۱-۳ تعویض هوای مکانیکی (۱۴-۴-۴) ۴۸
۶-۲ تأمین هوای احتراق ۵۱
۶-۲-۱ تأمین هوای احتراق از داخل ساختمان ۵۲
۶-۲-۲ تأمین هوای احتراق از خارج ساختمان ۵۳

فصل هفتم: تأسیسات بهداشتی ۵۶
۷-۱ مقدمه ۵۶
۷-۲ لوازم بهداشتی ۵۶
۷-۲-۱ جنس و ساخت ۵۷
۷-۲-۲ تعداد لوازم بهداشتی (۱۶-۲-۳-۱) ۵۸
۷-۲-۳ نصب لوازم بهداشتی (۱۶-۲-۴-۱) ۵۸

فصل هشتم: لوله‌کشی گاز طبیعی ۶۱
۸-۱ دودکش مشترک ۶۱
۸-۱-۱ تعیین قطر دودکش برای دو یا چند دستگاه گازسوز که در یک طبقه نصب شده‌اند ۶۱

ضرایب تبدیل واحد پارامترهای مختلف ۶۵

منابع ۶۷

mohammad-karimi.com

مقدمه

آزمون نظام مهندسی تأسیسات مکانیکی در سال‌های اخیر تبدیل به آزمونی چالشی با پرسش‌های مفهومی شده است که قبولی در آن، نیازمند مطالعه عمیق و جدی مباحث نظام مهندسی و نشریات، به ویژه مباحث ۱۴، ۱۶، ۱۷، جلد ششم نشریه ۱۲۸ و نشریه ۱۷۲، است، همچنین بسیاری از سوالاتی که در آزمون مطرح می‌شوند خارج از محدوده این مباحث و نشریات بوده که برای قبولی در آزمون باید تسلط کافی روی این مفاهیم نیز داشته باشید. کتاب پیش رو، چکیده‌ای از برخی مباحث و مفاهیم پایه و مهم مورد نیاز برای شرکت در آزمون نظام مهندسی می‌باشد، کتاب درس آزمون (جلد ۱ و ۲) و کتاب پلاس آمادگی آزمون نظام مهندسی که به تشریح کامل این مباحث و مفاهیم می‌پردازد، منبعی بی‌نظیر برای آمادگی آزمون نظام مهندسیِ تأسیسات مکانیکی است که با چند ویژگی استثنائی و منحصربه‌فرد زیر همراه می‌باشد:

- طبقه‌بندی تمامی پرسش‌ها از سال ۱۳۷۷ تا آخرین دوره
- دسته‌بندی پرسش‌ها به سه دسته نظارت، طراحی و مشترک
- به‌روزرسانی مطالب بر اساس آخرین نسخه مبحث ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۱۹
- ارائه ده‌ها نکته طلایی و اختصاصی

سعی خواهد شد در هر ماه، در صورت نیاز به اصلاح کتاب، فایل اصلاح شده‌ی آن در لینک زیر ارائه شود. پس، سعی کنید اول هر ماه به لینک زیر مراجعه کرده و آخرین نسخه‌ی اصلاحیه‌ی کتاب را دریافت کنید:

https://www. mohammad-karimi.com/eslah/

با تشکر ویژه از جناب آقای مهندس محمد کریمی که برادرانه ما را در تألیف این کتاب یاری کردند، همچنین از مدیریت و کارکنان محترم انتشارات خانه کتاب مهندسین برای چاپ و نشر این کتاب، کمال تقدیر و تشکر را داریم. از شما خواننده‌ی گرامی نیز خواهشمندیم هر گونه انتقاد، پیشنهاد و ایراد در مورد این کتاب را از طریق آدرس زیر اطلاع رسانی فرمائید.

info@mohammad-karimi.com

تقدیم به مهندسانی که به‌واسطه‌ی زحمتی که می‌کشند، همیشه خسته‌اند.

فصل اول

مفاهیم پایه و تبدیل واحدها

۱-۱ انتقال حرارت از جدارهای سری

اگر حرارت به صورت خطی و از جدارهایی از جنس‌های متفاوت (ضریب انتقال حرارت متفاوت) با ضخامت‌های متفاوت که به صورت سری کنار یکدیگر قرارگرفته‌اند، انتقال یابد، ضریب هدایت حرارتی کل به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (سطوح انتقال حرارت جدارها با هم برابرند):

$$U_{total}=\frac{1}{R_{total}} \quad , \quad R_{total}=\sum\frac{t}{k}=\frac{t_1}{k_1}+\frac{t_2}{k_2}+..... \qquad (۱-۱)$$

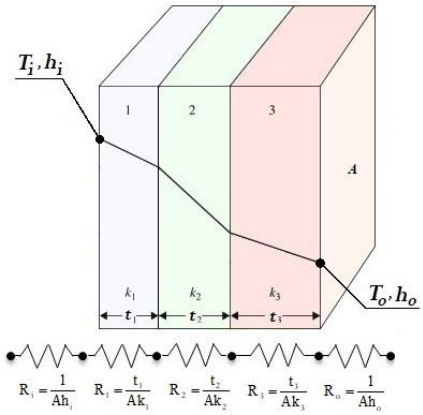
نرخ انتقال حرارت در این حالت برابر است با:

$$Q=\frac{1}{R_{total}}A(T_1-T_2)=U_{total}\,A\,\Delta T \quad : \quad T_1>T_2 \qquad (۱-۲)$$

در این رابطه، T_1 دمای سطح جدار داخلی و T_2 دمای سطح جدار خارجی، A سطح انتقال حرارت و U_{total} ضریب هدایت حرارتی کل می‌باشد.

اگر در معادله بالا انتقال حرارت (به‌صورت جابه‌جایی) از لایه‌های هوا را نیز در نظر بگیریم، معادله به‌صورت زیر بازنویسی می‌شود (h_i ضریب انتقال حرارت هوای درونی و h_o ضریب انتقال حرارت هوای بیرونی می‌باشد):

$$R_{total}=R_i+\sum_{n=1}^{n=m}R_n+R_o=\frac{1}{Ah_i}+\sum_{n=1}^{n=m}\frac{t_n}{Ak_n}+\frac{1}{Ah_o} \qquad (۱-۳)$$



شکل (۱-۱): انتقال حرارت از جدارهای سری با احتساب لایه‌های هوای داخل و خارج

نرخ انتقال حرارت در این حالت برابر است با:

$$Q=\frac{1}{R_{total}}A(T_i-T_o)=U_{total}\,A(T_i-T_o) \quad : \quad T_i>T_o \qquad (۱-۴)$$

در این رابطه، T_i دمای هوای داخل و T_o دمای هوای خارج، A سطح انتقال حرارت و U_{total} ضریب هدایت حرارتی کل می‌باشد.

پرسش ۱-۱) مشترک ضریب انتقال حرارت کلی (U) دیوارهای خارجی یک ساختمان ۲/۳ W/m^2K می‌باشد. در نظر است با اضافه کردن عایقی با ضریب هدایت حرارتی ۰/۰۳۵W/mK، مقدار ضریب انتقال حرارت کلی این دیوارها به ۰/۵ W/m^2K برسد. ضخامت عایق مورد نیاز برای اضافه کردن به این دیوار تقریباً چند سانتی‌متر می‌باشد؟ (مهر ۹۸ (طراحی) «۷»)

الف) ۵/۵ ب) ۸/۵ ج) ۳/۵ د) ٤/۵

پاسخ) با توجه به رابطه‌ی ضریب انتقال حرارت کلی (U) و مقاومت حرارتی داریم:

$$U_1=\frac{1}{\frac{1}{h_{in}}+\frac{1}{h_{out}}} \Rightarrow 2.3=\frac{1}{\frac{1}{h_{in}}+\frac{1}{h_{out}}} \Rightarrow \frac{1}{h_{in}}+\frac{1}{h_{out}}=\frac{1}{2.3}\frac{m^2K}{W}$$

$$U_2=\frac{1}{\frac{1}{h_{in}}+R+\frac{1}{h_{out}}} \Rightarrow 0.5=\frac{1}{\frac{1}{h_{in}}+\frac{t}{k}+\frac{1}{h_{out}}}=\frac{1}{\frac{1}{2.3}+\frac{t}{0.035}} \Rightarrow t=0.0547\,m=5.47\,cm$$

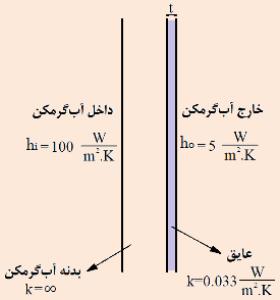
گزینه **الف** صحیح است.

نکته ۱-۱) آب گرم‌کن باید با عایق گرمایی پوشانده شود، ضخامت عایق باید به اندازه‌ای باشد که تلفات انرژی گرمایی از سطوح خارجی آبگرم کن از ۴۷ وات بر مترمربع (۱۵ بی‌تی‌یو در ساعت بر فوت مربع) بیشتر نشود. در محاسبهٔ اتلاف انرژی، دمای محیط محل نصب باید حداکثر ۱۸ درجهٔ سلسیوس در نظر گرفته شود (۱۴-۷-۲-۶).

پرسش ۱-۲) مشترک مخزن یک آبگرمکن دیواری به شکل مکعب مستطیل به ابعاد ۳۰×۲۰×۶۰ سانتی‌مترمکعب است. برای عایقکاری این مخزن از عایقی با ضریب هدایت حرارتی $K=۰/۳۳\frac{W}{m.K}$ استفاده شده است. هدایت حرارتی بدنه فلزی بی نهایت فرض شود. همچنین ضریب انتقال حرارت همرفتی داخل و خارج آبگرمکن به ترتیب $۱۰۰\frac{W}{m^2.K}$ و $۵\frac{W}{m^2.K}$ در نظر گرفته شود. ضخامت عایق حرارتی حداقل باید چند اینچ باشد؟ (دمای آب داخل مخزن ۸۰ درجه سلسیوس و دمای محیط برابر حداقل دمای مجاز محل قرارگیری آبگرمکن فرض شود.) (شهریور ۱٤۰۱ (طراحی) «۱»)

الف) ۱ ب) ۱/۵ ج) ۰/۵ د) ۲

پاسخ) طبق آیین‌نامه ۱٤-۷-۲-۶ صفحه ۸۳ مبحث ۱٤، داریم:



$$U=\frac{1}{R_{total}}=\frac{1}{\frac{1}{5}+\frac{x}{k}+\frac{1}{\infty}+\frac{1}{100}} \quad , \quad Q=U.A.\Delta T \Rightarrow \frac{Q}{A}=U.\Delta T$$

$$47=\frac{1}{\frac{1}{5}+\frac{x}{k}+\frac{1}{100}}\times(80-18) \Rightarrow \frac{x}{k}=1.109 \Rightarrow x=1.109\times0.033=0.0366\,m\times\frac{39.3in}{1m}=1.44\,in$$

گزینه **ب** صحیح است.

۱-۲ سایکرومتری[۱]

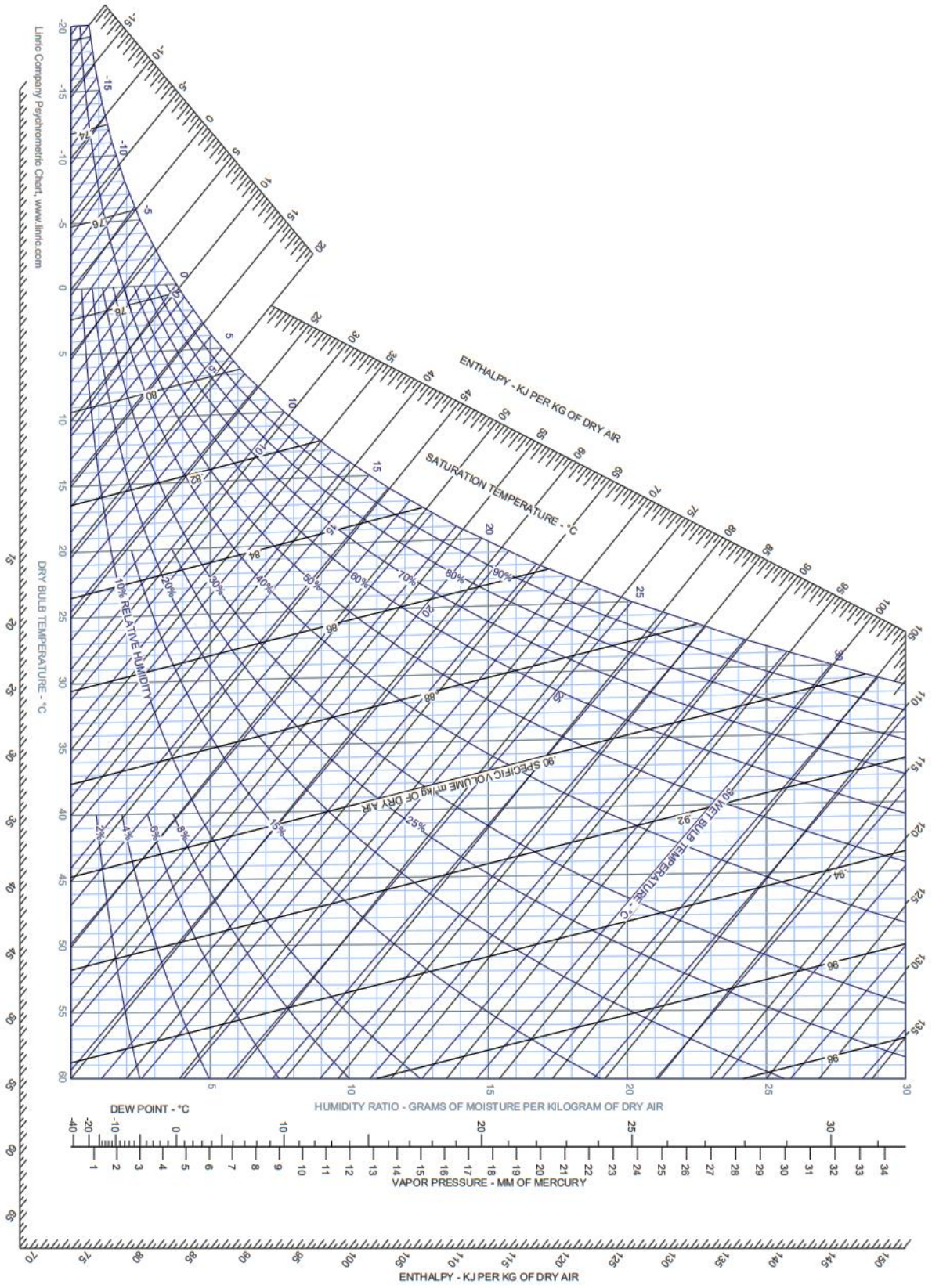
علم سایکرومتری یا "رطوبت سنجی" علمی است که به بررسی شرایط هوا پرداخته و با استفاده از آن می‌توان دما و رطوبت هوا را بدون نیاز به آزمایش تجربی، اندازه‌گیری و کنترل کرد و شرایط مناسبی را جهت آسایش افراد ایجاد نمود.

[۱] Psychrometry

mohammad-karimi.com

۱-۲-۱ نمودار سایکرومتریک[۱]

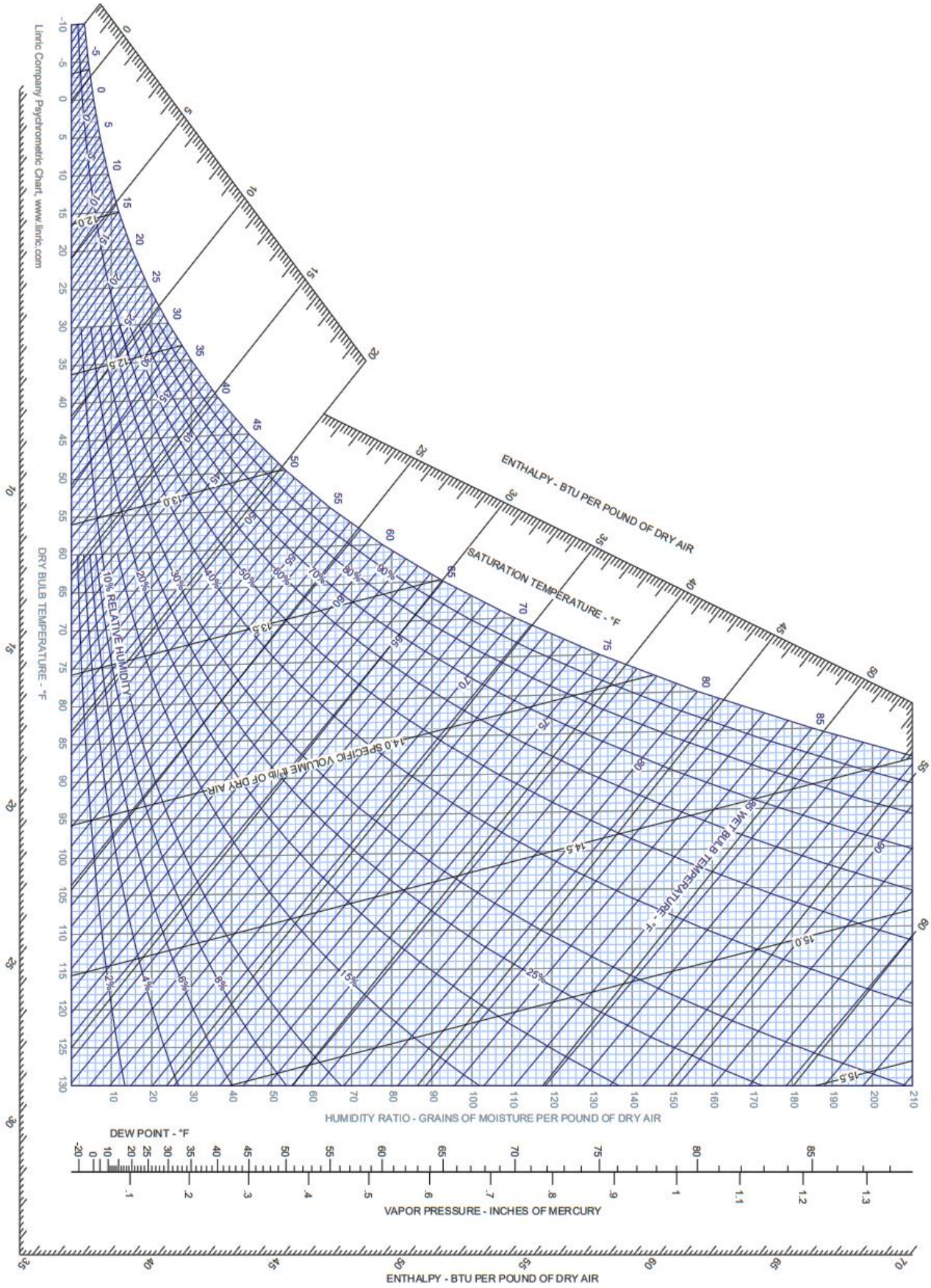
نمودار سایکرومتریک یا نمودار رطوبت سنجی، مجموعه‌ای از چند نمودار است که بیانگر پارامترهای مختلف هوا از قبیل دمای خشک، دمای مرطوب، رطوبت نسبی، رطوبت مطلق، دمای شبنم و آنتالپی می‌باشد بنابراین با داشتن دو پارامتر می‌توان سایر پارامترها را از روی نمودار بدست آورد. در شکل زیر نمودار سایکرومتریک در سیستم SI و سیستم IP نشان داده شده است:



شکل (۱-۲): نمودار سایکرومتریک در سیستم SI

[۱] Psychrometric charts

mohammad-karimi.com



شکل (۱-۳): نمودار سایکرومتریک در سیستم IP

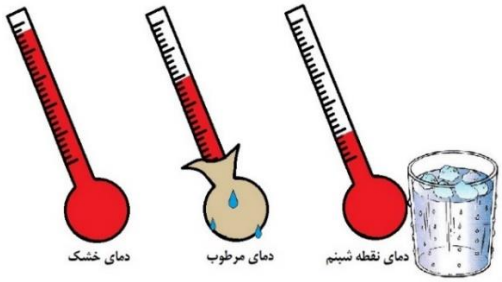
mohammad-karimi.com

۱-۲-۲ پارامترهای هوا

دمای خشک (T_{db})[۱]: دمای هوا در حالت عادی است دماسنج نشان می‌دهد.

دمای مرطوب (T_{wb})[۲]: دمای بخار آب موجود در هوا می‌باشد، در حقیقت دمای مرطوب پایین‌ترین دمایی است که به‌واسطه‌ی تبخیر آب می‌توان به آن رسید، اگر یک پارچه مرطوب را دور دماسنج بپیچیم، دمای مرطوب هوا را نشان می‌دهد.

دمای نقطه شبنم (T_{dp})[۳]: در یک فشار مشخص، به دمایی که در آن بخار آب موجود در هوا شروع به تقطیر شده می‌کند، دمای شبنم می‌گویند در واقع در این دما هوا از بخار آب اشباع شده و رطوبت نسبی آن صد در صد می‌شود.



شکل (۱-٤): اندازه‌گیری دمای خشک، مرطوب و نقطه شبنم هوا

نکته ۱-۲) از آنجایی‌که چگالی نسبت جرم به حجم می‌باشد، با افزایش دمای خشک هوا، هوا گرم‌تر شده و جنبش مولکول‌های هوای بیشتر می‌شود در نتیجه با ایجاد یک اثر انبساطی و اشغال حجمی بیشتر منجر به کاهش چگالی هوا می‌شود.

پرسش ۱-۳) مشترک با افزایش دمای خشک، چگالی هوا چه تغییری می‌کند؟ (اسفند ۱٤۰۲ (نظارت) «۳۳»)

الف) زیاد می‌شود. ب) کم می‌شود.

ج) ثابت می‌ماند. د) بسته به محتوای رطوبت، می‌تواند زیاد یا کم شود یا ثابت بماند.

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

رطوبت نسبی (RH)[٤]: نسبت وزن بخار آب موجود در هوا در یک حجم و درجه حرارت مشخص به حداکثر مقدار بخار آبی که آن حجم از هوا در همان درجه حرارت می‌تواند داشته باشد.

$$RH = \frac{m_v}{m_s} = \frac{P_v}{P_s} \qquad (۵-۱)$$

در رابطه بالا، m_v وزن بخار آب موجود در هوا، m_s وزن بخار آب موجود در هوا در حالت اشباع، P_v فشار جزئی بخار و P_s فشار جزئی بخار در حالت اشباع، می‌باشد همچنین رطوبت نسبی با درصد بیان می‌شود.

پرسش ۱-٤) مشترک در محلی که درجه حرارت خشک آن ۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار جزئی بخار آن ۷۰۲ پاسکال می‌باشد رطوبت نسبی چند درصد است؟ (فشار بخار اشباع در ۲۰ درجه سانتیگراد برابر ۲۳٤۰ پاسکال می‌باشد). (بهمن ۸۳ «٤۲»)

الف) ۱۵ ب) ۲۵ ج) ۳۰ د) ۳۵

پاسخ) مطابق رابطه رطوبت نسبی داریم:

$$RH = \frac{P_v}{P_s} = \frac{702}{2340} = \%30$$

گزینه **ج** صحیح است.

نکته ۱-۳) همواره دمای خشک از دمای تر و دمای تر از دمای نقطه شبنم بیش‌تر است مگر در حالت اشباع (رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد) که این سه دما با هم برابرند.

پرسش ۱-۵) مشترک در چه رطوبت نسبی دمای خشک و مرطوب با هم برابرند؟ (بهمن ۸۳ «۵۶»)

الف) صفر ب) ۵۰٪ ج) ۱۰۰٪ د) هیچ کدام

---

[۱] Dry Bulb Temperature

[۲] Wet Bulb Temperature

[۳] Dew Point Temperature

[٤] Relative Humidity

mohammad-karimi.com

پاسخ) در رطوبت نسبی ٪۱۰۰ ، دمای مرطوب برابر با دمای خشک است. گزینه **ج** صحیح است.

پرسش ۱-۶) مشترک در دمای $t=۲۰^{\circ}C$ چگالی بخار آب اشباع شده حدوداً $۲\times۱۰^{-۵}\,gr/cm^{۳}$ است. در شرایط فوق حداکثر مقدار بخار آب اشباع شده در اطاقی بسته و غیر قابل نفوذ به مساحت $A=۱۲۰m^{۲}$ و ارتفاع $h=۳m$ برابر است با: (خرداد ۸۹ «۶۰»)

الف) ۰/۷ KG ب) ۰/۷۲ KG ج) ۰/۷۳ KG د) ۰/۷٤ KG

پاسخ) مقدار بخار آب اشباع شده در اطاقی بسته برابر با حاصلضرب حجم اتاق در چگالی بخار آب اشباع در دمای اتاق می‌باشد:

$$\rho = 2\times10^{-5}\frac{gr}{cm^3}\times\frac{1kg}{1000\,gr}\times\frac{1000000\,cm^3}{1m^3} = 2\times10^{-2}\frac{kg}{m^3}$$

$$\begin{cases} A = 12\ m^2 \\ h = 3\ m \end{cases} \Rightarrow \quad V = 12\times3 = 36\ m^3$$

$$m = \rho\times V = 2\times10^{-2}\times36 = 0.72\ kg$$

گزینه **ب** صحیح است.

رطوبت مطلق: مقدار وزن بخار آب موجود در واحد حجم هوا.

رطوبت مخصوص یا نسبت رطوبت (w)[۱]: نسبت جرم بخار آب موجود در یک واحد جرم هوا.

$$W = \frac{m_v}{m_a} = 0.622\frac{P_v}{P_a} \qquad (۶-۱)$$

در رابطه بالا، m_a وزن مقدار مشخصی از هوا و m_v وزن بخار آب موجود در همان مقدار هواست همچنین P_v فشار جزئی بخار موجود در هوا و P_a فشار هواست.

پرسش ۱-۷) مشترک رطوبت مطلق هوا برابر است با: (آذر ۸٤ «٤۳»)

الف) وزن بخار آب در واحد وزن هوا ب) رطوبت نسبی هوا در فشار مطلق هوا

ج) وزن بخار آب موجود در واحد حجم هوا د) هیچ کدام

پاسخ) طبق تعریف رطوبت مطلق، گزینه **ج** صحیح است.

نکته ۱-٤) در نمودار سایکرومتریک، گاهی رطوبت مخصوص برحسب گرین بر پوند هوای خشک بیان می‌شود که برای تبدیل آن به پوند بر پوند هوای خشک داریم:

$$W\left(\frac{grain}{lb_{dry\,air}}\right)\times\frac{1}{7000} = W\left(\frac{lb_{steam}}{lb_{dry\,air}}\right) \qquad (۷-۱)$$

نکته ۱-۵) نسبت رطوبت تحت تأثیر تغییرات فصلی است در حالی که رطوبت نسبی تحت تأثیر موقعیت جغرافیایی و دما است.

آنتالپی (h)[۲]: کمیتی مقداری است که انرژی حرارتی کل یک سیستم را نشان می‌دهد و برابر با مجموع انرژی درونی سیستم (U) و حاصلضرب فشار (P) در حجم (V) آن می‌باشد.

$$h = u + pv \qquad (۸-۱)$$

واحد آنتالپی در سیستم SI، کیلوژول بر کیلوگرم هوای خشک و در سیستم IP، بی‌تی‌یو بر پوند هوای خشک است.

حجم مخصوص (v)[۳]: حجم اشغال شده به ازای واحد جرم هوا در دما و فشار مشخص که واحد آن در سیستم SI، مترمکعب بر کیلوگرم هوای خشک و در سیستم IP، فوت مکعب بر پوند هوای خشک است.

شکل زیر خطوط مربوط به پارامترهای هوا را در نمودار سایکرومتریک نشان می‌دهد:

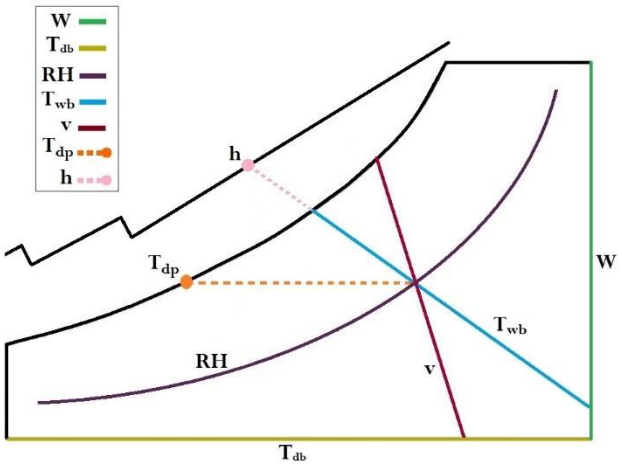
---

[۱] Specific Humidity

[۲] Enthalpy

[۳] Specific Volume

mohammad-karimi.com

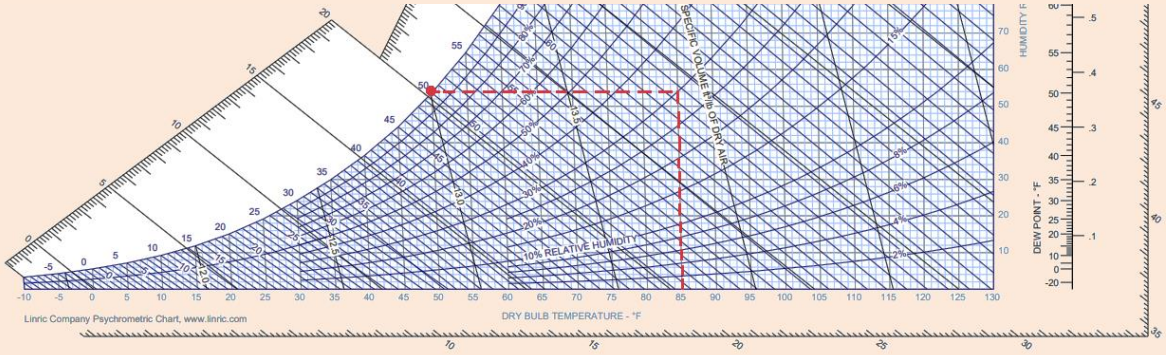


شکل (۱-۵): خطوط مربوط به پارامترهای مختلف هوا در نمودار سایکرومتریک

پرسش ۱-۸) مشترک در شرایط استاندارد، دمای نقطه شبنم هوایی با دمای حباب خشک ۸۵ درجه فارنهایت و رطوبت نسبی ۳۰ درصد تقریباً چند درجه فارنهایت است؟ (مهر ۹۹ (طراحی) «۳۴»)

الف) ۴۵ ب) ۵۰ ج) ۴۰ د) ۵۵

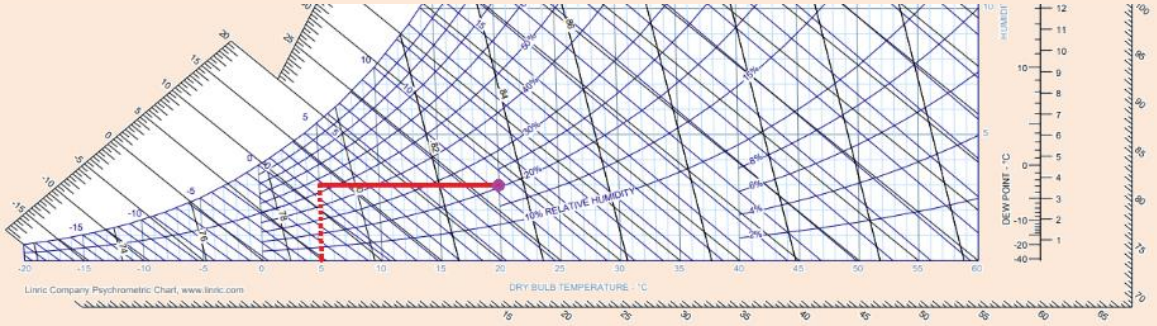
پاسخ) از روی نمودار سایرومتری دمای نقطه شبنم هوایی با دمای حباب خشک ۸۵ درجه فارنهایت و رطوبت نسبی ۳۰ درصد تقریباً ۵۰ درجه فارنهایت می‌باشد. گزینه **ب** صحیح است.



پرسش ۱-۹) مشترک هوایی با دمای خشک ۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۵۵ درصد، بدون تغییر مقدار رطوبت (رطوبت مطلق) تا دمای ۲۰ درجه سلسیوس گرم می‌شود. رطوبت نسبی هوا پس از گرم شدن تقریباً چه مقدار خواهد بود؟ (ارتفاع محل هم سطح دریاست) (شهریور ۹۵ «۷»)

الف) ۲۵ درصد ب) ۱۵ درصد ج) ۱۰ درصد د) ۲۰ درصد

پاسخ) همانطور که از صورت سوال مشخص است، چون مقدار رطوبت تغییری نکرده است، پس این فرایند، فرایند گرمایش محسوس است. از نمودار سایکرومتریک داریم:



گزینه **د** صحیح است.

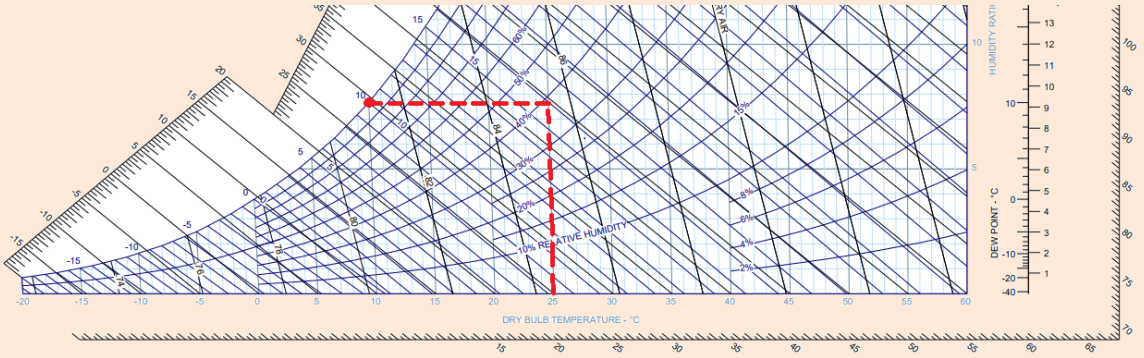
این پرسش، مشابه پرسش «۱۴» آزمون "آبان" سال ۹۳ می‌باشد.

mohammad-karimi.com

پرسش ۱-۱۰) مشترک نقطه شبنم هوا در دمای خشک ۲۵ درجه سلسیوس و دمای مرطوب ۱۶ درجه سلسیوس، چه مقدار است؟ (در سطح دریا) (خرداد ۹۳ «۳۵»)

الف) ۵ درجه سلسیوس　　ب) ۱۵ درجه سلسیوس　　ج) ۲۰ درجه سلسیوس　　د) ۱۰ درجه سلسیوس

پاسخ) طبق نمودار سایکرومتریک (SI) داریم:



گزینه **د** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۱۹» آزمون "اسفند" سال ۸۹ می‌باشد.

mohammad-karimi.com

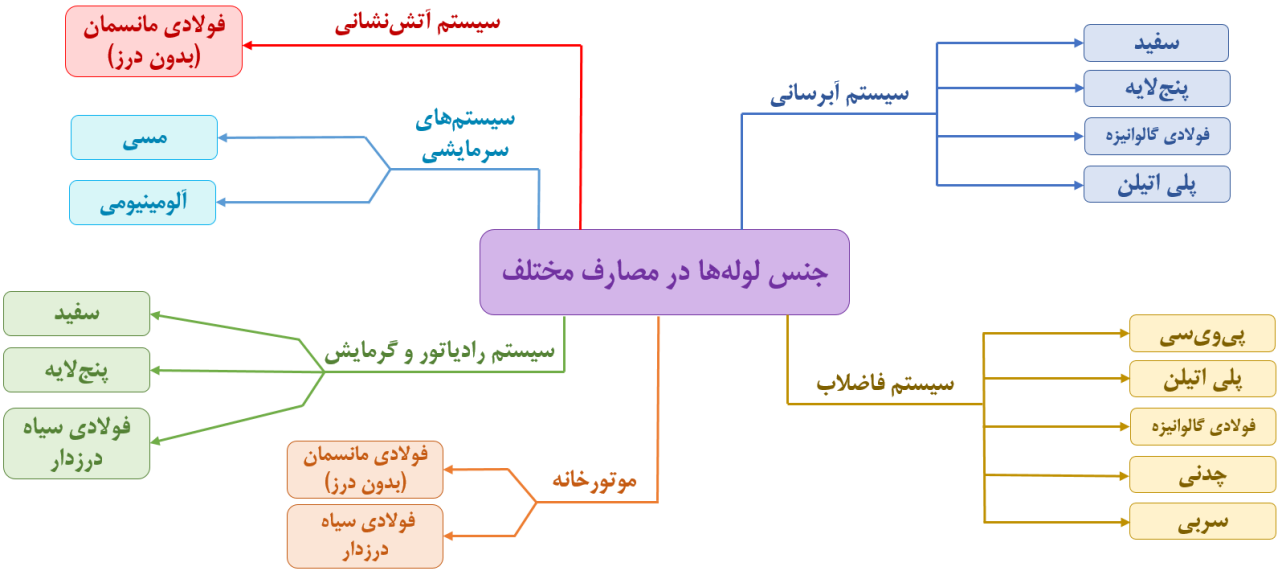
فصل دوم

لوله‌کشی تأسیسات مکانیکی

۲-۱ کلیات لوله‌کشی تأسیسات

لوله‌کشی تأسیسات ساختمان شامل لوله‌کشی آب گرم‌کننده، لوله‌کشی بخار، لوله‌کشی چگالیده بخار، لوله‌کشی آب سردکننده و لوله‌کشی آب خنک‌کننده کندانسور می‌شود.

در طراحی این لوله‌ها باید اندازه‌گذاری‌ها برای تأمین جریان سیال به مقدار لازم و با سرعت مناسب در هر سیستم کافی بوده و موجب تولید صدای آزاردهنده و سایش زود هنگام لوله‌ها نشود، همچنین کاهش سرعت جریان سیال در لوله‌ها، باید تا حدی باشد که افزایش قطر لوله‌ها موجب افزایش غیرقابل توجیه هزینه لوله‌کشی نگردد.



شکل (۲-۱): کاربرد انواع لوله در مصارف مختلف لوله‌کشی ساختمان

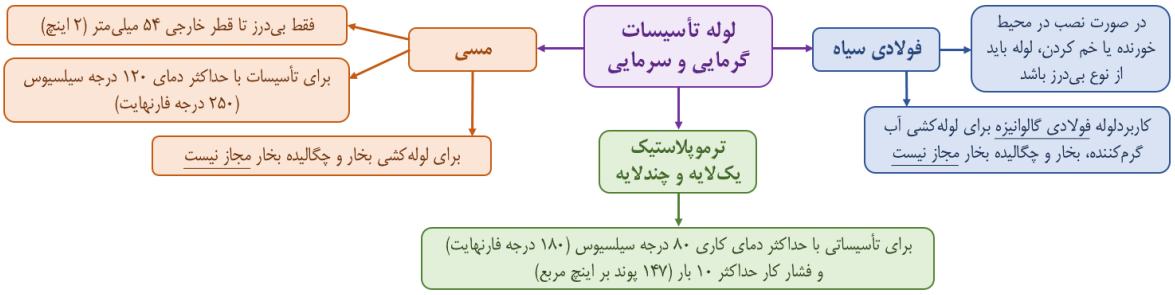
۲-۱-۱ مصالح لوله‌کشی

لوله و دیگر اجزای لوله‌کشی باید برای شرایط کار سیستم شامل دمای کار طراحی، فشار کار طراحی و نوع سیال داخل لوله، مناسب باشد.

انتخاب لوله (۱۴-۱۰-۳-۳):

لوله‌های مورد استفاده در تأسیسات گرمایی و سرمایی، باید از نوع فولادی‌سیاه، مسی و یا ترموپلاستیک، انتخاب شود (بند الف).

شکل (۲-۲): انواع لوله در لوله‌کشی تأسیسات مکانیکی



شکل (۲-۳): نمودار انتخاب لوله برای تأسیسات مکانیکی

پرسش ۲-۱) نظارت-اجرا استفاده از کدام گزینه برای لوله‌کشی آب کندانس بخار مجاز است؟ (مرداد ۱۴۰۰ (اجرا) «۳۸»)

الف) فولادی سیاه و مسی　　ب) فولادی سیاه و فولادی گالوانیزه

ج) فولادی سیاه　　د) فولادی سیاه، فولادی گالوانیزه و مسی

پاسخ) طبق بند «پ-۱» و «ت-۳» آیین‌نامه ۱۴-۱۰-۳-۳ صفحه ۱۲۰ مبحث ۱۴، گزینه **ج** صحیح است.

پرسش ۲-۲) نظارت-اجرا در لوله‌کشی آب گرم کننده، در تأسیسات گرمایی ساختمان، می‌توان از لوله‌های مسی استفاده کرد. محدودیت‌های کاربرد لوله‌ی مسی در لوله‌کشی آب گرم‌کننده چیست؟ (شهریور ۹۱ «۱۹»)

الف)- لوله‌ی مسی باید بی درز باشد.

- حداکثر قطر خارجی لوله ۶۴ میلی‌متر باشد.

- حداکثر دمای کار سیستم ۱۰۰ درجه سلسیوس باشد.

ب) - لوله مسی باید بی درز باشد.

- حداکثر قطر خارجی لوله ۵۴ میلی‌متر باشد.

- حداکثر دمای کار سیستم ۱۲۰ درجه سلسیوس باشد.

ج) - لوله‌ی مسی باید درز جوش باشد.

- حداکثر قطر خارجی لوله ۷۰ میلی‌متر باشد.

- حداکثر دمای کار سیستم ۱۰۰ درجه‌ی سلسیوس باشد.

د) - لوله‌ی مسی باید درز جوش باشد.

- حداکثر قطر خارجی لوله ۶۴ میلی‌متر باشد.

- حداکثر دمای کار سیستم ۱۲۰ درجه‌ی سلسیوس باشد.

پاسخ) طبق بند «ت» آیین‌نامه ۱۴-۱۰-۳-۳ صفحه ۱۲۰ مبحث ۱۴، گزینه **ب** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۴۶» آزمون "خرداد" سال ۸۹ می‌باشد.

پرسش ۲-۳) نظارت-اجرا حداکثر دمای کار مجاز تاسیسات گرمایشی برای استفاده از لوله‌های تک لایه PEX چند درجه سلسیوس است؟ (اسفند ۱۴۰۲ (نظارت) «۱۵»)

الف) ۱۰۰　　ب) ۷۰　　ج) ۸۰　　د) ۹۰

پاسخ) طبق بند «ث-۱» آیین‌نامه ۱۴-۱۰-۳-۳ صفحه ۱۲۰ مبحث ۱۴، گزینه **ج** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۲۹» آزمون "اجرا اسفند" سال ۱۴۰۲ می‌باشد.

فیتینگ (Fitting):

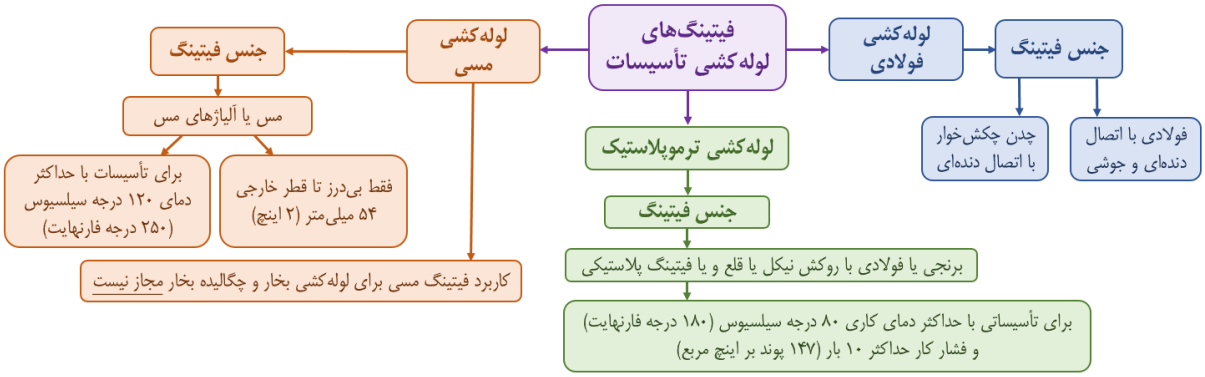
در سیستم لوله‌کشی به اتصالاتی که جهت نصب لوله، تغییر قطر و تغییر مسیر آن، بستن انتهای خطوط لوله‌کشی، انشعاب‌گیری از لوله‌ها و غیره، استفاده می‌شود فیتینگ یا کانکشن می‌گویند.

انواع فیتینگ عبارتند از: زانویی، سه‌راهی، چهارراهی، کاهنده‌های متقارن و نامتقارن، کوپلینگ، مهره ماسوره و .... .

mohammad-karimi.com

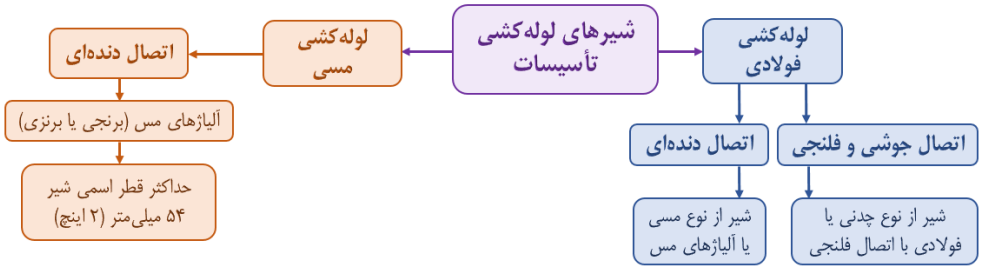
شکل (۲-٤): انواع فیتینگ

در شکل زیر قوانین مربوط به انتخاب فیتینگ‌های لوله‌کشی تأسیسات مکانیکی به‌صورت خلاصه آمده است:



شکل (۲-۵): نمودار انتخاب فیتینگ برای لوله‌کشی تأسیسات مکانیکی

در شکل زیر قوانین مربوط به انتخاب شیرهای لوله‌کشی تأسیسات مکانیکی به‌صورت خلاصه آمده است:



شکل (۲-٦): نمودار انتخاب شیر برای لوله‌کشی تأسیسات مکانیکی

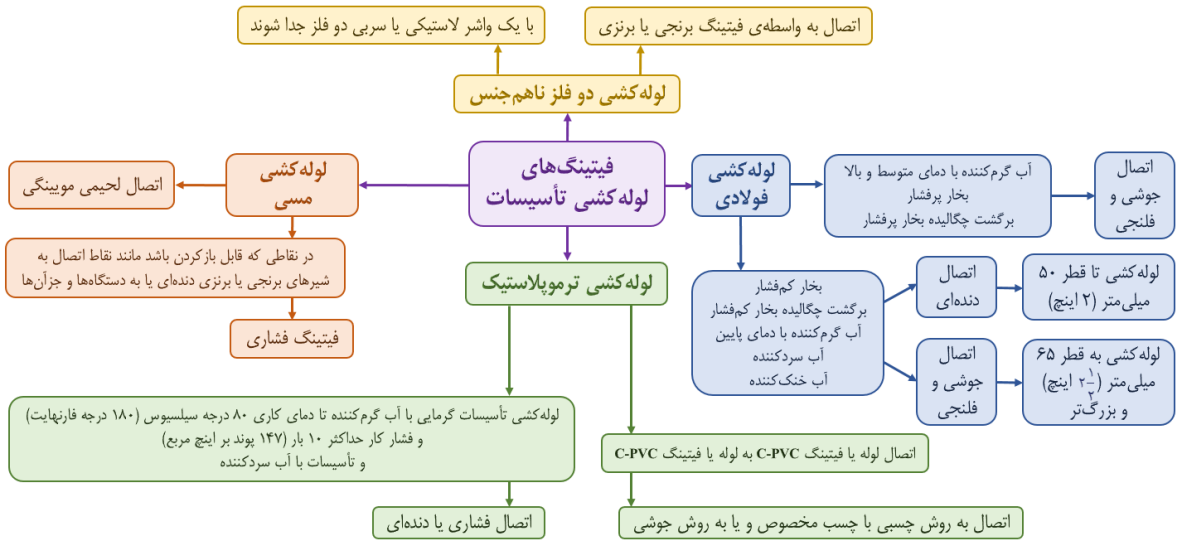
پرسش ۲-٤) نظارت – اجرا در لوله‌کشی مسی حداکثر قطر نامی شیر باید چقدر باشد؟ (اسفند ۹۱ «۱۳»)

الف) ۲۰ میلی‌متر ب) ۲۵ میلی‌متر ج) ۳۲ میلی‌متر د) ٥٤ میلی‌متر

پاسخ) طبق بند «الف-۳» آیین‌نامه ۱٤-۱۰-۳-۶ صفحه ۱۲۳ مبحث ۱٤، در این نوع لوله‌کشی، حداکثر قطر اسمی شیر باید ٥٤ میلی‌متر (۲ اینچ) باشد. گزینه **د** صحیح است.

در شکل زیر قوانین مربوط به اتصالات لوله‌کشی تأسیسات مکانیکی به‌صورت خلاصه آمده است:

mohammad-karimi.com



شکل (۲-۷): نمودار خلاصه قوانین مربوط به اتصالات، در لوله‌کشی تأسیسات مکانیکی

پرسش ۲-۵) نظارت-اجرا در تأسیسات لوله‌کشی فولادی آب گرم‌کننده با دمای متوسط و دمای بالا: (اسفند ۹۵ (نظارت) «۲»)

الف) همه اتصال‌ها (لوله به لوله یا لوله به شیر آلات) باید از نوع جوشی یا فلنجی و اتصال به دستگاه‌ها باید از نوع فلنجی باشد.

ب) همه فیتینگ‌ها در تأسیسات با دمای بالا باید دارای ضخامتی معادل رده ۸۰ و از نوع جوشی باشد.

ج) اتصال‌ها تا اندازه ۵۰ میلی‌متر و فقط برای لوله‌های رده ۸۰ می‌توانند دنده‌ای و اتصال به دستگاه‌ها باید با مهره ماسوره باشد.

د) در تأسیسات با دمای بالا، اتصالات جوشی یا فلنجی و در دمای متوسط دنده‌ای است.

پاسخ) طبق بند «الف-٤» آیین‌نامه ١٤-١٠-٣-٧ صفحه ١٢٥ مبحث ١٤، در لوله‌کشی‌های فولادی آب گرم‌کننده با دمای متوسط و بالا همه‌ی اتصال‌ها باید از نوع جوشی و فلنجی باشد. گزینه **الف** صحیح است.

پرسش ۲-۶) نظارت-اجرا در یک ساختمان لوله‌کشی فولادی آب گرم‌کننده بین دیگ آب گرم و رادیاتورها یا فن کویل‌ها باید طراحی و اجرا شود. در این لوله‌کشی، اتصال لوله به لوله، لوله به فیتینگ یا فیتینگ به فیتینگ چگونه باید انجام شود؟ (آذر ۹۰ «٤٨»)

الف) در قطرهای نامی تا ١٠٠ میلی‌متر (٤ اینچ) اتصال باید از نوع دنده‌ای باشد و از قطر نامی ١٢٥ میلی‌متر (٥ اینچ) و بزرگ‌تر از آن اتصال باید از نوع جوشی و فلنجی باشد.

ب) در قطرهای نامی تا ٥٠ میلی متر (٢ اینچ) اتصال باید از نوع دنده ای باشد و از قطر نامی ٦٥ میلی متر ($2\frac{1}{2}$ اینچ) و بزرگ‌تر از آن اتصال باید از نوع جوشی و فلنجی باشد.

ج) در قطرهای نامی تا ٤٠ میلی‌متر ($1\frac{1}{2}$ اینچ) اتصال باید از نوع دنده‌ای باشد و از قطر نامی ٥٠ میلی‌متر (٢ اینچ) و بزرگ‌تر از آن اتصال باید از نوع جوشی و فلنجی باشد.

د) در لوله‌کشی آب گرم‌کننده نوع اتصال به دمای آب گرم‌کننده بستگی دارد.

پاسخ) از آنجایی که برای رادیاتور یا فن‌کویل از آب گرم‌کننده با دمای پایین استفاده می‌شود، طبق بند «الف-٣» آیین‌نامه ١٤-١٠-٣-٧ صفحه ١٢٤ مبحث ١٤، گزینه **ب** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۴۷» آزمون "تیر" سال ۷۸ می‌باشد.

نکته ۲-۱) در اتصال اجزای لوله‌کشی فولادی گالوانیزه در قطرهای نامی ۶۵ و ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر می‌توان از اتصال دنده‌ای یا فلنجی استفاده کرد. (۱۶-۳-۴-۸)

پرسش ۲-۷) نظارت-اجرا در صورت عدم استفاده از فلنج، اتصال لوله‌ها فولادی سیاه و اتصال لوله‌های فولادی گالوانیزه با قطر نامی $2\frac{1}{2}$ اینچ باید به چه صورت باشد؟ (مرداد ۱۴۰۰ (نظارت) «۱»)

الف) در لوله‌های فولادی سیاه به صورت جوشی و در لوله‌های فولادی گالوانیزه به صورت جوشی یا دنده‌ای

ب) در لوله‌های فولادی سیاه و گالوانیزه هر دو به صورت جوشی

mohammad-karimi.com

ج) در لوله‌های فولادی سیاه به صورت جوشی یا دنده‌ای و در لوله‌های فولادی گالوانیزه به صورت دنده‌ای

د) در لوله‌های فولادی سیاه به صورت جوشی و در لوله‌های فولادی گالوانیزه به صورت دنده‌ای

پاسخ) طبق بند «الف-۳» آیین‌نامه ۱۴-۱۰-۳-۷ صفحه ۱۲۴ مبحث ۱۴، تا قطر اسمی ۵۰ میلی‌متر (۲ اینچ)، اتصال باید از نوع دنده ای و در لوله‌کشی به قطر اسمی ۶۵ میلی‌متر ($2\frac{1}{2}$ اینچ) و بزرگتر، اتصال باید از نوع جوشی و فلنجی باشد.

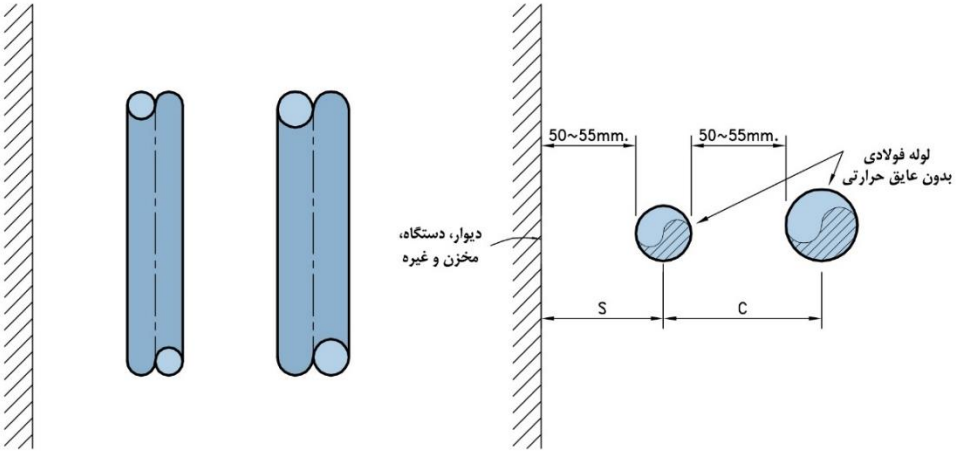
طبق بند «ب-۲» آیین‌نامه ۱۶-۳-۴-۸ صفحه ۵۶ مبحث ۱۶، در اتصال اجزای لوله‌کشی فولادی گالوانیزه در قطرهای نامی ۶۵ و ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر می‌توان از اتصال دنده‌ای یا فلنجی استفاده کرد. گزینه **د** صحیح است.

(با توجه به مطالب گزینه "الف" پاسخ کامل تری به نظر می‌رسد اما در پاسخ نامه‌ی رسمی منتشر شده، گزینه "د" مد نظر بوده است).

۲-۲ لوله‌های فولادی در شفت تأسیساتی

شفت تاسیساتی محلی جهت عبور لوله‌های عمودی تاسیسات نظیر لوله آب، فاضلاب، گاز، آتش‌نشانی و ... می‌باشد که از بیش از یک طبقه عبور می‌کند.

۲-۲-۱ فاصله لوله‌های فولادی بدون فلنج (M.D. 301-01-1):



S "میلیمتر"	C "میلیمتر"																قطر نامی لوله "میلیمتر"
	600	500	450	400	350	300	250	200	150	125	100	80	65	50	40	25	
70	375	320	295	270	245	230	205	180	150	140	125	110	105	100	95	85	25
80	380	330	305	280	255	240	215	185	160	150	135	120	115	110	100	95	40
85	385	335	310	285	260	245	220	190	165	155	140	125	120	115	110	100	50
90	395	345	320	295	270	250	230	200	175	160	145	135	125	120	115	105	65
95	400	350	325	300	275	260	235	205	180	165	155	140	135	125	120	110	80
110	415	365	340	315	285	270	245	220	195	180	165	155	145	140	135	125	100
125	430	380	355	330	300	285	260	235	205	195	180	165	160	155	150	140	125
135	440	390	365	340	315	300	275	245	220	205	195	180	175	165	160	150	150
160	465	415	390	365	340	325	300	270	245	235	220	205	200	190	185	180	200
190	495	445	420	390	365	350	325	300	275	260	245	235	230	220	215	205	250
215	520	470	445	420	390	375	350	325	300	285	270	260	250	245	240	230	300
230	535	485	460	435	410	390	365	340	315	300	285	275	270	260	255	245	350
255	560	510	485	460	435	420	390	365	340	330	315	300	295	285	280	270	400
280	585	535	510	485	460	445	420	390	365	355	340	325	320	310	305	295	450
305	610	560	535	510	485	470	445	415	390	380	365	350	345	335	330	320	500
355	660	610	585	560	535	520	495	465	440	430	415	400	395	385	380	375	600

mohammad-karimi.com

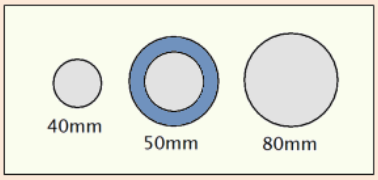
این نقشه، حداقل فاصله بین لوله‌های فولادی بدون فلنج و بدون عایق حرارتی را، از یکدیگر و از دیوار یا دستگاه‌های مجاورنشان می‌دهد.
در صورتیکه لوله عایق دار باشد باید ضخامت عایق یک یا هر دو لوله مجاور به مقادیر C و S اضافه شود.
اگر لوله در معرض حرکات ناشی از انبساط و انقباض باشد باید مقدار حرکت عرضی لوله پیش‌بینی شود و در صورت لزوم به ارقام جدول اضافه شود.
در مورد لوله‌های غیر فولادی می‌توان با استفاده از اندازه‌های نشان داده شده در شکل و قطر خارجی لوله‌ها، مقادیر C و S را محاسبه نمود.

پرسش ۲-۸) مشترک از یک مخزن ذخیره آب واقع در زیرزمین یک ساختمان اداری، دو لوله آب مصرفی فولادی گالوانیزه هر یک به قطر ۳ اینچ به سمت ساختمان خارج شده است. این دو لوله ابتدا مسیری افقی در کنار دیوار را طی می‌کنند تا به لوله‌های قائم انتقال آب مصرفی متصل شوند. فاصله محور لوله افقی نزدیک‌تر به دیوار، تا دیوار حداقل باید چند میلی‌متر باشد؟ فاصله بین محور این دو لوله از یکدیگر حداقل باید چند میلی‌متر باشد؟ لوله‌ها بدون فلنج هستند) (مهر ۱۴۰۲ (طراحی) «۲۵»)

الف) ۹۵ و ۹۵ ب) ۹۵ و ۱۴۰ ج) ۱۴۰ و ۱۴۰ د) ۱۱۰ و ۱۱۰

پاسخ) طبق نقشه M.D. 301-01-1 نشریه ۲-۶-۱۲۸، برای لوله‌های بدون فلنج فاصله محور لوله افقی نزدیک‌تر به دیوار، تا دیوار (S) با توجه به قطر آن طبق جدول ۹۵ میلی‌متر بوده و فاصله بین محور این دو لوله از یکدیگر (C) حداقل ۱۴۰ میلی‌متر می‌باشد.
گزینه **ب** صحیح است.

پرسش ۲-۹) مشترک سه لوله فولادی به قطرهای ۴۰ و ۵۰ و ۸۰ میلی‌متر بدون فلنج از داخل یک شفت تاسیساتی به شکل زیر عبور می‌کند. طول و عرض شفت تاسیساتی به ترتیب حداقل باید چند سانتی‌متر باشد؟ (لوله ۵۰ میلی‌متری دارای ۲۵ میلی‌متر عایق حرارتی است) (مهر ۱۴۰۲ (طراحی) «۳۸»)



الف) ۴۱ و ۱۹ ب) ۴۶ و ۱۹ ج) ۴۱ و ۲۲ د) ۴۶ و ۲۲

پاسخ) طبق نقشه M.D. 301-01-1 نشریه ۲-۶-۱۲۸، فاصله لوله ۴۰ میلی‌متری تا دیوار (S) طبق جدول ۸۰ میلی‌متر می‌باشد و فاصله لوله ۴۰ میلی‌متری و ۵۰ میلی‌متری (C) طبق جدول ۱۱۰ میلی‌متر می‌باشد. چون لوله ۵۰ میلی‌متری عایق‌دار می‌باشد باید ضخامت عایق آن به مقدار C اضافه شود. فاصله بین لوله ۵۰ میلی‌متری و لوله ۸۰ میلی‌متری نیز به همین صورت محاسبه شده و فاصله لوله‌ی ۸۰ میلی‌متری تا دیوار نیز مانند لوله ۴۰ میلی‌متری محاسبه می‌شود. بنابراین برای طول شفت داریم:

$$L = S_1 + C_1 + t + C_2 + t + S_2 = 80 + 110 + 25 + 125 + 25 + 95 = 460\,mm$$

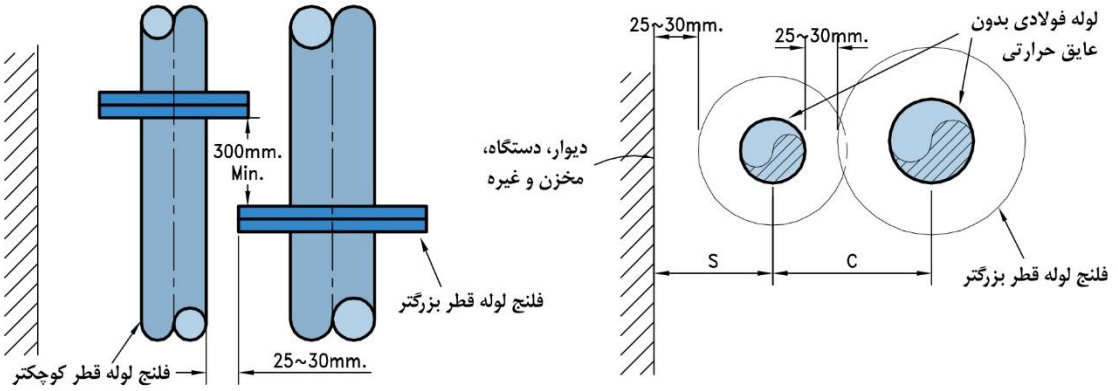
برای محاسبه عرض شفت فاصله لوله‌ها را تا دیوار از دو طرف لوله محاسبه کرده و مقدار بزرگ‌تر را درنظر می‌گیریم:

$$D = 80\ mm \Rightarrow W = 2S = 2\times 95 = 190\,mm$$
$$D = 50\ mm \Rightarrow W = 2(S + t) = 2\times(85 + 25) = 220\,mm$$
$$D = 40\ mm \Rightarrow W = 2S = 2\times 80 = 160\,mm$$

گزینه **د** صحیح است.

mohammad-karimi.com

۲-۲-۲ فاصله لوله‌های فولادی فلنج دار (M.D. 301-01-2):



S	C "میلیمتر"																								قطر نامی لوله "میلیمتر"	
	600		500		450		400		350		300		250		200		150		100		80		50			
"میلیمتر"	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	کلاس فلنج	قطر نامی لوله "میلیمتر"
105	515	465	445	405	415	375	380	355	350	325	320	300	280	260	250	230	215	200	185	170	165	155	140	135	150	50
110	515	465	445	405	415	375	380	355	350	325	320	300	280	260	250	230	215	200	185	170	165	155	140	140	300	
125	530	480	460	420	430	390	395	370	365	340	335	315	295	275	265	245	230	210	200	185	175	170	155	155	150	80
130	530	480	460	420	430	390	395	370	365	340	335	315	295	275	265	245	230	215	200	190	175	175	165	165	300	
140	540	490	470	435	440	405	410	385	375	350	345	325	305	290	275	255	245	225	210	200	190	185	170	170	150	100
155	540	490	470	435	440	405	410	385	375	350	345	325	305	290	275	265	245	240	210	210	200	200	185	185	300	
165	570	520	500	460	470	430	435	410	405	380	370	355	335	315	305	285	270	250	240	225	215	210	200	200	150	150
185	570	520	500	460	470	430	435	410	405	380	370	355	335	325	305	295	270	270	245	245	230	230	215	215	300	
200	595	545	525	485	495	455	460	435	430	405	400	380	360	340	330	310	295	285	265	255	245	245	230	230	150	200
220	595	545	525	485	495	455	460	435	430	405	400	380	360	355	330	330	305	305	275	275	265	265	250	250	300	
230	620	570	550	515	520	480	490	465	455	430	425	405	385	370	355	340	325	315	290	290	275	275	260	260	150	250
250	620	570	550	515	520	480	490	465	455	430	425	410	385	385	360	360	335	335	305	305	295	295	280	280	300	
270	645	595	575	540	545	505	515	490	480	455	450	430	410	405	380	380	355	355	325	325	315	315	300	300	150	300
290	645	595	575	540	545	505	515	490	480	465	450	450	425	425	400	400	370	370	345	345	335	335	320	320	300	
295	665	610	595	555	560	525	530	505	500	470	465	455	430	430	405	405	380	380	350	350	340	340	325	325	150	350
320	665	625	595	575	560	550	530	525	500	500	480	480	455	455	430	430	405	405	375	375	365	365	350	350	300	
325	690	640	620	580	585	555	555	530	525	505	490	490	465	465	435	435	410	410	385	385	370	370	355	355	150	400
350	690	655	620	605	585	580	555	555	530	530	515	515	490	490	460	460	435	435	410	410	395	395	380	380	300	
345	715	665	645	605	610	575	580	555	550	525	505	505	480	480	455	455	430	430	405	405	390	390	375	375	150	450
385	715	690	645	640	610	610	585	585	560	560	545	545	520	520	495	495	470	470	440	440	430	430	415	415	300	
375	740	690	670	630	640	605	605	580	575	555	540	540	515	515	485	485	460	460	435	435	420	420	405	405	150	500
415	740	720	670	670	645	645	620	620	595	595	575	575	550	550	525	525	500	500	470	470	460	460	445	445	300	
435	790	740	720	690	690	665	655	640	625	610	595	595	570	570	545	545	520	520	490	490	480	480	465	465	150	600
485	790	790	740	740	715	715	690	690	665	665	645	645	620	620	595	595	570	570	540	540	530	530	515	515	300	

این نقشه، حداقل فاصله بین لوله‌های فولادی فلنج دار و بدون عایق حرارتی را، از یکدیگر و از دیوار یا دستگاه‌های مجاور نشان می‌دهد.
ارقام جدول برای حالتی است که اتصالات دولوله موازی مجاور، در طول لوله‌ها طوری قرار گیرند که بین فلنج‌های دو لوله دست کم ۳۰۰ میلیمتر فاصله طولی باشد.

در صورتیکه لوله عایق دار باشد باید ضخامت عایق یک یا هر دو لوله مجاور به مقادیر C و S اضافه شود.

اگر لوله در معرض حرکات ناشی از انبساط و انقباض باشد باید مقدار حرکت عرضی لوله پیش‌بینی شود و در صورت لزوم به ارقام جدول اضافه شود.

کلاس فشار ۱۵۰ و ۳۰۰ برای فلنج به ترتیب معادل PN20 و PN50 می‌باشد. اگر کلاس فشار فلنج غیر از ۱۵۰ یا ۳۰۰ پوند بر اینچ مربع باشد، می‌توان مقادیر C و S را با استفاده از اندازه‌های نشان داده شده در شکل و قطر خارجی لوله و فلنج، به دست آورد.

mohammad-karimi.com

پرسش ۲-۱۰) مشترک حداقل اندازه شفت جهت عبور دو لوله فولادی با فلنج کلاس ۱۵۰ به قطر نامی ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌متر، چند سانتی‌مترمربع است؟ (لوله به قطر نامی ۲۵۰ میلی‌متر با ۵۰ میلی‌متر عایق حرارتی پوشانده شده است) (آبان ۱۴۰۳ (نظارت) «۵۳»)

الف) ۸۷×۵۶ ب) ۸۷۰×۵۶۰ ج) ۷۵×۴۸ د) ۷۵۰×۴۸۰

پاسخ) طبق نقشه M.D. 301-01-2 نشریه ۲-۶-۱۲۸، فاصله لوله ۲۰۰ میلی‌متری تا دیوار (S_1) طبق جدول ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد همچنین فاصله لوله ۲۰۰ میلی‌متری و ۲۵۰ میلی‌متری از یکدیگر (C) طبق جدول ۳۴۰ میلی‌متر می‌باشد. چون لوله ۲۵۰ میلی‌متری عایق‌دار می‌باشد باید ضخامت عایق آن به مقدار C اضافه شود. فاصله بین لوله ۲۵۰ میلی‌متری تا دیوار (S_2) نیز ، ۲۳۰ میلی‌متر می‌باشد که ضخامت عایق لوله باید به این مقدار اضافه شود. بنابراین برای طول شفت داریم:

$$L = S_1 + C_1 + t + S_2 + t = 200 + 340 + 50 + 230 + 50 = 870\,mm = 87\,cm$$

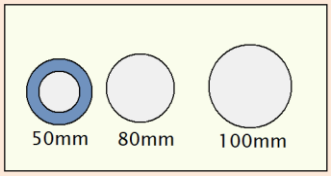
برای محاسبه عرض شفت فاصله لوله‌ها را تا دیوار از دو طرف لوله محاسبه کرده و مقدار بزرگ‌تر را درنظر می‌گیریم:

$$D = 200\ mm \Rightarrow W = 2S_1 = 2\times 200 = 400\,mm = 40\,cm$$
$$D = 150\ mm \Rightarrow W = 2(S_2 + t) = 2\times(230+50) = 560\,mm = 56\,cm$$

گزینه **الف** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۲۹» آزمون "اجرا مرداد" سال ۱۴۰۳ و مشابه پرسش «۵» آزمون "نظارت اسفند" سال ۱۴۰۲ می باشد.

پرسش ۲-۱۱) مشترک سه لوله فولادی به قطرهای ۵۰ و ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر همگی با اتصال فلنجی از داخل یک شفت تاسیساتی مطابق شکل زیر عبور می‌کند. حداقل طول و عرض شفت تاسیساتی به ترتیب باید چند سانتیمتر باشد؟ (لوله ۵۰ میلیمتری دارای ۲۵ میلیمتر عایق حرارتی و سایر لوله‌ها بدون عایق حرارتی است. کلاس فشار فلنج ۱۵۰ پوند بر اینچ مربع است) (مهر ۱۴۰۲ (اجرا) «۴۱»)



الف) ۵۶ و ۲۲ ب) ۵۶ و ۲۱ ج) ۶۱ و ۲۸ د) ۶۳/۵ و ۲۸

پاسخ) طبق نقشه M.D. 301-01-2 نشریه ۲-۶-۱۲۸، فاصله لوله ۵۰ میلی‌متری تا دیوار (S) طبق جدول ۱۰۵ میلی‌متر می‌باشد و فاصله لوله ۵۰ میلی‌متری و ۸۰ میلی‌متری (C) طبق جدول ۱۵۵ میلی‌متر می‌باشد. چون لوله ۵۰ میلی‌متری عایق‌دار می‌باشد باید ضخامت عایق آن به مقدار C و S اضافه شود. فاصله بین لوله ۸۰ میلی‌متری و لوله ۱۰۰ میلی‌متری نیز به همین صورت محاسبه شده و فاصله لوله‌ی ۱۰۰ میلی‌متری تا دیوار نیز مانند لوله ۵۰ میلی‌متری محاسبه می‌شود. بنابراین برای طول شفت داریم:

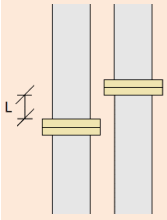
$$L = S_1 + C_1 + t + C_2 + t + S_2 = 25 + 105 + 25 + 155 + 185 + 140 = 635\,mm = 63/5\,cm$$

برای محاسبه عرض شفت فاصله لوله‌ها را تا دیوار از دو طرف لوله محاسبه کرده و مقدار بزرگ‌تر را درنظر می‌گیریم:

$$D = 100\ mm \Rightarrow W = 2S = 2\times 140 = 280\,mm$$
$$D = 80\ mm \Rightarrow W = 2S = 2\times 125 = 250\,mm$$
$$D = 50\ mm \Rightarrow W = 2(S + t) = 2\times(105+25) = 260\,mm$$

گزینه **د** صحیح است.

پرسش ۲-۱۲) مشترک در شکل زیر فاصله بین دو فلنج (L) باید حداقل چند سانتی‌متر باشد؟ (اردیبهشت ۱۴۰۲ (اجرا) «۴۶»)

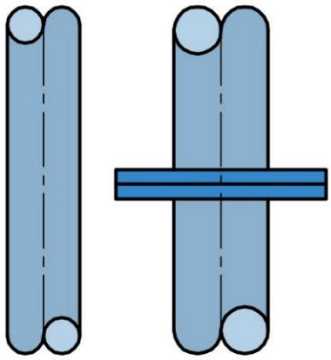


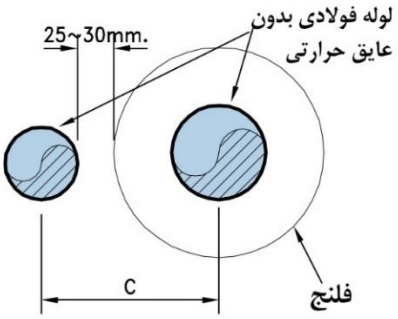
الف) ۳۰ ب) ۲۰ ج) ۱۰ د) ۲۵

پاسخ) طبق نقشه M.D. 301-01-2 نشریه ۲-۶-۱۲۸، این فاصله حداقل باید ۳۰۰ میلی‌متر باشد. گزینه **الف** صحیح است.

mohammad-karimi.com

۲-۲-۳ فاصله لوله‌های فولادی فلنج دار و بدون فلنج (M.D. 301-01-3):





قطر نامی لوله فلنج دار "میلیمتر"	کلاس فشار فلنج PSI	C "میلیمتر" قطر نامی لوله فلنج دار "میلیمتر"												
		25	40	50	80	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600
25	150	100	105	110	125	140	165	190	220	245	260	285	310	335	385
	300	110	115	120	135	145	170	195	230	255	265	290	320	345	395
40	150	110	115	120	135	150	175	200	230	255	270	295	320	345	395
	300	120	130	135	150	160	190	215	245	270	285	310	335	360	410
50	150	120	130	140	150	160	185	210	240	265	280	305	330	355	410
	300	130	140	140	155	165	195	220	250	275	290	315	340	365	415
80	150	140	140	150	170	180	205	230	260	285	300	325	350	375	425
	300	150	155	160	180	190	215	240	270	295	310	335	360	385	435
100	150	160	170	170	190	200	225	250	280	305	320	345	370	395	445
	300	170	180	190	200	210	235	260	295	320	330	355	385	410	460
150	150	190	190	200	210	230	250	275	305	330	345	370	395	420	470
	300	200	210	220	230	245	270	295	325	350	365	390	415	440	490
200	150	220	230	230	245	255	285	310	340	365	375	400	430	455	505
	300	240	240	250	270	280	300	330	355	380	395	420	445	470	525
250	150	250	255	260	280	290	320	340	370	395	410	435	460	485	535
	300	270	280	280	295	305	335	360	390	415	425	450	480	505	555
300	150	285	295	300	315	325	355	380	410	435	445	470	500	525	575
	300	305	310	320	330	345	370	395	425	450	465	490	515	540	595
350	150	310	320	325	340	355	380	405	435	460	470	495	525	550	600
	300	335	345	350	365	380	405	430	460	485	495	520	550	575	625
400	150	345	355	370	385	410	435	470	495	505	530	555	580	605	655
	300	370	375	380	395	410	435	460	495	520	530	555	580	605	655
450	150	360	370	375	390	400	430	455	485	510	520	550	575	600	650
	300	400	410	415	430	440	465	495	525	550	560	585	610	635	690
500	150	395	400	405	420	435	460	485	515	540	555	580	605	630	680
	300	430	440	445	460	470	500	525	555	580	590	620	645	670	720
600	150	450	460	470	485	500	515	545	575	600	610	635	660	690	740
	300	500	510	515	530	540	565	590	625	650	660	685	710	740	790

این نقشه، حداقل فاصله بین لوله‌های فولادی فلنج دار و بدون فلنج که فاقد عایق حرارتی هستند را، از یکدیگر نشان می‌دهد.

در صورتیکه لوله عایق دار باشد باید ضخامت عایق یک یا هر دو لوله مجاور به مقدار C اضافه شود طوری که فاصله عرضی بین دو لوله عایق شده حداقل ۵۰ میلی‌متر و بین فلنج و لوله مجاور حداقل ۲۵ میلی‌متر تامین شود.

اگر لوله در معرض حرکات ناشی از انبساط و انقباض باشد باید مقدار حرکت عرضی لوله پیش‌بینی شود و در صورت لزوم به ارقام جدول اضافه شود.

mohammad-karimi.com

پرسش ۲-۱۳) مشترک اندازه شفت جهت عبور دو لوله فولادی به قطرهای نامی ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌متر حداقل باید چند سانتی‌مترمربع باشد؟ (لوله ۲۵۰ میلی‌متری دارای فلنج با کلاس فشار ۱۵۰ و لوله ۲۰۰ میلی‌متری بدون فلنج و با ۵۰ میلی‌متر عایق است) (آبان ۱۴۰۳ (طراحی) «۵۲»)

الف) ۸۳×۴۶ ب) ۸۳×۴۲ ج) ۷۵×۴۸ د) ۸۷×۵۶

پاسخ) طبق نقشه M.D. 301-01-1 نشریه ۲-۶-۱۲۸، فاصله بین لوله ۲۰۰ میلی‌متری و دیوار (S_1) ۱۶۰ میلی‌متر بوده که چون این لوله عایق می‌باشد، ضخامت عایق باید در محاسبات آن لحاظ شود. طبق نقشه M.D. 301-01-3 فاصله بین لوله ۲۰۰ میلی‌متری و لوله ۲۵۰ میلی‌متری (C_1) با توجه به کلاس فشار فلنج لوله ۲۵۰ میلی‌متری، ۳۴۰ میلی‌متر می‌باشد و طبق نقشه M.D. 301-01-2، فاصله لوله ۲۵۰ میلی‌متری و دیوار (S_2)، ۲۳۰ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین طول شفت تأسیساتی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$L = t + S_1 + t + C_1 + S_2 = 50 + 160 + 50 + 340 + 230 = 830\,mm = 83\,cm$$

عرض شفت براساس لوله‌ای که بیش‌ترین فاصله را از دیوار دارد محاسبه می‌شود بنابراین فاصله‌ی بالا و پایین هردو لوله را از دیوار حساب کرده و بیشترین مقدار را در نظر می‌گیریم:

$$d = 200\,mm \Rightarrow w = 2(S_1 + t) = 2\times(160+50) = 420\ mm = 42\,cm$$
$$d = 250\,mm \Rightarrow w = 2S_2 = 2\times 230 = 460\,mm = 46\,cm$$

گزینه **الف** صحیح است.

۲-۳ حلقه انبساط – قطعه انبساط

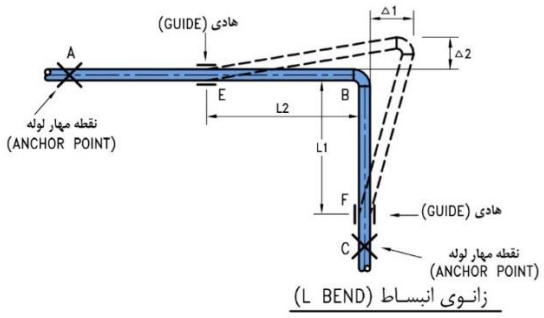
طبق تعاریف مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان، داریم:

حلقهٔ انبساط: تغییر امتداد لوله در یک صفحه با زانوها و خم‌ها، برای جذب حرکات طولی لوله ناشی از تغییر دما و انبساط و انقباض.

خم انبساط: تغییر امتداد لوله در یک صفحه با یک زانو یا خم، برای جذب حرکات طولی لوله ناشی از تغییر دما و انبساط و انقباض

قطعهٔ انبساط: وسیله‌ای برای جذب حرکت‌های ناشی از تغییر دما و انقباض و انبساط در لوله.

۲-۳-۱ زانوی انبساط (L BEND) برای لوله فولادی (M.D. 301-03-2)



زانوی انبساط (L BEND)

جدول زیر حداقل مقدار L1 یا L2 را بر حسب میلی‌متر، برای لوله‌های فولادی ساخته شده طبق استاندارد ASTM A53 "A" یا "B" GRADE متناسب با مقدار انبساط یا انقباض طول لوله AB یا BC و قطر نامی لوله در محل زانوی انبساط به دست می‌دهد.

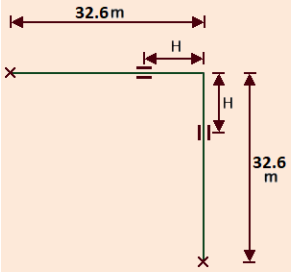
قطر نامی لوله "میلیمتر" \ مقدار انبساط یا انقباض "میلیمتر"	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
50	2300	2800	3200	3600	3900	4200	4500	4800	5000	5500
65	2500	3000	3500	4000	4300	4600	5000	5300	5500	6100
80	2800	3200	3900	4300	4700	5100	5500	5800	6100	6700
100	3100	3800	4400	4900	5400	5800	6200	6600	6900	7600
125	3500	4200	4900	5400	6000	6400	6900	7300	7700	8400
150	3800	4600	5300	6000	6500	7000	7500	8000	8400	9200
200	4300	5300	6100	6800	7400	8000	8600	9100	9600	10500
250	4800	5900	6800	7600	8300	8900	9500	10100	10700	11700
300	5200	6400	7400	8200	9000	9700	10400	11000	11600	12700

mohammad-karimi.com

جدول زیر مقدار انبساط لوله را بر حسب میلی‌متر بر متر طول لوله بر مبنای دمای نصب صفر درجه سانتیگراد، در درجه حرارت‌های مختلف به دست می‌دهد.

دمای لوله °C	0	20	40	60	80	100	120	160	200	300
مقدار انبساط لوله mm./m.	0	0.22	0.45	0.68	0.92	1.15	1.39	1.91	2.43	3.85

پرسش ۲-۱۴) مشترک دمای یک لوله فولادی به قطر نامی ۵۰ میلی‌متر از صفر درجه سیلسیوس به ۸۰ درجه سیلسیوس می‌رسد، مطابق شکل، فاصله‌ی نقاط مهار لوله تا زانو ۳۲/۶ متر است. فاصله‌ی تکیه‌گاه‌های هادی از زانو (H) باید چند متر باشد؟ (آبان ۱۴۰۳ (طراحی) «۵۹»)



الف) ۳/۶ ب) ۲/۳ ج) ۳ د) ۲/۸

پاسخ) طبق نقشه M.D. 301-03-2 نشریه ۲-۶-۱۲۸، از جدول (۶) با تغییرات دمای ۸۰ درجه مقدار انبساط لوله ۰/۹۲ میلی‌متر بر متر طول لوله بدست می‌آید، که با ضرب در طول لوله داریم:

$$\Delta L = 0.92 \times L = 0.92 \times 32.6 = 29.99 \approx 30 \text{ mm}$$

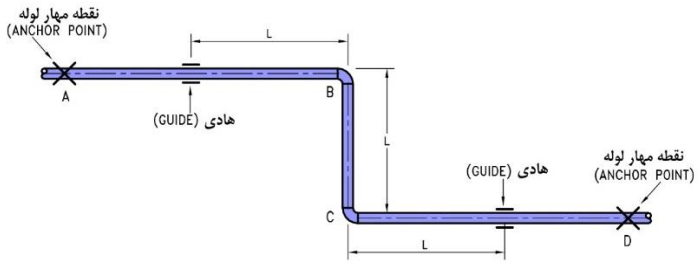
مقدار H با داشتن قطر و مقدار انبساط و انقباض لوله، از جدول (۵) بدست می‌آید:

$$\begin{cases} \Delta L = 30 \text{ mm} \\ d = 50 \text{ mm} \end{cases} \Rightarrow \quad H = 2800 \text{ mm}$$

گزینه **د** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۵۰» آزمون "نظارت مرداد" سال ۱۴۰۳ و مشابه پرسش «۵۷» آزمون "نظارت اسفند" سال ۱۴۰۲ و م. شابه پر سش «۴۴» آزمون "نظارت مهر" سال ۱۴۰۲ و م. شابه پر سش «۲۶» آزمون "اجرا اردیبه شت" سال ۱۴۰۲ و م. شابه پرسش «۲۱» آزمون "طراحی مهر" سال ۹۸ می‌باشد.

۲-۳-۲ دو خم انبساط (Z BEND) برای لوله فولادی (M.D. 301-03-3)



دوخم انبساط (Z BEND)

جدول زیر حداقل مقدار L را بر حسب میلی‌متر، برای لوله‌های فولادی ساخته شده طبق استاندارد "B" یا "A" ASTM A53 GRADE متناسب با مقدار انبساط یا انقباض طول لوله AD و قطر نامی لوله در محل دو خم انبساط به دست می‌دهد:

mohammad-karimi.com

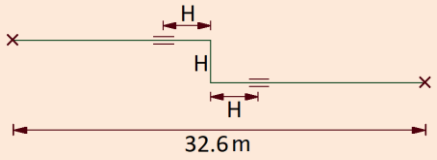
قطر نامی لوله "میلیمتر" / مقدار انبساط یا انقباض "میلیمتر"	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
50	1500	1900	2100	2400	2600	2800	3000	3200	3300	3600
65	1700	2000	2300	2600	2800	3000	3300	3500	3600	4000
80	1900	2100	2600	2800	3100	3400	3600	3800	4000	4400
100	2100	2500	2900	3200	3600	3800	4100	4300	4500	5000
125	2300	2800	3200	3600	3900	4200	4500	4800	5100	5500
150	2500	3000	3500	3900	4300	4600	4900	5200	5500	6000
200	2800	3500	4000	4500	4900	5200	5600	6000	6300	6900
250	3200	3900	4500	5000	5400	5800	6200	6600	7000	7700
300	3400	4200	4900	5400	5900	6400	6800	7200	7600	8300

جدول زیر مقدار انبساط لوله را بر حسب میلی‌متر بر متر طول لوله بر مبنای دمای نصب صفر درجه سانتی‌گراد، در درجه حرارت‌های مختلف به دست می‌دهد.

دمای لوله °C	0	20	40	60	80	100	120	160	200	300
مقدار انبساط لوله mm./m.	0	0.22	0.45	0.68	0.92	1.15	1.39	1.91	2.43	3.85

نقاط مهار لوله (ANCHOR POINTS) باید قادر به تحمل نیروی وارد به آن نقاط در اثر انبساط و انقباض لوله باشند. تعیین دقیق نیروی مذکور مستلزم محاسبات نسبتاً پیچیده است ولی در چهارچوب تاسیسات گرمائی و سرمائی ساختمان‌ها، در صورت اجرای زانوی انبساط باشرایط بالا، می‌توان نیروی وارد به نقاط مهار لوله را معادل ۴۵ نیوتون به ازاء یک میلی‌متر قطر خارجی لوله در نظر گرفت.

پرسش ۲-۱۵) مشترک مطابق شکل زیر یک لوله فولادی به قطر نامی ۸۰ میلی‌متر در دمای صفر درجه سلسیوس نصب شده است، اگر دمای لوله در شرایط کاری به ۸۰ درجه سلسیوس برسد، طول H حداقل باید چند میلی‌متر باشد؟ (مرداد ۱۴۰۳ (طراحی) «۵۶»)



الف) ۳۵۰۰ ب) ۳۲۰۰ ج) ۱۹۴۰ د) ۲۱۰۰

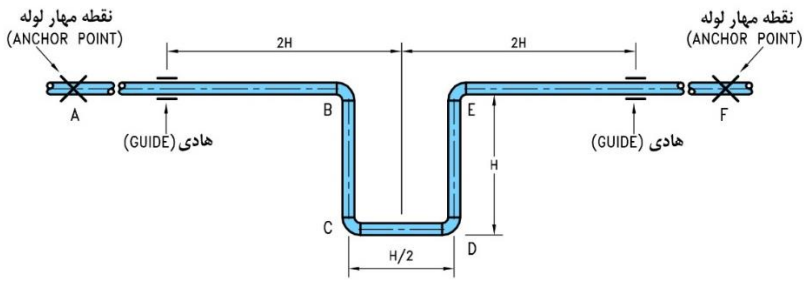
پاسخ) طبق نقشه M.D. 301-03-3 نشریه ۲-۶-۱۲۸، با توجه به دما، ضریب مورد نظر را از جدول خوانده و میزان انبساط را محاسبه می‌کنیم:

$$\Delta L = 32.6 \times 0.92 \approx 30\,mm$$

حال با توجه به قطر لوله، طول H از جدول مربوطه، ۲۱۰۰ میلی‌متر بدست می‌آید. گزینه **د** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۳۰» آزمون "اجرا مرداد" سال ۱۴۰۳ و مشابه پرسش «۴۲» آزمون "اجرا مهر" سال ۱۴۰۲ و مشابه پرسش «۴۰» آزمون "نظارت اردیبهشت" سال ۱۴۰۲ می‌باشد.

۲-۳-۳ حلقه انبساط (U BEND) برای لوله فولادی (M.D. 301-03-4)



حلقه انبساط (U BEND)

mohammad-karimi.com

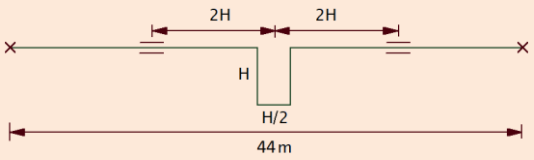
جدول زیر حداقل مقدار H را بر حسب میلیمتر، برای لوله‌های فولادی ساخته شده طبق استاندارد "B" یا "A" ASTM A53 GRADE متناسب با مقدار انبساط یا انقباض طول لوله AF و قطر نامی لوله در محل حلقه انبساط به دست می‌دهد:

مقدار انبساط یا انقباض "میلیمتر" / قطر نامی لوله "میلیمتر"	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
50	1340	1600	1840	2030	2210	2370	2520	2670	2800	3040
65	1460	1760	2010	2230	2420	2600	2770	2920	3070	3330
80	1610	1940	2210	2450	2660	2860	3040	3210	3370	3660
100	1810	2180	2490	2760	3000	3230	3430	3620	3800	4130
125	2010	2420	2760	3060	3330	3570	3800	4010	4210	4580
150	2180	2630	3000	3330	3620	3880	4130	4360	4580	4980
200	2480	2980	3410	3780	4110	4410	4690	4950	5190	5650
250	2750	3320	3790	4200	4570	4900	5210	5500	5770	6280
300	2990	3600	4110	4560	4950	5320	5660	5970	6270	6820

جدول زیر مقدار انبساط لوله را بر حسب میلیمتر بر متر طول لوله بر مبنای دمای نصب صفر درجه سانتیگراد، در درجه حرارت‌های مختلف به دست می‌دهد.

دمای لوله °C	0	20	40	60	80	100	120	160	200	300
مقدار انبساط لوله mm./m.	0	0.22	0.45	0.68	0.92	1.15	1.39	1.91	2.43	3.85

پرسش ۲-۱۶) مشترک مطابق شکل زیر یک لوله فولادی به قطر نامی ۱۰۰ میلی‌متر در دمای صفر درجه سلسیوس نصب شده است. اگر دمای لوله در شرایط کاری به ۶۰ درجه سلسیوس برسد. طول H باید حداقل چند میلی‌متر باشد؟ (اسفند ۱۴۰۲ (طراحی) «۵۳»)



الف) ۱۳۴۰ ب) ۲۱۸۰

ج) ۱۶۰۰ د) ۱۷۶۰

پاسخ) طبق نقشه M.D. 301-03-4 نشریه ۲-۶-۱۲۸، از جدول (۶) با تغییرات دمای ۶۰ درجه مقدار انبساط لوله ۰/۶۸ میلی‌متر بر متر طول لوله بدست می‌آید، که با ضرب در طول لوله داریم:

$$\Delta L = 0.68 \times L = 0.68 \times 44 = 30 \text{ mm}$$

مقدار H با داشتن قطر و مقدار انبساط لوله، از جدول (۵) بدست می‌آید:

$$\begin{cases} \Delta L = 30 \text{ mm} \\ d = 100 \text{ mm} \end{cases} \Rightarrow \quad H = 2180 \text{ mm}$$

گزینه **ب** صحیح است.

mohammad-karimi.com

فصل سوم

پمپ و سیستم پمپاژ

۳-۱ پمپ و انواع آن

به‌طور کلی پمپ یا تلمبه به دستگاهی گفته می‌شود که انرژی را از یک منبع خارجی مانند موتور الکتریکی، گرفته و به مایعی که از آن عبور می‌کند، انتقال می‌دهد. این افزایش انرژی به‌صورت‌های مختلف مانند جابه‌جایی سیالات و افزایش فشار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۱-۱ انواع پمپ

پمپ ها از لحاظ ساختار و نوع کار به دو دسته‌ی پمپ‌های دینامیکی و پمپ‌های جابه‌جایی مثبت تقسیم بندی می‌شوند.

الف) پمپ‌های جابه‌جایی مثبت:

پمپ جابجایی مثبت از مکانیزم تغییر حجم یا انبساط و انقباض برای اعمال فشار به سیال استفاده می‌کند به‌طوری‌که با به دام انداختن مقدار ثابتی مایع و محبوس کردن و آزاد کردن ناگهانی آن، مایع را به حرکت درمی‌آورد.

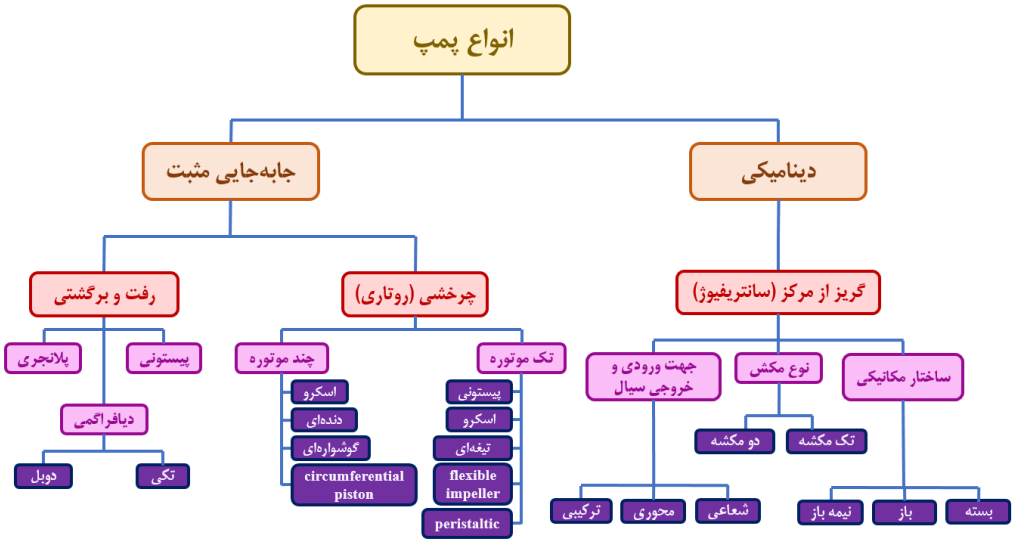
ب) پمپ های حرکتی یا دینامیکی:

در این پمپ‌ها انرژی جنبشی مایع از طریق یک پروانه (impeller) افزایش می‌یابد (مانند نیروی گریزازمرکز) و به مایع سرعت داده می‌شود و بر اساس نحوه طراحی مجرای خروجی پمپ، در نهایت مقداری از انرژی جنبشی مایع تبدیل به فشار می‌شود.

به پمپ‌های دینامیکی، پمپ جابه‌جایی غیر مثبت نیز گفته می‌شود.

چند نمونه از تفاوت‌های پمپ دینامیکی و پمپ جابه‌جایی مثبت به شرح زیر است:

- تفاوت اصلی پمپ دینامیکی و جابجایی مثبت در نحوه عملکرد و فرآیند پمپاژ سیال است.
- پمپ‌های دینامیکی اساساً برای کاربردهای کم فشار استفاده می‌شوند؛ پمپ‌های جابجایی مثبت برای کارهایی که نیاز به فشار بالا دارند مناسب‌تر است و معمولا به عنوان پمپ آب کشاورزی و پمپ کف‌کش نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- در پمپ‌های دینامیکی میزان آبدهی، بستگی به مقدار فشار آب دارد، و حداکثر بازدهی را تنها در فشارهایی خاص دارد. اما در پمپ جابجایی مثبت، مقدار آبدهی ثابت بوده و مستقل از فشار آب است.



شکل (۳-۱) نمودار درختی انواع پمپ

پرسش ۳-۱) نظارت-اجرا برای پمپ جریان آب در سیستم‌هایی که مقدار جریان خیلی کم و فشار خیلی زیاد مورد نیاز باشد، استفاده از کدام گروه پمپ توصیه می‌شود؟ (اسفند ۸۹ «۷»)

الف) پمپ‌های جریان محوری　　ب) پمپ‌های چرخشی

ج) پمپ‌های پره　　د) پمپ‌های پیستونی

پاسخ) در سیستم‌هایی که نیاز به مقدار جریان خیلی کم و فشار خیلی زیاد باشد، معمولاً پمپ‌های پیستونی توصیه می‌شود. گزینه **د** صحیح است.

۳-۱-۲ مقدار گذر آب یا آبدهی یا دبی (Q)

مقدار حجم سیالی که در واحد زمان توسط پمپ از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر جابه‌جا می‌شود. یکای آن در سیستم SI مترمکعب بر ثانیه $\frac{m^3}{s}$ و در سیستم متریک لیتر بر ثانیه $\frac{lit}{s}$ و در سیستم IP از گالن بر دقیقه GPM استفاده می‌شود. در صنعت معمولاً از مترمکعب بر ساعت $\frac{m^3}{hr}$ استفاده می‌شود.

۳-۱-۳ اختلاف ارتفاع یا فشار یا هد پمپ (H)

هد پمپ، مجموع انرژی‌هایی است که پمپ روی مایع اعمال می‌کند تا مایع در لوله خروجی به ارتفاع مشخصی بالا رود و برحسب واحد فشار متر ستون آب بیان می‌شود. وقتی گفته می‌شود فشار در یک نقطه برابر با ۱۰ متر آب است به این معنی است که فشار در آن نقطه وزنی از آب به ارتفاع ۱۰ متر روی آن وجود دارد.

$$P = \rho g h \quad \rightarrow \quad h = \frac{P}{\rho g} \qquad (۱-۳)$$

در رابطه‌ی بالا P فشار، ρ چگالی، g شتاب گرانش و h هد پمپ می‌باشد.

نسبت اختلاف فشار مایع در نقطه‌ی ورودی پمپ (نقطه ۱) و نقطه‌ی خروجی پمپ (نقطه ۲) را بر متغیر وزن مخصوص γ=ρg (گاما) هد پمپ گفته می‌شود.

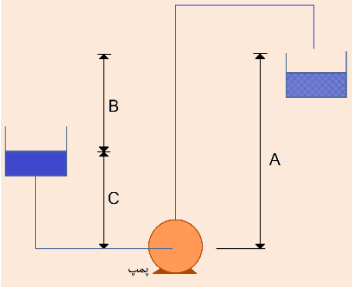
$$h = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \qquad (۲-۳)$$

هد استاتیکی، اختلاف بین دو سطح رانش و مکش پمپ درحالتی‌که پمپ خاموش است را نشان می‌دهد، اما در مسیر لوله و اتصالاتی وجود دارد که خود باعث افت فشار در مسیر می‌شود که مجموع این هد و افت فشارها را هد کل پمپ گویند.

بنابراین هد کل پمپ برابر است با:

افت‌های ناشی از اصطکاک و اتصالات مسیر + هد استاتیک = هد کل پمپ

پرسش ۳-۲) مشترک در شکل زیر مقادیر A و B و C به ترتیب عبارتند از: (مهر ۹۸ (طراحی) «۱۷»)



الف) هد کل پمپ، هد تخلیه (Discharge) پمپ، هد مکش پمپ　　ب) هد کل پمپ، هد مکش پمپ، هد تخلیه (Discharge) پمپ

ج) هد تخلیه (Discharge) پمپ، هد کل پمپ، هد مکش پمپ　　د) هد تخلیه (Discharge) پمپ، هد مکش پمپ، هد کل پمپ

پاسخ) با توجه به شکل بالا مقادیر A و B و C به ترتیب عبارتند از: هد رانش، هد استاتیکی (هد کل) و هد مکش. گزینه **ج** صحیح است.

mohammad-karimi.com

۳-۲ توان پمپ

اختلاف فشار بین ابتدا و انتها در یک سیستم، یکی از عوامل تعیین کننده در محاسبه توان پمپ است زیرا هدف از بکارگیری پمپ، تقویت جریان سیال و کنترل سرعت آن است،

توان مفید پمپ (HP یا P): مقدار توانی است که توسط پمپ به سیال داده می‌شود.

توان ترمزی (حقیقی) پمپ (BHP یا BP): مقدار توانی که به پمپ داده می‌شود تا سیال را با دبی و تا هد معینی، پمپاژ کند.

توان کل یا توان ورودی به الکتروموتور پمپ (THP یا TP): مقدار توانی‌است که به الکتروموتور برای پمپاژ سیال داده می‌شود.

جدول (۳-۱): توان مفید، توان ترمزی و توان کل پمپ در سیستم SI و IP

سیستم SI	سیستم IP
$P(W)=\rho(\frac{kg}{m^3})\times g(\frac{m}{s^2})\times Q(\frac{m^3}{s})\times h(mH_2O)$	$HP=\frac{Q(gpm)\times h(ft.H_2O)}{3960}$
$BP(W)=\frac{\rho(\frac{kg}{m^3})\times g(\frac{m}{s^2})\times Q(\frac{m^3}{s})\times h(mH_2O)}{\eta_p}$	$BHP=\frac{Q(gpm)\times h(ft.H_2O)}{3960\times\eta_p}$
$TP(W)=\frac{\rho(\frac{kg}{m^3})\times g(\frac{m}{s^2})\times Q(\frac{m^3}{s})\times h(mH_2O)}{\eta_p\times\eta_m}$	$THP=\frac{Q(gpm)\times h(ft.H_2O)}{3960\times\eta_p\times\eta_m}$
ρ = چگالی ، g = شتاب گرانش ، Q = دبی ، h = هد ، η_p = راندمان پمپ ، η_m = راندمان الکتروموتور	

پرسش ۳-۳) مشترک اختلاف فشار دو طرف یک پمپ ۱۵۰ فوت آب و دبی آن ۱۶۰۰ گالن بر دقیقه است. اگر راندمان این پمپ ۸۰ درصد باشد، توان ترمزی پمپ چند اسب بخار است؟ (آبان ۱۴۰۳ (نظارت) «۲۷»)

الف) ۴۷/۲ ب) ۶۵/۶ ج) ۷۵/۸ د) هیچکدام

پاسخ) برای محاسبه‌ی توان ترمزی پمپ برحسب اسب بخار داریم:

$$BHP=\frac{Q(gpm)\times h(ft.H_2O)}{3960\times\eta_p}=\frac{1600\times150}{3960\times0.8}=75.75\,hp$$

گزینه **ج** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۱۲» آزمون "نظارت اردیبهشت" سال ۱۴۰۲ و مشابه پرسش «۵۵» آزمون "طراحی دی" سال ۱۴۰۱ و مشابه پرسش «۱۵» آزمون "بهمن" سال ۹۴ و مشابه پرسش «۳۴» آزمون "فروردین" سال ۸۱ و مشابه پرسش «۱۱» آزمون "فروردین" سال ۸۱ و مشابه پرسش «۵۳» آزمون "بهمن" سال ۸۳ می‌باشد.

پرسش ۳-۴) مشترک توان پمپی را حساب کنید که قادر باشد، در هر ثانیه، یک صد لیتر آب را در ارتفاع $H=10\,m$ ببرد. (جرم مخصوص آب $\rho=1000\,kg/m^3$ است). (اسفند ۸۹ «۹»)

الف) $P=9810\,w$ ب) $P=9820\,w$ ج) $P=9830\,w$ د) $P=9840\,w$

پاسخ) اگر شتاب گرانش را ۹/۸۲ متر بر مجذور ثانیه در نظر بگیریم، توان مفید پمپ برابر است با:

$$P(W)=\rho(\frac{kg}{m^3})\times g(\frac{m}{s^2})\times Q(\frac{m^3}{s})\times h(mH_2O)=1000\times9.81\times100\times\frac{1m^3}{1000lit}\times10=9810\,W$$

گزینه **الف** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۳۸» آزمون "تیر" سال ۸۰ و مشابه پرسش «۳۸» آزمون "آذر" سال ۷۹ می‌باشد.

۳-۳ قوانین تشابه

قواعد تشابه، قوانینی هستند که بر مشخصه‌های کارکرد پمپ حاکم بوده و عملکرد پمپ را در شرایط مختلف می‌توان با این قوانین پیش بینی نمود. قوانین پمپ عواملی نظیر حجم آبدهی، فشار دینامیکی کل، توان حقیقی در سرعت‌های مختلف و قطر پروانه را پیش‌بینی می‌کند.

تغییرات دبی، فشار دینامیکی و توان ترمزی پمپ براساس تغییرات دور و قطر پروانه پمپ به‌صورت جدول زیر است:

mohammad-karimi.com

جدول (۳-۲): روابط تشابه پمپ‌ها

تغییرات سرعت (N)	تغییرات قطر (D)
$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{N_2}{N_1}$	$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{D_2}{D_1}$
$\frac{P_2}{P_1}=\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$	$\frac{P_2}{P_1}=\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$
$\frac{BHP_2}{BHP_1}=\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$	$\frac{BHP_2}{BHP_1}=\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$
BHP = توان ترمزی ، Q = دبی ، P = فشار دینامیکی کل	

پرسش ۳-۵) مشترک چنانچه در یک پمپ سانتریفوژ، دور پروانه به نصف کاهش یابد جریان و توان نسبت به حالت قبلی به چه مقدار کاهش می‌یابد؟ (خرداد ۸۹ «۳۸»)

الف) جریان به نصف و توان به ۰/۲۵ ب) جریان به نصف و توان به ۰/۱۲۵

ج) جریان به ۰/۲۵ و توان به ۰/۲۵ د) جریان به ۰/۱۲۵ و توان ۰/۱۲۵

پاسخ) طبق قوانین تشابه پمپ‌ها داریم:

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{N_2}{N_1} \Rightarrow \frac{Q_2}{Q_1}=\frac{1}{2} \Rightarrow Q_2=0.5\,Q_1$$

$$\frac{BHP_2}{BHP_1}=\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \Rightarrow \frac{BHP_2}{BHP_1}=\left(\frac{1}{2}\right)^3 \Rightarrow BHP_2=0.125\,BHP_1$$

گزینه **ب** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۲۶» آزمون "آذر" سال ۸۴ و مشابه پرسش «۳۲» آزمون "اسفند" سال ۸۲ و مشابه پرسش «۱۲» آزمون "فروردین" سال ۸۱ و مشابه پرسش «۴۹» آزمون "آذر" سال ۷۹ می‌باشد.

پرسش ۳-۶) مشترک در صورتی که با ۲ برابر شدن دور یک پمپ توان مصرفی آن ۸ برابر شود، راندمان پمپ چگونه تغییر می‌کند؟ (اردیبهشت ۱۴۰۲ (اجرا) «۳۵»)

الف) زیاد می‌شود. ب) ثابت می‌ماند. ج) کم می‌شود. د) نمی‌توان اظهارنظر کرد.

پاسخ) از قوانین تشابه پمپ‌ها، رابطه دور پمپ و دبی و هد آن به‌صورت زیر است:

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{N_1}{N_2} \Rightarrow Q_2=\frac{2N_1}{N_1}Q_1 \Rightarrow Q_2=2Q_1$$

$$\frac{h_1}{h_2}=\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \Rightarrow h_2=\left(\frac{2N_1}{N_1}\right)^2 h_1 \Rightarrow h_2=4h_1$$

با توجه به رابطه توان پمپ داریم:

$$\frac{BHP_2}{BHP_1}=\frac{\frac{Q_2h_2}{3960\,\eta_1}}{\frac{Q_1h_1}{3960\,\eta_1}} \Rightarrow BHP_2=8BHP_1 \;,\; Q_2=2Q_1 \;,\; h_2=4h_1 \Rightarrow \frac{8BHP_1}{BHP_1}=\frac{\frac{2Q_1\,4h_1}{3960\,\eta_2}}{\frac{Q_1h_1}{3960\,\eta_1}} \Rightarrow \eta_2=\eta_1$$

گزینه **ب** صحیح است.

۳-۳-۱ فشار مثبت در مکش (NPSH)

از جمله عواملی که اثر زیادی بر عملکرد پمپ دارد کمبود «فشار مثبت در مکش» است که در این صورت پمپ نمی‌تواند به راحتی کار کند فشار مثبت در مکش (NPSH[1]) حداقل فشار لازم در ورودی پمپ است که با احتساب عوامل زیر، در طراحی و نصب پمپ، باید تامین شود. این عوامل عبارتند از:

- افت فشار داخلی پمپ

[1] Net Positive Suction Head

mohammad-karimi.com

- افت فشار اصطکاکی و دینامیکی لوله‌کشی و اجزای آن
- فشار بخار (vapar pressure) آب یا سایر مایعات (در دمای سیال)
- ارتفاع محل نصب منبع تغذیه
- ارتفاع (از سطح دریا) سیستم تاسیسات

فشار مثبت در مکش به دو جزء فشار مثبت لازم در مکش (NPSHR[1]) و فشار مثبت موجود در مکش (NPSHA[2]) تقسیم می‌شود. فشار مثبت لازم در مکش (NPSHR) یکی از مشخصه‌های طراحی پمپ و فشار مطلق واقعی است که باید در ورودی باشد تا با غلبه بر اتلاف فشار داخلی اجازه دهد که پمپ به راحتی کار کند. این فشار برای هر پمپ عدد ثابتی است. فشار مثبت لازم در مکش (NPSHR) ناشی از سرعت جریان و اصطکاک در ورودی پمپ می‌باشد. این عدد به طور مستقیم با ظرفیت و سرعت پمپ تغییر می‌کند ولی به ارتفاع از سطح دریا و دمای سیال ربطی ندارد. فشار مثبت لازم در مکش روی منحنی کارکرد پمپ و در کاتالوگ آن توسط سازنده داده می‌شود.

۳-۳-۲ پدیده‌ی کاویتاسیون

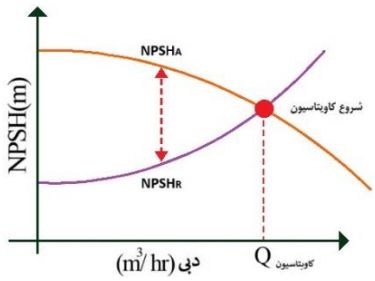
کاویتاسیون فرآیندی است که طی آن، در ناحیه‌ای از مایع با فشار پایین، حباب بخار شکل می‌گیرد و با ترکیدن این حباب‌ها کارکرد پمپ دچار اختلال شده و به اجزای آن آسیب می‌رسد.

به طور خلاصه با کاهش فشار امکان تبخیر در دماهای پایین‌تر فراهم می‌شود .در نتیجه در سیالی که تغییرات فشار شدید دارد، در قسمت هایی که فشار پایین است (کمتر از فشار بخار مایع) در همان دمای سیال تبخیر اتفاق می‌افتد و حباب تشکیل می‌شود.

حباب‌های بخار ایجاد شده زمانی که بار دیگر به منطقه پرفشارتر وارد می‌شوند، معمولا منفجر می‌شوند .ترکیدن این حباب‌های بخار موجود در سیال، شوکی موج مانند همراه با صدا (ضربه) ایجاد می‌کند و می‌تواند به اجزای پمپ آسیب برساند.

زمانی‌که در دهانه مکش پمپ NPSHA از NPSHR کمتر شود پدیده‌ی کاویتاسیون رخ می‌دهد از این رو فشار مثبت موجود در مکش (NPSHA) در ورودی پمپ باید حداقل ۲ فوت بیش‌تر از فشار مثبت لازم در مکش (NPSHR) باشد.

$$NPSHA - NPSHR > 2 \ (ft) \qquad (۳-۳)$$



شکل (۳-۲) نمودار نقطه‌ی شروع کاویتاسیون

با توجه به نمودار بالا، با افزایش دبی NPSHA کاهش و NPSHR افزایش می‌یابد.

پرسش ۳-۷) مشترک احتمال بروز کاویتاسیون در کدام حالت بیش‌تر است؟ (اسفند ۱۴۰۲ (اجرا) «۱۷»)

الف) افزایش فشار در مکش پمپ　　ب) افزایش فشار در دهش پمپ

ج) کاهش دور پمپ　　د) کاهش فشار در مکش پمپ

پاسخ) طبق مطالب بالا، گزینه **د** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۷۰» آزمون "تیر" سال ۷۸ می‌باشد.

پرسش ۳-۸) مشترک کدام گزینه در خصوص NPSHA و NPSHR صحیح است؟ (مرداد ۱۴۰۳ (نظارت) «۱۶»)

الف) NPSHR می‌تواند بزرگ‌تر از NPSHA باشد.　　ب) NPSHR مشخصه سیستم لوله‌کشی است.

ج NPSHA مشخصه پمپ است.　　د) NPSHA باید بزرگ‌تر از NPSHR باشد تا از کاویتاسیون جلوگیری شود.

پاسخ) برای جلوگیری از پدیده‌ی کاویتاسیون همواره NPSHA باید بزرگ‌تر از NPSHR باشد، گزینه **د** صحیح است.

[1] Net Positive Suction Head Required

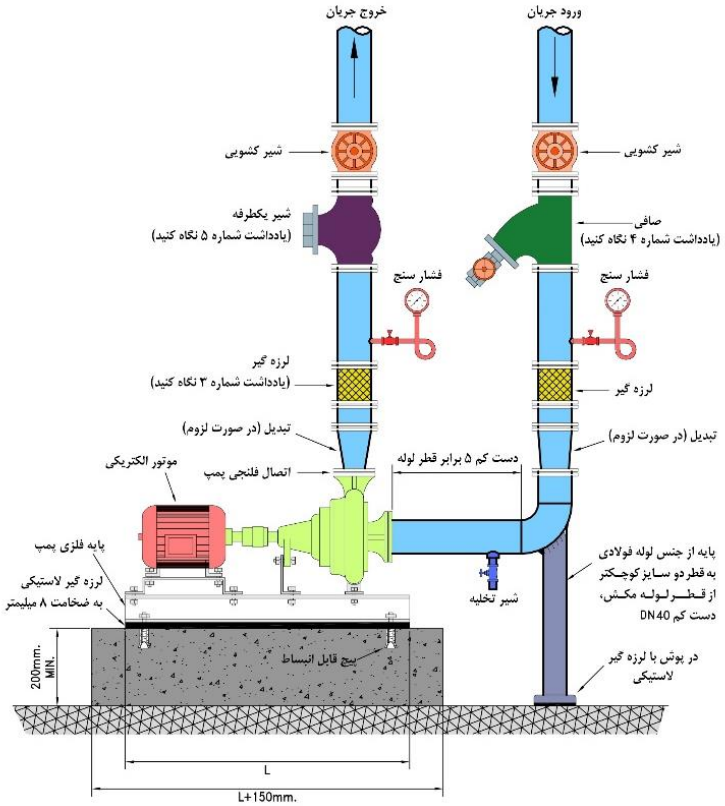
[2] Net Positive Suction Head Available

mohammad-karimi.com

این پرسش، مشابه پرسش «۲۹» آزمون "طراحی مهر" سال ۹۹ و مشابه پرسش «۵۷» آزمون "طراحی ۱ سفند" سال ۹۵ می باشد.

۳-٤ نصب و راه‌اندازی پمپ

۳-٤-۱ جزئیات نصب پمپ روی فوندانسیون (M.D. 315-01-3)



این نقشه، نصب پمپ از نوع زمینی سانتریفوژ (END SUCTION)، مخصوص نصب روی فوندانسیون، در سیستم گردش آب گرم کننده یا سرد کننده، را نشان می‌دهد.

اطراف پمپ باید فضای کافی برای دسترسی و تعمیر و تنظیم باشد، کمترین فاصله تا دیوار یا تجهیزات دیگر، ۵۰۰ میلیمتر توصیه می‌شود.

در شرایط عادی لازم نیست لرزه‌گیر روی لوله‌های ورود و خروج پمپ نصب شود. مگر آنکه در طرح مشخص شده باشد و یا شرایط محل نصب لزوم حذف هرگونه ارتعاش را ایجاب کند.

منصب صافی (STRAINER) روی لوله‌ی ورودی ضروری نیست. مگر آنکه برای جدا کردن ذرات اضافی از جریان سیال، که ممکن است در زمان لوله کشی یا تعمیرات وارد لوله‌ها شده باشد، لازم تشخیص داده شود. در این صورت پس از راه اندازی و آزمایش اولیه پمپ، بهتر است صافی برداشته شود.

در صورت نصب پمپ برای گردش آب برج خنک کننده و یا نصب دو (یا چند) پمپ موازی در یک سیستم نصب شیر یکطرفه در خروج جریان از هر پمپ ضروری است.

لوله‌های ورود و خروج سیال، با استفاده از آویز و تکیه گاه مناسب باید طوری مهار شوند که وزن لوله و اتصالات به پمپ منتقل نشود.

پرسش ۳-۹) مشترک قطر دهانه مکش یک پمپ ۵۰ میلی‌متر و قطر لوله مکش ۱۰۰ میلی‌متر است. فاصله اولین زانویی تا دهانه مکش پمپ حداقل باید چند میلی‌متر باشد؟ (اردیبهشت ۱٤۰۲ (اجرا) «۳۰»)

الف) ۲۵۰ ب) ۵۰۰ ج) ۱۰۰۰ د) ۲۵۰۰

پاسخ) طبق نقشه M.D. 315-01-3 نشریه ۲-۶-۱۲۸، این فاصله دست‌کم باید ۵ برابر قطر لوله باشد، بنابراین این فاصله حداقل ۵۰۰ میلی‌متر است. گزینه **ب** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۳۷» آزمون "نظارت دی" سال ۱۴۰۱ و مشابه پرسش «۱۶» آزمون "نظارت شهریور" سال ۱۴۰۱ می باشد.

mohammad-karimi.com

فصل چهارم

حرارت مرکزی

٤-١ دیگ

دستگاه گرمازای بسته که برای تأسیسات گرمایی یا سیستم تأمین آب گرم مصرفی، آب‌گـرم یـا بخار تولید مـی‌کند. در واقع دیگ قلب یک سیستم حرارت مرکزی است که بسته به نوع آن سیستم می‌توان از دیگ‌های آب گرم، دیگ آب داغ یا دیگ بخار استفاده کرد.

٤-١-١ دیگ بخار

دیگ بخار یک مخزن بسته است که در آن تحت فشار مشخصی و توسط گرمای ناشی از احتراق سوخت، آب تبدیل به بخار شده و جهت استفاده در مصارف مختلف تولید می‌شود. جنس دیگ‌های بخار می‌تواند از چدن یا فولاد باشد که عموماً دیگ‌های بخار از جنس فولادی می‌باشند، دیگ‌های بخار چدنی معمولاً برای تولید بخار کم‌فشار استفاده می‌شوند.

طبق مبحث ۱۴ مقررات ملی ساختمان دیگ‌های بخار از لحاظ فشار کاری به دو دسته‌ی دیگ‌های پرفشار و کم فشار تقسیم می‌شوند:

- فشار کـار دیگ بخـار کم فشار برابر ۱۰۳ کیلو پاسکال نسـبی (۱۵ پونـد بـر ایـنچ مربع نسبی) یا کمتر است.
- فشار کار دیگ بخار پر فشار بالاتر از ۱۰۳ کیلو پاسکال نسبی (۱۵ پوند بر اینچ مربع نسبی) است.

پرسش ٤-١) نظارت-اجرا حداکثر فشار نسبی یک دیگ بخار فشار پایین چقدر است؟ (شهریور ۹۵ «۶۰»)

الف) ۵۰psig ب) ۱۵psig ج) ۳۰psig د) ۲۵psig

پاسخ) طبق مطالب بالا، گزینه **ب** صحیح است.

نکته ٤-١) از آنجایی که گاز CO_2 فرار است، توسط بخار حمل می‌شود، سپس در آب کندانس داغ حل شده و تشکیل کربنیک اسید می‌دهد که عامل اسیدی شدن آب دیگ بوده و pH آن را پایین می‌آورد بنابراین همواره pH آب دیگ باید بالاتر از حد خنثی و کمی قلیایی باشد (حدوداً ۸/۵).

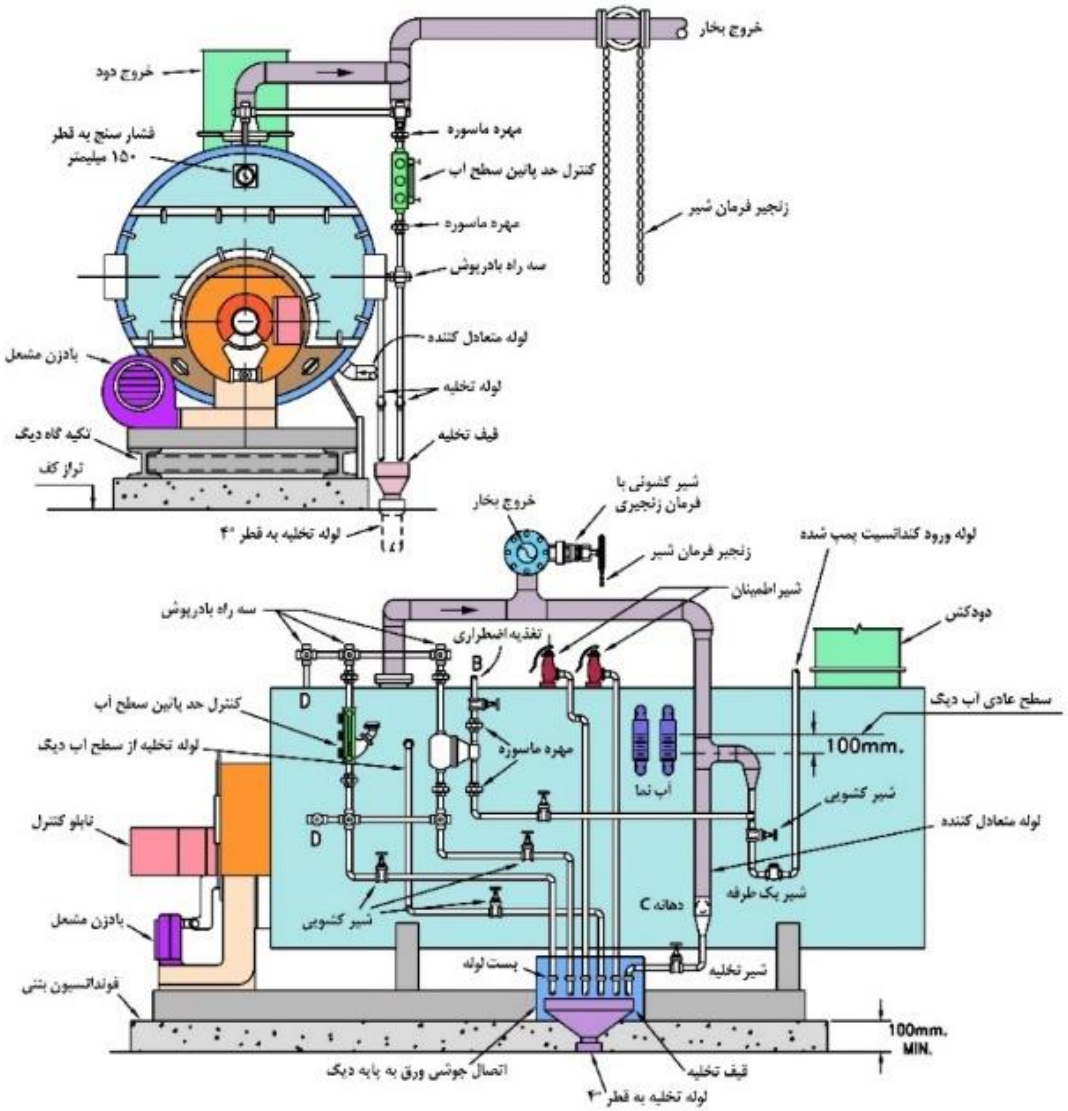
پرسش ٤-٢) نظارت-اجرا کدام گزینه در مورد pH آب در دیگ‌های بخار صحیح است؟ (دی ۱٤۰۱ (نظارت) «٤۸»)

الف) آب دیگ باید کاملاً خنثی باشد. ب) آب دیگ باید کمی اسیدی باشد.

ج) آب دیگ باید کمی قلیایی باشد. د) با توجه به فشار و دمای دیگ هر سه گزینه می‌تواند درست باشد.

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

جزئیات نصب دیگ بخار افقی (M.D. 315-05-1):



این نقشه جزئیات نصب دیگ بخار افقی را نشان می‌دهد. مشعل دیگ ممکن است با سوخت مایع یا گاز باشد. ابعاد فوندانسیون و نصب دیگ روی آن باید طبق دستورالعمل کارخانه سازنده دیگ باشد.

بادزن مشعل دیگ در ظرفیت‌های بالا بصورت جداگانه در کنار مشعل نصب می‌شود و در ظرفیت‌های متوسط و پائین معمولاً بصورت یکپارچه با مشعل می‌باشد.

تعداد شیر اطمینان دیگ در هر ظرفیتی باید طبق استاندارد ساخت دیگ باشد.

اتصال همه لوله‌ها به دیگ باید از نوع بازشو باشد که در صورت لزوم بتوان آن‌ها را جدا کرد.

سیستم کنترل سطح آب دیگ، سطح آب را در بین دو تراز معین کنترل می‌کند. با رسیدن سطح آب به تراز پائین سیستم کنترل سطح، پمپ کندانسیت را روشن می‌کند و کندانسیت پمپ شده از دهانه "A" وارد می‌شود که پس از عبور از لوله متعادل کننده از دهانه "C" وارد دیگ می‌گردد.

با رسیدن سطح آب به تراز بالا، پمپ کندانسیت به طور خودکار خاموش می‌گردد.

در حالت اضطراری که سطح آب دیگ از تراز تعیین شده پائین‌تر باشد، آب سرد می‌تواند با کنترل دستی از دهانه "B" وارد دیگه شود.

هر دیگ بخار معمولاً دارای دو نشان دهنده سطح آب شیشه‌ای می‌باشد.

در قسمت جلو و پشت دیگ باید فضای کافی برای تعمیرات و تعویض احتمالی لوله‌های دود، طبق توصیه کارخانه سازنده، پیش‌بینی شود.

فضای سرویس مورد نیاز معمولاً به اندازه طول دیگ می‌باشد.

حداقل فاصله بین دو دیگ مجاوریا بین دیگ و دیوار یا تجهیزات دیگ یک متر توصیه می‌شود.

mohammad-karimi.com

کنترل خاموش و روشن مشعل دیگ توسط کلید فشار (PRESSURE SWITCH) روی دیگ انجام می‌گیرد. یک کنترل سطح پائین آب، در حالت اضطراری که سطح آب از تراز تعیین شده پائین‌تر باشد، به طور خودکار مشعل را خاموش می‌کنند و یک آژیر را به صدا در می‌آورد. راه اندازی مجدد دیگ در این حالت، پس از وارد نمودن مقدار کافی آب به دیگ، به طور دستی انجام می‌گیرد.

پرسش ٤-٣) طراحی مشعل دیگ بخار در حالت عادی کارکرد توسط کدام گزینه کنترل می‌شود؟ (دی ١٤٠١ (طراحی) «٤٨»)

الف) Accustat ب) Perssure Switch ج) Level Switch د) Flow Switch

پاسخ) طبق نقشه M.D. 315-05-1 نشریه ۲-۶-۱۲۸، کنترل خاموش و روشن مشعل دیگ توسط کلید فشار (PRESSURE SWITCH) روی دیگ انجام می‌گیرد. یک کنترل سطح پائین آب، در حالت اضطراری که سطح آب از تراز تعیین شده پائین‌تر باشد، به طور خودکار مشعل را خاموش می‌کنند و یک آژیر را به صدا در می‌آورد. راه اندازی مجدد دیگ در این حالت، پس از وارد نمودن مقدار کافی آب به دیگ، به طور دستی انجام می‌گیرد. گزینه **ب** صحیح است.

٤-٢ منبع انبساط

در سیستم‌های بسته برای فراهم کردن امکان انبساط حجمی آب در اثر افزایش دما، از مخزنی به نام منبع انبساط استفاده می‌شود، این منبع فضای لازم را برای افزایش حجم ناشی از انبساط آب فراهم کرده و در نهایت فشار سیستم را در یک مقدار مشخص به‌طور ثابت نگه می‌دارد، همچنین منبع انبساط دارای یک لوله پرکن می‌باشد که کسری آب سیستم را نیز جبران می‌کند منابع انبساط به دو نوع باز و بسته تقسیم بندی می‌شوند:

٤-٢-١ منبع انبساط باز

این منبع که به آن مخزن اتمسفریک نیز گفته می‌شود، با هوای آزاد در ارتباط بوده و تحت فشار اتمسفر می‌باشد، این نوع منبع برای سیستم‌هایی با فشار کم و دمای حداکثر ۱۸۰ درجه فارنهایت مناسب است. این نوع منبع معمولاً از ورق فولادی گالوانیزه ساخته می‌شود و برای جلوگیری از یخزدگی در فصل زمستان، آن را عایق می‌کنند. این منابع را از نوع آلومنیومی و فایبرگلس نیز می‌سازند.

الزامات منبع انبساط باز براساس آیین‌نامه ١٤-٧-٩-٢ مبحث ١٤:

مخزن انبساط باز باید در ترازی نصب شود که سطح آب مخزن، در کارکرد عادی سیستم، دست‌کم ۱۲۰۰ میلی‌متر (۴ فوت) بالاتر از بالاترین اجزای سیستم گرمایی قرارگیرد (بند الف).

گنجایش مفید این مخزن باید دست‌کم برابر مقدار تغییر حجم آب سیستم در اثر تغییر دمای آب، باشد (بند ب).

مخزن انبساط باز باید علاوه بر لولهٔ اتصال به سیستم، دارای اتصالات زیر باشد (بند پ).

لولهٔ سرریز با قطر اسمی دست‌کم ۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ)، که تا نقطهٔ تخلیهٔ آب ادامه یابد (بند پ-۱).

لولهٔ هواکش، تا هوای داخل مخزن را بدون هیچ نوع شیر یا مانع دیگر، به هوای آزاد خارج مربوط کند (بند پ-۲).

پرسش ٤-٤) مشترک وظیفه مخزن انبساط باز چیست؟ (آبان ١٤٠٣ (طراحی) «١١»)

الف) تأمین حجم کافی برای تغییر حجم آب سیستم، پر کردن آب سیستم.

ب) تأمین حجم کافی برای تغییر حجم آب سیستم، پر کردن آب سیستم، کنترل فشار آب سیستم

ج) تأمین حجم کافی برای تغییر حجم آب سیستم، کنترل فشار آب سیستم

د) پر کردن آب سیستم، کنترل فشار آب سیستم

پاسخ) طبق مطالب بالا، گزینه **ب** صحیح است.

پرسش ٤-٥) مشترک حجم مخزن انبساط باز سیستم گرمایی تابع کدام یک از عوامل زیر است؟ (مهر ٩٩ (طراحی) «٣٧»)

الف) اختلاف دمای حداکثر و حداقل سیستم، حجم آب سیستم

ب) اختلاف دمای حداکثر و حداقل سیستم، حجم آب سیستم و فشار کار سیستم

ج) اختلاف دمای حداکثر و حداقل سیستم، فشار کار سیستم و اختلاف ارتفاع محل نصب مخزن تا محل نصب دیگ آب گرم

د) اختلاف دمای حداکثر و حداقل سیستم، حجم آب سیستم و اختلاف ارتفاع محل نصب مخزن تا محل نصب دیگ آب گرم

پاسخ) طبق بند «ب» آیین‌نامه ١٤-٧-٩-١ صفحه ٩١ مبحث ١٤، گزینه **الف** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۵۱» آزمون "طراحی مهر" سال ۹۶ می‌باشد.

mohammad-karimi.com

٤-٢-٢ منبع انبساط بسته

این منبع در سیستم‌های گرمایش با دمای زیاد آب و همچنین در مواردی که محدودیت ارتفاع برای موتورخانه داریم، بکار می‌رود. این منبع با هوای آزاد ارتباط نداشته و فشار سیستم توسط بالشتک هوا، بخار و یا گاز بی اثر مانند ازت تأمین می‌شود.

الزامات منبع انبساط بسته براساس آیین‌نامه ١٤-٧-٩-٣ مبحث ١٤:

مخزن انبساط بسته باید مناسب برای فشار و دمای کار سیستم گرمایی مورد نظر باشد (بند الف).

مخزن انبساط بسته باید از یک موسسهٔ دارای صلاحیت قانونی، گواهی آزمایش فشارِ کار داشته باشد (بند ب).

فشار آزمایش باید دست‌کم ١/٥ برابر حداکثر فشار کار سیستم باشد (بند ب-١).

پرسش ٤-٦) نظارت-اجرا حداقل فشار آزمایش منبع انبساط بسته چقدر است؟ (مهر ٩٦ (نظارت) «٤٨»)

الف) ١/٥ برابر حداکثر فشار کار سیستم
ب) ٧ بار
ج) ١/٥ برابر فشار پرکن
د) ١٠ بار

پاسخ) طبق بند «ب-١» آیین‌نامه ١٤-٧-٩-٣ صفحه ٩٢ مبحث ١٤، گزینه **الف** صحیح است.

٤-٣ موتورخانه دیگ بخار

یکی از ساده‌ترین راه‌های انتقال حرارت استفاده از بخار آب است. آب به دلیل ظرفیت حرارتی بالا و همچنین ارزانی و در دسترس بودن به عنوان یک انتقال دهنده حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرد. بخار مقدار انرژی زیادی را در واحد وزن خود نگه می‌دارد و از آنجایی‌که بیش‌تر حرارت آن به‌صورت گرمای نهان می‌باشد در یک دمای ثابت مقادیر زیادی از حرارت می‌تواند با کارایی بالا انتقال یابد. از بخار جهت گرمایش، استریلیزه کردن، نیروی محرکه، شستشو و تمیز کردن، رطوبت زنی و ... می توان استفاده نمود.

٤-٣-١ سیکل تولید بخار و کندانس

ابتدا آب خام در موتورخانه وارد سیستم فیلتر می‌شود تا ذرات معلق آن گرفته شود. سپس به سختی‌گیر منتقل تا به آب نرم تبدیل گردد و بعد از آن (در برخی موتورخانه‌های بخار)، به منبع ذخیره آب نرم منتقل شده یا مستقیما به دی‌اریتور انتقال می‌یابد. سپس توسط پمپ آب، از دی‌اریتور به بویلر منتقل و بخار تولید شده از بویلر یا دیگ بخار به واحدهای مصرف‌کننده (مثلاً یونیت هیتر) انتقال داده می‌شود. بخار، در این مبدل‌ها مصرف شده و با دما و فشار پایین‌تر به‌سمت منبع کندانس انتقال داده می‌شود. در منبع کندانس، آب ناشی از میعان بخار، به دی‌اریتور انتقال داده می‌شود (اما ممکن است در زمانی‌که دیگ با مشکل کمبود آب مواجه است، مستقیماً از آب منبع کندانس تغذیه کند). برای تخلیه مناسب آب کندانس از لوله بخار، لوله‌ها باید دارای شیب مناسب باشد؛ که مقدار مناسب این شیب ٢/٥ در ١٠٠٠ می‌باشد. ولی اگر وضعیت محل نصب لوله‌ها اجازه ندهد، می‌توان تا حداقل ١/٥ در هزار نیز در نظر گرفت. مقدار عملی شیب با توجه به وضعیت تکیه‌گاه‌های لوله مشخص می‌شود. یکی دیگر از اجزای موتورخانه و دیگ بخار، «بلودان» می‌باشد. بلودان، باعث خروج ذرات ته‌نشین‌شده‌ی آب در دیگ می‌باشد که طی این عمل تخلیه و ورود آب جدید به سیستم، میزان سختی و TDS آب دیگ تنظیم می‌شود. علاوه‌براین، در سیستم لوله‌کشی انتقال بخار نیز (خصوصا در برگشت از دستگاه مصرف‌کننده به منبع کندانس) از تله‌های بخار استفاده می‌شود. در لوله‌کشی برگشت به منبع کندانس رعایت شیب مناسب لوله‌کشی، از الزامات سیستم موتورخانه دیگ بخار است. بدین‌ترتیب، آب میعان یافته می‌تواند به‌طور ثقلی حرکت کند. همچنین بهتر است منبع کندانس در سطحی پایین‌تر از سطح دیگ قرار گیرد تا آب حاصل از کندانس، بتواند به‌صورت ثقلی وارد آن شود که به فضای نصب پایین‌تر از دیگ چاله کندانس می‌گویند.

پرسش ٤-٧) مشترک عمل زیرآب‌زنی (Blow Down) در دیگ بخار به چه منظور است؟ (مهر ١٤٠٢ (اجرا) «٨»)

الف) کاهش TDS آب درون دیگ
ب) کاهش سختی آب درون دیگ
ج) افزایش حجم بخار درون دیگ
د) گزینه‌های الف و ب هر دو صحیح است.

پاسخ) طبق مطالب فوق، گزینه **د** صحیح است.

mohammad-karimi.com

٤-٣-٢ محاسبه میزان تولید بخار و کندانس

آنتالپی:

آنتالپی (H) مقدار گرمای یک سیستم در فشار ثابت است و تغییرات آنتالپی همان مقدار گرمایی است که طی یک فرایند فشار ثابت در سیستم تولید یا از آن گرفته می‌شود. همچنین آنتالپی مخصوص (h) مقدار گرمای سیستم در واحد حجم آن می‌باشد.

آنتالپی سیستم در حالات فیزیکی مختلف به‌صورت زیر بیان می‌شود:

h_g = مقدار کل گرمای سیستم در حالت بخار اشباع برحسب کیلوژول بر کیلوگرم

h_f = مقدار کل گرمای سیستم در حالت مایع (یا همان گرمای محسوس) برحسب کیلوژول بر کیلوگرم

h_{fg} = مقدار کل گرما برای تغییر حالت سیستم (یا همان گرمای نهان) برحسب کیلوژول بر کیلوگرم

توان دیگ بخار:

توان دیگ بخار همان ظرفیت نامی آن است که بر حسب بی‌تی‌یو بر ساعت (Btu/hr)، اسب بخار (hp) و یا برحسب مقدار بخار خروجی بر ساعت (kg/hr) در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار اتمسفر، بیان می‌شود و به این معناست که برای تولید هر یک کیلوگرم بخار مقدار ۲۲۵۷ کیلوژول (که همان h_{fg} بخار می‌باشد) انرژی لازم است.

$$Q_n\left(\frac{kJ}{hr}\right)=\dot{m}_n\left(\frac{kg}{hr}\right)\times h_{fg(atm)}\left(\frac{kJ}{kg}\right)=\dot{m}_n\left(\frac{kg}{hr}\right)\times 2257\left(\frac{kJ}{kg}\right) \qquad (۱-۸)$$

میزان تولید بخار در دیگ بخار:

با توجه به فشار کاری دیگ ظرفیت تولید بخار در آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{m}\left(\frac{kg}{hr}\right)=\frac{Q_n\left(\frac{kJ}{hr}\right)}{(h_2-h_1)\left(\frac{kJ}{kg}\right)} \qquad (۲-۸)$$

پرسش ٤-٨) طراحی در یک سیستم صنعتی، آب گرم مصرفی با تزریق مستقیم بخار با فشار نسبی ۲۰۰ کیلوپاسکال به آب سرد تولید می‌شود. دمای آب گرم مورد نیاز ۸۰ درجه سلسیوس است. اگر دمای آب سرد ۱۰ درجه سلسیوس و دبی آب گرم مصرفی ۱۰ مترمکعب در ساعت باشد، میزان بخار مصرفی چند کیلوگرم در ساعت است؟ (آنتالپی آب ۱۰ درجه، آب ۸۰ درجه و بخار اشباع با فشار نسبی ۲۰۰ کیلوپاسکال به ترتیب ۱۰، ۸۰ و ۲۷۲۵ کیلوژول بر کیلوگرم است.) (مهر ۹۹ (طراحی) «۳۲»)

الف) ۲۵۷ ب) ۳۲۵ ج) ٤۱۲ د) ۳۷۲

پاسخ) می‌خواهیم با ترکیب آب ۱۰ درجه و بخار ۲۰۰ کیلوپاسکال به آب ۸۰ درجه برسیم، پس در یک سیستم بسته گرمایی که بخار از دست می‌دهد صرف افزایش دمای آب می‌شود و داریم:

$$Q_{200kpa}=Q_{10^\circ}\quad\Rightarrow\quad \dot{m}_{200kpa}\left(h_{g200kpa}-h_{f80^\circ}\right)=\dot{m}_{10^\circ}\left(h_{f80^\circ}-h_{f10^\circ}\right)$$

$$\Rightarrow\quad (\dot{m}_{200kpa}+\dot{m}_{10^\circ})h_{f80^\circ}=\dot{m}_{200kpa}h_{g200kpa}+\dot{m}_{10^\circ}h_{f10^\circ}$$

$$\dot{m}_{80^\circ}=\rho\dot{V}_{80^\circ}=1000\times 10=10000\frac{kg}{hr}\quad\&\quad \dot{m}_{80^\circ}=\dot{m}_{200kpa}+\dot{m}_{10^\circ}\quad\Rightarrow\quad \dot{m}_{10^\circ}=10000-\dot{m}_{200kpa}$$

$$10000\times 80=\dot{m}_{200kpa}\,2725+(10000-\dot{m}_{200kpa})10\quad\Rightarrow\quad \dot{m}_{200kpa}=\frac{700000}{2715}=257.82\frac{kg}{hr}$$

گزینه **الف** صحیح است.

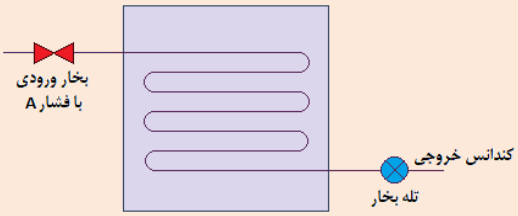
این پرسش، مشابه پرسش «۴۸» آزمون "آبان" سال ۹۳ می‌باشد.

mohammad-karimi.com

نکته ٤-٢) با افزایش فشار بخار آب، دمای آن نیز بالا می‌رود، همچنین آنتالپی بخار اشباع (h_g) و آنتالپی مایع اشباع (h_f) نیز بالاتر رفته اما آنتالپی تغییر حالت از بخار اشباع به مایع اشباع (h_{fg}) کاهش می‌یابد:

$$\uparrow P_{sat} \Rightarrow \uparrow T_{sat} \ , \uparrow h_g \ , \uparrow h_f \ , \downarrow h_{fg} \qquad (۳-۸)$$

پرسش ٤-٩) مشترک از یک پل حرارتی بخار داخل مخزن آب مطابق شکل زیر بخار اشباع با فشار A عبور می‌کند، در صورت یکسان بودن دبی بخار، در کدام حالت درجه حرارت آب مخزن بیشتر است؟ (مرداد ۱٤۰۳ (طراحی) «٤۲»)



الف) A برابر ۵۰ پوند بر اینچ مربع
ب) A برابر ۵ پوند بر اینچ مربع
ج) A برابر ۷۵ پوند بر اینچ مربع
د) A برابر ۱۰۰ پوند بر اینچ مربع

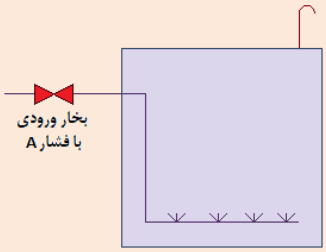
پاسخ) با عبور بخار اشباع از پل، دمای خود را به مایع داخل مخزن داده و با فرض اینکه تمام گرمای بخار به مایع داخل مخزن منتقل می‌شود داریم:

$$\dot{m}_s h_{fg} = \dot{m}_w c\Delta T \qquad \overset{\dot{m}_s, \dot{m}_w, c=constant}{\Rightarrow} \qquad \uparrow h_{fg} \equiv \uparrow \Delta T$$

هرچه فشار اشباع کمتر باشد گرمای نهان (تبدیل بخار اشباع به مایع اشباع) (h_{fg}) بیش‌تر است، بنابراین در حالتی که فشار بخار کمتر است بخار برای تبدیل شدن به حالت مایع، گرمای بیش‌تری از دست می‌دهد در نتیجه گزینه **ب** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۳۱» آزمون "طراحی دی" سال ۱۴۰۱ می‌باشد.

پرسش ٤-١٠) مشترک به یک مخزن آب مطابق شکل، بخار اشباع با فشار A تزریق می‌شود، در صورت یکسان بودن دبی بخار، در کدام حالت درجه حرارت مخزن بیشتر است؟ (مرداد ۱٤۰۳ (نظارت) «٤»)



الف) A برابر ۵ پوند بر اینچ مربع
ب) A برابر ۵۰ پوند بر اینچ مربع
ج) A برابر ۷۵ پوند بر اینچ مربع
د) A برابر ۱۰۰ پوند بر اینچ مربع

پاسخ) با ورود بخار اشباع با فشار A به مخزن، مقداری از بخار به مایع تبدیل شده و گرمای نهان آن باعث بالا رفتن دمای آب می‌شود، طبق رابطه زیر تغییرات دما و آنتالپی آب را در حالت دوم بررسی می‌کنیم:

$$Q_2 = Q_1 \Rightarrow (m_s + m_1)h_{f2} = m_s h_{g(A)} + m_1 h_{f1}$$

دما و آنتالپی آب در حالت اول ثابت است بنابراین برای بالاتر بردن دمای آب در حالت دوم باید آنتالپی بخار بیشتر شود، از آنجایی که با بالاتر رفتن فشار اشباع، آنتالپی بخار نیز افزایش می‌یابد پس گزینه **د** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۵۵» آزمون "اجرا دی" سال ۱۴۰۱ می‌باشد.

٤-٣-٣ فضای موتورخانه دیگ بخار

الزامات کلی مربوط به موتورخانه دیگ بخار و آب‌گرم در بخش‌های پیشین این فصل آورده شده است اکنون به تکمیل این مطالب جهت اندازه‌گذاری فضای موتورخانه دیگ بخار خواهیم پرداخت:

فاصلهٔ بالای دیگ آب گرم یا بخار تا سقف یا هر مانع دیگری که بالای دیگ قرار داشته باشد باید مطابق جدول زیر باشد (آیین‌نامه ۱۴-۷-۴-۴)

mohammad-karimi.com

جدول (٤-١) حداقل فاصلهٔ دیگ بخار تا سقف یا هر مانع بالای دیگ (طبق جدول ١٤-٧-٤-٤)

نوع دیگ	حداقل فاصله بالای دیگ (میلیمتر)
تمام دیگ هائی که روی پوستهٔ بالای آن دریچهٔ دسترسی وجود دارد . جز مواردی که در این جدول فاصلهٔ بیشتری در بالای آن ها در نظر گرفته شده است	۹۰۰
تمام دیگ هائی که روی پوستهٔ بالای آن دریچهٔ دسترسی وجود ندارد جز دیگ‌های بخار پرفشار و مواردی که در این جدول فاصلهٔ بیشتری در بالای آن ها در نظر گرفته شده است	۶۰۰
دیگ های بخار پر فشار با ظرفیت حداکثر ۲۲۷۰ کیلوگرم بخار در ساعت	۹۰۰
دیگ های بخار پر فشار با ظرفیت بیش از ۲۲۷۰ کیلوگرم بخار در ساعت	۲۱۵۰
دیگ های بخار پر فشار با سطح گرمائی حد اکثر ۹۳ متر مربع	۹۰۰
دیگ های بخار پر فشار با سطح گرمائی بیش از ۹۳ متر مربع	۲۱۵۰
دیگ های بخار پر فشار با انرژی معادل سوخت ورودی حد اکثر تا ۱۴۶۵ کیلووات	۹۰۰
دیگ های بخار پر فشار با انرژی معادل سوخت ورودی بیش از ۱۴۶۵ کیلووات	۲۱۵۰
دیگ های بخار کم فشار با ظرفیت بیش از ۲۲۷۰ کیلوگرم بخار در ساعت	۹۰۰
دیگ های آب گرم و دیگ های بخار کم فشار با انرژی معادل سوخت ورودی بیش از ۱۴۶۵ کیلووات	۹۰۰
دیگ های آب گرم و دیگ های بخار کم فشار با سطح گرمائی بیش از ۹۳ متر مربع	۹۰۰

پرسش ٤-١١) طراحی برای گرم کردن آب از دمای ۱۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس که با دبی ۷/۵ لیتر بر ثانیه جریان دارد، از یک دیگ بخار با فشار ۳ بار استفاده می‌شود. فاصله بین این دیگ تا سقف موتورخانه با موانع بالای دیگ باید حداقل چند سانتی‌متر باشد؟ (آنتالپی نهان بخار آب در فشار ۳ بار ۲۱۳۳ کیلوژول بر کیلوگرم است.) (شهریور ۱۴۰۱ (طراحی) «۵»)

الف) ۹۰ ب) ۲۱۵ ج) ۶۰ د) ۱۰۰

پاسخ) طبق آیین‌نامه ١٤-٢-٢ (تعاریف) صفحه ١٤ مبحث ١٤، دیگ بخار با فشار ۳ بار جزو دیگ‌های پرفشار می‌باشد. برای محاسبه مقدار ظرفیت بخار دیگ داریم:

$$\dot{Q}_{water} = \dot{m}.c.\Delta t = 7.5 \times 4.184 \times (60-10) = 1726.725\ kW$$

$$\dot{Q}_{steam} = \dot{m}.h_g \Rightarrow \dot{m} = \frac{1726.725}{2133} = 0.8\frac{kg}{s} = 2880\frac{kg}{hr}$$

طبق جدول ١٤-٧-٤-٤ صفحه ٨٧ مبحث ١٤، برای دیگ های بخار پر فشار با ظرفیت حداکثر ۲۲۷۰ کیلوگرم بخار در ساعت، حداقل فاصلهٔ دیگ بخار تا سقف یا هر مانع بالای دیگ برابر ۲۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. گزینه **ب** صحیح است.

mohammad-karimi.com

فصل پنجم

تبرید و سردخانه

۵-۱ تبرید و اصول سیستم تبرید

به هر تحولی که در آن حرارت گرفته می‌شود تبرید می‌گویند. بنا بر تعریفی دیگر به شاخه‌ای از علم که در آن به کاهش و ثابت نگه‌داشتن دمای یک ماده یا فضا، در دمایی پایین‌تر از دمای محیط پرداخته می‌شود تبرید اطلاق می‌گردد. به بیان دیگر در تحول تبرید، حرارت از جسم سرد شونده‌ای گرفته شده و به جسم دیگری که دمایی کمتر از جسم سرد شونده دارد منتقل می‌گردد. چون در این تحول حرارت گرفته شده از جسم سرد شونده به جسم دیگری منتقل می‌گردد، لذا در تحول تبرید هم گرمایش و هم سرمایش وجود دارد.

۵-۱-۱ تبرید و بار برودتی

شدت جذب حرارت از یک ماده یا فضا را، برای به وجود آوردن شرایط دمایی مورد نظر و ثابت نگه داشتن آن، بار برودتی، بار سرمایی، یا بار گرمایی می‌نامند. در تحولات برودتی ماده جذب کننده حرارت یا عامل سرمایی را مبرد یا ماده سرمازا می‌نامند. بسته به تأثیری که حرارت جذب شده بر روی مبرد دارد، می توان تحولات برودتی را به صورت محسوس و نهان طبقه بندی نمود. در صورتی که جذب حرارت موجب افزایش دمای سرد کننده شود، تحول برودتی را محسوس و چنانچه موجب تغییر حالت فیزیکی مبرد شود (ذوب یا تبخیر) آن را نهان می‌نامند. در هر دو مورد بایستی دمای مبرد همواره از دمای فضا یا ماده سرد شونده کمتر باشد.

۵-۱-۲ عملکرد سیکل تبرید

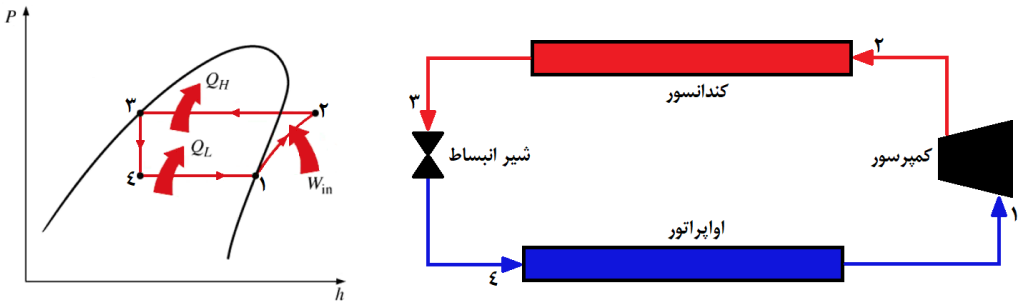
تحولات سیکل تبرید به ترتیب زیر است که در شکل زیر نیز مراحل عمل مشهود است:

الف) مرحله تراکم آدیاباتیک

ب) مرحله دفع حرارت در درجه حرارت ثابت

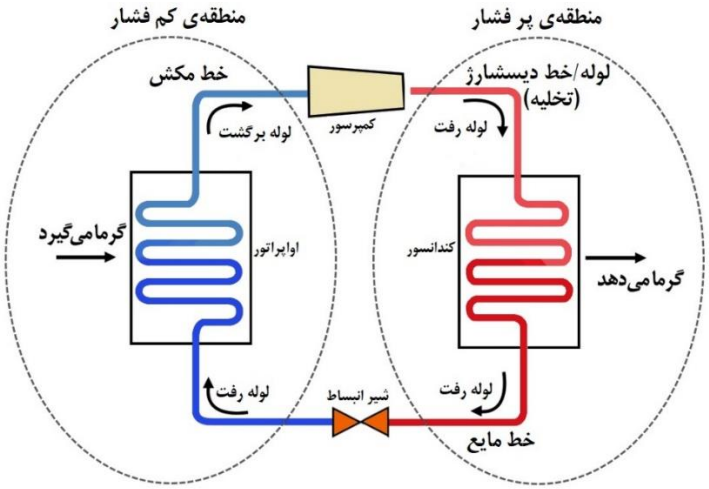
ج) مرحله انبساط آدیاباتیک

د) مرحله جذب حرارت در درجه حرارت ثابت



شکل (٦-١): شماتیک سیستم تبرید و نمودار فشار- آنتالپی سیکل تبرید

هر سیکل تبرید از دو بخش تشکیل شده است و یک بخش آن، بخش پرفشار و بخش دیگر، بخش کم فشار است. در سیکل تبرید گرما از بخش کم فشار گرفته شده و در بخش پر فشار جدا می‌شود. در این سیکل از قسمت شیر انبساط تا بخش ورودی کمپرسور را بخش کم فشار و خود کمپرسور و بقیه بخش های سیکل تبرید را بخش پر فشار در نظر می گیرند.



شکل (٦-٢): مناطق پرفشار و کم‌فشار سیکل تبرید

در سیکل تبرید ابتدا مبرد به صورت بخار اشباع از لوله مکش با فشار کم به کمپرسور که وظیفه تراکم و افزایش فشار مبرد را برعهده دارد وارد شده و سپس به صورت بخارداغ (سوپرهیت یا مافوق گرم) با فشار زیاد از طریق لوله رانش از کمپرسور خارج می‌گردد، مبرد در انتهای لوله رانش وارد کندانسور می‌گردد. کندانسور یک پخچال خانگی ساده عموما از نوع هوایی با جریان طبیعی و در کولر گازی و پخچال‌های جدید به صورت جریان اجباری می‌باشد. در کندانسور مبرد تقطیر شده بصورت مایع اشباع وارد لوله مایع می‌گردد و مایع مبرد در لوله مایع از فیلتر دارایر عبور می‌کند سپس مبرد تمیز و خشک وارد شیر انبساط یا در سیستم‌های با ظرفیت پایین وارد لوله مویین می‌شود. در شیر انبساط طی فرایند آدیاباتیک فشار مایع مبرد کم شده و به صورت دوفازی وارد اواپراتور می‌شود . مبرد با فشار کم از شیر انبساط به اواپراتور وارد می‌شود. در اواپراتور مایع مبرد بر اثر جذب حرارت محیط تبخیر می‌شود و در نتیجه با گرفتن گرما از محیط دمای مطلوب و مورد نظر را فراهم می‌کند. مبرد در انتهای اواپراتور به صورت بخار اشباع به سمت لوله مکش کمپرسور رانده می‌شود. از انتهای کویل اواپراتور تا ورودی کمپرسور را لوله مکش می‌نامند. باید توجه داشت که سایز لوله مکش از سایز لوله رانش بزرگ‌تر بوده و حساسیت سیستم به سایز این لوله بیش‌تر است. از سمت لوله مکش ورودی کمپرسور به سمت لوله رانش خروجی کمپرسور فشار افزایش می‌یابد. به خطی که از کندانسور به وسیله انبساطی می‌رود، خط مایع می‌گویند.

در سیکل تبرید فرایند ۱ به ۲ فرایند آیزنتروپیک[1] (آنتروپی ثابت) می‌باشد که بخار اشباع به بخار سوپر هیت تبدیل می‌شود در این فرایند دما و فشار افزایش می‌یابد، فرایند ۲ به ۳ فرایند فشار ثابت است که بخار سوپر هیت با از دست دادن گرما به محیط به مایع اشباع تبدیل می‌شود در این فرایند دما کاهش می‌یابد، فرایند ۳ به ۴ فرایند آنتالپی ثابتی می‌باشد که فشار و دما به‌وسیله‌ی شیر انبساط از کندانسور به اواپراتور کاهش می‌یابد و مبرد از مایع اشباع به حالت دوفازی تغییر می‌کند و در نهایت فرایند ۴ به ۱ فرایند فشار ثابتی است که مبرد با گرفتن گرمای محیط داخل کابین یا اتاق از حالت دوفازی به بخار اشباع تبدیل می‌شود همچنین با سوپرهیت کردن مبرد در این مرحله می‌توان اطمینان حاصل کرد که مبرد به‌صورت مایع وارد کمپرسور نشود چرا که ورود مبرد به‌صورت مایع به کمپرسور باعث خرابی آن می‌شود.

پرسش ۵-۱) مشترک خط بین کندانسور و شیر انبساط در سیستم تبرید تراکمی چه نام دارد؟ (مرداد ۱۴۰۳ (نظارت) «۳۲»)

الف) خط مکش ب) خط انبساط ج) خط مایع د) خط دهش

پاسخ) طبق شکل زیر، گزینه **ج** صحیح است.

پرسش ۵-۲) مشترک در سیکل تبرید تراکمی، خط مایع به چه خطی اطلاق می‌شود؟ (اسفند ۱۴۰۲ (نظارت) «۲۵»)

الف) خروجی کمپرسور را به ورودی کندانسور متصل می‌کند. ب) خروجی اوپراتور را به ورودی کمپرسور متصل می‌کند.

ج) خروجی کندانسور را به وسیله انبساطی متصل می‌کند. د) خروجی وسیله انبساطی را به ورودی اواپراتور متصل می‌کند.

پاسخ) به خطی که از کندانسور به وسیله انبساطی می‌رود، خط مایع می‌گویند. گزینه **ج** صحیح است.

پرسش ۵-۳) مشترک خطی که اواپراتور را به کمپرسور متصل می‌کند چه نام دارد؟ (مرداد ۱۴۰۳ (اجرا) «۳۴»)

[1] فرایند آدیاباتیک بازگشت پذیر یا بی درو

mohammad-karimi.com

الف) خط انبساط ب) خط دهش ج) خط مایع د) خط مکش

پاسخ) با توجه به سیکل تبرید، گزینه **د** صحیح است.

پرسش ۵-۴) مشترک حساسیت عملکرد سیستم تبرید تراکمی به اندازه کدام لوله بیشتر است؟ (مرداد ۱۴۰۳ (اجرا) «۳۱»)

الف) خط دهش ب) خط مکش ج) خط مایع د) خط انبساط

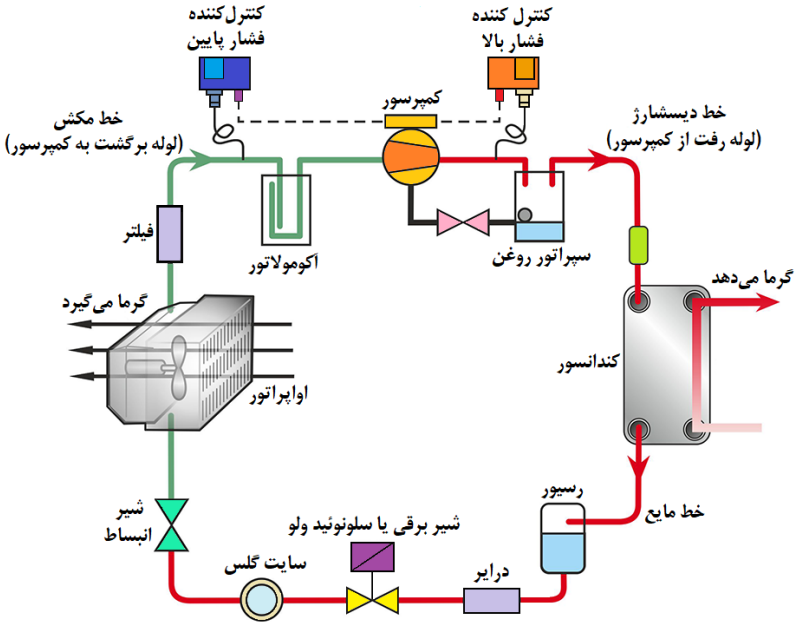
پاسخ) طبق مطالب بالا، حساسیت سیستم تبرید روی اندازه‌ی خط مکش بیش‌تر بوده و قطر این لوله بیش‌تر از قطر لوله‌ی رانش است.. گزینه **ب** صحیح است.

۵-۲ سایر اجزای سیکل تبرید

سیکل تبرید دارای تجهیزات دیگری نیز می‌باشد که هر کدام در جایگاه مشخص خود وظایف مختلفی را انجام می‌دهند.

شکل (۶-۳): سایر اجزای سیکل تبرید

شکل زیر محل نصب تجهیزات اصلی و جانبی سیستم تبرید را نشان می‌دهد:



شکل (۶-۴): سایر اجزای سیکل تبرید

پرسش ۵-۵) مشترک در سیستم تبرید تراکمی، رسیور (Receiver) در پایین دست کدام بخش نصب می‌شود؟ (مرداد ۱۴۰۳ (اجرا) «۲۴»)

الف) اواپراتور ب) کندانسور ج) کمپرسور د) شیر انبساط

پاسخ) این مخزن همواره پس از کندانسور و در زیر آن قرار داده می‌شود. گزینه **ب** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۲۸» آزمون "اجرا اسفند" سال ۱۴۰۲ می‌باشد.

پرسش ۵-۶) مشترک در سیکل تبرید تراکمی، شیشه رویت (Sight Glass) در کجا نصب می‌شود؟ (اسفند ۱۴۰۲ (نظارت) «۲۶»)

الف) روی خط مایع ب) روی خط گاز داغ

ج) قبل از کمپرسور د) بعد از وسیله انبساطی

پاسخ) در سیکل تبرید شیشه رویت یا سایت گلس قبل از وسیله انبساطی و روی خط مایع قرار می‌گیرد. گزینه **الف** صحیح است.

mohammad-karimi.com

پرسش ۵-۷) مشترک تله روغن (Oil Separator) در کجای سیستم تبرید نصب می‌شود؟ (دی ۱۴۰۱ (نظارت) «۳۹»)

الف) خروجی کمپرسور　　ب) ورودی کمپرسور

ج) خروجی کندانسور　　د) ورودی اواپراتور

پاسخ) در سیستم یک سیکل تبرید یک عدد تله روغن یا جداکننده روغن در صورت نیاز در روی خط RD (خروجی کوپرسور قبل از ورود به کنداسور) می توان نصب نمود. گزینه **الف** صحیح است.

۵-۳ موتورخانه تبرید

۵-۳-۱ تعویض هوا (۱۴-۱۳-۵-۴)

موتورخانهٔ تبرید باید مجهز به سیستم تعویض هوای مکانیکی باشد. سیستم تهویهٔ مکانیکی باید ظرفیت لازم برای تخلیهٔ هوای موتورخانه به خارج را، در شرایط کار عادی و شرایط کار اضطراری، داشته باشد (بند الف).

استفاده از هواکش چند سرعته یا نصب چند هواکش، برای تغییر مقدار هوای تخلیه، از شرایط اضطراری به شرایط عادی، مجاز است (بند الف-۱).

در صورت قرار داشتن سیستم تبرید در چهارطاقی یا اسکلت بازِ به هوای آزاد، و در فضایی به فاصلهٔ دست‌کم ۶ متر (۲۰ فوت) از هر بازشو ساختمان، تعویض هوا مجاز است مکانیکی یا طبیعی باشد. در تعویض هوای طبیعی، محل بازشوها باید با توجه به میزان غلظت مبرّد، انتخاب شود. سطح مفید دهانهٔ خروجی هوا از بازشو، نباید از مقدار زیر کمتر باشد (بند الف-۲):

$$F = 0.138\sqrt{G} \qquad (۱-۵)$$

F= سطح مفید و آزاد دهانهٔ بازشو، برحسب مترمربع؛

G= جرم مبرّد در بزرگترین سیستم تبرید در موتورخانه، برحسب کیلوگرم؛

پرسش ۵-۸) مشترک در تهویه طبیعی یک موتورخانه تبرید که جرم مبرد در آن ۱۰۰ کیلوگرم است سطح مفید دهانه خروجی هوا از بازشو، باید دست‌کم چه مقدار باشد؟ (اسفند ۹۱ «۱۹»)

الف) ۲/۵ متر مربع　　ب) ۲ متر مربع　　ج) ۱/٤ متر مربع　　د) ۱ متر مربع

پاسخ) طبق بند «ب» آیین نامه ۱۴-۱۳-۵-۴ و رابطه ۱۴-۱۳-۲ صفحه ۱۷۹ مبحث ۱۴، سطح مفید دهانه خروجی هوا برابر است با:

$$F = 0.138\sqrt{G} = 0.138\times 10 = 1.38 \approx 1.4\,m^2$$

گزینه **ج** صحیح است.

تخلیهٔ هوا:

دهانهٔ تخلیهٔ مکانیکی هوای موتورخانه به خارج باید در محلی قرارگیرد که از مرز ملک دست‌کم ۶ متر (۲۰ فوت) فاصله داشته باشد (بند ب-۲).

پرسش ۵-۹) مشترک در تعویض هوای موتورخانه تبرید، دهانه خروجی تخلیه هوای مکانیکی از محدوده مرز ملک باید حداقل چقدر فاصله داشته باشد؟ (مرداد ۹۴ «۱۲»)

الف) ۹ متر　　ب) ۳ متر

ج) ۶ متر　　د) به میزان مجاز مبرد در دستگاه‌های موتورخانه بستگی دارد.

پاسخ) طبق بند «ب-۲»آیین نامه ۱۴-۱۳-۵-۴ صفحه ۱۷۹ مبحث ۱۴ ، گزینه **ج** صحیح است.

هوای ورودی از بیرون:

هم‌زمان با تخلیهٔ هوای موتورخانهٔ تبرید، باید هوای آزاد از بیرون جایگزین هوای تخلیه شده شود (بند پ-۱).

دهانه‌های ورود هوا از بیرون باید در محلی قرارگیرد که هوای تخلیه شده دوباره به موتورخانه باز نگردد (بند پ-۲).

سیستم تعویض هوای موتورخانهٔ تبرید، شامل ورود هوا از بیرون و تخلیهٔ هوا از درون، نباید با سیستم تعویض هوای فضاهای دیگر ساختمان مشترک باشد (بند پ-۳).

mohammad-karimi.com

دهانه‌های ورود هوا باید دارای توری مقاوم در برابر خوردگی با چشمه‌های دست‌کم ۶/۵ میلی‌متری ($\frac{۱}{۴}$ اینچ) باشند (بند پ-۴).

پرسش ۵-۱۰) مشترک سیستم تعویض هوای موتورخانه تبرید: (تیر ۸۰ «۵۵»)

الف) می‌تواند با سیستم تعویض هوای ساختمان مشترک باشد

ب) باید از سیستم تعویض هوای ساختمان کاملاً جدا باشد

ج) با رعایت نکات ایمنی می‌تواند با سیستم هوای ساختمان مشترک باشد

د) ورود هوا می‌تواند مشترک باشد ولی خروج هوا باید جدا باشد

پاسخ) طبق بند «پ-۳» آیین‌نامه ۱۴-۱۳-۵-۴ صفحه ۱۸۰ مبحث ۱۴، گزینه **ب** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۴۶» آزمون "آذر" سال ۷۹ می‌باشد.

پرسش ۵-۱۱) مشترک کدام‌یک از گزینه‌های زیر در موتورخانه تبرید صحیح نیست؟ (آبان ۱۴۰۳ (طراحی) «۶»)

الف) همزمان با تخلیه هوای موتورخانه تبرید باید هوای آزاد از بیرون جایگزین هوای تخلیه شود.

ب) سیستم تعویض هوای موتورخانه تبرید شامل ورود هوا از بیرون و تخلیه هوا از درون، می‌تواند با سیستم تعویض هوای پارکینگ مشترک باشد.

ج) دهانه ورود هوا از بیرون باید در محلی قرار گیرد که هوای تخلیه شده دوباره به موتورخانه باز نگردد.

د) دهانه تخلیه مکانیکی هوای موتورخانه به خارج باید در محلی قرار گیرد که از مرز ملک دست‌کم ۶ متر فاصله داشته باشد.

پاسخ) طبق بند «پ-۳» آیین‌نامه ۱۴-۱۳-۵-۴ صفحه ۱۸۰ مبحث ۱۴، گزینه **ب** پاسخ مورد نظر است.

مقدار تعویض هوا:

به جز سیستم تبرید آمونیاکی، سیستم های تهویه هوای مکانیکی باید قادر به تعویض حداقل مقدار هوا در شرایط عادی و اضطراری به شرح ردیف‌های (۱۴-۱۳-۵-۴) "ت" (۱) و (۱۴-۱۳-۵-۴) "ت" (۲) باشند. حداقل مقدار تعویض هوا برای سیستم های آمونیاکی ۳۰ بار تعویض هوا در ساعت می‌باشد. استفاده از فن‌های متعدد و یا فن‌هایی با سرعت متغیر جهت تامین جریان مورد نیاز هوا در شرایط اضطراری و کاهش آن در شرایط عادی، مجاز است (بند ت).

مقدار تعویض هوا در شرایط کار عادی (بند ت-۱)

هنگام حضور کارکنان در موتورخانهٔ تبرید، مقدار تخلیهٔ هوای مکانیکی نباید از بیشینهٔ ارقام زیر کمتر باشد:

- ۰/۰۰۲۵ مترمکعب در ثانیه برای هر مترمربع (۰/۵ فوت مکعب در دقیقه به ازای هر فوت مربع) از سطح موتورخانه؛
- ۰/۰۰۹ مترمکعب در ثانیه (۲۰ فوت مکعب در دقیقه) برای هر نفر؛
- به میزانی که افزایش دمای هوای موتورخانه ناشیِ از کار همهٔ دستگاه‌های گرمازا، نسبت به دمای هوای خارج، بیش از ۱۰ درجهٔ سلسیوس (۱۸ درجهٔ فارنهایت) نشود.

پرسش ۵-۱۲) مشترک در یک موتورخانه تبرید غیر آمونیاکی به مساحت ۵۰ متر مربع که ۳ نفر در آن کار می‌کنند، حداقل میزان تخلیه هوا به روش مکانیکی در شرایط عادی کار کرد چند فوت مکعب در دقیقه باید باشد؟ (مهر ۹۹ (طراحی) «۴۱»)

الف) ۱۵۵ ب) ۳۲۵ ج) ۶۵ د) ۲۶۵

پاسخ) طبق بند «ت» و «ت-۱» آیین‌نامه ۱۴-۱۳-۵-۴ صفحه ۱۸۰ مبحث ۱۴، مقدار تعویض هوا در شرایط کار عادی هنگام حضور کارکنان در موتورخانهٔ تبرید، مقدار تخلیهٔ هوای مکانیکی نباید از بیشینهٔ ارقام زیر کمتر باشد:

- ۰/۰۰۲۵ مترمکعب در ثانیه برای هر مترمربع (۰/۵ فوت مکعب در دقیقه به ازای هر فوت مربع) از سطح موتورخانه؛

$$\dot{V} = 0.0025 \times A = 0.0025 \times 50 = 0.125 \frac{m^3}{s} \times \frac{2118/88\ cfm}{1 m^3/s} \approx 265\,cfm$$

- ۰/۰۰۹ مترمکعب در ثانیه (۲۰ فوت مکعب در دقیقه) برای هر نفر؛

$$\dot{V} = 0.009 \times N = 0.009 \times 3 = 0.027 \frac{m^3}{s} \times \frac{2118/88\ cfm}{1 m^3/s} \approx 57.2\,cfm$$

مقدار بیش‌تر یعنی ۲۶۵ فوت مکعب بر دقیقه را در نظر می‌گیریم، گزینه **د** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۱۵» آزمون "نظارت مرداد" سال ۱۴۰۳ و مشابه پرسش «۳» آزمون "آذر" سال ۹۲ می‌باشد.

mohammad-karimi.com

نکته ۵-۱) میزان گرمای تولید شده از کار دستگاه‌های گرمازا در موتورخانه از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = \dot{m}c\Delta T = \rho \dot{V} c\Delta T \qquad (۲-۵)$$

در رابطه‌ی بالا، Q میزان گرمای تولید شده از کار دستگاه‌ها، c ظرفیت گرمایی ویژه هوا، ρ چگالی هوا، $\dot{m}$ دبی جرمی هوا و $\dot{V}$ دبی حجمی هوا می‌باشد.

پرسش ۵-۱۳) مشترک در یک موتورخانه تبرید به مساحت ۱۰۰ مترمربع که گرمادهی (Heat Dissipation) دستگاه‌ها برابر ۵۰۰۰۰ بی‌تی‌یو در ساعت است و ۳ نفر کارگر در آن حضور دارند حداقل میزان تعویض هوای مکانیکی لازم کدام یک از مقادیر زیر می‌تواند باشد؟ (محل پروژه در تراز سطح دریای آزاد است). (بهمن ۹۷ (طراحی) «۷»)

الف) ۱ مترمکعب در ثانیه
ب) ۱/۱ مترمکعب در ثانیه
ج) ۱/۳ مترمکعب در ثانیه
د) ۱/۵ مترمکعب در ثانیه

پاسخ) طبق بند «ت-۱» آیین‌نامه ۱۴-۱۳-۵-۴ صفحه ۱۸۰، مقدار تخلیه هوا در شرایط کار عادی هنگام حضور کارکنان در موتورخانهٔ تبرید، نباید از بیشینهٔ ارقام زیر کمتر باشد:

- ۰/۰۰۲۵ مترمکعب در ثانیه برای هر مترمربع (۰/۵ فوت مکعب در دقیقه به ازای هر فوت مربع) از سطح موتورخانه؛

$$\dot{V} = 0.0025 \times A = 0.0025 \times 100 = 0.25 \frac{m^3}{s}$$

- ۰/۰۰۹ مترمکعب در ثانیه (۲۰ فوت مکعب در دقیقه) برای هر نفر؛

$$\dot{V} = 0.009 \times N = 0.009 \times 3 = 0.027 \frac{m^3}{s}$$

- به میزانی که افزایش دمای هوای موتورخانه ناشی از کار همهٔ دستگاه‌های گرمازا، نسبت به دمای هوای خارج، بیش از ۱۰ درجهٔ سلسیوس (۱۸ درجهٔ فارنهایت) نشود.

$$Q = \rho \times \dot{V} \times c \times \Delta T \quad \Rightarrow \quad \dot{V} = \frac{Q}{\rho \times c \times \Delta T} = \frac{50000 \frac{Btu}{hr} \times \frac{1W}{3.41 Btu/hr}}{1.2 \times 1005 \times 10} = 1.22 \frac{m^3}{s}$$

مقدار تخلیه هوا را براساس بیشترین مقدار بدست آمده انتخاب می‌کنیم. بنابراین گزینه **ج** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۳۸» آزمون "مرداد" سال ۹۴ می‌باشد.

mohammad-karimi.com

فصل ششم

تهویه مطبوع

٦-١ تامین و تعویض هوا

٦-١-١ محاسبه‌ی دبی هوای تازه جهت تأمین و تعویض هوا

الف) محاسبه دبی هوای تازه بر حسب تعداد دفعات تعویض هوا در ساعت

این روش به عنوان ساده‌ترین و در عین حال پر کاربردترین روش جهت تعیین دبی هوای تازه مورد استفاده مهندسین تاسیسات مکانیکی قرار می‌گیرد. در این روش بسته به فضاهای مورد استفاده و تعیین تعداد دفعات مورد نیاز جهت تعویض هوا در هر ساعت مقدار دبی محاسبه می‌گردد.

$$\dot{V} = ACH \times V \qquad (۶-۱)$$

در رابطه بالا $\dot{V}$ دبی هوای تازه، V حجم فضا و یا محیط مورد استفاده و ACH نیز تعداد دفعات تعویض هوا در ساعت می‌باشد.

نکته ٦-١) ضریب نفوذ هوا (A.C.H[1])

به تعداد دفعاتی که در هر ساعت هوای جدید از بیرون وارد ساختمان یا اتاق شده و با هوای قدیمی ترکیب می‌شود گفته می‌شود؛ به عبارت دیگر به تعداد دفعات تعویض هوای یک فضا در ساعت، ضریب نفوذ هوا یا ACH می‌گویند.

$$ACH = \frac{\dot{V}(m^3/hr)}{V(m^3)} \quad , \quad ACH = \frac{3.6 \times \dot{V}(lit/s)}{V(m^3)} \quad , \quad ACH = \frac{60 \times \dot{V}(cfm)}{V(ft^3)} \qquad (۶-۲)$$

ب) محاسبه دبی هوای تازه بر اساس مساحت محیط

این روش عموما در محیط‌هایی که جمعیت زیادی را در خود جای می‌دهند و از فضاها و متراژ های بزرگی تشکیل شده‌اند استفاده می‌گردد. نحوه محاسبه دبی هوا در این روش به صورت زیر می باشد.

$\dot{V}$=(دبی هوای تازه به ازای یک واحد مساحت سطح) × A

در رابطه بالا $\dot{V}$ دبی هوای تازه و A مساحت محل مورد نظر می‌باشد.

ج) محاسبه دبی هوای تازه بر حسب تعداد نفرات

این روش نیز اغلب جهت محاسبه مربوط به دبی فضاهای بزرگ مانند سالن‌های کنفرانس، سینماها، تالارها و ... که جمعیت نسبتا زیادی را در خود جای می‌دهند به کار می‌رود. با این حال جهت محاسبات مربوط به تهویه هوای فضاهای کوچک و یا فضاهای با جمعیت کم نیز مانند منازل و ادارات و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جهت محاسبه دبی هوای تازه مورد نیاز در این روش از رابطه زیر استفاده می گردد:

$\dot{V}$=(مقدار دبی به ازای هر نفر) × (تعداد افراد حاضر در محیط)

در رابطه بالا $\dot{V}$ دبی هوای تازه می باشد.

د) محاسبه دبی هوای تازه با در نظر گرفتن حداقل سرعت هوا

---

[1] Air Changes per Hour

این روش برای تهویه هوای مکان‌هایی که هوای آن‌ها دارای گازهای سمی و مضر است به کار می‌رود. در این روش، فضای مورد نظر را به صورت یک داکت تهویه یا کانال هوا در نظر گرفته که مقطع آن برابر با عرض فضا در ارتفاع آن می‌باشد.

$$\dot{V} = A \times V$$

(۳-۶)

در رابطه بالا A سطح مقطع و V سرعت هوا می‌باشد.

$$A = W \times H$$

(۴-۶)

در رابطه بالا W عرض و H ارتفاع محل مورد تهویه می‌باشد.

٦-١-٢ تعویض هوای طبیعی (١٤-٤-٣)

چنانچه تهویهٔ طبیعی هر فضای ساختمان که در اشغال و تصرف است ممکن باشد، این تهویه باید پیش‌بینی شود و تعویض هوای مکانیکی اختیاری است (۱۴-۴-۳-۱).

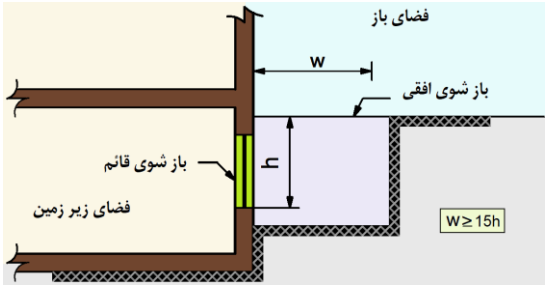
تعویض هوای طبیعی هر فضای ساختمان باید از راه دهانه‌های باز یا بازشوی آن فضا به بیرون مانند در، پنجره، دریچه و شبکه صورت‌گیرد. مکانیسم باز و بست و تنظیم چنین بازشوهایی باید در دسترس و کنترل باشد (۱۴-۴-۳-۲).

سطح بازشوی دهانهٔ هر فضا به هوای خارج باید دست‌کم 4 درصد سطح زیر بنای فضایی باشد که هوای آن با تهویهٔ طبیعی، تعویض می‌شود (۱۴-۴-۳-۳).

اگر فضایی که دهانهٔ بازشوی مستقیم به هوای بیرون ندارد از راه فضای مجاور تعویض هوای طبیعی شود، دهانهٔ بازشوی بدون مانع بین این دو فضا باید دست‌کم ۸ درصد سطح زیر بنای فضای مورد نظر باشد و به هر روی از ۲/۳۰ مترمربع (۲۵ فوت مربع) کمتر نباشد. سطح دهانهٔ بازشوی فضای مجاور به هوای بیرون باید، با توجه به سطح زیر بنای کل هر دو فضا، محاسبه و تعیین شود (بند الف).

بازشوی خارجی می تواند به یک پاسیو باز شود ولی سطح بازشوی بین پاسیو وفضا نباید از ۸ درصد سطح زیربنای فضا کمترباشد. در این حالت سطح بازشو باید دست کم ۱/۹ مترمربع (۲۰ فوت مربع) باشد و سطح بازشوی پاسیو به هوای بیرون باید با توجه به مجموع سطح زیر بنای پاسیو و فضا محاسبه شود (بند الف-۱).

تعویض هوای طبیعی فضای واقع در زیرزمین، می‌تواند از راه یک دهانهٔ بازشوی قائم و یک دهانهٔ بازشوی افقی به هوای بیرون، انجام شود. در این صورت، مطابق شکل زیر، عرض مفید فضای باز بیرون (w) که دهانهٔ قائم به آن باز می‌شود، باید دست‌کم ۱/۵ برابر عمق بازشوی قائم (h) باشد (ارتفاع h از سطح متوسط زمین متصل تا پایین بازشوی قائم محاسبه می‌شود) (بند ب).



شکل (٦-١): تعویض هوای طبیعی فضای واقع در زیرزمین (مطابق شکل ١٤-٤-٣-٣)

پرسش ۶-۱) نظارت-اجرا فضایی به مساحت ۱۶ مترمربع به فضای مجاور به مساحت ۲۰ مترمربع متصل است. فضای ۲۰ مترمربعی در مجاورت هوای آزاد قرار دارد و به صورت طبیعی تهویه می شود. مساحت باز شوی دهانه بین دو فضا برای تهویه طبیعی فضای ۱۶ مترمربعی حداقل باید چند مترمربع باشد؟ (اردیبهشت ۱۴۰۲ (نظارت) «۶»)

الف) ۱/٤٤ ب) ۲/۳۰ ج) ۰/٦٤ د) ۱/۲۸

پاسخ) طبق بند «الف» آیین‌نامه ١٤-٤-٣-٣ صفحه ۳۹ مبحث ١٤، حداقل سطح بازشوی مورد نیاز برابر است با:

$$A = 0.08 \times 16 = 1.28\,m^2$$

چون این مقدار نباید از ۲/۳۰ متر مربع کمتر باشد، بنابراین گزینه **ب** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۱۱» آزمون "اجرا دی" سال ۱۴۰۱ می‌باشد.

پرسش ۶-۲) مشترک تعویض هوای زیرزمین یک خانه به صورت طبیعی و از طریق یک بازشوی قائم به ابعاد ۱۰۰cm×۱۰۰cm و یک باز شوی افقی به هوای بیرون (در حیاط خانه) صورت می گیرد. لبه بالایی باز شوی قائم از تراز سطح حیاط خانه ٤٠ سانتی‌متر

mohammad-karimi.com

پایین‌تر است. عرض مفید بازشوی افقی در جهت عمود بر سطح بازشوی قائم حداقل باید چند سانتی‌متر باشد؟ (بهمن ۹۷ (طراحی) «۴۷»)

الف) ۱۹۰ ب) ۱۸۰ ج) ۲۰۰ د) ۲۱۰

پاسخ) مبحث ۱۴طبق بند «ب» آیین‌نامه ۱۴-۴-۳-۳ و شکل ۱۴-۴-۳-۳ صفحه ۴۰ ، عرض مفید فضای باز بیرون (w) که دهانهٔ قائم به آن باز می‌شود، باید دست‌کم ۱/۵ برابر عمق بازشوی قائم (h) باشد (ارتفاع h از سطح متوسط زمین متصل تا پایین بازشوی قائم محاسبه می‌شود).

$$h = 100 + 40 = 140 \quad \Rightarrow \quad w = 1.5h = 1.5 \times 140 = 210\,cm$$

گزینه **د** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۳۲» آزمون "شهریور" سال ۹۵ و مشابه پرسش «۴۶» آزمون "خرداد" سال ۹۳ می‌باشد.

۶-۱-۳ تعویض هوای مکانیکی (۱۴-۴-۴)

در هر فضای ساختمان که امکان تهویهٔ طبیعی نباشد، هوا باید به صورت مکانیکی تعویض شود (۱۴-۴-۱).

تعویض هوای مکانیکی باید با یکی از روش‌های توزیع هوای رفت، هوای برگشت و/یا تخلیهٔ هوا صورت گیرد (۱۴-۴-۲).

الف) مقدار هوای رفت هر فضا باید تقریباً برابر مجموع هوای برگشت و تخلیهٔ هوا باشد (بند الف).

ب) این سیستم تعویض، در صورت لزوم، باید در داخل فضا فشار مثبت یا منفی برقرارکند (بند ب).

تعویض هوای مکانیکی ممکن است با تأسیسات تهویه مطبوع، یا تأسیسات مستقل و جداگانه‌ای که بدین‌منظور طراحی و نصب می‌شود، انجام‌گیرد (۱۴-۴-۳). مقدار هوای ورودی از بیرون باید دست‌کم مطابق جدول زیر باشد (۱۴-۴-۴).

جدول (۸-۱): کمینهٔ مقدار هوای ورودی از بیرون وهوای تخلیه مورد نیاز فضاهای با کاربری مختلف (مطابق جدول ۱۴-۴-۴)

نوع کاربری فضاها		هوای بیرون برای هر نفر		هوای بیرون برای واحد سطح		هوای تخلیه برای واحد سطح+		هوای تخلیه برای اتاق+		ملاحظات
		لیتر در ثانیه	فوت مکعب در دقیقه	لیتر در ثانیه بر مترمربع	فوت مکعب در دقیقه بر فوت مربع	لیتر در ثانیه بر متر مربع	فوت مکعب در دقیقه بر فوت مربع	لیتر در ثانیه	فوت مکعب در دقیقه	
مسکونی	اتاق	۷/۱	۱۵							
	آشپزخانه							۴۷	۱۰۰	تخلیه مکانیکی
	توالت و حمام							۲۳/۵	۵۰	تخلیه طبیعی یا مکانیکی
	پارکینگ					۴/۱	۰/۸			تخلیه طبیعی یا مکانیکی
اداری	اتاق دفتر	۷/۱	۱۵							
	اتاق کنفرانس	۳/۵	۷/۵							
	پذیرش‌ها	۳/۵	۷/۵							
هتل، خوابگاه	اتاق خواب	۴/۷	۱۰							
	سرسرا	۴/۷	۱۰							
	سالن کنفرانس	۳/۵	۷/۵							
	حمام							۲۳/۵	۵۰	تخلیه مکانیکی برای هر کابین دوش
	خوابگاه چند نفره	۴/۷	۱۰							
	اتاق نشیمن	۲/۶	۵/۵							
اجتماعات	سالن اجتماعات	۳/۵	۷/۵							
	مسجد	۴/۷	۱۰							
	سینما	۳/۵	۷/۵							
	تأتر	۳/۵	۷/۵							
رستوران	سالن غذاخوری	۴/۷	۱۰							
	آشپزخانه					۳/۵	۰/۷			تخلیه مکانیکی
	کافه تریا	۴/۷	۱۰							

mohammad-karimi.com

جدول (۸-۲): ادامه جدول کمینهٔ مقدار هوای ورودی از بیرون وهوای تخلیه مورد نیاز فضاهای با کاربری مختلف (مطابق جدول ۱۴-۴-۴-۴)

نوع کاربری فضاها		هوای بیرون برای هر نفر		هوای بیرون برای واحد سطح#		هوای تخلیه برای واحد سطح+		هوای تخلیه برای اتاق+		ملاحظات
		لیتر در ثانیه	فوت مکعب در دقیقه	لیتر در ثانیه بر مترمربع	فوت مکعب در دقیقه بر فوت مربع	لیتر در ثانیه بر مترمربع	فوت مکعب در دقیقه بر فوت مربع	لیتر در ثانیه	فوت مکعب در دقیقه	
فروشگاه	طبقات	۷/۱	۱۵							
	زیرزمین	۷/۱	۱۵							
	انبار عمومی	۷/۱	۱۵			۰/۳	۰/۰۶			تخلیه مکانیکی
رختشوی‌خانه وخشک‌کن	سالن‌های عمومی	۱۱/۸	۲۵							
	انبار مواد شوینده	۷/۱	۱۵			۲/۵	۰/۵			تخلیه مکانیکی
	سالن خشک‌شویی	۱۴/۱	۳۰			۵	۱			تخلیه مکانیکی
ورزشگاه	جای تماشاچیان	۳/۵	۷/۵							
	فضای ورزشی	۷/۱	۱۵							
	استخر بسته			*۲/۵	*۰/۵					
فضای آموزشی	کلاس درس	۷/۱	۱۵							
	آزمایشگاه	۹/۴	۲۰							
	کتابخانه	۷/۱	۱۵							
	کارگاه	۹/۴	۲۰							تخلیه مکانیکی
	رخت‌کن					۲/۵	۰/۵			تخلیه مکانیکی
فضای عمومی	راهروها			۰/۳	۰/۰۶					
	رخت‌کن					۲/۵	۰/۵			
	توالت عمومی							۳۳	۷۰	تخلیه مکانیکی برای هر کابین توالت
فضاهای خاص	آرایشگاه	۴/۷	۱۰			۳	۰/۶			تخلیه مکانیکی
	سالن زیبایی بانوان	۱۱/۸	۲۵			۳	۰/۶			تخلیه مکانیکی
	فضای سیگار کشیدن	۲۸	۶۰							تخلیه مکانیکی

(+) : در صورت وجود هوای دست دوم ،تمام یا بخشی از هوای تخلیه مورد نیاز فضا می‌تواند از آن تامین شود.

(*) : این ارقام هوای مورد نیاز برای کنترل رطوبت را نشان نمی‌دهد. در صورت نیاز به هوای بیشتر، مقدار مازاد باید از هوای دست دوم یا هوای بیرون تامین شود.

(#) : هوای بیرون بر واحد سطح برای کاربری‌هایی که مشخص نشده در هوای سرانه نفرات وبراساس واحد تصرف سطح سرانه معمول منظور شده است.

پرسش ۶-۳) مشترک در یک سالن اجتماعات ۵۰۰ نفره میزان هوای تازه حداقل باید چند فوت مکعب در دقیقه باشد؟ (شهریور ۱۴۰۱ (طراحی) «۵۶»)

الف) ۱۵۰۰ ب) ۱۰۰۰ ج) ۳۷۵۰ د) ۲۵۰۰

پاسخ) طبق جدول ۱۴-۴-۴-۴ صفحه ۴۱ مبحث ۱۴، حداقل مقدار هوای ورودی از بیرون برای هر نفر در سالن اجتماعات ۷/۵ فوت مکعب در دقیقه می‌باشد، پس داریم:

$$\dot{V} = 500 \times 7.5 = 3750 \frac{ft^3}{min}$$

گزینه ج صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۲۲» آزمون "آذر" سال ۹۲ می‌باشد.

پرسش ۶-۴) مشترک برای تعویض هوای یک سالن سینما با ظرفیت ۶۰۰ نفر به صورت مکانیکی حداقل چند متر مکعب در ساعت هوای ورودی از بیرون مورد نیاز است؟ (بهمن ۹۷ (نظارت) «۵۹»)

الف) ۷۵۶۰ ب) ۷۰۰۰ ج) ۲۱۰۰ د) ۴۲۰۰

mohammad-karimi.com

پاسخ) بر اساس جدول ۱۴-۴-۴-۴ صفحه ۴۱ مبحث ۱۴، حداقل مقدار هوای ورودی از بیرون برای هر نفر در سینما ۳/۵ لیتر در ثانیه می‌باشد، پس داریم:

$$\dot{V} = 600 \times 3.5 = 2100 \frac{lit}{s} \times \frac{3.6 m^3/hr}{1 lit/s} = 7560 \frac{m^3}{hr}$$

گزینه **الف** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۶۰» آزمون "طراحی مهر" سال ۹۶ و مشابه پرسش «۴۵» آزمون "خرداد" سال ۹۳ می‌باشد.

پرسش ۶-۵) مشترک یک واحد مسکونی با ۶ نفر ساکن دارای دو دستگاه گروه بهداشتی و یک آشپزخانه است. ظرفیت هوای تازه مورد نیاز حداقل چند لیتر در ثانیه است؟ (آبان ۹۳ «۱۲»)

الف) ۵۵ ب) ۴۵ ج) ۱۰۰ د) ۱۴۵

پاسخ) مبحث ۱۴ طبق جدول ۱۴-۴-۴-۴ صفحه ۴۱، مقدار هوای تازه را بر اساس تعداد افراد در واحد مسکونی (هر نفر ۷/۱ لیتر در ثانیه) و هم بر اساس تعداد سرویس بهداشتی (هر اتاق ۲۳/۵ لیتر بر ثانیه) و تعداد آشپزخانه (هر اتاق ۴۷ لیتر بر ثانیه) محاسبه کرده و با هم جمع می‌کنیم:

$$\begin{cases} \dot{V}_1 = 6 \times 7.1 = 42.6 \frac{lit}{s} \\ \dot{V}_2 = 2 \times 23.5 = 47 \frac{lit}{s} \\ \dot{V}_3 = 1 \times 47 = 47 \frac{lit}{s} \end{cases} \Rightarrow \dot{V}_{total} = 42.6 + 47 + 47 = 136.6 \frac{lit}{s}$$

گزینه **د** صحیح است. (سوال براساس ویرایش قبل مبحث ۱۴ طراحی شده است)

پرسش ۶-۶) طراحی هوای تخلیه مکانیکی یک آشپزخانه به مساحت ۱۵۰ مترمربع مستقیماً و صد در صد از هوای سیستم تهویه سالن غذاخوری مجاور آن تأمین می‌شود. ظرفیت سالن غذاخوری ۲۰۰ نفر است. مقدار هوای ورودی از بیرون به سالن غذاخوری حداقل باید چند مترمکعب در ساعت باشد؟ (مهر ۹۶ (طراحی) «۵۵»)

الف) ۳۶۰۰ ب) ۱۷۱۰ ج) ۱۸۹۰ د) ۲۰۰۰

پاسخ) طبق جدول ۱۴-۴-۴-۴ صفحه ۴۱ مبحث ۱۴، حداقل مقدار هوای تخلیه در سالن غذاخوری برای هر نفر ۴/۷ لیتر بر ثانیه و حداقل مقدار هوای تخلیه برای آشپزخانه‌ی آن ۳/۵ لیتر بر ثانیه بر مترمربع می‌باشد، بنابراین داریم:

حداقل هوای تخلیه سالن غذاخوری به ازای هر نفر:

$$\dot{V} = 4.7 \times 200 = 940 \frac{lit}{s} = 3384 \frac{m^3}{hr}$$

حداقل هوای تخلیه آشپزخانه به ازای هر متر مربع:

$$\dot{V} = 3.5 \times 150 = 525 \frac{lit}{s} = 1890 \frac{m^3}{hr}$$

از آنجایی که حداقل مقدار هوای تخلیه سالن غذاخوری از حداقل مقدار هوای تخلیه آشپزخانه بیش‌تر است، پس همان مقدار هوای ورودی به سالن غذاخوری، برای تهویه‌ی هر دو فضا کافی می‌باشد، گزینه **الف** صحیح است.

نکته ۶-۲) طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان: حداکثر میزان هوای تازه تهویه مکانیکی نباید از ۱۲۰ درصد حداقل میزان تعیین شده در مبحث ۱۴ مقررات ملی ساختمان بیشتر باشد. (۱۹-۴-۳-۵)

پرسش ۶-۷) طراحی حداکثر مقدار هوای ورودی از خارج برای سالن غذاخوری یک رستوران ۱۰۰ نفره چند فوت مکعب است؟ (دستگاه تهویه بدون بازیافت انرژی است). (دی ۱۴۰۱ (طراحی) «۹»)

الف) ۷۵۰ ب) ۱۰۰۰ ج) ۱۲۰۰ د) ۱۵۰۰

پاسخ) طبق جدول ۱۴-۴-۴-۴ صفحه ۴۲ مبحث ۱۴، حداقل مقدار هوای ورودی از بیرون برای هر نفر در سالن غذاخوری ۱۰ فوت مکعب در دقیقه می‌باشد، پس داریم:

$$\dot{V}_{min} = 100 \times 10 = 1000 \frac{ft^3}{min}$$

mohammad-karimi.com

همچنین طبق بند «الف» آیین‌نامه ۱۹-٤-۳-۵ صفحه ۵۹ مبحث ۱۹، حداکثر میزان هوای تازه برابر است با:

$$\dot{V}_{max} = 1000 \times 1.2 = 1200 \frac{ft^3}{min}$$

گزینه **ج** صحیح است.

٦-۲ تأمین هوای احتراق

هوای احتراق، هوای لازم برای احتراق کامل و مطمئن و ایمن در یک دستگاه با سوخت جامد، مایع یا گاز می‌باشد.

لزوم تأمین هوای احتراق (۱٤-۹-۱-۲):

هر بخش از ساختمان که در آن دستگاه‌های با سوخت مایع یا گاز، مانند دیگ آب گرم، دیگ بخار، کورهٔ هوای گرم، آب گرم‌کن و دستگاه‌های مشابه، نصب می‌شود، باید به مقدار لازم و کافی هوا برای احتراق دریافت کند (بند الف).

در صورت نصب چند دستگاه با سوخت مایع یا گاز در یک فضا، باید هوای احتراق برای کار همزمان همهٔ دستگاه‌ها محاسبه و تأمین شود (بند الف-۱).

در فضای کاملاً بسته و بدون پیش‌بینی برای دریافت هوای احتراق، نصب دستگاه‌های با سوخت مایع یا گاز مجاز نیست (بند ب).

منابع غیر مجاز (۱٤-۹-۱-۳):

تأمین هوای احتراق از منابع زیر مجاز نیست: (بند الف)

- فضایی که در آن گازهای خطرناک وجود دارد؛
- فضایی که در آن بخارهای قابل اشتعال وجود دارد؛
- فضایی که در آن گردوغبار و ذرات مواد جامد انتشار می‌یابد؛
- موتورخانهٔ تبرید ساختمان، مگر آنکه سیستم تبرید از نوع جذبی باشد؛
- حمام، توالت و انباری؛
- فضایی که احتمال سیل گرفتگی دارد.

طبق تعاریف مبحث ۱٤ مقررات ملی ساختمان:

ساختمان با درزهای معمولی: ساختمانی که با مصالح معمولی بنا شده باشد و درزبندی جدارهای خارجی آن، امکان تعویض هوای طبیعی به میزان دست‌کم نصف حجم فضا در ساعت، را فراهم کند.

ساختمان با درزهای هوابند: ساختمانی که جدارهای خارجی آن مانند درز درب‌ها و پنجره‌ها، محل عبور لوله‌ها و کابل‌ها و جزآنها ، با نوارهای درزبندی یا وسایل دیگر تا اندازهای حفاظت شده که تعویض هوای طبیعی از نصف حجم فضا در ساعت کمتر شود.

پرسش ۶-۸) مشترک کدام یک از تعاریف زیر صحیح است؟ (اسفند ۸۷ «۱۰»)

الف) ساختمان با درزهای معمولی با مصالح معمولی ساخته شده است و امکان تعویض هوای طبیعی در آن یک دفعه حجم فضا در ساعت یا بیشتر است.

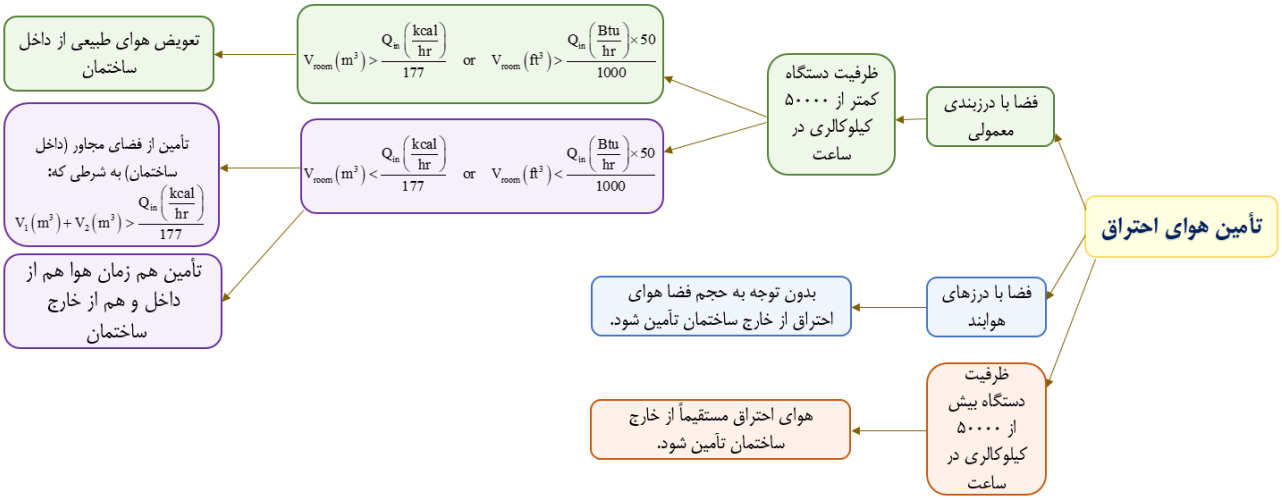
ب) ساختمان با درزهای معمولی با مصالح معمولی ساخته شده است و امکان تعویض هوای طبیعی در آن نیم دفعه حجم فضا در ساعت یا بیشتر است.

ج) ساختمان با درزهای هوابند با مصالح ویژه ساخته شده است و امکان تعویض هوای طبیعی در آن نیم دفعه حجم فضا در ساعت یا کمتر است.

د) ساختمان با درزهای هوابند با مصالح ویژه ساخته شده است و امکان تعویض هوای طبیعی در آن یک دفعه حجم فضا در ساعت یا کمتر است.

پاسخ) طبق تعاریف صفحه ۱٤ مبحث ۱٤، گزینه **ب** صحیح است.

mohammad-karimi.com



شکل (٦-٢): تأمین هوای احتراق

٦-٢-١ تأمین هوای احتراق از داخل ساختمان

فضای با درزبندی معمولی (١٤-٩-٢-١):

در ساختمان‌های با درزبندی معمولی، که فضای نصب دستگاه‌های با سوخت مایع یا گاز بیش از یک متر مکعب برای هر ۱۷۷ کیلوکالری در ساعت (۵۰ فوت مکعب برای هر ۱۰۰۰ بی‌تی‌یو در ساعت) انرژی معادل سوخت ورودی به دستگاه‌ها حجم دارد، هوای احتراق مورد نیاز دستگاه‌ها می تواند صرفاً با تعویض هوای طبیعی و نفوذ هوا به داخل آن فضا، تأمین شود (بند الف).

$$V_{room}\left(m^3\right) > \frac{Q_{in}\left(\frac{kcal}{hr}\right)}{177} \quad \text{or} \quad V_{room}\left(ft^3\right) > \frac{Q_{in}\left(\frac{Btu}{hr}\right)\times 50}{1000} \qquad (۵-۶)$$

اگر حجم فضای نصب دستگاه‌ها کمتر از یک متر مکعب برای هر ۱۷۷ کیلوکالری در ساعت (۵۰ فوت مکعب برای هر ۱۰۰۰ بی‌تی‌یو در ساعت) انرژی معادل سوخت ورودی به دستگاه‌ها باشد، ممکن است هوای احتراق از فضای مجاور آن تأمین شود. در این صورت، مجموع حجم فضای محل نصب دستگاه‌ها و فضای مجاور دست‌کم باید یک متر مکعب برای هر ۱۷۷ کیلوکالری در ساعت انرژی معادل سوخت ورودی به دستگاه‌ها، باشد (بند ب).

$$V_1\left(m^3\right) < \frac{Q_{in}\left(\frac{kcal}{hr}\right)}{177} \quad \text{or} \quad V_1\left(ft^3\right) < \frac{Q_{in}\left(\frac{Btu}{hr}\right)\times 50}{1000} \quad \Rightarrow$$

$$V_1\left(m^3\right)+V_2\left(m^3\right) > \frac{Q_{in}\left(\frac{kcal}{hr}\right)}{177} \quad \text{or} \quad V_1\left(ft^3\right)+V_2\left(ft^3\right) > \frac{Q_{in}\left(\frac{Btu}{hr}\right)\times 50}{1000} \qquad (۶-۶)$$

گرفتن هوای احتراق از فضای مجاور به شرطی مجاز است که این فضا طبق بخش تعویض هوا (۴-۴) دارای حداقل تعویض هوا باشد (بند ب-۱).

برای برقراری جریان هوا بین محل نصب دستگاه‌ها و فضای مجاور، دست‌کم دو دهانهٔ باز بدون مانع و بسته نشدنی باید پیش‌بینی شود که یکی به فاصلهٔ حداکثر ۳۰۰ میلی‌متر (۱۲ اینچ) از کف و دیگری به فاصلهٔ حداکثر ۳۰۰ میلی‌متر (۱۲ اینچ) از سقف فضای نصب دستگاه‌ها، روی درب یا جدار بین این دو فضا، نصب شوند (بند ب-۲).

سطح آزاد هر یک از این دهانه‌ها دست‌کم باید برابر ۱۰۰ میلی‌متر مربع برای هر ۳۸ کیلوکالری در ساعت (یک اینچ مربع برای هر ۱۰۰۰ بی‌تی‌یو در ساعت) انرژی معادل سوخت ورودی به دستگاه‌ها، باشد. در هرحال سطح آزاد هریک از این دهانه‌ها، نباید از ۶۴،۵۰۰ میلی‌متر مربع (۱۰۰ اینچ مربع)، کمتر باشد (بند ب-۳).

$$A\left(mm^2\right) = \frac{Q_{in}\left(\frac{kcal}{hr}\right)\times 100}{38} \quad \Rightarrow \quad A\left(in^2\right) = \frac{Q_{in}\left(\frac{Btu}{hr}\right)}{1000} \qquad (۷-۶)$$

اندازهٔ هر ضلع دهانه‌های ورود هوا نباید کمتر از ۸۰ میلی‌متر (۳ اینچ) باشد (بند ب-۴).

mohammad-karimi.com

پرسش ۶-۹) مشترک در کارگاهی به ابعاد m^3 (۵×۵×۵) مقرر است سه دستگاه گرمایی گازسوز نصب شود. چنانچه ساختمان با کیفیت درزبندی معمولی ساخته شده باشد، حداکثر ظرفیت کل دستگاه‌های گرمایی چقدر باشد تا هوای احتراق از داخل تأمین شود؟ (خرداد ۹۳ «۶»)

الف) ۱۵ کیلو وات ب) ۳۲ کیلو وات ج) ۲۶ کیلو وات د) ۱۰ کیلو وات

پاسخ) طبق بند «الف» آیین نامه ۱۴-۹-۲-۱ صفحه ۱۱۱ مبحث ۱۴، داریم:

$$V_{room}\left(m^3\right) > \frac{Q_{in}\left(\frac{kcal}{hr}\right)}{177} \quad \Rightarrow \quad Q_{in(max)} = 177 \times V_{room} = 177 \times (5\times5\times5) = 4779\,\frac{kcal}{hr} = 25.7\,kW$$

گزینه **ج** صحیح است.

پرسش ۶-۱۰) طراحی در لوله‌کشی گاز $\frac{1}{4}$ psi برای یک ساختمان تجاری با درزبندی معمولی با A.C.H=1 شرایط زیر حاکم است. فضای آشپزخانه صنعتی مساحت زیربنای ۱۵۰ مترمربع و ارتفاع ۳ متر، مجاور یک انباری مواد غذایی خشک با مساحت ۱۰۰ مترمربع و ارتفاع ۳ متر است. ظرفیت مصرف کل آشپزخانه ۱۵ متر مکعب بر ساعت گاز طبیعی است. اگر بنابر تأمین هوا از داخل برای آشپزخانه باشد، کدام یک از گزینه‌های زیر درست است؟ (ارزش حرارتی گاز ۸۶۰۰ کیلوکالری بر مترمکعب و راندمان وسایل گازسوز ۱۰۰ درصد فرض شود). (شهریور ۱۴۰۱ (طراحی) «۳۸»)

الف) بین فضای آشپزخانه و فضای انباری باید یک دریچه هوا با حداقل سطح آزاد ۳۴۰۰ سانتی‌مترمربع وجود داشته باشد.

ب) بین فضای آشپزخانه و فضای انباری باید دو دریچه هوا هر یک با حداقل سطح آزاد ۳۴۰۰ سانتی‌مترمربع وجود داشته باشد.

ج) فضای آشپزخانه به تنهایی برای تأمین هوا کافی است.

د) وجود یک درب بین فضای آشپزخانه و انباری برای اطمینان از تأمین هوا از داخل کفایت می‌کند.

پاسخ) حجم فضای آشپزخانه و انرژی معادل سوخت ورود به دستگاه‌ها برابر است با:

$$\begin{cases} Q = 15\times8600 = 129000\,\frac{kcal}{hr} \\ V_1 = 150\times3 = 450\,m^3 \end{cases}$$

چون صورت سوال در رابطه با هوابند بودن درزها چیزی نگفته پس فضا را با درزبندی معمولی در نظر می‌گیریم. طبق بند «ب» آیین‌نامه ۱۴-۹-۲-۱ صفحه ۱۱۲ مبحث ۱۴، داریم:

$$V_n = \frac{Q}{177} = \frac{129000}{177} = 728\,m^3 \quad \Rightarrow \quad V_1 < V_n$$

از آنجایی که حجم مورد نیاز بیشتر از حجم فضای آشپزخانه است پس فضای آشپزخانه به تنهایی برای تأمین هوای احتراق کافی نیست و داریم:

$$V_1 + V_2 = (150\times3) + (100\times3) = 750\,m^3 \quad \Rightarrow \quad V_1 + V_2 > V_n$$

چون مجموع حجم فضای آشپزخانه و انباری بیش‌تر از حجم مورد نیاز است، پس هوای احتراق می‌تواند از فضای مجاور تأمین شود.

طبق بندهای «ب-۲» و «ب-۳» این آیین‌نامه، حداقل سطح آزاد دریچه هوا برابر است با:

$$A = 100\,mm^2 \times \frac{Q}{38\,kcal/hr} = \frac{100\times129000}{38} = 339473.68\,mm^2 \approx 3400\,cm^2$$

گزینه **ب** صحیح است.

۶-۲-۲ تأمین هوای احتراق از خارج ساختمان

کلیات (۱۴-۹-۳-۱):

در شرایط زیر که تأمین تمام هوای احتراق از فضای محل نصب دستگاه‌های با سوخت مایع یا گاز ممکن نیست، تمام یا بخشی از این هوا باید از خارج ساختمان تأمین شود: (بند الف)

حجم فضای محل نصب دستگاه‌ها برای هر ۱۷۷ کیلوکالری در ساعت انرژی معادل سوخت ورودی به دستگاه‌ها، کمتر از یک مترمکعب (۵۰ فوت مکعب برای هر ۱۰۰۰ بی‌تی‌یو در ساعت) باشد (بند الف-۱).

mohammad-karimi.com

ساختمان با درزهای هوابند باشد (بند الف-۲).

هوای احتراق برای دستگاه‌هـای گرمـائی بـا ظرفیـت بـیش از ۵۰۰۰۰ کیلوکـالری در سـاعت (۲۰۰۰۰۰ بی‌تی‌یو در ساعت) انرژی معادل سوخت ورودی به دستگاه باید مسـتقیما از خـارج ساختمان تأمین شود (بند الف-۳).

دریافت همهٔ هوای احتراق از خارج ساختمان (۱۴-۹-۳-۲):

در صورت گرفتن هوای مورد نیاز احتراق از خارج، بایـد دسـت‌کـم دو دهانـهٔ دایمـی و بسـته نشدنی ، یکی در کف یا نزدیک کف و دیگری در سقف یـا نزدیـک سـقف فضـای محـل نصـب دستگاه‌های با سوخت مایع یا گاز پیش‌بینی شود که، مستقیماً یا از طریق کانال‌هـای افقـی یـا قائم، به هوای خارج مربوط شوند (بند الف).

اندازهٔ هر ضلع دهانه‌های ورودی هوا نباید کمتر از ۸۰ میلی‌متر (۳ اینچ) باشد (بند الف-۱).

اگر دهانه‌های ورودی هوا مستقیماً به هوای خارج باز شـوند، هـر دهانـه بایـد دسـت‌کـم ۱۰۰ میلی‌متر مربع برای هر ۱۵۵ کیلوکالری درساعت (یک اینچ مربع برای هر ۴۰۰۰ بی‌تـی‌یـو در ساعت) انرژی معادل سوخت ورودی به دستگاه‌ها، سطح آزاد داشته باشد (بند الف-۲).

$$A\left(mm^2\right)=\frac{Q_{in}\left(\frac{kcal}{hr}\right)\times 100}{155} \quad \Rightarrow \quad A\left(in^2\right)=\frac{Q_{in}\left(\frac{Btu}{hr}\right)}{4000} \qquad (۶-۸)$$

اگر تأمین هوا از طریق کانال افقی است، که یک دهانهٔ آن به هـوای خـارج و دهانـهٔ دیگـر بـه فضای محل نصب دستگاه‌ها باز می‌شود، در این حالت، هر دهانه باید دست‌کم ۱۰۰ میلی‌متـر مربع برای هر ۷۷ کیلوکالری در ساعت (یک اینچ مربع برای هر ۲۰۰۰ بـی‌تـی‌یـو در سـاعت) انرژی معادل سوخت ورودی به دستگاه‌ها، سطح آزاد داشته باشد و سـطح مقطـع کانـال نیـز نباید از سطح آزاد دهانهٔ ورودی هوا کمتر باشد (بند الف-۳).

$$A\left(mm^2\right)=\frac{Q_{in}\left(\frac{kcal}{hr}\right)\times 100}{77} \quad \Rightarrow \quad A\left(in^2\right)=\frac{Q_{in}\left(\frac{Btu}{hr}\right)}{2000} \qquad (۶-۹)$$

اگر تأمین هوا از طریق کانال قائم است، که یک دهانهٔ آن به هـوای خـارج و دهانـهٔ دیگـر بـه فضای محل نصب دستگاه‌ها باز می‌شود، در این حالت، هر دهانه باید دست کم ۱۰۰ میلی‌متر مربع برای هر ۱۵۵ کیلوکالری در ساعت (یک اینچ مربع برای هر ۴۰۰۰ بی‌تی‌یـو در سـاعت) انرژی معادل سوخت ورودی به دستگاه‌ها، سطح آزاد داشته باشد و سـطح مقطـع کانـال نیـز نباید کمتر از سطح آزاد دهانهٔ ورودی هوا باشد (بند الف-۴).

$$A\left(mm^2\right)=\frac{Q_{in}\left(\frac{kcal}{hr}\right)\times 100}{155} \quad \Rightarrow \quad A\left(in^2\right)=\frac{Q_{in}\left(\frac{Btu}{hr}\right)}{4000} \qquad (۶-۱۰)$$

پرسش ۶-۱۱) مشـترک در یک موتورخانه سـه دسـتگاه دیگ با سـوخت مایع که یک دسـتگاه رزرو اسـت، هر یک به ظرفیت ٤٠٠٠٠٠٠ بی‌تی‌یو بر ساعت نصب شده است. راندمان حرارتی هر دیگ به همراه مشعل ۸۰ درصد است. تمام هوای احتراق به طور مستقیم از خارج ساختمان و به‌و سیله دریچه‌هایی که سطح آزاد آن‌ها ۵۰ در صد سطح کل ا ست، تامین می شود. حداقل مشخصات دریچه‌های قابل قبول کدام است؟ (مهر ۱٤۰۲ (طراحی) «٤٠»)

الف) ۵ دریچه هر یک به ابعاد ۲۰×۵۰ اینچ مربع در سقف و ۵ دریچه هر یک به ابعاد ۲۰×۵۰ اینچ مربع در نزدیکی کف موتورخانه

ب) ۵ دریچه هر یک به ابعاد ۲۰×۲۵ اینچ مربع در نزدیکی کف موتورخانه

ج) ۵ دریچه هر یک به ابعاد ۲۰×۲۵ اینچ مربع در سقف و ۵ دریچه هر یک به ابعاد ۲۰×۲۵ اینچ مربع در نزدیکی کف موتورخانه

د) ۵ دریچه هر یک به ابعاد ۲۰×۲۵ اینچ مربع در سقف موتورخانه

پاسخ) یک دستگاه رزرو بوده پس دو دستگاه درحال کار هستند، ظرفیت کل دستگاه‌ها برابر است با:

$$Q_b=\frac{2\times Q}{\eta}=\frac{2\times 4000000}{0.8}=10000000\frac{Btu}{hr}$$

طبق بند «الف-۲» آیین‌نامه ۱٤-۹-۳-۲ صفحه ۱۱۳ مبحث ۱٤، اگر دهانه‌های ورودی هوا مستقیماً به هوای خارج باز شـوند، هـر دهانـه بایـد دسـت‌کـم ۱۰۰ میلی‌متر مربع برای هر ۱۵۵ کیلوکالری درساعت (یک اینچ مربع برای هر ٤۰۰۰ بی‌تـی‌یـو در ساعت)

mohammad-karimi.com

انرژی معادل سوخت ورودی به دستگاه‌ها، سطح آزاد داشته باشد. چون در صورت سوال عنوان شده که سطح آزاد دریچه‌ها ۵۰٪ است پس برای بدست آوردن سطح کلی، مساحت بدست آمده را تقسیم به ۵۰٪ می‌کنیم، بنابراین:

$$A\left(in^2\right)=\frac{10000000\frac{Btu}{hr}\times 1in^2}{4000\frac{Btu}{hr}\times 0.5}=5000\ in^2=5\times(50\times 20)in^2$$

گزینه **الف** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۲۲» آزمون "طراحی مهر" سال ۱۴۰۲ و مشابه پرسش «۷» آزمون "نظارت اردیبهشت" سال ۱۴۰۲ و مشابه پرسش «۵۵» آزمون "اجرا شهریور" سال ۱۴۰۱ می‌باشد.

mohammad-karimi.com

فصل هفتم

تأسیسات بهداشتی

۷-۱ مقدمه

به مجموعه‌ای از سیستم‌های لوله‌کشی و لوازم بهداشتی که به منظور توزیع آب مصرفی، جمع‌آوری و دفع فاضلاب، هواکش فاضلاب و جمع‌آوری آب باران در ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، تأسیسات بهداشتی می‌گویند.

تأسیسات بهداشتی، یکی از مهم‌ترین بخش‌های تأسیسات مکانیکی بوده که امکانات بهداشتی مورد نیاز برای سکونت و آسایش افراد را در ساختمان فراهم می‌کند؛ از این رو دفتر مقررات ملی ساختمان، قوانینی را با هدف تأمین ایمنی، بهداشت، آسایش، بهره‌دهی مناسب و صرفه اقتصادی، در مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان گردآوری کرده است.

۷-۲ لوازم بهداشتی

لوزم بهداشتی تجهیزاتی هستند که، به‌طور دائمی یا موقت، در ساختمان نصب می‌شوند و آب را از سیستم لوله‌کشی توزیع آب ساختمان دریافت می‌کنند. فاضلاب خروجی از این لوازم، مستقیم یا غیر مستقیم، به لوله‌کشی فاضلاب بهداشتی ساختمان می‌ریزد (۱۶-۱-۱۱-۱). انواع لوازم بهداشتی ساختمان عبارت است از: دستشویی، توالت، فلاش تانک، یورینال، وان و غیره.

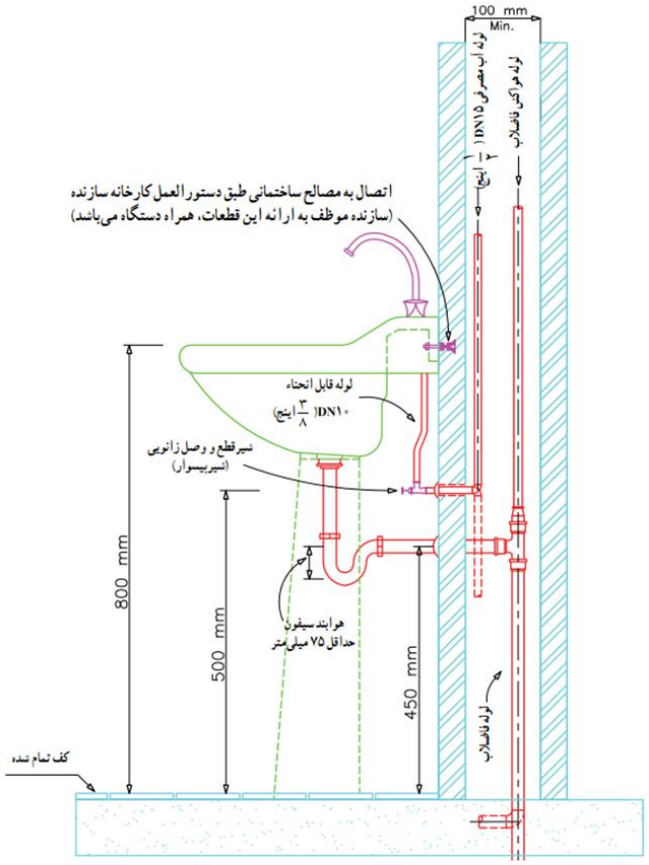
نکته ۷-۱) گروه بهداشتی: سرویس بهداشتی که در آن دست‌کم یک دستشویی، یک توالت و یک دوش نصب شده باشد. گروه بهداشتی ممکن است تعداد بیشتری از لوازم بهداشتی را شامل شود (۱۶-۱-۱۱).

پرسش ۷-۱) مشترک یک گروه بهداشتی حداقل شامل چه مواردی است؟ (اسفند ۱۴۰۲ (طراحی) «۳۸»)

الف) یک دستشویی و یک توالت
ب) یک دستشویی، یک توالت، یک دوش و یک شیر برداشت آب
ج) یک دستشویی، یک توالت و یک شیر برداشت آب
د) یک دستشویی، یک توالت و یک دوش

پاسخ) طبق تعریف گروه بهداشتی آیین‌نامه ۱۶-۱-۱۱ صفحه ۱۸ مبحث ۱۶، گزینه **د** صحیح است.

معمولا پرسش‌هایی در زمینه تعداد و نصب و آزمایش لوازم بهداشتی در دوره های مختلف نظام مهندسی مورد سوال بوده که برای نمونه در اینجا جزئیات نصب روشویی آورده شده است.



شکل (۷-۱): جزئیات نصب روشویی مطابق نشریه ۱-۶-۱۲۸

پرسش ۷-۲) نظارت-اجرا شیر پیسوار دستشویی در چه ارتفاعی از کف تمام شده بر حسب سانتی‌متر باید قرار گیرد؟ (دی ۱۴۰۱ (اجرا) «۴۵»)

الف) ۵۰ ب) ۴۵ ج) ۴۰ د) ۵۵

پاسخ) طبق نقشه M.D. 201-01-1 نشریه ۱-۶-۱۲۸، ارتفاع شیر پیسوار دستشویی از کف تمام شده باید ۵۰۰ میلی‌متر باشد. گزینه **الف** صحیح است.

۷-۲-۱ جنس و ساخت

لوازم بهداشتی باید از مصالح چگال، بادوام و نفوذ ناپذیر در برابر آب ساخته شود. (۱۶-۲-۲-۱)

سطوح داخلی و خارجی لوازم بهداشتی باید صاف و بدون منفذ باشد و پس از نصب، قسمت‌هایی از این سطوح بی جهت پنهان نشود و یا توکار قرار نگیرد. (۱۶-۲-۲-۱-الف)

(۱) لوازم بهداشتی چینی باید مقاوم در برابر مواد شوینده اسیدی باشد.

روی هر یک از لوازم بهداشتی، شیرها و دیگر متعلقات آن‌ها باید نام یا نشان کارخانهٔ سازنده، و استاندارد مورد تأییدی که ساخت بر طبق آن صورت گرفته است، به صورت ریختگی، برجسته، یا مهر پاک‌نشدنی نقش شده باشد. (۱۶-۲-۲-۲)

استفاده از لوازم بهداشتی کار کرده و دست دوم، آسیب‌دیده و معیوب مجاز نیست. (۱۶-۲-۲-۳)

پرسش ۷-۳) نظارت-اجرا استفاده از مصالح کار کرده در تأسیسات بهداشتی ساختمان‌ها: (آذر ۹۰ «۳۹»)

الف) به شرط کیفیت مناسب از نظر مجری، مجاز است.

ب) به شرط کیفیت مناسب براساس آزمایش‌های لازم، مجاز است.

ج) کاربرد مصالح کار کرده مطلقاً مجاز نیست.

د) به شرط آنکه بیش از نصف عمر کاری آن‌ها طی نشده باشد، مجاز است.

پاسخ) طبق آیین‌نامه ۱۶-۲-۲-۳ صفحه ۲۵ مبحث ۱۶، استفاده از لوازم بهداشتی کار کرده و دست دوم، آسیب‌دیده و معیوب مجاز نیست. گزینه **ج** صحیح است.

mohammad-karimi.com

۷-۲-۲ تعداد لوازم بهداشتی (۱۶-۲-۳-۱)

تعداد لوازم بهداشتی مورد نیاز بر حسب نوع کاربری ساختمان و تعداد استفاده‌کنندگان، باید با رعایت الزامات مندرج در این قسمت از مقررات تعیین شود. (بند الف)

برای هر جنس (مرد یا زن) باید لوازم بهداشتی، به تعداد لازم و به‌طور جداگانه پیش‌بینی شود، جز موارد زیر: (بند ب)

لوازم بهداشتی خانگی (بند ب-۱)؛

ساختمان‌هایی که تعداد کل جمعیت آن ۱۰ نفر یا کمتر باشد (بند ب-۲)؛

فروشگاه‌هایی که مواد خوراکی یا آشامیدنی را برای مصرف در همان محل می‌فروشند و تعداد کل مشتریان هم‌زمان آن‌ها کمتر از ۱۰ نفر باشد (بند ب-۳)؛

تعداد توالت، دست‌شویی، دوش و وان باید، به نسبت جمعیت مرد و زن، برای هر یک پیش‌بینی شود. (بند پ)

در محل‌های کار، گروه‌های بهداشتی (توالت، دست‌شویی، غیره) باید به فضای کار نزدیک باشد: (بند ت)

فاصلهٔ افقی بین محل کار تا لوازم بهداشتی نباید بیش از ۱۵۰ متر باشد. فاصله‌ای که در ارتفاع، برای دسترسی به گروه بهداشتی باید طی شود نباید بیش از یک طبقه (بالا یا پایین) باشد (بند ت-۱).

در فروشگاه‌های بزرگ، فاصلهٔ افقی تا لوازم بهداشتی، نباید بیش از ۹۰ متر باشد (بند ت-۲).

در محل‌های کار باید برای مراجعان و کارکنان، لوازم بهداشتی جداگانه پیش‌بینی شود، مگر آن‌که تعداد مراجعان کمتر از ۱۵۰ نفر در روز باشد.

پرسش ۷-٤) نظارت-اجرا حداکثر فاصله مجاز افقی و قائم بین محل کار تا لوازم بهداشتی (توالت و دستشویی) چقدر است؟ (آذر ۹۲ «٤٤»)

الف) در فرو شگاه‌های بزرگ و ر ستوران و با شگاه، افقی ۵۰ متر و در سایر کاربری‌ها ۱۵۰ متر، فا صله قائم همه جا برابر ارتفاع یک طبقه.

ب) افقی ۱۵۰ متر و قائم برابر ارتفاع طبقه به جز در فروشگاه‌های بزرگ که فاصله افقی نباید بیش از ۹۰ متر باشد.

ج) افقی ۱۵۰ متر و قائم برابر ارتفاع دو طبقه (بالا یا پایین).

د) افقی ۹۰ متر و قائم برابر ارتفاع یک طبقه.

پاسخ) طبق بند «ت-۱» و «ت-۲» آیین‌نامه ۱۶-۲-۳-۱ صفحه ۲۷ مبحث ۱۶، گزینه **ب** صحیح است.

در فضاهای عمومی مانند رستوران، باشگاه، مراکز عمومی و تجاری، باید برای مراجعان و کارکنان لوازم بهداشتی جداگانه پیش‌بینی شود (بند ث).

در فروشگاه‌ها و مراکز عمومی، که در آن‌ها مواد خوراکی و آشامیدنی برای مصرف در همان محل فروخته نمی‌شود، اگر تعداد مراجعان در روز کمتر از ۱۵۰ نفر باشد، لازم نیست برای آن‌ها لوازم بهداشتی جداگانه پیش‌بینی شود (بند ث-۱).

در ساختمان‌های عمومی مسیر دسترسی به سرویس‌های بهداشتی نباید از فضاهای آماده‌سازی مواد غذایی و آشپزخانه عبور کند (بند ث-۲).

۷-۲-۳ نصب لوازم بهداشتی (۱۶-۲-٤-۱)

آن دسته از لوازم بهداشتی که روی کف یا به دیوار نصب می‌شوند و لولهٔ فاضلاب از کف یا دیوار به آن‌ها متصل می‌شود، باید با پیچ و مهره و فلنج، از نوع مقاوم در برابر خوردگی، به کف یا دیوار محکم شوند (بند الف).

ب) اتصال لولهٔ خروجی فاضلاب لوازم بهداشتی، که به لولهٔ فاضلاب خروجی از کف یا دیوار متصل می‌شود، باید کاملاً آب‌بند و هوابند باشد (بند ب).

اتصال لولهٔ ورودی آب به لوازم بهداشتی باید به نحوی باشد که برگشت جریان اتفاق نیفتد (بند پ).

دستشویی، توالت غربی، یورینال و دیگر لوازم بهداشتی که به دیوار نصب می‌شوند، باید طوری به اجزای ساختمان متصل و محکم شوند که وزن این لوازم بهداشتی به لوله‌ها و اتصال‌ها وارد نشود (بند ت).

فشار و میزان آب مورد نیاز برای لوازم بهداشتی باید مطابق با بند (۱۶-۳-۳-۵) باشد (بند ج).

mohammad-karimi.com

جدول (۷-۱): حداقل تعداد لوازم بهداشتی بر حسب تعداد استفاده کنندگان (طبق جدول ۱۶-۲-۳-۲ "الف")

نوع کاربری ساختمان			توالت [۱]	دستشویی	وان - دوش	آب‌خوری
تأتر، سینما، سالن اجتماعات		مردانه	۱ عدد برای ۶۵ نفر	۱ عدد برای ۲۰۰ نفر	-	۱ عدد برای ۵۰۰ نفر
		زنانه	۱ عدد برای ۶۵ نفر			
اماکن مذهبی		مردانه	۱عدد برای ۵۰ نفر	۱ عدد برای ۱۰۰ نفر	-	۱ عدد برای ۳۰۰ نفر
		زنانه	۱عدد برای ۵۰ نفر			
رستوران- سالن پذیرایی		مردانه	۱عدد برای ۷۵ نفر	۱ عدد برای ۲۰۰ نفر	-	۱ عدد برای ۵۰۰ نفر
		زنانه	۱عدد برای ۷۵ نفر			
فروشگاه [۲]		مردانه	۱عدد برای ۵۰۰ نفر	۱ عدد برای ۷۵۰ نفر	-	۱ عدد برای ۱۰۰۰ نفر
		زنانه	۱عدد برای ۵۰۰ نفر			
فروشگاه [۳]		مردانه	۱عدد برای ۲۵ نفر	۱ عدد برای ۴۰ نفر	-	۱ عدد برای ۱۰۰ نفر
		زنانه	۱عدد برای ۲۵ نفر			
ورزشگاه- استخر			۱عدد برای ۷۵ نفر	۱ عدد برای ۱۰۰ نفر	۱ عدد برای ۱۵ نفر ورزشکار	۱ عدد برای ۵۰۰ نفر
ساختمان‌های آموزشی		مردانه	۱عدد برای ۵۰ نفر	۱ عدد برای ۵۰ نفر	-	۱ عدد برای ۱۰۰ نفر
		زنانه	۱عدد برای ۵۰ نفر			
ساختمان‌های صنعتی [۷]		مردانه	۱عدد برای ۵۰ نفر	۱ عدد برای ۴۰ نفر	۱ عدد برای ۳۵ نفر [۷]	۱ عدد برای ۱۰۰ نفر
		زنانه	۱عدد برای ۵۰ نفر			
بیمارستان	بیماران [۴ و ۵]	مردانه	۱عدد برای ۸ نفر	۱عدد برای ۱۰ نفر	۱ عدد برای ۱۵ نفر	۱ عدد برای ۱۰۰ نفر
	بیماران [۴ و ۵]	زنانه	۱عدد برای ۸ نفر			
	کارکنان	مردانه	۱عدد برای ۲۵ نفر	۱عدد برای ۳۵ نفر	-	۱ عدد برای ۱۰۰ نفر
		زنانه	۱عدد برای ۲۵ نفر			
	مراجعان	مردانه	۱عدد برای ۷۵ نفر	۱عدد برای ۱۰۰ نفر	-	۱ عدد برای ۵۰۰ نفر
		زنانه	۱عدد برای ۷۵ نفر			
زندان	زندانیان		۱عدد برای ۱۵ نفر	۱عدد برای ۲۵ نفر	۱ عدد برای ۱۵ نفر	۱ عدد برای ۱۰۰ نفر
	زندان‌بانان		۱عدد برای ۲۵ نفر	۱عدد برای ۳۵ نفر	-	۱ عدد برای ۱۰۰ نفر
	مراجعان		۱عدد برای ۷۵ نفر	۱عدد برای ۱۰۰ نفر	-	۱ عدد برای ۵۰۰ نفر
هتل و متل [۶] (عمومی)		مردانه	۱عدد برای ۱۰ نفر	۱عدد برای ۱۰ نفر	۱عدد برای ۸ نفر	۱ عدد برای ۱۰۰ نفر
		زنانه	۱عدد برای ۱۰ نفر			
آپارتمان			۱عدد هر آپارتمان	۱عدد هر آپارتمان	۱عدد هرآپارتمان	-
خوابگاه			۱عدد برای ۱۰ نفر	۱عدد برای ۱۰ نفر	۱عدد برای ۸ نفر	۱ عدد برای ۱۰۰ نفر
انبار			۱عدد برای ۱۰۰ نفر	۱عدد برای ۱۰۰ نفر	۱ عدد برای ۱۵ نفر [۷]	۱ عدد برای ۱۰۰۰ نفر
ساختمان اداری		مردانه	۱عدد برای ۲۰ نفر	۱عدد برای ۲۵ نفر	-	۱ عدد برای ۷۵ نفر
		زنانه	۱عدد برای ۲۰ نفر			
ترمینال‌های مسافری (هوایی،دریایی؛ اتوبوس)		مردانه	۱عدد برای ۷۵ نفر	۱ عدد برای ۲۰۰ نفر	-	۱ عدد برای ۱۰۰۰ نفر
		زنانه	۱عدد برای ۷۵ نفر			

(۱) حداکثر به تعداد ۶۷ درصد توالت مورد نیاز برای مردان، می‌توان به جای توالت، یورینال نصب کرد.

(۲) ارقام برای مراجعان است.

(۳) ارقام برای کارکنان است.

(۴) چنانچه وزارت بهداشت ، درمان و آموزش پزشکی ضوابط متفاوتی داشته باشد، الزامات سختگیرانه‌تر باید ملاک عمل قرار گیرد.

(۵) توالت بیماران و کارکنان باید جدا باشد.

(۶) در هر اتاق خواب یک، دو یا سه تختی، یک دستشویی، یک توالت و یک دوش یا وان باید باشد. ارقام جدول برای استفادهٔ عمومی است.

(۷) پیش‌بینی دست‌کم یک دوش اضطراری و یک چشم‌شوی در ساختمان‌های مرتبط با نگهداری وکاربری مواد شیمیایی لازم است.

پرسش ۷-۵) طراحی تعداد مراجعان یک فروشگاه بزرگ لوازم خانگی حداقل ۱۵۵۰ نفر در روز است. این فروشگاه دارای ۵۴ نفر پرسنل است. حداقل تعداد توالت‌ها و دستشویی‌های مورد نیاز این فروشگاه چه تعداد است؟ (تعداد زن و مرد برابر در نظر گرفته شود) (اسفند ۱۴۰۲ (طراحی) «۵۱»)

mohammad-karimi.com

الف) ۸ توالت، ٤ دستشویی ب) ۶ توالت، ٤ دستشویی ج) ۸ توالت، ۶ دستشویی د) ۶ توالت، ۶ دستشویی

پاسخ) طبق جدول ۱۶-۲-۳-۲ "الف" صفحه ۲۹ مبحث ۱۶، حداقل تعداد توالت برای مراجعان، ۱ عدد برای هر ۵۰۰ نفر زن و مرد و برای کارکنان، ۱ عدد برای هر ۲۵ نفر زن و مرد است، بنابراین تعداد کل توالت‌های مورد نیاز برابر است با:

$$\begin{cases} \text{Visitor} \Rightarrow \begin{cases} \text{men} \Rightarrow N_{Toilet} = \dfrac{(\frac{1550}{2})}{500} = 1.55 \approx 2 \\ \text{women} \Rightarrow N_{Toilet} = \dfrac{(\frac{1550}{2})}{500} = 1.55 \approx 2 \end{cases} \\ \text{personnel} \Rightarrow \begin{cases} \text{men} \Rightarrow N_{Toilet} = \dfrac{(\frac{54}{2})}{25} = 1.08 \approx 2 \\ \text{women} \Rightarrow N_{Toilet} = \dfrac{(\frac{54}{2})}{25} = 1.08 \approx 2 \end{cases} \end{cases} \Rightarrow \quad Sum = 2+2+2+2 = 8$$

حداقل تعداد دستشویی برای مراجعان، ۱ عدد برای هر ۷۵۰ نفر زن و مرد و برای کارکنان، ۱ عدد برای هر ٤۰ نفر زن و مرد است، بنابراین تعداد کل دستشویی‌های مورد نیاز برابر است با:

$$\begin{cases} \text{Visitor} \Rightarrow \begin{cases} \text{men} \Rightarrow N_{washstand} = \dfrac{(\frac{1550}{2})}{750} = 1.03 \approx 2 \\ \text{women} \Rightarrow N_{washstand} = \dfrac{(\frac{1550}{2})}{750} = 1.03 \approx 2 \end{cases} \\ \text{personnel} \Rightarrow \begin{cases} \text{men} \Rightarrow N_{washstand} = \dfrac{(\frac{54}{2})}{40} = 0.675 \approx 1 \\ \text{women} \Rightarrow N_{washstand} = \dfrac{(\frac{54}{2})}{40} = 0.675 \approx 1 \end{cases} \end{cases} \Rightarrow \quad Sum = 2+2+1+1 = 6$$

گزینه **ج** صحیح است.

پرسش ۷-۶) نظارت-اجرا در یک سرویس بهداشتی مردانه با نیاز ۱۰ عدد توالت، چنانچه ترکیبی از توالت و یورینال با حداکثر تعداد یورینال مورد نظر باشد، کدام گزینه صحیح است؟ (اردیبهشت ۱٤۰۲ (اجرا) «۵۵»)

الف) ۵ عدد توالت و ۵ عدد یورینال ب) ۳ عدد توالت و ۷ عدد یورینال

ج) ٤ عدد توالت و ۶ عدد یورینال د) ۶ عدد توالت و ٤ عدد یورینال

پاسخ) طبق جدول ۱۶-۲-۳-۲ "الف" صفحه ۲۹ مبحث ۱۶، حداکثر به تعداد ۶۷ درصد توالت مورد نیاز برای مردان، می‌توان به جای توالت، یورینال نصب کرد. بنابراین می‌توان از ۶ عدد یورینال و ٤ عدد توالت استفاده کرد. گزینه **ج** صحیح است.

mohammad-karimi.com

فصل هشتم

لوله‌کشی گاز طبیعی

۸-۱ دودکش مشترک

دودکشی است که لوله های رابط دودکش بیش از یک دستگاه گازسوز به آن وصل شده و محصولات احتراق را به فضای آزاد خارج از ساختمان هدایت می کند.

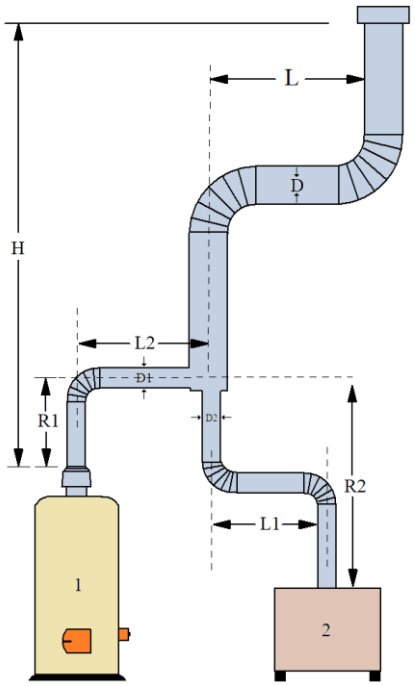
۸-۱-۱ تعیین قطر دودکش برای دو یا چند دستگاه گازسوز که در یک طبقه نصب شده‌اند

قطر دودکش مشترک تک‌جداره و لوله رابط دودکش دستگاه‌های گازسوزی که در یک طبقه مطابق شکل ۱۷-۴-۲ نصب شده‌اند، با استفاده از ظرفیت دستگاه گازسوز، ارتفاع دودکش و طول لوله رابط از جدول ۱۷-۴-۶ و جدول ۱۷-۴-۷ تعیین می‌شود. (۱۷-۴-۶-۷-۱)

R = ارتفاع لوله رابط هر دستگاه که برابر است با فاصله بین بالاترین نقطه خروجی محصولات احتراق دستگاه گازسوز تا اولین سه راهی انشعاب.

L = طول لوله رابط هر دستگاه

H = ارتفاع کل برای هر دستگاه که برابر است با فاصله بین بالاترین نقطه خروجی محصولات احتراق دستگاه گازسوز تا انتهای دودکش.



شکل (۸-۱): دودکش برای دو یا چند دستگاه گازسوز که در یک طبقه نصب شده‌اند (طبق شکل ۱۷-٤-۲)

برای تعیین قطر لوله رابطه (D_1 و D_2) در این شرایط از جدول زیر استفاده می‌کنیم و برای هر دستگاه با توجه به مقدار ظرفیت حرارتی آن دستگاه و با در نظر گرفتن مقدار R و مقدار H برای هر دستگاه، قطر مربوطه را از جدول زیر می‌خوانیم.

جدول (۸-۱): ظرفیت لوله رابط دودکش (طبق جدول ۱۷-٤-۷)

ارتفاع (متر) H	ارتفاع رابط (متر) R	قطر لوله رابط (میلی‌متر) D		
		۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
		حداکثر ظرفیت حرارتی دستگاه‌های گازسوز (۱۰۰۰ کیلوکالری)		
۴/۵	۰/۳	۱۱/۱۰	۲۹/۵۰	۶۰/۶۰
	۰/۶	۱۴/۱۰	۳۳/۸۰	۶۶/۹۰
	۰/۹	۱۶/۲۰	۳۹/۱۰	۷۵/۲۰
۹ و بیشتر	۰/۳	۱۲/۴۰	۳۲/۶۰	۶۸/۲۰
	۰/۶	۱۴/۶۰	۳۶/۶۰	۷۴/۵۰
	۰/۹	۱۷/۲۰	۴۱/۴۰	۸۱/۱۰

همچنین با توجه به آیین‌نامه ۱۷-۴-۶-۴-۸، حداکثر طول لوله رابط دودکش باید۴۵۰ میلی‌متر (۱۸ اینچ) برای هر ۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ) قطر آن باشد. در صورتی‌که طول لوله رابط از ۴۵۰ میلی‌متر (۱۸ اینچ) برای هر ۲۵۰ میلی‌متر (۱ اینچ) قطر آن بیشتر باشد، باید از طریق افزایش قطر یا ارتفاع کل دودکش، ظرفیت مورد نظر تأمین شود. در هر حال طول لوله رابط نباید از ۷۵ درصد ارتفاع دودکش قائم بیشتر باشد. یعنی:

$$L_{1,2}(mm) \le \frac{450 \times D_{1,2}}{25} \quad \Rightarrow \quad D_{1,2} \ge \frac{25 \times L_{1,2}(mm)}{450} \qquad (۸-۱)$$

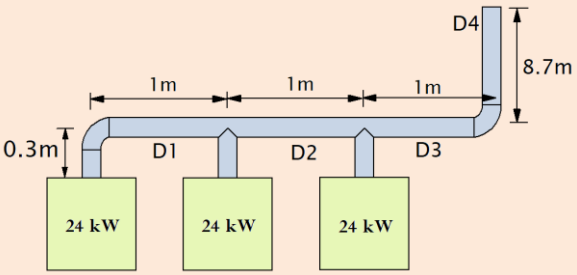
بنابراین قطر لوله رابط را از رابطه‌ی بالا نیز حساب کرده و با قطر بدست آمده از جدول مقایسه می‌کنیم و مقدار بزرگ‌تر را در نظر می‌گیریم. برای تعیین قطر دودکش مشترک (D)، ظرفیت دستگاه‌ها را با هم جمع کرده و با در نظر گرفتن مقدار H، قطر مربوطه را از جدول زیر می‌خوانیم:

جدول (۸-۲): ظرفیت دودکش‌های مشترک فلزی بدون لوله رابط (طبق جدول ۱۷-٤-٦)

ارتفاع (متر) H	قطر دودکش مشترک				
	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
	حداکثر ظرفیت حرارتی دستگاه‌های گازسوز (۱۰۰۰ کیلو کالری)				
۳	۱۴/۹۰	۳۴/۳۰	۶۳/۱۰	۹۹/۷۰	۱۴۱/۴۰
۴/۵	۱۷/۹۰	۴۲/۴۰	۷۷/۰۰	۱۲۱/۲۰	۱۷۴/۲۰
۶	۲۰/۲	۴۷/۰۰	۸۵/۹۰	۱۳۸/۹۰	۱۹۹/۵۰
۹	مجاز نیست	۵۴/۳۰	۱۰۱/۰۰	۱۶۴/۱۰	۲۳۷/۴۰
۱۵	مجاز نیست	مجاز نیست	۱۲۳/۷۰	۲۰۴/۵۰	۳۰۰/۵۰

همچنین طبق آیین‌نامه ۱۷-۴-۶-۷-۴، بدون در نظر گرفتن جدول ظرفیت، در صورت برابر بودن قطر لوله رابط با قطر دودکش مشترک، باید قطر دودکش مشترک در جدول حداقل یک اندازه بزرگ‌تر در نظر گرفته شود.

پرسش ۸-۱) مشترک در شکل زیر قطر دودکش مشترک (D_ε) حداقل باید چند میلی‌متر باشد؟ (اردیبهشت ۱٤۰۲ (طراحی) «۳۷»)



mohammad-karimi.com

الف) ۲۵۰ ب) ۲۰۰ ج) ۳۰۰ د) ۱۵۰

پاسخ) برای محاسبه قطر لوله رابط داریم:

$$Q_t = 3\times 24 = 72\,kW \times \frac{860\ kcal/hr}{1\ kW} = 61920\frac{kcal}{hr}$$

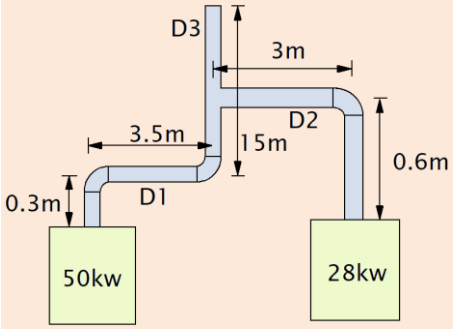
$$\begin{cases} R = 0.3\,m \\ H = 0.3 + 8.7 = 0.9\,m \end{cases}$$

با توجه به مقادیر فوق، طبق جدول ۱۷-٤-۷ صفحه ٤٤ مبحث ۱۷، قطر لوله رابط (D_3) ۲۰۰ میلی‌متر بدست می‌آید.

طبق جدول ۱۷-٤-۶ صفحه ٤٤ مبحث ۱۷، با داشتن ارتفاع (۹ متر) و ظرفیت کل دستگاه‌ها (۶۱۹۲۰ کیلوکالری بر ساعت)، قطر دودکش مشترک فلزی بدون لوله رابط (D_4)، ۲۰۰ میلی‌متر بدست می‌آید.

طبق آیین‌نامه ۱۷-٤-۶-۷-٤ صفحه ٤۱، بدون در نظر گرفتن جدول ظرفیت، در صورت برابر بودن قطر لوله رابط با قطر دودکش مشترک، باید قطر دودکش مشترک در جدول حداقل یک اندازه بزرگ‌تر در نظر گرفته شود. بنابراین برای دودکش مشترک (D_4) قطر لوله را ۲۵۰ میلی‌متر در نظر می‌گیریم. گزینه **الف** صحیح است.

پرسش ۸-۲) مشترک در شکل زیر قطر لوله‌های رابط دودکش و دودکش مشترک (D_1 و D_2 و D_3) به‌ترتیب باید حداقل چند میلی‌متر باشد؟ (اردیبهشت ۱٤۰۲ (نظارت) «۵۱»)



الف) ۲۰۰، ۲۵۰ و ۲۵۰ ب) ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۰۰

ج) ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ د) ۲۰۰، ۲۰۰ و ۲۵۰

پاسخ) طبق جدول ۱۷-٤-۷ صفحه ٤٤ مبحث ۱۷، قطر لوله‌های رابط (D_1 و D_2) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$D_1 \begin{cases} R = 0.3\ m \\ H = 0.3 + 15 = 15.3\ m \\ L = 3.5\ m \\ Q_1 = 50\,kW \times \dfrac{860.4\,kcal/hr}{1kW} = 43021\ \dfrac{kcal}{hr} \end{cases} \Rightarrow \quad D_1 = 200\,mm$$

$$D_2 \begin{cases} R = 0.6\ m \\ H = 0.3 + 15 = 15.3\ m \\ L = 3\ m \\ Q_2 = 28\,kW \times \dfrac{860.4\ kcal/hr}{1kW} = 24091\ \dfrac{kcal}{hr} \end{cases} \Rightarrow \quad D_2 = 150\,mm$$

از طرفی طبق آیین‌نامه ۱۷-٤-۶-۸-٤ صفحه ۳۶، حداکثر طول لوله رابط دودکش باید ٤۵۰ میلی‌متر (۱۸ اینچ) برای هر ۲۵ میلی متر (۱ اینچ) قطر آن باشد. در صورتی‌که طول لوله رابط از ٤۵۰ میلی‌متر (۱۸ اینچ) برای هر ۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ) قطر آن بیشتر باشد، باید از طریق افزایش قطر یا ارتفاع کل دودکش، ظرفیت مورد نظر تأمین شود. در هر حال طول لوله رابط نباید از ۷۵ درصد ارتفاع دودکش قائم بیشتر باشد. پس قطر لوله رابط را بر اساس این آیین‌نامه نیز محاسبه کرده و عدد بزرگ‌تر را انتخاب می‌کنیم:

$$L(mm) \le \frac{450\times D}{25} \quad \Rightarrow \quad D \ge \frac{25\times L(mm)}{450}$$

$$D_1 \ge \frac{25\times 3500}{450} \quad \Rightarrow \quad D_1 \ge 194.4\ mm \quad \Rightarrow \quad D_1 = 200\ mm$$

mohammad-karimi.com

$$D_2 \geq \frac{25\times 3000}{450} \quad \Rightarrow \quad D_2 \geq 166.6 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad D_2 = 200 \text{ mm}$$

بنابراین قطر لوله‌های رابط (D_1 و D_2) هر دو ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

طبق جدول ۱۷-٤-۶ صفحه ٤٤، قطر دودکش مشترک (D_3) را محاسبه می‌کنیم:

$$D_3 \begin{cases} H = 0.3+15 = 15.3 \text{ m} \\ Q = Q_1 + Q_2 = 43021 + 24091 = 67112 \ \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} \end{cases} \quad \Rightarrow \quad D_3 = 200 \text{ mm}$$

طبق آیین‌نامه ۱۷-٤-۶-۷-٤ صفحه ٤۱، بدون در نظر گرفتن جدول ظرفیت، در صورت برابر بودن قطر لوله رابط با قطر دودکش مشترک، باید قطر دودکش مشترک در جدول حداقل یک اندازه بزرگ‌تر در نظر گرفته شود. بنابراین قطر دودکش مشترک (D_3) را ۲۵۰ میلی‌متر درنظر می‌گیریم. گزینه **د** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۵۰» آزمون "اجرا اردیبهشت" سال ۱۴۰۲ می‌باشد.

این پرسش، مشابه پرسش «۱۸» آزمون "نظارت اردیبهشت" سال ۹۷ می‌باشد.

mohammad-karimi.com

ضرایب تبدیل واحد پارامترهای مختلف

ضرایب تبدیل واحدهای طول

ردیف	یکا	m	in	ft
۱	m	۱	۳۹/۳۷	۳/۲۸
۲	in	۰/۰۲۵۴	۱	۰/۰۸۳
۳	ft	۰/۳۰۵	۱۲	۱

ضرایب تبدیل واحدهای سطح

ردیف	یکا	m^2	in^2	ft^2
۱	m^2	۱	۱۵۵۰	۱۰/۷۶
۲	in^2	۰/۰۰۰۶۴۵	۱	۰/۰۰۷
۳	ft^2	۰/۰۹۳	۱۴۴	۱

ضرایب تبدیل واحدهای حجم

ردیف	یکا	m^3	lit	in^3	ft^3	gal (US)
۱	m^3	۱	۱۰۰۰	۶۱۰۲۴	۳۵	۲۶۴
۲	lit	۰/۰۰۱	۱	۶۱	۰/۰۳۵	۰/۲۶۴
۳	in^3	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۱۶۴	۱	۰/۰۰۰۵۸	۰/۰۰۴۳
۴	ft^3	۰/۰۲۸	۲۸/۳	۱۷۲۸	۱	۷/۴۸
۵	gal (US)	۰/۰۰۳۸	۳/۸	۲۳۱	۰/۱۳	۱

ضرایب تبدیل واحدهای جرم

ردیف	یکا	kg	ton	lb
۱	kg	۱	۰/۰۰۱	۲/۲
۲	ton	۱۰۰۰	۱	۲۲۰۴/۵
۳	lb	۰/۴۵۳۶	۰/۰۰۰۴۵۴	۱

ضرایب تبدیل واحدهای سرعت

ردیف	یکا	m/s	ft/min
۱	m/s	۱	۱۹۶/۸۵
۲	ft/min	۰/۰۰۵۰۸	۱

روابط تبدیل واحدهای دما

درجه سانتی‌گراد (°C)	$^{\circ}C=(^{\circ}F-32)\times 5.9$
	$^{\circ}C=K-273$
درجه فارنهایت (°F)	$^{\circ}F=(^{\circ}C\times 9.5)+32$
	$^{\circ}F=(1.8\times K)-459.67$
کلوین (K)	$K=^{\circ}C+273$
	$K=\frac{^{\circ}F+459.67}{1.8}$

جدول تبدیل واحدهای فشار

ردیف	یکا	bar	psi	kPa	Kgf/cm^2	mmHg	atm	mH_2O	ftH_2O	inH_2O
۱	bar	۱	۱۴/۵	۱۰۰	۱/۰۲	۷۵۰	۰/۹۸۷	۱۰/۱۹۷	۳۳/۴۵۶	۴۰۱/۴۷۴
۲	psi	۰/۰۶۹	۱	۶/۸۹۵	۰/۰۷	۵۱/۷۱	۰/۰۶۸	۰/۷۰۳	۲/۳۰۶	۲۷/۶۸۰
۳	kPa	۰/۰۱	۰/۱۴۵	۱	۰/۰۱	۷/۵	۰/۰۰۹۸۷	۰/۱۰۲	۰/۳۳۴	۴/۰۱۴
۴	Kgf/cm^2	۰/۹۸	۱۴/۲۲	۹۸/۰۷	۱	۷۳۵/۵۴	۰/۹۶۸	۱۰	۳۲/۸۰۹	۳۹۳/۷۱۱
۵	mmHg	۰/۰۰۱۳	۰/۰۱۹	۰/۱۳۳	۰/۰۰۱۳۶	۱	۰/۰۰۱۳۱۶	۰/۰۱۳۶	۰/۰۴۴۶	۰/۵۳۵
۶	atm	۱/۰۱۳	۱۴/۷	۱۰۱/۳	۱/۰۳۳	۷۵۹/۷۶۹	۱	۱۰/۳۳۲	۳۳/۹	۴۰۶/۸
۷	mH_2O	۰/۰۹۸	۱/۴۲۲	۹/۸۰۶	۰/۱	۷۳/۵۵۴	۰/۰۹۶	۱	۳/۲۸	۳۹/۳۶
۸	ftH_2O	۰/۰۳	۰/۴۳۳	۲/۹۸۸	۰/۰۳	۲۲/۴۲	۰/۰۲۹۵	۰/۳۰۵	۱	۱۲
۹	inH_2O	۰/۰۰۲۵	۰/۰۳۶	۰/۲۵	۰/۰۰۲۵	۱/۸۶۸	۰/۰۰۲۴۵	۰/۰۲۵	۰/۰۸۳	۱

mohammad-karimi.com

تبدیل واحدهای چگالی

ردیف	یکا	kg/m^3	lb/ft^3	lb/in^3
۱	kg/m^3	۱	۰/۰۶۲	۰/۰۰۰۰۳۶
۲	lb/ft^3	۱۶/۰۲	۱	۰/۰۰۰۵۷۹
۳	lb/in^3	۲۷۶۸۰	۱۷۲۷/۸۴	۱

تبدیل واحدهای دبی جرمی

ردیف	یکا	kg/h	lb/h	kg/s
۱	Kg/h	۱	۲/۲	۰/۰۰۰۲۷۸
۲	Lb/h	۰/۴۵۴	۱	۰/۰۰۰۱۲۶
۳	Kg/s	۳۶۰۰	۷۹۳۶/۵	۱

واحدهای دبی حجمی

ردیف	یکا	lit/s	m^3/h	ft^3/min	Gal/min
۱	lit/s	۱	۳/۶	۲/۱۲	۱۵/۸۵
۲	m^3/h	۰/۲۷۷	۱	۰/۵۸	۴/۴
۳	ft^3/min	۰/۴۷	۱/۷	۱	۷/۴۸
۴	Gal/min	۰/۰۶۳	۰/۲۲۷	۰/۱۳۴	۱

ضرایب تبدیل واحدهای انرژی

ردیف	یکا	J	Cal	Btu
۱	J	۱	۰/۲۳۸	$۹/۴۷۸\times۱۰^{-۴}$
۲	Cal	۴/۱۸۶	۱	$۳/۹۶۸\times۱۰^{-۳}$
۳	Btu	۱۰۵۵	۲۵۲	۱

ضرایب تبدیل واحدهای توان

ردیف	یکا	W	kCal/h	Btu/h	HP
۱	W	۱	$۸۵۹/۸۴۳\times۱۰^{-۳}$	۳/۴۱	۰/۰۰۱۳۴
۲	kCal/h	۱/۱۶۳	۱	۴	$۱/۵۶\times۱۰^{-۳}$
۳	Btu/h	۰/۲۹۳	۰/۲۵۲	۱	۴×۱۰^{-۴}
۴	HP	۷۴۵/۷	۶۴۱/۱۸۶	۲۵۴۴/۴۳۱	۱
* 1 TR=12000 Btu/hr					

mohammad-karimi.com

منابع

[۱] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مبحث چهاردهم (تأسیسات مکانیکی)، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ۱۳۹۶.

[۲] دفتر نظام فنی و اجرایی کشور، نشریه ۱۲۸ (مشخصات فنی عمومی تأسیسات مکانیکی ساختمان)، ج ۶ (نقشه‌های جزئیات – قسمت دوم) تهران، ۱۳۸۷.

[۳] سازمان برنامه و بودجه، نشریه ۱۷۲ (عملکرد نگهداری و بهینه‌سازی سیستم‌های گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع)، دفتر امور فنی، تهران، ۱۳۷۷.

[۴] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مبحث شانزدهم (تأسیسات بهداشتی)، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ۱۳۹۶.

[۵] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، راهنمای مبحث شانزدهم (تأسیسات بهداشتی)، توسعه ایران، تهران، ۱۳۹۲.

[۶] بغوزیان، رونالد، محاسبات تأسیسات ساختمان، نشر یزدا، تهران، ۱۳۹۹.

[۷] طباطبایی، سیّد مجتبی، محاسبات تأسیسات ساختمان، فرهنگ معاصر، تهران، ۱۳۸۲.

[۸] مهینی تهرانی، جواد، کتاب تأسیسات، انتشارات میقات، تهران، ۱۳۷۷.

[۹] گلستانه، سیّد جعفر، مفاهیم مکانیک در رشته تأسیسات ساختمان آزمون‌های کارشناسی رسمی، خانه کتاب مهندسین، تهران، ۱۴۰۳.

[۱۰] سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، نصب و راه‌اندازی دستگاه‌های موتورخانه تأسیسات گرمایی، تهران، شرکت چاپ و نشرکتاب های درسی ایران، ۱۴۰۱

[۱۱] سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، نصب و راه‌اندازی سیستم‌های تولید آب گرم، تهران، شرکت چاپ و نشرکتاب‌های درسی ایران، ۱۴۰۱

[۱۲] امامی، سجاد، نقی‌لو، احمد، کتاب تبرید و اصول نقشه‌کشی تبرید، انتشارات نوروزی، گرگان، ۱۳۹۲.

[۱۳] امامی، سجاد، طراحی لوله‌کشی تبرید، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ۱۳۹۳.

[۱۴] امامی، سجاد، نقشه‌کشی تبرید برای دانشجویان و تکنسین‌های مکانیک، انتشارات سازمان مدارس آزاد اسلامی، تهران، ۱۳۹۱.

[۱۵] مجموعه پرسش‌های آزمون نظام مهندسی رشته تاسیسات مکانیکی.

[۱۶] ASHRAE HANDBOOK – Heating, Ventilation and Air-Conditioning application – 2019

[۱۷] Handbook of air conditioning system design by: Carrier Air Conditioning Company

[۱۸] Fluid-Mechanics by: Yunus A. Cengel – 2020