مراجعات سریع

ویرایش سوم

محمدرضا سلطاندوست



مراجعات سريع

مراجعات سریع

تالیف: محمدرضا سلطاندوست

ویرایش سوم

سرشناسه	:	سلطاندوست، محمد رضا، ۱۳۴۱ -
عنوان و نام پدیدآور	:	مراجعات سریع/ تالیف محمدرضا سلطاندوست.
وضعیت ویراست	:	[ویراست ۳].
مشخصات نشر	:	تهران : یزدا، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	:	۸۴۸ ص.
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	کتابنامه.
یادداشت	:	نمایه.
موضوع	:	تأسیسات -- طرح و ساختمان -- دستنامه‌ها
موضوع	:	تأسیسات -- طرح و ساختمان -- جدول‌ها و نمودارها
رده بندی کنگره	:	TH۶۰۲۴/س۸م۴ ۱۳۹۳
رده بندی دیویی	:	۶۹۶/۰۲۲۲
شماره کتابشناسی ملی	:	۳۵۲۷۲۵۳

مراجعات سریع

تألیف: محمدرضا سلطاندوست **ویرایش سوم**

ناشر: یزدا / **چاپ دوم:** ۱۴۰۳ / **قطع:** رقعی / **تعداد صفحات:** ۸۴۸ صفحه

آماده‌سازی قبل از چاپ: نشریه حرارت و برودت / **مدیر تولید:** قاسم حسنی

صفحه‌آرا: اکرم هاشمی / **طرح روی جلد:** سهند سلطاندوست

چاپ: یزدا / **شمارگان:** ۳۰۰ نسخه / **مرجع قیمت:** YAZDAMARKET.COM

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۵-۳۷۴-۲ **ISBN:** 978-600-165-374-2

نشر یزدا و گروه نشریات

دفتر نشر و نمایشگاه دائمی: تهران، سیدخندان، خیابان ارسباران، کوچه‌ی ستاری، شماره‌ی ۲۲، ساختمان یزدا **تلفن:** ۵۰-۲۲۸۸۵۶۴۷ (۰۲۱)

توجه: به موجب قانون حمایت حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸/۱۰/۱۱ و همچنین قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی مصوب سال ۱۳۵۰ تمام حقوق این اثر به هر نحو برای مولف محفوظ است. نشر و پخش تمام یا قسمتی از این کتاب بدون اجازه از مولف، باعث پیگرد قانونی خواهد شد.

همراه: ۰۹۱۲۴۴۸۰۴۱۶ **خرید آنلاین:** WWW.YAZDAMARKET.COM

مبانی	تعاریف، روابط پایه، روابط هندسی، روابط محاسباتی، جداول پایه	۱۹
مبانی	واحدهای اندازه‌گیری و تبدیل آنها	۱۰۳
محاسبات	شرایط محیطی	۱۱۹
محاسبات	تخمین بارهای گرمایش و سرمایش	۱۴۷
محاسبات	عوامل مؤثر در افزایش بار	۲۰۳
تجهیزات مولد گرما	احتراق، سوخت، سوخت‌رسانی، مشعل، دیگ	۲۵۳
سیستم بخار	دیگ بخار، مخزن چگالیده، تله بخار، دیریتور، خطوط حافظ، لوله‌کشی بخار	۲۹۱
مبدل‌ها و منابع	مبدل حرارتی و کوئل‌ها، آبگرمکن، منابع تولید آبگرم مصرفی، منبع انبساط	۳۱۹
گرمایش	کوره هوای گرم، واحد یکپارچه، گرمایش تشعشعی، رادیاتور، کنوکتور، یونیت هیتر، پرده هوایی	۳۵۵
سرمایش	چیلر جذبی، چیلر تراکمی، مبردها، کولر گازی	۳۷۱
سرمایش‌تبخیری	برج خنک‌کن، هواشوی، کولر آبی، زنت	۴۱۵
تجهیزات تبادل حرارت دوفصلی	فن‌کوئل، هواساز	۴۳۷
تجهیزات انتقال و توزیع آب	پمپ، شبکه لوله‌کشی	۴۵۳
تجهیزات انتقال و توزیع هوا	فن، کانال و دریچه‌ها	۵۰۱
تجهیزات کیفیت هوا	رطوبت‌زنی، رطوبت‌گیری، پاکسازی هوا	۵۳۹
ویژه	هوای فشرده، خلاء، عایق‌کاری و رنگ‌آمیزی	۵۵۵
آب	تخمین و تعیین مصارف، ظرفیت مخازن، سختی‌گیر، اطفای حریق	۵۷۱
فاضلاب	تخمین و تعیین مصارف، لوله‌کشی، هواکش فاضلاب، آب باران، سپتیک تانک، چاه جذبی	۶۱۱
اماکن	بیمارستان‌ها	۶۳۵
اماکن	مسکونی، اداری، تجاری، آموزشی	۶۵۹
اماکن	استخر، اتاق تمیز، سردخانه، گلخانه	۶۷۵
مبحث ویژه	معابر و اماکن تاسیسات مکانیکی	۷۱۷
مباحث مرتبط	برق، آسانسور، پله برقی، انرژی	۷۳۵
دسترسی	نمایه، فهرست منابع و مراجع	۷۹۵

فهرست

مقدمه ۱۱

۱ مبانی ۱۷

۱-۱ مروری بر تعاریف و روابط پایه ۱۹

۱-۲ روابط هندسی ۳۵

۱-۳ روابط محاسباتی ۴۵

۱-۴ جداول پایه ۷۱

۱-۵ واحدهای اندازه‌گیری و تبدیل آنها ۱۰۳

۲ محاسبات ۱۱۷

۲-۱ شرایط محیطی ۱۱۹

۲-۲ تخمین بارهای گرمایش و سرمایش ۱۴۷

تخمین بار گرمایی ۱۵۱

تعیین بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی ۱۶۱

تخمین بار سرمایی ۱۶۳

تخمین مقدار هوای حامل بار گرمایی و سرمایی ۱۹۶

۲-۳ عوامل موثر در افزایش بار ۲۰۳

بار گرمایی تجهیزات الکتریکی ۲۰۴
گرمای ناشی از وجود افراد ۲۱۱
انتقال حرارت از طریق جداره‌ها، مواد و مصالح ساختمان ۲۱۵
تخمین بارهای گرمایشی و سرمایشی ناشی از نفوذ ۲۴۳

۳ تجهیزات و سیستم‌ها ۲۴۷

۳-۱ احتراق، سوخت و سوخت‌رسانی ۲۵۳
هوای احتراق ۲۵۷
گرمکن سوخت ۲۶۱
انتقال سوخت ۲۶۴
مخازن سوخت ۲۶۶
دودکش ۲۶۸
گاز ۲۷۳

۳-۲ دیگ ۲۸۳

۳-۳ سیستم بخار ۲۹۱
دیگ در سیستم بخار ۲۹۲
تله‌بخار مناسب و ضرایب اطمینان ۲۹۸
دیریتور ۳۰۲
خطوط حافظ ۳۰۳

۳-۴ مبدل حرارتی و کوئل‌ها ۳۱۹
مبدل پوسته و لوله ۳۱۹
مبدل صفحه‌ای ۳۲۰
کوئل سرمایی، محدوده‌های انتخاب ۳۲۳

۳-۵ آبگرمکن ۳۲۵

۳-۶ منابع تولید آبگرم مصرفی ۳۳۱
تعیین مصرف آبگرم و حجم منبع ۳۳۱
تعیین مقدار گرمای مورد نیاز برای تولید آبگرم مصرفی ۳۳۳

۳-۷ منبع انبساط ۳۳۷
تخمین حجم منبع انبساط باز ۳۳۷

تخمین حجم منبع انبساط بسته ۳۳۸
۳-۸ کوره هوای گرم ۳۵۵
۳-۹ واحد یکپارچه آبگرم ۳۵۷
۳-۱۰ گرمایش تشعشعی ۳۵۹
۳-۱۱ رادیاتور، کنوکتور، یونیت هیتر ۳۶۳
۳-۱۲ پرده هوایی ۳۶۹
۳-۱۳ چیلر جذبی ۳۷۱
۳-۱۴ چیلر تراکمی ۳۸۹
۳-۱۵ مبردها ۴۰۵
۳-۱۶ کولر گازی ۴۱۳
۳-۱۷ برج خنک‌کن ۴۱۵
۳-۱۸ هواشوی ۴۲۵
۳-۱۹ کولر آبی ۴۲۹
۳-۲۰ زنـت ۴۳۳
۳-۲۱ فن‌کوئل ۴۳۷
۳-۲۲ هواساز ۴۴۳
۳-۲۳ پمپ ۴۵۳
۳-۲۴ شبکه لوله‌کشی ۴۶۹
۳-۲۵ فن ۵۰۱
۳-۲۶ کانال‌ها و دریچه‌ها ۵۱۱
۳-۲۷ رطوبت‌زنی - رطوبت‌گیری ۵۳۹
۳-۲۸ پاکسازی هوا ۵۴۷
۳-۲۹ هوای فشرده و خلاء ۵۵۵
۳-۳۰ عایق‌کاری و رنگ‌آمیزی ۵۶۱

۴ آب و فاضلاب ۵۶۹

۴-۱ آب ۵۷۱
۴-۲ فاضلاب ۶۱۱

۵ کاربردها ۶۲۹

۵-۱ بیمارستان‌ها ۶۳۵
۵-۲ اماکن مسکونی ۶۵۹
۵-۳ اماکن اداری - تجاری ۶۶۳
۵-۴ اماکن آموزشی ۶۷۱
۵-۵ استخر ۶۷۵
۵-۶ اتاق‌های تمیز ۶۸۵
۵-۷ سردخانه ۶۹۱
۵-۸ گلخانه ۷۱۳

۶ معابر و اماکن تاسیسات مکانیکی ۷۱۷

۷ بـرق ۷۳۵

۸ آسانسور و پله‌برقی ۷۷۳

۹ انرژی ۷۸۳

۱۰ نمایه ۷۹۵

واحدهای اندازه‌گیری استفاده شده در این کتاب ۸۲۵
نمادها و علائم نقشه‌کشی تاسیسات مکانیکی ساختمان ۸۲۹
اندازه استاندارد نقشه‌ها ۸۲۹
نمادها و علائم نقشه‌کشی ۸۲۹

فهرست منابع و مراجع ۸۴۱

مقدمه

در روند محاســـبات و طراحی تاسیســـات مکانیکی ساختمان و نیز به هنگام تهیه گزارش‌های توجیهی و حتی در مباحث روزمره کارگاهی همواره برای دستیابی به بسیاری از اطلاعات، نیازمند مراجعه به منابع مختلف و متعددی هســـتیم، به گونه‌ای که بدون دسترسی به برخی مقادیر و ضرایب از پیش تعیین شده که در قالب جداول و نمودارهای گوناگون گرد آمده‌اند، به هیچ رو نمی‌توانیم عملیات محاســـباتی و طراحی یک پروژه را به انجام رســـانیم و یا در تهیه گزارش‌ها و پی گرفتن مباحث موفق باشـــیم. در این میان عمده‌ترین مشکل که اغلب فرآیند جستجو و به تبع آن روند محاسبات را کنـــد می‌کنـــد، تعدد و پراکندگی مراجع اســـت. از این‌رو با جمع آمدن آنها در مجموعه‌هایی همچون کتاب حاضر، می‌توان ســـرعت دسترسی به اطلاعات ضروری و در پی آن روند محاســـبات را ســـریع‌تر نمود. امکانات سخت‌افزاری و انواع نرم‌افزارهای رایانه‌ای نیز به گونه‌ای چشم‌گیر عملیات محاســـباتی را سرعت بخشـــیده‌اند، اما هیچ یک منجربه حذف بخشی از عوامل و اجزای بنیادین روابط محاسباتی نشده و نمی‌شوند.

در واقع مهیا نمودن امکان «**مراجعات سریع**» و بهره‌گیری از نرم‌افزارهای متنوع است که موجب تســـریع محاسبات می‌شود، اگر نه هیچ راه دیگری تحت عناوین مختلف بـــرای نیل به نتایج دقیق و صحیح وجود ندارد. این

ادعا که به کمک انواع نرم‌افزارها روند محاســـبات سریع‌تر می‌شود، ادعای کاملا به جا و قابل قبول است، زیرا در این حالت ماهیت روابط و عملیات محاســـباتی تغییری نکرده، بلکه بخش عمده‌ای از آن به رایانه سپرده شده است. به همین منوال اســـتفاده از مجموعه‌های چاپی مشتمل بر جداول و اطلاعـــات پیش نیاز طراحی نیز می‌تواند تاثیر بســـزایی در شـــتاب‌گیری محاسبات داشته باشـــد. بنابراین با قبول تعریف مشخصی از محاسبات و پذیرش لزوم سلسله عملیاتی خاص در روند آن، حداکثر می‌توانیم از روابط تجربی، قواعد سرانگشتی(Rules of Thumb)، تخمین و یا برآوردها که عنوان هر یک یا همگی آنها آشـــکارا برغیر دقیق بودن‌شـــان دلالت دارد سخن به میان آوریم. چنین روش‌هایی اگر چه فاقد دقت کافی برای نهایی نمودن طرح یک پروژه هســـتند اما در مواردی محدود جایگاه کاربردی ویژه‌ای دارندکه گمانه‌زنی‌های مراحل آغازین پروژه‌ها از رایج‌ترین موارد است. در واقع قواعد سرانگشـــتی یا تخمین بار همچون چوب کبریتی اســـت که در اتاقی بسیار تاریک شعله‌ور می‌شود تا به مدد کورسوی آن بتوان کلید اصلی چراغ را پیدا نمود. مهم این است که مرزی مشخص بین محاسبات و قواعد سرانگشتی قائل شـــده و عرصه‌ی به کارگیری هر یک از روش‌های دقیق یا تخمینی را در زمینه‌های مناسب خود بدانیم، اگر نه در جهان امروز که موضوع انرژی و چگونگی مصرف و صرفه‌جویی در آن بســـیاری از مقولات تولید، توزیع و مصرف را در همه ابعاد و ارکان اجتماعی تحت تاثیر قرار داده و کارخانجات ســـازنده تجهیزات گرمایش و تهویه‌مطبوع در افزایش بازده تولیدات خود از نقطه‌نظر صرفه‌جویی در انرژی به رقابتی تنگاتنگ و ســـخت کمر بسته‌اند، اتکا به نتایج حاصل از قواعد سرانگشتی و اجرایی نمودن آنها عملی به غایت نابخردانه و به دور از منطق است.

این کتاب برای استفاده در زمینه‌های محاسباتی، طراحی، تهیه گزارش‌های توجیهی و تخمین و برآوردهای اولیه تالیف شده است و در پرداخت مطالب آن فرض بر این بوده که کاربران با تعاریف و موضوعات مقدماتی تاسیســـات مکانیکی ساختمان آشنا هستند.

برخی از اطلاعات جداول ارائه شده از درجه اهمیت بیشتری برخوردارند و بعضی از آنها مانند جداول مربوط به لوله‌کشـــی گاز یا تهویه مراکز درمانی دارای جنبه‌های مهمتری نیز هســـتند، از این‌رو تلاش بر این بود که مراجع و منابـــع هر یک از این جداول در زیر آنها نگاشـــته شـــود تا کاربران ضمن اطمینان خاطر بیشـــتر در کاربرد مندرجات، امکان مقایسه و مقابله آنها با منابع اصلی را نیز داشته باشند. از این نظر شاید کتاب حاضر اولین و تنها کتابی باشد که در آن چنین شیوه‌ای به کارگرفته شده است.

یکی از مهمترین ویژگی‌های کتاب حاضر این است که هیچ یک از جداول آن از طریق اســـکن جداول کتب یا مقالات مرجع ساخته و پرداخته نشده اســـت، بلکه تمامی جداول به طور اختصاصی برای این کتاب حروف‌نگاری و طراحی شـــده‌اند. زیرا تعدد منابع و عدم یکنواختی بین آنها و نیز نقصان و فزونی برخی مطالب و مندرجات جداول و همچنین کاســـتی‌های چاپی و عدم کیفیت مطلوب بســـیاری از آنها، امکان استفاده سهل و آسان را به روش اسکن میسر نمی‌نمود. بنابراین لازم بود که متن و به خصوص هزارها عدد مندرج در جداول بارها و بارها با مراجع اصلی مطابقت داده شود و از ســـوی دیگر بین جداول مشابه در مراجع و منابع مختلف مقابله و مقایسه صورت گیرد.

ویرایش نخست این کتاب در تابستان ۱۳۸۵ و دومین ویرایش آن در پائیز ۱۳۸۸ منتشر شد. با افزایش قابل توجه مطالب ویرایش دوم نسبت به نسخه اول، چگونگی ایجاد دسترســـی آســـان به اطلاعات و جداول کتابی که نام «**مراجعات ســـریع**» را بر خود دارد تبدیل به مهم‌ترین چالش پیش‌رو کرد. از ســـوی دیگر، حجم افزوده‌ها در ویرایش دوم به اندازه‌ای بود که بر قطع کتاب نیز موثر افتاد و دست‌اندرکاران نشر را بر آن داشت تا به منظور پرهیز از افزایـــش غیرمتعارف ضخامت کتاب، قطع بزرگ‌تری را انتخاب کنند. به این ترتیب کمیت و کیفیت محتوا، تغییرات اجتناب‌ناپذیری را بر شـــکل و ساختار کتاب تحمیل نمود. از این‌رو برای محقق ساختن دسترسی آسان، لازم آمد تا به طور کلی شـــالوده کتاب، در هم ریخته و فصل‌بندی دیگری

به کار گرفته شود. به گونه‌ای که مطالب در قالب بخش‌های متعدد، ضمن بهره‌گیری از عنوان مستقل، چنان گرد هم آیند که پیوستگی موضوع از دست نرود. ایجاد پیوندهای موضوعی بخش‌ها در قالب فصول، اگرچه لازم به نظر می‌رسید و تا حدودی هدف دسترسی آسان را محقق می‌ساخت؛ اما کافی نبود. بنابراین به کارگیری شیوه‌های دیگر نیز مدنظر قرار گرفت. از جمله مهم‌ترین روش‌ها، می‌توان از چاپ عنوان بخش‌های مهم در صفحه‌ای مستقل و پیش از فهرست کتاب یاد کرد که دست‌یابی سریع به موضوع و استخراج اطلاعات مورد نیاز را به روش نشانه‌گذاری تا حدودی تسهیل می‌کند. اما محدودیت‌های فیزیکی امکان درج همه عناوین بخش‌ها و فصول را به صورت نشانه‌گذاری نمی‌داد و به همین دلیل به درج سرفصل‌ها و تیترهای مهم اکتفا شد و به موازات این اقدام، فهرست‌های متعددی، هم در ابتدای کتاب و هم به صورت نمایه الفبایی- موضوعی در انتهای کتاب و هم به صورت ویژه در ابتدای هر فصل تدارک دیده شد تا کاربران فارغ از عناوین مندرج در کناره اوراق بتوانند به کمک فهرست‌ها، سریع‌تر موضوع مورد نظر را بیابند.

بی‌تردید یکی از مزایای ویرایش نخست این کتاب، قطع و اندازه آن بود که به کاربران اجازه می‌داد، کتاب را به راحتی حمل نموده و در شرایط مختلف به همراه داشته باشند. اما اصرار به حفظ چنین مزیتی با لزوم افزایش حجم مطالب در تناقض بود. بنابراین به دلیل عدم هم ترازی این امتیاز نسبت به ضرورت وجود اطلاعات بیشتر در یک کتاب مرجع، ترجیح داده شد، تکمیل متن در اولویت قرار گیرد، مشروط بر این که کتاب دیگری در همان قطع و اندازه پیشین؛ اما با حجمی کمتر، پرکاربردترین جداول و اطلاعات تاسیسات مکانیکی ساختمان را در خود جای داده و تحت عنوان «**دستنامه تاسیسات مکانیکی ساختمان**» انتشار یابد تا کاربران علاقه‌مند بتوانند کماکان از جداول موردنیاز خود در فعالیت‌های روزانه بهره‌مند شوند. کتاب دستنامه تاسیسات مکانیکی ساختمان به همراه ویرایش دوم همین کتاب در سال ۱۳۸۸منتشر شد و در آینده‌ای نزدیک با

برخی اصلاحات و تغییرات بار دیگر انتشار خواهد یافت.

اکنون ویرایش سوم این کتاب در اختیار علاقه‌مندان قرار گرفته است که تفاوت ماهوی و شـــکلی چندانی با ویرایش دوم ندارد و اگر ضرورت اصلاح پاره‌ای اشـــتباه‌ها و لغزش‌ها وجود نداشـــت، ویرایش دوم به صورت چاپ مجدد انتشـــار می‌یافت. اما علیرغم کوشش فراوان برای پرداختی پاکیزه و بدون اشـــتباه، برخی غلط‌ها دور از نظر مانده بود و لزوم تصحیح آنها منجر به انتشار سومین ویرایش شد.

محمدرضا سلطاندوست

بهار ۱۳۹۳

۱

مبانی

۱-۱ مروری بر تعاریف و روابط پایه .. ۱۹

- مکانیک کاربردی..... ۱۹
- ترمودینامیک..... ۲۸
- سایکرومتریک ۳۲

۱-۲ روابط هندسی ۳۵

- سطوح..... ۳۵
- احجام..... ۳۹

۱-۳ روابط محاسباتی..... ۴۵

- گرمایش و سرمایش ۴۵
- مقاومت و انتقال گرمایی..... ۴۸
- نرخ جریان آب و هوا ۴۹
- قوانین پمپ‌ها و فن‌ها ..... ۵۹ ،۵۰
- کانال‌ها و لوله‌ها..... ۶۰ ،۵۱
- سایکرومتریک و رطوبت ۵۳ ،۵۱ ،۳۲
- بخار و چگالیده..... ۶۳
- منابع آبگرم و انبساط ..... ۵۷ ،۵۵
- برج‌های خنک‌کن ۵۴

۱-۴ جداول پایه ۷۱

۱-۵ واحدهای اندازه‌گیری و تبدیل آنها

..... ۱۰۳

۱-۱

مروری بر تعاریف و روابط پایه

در این قسمت برخی روابط و مفاهیم مهم فیزیکی که اساس مباحث متنوع تجهیزات و سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع را شکل می‌دهند، به طور خلاصه و گذرا یادآوری شده‌اند.

• مکانیک کاربردی

کمیت عددی (Scalar)
کمیتی که تنها دارای مقداری مثبت یا منفی است.

کمیت برداری (Vector)
کمیتی که علاوه بر مقدار، دارای جهت است.

سرعت
کمیتی برداری برابر با مقدار جابجایی تقسیم بر زمان

شتاب
کمیتی برداری برابر با تغییرات سرعت در واحد زمان

شتاب گرانشی
شتاب ناشی از نیروی جاذبه بر اجسام برابر با $9.81\ m/s^2$ یا $32.2\ ft/s^2$

سرعت و شتاب خطی

$V = U + at$

$S = \left(\frac{V + U}{2}\right)t$

$S = Ut + \frac{1}{2}at^2$

$V^2 = U^2 + 2as$

U= سرعت اولیه

V= سرعت پایانی

t= زمان سپری‌شده

s= جابجایی

a= شتاب

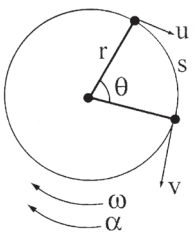
سرعت و شتاب زاویه‌ای

$\omega_2 = \omega_1 + \alpha t$

$\theta = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \times t$

$\theta = \omega_1 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$

$\omega_2{}^2 = \omega_1{}^2 + 2\alpha\theta$



θ= جابجایی زاویه‌ای (رادیان)

ω= سرعت زاویه‌ای (رادیان بر ثانیه)

α= شتاب زاویه‌ای (رادیان بر مجذور ثانیه)

(جابجایی خطی) $S = r\theta$

(سرعت خطی) $V = r\omega$

(شتاب خطی یا مماسی) $a_T = ra$

شتاب مماسی، مرکزگرا و شتاب کامل

شتاب مماسی (a_T) از شتاب زاویه‌ای (α) ناشی می‌شود:

$a_T = r\alpha$

شتاب مرکزگرا (یا گریز از مرکز) تنها از تغییر جهت حرکت ناشی می‌شود:

$a_c = v^2/r = r\omega^2$

شتاب کل (a) برای یک ذره چرخان دارای شتاب زاویه‌ای از برایند برداری

شتاب مماسی و مرکزگرا حاصل می‌شود:

$$\vec{a} = \vec{a}_T + \vec{a}_c$$

نیرو

کمیتی برداری است و به فشاری اطلاق می‌شود که سبب تغییر در شکل یا سرعت حرکت جسم می‌شود. در سیستم SI، یکای نیرو، نیوتن است و در سیستم انگلیسی، یکای نیرو، پوند نیرو است و هر 9.81 N برابر با 2.2 پوند نیرو است.

وزن

نیروی گرانشی بین جسمی به جرم (m) و کره زمین در سیستم SI.

رابطه بین جرم و وزن چنین است:

$$W = F = mg$$

$$g = 9.81\ m/s^2$$

در سیستم انگلیسی، جرم جسم را می‌توان برحسب اسلاگ (Slug) به کمک وزن آن برحسب پوند محاسبه کرد:

$$m = \frac{W}{g}$$

$$g = 32.2\ ft/s^2$$

قانون دوم نیوتن برای حرکت

نیروی F وارده بر جسمی به جرم m سبب ایجاد شتابی به بزرگی a خواهد شد:

$$F = ma$$

در سیستم انگلیسی:

$$P = \frac{W}{g}V$$

معادله گشتاور

$T= I\alpha$

I= اینرسی یا ماند (kgm^2)

T= شتاب گشتاور (Nm)

α= شتاب زاویه‌ای (rad/s^2)

اندازه حرکت

کمیتی برداری که آن را با نماد P نشان می‌دهیم و برابر است با:

$P= mv$

در سیستم انگلیسی:

$$P=\frac{W}{g}V$$

در سیستم SI یکای اندازه حرکت kgm/s است.

کار

کمیتی اســـت عددی که از ضرب بردار نیرو در بردار جابجایی جســـم به دست می‌آید.

$W= FS$

در سیستم SI واحد کار ژول (J) یا کیلوژول (kJ) است و هر یک ژول برابر با یک نیوتن‌متر اســـت و در سیستم انگلیسی، واحد کار فوت - پوند (ft-lb) است.

انرژی

انرژی توانایی انجام کار اســـت و واحدهای مربوط به آن مشابه واحدهای مورداستفاده برای کار است.

انرژی جنبشی

انرژی ناشی از حرکت: $E_K =\frac{1}{2}mv^2$

در سیستم انگلیسی، این انرژی معمولا با $E_K=\frac{w}{2g}v^2$ بیان می‌شود که در آن w وزن جسم است.

انرژی جنبشی دورانی

$$E_R=\frac{1}{2}mk^2\omega^2$$

k، شعاع دوران و ω سرعت زاویه‌ای برحسب $\frac{Rad}{S}$ است و همینطور رابطه انرژی جنبشی دورانی را می‌توان چنین می‌نوشت:

$$E_R=\frac{1}{2}I\omega^2$$

که در آن (I) تحت عنوان ممان اینرسی یا گشتاور لختی برابر است با جرم در مجذور شعاع دوران:

$$I=mk^2$$

نیروی گریز از مرکز (یا مرکزگرا)

$$F_C=\frac{mv^2}{r} \qquad \text{یا} \qquad F_C=m\omega^2r$$

r= شعاع

ω= سرعت زاویه‌ای

انرژی پتانسیل

انرژی ناشی از قرارگیری جسم در یک میدان نیرو، مانند جاذبه:

$$E_p=mgh$$

در سیستم انگلیسی این انرژی معمولا به صورت $E_p=wh$ بیان می‌شود که در آن w وزن جسم و h ارتفاع آن نسبت به یک سطح مبنا است.

انرژی حرارتی

در سیستم (SI) واحدهای مورداستفاده برای انرژی حرارتی، ژول و کیلوژول هستند (و کیلوژول بر کیلوگرم برای کمیت‌های ویژه).

در سیستم انگلیسی واحد انرژی گرمایی Btu است.

1 Btu = 1055 J

1 Btu = 778 ft-lb

انرژی الکتریکی

در سیستم (SI)، واحدهای مورداستفاده برای انرژی الکتریکی، ژول، کیلوژول و کیلووات ساعت هستند و در سیستم انگلیسی، واحد انرژی الکتریکی با کیلووات ساعت بیان می‌شود:

1 kWh = 3600 kJ

1 kWh= 3412 Btu = 2.66×10^6 ft-lb

توان

کمیتی عددی برابر با نرخ انجام کار که واحد آن در سیستم SI وات یا کیلووات است:

$$1\,\mathrm{w} = 1\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}$$

در سیستم انگلیسی واحدها به ترتیب زیر هستند:

hp (اسب)

$\frac{\mathrm{ft-lb}}{\mathrm{s}}$ (توان مکانیکی)

$\frac{\mathrm{Btu}}{\mathrm{s}}$ (توان حرارتی)

W،kW (توان الکتریکی)

و تبدیل‌ها چنین هستند:

746 W = 1 hp

$$1\,\mathrm{hp} = 550\frac{\mathrm{ft-lb}}{\mathrm{s}}$$

$$1\,\mathrm{kW} = 0.948\frac{\mathrm{Btu}}{\mathrm{s}}$$

فشار

کمیتی برداری که نیروی وارد بر واحد سطح را بیان می‌کند. در سیستم (SI) واحدهای اصلی فشار، پاسکال و کیلوپاسکال هستند:

$$1\,\text{Pa} = 1\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \qquad 1\,\text{kPa} = 6.895\,\text{kPa}$$

در سیستم انگلیسی، واحد اصلی فشار، پوند بر اینچ مربع (psi) است.

فشار جو

فشار جو در سطح دریا برابر است با 14.7 psi یا 101.3 kPa

واحدهای فشار

فارغ از واحدهای اصلی پاسکال، کیلوپاسکال، نیوتن بر مترمربع در سیستم (SI) و متریک و همچنین (psi) در سیستم انگلیسی، فشار ممکن است به کمک واحدهای استاندارد یا با سنجش ارتفاع سیال نیز بیان شود:

1 kPa = 0.294 inHg (اینچ جیوه) = 7.5 mmHg (میلی‌متر جیوه)

1 kPa = 4.02 inW (اینچ آب) = 102 mmW (میلی‌متر آب)

1 psi = 2.03 inHg (اینچ جیوه) = 51.7 mmHg (میلی‌متر جیوه)

1 psi = 27.7 inW (اینچ آب) = 703 mmW (میلی‌متر آب)

1 mW (متر آب) = 9.81 kPa

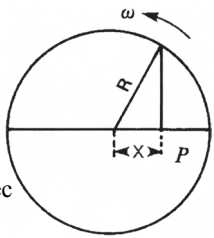
سایر واحدهای رایج فشار عبارتند از:

1 bar = 14.5 psi = 100 kPa

1 kg/cm^2 = 98.1 kPa = 14.2 psi = 0.981 bar

1 atm (اتمسفر) = 101.3 kPa = 14.7 psi

حرکت نوسانی ساده



$$\text{سرعت متحرک (P)} = \omega\sqrt{R^2 - X^2}\ \frac{m}{s}$$

$$\text{شتاب متحرک (P)} = \omega^2 X\ \frac{m}{s^2}$$

$$\text{دوره تناوب یا مدت زمان یک نوسان کامل} = \frac{2\pi}{\omega}\text{Sec}$$

رابطه کلی برای دوره تناوب حرکت نوسانی ساده:

L= جابجایی

g= شتاب

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

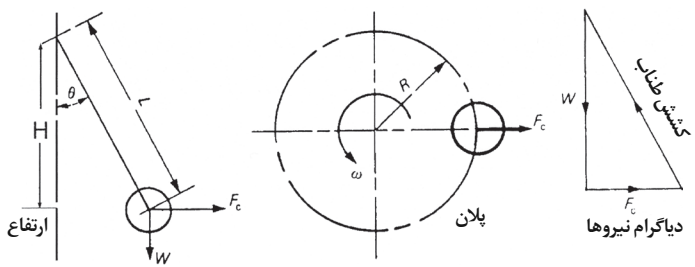
آونگ ساده

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

T= دوره تناوب یا مدت زمان یک نوسان کامل آونگ بر حسب ثانیه

L= طول برحسب متر

آونگ مخروطی



$$R/H = \tan\theta = F_C/W = W^2R/g$$

نسبت‌های انتقال

نسبت انتقال حرکت از یک چرخ‌دنده به چرخ‌دنده دیگر:

$$i=\frac{d_2}{d_1}=\frac{z_2}{z_1}=\frac{n_2}{n_1}=\frac{\omega_2}{\omega_1}$$

d_1= قطر چرخ‌دنده محرک

d_2= قطر چرخ‌دنده متحرک

z_1= سطح مقطع چرخ‌دنده محرک

z_2= سطح مقطع چرخ‌دنده متحرک

n_1= سرعت گردش چرخ‌دنده محرک

n_2= سرعت گردش چرخ‌دنده متحرک

ω_1= سرعت زاویه‌ای چرخ‌دنده محرک

ω_2= سرعت زاویه‌ای چرخ‌دنده متحرک

نسبت گشتاور

$$\frac{\text{(اندازه حرکت) ممان نیرو}}{\text{(اندازه حرکت) ممان بار}}=\frac{M_F}{M_L}=\frac{1}{i\eta}$$

i= نسبت انتقال

η= بازده

بازده و بازدهی کل

$$\eta=\frac{\text{کار خروجی}}{\text{کار ورودی}}$$

$$\eta = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \dots$$

● ترمودینامیک

مقیاس‌های دما

C= سلسیوس　　R= رانکین

F= فارنهایت　　K= کلوین

$$^{\circ}C=\frac{5}{9}(^{\circ}F-32)$$　　$$^{\circ}R=^{\circ}F+460$$

$$^{\circ}F=\frac{9}{5}\,^{\circ}C+32$$　　$$^{\circ}K=^{\circ}C+273$$

رابطه گرمای محسوس

گرمایی که موجب افزایش دمای ماده می‌شود؛ بدون اینکه منجر به تغییر حالت یا فاز فیزیکی آن شود.

$$Q = mC\Delta t$$

Q = گرمای محسوس　　m = جرم

C = گرمای ویژه　　Δt = تغییر یا اختلاف دما

گرمای نهان

گرمایی که صرف تغییر حالت ماده می‌شود.

گرما نهان یخ = 335 kJ/kg

گرمای نهان بخار در دمای $^{\circ}C$ 100= 2257 kJ/kg

ظرفیت گرمایی

مقدار انرژی گرمایی موردنیاز برای تغییر یک درجه دمای واحد جرم ماده برحسب $Btu/lb^{\circ}F$ یا $cal/gm^{\circ}C$

انتالپی

کل انرژی داخلی، شامل گرمای محسوس و گرمای نهان که گرمای کل نیز خوانده می‌شود.

قانون بویل

رابطه بین فشار و حجم گاز در دمای ثابت:

$P_1V_1 = P_2V_2$ $\qquad$ $PV =$ ثابت

قانون چارلز

رابطه بین دما و حجم گاز در فشار ثابت:

V= حجم

T= دمای مطلق

$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ $\qquad$ $\frac{V}{T}$ ثابت

قانون گیلوساک

رابطه بین فشار و دمای گاز در حجم ثابت:

P = فشار مطلق

T= دمای مطلق

$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ $\qquad$ $\frac{P}{T}$ ثابت

قانون عمومی گاز

$PV = mRT$

$PV = nR_UT$

$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ = ثابت

P= فشار مطلق (kPa)

V= حجم (m^3)

T= دمای مطلق (K)

m= جرم (kg)

R= ثابت گاز (kJ/kgK)

n= تعداد کیلومول گاز

R_u= ثابت جهانی گاز برابر با 8.3145 kJ / kmol/ K یا: $10.73\frac{(psi)(ft^3)}{lb.mole^oR}$

ثابت جهانی گازها

در سیستم SI و متریک:

$$R_U = 83145 \frac{kJ}{kmolK} \qquad R_U = 8.3145 \frac{kNm}{kmolK}$$

$$R_U = 0.0083 \frac{(kPa)(m^3)}{(gm.mol)(K)} \qquad R_U = 82.06 \frac{(atm)(cm^3)}{(gm.mol)(K)}$$

در سیستم انگلیسی:

$$R_U = 10.73 \frac{(psia)(ft^3)}{lbmol(R)} \qquad R_U = 1545 \frac{ft.lb.f}{lbmol(R)}$$

$$R_U = 554.6 \frac{(mmHg)(ft^3)}{lbmol(R)} \qquad R_U = 21.83 \frac{(inHg)(ft^3)}{lbmol(R)}$$

انتقال هدایتی حرارت

$$Q = \frac{\lambda A T \Delta t}{d}$$

Q= انتقال حرارت (ژول)

λ= ضریب هدایت حرارتی $\frac{W}{m°C}$ یا $\frac{Jm}{m^2 s °C}$

A= مساحت (مترمربع)

T= زمان (ثانیه)

Δt= اختلاف دمای دو سوی جدار (سلسیوس)

d= ضخامت جدار یا لایه (متر)

ضریب هدایت حرارتی برخی مواد (λ)

هوا	0.025 W/m°C	شیشه	1.0 W/m°C
آلومینیوم	206 W/m°C	فایبرگلاس	0.04 W/m°C
فلز برنج	104 W/m°C	چدن	70 W/m°C
آجر	0.6 W/m°C	فولاد	60 W/m°C
بتن	0.85 W/m°C	چوب	0.15 W/m°C
مس	380 W/m°C	پلاستیک	0.04 W/m°C
چوب‌پنبه	0.043 W/m°C		

انبساط حرارتی جامدات

افزایش طول $=L\alpha(T_2-T_1)$

افزایش حجم $=V\beta(T_2-T_1)$

L= طول اولیه

α= ضریب انبساط طولی یا خطی

(T_2-T_1)= افزایش دما

V= حجم اولیه

β= ضریب انبساط حجمی

ضریب انبساط حجمی 3 برابر انبساط طولی است: $\beta = 3\alpha$

ارزش حرارتی سوخت

ارزش حرارتی سوخت بر پایه عناصر شیمیایی:

$$HV = 33.7\,C + 144\,(H_2 - \frac{O_2}{8}) + 9.3\,S$$

HV = ارزش حرارتی برحسب MJ به ازای هر kg سوخت

C = جرم کربن به ازای هر کیلوگرم سوخت

H_2 = جرم هیدروژن به ازای هر کیلوگرم سوخت

O_2 = جرم اکسیژن به ازای هر کیلوگرم سوخت

S = جرم گوگرد به ازای هر کیلوگرم سوخت

مقدار تئوریک هوای موردنیاز برای سوخت

$$Air = \left[\frac{8}{3}C + 8\left(H_2 - \frac{O_2}{8}\right) + S\right]\frac{100}{23}$$

Air= هوای مورد نیاز برحسب کیلوگرم به ازای هر کیلوگرم سوخت

C و H_2 و O_2 و S = جرم کربن، هیدروژن، اکسیژن و گوگرد به ازای هر کیلوگرم سوخت.

● سایکرومتریک

هوای خشک: هوای عاری از رطوبت یا بخارآب.

هوای مرطوب: مخلوطی از هوای خشک و بخارآب.

هوای اشـــباع: هوای مخلوط یا مرطوبی که تحت دما و فشاری خاص، تمام رطوبتی را که ممکن بوده اســت، جذب کند، جذب نموده و دیگر قادر به جذب بخارآب بیشتری نیست؛ مگر اینکه دما در فشار ثابت افزایش یابد.

دمای مرطوب: چنانچه حباب یک دماسنج معمولی (خشک) را با پارچه‌ای پوشـــانده و آن را در معرض جریان هوا قرار دهیم، دمایی نشان داده می‌شود که به طور معمول از دمای خشک کمتر است. در واقع دمایی که توسط این دماسنج نمایش داده می‌شود، واکنشی است به تاثیر تبخیر آب که پارچه به آن آغشته شده است.

افت دمای مرطوب: کمتر بودن دمای مرطوب نسبت به دمای خشک در هوای غیراشباع. چنانچه هوایی اشباع باشد، دمای خشک و مرطوب یکسان بوده و اختلافی که نشـــانگر افت دمای مرطوب نسبت به دمای خشک باشد وجود نخواهد داشت.

دمای نقطه شبنم: دمایی که در آن رطوبت موجود در هوای اشباع در اثر کاهش، تقطیر می‌شود.

رطوبت: مقدار بخارآب موجود در هوا

رطوبت نسبی: نسبتی بین رطوبت موجود در هوای موردنظر در مقایسه با مقدار رطوبتی که هوا می‌تواند تا اشباع شدن کامل، تحت همان دما به خود جذب کند. رطوبت نسبی را می‌توان بر مبنای جرم بخارآب موجود در هوا در دمایی مشخص نیز شرح داد و بر همین اساس گفت، نسبت جرم بخارآب در هوایی معین به جرم بخارآب اشـــباع در همان دما و از آنجا که وجود بخارآب در هوای مخلوط حتما همراه با فشار جزیی است، می‌توان رطوبت نسبی را نسبت فشار جزیی بخارآب در هوا به فشار بخار در هوای اشباع در همان دما نیز دانست.

نسبت رطوبت: نســـبت جرم بخارآب به جـــرم هوای خشک که نشانگر

نسبت اختلاط جرمی هوا و بخارآب در هوای مرطوب است.

رطوبت مخصوص: نسبت جرم بخارآب به جرم کل هوای مرطوب که مفهوم آن بسیار نزدیک به مفهوم نسبت رطوبت است. با این اختلاف که در نسبت رطوبت دو جرم بخارآب و هوای خشک در یک هوای نمونه مرطوب با هم مقایسه می‌شوند، در حالی که مفهوم رطوبت مخصوص، دلالت بر تعیین جرم بخارآب به کل هوای مرطوب دارد.

رطوبت مطلق: نسبت جرم بخارآب به حجم کل هوا

درجه اشباع: نسبتی بین رطوبت هوا، به نسبت رطوبت هوای اشباع در دمای مشابه که درصد رطوبت نیز خوانده می‌شود.

هوای استاندارد: هوایی است که تحت دمای $70^{\circ}F$ و فشار 14.7 psia معادل 13.34 فوت‌مکعب حجم داشته باشد.

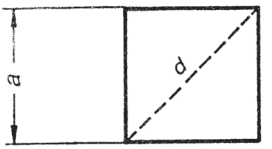
حجم مخصوص: نسبت حجم مخلوط هوای خشک و بخارآب به جرم واحد هوای خشک.

* * *

۱-۲

روابط هندسی

مربع

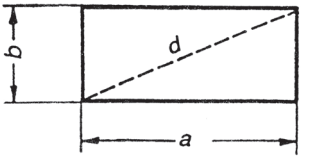


(1) $A = a^2$

(2) $a = \sqrt{A}$

(3) $d = a\sqrt{2}$

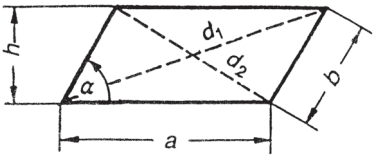
مستطیل



(4) $A = a.b$

(5) $d = \sqrt{a^2 + b^2}$

متوازی‌الاضلاع

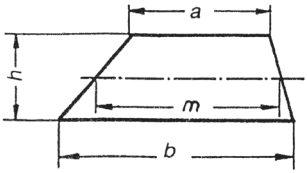


(6) $A = a.h = a.b.\sin\alpha$

(7) $d_1 = \sqrt{(a + h.\cot\alpha)^2 + h^2}$

(8) $d_2 = \sqrt{(a - h.\cot\alpha)^2 + h^2}$

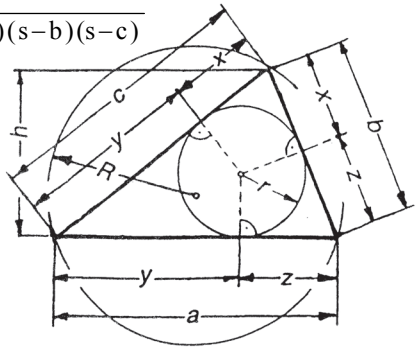
ذوزنقه



(9) $A=\frac{a+b}{2}h=m.h$

(10) $m=\frac{a+b}{2}$

مثلث



(11) $A=\frac{a.h}{2}=r.s=\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$

(12) $r=\frac{a.h}{2s};\ R=\frac{b.c}{2h}$

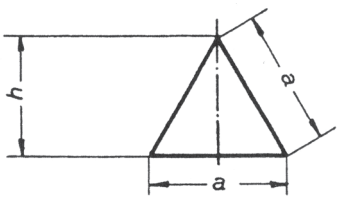
(13) $s=(a+b+c)/2$

(14) $x=s-a$

(15) $y=s-b$

(16) $z=s-c$

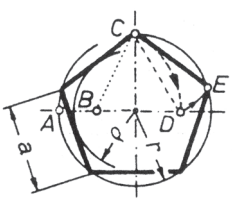
مثلث متساوی‌الاضلاع



(17) $A=\frac{a^2}{4}\sqrt{3}$

(18) $h=\frac{a}{2}\sqrt{3}$

پنج ضلعی



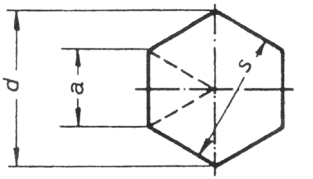
(19) $A=\frac{5}{8}r^2\sqrt{10+2+\sqrt{5}}$

(20) $a=\frac{1}{2}r\sqrt{10-2\sqrt{5}}$

(21) $Q=\frac{1}{4}r\sqrt{6+2\sqrt{5}}$

روش رسم: $\overline{AB}=0,5\ r,\ \overline{BC}=\overline{BD},\overline{CD}=\overline{CE}$

شش ضلعی

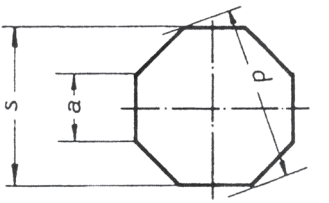


$$(22)\quad A = \frac{3}{2}a^2\sqrt{3}$$

$$(23)\quad d = 2a = \frac{2}{\sqrt{3}}s \approx 1.155$$

$$(24)\quad s = \frac{\sqrt{3}}{2}d \approx 0.866d$$

هشت ضلعی



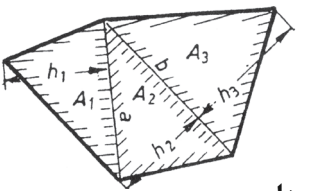
$$(25)\quad A = 2as \approx 0.83s^2 = 2s\sqrt{d^2 - s^2}$$

$$(26)\quad a = s.\tan 22.5° \approx 0.415\,s$$

$$(27)\quad s = d.\cos 22.5° \approx 0.924d$$

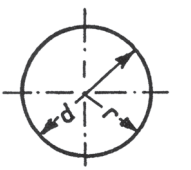
$$(28)\quad d = \frac{s}{\cos 22.5°} \approx 1.083s$$

چند ضلعی نامنظم



$$(29)\quad A = A_1 + A_2 + A_3 = \frac{a.h_1 + b.h_2 + b.h_3}{2}$$

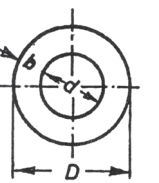
دایره



$$(30)\quad A = \frac{\pi}{4}d^2 = \pi r^2 \approx 0.785\,d^2$$

$$(31)\quad U = 2\pi r = \pi d$$

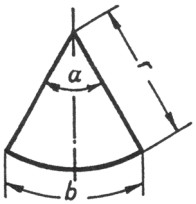
حلقه



$$(32)\quad A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \pi(d+b)b$$

$$(33)\quad b = \frac{D-d}{2}$$

قطاع دایره



$$(34)\quad A=\frac{\pi}{360^\circ}r^2\alpha=\frac{\overset{\frown}{\alpha}}{2}r^2=\frac{br}{2}$$

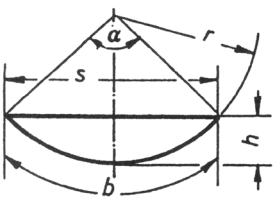
$$(35)\quad b=\frac{\pi}{180^\circ}r\alpha$$

$$(36)\quad \overset{\frown}{\alpha}=\frac{\pi}{180^\circ}\alpha$$

$\overset{\frown}{\alpha}$ بر حسب رادیان

α بر حسب درجه

قطعه‌ای از دایره



$$(37)\quad s=2r.\sin\frac{\alpha}{2}$$

$$(38)\quad A=\frac{r^2}{2}(\overset{\frown}{\alpha}-\sin\alpha)\ \approx\frac{h}{6s}(3h^2+4s^2)$$

$$(39)\quad r=\frac{h}{2}+\frac{s^2}{8h}$$

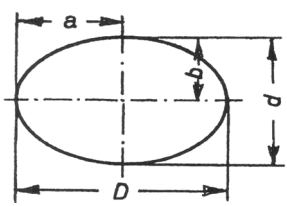
$$(40)\quad h=r(1-\cos\frac{\alpha}{2})=\frac{s}{2}\tan\frac{\alpha}{4}$$

$$(41)\quad \overset{\frown}{\alpha}=\frac{\pi}{180^\circ}$$

α = برحسب درجه

$\overset{\frown}{\alpha}$ = برحسب رادیان

بیضی



$$(42)\quad A=\frac{\pi}{4}Dd=\pi ab$$

$$(43)\quad U\approx\frac{\pi}{2}\left[3(a+b)-2\sqrt{ab}\right]$$

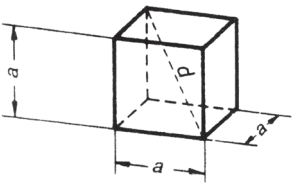
$$=\pi(a+b)\left[1+\left(\frac{1}{2}\right)^2.\lambda^2+\left(\frac{1}{2}.\frac{1}{4}\right)^2.\lambda^4+\right.$$

$$+\left(\frac{1}{2}.\frac{1}{4}.\frac{3}{6}\right)^2.\lambda^6+\left(\frac{1}{2}.\frac{1}{4}.\frac{3}{6}.\frac{5}{8}\right)^2.\lambda^8+$$

$$\left.+\left(\frac{1}{2}.\frac{1}{4}.\frac{3}{6}.\frac{5}{8}.\frac{7}{10}\right)^2.\lambda^{10}+\ldots\right]$$

در جایی که $\lambda=\frac{a-b}{a+b}$

مکعب مربع

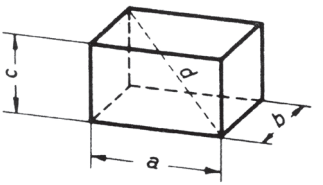


(44) $V = a^3$

(45) $A_{\circ} = 6a^2$

(46) $d = \sqrt{3}.a$

مکعب مستطیل

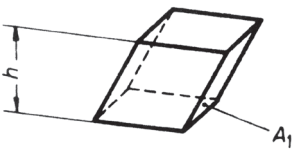


(47) $V = a\,b\,c$

(48) $A_{\circ} = 2(a\,b + a\,c + b\,c)$

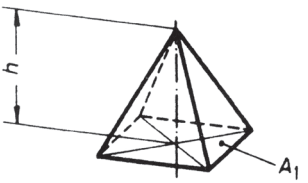
(49) $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$

متوازی‌السطوح



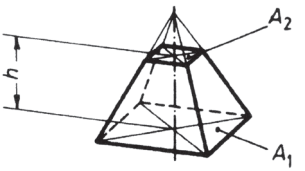
(50) $V = A_1\,h$

هرم



(51) $V = \dfrac{A_1\,h}{3}$

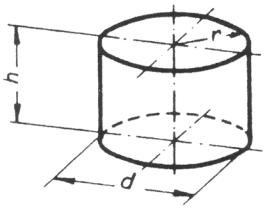
هرم ناقص



(52) $V = \dfrac{h}{3}(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1.A_2}\,)$

$\approx h\,\dfrac{A_1 + A_2}{2}$ (for $A_1 \approx A_2$)

استوانه



(53) $V = \frac{\pi}{4} d^2 h$

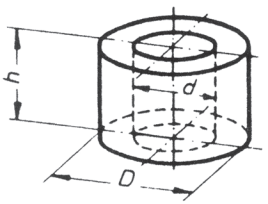
(54) $A_m = 2\pi r h$

(55) $A_o = 2\pi r(r+h)$

A_m = سطح دوران

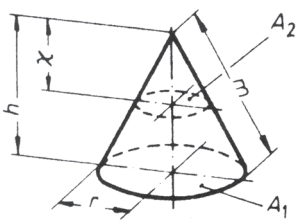
A_o = مساحت

استوانه توخالی



(56) $V = \frac{\pi}{4} h(D_2 - d^2)$

مخروط



(57) $V = \frac{\pi}{3} r^2 h$

(58) $A_m = \pi r m$

(59) $A_o = \pi r(r+m)$

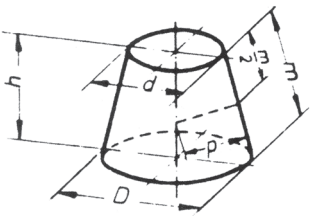
(60) $m = \sqrt{h^2 + r^2}$

(61) $A_2 : A_1 = x_2 : h^2$

A_m = سطح دوران

A_o = مساحت

مخروط ناقص

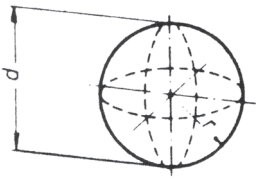


(62) $V=\frac{\pi}{12}h(D^2+Dd+d^2)$

(63) $A_m=\frac{\pi}{2}m(D+d)=2\pi pm$

(64) $m=\sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2+h^2}$

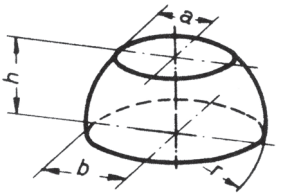
کره



(65) $V=\frac{4}{3}\pi.r^3=\frac{1}{6}\pi.d^3\approx 4.189\ r^3$

(66) $A_o=4\pi r^2=\pi d^2$

منطقه‌ای از کره

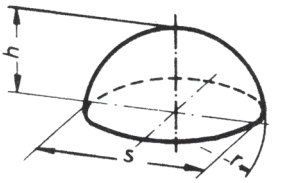


(67) $V=\frac{\pi}{6}h(3a^2+3b^2+h^2)$

(68) $A_m=2\pi rh$

(69) $A_o=\pi(2rh+a^2+b^2)$

قطعه‌ای از کره



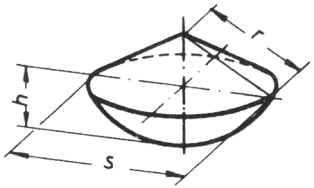
(70) $V=\frac{\pi}{6}h(\frac{3}{4}s^2+h^2)=\pi h^2(r-\frac{h}{3})$

(71) $A_m=2\pi rh=\frac{\pi}{4}(s^2+4h^2)$

قطاع کره

(72) $V=\frac{2}{3}\pi r^2 h$

(73) $A_o=\frac{\pi}{2}r(4h+s)$

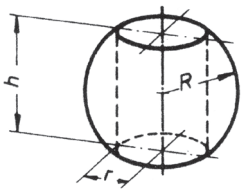


کره با سوراخ استوانه‌ای

(74) $V=\frac{\pi}{6}h^3$

(75) $A_o=4\pi\sqrt{(R+r)^3\,(R-r)}=2\pi h(R+r)$

(76) $h=2\sqrt{R^2-r^2}$

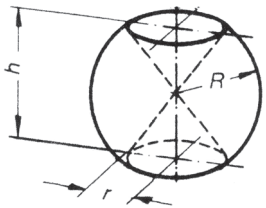


کره با سوراخ مخروطی

(77) $V=\frac{2}{3}\pi R^2 h$

(78) $A_o=2\pi R\left(h+\sqrt{R^2-\frac{h^2}{4}}\right)$

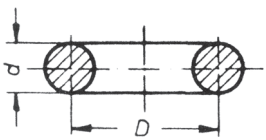
(79) $h=2\sqrt{R^2-r^2}$



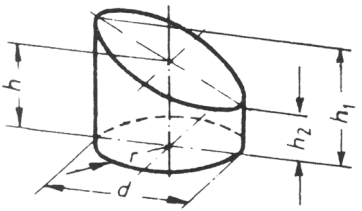
هلالی

(80) $V=\frac{\pi^2}{4}Dd^2$

(81) $A_o=\pi^2 Dd$



استوانه فارسی‌بر

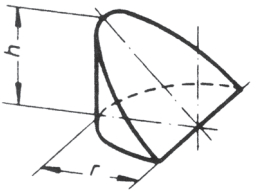


$$(82)\quad V=\frac{\pi}{4}d^2\,h$$

$$(83)\quad A_m=\pi\,d\,h$$

$$(84)\quad A_o=\pi r\Big[\,h_1+h_2+r+\sqrt{r^2+(h_1-h_2)^2/4}\,\Big]$$

پاشنه

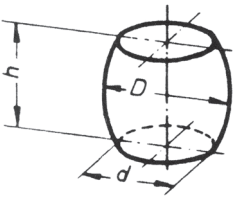


$$(85)\quad V=\frac{2}{3}r^2\,h$$

$$(86)\quad A_m=2\,r\,h$$

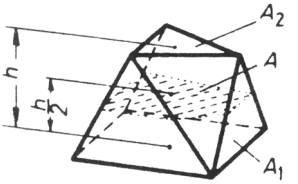
$$(87)\quad A_o=A_m+\frac{\pi}{2}r^2+\frac{\pi}{2}r\sqrt{r^2+h^2}$$

بشکه



$$(88)\quad V\approx\frac{\pi}{12}h(2D^2+d^2)$$

منشور



$$(89)\quad V=\frac{h}{6}(A_1+A_2+4A)$$

* * *

۱-۳

روابط محاسباتی

فراهم آوردن امکان دسترسی سریع به روابط محاسباتی ایجاب می‌کرد که بخش جداگانه‌ای تحت این عنوان درکتاب حاضر گنجانیده شود. البته برخی از این روابط در فصول دیگر نیز دیده می‌شـــوند، اما گردآمدن آنها در یک مجموعه مستقل، مراجعه و به کارگیری آنها را آسان‌تر می‌کند.

کتاب HVAC Equations، Data، And Rules of Thumb تالیف Arthur A.Bell از انتشارات MC.Graw - Hill مرجع کلیه روابط مربوط به تجهیزات و سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه‌مطبوع در این قسمت است.

گرمایش و سرمایش

$$H_S = 1.08 \times cfm \times \Delta T$$

$$H_S = 1.1 \times cfm \times \Delta T$$

$$H_L = 0.68 \times cfm \times \Delta W_{Gr}$$

$$H_L = 4840 \times cfm \times \Delta W_{lb}$$

$$H_T = 4.5 \times cfm \times \Delta H$$

$$H_T = H_S + H_L$$

$$H = U \times A \times \Delta T$$

$SHR = H_S / H_T = H_S / (H_S + H_L)$

مصرف بخار (lb/hr) = (Btu/hr) / H_{FG}

H_S = گرمای محسوس (Btu/hr)
H_L = گرمای نهان (Btu/hr)
H_T = گرمای کل (Btu/hr)
ΔT = اختلاف دما (°F)
ΔW_{Gr} = اختلاف نسبت رطوبت ($Gr.h_2o/lb$)
ΔW_{lb} = اختلاف نسبت رطوبت ($lb.h_2o/lb$)
ΔH = اختلاف آنتالپی (Btu/lb)
cfm = دبی هوا (فوت‌مکعب در دقیقه)
U = ضریب انتقال گرما (Btu/hr.sq.ft.°F)
A = مساحت (sq.ft)
SHR = نسبت گرمای محسوس
H_{FG} = گرمای نهان تبخیر در فشار طراحی

مقایسه روابط محاسباتی گرمایش و سرمایش با واحدهای انگلیسی و متریک

$H_S = 1.08 (Btu.min / hr.ft^3.°F) \times cfm \times \Delta T$
$H_{SM} = 72.42 (kJ.min / hr.m^3.°C) \times cmm \times \Delta T_M$
$H_L = 0.68 (Btu.min.lb / hr.ft^3.Gr.h_2O) \times cfm \times \Delta W$
$H_{LM} = 177734.8 (kJ.min.kg / hr.m^3kg.h_2O) \times cmm \times \Delta W_M$
$H_T = 4.5 (lb.min.hr.ft^3) \times cfm \times \Delta H$
$H_{TM} = 72.09 (kg.min / hr.m^3) \times cmm \times \Delta H_M$
$H_T = H_S + H_L$
$H_{tM} = H_{SM} + H_{LM}$
$H = 500 (Btu.min /hr.gal.°F) \times gpm \times \Delta T$
$H_M = 250.8 (kJ.min /hr.liter.°C) \times lpm \times \Delta T_M$
$ac / hr = [cfm \times 60 (min / hr)] / V$
$ac / hr_m = [cmm \times 60 (min / hr)] / V_M$
$°C = (°F - 32) / 1.8$

$°F = (1.8°C) + 32$

HS = گرمای محسوس (Btu/hr)

H_{SM} = گرمای محسوس (kJ/hr)

HL = گرمای نهان (Btu/hr)

H_{LM} = گرمای نهان (Btu/hr)

H_T = گرمای کل (Btu/hr)

HT_M = گرمای کل (kJ/hr)

H = گرمای کل (Btu/hr)

H_M = گرمای کل (kJ/hr)

ΔT = اختلاف دما (°F)

ΔT_M = اختلاف دما (°C)

ΔW = اختلاف نسبت رطوبت ($Gr.h_2o$ /lb)

ΔW_M = اختلاف نسبت رطوبت ($kg.h_2o$ /kg)

ΔH = اختلاف آنتالپی (Btu/lb)

ΔH_M = اختلاف آنتالپی (kJ/lb)

cfm = دبی هوا (فوت‌مکعب در دقیقه)

cmm = دبی هوا (مترمکعب در دقیقه)

gpm = دبی آب (گالن در دقیقه)

lpm = دبی آب (لیتر در دقیقه)

ac/hr = دفعات تعویض هوا در ساعت (انگلیسی)

ac/hr. m = دفعات تعویض هوا در ساعت (متریک)

V = حجم (فوت‌مکعب)

V_m = حجم (مترمکعب)

Btu/hr × 1.055 = kJ/hr

cfm × 0.02832 = cmm

gpm × 3.785 = LPM

Btu/lb × 2.326 = kJ/lb

m (متر) = 0.3048 × (فوت) ft

sq. m (مترمربع) = 0.0929 × (فوت‌مربع) sq.ft

cu m. (مترمکعب) = 0.02832 × (فوت‌مکعب) ft.cu

kg (کیلوگرم) = 0.4536 × (پوند) lb

1.0 gpm = 500 پوند بخار در ساعت

1.0 پوند بخار در ساعت = 0.002 gpm

1.0 پوند آب در ساعت = 1پوند بخار در ساعت

$$\underset{\text{(کیلوگرم بر مترمکعب)}}{\text{kg/m}^3} = \underset{\text{(چگالی)}}{16.017} \times \underset{\text{(پوند برفوت‌مکعب)}}{\text{lb/ft}^3}$$

$$\underset{\text{(مترمکعب برکیلوگرم)}}{\text{m}^3/\text{kg}} = \underset{\text{(وزن مخصوص)}}{0.0624} \times \underset{\text{(فوت‌مکعب بر پوند)}}{\text{ft}^3/\text{lb}}$$

$$\underset{\text{(پوند آب بر پوند)}}{\text{lb.h}_2\text{o/lb}} = \text{Gr h}_2\text{o/lb} \ / \ 7000$$
(گرین آب بر پوند)

بازده

COP = Btu خروجی / Btu ورودی = EER / 3.413

EER = Btu ورودی / Btu خروجی

نسبت کاهش = حداکثر نرخ اشتعال: حداقل نرخ اشتعال
(مثل 5:1، 10:1، 25:1)

$$\text{بازده گرمای کلی} = \frac{\text{Btu خروجی خالص}}{\text{Btu ورودی خالص}} \times 100\ \%$$

$$\text{بازده احتراق} = \frac{\text{(Btu ورودی)} - \text{(Btu تلفات دودکش)}}{\text{(Btu ورودی)}}$$

دامنه بازده گرمای کلی: 75% - 90%

دامنه بازده احتراق: 85% - 95%

مقادیر مقاومت و انتقال گرمایی

R = 1/C = 1/K × ضخامت

U = 1/ ∑R

R = ضریب مقاومت ($\text{hr.ft}^2.^\circ\text{F/Btu}$)

U = ضریب انتقال ($\text{Btu/hr. ft}^2.^\circ\text{F}$)

C = هدایت ($Btu/hr.\ ft^2.°F$)
K = قابلیت هدایت ($Btu.\ in\ /\ hr.\ ft^2.°F$)
$\sum R$ = مجموع مقادیر مقاومت گرمایی هر جدار یا لایه

نرخ جریان آب

$$H = 500 \times gpm \times \Delta T$$

$$gpm_{EV} = (tons \times 24) / \Delta T$$

$$gpm_{CON} = (tons \times 30) / \Delta T$$

H = گرمای کل (Btu/hr)
gpm = دبی آب (گالن در دقیقه)
ΔT = اختلاف دما (°F)
tons = بار سرمایی (تن تبرید)
gpm_{EV} = دبی آب اواپراتور (گالن در دقیقه)
gpm_{CON} = دبی آب کندانسور (گالن در دقیقه)

نرخ تعویض هوا

$$ac\ /\ hr = (cfm \times 60) / V$$

$$cfm = [(ac\ /\ hr) \times V]\ /\ 60$$

ac/hr = دفعات تعویض هوا در ساعت
cfm = دبی هوا (فوت‌مکعب در دقیقه)
V = حجم فضا (فوت‌مربع)

دمای هوای مخلوط

$$T_{MA} = [T_R \times (cfm_{RA} / cfm_{SA})] + [T_{OA} \times (cfm_{OA} / cfm_{SA})]$$

$$T_{MA} = [T_{RA} \times (cfm_{RA} / cfm_{SA})] + [T_{OA} \times (cfm_{OA} / cfm_{SA})]$$

cfm_{SA} = هوای رفت (فوت‌مکعب در دقیقه)
cfm_{RA} = هوای برگشت (فوت‌مکعب در دقیقه)
cfm_{OA} = هوای خارج (فوت‌مکعب در دقیقه)
T_{MA} = دمای هوای مخلوط (°F)

T_R = دمای داخل فضا (°F)
T_{RA} = دمای هوای برگشت (°F)
T_{OA} = دمای هوای خارج (°F)

متعادل کردن هوا

$$SA = RA + OA = RA + EA + RFA$$

اگر حداقل هوای خارج (هوای تازه برای تهویه) بیشـــتر از هوای تخلیه باشد، بنابراین:

$$OA = EA + RFA$$

اگر هوای تخلیه بیشتر از حداقل هوای تازه (خارج) باشد، بنابراین:

$$OA = EA \qquad RFA = 0$$

برای چرخه صرفه‌جو:

$$OA = SA = EA + RFA \qquad RA = 0$$

SA = هوای رفت
RA = هوای برگشت
OA = هوای خارج (تازه)
EA = هوای تخلیه
RFA = هوای تعویضی (جبرانی)

قوانین فن‌ها

$$cfm_2 / cfm_1 = rpm_2 / rpm_1$$

$$SP_2 / SP_1 = [cfm_2 / cfm_1]^2 = [rpm_2 / rpm_1]^2$$

$$BHP_2 / BHP_1 = [cfm_2 / cfm_1]^3 = [rpm_2 / rpm_1]^3 = [SP_2 / SP_1]^{1.5}$$

$$BHP = (cfm \times SP \times SP.Gr) / (6356 \times F_{EFF.})$$

$$MHP = BHP / MD_{EFF.}$$

cfm = فوت‌مکعب در دقیقه
rpm = دور در دقیقه
SP = فشار استاتیک (اینچ ستون آب in.W.g)
BHP = توان مصرفی فن (اسب)
SP.Gr = وزن مخصوص هوا (1.0)
F_{EFF} = بازده فن (65-85%)
MD_{EFF} = بازده موتور (محرک) (80-95%)
اندازه فن = ثابت
چگالی هوا = ثابت

کانال‌ها

$$TP = SP + VP$$

$$VP = [\ V / 4005\ ]^2 = (V)^2 / (4005)^2$$

$$V = Q / A = (Q \times 144) / (W \times H)$$

$$D_{EQ} = [1.3\ (A_1 \times B)]^{0.625} / (A_1 + B)^{0.25}$$

TP = فشار کل
SP = فشار استاتیک، افت‌های ناشی از اصطکاک
VP = فشار سرعتی، افت‌های دینامیک
V = سرعت (فوت دردقیقه)
Q = دبی هوا در کانال (فوت‌مکعب در دقیقه cfm)
A = سطح کانال (فوت‌مربع sq.ft)
W = پهنای کانال (اینچ in)
H = ارتفاع کانال (اینچ in)
D_{EQ} = مقطع معادل کانال مدور برای چهارگوش (اینچ in)
A_1 = اندازه یک ضلع کانال چهارگوش (اینچ in)
B =اندازه ضلع دیگر (قابل تغییر) کانال چهارگوش (اینچ in)

سایکرومتریک

$$W = 0.622 \times (\ P_W / (P - P_W)\ )$$

$$RH = (\ W_{ac} / W_{SA}\ ) \times 100\ \%$$

$$RH = (P_W / P_{SA}) \times 100\ \%$$

$$H_S = M \times C_P \times \Delta T$$

$$H_L = L_V \times M \times \Delta W$$

$$H_T = M \times \Delta H$$

$$w = \frac{(2501 - 2.381\ T_{WB}) (W_{SA.\ WB}) - (T_{OB} - T_{WB})}{(2501 + 1.805\ T_{DB} - 4.186\ T_{WB})}$$

$$W = \frac{(1093 - 0.556\ T_{WB}) (W_{SA.WB}) - (0.240) (T_{DB} - T_{WB})}{(1093 + 0.444\ T_{DB} - T_{WB})}$$

W = رطوبت مخصوص ($lb.h_2o$ / lb یا $Gr.h_2o$ / lb)

W_{ac} = رطوبت مخصوص واقعی ($lb.h_2o$ / lb یا $Gr.h_2o$ / lb)

W_{SA} = رطوبت مخصوص اشباع در دمای خشک

$W_{SA.WB}$ = رطوبت مخصوص اشباع در دمای مرطوب

P_W = فشار جزیی بخار آب (lb./ ft^2)

P = فشار مطلق کل مخلوط بخار آب وهوا (lb./ ft^2)

P_{SA} = فشار جزیی اشباع بخار آب در دمای خشک (lb./ ft^2)

RH = رطوبت نسبی (%)

H_S = گرمای محسوس (Btu/hr.)

H_L = گرمای نهان (Btu/hr.)

H_T = گرمای کل (Btu/hr.)

M = دبی وزنی (lb / hr یا $lb.h_2o$ / hr)

C_P = گرمای ویژه (هوا: 0.24 Btu /lb - آب: 1.0 Btu / $lb.h_2o$)

T_{DB} = دمای خشک (°F)

T_{WB} = دمای مرطوب (°F)

ΔT = اختلاف دما (°F)

ΔW = اختلاف رطوبت مخصوص ($Gr.h_2o$/lb یا $lb.h_2o$ / lb)

ΔH = اختلاف آنتالپی (Btu / $lb.h_2o$)

L_V = گرمای نهان تبخیر (Btu / $lb.h_2o$)

رطوبت‌زنی

$$Gr_{RE} = (W_{Gr} / SPV)_{RA} - (W_{Gr} / SPV)_{SA}$$

$$PO_{RE} = (W_{lb} / SPV)_{RA} - (W_{lb} / SPV)_{SA}$$

$$\text{مصرف بخار (lb/hr)} = \frac{cfm \times GR_{RE} \times 60}{7000} = cfm \times PO_{RE} \times 60$$

Gr_{RE} = وزن رطوبت مورد نیاز به گرین ($Gr.h_2o / ft^3$)
PO_{RE} = وزن رطوبت مورد نیاز به پوند ($lb.h_2o / ft^3$)
cfm = دبی هوا (فوت دردقیقه)
SPV = حجم مخصوص هوا (ft^3 / lb)
W_{Gr} = رطوبت مخصوص ($Gr.h_2o / lb$)
W_{lb} = رطوبت مخصوص ($lb.h_2o / lb$)

گرمای محسوس ناشی از عملکرد رطوبت‌زن

$$H_S = (0.244 \times Q \times \Delta T) + (L \times 380)$$

H_S = گرمای محسوس (Btu/hr.)
Q = دبی بخار (lb/hr)
ΔT = اختلاف دمای بخار وهوای رفت (°F)
L = طول لوله چند راهه (خروجی) رطوبت‌زن (ft)

تقطیر رطوبت روی شیشه

$$T_G = T_R - [(R_A / R_G) \times (T_R - T_{OA})]$$

$$T_G = T_R - [(U_G / U_A) \times (T_R - T_{OA})]$$

اگر دمای شیشـــه کمتر از دمای نقطه شـــبنم اتاق باشد، پدیده تقطیر روی می‌دهد.

T = دما (°F)
T_G = دمای شیشه (°F)
T_R =دمای اتاق (°F)
R_A = مقاومت لایه نازک هوا از سمت داخل ($hr.ft^2.°F / Btu$)

R_G = مقاومت انتقال شیشه ($hr.ft^2.°F / Btu$)
T_{OA} = دمای هوای خارج (°F)
U_G = ضریب انتقال حرارت شیشه ($Btu/hr.ft^2.°F$)
U_A = ضریب انتقال حرارت لایه نازک هوا از سمت داخل ($Btu/hr.ft^2.°F$)

تقطیر رطوبت در فرآیندهای سرمایشی

$$gpm_{CO} = (cfm \times \Delta W_{lb}.) / (SPV \times 8.33)$$

$$gpm_{CO} = (cfm \times \Delta W_{Gr}) / (SPV \times 8.33 \times 7000)$$

gpm_{CO} =دبی آب تقطیر شده (گالن در دقیقه)
cfm =دبی هوا (فوت‌مکعب در دقیقه)
SPV =حجم مخصوص هوا ($cu.ft / lb$)
ΔW_{lb}. =رطوبت مخصوص برحسب ($lb.h_2o / lb$)
ΔW_{Gr}. =رطوبت مخصوص برحسب ($Gr.h_2o / lb$)

برج‌های خنک‌کن و مبدل‌های حرارتی

اپروچ بزرگ (دامنه نزدیکی) = LWT - AWB

اپروچ مبدل (دامنه نزدیکی) = $EWT_{HS} - LWT_{CS}$

دامنه = EWT - LWT

EWT = دمای آب ورودی (°F)

LWT = دمای آب خروجی (°F)
AWB =دمای مرطوب محیط (دمای مرطوب طراحی °F)
HS =سمت گرم
CS =سمت سرد

چرخه آب در برج خنک‌کن

$$C = (E + D + B) / (D + B)$$

$$B = [E - ((C - 1) \times D)] / (C - 1)$$

$$E = gpm_{CO} \times R \times 0.0008$$

$D = gpm_{CO} \times 0.0002$

$R = EWT - LWT$

B =خروج آب از برج به منظور کاهش آب پر املاح در چرخه سرمایش.
(به ازای خروج آب پر املاح باید آب تازه به برج رسانده شود.)
C =چرخه تغلیظ (افزایش درصد املاح در آب برج به دلیل تبخیر)
D =خروج (قطرات) آب در اثر وزش بادزن (gpm)
E = آب تبخیر شده (gpm)
EWT = دمای آب ورودی (°F)
LWT = دمای آب خروجی (°F)
R = دامنه (حد - °F)

منابع انبساط

منبع انبساط بسته $= V_T = V_S \times \frac{[\,(V_2 / V_1) - 1\,] - 3\,\alpha\Delta T}{[\,(P_A / P_1) - (P_A / P_2)\,]}$

منبع انبساط باز $= V_T = 2 \times \{\,(V_S \times [\,(V_2 / V_1) - 1\,]) - 3\,\alpha\Delta T\,\}$

منبع انبساط دیافراگمی $= V_T = V_S \times \frac{[\,(V_2 / V_1) - 1\,] - 3\,\alpha\Delta T}{1 - (P_1 / P_2)}$

V_T = حجم منبع انبساط (گالن)
V_S = حجم آب در شبکه لوله‌کشی (گالن)
$\Delta T = T_2 - T_1$ (°F)
T_1 = کمترین دمای آب سیستم گرمایش (°F):
- آبگرم = 45 - 50°F (دمای آب پرکننده سیستم)
- آب‌سرد = دمای آب رفت (°F)
- دمای دوگانه سرد وگرم = دمای آب‌سرد رفت

T_2 = بیشترین دمای آب سیستم (°F):
- آبگرم = دمای آب رفت (°F)
- آب‌سرد = 95°F، دمای محیط (بر اساس جداول آب و هوایی)
- دمای دوگانه سرد و گرم = دمای آب رفت سیستم گرمایش (°F)

P_A = فشار جو (14.7 psia)

P_1 = فشار پرکردن سیستم / حداقل فشار سیستم (psia)
P_2 = فشار کار سیستم / حداکثر فشار کار (psia)
V_1 = حجم مخصوص آب در دمای T_1 (ft^3 / $lb.h_2o$)
V_2 = حجم مخصوص آب در دمای T_2 (ft^3/ $lb.h_2o$)
$\propto$ = ضریب انبساط طولی:
برای فولاد = 60.5×10^{-6}
برای مس = 9.5×10^{-6}

تخمین حجم سیستم

12 gal. / ton

35 gal. / BHP

فشار پرکردن سیستم / تخمین حداقل فشار سیستم:

ارتفاع سیستم به علاوه 5 - 10 psi

فشار کار سیستم / تخمین حداکثر فشار کار سیستم:

150 lb. سیستم 45 - 125 psi

250 lb. سیستم 125 - 225 psi

تخمین حجم آب داخل کنوکتور در دمای 200°F:

0.64 گالن به ازای هر 10000 Btu/h

تخمین حجم آب داخل یونیت هیتر در دمای 180°F:

0.2 گالن به ازای هر 10000 Btu/h

تخمین حجم آب داخل فن‌کوئل در دمای 180 °F:

0.2 گالن به ازای هر 10000 Btu/h

تخمین حجم آب داخل مبدل حرارتی پوسته و لوله

قطر پوسته (اینچ)	گالن/ فوت طول پوسته	
	حجم آب در پوسته	حجم آب در لوله
4	0.4	0.2
6	1.0	0.5
8	1.8	0.9
10	2.4	1.2
12	4.0	2.2
14	5.0	2.6
16	6.5	3.5
18	8.0	4.5
20	10.0	5.5
24	15.0	7.5

تخمین حجم آب داخل لوله‌ها

قطر نامی (اینچ)	گالن به ازای هر فوت طول لوله	
	لوله فولادی	لوله مسی
$^1/_2$	0.016	0.12
$^3/_4$	0.028	0.25
1	0.045	0.043
$1\ ^1/_4$	0.078	0.063
$1\ ^1/_2$	0.105	0.092
2	0.172	0.161
$2\ ^1/_2$	0.250	0.250
3	0.385	0.357
4	0.667	0.625
5	1.000	1.000
6	1.500	1.400
8	2.630	2.430
10	4.200	3.780
12	5.900	5.400

تعیین ظرفیت منبع آبگرم مصرفی

$$H_{OUT} = (\text{gph} \times 8.34 \text{ lb/ gal.}) \times \Delta T \times 1.0$$

$$H_{IN} = (\text{gph} \times 8.34 \text{ lb/ gal.} \times \Delta T) \ / \ \text{EFF.}$$

$$\text{gph} = \frac{H_{IN} \times \text{EFF.}}{\Delta T \times 8.34 \text{ lb / gal.}} = \frac{\text{kW} \times 3413 \text{ Btu / kW}}{\Delta T \times 8.34 \text{ lb/ gal}}$$

$$\Delta T = \frac{H_{IN} \times EFF.}{gph \times 8.34\ lb/\ gal.} = \frac{kW \times 3413\ Btu\ /\ kW}{gph \times 8.34\ lb/\ gal.}$$

$$kW = \frac{gph \times 8.34\ lb/\ gal. \times \Delta T \times 1.0}{3413\ Btu\ /\ kW}$$

درصد آب سرد = $(T_H - T_{MIX}) / (T_H - T_C)$

درصد آبگرم = $(T_{MIX} - T_C) / (T_H - T_C)$

H_{OUT} = ظرفیت گرمایی، خروجی
H_{IN} = ظرفیت گرمایی، ورودی
gph = نرخ مصرف (گالن در ساعت)
ΔT = اختلاف دمای آب ورودی و خروجی (°F)
kW = کیلووات
T_C = دمای آب‌سرد ورودی (°F)
T_H = دمای آبگرم خروجی (°F)
T_{MIX} = دمای آب مخلوط (°F)
EFF. = بازده (%)

تعیین ظرفیت پمپ برگشت آبگرم مصرفی

1- تعیین طول تقریبی لوله رفت آبگرم و لوله برگشت آبگرم مصرفی
2- تعیین افت گرمای آب در لوله:

برای لوله‌های عایق شده (HL) = $L \times 30\ Btu\ /\ ft.$

برای لوله‌های عایق نشده (HL) = $L \times 60\ Btu\ /\ ft.$

3- تعیین ظرفیت دبی پمپ:

$gpm = HL\ /\ 10000$

L = طول لوله رفت و برگشت (ft)
HL = افت گرمای آب در لوله برحسب Btu به ازای هر فوت طول لوله

قوانین پمپ‌ها

$gpm_2 / gpm_1 = rpm_2 / rpm_1$

$HD_2 / HD_1 = [\ gpm_2 / gpm_1\ ]^2 = [\ rpm_2 / rpm_1\ ]^2$

$BHP_2 / BHP_1 = [gpm_2 / gpm_1\ ]^3 = [rpm_2 / rpm_1\ ]$

$= [\ HD_2 / HD_1]^{1.5}$

$BHP = (gpm \times HD \times SP.Gr) / (3960 \times PU_{EFF}).$

$MHP = BHP / MD_{EFF.}$

$VH = V^2 / 2\ g$

$HD = (P \times 2.31) / SP.Gr.$

gpm = گالن در دقیقه
rpm = دور در دقیقه
HD = ارتفاع ستون آب (فوت آب $ft.H_2O$)
BHP = توان مصرفی پمپ (اسب)
SP.Gr. = وزن مخصوص مایع نسبت به آب
SP.Gr.w = وزن مخصوص آب (1.0)
PU_{EFF} = بازده پمپ (% 80- 60)
MD_{EFF} = بازده موتور (محرک) (% 95 - 85)
P = فشار (پوند بر اینچ مربع psi)
VH = ارتفاع سرعتی (فوت ft)
V = سرعت (فوت بر ثانیه .ft /sec)
g = شتاب جاذبه ($32.16\ ft / sec^2$)
اندازه پمپ = ثابت
چگالی آب = ثابت

فشار مکش مثبت خالص پمپ

$NPSH_{AV} . > NPSH_{RE} .$

$NPSH_{AV} = H_A + H_S - H_F - H_{VP}$

$NPSH_{AV}$ = فشار مکش مثبت خالص موجود (فوت)
$NPSH_{RE}$ = فشار مکش مثبت خالص مورد نیاز (فوت)
H_A = فشار در سطح مایع (فوت - 34 فوت برای آب در فشار جو)
H_S = ارتفاع سطح مایع بالاتر یا پایین‌تر از پمپ (فوت)
H_F = افت اصطکاک بین پمپ و منبع (فوت)
H_{VP} = فشار مطلق بخار آب در دمای مایع

لوله فولادی

$A = 0.785 \times ID^2$

$W_P = 10.6802 \times T \times (OD - T)$

$W_W = 0.3405 \times ID^2$

$OSA = 0.2618 \times OD$

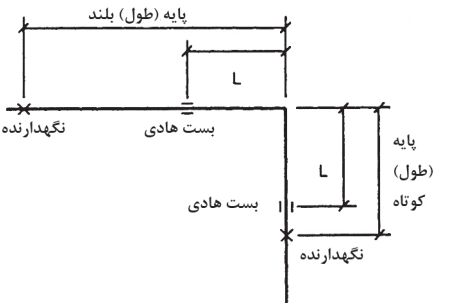
$ISA = 0.2618 \times ID$

$A_M = 0.785 \times (OD^2 - ID^2)$

A = سطح مقطع (اینچ مربع)
W_P = وزن لوله به ازای هر فوت (پوند)
W_W = وزن آب داخل لوله به ازای هر فوت (پوند)
T = ضخامت جدار لوله (اینچ)
ID = قطر داخلی (اینچ)
OD = قطر خارجی (اینچ)
ISA = سطح داخلی لوله به ازای هر فوت (فوت‌مربع)
A_M = سطح فلز (اینچ مربع)

انبساط لوله‌ها

A - خم‌های L شکل



$$L = 6.225 \times \sqrt{\Delta D}$$

$$F = 500\ lb / P.D \times \text{قطر لوله}$$

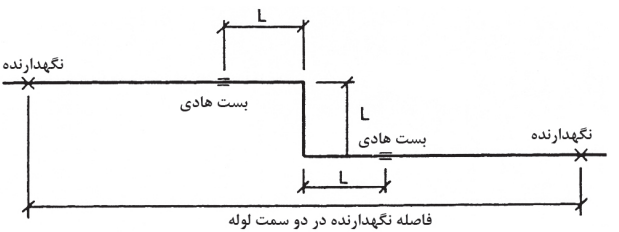
L = طول پایه کوتاه که به هنگام انبساط و انقباض گرمایی کوتاه و بلند می‌شود (فوت)

Δ = انبساط یا انقباض گرمایی طول بلند (اینچ)

D = قطر خارجی لوله (اینچ)

F = نیروی وارده به بست‌ها و نگهدارنده‌ها در اثر انقباض و انبساط (پوند)

B - خم‌های Z شکل



$$L = 4 \times \sqrt{\Delta D}$$

$F = 200 - 500\ lb / P.D \times$ قطر لوله

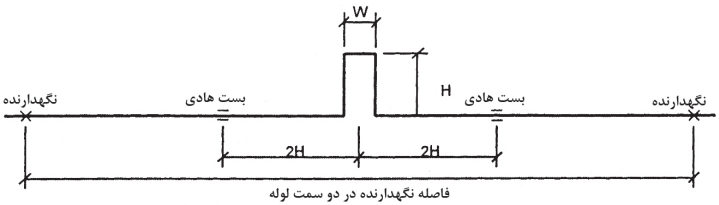
L = طول پایه کوتاه که به هنگام انبساط و انقباض گرمایی کوتاه و بلند می‌شود. (فوت)

Δ = فاصله دو نگهدارنده در دو سمت لوله (اینچ)

D = قطر خارجی لوله (اینچ)

F = نیروی وارده به بست‌ها و نگهدارنده‌ها در اثر انقباض و انبساط (پوند)

C - خم‌های U شکل



$L = 6.225 \times \sqrt{\Delta D}$

$F = 200\ lb. / P.D \times$ قطر لوله

$L = 2H + W$

$H = 2W$

$L = 5W$

L = طول پایه کوتاه که به هنگام انبساط و انقباض گرمایی کوتاه و بلند می‌شود. (فوت)

Δ = فاصله دو نگهدارنده در دو سمت لوله (اینچ)

D = قطر خارجی لوله (اینچ)

F = نیروی وارده به بست‌ها و نگهدارنده‌ها در اثر انقباض و انبساط (پوند)

بخار و چگالیده

روابط عمومی:

(lb/hr) مصرف بخار = (Btu/hr) / 960

(lb/hr) مقدار چگالیده = EDR / 4

EDR = (Btu/hr.) / 240

(lb/hr) مقدار چگالیده = (gpm × 500 × SP.Gr. × CP × ΔT) / L

(lb/hr) مقدار چگالیده = (cfm × 60 × D × CP × ΔT) / L

بار تقریبی چگالیده:

(lb/hr) مقدار چگالیده = (gpm (آب) × ΔT) / 2

(lb/hr) مقدار چگالیده = (gpm (سوخت نفتی) × ΔT) / 4

(lb/hr) مقدار چگالیده = (cfm (هوا) × ΔT) / 900

gpm = دبی مایع (گالن در دقیقه)

cfm = دبی گاز یا هوا (فوت‌مکعب در دقیقه)

SP.Gr. = وزن مخصوص

D = چگالی (LBS / cu.ft)

CP = گرمای ویژه گاز یا مایع (Btu / lb)

برای هوا: 0.24 Btu / lb

برای آب: 1.00 Btu / lb

L = گرمای نهان بخار (Btu / lb در فشار طراحی)

ΔT = اختلاف دمای نهایی و اولیه (°F)

EDR = تشعشع مستقیم معادل

اندازه‌گذاری لوله‌های بخار و چگالیده

A- اندازه‌گذاری لوله‌های بخار

$$\Delta P = (0.01306) \times W^2 \times (1 + (3.6 / ID)) / (3600 \times D \times ID^5)$$

$$W = 60 \times \sqrt{\frac{\Delta P \times D \times D^5}{0.01306 \times \left(1 + \frac{3.6}{D}\right)}}$$

$$W = 0.41667 \times V \times A_{IN} \times D = 60 \times V \times A_{FE} \times D$$

$$V = (2.4 \times W) / (A_{IN} \times D) = W / (60 \times A_{FE} \times D)$$

ΔP = افت فشار به ازای هر 100 فوت طول لوله (psig/100 ft)
W = دبی بخار (LBS/hr)
ID = قطر واقعی داخل لوله (.in)
D = میانگین چگالی بخار در فشار طراحی (lb/ft^3)
V = سرعت بخار در لوله (ft/min)
A_{IN} = سطح مقطع واقعی لوله (in^2)
A_{FE} = سطح مقطع واقعی لوله (ft^2)

B- اندازه‌گذاری لوله‌های چگالیده

$$FS = [(H_{SS} - H_{SC}) / H_L] \times 100$$

$$W_{CR} = (FS / 100) \times W$$

FS = بخار ریزشی (درصد)
H_{SS} = گرمای محسوس بخار رفت (Btu/lb)
H_{SC} = گرمای محسوس چگالیده در خط برگشت (Btu/lb)
H_L = گرمای نهان چگالیده در خط برگشت (Btu/lb)
W = دبی بخار (.lb /hr)
W_{CR} = دبی چگالیده براســاس درصدی از بخار ریزشی تولید شده به هنگام تقطیر (lb /hr) با قرار دادن این مقدار در رابطه مربوط به اندازه‌گذاری لوله بخار (A) اندازه لوله چگالیده مشخص می‌شود.

اندازه شیر اطمینان

A- شیر اطمینان فنری برای مایع:

$$A = (gpm \times \sqrt{G}) / (28.14 \times K_B \times K_V \times \sqrt{\Delta P})$$

B- شیر اطمینان پیلوتی برای مایع:

$$A = (gpm \times \sqrt{G}) / (36.81 \times K_V \times \sqrt{\Delta P})$$

C- شیر اطمینان برای بخار:

$$A = W / (51.5 \times K \times P \times K_{SH} \times K_N \times K_B)$$

D- شیر اطمینان برای گازها (براساس پوند بر ساعت)

$$A = (W \times \sqrt{TZ}) / (C \times K \times P \times K_B \times \sqrt{M})$$

E- شیر اطمینان برای گازها (براساس فوت‌مکعب در دقیقه)

$$A = (scfm \times \sqrt{TGZ}) / (1.175 \times C \times K \times P \times K_B)$$

A = حداقل سطح مقطع شیر کنترل برای خروج موثر سیال (اینچ مربع)

gpm = دبی مورد نیاز خروجی برای ایمن شدن سیستم (گالن در دقیقه)

W = دبی مورد نیاز خروجی برای ایمن شدن سیستم (پوند در ساعت)

scfm = دبی مورد نیاز خروجی برای ایمن شدن سیستم (فوت‌مکعب در دقیقه استاندارد)

G = وزن مخصوص مایع، گاز یا بخار آب:

برای آب: در اغلب تاسیسات تهویه‌مطبوع = 1.0

برای هوا: 1.0

C = ضریب مرتبط با نسبت گرمای ویژه که در موارد نامشخص برابر 315 در نظر گرفته می‌شود.

K = ضریب موثر تخلیه 0.975

K_B = ضریب تصحیح ظرفیت به هنگام پس فشار. برای سیستم‌هایی که در فشار جو تخلیه می‌کنند برابر 1.0 درنظر گرفته می‌شود.

K_V = ضریب تصحیح جریان برای ویسکوزیته. برای اغلب تجهیزات تهویه‌مطبوع که سیال آنها آب است. این مقدار بین 1.0 - 0.9 در نظر گرفته می‌شود.

K_N = ضریب تصحیح ظرفیت برای بخار خشک اشباع در فشار 1500 psia - 3200 psia. این مقدار در اغلب تجهیزات تهویه‌مطبوع برابر 1.0 اختیار می‌شود.

K_{SH} = ضریب تصحیح ظرفیت برای احتمال فوق داغ شدن. این مقدار برای بخار اشباع برابر 1.0 در نظر گرفته می‌شود.

Z = ضریب تراکم‌پذیری. در موارد نامشخص برابر 1.0 فرض می‌شود.

P = فشار تخلیه (psia)

$$P = \underset{\text{(psig)}}{\text{فشار تنظیم شده}} + \underset{(10\%\ \text{psig})}{\text{اضافه فشار}} + \underset{(14.7\ \text{psig})}{\text{فشار جو}}$$

ΔP = اختلاف فشار (psig)

$$\Delta P = \underset{(psig)}{\text{فشار تنظیم شده}} - \underset{(10\%\ psig)}{\text{اضافه فشار}} - \underset{(psig)}{\text{پس فشار}}$$

T = دمای مطلق (°R = °F + 460)

M = وزن مولکولی (مول) گاز یا بخار آب

- در صورتی که از چند شـــیر اطمینان استفاده شود. باید یک شیر زیر حداکثر فشار کار مجاز سیستم و سایر شیرها 5 درصد بیشتر از حداکثر فشار کار مجاز سیستم تنظیم شوند.
- برای بخار فوق داغ ضرایب تصحیح زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

فوق داغ تا 400°F	0.97 (دامنه 0.998 - 0.979)
فوق داغ تا 450°F	0.95 (دامنه 0.977 - 0.957)
فوق داغ تا 500°F	0.93 (دامنه 0.968 - 0.930)
فوق داغ تا 550°F	0.90 (دامنه 0.974 - 0.905)
فوق داغ تا 600°F	0.88 (دامنه 0.993 - 0.882)
فوق داغ تا 650°F	0.86 (دامنه 0.988 - 0.861)
فوق داغ تا 700°F	0.84 (دامنه 0.963 - 0.841)
فوق داغ تا 750°F	0.82 (دامنه 0.903 - 0.823)
فوق داغ تا 800°F	0.80 (دامنه 0.863 - 0.805)
فوق داغ تا 850°F	0.78 (دامنه 0.836 - 0.786)
فوق داغ تا 900°F	0.75 (دامنه 0.813 - 0.753)
فوق داغ تا 950°F	0.72 (دامنه 0.792 - 0.726)
فوق داغ تا 1000°F	0.70 (دامنه 0.774 - 0.704)

- در صورت استفاده از چند شیر اطمینان، سطح مقطع کل مورد نیاز بر اســـاس 16 درصد اضافه فشار یا 4 psi بیشـــتر از بزرگترین شیر محاسبه می‌شود.

جدول مشخصات برخی گازها برای تعیین اندازه شیر اطمینان

گاز	وزن مولکولی	نسبت گرمای ویژه	ضریب C	وزن مخصوص
استیلن	26.04	1.25	342	0.899
هوا	28.97	1.40	356	1.000
آمونیاک	17.03	1.30	347	0.588
آرگن	39.94	1.66	377	1.379
بنزن	78.11	1.12	329	2.696
بوتان	58.12	1.18	335	2.006
ایزوبوتان	58.12	1.19	336	2.006
دی‌اکسیدکربن	44.01	1.29	346	1.519
دی‌سولفیدکربن	76.13	1.21	338	2.628
منواکسیدکربن	28.01	1.40	356	0.967
کلر	70.90	1.35	352	2.447
سیکلوهگزان	84.16	1.08	325	2.905
اتان	30.07	1.19	336	1.038
الکل‌اتیل	46.07	1.13	330	1.590
اتیل‌کلراید	64.52	1.19	336	2.227
اتیلن	28.03	1.24	341	0.968
هلیم	4.02	1.66	377	0.139
هپتان	100.20	1.05	321	3.459
هگزان	86.17	1.06	322	2.974
هیدروژن	2.02	1.41	357	0.070
متان	16.04	1.31	348	0.554
الکل‌متیلیک	32.04	1.20	337	1.106
گاز طبیعی	19.00	1.27	344	0.656

← ادامه

جدول مشخصات برخی گازها برای تعیین اندازه شیر اطمینان (ادامه)

گاز	وزن مولکولی	نسبت گرمای ویژه	ضریب C	وزن مخصوص
اکسیدنیتریک	30.00	1.40	356	1.036
نیتروژن	28.02	1.40	356	0.967
اکسید نیتروژن	44.02	1.31	348	1.520
اکتان	114.22	1.05	321	3.943
اکسیژن	32.00	1.40	356	1.105
پنتان	72.15	1.08	325	2.491
ایزوپنتان	72.15	1.08	325	2.491
پروپان	44.09	1.13	330	1.522
R -11	137.37	1.14	331	4.742
R -12	120.92	1.14	331	4.174
R -22	86.48	1.18	335	2.985
R -114	170.93	1.09	326	5.900
R -123	152.93	1.10	327	5.279
R -134A	102.03	1.20	337	3.522
دی‌اکسیدگوگرد	64.04	1.27	344	2.211
تولوئن	92.13	1.09	326	3.180

SOURCE: HVAC EQUATIONS, DATA, AND RULES OF THUMB-ARTHUR A.BELL

تعیین حداکثر طول لوله تخلیه شیر اطمینان

$$L = \frac{9 \times P_1^{\,2} \times D^{\,5}}{C^{\,2}} = \frac{9 \times P_2^{\,2} \times D^{\,5}}{16 \times C^{\,2}}$$

$$P_1 = 0.25 \times [\ (P.SET. \times 1.1) + 14.7\ ]$$

$$P_2 = [\ (P.SET. \times 1.1) + 14.7\ ]$$

L = حداکثر طول خط تخلیه شیر اطمینان (فوت)
D = قطر داخلی لوله (اینچ)
C = حداقل خروجی هوا (پوند در دقیقه)

P.SET = فشار تنظیم شده

برق

kVA = kW × kVAR

kVA = توان ظاهری (کیلو ولت آمپر)

kW = توان واقعی (کیلو وات)
kVAR = توان غیر فعال (کیلو ولت آمپر راکتیو)
V = اختلاف پتانسیل (ولت)
A = جریان (آمپر)
PF = ضریب توان (0.95 - 0.75)
BHP = توان مصرفی (اسب)
MHP = توان موتور (اسب)
EFF = بازده
M / D = موتور / محرک

A- توان درحالت تک‌فاز

kW = (V × A × PF) / 1000

kVA = (V × A) / 1000

BHP = (V × A × PF × بازده دستگاه) / 746

MHP = bhp / بازده موتور یا محرک

B - توان درحالت سه‌فاز

kW = ($\sqrt{3}$× V × A × PF) / 1000

kVA = ($\sqrt{3}$× V × A) / 1000

BHP = $\sqrt{3}$× V × A × PF × (بازده دستگاه) / 746

MHP = BHP / بازده موتور یا محرک

موتور به عنوان محرک

$$D_{FP} \times rpm_{FP} = D_{MP} \times rpm_{MP}$$

$$BL = [\ (\ D_{FP} \times D_{MP}\ ) \times 1.5708\ ] + (2 \times L)$$

D_{FP} = قطر پولی فن
D_{MP} = قطر پولی موتور
rpm_{FP} = دور پولی فن
rpm_{MP} = دور پولی موتور
BL = طول تسمه
L = فاصله مرکز به مرکز پولی‌های موتور و فن

* * *

۱-۴

جداول پایه

در این قسمت برخی جداول اصلی مربوط به هوا، بخار، آب، صدا و سایر اطلاعاتی که اغلب در مباحث مختلف گرمایش و تهویه‌مطبوع مورد استفاده قرار می‌گیرند، جای گرفته‌اند.

ترکیب هوا

هـــوا مخلوطی اســـت از 78% نیتـــروژن، 21% اکســـیژن، 1% بخار آب، دی‌اکسیدکربن و گازهای بی‌اثر که نسبت حجمی و وزنی آنها در جدول زیر مشخص شده است:

گاز	درصد حجمی در هوای خشک (%)	درصد وزنی در هوای خشک (%)	جرم مولکولی kg/kmol	نماد شیمیایی	نقطه جوش (°C)
اکسیژن	20.95	23.20	32.00	O_2	-196
نیتروژن	78.09	75.47	28.02	N_2	-183
دی‌اکسیدکربن	0.03	0.046	44.01	CO_2	-78.5
هیدروژن	0.00005	~0	2.02	H_2	-252.87
آرگن	0.933	1.28	39.94	AR	-186
نئون	0.0018	0.0012	20.18	NE	-246
هلیم	0.0005	0.00007	4.00	HE	-269
کریپتون	0.0001	0.0003	83.8	KR	-153.4
گزنون	9×10^{-6}	0.00004	131.29	XE	-108.1

فشار هوا و ارتفاع

ارتفاع (m)	فشار بارومتر (mmHg)	ارتفاع (m)	فشار بارومتر (mmHg)
0	749	900	668
75	743	1000	658
150	735	1200	643
250	726	1350	632
300	723	1500	620
450	709	1800	598
600	695	2100	577
750	681	2400	555

فشار مطلق در سطح دریا تقریبا 760 mmHg (101.325 kPa , kN/m^2) با تغییرات ±5 درصد است.

دما و فشار هوا به نسبت ارتفاع (SI)

ارتفاع (m)	دما (°C)	فشار (kPa)	ارتفاع (m)	دما (°C)	فشار (kPa)
-500	18.2	107.478	6000	-24.0	47.181
0	15.0	101.325	7000	-30.5	41.061
500	11.8	95.461	8000	-37.0	35.600
1000	8.5	89.875	9000	-43.5	30.742
1500	5.2	84.556	10000	-50.0	26.436
2000	2.0	79.495	12000	-63.0	19.284
2500	-1.2	74.682	14000	-76.0	13.786
3000	-4.5	70.108	16000	-89.0	9.632
4000	-11.0	61.640	18000	-102	6.556
5000	-17.5	54.020	20000	-115	4.328

SOURCE: ASHRAE POCKET GUIDE (DATA ADAPTED FROM NASA 1976).

دما و فشار استاندارد و طبیعی

دما و فشار استاندارد (STP)

دما و فشار طبیعی (NTP)

شرایط	دما (°C)	فشار (kN / m^2)
STP	0	101.325
NTP	20	101.325

شرایط	دما (°F)	فشار (inHg)
STP	32	29.92
NTP	68	29.92

اثر سرد باد

سرعت هوا		اثر سرد	
(m/s)	(ft/min)	(°C)	(°F)
0.1	20	0	0
0.25	50	0.5	2
1.5	300	4	7
3	600	6	10.5
5	1000	7	13
8	1575	8	15
10	2000	9	16

وزن بخار آب در هوا

وزن بخار آب در هوا (گرین بخارآب در یک پوند هوای خشک)								
38°C 100°F	32°C 90°F	27°C 80°F	22°C 70°F	18°C 60°F	10°C 50°F	4°C 40°F	-1°C 30°F	رطوبت نسبی(%)
29	21	16	11	8	6	4	3	10
58	42	30	21	16	10	7	5	20
87	65	46	34	22	14	10	7	30
116	85	62	44	30	20	14	9	40
147	108	78	55	39	26	16	12	50
176	128	92	66	48	32	18	14	60
208	158	108	78	54	38	20	17	70
-	173	125	88	62	42	22	19	80
-	195	140	100	70	48	24	21	90

فشار اشباع بخار آب در هوای مرطوب

دما (°C)	فشار اشباع بخار آب (Pa)	دما (°C)	فشار اشباع بخارآب (mm Hg)
0	609.9	0	4.6
5	870	20	17.5
10	1225	40	55.3
15	1701	60	149
20	2333	80	355
25	3130	100	760
30	4234	-	-

خواص مخلوط هوای اشباع با بخار آب بر اساس فشار بارومتریک (29.92 in)

هوای اشـــباع، هوای مخلوطی است که تحت دما و فشاری خاص، تمام رطوبتی را که ممکن بوده است جذب کند، جذب نموده و دیگر قادر به جذب بخار آب بیشتری نیست، مگر آنکه دما در فشار ثابت افزایش یابد. در صورت کاهش دمای هوای اشباع پدیده شبنم روی می‌دهد.

انتالپی یک مخلوط یک پوند هوای خشک با بخار اشباع Btu	انتالپی بخار اشباع Btu	انتالپی یک پوند هوا برحسب Btu	نسبت رطوبت (وزن بخار آب به وزن هر پوند هوای خشک)		دما
			گرین	پوند	°F
0.835	0.835	0.0	5.51	0.000787	0
1 .408	0.928	0.480	6.12	0.000874	2
1.991	1.030	0.961	6.78	0.000969	4
2.583	1.142	1.441	7.52	0.001074	6
3.188	1.266	1.922	8.32	0.001189	8
3.803	1.401	2.402	9.21	0.001315	10
4.432	1.550	2.882	10.18	0.001454	12
5.076	1.713	3.363	11.24	0.001606	14
5.735	1.892	3.843	12.40	0.001772	16
6.412	2.088	4.324	13.67	0.001953	18
7.106	2.302	4.804	15.06	0.002152	20
7.820	2.536	5.284	16.58	0.002369	22
8.557	2.792	5.765	18.24	0.002606	24
9.317	3.072	6.245	20.06	0.002865	26
10.103	3.377	6.726	22.03	0.003147	28
10.915	3.709	7.206	24.18	0.003454	30
11.758	4.072	7.686	26.52	0.003788	32
12.169	4.242	7.927	27.61	0.003944	33
12.585	4.418	8.167	28.75	0.004107	34
13.008	4.601	8.407	29.93	0.004275	35
13.438	4.791	8.647	31.15	0.004450	36

← ادامه

خواص مخلوط هوای اشباع با بخار آب بر اساس فشار بارومتریک (29.92 in) (ادامه)

دما	نسبت رطوبت (وزن بخار آب به وزن هر پوند هوای خشک)		انتالپی یک پوند هوا برحسب	انتالپی بخار اشباع	انتالپی یک مخلوط یک پوند هوای خشک با بخار اشباع
°F	پوند	گرین	Btu	Btu	Btu
37	0.004631	32.42	8.887	4.987	13.874
38	0.004818	33.73	9.128	5.191	14.319
39	0.005012	35.08	9.368	5.403	14.771
40	0.005213	36.49	9.608	5.662	15.230
41	0.005421	37.95	9.848	5.849	15.697
42	0.005638	39.47	10.088	6.084	16.172
43	0.005860	41.02	10.329	6.32’8	16.657
44	0.006091	42.64	10.569	6.580	17.149
45	0.00633	44.31	10.809	6.841	17.650
46	0.00658	46.06	11.049	7.112	18.161
47	0.00684	47.88	11.289	7.391	18.680
48	0.00710	49.70	11.530	7.681	19.211
49	0.00737	51.59	11.770	7.981	19.751
50	0.00766	53.62	12.010	8.291	20.301
51	0.00795	55.65	12.250	8.612	20.862
52	0.00826	57.82	12.491	8.945	21.436
53	0.00857	59.99	12.731	9.289	22.020
54	0.00889	62.23	12.971	9.644	22.615
55	0.00923	64.6 1	13.211	10.01	23.22
56	0.00958	67.06	13.452	10.39	23.84
57	0.00993	69.51	13.692	10.79	24.48
58	0.01030	72.10	13.93Z	11.19	25.12
59	0.01069	74.83	14.172	11.61	25.78
60	0.01108	77.56	14.413	12.05	26.46
61	0.01149	80.43	14.653	12.50	27.15

← ادامه

خواص مخلوط هوای اشباع با بخار آب بر اساس فشار بارومتریک (29.92 in) (ادامه)

دما	نسبت رطوبت (وزن بخار آب به وزن هر پوند هوای خشک)		انتالپی یک پوند هوا برحسب	انتالپی بخار اشباع	انتالپی یک مخلوط یک پوند هوای خشک با بخار اشباع
	پوند	گرین			
°F			Btu	Btu	Btu
62	0.01191	83.37	14.893	12.96	27.85
63	0.01235	86.45	15.134	13.44	28.57
64	0.01280	89.60	15.374	13.94	29.31
65	0.01326	92.82	15.614	14.45	30.06
66	0.01374	96.18	15.855	14.98	30.83
67	0.01424	99.68	16.095	15.53	31.62
68	0.01475	103.3	16.335	16.09	32.42
69	0.01528	107.0	16.576	16.67	33.25
70	0.01582	110.7	16.616	17.27	34.09
71	0.01639	114.7	17.056	17.89	34.95
72	0.01697	118.8	17.297	18.53	35.83
73	0.01757	123.0	17.537	19.20	36.74
74	0.01819	127.3	17.778	19.88	37.66
75	0.01882	131.7	18.018	20.59	38.61
76	0.01948	136.4	18.259	21.31	39.57
77	0.02016	141.1	18.499	22.07	40.57
78	0.02086	146.0	18.740	22.84	41.58
79	0.02158	151.1	18.980	23.64	42.62
80	0.02233	156.3	19.221	24.47	43.69
81	0.02310	161.7	19.461	25.32	44.78
82	0.02389	167.2	19.702	26.20	45.90
83	0.02471	173.0	19.942	27.10	47.04
84	0.02555	178.9	20.183	28.04	48.22
85	0.02642	1 84.9	20.423	29.01	49.43
86	0.02731	191.2	20.663	30.00	50.66

← ادامه

خواص مخلوط هوای اشباع با بخار آب بر اساس فشار بارومتریک (29.92 in) (ادامه)

دما	نسبت رطوبت (وزن بخار آب به وزن هر پوند هوای خشک)		انتالپی یک پوند هوا برحسب	انتالپی بخار اشباع	انتالپی یک مخلوط یک پوند هوای خشک با بخار اشباع
	پوند	گرین			
°F			Btu	Btu	Btu
87	0.02824	197.7	20.904	31.03	51.93
88	0.02919	204.3	21.144	32.09	53.23
89	0.03017	211.2	21.385	33.18	54.56
90	0.03118	218.3	21.625	34.31	55.93
91	0.03223	225.6	21.865	35.47	57.33
92	0.03330	233.1	22.106	36.67	58.78
93	0.03441	240.9	22.346.	37.90	60.25
94	0.03556	248.9	22.587	39.18	61.77
95	0.03673	257.1	22.827	40.49	63.32
96	0.03795	265.7	23.068	41.85	64.92
97	0.03920	274.4	23.308	43.24	66.55
98	0.04049	283.4	23.548	44.68	68.23
99	0.04182	292.7	23.789	46.17	69.96
100	0.04319	302.3	24.029	47.70	71.73
101	0.04460	312.2	24.270	49.28	73.55
102	0.04606	322.4	24.510	50.91	75.42
103	0.04756	332.9	24.751	52.59	77.34
104	0.04911	343.8	24.991	54.32	79.31
105	0.0507	355	25.232	56.11	81.34
106	0.0523	366	25.472	57.95	83.42
107	0.0540	378	25.713	59.8S	85.56
108	0.0558	391	25.953	6 1 .80	87.76
109	0.0576	403	26.194	63.82	90.03
110	0.0594	416	26.434	65.91	92.34
111	0.0614	430	26.675	68.05	94.72

← ادامه

خواص مخلوط هوای اشباع با بخار آب بر اساس فشار بارومتریک (29.92 in) (ادامه)

دما	نسبت رطوبت (وزن بخار آب به وزن هر پوند هوای خشک)		انتالپی یک پوند هوا برحسب	انتالپی بخار اشباع	انتالپی یک مخلوط یک پوند هوای خشک با بخار اشباع
°F	پوند	گرین	Btu	Btu	Btu
112	0.0633	443	26.915	70.27	97.18
113	0.0654	458	27.156	72.55	99.71
114	0.0675	473	27.397	74.91	102.31
115	0.0696	487	27.637	77.34	104.98
116	0.0719	503	27.878	79.85	107.73
117	0.0742	519	28.119	82.43	110.55
118	0.0765	536	28.359	85.10	113.46
119	0.0790	553	28.600	87.86	116.46
120	0.081 5	570	28.841	90.70	119.54
125	0.0954	668	30.044	106.4	136.44
130	0.1116	781	31.248	.124.7	155.9
135	0.1308	916	32.452	146.4	178.9
140	0.1534	1074	33.655	172.0	205.7
145	0.1803	1262	34.859	202.5	237.4
150	0.2125	1488	36.063	239.2	275.3
155	0.2514	1760	37.267	283.5	320.8
160	0.2990	2093	38.472	337.8	376.3
165	0.3581	2507	39.677	405.3	445.0
170	0.4327	3028.9	40.882	490.6	531.5
175	0.5292	3704.4	42.087	601.1	643.2
180	0.6578	4604.6	43.292	748.5	791.8
185	0.8363	5854.1	44.498	953.2	997.7
190	1.099	7693	45.704	1255.0	1301.0
200	2.295	16065	48.119	2629.0	2677.0

مشخصات آب

دمای انجماد: 0°C

دمای جوش: 100°C

گرمای نهان ذوب: 334 kJ/kg

گرمای نهان تبخیر: 2270 kJ/kg

دمای بحرانی: 380 - 386°C

فشار بحرانی: 23.520 kN/m^2

گرمای ویژه آب: 4.187 kJ/ kgK

گرمای ویژه یخ: 2.108 kJ/ kgK

گرمای ویژه بخار آب: 1.996 kJ/ kgK

انبساط گرمایی از 4°C تا 100°C: 4.2×10^{-2}

چگالی در 4°C: 0.1337 ft^3/ gal - 8.33 lb /gal - 62.43 lb/ft^3 - 1000 kg/m^3

نسبت بین فشار و نقطه انجماد آب

دمای نقطه انجماد آب		فشار	
(°C)	(°F)	(atm)	(psi)
0	32	1	0
-5	23	590	8660
-10	14	1090	16000
-22	-7.6	2047	30000

SOURCE: FACILITY PIPING SYSTEMS HANDBOOK- MICHAEL FRANKEL

فشار اشباع آب (واحد SI)

دما °C	فشار (N/m^2)	دما °C	فشار (N/m^2)
0	0.6105	50	12.33
5	0.8722	60	19.92
10	1.228	70	31.16
20	2.338	80	47.34
30	4.243	90	70.10
40	7.376	100	101.3

فشار اشباع آب (واحد انگلیسی)

دما °F	فشار (psia)	دما °F	فشار (psia)
32	0.0885	220	17.19
40	0.1217	240	24.97
50	0.1781	260	35.43
60	0.2563	280	49.20
70	0.3631	300	67.01
80	0.5069	350	134.60
90	0.6979	400	247.26
100	0.9493	450	422.55
120	1.692	500	680.86
140	2.888	550	1045.43
160	4.736	600	1543.20
180	7.507	650	2208.40
200	11.52	700	3094.30
212	14.69	-	-

ویسکوزیته دینامیک و سینماتیک آب (واحد انگلیسی)

دما (°F)	ویسکوزیته دینامیک 10^{-5} (lb / ft^2)	ویسکوزیته سینماتیک 10^{-5} (ft^2 / s)
34	3.732	1.924
40	3.228	1.664
50	2.730	1.407
60	2.344	1.210
70	2.034	1.052
80	1.791	0.926

← ادامه

ویسکوزیته دینامیک و سینماتیک آب (واحد انگلیسی) (ادامه)

دما (°F)	ویسکوزیته دینامیک 10^{-5} (lb / ft^2)	ویسکوزیته سینماتیک 10^{-5} (ft^2 / s)
90	1.500	0.823
100	1.423	0.738
120	1.164	0.607
140	0.974	0.511
160	0.832	0.439
180	0.721	0.383
200	0.634	0.339
212	0.589	0.317

ویسکوزیته دینامیک و سینماتیک آب (واحد SI)

دما (°C)	ویسکوزیته دینامیک 10^{-3} (N.s / m^2)	ویسکوزیته سینماتیک 10^{-6} (m^2 / s)
0	1.787	1.787
5	1.519	1.519
10	1.307	1.307
20	1.002	1.004
30	0.798	0.801
40	0.653	0.658
50	0.547	0.553
60	0.467	0.475
70	0.404	0.413
80	0.355	0.365
90	0.315	0.326
100	0.282	0.294

وزن آبگرم به ازای هر فوت‌مکعب در دماهای مختلف

دما (°F)	وزن به ازای حجم (lb/ft^3)	دما (°F)	وزن به ازای حجم (lb/ft^3)
110	61.86	410	53.19
120	61.71	420	52.74
130	6.55	430	52.33
140	61.37	440	51.87
150	61.19	450	51.28
160	60.99	460	51.02
170	60.79	470	50.51
180	60.57	480	50.00
190	60.35	490	49.50
200	60.11	500	48.78
210	59.87	510	48.31
220	59.67	520	47.62
230	59.42	530	49.95
240	59.17	540	46.30
250	58.89	550	45.66
260	58.62	560	44.84
270	58.34	570	44.05
280	58.04	580	43.29
290	57.74	590	42.37
300	57.41	600	41.49
310	57.08	610	40.49
320	56.75	620	39.37
330	56.40	630	38.31
340	56.40	640	37.17
350	56.02	650	35.97
360	55.65	660	34.48
370	55.25	670	32.89
380	54.85	680	31.06
390	54.47	690	28.82
400	54.05	700	25.38

مشخصات گرمایی یخ

دما (°C)	چگالی (kg / m^3)	هدایت گرمایی (W/ mK)	گرمای ویژه (kJ/ kgK)
0	916.2	2.22	2.050
-5	917.5	2.25	2.027
-10	918.9	2.30	2.000
-15	919.4	2.34	1.972
-20	919.4	2.39	1.943
-25	919.6	2.45	1.913
-30	920.0	2.50	1.882
-35	920.4	2.57	1.851
-40	920.8	2.63	1.818
-50	921.6	2.76	1.751
-60	922.4	2.90	1.681
-70	923.3	3.05	1.609
-80	924.1	3.19	1.536
-90	924.9	3.34	1.463
-100	925.7	3.48	1.389

مشخصات بخار اشباع (واحد انگلیسی)

فشار (psig)	دما (°F)	حجم مخصوص (ft^3/lb)	گرمای محسوس (Btu /lb)	گرمای نهان (Btu /lb)	گرمای کل (Btu /lb)
25	134	142	102	1017	1119
20	136	73.9	129	1001	1130
15	179	51.3	147	990	1137
10	192	39.4	160	982	1142
5	203	31.8	171	976	1147
0	212	26.8	180	970	1150
1	215	25.2	183	968	1151
2	219	23.5	187	966	1153
3	222	22.3	190	964	1154
4	224	21.4	192	962	1154
5	227	20.1	195	960	1155
6	230	19.4	198	959	1157
7	232	18.7	200	957	1157
8	233	18.4	201	956	1157
9	237	17.1	205	954	1159
10	239	16.5	207	953	1160
12	244	15.3	212	949	1161
14	248	14.3	216	947	1163
16	252	13.4	220	944	1164
18	256	12.6	224	941	1165
20	259	11.9	227	939	1166
22	262	11.3	230	937	1167
24	265	10.8	233	934	1167

← ادامه

مشخصات بخار اشباع (واحد انگلیسی) (ادامه)

فشار (psig)	دما (°F)	حجم مخصوص (ft^3/lb)	گرمای محسوس (Btu /lb)	گرمای نهان (Btu /lb)	گرمای کل (Btu /lb)
26	268	10.3	236	933	1169
28	271	9.85	239	930	1169
30	274	9.46	243	929	1172
32	277	9.1	246	927	1173
34	279	8.75	248	925	1173
36	282	8.42	251	923	1174
38	284	8.08	253	922	1175
40	286	7.82	256	920	1176
42	289	7.57	258	918	1176
44	291	7.31	260	917	1177
46	293	7.14	262	915	1177
48	295	6.94	264	914	1178
50	298	6.68	267	912	1179
55	300	6.27	271	909	1180
60	307	5.84	277	906	1183
65	312	5.49	282	901	1183
70	316	5.18	286	898	1184
75	320	4.91	290	895	1185
80	324	4.67	294	891	1185
85	328	4.44	298	889	1187
90	331	4.24	302	886	1188
95	335	4.05	305	883	1188
100	338	3.89	309	880	1189

← ادامه

مشخصات بخار اشباع (واحد انگلیسی) (ادامه)

فشار (psig)	دما (°F)	حجم مخصوص (ft^3/lb)	گرمای محسوس (Btu /lb)	گرمای نهان (Btu /lb)	گرمای کل (Btu /lb)
105	341	3.74	312	878	1190
110	344	3.59	316	875	1191
115	347	3.46	319	873	1192
120	350	3.34	322	871	1193
125	353	3.23	325	868	1193
130	356	3.12	328	866	1194
135	358	3.02	330	864	1194
140	361	2.92	333	861	1194
145	363	2.84	336	859	1195
150	366	2.74	339	857	1196
155	368	2.68	341	855	1196
160	371	2.6	344	853	1197
165	373	2.54	346	851	1197
170	375	2.47	348	849	1197
175	377	2.41	351	847	1198
180	380	2.31	353	845	1198
185	382	2.29	355	843	1198
190	384	2.24	358	841	1199
195	386	2.19	360	839	1199
200	388	2.14	362	837	1199
205	390	2.09	364	836	1200
210	392	2.05	366	834	1200
215	394	2.00	368	832	1200

← ادامه

مشخصات بخار اشباع (واحد انگلیسی) (ادامه)

فشار (psig)	دما (°F)	حجم مخصوص (ft^3/lb)	گرمای محسوس (Btu /lb)	گرمای نهان (Btu /lb)	گرمای کل (Btu /lb)
220	396	1.96	370	830	1200
225	397	1.92	372	828	1200
230	399	1.89	374	827	1201
235	401	1.85	376	825	1201
240	403	1.81	378	823	1201
245	404	1.78	380	822	1202
250	406	1.75	382	820	1202
255	408	1.72	383	819	1202
260	409	1.69	385	817	1202
265	411	1.66	387	815	1202
270	413	1.63	389	814	1203
275	414	1.6	391	812	1203
280	416	1.57	392	811	1203
285	417	1.55	394	809	1203
290	418	1.53	395	808	1203
295	420	1.49	397	806	1203
300	421	1.47	398	805	1203

مشخصات بخار اشباع (فشار برحسب بار)

فشار مطلق (bar)	دما (°C)	حجم مخصوص (m^3/kg)	چگالی (kg/m^3)	آنتالپی ویژه آب (گرمای محسوس)		آنتالپی ویژه بخار (گرمای کل)		گرمای نهان تبخیر		گرمای ویژه (kJ/kg)
				(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	
0.02	17.51	76.006	0.015	73.45	17.54	2533.64	605.15	2460.19	587.61	1.8644
0.03	24.10	45.667	0.022	101.00	24.12	2545.64	608.02	2444.65	583.89	1.8694
0.04	28.98	34.802	0.029	121.41	29.00	2554.51	610.13	2433.10	581.14	1.8736
0.05	32.90	28.194	0.035	137.77	32.91	2561.59	611.83	2423.82	578.92	1.8774
0.06	36.18	23.741	0.042	151.50	36.19	2567.51	613.24	2416.01	577.05	1.8808
0.07	39.02	20.531	0.049	163.38	39.02	2572.62	614.46	2409.24	575.44	1.8840
0.08	41.53	18.105	0.055	173.87	41.53	2577.11	615.53	2403.25	574.01	1.8871
0.09	43.79	16.204	0.062	183.28	43.78	2581.14	616.49	2397.85	572.72	1.8899
0.1	45.83	14.675	0.068	191.84	45.82	2584.78	617.36	2392.94	571.54	1.8927
0.2	60.09	7.650	0.131	251.46	60.06	2609.86	623.35	2358.40	563.30	1.9156
0.3	69.13	5.229	0.191	289.31	69.10	2625.43	627.07	2336.13	557.97	1.9343

← ادامه

مشخصات بخار اشباع (فشار برحسب بار) (ادامه)

فشار مطلق (bar)	دما (°C)	حجم مخصوص (m^3/kg)	چگالی (kg/m^3)	آنتالپی ویژه آب (گرمای محسوس)		آنتالپی ویژه بخار (گرمای کل)		گرمای نهان تبخیر		گرمای ویژه (kJ/kg)
				(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	
0.4	75.89	3.993	0.250	317.65	75.87	2636.88	629.81	2319.23	553.94	1.9506
0.5	81.35	3.240	0.309	340.57	81.34	2645.99	631.98	2305.42	550.64	1.9654
0.6	85.95	2.732	0.366	359.93	85.97	2653.57	633.79	2293.64	547.83	1.9790
0.7	89.96	2.365	0.423	376.77	89.99	2660.07	635.35	2283.30	545.36	1.9919
0.8	93.51	2.087	0.479	391.73	39.56	2665.77	636.71	2274.05	543.15	2.0040
0.9	96.71	1.869	0.535	405.21	96.78	2670.85	637.92	2265.65	541.14	2.0156
1.0	99.63	1.694	0.590	417.51	99.72	2675.43	639.02	2257.92	539.30	2.0267
1.1	102.32	1.549	0.654	428.84	102.43	2679.61	640.01	2250.76	537.59	2.0373
1.2	104.81	1.428	0.700	439.36	104.94	2683.44	640.93	2244.08	535.99	2.0476
1.3	107.13	1.325	0.755	449.19	107.29	2686.98	641.77	2237.79	534.49	2.0576
1.4	109.32	1.236	0.809	458.42	109.49	2690.28	642.56	2231.86	533.07	2.0673

← ادامه

مشخصات بخار اشباع (فشار برحسب بار) (ادامه)

فشار مطلق (bar)	دما (°C)	حجم مخصوص (m^3/kg)	چگالی (kg/m^3)	آنتالپی ویژه آب (گرمای محسوس)		آنتالپی ویژه بخار (گرمای کل)		گرمای نهان تبخیر		گرمای ویژه (kJ/kg)
				(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	
1.5	111.37	1.159	0.863	467.13	111.57	2693.36	643.30	2226.23	531.73	2.0768
1.6	113.32	1.091	0.916	475.38	113.54	2696.25	643.99	2220.87	530.45	2.0860
1.7	115.17	1.031	0.970	483.22	115.42	2698.97	644.64	2215.75	529.22	2.0950
1.8	116.93	0.977	1.023	490.70	117.20	2701.54	645.25	2210.84	528.05	2.1037
1.9	118.62	0.929	1.076	497.85	118.91	2703.98	645.83	2206.13	526.92	2.1124
2.0	120.23	0.885	1.129	504.71	120.55	2706.29	646.39	2201.59	525.84	2.1208
2.2	123.27	0.810	1.235	517.63	123.63	2710.60	647.42	2192.98	523.78	2.1372
2.4	126.09	0.746	1.340	529.64	126.50	2714.55	648.36	2184.91	521.86	2.1531
2.6	128.73	0.693	1.444	540.88	129.19	2718.17	649.22	2177.30	520.04	2.1685
2.8	131.20	0.646	1.548	551.45	131.71	2721.54	650.03	2170.08	518.32	2.1835
3.0	133.54	0.606	1.651	561.44	134.10	2724.66	650.77	2163.22	516.68	2.1981

← ادامه

مشخصات بخار اشباع (فشار برحسب بار) (ادامه)

فشار مطلق (bar)	دما (°C)	حجم مخصوص (m^3/kg)	چگالی (kg/m^3)	آنتالپی ویژه آب (گرمای محسوس)		آنتالپی ویژه بخار (گرمای کل)		گرمای نهان تبخیر		گرمای ویژه
				(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)
3.5	138.87	0.524	1.908	584.28	139.55	2731.63	652.44	2147.35	512.89	2.2331
4.0	143.63	0.462	2.163	604.68	144.43	2737.63	653.87	2132.95	509.45	2.2664
4.5	147.92	0.414	2.417	623.17	148.84	2742.88	655.13	2119.71	506.29	2.2983
5.0	151.85	0.375	2.669	640.12	152.89	2747.54	656.24	2107.42	503.35	2.3289
5.5	155.47	0.342	2.920	655.81	156.64	2751.70	657.23	2095.90	500.60	2.3585
6.0	158.84	0.315	3.170	670.43	160.13	2755.46	658.13	2085.03	498.00	2.3873
6.5	161.99	0.292	3.419	684.14	163.40	2758.87	658.94	2074.73	495.54	2.4152
7.0	164.96	0.273	3.667	697.07	166.49	2761.98	659.69	2064.92	493.20	2.4424
7.5	167.76	0.255	3.915	709.30	169.41	2764.84	660.37	2055.53	490.96	2.4690
8.0	170.42	0.240	4.162	720.94	172.19	2767.46	661.00	2046.53	488.80	2.4951
8.5	172.94	0.227	4.409	732.03	174.84	2769.89	661.58	2037.86	486.73	2.5206

← ادامه

مشخصات بخار اشباع (فشار برحسب بار) (ادامه)

فشار مطلق (bar)	دما (°C)	حجم مخصوص (m^3/kg)	چگالی (kg/m^3)	آنتالپی ویژه آب (گرمای محسوس)		آنتالپی ویژه بخار (گرمای کل)		گرمای نهان تبخیر		گرمای ویژه (kJ/kg)
				(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	
9.0	172.36	0.215	4.655	742.64	177.38	2772.13	662.11	2029.49	484.74	2.5456
9.5	177.67	0.204	4.901	752.82	179.81	2774.22	662.61	2021.40	482.80	2.5702
10	179.88	0.194	5.147	762.60	182.14	2776.16	663.07	2013.56	480.93	2.5944
11	184.06	0.177	5.638	781.11	186.57	2779.66	663.91	1998.55	477.35	2.6418
12	178.96	0.163	6.127	798.42	190.70	2782.73	664.64	1984.31	473.94	2.6878
13	191.60	0.151	6.617	814.68	194.58	2785.42	665.29	1970.73	470.70	2.7327
14	195.04	0.141	7.106	830.05	198.26	2787.79	665.85	1957.73	467.60	2.7767
15	198.28	0.132	7.596	844.64	201.74	2789.88	666.35	1945.24	464.61	2.8197
16	201.37	0.124	8.085	858.54	205.06	2791.73	666.79	1933.19	461.74	2.8620
17	204.30	0.117	8.575	871.82	208.23	2793.37	667.18	1921.55	458.95	2.9036
18	207.11	0.110	9.065	884.55	211.27	2794.81	667.53	1910.27	456.26	2.9445

← ادامه

مشخصات بخار اشباع (فشار برحسب بار) (ادامه)

فشار مطلق (bar)	دما (°C)	حجم مخصوص (m^3/kg)	چگالی (kg/m^3)	آنتالپی ویژه آب (گرمای محسوس)		آنتالپی ویژه بخار (گرمای کل)		گرمای نهان تبخیر		گرمای ویژه (kJ/kg)
				(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	
19	209.79	0.105	9.556	896.78	214.19	2796.09	667.83	1899.31	453.64	2.9849
20	212.37	0.100	10.047	908.56	217.01	2797.21	668.10	1888.65	451.10	3.0248
21	214.85	0.095	10.539	919.93	219.72	2798.18	668.33	1875.25	448.61	3.0643
22	217.24	0.091	11.032	930.92	222.35	2799.03	668.54	1868.11	446.19	3.1034
23	219.55	0.087	11.525	941.57	224.89	2799.77	668.71	1858.20	443.82	3.1421
24	221.78	0.083	12.020	951.90	227.36	2800.39	668.86	1848.49	441.50	3.1805
25	223.94	0.080	12.515	961.93	229.75	2800.91	688.99	1838.98	439.23	3.2187
26	226.03	0.077	13.012	971.69	232.08	2801.35	669.09	1829.66	437.01	3.2567
27	228.06	0.074	13.509	981.19	234.35	2801.69	669.17	1820.50	434.82	3.2944
28	230.04	0.071	14.008	990.46	236.57	2801.96	669.24	1811.50	432.67	3.3320
29	231.96	0.069	14.508	999.50	238.73	2802.15	669.28	1802.65	430.56	3.3695
30	233.84	0.067	15.009	1008.33	240.84	28.02.27	669.13	1793.94	428.48	3.4069

ضریب انبساط طولی

ضریب انبساط طولی (α) برخی مواد در اثر افزایش دما

مواد	ضریب انبساط طولی	
	$\frac{m}{m.K\times10^{-6}}$	$\frac{in}{in.°F\times10^{-6}}$
ترمو پلاستیک ABS	-	55
آلومینیوم	22.2	12.3
فلز برنج	18.7	10.4
آجر	5.5	3.1
برنز	18.0	10.0
چدن خاکستری	10.8	6.0
سیمان	10.0	6.0
بتن	14.5	8.0
مس	16.5	9.3
اپوکسی	18-20	10-11
شیشه سخت	5.9	3.3
شیشه نسوز	4.0	2.2
شیشه تخت	9.0	5.0

مواد	ضریب انبساط طولی	
	$\frac{m}{m.K\times10^{-6}}$	$\frac{in}{in.°F\times10^{-6}}$
طلا	14.2	8.2
گرافیت	7.9	4.4
آهن ناخالص	12.0	6.7
آهن ریخته‌گری	10.4	5.9
سرب	28.0	15.1
سنگ مرمر	12	6.5
گچ	25	13.9
چینی	3.0	1.7
لاستیک	77	42.8
نقره	19.5	10.7
فولاد	13.0	7.3
روی	29.7	16.5

گرمای ویژه برخی مواد

مواد	گرمای ویژه (Btu/hr)
هوا	0.24
الکل	0.615
آلومینیوم	0.22
آمونیاک	1.098
برنج	0.092

مواد	گرمای ویژه (Btu/hr)
نفت سفید	0.5
سنگ آهک	0.217
سرب	0.03
مرمر	0.206
جیوه	0.033

← ادامه

مواد	گرمای ویژه (Btu/hr)	مواد	گرمای ویژه (Btu/hr)
آجر	0.220	نیکل	0.109
برنز	0.104	نیتروژن	0.224
کربن	0.126	لاستیک سخت	0.339
دی‌اکسید کربن	0.215	شن	0.195
سیمان (پرتلند)	0.271	سیلیکون	0.175
ذغال‌سنگ	0.201	نقره	0.056
بتن	0.156	بخارآب	0.48
مس	0.092	فولاد	0.118
شیشه	0.18	قلع	0.054
طلا	0.032	آب	1.0
هیدروژن	3.41	چوب	0.327
یخ	0.504	روی	0.93
چدن	0.113		

عدد رینولدز

عدد رینولدز: Re جریان آرام: Re < 2300

جریان ناپایدار: 2300 < Re < 4000 جریان مغشوش: 4000 < Re

جدول زیر نشـــان دهنده عدد رینولدز برای جریان آب در لوله‌های مختلف است.

عدد رینولدز Re	قطر لوله mm (in)									
	(1)	1(1/2)	(2)	(3)	(4)	(6)	(8)	(10)	(12)	(18)
	25	40	50	75	100	150	200	250	300	450
عدد رینولدز برای یک لیتر در دقیقه	835	550	420	280	210	140	105	85	70	46
عدد رینولدز برای یک گالن در دقیقه	3800	2500	1900	1270	950	630	475	380	320	210

وزن مخصوص برخی گازها

بر اساس دمای 68 درجه فارنهایت براساس فشار مطلق 14.7 psi

گاز	نماد شیمیایی	وزن مخصوص
استیلن	C_2H_2	0.897
هوا	-	1.000
آمونیاک	NH_3	0.587
آرگن	A	1.378
بوتان	C_4H_{10}	2.00
دی‌اکسیدکربن	CO_2	1.517
منواکسیدکربن	CO	0.996
کلر	CL_2	2.452
اتان	C_2H_6	1.035
هلیم	He	0.138
هیدروژن	H_2	0.070
متان	CH_4	0.553
گاز طبیعی	CH_4	0.665 (تقریبی)
اکسید نیتریک	NO	1.035
نیتروژن	N_2	0.966
اکسید نیتروژن	N_2O	1.518
اکسیژن	O_2	1.103
پروپان	C_3H_8	1.550
دی‌اکسید گوگرد	SO_2	2.209

SOURCE: HVAC/R TERMINOLOGY- SECOND EDITION RICHARD WIRTZ

ضریب تصحیح ارتفاع

ظرفیت تجهیزات بر اســـاس ارتفاع در سطح دریا تعیین می‌شود و باید مقدار افزایش ارتفاع را در ظرفیت آنها منظور نمود.

نوع دستگاه	ارتفاع ft (m) 2500 (762)	5000 (1525)	7500 (2285)	10000 (13050)
کمپرسورها	1.0	1.0	1.0	1.0
کندانسور هوایی	0.95	0.90	0.85	0.80
اواپراتور - کندانسور	1.00	1.01	1.02	1.03
کندانسینگ یونیت	0.98	0.97	0.95	0.93
واحدهای القایی اتاقی	0.93	0.86	0.80	0.74
فن‌کوئل				
ظرفیت کل (SHR - 0.40 - 0.95)	0.97	0.95	0.93	0.91
ظرفیت محسوس (SHR - 0.40- 0.95)	0.92	0.85	0.78	0.71
ظرفیت کل (SHR - 0.95- 1.00)	0.93	0.86	0.79	0.73
واحد تهویه‌مطبوع یکپارچه با کندانسور هوایی				
ظرفیت کل (SHR - 0.40 - 0.95)	0.98	0.96	0.94	0.92
ظرفیت محسوس (SHR - 0.40- 0.95)	0.92	0.85	0.18	0.71
ظرفیت کل (SHR - 0.95- 1.00)	0.96	0.82	0.88	0.84

SHR = نسبت گرمای محسوس = (گرمای محسوس) / (گرمای نهان + گرمای محسوس)

SOURCE: ENGINEERING GUIDE FOR ALTITUDE EFFECTS. CARRIER

صـــدا

سرعت صوت در مواد مختلف

ســـرعت صوت در هوای اســـتاندارد 343 m/s و در آب 1433 m/s است. سرعت صوت در برخی مواد در جدول زیر گرد آمده است.

مواد	سرعت صوت (m/s)	مواد	سرعت صوت (m/s)
آلومینیوم	4877	طلا	3240
فلز برنج	3475	چوب جنگلی	3962
آجر	4176	آهن	5130
بتون	3200 - 3600	سرب	1158
مس	3901	لاستیک	90 - 150
چوب پنبه	366 - 518	فولاد	6100
الماس	12000	آب	1433
شیشه	3962	چوب	3300 - 3600
شیشه نسوز	5640	-	-

1m/s = 3.6 km/h = 196.85 ft/min = 3.28 ft/S = 2.237 MPH

سرعت صوت در دماهای مختلف

ســـرعت صوت در هوای خشـــک و دمای صفر درجه سلسیوس برابر با 331 m/s اســـت که بـــه ازای هر یک درجه سلســـیوس افزایش دما، حدود 0.61 m/s بیشتر می‌شود.

ســـرعت صوت در دماهـــای (40-) تا 1000°C (40- -1500°F) در فشـــار استاندارد جو. اعداد جدول نشانگر افزایش سرعت صوت به همراه افزایش دما هستند.(جدول در صفحه بعدی)

سرعت صوت در دماهای مختلف

دما °F	سرعت صوت ft/s	دما °C	سرعت صوت m/s
-40	1004	-40	306.2
-20	1028	0	331.4
0	1051	5	334.4
10	1062	10	337.4
20	1074	15	340.4
30	1085	20	343.3
40	1096	25	346.3
50	1106	30	349.1
60	1117	40	354.7
70	1128	50	360.3
80	1138	60	365.7
90	1149	70	371.2
100	1159	80	376.6
120	1180	90	381.7
140	1200	100	386.9
160	1220	200	434.5
180	1239	300	476.3
200	1258	400	514.1
300	1348	500	548.8
400	1431	1000	694.8
500	1509	-	-
750	1685	-	-
1000	1839	-	-
1500	2114	-	-

صدای مجاز ناشـــی از کار تجهیزات گرمایشی، سرمایشی و تهویه‌مطبوع (به عنوان پس‌زمینه صوتی فضا)

آپارتمان‌ها فضاهای مسکونی	25 - 35 dB
اتاق‌ها و سوییت‌های هتل	25 - 35 dB
سالن پذیرایی هتل	25 - 35 dB
راهروها و سرسراهای هتل	35 - 45 dB
فضاهای پشتیبانی هتل	35 - 45 dB
دفاتر اداری خصوصی	25 - 35 dB
اتاق کنفرانس	25 - 35 dB
اتاق کنفرانس راه دور	حداکثر 25
دفاتر اداری باز (گروهی)	30 - 40 dB
راهروها و سرسراهای اداره‌ها	40 - 45 dB
اتاق‌های بستری خصوصی	25 - 35 dB
اتاق‌های بستری عمومی	30 - 40 dB
اتاق‌های عمل	25 - 35 dB
راهروها و فضاهای عمومی بیمارستان	30 - 40 dB
سالن تئاتر	حداکثر 25 dB
سالن اجرای کنسرت	حداکثر 25 dB
استودیوی تعلیم موسیقی	حداکثر 25 dB
سالن تمرین موسیقی	حداکثر 35 dB
کلیساها و مساجد	25 - 35 dB
کلاس‌های درس تا $750\ ft^2$	40 dB
کلاس‌های درس بزرگتر از $750\ ft^2$	35 dB
اتاق‌های سخنرانی بدون آمپلی‌فایر	35 dB
کتابخانه	30 - 40 dB
سالن دادگاه بدون میکروفن و آمپلی‌فایر	25 - 35 dB

← ادامه

صدای مجاز ناشـــی از کار تجهیزات گرمایشی، سرمایشی و تهویه‌مطبوع (به عنوان پس‌زمینه صوتی فضا) (ادامه)

سالن دادگاه با میکروفون و آمپلی‌فایر	30 - 40 dB
سالن ژیمناستیک - بدن‌سازی و استخر	40 - 50 dB
سالن ورزش با جایگاه تماشاچیان و مجهز به آمپلی‌فایر	45 - 55 dB

SOURCE: 2001 FUNDAMENTAL ASHRAE HANDBOOK.

فشار و سطح صوت

مطالعـــه ردیف‌های این جدول و مقایســـه آنها درک بهتری از فشـــار و سطوح صوت به دست می‌دهد.

منبع صدا	فشار صوت Pa	سطح فشار صوت dB	واکنش و تاثیرات
جت جنگنده در فاصله 100 فوت	200	140	بسیار خطرناک
شلیک توپ در فاصله 10 فوت	63.2	130	-
جت مسافربری به هنگام برخاستن در فاصله 100 فوت	20	120	آستانه درد
سکوی قطار شهری (چرخ فولادی)	2	100	-
موتور دیزل بزرگ بدون صدا خفه‌کن در فاصله 130 فوت	0.6	90	خیلی بلند
اتاق چاپگرهای کامپیوتری	0.2	80	-
قطار در 100فوتی	0.06	70	-
مکالمات در فاصله 3 فوت	0.02	60	-
کولر پنجره‌ای در فاصله 3 فوت	0.006	50	ملایم
نجوا و پچ پچ کردن در 6 فوتی	0.0006	30	-
وزوز حشره در 3 فوتی	0.0002	20	قابل شنیدن
آستانه شنوایی خوب	0.00006	10	ضعیف
شنوایی عالی	0.00002	0	آستانه شنوایی

SOURCE: 2001 FUNDAMENTAL ASHRAE HANDBOOK.

۱-۵

واحدهای اندازه‌گیری و تبدیل آنها

طول

یک	برابر است با:	
اینچ (in)	25.4	میلی‌متر (mm)
اینچ (in)	0.0254	متر (m)
فوت (ft)	12	اینچ (in)
فوت (ft)	0.3048	متر (m)
یارد (yd)	3	فوت (ft)
یارد (yd)	0.9144	متر (m)
مایل (mi)	5280	فوت (ft)
مایل (mi)	1.6090	کیلومتر (km)
متر (m)	3.2808	فوت (ft)
متر (m)	1.0936	یارد (yd)
متر (m)	39.37	اینچ (in)
سانتی‌متر (cm)	0.3937	اینچ (in)
میلی‌متر (mm)	0.03937	اینچ (in)
کیلومتر (km)	1000	متر (m)
کیلومتر (km)	0.6214	مایل (mi)
کیلومتر (km)	3280.8	فوت (ft)

سطح

یک:		برابراست با:	
اینچ مربع (in^2)		6.452	سانتی‌مترمربع (cm^2)
اینچ مربع (in^2)		6.452×10^{-4}	مترمربع (m^2)
فوت‌مربع (ft^2)		144	اینچ مربع (in^2)
فوت‌مربع (ft^2)		0.0929	مترمربع (m^2)
یارد مربع (yd^2)		9.0	فوت‌مربع (ft^2)
یارد مربع (yd^2)		0.8361	مترمربع (m^2)
آر (ac)		43560	فوت‌مربع (ft^2)
آر (ac)		4047	مترمربع (m^2)
آر (ac)		4840	یارد مربع (yd^2)
آر (ac)		0.4047	هکتار (ha)
میلی‌مترمربع (mm^2)		1.55×10^{-3}	اینچ مربع (in^2)
مترمربع (m^2)		10.764	فوت‌مربع (ft^2)
مترمربع (m^2)		1.196	یارد مربع (yd^2)
هکتار (ha)		10000	مترمربع (m^2)
هکتار (ha)		2.471	آر (ac)

حجم

یک:		برابر است با:	
اینچ مکعب (in^3)		16.39	سانتی‌مترمکعب (cm^3)
اینچ مکعب (in^3)		1.639×10^{-5}	مترمکعب (m^3)
فوت‌مکعب (ft^3)		0.02832	متر مکب (m^3)
فوت‌مکعب (ft^3)		1728	اینچ مکعب (in^3)
فوت‌مکعب (ft^3)		6.23	گالن (gal)
یارد مکعب (yd^3)		27	فوت‌مکعب (ft^3)
یارد مکعب (yd^3)		0.7646	مترمکعب (m^3)
گالن آمریکایی (US.gal)		0.83	گالن انگلیسی (in.gal)

← ادامه

حجم (ادامه)

یک:		برابر است با:		
گالن (gal)		4.546	لیتر	(l)
گالن (gal)		4.546×10^{-3}	مترمکعب	(m^3)
گالن (gal)		0.16 ft^3	فوت‌مکعب	(ft^3)
گالن آمریکایی (US.gal)		3.785	لیتر	(l)
سانتی‌مترمکعب (cm^3)		16.387	اینچ مکعب	(in^3)
مترمکعب (m^3)		35.314	فوت‌مکعب	(ft^3)
مترمکعب (m^3)		1.308	یارد مکعب	(yd^3)
مترمکعب (m^3)		264.2	گالن آمریکایی	US.gal)
مترمکعب (m^3)		220	گالن	(gal)
لیتر (l)		61.023	اینچ مکعب	(in^3)
لیتر (l)		0.2642	گالن آمریکایی	(US.gal)
لیتر (l)		0.220	گالن	(gal)
لیتر (l)		0.03531	فوت‌مکعب	(ft^3)
لیتر (l)		0.001	مترمکعب	(m^3)

جرم

یک:		برابر است با:		
گرین (Gr)		0.000143	پوند	(lb)
گرین (Gr)		0.0648	گرم	(g)
اونس (Oz)		0.02835	کیلوگرم	(kg)
پوند (lb)		16	اونس	(Oz)
پوند (lb)		7000	گرین	(Gr)
پوند (lb)		0.4536	کیلوگرم	(kg)
پوند (lb)		453.6	گرم	(g)
گرم (g)		15.43	گرین	(Gr)

← ادامه

جرم (ادامه)

یک:	برابر است با:		
گرم (g)	0.0353	اونس	(Oz)
گرم (g)	0.002205	پوند	(lb)
کیلوگرم (kg)	2.205	پوند	(lb)
کیلوگرم (kg)	35.27	اونس	(Oz)
تن کوچک (s.ton)	2000	پوند	(lb)
تن بزرگ (l.ton)	2240	پوند	(lb)
تن متریک (ton)	2205	پوند	(lb)
تن متریک (ton)	1000	کیلوگرم	(kg)
تن کوچک (s.ton)	907.2	کیلوگرم	(kg)
تن بزرگ (l.ton)	1016	کیلوگرم	(kg)

نیرو

یک:	برابر است با:		
نیوتن (N)	0.2248	پوند نیرو	(lbf)
پوند نیرو (lbf)	4.448	نیوتن	(N)
کیلو پن (کیلوگرم نیرو) (kp)	9.81	نیوتن	(N)

سرعت

یک:	برابر است با:		
فوت در ثانیه (fps)	60	فوت در دقیقه	(fpm)
مایل در ساعت (mi/h)	88	فوت در دقیقه	(fpm)
فوت در دقیقه (fpm)	0.00508	متر در ثانیه	(m/s)
مایل در ساعت (mi/h)	1.609	کیلومتر در ساعت	(km/h)

محتوی بر اساس وزن

یک:	برابر است با:		
گرم بر کیلوگرم (g/kg)	7.0	گرم بر پوند	(g/lb)
گرم بر پوند (G/lb)	0.143	گرم برکیلوگرم	(g/kg)

چگالی

یک:	برابر است با:		
پوند بر فوت‌مکعب (lb/ft^3)	16.02	کیلوگرم بر مترمکعب	(kg/m^3)
کیلوگرم بر لیتر (kg/l)	62.43	پوند بر فوت‌مکعب	(lb/ft^3)
کیلوگرم بر مترمکعب (kg/m^3)	0.0624	پوند بر فوت‌مکعب	(lb/ft^3)

توان

یک:	برابر است با:		
وات (W)	1.0	نیوتن متر بر ثانیه	(Nm/s)
اسب (hp) انگلیسی	550	فوت پوند بر ثانیه	(ft lb/s)
اسب (hp) انگلیسی	1.0139	اسب متریک	(m hp)
اسب (hp) انگلیسی	746	وات	(W)
اسب (hp) انگلیسی	2545	بی‌تی‌یو بر ساعت	(Btu/hr)
اسب (hp) انگلیسی	76.04	کیلوگرم متر بر ثانیه	(kg m/s)
اسب متریک (m hp)	736	وات	(W)
اسب متریک (m hp)	75	کیلوگرم متر بر ثانیه	(kg m/s)
اسب متریک (m hp)	0.986	اسب انگلیسی	(hp)
اسب دیگ (b hp)	33475	بی‌تی‌یو بر ساعت	(Btu/hr)
اسب دیگ (b hp)	9809.50	وات	(W)
تن تبرید (Tbr)	12000	بی‌تی‌یو بر ساعت	(Btu/hr)
تن تبرید (Tbr)	3516.8	وات	(W)
بی‌تی‌یو بر ساعت (Btu/hr)	0.2929	وات	(W)
کالری بر ثانیه (cal/s)	4.184	وات	(W)

جریان گرمایی، گرما و انرژی

یک:		برابر است با:		
بی‌تی‌یو بر ساعت (Btu /h)	وات	0.293		(W)
کیلو وات (kW)	ژول بر ثانیه	1000		(J/s)
کیلو وات (kW)	ژول بر ساعت	3.6×10^6		(J/h)
کیلو وات (kW)	اسب (متر یک)	1.360		(hp)
کیلو وات (kW)	فوت پوند بر ثانیه	737		(ft lb/s)
کیلو وات (kW)	بی‌تی‌یو بر ساعت	3412		(Btu/hr)
کیلو وات (kW)	کیلوکالری بر ساعت	860		(kcal/h)
کیلوکالری بر ساعت (kcal/h)	کیلو وات	1.16×10^{-3}		(kW)
بی‌تی‌یو بر فوت‌مربع (Btu/ft^2)	کیلوکالری‌برمترمربع	2.713		($kcal/m^2$)
بی‌تی‌یو بر فوت‌مربع (Btu/ft^2)	ژول بر مترمربع	1.136×10^4		(J/m^2)
بی‌تی‌یو بر فوت‌مربع در ساعت (Btu/ft^2h)	وات بر مترمربع	3.155 W/m^2		(W/m^2)
بی‌تی‌یو بر فوت‌مکعب در ساعت (Btu/ft^3h)	وات بر مترمکعب	10.35		(W/m^3)
بی‌تی‌یو بر فوت‌مربع فارنهایت ($Btu/ft^2 °F$)	کیلوکالری برمترمربع کلوین ($kcal/m^2 K$)	4.88		
بی‌تی‌یو بر فوت‌مربع فارنهایت ($Btu/ft^2 °F$)	ژول بر مترمربع کلوین ($J/m^2 K$)	2.043×10^4		
بی‌تی‌یو بر فوت‌مکعب (Btu/ft^3)	کیلوکالری بر مترمکعب ($kcal/m^3$)	8.9		
بی‌تی‌یو بر فوت‌مکعب (Btu/ft^3)	ژول بر مترمکعب	3.73×10^4		(J/m^3)
بی‌تی‌یو بر پوند (Btu/lb)	کیلوکالری بر کیلوگرم	0.556		(kcal/kg)
بی‌تی‌یو بر پوند (Btu/lb)	ژول بر کیلوگرم	2326		(J/kg)
کیلوکالری بر مترمربع ($kcal/m^2$)	بی‌تی‌یو بر فوت‌مربع	0.369		(Btu/ft^2)
کیلوکالری بر مترمربع کلوین ($kcal/m^2K$)	بی‌تی‌یو بر فوت‌مربع فارنهایت ($Btu/ft^2°f$)	0.205		
کیلوکالری بر مترمکعب ($kcal/m^3$)	بی‌تی‌یو بر فوت‌مکعب	0.112		(Btu/ft^3)
کیلوکالری‌برکیلوگرم (kcal/kg)	بی‌تی‌یو بر پوند	1.800		(Btu/lb)
تن تبرید (Tbr)	بی‌تی‌یو بر ساعت	12000		(Btu/hr)

← ادامه

جریان گرمایی، گرما و انرژی (ادامه)

یک:	برابر است با:		
تن تبرید (Tbr)	3.516	کیلو وات	(kW)
فوت‌مربع ساعت فارنهایت بر بی‌تی‌یو ($ft^2\ h°F/Btu$)	0.18	مترمربع کلوین بر وات	(m^2 K/W)
فوت‌مربع ساعت فارنهایت بر بی‌تی‌یو در اینچ ($ft^2\ h°F\ /Btu.in$)	6.9	متر کلوین بر وات	(m K/W)
بی‌تی‌یو بر ساعت فوت‌مربع فارنهایت ($Btu/h.ft^2°F$)	5.68	وات بر مترمربع کلوین	(W/m^2K)
ژول (J)	1	وات ثانیه	(Ws)
ژول (J)	1	نیوتن متر	(Nm)
ژول (J)	0.74	فوت پوند	(ft lb)
ژول (J)	9.478×10^{-4}	بی‌تی‌یو	(Btu)
بی‌تی‌یو (Btu)	1.055×10^3	ژول	(J)
بی‌تی‌یو (Btu)	0.252	کیلوکالری	(kcal)
بی‌تی‌یو (Btu)	778	فوت پوند	(ft lb)
بی‌تی‌یو (Btu)	0.293	وات ساعت	(Wh)
کیلوکالری (kcal)	3.9683	بی‌تی‌یو	(Btu)
کیلوکالری (kcal)	427	کیلوگرم متر	(kgm)
کیلوکالری (kcal)	4.187×10^3	ژول	(J)
فوت پوند (ft lb)	0.1383	کیلوگرم متر	(kgm)
فوت پوند (ft lb)	0.001286	بی‌تی‌یو	(Btu)
فوت پوند (ft lb)	1.356	ژول	(J)
کیلوگرم متر (kgm)	7.233	فوت پوند	(ft lb)
کیلوگرم متر (kgm)	0.00929	بی‌تی‌یو	(Btu)
کیلوگرم متر (kgm)	9.806	ژول	(J)

فشار

یک:		برابر است با:		
اینچ آب (در دمای 60°F)	(in.W)	0.03609	پوند بر اینچ مربع	(psi)
فوت آب (در دمای 39.2°F)	(ft.W)	0.43310	پوند بر اینچ مربع	(psi)
اینچ جیوه (در دمای 32°F)	(in.Hg)	0.4912	پوند بر اینچ مربع	(psi)
اینچ جیوه	(in.Hg)	3378	نیوتن برمترمربع	(N/m^2)
اینچ جیوه	(in.Hg)	12.8	اینچ آب	(in.W)
میلی‌متر آب	(mm.W)	1.42×10^{-3}	پوند بر اینچ مربع	(psi)
میلی‌متر آب	(mm.W)	9.80	نیوتن برمترمربع	(N/m^2)
میلی‌متر آب	(mm.W)	1.0	کیلوگرم بر مترمربع	(kg/m^2)
میلی‌متر آب	(mm.W)	0.0736	میلی‌متر جیوه	(mm.Hg)
میلی‌متر آب	(mm.W)	0.9677×10^{-4}	اتمسفر	(atm)
اتمسفر	(atm)	1.033×10^4	کیلوگرم بر مترمربع	(kg/m^2)
اتمسفر	(atm)	1.033	کیلوگرم برسانتی‌مترمربع	(kg/cm^2)
اتمسفر	(atm)	1.013×10^2	کیلونیوتن بر مترمربع	($k\ N/m^2$)
اتمسفر	(atm)	1.013	بار	(bar)
اتمسفر	(atm)	14.7	پوند بر اینچ مربع	(psi)
اتمسفر	(atm)	407.1	اینچ آب در دمای 62°F	(in.W)
اتمسفر	(atm)	30	اینچ جیوه در دمای 62°F	(in.Hg)
اتمسفر	(atm)	760	میلی‌متر جیوه در دمای 62°F	(mm.Hg)
پوند بر اینچ مربع	(psi)	6895	نیوتن بر مترمربع	(N/m^2)
پوند بر اینچ مربع	(psi)	6.895×10^{-2}	بار	(bar)
پوند بر اینچ مربع	(psi)	27.71	اینچ آب در دمای 62°F	(in.W)

← ادامه

فشار (ادامه)

یک:		برابر است با:		
پوند بر اینچ مربع (psi)		703.1	میلی‌متر آب در دمای 62°F	(mm.W)
پوند بر اینچ مربع (psi)		2.0416	اینچ جیوه در دمای 62°F	(in.Hg)
پوند بر اینچ مربع (psi)		51.8	میلی‌متر جیوه در دمای 62°F	(mm.Hg)
پوند بر اینچ مربع (psi)		703.6	کیلوگرم بر مترمربع	(kg/m^2)
پوند بر اینچ مربع (psi)		0.068	اتمسفر	(atm)
کیلوگرم بر مترمربع (kg/m^2)		1.422×10^{-3}	پوند بر اینچ مربع	(lb/in^2)
کیلوگرم بر مترمربع (kg/m^2)		9.81	نیوتن بر مترمربع	(N/m^2)
کیلوگرم بر مترمربع (kg/m^2)		0.0394	اینچ آب	(in.W)
کیلوگرم بر مترمربع (kg/m^2)		1.0	میلی‌متر آب	(mm.W)
کیلوگرم بر مترمربع (kg/m^2)		0.0736	میلی‌متر جیوه	(mm.Hg)
کیلوگرم بر مترمربع (kg/m^2)		0.9681×10^{-4}	اتمسفر	(atm)
نیوتن بر مترمربع (N/m^2)		0.1450×10^{-3}	پوند بر اینچ مربع	(lb/in^2)
نیوتن بر مترمربع (N/m^2)		1×10^{-5}	بار	(bar)
نیوتن بر مترمربع (N/m^2)		1×10^{-2}	میلی بار	(m bar)
نیوتن بر مترمربع (N/m^2)		4.03×10^{-3}	اینچ آب	(in.W)
نیوتن بر مترمربع (N/m^2)		0.336×10^{-3}	فوت آب	(mm.W)
نیوتن بر مترمربع (N/m^2)		0.1024	میلی‌متر آب	(mm.W)
نیوتن بر مترمربع (N/m^2)		0.295×10^{-3}	اینچ جیوه	(in.Hg)
نیوتن بر مترمربع (N/m^2)		7.55×10^{-3}	میلی‌متر جیوه	(mm.Hg)
نیوتن بر مترمربع (N/m^2)		0.1024	کیلوگرم بر مترمربع	(kg/m^2)
نیوتن بر مترمربع (N/m^2)		0.993×10^{-5}	اتمسفر	(atm)
کیلو نیوتن بر مترمربع ($K N/m^2$)		1×10^{-2}	بار	(bar)

← ادامه

فشار (ادامه)

یک:		برابر است با:		
بار (bar)		1×10^5	نیوتن بر مترمربع	(N/m^2)
بار (bar)		14.52	پوند بر اینچ مربع	(lb/in^2)
بار (bar)		100	کیلو نیوتن بر مترمربع	($k\ N/m^2$)
بار (bar)		10.4	میلی‌متر آب	(mm.W)
پاسکال (Pa)		1.0	نیوتن بر مترمربع	(N/m^2)

دبی جرمی و دبی حجمی

یک:		برابر است با:		
مترمکعب در ساعت	(m^3/h)	4.403	گالن در دقیقه	(gal/min) (آمریکایی)
مترمکعب در ساعت	(m^3/h)	3.666	گالن در دقیقه	(gal/min) (انگلیسی)
مترمکعب در ساعت	(m^3/h)	0.5886	فوت‌مکعب در دقیقه	(cfm)
گالن در دقیقه	(gpm) (آمریکایی)	0.227	مترمکعب در ساعت	(m^3/h)
گالن در دقیقه	(gpm) (انگلیسی)	0.273	مترمکعب در ساعت	(m^3/h)
گالن در دقیقه	(gpm)	0.133	فوت‌مکعب در دقیقه	(cfm)
گالن در دقیقه	(gpm)	37.848	لیتر در دقیقه	(l/min)
فوت‌مکعب در دقیقه	(cfm)	7.48	گالن در دقیقه	(gpm)
فوت‌مکعب در دقیقه	(cfm)	0.472	لیتر در ثانیه	(l/s)
فوت‌مکعب در دقیقه	(cfm)	28.32	لیتر در دقیقه	(l/min)
کیلوگرم بر ساعت	(kg/h)	0.0367	پوند بر دقیقه	(lb/min)
پوند بر دقیقه	(lb/min)	27.216	کیلوگرم بر ساعت	(kg/h)
لیتر بر دقیقه	(l/min)	0.035	فوت‌مکعب در دقیقه	(cfm)
لیتر بر دقیقه	(l/min)	0.264	گالن در دقیقه	(gpm)

دما

$°F = (°C \times 1.8) + 32$ (فارنهایت)

$°C = (F - 32) / 1.8$ (سلسیوس)

$°R = °F + 459.67$ (رانکین)

$°K = °C + 273.15$ (کلوین)

$°K = 5/9\ (°R)$ (کلوین)

جدول تبدیل واحدهای دما (فارنهایت به سلسیوس)

درجه فارنهایت	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0	-17.8	-17.2	-16.7	-16.1	-15.6	-15.0	-14.4	-13.9	-13.3	-12.8
10	-12.2	-11.7	-11.1	-10.6	-10.0	-9.4	-8.9	-8.3	-7.8	-7.2
20	-6.7	-6.1	-5.6	-5.0	-4.4	-3.9	-3.3	-2.8	-2.2	-1.7
30	-1.1	-0.6	-	-	-	-	-	-	-	-
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
30	-	0	0	0.6	1.1	1.7	2.2	2.8	3.3	3.9
40	4.4	5.0	5.6	6.1	6.7	7.2	7.8	8.3	8.9	9.4
50	10.0	10.6	11.1	11.7	12.2	12.8	13.3	13.9	14.4	15.0
60	15.6	16.1	16.7	17.2	17.8	18.3	18.9	19.4	20.0	20.6
70	21.1	21.7	22.2	22.8	23.3	23.9	24.4	25.0	25.6	26.1
80	26.7	27.2	27.8	28.3	28.9	29.4	30.0	30.6	31.1	31.7
90	32.2	32.8	33.3	33.9	34.4	35.0	35.6	36.1	36.7	37.2
100	37.8	38.3	38.9	39.4	40.0	40.6	41.1	42.7	42.2	42.8
110	43.3	43.9	44.4	45.0	45.6	46.1	46.7	47.2	47.8	48.3
120	48.9	49.4	50.0	50.6	51.1	51.7	52.2	52.8	53.3	53.9
130	54.4	55.0	55.6	56.1	56.7	57.2	57.8	58.3	58.9	59.4
140	60.0	60.6	61.1	61.7	62.2	62.8	63.3	63.9	64.4	65.0
150	65.6	66.1	66.7	67.2	67.8	68.3	68.9	69.4	70.0	70.6

← ادامه

جدول تبدیل واحدهای دما (فارنهایت به سلسیوس) (ادامه)

9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	درجه فارنهایت
°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	
76.1	75.6	75.0	74.4	73.9	73.3	72.8	72.2	71.7	71.1	160
81.7	81.1	80.6	80.0	79.4	78.9	78.3	77.8	77.2	76.7	170
87.2	86.7	86.1	85.6	85.0	84.4	83.9	83.3	82.8	82.2	180
92.8	92.2	91.7	91.1	90.6	90.0	89.4	88.9	88.3	87.8	190
98.3	97.8	97.2	96.7	96.1	95.6	95.0	94.4	93.9	93.3	200
103.9	103.3	102.8	102.2	101.7	101.1	100.6	100.0	99.4	98.9	210
109.4	108.9	108.3	107.8	107.2	106.7	106.1	105.6	105.0	104.4	220
115.0	114.4	113.9	113.3	112.8	112.2	111.7	111.1	110.6	110.0	230
120.6	120.0	119.4	118.9	118.3	117.8	117.2	116.7	116.1	115.6	240
126.1	125.6	125.0	124.4	123.9	123.3	122.8	122.2	121.7	121.1	250
131.7	131.1	130.6	130.0	129.4	128.9	128.3	127.8	127.2	126.7	260
137.2	136.7	136.1	135.6	135.0	134.4	133.9	133.3	132.8	132.2	270
142.8	142.2	141.7	141.1	140.6	140.0	139.4	138.9	138.3	137.8	280
148.3	147.8	147.2	146.7	146.1	145.6	145.0	144.5	143.9	143.3	290
153.9	153.3	152.8	152.2	151.7	151.1	150.6	150.0	149.4	148.9	300
159.4	158.9	158.3	157.8	157.2	156.7	156.1	155.6	155.0	154.4	310
165.0	164.4	163.9	163.3	162.8	162.2	161.7	161.1	160.6	160.0	320
170.6	170.0	169.4	168.9	168.3	167.8	167.2	166.7	166.1	165.6	330
176.1	175.6	175.0	174.4	173.9	173.2	172.8	172.2	171.7	171.1	340
181.7	181.1	180.6	180.0	179.4	178.9	178.3	177.8	177.2	176.7	350
187.2	186.7	186.1	185.6	185.0	184.4	183.9	183.3	182.8	182.2	360
192.8	192.2	191.7	191.1	190.6	190.0	189.4	188.9	188.3	187.8	370
198.3	197.8	197.2	196.7	196.1	195.6	195.0	194.4	193.9	193.3	380
203.9	203.3	202.8	202.2	201.7	201.1	200.6	200.0	199.4	198.9	390
209.4	208.9	208.3	207.8	207.2	206.7	206.1	205.6	205.0	204.4	400

← ادامه

جدول تبدیل واحدهای دما (فارنهایت به سلسیوس) (ادامه)

9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	درجه فارنهایت
°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	
215.0	214.4	213.9	213.3	212.8	212.2	211.7	211.1	210.6	210.0	410
220.6	220.2	219.4	218.9	218.3	217.8	217.2	216.7	216.1	215.6	420
226.1	225.6	225.0	224.4	223.9	223.3	222.8	222.2	221.7	221.1	430
231.7	231.1	230.6	230.0	229.4	228.9	228.3	227.8	227.2	226.7	440
237.2	236.7	236.1	235.6	235.0	234.4	233.9	233.3	232.8	232.2	450
242.8	242.2	241.7	241.1	240.6	240.0	239.4	238.9	238.3	237.8	460
248.3	247.8	247.2	246.7	246.1	245.6	245.0	244.4	243.9	243.3	470
253.9	253.3	252.8	252.2	251.7	251.1	250.6	250.0	249.4	248.9	480
259.4	258.9	258.3	257.8	257.2	256.7	256.1	255.6	255.0	254.4	490
-	-	-	-	-	-	-	-	-	260.0	500

F= (C × 1.8) + 32

جدول تبدیل واحدهای دما (سلسیوس به فارنهایت)

9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	درجه سلسیوس
°F	°F	°F	°F	°F	°F	°F	°F	°F	°F	
48.2	46.4	44.6	42.8	41.0	39.2	37.4	35.6	33.8	32.0	0
66.2	64.4	62.6	60.8	59.0	57.2	55.4	53.6	51.8	50.0	10
84.2	82.4	80.6	78.8	77.0	75.2	73.4	71.6	69.8	68.0	20
102.2	101.4	98.6	96.8	95.0	93.2	91.4	89.6	87.8	86.0	30
120.2	118.4	116.6	114.8	113.0	111.2	109.4	107.6	105.8	104.0	40
138.2	136.4	134.6	132.8	131.0	129.2	127.4	125.6	123.8	122.0	50
156.2	154.4	152.6	150.8	149.0	147.2	145.4	143.6	141.8	140.0	60
174.2	172.4	170.6	168.8	167.0	165.2	163.4	161.6	159.8	158.0	70
192.2	190.4	188.6	186.8	185.0	183.2	181.4	179.6	177.8	176.0	80
210.2	208.4	206.6	204.2	203.0	201.2	199.4	197.6	195.8	194.0	90
228.2	226.4	224.6	222.8	221.0	219.2	217.4	215.6	213.8	212.0	100

← ادامه

جدول تبدیل واحدهای دما (سلسیوس به فارنهایت) (ادامه)

9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	درجه سلسیوس
°F	°F	°F	°F	°F	°F	°F	°F	°F	°F	
246.2	244.4	242.6	240.8	239.0	237.2	235.4	233.6	231.8	230.0	110
264.2	262.4	260.6	258.8	257.0	255.2	253.4	251.6	249.8	248.0	120
282.2	280.4	278.6	276.8	275.0	273.2	271.4	269.6	267.8	266.0	130
300.2	298.4	296.6	294.8	293.0	291.2	289.4	287.6	285.8	284.0	140
318.2	316.4	314.6	312.8	311.0	309.2	307.4	305.6	303.8	302.0	150
336.2	334.4	332.6	330.8	329.0	327.2	325.4	323.6	321.8	320.0	160
354.2	352.4	350.6	348.8	347.0	345.2	343.4	341.6	339.8	338.0	170
372.2	370.4	368.6	366.8	365.0	363.2	361.4	359.6	357.8	356.0	180
390.2	388.4	386.6	384.8	383.0	381.2	379.4	377.6	375.8	374.0	190
408.2	406.4	404.6	402.8	401.0	399.2	397.4	395.6	393.8	392.0	200
426.2	424.4	422.6	420.8	419.0	417.2	415.4	413.6	411.8	410.0	210
444.2	442.4	440.6	438.8	437.0	435.2	433.4	431.6	429.8	428.0	220
462.2	460.4	458.6	456.8	455.0	453.2	451.4	449.6	447.8	446.0	230
480.2	478.4	476.6	474.8	473.0	471.2	469.4	467.6	465.8	464.0	240
498.2	496.4	494.6	492.8	491.0	489.2	487.4	485.6	483.8	482.0	250
516.2	514.4	512.6	510.8	509.0	507.2	505.4	503.6	501.8	500.0	260
534.2	532.4	530.6	528.8	527.0	525.2	523.4	521.6	519.8	518.0	270
552.2	550.4	548.6	546.8	545.0	543.2	541.4	539.6	537.8	536.0	280
570.2	568.4	566.6	563.8	563.0	561.2	559.4	557.6	555.8	554.0	290
588.2	586.4	584.6	528.8	581.0	579.2	577.4	575.6	573.8	572.0	300

C = (F-32) ÷ 1.8

❋ ❋ ❋

۲

محاسبات

۲-۱ شرایط محیطی..... ۱۱۹

- شرایط طراحی زمستانی و تابستانی ۱۲۰
- جداول روز - درجه ۱۲۶
- شرایط مطلوب داخلی..... ۱۳۲
- تعیین رطوبت نسبی..... ۱۳۵
- تهویه و مقدار هوای تازه..... ۱۳۷

۲-۲ تخمین بارهای سرمایشی و گرمایشی..... ۱۴۷

- تخمین بارها با روش‌های مختلف ۱۵۱
- تخمین بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی..... ۱۶۱
- تخمین دبی آب و هوای حامل بار ..... ۱۹۶، ۱۹۹

۲-۳ عوامل موثر در افزایش بار....۲۰۳

- بار گرمایی تجهیزات ۲۰۴
- بار گرمایی روشنایی..... ۲۰۸
- بار گرمایی ساکنین ۲۱۱
- هدایت و مقاومت گرمایی مصالح و جداره‌ها..... ۲۱۵
- بار ناشی از انتقال گرما، تابش و نفوذ ۲۴۶

۲-۱

شرایط محیطی

این بخش شامل جداول و اطلاعات مربوط به طرح دمای داخل، دمای خارج، تهویه، رطوبت و تصفیه هوای اماکن مختلف است.

شرایط طراحی زمستانی و تابستانی برخی شهرهای ایران

جداول شـــرایط طراحی زمستانی و تابســـتانی برخی شهرهای ایران، برگرفته از نشریه 271 دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشـــور است که در ســـال 1382 تحت عنوان «شرایط طراحی برای محاسبات تاسیســـات گرمایی، تعویض هوا و تهویه‌مطبوع مخصوص تعدادی از شـــهرهای کشور» توسط معاونت امور فنی تهیه و از طریق مرکز مدارک علمی و انتشارات امور پشتیبانی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور منتشر شده است. در این نشریه شرایط طراحی برای 461 شهر و منطقه به طور کامل همراه با شرایط جغرافیایی آنها درج شده است. در جداول کتاب حاضر تنها به معرفی شرایط 50 شهر و منطقه اکتفا شده است. علاقمندان بنا به تمایل و ضرورت و برای کسب اطلاعات بیشتر و جامع‌تر می‌توانند به این نشریه مفید مراجعه کنند.

شرایط طراحی زمستانی و تابستانی برخی شهرهای ایران

ردیف	نام شهر	شرایط جغرافیایی				شرایط تابستانی در ساعت 15:00								شرایط زمستانی ساعت 6:00	
		عرض جغرافیایی deg.	ارتفاع از سطح دریا ft	فشار بارومتریک in.Hg	ضریب محسوس	ضریب نهان	دمای خشک °F	تغییرات روزانه °F	رطوبت نسبی ٪ 12:30	رطوبت نسبی ٪ 15:00	دمای مرطوب °F	مقدار رطوبت Gr/lb	نقطه شبنم °F	دمای خشک °F	رطوبت نسبی ٪
1	آبادان	30.33	7	29.91	1.084	0.683	114	31	18	15.47	74.71	66.71	55.92	37	85.5
2	آمل	36.42	250	29.65	1.074	0.677	89	15	73	67.34	79.71	141.05	76.85	29	88.5
3	اراک	34.08	5750	24.2	0.877	0.552	96	31.5	20	16.94	62.72	52.97	44.17	10	79
4	اردبیل	38.25	4300	25.55	0.926	0.583	85.5	29	52	44.34	68.47	95.49	61.36	-7.5	78
5	ارومیه	37.53	4400	25.45	0.922	0.581	88	26.5	39.5	31.86	65	73	53.93	10.5	82
6	اصفهان	32.67	5250	24.66	0.893	0.563	98.5	38	14	11.48	61	37.88	36.24	12.5	80
7	اهواز	31.32	40	29.87	1.082	0.682	115.5	32	30	25.66	82	113.58	70.78	37	87
8	ایلام	33.62	4720	25.15	0.911	0.574	95	31.5	30	25.4	67.12	74.46	54.13	24	75
9	بابل	36.55	-10	29.93	1.084	0.683	90.5	22	66	58.66	78.31	127.19	74.11	28	89

← ادامه

شرایط طراحی زمستانی و تابستانی برخی شهرهای ایران (ادامه)

ردیف	نام شهر	شرایط جغرافیایی				شرایط تابستانی در ساعت 15:00								شرایط زمستانی ساعت 6:00		
		عرض جغرافیایی deg.	ارتفاع از سطح دریا ft	فشار بارومتریک in.Hg	ضریب محسوس	ضریب نهان	دمای خشک °F	تغییرات روزانه °F	رطوبت نسبی ٪ 12:30	رطوبت نسبی ٪ 15:00	دمای مرطوب °F	مقدار رطوبت Gr/lb	نقطه شبنم °F	دمای خشک °F	رطوبت نسبی ٪
10	بجنورد	37.47	3510	26.31	0.953	0.6	93	30	32.5	27.74	68.67	77.79	56.55	9.5	82
11	بروجرد	33.9	3800	26.03	0.943	0.594	97	34.5	19.5	16.27	63.72	48.71	43.91	12	8
12	بندرامام خمینی	30.4	7	29.91	1.084	0.683	108.5	37	40	33.24	82.12	123.98	73.35	37.5	82
13	بندر انزلی	37.47	-50	30	1.087	0.685	85	13.5	77	59.05	77.12	121.71	72.9	33	91
14	بندر بوشهر	29	16	29.9	1.083	0.682	104	18.5	48	43.71	83.71	143.55	77.62	42.5	85
15	بندر عباس	27.2	33	29.88	1.083	0.682	105	17	57.5	54.03	89.47	187.39	85.54	45.5	80
16	بوشهر	29	16	29.9	1.083	0.682	104	18.5	48	43.71	83.71	143.55	77.62	42.5	85
17	بیرجند	32.88	4850	25.03	0.907	0.571	98	28.5	16	13.8	62.4	44.2	40.45	14.5	72
18	تالش	37.8	150	29.75	1.078	0.679	87	17.5	30	27.28	63.88	52.39	49.31	29	86

← ادامه

شرایط طراحی زمستانی و تابستانی برخی شهرهای ایران (ادامه)

ردیف	نام شهر	شرایط جغرافیایی				شرایط تابستانی در ساعت 15:00								شرایط زمستانی ساعت 6:00	
		عرض جغرافیایی deg.	ارتفاع از سطح دریا ft	فشار بارومتریک in.Hg	ضریب محسوس	ضریب نهان	دمای خشک °F	تغییرات روزانه °F	رطوبت نسبی ٪ 12:30	رطوبت نسبی ٪ 15:00	دمای مرطوب °F	مقدار رطوبت Gr/lb	نقطه شبنم °F	دمای خشک °F	رطوبت نسبی ٪
19	تبریز	37.8	4480	25.38	0.92	0.579	93	24	25.5	23.75	64.39	62.73	49.82	12.5	80
20	تربت جام	35.22	2980	26.83	0.972	0.612	98	24.5	30	26.41	70.23	79.61	57.73	11.5	76
21	تربت حیدریه	35.28	4370	25.43	0.921	0.58	94.5	23.5	21.5	16.87	63.24	50.18	44.07	13	84
22	تهران (پارک‌شهر)	35.67	4020	25.82	0.935	0.589	97	26	35	30.55	71.31	93.14	60.96	22.5	80
23	تهران (تجریش)	35.8	5020	24.87	0.901	0.568	96	24.5	44	38.69	74.23	119.46	66.85	18.5	85
24	تهران (نارمک)	35.75	4230	25.62	0.928	0.585	94	24	28	24.66	66.23	68.74	52.49	19.5	77
25	جزیره کیش	26.5	100	29.81	1.08	0.68	102	15	55	50.95	85.19	158.7	80.49	52	31
26	چابهار	25.28	33	29.88	1.083	0.682	98.5	16.5	60	55.09	83.91	153.93	79.66	50	76
27	خرم‌آباد	33.53	3850	25.89	0.938	0.591	102.5	38	17.5	14.91	65.47	51.44	45.17	20.5	23

← ادامه

شرایط طراحی زمستانی و تابستانی برخی شهرهای ایران (ادامه)

ردیف	نام شهر	شرایط جغرافیایی: عرض جغرافیایی deg.	ارتفاع از سطح دریا ft	فشار بارومتریک in.Hg	ضریب محسوس	ضریب نهان	شرایط تابستانی در ساعت 15:00: دمای خشک °F	تغییرات روزانه °F	رطوبت نسبی ٪ 12:30	رطوبت نسبی ٪ 15:00	دمای مرطوب °F	مقدار رطوبت Gr/lb	شرایط زمستانی ساعت 6:00: نقطه شبنم °F	دمای خشک °F	رطوبت نسبی ٪
28	خرمشهر	30.43	10	29.91	1.084	0.682	109.5	24	28	24.85	78.08	94.82	65.66	40.5	84
29	خوی	38.55	3750	25.96	0.941	0.592	91.5	28	41	31.34	67.79	79.96	56.93	9.5	86
30	دامغان	36.15	3840	25.99	0.942	0.593	96	26	38	33.15	71.91	97.47	62.41	18	72
31	رامسر	36.9	-69	29.99	1.087	0.684	85	14	72	66.69	76	121.09	72.74	30.5	92
32	رشت	37.27	-12	29.95	1.085	0.683	89.5	16.5	67	61.31	78.31	128.89	74.5	28	92
33	زاهدان	29.5	4430	25.36	0.919	0.579	99.5	30	12	12.74	63	42.82	39.98	19.5	70
34	زنجان	36.67	5410	24.51	0.888	0.559	91.5	30.5	28	23.78	63.72	64.04	49.43	2	80
35	ساری	36.57	131	29.77	1.079	0.679	92.5	22.5	63	55.89	79.04	129.73	74.53	26.5	92
36	سرخس	36.53	900	28.96	1.049	0.661	102.5	35	28	23.4	72.27	74.75	58.12	14	86.5

← ادامه

شرایط طراحی زمستانی و تابستانی برخی شهرهای ایران (ادامه)

ردیف	نام شهر	شرایط جغرافیایی			شرایط تابستانی در ساعت 15:00								شرایط زمستانی ساعت 6:00		
		عرض جغرافیایی deg.	ارتفاع از سطح دریا ft	فشار بارومتریک in.Hg	ضریب محسوس	ضریب نهان	دمای خشک °F	تغییرات روزانه °F	رطوبت نسبی ٪ 12:30	رطوبت نسبی ٪ 15:00	دمای مرطوب °F	مقدار رطوبت Gr/lb	نقطه شبنم °F	دمای خشک °F	رطوبت نسبی ٪
37	سقز	36.23	4920	24.97	0.905	0.57	94	36	28	23.13	65.23	66.1	50.76	0.5	80
38	سمنان	35.33	3730	26.12	0.946	0.596	101	20	22.5	22.05	70.27	76.98	56.07	24	70.5
39	سنندج	35.32	4500	25.03	0.907	0.571	98.5	36.5	20	15.5	63.72	50.52	43.83	8.5	82.5
40	شهرکرد	32.32	6750	22.3	0.844	0.532	92	35	18.5	22.96	65.23	72.62	51.39	6.5	81
41	شیراز	29.6	4900	24.84	0.9	0.567	100.5	31	16	10.11	60.72	34.09	33.86	26	78
42	قزوین	36.27	4230	25.62	0.928	0.585	95.5	28.5	23.5	22.58	66.83	67.95	52.18	13	83
43	قوچان	37.1	3990	25.85	0.936	0.59	92.5	30.5	31	26.34	66.12	69.49	53.02	4	83.5
44	کرج	35.8	4460	25.4	0.92	0.58	96	30	24.5	20.47	63.99	57.4	47.51	17	80.5

← ادامه

شرایط طراحی زمستانی و تابستانی برخی شهرهای ایران (ادامه)

ردیف	نام شهر	شرایط جغرافیایی			شرایط تابستانی در ساعت 15:00							شرایط زمستانی ساعت 6:00		
		عرض جغرافیایی deg.	ارتفاع از سطح دریا ft	فشار بارومتریک in.Hg	ضریب محسوس	ضریب نهان	دمای خشک °F	تغییرات روزانه °F	رطوبت نسبی ٪ 12:30	رطوبت نسبی ٪ 15:00	دمای مرطوب °F	مقدار رطوبت Gr/lb	نقطه شبنم °F	دمای خشک °F	رطوبت نسبی ٪
45	کرمان	30.28	5740	24.21	0.877	0.552	97.5	32	15	11.41	59.72	36.64	34.98	11.5	73
46	گرگان	36.83	525	29.35	1.064	0.67	95	18.5	51	46.27	77.47	117.35	71.2	30.5	75
47	مشهد	36.27	3180	26.63	0.965	0.608	95.5	28	32.5	28	69.27	78.91	57.28	15	67
48	همدان	34.8	6070	23.91	0.866	0.546	93	37.5	25.5	20.41	62.72	58.97	46.62	2.5	84.5
49	یاسوج	30.82	6130	23.86	0.864	0.544	94	44	24	18.98	62.3	56.67	45.53	14.5	84
50	یزد	31.88	4000	25.85	0.936	0.59	104	27	15	12.08	65	44.89	41.65	22.5	71

جدول روز - درجه برخی شهرهای ایران

اعداد پیش روی هر شهر در قسمت بالا مربوط به روز- درجه گرمایش با مبنای 18°C و در قسمت پایین مربوط به روز - درجه سرمایش با مبنای 21°C است.

نام شهر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	کل (در سال)
اراک	578.2	461.17	326.6	143.4	38	0.7	0	0	2.8	88.9	286.4	470.7	2397.4
	0	0	0	0.1	8.7	91.3	193.7	166.5	45.6	0.6	0	0	506.5
اردبیل	637.5	534	455.4	245.7	163.2	70.8	25	30.7	85.7	217.2	365.8	534.2	3365.2
	0	0	0	0	0.2	1.8	6	6.2	3.1	0	0	0	17.3
ارومیه	611.5	507.8	401	210.7	83.6	9.7	0.3	0.3	15.8	145.5	335.1	513.7	2835
	0	0	0	0	0.8	21.5	92.8	81.2	11.7	0.1	0	0	208.1
اصفهان	451	338.1	234.4	77.4	9.4	0	0	0	0.9	54	237.4	403.2	1805.8
	0	0	0	1.7	37.8	161.8	243.3	195.9	75.3	2	0	0	717.8
اهواز	172.7	104.2	25.9	0.9	0	0	0	0	0	0	22.2	124.4	450.3
	0	0.2	11.3	114.2	300.5	418.4	490.2	448.8	345.4	183.5	22.4	0.2	2335.1

← ادامه

جدول روز - درجه برخی شهرهای ایران (ادامه)

نام شهر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	کل (در سال)
ایلام	412.5	352.7	281.2	103.3	14.1	0	0	0	0	20.2	184.8	338.9	177.7
	0	0	0	1.3	40.1	151.5	264.7	258.2	126.2	15.6	0	0	857.6
بجنورد	514.9	443.3	350.1	143.9	52.4	3.2	0.1	0.5	12.6	133.7	290.5	443.3	2388.5
	0	0	0	0.6	7.5	58.8	130.1	103.8	25	0.5	0	0	326.3
بندرعباس	30.2	12.3	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0.1	11.7	55.2
	1.7	8.5	57.5	162.6	299.8	368.7	413.3	401.1	338.8	257.1	99.4	11.9	2419.9
بوشهر	115	75.5	20.4	0.7	0	0	0	0	0	0	6.7	64.6	282.9
	0.2	0.9	16.2	102.2	246.7	309.1	374.9	377.3	290.9	176.5	36.7	1.7	1933.3
بیرجند	419.3	320.9	208.7	60.5	7.5	0	0	0.1	5.3	62.4	214.6	361.3	1660.6
	0	0	0.1	8.5	61	161.5	206.9	149.3	55.9	4.5	0	0	647.7
تبریز	611.7	497.9	393.8	199.4	66.1	5.8	0.2	0.2	6.8	119.4	328.9	523.1	2753.3
	0	0	0	0	3.1	53	155.3	148.3	38.7	0.4	0	0	398.8

← ادامه

جدول روز - درجه برخی شهرهای ایران (ادامه)

نام شهر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	کل (در سال)
تهران	444.4	345.5	241.2	71.1	9.3	0.2	0	0	0.4	31.7	197.7	378.7	1720.2
	0	0	0	7.3	62.1	192.1	285.7	261.1	135.7	15.2	0	0	959.2
خرم‌آباد	387.7	307.7	228.4	89.6	15	0	0	0	0	24.4	173.3	330	1556.1
	0	0	0	1.1	29.4	139.6	262.7	247.2	107.1	10.2	0.1	0	797.4
رشت	343.8	312.5	276.2	119.2	21.8	1.5	0	0.1	2.4	43.8	160.2	284.2	1565.7
	0.1	0	0.1	1.6	12.3	69.4	131.5	128.1	49.2	4.1	0.6	0.2	397.2
زاهدان	334.6	227.5	117	25.1	1.5	0	0	0	2.4	41.3	162.6	283.9	1195.9
	0	0	2.1	32.2	111.6	194	230.4	171.2	62.3	10.4	0.3	0	814.5
زنجان	635.7	528.5	420.2	224.4	97.5	14.1	0.8	1	21.6	158.2	347.1	532.7	2981.8
	0	0	0	0	0.6	19.9	81.1	73.3	9.6	0	0	0	184.5
سمنان	433.9	336.7	216.2	49.4	5.1	0	0	0	0.5	25.8	179.2	370.2	1617
	0	0	0.1	14	88.8	235.8	326.7	292.4	159.7	20.6	0	0	1138.1

← ادامه

جدول روز - درجه برخی شهرهای ایران (ادامه)

نام شهر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	کل (در سال)
سنندج	559.5	462	374.4	178.5	55.9	1	0	0	2.8	96.9	287.4	461.6	2453
	0	0	0	0	2.1	57	189.4	168.8	28.4	0.3	0	0	446
شهرکرد	596.3	474.4	372.2	202.7	74.1	3.6	0	0.2	17.8	150.4	318.5	488.2	2698.4
	0	0	0	0	0.2	22.4	94.7	68.7	6.4	0	0	0	192.4
شیراز	367.6	276.7	190	62.1	5	0	0	0	0.2	19.7	167	312.6	1400.9
	0	0	0	2.3	58	174.7	253.1	224.3	104.3	6.7	0	0	823.4
قزوین	536.5	432.9	325.2	143.8	38.7	1	0	0	3.6	84.8	265.5	454.7	2286.7
	0	0	0	0.1	9.5	79.9	169.8	154	47.9	1.4	0	0	462.6
قم	422.3	319.7	213.3	39.1	3.5	0	0	0	0.1	31.8	199.7	369	1598.5
	0	0	0.1	10.3	89.1	233.5	326.3	284.5	124.8	13.1	0	0	1081.71
کرمان	417.3	307.3	211.8	71.3	8.3	0.1	0	0.2	8.2	80.3	243.2	374.1	1722.1
	0	0	0	2.2	37.9	136.3	175.9	111.3	35.8	0.9	0	0	500.3

← ادامه

جدول روز - درجه برخی شهرهای ایران (ادامه)

نام شهر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	کل (در سال)
کرمانشاه	496.5	407.4	318.9	161.2	50.2	0.9	0	0	1.3	74.1	260.4	422.7	2193.6
	0	0	0	0.1	3.9	61.8	191.3	171.7	40.7	1.1	0	0	470.6
گرگان	309.4	268.5	225.8	86.6	10.9	0.4	0	0	0.6	24.5	124.3	249.4	1300.4
	0	0	0.7	8.2	45.7	132.2	208.2	208.5	113.7	18.3	1	0.2	736.8
مشهد	507.8	410.4	304.8	120.1	28.1	1	0	0.3	15.9	127.5	284.3	438.1	2238.3
	0	0	0	2.7	22.4	99.9	167.5	114.2	25.5	1.3	0	0	433.5
نوشهر	328.1	302.3	275.3	129.9	29.1	0.7	0	0	0.3	29.9	136.5	259.6	1491.7
	0	0	0.1	104	5.5	56.2	131.4	134.2	58.8	4	0	0	391.6
همدان	635	526.1	403.4	199.2	88.8	6.7	0	0.5	22.5	167.2	347.2	528.3	2924.9
	0	0	0	0	0.3	16.8	96.2	78.7	3.9	0.1	0	0	196
یاسوج	460.7	369.9	295.8	119.9	19	0	0	0	0.4	53.3	225.3	361.9	1906.2
	0	0	0	0	9.6	85.1	184.3	165.2	49.6	0.1	0	0	493.9
یزد	374.3	264	150	27.7	1.1	0	0	0	0.4	21.8	170.6	327.5	1337.4
	0	0	0.7	24.5	122.9	267.9	334.5	274.8	147.3	17.5	0	0	1190.1

روز - درجه سالانه

مطابق مقررات ملی ساختمان

شهر	روز- درجه گرمایی	روز- درجه سرمایی
آبادان	430	2355
اراک	2345	500
ارومیه	2670	260
اصفهان	1870	665
اهواز	510	2255
ایرانشهر	290	2595
بابلسر	1440	483
کرمانشاه	2300	415
بم	715	1600
بندر انزلی	1650	435
بندرعباس	50	2505
بندر لنگه	70	2165
بوشهر	305	1820
بیرجند	1595	695
تبریز	2350	345
تربت حیدریه	2215	460
تهران	1810	865
جاسک	25	2100
چابهار	20	2000
خرم‌آباد	1430	905
خوی	2805	260
دزفول	565	2150
رامسر	1505	350
رشت	1640	325
زابل	955	1705
زاهدان	1225	765
زنجان	2945	185
سبزوار	1840	855
سقز	2950	235
سمنان	1650	1065
سنندج	2515	460
شاهرود	2195	435
شهرکرد	2715	210
شیراز	1490	715
طبس	1080	1520
قزوین	2190	510
کاشان	1480	1400
کرمان	1750	510
گرگان	1310	745
مشهد	2360	365
همدان	2970	220
یزد	1405	1130

طرح دمای داخل در زمستان

مکان	°C	°F
حمام ها	22	71.6
اتاق خواب	18	64.4
رختکن	16	60.8
کلاس	20	68
راهرو	16	60.8
اتاق ناهارخوری	20	68
سالن‌های نمایش	18	64.4
کارخانجات:		
کارهای نشسته	18	64.4
کارهای سبک	16	60.8
کارهای سنگین	13	55.4
سالن ژیمناستیک	15	59
تالار اجتماعات	18	64.4
ورودی سالن اجتماعات	16	60.8
اتاق هتل	21	70
آشپزخانه	16	60.8

مکان	°C	°F
آزمایشگاه	20	68
اتاق کنفرانس	20	68
کتابخانه	20	68
اتاق نشیمن	21	70
موزه	20	68
اتاق اداری	20	68
تئاتر	24	75
زندان	18	64.4
اتاق‌های بازی	18	64.4
رستوران	18	64.4
مغازه و کارگاه کوچک	18	64.4
فروشگاه	15	59
استخر شنا	27	80.6
اتاق بستری	18	64.4
اتاق انتظار	18	64.4
انبار	16	60.8

طرح شرایط داخل در تابستان

دمای مناسب: 22°C - 20° (71.6°F - 68)

رطوبت نسبی: 65% - 40

شرایط مطلوب داخل در تابستان برای تابش کمتر از سه ساعت

شرایط هوای داخل با نقطه شبنم ثابت در 14°C			
دمای خشک بیرون °C	دمای خشک داخلی °C	دمای مرطوب داخلی °C	رطوبت نسبی داخلی %
35	27	18.5	44
32	26	18.0	46
29	25	17.8	52
27	24	17.5	51
24	23	17.2	57
21	22	17.0	57

دمای هوای ورودی به فضای مورد تهویه

برای گرمایش:	به طور طبیعی: 26-32°C (78.8-89°F)
	مخلوط خوب: 38-49°C (100-120°F)
برای سرمایش:	در صورت نزدیکی ورودی هوا به بخش‌های مورد استفاده ساکنین: 5-9°C (41-48°F) زیر دمای اتاق
	در صورت پخش هوا با سرعت زیاد: (62 °F) 17°C زیر دمای اتاق

دمای داخل مکان‌هایی که گرم نمی‌شوند

مکان	°C	°F
زیر شیروانی	0	32
زیر شیروانی با سقف عایق	4	39
سرداب	0	32
سرسراهای بزرگ با درهای متعدد که به تناوب باز می‌شوند	0	32
اتاق‌های داخلی که دیوار مشرف به خارج ندارند	2	35.6

راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه‌مطبوع - ویرایش یازدهم
تالیف فرد پورجز - ترجمه محمدرضا سلطاندوست

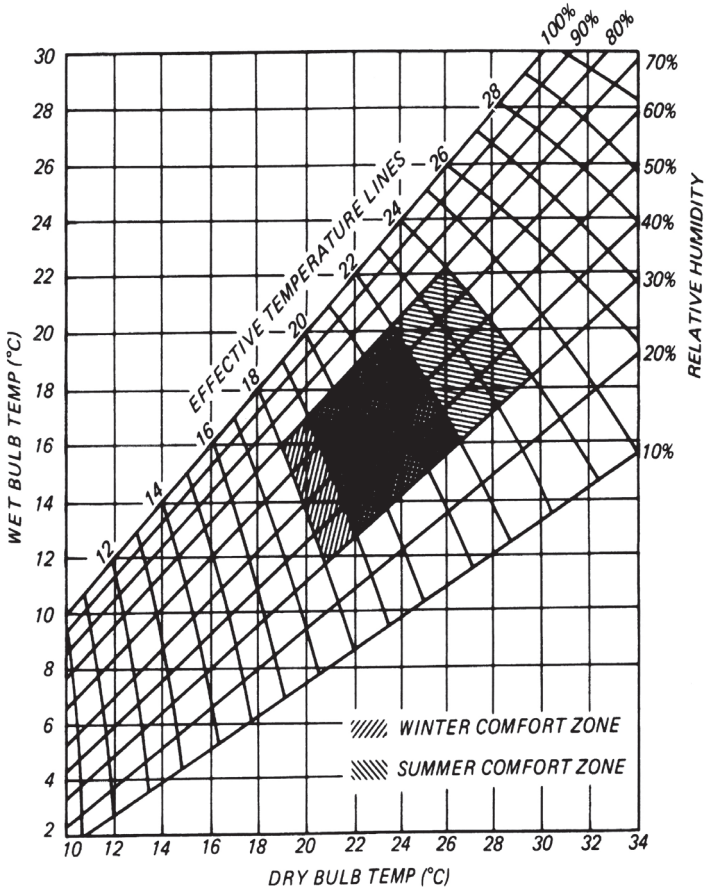
دامنه دمای مناسب تابستانی و زمستانی متناسب با رطوبت نسبی

رطوبت نسبی (٪)	دمای تابستانی (°F)	دمای زمستانی (°F)
30	68.5-76.0	74.0-80.0
40	68.5-75.5	73.5-79.5
50	68.5-74.5	73.0-79.0
60	68.0-74.0	72.5-78.0

SOURCE: INDOOR AIR QUALITY -2ND EDITION-ED BAS.

نمودار شرایط مطلوب تابستانی و زمستانی

نمودار برای سـرعت 0.1 m/s و در هوای آرام قابل قبول است. در صورت افزایش سـرعت تا 0.4 m/s دمای موثر به میزان یک درجه سلسیوس افزایش می‌یابد.



تعیین رطوبت نسبی

تعیین رطوبت نسبی بر اساس اختلاف دمای خشک و مرطوب

(دما بر حسب سلسیوس و رطوبت نسبی بر حسب درصد)

دمای خشک °C	اختلاف بین دمای خشک و مرطوب (°C)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	100	88	77	66	55	44	34	25	15	6	0	0
11	100	89	78	67	56	46	36	27	18	9	2	0
12	100	89	78	68	58	48	39	29	21	12	3	0
13	100	90	79	69	60	50	41	32	34	15	6	1
14	100	90	80	70	61	52	43	34	26	17	8	2
15	100	90	81	71	62	53	44	36	28	20	11	5
16	100	90	81	71	63	54	46	37	30	22	14	8
17	100	91	82	72	64	56	48	39	32	25	17	11
18	100	91	82	73	65	57	49	41	34	27	20	13
19	100	91	83	74	66	59	51	43	36	29	23	16
20	100	91	83	74	67	59	52	44	38	31	25	18
21	100	92	83	75	68	61	53	46	40	33	27	20
22	100	92	83	75	68	61	54	47	41	34	28	22
23	100	92	84	76	69	62	55	48	42	36	30	24
24	100	92	84	76	70	63	56	49	43	37	31	26
25	100	92	85	77	71	64	57	51	45	39	33	28
26	100	92	85	77	71	64	58	52	46	40	34	29
27	100	93	85	78	72	65	59	53	47	42	36	31
28	100	93	85	78	72	66	59	54	48	43	37	32
29	100	93	86	79	73	67	60	55	49	44	39	34
30	100	93	86	79	73	67	61	56	50	45	40	35
31	100	93	86	80	74	68	62	57	51	46	41	36
32	100	93	86	80	74	68	63	57	52	47	42	37
33	100	93	87	81	75	69	64	58	53	48	43	38
34	100	93	87	81	75	69	64	59	53	49	44	39
35	100	94	87	82	76	70	65	60	54	50	45	41
36	100	94	87	82	76	70	65	60	55	50	46	41
37	100	94	88	82	76	71	66	61	56	51	47	42
38	100	94	88	82	76	71	66	61	56	52	47	43

تعیین رطوبت نسبی بر اساس اختلاف دمای خشک و مرطوب

(دما بر حسب فارنهایت و رطوبت نسبی بر حسب درصد)

دمای خشک °F	اختلاف بین دمای خشک ومرطوب (°F)										
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
50	100	87	74	62	50	39	28	17	7	0	0
52	100	88	75	63	52	41	30	20	10	0	0
54	100	88	76	65	54	43	33	23	14	5	0
56	100	88	77	66	55	45	35	26	17	8	0
58	100	88	77	67	57	47	38	28	20	11	3
60	100	89	78	68	58	49	40	31	22	14	6
62	100	89	79	69	60	50	41	33	25	17	9
64	100	90	79	70	61	52	43	35	27	20	12
66	100	90	80	71	62	53	45	37	29	22	15
68	100	90	81	72	63	55	47	39	31	24	17
70	100	90	81	72	64	56	48	40	33	26	20
72	100	91	82	73	65	57	49	42	35	28	22
74	100	91	82	74	66	58	51	44	37	30	24
76	100	91	83	74	67	59	52	45	38	32	26
78	100	91	83	75	67	60	53	46	40	34	28
80	100	91	83	76	68	61	54	47	41	35	29
82	100	92	84	76	69	62	55	49	43	37	31
84	100	92	84	77	70	63	56	50	44	38	32
86	100	92	85	77	70	63	57	51	45	39	34
88	100	92	85	78	71	64	58	52	46	41	35
90	100	92	85	78	71	65	59	53	47	42	37
92	100	92	85	78	72	65	59	54	48	43	38
94	100	93	86	79	72	66	60	54	49	44	39
96	100	93	86	79	73	67	61	55	50	45	40
98	100	93	86	79	73	67	61	56	51	46	41
100	100	93	86	80	74	68	62	57	52	47	42

مقدار هوای تازه مورد نیاز برای اماکن مختلف

از طریق جـــدول زیر می‌توان مقدار هوای تازه مـــورد نیاز برخی اماکن مســـکونی، تجاری، آموزشی، درمانی، ورزشـــی و خدماتی را تعیین نمود. هوای تازه اغلب اماکن مندرج در این جدول بر اســـاس هر نفر تدوین شده است. در صورتی که نفرات مستقر در مکانی نامعلوم باشد، می‌توان از مقادیر مربوط به ســـطح مورد نیاز برای هر نفر اســـتفاده کرد. در غیر این صورت تعییـــن هوای تازه به ازای هر نفر در اولویت قرار می‌گیرد. در پاره‌ای موارد، هوای تازه بر اساس مساحت اتاق تعیین شده است.

مکان	سطح موردنیاز برای هر نفر ft^2	مقدار هوای تازه به ازای هر نفر cfm/person		مقدار هوای تازه به ازای هر فوت مساحت کف cfm/f^2
		با دود سیگار	بدون دود سیگار	
اماکن تجاری - خدماتی				
طبقات همکف و زیر زمین فروشگاه‌های بزرگ	35	25	5	0.05
طبقات فوقانی فروشگاه‌های بزرگ	50	25	5	0.05
انبار قسمت فروش	70	25	5	-
محل عبور خریداران در فروشگاه‌ها	50	10	5	-
انبار اصلی فروشگاه	200	10	5	-
فروشگاه خرده فروشی و حراجی	25	7.5	5	-
گل‌فروشی	100	25	5	-
گلخانه	1000	-	5	-
آرایشگاه مردانه و سالن زیبایی زنانه	40	35	20	-
کفاشی	100	15	10	-
عکاسی	100	-	5	-
تاریکخانه عکاسی	100	-	20	-

← ادامه

مقدار هوای تازه مورد نیاز برای اماکن مختلف (ادامه)

مکان	سطح مورد نیاز برای هر نفر ft^2	مقدار هوای تازه به ازای هر نفر cfm/person		مقدار هوای تازه به ازای هر فوت مساحت کف cfm/f^2
		با دود سیگار	بدون دود سیگار	
داروخانه	100	30	20	-
خشکشویی و لباسشویی	100	-	15	-
محل جمع‌آوری البسه در خشکشویی‌ها	33	35	10	-
خشکشویی‌های اتوماتیک سکه‌ای	50	35	15	-
رستوران و غذاخوری‌ها				
کافه تریا	10	35	7	-
رستوران	15	35	7	-
آشپزخانه رستوران	50	-	10	-
اماکن اداری				
دفتر کار	140	20	5	0.25
اتاق انتظار	17	35	7	-
اتاق کنفرانس	20	35	7	-
اماکن مسکونی				
اتاق خواب یک نفره یا دو نفره	-	30 به ازای هر اتاق	15به ازای هر اتاق	0.33
اتاق نشیمن	200	50 به ازای هر اتاق	25به ازای هر اتاق	-
حمام و توالت متصل به اتاق خواب	50	50 به ازای هر واحد	50به ازای هر واحد	-
لابی هتل	34	15	5	-
تالار اجتماعات (بزرگ)	8	35	7	-

← ادامه

مقدار هوای تازه مورد نیاز برای اماکن مختلف (ادامه)

مکان	سطح موردنیاز برای هر نفر ft^2	مقدار هوای تازه به ازای هر نفر cfm/person		مقدار هوای تازه به ازای هر فوت مساحت کف cfm/f^2
		با دود سیگار	بدون دود سیگار	
فضای بازی و سرگرمی	8	35	7	-
اماکن آموزشی				
کلاس درس	20	-	5	-
آزمایشگاه	34	25	5	-
کتابخانه	50	-	5	-
کارگاه آموزشی	34	35	7	-
اماکن ورزشی و تفریحی				
سالن ژیمناستیک	34	-	20	-
سالن بدنسازی	50	-	15	-
جایگاه تماشاچیان در سالن سرپوشیده	7	35	7	-
اتاق‌های بازی (بیلیارد و کارت)	15	35	7	-
استخر و فضای اطراف آن	-	-	-	0.5
جایگاه تماشاچیان در استخر	15	35	7	-
استخر طبی	5	-	15	-
سالن بولینگ	15	37	7	-
اماکن صنعتی- کارگاهی				
کار سنگین (2.5MET)[1]	-	35	20	-
کار متوسط (2.0MET)	-	35	10	-
کار سبک (1.5MET)	-	35	7	-
کارگاه داروسازی	50	-	7	-
آماده‌سازی گوشت	100	-	5	-

← ادامه

مقدار هوای تازه مورد نیاز برای اماکن مختلف (ادامه)

مکان	سطح مورد نیاز برای هر نفر ft^2	مقدار هوای تازه به ازای هر نفر cfm/person		مقدار هوای تازه به ازای هر فوت مساحت کف cfm/f^2
		با دود سیگار	بدون دود سیگار	
سردابه‌ها	100	–	7	–
ریسندگی	-	–	20	–
نگهداری حیوانات				
گاو	به ازای هر راس در زمستان 50 cfm و در تابستان 200 cfm			
اسب	به ازای هر راس 70 cfm			
گوسفند	به ازای هر راس 10-15 cfm			
مرغ و پرندگان	به ازای هر کیلوگرم وزن پرنده در زمستان 1-2 cfm و در تابستان 4 cfm			
خوک	به ازای هر راس در زمستان 6-8 cfm و در تابستان 12-50 cfm			
سینما- تئاتر				
باجه بلیط فروشی	–	20	5	-
لابی و سرسرای انتظار تماشاچیان	7	35	7	-
تالار نمایش و سالن اپرا	7	35	7	-
استودیو رادیو تلویزیون	15	-	10	-
بیمارستان و اماکن درمانی				
اتاق عمل با صد درصد هوای تازه	50	–	40	2
اتاق عمل با برگشت هوا	50		40	2
زایمان	50	–	40	2
ریکاوری	50	–	15	-
مراقبت ویژه	50	–	15	-

← ادامه

مقدار هوای تازه مورد نیاز برای اماکن مختلف (ادامه)

مکان	سطح موردنیاز برای هر نفر ft^2	مقدار هوای تازه به ازای هر نفر cfm/person		مقدار هوای تازه به ازای هر فوت مساحت کف cfm/f^2
		با دود سیگار	بدون دود سیگار	
اتاق بستری	100	–	7 به ازای هر تخت	-
اتاق کالبد شکافی	50	–	100	-
فیزیوتراپی	50	–	15	-
سایر اماکن				
راهروها	-	–	-	0.02
رختکن	20	35 به ازای هر قفسه لباس	15 به ازای هر قفسه لباس	-
آسانسور	-	-	به ازای هر کابین 15	-
اتاق مخصوص سیگاری‌ها	15	50	-	-
اتاق پرو لباس	-	-	به ازای هر کابین 5	-
ایستگاه حمل و نقل شامل محل انتظار، بلیط فروشی، راهروها، محل چمدان‌ها	7	35	7	-
اتاق فتوکپی و چاپ	–	-	-	0.5
پارکینگ اختصاصی هر واحد	-	-	به ازای فضای هر اتومبیل 100	-
پارکینگ عمومی	-	-	-	1.5
تعمیرگاه اتومبیل (سرویس عمومی)	-	-	–	1.5

SOURCE: ASHRAE STANDARD (621981-)- ASHRAE POCKET HANDBOOK

1- met برگرفته از (Metabolism) نرخ حرارتی سوخت و ساز بدن معادل 18.4 بی‌تی‌یو به ازای هر فوت سطح بدن (1 met = 18.4 $Btu/h.ft^2$)

حداقل هوای تازه مورد نیاز مطابق مقررات ملی ساختمان

	برای هر نفر		برای واحد سطح		برای هر اتاق		
	لیتر در ثانیه	فوت مکعب در دقیقه	لیتر در ثانیه	فوت مکعب در دقیقه	لیتر در ثانیه	فوت مکعب در دقیقه	ملاحظات
واحد مسکونی:							
اتاق	7.5	15	–	–	–	–	–
آشپزخانه	–	–	–	–	50	100	–
توالت و حمام	–	–	–	–	25	50	–
پارکینگ خصوصی	–	–	–	–	50	100	برای هر اتومبیل
پارکینگ مشترک	–	–	7.5	1.5	–	–	تخلیه مکانیکی
اداری:							
دفتر	10	20	–	–	–	–	–
اتاق کنفرانس	10	20	–	–	–	–	–
هتل و خوابگاه:							
اتاق خواب	–	–	–	–	15	30	–
سرسرا	7.5	15	–	–	–	–	–
اتاق کنفرانس	10	20	–	–	–	–	–
حمام	–	–	–	–	18	35	تخلیه مکانیکی
سالن اجتماعات	7.5	15	–	–	–	–	–
رستوران:							
سالن غذاخوری	10	20	–	–	–	–	–
آشپزخانه	7.5	15	7.5	1.5	–	–	–
کافه‌تریا	10	20	–	–	–	–	–

← ادامه

حداقل هوای تازه مورد نیاز مطابق مقررات ملی ساختمان (ادامه)

	برای هر نفر		برای واحد سطح		برای هر اتاق		ملاحظات
	لیتر در ثانیه	فوت مکعب در دقیقه	لیتر در ثانیه	فوت مکعب در دقیقه	لیتر در ثانیه	فوت مکعب در دقیقه	
فروشگاه:							
زیرزمین	–	–	1.5	0.3	–	–	–
طبقات	–	–	1	0.2	–	–	–
انبار	–	–	0.75	0.15	–	–	–
رختشویخانه	13	25	–	–	–	–	–
ورزشگاه:							
جای تماشاچیان	7.5	15	–	–	–	–	–
فضای ورزشی	13	25	–	–	–	–	–
استخر بسته	–	–	2.5	0.5	–	–	–
فضاهای آموزشی:							
کلاس درس	7.5	15	–	–	–	–	–
آزمایشگاه	10	20	–	–	–	–	–
کتابخانه	7.5	15	–	–	–	–	–
کارگاه	10	20	–	–	–	–	–
رختکن	–	–	2.5	0.50	–	–	–
فضاهای عمومی:							
راهروها	–	–	0.25	0.05	–	–	–
توالت عمومی	–	–	–	–	25	50	تخلیه مکانیکی
رختکن	–	–	2.5	0.50	–	–	تخلیه مکانیکی

مرجع: مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان

تهویه مکانیکی و تامین هوای تازه

فضا	حداقل مقدار هوای تازه مترمکعب به مترمربع کف در دقیقه بدون استفاده از هوای برگشت	حداقل مقدار هوای تازه مترمکعب به مترمربع کف در دقیقه با استفاده از هوای برگشت
آشپزخانه‌های بزرگ و تجاری	0.6	بدون برگشت
آشپزخانه‌های مسکونی و خصوصی	0.3	بدون برگشت
دفاتر کار	0.12	0.03
کلاس‌های درس	0.36	0.09
فروشگاه	0.6	0.15
اتاق‌های انبار	0.06	0.015
رستوران	0.6	0.03
راهروهای عمومی	0.12	0.03
اتاق رختکن	0.12	0.03
توالت‌های عمومی	0.75	بدون برگشت
توالت‌های مسکونی	0.45	بدون برگشت
اتاق‌های خصوصی بیمارستان	0.12	0.03
آزمایشگاه‌ها با تخلیه موضعی هوا	0.3	بدون برگشت
آزمایشگاه‌های عمومی	0.12	0.03
محل‌های تجمع عمومی	0.6	0.15
ایستگاه‌های راه‌آهن	0.12	0.03
آرایشگاه‌ها	0.6	0.15
گالری‌های هنری	0.12	0.03
موزه‌ها	0.12	0.03

مرجع: مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان

حداقل هوای تازه

در جداول اخیر به مقدار هوای تازه مورد نیاز فضاهای مختلف اشـــاره شـــد. در زیر تنها به خلاصه‌ای از اعـــداد و ارقام مربوط به مقدار هوای تازه موردنیاز که اغلب بیشـــترین و عمومی‌ترین کاربردها را دارند، اشـــاره شده است.

- **حداقل هوای تازه مورد نیاز بر اساس ASHRAE 62–1989:**

-دامنه کلی: 15-60 cfm به ازای هر نفر

-رایج‌ترین دامنه کاربردی برای اغلب فضاها:

15-35 cfm به ازای هر نفر

-دامنه میانگین 15-20 cfm به ازای هر نفر

-اماکن آزاد برای مصرف دخانیات:

60 cfm به ازای هر نفر

- **حداقل هوای تازه برای توالت‌ها:**

-بر اساس استاندارد ASHRAE 62-1989:

50 cfm به ازای هر توالت یا آبریزگاه

-بر اساس استاندارد BOCA 1993:

75 cfm به ازای هر توالت یا آبریزگاه

-بر اساس سطح: 2.0 cfm به ازای هر فوت‌مربع

-بر اساس تعداد دفعات تعویض هوا:

10 بار در ساعت بر حسب حجم فضا

- **حداقل هوای تازه برای اتاق‌ها و پست‌های برق:**

-بر اساس سطح: 2.0 cfm به ازای هر فوت‌مربع

-بر اساس تعداد دفعات تعویض هوا:

10 بار در ساعت بر حسب حجم فضا

-بر اساس توان ظاهری ترانسفورمر:

5 cfm به ازای هر کیلوولت آمپر

- **حداقل هوای تازه برای اتاق‌های تاسیسات مکانیکی:**

-بر اساس سطح: 2.0 cfm به ازای هر فوت‌مربع

-بر اساس توان ترمزی تجهیزات منصوبه:

10 cfm به ازای هر اسب بخار

-هوای احتراق: 8 cfm/bhp

تهویه طبیعی

نوع فضا	نسبت سطح بازشو تهویه به سطح کف	حداقل سطح بازشو تهویه (مترمربع)
اتاق‌های زیرزمین و اتاق ورزش در واحد مسکونی تک خانواری	1:40	-
حمام و دستشویی و توالت	1:20	0.18
انباری آذوغه در زیرزمین	1:40	-
کلاس‌ها و اتاق‌های مطالعه	1:12	-
راهروهای عمومی مستقیم یا دارای پنجره در دو انتهای راهرو	1:80	0.9
راهروهای عمومی غیرمستقیم یا فاقد پنجره در دو انتهای راهرو	1:40	0.9
اتاق‌های قابل سکونت	1:16	-
اتاق‌های قابل اشتغال (عمومی)	1:16	-
فضاهای کار در ساختمان‌های صنعتی	1:12	-
اتاق‌های انبار	1:40	-
پارکینگ	1:40	-

مرجع: مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان.

❋ ❋ ❋

۲-۲

تخمین بارهای گرمایش و سرمایش

با مراجعه به نمودارها و جداول این فصل می‌توان مقدار بارهای گرمایشی و سرمایشی را برای ساختمان‌های مختلف در شرایط متفاوت با تقریب نسبتا قابل قبولی تعیین نمود.

بی‌تردید تعیین بار به صورت تقریبی نمی‌تواند مبنای مطمئن و دقیقی برای تعیین ظرفیت و انتخاب تجهیزات باشد، اما چنین برآوردها و تخمین‌هایی در آغاز فرآیند طراحی با پررنگ‌تر کردن محدوده‌ها و ایجاد وضوح بیشتر اهداف، پروژه خام را از هیبت توده‌ای بی‌شکل خارج ساخته و حد و مرز آن را به صورت مبهم اما متمایز ترسیم می‌کند. علاوه بر این تعیین خطوط کلی در زمینه بارها و ظرفیت‌ها، امکان گمانه‌زنی در سایر زمینه‌ها مانند تعیین نوع احتمالی تجهیزات، فضاهای مورد نیاز، معابر سیستم انتقال و توزیع و برآوردهای مالی را فراهم می‌آورد. از سوی دیگر در تهیه گزارش‌های توجیهی مرحله اول پروژه‌ها اعم از معماری یا تاسیسات مکانیکی نقش موثری را ایفا نموده و دیدگاه‌های روشن‌تری را پیش رو قرار می‌دهد.

تعیین تقریبی بار یک فضا اگر چه ممکن است مبنای دقیق و درستی برای انتخاب قطعی تجهیزات نباشد، اما به خوبی می‌تواند راهنمای انتخاب نوع تجهیزات و سیستم‌ها باشد و از این رهگذر گروه طراحی تاسیسات

مکانیکی و البته گروه طراحی معماری می‌توانند با نظر به برآوردهای انجام شـــده، بار دیگر وضعیت ساختاری و عملکردی ســـاختمان را از نقطه‌نظر مصرف انرژی و سرمایه‌گذاری‌های ثابت و متغیر پروژه و انطباق آن با شرایط اقلیمی مورد تجدید نظر قرار داده و با تغییرات احتمالی در ساختار و کاربری فضاها ضمن تعدیل شرایط، وضعیت مطلوب‌تری را به وجود آورند.

واقعیت این اســـت که بارهای سرمایشـــی و گرمایشی یک ساختمان و همینطور ظرفیت تجهیزات مختلف، مقادیر یگانه و ثابتی نیســـتند و اگرچه ممکن است یک مقدار به عنوان نماینده، شاخصه و یا برآیند همه شرایط ارائه شـــود؛ اما هیچ‌گاه، هیچ محاسبی نمی‌تواند ادعا کند که حاصل محاسبات دقیق او، نه یک دامنه از مقادیر بلکه یک مقدار کاملا مشـــخص اســـت. در واقع بارها و ظرفیت‌ها حتی برای مکانی با کاربری مشخص و همچنین برای یک دستگاه تهویه مطبوع خاص دارای دامنه‌ای حداکثری – حداقلی هستند که در طول سال، فصل و حتی روز و ساعت تغییر می‌کنند. همینطور تغییر تاثیرات عوامل گرمازا یا سرمازا در محیط‌های داخلی مانند کاهش یا افزایش مقدار روشـــنایی و کاربرد تجهیزات الکتریکی در طول شبانه‌روز و یا کاهش و افزایش تعداد نفرات حاضر، نوع فعالیت، پوشـــش و حتی عادات فرهنگی و حساســـیت آن‌ها از جمله دلایل دگرگونی عمده در بار و ظرفیت محسوب می‌شوند.

گاهـــی اوقـــات با توجه به گســـتردگی عواملی که ممکن اســـت نتایج محاسبات را دســـتخوش تغییرات کنند، اصرار بی‌مورد بر ارقام و اعدادی که خود تابع متغیرهای بسیاری هستند، بیش از آن که دقت خوانده شود، نوعی مته به خشـــخاش گذاردن و اتلاف وقت است. در جایی که طراحان یک ســـاختمان اداری پرتردد بر سر تامین صد فوت مکعب در دقیقه هوای تـــازه و تعادل دبی هوای رفت و برگشـــت و تخلیه چانه می‌زنند، کارمندی که از ســـیگار کشیدن همکارش به ستوه آمده است و یا از فرط گرما حاضر نیســـت کت خود را از تن بیرون آورد با بـــاز کردن پنجره‌ای تمام معادلات را به هم می‌ریزد و یا آنجا که محاســـب با مرارت فراوان می‌کوشد تا ضریب

انتقال حرارت یک جدار مرکب را از بین اعدادی همچون بیست‌ونه صدم، سی‌صدم و سی‌ودوصدم با وسواس بسیار برگزینند، این اجبار را نیز دارد که پس از به انجام رساندن محاسبات، ده درصد به عنوان ضریب اطمینان به نتیجه محاسبات بیفزایید. چنین افراط و تفریطی بیش از پیش مقادیر منتجه از محاسبات به اصطلاح دقیق را به مقادیر تقریبی نزدیک می‌کند و گویا در این میان، تنها دلیل برای سر و کله زدن با یک یا دو رقم اعشار، خلاصی از عذاب وجدان به بهانه پیمودن راهی طولانی و دشوار است. بنابراین در فضاهایی که امکان کنترل صدرصد آن وجود ندارد به خودی خود مقدار حاصل از محاسبه نیز نوعی مقدار تخمینی محسوب می‌شود؛ اما با دامنه‌ای تنگ‌تر و احیانا دقتی بیشتر و به همین دلیل است که استفاده از تجهیزات کنترل‌کننده ظرفیت اهمیت بسیاری پیدا می‌کنند تا امکان متناسب‌سازی ظرفیت دستگاه‌ها با گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع به وجود آید.

حال چنان‌چه دامنه حاصل از محاسبات دقیق را دامنه «تعیینی» و دامنه به دست آمده از تخمین را «دامنه تقریبی» بنامیم، می‌توان گفت، هم‌پوشانی یا انطباق این دو دامنه همچون دو دایره، ملاک نزدیکی و دوری آن‌ها است. ممکن است دامنه تقریبی نه بر کل دامنه تعیینی بلکه بخشی از آن را پوشش دهد. در این صورت محاسبات تخمینی قابل اعتنا و برای برخی کاربردها پذیرفتنی خواهد بود. همواره محدوده دامنه تقریبی حاصل از تخمین گسترده‌تر از دامنه تعیین حاصل از محاسبات دقیق است، به گونه‌ای که اغلب دامنه تعیینی قسمتی از دامنه وسیع تخمین محسوب می‌شود.

در این کتاب هم از تعیین مقادیر و ظرفیت‌ها و هم از تخمین آن‌ها سخن به میان آمده است. بنابراین همواره باید به خاطر داشته باشیم که هر آنجا پای تخمین به میان آمده با مقادیر تقریبی و تجربی و دامنه‌ای نسبتا فراخ‌تر روبه‌رو هستیم که تنها روشنگر محدوده‌ها هستند. در پاره‌ای موارد این محدوده‌ها تنگ‌تر و به مقادیر واقعی نزدیک‌تر و گاهی اوقات گسترده‌تر

و مرزهای آن از مقادیر دقیق دورترند و آن‌چه در دامنه‌های وسیع می‌تواند راهنمای عمل قرار گیرد تا از میان مقادیر متعدد، مقدار نزدیک‌تر به واقعیت برگزیده و به کار گرفته شود، تنها و تنها تجربه است.

در این مسیر و به منظور محک زدن مقادیر تقریبی، مقایسه نتایج حاصل از تخمین با وضعیت عملکردی پروژه‌های موجود در شرایط اقلیمی و کاربردی مشابه بسیار موثر و راهگشا است.

اغلب در مواجهه با روابط و مقادیر تخمینی دو دیدگاه جلب توجه می‌کند، که هر دو درک درستی از تخمین نداشته و نمونه‌های بارزی از افراط و تفریط هستند. برخی ساده‌اندیشان و راحت‌طلبان به دنبال عددی جادویی هستند که با ضرب و تقسیم کردن آن بر حجم و سطح هر مکانی، بتوانند بار سرمایی و گرمایی را تعیین کنند و عده‌ای از شکاکان و سخت‌گیران نیز در وادی تخمین و تقریب مدام با پیش کشیدن شرایط و موقعیت‌های خاص به دنبال نرخی دقیق‌تر هستند. به طور قطع خواسته راحت‌طلبان مبنی بر یافتن آن یگانه عدد جادویی بی‌پاسخ خواهد ماند و سخت‌گیران نیز باید بدانند که اگر برای تمامی شرایط ممکن و اوضاع احتمالی از نظر اقلیم، کاربرد، نوع مصالح، ضخامت جدار، سطوح شفاف، فرم، حجم، سطح، جهت تابش، سرعت باد و بسیاری عوامل دیگر ضریب و سرانه‌ای به ازای هر واحد حجم یا سطح ساختمان وجود می‌داشت، دیگر سخنی از تخمین و تقریب در میان نبود. بهتر آن است که این عده برای نائل آمدن به نتایج دقیق‌تر راه محاسبه را بپیمایند و از تخمین درگذرند.

تخمین بار گرمایی (روش اول)

به‌طورکلی بار گرمایی برای اغلب ساختمان‌ها بین 20 تا 60 Btu/hr به ازای هر فوت‌مربع یا 200 تا 600 Btu/hr به ازای هر مترمربع تخمین زده می‌شود که میانگین 25 تا 40 Btu/hr به ازای هر فوت‌مربع یا 250 تا 400 Btu/hr به ازای هر مترمربع بنا به شرایط اقلیمی گرم یا سرد برای تخمین و برآورد کلی بیشتر به کار می‌آید.

برای ساختمان‌های خاص با صددرصد هوای تازه مانند بیمارستان‌ها و آزمایشگاه‌ها دامنه تخمین بار گرمایی بین 40 تا 120 Btu/hr به ازای هر فوت‌مربع یا 400 تا 1200 Btu/hr به ازای هر مترمربع است.

تخمین بار گرمایی (روش دوم)

روش دیگر برای تخمین بارهای گرمایی با جزییات بیشتر تخمین انتقال حرارت از طریق جدارها و جمع آن با بار گرمایی ناشی از هوای نفوذی است. در این روش می‌توان مطابق زیر بار گرمایی جدارها و هوای نفوذی را برآورد و سپس با هم جمع کرد:

تخمین بار گرمایی به ازای هر فوت‌مربع جدار خارجی با مصالح بنایی بدون عایق:

$$Q = 0.4\ \Delta T$$

تخمین بار گرمایی به ازای هر فوت‌مربع جدار خارجی با مصالح بنایی با عایق:

$$Q = 0.06\ \Delta T$$

تخمین بار گرمایی به ازای هر فوت‌مربع در و پنجره مشرف به خارج:

$$Q = 0.90\ \Delta T$$

تخمین بار گرمایی ناشی از نفوذ هوا به ازای هر فوت‌مکعب حجم فضا:

$$Q = 0.027\ \Delta T$$

تخمین بار گرمایی ناشی از تعویض مکانیکی هوا:

$$Q = 1.08 \times cfm \times \Delta T$$

در تمامی روابط محاسبات تخمینی و تقریبی فوق (ΔT) بیانگر اختلاف دمای داخل و خارج بر حسب فارنهایت و (Q) بیانگر مقدار اتلاف گرما بر حسب Btu/hr است. cfm نیز بیانگر مقدار تعویض هوای مکانیکی برحسب فوت‌مکعب در دقیقه است.

تخمین بار گرمایی (روش سوم)

نمودارهای 1 تا 7، برآوردی از ظرفیت گرمایی ساختمان بر حسب Btu/hr به ازای هر فوت‌مکعب (وات به ازای هر مترمکعب)به دست می‌دهند. مرجع کلیه نمودارهای تخمین بار گرمایی، کتاب زیر است:

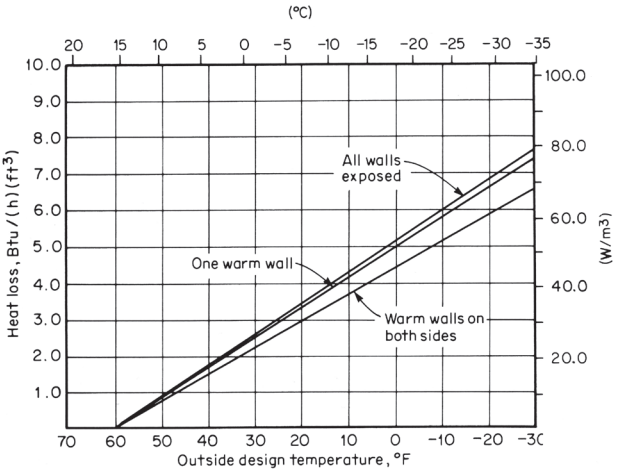
Heating، Ventilating، and Air Conditioning Systems Estimating Manual (Second Edition، A.M. Khashab)

نمودارهای پیش رو تعداد محدودی از شرایط مختلف را شامل می‌شوند و ممکن است به‌طور کامل منطبق با شرایط دلخواه و مورد نظر نباشند. از این‌رو در پاره‌ای موارد لازم است که برای شرایط خاص، میان‌یابی‌هایی در خطوط خود نمودار و یا بین اعداد مستخرجه از نمودارهای مختلف صورت گیرد.

لازم به ذکر است که نمودارهای تخمین بار گرمایشی بر اساس سه گونه دمای داخل $15.6^{\circ}C$ ($60^{\circ}F$)، $18.3^{\circ}C$ ($65^{\circ}F$) و $21.1^{\circ}C$ ($70^{\circ}F$) تدوین شده است. اختیار نمودن چنین دماهایی به عنوان دمای طرح داخل با توجه به نوع پوشش زمستانی ساکنین در اماکن مختلف بسیار اقتصادی و صرفه‌جویانه است.

نمودار تخمین بار گرمایی (1)

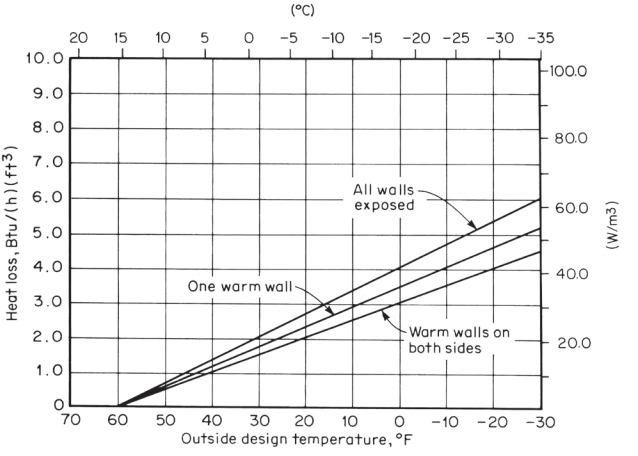
برای ساختمان یک طبقه با بام تخت و دمای داخل (15.6°C) 60°F



در صورت وجود نورگیر سقفی7.5 درصد به مقادیر استخراج شده از نمودار اضافه می‌شود.

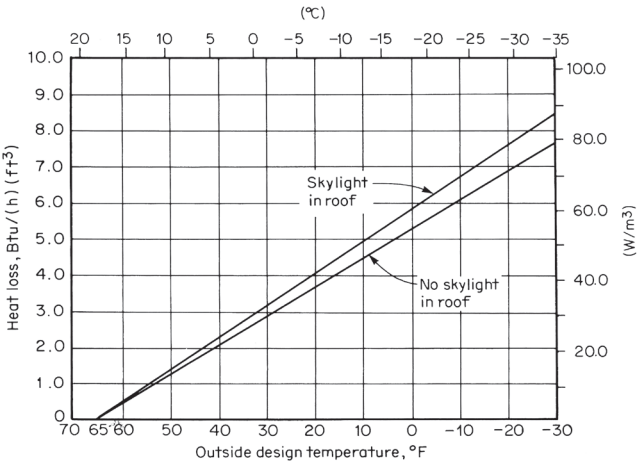
نمودار تخمین بار گرمایی (2)

برای یک طبقه از ساختمان با دمای داخل (15.6°C) 60°Fدر شرایطی که طبقه فوقانی آن نیز گرم شود.



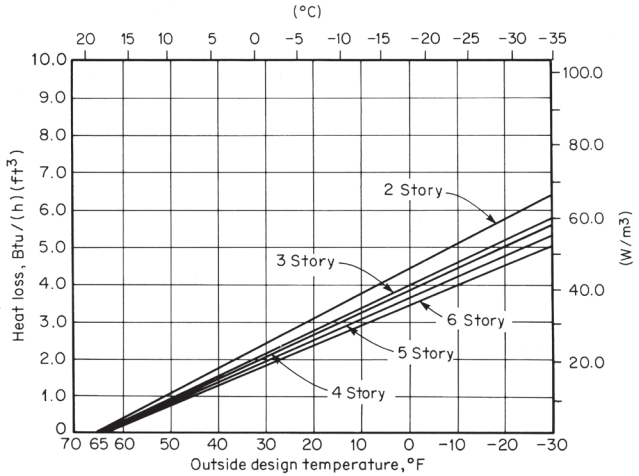
نمودار تخمین بار گرمایی (3)

برای ساختمان یک طبقه با دمای داخل (18.3°C) 65°F



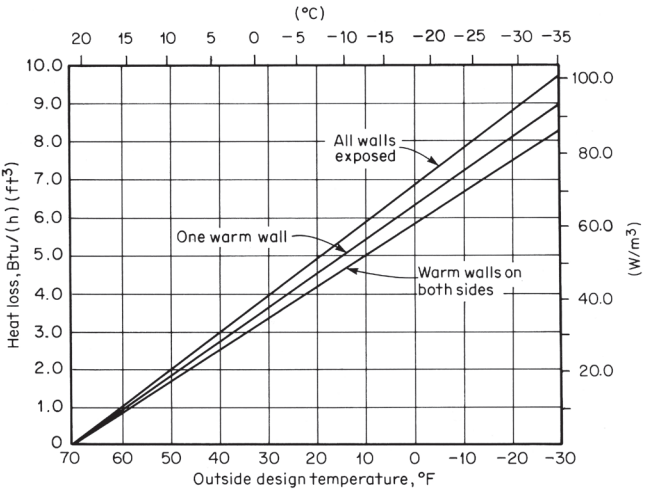
نمودار تخمین بار گرمایی (4)

برای ساختمان چند طبقه با دمای داخل (18.3°C) 65°F



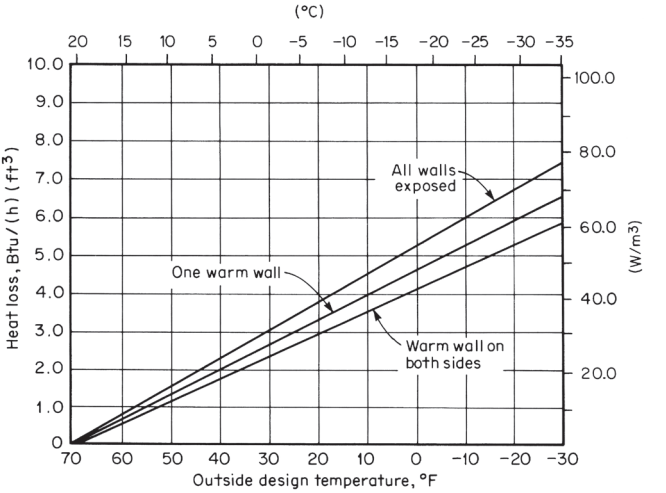
نمودار تخمین بارگرمایی (5)

برای ساختمان یک طبقه با بام تخت و دمای داخل (21.1°C) 70°F



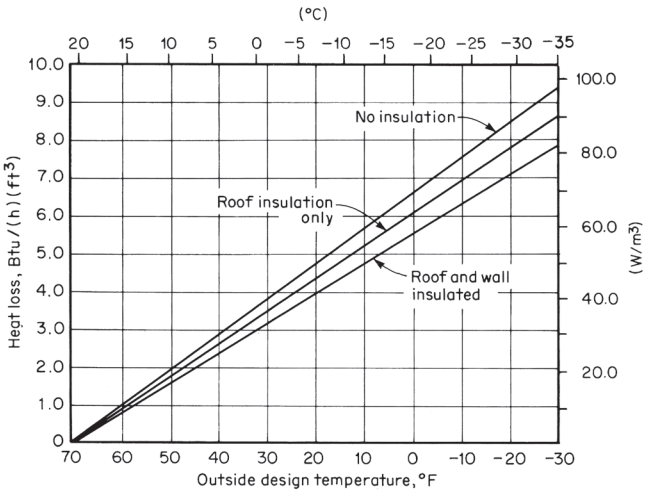
نمودار تخمین بار گرمایی (6)

برای یک طبقه از ساختمان با دمای داخل (21.1°C) 70°Fدر شرایطی که طبقه فوقانی آن نیز گرم شود.



نمودار تخمین بار گرمایی (7)

برای ساختمان چند طبقه با دمای داخل (21.1°C) 70°F



برای جبهه‌های شمالی و غربی 10 درصد اضافه می‌شود.

تخمین بار گرمایی (روش چهارم)

دقت نسبتا بیشـــتر در این روش چنان است که می‌توانیم آن را **تعیین** بـــار گرمایی بنامیم. انتقال گرما از طریق جداره‌هـــا اعم از دیواره‌ها، درها، پنجره‌ها، سقف‌ها یا کف‌ها و همینطور نفوذ هوای سرد یا خروج هوای گرم عواملی هســـتند که منجر به اتلاف گرمایی می‌شـــوند. بنابراین می‌توان بار گرمایی را شـــامل دو بخش انتقال حـــرارت از طریق جداره‌ها و تعویض هوا دانست. برای تعیین بار هر یک از عوامل یاد شده روابط محاسباتی ساده‌ی وجود دارد که از طریق آن‌ها می‌توان مقدار اتلاف گرما را محاســـبه نمود. برای تعیین بار گرمایی ناشـــی از انتقال حرارت از طریق جداره‌ها رابطه زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$Q_W = AU\Delta t \qquad (1)$$

Q_W = بار گرمایی (ناشی از انتقال حرارت جداره‌ها) بر حسب Btu/hr
A = مساحت جدار (دیوارع کف و سقف) بر حسب ft^2
U = ضریب انتقال حرارت جدار که از جداول بخش 3 – 2 با توجه به نوع جدار در دسترس قرار می‌گیرد بر حسب $Btu / ft^2 hr^{\circ}F$
Δt = اختلاف دمای فضای داخل و خارج بر حسب $^{\circ}F$

● **مثال:** انتقال حرارت از دیواری آجری از نوع توپر با اندود داخلی به ضخامت 100mm (4in) و مساحت 50 فوت مربع (5 متر مربع) وقتی دمای خارج $32^{\circ}F$ ($21.1^{\circ}C$) باشد، چه مقدار است؟

$\Delta t = (70 - 32) = 38^{\circ}F$

$A = 50\ ft^2$

$U = 0.46\ Btu / ft^2 hr^{\circ}F$

(مقدار U از طریق مراجعه به جدول ضریب انتقال حرارت جداره‌ها در بخش 3 – 2 تعیین شده است.)

$Q_W = AU\Delta t$

$= 50 \times 0.46 \times 38$

$= 874\ Btu / hr$

برای تعیین بار گرمایی ناشی از تعویض هوا نیز می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$Q_A = 1.08 \times cfm \times \Delta t \qquad (2)$$

Q_A = بار گرمایی ناشی از تعویض هوا بر حسب Btu / hr
cfm = دبی هوای تعویضی بر حسب cfm (فوت مکعب در دقیقه)
Δt = اختلاف دمای هوای داخل و خارج بر حسب $^{\circ}F$
1.08= حاصل‌ضرب جرم مخصوص هوا در گرمای ویژه هوا در واحد زمان

$(0.0749\ lb / ft^3 \times 0.024\ Btu / lbf \times 60)$

گاهی ضریب 1.08 را به صورت 1.1 در نظر می‌گیرند و رابطه (2) را به صورت ساده‌تر زیر مورد استفاده قرار می‌دهند:

$$Q_A = 1.1 \times \text{cfm} \times \Delta t \qquad (3)$$

بنابراین می‌توان گفت که مقدار بار گرمایی ناشـــی از نفوذ یا تعویض هوا ده درصد بیشتر از حاصل‌ضرب دبی هوای تعویضی در اختلاف دمای داخل و خارج است.

هـــوای داخل یک فضا ممکن اســـت به صـــورت مکانیکی و یا طبیعی تعویض شود. مقدار تعویض مکانیکی هوا را می‌توان از طریق جداول مربوط به مقدار هوای تازه بخـــش 1–2 تعیین نمود. در صورتی که تعویض هوا به صورت مکانیکی نباشد و فقط بار گرمایی ناشی از نفوذ هوا از طریق درها و پنجره‌ها مورد نظر باشد، می‌توان مقادیر مربوطه را از طریق جدول «افزایش بار ناشـــی از نفوذ» مندرج در بخش 3–2 و یا بر اساس جدول زیر بر مبنای طول درزهای پنجره و یا سطح درها تعیین کرد.

چنانچه بار گرمایی ناشی از هوای تعویض شده مکانیکی بیش از مقدار بار ناشی از هوای نفوذی باشد و فشار داخل فضا نیز نسبت به بیرون مثبت باشـــد (استفاده از فن‌کوئل و هواساز) می‌توان از بار گرمایشی ناشی از نفوذ صرفنظر کرد.

نرخ نفوذ هوا از درها و پنجره‌های خارجی به روش درزی

پنجره‌های خارجی	0.37 cfm به ازای هر فوت طول درز
درهای ساختمان مسکونی	0.5 cfm به ازای هر فوت مربع مساحت در
درهای ساختمان غیرمسکونی	1cfm به ازای هر فوت مربع مساحت در

* مقادیر فوق برای سرعت باد 25مایل در ساعت است.

● **مثال:** بار گرمایی ناشـــی از نفوذ برای اتاقی به ابعاد 4×3 با ارتفاع 3 متر که دارای دو پنجره خارجی است در حالتی که دمای داخل 70°F و دمای خارج 32°F باشد، چه مقدار است؟

$$V \text{ (حجم اتاق)} = 3 \times 4 \times 3$$
$$= 36 \text{ m}^3$$

حجم باید به فوت مکعب تبدیل شود:

$36 \times 35.314 = 1271\ ft^3$

دفعات تعویض هوا در ساعت مطابق جدول «افزایش بار ناشی از نفوذ» از بخش 3 – 2 برای اتاق با دو پنجره خارجی 1.5 اســـت. بنابراین دبی هوا برابر است با:

$1271 \times 1.5 = 1906\ cfh$ (فوت مکعب در ساعت)

اینک کافی است فوت مکعب در ساعت به فوت مکعب در دقیقه تبدیل شود:

$1906 / 60 = 32.7\ cfm$

بنابراین:

$$Q_A = 1.08 \times cfm \times \Delta t$$
$$= 1.08 \times 32.7 \times (70 - 32)$$
$$= 134\ Btu / hr$$

مجموع بارهای ناشی از جدار (Q_W) و نفوذ و تعویض مکانیکی هوا (Q_A) بار کل محسوس را تشکیل می‌دهد و چنان‌چه گرمایش با رطوبت‌زنی همراه باشـــد؛ می‌باید مقدار بار گرمایی نهـــان رطوبت‌زنی هوای نفوذی یا تعویض مکانیکـــی را نیز از طریق رابطه زیر تعیین نمـــود. آن‌چه از مجموع بارهای Q_W و Q_A در رابطه‌های (1) و (2) به دســـت می‌آید، بارکل ناشـــی از اتلاف حرارت ســـاختمان است. در حالی که بار محاسبه شده از طریق رابطه (3) بار گرمایی مربوط به رطوبت‌زنی اســـت و به طور معمول در ساختمان‌های مسکونی عملیات رطوبت‌زنی به وسیله تجهیزاتی همچون رادیاتور، کنوکتور یا فن‌کوئل صورت نمی‌گیرد. بنابراین عملا در بســـیاری از موارد، این بار در محاسبات منظور نمی‌شود.

$$Q_L = 0.68 \times cfm \times (W_2 - W_1) \qquad (3)$$

Q_L = بار گرمایی نهان برای هوای نفوذی یا تعویضی بر حسب Btu/hr

cfm = دبی هوای نفوذی یا تعویضی بر حسب $ft^3/\ min$

$W_2 - W_1$ = اختلاف نسبت رطوبت بین هوای داخل و خارج بر حسب گرین بر پوند

نسبت رطوبت (Gr/lb) براســـاس دمای خشک و مرطوب هوای داخل و خارج و یا دمای خشـــک و رطوبت نســـبی هوای داخل و خارج از طریق مراجعه به نمودار سایکرومتریک تعیین می‌شود و یا به طور تقریبی می‌توان نسبت رطوبت هوای داخل و خارج را از جدول «خواص مخلوط اشباع هوا با بخار آب» بخش 4 – 1 اســـتخراج و در مقدار رطوبت نسبی هوای داخل و خارج ضرب نمود تا نســـبت رطوبت برای هوای غیراشباع داخل و خارج به دســـت آید. به عنوان مثال چنان‌چه دمای خشک 78 درجه فارنهایت و رطوبت نسبی 50 درصد باشد. از طریق مراجعه به جدول «خواص مخلوط اشباع هوا با بخار آب» بخش 4 – 1 نسبت رطوبت به طور تقریبی برابر با 73 گرین بر پوند خواهد بود. زیرا گرین بر پوند هوای اشـــباع در دمای 78 درجه فارنهایت مطابق جدول فوق‌الذکر 146 اســـت و با توجه به رطوبت نسبی 50 درصد:

$146 \times 0.5 = 73$ Gr/lb

ضرایب

در محاسبات اتلاف حرارت برای جهات جدار و همچنین تناوب گرمایش و ارتفاع ســـاختمان باید ضرایب جداگانه‌ای در نظر گرفت که مقادیر آن در جدول «ضرایب اطمینان در محاســـبات اتلاف حرارت» بخش 3 – 2 آمده است.

پس از اعمال ضرایب اضافی یاد شـــده و تعیین بار کل محسوس که از طریق دو رابطه (1) و (2) به دست می‌آیند؛ باید ده درصد ضریب اطمینان برای کل بار گرمایی در نظر گرفت:

$(Q_W + Q_A + Q_L) \times 1.1$

تعیین بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی

با در اختیار داشتن مصرف واقعی آبگرم بر حسب gph از طریق رابطه زیر بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی محاسبه می‌شود:

$$Btu/hr = gph \times 8.33 \times (t_2 - t_1)$$

8.33 = وزن مخصوص آب بر حسب پوند بر گالن

t_2 = دمای آبگرم خروجی که معمولا 140°F (60°C)منظور می‌گردد.

t_1 = دمای آب سرد ورودی که معمولا 60°F (15.5°C)منظور می‌گردد.

تخمین بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی

روش اول- تخمین بار گرمای تولید آبگرم مصرفی بر اساس نوع ساختمان به ازای هر نفر

خانه ویلایی	4000 Btu/hr
آپارتمان با منبع اختصاصی	4000 Btu/hr
آپارتمان با منبع مشترک	2800 Btu/hr
هتل	3300 Btu/hr
ساختمان اداری	600 Btu/hr
کارگاه و کارخانه	1400 Btu/hr
خوابگاه	4000 Btu/hr
مدارس	1000 Btu/hr
بیمارستان	5000 Btu/hr

روش دوم- تخمین بار گرمای تولید آبگرم مصرفی بر اســـاس هر واحد لوازم بهداشتی و نوع ساختمان بر حسب Btu/hr

نوع ساختمان	دستشویی و توالت خصوصی	دستشویی و توالت عمومی	وان	دوش	سینک آبدارخانه	سینک ظرفشویی
خانه ویلایی	700	-	4500	23000	-	4500
آپارتمان	700	1100	4500	23000	-	4500
هتل	700	2300	4500	23000	4500	7000
سالن ورزش	800	2700	8000	80000	-	-
ساختمان اداری	600	1600	-	-	4000	4000
کارخانه‌ها	1200	6000	-	120000	8000	8000
بیمارستان*	1000	2700	6700	33000	6700	6700
مدارس	1200	6000	-	-	6700	-
خوابگاه	800	2700	-	53000	5400	5400

* *مصرف آبگرم رختشـــویخانه بیمارستان 2.5 گالن در ساعت برای هر پوند بار خشک تخمین زده می‌شود بنابراین بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی برای رختشویخانه بیمارستان برابر 1700 Btu/hr به ازای هر پوند بار خشک برآورد می‌شود. مصرف آبگرم آشپزخانه بیمارستان نیز 1.5 گالن درساعت به ازای هر نفر تخمین زده می‌شـــود. بر این اساس بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی برای آشپزخانه بیمارستان 1000 Btu/hr به ازای هر نفر برآورد می‌شود.*

تخمین بار سرمایی (روش اول)

جداول تخمین بار سرمایی بر اساس سه وضعیت بار کم، بار متوسط و بار زیاد و با در نظر گرفتن شرایط زیر بر مبنای ویرایش دوم کتاب:

Heating، Ventilating، and Air Conditioning Systems Estimating Manual (Second Editions، A.M. Khashab)

تدوین شده است.

شرایط طرح خارج:

دمای خشک = 95°F (35°C)

دمای مرطوب = 78°F - 75 (25.6°C - 23.9-)

شرایط طرح داخل:

دمای خشک = 80°F - 76 (26.7°C - 24.4-)

رطوبت نسبی = 50 %

انتخاب یکی از موارد «بار کم»، «بار متوسط» و یا «بار زیاد» بستگی به شرایط اقلیمی و تصمیم برآوردکننده باتوجه به مقتضیات پروژه مورد نظر دارد. همان‌گونه که در جداول مشخص است، در هر یک از «بارهای کم»، «متوسط» و یا «زیاد»، گرمای محسوس و نهان ناشی از عوامل گرمازا مانند وجود افراد و یا روشنایی کاملا متفاوت است. در «بار کم» تعداد حضور افراد در واحد سطح کمتر و در «بار زیاد» بیشتر است و به موازات آن شدت و ضعف توان روشنایی به ازای واحد سطح نیز چنین است. به عنوان مثال در اولین جدول پیش رو که مربوط به تخمین بار سرمایی واحدهای آپارتمانی است، در «بار کم» هر 325 فوت‌مربع و در «بار زیاد» هر 100 فوت‌مربع برای یک نفر در نظر گرفته شده است و همچنین مقدار روشنایی در «بار کم» 1.0 وات و در «بار زیاد» 4.0 وات به ازای هر فوت‌مربع منظور شده است.

تخمین بار سرمایی واحدهای آپارتمانی

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	325	1.0	450	0.7
بار متوسط	175	2.0	400	1.0
بار زیاد	100	4.0	350	1.5

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	30.2	10.8	11.9	3.6
بار متوسط	16.3	21.5	10.6	5.1
بار زیاد	9.3	43.1	9.3	7.7

** مثال: هر 450 فوت مربع در بار کم حداقل به 1 تن تبرید نیاز دارد.*

تخمین بار سرمایی تالار کنفرانس، تئاتر، سالن اجتماعات و سایر اماکن مشابه

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	15	1.0	400	1.0
بار متوسط	11	2.0	250	2.0
بار زیاد	6	3.0	90	3.0

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	1.4	10.8	10.6	5.1
بار متوسط	1.0	21.5	6.6	10.2
بار زیاد	0.6	32.3	2.4	15.3

تخمین بار سرمایی ساختمان‌های آموزشی

(مدارس، مدارس عالی و دانشگاه)

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	30	2.0	240	0.9
بار متوسط	25	4.0	185	1.4
بار زیاد	20	6.0	150	2.0

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	2.8	21.5	6.4	4.6
بار متوسط	2.3	43.1	4.9	7.1
بار زیاد	1.9	64.6	4.0	10.2

تخمین بار سرمایی کارخانه‌ها و کارگاه‌ها با کار سبک

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	200	9.0*	200	1.6
بار متوسط	150	10.0*	150	2.5
بار زیاد	100	12.0*	100	3.8

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	18.6	69.9*	5.3	8.2
بار متوسط	13.9	107.6*	4.0	12.8
بار زیاد	9.3	129.2*	2.6	19.4

* *گرمای ناشی از روشنایی و سایر تجهیزات*

تخمین بار سرمایی کارخانه‌ها و کارگاه‌ها با کار سنگین

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	300	15.0*	100	2.5
بار متوسط	250	45.0*	80	4.0
بار زیاد	200	60.0*	60	6.5

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	27.9	161.5*	2.6	12.8
بار متوسط	23.2	484.4*	2.1	20.4
بار زیاد	18.6	645.9*	1.6	33.2

* *گرمای ناشی از روشنایی و سایر تجهیزات*

تخمین بار سرمایی اتاق‌های بستری بیمار

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	75	1.0	275	0. 4*
بار متوسط	50	1.5	220	0.5*
بار زیاد	25	2.0	165	0.7*

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	7.0	10.8	7.3	2.04*
بار متوسط	4.6	16.2	5.8	2.6*
بار زیاد	2.3	21.5	4.4	3.6*

* *بر اساس سیستم القایی (یا فن‌کوئل با تامین هوای تازه توسط هواساز).*

تخمین بار سرمایی فضاهای عمومی بیمارستان

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	100	1.0	175	1.0
بار متوسط	80	1.5	140	1.1
بار زیاد	50	2.0	110	1.3

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	9.3	10.8	4.6	5.1
بار متوسط	7.4	16.2	3.7	5.6
بار زیاد	4.6	21.5	2.9	6.6

تخمین بار سرمایی هتل‌ها، متل‌ها و خوابگاه‌ها

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	200	1.0	350	1.0
بار متوسط	150	2.0	300	1.3
بار زیاد	100	3.0	220	1.5

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	18.6	10.8	9.3	5.1
بار متوسط	13.9	21.5	7.9	6.6
بار زیاد	9.3	32.3	5.8	7.7

تخمین بار سرمایی کتابخانه‌ها

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	80	1.0	340	1.0
بار متوسط	60	1.5	280	1.2
بار زیاد	40	3.0	200	1.4

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	7.4	10.8	8.9	5.1
بار متوسط	5.6	16.2	7.4	6.1
بار زیاد	3.7	32.3	5.3	7.1

تخمین بار سرمایی موزه‌ها

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	80	1.0	340	1.0
بار متوسط	60	1.5	280	1.2
بار زیاد	40	3.0	200	1.4

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	7.4	10.8	8.9	5.1
بار متوسط	5.6	16.2	7.4	6.1
بار زیاد	3.7	32.3	5.3	7.1

تخمین بار سرمایی فضاهای عمومی اماکن اداری

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	130	4.0	360	0.25 (خارجی) 0.80 (داخلی)
بار متوسط	110	6.0	280	0.5 (خارجی) 1.1 (داخلی)
بار زیاد	80	9.0	190	0.8 (خارجی) 1.8 (داخلی)
واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	12.1	43.1	9.5	1.3 (خارجی) 4.7 (داخلی)
بار متوسط	10.2	64.6	7.4	2.6 (خارجی) 5.6 (داخلی)
بار زیاد	7.4	96.9	5.0	4.1 (خارجی) 9.2 (داخلی)

تخمین بار سرمایی دفاتر اداری

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	150	2.0	360*	0.25
بار متوسط	125	5.8	280*	0.5
بار زیاد	100	8.0	190*	0.8
واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	13.9	21.5	9.5*	1.3
بار متوسط	11.6	62.4	7.4*	2.6
بار زیاد	9.3	86.1	5.0*	4.1

* *به جدول اصلی اضافه شده است.*

تخمین بار سرمایی خانه‌های بزرگ (ساختمان ویلایی)

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	600	1.0	600	0.7
بار متوسط	400	2.0	500	1.0
بار زیاد	200	4.0	380	1.5

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	55.7	10.8	15.9	3.6
بار متوسط	37.2	21.5	13.2	5.1
بار زیاد	18.6	43.1	10.0	7.7

تخمین بار سرمایی خانه‌های متوسط (ساختمان ویلایی)

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	600	0.7	700	0.6
بار متوسط	360	1.5	550	0.9
بار زیاد	200	3.0	400	1.3

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	55.7	7.5	18.5	3.1
بار متوسط	33.4	16.2	14.5	4.6
بار زیاد	18.6	32.3	10.6	6.6

تخمین بار سرمایی رستوران‌های بزرگ

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	17	1.5	135	1.4
بار متوسط	15	1.7	100	1.75
بار زیاد	13	2.0	80	2.4

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	1.6	16.2	3.6	7.2
بار متوسط	1.4	18.3	2.6	8.9
بار زیاد	1.2	21.5	2.1	12.2

تخمین بار سرمایی رستوران‌های متوسط

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	-	-	150	1.5
بار متوسط	-	-	120	1.50
بار زیاد	-	-	100	2.0

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	-	-	4.0	7.7
بار متوسط	-	-	3.2	7.7
بار زیاد	-	-	2.6	10.2

تخمین بار سرمایی مراکز خرید (زیر زمین)

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	30	2.0	340.9	0.7
بار متوسط	25	3.0	285	1.0
بار زیاد	20	4.0	225	1.2

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	2.8	21.5	8.9	3.6
بار متوسط	2.3	32.3	7.5	5.1
بار زیاد	1.9	43.1	6.0	6.1

تخمین بار سرمایی مراکز خرید (طبقه هم‌کف)

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	45	3.5	350	0.9
بار متوسط	25	6.0	245	1.4
بار زیاد	16	9.0	150	2.0

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	4.2	37.7	9.3	4.6
بار متوسط	2.3	64.6	6.5	7.1
بار زیاد	1.5	96.9	4.0	10.2

تخمین بار سرمایی مراکز خرید (طبقات بالاتر از هم‌کف)

	ساکنین	روشنایی	ظرفیت سرمایی	مقدار هوادهی
واحد انگلیسی	ft^2/person	W/ft^2	ft^2/ton	cfm/ft^2
بار کم	75	2.0	400	0.8
بار متوسط	55	2.5	340	1.0
بار زیاد	40	3.5	280	1.2

واحد متریک	m^2/person	W/m^2	m^2/kW	lps/m^2
بار کم	7.0	21.5	10.6	4.1
بار متوسط	5.1	26.9	8.9	5.1
بار زیاد	3.7	37.7	7.4	6.1

تخمین بار ســـــرمایی کل برای ساختمان‌های عمومی، آموزشی، تجاری و مسکونی

	ظرفیت سرمایی ft^2/ton (m^2/kW)		
نوع ساختمان	بار کم	بار متوسط	بار زیاد
ساختمان‌های عمومی	475 (12.6)	380 (10.0)	285 (7.5)
ساختمان‌های آموزشی	400 (10.6)	320 (8.5)	240 (6.4)
ساختمان‌های تجاری	330 (8.7)	265 (7.0)	200 (5.3)
ساختمان‌های مسکونی	625 (16.5)	500 (13.2)	375 (9.9)

تخمین بار سرمایی (روش دوم)

جداول تخمین بار سرمایی این قسمت که تحت عنوان روش دوم معرفی شده است، برگرفته از کتاب زیر است:

HVAC Equations Data and Rules of Thumb. Arthur A.Bell

در این جداول بار کل و محسوس به تفکیک آمده‌اند و فارغ از مقدار انرژی مورد نیاز برای تامین سرمایش برحسب واحد سطح، دامنه مقادیر نیز ذکر شده و اطلاعات دیگری همچون ضریب گرمای محسوس (SHR)، دبی هوا و نرخ تعویض هوای هر یک از اماکن نیز در دسترس قرار گرفته است.

ساختمان‌های اداری و تجاری به طور کلی

بار کل	یک تن تبرید برای هر 400 - 300 فوت‌مربع	(دامنه 520 - 230)
بار کل	هر فوت‌مربع 40 - 30 Btu/hr	(دامنه 52 - 23)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 28 - 25 Btu/hr	(دامنه 37 - 19)
ضریب گرمای محسوس (SHR)	0.75 - 0.93	-
دبی هوا برای فضاهای پیرامونی که دارای جدارهای خارجی هستند	هر فوت‌مربع 3.0 - 1.0 cfm	-
دبی هوای برای فضاهای داخلی که فاقد جدار خارجی هستند	هر فوت‌مربع 1.5 - 0.5 cfm	-
دبی هوا برای ساختمان به‌طور کلی	هر فوت‌مربع 1.5 - 1.0 cfm	-
نرخ تعویض هوا	10 - 4 بار در ساعت	-

ساختمان‌های اداری و تجاری با فضاهای پیرامونی بزرگ که دارای جدارهای خارجی زیاد هستند.

بار کل	یک تن تبرید برای هر 275 - 225 فوت‌مربع
بار کل	هر فوت‌مربع 53 - 43 Btu/hr

ساختمان‌های اداری و تجاری با فضاهای داخلی زیاد که فاقد جدار خارجی هستند

بار کل	یک تن تبرید برای هر 350 - 300 فوت‌مربع	
بار کل	هر فوت‌مربع 34 - 40 Btu/hr	

ساختمان‌های اداری و تجاری کوچک

بار کل	یک تن تبرید برای هر 375 - 325 فوت‌مربع	
بار کل	هر فوت‌مربع 32 - 37 Btu/hr	

بانک‌ها، دادگاه‌ها، سالن‌های اجتماعات و انجمن‌های شهر

بار کل	یک تن تبرید برای هر 250 - 200 فوت‌مربع	(دامنه 340 - 160)
بار کل	هر فوت‌مربع 48 - 60 Btu/hr	(دامنه 75 - 35)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 28 - 38 Btu/hr	(دامنه 48 - 21)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.75 - 0.90	-
نرخ تعویض هوا	4 - 10 بار در ساعت	-

کارگاه‌های ابزار دقیق

بار کل	یک تن تبرید برای هر 300 - 50 فوت‌مربع
بار کل	هر فوت‌مربع 40 - 240 Btu/hr
بار محسوس	هر فوت‌مربع 32 - 228 Btu/hr
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.80 - 0.95
نرخ تعویض هوا	10 - 50 بار در ساعت

اتاق‌های کامپیوتر

بار کل	یک تن تبرید برای هر 150 - 50 فوت‌مربع
بار کل	هر فوت‌مربع 80 - 240 Btu/hr
بار محسوس	هر فوت‌مربع 64 - 228 Btu/hr
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.80 - 0.95
دبی هوا	هر فوت‌مربع 2.0 - 4.0 cfm
نرخ تعویض هوا	15 - 20 بار در ساعت

کلانتری‌ها، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و دفاتر پست

بار کل	یک تن تبرید برای هر 350 - 250 فوت‌مربع	(دامنه 400 - 200)
بار کل	هر فوت‌مربع 48 - 34 Btu/hr	(دامنه 60 - 30)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 35 - 25 Btu/hr	(دامنه 40 - 20)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.75 - 0.90	-
نرخ تعویض هوا	10 - 4 بار در ساعت	-

رستوران‌ها

بار کل	یک تن تبرید برای هر 250 - 100 فوت‌مربع	(دامنه 300 - 75)
بار کل	هر فوت‌مربع 120 - 48 Btu/hr	(دامنه 155 - 40)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 62 - 21 Btu/hr	(دامنه 80 - 20)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.65 - 0.80	-
دبی هوا	هر فوت‌مربع 4.0 - 1.5 cfm	-
نرخ تعویض هوا	12 - 8 بار در ساعت	-

رستوران‌های کوچک، کافی‌شاپ‌ها و باشگاه‌ها

بار کل	یک تن تبرید برای هر 200 - 150 فوت‌مربع	(دامنه 300 - 75)
بار کل	هر فوت‌مربع 80 - 60 Btu/hr	(دامنه 155 - 40)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 40 - 27 Btu/hr	(دامنه 80 - 20)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.65 - 0.80	-
دبی هوا	هر فوت‌مربع 4.5 - 1.5 cfm	-
نرخ تعویض هوا برای کافی‌شاپ‌ها	20 - 15 بار در ساعت	-
نرخ تعویض هوا برای باشگاه‌های شبانه	30 - 20 بار در ساعت	-

سالن‌های غذاخوری و کافه‌تریاها و سلف‌سرویس‌ها

بار کل	یک تن تبرید برای هر 250-100 فوت‌مربع	(دامنه 300-75)
بار کل	هر فوت‌مربع 120-48 Btu/hr	(دامنه 155-40)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 62-21 Btu/hr	(دامنه 80-20)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.80-0.65	-
دبی هوا	هر فوت‌مربع 4.0-1.5 cfm	-
نرخ تعویض هوا	15-12 بار در ساعت	-

آشپزخانه‌ها

بار کل	یک تن تبرید برای هر 350 - 150 فوت‌مربع	(فضایی با دمای 85°F)
بار کل	هر فوت‌مربع 80 - 34 Btu/hr	(فضایی با دمای 85°F)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 56 - 20 Btu/hr	(فضایی با دمای 85°F)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.70 - 0.60	-
دبی هوا	هر فوت‌مربع 2.5 - 1.5 cfm	-
نرخ تعویض هوا	15 - 12 بار در ساعت	-

سالن‌های تئاتر و همایش

بار کل	یک تن تبرید برای هر 0.07-0.05 فوت‌مربع
بار کل	840-600 Btu/hr به ازای هر صندلی
بار محسوس	385-325 Btu/hr به ازای هر صندلی
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.75-0.65
دبی هوا	30-15 cfm به ازای هر صندلی
نرخ تعویض هوا	15-8 بار در ساعت

اتاق‌های بستری بیماران در بیمارستان و آسایشگاه‌ها

بار کل	یک تن تبرید برای هر 300 - 250 فوت‌مربع	(دامنه 400 - 200)
بار کل	هر فوت‌مربع Btu/hr 48 - 40	(دامنه 60 - 30)
بار محسوس	هر فوت‌مربع Btu/hr 46 - 32	(دامنه 50 - 25)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.75 - 0.85	-

ساختمان‌هایی با صددرصد هوای تازه مانند آزمایشگاه‌ها و بیمارستان‌ها (به طور کلی)

بار کل	یک تن تبرید برای هر 300-100 فوت‌مربع
بار کل	هر فوت‌مربع Btu/hr 120-40

درمانگاه‌ها، مراکز دندانپزشکی و بخش‌های اداری آنها

بار کل	یک تن تبرید برای هر 300-250 فوت‌مربع	(دامنه 400-200)
بار کل	هر فوت‌مربع Btu/hr 48-40	(دامنه 60-30)
بار محسوس	هر فوت‌مربع Btu/hr 46-32	(دامنه 50-25)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.75-0.85	-
نرخ تعویض هوا	8-12 بار در ساعت	-

آپارتمان‌های یک و دو خوابه

بار کل	یک تن تبرید برای هر 450-350 فوت‌مربع	(دامنه 500-300)
بار کل	هر فوت‌مربع Btu/hr 34-27	(دامنه 40-24)
بار محسوس	هر فوت‌مربع Btu/hr 30-22	(دامنه 35-20)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.80-0.95	-

فضاهای عمومی هتل‌ها و متل‌ها

بار کل	یک تن تبرید برای هر 250-300 فوت‌مربع	(دامنه 160-375)
بار کل	هر فوت‌مربع 40-48 Btu/hr	(دامنه 32-74)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 32-46 Btu/hr	(دامنه 25-60)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.75-0.90	-

اتاق‌های مهمان هتل‌ها و متل‌ها و خوابگاه‌ها

بار کل	یک تن تبرید برای هر 400-500 فوت‌مربع	(دامنه 300-600)
بار کل	هر فوت‌مربع 24-30 Btu/hr	(دامنه 20-40)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 20-25 Btu/hr	(دامنه 15-35)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.80-0.95	-

کلاس‌های درس

بار کل	یک تن تبرید برای هر 225-275 فوت‌مربع	(دامنه 150-350)
بار کل	هر فوت‌مربع 43-53 Btu/hr	(دامنه 35-80)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 25-42 Btu/hr	(دامنه 20-65)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.65-0.80	-
نرخ تعویض هوا	4 - 12 بار در ساعت	-

کتابخانه‌ها و موزه‌ها

بار کل	یک تن تبرید برای هر 250-350 فوت‌مربع	(دامنه 160-400)
بار کل	هر فوت‌مربع 34-48 Btu/hr	(دامنه 30-75)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 22-32 Btu/hr	(دامنه 20-50)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.80-0.90	-
نرخ تعویض هوا	8-12 بار در ساعت	-

ساختمان‌های مسکونی (به طور کلی)

بار کل	یک تن تبرید برای هر 500-700 فوت‌مربع
بار کل	هر فوت‌مربع 17-24 Btu/hr
بار محسوس	هر فوت‌مربع 12-20 Btu/hr
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.80-0.95

فروشگاه‌های بزرگ و تک‌فروشی

بار کل	یک تن تبرید برای هر 200-300 فوت‌مربع	(دامنه 200-500)
بار کل	هر فوت‌مربع 40-60 Btu/hr	(دامنه 24-60)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 32-43 Btu/hr	(دامنه 16-43)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.65-0.90	-
نرخ تعویض هوا	6-10 بار در ساعت	-

داروخانه‌ها، مغازه‌های فروش کفش و لباس، جواهرفروشی‌ها، آرایشگاه‌ها و سایر اماکن خدماتی از این قبیل

بار کل	یک تن تبرید برای هر 175-225 فوت‌مربع	(دامنه 100-350)
بار کل	هر فوت‌مربع 53-69 Btu/hr	(دامنه 35-115)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 23-54 Btu/hr	(دامنه 15-90)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.65-0.90	-
نرخ تعویض هوا	6-10 بار در ساعت	-

سوپرمارکت‌ها

بار کل	یک تن تبرید برای هر 250-350 فوت‌مربع	(دامنه 150-400)
بار کل	هر فوت‌مربع 34-48 Btu/hr	(دامنه 30-80)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 25-40 Btu/hr	(دامنه 22-67)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.65-0.85	-
نرخ تعویض هوا	4-10 بار در ساعت	-

مراکز خرید و بازارچه‌ها

بار کل	یک تن تبرید برای هر 150-350 فوت‌مربع	(دامنه 150-400)
بار کل	هر فوت‌مربع 34-80 Btu/hr	(دامنه 30-80)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 25-67 Btu/hr	(دامنه 22-67)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.65-0.85	-
نرخ تعویض هوا	6-10 بار در ساعت	-

زندان‌ها

بار کل	یک تن تبرید برای هر 350-450 فوت‌مربع	(دامنه 300-500)
بار کل	هر فوت‌مربع 27-34 Btu/hr	(دامنه 24-40)
بار محسوس	هر فوت‌مربع 22-30 Btu/hr	(دامنه 20-35)
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.80-0.95	-

کلیساها

بار کل	0.04 - 0.06 تن تبرید به ازای هر صندلی
بار کل	480-720 Btu/hr به ازای هر صندلی
بار محسوس	260-330 Btu/hr به ازای هر صندلی
ضریب گرمایی محسوس (SHR)	0.65-0.75
دبی هوا	15-30 cfm به ازای هر صندلی
نرخ تعویض هوا	8-15 بار در ساعت

* برای مساجد نیز می‌توان تقریبا همین مقادیر را به ازای هر نفر و یا هر نیم متر مربع در نظر گرفت.

سالن‌های بولینگ

بار کل	1.5 - 2.5 تن تبرید به ازای هر راهروی پرتاب توپ
بار کل	18000-30000 Btu/hr به ازای هر راهروی پرتاب توپ
نرخ تعویض هوا	10-15 بار در ساعت

تخمین بار سرمایی (روش سوم)

چنان‌چه بخواهیم پا را از دایره محاســـبات سرانگشتی فراتر گذارده و با دقت بیشتری دســـت به تخمین بارهای سرمایی بزنیم، می‌توانیم از روابط محاســـباتی و جداولی که در پی می‌آیند، استفاده کنیم. یکی از روش‌های قابل قبول برای تخمین بار ســـرمایی ،روش «اختلاف دمای بار سرمایشی» Cooling Load Temperature Differences یا به اختصار روش (CLTD) است.

در روش (CLTD) عوامل مختلفی که در افزایش بار سرمایشی موثر هستند در قالب هشـــت رابطه محاســـباتی گرد آمده است که مجموع آن‌ها به منزله تعیین بار سرمایش محسوس است. این هشت رابطه را می‌توان در هشت گام زیر خلاصه کرد:

گام اول: تعیین بار تابشـــی خورشـــید از جداره‌های شفاف مانند شیشه پنجره‌ها:

$q_1 = (GLF)\ A$

GLF = ضریب بار شیشـــه (Glass Load Factor) که براساس نوع پنجره، دمای طراحی و جهت استقرار پنجره از طریق جداول (1) و (2) در دسترس قرار می‌گیرد.

A = مساحت جدار شفاف بر حسب ft^2

گام دوم: تعیین بار هدایتی از درها و پنجره‌ها:

$q_2 = U_d\ A(CLTD)$

U_d = ضریب انتقال حرارت درها و پنجره‌ها بر حسب $Btu / ft^2.hr.^\circ F$ که از جداول بخش 3 – 2 استخراج می‌شود.

A = مساحت در یا پنجره بر حسب ft^2

(CLTD) = اختلاف دمای بار سرمایشی که از طریق جداول (3) و (4) در دسترس قرار می‌گیرد.

گام سوم: تعیین بار مربوط به دیوارهای خارجی

$q_3 = U_w\ A(CLTD)$

U_w = ضریب انتقال حرارت دیوارهای خارجی بر حسب $Btu / ft^2.hr.^\circ F$ که از جداول بخش 3 – 2 استخراج می‌شود.

A = مساحت دیوار بر حسب ft^2

(CLTD) = اختلاف دمای بار سرمایشی که از طریق جداول (3) و (4) در دسترس قرار می‌گیرد.

گام چهارم: تعیین بار مربوط به جدارهای داخلی و فضاهایی که خنک نمی‌شوند:

$$Q_4 = U_p A\Delta t$$

U_p = ضریب انتقال حرارت پارتیشن‌ها یا جدارهای داخلی بر حسب $Btu / ft^2.hr.^\circ F$ که از جداول بخش 3 – 2 استخراج می‌شود.

A = مساحت پارتیشن یا جدار داخلی بر حسب ft^2

Δt = اختلاف دمای بین دو فضای مجاور که یکی خنک می‌شود و دیگری نمی‌شود بر حسب $^\circ F$.

گام پنجم: تعیین بار مربوط به سقف‌ها و بام‌ها:

$$q_5 = U_r A(CLTD)$$

U_r = ضریب انتقال حرارت سقف‌ها و بام‌ها بر حسب $Btu /ft^2.hr.^\circ F$ که از جداول بخش 3 – 2 استخراج می‌شود.

A = مساحت سقف و بام بر حسب ft^2

(CLTD) = اختلاف دمای بار سرمایشی که از طریق جداول (3) و (4) در دسترس قرار می‌گیرد.

گام ششم: تعیین بار کف‌هایی که نمایان هستند و در معرض هوای خارج قرار دارند:

$$q_6 = U_f A(CLTD)$$

U_f = ضریب انتقال حرارت کف‌های نمایان بر حسب $Btu /ft^2.hr.^\circ F$ که از جداول بخش 3 – 2 استخراج می‌شود.

A = مساحت بخش‌های کف که در معرض هوای خارج قرار دارند بر حسب ft^2

(CLTD) = اختلاف دمای بار سرمایشی که از طریق جداول (3) و (4) در دسترس

قرار می‌گیرد.

گام هفتم: تعیین بار مربوط به نفوذ هوای گرم خارج به داخل:

$Q_7 = 1.1\ Q\ \Delta t$

Q = دبـــی هوای نفوذی که از طریق رابطه 60/ (حجم اتاق) × ACH به دســـت می‌آید و ACH نیز به عنوان نرخ تعویض هوا از جداول (5) و (6) استخراج می‌شود.

Δt = اختلاف دمای هوای داخل و خارج

گام هشتم: تعیین بار مربوط به عوامل گرمازا:

عوامل مختلف گرمازایی مانند گرمای ناشـــی از حضور افراد، روشنایی، تجهیـــزات الکتریکی و مکانیکی و نیز تجهیزات گرمـــازای دیگر مانند لوازم پخت‌وپز که از طریق جداول مختلف مندرج در بخش 3 - 2 قابل اســـتخراج است بر حسب Btu / hr با هم جمع شده و از این طریق مقدار گرمای ناشی از چنین عواملی به عنوان هشتمین بار سرمایشی تعیین می‌شود. به صورت تخمینی و بدون مراجعه به جداول ویژه‌ای که برای به دســـت آوردن مقادیر دقیق این عوامل تعیین شده است، می‌توان از ارقام زیر استفاده نمود:

- گرمای محسوس ناشی از حضور افراد: 230 Btu / hr به ازای هر نفر
  (برای ساختمان‌های مسکونی می‌توان به ازای اتاق خواب اصلی 2 نفر و به ازای هر اتاق خواب اضافی 1 نفر در نظر گرفت.)
- گرمای محسوس ناشی از تجهیزات گرمازا:
  برای ســـاختمان‌های مسکونی ویلایی 1600Btu / hr در نظر گرفته می‌شود و بـــرای واحدهای آپارتمانی چند واحدی این مقـــدار 1200Btu / hr منظور می‌شود. چنان‌چه منازل دارای اتاق‌های مخصوصی برای ماشین رختشویی و یا وسایل گرمازای دیگری مانند آبگرمکن و فریزر باشند، 1600Btu / hr بار اضافی نیز در نظر گرفته می‌شود. برای ساختمان‌های اداری و تجاری باید بار گرمای تجهیزات را به طور دقیق از طریق مراجعه به جداول بخش 3 – 2 تعیین کرد.

گام نهم: جمع کل بار سرمایش محسوس

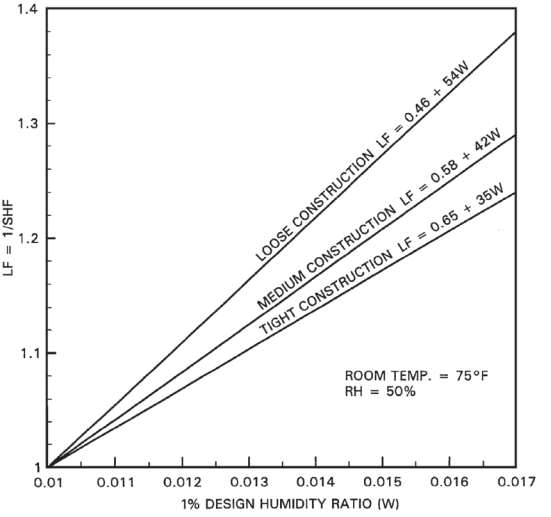
مجموع بارهای سرمایشی که در هشت مرحله پیشین به دست می‌آید، کل بار محسوس محسوب می‌شود.

$$Q_S = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8$$

گام دهم: تعیین بار سرمایشی کل:

بار سرمایشی کل، حاصل‌جمع بار سرمایش محسوس و بار سرمایش نهان است. برای اعمال نمودن تاثیرات ناشی از رطوبت هوای خارج و عملیات مختلفی که منجر به افزایش بار نهان می‌شوند، می‌توان از ضریب (LF) یا ضریب بار نهان که از طریق نمودار زیر تعیین می‌شود، استفاده و مقدار (LF) را در مقدار کل بار محسوس ضرب کرد:

$$Q_T = LF \times Q_S$$



نمودار تعیین ضریب بار نهان. با در اختیار داشتن نسبت رطوبت (W) و تعیین حد درزبندی منافذ ساختمان که بر روی خطوط مورب درج شده است می‌توان مقدار LF را از محور عمودی سمت چپ به دست آورد.

جداول مورد استفاده

جداول مورد استفاده برای تعیین برخی از پارامترهای مورد استفاده در روابط محاسباتی بار سرمایشی که بیش از این مورد بررسی قرار گرفت به ترتیب عبارتند از:

جدول (1) – تعیین (GLF) ضریب بار شیشه‌ها برای ساختمان‌های مسکونی ویلایی برای استفاده در رابطه اول.

جدول (2) – تعیین (GLF) ضریب بار شیشه‌ها برای ساختمان‌های مسکونی چندواحدی برای استفاده در رابطه اول

جدول (3) – تعیین (CLTD) اختلاف دمای بار سرمایشی برای ساختمان‌های مسکونی ویلایی برای استفاده در روابط دوم، سوم، پنجم و ششم

جدول (4) – تعیین (CLTD) اختلاف دمای بار سرمایشی برای ساختمان‌های مسکونی چندواحدی برای استفاده در روابط دوم، سوم، پنجم و ششم

در این جدول منظور از

L = دامنه دمایی کم (کمتر از 16°F).

M = دامنه دمایی متوسط (بین 16 تا 25°F)

*H = دامنه زیاد (بیشتر از **F**°25)*

دیوارهای به ضخامت 8 اینچ و کمتر سبک و دیوارهای بین 8 تا 10 اینچ نیمه‌سنگین و دیوارهای با ضخامت بیش از 10 اینچ سنگین محسوب می‌شوند.

جدول (5) – نرخ تعویض هوا (ACH) ناشی از نفوذ بر اساس مقدار درزبندی و هوابندی مجاری نفوذ هوای خارج برای سرعت باد 15 مایل در ساعت برای استفاده در رابطه هفتم.

جدول (6) – نرخ تعویض هوا (ACH) ناشی از نفوذ بر اساس مقدار درزبندی و هوابندی مجاری هوای خارج برای سرعت باد 7.5 مایل در ساعت برای استفاده در رابطه هفتم.

جدول (1) – تعیین (GLF) ضریب بار شیشه‌ها برای ساختمان‌های مسکونی ویلایی برای استفاده در رابطه اول [1]

	معمولی شیشه یک جداره						معمولی شیشه دو جداره						جاذب گرما شیشه دو جداره						شیشه سه جداره		
دمای طراحی °F	85	90	95	100	105	110	85	90	95	100	105	110	85	90	95	100	105	110	85	90	95
بدون سایه‌انداز داخلی																					
شمال	34	36	41	47	48	50	30	30	34	37	38	41	20	20	23	25	26	28	27	27	30
شمال‌شرق و شمال‌غرب	63	65	70	75	77	83	55	56	59	62	63	66	36	37	39	42	44	44	50	50	53
شرق و غرب	88	90	95	100	102	107	77	78	81	84	85	88	51	51	54	56	59	59	70	70	73
جنوب‌شرق و جنوب‌غرب [2]	79	81	86	91	92	98	69	70	73	76	77	80	45	46	49	51	54	54	62	63	65
جنوب [2]	53	55	60	65	67	72	46	47	50	53	54	57	31	31	34	36	39	39	42	42	45
نورگیر افقی	156	156	161	166	167	171	137	138	140	143	144	147	90	91	93	95	96	98	124	125	127
با سایه‌انداز از نوع پرده پارچه‌ای، غلطکی مات و پرده کاملا کشیده																					
شمال	18	19	23	27	29	33	16	16	19	22	23	26	13	14	16	18	19	21	15	16	18
شمال‌شرق و شمال‌غرب	32	33	38	42	43	47	29	30	32	35	36	39	24	24	27	29	29	32	28	28	30
شرق و غرب	45	46	50	54	55	59	40	41	44	46	47	50	33	33	36	38	38	41	39	39	41

← ادامه

جدول (1) – تعیین (GLF) ضریب بار شیشه‌ها برای ساختمان‌های مسکونی ویلایی برای استفاده در رابطه اول (ادامه)

	معمولی شیشه یک جداره						معمولی شیشه دو جداره						جاذب گرما شیشه دو جداره						شیشه سه جداره		
دمای طراحی °F	**85**	**90**	**95**	**100**	**105**	**110**	**85**	**90**	**95**	**100**	**105**	**110**	**85**	**90**	**95**	**100**	**105**	**110**	**85**	**90**	**95**
جنوب‌شرق و جنوب‌غرب [2]	40	41	46	49	51	55	36	37	39	42	43	46	29	30	32	34	35	37	35	36	38
جنوب	27	28	33	37	38	42	24	25	28	31	31	34	20	21	23	25	26	28	23	24	26
نورگیر افقی	78	79	83	86	87	90	71	71	74	76	77	79	58	59	61	63	63	65	69	69	71
سایه‌اندازهای غلطکی تیره، کاملا کشیده																					
شمال	14	15	20	23	25	29	13	14	17	19	20	23	12	12	15	17	17	20	13	13	15
شمال‌شرق و شمال‌غرب	25	26	31	34	36	40	23	24	27	30	30	33	21	22	24	26	27	29	23	23	26
شرق و غرب	34	36	40	44	45	49	32	33	36	38	39	42	29	30	32	34	35	37	32	32	35
جنوب‌شرق و جنوب‌غرب [2]	31	32	36	40	42	46	29	30	33	35	36	39	26	27	29	31	32	34	29	29	31
جنوب [2]	21	22	27	30	32	36	20	20	23	26	27	30	18	19	21	23	24	26	19	20	22
نورگیر افقی	60	61	64	68	69	72	57	57	60	62	63	65	52	52	55	57	57	59	56	57	59

1- ضریب بار شیشه برای اماکن مسکونی تک واحدی، دوبلکس و چند واحدی با دو جبهه شرقی و غربی خارجی شمالی و جنوبی برحسب $Btu / hr\ ft^2$

2- تصحیح. +30% برای عرض جغرافیایی 84 درجه و (30%-) برای عرض جغرافیایی 23 درجه با میان‌یابی بین عرض‌های 40 تا 48 درجه و از 40 تا 32 درجه

جدول (2) – تعیین (GLF) ضریب بار شیشه‌ها برای ساختمان‌های مسکونی چندواحدی برای استفاده در رابطه اول

	معمولی شیشه یک جداره						معمولی شیشه دو جداره						جاذب گرما شیشه دو جداره						شیشه سه جداره		
دمای طراحی °F	85	90	95	100	105	110	85	90	95	100	105	110	85	90	95	100	105	110	85	90	95
بدون سایه‌انداز داخلی																					
شمال	40	44	49	54	58	64	34	36	39	42	44	47	23	24	26	29	30	33	30	32	34
شمال‌شرق	88	89	91	95	97	100	78	79	80	83	84	85	52	52	53	55	55	57	71	71	73
شرق	136	137	139	142	144	147	120	121	122	125	126	127	79	79	81	83	83	84	109	109	111
جنوب‌شرق	129	130	134	139	141	144	109	113	116	119	120	122	72	75	77	79	79	81	103	99	105
جنوب	88	91	96	101	105	110	76	78	81	84	86	89	50	52	54	56	58	60	70	68	72
جنوب‌غرب	154	159	164	169	174	179	134	137	140	143	145	148	89	91	93	95	97	99	123	121	125
غرب	174	178	183	188	192	197	151	154	157	160	162	165	100	102	104	106	108	110	139	137	141
شمال‌غرب	123	127	132	137	141	147	107	109	112	115	117	121	71	72	75	77	79	81	98	96	100
افقی	249	252	256	261	264	268	218	220	223	226	228	230	144	146	148	150	152	154	200	198	202

← ادامه

جدول (2) – تعیین (GLF) ضریب بار شیشه‌ها برای ساختمان‌های مسکونی چندواحدی برای استفاده در رابطه اول (ادامه)

	معمولی شیشه یک جداره						معمولی شیشه دو جداره						جاذب گرما شیشه دو جداره						شیشه سه جداره		
دمای طراحی °F	85	90	95	100	105	110	85	90	95	100	105	110	85	90	95	100	105	110	85	90	95
با سایه‌انداز از نوع پرده پارچه‌ای، غلطکی مات و پرده کاملا کشیده																					
شمال	21	25	29	33	36	40	18	21	23	26	28	31	15	17	19	21	23	25	17	19	21
شمال‌شرق	43	44	46	50	51	52	39	40	41	44	45	46	33	33	34	36	36	37	39	39	40
شرق	67	68	70	74	75	76	61	62	63	65	66	67	50	50	51	54	54	55	60	60	61
جنوب‌شرق	64	65	69	73	74	77	58	59	61	63	64	66	48	48	50	52	52	54	57	57	59
جنوب	45	48	52	56	59	63	40	42	44	47	49	52	33	34	36	39	40	42	38	40	42
جنوب‌غرب	79	83	87	91	94	98	70	72	75	78	80	83	57	59	62	64	66	68	68	69	71
غرب	89	92	96	100	103	107	79	81	84	86	88	91	65	66	69	71	72	75	76	78	80
شمال‌غرب	63	66	70	74	77	81	56	58	61	63	66	68	46	48	50	52	54	56	54	55	57
افقی	126	128	132	135	137	141	113	115	117	120	121	124	93	94	96	98	100	102	110	111	113

← ادامه

جدول (2) – تعیین (GLF) ضریب بار شیشه‌ها برای ساختمان‌های مسکونی چندواحدی برای استفاده در رابطه اول (ادامه)

	معمولی شیشه یک جداره						معمولی شیشه دو جداره						جاذب گرما شیشه دو جداره						شیشه سه جداره		
دمای طراحی F°	85	90	95	100	105	110	85	90	95	100	105	110	85	90	95	100	105	110	85	90	95
سایه‌اندازهای غلطکی تیره، کاملا کشیده																					
شمال	17	21	25	29	32	36	15	17	20	23	25	28	14	15	18	20	22	24	15	16	18
شمال‌شرق	33	34	35	39	40	42	31	32	33	36	35	37	29	28	30	32	32	34	32	31	33
شرق	51	52	53	57	61	65	48	49	50	53	52	55	45	45	46	48	48	49	49	49	50
جنوب‌شرق	49	50	53	57	58	61	46	47	49	52	52	55	42	43	45	47	47	49	46	46	48
جنوب	35	38	42	46	49	53	32	34	37	40	42	42	29	31	33	35	37	39	32	33	35
جنوب‌غرب	61	65	69	73	77	81	57	59	62	65	67	70	52	54	56	58	60	62	56	58	60
غرب	68	71	75	80	83	87	64	66	68	71	73	76	58	60	62	64	66	68	63	64	66
شمال‌غرب	49	52	56	60	63	67	45	47	50	53	55	58	41	43	45	47	49	51	45	46	48
افقی	97	99	102	106	108	III	91	93	95	97	99	102	83	85	87	89	90	92	90	92	93

جدول (3)– تعیین (CLTD) اختلاف دمای بار سرمایشی برای ساختمان‌های مسکونی ویلایی برای استفاده در روابط دوم، سوم، پنجم و ششم

	دمای طراحی °F											
	110	105	100		95			90			85	
دامنه دمای روزانه	H	M	H	M	H	M	L	H	M	L	M	L
تمام دیوارها و درها												
شمال	23	18	13	18	8	13	18	3	8	13	3	8
شمال‌شرق و شمال‌غرب	29	24	19	24	14	19	24	9	14	19	9	14
شرق و غرب	33	28	23	28	18	23	28	13	18	23	13	18
جنوب‌شرق و جنوب‌غرب	31	26	21	26	16	21	26	II	16	21	II	16
جنوب	26	21	16	21	11	16	21	6	11	16	6	II
بام‌ها و سقف‌ها												
زیر شیروانی‌ها	56	51	47	51	42	47	51	37	42	47	37	42
کف‌ها و سقف‌ها												
تهویه شده زیرین تهویه نشده بالا اتاق یا فضای زیر شیروانی	19	14	12	14	9	12	14	4	9	12	4	9
سقف کاذب یا پارتیشن‌ها												
داخلی یا در سایه	19	14	12	14	9	12	14	4	9	12	4	9

L = دامنه دمایی کم (کمتر از 16°F). M = دامنه دمایی متوسط (بین 16 تا 25°F)
H = دامنه زیاد (بیشتر از 25°F)

جدول (4) – تعیین (CLTD) اختلاف دمای بار سرمایشی برای ساختمان‌های مسکونی چندواحدی برای استفاده در روابط دوم، سوم، پنجم و ششم

		110	105	100		95			90			85	
دامنه دمای روزانه		H	M	H	M	H	M	L	H	M	L	M	L
دیوارها و درها													
شمال	سبک	32	27	22	26	17	21	24	12	16	19	11	14
	نیمه‌سنگین	31	26	21	25	16	20	23	11	15	18	10	13
	سنگین	27	22	17	21	12	16	20	7	11	15	6	9
شمال‌شرق	سبک	36	31	26	32	22	27	33	17	22	28	17	23
	نیمه‌سنگین	34	29	25	29	21	25	30	16	20	25	15	20
	سنگین	31	26	22	26	18	22	26	13	17	21	12	16

← ادامه

جدول (4) – تعیین (CLTD) اختلاف دمای بار سرمایشی برای ساختمان‌های مسکونی چندواحدی برای استفاده در روابط دوم، سوم، پنجم و ششم (ادامه)

دامنه دمای روزانه		85		90			95			100		105	110
		L	M	L	M	H	L	M	H	M	H	M	H
شرق	سبک	32	27	37	32	27	43	38	32	42	37	42	47
	نیمه‌سنگین	30	24	34	29	24	40	34	29	39	33	39	44
	سنگین	23	18	28	23	18	34	29	23	33	28	33	38
جنوب‌شرق	سبک	31	27	35	31	26	41	37	31	42	37	42	47
	نیمه‌سنگین	28	22	32	27	22	37	32	27	37	33	38	43
	سنگین	21	16	26	22	17	32	27	22	31	27	32	37
جنوب	سبک	25	22	29	26	22	35	31	26	36	32	37	43
	نیمه‌سنگین	22	18	26	22	18	31	26	22	31	27	32	38
	سنگین	16	11	20	16	12	26	21	17	26	21	27	33
جنوب‌غرب	سبک	39	36	44	40	35	50	46	40	51	47	52	58
	نیمه‌سنگین	33	29	37	34	29	44	40	35	45	40	46	52
	سنگین	23	18	28	24	19	36	31	25	35	30	36	42
غرب	سبک	44	41	48	45	40	54	51	46	56	52	57	63
	نیمه‌سنگین	37	33	41	38	33	46	42	38	48	43	49	55
	سنگین	26	22	31	27	23	37	32	27	37	32	38	44
شمال غرب	سبک	33	30	37	34	30	43	39	34	44	40	45	50
	نیمه‌سنگین	28	25	32	29	24	37	33	29	39	35	40	45
	سنگین	20	16	25	20	16	31	26	21	31	26	32	37
بام‌ها و سقف‌ها													
شیب‌دار یا تخت مرکب چند لایه	سبک	58	53	65	60	55	70	65	60	70	65	72	77
	نیمه‌سنگین و سنگین	21	18	23	21	18	25	23	21	25	23	25	28
کف‌ها و سقف‌ها													
پایین یا بالای تهویه نشده سقف کاذب، خزیده‌روها، زیرشیروانی		9	4	12	9	4	14	12	9	14	12	14	19
پارتیشن‌ها													
داخلی یا در سایه		9	4	12	9	4	14	12	9	14	12	14	19

جدول (5) – نرخ تعویض هوا (ACH) ناشـــی از نفوذ بر اســـاس مقدار درزبندی و هوابندی مجاری نفوذ هوای خارج برای سرعت باد 15 مایل در ساعت برای استفاده در رابطه هفتم.

	دمای هوای بیرون °F									
گروه‌ها	50	40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40
هوابند	0.41	0.43	0.45	0.47	0.49	0.51	0.53	0.55	0.57	0.59
هوابندی متوسط	0.69	0.73	0.77	0.81	0.85	0.89	0.93	0.97	1.00	1.05
هوابندی کم	1.11	1.15	1.20	1.23	1.27	1.30	1.35	1.40	1.43	1.47

براساس دمای داخلی 68°F و سرعت باد 15 مایل در ساعت

جدول (6) – نرخ تعویض هوا (ACH) ناشـــی از نفوذ بر اســـاس مقدار درزبندی و هوابندی مجاری هوای خارج برای ســـرعت باد 7.5 مایل در ساعت برای استفاده در رابطه هفتم.

	دمای هوای بیرون °F					
گروه‌ها	85	90	95	100	105	110
هوابند	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38
هوابندی متوسط	0.46	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56
هوابندی کم	0.68	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78

براساس دمای داخلی 75°F و سرعت باد 7.5 مایل در ساعت

خلاصه روابط محاسباتی بار سرمایشی به روش (CLTD)

تعیین بار سرمایش	رابطه	توضیح
بار تابشی	$q_1 = (GLF)\ A$	با استفاده از جداول (1) و (2)
بار هدایت درها و پنجره‌ها	$q_2 = U_d\ A(CLTD)$	با استفاده از جداول (3) و (4) و جداول ضرایب انتقال حرارت درها و پنجره‌ها بخش 3 - 2
بار هدایت دیوارهای خارجی	$q_3 = U_w\ A(CLTD)$	با استفاده از جداول (3) و(4) و جداول ضریب انتقال حرارت دیوارها بخش 3 - 2
بار هدایت جدارهای داخلی	$q_4 = U_p\ A\ \Delta t$	با استفاده از جداول ضریب انتقال حرارت دیوارها بخش 3 - 2
بار هدایت سقف و بام	$q_5 = U_r\ A(CLTD)$	با استفاده از جداول (3) و (4) و جداول ضریب انتقال حرارت بخش 3 - 2
بار هدایت کف‌های نمایان	$q_6 = U_f\ A(CLTD)$	با استفاده از جداول (3) و (4) و جداول ضریب انتقال حرارت بخش 3 - 2
بار ناشی از نفوذ	$q_7 = 1.1\ Q\ \Delta t$ $Q = \frac{ACH \times (\text{حجم اتاق})}{60}$	با استفاده از جداول (5) و (6)
بار ناشی از عوامل گرمازا	230 Btu / hr به ازای هر نفر 1600 Btu / hr برای تجهیزات الکتریکی و مکانیکی گرمازا در ساختمان‌های ویلایی و 1200 Btu / hr برای ساختمان‌های چندواحدی	برای تعیین بار دقیق‌تر می‌توان بر اساس تعداد و موارد مشخص عوامل گرمازا از جداول بخش 3 - 2 استفاده نمود.
جمع کل بار محسوس	$Q_S = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8$	
جمع کل بار سرمایشی	$Q_T = LF \times Q_S$	با استفاده از نمودار تعیین ضریب بار نهان

● ***نکته:*** *اگرچه روش CLTD برای اماکن مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ اما از همین روابط می‌توان برای اماکن غیرمسکونی نیز به صورت تقریبی استفاده نمود مشروط بر اینکه بارهای مربوط به عوامل گرمازا به طور دقیق متناسب با تجهیزات ساختمان غیرمسکونی تعیین شود. این مقادیر از طریق مراجعه به بخش 3 - 2 تعیین می‌شود.*

تخمین مقدار هوای حامل بار گرمایی و سرمایی

در سیستم‌های تهویه‌مطبوع به ویژه سیستم‌های تمام هوا، گرما، یا سرمای فضای موردنظر از طریق انتقال هوای گرم یا سرد تامین می‌شود؛ بنابراین لازم است که دبی هوای گرم یا سرد مورد نیاز تعیین شود.

تعیین مقدار هوای حامل بار گرمایی

برای تعیین دقیق مقدار هوای حامل بار گرمایی می‌توان از رابطه زیر بهره جست:

$$cfm = \frac{Btu/hr}{1.08\ (\ 105 - T\ )} \qquad (1)$$

cfm = مقدار هوای گرم بر حسب فوت‌مکعب در دقیقه (cfm)

Btu/hr = بار گرمایی فضا بر حسب بی‌تی‌یو بر ساعت (Btu/hr)

1.08 = حاصلضرب جرم مخصوص هوا در گرمای ویژه هوا در واحد زمان

$$(\ 0.0749\ lb/ft^3 \times 0.24\ Btu/lb.F \times 60\ )$$

105 = حداکثر دمای هوای ورودی به اتاق بر حسب فارنهایت (F)

T = دمای زمستانی طرح داخل فضا بر حسب فارنهایت (F)

تخمین مقدار هوای حامل بار گرمایی

چنانچه دمای داخل را $77^{\circ}F$ ($25^{\circ}C$) در نظر گیریم، بر اساس رابطه (1) می‌توان از طریق رابطه زیر مقدار هوای گرم را تخمین زد:

$$cfm = \frac{Btu/hr}{30} \qquad (2)$$

به‌طور کلی می‌توان به ازای هر 12000 Btu/hr ظرفیت گرمایی مقدار تقریبی هوا را بین 300 تا 400 فوت‌مکعب در دقیقه در نظر گرفت.

دبی هوای حامل بار گرمایی

جدول زیر دبی هوای حامل بار گرمایی با دماهای مختلف را بر اســـاس چگالی $0.075\ ft^3/lb$ و مطابق با رابطه زیر نمایش می‌دهد:

$$Btu/hr = 1.08 \times \Delta t \times cfm$$

بار گرمایی	دمای هوا (°F)										
Btu/hr	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
30000	926	694	556	463	397	347	308	278	253	231
35000	1080	810	643	540	463	405	360	324	295	270
40000	1234	925	741	617	529	463	412	370	337	309
45000	1389	1042	833	694	595	521	463	417	379	347
50000	1543	1157	926	772	661	579	514	463	421	386
55000	1698	1273	1019	849	728	637	566	509	463	424
60000	1852	1389	1111	926	794	694	617	556	505	463
65000	2006	1505	1203	1003	860	752	669	602	547	502
70000	2160	1620	1296	1080	926	810	720	648	589	540
75000	2315	1736	1389	1157	992	868	772	694	631	579
80000	2469	1852	1481	1235	1058	926	823	741	673	617
85000	2623	1968	1574	1311	1124	984	875	787	715	656
90000	2778	2083	1667	1389	1190	1042	926	833	758	694
95000	2932	2199	1759	1466	1257	1100	977	880	800	734
100000	3084	2315	1852	1543	1323	1157	1029	926	842	772
105000	3241	2431	1944	1620	1389	1215	1080	972	884	810
110000	3395	2546	2037	1698	1455	1273	1132	1019	926	849
115000	3549	2662	2130	1775	1521	1331	1183	1065	968	887
120000	3704	2778	2222	1852	1587	1389	1235	1111	1010	926
125000	385	2894	2315	1929	1653	1447	1286	1157	1052	965

SOURCE: HVAC/R TERMINOLOGY- SECOND EDITION- RICHARD WIRTZ.

تعیین مقدار هوای حامل بار سرمایی

برای تعیین دقیق مقدار هوای حامل بار سرمایی می‌توان از رابطه زیر بهره جست:

$$cfm = \frac{(\text{بار محسوس Btu/hr})}{1.08 \times \Delta t} \quad (1)$$

چنانچه نسبت گرمای محسوس (SHR) بین 0.75 تا 0.79 باشد می‌توان Δt را برابر 21 در نظر گرفت و اگر SHR بین 0.80 تا 0.85 باشد، Δt برابر 19 منظور می‌گردد و اگر SHR بین 0.85 تا 0.90باشد، می‌توان Δt را برابر 17 درجه فارنهایت در نظر گرفت. نسبت گرمای محسوس (SHR) از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$SHR = \frac{\text{گرمای محسوس}}{(\text{گرمای نهان} + \text{گرمای محسوس})}$$

تخمین مقدار هوای حامل بار سرمایی

در حالت تقریبی و بدون در اختیار داشتن مقدار SHR می‌توان Δt را برابر 19 یا 20 در نظر گرفت. در این صورت رابطه (1) به شکل ساده‌تر زیر تبدیل می‌شود:

$$cfm = \frac{Btu/hr}{20} \quad (2)$$

مثال: چنانچه بار محسوس اتاقی 23000 Btu/hr و بار نهان آن برابر 4900 Btu/hr باشد، مقدار هوای حامل بار سرمایی را محاسبه کنید.

ابتدا مقدار SHR را محاسبه می‌کنیم:

$$SHR = 23000 / (23000 + 4900) = 0.82$$

از آنجا که SHR معادل 0.82 به دست آمده است، Δt را برابر 19 درجه فارنهایت در نظر می‌گیریم، بنابراین از طریق رابطه (1) دبی هوای حامل بار سرمایی محاسبه می‌شود: $cfm = 23000 / (1.08 \times 19) = 1121$

به‌طور کلی می‌توان به ازای هر یک تن تبرید (12000 Btu/hr) مقدار تقریبی هوا را بین 400 تا 600 فوت‌مکعب در دقیقه در نظر گرفت.

تعیین دبی آب حامل بار گرمایی و سرمایی

در سیستم‌های تهویه‌مطبوع به ویژه سیستم‌های تمام آب، انتقال گرما یا سرما به فضای مورد نظر توسط آب صورت می‌گیرد و در برخی سیستم‌های تمام هوا و نیز سیستم‌های آب - هوا، آب به عنوان سیال اولیه نقش عمده‌ای را در انتقال حرارت ایفا می‌کند. بنابراین لازم است که دبی آب سرد یا گرم ورودی به کوئل‌های هواساز، فن‌کوئل‌ها و سایر تجهیزات تبادل حرارت تعیین شود.

برای تعیین دبی آبگرم یا آب سرد سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی به طور دقیق می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$gpm = \frac{Btu/hr}{(8.33 \times 60 \times \Delta t)}$$

که در آن:

gpm = دبی آب سرد یا گرم برحسب گالن در دقیقه

Btu/hr = بار گرمایی یا سرمایی برحسب بی‌تی‌یو بر ساعت

8.33 = وزن مخصوص آب برحسب پوند بر گالن

60 = تبدیل یک ساعت به دقیقه

Δt = اختلاف دمای آب ورودی و خروجی یا آب رفت و برگشت سیستم که معمولا برای آب گرم 20 و برای آب سرد 10 درجه فارنهایت در نظر گرفته می‌شود.

رابطه بالا را به طور ساده‌تر می‌توان چنین نوشت:

$$gpm = \frac{Btu/hr}{(500 \times \Delta t)}$$

یا براساس واحدهای (SI)چنین نوشت:

$$lps = \frac{kW}{(4.18 \times \Delta t)}$$

lps = دبی آب سرد یا گرم بر حسب لیتر بر ثانیه

kW = بار گرمایی یا سرمایی بر حسب کیلووات

Δt = اختلاف دمای آب ورودی و خروجی با استفاده از واحدهای (SI)که برای آبگرم 11.1 درجه سلسیوس و برای آب سرد 5.6 درجه سلسیوس در نظر گرفته می‌شود.

تعیین و تخمین دبی آبگرم سیستم گرمایشی

دبی آبگرم به طور دقیق از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$gpm = \frac{Btu/hr}{8.33 \times 60 \times \Delta t} \quad (1)$$

gpm = دبی آبگرم در حال گردش بر حسب گالن در دقیقه

Btu/hr = بار گرمایی بر حسب بی‌تی‌یو بر ساعت

8.33 = وزن مخصوص آب بر حسب پوند بر گالن

60 = تبدیل یک ساعت به دقیقه

Δt = اختلاف دمای آب ورودی و خروجی یا آب رفت و برگشت سیستم است.

چنانچه ΔT را در همه حالت‌ها برابر 20 درجه فارنهایت در نظر گیریم، می‌توانیم رابطه (1)را به شکل ساده‌تر زیر تبدیل کنیم:

$$gpm = \frac{Btu/hr}{10000} \quad (2)$$

به این ترتیب دبی آب در گردش برای سیستم گرمایش به راحتی از تقسیم بار گرمایی بر عدد 10000 بر حسب گالن در دقیقه (gpm) به دست می‌آید.

در سیستم (SI) می‌توان از طریق رابطه زیر دبی آبگرم را برحسب لیتر بر ثانیه (l/sec) به دست آورد:

$$l/sec = \frac{Q_H}{\Delta t}$$

Q_H = بار گرمایشی بر حسب کیلووات (kW)

Δt = اختلاف دمای رفت و برگشت بر حسب سلسیوس (°C)

چنانچه اختلاف دمای آب رفت و برگشت را همواره 10 درجه سلسیوس در نظر بگیریم، رابطه فوق به شکل ساده‌تر زیر در خواهد آمد.

$$l/sec = \frac{Q_H}{41.9}$$

که به صورت تخمینی می‌توان برای به دست آوردن دبی آبگرم برحسب لیتر بر ثانیه، ظرفیت گرمایی را بر حسب کیلووات تقسیم بر عدد 42 نمود:

$$l/sec = \frac{Q_C}{42}$$

تعیین و تخمین دبی آب سرد

دبی آب سرد در حال گردش نیز مشابه دبی آبگرم از طریق رابطه زیر به طور دقیق قابل محاسبه است:

$$gpm = \frac{Btu/hr}{8.33 \times 60 \times \Delta t} \qquad (1)$$

در سیستم‌های سرمایشی معمولا اختلاف دمای آب رفت و برگشت (Δt) سیستم برابر 10 درجه فارنهایت در نظر گرفته می‌شود. چنانچه این عدد را در مخرج رابطه (1) ضرب کنیم رابطه ساده‌تر (2) پدید خواهد آمد:

$$gpm = \frac{Btu/hr}{5000} \qquad (2)$$

بنابراین با تقسیم بار سرمایی کل بر عدد 5000 دبی آب سرد بر حسب گالن در دقیقه (gpm) به دست می‌آید.

در سیستم (SI) می‌توان از طریق رابطه زیر دبی آب سرد را برحسب لیتر بر ثانیه (l/sec) به دست آورد:

$$l/sec = \frac{Q_C}{4.19\ \Delta t}$$

Q_C = بار سرمایشی بر حسب کیلووات (kW)

Δt = اختلاف دمای رفت و برگشت بر حسب سلسیوس (°C)

چنانچه اختلاف دمای آب رفت و برگشت را همواره 5 درجه سلسیوس در نظر بگیریم، رابطه فوق به شکل ساده‌تر زیر در خواهد آمد.

$$l/sec = \frac{Q_C}{20.95}$$

که به صورت تخمینی می‌توان برای به دست آوردن دبی آب سرد برحسب لیتر بر ثانیه، ظرفیت سرمایی را بر حسب کیلووات تقسیم بر عدد 21 نمود:

$$l/sec = \frac{Q_C}{21}$$

* * *

۲-۳

عوامل موثر در افزایش بار

گرمای ناشی از تجهیزات الکتریکی، روشنایی، ساکنین و انتقال هدایتی و تابشی از طریق جداره‌ها، هر یک دارای سهم ویژه‌ای در افزایش بار سرمایی ساختمان هستند. به عنوان مثال در ساختمان‌های اداری سهم هر یک از این عوامل تقریبا برابر درصدهای زیر است:

تجهیزات الکتریکی **22 درصد**

روشنایی **19 درصد**

ساکنین **12 درصد**

جداره‌ها و نفوذ **47 درصد شامل:** 5 درصد بام

7 درصد دیوارها

7 درصد هدایت پنجره‌ها

23 درصد تابش از طریق پنجره‌ها

5 درصد نفوذ

البته، معماری، نوع ساختمان، شرایط اقلیمی، نحوه استفاده از ساختمان، تعمیر و نگهداری و مدیریت و راهبری ساختمان می‌توانند اثرات هر یک از عوامل یاد شده را کاهش یا افزایش دهند. در سیستم‌های گرمایشی بارهای ناشی از کارکرد تجهیزات الکتریکی، روشنایی و ساکنین، عوامل کاهنده محسوب می‌شوند که در محاسبات گرمایی منظور نمی‌شوند.

بار گرمایی تجهیزات الکتریکی

در حالت کلی می‌توان بار ناشی از تجهیزات الکتریکی را از طریق روابط زیر برآورد نمود:

وات × 3.4 = Btu

آمپر × ولت × 3.4 = Btu

در روابط بالا مقدار توانی که به صورت حرارت تلف می‌شـــود برابر توان دستگاه فرض شده است.

گرمای ناشی از وسایل ارتباطی و کامپیوترها که در ساختمان‌های اداری به وفور به کار گرفته می‌شوند به ازای هر فوت‌مربع Btu 85 - 34 و به ازای هر مترمربع W 25 - 10 برآورد می‌شود.

فضاهای اداری و تجاری: 0.5-5.0 وات به ازای هر فوت‌مربع

اتاق‌های کامپیوتر و سرور: 2.0-300 وات به ازای هر فوت‌مربع

مراکز مخابرات: 50-120 وات به ازای هر فوت‌مربع

اتاق‌ها و پست‌های برق به ازای توان ترانسفورمر و کلید اصلی تابلوهای برق مطابق شرح زیر:

به ازای هر ترانسفورمر 150 kVA و کمتر: 50 وات به ازای هر کیلوولت آمپر

به ازای هر ترانسفورمر 151-500 kVA: 30 وات به ازای هر کیلوولت آمپر

به ازای هر ترانسفورمر 501-1000 kVA: 25 وات به ازای هر کیلوولت آمپر

به ازای هر ترانسفورمر 1001-2500 kVA: 20 وات به ازای هر کیلوولت آمپر

به ازای هر ترانسفورمر 2500 kVA: 15 وات به ازای هر کیلوولت آمپر

تابلوی برق با کلید اصلی 0-40 آمپر: 10 وات

تابلوی برق با کلید اصلی 50-100 آمپر: 20 وات

تابلوی برق با کلید اصلی 225 آمپر: 60 وات
تابلوی برق با کلید اصلی 400 آمپر: 100 وات
تابلوی برق با کلید اصلی 600 آمپر: 130 وات
تابلوی برق با کلید اصلی 800 آمپر: 170 وات
تابلوی برق با کلید اصلی 1600 آمپر: 460 وات
تابلوی برق با کلید اصلی 2000 آمپر: 600 وات
تابلوی برق با کلید اصلی 3000 آمپر: 1100 وات
تابلوی برق با کلید اصلی 4000 آمپر: 1500 وات
تابلوی برق ولتاژ متوسط با کلید اصلی 600 آمپر: 1000 وات
تابلوی برق ولتاژ متوسط با کلید اصلی 2000 آمپر: 1500 وات
تابلوی برق ولتاژ متوسط با کلید اصلی 2500 آمپر: 2500 وات
تابلوی برق: به ازای هر دو مدار، 2 وات
مرکز کنترل موتور الکتریکی: 500 وات به ازای هر بخش به ابعاد 20 اینچ در 20 اینچ با ارتفاع 84 اینچ
کنتاکتورها و راه‌اندازها: ولتاژ کم، اندازه 00: 50 وات
ولتاژ کم، اندازه 00: 50 وات
ولتاژ کم، اندازه 0: 50 وات
ولتاژ کم، اندازه 1: 50 وات
ولتاژ کم، اندازه 2: 100 وات
ولتاژ کم، اندازه 3: 130 وات
ولتاژ کم، اندازه 4: 200 وات
ولتاژ کم، اندازه 5: 300 وات
ولتاژ کم، اندازه 6: 650 وات
ولتاژ متوسط، 200 آمپر: 400 وات
ولتاژ متوسط، 400 آمپر: 1300 وات
ولتاژ متوسط، 700 آمپر: 1700 وات

درایو تغییر فرکانس و تغییر دور موتور:
2 تا 6 درصد نرخ توان ظاهری (kVA)
باسداکت‌ها: 0.015 وات به ازای هر فوت طول/آمپر (W/ft/A)
خازن‌ها: 2 وات به ازای هر کیلوولت آمپر راکتیو (kVAR)

گرمای ناشی از موتورهای الکتریکی

جدولی که در ادامه می‌آید بر اساس محل قرارگیری الکتروموتور و وسیله تحریک شـــونده (مانند فن)در مسیر جریان هوا یا فضای مورد تهویه تدوین شـــده است و بر همین اساس گرمای ناشی از کارکرد الکتروموتور را در سه حالت A، B و C می‌توان تعیین نمود.

A = موتور و تحریک شونده هر دو در داخل
B = موتور در خارج و تحریک شونده در داخل
C = موتور داخل و تحریک شونده در خارج

توان موتور hp	نوع موتور	دور موتور rpm	بازده در بار کامل %	A Btu/hr	B Btu/hr	C Btu/hr
0.05	تکفاز قطب چاکدار	1500	35	360	130	240
0.08	تکفاز قطب چاکدار	1500	35	580	200	380
0.125	تکفاز قطب چاکدار	1500	35	900	320	590
0.16	تکفاز قطب چاکدار	1500	35	1160	400	760
0.25	تکفاز با سیم‌پیچی کمکی	1750	54	1180	640	540
0.33	تکفاز با سیم‌پیچی کمکی	1750	56	1500	840	660
0.50	تکفاز با سیم‌پیچی کمکی	1750	60	2120	1270	850
0.75	سه فاز	1750	72	2650	1900	740
1	سه فاز	1750	75	3390	2550	850
1	سه فاز	1750	77	4960	3820	1140
2	سه فاز	1750	79	6440	5090	1350
3	سه فاز	1750	81	9430	7640	1790

← ادامه

گرمای ناشی از موتورهای الکتریکی (ادامه)

توان موتور hp	نوع موتور	دور موتور rpm	بازده در بار کامل %	A Btu/hr	B Btu/hr	C Btu/hr
5	سه فاز	1750	82	15500	12700	2790
7.5	سه فاز	1750	84	22700	19100	3640
10	سه فاز	1750	85	29900	24500	4490
15	سه فاز	1750	86	44400	38200	6210
20	سه فاز	1750	87	58500	50900	7610
25	سه فاز	1750	88	72300	63600	8680
30	سه فاز	1750	89	85700	76300	9440
40	سه فاز	1750	89	114000	102000	12600
50	سه فاز	1750	89	143000	127000	15700
60	سه فاز	1750	89	172000	153000	18900
75	سه فاز	1750	90	212000	191000	21200
100	سه فاز	1750	90	283000	255000	28300
125	سه فاز	1750	90	353000	318000	33300
150	سه فاز	1750	91	420000	382000	37800
200	سه فاز	1750	91	569000	509000	50300
250	سه فاز	1750	91	699000	636000	62900

SOURCE: ASHRAE POCKET HANDBOOK

هر یک از مقادیر جدول بالا را می‌توان از طریق روابط زیر نیز به دست آورد:

برای حالت (A): $(\text{Btu/hr}) = (\text{bhp} \times 2545)/EF$

برای حالت (B): $(\text{Btu/hr}) = \text{bhp} \times 2545$

برای حالت (C): $(\text{Btu/hr}) = \text{bhp} \times 2545\ (1/EFF - 1)$

EF = بازده در بار کامل بر حسب درصد

گرمای ناشی از روشنایی

در مورد روشنایی‌ها نیز مانند سایر تجهیزات الکتریکی می‌توان از طریق ضرب نمودن 3.4 در توان چراغ، گرما را محاسبه کرد.

در مورد چراغ‌های فلورسنت که دارای ترانس الکترومغناطیسی هستند باید 25 درصد به گرمای محاسبه شده افزود.گرمای چراغ‌های فلورسنت با ترانس الکترونیکی مشابه لامپ رشته‌ای محاسبه می‌شود:

(1) گرمای حاصل از لامپ رشته‌ای:

$$W \times 3.4 = Btu/hr$$

(2) گرمای حاصل از لامپ فلورسنت با ترانس معمولی:

$$W \times 3.4 \times 1.25 = Btu/hr$$

به طور تقریبی برای اغلب اماکن، روشـــنایی با لامپ فلورسنت 15 تا 20 وات بر مترمربع و برای لامپ رشته‌ای 25 تا 30 وات بر مترمربع در نظر گرفته می‌شـــود. اما برای تعیین دقیق گرمای حاصل از چراغ ها باید محاســـبات روشنایی گروه طراحی برق دست‌مایه محاسبات قرار گیرد.

گرمای ناشی از برخی تجهیزات پخت و لوازم خانگی

نوع وسیله	بدون استفاده از هود		با هود
	گرمای محسوس Btu/hr	گرمای نهان Btu/hr	گرمای محسوس Btu/hr
قهوه‌جوش بخاری 3 gal	2180	1120	1000
قهوه‌جوش بخاری 5 gal	3300	1700	1600
قهوه‌جوش بخاری دوتایی 8 gal	4350	2250	2100
گرمکن میزی بخاری به ازای هر فوت‌مربع	500	325	260
دیگ پخت بخاری به ازای هر گالن	600	400	320
گرمکن تخت بخاری به ازای هر فوت‌مکعب	550	275	260

← ادامه

گرمای ناشی از برخی تجهیزات پخت و لوازم خانگی (ادامه)

نوع وسیله	بدون استفاده از هود		با هود
	گرمای محسوس Btu/hr	گرمای نهان Btu/hr	گرمای محسوس Btu/hr
کانتر گرمکن بخاری سه سینی	5000	3250	2600
قهوه‌ساز گازی به ازای هر شعله	1750	750	500
قهوه‌جوش گازی 3 gal	3500	1500	1000
قهوه‌جوش گازی 5 gal	5250	2250	1500
قهوه‌جوش گازی دوتایی 8 gal	7000	3000	2000
گرمکن گازی به ازای هر فوت‌مربع	7500	7500	3000
تابه سرخ‌کردنی گازی به ازای هر فوت‌مربع	4900	2600	1500
توستر گازی 360 تکه در ساعت	3600	2400	1200
کباب‌پز گازی	وجود هود الزامی است	وجود هود الزامی است	8000
فر	وجود هود الزامی است	وجود هود الزامی است	3500
اجاق رستورانی به ازای هر فوت‌مربع	وجود هود الزامی است	وجود هود الزامی است	2400
گرمکن برقی غذا به ازای هر فوت‌مربع	320	80	130
تخم مرغ پز 25 × 13 × 10	1140	760	600
توستر برقی معمولی	2230	1970	1300
سشوار دستی 1580 W	2300	400	-
سشوار کلاهی	1870	330	-
لامپ نئون طولی به ازای هر فوت	60	-	-
چراغ گازی آزمایشگاهی	1680	420	-
روشنایی گاز سوز به ازای هر شعله	1800	200	-
فندک با شعله پیوسته	900	100	-

SOURCE: ASHRAE POCKET HANDBOOK

گرمای ناشی از برخی تجهیزات اداری و خانگی

تجهیزات	بهره گرمایی Btu/hr	بهره گرمایی W	توضیح
تلویزیون	170-340	50-100	-
یخچال	340-680	100-200	-
کامپیوتر شخصی	170-680	50-200	-
پرینتر جوهر افشان	34-100	10-30 (در حالت آماده به کار)	به هنگام کار بهره گرمایی افزایش می‌یابد
پرینتر لیزری	510	150 (در حالت آماده به کار)	به هنگام کار بهره گرمایی افزایش می‌یابد
دستگاه کپی	500-1000	150-300 (در حالت آماده به کار)	به هنگام کار بهره گرمایی افزایش می‌یابد

SOURCE: ENERGY CALCULATIONS- BUILDING LOADS - ARI RABL AND PETER S.CURTISS.

گرمای محسوس تجهیزات در برخی اماکن

کاربری	$Btu/hrft^2$	W/m^2
دفاتر عمومی	3-4	9.5-12.5
دفاتر با کامپیوتر	تا 15	تا 47
مراکز کامپیوتر	15-175	237-556
آزمایشگاه‌ها	15-70	47-220
رستوران (به ازای[1] هر پرس غذا)	30 Btu/hr	8.8 W

1- در رستوران‌ها گرمای نهان به ازای هر پرس غذا نیز (8.8 W) 30 Btu/hr در نظر گرفته می‌شود.

SOURCE: ASHRAE HANDBOOK OF FUNDAMENTALS

❋ ❋ ❋

گرمای ناشی از وجود افراد

یکـــی دیگر از عوامل در افزایش گرمای فضای مورد تهویه، وجود افراد و نوع فعالیت‌های آنان است. سوخت و ساز بدن انسان تولید حرارت می‌کند و حرارت تولید شده به نسبت زیر دفع شده و موجب افزایش گرمای محیط می‌شود.

هدایت و جابجایی	حدود 25٪
تشعشع	حدود 43٪
تبخیر رطوبت	حدود 30٪
هوای بازدم	حدود 2٪

ضربان قلب و مصرف اکسیژن در فعالیت‌های مختلف

نوع فعالیت	ضربان قلب در دقیقه	مصرف اکسیژن ft^3/h
کار سبک	< 90	<1
کار متوسط	90-110	1-2
کار سنگین	110-130	2-3
کار خیلی سنگین	130-150	3-4
کار فوق سنگین	150-170	>4

SOURCE: ASHRAE HANDBOOK (FUNDAMENTALS، THERMAL COMFORT)

نسبت اتلاف گرمای نهان و محسوس بدن انسان در زمان انجام کار سخت

دمای خشک	°C	13	15	18	21	24	27	30	32
	°F	55	60	65	70	75	80	85	90
گرمای محسوس	%	75	68	60	51	42	31	20	10
گرمای نهان	%	25	32	40	49	58	69	80	90

مرجع: *راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه مطبوع*- ویرایش یازدهم-
تالیف فردپورجز- ترجمه محمدرضا سلطاندوست

گرمای ناشی از افراد با فعالیت‌های مختلف

جدولی که در ادامه می‌آید، بر اســـاس دمای خشک 78 درجه فارنهایت تدوین شـــده اســـت. برای دمای 80 درجه فارنهایت مقدار گرمای کل ثابت باقی می‌ماند؛ اما گرمای محسوس در حدود 8 درصد کاهش خواهد داشت و تقریبا به همان نسبت گرمای نهان افزایش می‌یابد.

درجه فعالیت	مکان	گرمای کل مرد بالغ Btu/hr	گرمای کل تعدیل‌شده Btu/hr	گرمای محسوس Btu/hr	گرمای نهان Btu/hr
نشسته (راحت)	تئاتر سینما	400	350	210	140
نشسته با کار خیلی سبک مانند نوشتن	دفاتر هتل آپارتمان	480	420	230	190
نشسته در حال خوردن	رستوران	520	580 (2)	255	325
نشسته با کار سبک مانند تایپ کردن	دفاتر هتل آپارتمان	640	510	255	255
ایستاده با کار خیلی سبک یا آهسته قدم زدن	بانک فروشگاه	800	640	220	280
سری‌کاری انجام عملیات کاری متوالی	کارخانه	880	780	345	435
پیاده روی با سرعت 3 مایل در ساعت یا کار سبک با ماشین	کارخانه	1040	1040	345	695

← ادامه

گرمای ناشی از افراد با فعالیت‌های مختلف (ادامه)

درجه فعالیت	مکان	گرمای کل مرد بالغ Btu/hr	گرمای کل تعدیل‌شده Btu/hr	گرمای محسوس Btu/hr	گرمای نهان Btu/hr
ورزش بولینگ[3]	سالن بولینگ (راهروی پرتاب توپ)	1200	960	345	615
رقصیدن	سالن رقص	1360	1280	405	875
کار سنگین کار با ماشین‌های سنگین بلند کردن	کارخانه	1600	1600	565	1035
کار سنگین ورزش حرفه‌ای	سالن ژیمناستیک	2000	1800	635	1165

1- نرخ گرمای تعدیل شده با توجه به انجام فعالیت‌ها توسط زنان و کودکان تعیین شده است. نرخ تعدیل شده با امکان فعالیت زنان و کودکان در همان اماکن به ترتیب به نسبت‌های 85 و 75 درصد نرخ گرمای کل مردان در نظر گرفته شده است.

2- مقدار 60 Btu/hr (30 Btu/hr گرمای محسوس و 30 Btu/hr گرمای نهان) به ازای هر پرس غذا در نظر گرفته می‌شود.

3- برای نشستن به منظور پرتاب 400 Btu/hr و برای قدم زدن آرام 790 Btu/hr

SOURCE: ASHRAE POCKET HANDBOOK

گرمای ناشی از سوخت و ساز بدن در فعالیت‌های مختلف

به ازای سطح بدن بر حسب ft^2

فعالیت	Btu/hr - ft^2	MET = (18.45 Btu/hr -ft^2)
خواب	13	0.7
دولا شدن	15	0.8
نشسته (آرام)	18	1.0
ایستاده (آرام)	22	1.2
پیاده‌روی با سرعت 2.9 فوت در ثانیه	37	2.0
پیاده‌روی با سرعت 4.4 فوت در ثانیه	48	2.6
پیاده‌روی با سرعت 5.9 فوت در ثانیه	70	3.8
نشسته در حال خواندن	18	1.0
در حال نوشتن	18	1.0
ماشین‌نویسی	20	1.1
رانندگی	18-37	1.0-2.0
رانندگی وسیله نقلیه سنگین	59	3.2
آشپزی	29-37	1.6-2.0
نظافت خانه	37-63	2.0-3.4
کار سنگین	74	4.0
رقص	44-81	2.4-4.4
ورزش سبک	55-74	3.0-4.0
تنیس	66-74	3.6-4.0
بسکتبال	90-140	5.0-7.6
کشتی گرفتن	130-160	7.0-8.7

SOURCE: ASHRAE HANDBOOK (FUNDAMENTALS, THERMAL COMFORT)

انتقال حرارت از طریق جداره‌ها، مواد و مصالح ساختمان

هدایت و مقاومت گرمایی مواد

مواد	هدایت گرمایی K		مقاومت گرمایی 1/K	
	Btu in /ft² hr °F	W/mK	ft²hr°F /Btu in	m K/W
هوا	0.18	0.026	5.56	38.6
آلومینیوم	1050	150	-	-
ASBETOLUX[1]	0.8	0.12	1.25	8.67
آزبست دودکش	1.9	0.27	0.53	3.68
ورق‌های عایق آزبستی	1.0	0.14	1.0	6.93
ورق‌های باریک و سبک آزبستی	0.37	0.053	2.70	18.7
آسفالت سبک	4.0	0.58	0.25	1.73
آسفالت سنگین	8.5	1.23	0.12	0.83
فلز برنج	550	150	-	-
آجر فشاری	9.9	1.43	0.10	0.69
آجر ماشینی	5.5	0.79	0.18	1.25
آب نمک	3.3	0.48	0.30	2.10
BUILDING BOARD[2]	0.55	0.079	1.82	12.62
BULIDING PAPER[3]	0.45	0.065	2.22	15.39
CAPOSITE[4]	0.36	0.052	2.78	19.28
مقوای نازک	1.0 - 2.0	0.144 - 0.288	1.0 - 0.5	6.9 - 3.5
CELOTEX[5]	0.33	0.048	3.0	21.0
بتن 1:2:4	10.0	1.4	0.10	0.69
بتن سبک	2.8	0.40	0.36	2.5

← ادامه

هدایت و مقاومت گرمایی مواد (ادامه)

مواد	هدایت گرمایی K		مقاومت گرمایی 1/K	
	Btu in /ft² hr °F	W/mK	ft²hr°F /Btu in	m K/W
مس	2100	300	-	-
چوب پنبه	0.30	0.043	3.33	23.1
DENSOTAPE[6]	1.7	0.25	0.58	4.0
خاک سیلیسی	0.60	0.087	1.66	11.5
ECONITE[7]	0.68	0.098	1.47	10.19
نمد	0.27	0.039	3.70	25.7
فایبرگلاس	0.25	0.036	4.0	27.7
آجر نسوز	9.0	1.30	0.11	0.76
FOSALSIL[8]	1.0	0.14	0.10	0.69
شیشه	7.3	1.05	0.14	0.97
پشم شیشه	0.28	0.04	3.6	24.8
طلا	2150	310	-	-
کفپوش چوبی	2.20	0.32	0.45	3.1
GYPROC PLASTER BOARD[9]	1.1	0.16	0.91	6.3
دیوار گچی	1.1	0.16	0.91	6.3
HARD BOARD[10]	0.65	0.094	1.54	10.68
HOLOPLAST: 25mm PANEL[11]	0.95	0.14	1.05	7.3
یخ	16.0	2.31	0.0625	0.43
عایق حرارتی 4	0.41	0.059	2.45	16.99
چدن	450	65	0.0022	0.154
آهن نرم	400	58	0.0025	0.0172

← ادامه

هدایت و مقاومت گرمایی مواد (ادامه)

مواد	هدایت گرمایی K		مقاومت گرمایی 1/K	
	Btu in /ft² hr °F	W/mK	ft²hr°F /Btu in	m K/W
کنف	0.25	0.036	4.0	27.7
KAPOK[12]	0.25	0.036	4.0	27.7
سرب	240	35	0.0042	0.029
کفپوش چوب پنبه‌ای	0.5	0.072	2.0	13.9
کفپوش PVC	1.5	0.22	0.67	4.65
کفپوش لاستیکی	2.1	0.30	0.48	3.33
MARINITE[13]	0.74	0.11	1.35	9.36
جیوه	48	7	0.021	0.143
ورق میکا	4.5	0.65	0.22	1.53
پشم کوهی	0.39	0.056	3.33	23.1
نیکل	400	58	0.0025	0.0172
کاغذ	0.90	0.13	0.11	7.69
PERSPEX[14]	1.45	0.21	0.69	4.8
گچ سفیدکاری	3.3	0.48	0.30	2.1
پلاتین	480	69	0.0021	0.0145
پلی‌استر	0.23	0.033	4.3	29.8
پلی‌یورتان	0.29	0.042	3.45	23.9
POLYZOTE[15]	0.22	0.032	4.55	31.5
چینی	7.2	1.04	0.14	0.96
آجر نسوز دارای آلومینیوم	2.2	0.32	0.45	3.1
آجر نسوز سیلیسی	0.9	0.13	1.11	7.70
سلیکا	10.0	1.44	0.10	0.69

← ادامه

هدایت و مقاومت گرمایی مواد (ادامه)

مواد	هدایت گرمایی K		مقاومت گرمایی 1/K	
	Btu in /ft² hr °F	W/mK	ft²hr°F /Btu in	m K/W
VERMICULITE INSULATING[16]	1.35	0.19	0.74	5.13
بتن نسوز سیلیسی	1.8	0.26	0.56	3.9
بتن نسوز با ترکیب آلومینیوم	3.2	0.46	0.31	2.15
کائوچو	1.1	0.16	0.91	6.3
لاستیک سیلیکونی	1.6	0.23	0.63	4.4
ماسه	2.9	0.42	0.35	2.4
رسوبات دیگ	16.0	2.3	0.0625	0.43
نقره	2900	420	-	-
SISALKRAFT BUILDING PAPER[17]	0.46	0.066	2.17	15.0
ورقه سنگ	14.0	2.0	0.071	0.5
برف	1.5	0.22	0.67	4.65
فولاد نرم	320	46	-	-
الیاف فولادی	0.75	0.108	1.33	9.22
STILLITE[18]	0.25	0.036	4.0	27.7
گرانیت	20.3	2.9	0.05	0.35
سنگ آهک	10.6	1.5	0.09	0.62
سنگ مرمر	17.4	2.5	0.06	0.42
ماسه سنگ	13.0	1.9	0.08	0.55
عایق صندل	0.36	0.052	2.78	19.3
صندل تخت	0.51	0.074	2.0	13.9
TENTES[19]	0.35	0.05	2.86	19.8

← ادامه

هدایت و مقاومت گرمایی مواد (ادامه)

مواد	هدایت گرمایی K		مقاومت گرمایی 1/K	
	Btu in /ft² hr °F	W/mK	ft²hr°F /Btu in	m K/W
THERMALITE[20]	1.4	0.20	0.71	4.9
کاشی آزبستی	3.8	0.55	0.26	1.8
کاشی(رس پخته)	5.8	0.84	0.17	1.2
کاشی بتنی	8.0	1.2	0.13	0.90
کاشی چوب پنبه‌ای	0.58	0.084	1.72	11.9
کاشی گچی	2.6	0.37	0.38	2.63
چوب حنا	0.33	0.048	3.0	20.8
چوب راش	1.16	0.17	0.86	5.97
چوب سرو	0.67	0.097	1.49	10.3
چوب کاج	0.87	0.13	1.15	7.97
چوب صنوبر	0.76	0.11	1.3	9.1
چوب بلوط	1.11	0.16	0.90	6.24
تخته سه لا	0.96	0.14	1.04	7.21
چوب ساج	0.96	0.14	1.04	7.21
TREETEX[21]	0.39	0.056	2.56	17.8
آب	4.15	0.60	0.24	1.7
WEYBOARD[22]	0.63	0.091	1.60	11.1
WEYROC[23]	1.0	0.14	1.0	6.9
تراشه چوب	0.28	0.040	3.58	24.8
پشم	0.30	0.043	3.33	23.1
روی	440	64	-	-
خاک اره	0.49	0.071	2.04	14.1
کتان	0.41	0.059	2.4	16.9

هدایت و مقاومت گرمایی مواد (ادامه)

1- نوعی لایه مقاوم در برابر دمای بالا (2000°F) برای پوشش داخلی تجهیزات با سطوح داغ.
2- نوعی پوشش محکم ساخته شده از چوب، گچ و سیمان.
3- نوعی پوشش نسبتا نازک ضد رطوبت.
4- نوعی ماده عایق‌کاری.
5- نوعی عایق حرارتی با ترکیب آزبستی برای ایزولاسیون کف و بام‌ها.
6- نوعی نوار عایق پیچی برای جلوگیری از پوسیدگی رویه خارجی لوله‌های فولادی که در زمین یا دیوار دفن می‌شوند.
7- نوعی مایع روان‌ساز برای عملیات سوراخ‌کاری.
8- نوعی پودر دیاتومی.
9- نوعی دیوار پیش‌ساخته که انواعی از آن به منظور ایجاد سقف کاذب نیز به کار می‌رود.
10- نوعی ورق سخت از چوب فشرده.
11- ورقی از ترکیب کاغذ و پلاستیک به ضخامت 25 mm.
12- از جنس فایبرگلاس و سلولز.
13- نوعی الیاف گیاهی سبک شبیه کتان که از درختی به نام BOMBOCACEAE تهیه می‌شود و در مقابل رطوبت مقاوم است.
14- ورقی نسوز از جنس سیلکات کلسیم.
15- نوعی ورق شفاف از جنس ترموپلاستیک که می‌توان از آن به‌عنوان شیشه استفاده نمود، (شیشه مصنوعی).
16- نام تجارتی نوعی فوم پلی‌اتیلن.
17- نوعی ماده عایق با ترکیبات دی‌اکسید سیلیس و اکسیدهای منگنز، کلسیم، آهن و آلومینیوم که بسیار سبک و نسوز می‌باشد و با بتن نیز به کار می‌رود.
18- نوعی پوشش حرارتی و ضد آب و کندکننده حریق و نیز ضد خوردگی که در سازه ساختمان به کار می‌رود.
19- نوعی عایق حرارتی با ترکیبی از پشم سنگ.
20- نوعی دیوار پیش‌ساخته برای جداسازی فضاها.
21- نوعی عایق حرارتی از جنس پلی‌استر. گونه‌های خاصی از ترمالیت با ترکیبات سلیکا و آلومینیوم که مقاومت بسیار بالایی در مقابل گرما دارند.
22- نوعی پانل سقف کاذب از جنس پشم معدنی.
23- نوعی ورق چوبی با روکش.
24- نوعی پوشش یکپارچه برای کف از جنس چوب، رزین و کاغذ قهوه‌ای.

ضریب انتقال حرارت جدارها و مصالح ساختمان

جهت		نمای ساختمان و چگونگی وزش باد											
	S	محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–		–	
	W SW SE	–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–	
	NW	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–	
	N NE E	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		–		وزش شدید	
		Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K
دیوارها													
آجر توپر (فشاری)	100 mm	0.50	2.9	0.55	3.1	0.59	3.4	0.64	3.6	0.69	3.9	0.75	4.3
بدون اندود	225 mm	0.39	2.2	0.42	2.4	0.44	2.5	0.47	2.7	0.50	2.9	0.53	3.0
	340 mm	0.32	1.8	0.34	1.9	0.35	2.0	0.37	2.1	0.39	2.2	0.41	2.3
آجر توپر (فشاری)	100 mm	0.46	2.6	0.49	2.8	0.53	3.0	0.57	3.2	0.61	3.5	0.65	3.7
با اندود	225 mm	0.36	2.1	0.38	2.2	0.41	2.3	0.43	2.4	0.45	2.6	0.48	2.7
	340 mm	0.30	1.7	0.23	1.8	0.33	1.9	0.35	2.0	0.36	2.1	0.38	2.2
	455 mm	0.26	1.5	0.27	1.5	0.28	1.6	0.29	1.6	0.30	1.7	0.31	1.8
	560 mm	0.23	1.3	0.23	1.3	0.24	1.4	0.25	1.4	0.26	1.5	0.26	1.5

← ادامه

ضریب انتقال حرارت جدارها و مصالح ساختمان (ادامه)

جهت		نمای ساختمان و چگونگی وزش باد											
		S		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–	
		W SW SE		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–	
		NW		–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید	
		N NE E		–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		–	وزش شدید
		Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K
آجر تو خالی	270 mm	0.27	1.5	0.28	1.6	0.29	1.6	0.30	1.7	0.31	1.8	0.32	1.8
(مجوف) بدون تهویه	390 mm	0.23	1.3	0.24	1.4	0.25	1.4	0.26	1.5	0.27	1.5	0.27	1.5
	500 mm	0.21	1.2	0.21	1.2	0.22	1.2	0.22	1.2	0.23	1.3	0.24	1.4
آجر تو خالی	270 mm	0.30	1.7	0.31	1.8	0.33	1.9	0.34	1.9	0.36	2.0	0.37	2.1
(مجوف) بدون تهویه	390 mm	0.26	1.5	0.27	1.5	0.28	1.6	0.29	1.6	0.30	1.7	0.31	1.8
	500 mm	0.22	1.2	0.23	1.3	0.24	1.4	0.25	1.4	0.25	1.4	0.26	1.5
آجر توخالی	200 mm	0.31	1.8	0.32	1.8	0.34	1.9	0.36	2.0	0.37	2.1	0.39	2.2
با اندود	270 mm	0.23	1.3	0.23	1.3	0.23	1.3	0.24	1.4	0.25	1.4	0.26	1.5
	390 mm	0.18	1.0	0.19	1.1	0.19	1.1	0.20	1.1	0.20	1.1	0.21	1.2

← ادامه

ضریب انتقال حرارت جدارها و مصالح ساختمان (ادامه)

جهت		نمای ساختمان و چگونگی وزش باد											
		S		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–	
		W SW SE		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–	
		NW		–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید	
		N NE E		–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		–	
												وزش شدید	
		Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K
بتن	100 mm	0.55	3.1	0.60	3.4	0.66	3.8	0.71	4.0	0.78	4.4	0.85	4.8
	150 mm	0.49	2.8	0.53	3.0	0.58	3.3	0.63	3.6	0.68	3.9	0.73	4.1
	200 mm	0.45	2.5	0.48	2.7	0.52	3.0	0.56	3.2	0.60	3.4	0.64	3.6
	250 mm	0.41	2.3	0.44	2.5	0.47	2.7	0.50	2.8	0.53	3.0	0.57	3.2
دیواره چوبی	25 mm	0.41	2.3	0.44	2.5	0.47	2.7	0.50	2.8	0.53	3.0	0.56	3.2
به صورت فاق و زبانه	38 mm	0.34	1.9	0.36	2.0	0.38	2.2	0.40	2.3	0.42	2.4	0.44	2.5
دیواره از ورق آزبست	6 mm	0.64	3.1	0.72	4.1	0.80	4.6	0.89	5.1	1.00	5.7	1.12	6.4
دیواره از ورق کرکره‌ای آهن	1.6 mm	0.79	4.5	0.91	5.2	1.04	5.9	1.20	6.8	1.40	8.0	1.67	9.5

← ادامه

ضریب انتقال حرارت جدارها و مصالح ساختمان (ادامه)

جهت		نمای ساختمان و چگونگی وزش باد											
		S	محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–		–
		W SW SE	–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–
		NW	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–
		N NE E	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		–		وزش شدید
			Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K
سنگ		300 mm	0.41	2.3	0.44	2.5	0.47	2.7	0.50	2.8	0.53	3.0	0.56	3.2
		450 mm	0.34	1.9	0.36	2.0	0.38	2.2	0.40	2.3	0.42	2.4	0.44	2.5
		600 mm	0.29	1.6	0.31	1.8	0.32	1.8	0.33	1.8	0.35	2.0	0.36	2.0
دیواره آجری 100 mm پوشش داخلی از ترمالیت 100 mm و فاصله توخالی بین دو لایه به میزان 50 mm			0.18	1.0	0.18	1.0	0.19	1.1	0.19	1.1	0.19	1.1	0.21	1.2
دیواره آجری 100 mm با جدار 100 mm داخلی از جنس ترمالیت و فاصله هوایی اندود شده بین دو جدار به ضخامت 50 mm			0.16	0.92	0.17	0.95	0.17	0.97	0.17	0.99	0.18	1.0	0.18	1.0

← ادامه

ضریب انتقال حرارت جدارها و مصالح ساختمان (ادامه)

جهت	نمای ساختمان و چگونگی وزش باد											
	S	محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–		–
	W SW SE	–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–
	NW	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–
	N NE E	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		–		وزش شدید
		$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K
جدار داخلی 100 mm از آجر و جدار میانی از فوم پلی‌یورتان به ضخامت 50 mm و لایه خارجی از آجر 100 mm با اندود		0.31	1.8	0.32	1.8	0.34	1.9	0.36	2.0	0.37	2.1	0.39	2.2
دیوار عایق شده با آجر 110 mm و فضای خالی به ضخامت 50 mm و لایه بتن سبک 50 mm و 110 mm عایق فایبرگلاس با اندود		0.81	0.45	0.082	0.45	0.083	0.46	0.084	0.46	0.084	0.46	0.085	0.47
دیواره عایق شده با آجر 110 mm و فضای خالی به ضخامت 50 mm و لایه بتن سبک 110 mm با فایبرگلاس 75 mm		0.062	0.34	0.062	0.35	0.051	0.35	0.063	0.35	0.064	0.35	0.064	0.36

← ادامه

ضریب انتقال حرارت جدارها و مصالح ساختمان (ادامه)

جهت	نمای ساختمان و چگونگی وزش باد											
	S	محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–		–
	W SW SE	–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–
	NW	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–
	N NE E	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		–		وزش شدید
		$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K
دیواره عایق شده با آجر 110 mm و فضای خالی به ضخامت 50 mm و لایه بتن سبک 110 mm با فایبرگلاس 100 mm		0.050	0.28	0.050	0.28	0.051	0.28	0.051	0.28	0.051	0.28	0.051	0.29
دیواره عایق شده با جدار خارجی از آجر 110 mm و دیوار داخلی از بتن سبک اندود شده 110 mm و لایه میانی عایق از فایبرگلاس 50 mm		0.088	0.49	0.089	0.49	0.091	0.50	0.090	0.49	0.092	0.51	0.093	0.52
دیواره عایق شده با جدار خارجی از آجر 110 mm و دیوار داخلی از بتن سبک اندود شده 110 mm و لایه میانی عایق از فایبرگلاس 75 mm		0.065	0.36	0.066	0.37	0.067	0.37	0.066	0.37	0.068	0.38	0.068	0.38

← ادامه

ضریب انتقال حرارت جدارها و مصالح ساختمان (ادامه)

جهت	نمای ساختمان و چگونگی وزش باد											
	S	محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–		–
	W SW SE	–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–
	NW	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–
	N NE E	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		–		وزش شدید
		Btu/ft^2 hr°F	W/m^2K	Btu/ft^2 hr°F	W/m^2K	Btu/ft^2 hr°F	W/m^2K	Btu/ft^2 hr°F	W/m^2K	Btu/ft^2 hr°F	W/m^2K	Btu/ft^2 hr°F	W/m^2K
دیواره عایق شده با جدار خارجی از آجر 110 mm و دیوار داخلی از بتن سبک اندود شده 110 mm و لایه میانی عایق از پلی‌استر 50 mm		0.083	0.46	0.084	0.47	0.085	0.47	0.086	0.48	0.087	0.48	0.087	0.48
دیواره عایق شده با جدار خارجی از آجر 110 mm و دیوار داخلی از بتن سبک اندود شده 110 mm و لایه میانی عایق از پلی‌استر 75 mm		0.062	0.34	0.062	0.35	0.063	0.35	0.063	0.35	0.064	0.35	0.064	0.36
دیوار خارجی آجری 110 mm و یک لایه ترمالیت 110 mm با اندود و عایق میانی فایبرگلاس 50 mm		0.080	0.44	0.081	0.45	0.081	0.45	0.082	0.46	0.083	0.46	0.084	0.46

← ادامه

ضریب انتقال حرارت جدارها و مصالح ساختمان (ادامه)

جهت	نمای ساختمان و چگونگی وزش باد											
	S	محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–		–	
	W SW SE	–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–	
	NW	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–	
	N NE E	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		–		وزش شدید	
		Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K	Btu/ft² hr°F	W/m²K
دیوار خارجی آجری 110 mm و یک لایه ترمالیت 110 mm با اندود و عایق میانی فایبرگلاس 75 mm		0.061	0.34	0.061	0.34	0.062	0.34	0.062	0.34	0.063	0.35	0.063	0.35
دیوار خارجی آجری 110 mm و یک لایه ترمالیت 110 mm با اندود و عایق میانی با پلی‌استر 50 mm		0.076	0.42	0.077	0.43	0.078	0.43	0.078	0.44	0.079	0.44	0.080	0.44
دیوار خارجی آجری 110 mm و یک لایه ترمالیت 110 mm با اندود و عایق میانی با پلی‌استر 75 mm		0.058	0.32	0.058	0.32	0.059	0.33	0.059	0.33	0.060	0.33	0.060	0.33
دیوار خارجی از بتن 150 mm و جدار داخلی 225 mm ترمالیت اندود شده با عایق میانی فایبرگلاس 50 mm		0.062	0.35	0.062	0.35	0.063	0.36	0.063	0.35	0.064	0.36	0.064	0.36

← ادامه

ضریب انتقال حرارت جدارها و مصالح ساختمان (ادامه)

جهت	نمای ساختمان و چگونگی وزش باد											
	S	محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–		–
	W SW SE	–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–
	NW	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–
	N NE E	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		–		وزش شدید
		Btu/ft^2 hr°F	W/m^2K	Btu/ft^2 hr°F	W/m^2K	Btu/ft^2 hr°F	W/m^2K	Btu/ft^2 hr°F	W/m^2K	Btu/ft^2 hr°F	W/m^2K	Btu/ft^2 hr°F	W/m^2K
دیوار خارجی از بتن 150 mm و جدار داخلی 225 mm ترمالیت اندود شده با عایق میانی فایبرگلاس 75 mm		0.050	0.28	0.050	0.28	0.050	0.29	0.051	0.29	0.051	0.29	0.051	0.29
دیوار خارجی 150 mm بتن و جدار داخلی از بتن سبک 150 mm اندود شده با عایق میانی فایبرگلاس 50 mm		0.083	0.47	0.084	0.48	0.085	0.48	0.086	0.49	0.087	0.49	0.088	0.50
دیوار خارجی 150 mm بتن و جدار داخلی از بتن سبک 150 mm اندود شده با عایق میانی فایبرگلاس 75 mm		0.063	0.36	0.063	0.36	0.064	0.36	0.065	0.37	0.065	0.37	0.065	0.37
دیوار از بتن 250 mm و یک لایه داخلی از فایبرگلاس 50 mm و اندود داخلی		0.096	0.53	0.098	0.54	0.099	0.55	0.10	0.56	0.10	0.56	0.10	0.57

← ادامه

ضریب انتقال حرارت جدارها و مصالح ساختمان (ادامه)

جهت	نمای ساختمان و چگونگی وزش باد											
	S	محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–		–
	W SW SE	–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–
	NW	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–
	N NE E	–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		–		وزش شدید
		$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K
دیوار از بتن 250 mm و یک لایه داخلی از فایبرگلاس 75 mm و اندود داخلی		0.070	0.39	0.071	0.39	0.072	0.40	0.072	0.40	0.073	0.41	0.073	0.41
دیوار از بتن 250 mm و یک لایه داخلی از پلی‌استر 50 mm و اندود داخلی		0.091	0.51	0.092	0.51	0.094	0.52	0.095	0.53	0.096	0.53	0.096	0.54
دیوار از بتن 250 mm و یک لایه داخلی از پلی‌استر 75 mm و اندود داخلی		0.066	0.37	0.067	0.37	0.067	0.37	0.068	0.38	0.069	0.38	0.069	0.38
پنجره‌های یک جداره		0.70	4.0	0.79	4.5	0.88	5.0	1.00	5.7	1.14	6.5	1.30	7.4
پنجره دو جداره با فاصله 20 mm		0.41	2.3	0.44	2.5	0.47	2.7	0.50	2.8	0.53	3.0	0.56	3.2
پنجره دو جداره با فاصله 12 mm		0.44	2.4	0.47	2.6	0.51	2.9	0.54	2.9	0.58	3.1	0.62	3.3

← ادامه

ضریب انتقال حرارت جدارها و مصالح ساختمان (ادامه)

جهت	نمای ساختمان و چگونگی وزش باد											
	S		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–		–	
	W SW SE		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید		–	
	NW		–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید	
	N NE E		–		–		محفوظ از باد		وزش معمولی		–	
	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K	$Btu/ft^2 hr°F$	W/m^2K
پنجره دو جداره با فاصله 6 mm	0.47	2.7	0.51	2.9	0.54	3.1	0.58	3.3	0.63	3.6	0.67	3.8
پنجره دو جداره با فاصله 3 mm	0.52	2.9	0.57	3.2	0.61	3.5	0.68	3.9	0.73	4.1	0.79	4.5
پنجره سه جداره با فاصله 20 mm	0.29	1.6	0.31	1.8	0.32	1.8	0.33	1.9	0.35	2.0	0.36	2.0
پنجره سه جداره با فاصله 12 mm	0.32	1.7	0.34	1.8	0.35	2.0	0.37	2.0	0.39	2.1	0.41	2.2
پنجره سه جداره با فاصله 6 mm	0.35	2.0	0.37	2.1	0.39	2.2	0.41	2.3	0.43	2.4	0.46	2.6
پنجره سه جداره با فاصله 3 mm	0.41	2.3	0.44	2.5	0.47	2.7	0.50	2.8	0.54	3.1	0.57	3.2

مرجع: *راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه‌مطبوع- ویرایش یازدهم- تالیف فرد پورجز- ترجمه محمدرضا سلطاندوست*

ضریب انتقال حرارت بام‌ها

	چگونگی وزش باد					
	وزش شدید		وزش معمولی		محفوظ از باد	
	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$
بام‌های تخت						
آسفالت روی 150 mm بتن	4.0	0.70	3.6	0.64	3.3	0.58
آسفالت روی 150 mm بتن با اندود گچ در زیر سقف	3.5	0.61	3.1	0.55	2.9	0.51
آسفالت روی آجرسفال 150 mm	3.0	0.52	2.7	0.48	2.5	0.45
آسفالت روی آجرسفال 150 mm با یک لایه نازک سیمان و اندود گچ در زیر سقف	1.9	0.33	1.8	0.32	1.7	0.30
آسفالت روی یک لایه سیمان نازک روی لایه 50 mm چوب و اندود گچ در زیر سقف	1.2	0.21	1.0	0.18	0.9	0.16
آسفالت روی یک لایه سیمان نازک روی لایه 50 mm چوب با قاب فولادی	1.6	0.28	1.5	0.26	1.4	0.24
آسفالت روی 50 mm سیمان و 50 mm فایبرگلاس روی ورق فولادی با فاصله هوایی 50 mm و پانل گچی در سقف زیرین	0.53	0.095	0.52	0.094	0.51	0.092
آسفالت روی 50 mm سیمان و 75 mm فایبرگلاس روی ورق فولادی با فاصله هوایی 50 mm و پانل گچی در سقف زیرین	0.39	0.069	0.38	0.069	0.38	0.068

← ادامه

ضریب انتقال حرارت بام‌ها (ادامه)

	چگونگی وزش باد					
	وزش شدید		وزش معمولی		محفوظ از باد	
	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$
آسفالت روی 50 mm سیمان و 100 mm فایبرگلاس روی ورق فولادی با فاصله هوایی 50 mm و پانل گچی در سقف زیرین	0.30	0.055	0.30	0.054	0.30	0.054
آسفالت روی 50 mm فایبرگلاس و روی 150 mm بتن	0.58	0.11	0.58	0.10	0.57	0.10
آسفالت روی فایبرگلاس 75 mm و روی 150 mm بتن	0.42	0.075	0.41	0.074	0.41	0.073
آسفالت روی فایبرگلاس 100 mm و روی 150 mm بتن	0.32	0.058	0.32	0.058	0.32	0.057
موزاییک سنگی روی یک سطح فولادی و 50 mm فایبرگلاس با فاصله هوایی 50 mm و پانل گچی در زیر سقف	0.56	0.10	0.55	0.099	0.54	0.098
موزاییک سنگی روی یک سطح فولادی و 75 mm فایبرگلاس با فاصله هوایی 50 mm و پانل گچی در زیر سقف	0.42	0.072	0.40	0.071	0.39	0.076
موزاییک سنگی روی یک سطح فولادی و 100 mm فایبرگلاس با فاصله هوایی 50 mm و پانل گچی در زیر سقف	0.31	0.057	0.31	0.056	0.31	0.056

← ادامه

ضریب انتقال حرارت بام‌ها (ادامه)

	چگونگی وزش باد					
	وزش شدید		وزش معمولی		محفوظ از باد	
	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$
سقف‌های شیب‌دار						
ورق موجدار آلومینیوم	8.3	1.45	6.6	1.15	5.1	0.90
ورق موجدار فولادی	8.3	1.45	6.6	1.15	5.1	0.90
قطعات سفال با عایق حرارتی روی تیرها با پانل گچی در زیر سقف	2.2	0.39	2.0	0.35	1.8	0.32
قطعات سفال با عایق حرارتی روی تیرها و تخته‌کوبی با پانل گچی در زیر سقف	1.9	0.33	1.7	0.30	1.5	0.26
قطعات سفال با پانل گچی در زیر سقف (بدون عایق)	3.0	0.53	2.8	0.49	2.5	0.44
قطعات سفال با عایق حرارتی روی تیرها و تخته‌کوبی با پانل گچی در زیر سقف (بدون عایق)	2.2	0.39	2.0	0.35	1.8	0.32
قطعات سفال با عایق حرارتی روی تیرها و بدون سقف کاذب	4.7	0.83	4.3	0.76	3.9	0.69
قطعات سفال با تخته‌کوبی بدون سقف کاذب	3.6	0.63	3.3	0.58	3.0	0.53
قطعات سفال بدون عایق حرارتی و بدون سقف کاذب	7.0	1.23	6.3	1.11	5.7	1.00

← ادامه

ضریب انتقال حرارت بام‌ها (ادامه)

	چگونگی وزش باد					
	وزش شدید		وزش معمولی		محفوظ از باد	
	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$
قطعات سفال با عایق حرارتی و پانل گچی در زیر سقف با فایبرگلاس به ضخامت‌های:						
50 mm	0.52	0.092	0.51	0.090	0.51	0.090
75 mm	0.38	0.068	0.38	0.067	0.38	0.066
100 mm	0.30	0.053	0.30	0.053	0.30	0.053
150 mm	0.21	0.038	0.21	0.037	0.21	0.037
قطعات سفال با عایق حرارتی و تخته‌کوبی و پانل گچی در زیر سقف با فایبرگلاس به ضخامت‌های:						
50 mm	0.49	0.087	0.49	0.086	0.48	0.085
75 mm	0.37	0.065	0.36	0.064	0.36	0.064
100 mm	0.29	0.052	0.29	0.051	0.29	0.051

← ادامه

ضریب انتقال حرارت بام‌ها (ادامه)

	چگونگی وزش باد					
	محفوظ از باد		وزش معمولی		وزش شدید	
	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$
150 mm	0.21	0.036	0.21	0.036	0.21	0.037
سقف‌های شفاف						
نورگیر شیشه‌ای با امکان نورگیری عمودی	5.7	1.00	6.8	1.20	8.0	1.40
نورگیر شیشه‌ای با نورگیری زاویه‌دار و سقف تخت یا گنبدی	3.2	0.57	3.4	0.60	3.6	0.63
نورگیر از مواد پلیمری شفاف (GRP):						
یک پوسته	5.0	0.89	5.7	1.0	6.7	1.20
دو پوسته	2.6	0.47	2.8	0.57	3.0	0.54

مرجع: راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه‌مطبوع- ویرایش یازدهم- تالیف فرد پورجز- ترجمه محمدرضا سلطاندوست

ضریب انتقال حرارت کف‌ها

کف‌ها		کف متصل به زمین با چهار لبه نمایان		کف متصل به زمین با دو لبه نمایان		کف کاذب	
عرض	طول	Btu	W/m^2	Btu	W/m^2	Btu	W/m^2
m	m	$ft^2hr°F$	K	$ft^2hr°F$	K	$ft^2hr°F$	K
60	100 OVER	0.016	0.09	0.009	0.05	0.019	0.11
60	100	0.021	0.12	0.012	0.07	0.025	0.14
60	60	0.026	0.15	0.014	0.08	0.028	0.16
40	100 OVER	0.021	0.12	0.012	0.07	0.026	0.15
40	100	0.026	0.15	0.016	0.09	0.032	0.18
40	60	0.030	0.17	0.018	0.10	0.035	0.20
40	40	0.037	0.21	0.021	0.12	0.039	0.22
20	100 OVER	0.039	0.22	0.021	0.12	0.046	0.26
20	100	0.042	0.24	0.025	0.14	0.049	0.28
20	60	0.046	0.26	0.026	0.15	0.053	0.30
20	40	0.049	0.28	0.028	0.16	0.055	0.31
20	20	0.063	0.36	0.037	0.21	0.065	0.37

← ادامه

ضریب انتقال حرارت کف‌ها (ادامه)

کف‌ها		کف متصل به زمین با چهار لبه نمایان		کف متصل به زمین با دو لبه نمایان		کف کاذب	
عرض	طول	Btu	W/m²	Btu	W/m²	Btu	W/m²
m	m	ft²hr°F	K	ft²hr°F	K	ft²hr°F	K
10	100	0.062	0.35	0.039	0.22	0.077	0.44
10	60	0.072	0.41	0.042	0.24	0.081	0.46
10	40	0.076	0.43	0.044	0.25	0.083	0.47
10	20	0.085	0.48	0.049	0.28	0.090	0.51
10	10	0.11	0.62	0.063	0.36	0.10	0.59
6	40	0.10	0.59	0.062	0.35	0.11	0.63
6	20	0.11	0.64	0.067	0.38	0.11	0.65
6	10	0.13	0.74	0.077	0.44	0.13	0.71
6	6	0.16	0.91	0.095	0.54	0.14	0.79
4	40	0.12	0.66	0.069	0.39	0.13	0.71
4	20	0.14	0.82	0.086	0.49	0.14	0.79

← ادامه

ضریب انتقال حرارت کف‌ها (ادامه)

کف‌ها		کف متصل به زمین با چهار لبه نمایان		کف متصل به زمین با دو لبه نمایان		کف کاذب	
عرض m	طول m	Btu $ft^2hr°F$	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$	W/m^2 K	Btu $ft^2hr°F$	W/m^2 K
4	10	0.16	0.90	0.095	0.54	0.15	0.83
4	6	0.18	1.03	0.11	0.62	0.16	0.89
4	4	0.21	1.22	0.13	0.73	0.17	0.96
2	20	0.18	1.03	0.13	0.75	0.17	0.96
2	10	0.23	1.31	0.14	0.82	0.19	1.08
2	6	0.25	1.40	0.15	0.87	0.20	1.11
2	4	0.27	1.52	0.17	0.95	0.20	1.15
2	2	0.35	1.96	0.21	1.22	0.22	1.27

مرجع: *راهنمای گرمایش و تهویه‌مطبوع- ویرایش یازدهم- تالیف فرد پورجز- ترجمه محمدرضا سلطاندوست*

ضریب انتقال حرارت کف‌ها، سقف‌ها و جداره‌های داخلی

کف‌ها و سقف‌ها	$Btu/ft^2hr°F$	W/m^2K
بتن 150 mm با روکش سیمان لیسه‌ای 25 mm	0.48	2.7
بتن 150 mm با روکش سیمان لیسه‌ای 50 mm	0.46	2.6
کف‌سازی 25 mm روی تیر و اندود گچ سقف زیرین	0.080	0.45
کف‌سازی 25 mm روی تیر و سقف زیرین از پانل گچی	0.079	0.45
جداره‌های داخلی	**$Btu/ft^2hr°F$**	**W/m^2K**
دیوار آجری 110 mm	0.55	3.1
دیوار آجری 225 mm	0.44	2.5
دیوار آجری 340 mm	0.37	2.1
دیوار آجری 110 mm با اندودگچ در هردو طرف	0.53	3.0
دیوار آجری 225 mm با اندودگچ در هردو طرف	0.43	2.4
دیوار آجری 340 m با اندودگچ در هردو طرف	0.36	2.0
دیوار ترمالیت 100 mm با اندودگچ در هردو طرف	0.24	1.3
دیوار ترمالیت 225 mm با اندودگچ در هردو طرف	0.13	0.73
دیوار بتن سبک 100 mm با اندودگچ در هردو طرف	0.35	2.0
دیوار بتن سبک 150 mm با اندودگچ در هردو طرف	0.28	1.6
دیوار بتن سبک 250 mm با اندودگچ در هردو طرف	0.20	1.1
دو دیوار پیش‌ساخته گچی با فاصله هوایی	0.36	2.1

مقدار ضریب هدایت حرارت برخی مصالح ساختمانی

براساس مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران

مصالح	ضریب هدایت حرارت W/m°C
سنگ گرانیت	2.2
سنگ مرمر	2.9
سفال	1-1.35
بتن معمولی	1.75
بتن متخلخل	1.4
بتن متخلخل اتوکلاو 800	0.33
بتن متخلخل اتوکلاو 700	0.27
بتن متخلخل اتوکلاو 400	0.16
اندوده ملات و درزگیر	1.15
آزبست سیمان	0.95
گچ بسیار سخت	0.5
گچ قطعاتی پیش‌ساخته با روکش مقوایی	0.35
گچ با روکش مقوایی ضد آتش و	
لایه‌های گچ آرمه با الیاف معدنی	0.35
پشم سنگ	0.041-0.047
پشم شیشه	0.039-0.054
نئوپان 800	0.17
نئوپان 400	0.10
چوب پنبه متراکم	0.10
پلاستوفوم یا یونولیت	0.058
پلی‌یورتان انبساط یافته ممتد	0.030
پلی‌یورتان انبساط یافته منقطع	0.033
کائوچو مصنوعی	0.4

← ادامه

مقدار ضریب هدایت حرارت برخی مصالح ساختمانی (ادامه)

مصالح	ضریب هدایت حرارت W/m°C
آسفالت خالص	0.7
آسفالت ماسه‌ای	1.15
آهن خالص	72
فولاد	52
آلومینیوم	230
مس	380
شیشه	1.1
پلی‌استر	0.4
پلی‌اتیلن	0.4
پلی‌کلروونییل (PVC)	0.2
سیمان سلولز	0.35

مرجع: مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران

افزایش بار ناشی از نفوذ

نفوذ هوا یکی از عوامل موثر در افزایش بارهای گرمایی و سرمایی است. (جداول مربوط به تعویض اجباری هوا تحت عنوان تهویه در بخش 1-2 جای گرفته است).

	دفعات تعویض هوا در ساعت
اتاق بدون پنجره یا در رو به فضای خارج	0.5
اتاق با یک پنجره یا یک در رو به فضای خارج	1
اتاق با دو پنجره یا دو در رو به فضای خارج	1.5
اتاق با سه پنجره یا سه در رو به فضای خارج	2
راهرو و ورودی ساختمان	2

SOURCE: BUILDING TECHNOLOGY

(WILLIAM J.MC GUINNESS AND BENJAMIN STEIN)

تخمین بارهای گرمایشی و سرمایشی ناشی از نفوذ

نفوذ هوای گرم یا سرد خارجی به داخل فضاهایی که بنا به فصل، سرد یا گرم می‌شوند، مقدار بار کل گرمایشی و سرمایشی را افزایش می‌دهد.

نفوذ هوا از طریق منافذ و شکاف‌های در و پنجره تابعی از سرعت باد در فضاهای خارج ساختمان است. در اماکنی که دارای تجهیزات تبادل حرارت فن‌دار هستند و فشار داخل نسبت به خارج آنها مثبت است، امکان نفوذ از بین رفته و یا به شدت کاهش می‌یابد؛ اما در فضاهایی که در شرایط زمستانی توسط تجهیزات تبادل حرارتی چون رادیاتور یا کنوکتور گرم می‌شوند، موضوع نفوذ هوای سرد به داخل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

برای تخمین بار ناشی از نفوذ هوای سرد به داخل فضای گرم، سه روش بر مبنای نرخ تهویه، مساحت دیوار و طول درز یا شکاف وجود دارد که بر اساس هر یک از آنها می‌توان نرخ بار ناشی از نفوذ هوای سرد را به شرح زیر برآورد کرد:

روش نرخ تهویه (سرعت باد: 15 مایل در ساعت):

دامنه کلی: 10- 0 بار تعویض هوا در ساعت برحسب حجم فضا

- برای اغلب ساختمان‌ها از جمله ساختمان‌های تجاری:

الف) 1.0 بار تعویض هوا در ساعت برای اتاق یا فضایی با یک دیوار یا جدار خارجی

ب) 1.5 بار تعویض هوا در ساعت برای اتاق یا فضایی با دو دیوار یا جدار خارجی

ج) 2 بار تعویض هوا در ساعت برای اتاق یا فضایی با سه یا چهار دیوار یا جدار خارجی

- برای راهروهای سرپوشیده: 2 تا 3 بار تعویض هوا در ساعت بر حسب حجم فضا

روش مساحت جدار (سرعت باد: 15 مایل در ساعت):

دامنه کلی: 1.0- 0 فوت‌مکعب در دقیقه به ازای هر فوت‌مربع سطح جدار

ساختمان‌هایی با نفوذ کم و درزبندی‌شده: $0.1\ cfm / ft^2$

ساختمان‌هایی با نفوذ متوسط: $0.3\ cfm / ft^2$

ساختمان‌هایی با نفوذ زیاد: $0.6\ cfm / ft^2$

روش طول شکاف یا درزی (سرعت باد: 15 مایل در ساعت):

دامنه کلی: 2.8 - 0.12 فوت‌مکعب در دقیقه (cfm) به ازای هر فوت (ft) طول شکاف در و پنجره‌ها.

میانگین: 1.0 فوت‌مکعب در دقیقه (cfm) به ازای هر فوت (ft) طول شکاف در و پنجره‌ها.

برای نفوذ هوای گرم به داخل به طور معمول مقداری را در نظر نمی‌گیرند. زیرا به طور کلی فضاهای که سرد می‌شوند از تجهیزات تبادل حرارت با وزش اجباری بهره‌مند هستند و در اغلب این‌گونه فضاها فشار داخلی مثبت است؛ اما چنانچه دقت زیادی در مورد کنترل دما و رطوبت مورد نظر باشد؛ تحت شرایطی که سرعت باد 7.5 مایل در ساعت است، می‌توان نیمی از مقادیری که در سطور بالا در مورد نفوذ هوای سرد آمد، برای نفوذ هوای گرم مورد توجه قرار داد.

سایر موارد:

- برای اتاق‌های زیرزمین یا فضاهایی بدون دیوار یا جدار خارجی، بار نفوذی در نظر گرفته نمی‌شود.
- ساختمان‌هایی که رطوبت‌زنی نمی‌شوند. فاقد بار گرمایشی نهان ناشی از نفوذ هستند.
- بارهای محسوس زمستانی ناشی از نفوذ، اغلب نیم تا سه برابر تلفات حرارتی ناشی از هدایت گرما هستند. (به طور میانگین 1.0 تا 2.0 برابر).

تاثیر ارتفاع ساختمان در مقدار نفوذ

طبقه	نرخ اضافی نفوذ
طبقه هم‌کف و اول	-
طبقه دوم تا چهارم	25٪
طبقه پنجم تا یازدهم	50٪
طبقات بالاتر از یازدهم	100٪

مرجع: راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه مطبوع- ویرایش یازدهم

تالیف فرد پورجز- ترجمه محمدرضا سلطاندوست

ضرایب اطمینان در محاسبات اتلاف حرارت

برای جهت شمال شرق:	10٪
برای جهت غرب:	5٪
برای سطوح بادگیر:	5٪-10٪
برای تناوب گرمایش:	
ساختمان‌هایی که فقط در طول روز گرم می‌شوند	10-15٪
ساختمان‌هایی که در طول روز مورد استفاده قرار نمی‌گیرند	25-30٪
ساختمان‌هایی با تناوب طولانی مورد استفاده قرار می‌گیرند	بیش از 50٪

برای ارتفاع:

ارتفاع اتاق	m	5	6	7	8	9	10	11	12 و بیشتر
درصد افزایش	٪	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20

جهت و ساعت بار حداکثر سرمایی

افزایش گرما و نیاز به تامین برودت بیشتر در ساعات مختلف روز برای جهات مختلف متفاوت است. بر اساس جدول زیر می‌توان ساعات بار حداکثر را برای هر یک از جبهه‌ها به طور تقریبی تعیین نمود.

جبهه شرقی	8 تا 10 صبح	جبهه غربی	4 تا 6 بعد از ظهر
جبهه جنوبی	12 تا 3 بعد از ظهر	جبهه شمالی	5 تا 6 بعد از ظهر

زمان تاخیر انتقال تابش خورشید از میان دیوارها

نوع دیوار	زمان تاخیر بر حسب ساعت
بتن 150 mm	3
بلوک سبک 100 mm	2.5
آجر 560 mm	10
بتن 75 mm با عایق ترمالیت 25 mm	2
الوار یا تیر چوبی 50 mm	1.5

مرجع: *راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه‌مطبوع* - ویرایش یازدهم -
تالیف فرد پورجز - ترجمه محمدرضا سلطاندوست

شدت تشعشع خورشید

برای عرض جغرافیایی 45 درجه (شمالی)

زمان تابش	شدت تابش خورشید برای جهات مختلف (W/m^2)							
	NE	E	SE	S	SW	W	NW	افقی
5	79	75	28					6
6	281	312	164					82
7	470	612	394					284
8	441	691	539	69				492
9	290	612	577	205				663
10	104	455	539	309				791
11		237	438	382	101			864
12			287	404	287			890
13			101	382	438	237		864
14				309	539	455	104	791
15				205	577	612	290	663
16				69	539	691	441	492
17					394	612	470	284
18					164	312	281	82

۳

تجهیزات و سیستم‌ها

۳-۱ احتراق، سوخت و سوخت‌رسانی. ۲۵۳
۳-۲ دیگ ۲۸۳
۳-۳ سیستم بخار..... ۲۹۱
۳-۴ مبدل حرارتی و کوئل‌ها ۳۱۹
۳-۵ آبگرمکن ۳۲۵
۳-۶ منابع تولید آبگرم غیرمستقیم ۳۳۱
۳-۷ منبع انبساط..... ۳۳۷
۳-۸ کوره هوای گرم..... ۳۵۵
۳-۹ واحد یکپارچه آبگرم..... ۳۵۷
۳-۱۰ گرمایش تشعشعی ۳۵۹
۳-۱۱ رادیاتور، کنوکتور، یونیت هیتر... ..... ۳۶۳
۳-۱۲ پرده هوایی ۳۶۹
۳-۱۳ چیلر جذبی ۳۷۱
۳-۱۴ چیلر تراکمی..... ۳۸۹
۳-۱۵ مبردها ۴۰۵
۳-۱۶ کولر گازی ۴۱۳
۳-۱۷ برج خنک‌کن..... ۴۱۵
۳-۱۸ هواشوی ۴۲۵
۳-۱۹ کولر آبی.....۴۲۹
۳-۲۰ زنت..... ۴۳۳
۳-۲۱ فن‌کوئل ۴۳۷
۳-۲۲ هواساز.....۴۴۳
۳-۲۳ پمپ ۴۵۳
۳-۲۴ شبکه لوله‌کشی.....۴۶۹
۳-۲۵ فن..... ۵۰۱
۳-۲۶ کانال‌ها و دریچه‌ها.....۵۱۱
۳-۲۷ رطوبت‌زنی - رطوبت‌گیری ۵۳۹
۳-۲۸ پاکسازی هوا..... ۵۴۷
۳-۲۹ هوای فشرده و خلاء ۵۵۵
۳-۳۰ عایق‌کاری و رنگ‌آمیزی ۵۶۱

پس از مرحله برآورد بارهای گرمایشی و سرمایشی مرحله جدیدی برای انتخاب و تخمین ظرفیت تجهیزات و سیستم‌ها آغاز می‌شود که اطلاعات و جداول مربوط به آنها در این فصل ارائه شـــده است. بسیاری از اطلاعات و جداول این فصل نه تنها برای گمانه‌زنی و تخمین بلکه برای تعیین قطعی نیز کاربرد دارند.

انواع تجهیزات مولد، تبادل حرارت و انتقال و توزیع در ارتباطی منطقی با یکدیگر پدیدآورنده انواع سیستم‌های سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع هســـتند. هر یک از تجهیـــزات به طور مجـــرد دارای توانایی‌ها و معایب و مزایای ویژه‌ای هستند که همچون قطعه‌ای از یک پازل در یک ترکیب کلی هدفمنـــد قرار می‌گیرند. از این‌رو به دلیل وجود اهداف و مقاصدی که یک سیستم به دنبال برآورد کردن آن است، هر یک از تجهیزات ضمن دارا بودن هویتی مشخص و مجرد، از هویتی سیستمی نیز برخوردار می‌شوند و در این وضعیت، کارآمدی آن‌ها متاثر از شرایط سایر اجزا نیز می‌شود و مزایا و معایب مجرد آن‌ها در ارتباطی هماهنگ با دیگر تجهیزات ممکن اســـت جلوه‌های کمرنگ‌تر و یا حتی پررنگ‌تر پیدا کند. در نتیجه سیستمی کارآمد و بهینه‌تر اســـت که تاثیر و تاثرات هر یک از اجـــزا بر یکدیگر ضمن نزدیکی به اهداف از پیش تعریف شـــده منجر به پررنگ‌تر شدن مزایا و کم‌رنگ‌تر شدن معایب شـــود. کم‌رنگ‌تر شدن معایب به معنای از بین رفتن معایب ذاتی مجرد هر یک از تجهیزات نیست بلکه کم اثر و یا بی‌اثر شدن آنها است و موضوع مهم در طراحی یک سیستم و گزینش تجهیزات دقیقا توجه به همین نکته است. بدون آن‌که وارد مباحث فلسفی جز و کل و قیاس و استقرا شویم، می‌توانیم بگوییم در واقع سیســـتم‌ها به خودی خود موجودیتـــی ندارند، مگر آن‌که تجهیزاتی خاص در ترکیبی مناســـب گرد هم آیند و از سوی دیگر می‌توان گفت هر یک از تجهیزات خاص و پیچیده که خود ترکیبی از ســـایر اجزا با هدفی مشخص هستند؛ خود یک سیستم محسوب می‌شوند.

بنابرایـــن از اجزای ســـاده تا ترکیبات پیچیده به طور مســـتمر با دوایر متحدالمرکز و متداخل تجهیزات و سیســـتم‌ها روبه‌رو هســـتیم. به عنوان

مثال یک چیلر تراکمی با در اختیار داشتن اجزای مختلف و مرتبط با یکدیگر نوعی سیستم سرمایش محسوب می‌شود و در عین حال این سیستم واحد می‌تواند به عنوان یکی از تجهیزات، جزیی از یک حلقه بزرگتر سیستمی با اهداف مشخص دیگر و نیل به مقاصد مختلف مانند سرد کردن جداره یک کوره ذوب، رطوبت‌گیری و یا سرمایش فضای یک سالن اجتماعات و موارد متعدد دیگری از این قبیل باشد.

در هر حال شرط اصلی در به وجود آمدن یک سیستم مناسب، هماهنگی اجزا، چگونگی چیدمان، چه‌ای کارکرد و میزان انطباق مجموعه مرکب با شرایط ویژه کاربری یک فضا و وضعیت اقلیمی است. در این میان ملاحظات اقتصادی، توجهات زیست محیطی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی از جمله مرزهای محدود کننده دیگری برای گزینش تجهیزات و پدید آوردن سیستمی خاص است که تحلیل و پرداختن به یکایک آن‌ها در قالب این کتاب نمی‌گنجد. صفحات 198 تا 217 کتاب راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه مطبوع، ویرایش یازدهم، تالیف فرد پورجز، و کتاب طبقه‌بندی تجهیزات و سیستم‌ها و همینطور کتاب ASHRAE Handbook از سری کتب Equipment and Systems اطلاعات نسبتا کاملی درباره گونه‌های مختلف تجهیزات و سیستم‌ها و مقایسه بین آن‌ها را در دسترس قرار می‌دهند که علاقه‌مندان می‌توانند برای پیگیری موضوع به آن‌ها مراجعه کنند.

درصد هزینه تاسیسات مکانیکی به هزینه‌های کل ساختمان

مطابـــق جدول زیر حداقل هزینه‌های تاسیســـات مکانیکی و برقی برای ســـاختمان‌های مختلـــف 10 درصد و حداکثر آن 60 درصد اســـت. بنابراین میانگین هزینه را می‌توان تقریبا 35 درصد، هزینه‌های کل ساختمان دانست. به طور معمول هزینه‌های مربوط به تاسیســـات مکانیکی ســـاختمان به جز موارد خاص از هزینه‌های تاسیسات برقی بیشتر است و در واقع می‌توان بین آن‌ها نسبتی در حدود 60 به 40 درصد قائل شد. بنابراین از میانگین 35 درصد تاسیســـات برقی و مکانیکی به کل هزینه‌های ســـاختمان می‌توان تقریبا 21 درصد را مربوط به تاسیسات مکانیکی دانست.

درصد هزینه تاسیسات مکانیکی و الکتریکی به هزینه‌های کل ساختمان

نوع ساختمان	درصد هزینه‌ها		
	حداقل	متوسط	حداکثر
بیمارستان	30	40	50
هتل	20	30	35
دفاتر اداری	15	30	40
آزمایشگاه‌های تحقیقاتی	30	40	50
مراکز کامپیوتر	30	45	60
فروشگاه‌های بزرگ	20	25	30
واحد مسکونی (ویلایی) یا تک‌واحدی	10	15	20
مسکونی بلندمرتبه	15	20	25
فروشگاه‌های خرده‌فروشی	10	20	25
مدارس ابتدایی	15	20	30
مدارس راهنمایی و دبیرستان	15	25	35
مدارس عالی و دانشگاه‌ها*	20	30	40

** بخش‌هایی از دانشگاه که کلاس درس نیستند مانند ساختمان‌های دیگری مانند آزمایشگاه، مرکز کامپیوتر یا اداری محسوب می‌شوند و از قواعد آن پیروی می‌کنند.*

SOURCE: MECHANICAL AND ELECTRICAL SYSTEMS IN BUHLDING – WILLIAM K. Y. TAO، RICHARD R. JANIS.

عمر مفید تجهیزات

نوع تجهیزات	عمر مفید (سال)
دیگ بخار و آب داغ پوسته و لوله	20-25
دیگ بخار و آب داغ لوله- آب	25-30
دیگ بخار و آب داغ الکترودی	15-20
دیگ بخار فشار متوسط و آبگرم فولادی	15-20
دیگ آبگرم چدنی قطعاتی	15-25
دیگ بخار فشار متوسط و آبگرم الکترودی	15-20
کوره زباله‌سوز	15-20
کنترل‌کننده‌های احتراق در دیگ	15-20
پمپ‌های تغذیه دیگ	15-20
مشعل گازوئیل سوز	15-20
مشعل اتمسفریک گاز سوز	20-25
مشعل گاز سوز	15-20
لوازم اندازه‌گیری دیگ‌ها	10-20
دودکش فولادی ضد زنگ	15-25
مبدل‌های حرارتی	20-25
رادیاتور چدنی	20-25
رادیارتور فولادی	15-20
تجهیزات گرمایش سقفی	20-30
یونیت هیتر الکتریکی یا گاز سوز	10-15
یونیت هیتر آبگرم یا بخار	15-20
کنوکتورهای فن‌دار	12-18
شبکه لوله‌کشی	25-30
پمپ‌های زمینی	20-25
پمپ‌های خطی	15-20
پمپ چاهک	8-12
پمپ چگالیده	10-15
مخازن	10-15

عمر مفید تجهیزات (ادامه)

نوع تجهیزات	عمر مفید (سال)
شیرها	20-25
چیلرهای سیلندر- پیستونی با ظرفیت زیاد	15-20
چیلرهای سیلندر - پیستونی با ظرفیت متوسط و کم	10-15
چیلرهای گریز از مرکز	15-20
چیلرهای جذبی	15-20
واحدهای دو تکه تراکمی	10-15
برج‌های خنک‌کننده	10-25
کندانسورهای هوایی	15-20
کوئل سرمایی و گرمایی	15-20
رطوبت‌زن‌ها	10-15
فن‌های گریز از مرکز	20-25
فن‌های جریان محوری	15-20
شبکه کانال هوا	25-30
دمپرها	15-20
فن‌های جریان محوری پروانه‌ای	10-15
فن‌های پشت‌بامی	15-20
دریچه‌ها و شبکه‌های هوا	25-30
پایانه‌های سیستم‌های حجم متغیر هوا	15-20
فن‌کوئل‌ها	15-20
تجهیزات سقف‌های سرد	20-25
کنترل‌کننده‌های پنیوماتیک	15-20
کنترل‌کننده‌های الکتریکی و الکترونیکی	12-20
حسگرها	3-10
الکتروموتورها و راه‌اندازها	15-20

SOURCE: ENERGY MANAGEMENT AND CONSERVATION HANDBOOK-FRANK KREITH

۳-۱

احتراق، سوخت و سوخت‌رسانی

موضوعات مربوط به احتراق، سوخت و سوخت‌رسانی به عنوان بخشی مســـتقل، پایه و اساس کلیه تجهیزات مولد گرمایشی و پاره‌ای از تجهیزات مولد سرمایشی را تشکیل می‌دهند.

در این بخش فارغ از اطلاعات مربوط به تجهیزات خاص سوخت‌رسانی مانند شبکه‌های لوله‌کشی، پمپ‌ها، منابع و گرمکن‌های سوخت، اطلاعات مربوط به مشعل‌ها نیز ارائه شده است.

دمای احتراق

چوب	300°C (570°F)
ذغال سنگ نارس	227°C (440°F)
ذغال سنگ قیری	300°C (570°F)
ذغال سنگ خشک	400°C (750°F)
کک	700°C (1290°F)
هیدروژن	500°C (930°F)
منواکسیدکربن	300°C (570°F)
کربن	700°C (1290°F)
نفت خام	400°C (750°F)

بنزین	415°C (780°F)
ذغال قیر اندود	580°C (1080°F)
محصولات گازی	750°C (1380°F)
سوخت هیدروکربنی سبک	650°C (1200°F)
سوخت‌هیدروکربنی سنگین	750°C (1380°F)
گاز سبک	600°C (1110°F)
نفتا	550°C 1020°F

بازده احتراق در برخی تجهیزات

شومینه	10 - 40 %
بخاری	50 - 80 %
دیگ گازسوز	70 - 80 %
کوره هوای گرم با مشعل اتمسفریک	70 - 80 %
مشعل گازوئیل‌سوز	70 - 85 %
کوره گازسوز یا گازوئیل‌سوز با بازده بالا	85 - 95 %

ارزش حرارتی سوخت‌ها

سوخت	بیشترین ارزش حرارتی	
Btu/lb (1 Btu/lb = 2352 J/kg; 1 J/kg = 4.25×10^{-4})	kJ/kg	Btu/lb
ذغال سنگ خشک	32500 - 3400	14000 - 14500
ذغال سنگ نیمه‌خشک	26700 - 32500	11500 - 14000
ذغال سنگ قیری	17000 - 23350	7300 - 10000
ذغال سنگ نارس	13800 - 20500	5500 - 8800
کک	28000 - 31000	12000 - 13500
Btu/ft^3 (1 Btu/ft^3 = 37.250J/m^3; 1J/m^3 = 2.68×10^{-5})	kJ/m^3	Btu/ft^3
گاز شهری (خام)	18600	500
گاز طبیعی	37200	1000
پرویان	93900	2520
بوتان	130000	3490
(1 Btu/gal = 280J/L; 1J/l = 3.57×10^{-3} Btu/gal) (1 lb/gal = 0.12kg/l; 1kg/l = 8.33lb/gal)	kJ/l	Btu/gal
نفت سفید	35000	154000
گازوئیل	38000	164000
سوخت نفتی سنگین	41200	177000

ELEVENTH EDITION)-F.PORGES(SOURCE: HVAC ENGINEER'S HANDBOOK

مقایسه ارزش حرارتی برق و سوخت‌های فسیلی

نوع سوخت	ارزش حرارتی ویژه		مقدار معادل با یک مترمکعب گاز طبیعی
گاز طبیعی لوله سراسری و اهواز	1060 Btu/ft^3	9434 kcal/m^3	1 m^3
گاز طبیعی شیرین سرخس	912 Btu/ft^3	8117 kcal/m^3	1.16 m^3
گاز طبیعی	43431 Btu/kg	10945 kcal/kg	0.862 kg
نفت سفید	32320 Btu/lit	8148 kcal/lit	1.158 lit
نفت گاز	33577 Btu/lit	8462 kcal/lit	1.115 lit
نفت کوره	34444 Btu/lit	8680 kcal/lit	1.087 lit
برق	3413 Btu/kWh	860 kcal/kWh	10.97 kWh

نکته: در مقادیر معادل مذکور در جدول فوق بازدهی سوخت‌ها در دستگاه‌های مختلف در نظر گرفته نشده است و لذا برای تبدیل هر دستگاه از سوختی به سوخت دیگر باید بازدهی آن دستگاه با سوخت‌های مربوطه در نظر گرفته شود.

مرجع: مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران-
استاندارد لوله‌کشی گاز طبیعی در محوطه‌های صنعتی- آذرماه 1384

ظرفیت گرمایی ویژه سوخت‌ها

سوخت	ظرفیت گرمایی ویژه	
	(kJ/kg.K)	(Btu/lb.°F)
نفت سفید	2.01	0.48
سوخت نفتی سبک 60°F	1.8	0.43
سوخت نفتی سبک 300°F	2.3	0.54
نفت خام	2.13	0.51
سوخت نفتی سنگین	2.09	0.5
گازوئیل	2.22	0.53
بوتان 32°F	2.3	0.55
پروپان 32°F	2.4	0.576

چگالی و حجم ویژه سوخت‌ها

سوخت	چگالی		حجم ویژه	
	kg/m^3	lb/ft^3	$m^3/1000kg$	$ft^3/1ton$
ذغال سنگ خشک	720 - 850	45 - 53	1.2 - 1.4	42 - 50
ذغال سنگ قیری	690 - 800	43 - 50	1.2 - 1.5	45 - 52
کک	375 - 500	23.5 - 31	2.0 - 2.7	72 - 95
ذغال سنگ نارس	310 - 400	19.5 - 25	2.5 - 3.2	90 - 115
چوب	36 - 385	22.5 - 24	2.5 - 2.8.	90 - 100
سوخت نفتی	930	58	1.1	36
گازوئیل	835	52	1.2	43
نفت سفید	790	49	1.3	47
گاز طبیعی	0.7 - 0.9	-	-	-
پروپان	1.7	-	-	-
بوتان	2.5	-	-	-

ترکیب گاز طبیعی

نوع گاز	درصد	نوع گاز	درصد
متان	89.5	بوتان	0.5
اتان	4.5	نیتروژن	3.5
پروپان	1	دی‌اکسیدکربن	0.5
پنتان	0.5		

SOURCE: BUILDING SERVICES HANDBOOK-FRED HALL AND ROGER GREENO.

هوای احتراق

موتورخانه بایـــد دارای دریچه هوای تازه به منظـــور تامین هوای لازم برای احتراق باشـــد. به طور تجربی به ازای هـــر کیلو وات توان دیگ 1600 میلی‌مترمربع سطح برای تامین هوا در نظر گرفته می‌شود.

(1.5 اینچ مربع به ازای هر 2000 Btu/hr توان دیگ).

در عیـــن حال برای تعیین ســـطح آزاد دریچه هـــوای ورودی می‌توان از رابطه زیر نیز اســـتفاده نمود؛ مشـــروط بر اینکه مقدار هوا برحسب cfm مشخص باشد.

$$\text{(سطح آزاد دریچه) } ft^2 = \frac{(\text{cfm} \times 1.3)}{250}$$

سطح دریچه و حجم هوای احتراق بر اساس کد BOCA 1990:

- برای هوای داخل: *1 اینچ مربع به ازای هر 1000 Btu/hr*
- برای هوای خارج بدون کانال افقی: *1 اینچ مربع به ازای هر 4000 Btu/hr*
- برای هوای خارج با کانال افقی: *1 اینچ مربع به ازای هر 2000 Btu/hr*
- دبی هوا با تهویه مکانیکی: *1 cfm به ازای هر 3000 Btu/hr*

سطح دریچه و حجم هوای احتراق براساس کد BOCA 1993:

- برای هوای داخل: *40 فوت‌مکعب حجم اتاق به ازای هر 1000 Btu/hr.*

1 اینـــچ مربع به ازای هر 1000 Btu/hr که در هر حالت نباید کمتر از 100 اینچ مربع باشد.

- برای هوای خارج: *1 اینچ مربع به ازای هر 4000 Btu/hr بدون کانال افقی.*

1 اینچ مربع به ازای هر 2000 Btu/hr با کانال افقی.

1 اینچ مربع به ازای هر 4000 Btu/hr برای بازشوی کانال‌های عمودی یا کف و یا سقف.

- دبی هوا با تهویه مکانیکی: *1 cfm به ازای هر 3000 Btu/hr*

سطح دریچه هوای احتراق بر اساس کد SBCCI 1988:

-برای سوخت‌های جامد: *2 اینچ مربع به ازای هر 1000 Btu/hr که در هر حالت نباید کمتر از 200 اینچ مربع باشد.*

-برای سوخت‌های مایع و گاز در فضاهای محدود و محصور:

هـــوای داخل: *1 اینچ مربع بـــه ازای 1000 Btu/hr که در هر حالت نباید کمتر از 100 اینچ مربع باشد.*

هوای خارج با کانال افقی: *1 اینچ مربع به ازای هر 2000 Btu/hr*

هوای خارج بدون کانال افقی:

1 اینچ مربع به ازای هر 4000 Btu/hr

هوای خارج برای سوخت‌های مایع و گاز در فضاهای غیرمحصور:

1 اینچ مربع به ازای هر 5000 Btu/hr

سطح دریچه هوای احتراق بر اساس کد UBC 1988:

هوای داخل برای فضاهای محصور و محدود:

1 اینچ مربع به ازای هر 1000 Btu/hr

هوای خارج برای فضاهای محصور و محدود با کانال افقی:

1 اینچ مربع به ازای هر 2000 Btu/hr

هوای خارج برای فضاهای محصور و محدود بدون کانال افقی:

1 اینچ مربع به ازای هر 4000 Btu/hr

هوای خارج برای فضاهای غیرمحصور:

1 اینچ مربع به ازای هر 5000 Btu/hr

سطح دریچه هوای احتراق بر اساس کد NFPA 1992-54 برای سوخت گاز:

هوای داخل برای فضاهای محصـــور و محدود: *1 اینچ مربع به ازای هر 1000 Btu/hr که در هر حال نباید کمتر از 100 اینچ مربع باشد.*

هوای خارج برای فضاهای محصور و محدود با ارتباط مستقیم به بیرون:

1 اینچ مربع به ازای هر 4000 Btu/hr

هوای خارج برای فضاهای محصور و محدود با کانال‌های عمودی:

1 اینچ مربع به ازای هر 4000 Btu/hr

هوای خارج برای فضاهای محصور و محدود با کانال‌های افقی:

1 اینچ مربع به ازای هر 2000 Btu/hr

تعیین هوای احتراق برای سیستم گازسوز

$cfm = (0.265 \times ft^3)/hr$ (مصرف گاز)

(این رابطه برای 30 درصد هوای اضافی در دمای 70°F صادق است)

تعیین هوای احتراق برای سیستم با سوخت مایع

$cfm = 35 \times GPH$ (مصرف سوخت مایع)

(این رابطه برای 30 درصد هوای اضافی در دمای 70°F صادق است)

تعیین هوای احتراق دیگ گازسوز بر حسب توان دیگ

هوای احتراق برای دیگ گازسوز	8 cfm به ازای هر اسب توان دیگ
هوای تهویه برای دیگ گازسوز	2 cfm به ازای هر اسب توان دیگ
کل هوای تهویه و احتراق	10 cfm به ازای هر اسب توان دیگ

مقادیر فوق برای ارتفاع 1000 فوت از سطح دریا قابل قبول است. در صورت افزایش ارتفاع بیش از این مقدار باید 3 درصد به ازای هر 1000 فوت افزایش ارتفاع به مقادیر بالا اضافه شود.

هوای اضافی برای احتراق خوب

برای ذغال و ذغال سنگ قیری	40%
برای مواد مشابه ذغال سنگ با آتش دستی (روباز)	70 - 100%
برای مواد مشابه ذغال سنگ با سوخت انداز	40 - 70%
برای سوخت‌های نفتی	10 - 20%
برای گاز	10 %

مقدار ترکیب هوا با سوخت

سوخت	حجم هوا برای احتراق در شرایط متعارفی		حجم گاز محصول احتراق در شرایط متعارفی	
	m^3/kg	ft^3/lb	m^3/kg	ft^3/lb
ذغال سنگ خشک	9.4	150	9.5	152
ذغال سنگ نیمه‌خشک	8.4	135	8.6	137
ذغال سنگ قیری	6.9	110	7.0	112
ذغال سنگ نارس	5.7	92	5.9	94
کک	8.4	134	8.4	135
ذغال چوب	8.4	134	8.4	135
	$\frac{m^3 air}{m^3 fuel}$	$\frac{m^3 air}{ft^3 fuel}$	$\frac{m^3 gas}{m^3 fuel}$	$\frac{ft^3 gas}{ft^3 fuel}$
گاز شهری (خام)	4	4	3.8	3.8
گاز طبیعی	9.5	9.5	8.5	8.5
پروپان	24.0	24.0	22	22
بوتان	31	31	27	27
	$\frac{m^3 air}{litre\ fuel}$	$\frac{ft^3 air}{gal\ fuel}$	$\frac{m^3 gas}{litre\ fuel}$	$\frac{ft^3 gas}{gal\ fuel}$
نفت سفید	9.8	1570	10.4	1670
گازوئیل	10.8	1730	11.6	1860

SOURCE:HVAC ENGINEER،S HANDBOOK -ELEVENTH EDITION -F. PORGES

گرمکن سوخت

سوخت‌های سنگینی همچون مازوت قبل از استفاده نیازمند روان‌سازی هستند و این مهم توســط مبدل‌های گرمایی برقی، آبگرم یا بخار به انجام می‌رسد.

تعیین ظرفیت حرارتی گرمکن سوخت

از طریق رابطه زیر می‌توان ظرفیت گرمایی مبدل را تعیین نمود:

$$Btu/hr = gph \times 8\ lb/gal \times 0.50 \times \Delta t \qquad (1)$$

gph = دبی پمپ سوخت بر حسب گالن در ساعت
8 = چگالی سوخت نفتی سنگین برحسب پوند برگالن
0.5 = گرمای ویژه سوخت (Btu/lb.°F)
Δt = اختلاف دما

چنانچه اختلاف دما را 60°F در نظر گیریم (150°F - 90°F) رابطه (1) به صورت زیر ساده خواهد شد:

$$Btu/hr = gph \times 240 \qquad (2)$$

با در اختیار داشتن ظرفیت بار گرمایی لازم می‌توان دبی آبگرم مورد نیاز را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$gpm = \frac{(\ Btu/hr\ )}{(\ 10000\ )} \qquad (3)$$

در مورد گرمکن‌های بخاری می‌توان با در اختیار داشــتن بار گرمایی از طریق رابطه زیر مقدار بخار مورد نیاز در فشار 15 psi را به دست آورد:

$$lb/hr = \frac{(\ Btu/hr\ )}{970} \qquad (4)$$

توان مورد نیاز گرمکن‌های برقی با در اختیار داشتن بار گرمایی مبدل از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$WATT = \frac{(\ Btu/hr\ )}{3.41} \qquad (5)$$

نرخ انتقال حرارت در گرمکن سوخت

بخار فشار متوسط و آبگرم

نوع کوئل	انتقال گرما - گردش طبیعی	
	(W/m ^{2}°C)	(Btu/hr ft ^{2}°F)
بخار به سوخت نفتی سبک	170	30
بخار به سوخت نفتی سنگین	85 - 115	15 - 20
آبگرم به سوخت نفتی	60	10

SOURCE: WWW.ENGINEERINGTOOLBOX.COM

افت گرما در لوله‌های سوخت

جدول زیر افت دما را در لوله‌های سوخت بر حسب Btu/hr ft°F و W/mK با توجه به دمای سوخت نشان می‌دهد:

قطر اسمی mm	تا 10 °C تا 50°F	10 - 27 °C 50 - 80°F	27 - 38 °C 80 - 100°F
15	0.7	0.9	0.9
	0.4	0.5	0.5
20	0.7	1.1	1.1
	0.4	0.6	0.6
25	0.8	1.2	1.4
	1.4	0.7	0.8
40	2.1	1.7	1.9
	1.6	1.0	1.1
50	2.8	2.1	2.2
	1.6	1.2	1.3

افت گرما در مخازن سوخت

وضعیت	دمای سوخت نفتی °F	دمای سوخت نفتی °C	افت گرما بدون تاخیر Btu/ (ft²hr°F)	افت گرما بدون تاخیر W/ (m²K)	افت گرما با تاخیر Btu/ (ft²hr°F)	افت گرما با تاخیر W/ (m²K)
با پوشش	UP TO 50	UP TO 10	1.2	6.8	0.3	1.7
	50 - 80	10 - 27	1.3	7.4	0.325	1.8
	80 - 100	27 - 38	1.4	8.0	0.35	2.0
بدون حفاظ و پوشش	UP TO 50	UP TO 10	1.4	8.0	0.35	2.0
	50 - 80	10 - 27	1.5	8.5	0.375	2.1
	80 - 100	27 - 38	1.6	9.0	0.4	2.25
دفنی			NIL		NIL	

ضریب انتقال حرارت کوئل‌های گرمکن

از بخار به سوخت نفتی: 11.3 W/ (m^2°C) 20 Btu/ (ft^2 hr°F)

از آب داغ به سوخت نفتی: 5.7 W/ (m^2°C) 10 Btu/ (ft^2 hr°F)

انتقال سوخت

برای انتقال ســـوخت از مخازن اصلی به مخازن فرعی و روزانه، شبکه لوله‌کشی ویژه مجهز به پمپ سوخت مورد نیاز است.

تعیین قطر لوله مکش پمپ سوخت از مخزن

طول معادل	دبی پمپ gph				
	تا 100	150	200	300	600	900
تا 50 فوت	2	2	2(1/2)	2(1/2)	3	3
51تا 100فوت	2	2	2(1/2)	2(1/2)	3	3
101تا 150 فوت	2	2(1/2)	2(1/2)	3	3	4

SOURCE: DESIGN MANUAL FOR HEATING. VENTILATION AND AIR CONDITIONING -LEE KENDRICK

سرعت جریان سوخت نفتی در لوله

	m/s	ft/s
لوله مکش پمپ	<0.5	<1.6
لوله مکش پمپ کم فشار	0.1 - 0.2	0.3 - 0.65
لوله دهش پمپ	1.0 - 2.0	3.3 - 6.5
لوله دهش پمپ مشعل	<1.0	<3.3

تعیین ظرفیت پمپ سوخت بر اساس توان دیگ

توان دیگ hp	ظرفیت پمپ برای گازوئیل با موتور 1750 دور (gph)	توان دیگ hp	ظرفیت پمپ برای گازوئیل با موتور 1750 دور (gph)
15 - 40	30	300 - 600	270
50 - 100	45	700*	400*
125 - 250	140		

1 GPH = 3.785 lb/H: 1 lb/H = 0.386 GPH *1 bhp = 9.81 kW: 1kW = 0.102bhp*

** - در این مورد، دور موتور 1150 دور در دقیقه است.*

SOURCE: HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING SYSTEM ESTIMATING MANUAL -2 EDITION - A.M.KHASHAB

تعیین اینچ خلاء پمپ سوخت مشعل

مجموع مقادیر زیر می‌تواند تعیین‌کننده ظرفیت پمپ ســوخت مشعل باشد:

1 اینچ خلاء برای هر فوت حرکت عمودی لوله سوخت

1 اینچ خلاء برای هر زانوی 90 درجه سمت مکش یا برگشت سوخت

1 اینچ خلاء برای هر 10 فوت حرکت افقی لوله 3/8 اینچی

1 اینچ خلاء برای هر 20 فوت حرکت افقی لوله 1/2 اینچی

پمپ‌هایــی تا 3 اینچ خلاء از نوع تک مرحلــه‌ای و پمپ‌هایی از 4 تا 13 اینچ خلاء دومرحله‌ای هســتند. از 14 اینچ خلاء به بیشــتر باید از دو پمپ مجزا یکی برای سوخت‌رسانی به مشعل و دیگری برای منبع ذخیره استفاده نمود. در این صورت پمپ مشعل از نوع یک مرحله‌ای خواهد بود.

افت فشار در لوله‌های سوخت

افت فشار در لوله‌های سوخت براساس ویسکوزیته در جریان‌های آرام از طریق جدول زیر قابل محاسبه است:

ویسکوزیته CST	4.0	25	45	250	500
افت فشار	1.7×10^4 F/D^4	11×10^4 F/D^4	20×10^4 F/D^4	110×10^4 F/D^4	220×10^4 F/D^4

F = جریان سوخت (lit/s)

D = *قطر داخلی لوله (mm)*

جــدول بالا برای جریان‌های آرام که در آنهــا عدد رینولدز (Re)کمتر از 2300 است تدوین شده است. عدد رینولدز از طریق جدول زیر قابل محاسبه است:

ویسکوزیته CST	4.0	25	45	250	500
عدد رینولدز Re	32×10^4 F/D	4.5×10^4 F/D	2.8×10^4 F/D	0.45×10^4 F/D	0.25×10^4 F/D

SOURCE: WWW.ENGINEERINGTOOLBOX.COM

تعیین مصرف سالانه سوخت گاز

$$\text{مصرف سوخت بر حسب ترم} = \frac{\text{روز درجه سال} \times \text{بار گرمایی (Btu/hr)}}{3500 \times \text{اختلاف دما (°F)}}$$

هر ترم معادل 100،000 Btu است با توجه به ارزش حرارتی گاز و تقسیم نمودن ترم بر ارزش حرارتی حجم مورد نیاز به دست می‌آید.

تعیین مصرف سالانه سوخت نفتی

$$\text{مصرف سوخت برحسب گالن (gal)} = \frac{\text{روز درجه سال} \times \text{بار گرمایی (Btu/hr)}}{5000 \times \text{اختلاف دما (°F)}}$$

تعیین مقدار سوخت نفتی دیگ

$$\text{گالن در ساعت gph} = \frac{\text{ظرفیت دیگ (Btu/hr)}}{0.8 \times \text{ارزش حرارتی سوخت}}$$

مخازن سوخت

مخازن سوخت بر اساس محل نصب، شکل ظاهری، کاربرد، جنس و نوع جریان سوخت در انواع مختلفی مانند مخازن زیرزمینی، مخازن روزمینی، مخازن استوانه‌ای، مخازن چهارگوش، مخازن اصلی، مخازن فرعی، مخازن فلزی، مخازن پلیمری، مخازن با جریان طبیعی (ثقلی) و مخازن با جریان اجباری طبقه‌بندی شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

فاصله مخزن سوخت از ساختمان

گنجایش مخزن (m^3)	حداقل فاصله از ساختمان (m)
کمتر از 0.45	-
0.45 – 2.25	3.0
2.25 – 9.00	7.5
بیشتر از 9.00	15.0

SOURCE: BUILDING SERVICES HANDBOOK - FRED HALL AND ROGER GREENO.

ابعاد مخازن سوخت نفتی سنگین دفنی

	طول مخزن (فوت - اینچ)								
قطر مخزن (فوت- اینچ)	5000 gal	6000 gal	8000 gal	10000 gal	12000 gal	15000 gal	20000 gal	25000 gal	30000 gal
8' - 0"	13' - 6"	16' - 0"	21' - 4"	26' - 7"	32' - 0"	40' - 0"	-	–	–
10' - 0"	–	–	–	17' - 2"	20' - 6"	25' - 8"	34' - 1"	42' - 6"	51' - 3"
10' - 6"	–	–	–	15' - 8"	18' - 6"	23' - 4"	31' - 0"	38' - 6"	45' - 10"

ابعاد مخازن سوخت نفتی سبک دفنی

	طول مخزن (فوت - اینچ)									
قطر مخزن (فوت - اینچ)	280 gal	550 gal	1000 gal	1500 gal	2000 gal	3000 gal	4000 gal	5000 gal	6000 gal	8000 gal
3' - 6"	4' - 0"	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4' - 0"	–	6' - 0"	10' - 8"	–	–	–	–	–	–	–
5' - 4"	–	–	–	9' - 0"	12' - 0"	18' - 0"	24' - 0"	–	–	–
6' - 0"	–	–	–	–	–	–	–	23' - 9"	–	–
7' - 0"	–	–	–	–	–	–	–	17' - 6"	–	–
8' - 0"	–	–	–	–	–	–	–	13' - 6"	16' - 0"	21' - 4"

SOURCE: HEATING, VENTILATION, AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL- LEE KENDRICK

دودکش

برای خروج دود و گازهای حاصل از احتراق ممکن است از دودکش‌های پیش‌ساخته شـــامل لوله‌های فلزی و لوله‌ها یا قطعات چهارگوش سیمانی استفاده شود و در پاره‌ای موارد و ظرفیت‌ها و ارتفاع محدود امکان استفاده از مجاری ساخته شده با مصالح بنایی به عنوان دودکش نیز وجود دارد.

سطح مقطع دودکش

حداکثر سرعت برای کوره‌های کوچک: 2 m/s (7 ft/s)

حداکثر سرعت برای کوره‌های بزرگ: 10 - 15 m/s (35 - 52 ft/s)

سطح مقطع دودکش از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\text{سطح مقطع دودکش } (m^2) = \frac{\text{حجم گاز حاصل از احتراق در دمای دودکش } (m^3/s)}{\text{سرعت } (m/s)}$$

تخمین سطح مقطع دودکش

به ازای هر کیلو وات توان دیگ: $400\ mm^2$

به ازای هر 1000 Btu/hr توان دیگ: $0.2\ in^2$

از طریق رابطه زیر نیز می‌توان ســـطح مقطع دودکش را بر حسب cm^2 تعیین نمود:

$$A = \frac{0.02Q}{\sqrt{h}}$$

A = سطح مقطع بر حسب cm^2

Q = ظرفیت گرمایی دیگ بر حسب kcal/hr

h = ارتفاع بر حسب m

رقیق‌سازی دود

برای کاهش یک درصد CO_2 باید 100 مترمکعب هوا به ازای سوختن یک مترمکعب گاز طبیعی به سیستم دمیده شود.

دمای دود و هوای تخلیه تجهیزات با سوخت فسیلی

نوع تجهیزات	دمای هوای تخلیه	
	°F	°C
تجهیزات گازسوز با هود	360	182
تجهیزات گرمایشی با سوخت نفتی با هود	360	182
تجهیزات گازسوز بدون هود	460	238
تجهیزات گرمایشی نفتی خانگی	560	293
تجهیزات نفت‌سوز با مکش اجباری بیش از 400000 Btu/hr	360	182
زباله‌سوز معمولی	1400	760
زباله‌سوز با هوای کنترل شده	1800 - 2400	982 - 1316
زباله‌سوز (بیمارستانی)	1800 - 2800	982 - 1538
تخلیه توربین	900 - 1400	482 - 760
تخلیه موتور دیزل	900 - 1400	482 - 760
کوره سرامیک	1800 - 2400	982 - 1316

سطح مقطع دودکش براساس ظرفیت دیگ و ارتفاع دودکش

مقطع چهارگوش cm	قطر مقطع مدور cm	ارتفاع m					
		10	12	15	20	25	30
		ظرفیت دیگ kcal/h					
20×20	23	50000	50000	55000	-	-	-
20×27	26	70000	75000	80000	90000	95000	-
27×27	30	110000	115000	125000	140000	150000	180000
27×40	37	165000	180000	190000	210000	240000	250000
40×40	45	250000	280000	300000	320000	360000	380000
40×53	52	-	400000	420000	470000	500000	550000
53×53	60	-	-	600000	660000	720000	770000
53×66	67	-	-	800000	870000	950000	1000000

1300000	1200000	1100000	-	-	-	75	66×66
1700000	1600000	-	-	-	-	84	66×85
2100000	1900000	-	-	-	-	92	74×92
2300000	2100000	-	-	-	-	96	85×85

ضخامت ورق فولادی دودکش قائم فلزی یک جداره با دمای پایین

سطح مقطع cm^2	قطر معادل cm	حداقل ضخامت ورق (mm)
تا 995	تا 35.6	1.5
996 - 1290	35.7 - 40.6	2
1291 - 1640	40.7 - 45.7	2.5
بیشتر از 1640	بزرگتر از 45.7	3.5

مرجع: نشریه 3 - 128 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

ضخامت ورق لوله رابط دودکش با دمای پایین

قطر لوله رابط دودکش		حداقل ضخامت ورق فولادی گالوانیزه	
(cm)	(in)	(mm)	(in)
تا 12	تا 5	0.6	0.022
22 - 13	9 - 6	0.7	0.028
40 - 23	10 - 16	0.9	0.034
بیشتر	بیشتر	1.5	0.064

مرجع: مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان

ابعاد دریچه انفجار و تثبیت‌کننده مکش دودکش

سطح مقطع دودکش (m^2)	ابعاد دریچه انفجار و تثبیت‌کننده مکش (mm)
0.025 - 0.050	150 × 230

0.050 - 0.125	200 × 330
0.125 - 0.200	330 × 450
0.200 - 0.400	400 × 600
0.400 - 1.000	600 × 800

ظرفیت نازل مشعل‌ها

ظرفیت نازل gph	زاویه پاشش (درجه)	ابعاد محفظه احتراق چهارگوش				
		طول (in)	عرض (in)	ارتفاع (in)	ارتفاع نازل (in)	قطر محفظه مدور (in)
0.50 - 0.65	80°	8	8	11	4	9
0.75 - 0.85	60°	10	8	12	4	-
	80°	9	9	13	5	10
1.00 - 1.10	45°	14	7	12	4	-
	60°	11	9	13	5	-
	80°	10	10	14	6	11
1.25 - 1.35	45°	15	8	11	5	-
	60°	12	10	14	6	-
	80°	11	11	15	7	12
1.50 - 1.65	45°	16	10	12	6	-
	60°	13	11	14	7	-
	80°	12	12	15	7	13
1.75 - 2.00	80°	18	11	14	6	-
	60°	15	12	15	7	-
	80°	14	13	16	8	15

–	7	14	12	18	45°	2.25 - 2.50
–	8	15	13	17	60°	
16	8	16	14	15	80°	
–	7	15	13	20	45°	3.00
–	8	17	14	19	60°	
17	9	18	16	18	80°	

SOURCE: HVAC FUNDAMENTALS-VOLUME2-JAMES E.BRUMBAUGH.

تعیین ظرفیت نازل مشعل گازوئیل‌سوز

ظرفیت تقریبی نازل (gph)	ظرفیت تقریبی مشعل (kg/hr)	ظرفیت دیگ (kcal/hr)
0.50	2.7	20000
0.85	4.0	30000
1.10	5.3	40000
1.10	6.4	50000
1.25	7.7	60000
1.50	8.7	70000
1.65	9.8	80000
2.00	11.0	90000
2.25	14.0	110000
3.00	14.6	130000
3.25	19.3	160000
3.50	21.7	180000
4.00	24.3	200000
4.50	26.9	220000

گاز

استفاده از ســـوخت گاز به دو صورت طبیعی و مایع رواج بسیار زیادی یافته اســـت. گاز طبیعی ترکیبی است از 80 درصد متان، 10 درصد اتان و 10 درصد گازهای دیگر.گاز مایع نیز مخلوطی از پروپان و بوتان است که در فصول مختلف نسبت‌های آن متفاوت است. در زمستان بر درصد پروپان گاز مایع می‌افزایند و در تابستان از آن می‌کاهند.

ابعاد مخازن گاز مایع

ظرفیت اسمی مخزن (kg)	گنجایش برحسب پرشدن مخزن با آب (litres)	قطر (mm)	طول کل (mm)	ارتفاع (mm)
200	450	610	1675	900
600	1400	1000	1985	1310
1000	2250	1000	3042	1460
2000	4500	1220	4100	1685
7000	16000	1700	6782	3580*
1200	28000	2172	8600	3910*

* *شامل سطح سکو و نرده محافظ*

SOURCE: PLUMBING ENGINEERING SERVICES DESIGN GUIDE.STAN TIDSLEY- THE INSTITUTE OF PLUMBING.

حداقل فواصل ایمنی توصیه‌شده برای مخازن گاز مایع

ظرفیت نامی مخزن گاز مایع (tonnes)	حداکثر گنجایش هر یک از منابع برحسب پرشدن آن با آب (litres)	حداکثر گنجایش تمامی منابع در یک مجموعه برحسب پرشدن آن با آب (litres)	حداقل فواصل (متر)	
			از ساختمان‌ها و تجهیزات احتراقی	فواصل بین منابع
0.05 - 0.25	150 - 500	1500	2.5	1.0
0.25 - 1.10	501 - 2500	7500	3.0	1.0
1.10 - 4.00	2501 - 9000	27000	7.5	1.0
4 - 60	9001 - 135000	450000	15.0	1.5

SOURCE: PLUMBING ENGINEERING SERVICES DESIGN GUIDE.STAN TIDSLEY- THE INSTITUTE OF PLUMBING.

مصارف برخی تجهیزات گازسوز

تجهیزات	m^3/hr	ft^3/hr
دیگ پخت 10 gal	1.27	45
دیگ پخت 20 gal	1.7	60
دیگ پخت 30 gal	2.1	75
دیگ پخت 40 gal	2.5	90
گرم‌خانه 4 ft	1.35	48
گرم‌خانه 6 ft	2.5	54
بخارپز	1.1	40 - 50
بخارپز دوبل	1.4	100
کباب‌پز دو ردیفه	1.4	50
کباب‌پز و سرخ‌کن	0.85	30
اجاق گاز تک شعله	0.3	10.5
اجاق گاز سه شعله	0.7	24
اجاق گاز پنج شعله	1	35.31
اجاق گاز دو ردیفه تجاری	11	400
خشک‌کن	0.14	5
مشعل بنسن	0.08	3
مشعل بنسن دایم روشن	0.28	10
آبگرم‌کن مخزن‌دار 75 لیتر	0.5	17.6
آبگرم‌کن مخزن‌دار 115 لیتر	0.8	28
آبگرم‌کن مخزن‌دار 190 لیتر	1.4	49.4
آبگرم‌کن لحظه‌ای 4 lit/min	1.7	60
آبگرم‌کن لحظه‌ای 8 lit/min	3.5	123
روشنایی	0.1	3.5
بخاری	0.8	28

ابعاد سیلندرهای گاز مایع

ظرفیت سیلندر (kg)	ارتفاع (mm)	حداکثر قطر (mm)
پروپان 3.9	337	28
13.0	584	318
19.0	800	318
47.0	1289	375
بوتان 4.5	337	248
7.0	495	256
15.0	584	318

SOURCE: PLUMBING ENGINEERING SERVICES DESIGN GUIDE.STAN TIDSLEY- THE INSTITUTE OF PLUMBING.

فشار گاز

برای مصارف خانگی: 178 میلی‌متر آب (1/4 psi)

برای مصارف تجاری و ساختمان‌های مسکونی بزرگ:

1406 میلی‌متر آب (2 psi)

برای مصارف صنعتی و خطوط انتقال در محوطه‌های بزرگ:

$2\ kg/cm^2$ (30 psi) و $4.2\ kg/cm^2$ (60 psi)

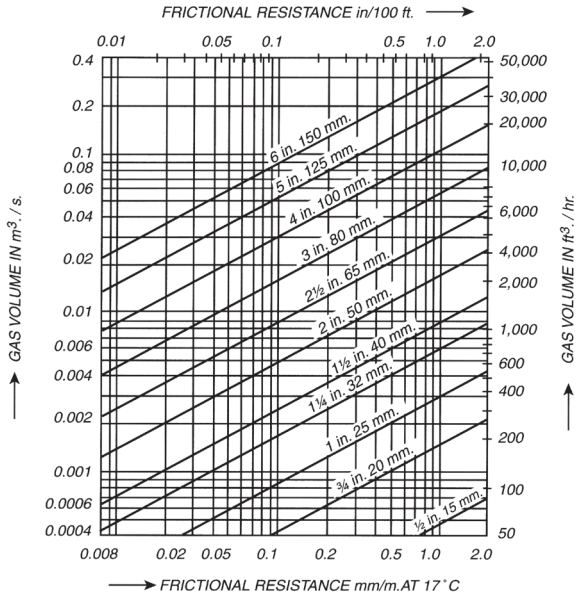
ضرایب تبدیل چگالی گاز

ظرفیت لوله‌های گاز در جداولی که در پی این مطلب خواهند آمد براساس چگالی 0.65 تعیین شده است. چنانچه چگالی گاز مقدار دیگری باشد، می‌باید ضرایب تصحیح را در ظرفیت ضرب نمود.

چگالی	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
ضریب تصحیح	0.96	1	1.04	1.09	1.14

مرجع: استاندارد لوله‌کشی گاز طبیعی- مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران (1384)

نمودار دبی گاز در لوله‌های فولادی



تعیین دبی لوله گاز (1)

تعییـــن دبی لوله گاز براســـاس واحد طول لولـــه (m) و قطر نامی لوله (in)برحســـب (m^3/hr) برای گاز طبیعی با چگالی (0.65) و فشـــار اولیه 178 میلی‌متر آب و حداکثر افت فشار 12.5 میلی‌متر آب

طول لوله (m)	قطر نامی (in)								
	1/2	3/4	1	1(1/4)	1(1/2)	2	2(1/2)	3	4
2	5.90	12.30	23.3	47.9	72.0	138.3	220.0	390.7	801.9
4	4.00	8.50	16.0	32.9	49.4	95.1	151.2	268.5	551.1
6	3.20	6.80	12.9	26.4	39.7	76.4	121.5	215.7	442.8
8	2.80	5.80	11.0	22.6	34.0	65.4	104.0	184.7	379.1
10	2.40	5.00	9.6	19.7	29.6	56.9	90.4	160.6	329.7
12	2.20	4.70	8.8	18.1	27.3	52.5	83.4	148.2	304.3

← ادامه

تعیین دبی لوله گاز (1) (ادامه)

طول لوله (m)	قطر نامی (in)								
	1/2	3/4	1	1(1/4)	1(1/2)	2	2(1/2)	3	4
14	2.00	4.30	8.1	16.7	25.0	48.2	76.6	136.1	279.4
16	1.90	4.00	7.0	15.5	23.3	44.8	71.3	126.7	260.0
18	1.80	3.70	7.1	14.6	21.9	42.2	67.1	119.3	244.8
20	1.70	3.50	6.7	13.8	20.7	39.8	63.3	112.5	231.0
22	1.60	3.30	6.3	13.1	19.6	37.8	60.1	106.8	219.2
24	1.50	3.20	6.1	12.5	18.7	36.1	57.4	101.9	209.2
26	1.40	3.10	5.8	12.0	18.0	34.6	55.1	97.9	200.9
28	1.40	2.90	5.5	11.4	17.2	33.1	52.6	93.6	192.0
30	1.30	2.80	5.3	11.0	16.6	31.9	50.8	90.2	185.1
35	1.20	2.60	4.9	10.2	15.3	29.4	46.8	83.1	170.6
40	1.10	2.40	4.6	9.4	14.1	27.1	43.3	76.9	157.9
45	1.10	2.20	4.3	8.8	13.3	25.5	40.6	72.2	148.1
50	1.00	2.10	4.1	8.4	12.6	24.3	38.6	68.7	141.0
55	0.99	2.00	3.9	8.0	12.0	23.1	36.7	65.2	133.9
60	0.94	1.90	3.7	7.6	11.5	22.1	35.1	62.4	128.1
70	0.85	1.80	3.3	6.9	10.4	20.0	31.8	56.5	116.1
80	0.80	1.60	3.1	6.5	9.7	18.8	39.8	53.1	108.9
90	0.75	1.50	2.9	6.1	9.1	17.6	28.0	49.7	102.0
100	0.71	1.40	2.8	5.7	8.6	16.6	26.4	47.0	96.5
120	0.64	1.30	2.5	5.2	7.8	15.0	23.9	42.5	87.3
150	0.57	1.20	2.2	4.6	6.9	13.3	21.2	37.7	77.5
200	0.49	1.00	1.9	3.9	5.9	11.4	18.1	32.2	66.2
250	0.43	0.91	1.7	3.5	5.2	10.1	16.1	28.6	58.8
300	0.39	0.82	1.5	3.1	4.7	9.2	14.6	25.9	53.2

مرجع: استاندارد لوله‌کشی گاز طبیعی- مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران (1384)

تعیین دبی لوله گاز (2)

تعییـــن دبی لوله گاز براســـاس واحد طول لولـــه (m) و قطر نامی لوله (in)برحســـب (m^3/hr) برای گاز طبیعـــی با چگالی (0.65) و فشـــار اولیه 1406میلی‌متر آب (2 psi) و حداکثر افت فشار 10 درصد

طول لوله (m)	قطر نامی (in)								
	3/4	1	1(1/4)	1(1/2)	2	2(1/2)	3	4	6
15	16	30	62	93	180	276	418	725	1657
30	11	21	43	64	124	217	375	725	1657
45	9	17	34	52	99	175	301	620	1657
60	8	14	30	44	85	150	258	531	1569
75	7	13	26	39	75	132	229	470	1390
90	6	12	24	35	68	120	207	426	1260
120	5	10	20	30	58	103	177	365	1078
150	4.6	9	18	27	52	91	157	323	956
200	4	7	15	23	44	78	134	277	818
250	3.5	6.5	13	20	39	69	119	245	725
300	3.2	6	12	18.5	36	63	108	222	657
350	2.9	5.5	11	17	33	58	99	204	606
400	2.7	5.1	10.5	15.5	31	54	92	190	562
450	2.5	4.8	10	14.5	29	50	87	179	527

مرجع: استاندارد لوله‌کشی گاز طبیعی- مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران (1384)

تعیین دبی لوله گاز (3)

تعییـــن دبی لوله گاز براســـاس واحد طول لولـــه (m) و قطر نامی لوله (in) برحســـب (m^3/hr) بـــرای گاز طبیعی با چگالی (0.65) و فشـــار اولیه $2.11\ kg/cm^2$ (30 psi) و حداکثر افت فشار 10 درصد

طول لوله (m)	قطر نامی (in)								
	3/4	1	1(1/4)	1(1/2)	2	2(1/2)	3	4	6
15	75	122	211	288	474	727	1104	1915	4376
30	69	122	211	288	474	727	1104	1915	4376
45	57	108	211	288	474	727	1104	1915	4376
60	49	93	194	288	474	727	1104	1915	4376
75	44	83	174	263	474	727	1104	1915	4376
90	40	76	158	240	474	727	1104	1915	4376
120	35	66	137	208	405	716	1104	1915	4376
150	31	59	123	186	362	640	1104	1915	4376
200	27	51	106	161	314	554	968	1915	4376
250	24	46	95	144	280	496	865	1804	4376
300	22	42	87	131	256	453	790	1647	4376
350	20	39	80	122	237	419	731	1525	4376
400	19	36	75	114	222	392	684	1426	4294
450	18	34	71	107	209	369	645	1345	4048
500	17	32	67	102	198	350	612	1276	3841
550	16	31	64	97	189	334	583	1216	3662
600	15	29	61	93	181	320	559	1164	3506
800	13	25	53	80	157	277	484	1008	3036
1000	12	23	47	72	140	248	433	902	2716

مرجع: استاندارد لوله‌کشی گاز طبیعی- مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران (1384)

تعیین دبی لوله گاز (4)

تعییـــن دبی لوله گاز براســـاس واحد طول لولـــه (m) و قطر نامی لوله (in) برحســـب (m^3/hr) بـــرای گاز طبیعی با چگالی (0.65) و فشـــار اولیه $4.2\ kg/cm^2$ (60 psi) و حداکثر افت فشار 10 درصد

طول لوله (m)	قطر نامی (in)								
	3/4	1	1(1/4)	1(1/2)	2	2(1/2)	3	4	6
15	125	203	352	481	792	1215	1844	3200	7350
30	125	203	352	481	792	1215	1844	3200	7350
45	103	196	352	481	792	1215	1844	3200	7350
60	89	170	352	481	792	1215	1844	3200	7350
75	80	152	316	479	792	1215	1844	3200	7350
90	73	139	289	438	792	1215	1844	3200	7350
120	63	120	250	379	738	1215	1844	3200	7350
150	56	107	224	339	660	1166	1844	3200	7350
200	49	93	194	294	571	1010	1763	3200	7350
250	44	83	173	263	511	903	1577	3200	7350
300	40	76	158	240	466	825	1439	3000	7350
350	37	70	146	222	432	763	1333	2778	7350
400	35	66	137	208	404	714	1247	2598	7350
450	33	62	129	196	380	673	1175	2450	7350
500	31	59	122	186	361	639	1115	2324	6998
550	29	56	117	177	345	609	1063	2216	6672
600	28	54	112	169	330	583	1018	2122	6388
800	24	47	97	147	286	505	881	1837	5532
1000	22	42	87	131	255	452	788	1643	4948

مرجع: استاندارد لوله‌کشی گاز طبیعی- مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران (1384)

فواصل نصب شیر گاز از مصرف‌کننده گازسوز

دستگاه گازسوز	فاصله شیر از کف (سانتی‌متر)	فاصله شیر از دستگاه (سانتی‌متر)
آبگرمکن دیواری	150 - 12	-
آبگرمکن زمینی	40 - 30	30 (از بدنه آبگرمکن)
اجاق گاز	110 - 90	10 تا 30 از بدنه
بخاری	40 - 30	حداقل 20 از بدنه
دیگ‌های حرارتی	60 - 30	50 تا 70 از مشعل
روشنایی	حداقل 170	-
شومینه	40 - 30	80 تا 120 از دودکش و 30 سانتی‌متر از دیوار شومینه

مرجع: مبحث هفدهم مقررات ملی ساختمان

حداقل فواصل کارگذاری تجهیزات گازسوز از مواد و مصالح و اشیای قابل اشتعال

دستگاه گازسوز	فاصله مجاز به سانتی‌متر
کلیه دستگاه‌های گازسوز که روی کف نصب می‌شوند (بخاری - آبگرمکن - پکیج یونیت و...)	45 سانتی‌متر از اطراف 45 سانتی‌متر از بالا
اجاق گاز خانگی (کابینتی)	75 سانتی‌متر از بالا
بخاری دیواری	100 سانتی‌متر از اطراف 100 سانتی‌متر از بالا

مرجع: مبحث هفدهم مقررات ملی ساختمان

❋ ❋ ❋

۳-۲

دیگ

مبنای تعیین ظرفیت دیگ‌ها در سه نوع آبگرم،آب داغ یا بخار، توان گرمایشی آنها برحسب Btu/hr، kcal/hr یا kW است. برای دیگ‌های بخار به غیر از توان حرارتی، تعیین عامل دیگری همچون توان تولید بخار در ساعت بر حسب kg/hr یا lb/hr نیز ملاک انتخاب قرار می‌گیرد. همچنین برای دیگ‌های بخار به کارگیری واحدی چون bhp (اسب دیگ) بسیار رایج است. به طور کلی برای دیگ‌های پر ظرفیت واحد bhp کاربرد بیشتری دارد. در هرحال هر bhp معادل 475 Btu/hr (9.81 kW) است که بر این اساس می‌توان انتظار داشت که دیگی با قدرت 1bhp تحت فشار 15 psi توان تولید 34.5 پوند بخار در ساعت را داشته باشد.

درصد تلفات در دیگ‌های بخار از طریق دودکش، تشعشع و هدایت بدنه و زیر آب‌کشی به ترتیب در حدود 18، 4 و 3 درصد است.

تعیین ظرفیت دیگ

$$\text{Btu/hr (دیگ)} = \text{Btu/hr (گرمایش)} + \text{Btu/hr (آبگرم)} \times 1.2$$

1.2 = 20 درصد به عنوان میانگین تلفات دیگ

تخمین ظرفیت دیگ

به ازای هر 1000 فوت‌مربع 1bhp یا 33520 Btu/hr:

با ظرفیت کم برای مصارف تجاری و مسکونی

67,000 - 3,400,000 Btu/hr (2 - 100 bhp)

با ظرفیت متوسط برای مصارف تجاری و صنعتی کوچک

2,500,000 - 10,000,000 Btu/hr (100 - 300 bhp)

با ظرفیت زیاد برای مصارف تجاری و صنعتی بزرگ

10,000,000 - 33,500,000 Btu/hr (300 - 1000 bhp)

یکی از روش‌های تخمین ظرفیت دیگ استفاده از رابطه زیر است.

$$Q = A \times (\frac{H}{3}) \times 550$$

A = مساحت ساختمان (m^2)

Q = ظرفیت تقریبی دیگ (Btu/hr)

H = ارتفاع ساختمان (m)

دیگ در سیستم آبگرم

1. دمای آب خروجی: 180 - 200°F
2. اختلاف دمای معمول بین آب رفت و برگشت: 20 - 40°F
3. حداقل جریان آب در داخل دیگ: 0.5 - 1.0 گالن در دقیقه به ازای هر اسب توان دیگ
4. حداکثر جریان آب در داخل دیگ: ظرفیت دیگ تقسیم بر اختلاف دما تقسیم بر 50°F
5. افت فشار در داخل دیگ: 3 تا 5 فوت آب
6. حداقل دمای آب رفت: 170°F (بر اساس ملاحظات خاص پروژه و مشخصات سازنده)
7. حداقل دمای آب برگشت: 150°F (بر اساس ملاحظات خاص پروژه و مشخصات سازنده)

8. ظرفیت‌های گرمایشی بر اساس اختلاف دما:

3.45 gpm /bhp با اختلاف دمای 20°F

2.30 gpm /bhp با اختلاف دمای 30°F

1.73 gpm /bhp با اختلاف دمای 40°F

10.0 gpm /therm با اختلاف دمای 20°F

6.7 gpm /therm با اختلاف دمای 30°F

5.0 gpm /therm با اختلاف دمای 40°F

10000 gpm /bhp با اختلاف دمای 20°F

15000 gpm /bhp با اختلاف دمای 30°F

20000 gpm /bhp با اختلاف دمای 40°F

9. سیستم دمای کم با دمای کمتر از 25°F و حداکثر فشار 160 psig

10. سیستم دمای متوسط با دمای 251 تا 350°F و حداکثر فشار 160 psig

11. سیستم دمای متوسط یا زیاد 351 تا 450°F و حداکثر فشار 300 psig

قطر لوله آب جبرانی یا پرکن برای سیستم گرمایشی با دیگ آبگرم

قطر لوله پرکن یا آب جبرانی سیستم آبگرم باید 10 درصد قطر بزرگترین لوله سیستم یا یک اینچ باشد. در صورتی که بزرگترین لوله شبکه 20 اینچ باشد، می‌باید قطر لوله پرکن یا آب جبرانی سیستم، 2 اینچ باشد.

سرعت هوای تخلیه دیگ

دیگ با مشعل یک مرحله‌ای (روشن - خاموش)	5 - 8 m/s	16 - 26 ft/s
دیگ با مشعل دو مرحله‌ای (کم - زیاد)	10 - 15 m/s	31 - 49 ft/s
دیگ با مشعل تدریجی	15 - 25 m/s	49 - 82 ft/s

تاثیر رسوب‌گذاری داخل دیگ در اتلاف سوخت

ضخامت رسوب in	درصد اتلاف سوخت مصرفی		
	رسوب معمولی	رسوب سخت	رسوب سخت سیلیکاتی
1/64	1.0	1.6	3.5
1/32	2.0	3.1	7.0
3/64	3.0	4.7	-
1/16	3.9	6.2	-

رسوب‌گذاری معمولی در تجهیزات فشار پایین روی می‌دهد. در تجهیزات که تحت فشار و دمای بالا کار می‌کنند، رسوب‌گذاری از نوع سخت و سیلیکاتی است.

SOURCE: DEPARTMENT OF ENERGY - EEER INFORMATION CENTER

اندازه شیر اطمینان بر اساس ظرفیت دیگ

ظرفیت دیگ (kW)	حداقل اندازه شیر اطمینان و تخلیه (mm)
275	1×20
350	1×25
440	1×32
530	1×40
880	2×40

تخمین ابعاد دیگ فولادی آبگرم

ظرفیت گرمایشی (kcal/hr)	ارتفاع تقریبی (cm)	عرض تقریبی (cm)	طول تقریبی به ازای هر 50000 kcal/hr
200،000 - 350،000	150	130	35
400،000 - 750،000	170	150	22
800،000 - 900،000	190	160	19
1،000،000 - 1،100،000	190	160	17
1،200،000 - 1،700،000	210	180	11
1،800،000 - 2،000،000	230	200	10

تخمین ابعاد دیگ چدنی آبگرم

ظرفیت گرمایی هر پره (kcal/hr)	ضخامت تقریبی هر پره (cm)	عرض تقریبی هر پره (cm)	طول تقریبی هر پره (cm)
8000	10	50	85
9000	10	60	85
15000	12	65	100
35000	17	70	115

● **مثال:** طول تقریبی دیگ چدنی بـــه ظرفیت 200000 کیلو کالری در ساعت با عرض‌های مختلف چنین برآورد می‌شود:

200000/8000 = 25 $\quad$ 25 × 10 = 250 cm

200000/9000 = 22 $\quad$ 22 × 10 = 220 cm

200000/15000 = 13 $\quad$ 13 × 12 = 156 cm

200000/35000 = 6 $\quad$ 6 × 17 = 102 cm

تخمین وزن دیگ فولادی آبگرم

با اســـتفاده از جدول ابعاد و نیز به کار گرفتن رابطه تجربی زیر می‌توان حداقل وزن تقریبی دیگ فولادی آبگرم را برآورد نمود:

$$\text{وزن بر حسب تن} = \frac{\text{حجم دیگ } (m^3)}{3.3}$$

● **مثال:** حداقل وزن تقریبی دیگی به ظرفیت 600،000 کیلو کالری در ساعت چنین برآورد می‌شود:

مطابق جدول ابعاد: $\quad$ ارتفاع تقریبی 170 cm (1.7 m)

عرض تقریبی 150 cm (1.5 m)

طول تقریبی به ازای هر 50000 کیلوکالری در ساعت 22 cm(0.22 m)

600،000/50،000 = 12 × 22 = 264 cm (2.64 m)

$2.6 \times 1.7 \times 1.5 = 6.63\ m^3$

6.63/3.3 = 2 ton

تخمین وزن دیگ چدنی

وزن دیگ چدنی به ازای هر 200 تا 250 کیلوکالری در ســـاعت ظرفیت گرمایی 1 kg برآورد می‌شود.

مشخصات دیگ چدنی آبگرم

ساخت شرکت صنعتی شوفاژکار

تعداد پره	مدل 300		مدل 400		مدل 400 – S		مدل توربو	
	ظرفیت (kcal/hr)	طول (mm)	ظرفیت (kcal/hr)	طول (mm)	ظرفیت (kcal/hr)	طول (mm)	ظرفیت (kcal/hr)	طول (mm)
3	22000	365	–	–	–	–	–	–
4	32000	465	–	–	–	–	–	–
5	43000	565	–	–	120000	900	–	–
6	51000	665	–	–	148000	1020	–	–
7	61000	765	91000	875	176000	1140	–	–
8	70000	865	113000	996	204000	1260	243000	1480
9	79000	965	134000	1116	232000	1380	289000	1630
10	89000	1065	156000	1240	260000	1500	333000	1780
11	–	–	177000	1360	288000	1620	379000	1930
12	–	–	199000	1480	316000	1740	426000	2080
13	–	–	221000	1600	344000	1860	461000	2230
14	–	–	–	–	372000	1980	515000	2380
15	–	–	–	–	–	–	560000	2520
16	–	–	–	–	–	–	605000	2680
17	–	–	–	–	–	–	660000	2730
18	–	–	–	–	–	–	705000	2880
ارتفاع	830 mm		1058 mm		780 mm		1115 mm	
عرض	480 mm		650 mm		580 mm		710 mm	

مرجع: کاتالوگ شرکت صنعتی شوفاژکار (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات دیگ فولادی آبگرم

ساخت شرکت پاکمن

دیگ فـــولادی لوله - آتش برای تولید آبگرم و آب داغ تا دمای 120°C با فشـــار طراحی 6 bar و دامنه ظرفیت گرمایی 1.15 تا 9.30 مگاوات با محفظه احتراق مناسب برای سوخت‌های گازوئیل و گاز از سری PHWB 2

ظرفیت گرمایی (MW)	حجم آب‌گیری کامل (m^3)	وزن برای حمل (ton)	وزن در حال کار (ton)	*طول کل (mm)	*عرض کل (mm)	*ارتفاع کل (mm)
1.15	2.09	3.47	6.20	3750	1360	1650
1.45	2.47	4.11	7.30	3950	1460	1750
1.85	2.98	4.66	8.40	4050	1560	1850
2.30	3.20	5.94	10.10	4100	1710	2000
2.90	4.55	7.24	13.00	4700	1860	2150
3.70	5.97	8.26	15.70	4850	2010	2300
4.60	7.50	10.37	17.90	5050	2160	2450
5.80	9.75	13.04	25.10	5600	2310	2600
7.00	11.70	15.41	29.90	5750	2510	2800
8.20	13.90	17.71	34.80	6100	2660	2950
9.30	17.70	20.60	42.20	6450	2910	3200

1 mW = 1000 kW = 860000 kcal/hr

* *طول کل بدون مشعل*

* *عرض کل بدون تجهیزات کنترل که معمولا در کنار دیگ نصب می‌شوند.*

* *ارتفاع کل بدون شیر اصلی خروجی آبگرم یا آب داغ*

مرجع: کاتالوگ شـــرکت پاکمن (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روز ترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

* * *

۳-۳

سیستم بخار

سطح حرارتی بر حسب فوت‌مربع یا مترمربع برای بخار:

240 Btu/hr به ازای هر فوت‌مربع 757 W به ازای هر مترمربع

توان یک اسب برای دیگ بخار برابر است با:

33500 Btu/hr (9809.5 W)

33.5 MBH (9.81 kW)

140 ft^2 (13.0 m^2) EDR (سطح حرارتی بخار)

223 ft^2 (20.7 m^2) EDR (سطح حرارتی آبگرم)

34.5 lb (15.6 kg) بخار در هر ساعت

یک پوند بخار در ساعت برابر است با:

970 Btu/hr (284.11 W)

4.04 ft^2 (0.375 m^2) EDR (سطح حرارتی بخار)

6.47 ft^2 (0.601 m^2) EDR (سطح حرارتی آبگرم)

یک کیلووات توان دیگ برابر است با:

1000 W (3414 Btu/hr)

1.0 kW (3.414 MBH)

1.32 m^2 (14.20 ft^2) EDR (سطح حرارتی بخار)

2.11 m^2 (22.70 ft^2) EDR (سطح حرارتی آبگرم)

1.60 kg (3.53 lb) بخار در هر ساعت

یک کیلوگرم بخار در هر ساعت برابر است با:

626.5 W (2138.9 Btu/hr)

0.828 m^2 (8.91 ft^2) EDR (سطح حرارتی بخار)

1.325 m^2 (14.26 ft^2) EDR (سطح حرارتی آبگرم)

دیگ در سیستم بخار

1. دیگ لوله - آتش: با توان 15 - 800 bhp
   تولید بخار: 518 - 27600 lb/hr
   فشار: 15 - 300 psig
2. دیگ لوله - آب: با توان 350 - 2400 bhp
   تولید بخار: 82800 - 12015 lb/HR
   فشار: 15 - 525 psig
3. مقدار گرمای هر پوند بخار تولیدشده توسط دیگ: تقریبا 1000 Btu/hr
4. سیستم کم‌فشار: 0 - 15 psig
5. سیستم فشار متوسط: 16 - 100 psig
6. سیستم پرفشار: 101 psig به بالا
7. آب جبرانی دیگ بخار: 4.0gpm / 1000 lb/hr

انرژی گرمایی موردنیاز برای تولید یک کیلوگرم بخار بر حسب کیلوژول (واحد SI)

فشار دیگ	دمای آب تغذیه (°C)									
	10	40	50	60	70	90	100	120	150
5	2715	2589	2547	2505	2464	2380	2338	2254	2128
6	2722	2596	2554	2512	2470	2386	2344	2260	2135
7	2727	2601	2560	2518	2476	2392	2350	2266	2140
8	2732	2606	2564	2823	2481	2397	2355	2271	2145
9	2736	2610	2569	2527	2485	2401	2359	2275	2150
11	2743	2617	2575	2533	2491	2408	2366	2282	2156
14	2750	2625	2583	2541	2499	2415	2373	2289	2164

مرجع: دفتر بهینه‌سازی مصرف انرژی وزارت نیرو (دفتر چهاردهم)

انرژی گرمایی مورد نیـــاز برای تولید یک پوند بخار برحســـب Btu/hr (واحد انگلیسی)

فشار دیگ	دمای آب تغذیه (°F)								
psi	50	100	120	140	160	200	212	250	300
80	1169	1119	1099	1079	1059	1019	1007	969	919
90	1171	1121	1101	1081	1061	1021	1009	971	921
100	1172	1122	1102	1032	1062	1022	1010	972	922
120	1175	1125	1105	1085	1065	1025	1013	975	925
150	1179	1129	1109	1089	1069	1029	1017	977	927
200	1182	1132	1112	1092	1072	1032	1020	982	932

تخمین دبی پمپ تغذیه دیگ

دبی پمپ تغذیه از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$gpm = \frac{bhp \times 34.5}{8.33 \times 63} \times 1.5 \qquad (1)$$

به طور تجربـــی و بر مبنای رابطه (1) می‌توان دبی پمپ را معادل 1/10 حجم مخزن در نظر گرفت:

$$gpm = 1/10\ gal \qquad (2)$$

$$gpm = 0.10\ bhp \qquad (3) \quad \text{یا}$$

برای تعیین فشار پمپ نیز مطابق توصیه‌های ASME باید فشار پمپ را 3درصد بالاتر از اندازه تنظیم شیر اطمینان منظور نمود و علاوه بر این باید افت فشار بین پمپ و دیگ را نیز در نظر داشت:

$$\text{فشار پمپ تغذیه} = \left[\begin{matrix}\text{فشار تنظیم شده} \\ \text{شیر اطمینان}\end{matrix} \times 1.03\right] + \begin{matrix}\text{افت فشار} \\ \text{بین دیگ و پمپ}\end{matrix}$$

بـــه عنوان مثال چنانچه بین دیگ و پمپ 5 psi و فشـــار تنظیم شـــده شیر اطمینان 150 psig باشد. حداقل فشار مناسب برای پمپ تغذیه تقریبا 160 psig خواهد بود:

$$psig = (150 \times 1.03) + 5 = 160$$

حداکثر ارتفاع مکش و حداقل ارتفاع دهش پمپ تغذیه

به منظور پرهیز از کاویتاســـیون نباید ارتفاع مکش پمپ تغذیه دیگ در سیستم بخار کمتر از مقادیر مندرج در جدول زیر باشد.

دمای آب تغذیه		حداکثر ارتفاع مکش		حداقل ارتفاع دهش	
°C	°F	m	ft	m	ft
55	130	3	10	–	–
65	150	2	7	–	–
77	170	0.6	2	–	–
80	175	0	0	0	0
87	190	–	–	1.5	5
95	200	–	–	3.5	10
99	210	–	–	4.5	15
100	212	–	–	5	17

برای دماهای (175°F) 80°C باید پمپ در زیر سطح آب منبع چگالیده و یا دیریتور نصب شود.

ظرفیت مخزن آب تغذیه دیگ بخار

حجم مخزن آب تغذیه از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\text{gpm} = \frac{\text{bhp} \times 34.5}{8.33 \times 63} \times 10 \times 1.5 \quad (1)$$

bhp = توان دیگ بر حسب اسب

34.5 = مقدار بخار تولید شده به ازای هر اسب توان دیگ

8.33 = وزن مخصوص آب

60 = برای تبدیل زمان

10 = زمان در دسترس بودن آب

1.5 = ضریب اطمینان

رابطه (1) را می‌توان به شکل زیر ساده کرد:

$$\frac{\text{bhp} \times 34.5}{500} \times 10 \times 1.5 = \text{bhp} \times 517.5/500 = \text{bhp} \times 1.035$$

بنابراین حجم مخزن بر حســـب گالن از طریق رابطه 2 و بر مبنای توان دیگ به دست می‌آید:

$$gal = bhp \times 1.035 \qquad (2)$$

به طور تجربی می‌توان حجم مخزن را معادل توان دیگ (bhp) در نظر گرفت و یا به عبارت دیگر به ازای هر 1 bhp، یک گالن حجم مخزن منظور داشت.

تخمین ابعاد دیگ فولادی بخار

برای تخمین ابعاد دیگ می‌توان به ترتیب زیر عمل نمود:

تعیین حجم تقریبی دیگ بر اساس ظرفیت تولید بخار از طریق جدول زیر:

ظرفیت تولید بخار (ton/hr)	حجم تقریبی (m^3)	ظرفیت تولید بخار (ton/hr)	حجم تقریبی (m^3)
2.0	20	12	80
3.0	29	14	90
4.0	36	16	102
5.0	41	18	113
6.0	44	20	119
7.0	51	22	134
8.0	59	25	149
10	67	28	164

با استفاده از رابطه تجربی زیر عرض تقریبی دیگ بر حسب متر به دست می‌آید.

در ایـــن رابطه V حجم تقریبی دیگ بر حســـب m^3 و W عرض تقریبی دیگ است:

$$W = \sqrt[3]{\frac{V}{2}}$$

طـــول تقریبی دیگ تقریبا 2 تا 2.1 برابر عـــرض و ارتفاع دیگ تقریبا 10

درصد بیشتر از عرض آن است.

● **مثال:** ابعاد دیگ بخاری به ظرفیت 10 ton/hr چنین برآورد می‌شود:
حجم تقریبی مطابق جدول معادل 67 مترمکعب است، بنابر این:

$$\text{عرض دیگ } W = \sqrt[3]{\frac{V}{2}} = \sqrt[3]{\frac{67}{2}} = 3.2 \text{ m}$$

$$\text{ارتفاع دیگ } = 3.2 \times 1.1 = 3.5 \text{ m}$$

$$\text{طول دیگ } = 3.2 \times 2.1 = 6.4 \text{ m}$$

تخمین وزن دیگ فولادی بخار

وزن تقریبی دیگ فولادی بخار را برای حمل می‌توان از طریق رابطه تجربی زیر برآورد نمود:

$$\text{وزن بر حسب تن} = \frac{\text{حجم دیگ } (m^3)}{3.3}$$

وزن دیگ نصب شده در حال کار به علاوه آب داخل آن تقریبا دو برابر وزن خالص آن است.

● **مثال:** وزن دیگی به ظرفیت 12 ton/hr برای حمل و در حالت کار چنین برآورد می‌شود:

براساس جدول احجام دیگ، حجم دیگ مورد نظر در حدود 80 مترمکعب است بنابراین وزن خالص آن بر اساس رابطه بالا معادل 24.2 تن است:

$$\text{وزن بر حسب تن} = 80/3.3 = 24.2$$

و وزن در حال کار تقریبا 48.4 تن است.

مشخصات دیگ بخار

ساخت شرکت پاکمن

دیگ بخار لوله - آتش افقی تا فشـــار طراحی 25 bar با محفظه احتراق مناســـب برای ســـوخت گازوئیل و گاز با دامنه ظرفیـــت گرمایی 1.3-9.12 مگاوات و ظرفیت تولید بخار اشباع 2 تا 41 تن در ساعت از سری PSBH 5

تولید بخار (ton/hr)	ظرفیت گرمایی (MW)	وزن برای حمل در فشار 8 bar (ton)	وزن در حال کار در فشار 8 bar (ton)	*طول کل (mm)	*عرض کل (mm)	*ارتفاع کل (mm)
2.0	1.30	6.0	12.5	4050	2100	2350
2.5	1.63	7.1	15.0	4650	2150	2400
3.0	1.95	8.4	18.5	5050	2300	2550
4.0	2.60	10.3	22.5	5450	2450	2700
5.0	3.25	12.0	26.0	5700	2550	2800
6.0	3.90	13.2	28.0	5900	2600	2850
7.0	4.56	15.4	33.0	6150	2750	3000
8.0	5.20	17.4	38.0	6500	2900	3150
10.0	6.50	20.6	44.0	6800	3050	3300
12.0	7.80	24.3	53.0	7300	3200	3450
14.0	9.12	27.2	58.0	7300	3400	3650

1 mW = 1000 kW = 86000 kcal/hr

1 atm = 1.013 bar

* *طول کل بدون مشعل*
* *عرض کل بدون کنترل کننده سطح و سایر تجهیزات کنترل که در کنار دیگ نصب می‌شوند.*
* *ارتفاع کل بدون شیر اصلی خروجی*

مرجع: کاتالوگ شـــرکت پاکمن (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

تله‌بخار مناسب و ضرایب اطمینان

کاربرد	انتخاب اول	انتخاب دوم	ضریب اطمینان
کلکتور دیگ	سطلی معکوس با هواگیر بزرگ	شناوری - حرارتی	1.5
خطوط اصلی و انشعابات:			
بدون احتمال یخزدگی	سطلی معکوس	شناوری - حرارتی	2*
با احتمال یخزدگی	سطلی معکوس	شناوری - حرارتی	2
جداکننده بخار	سطلی معکوس با هواگیر بزرگ	سطلی معکوس با کنترل کننده چگالیده	3
خطوط حافظ	سطلی معکوس	حرارتی یا ترمودینامیکی	2
هواسازها و یونیت‌هیترها:			
فشار ثابت	سطلی معکوس با هواگیر بزرگ	شناوری - حرارتی	3
فشار متغیر	شناوری - حرارتی		2 - 3
رادیاتور و کوئل لوله‌ای:			
فشار ثابت	سطلی معکوس	حرارتی	3**
فشار متغیر	شناوری - حرارتی	سطلی معکوس	2
گرمکن فرآورده:			
فشار ثابت	سطلی معکوس	شناوری - حرارتی	2
فشار متغیر	شناوری - حرارتی	سطلی معکوس با هواگیر بزرگ	3
چیلر جذبی	شناوری - حرارتی	سطلی معکوس با هواگیر خارجی	2

← ادامه

تله‌بخار مناسب و ضرایب اطمینان (ادامه)

کاربرد	انتخاب اول	انتخاب دوم	ضریب اطمینان
مبدل پوسته و لوله و مستغرق:			
فشار ثابت	سطلی معکوس	دیسکی ترمودینامیک یا شناوری - حرارتی	2
فشار متغیر	شناوری - حرارتی	دیسکی ترمودینامیک یا سطلی معکوس با هواگیر حرارتی	2 - 3
تبخیرکننده تک اثره و چند اثره	دیسکی ترمودینامیک	شناوری - حرارتی یا سطلی معکوس با هواگیر بزرگ	2 - 3***
دیگ پخت تخلیه ثقلی	سطلی معکوس با هواگیر بزرگ	شناوری - حرارتی یا حرارتی	3
دیگ پخت تخلیه سیفونی	دیسکی ترمودینامیک	سطلی معکوس با هواگیر بزرگ	3
خشک‌کن دوار	دیسکی ترمودینامیک	سطلی معکوس با هواگیر بزرگ	3 - 10****
مخازن بخار ریزش	سطلی معکوس با هواگیر بزرگ	دیسکی یا شناوری - حرارتی	3

** انتهای خط یا پیش از شیر یا روی انشعاب ضریب اطمینان معادل 3*

*** برای گرمایش سریع3 وبرای گرمایش طبیعی 2*

**** اگر بار 50000lb/HR باشد ضریب اطمینان معادل 3*

***** برای دیسکی 3 برای سطلی معکوس با فشار ثابت 8 وبرای سطلی معکوس با فشار متغیر 10*

SOURCE: ARMSTRONG INTERNATIONAL.INC

مرجع: تله‌بخار - محمدرضا سلطاندوست

ویژگی تله‌بخارها

ویژگی	سطلی معکوس	حرارتی بی‌متالی	حرارتی شناوری	دیسکی	حرارتی	سطلی معکوس با کنترل کننده چگالیده
نوع عملکرد	متناوب[1]	متناوب[2]	پیوسته	متناوب	متناوب[2]	پیوسته
حفظ انرژی	عالی	عالی	خوب	بد	متوسط	عالی[3]
دوام	عالی	عالی	خوب	بد	متوسط	عالی
مقاومت در مقابل خوردگی	عالی	عالی	خوب	عالی	خوب	عالی
مقاومت مقابل شوک هیدرولیکی	عالی	عالی	بد	عالی	بد[4]	عالی
تخلیه هوا و دی‌اکسیدکربن در دمای بخار	بله	خیر	خیر	خیر	خیر	بله
توانایی تخلیه در فشارهای خیلی پایین (1/4 psig)	بد	توصیه نمی‌شود[5]	عالی	توصیه نمی‌شود[5]	خوب	عالی
قابلیت تخلیه هوا به هنگام راه‌اندازی	متوسط	عالی	عالی	بد	عالی	عالی
مقاومت در مقابل یخزدگی	خوب	خوب	بد	خوب	خوب	خوب
قابلیت تخلیه سیستم	عالی	خوب	متوسط	عالی	خوب	عالی
بازده در بارهای خیلی کم	عالی	عالی	عالی	بد	عالی	عالی

← ادامه

ویژگی تله‌بخارها (ادامه)

ویژگی	سطلی معکوس	حرارتی بی‌متالی	حرارتی شناوری	دیسکی	حرارتی	سطلی معکوس با کنترل کننده چگالیده
حساسیت در مقابل جریان چگالیده	بلافاصله	با تاخیر	بلافاصله	با تاخیر	با تاخیر	بلافاصله
قابلیت نظافت و دفع ذرات معلق	عالی	متوسط	بد	بد	متوسط	عالی
ابعاد نسبی	بزرگ[1]	کوچک	بزرگ	کوچک	کوچک	بزرگ
قابلیت کار و هدایت بخار ریزشی	متوسط	بد	بد	بد	بد	عالی
نوع از کار افتادگی (باز یا بسته)	باز	باز	بسته	باز[8]	9	باز

1- ورودی به صورت پیوسته و خروجی متناوب.
2- در بارهای کم می‌تواند به صورت پیوسته باشد.
3- به هنگام استفاده از بخار ریزشی.
4- تله‌بخارهای حرارتی- بی‌متالی و حرارتی- ویفری خوب هستند.
5- برای بارهای کم توصیه نمی‌شود.
6- تله‌بخارهای از جنس چدن توصیه نمی‌شود.
7- نوع استیل جوشی دارای ابعاد متوسطی است.
8- می‌تواند در اثر ذرات معلق به حالت بسته از کار افتد.
9- بسته به نوع حسگر حرارتی می‌تواند باز یا بسته باشد.

مرجع: تله‌بخار- محمدرضا سلطاندوست SOURCE: ARMSTRONG INTERNATIONAL.INC

دیریتور

در سیستم‌های بخار از دیریتور برای جداسازی اکسیژن و گازهای غیرقابل تقطیر در مسیر آب تغذیه دیگ استفاده می‌شود. دیریتور باید 12 تا 18 اینچ بالاتر از سطح آب دیگ استفاده شود تا امکان خروج گازهای غیرقابل تقطیر و اکسیژن به وجود آید. به طور معمول دیریتور در سیستم‌هایی که فشار آنها بیشتر از 75 psig است، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مشخصات نوعی دیریتور

ظرفیت دیگ (lb/hr)	دبی (gpm)	ابعاد کلی (in)	ظرفیت کل (gal)	وزن (lb)
3450	6.9	73×36	293	1875
5175	10.4	76×42	408	2075
6900	13.8	76×42	408	2075
8625	17.3	127×36	531	2500
10350	20.7	130×42	732	2700
13800	27.6	130×42	732	2775
17250	34.5	132×48	968	2900
20700	41.4	135×54	1229	3925
27600	55.2	137×60	1542	4350
31050	62.1	137×60	1542	4400
34500	69.0	137×66	1812	5150
41400	82.8	137×66	1812	5200
51750	103.5	144×72	2301	6375
62100	124.2	195×66	2596	7150
72450	144.9	197×72	3235	8100
82800	165.6	197×72	3235	8100
103500	207.0	190×84	4050	10900

خطوط حافظ

خطـــوط حافـــظ (Tracer Lines) لوله‌های حاوی بخار هســـتند که در مجاورت لوله‌های حامل ســـیال حرکت نموده و مانع از کاهش دما و تغییر چگالی سیال مورد نظر می‌شوند. به طور معمول لوله‌هایی که در فضای باز اجرا می‌شوند. بیشتر در معرض کاهش دما و خطر یخ‌زدگی هستند. اما در فرآیندهای متنوع صنعتی نیز عدم کاهش دما در انتقال سیال از یک مخزن یا دســـتگاه به مخزن یا دستگاه دیگر در اغلب اوقات دارای اهمیت ویژه‌ای می‌شـــود که در اینگونه موارد اســـتفاده از خطوط حافظ به عنوان یکی از روش‌های تثبیت دمای سیال مورد نظر قرار می‌گیرد.

خطوط حافظ در صورت شرایط ویژه ممکن است برای انواع خطوط آب مصرفی، آب آتش‌نشـــانی، برگشت چگالیده، هوای فشرده، گاز و سوخت و نیز ســـیال‌های فرآیندی (انواع سیال که در فرآیندهای شیمیایی یا صنعتی دخیل هستند.)مورد استفاده قرار گیرند. از طریق جدول زیر می‌توان تعداد لوله‌های حافظ مناســـب در اندازه 1/2 اینـــچ را برای ممانعت از یخ زدگی یا حفظ دما در خطوط انتقال سیال تعیین کرد.

قطر لوله انتقال in	تعداد لوله حافظ برای جلوگیری از یخ زدگی برای خطوط زیر (25°C) 75°F	تعداد لوله حافظ دمای سیال تا 150°F(65 °C)	تعداد لوله حافظ برای حفظ دمای سیال تا 300°F(150 °C)
1	1	1	1
1 ½	1	1	2
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	2	3
6	2	2	3
8	2	2	3
12	2	3	6
16	2	3	8
20	2	3	10

● **مثال:** برای خط انتقال 4 اینچ روغن نباتی در دمای $140^{\circ}F$، دو لوله 1/2 اینچ به عنوان حافظ که چسبیده به جدار لوله اصلی و در طول آن حرکت کند مناسب است.

گرمایش الکتریکی پوسته لوله

قطر لوله (in)	وات به ازای هر فوت طول لوله
1/2	1.6
3/4	1.7
1	1.9
1 1/4	2.0
1 1/2	2.3
2	2.9
2 1/2	3.4
3	4.5
4	4.9
5	7.1
6	0.68 اینچ. قطر لوله

SOURCE: HVAC WATER CHILLERS AND COOLING TOWER- HERBERT W. STANFORD

دمای طبیعی سطح لوله بخار براساس فشار

فشار بخار (psig)	دمای سطح لوله حامل بخار (°F)
0 (فشار جو)	212
15	225 - 238
30	245 - 260
100	300 - 320
150	330 - 350
200	350 - 370
450	415 - 435
600	435 - 465

SOURCE: UNIFIED FACILITIES CRITERIA (UFC)-HEATING SYSTEMS OPERATMENT OF DEFENSE- UNITED STATES OF AMERICA-2004.

انبساط طولی لوله‌های بخار در دماهای مختلف

دما °C	انبساط به ازای هر100 متر طول لوله (mm)	دما °F	انبساط به ازای هر 100فوت طول لوله(in)
66	63	150	0.75
93	96	200	1.15
121	136	250	1.6
149	166	300	2.0
177	203	350	2.4
204	246	400	2.9
232	279	450	3.3
260	323	500	3.8

قطر و طول مناسب آبریز[1] برای خطوط اصلی و فرعی بخار

قطر خط اصلی (in)	قطر آبریز (in)	حداقل طول آبریز (in)	
		پیش راه‌اندازی دستی	پیش راه‌اندازی اتوماتیک
1/2	1/2	10	28
3/4	3/4	10	28
1	1	10	28
2	2	10	28
3	3	10	28
4	4	10	28
6	4	10	28
8	4	12	28
10	6	15	28
12	6	18	28
14	8	21	28
16	8	24	28

← ادامه

قطر و طول مناسب آبریز[1] برای خطوط اصلی و فرعی بخار (ادامه)

قطر خط اصلی (in)	قطر آبریز (in)	حداقل طول آبریز (in)	
		پیش راه‌اندازی دستی	پیش راه‌اندازی اتوماتیک
18	10	27	28
20	10	30	30
24	12	36	36

1- معمولا آبریزها قبل از شیرها، رگولاتورها، وصاله‌های انبساطی، خم‌ها، رایزرها و انتهای خطوط بخار در نظر گرفته می شـــوند، حتی اگر نقاط حساســـی همچون مناطق یاد شده وجود نداشته باشد، باید در خطوط اصلی بخار در فواصل 300 فوتی یک آبریز با تله‌بخار مناسب نصب شود. این فاصله هرگز نباید بیش از 500 فوت شود.

فواصل بست‌های نگهدارنده لوله‌های بخار

برای لوله‌های فولادی رده 40 فولادی

قطر لوله (in)	فواصل بین بست‌آویز (ft)
3/4	4
4	7
1 1/4	7
1 1/2	9
2	10
2 1/2	11
3	12
4	14
5	15
6	17
8	19
10	20
12	23
14	25

نرخ جریان بخار در سیستم فشار ضعیف (1 psig)

جدول زیر برای تعیین دبی لوله‌های رفت بخار در فشار psig 1 با حداکثر افت فشار psi 0.25 به ازای هر 100 فوت کاربرد دارد.

قطر لوله (in)	دبی بخار (lb/hr)	افت فشار (psi/100ft)
1/2	0 - 9	0 - 0.25
3/4	10 - 18	0.07 - 0.25
1	19 - 30	0.07 - 0.25
1(1/4)	31 - 60	0.07 - 0.25
1(1/2)	61 - 95	0.08 - 0.25
2	96 - 200	0.08 - 0.25
2(1/2)	201 - 350	0.10 - 0.25
3	351 - 600	0.09 - 0.25
4	601 - 1200	0.06 - 0.25
5	1201 - 2400	0.07 - 0.25
6	2401 - 3600	0.09 - 0.25
8	3601 - 7600	0.06 - 0.25
10	7601 - 13500	0.07 - 0.25
12	13501 - 21500	0.09 - 0.25
14	21501 - 29000	0.15 - 0.25
16	29001 - 41000	0.15 - 0.25
18	41001 - 54000	0.10 - 0.25
20	54001 - 71000	0.10 - 0.25

SOURCE: HEATING- VENTILATION AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL- SECOND EDITION- LEE KENDRICK.

نرخ جریان بخار در سیستم فشار ضعیف (15 psig)

جدول زیر برای تعیین دبی لوله‌های رفت بخار در فشار 15 psig با حداکثر افت فشار 0.50 psig به ازای هر 100 فوت کاربرد دارد.

قطر لوله (in)	دبی بخار lb/hr	افت فشار psi/100ft
1/2	0 - 18	0 - 0.50
3/4	19 - 36	0.15 - 0.50
1	37 - 78	0.15 - 0.50
1(1/4)	79 - 180	0.15 - 0.50
1(1/2)	151 - 210	0.25 - 0.50
2	211 - 380	0.15 - 0.50
2(1/2)	381 - 610	0.20 - 0.50
3	611 - 1150	0.15 - 0.50
4	1151 - 2400	0.10 - 0.50
5	2401 - 4500	0.15 - 0.50
6	4501 - 7150	0.20 - 0.50
8	7151 - 15000	0.15 - 0.50
10	15001 - 27000	0.15 - 0.50
12	27001 - 44000	0.20 - 0.50
14	44001 - 56000	0.15 - 0.50
16	56001 - 80000	0.20 - 0.50
18	80001 - 108000	0.20 - 0.50
20	108001 - 140000	0.25 - 0.50

SOURCE: HEATING VENTILATION AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL- SECOND EDITION- LEE KENDRICK.

نرخ جریان بخار در سیستم فشار متوسط (30 psig)

جدول زیر برای تعیین دبی لوله‌های رفت بخار در فشار 30 psig با حداکثر افت فشار 0.5 psig به ازای هر 100 فوت کاربرد دارد.

قطر لوله (in)	دبی بخار lb/hr	افت فشار psi/100ft
1/2	0 - 21	0 - 0.50
3/4	22 - 42	0.10 - 0.50
1	43 - 100	0.15 - 0.50
1(1/4)	101 - 180	0.15 - 0.50
1(1/2)	181 - 270	0.25 - 0.50
2	271 - 450	0.20 - 0.50
2(1/2)	451 - 750	0.20 - 0.50
3	751 - 1400	0.15 - 0.50
4	1401 - 2900	0.10 - 0.50
5	2901 - 5400	0.15 - 0.50
6	5401 - 8800	0.20 - 0.50
8	8801 - 18000	0.15 - 0.50
10	18001 - 33000	0.15 - 0.50
12	33001 - 53000	0.20 - 0.50
14	53001 - 68000	0.20 - 0.50
16	68001 - 96000	020 - 0.50
18	96001 - 130000	0.20 - 0.50
20	130001 - 170000	0.20 - 0.50

SOURCE: HEATING VENTILATION AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL- SECOND EDITION- LEE KENDRICK.

نرخ جریان بخار در سیستم فشار متوسط (50 psig)

جدول زیر برای تعیین دبی لوله‌های رفت بخار در فشار psig 50 با حداکثر افت فشار psig 1 به ازای هر 100 فوت کاربرد دارد.

قطر لوله (in)	دبی بخار lb/hr	افت فشار psi/100ft
1/2	0 - 36	0 - 1.0
3/4	37 - 84	0.25 - 1.0
1	85 - 150	0.20 - 1.0
1(1/4)	151 - 300	0.25 - 1.0
1(1/2)	301 - 420	0.40 - 1.0
2	421 - 720	0.25 - 1.0
2(1/2)	721 - 1200	0.25 - 1.0
3	1201 - 2200	0.20 - 1.0
4	2201 - 4700	0.15 - 1.0
5	4701 - 8800	0.20 - 1.0
6	8801 - 14000	0.30 - 1.0
8	14001 - 30000	0.20 - 1.0
10	30001 - 54000	0.25 - 1.0
12	54001 - 83000	0.30 - 1.0
14	83001 - 110000	0.40 - 1.0
16	110001 - 150000	040 - 1.0
18	150001 - 210000	0.50 - 1.0
20	210001 - 280000	0.55 - 1.0

SOURCE: HEATING VENTILATION AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL- SECOND EDITION- LEE KENDRICK.

نرخ جریان چگالیده در سیستم فشار متوسط (30 psig)

جدول زیر برای تعیین دبی لوله‌های برگشت چگالیده در فشار psig 30 با حداکثر افت فشار psig 0.50 به ازای هر 100 فوت کاربرد دارد.

قطر لوله (in)	دبی چگالیده lb/hr	افت فشار psi/100ft
برگشت خشک		
3/4	0 - 240	0 - 0.50
1	241 - 480	0.125 - 0.50
1(1/4)	481 - 1000	0.125 - 0.50
1(1/2)	1001 - 1650	0.25 - 0.50
2	1651 - 3380	0.13 - 0.50
2(1/2)	3381 - 5580	0.20 - 0.50
3	5581 - 10200	0.15 - 0.50
4	10201 - 21000	0.125 - 0.50
5	21001 - 40150	0.15 - 0.50
6	40151 - 65000	0.20 - 0.50
برگشت مرطوب		
3/4	0 - 640	0.20 - 0.50
1	641 - 1000	0.20 - 0.50
1(1/4)	1001 - 1780	0.20 - 0.50
1(1/2)	1781 - 2950	020 - 0.50
2	2951 - 5850	0.20 - 0.50
2(1/2)	5851 - 9800	0.20 - 0.50
3	9801 - 15000	0.20 - 0.50
4	15001 - 30700	0.20 - 0.50
5	30701 - 69000	0.20 - 0.50
6	69001 - 104000	0.20 - 0.50

SOURCE: HEATING VENTILATION AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL- SECOND EDITION- LEE KENDRICK.

نرخ جریان چگالیده در سیستم فشار متوسط (50 psig)

جدول زیر برای تعیین دبی لوله‌های برگشت چگالیده در فشار 50 psig با حداکثر افت فشار 1 psig به ازای هر 100فوت کاربرد دارد.

قطر لوله (in)	دبی چگالیده lb/hr	افت فشار psi/100ft
برگشت خشک		
3/4	0 - 380	0 - 1.0
1	381 - 770	0.30 - 1.0
1(1/4)	771 - 1600	0.30 - 1.0
1(1/2)	1601 - 2600	0.30 - 1.0
2	2601 - 5400	0.30 - 1.0
2(1/2)	5401 - 9000	0.30 - 1.0
3	9001 - 16200	0.30 - 1.0
4	16201 - 33500	0.30 - 1.0
5	33501 - 66000	0.30 - 1.0
6	66001 - 104000	0.30 - 1.0
برگشت مرطوب		
3/4	0 - 1020	0 - 1.0
1	1021 - 1600	0.30 - 1.0
1(1/4)	1601 - 2850	0.30 - 1.0
1(1/2)	2851 - 4700	0.30 - 1.0
2	4701 - 9300	0.30 - 1.0
2(1/2)	9301 - 15600	0.30 - 1.0
3	15601 - 24000	0.30 - 1.0
4	24001 - 50000	0.30 - 1.0
5	50001 - 110000	0.30 - 1.0
6	110001 - 166000	0.30 - 1.0

SOURCE: HEATING VENTILATION AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL- SECOND EDITION- LEE KENDRICK.

نرخ جریان چگالیده در سیستم فشار قوی (100 psig)

جـــدول زیر برای تعییـــن دبی لوله‌های برگشـــت چگالیده در فشـــار 100 psig با حداکثر افت فشار psig 1 به ازای هر 100 فوت کاربرد دارد.

قطر لوله (in)	دبی چگالیده lb/hr	افت فشار psi/100ft
برگشت خشک		
3/4	0 - 450	0 - 1.0
1	451 - 850	0.30 - 1.0
1(1/4)	851 - 1900	0.30 - 1.0
1(1/2)	1901 - 3000	0.30 - 1.0
2	3001 - 6200	0.30 - 1.0
2(1/2)	6201 - 10500	0.30 - 1.0
3	10501 - 19200	0.30 - 1.0
4	19201 - 40500	0.30 - 1.0
5	40501 - 78000	0.30 - 1.0
6	78001 - 125000	0.30 - 1.0
برگشت مرطوب		
3/4	0 - 1020	0 - 1.0
1	1021 - 1600	0.30 - 1.0
1(1/4)	1601 - 2850	0.30 - 1.0
1(1/2)	2851 - 4700	0.30 - 1.0
2	4701 - 9300	0.30 - 1.0
2(1/2)	9301 - 15600	0.30 - 1.0
3	15601 - 24000	0.30 - 1.0
4	24001 - 50000	0.30 - 1.0
5	50001 - 110000	0.30 - 1.0
6	110001 - 166000	0.30 - 1.0

SOURCE: HEATING VENTILATION AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL- SECOND EDITION- LEE KENDRICK.

نرخ جریان چگالیده در سیستم فشار قوی (150 psig)

جـــدول زیر بـــرای تعیین دبـــی لوله‌های برگشت چـگالیده در فـــشار 150 psig با حداکثر افت فشار 1 psig به ازای هر 100 فوت کاربرد دارد.

قطر لوله (in)	دبی چگالیده lb/hr	افت فشار psi/100ft
برگشت خشک		
3/4	0 - 550	0 - 1.0
1	551 - 1100	0.30 - 1.0
1(1/4)	1101 - 2300	0.30 - 1.0
1(1/2)	2301 - 3750	0.30 - 1.0
2	3751 - 7600	0.30 - 1.0
2(1/2)	7601 - 12775	0.30 - 1.0
3	12776 - 23125	0.30 - 1.0
4	23126 - 49100	0.30 - 1.0
5	49101 - 91000	0.30 - 1.0
6	91001 - 125000	0.30 - 1.0
برگشت مرطوب		
3/4	0 - 1020	0 - 1.0
1	1021 - 1600	0.30 - 1.0
1(1/4)	1601 - 2850	0.30 - 1.0
1(1/2)	2851 - 4700	0.30 - 1.0
2	4701 - 9300	0.30 - 1.0
2(1/2)	9301 - 15600	0.30 - 1.0
3	15601 - 24000	0.30 - 1.0
4	24001 - 50000	0.30 - 1.0
5	50001 - 110000	0.30 - 1.0
6	110001 - 166000	0.30 - 1.0

SOURCE: HEATING VENTILATION AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL - SECOND EDITION- LEE KENDRICK.

نرخ جریان بخار در فشارها و سرعت‌های مختلف

در این جدول واحد دبی بخار kg/hr اســـت که برای اندازه‌های مختلف لوله براساس فشارها و سرعت‌های متفاوت درج شده است.

فشار (bar)	سرعت بخار (m/s)	اندازه لوله (mm)					
		15	20	25	32	40	50
0.4	15	7	14	24	37	52	99
	25	10	25	40	62	92	162
	40	17	35	64	102	142	265
0.7	15	7	16	25	40	59	109
	25	12	25	45	72	100	182
	40	18	37	68	106	167	298
1	15	8	17	29	43	65	112
	25	12	26	48	72	100	193
	40	19	39	71	112	172	311
2	15	12	25	45	70	100	182
	25	19	43	70	112	162	195
	40	30	64	115	178	275	475
3	15	16	37	60	93	127	245
	25	26	56	100	152	225	425
	40	41	87	157	250	357	595
4	15	19	42	70	108	156	281
	25	30	63	115	180	270	450
	40	49	116	197	295	456	796
5	15	22	49	87	128	187	352
	25	36	81	135	211	308	548
	40	59	131	225	338	495	855
6	15	26	59	105	153	225	425
	25	43	97	162	253	370	658
	40	71	157	270	405	595	1025

← ادامه

نرخ جریان بخار در فشارها و سرعت‌های مختلف (ادامه)

فشار (bar)	سرعت بخار (m/s)	اندازه لوله (mm)					
		15	20	25	32	40	50
7	15	29	63	110	165	260	445
	25	49	114	190	288	450	785
	40	76	177	303	455	690	1210
8	15	32	70	126	190	285	475
	25	54	122	205	320	465	810
	40	84	192	327	510	730	1370
10	15	41	95	155	250	372	626
	25	66	145	257	405	562	990
	40	104	216	408	615	910	1635
14	15	50	121	205	310	465	810
	25	85	195	331	520	740	1375
	40	126	305	555	825	1210	2195

فشار (bar)	سرعت بخار (m/s)	اندازه لوله (mm)							
		65	80	100	125	150	200	250	300
0.4	15	145	213	394	648	917	1606	2590	368
	25	265	384	675	972	1457	2806	4101	5936
	40	403	576	1037	1670	2303	4318	6909	9500
0.7	15	166	250	431	680	1006	1708	2791	3852
	25	287	430	716	1145	1575	2816	4629	6204
	40	428	630	1108	1715	2417	4532	7251	10323
1	15	182	260	470	694	1020	1864	2814	4045
	25	300	445	730	1160	1660	3099	4869	6751
	40	465	640	1150	1800	2500	4815	7333	10370
2	15	280	410	715	1125	1580	2814	4545	6277
	25	428	656	1215	1755	2520	4815	7425	10575
	40	745	1010	1895	2925	4175	7678	11997	16796

← ادامه

نرخ جریان بخار در فشارها و سرعت‌های مختلف (ادامه)

فشار (bar)	سرعت بخار (m/s)	اندازه لوله (mm)							
		65	80	100	125	150	200	250	300
3	15	385	535	925	1505	2040	3983	6217	8743
	25	632	910	1580	2480	3440	6779	10269	14316
	40	1025	1460	2540	4050	5940	10479	16470	22950
4	15	432	635	1166	1685	2460	4618	7121	10358
	25	742	1080	1980	2925	4225	7866	12225	17304
	40	1247	1825	3120	4940	7050	12661	1963	27816
5	15	526	770	1295	2105	2835	5548	8586	11947
	25	885	1265	2110	3540	5150	8865	14268	20051
	40	1350	1890	3510	5400	7870	13761	23205	32244
6	15	632	925	1555	2525	3400	6654	10297	14328
	25	1065	1520	2530	4250	6175	10629	17108	24042
	40	1620	2270	4210	6475	9445	16515	27849	38697
7	15	705	952	1815	2765	3990	7390	12015	16096
	25	1205	1750	3025	4815	6900	12288	19377	27080
	40	1865	2520	4585	7560	10880	19141	30978	43470
8	15	800	1125	1990	3025	4540	8042	12625	17728
	25	1260	1870	3240	5220	7120	13140	21600	33210
	40	2065	3120	5135	8395	12470	21247	33669	46858
10	15	1012	1465	2495	3995	5860	9994	16172	22713
	25	1530	2205	3825	6295	8995	15966	25860	35890
	40	2545	3600	6230	9880	14390	26621	41011	57560
14	15	1270	1870	3220	5215	7390	12921	20538	29016
	25	2080	3120	5200	8500	12560	21720	34139	47128
	40	3425	4735	8510	13050	18630	35548	54883	76534

* *مناسب‌ترین سرعت 25 m/s است.*

❋ ❋ ❋

۳-۴

مبدل حرارتی و کوئل‌ها

در واقــع اغلب تجهیــزات مولد و تبادل حرارت ماننــد انواع دیگ‌ها، کوره‌های هوای گرم، رادیاتورها، فن‌کوئل‌ها و تجهیزات دیگری از این قبیل نوعی مبدل حرارتی محسوب می‌شــوند، اما در اینجا منظور از مبدل‌های حرارتی، تجهیزاتی هســتند که دارای دو مدار گردش سیال بوده و در آن‌ها دو سیال با دمای متفاوت در تماسی غیر مستقیم با یکدیگر تبادل حرارت می‌کنند. در این فرآیند ســیال اولیه ممکن است موجب گرم یا سرد شدن سیال ثانویه شــود. بنابراین انواع اواپراتورها و کندانسورها نیز نوعی مبدل حرارتی محسوب می‌شوند و در همین راستا انواع کوئل‌های حاوی سیال‌های گرم و سرد در اشکال مختلف در گروه مبدل‌های حرارتی می‌گنجند.

مبدل پوسته و لوله

لوله‌های مبدل ممکن اســت به صورت مستقیم و یا U شکل در داخل پوسته استوانه‌ای شکل قرار گیرند. این نوع مبدل‌ها در دو نوع آب به آب و بخار به آب در تاسیسات گرمایشی که اختلاف دمای دو سیال بیشتر از 15 درجه فارنهایت است به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در مبدل‌های آب به آب حداکثر سرعت سیال در لوله‌ها 6 فوت بر ثانیه و در پوســته 5 فوت بر ثانیه در نظر گرفته می‌شــود. حداکثر سرعت آب در مبدل‌های بخار به آب نیز 6 فوت بر ثانیه منظور می‌شود.

مبدل صفحه‌ای

این نوع مبدل نیز در سیســـتم‌هایی با اختلاف دمایی بیشتر از 15 درجه فارنهایت برای انتقال حرارت از یک ســـیال به سیال دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد و کاربرد زیادی در سیستم‌های سرمایشی دارد.

روش‌های انتقال حرارت در مبدل‌ها

روش‌های انتقال حرارت در مبدل‌ها تابعی از جهت جریان دو سیالی است که قرار است با هم تبادل حرارت کنند.

(A) جریان موازی.

در این روش که از کمترین تاثیر برخوردار است هر دو سیال در یک جهت و به موازات یکدیگر جریان دارند.

(B) جریان مخالف.

در این روش که از بیشترین تاثیر برخوردار است دو سیال در جهت مخالف یکدیگر جریان دارند.

(C) جریان متقاطع.

در این روش که تاثیر آن در دامنه‌ای بین جریان موازی و مخالف قرار دارد. جهت جریان یکی از سیال‌ها نسبت به دیگری دارای زاویه‌ای است که ممکن است تا نود درجه باشد.

(D) جریان مرکب.

در این روش که بیشتر در مبدل‌های پوسته و لوله از آن استفاده می‌شود. ممکن است نوع جریان سیال‌ها، ترکیبی از جریان متقاطع و مخالف یا جریان متقاطع و موازی باشد.

دبی آب:

$$gpm = \frac{(\ Btu/hr\ )}{(\ 8.33 \times 60 \times \Delta t\ )} \qquad (1)$$

Δt برای سیستم بسته (گرمایش فضاها) = $20^{\circ}F$

Δt برای سیستم باز (تهیه آبگرم مصرفی) = 15 تا $20^{\circ}F$

در صـــورت اعمال اختلاف دماها برای گرمایـــش و تهیه آبگرم مصرفی

رابطه (1) به ترتیب به صورت روابط (2) و (3) ساده می‌شود:

برای گرمایش فضاها: (2)

$$gpm = \frac{(\ Btu/hr\ )}{10000}$$

برای تهیه آبگرم مصرفی با اختلاف دمای $15^{\circ}F$:

$$gpm = \frac{(\ Btu/hr\ )}{7500} \qquad (3)$$

دبی بخار برای مبدل بخار به آب در سیستم فشار ضعیف:

$$lb/hr = \frac{(\ Btu/hr\ )}{970} \qquad (4)$$

دبی آب گرم کننده در مبدل حرارتی آب به آب:

$$gpm = \frac{(\ Btu/hr\ )}{(\ 8.33 \times 60 \times \Delta t\ )} \qquad (5)$$

چنانچه Δt را معادل 30 درجه فارنهایت براساس ورودی $200^{\circ}F$ و خروجی $170^{\circ}F$ در نظرگیریم رابطه (5) به شکل رابطه (6) ساده خواهدشد:

$$gpm = \frac{(\ Btu/hr\ )}{15000} \qquad (6)$$

حداقل سرعت آب در مبدل حرارتی:	1 ft/s
حداکثر سرعت آب در مبدل حرارتی:	5 ft/s
ضریب رسوب‌گذاری برای سیستم بسته:	0.0015
ضریب رسوب‌گذاری برای سیستم باز:	0.0020

افت فشار هوا در کوئل‌ها

جدول صفحه بعد بیانگر افت فشار هوا بر روی کوئل‌های آب، بخار و مبرد (انبساط مستقیم) بر حسب فوت ستون آب است. اعداد حداقل مربوط به افت فشار هوا بر روی کوئل‌هایی با 70 پره (فین) در هر فوت و اعداد حداکثر، مربوط به افت فشار هوا روی کوئل‌هایی با 170 پره در هر فوت است.

افت فشار هوا در کوئل‌ها

تعداد ردیف	سرعت رخ (fpm)						
	450	500	550	600	700	800	900
1	0.15 تا 0.05	0.18 تا 0.05	0.20 تا 0.08	0.25 تا 0.08	0.30 تا 0.12	0.40 تا 0.15	0.50 تا 0.17
2	0.35 تا 0.10	0.50 تا 0.11	0.50 تا 0.15	0.60 تا 0.16	0.80 تا 0.20	0.90 تا 0.25	0.90 تا 0.32
4	0.70 تا 0.20	0.90 تا 0.22	1.00 تا 0.28	1.20 تا 0.33	1.50 تا 0.40	1.80 تا 0.50	1.70 تا 0.65
6	1.10 تا 0.30	1.30 تا 0.35	1.50 تا 0.45	1.70 تا 0.50	2.30 تا 0.65	2.80 تا 0.75	2.70 تا 1.00
8	1.50 تا 0.40	1.75 تا 0.45	2.00 تا 0.60	2.40 تا 0.60	3.00 تا 0.85	3.70 تا 1.00	3.70 تا 1.30
10	1.75 تا 0.50	2.25 تا 0.60	2.50 تا 0.70	3.00 تا 0.80	3.80 تا 1.10	4.50 تا 1.30	4.50 تا 1.70

نرخ انتقال گرما از لوله حاوی بخار و آبگرم مستغرق در آب

اختلاف بین بخار یا آبگرم داخل لوله با آب اطراف آن (°F)	نرخ انتقال گرما به آب ($Btu/ft^2.h.°F$)
50	100 - 225
100	175 - 300
200	225 - 475

نرخ انتقال حرارت در منابع کوئل‌دار

نوع منبع و سیستم	نرخ انتقال حرارت از کوئل به آب ($Btu/ft^2.h.°F$)
منبع کوئل‌دار فشار ضعیف با گردش طبیعی	100
منبع کوئل‌دار فشار قوی با گردش طبیعی	200
منبع کوئل‌دار فشار ضعیف با گردش اجباری	200
منبع کوئل‌دار فشار قوی با گردش اجباری	300

نرخ انتقال گرما از لوله حاوی بخار و آبگرم مستغرق در سوخت نفتی

کاربرد	سیال	انتقال گرما از سطح کوئل	
		$Btu/ft^2hr°F$	$W/m^2°C$
کوئل بخار فشار متوسط	سوخت نفتی سبک	30	170
با گردش طبیعی	سوخت نفتی سنگین	15 - 20	85 - 115
سیال گرم‌شونده	روغن و چربی	5 - 10	30 - 60
کوئل بخار فشار متوسط	سوخت نفتی سبک	100	570
با گردش طبیعی	سوخت نفتی سنگین	60	340
سیال گرم‌شونده	روغن و چربی	30	170

کوئل سرمایی، محدوده‌های انتخاب

دمای خشک هوای ورودی و عبورکننده از روی کوئل:
65 تا 100°F (18.3°C - 37.8°C)

دمای مرطوب هوای ورودی و عبورکننده از روی کوئل:
60 تا 85°F (15.6°C - 29.4°C)

سرعت هوا: 300 تا 600 فوت در دقیقه (1.5 m/s - 3.0)

دمای اشباع مبرد در خروجی کوئل:
30 تا 50°F (-1.1°C - 10.0°C)

دمای فوق داغ مبرد در خروجی کوئل:
6 °F (3.3°C) یا بیشتر برای جلوگیری ورود مایع به کمپرسور

دمای مبرد ورودی:
35 تا 65°F (1.7°C - 18.3°C)

دبی آب سرد در کوئل:
1.2 تا 2.4 گالن در دقیقه به ازای هر تن ظرفیت سرمایشی
(0.02 تا 0.04 لیتر بر ثانیه به ازای هر کیلووات)

سرعت آب سرد: 3 تا 8 فوت بر ثانیه (0.9 تا 2.4 متر بر ثانیه)

افت فشار آب سرد: کمتر از 20 فوت آب (60 kPa)

۳-۵

آبگرمکن

در اینجا منظور از آبگرمکن، تجهیزاتی هستند که در تماس مستقیم با منبع انرژی ناشی از سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته و خورشید، آبگرم مصرفی را تولید می‌کنند و برخی از آنها امکان ذخیره‌سازی را هم دارا هستند.

بنابراین از تجهیزاتی مانند منابع کوئل‌دار و منابع دو جداره که به طور غیرمستقیم و با بهره‌گیری از گرمای سیال‌های داغ مانند بخار و آب داغ، آبگرم مصرفی را تولید می‌کنند، ذکری به میان نیامده است. در مورد این گونه تجهیزات به جای آبگرمکن، اصطلاح منابع تولید آبگرم مصرفی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آبگرمکن‌ها فارغ از تاسیسات مرکزی و جدای از آنها به طور مستقل و محلی امکان تولید و ذخیره‌سازی آبگرم مصرفی را دارند و به طور کلی و صرف‌نظر از نوع سوخت مصرفی در دو گروه عمده مخزنی و لحظه‌ای طبقه‌بندی می‌شوند. در آبگرمکن‌های مخزنی امکان ذخیره‌سازی آبگرم وجود دارد؛ اما در آبگرمکن‌های لحظه‌ای منبعی برای ذخیره‌سازی وجود نداشته و آب به هنگام مصرف گرم می‌شود.

حداقل ظرفیت و دبی آبگرمکن‌های مخزنی و لحظه‌ای

حداقل ظرفیت ذخیره آبگرمکن‌های مخزنی برای واحدهای مسکونی:

یک خوابه	75 لیتر
دو خوابه	110 لیتر
سه خوابه	150 لیتر

حداقل دبی آبگرمکن‌های لحظه‌ای برای واحدهای مسکونی:

یک خوابه	12 لیتر در دقیقه
دو خوابه	12 لیتر در دقیقه
سه خوابه	19 لیتر در دقیقه

مرجع: مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان

ظرفیت آبگرمکن گازسوز برای واحدهایی با یک حمام و سرویس بهداشتی

مشخصات	یک خوابه	دو خوابه	سه خوابه
ظرفیت مخزن آبگرمکن (گالن)	20	30	30
گرمای ورودی (بی‌تی‌یو در ساعت)	27000	36000	36000
دبی (گالن در ساعت)	43	60	60
برگشت (گالن در ساعت)	23	30	30

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON

ظرفیت آبگرمکن برقی برای واحدهایی با یک حمام و سرویس بهداشتی

مشخصات	یک خوابه	دو خوابه	سه خوابه
ظرفیت مخزن آبگرمکن (گالن)	20	30	30
انرژی ورودی (کیلووات)	2.5	3.5	4.5
دبی (گالن در ساعت)	30	44	58
برگشت (گالن در ساعت)	10	14	18

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON

ظرفیت آبگرمکن نفتی برای واحدهایی با یک حمام و سرویس بهداشتی

مشخصات	یک خوابه	دو خوابه	سه خوابه
ظرفیت مخزن آبگرمکن (گالن)	20	30	30
گرمای ورودی (بی‌تی‌یو در ساعت)	70000	70000	70000
دبی (گالن در ساعت)	89	89	89
برگشت (گالن در ساعت)	59	59	59

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON

ظرفیت آبگرمکن گازسوز برای واحدهایی با دو حمام و سرویس بهداشتی

مشخصات	دو خوابه	سه خوابه	چهارخوابه	پنج خوابه
ظرفیت مخزن آبگرمکن (گالن)	30	40	40	50
گرمای ورودی (بی‌تی‌یو در ساعت)	36000	36000	38000	47000
دبی (گالن در ساعت)	60	70	72	90
برگشت (گالن در ساعت)	30	30	32	59

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON

ظرفیت آبگرمکن برقی برای واحدهایی با دو حمام و سرویس بهداشتی

مشخصات	دو خوابه	سه خوابه	چهار خوابه	پنج خوابه
ظرفیت مخزن آبگرمکن (گالن)	40	50	50	66
انرژی ورودی (کیلووات)	4.5	5.5	5.5	5.5
دبی (گالن در ساعت)	58	70	72	88
برگشت (گالن در ساعت)	18	22	22	22

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON

ظرفیت آبگرمکن نفتی برای واحدهایی با دو حمام و سرویس بهداشتی

مشخصات	دو خوابه	سه خوابه	چهار خوابه	پنج خوابه
ظرفیت مخزن آبگرمکن (گالن)	30	30	30	30
گرمای ورودی (بی‌تی‌یو در ساعت)	70000	70000	70000	70000
دبی (گالن در ساعت)	89	89	89	89
برگشت (گالن در ساعت)	59	59	59	59

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON

ظرفیت آبگرمکن گازسوز برای واحدهایی با سه حمام و سرویس بهداشتی

مشخصات	سه خوابه	چهار خوابه	پنج خوابه	شش خوابه
ظرفیت مخزن آبگرمکن (گالن)	40	50	50	50
گرمای ورودی (بی‌تی‌یو در ساعت)	38000	38000	47000	50000
دبی (گالن در ساعت)	72	82	90	92
برگشت (گالن در ساعت)	32	32	40	42

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON

ظرفیت آبگرمکن برقی برای واحدهایی با سه حمام و سرویس بهداشتی

مشخصات	سه خوابه	چهار خوابه	پنج خوابه	شش خوابه
ظرفیت مخزن آبگرمکن (گالن)	50	66	66	80
انرژی ورودی (کیلووات)	5.5	5.5	5.5	5.5
دبی (گالن در ساعت)	72	88	88	102
برگشت (گالن در ساعت)	22	22	22	22

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON

ظرفیت آبگرمکن نفتی برای واحدهایی با دو حمام و سرویس بهداشتی

مشخصات	سه خوابه	چهار خوابه	پنج خوابه	شش خوابه
ظرفیت مخزن آبگرمکن (گالن)	59	59	59	59
گرمای ورودی (بی‌تی‌یو در ساعت)	70000	70000	70000	70000
دبی (گالن در ساعت)	89	89	89	89
برگشت (گالن در ساعت)	59	59	59	59

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON

تعیین ظرفیت گرمایی آبگرمکن لحظه‌ای

برای تهیه آبگرم فوری در آبگرمکن‌های بدون مخزن می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$Q=4.2V(t_2-t_1)$$

Q = ظرفیت گرمایشی (kW)
V = دبی آبگرم برحسب لیتر بر ثانیه
t_2 = دمای آبگرم خروجی ($^{\circ}C$)
t_1 = دمای آبسرد ورودی ($^{\circ}C$)

سطح کلکتور خورشیدی برای تهیه آبگرم

به ازای نفرات و حجم آب مورد نیاز

سطح کلکتور (m^2)	حجم آب (lit)	نفرات
2	100 - 150	1 - 3
6	150 - 300	4 - 6

مرجع: سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور

تخمین سطح کلکتور خورشیدی آبگرمکن

به ازای هر 150 - 100 لیتر یا یک تا سه نفر	$2m^2$
به ازای هر 300 - 150 لیتر یا چهار تا شش نفر	$6m^2$

مرجع: سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور

❋ ❋ ❋

۳-۶

منابع تولید آبگرم مصرفی

منابع دو جـــداره و کوئل‌دار از رایج‌ترین تجهیـــزات تولید آبگرم مصرفی در تاسیســـات گرمایش مرکزی هســـتند. منابع دوجداره به طور معمول در ظرفیت‌های کمتر از 1000 لیتر و به صورت خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع منبع نوعی مبدل آب به آب محسوب می‌شود. منابع کوئل‌دار در دو نوع افقی و عمودی بازده بهتری نســـبت به منابـــع دو جداره دارند. از این‌رو در اماکنی که نیاز به تولید و ذخیره‌ســـازی آبگـــرم مصرفی زیاد وجود دارد، بهره‌گیری از این نوع منبع اجتناب ناپذیر است. کوئل این‌گونه منابع ممکن است از نوع آبگرم، آب داغ یا بخار باشد.

تعیین مصرف آبگرم و حجم منبع

مقـــدار واقعی آبگرم از تاثیر دادن ضریـــب تقاضا (DF) بر حداکثر مقدار مصرف که از طریق جدول صفحه بعد تعیین می‌شود، به دست می‌آید:

مقدار واقعی آبگرم (gph) = gph × DF (1)

برای تعیین حجم منبع باید ضریب ذخیره‌سازی منبع را در مقدار واقعی آبگرم ضرب نمود:

حجم منبع (gal) = (gph) مقدار واقعی آبگرم × DS

یا

حجم منبع (gal) = (gph) حداکثر مقدار مصرف × DF × DS

حداکثر مصرف آبگرم (GPH) بر اساس لوازم بهداشتی و نوع کاربری ساختمان برای تعیین حجم منبع ذخیره

نوع سرویس	آپارتمان	باشگاه	ورزشگاه	بیمارستان	هتل	کارخانه	اداری	خانه ویلایی	مدرسه
دستشویی خصوصی	2	2	2	2	2	2	2	2	2
دستشویی عمومی	4	6	8	6	8	12	6	-	15
وان	20	20	30	20	20	-	-	20	-
ظرفشویی	15	150 - 50	-	150 - 50	200 - 50	100 - 20	-	15	100 - 20
پاشویه	3	3	12	3	3	12	-	3	3
سینک آشپزخانه	10	20	-	20	30	20	20	10	20
سینک آبدارخانه	5	10	-	10	10	-	10	10	10
دوش	30	150	225	75	75	225	30	30	225
وان رختشویی	20	28	-	28	28	-	-	-	-
ضریب تقاضا (DF)	0.30	0.30	0.40	0.25	0.25	0.40	0.30	0.30	0.40
ضریب ذخیره‌سازی منبع (DS)	1.25	0.90	1.00	0.60	0.80	1.00	2.00	2.00	1.00

تعیین مقدار گرمای مورد نیاز برای تولید آبگرم مصرفی

بـــرای تعیین ظرفیـــت گرمایی منبع آبگرم مصرفی اعـــم از دوجداره یا کوئل‌دار می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$Q = V \times 8.33 \ (t_2 - t_1)$

Q = ظرفیت گرمایشی (Btu/hr)
V = مقدار واقعی مصرف آبگرم (gph)
t_2 = دمای آبگرم خروجی برحســـب فارنهایت که معمولا 140 درجه فارنهایت در نظر گرفته می‌شود.
t_1 = دمای آب ســـرد ورودی برحسب فارنهایت که معمولا 60 درجه فارنهایت در نظر گرفته می‌شود.

در سیســـتم SI می‌توان از طریق رابطه زیر مقدار ظرفیت گرمایشی منبع تولید و ذخیره آبگرم مصرفی را محاسبه کرد:

$$Q = \frac{4.2V \ (t_2 - t_1)}{3600 \ T}$$

Q = ظرفیت گرمایشی (kW) V = حجم منبع (litre)
t_2 = دمای آبگرم خروجی (°C) t_1 = دمای آب سرد ورودی (°C)
T = مدت زمان برای گرم شدن آب (hr)

منبع ذخیره آبگرم

کاربری	ظرفیت ذخیره (لیتر/نفر)	مصرف انرژی (کیلووات/نفر)
مسکونی با یک حمام	30	0.75
مسکونی با دو حمام	45	1.00
کارخانجات و ادارات	5	0.10
هتل	35	1.00
خوابگاه	30	0.70
بیمارستان	33	1.00
مدارس روزانه	5	0.10
مدارس شبانه‌روزی	25	0.70
اماکن ورزشی	35	1.00

SOURCE: BUILDING SERVICES HANDBOOK-FRED HALL AND ROGER GREENO.

ابعاد منبع آبگرم و گنجایش آن برحسب گالن

طول یا ارتفاع (ft)	قطر منبع (in)								
	20	22	24	30	36	42	48	54	60
1	16	20	24	37	53	72	94	120	145
2	32	40	48	74	106	144	188	240	290
3	48	60	72	110	159	216	282	360	435
4	66	80	96	147	212	288	376	480	580
5	82	100	120	184	265	360	470	600	725
6	98	120	144	220	317	432	564	720	870
7	114	140	168	257	370	504	658	840	1015
8	131	160	192	294	423	576	725	960	1160
9	147	180	216	330	476	648	846	1080	1305
10	163	200	240	367	529	720	940	1200	1450

SOURCE: HVAC/R PROFESSIONAL REFERENCE- PAUL ROSENBERG.

ظرفیت و ابعاد استاندارد منابع کوئل‌دار

مطابق: BS1566

ظرفیت (lit)	ارتفاع (mm)	قطر (mm)	سطح حرارتی کوئل (m^2)	ظرفیت (lit)	ارتفاع (mm)	قطر (mm)	سطح حرارتی کوئل (m^2)
96	300	1600	0.35	140	450	1050	0.52
72	350	900	0.27	162	450	1200	0.61
96	400	900	0.35	190	500	1200	0.75
114	400	1050	0.42	245	500	1500	0.87
84	450	675	0.31	280	600	1200	1.10
95	450	750	0.35	360	600	1500	1.40
106	450	825	0.40	440	600	1800	1.70
117	450	900	0.44				

بر اســاس ضریب انتقال حرارت $30w/m^2K$ و افزایش دمای آب سیلندر به میزان 55K در یک ساعت

SOURCE: HEATING AND AIR CONDITIONING OF BUILDINGS-P.L.MARTIN-D.R.OUGHTON

مشخصات و ابعاد منبع آبگرم کوئل‌دار

ساخت شرکت حرارت گستر

ظرفیت (lit)	قطر (cm)	ارتفاع استوانه بدون عدسی‌های بالا و پایین (cm)	ارتفاع کل بدون پایه (cm)	ارتفاع کل با پایه (cm)
500	63	150	165	175
1000	90	150	170	190
1500	112	150	170	190
2000	112	200	220	240
2500	124	200	220	240
3000	142	200	220	240
4000	142	250	275	300
5000	142	300	330	360
6000	157	300	330	360
8000	182	300	330	360
10000	190	350	380	410

قطر کوئل متناسب با ظرفیت 4، 6، 8، 10، 12 و 14 اینچ است.

حداکثر دبی گردش آب گرم‌کننده ارسالی از سوی دیگ:

4″ - 34 gpm ، 6″ - 98 gpm ، 8″ - 175 gpm ، 10″ - 310 gpm

12″ - 448 gpm ، 14″ - 640 gpm

مرجع: پایگاه اینترنتی شـــرکت حرارت‌گســـتر (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

۳-۷

منبع انبساط

منبع انبساط فارغ از جای دادن اضافه حجم آب ناشی از افزایش دمای سیســـتم، امکان تامین آب جبرانی و تثبیت فشـــار سیســـتم را نیز فراهم می‌آود. منابع انبساط در دو گونه باز و بسته بدون واسطه و به طور مستقیم به دیگ متصل می‌شوند و لوله‌های ارتباطی آن باید بدون شیر دستی باشند و بهتر آن است که منبع انبساط در سمت مکش پمپ سیستم قرار گیرد.

- انبساط آب از 7°C - 100°C تقریبا 4 درصد است.
- حجم لازم برای منبع انبساط تقریبا 0.08 حجم آب سیستم است.
- حجم آب موجود در سیستم تقریبا یک لیتر به ازای هر مترمربع سطح رادیاتور است.

تخمین حجم منبع انبساط باز

برای تعیین حجم منبع انبساط باید حجم آب داخل کل سیستم را در درصـــد افزایش حجم آب بر مبنـــای افزایش دما ضرب نمود که البته روش دقیق‌تر و در عین حال طولانی‌تری است. برای بر آوردهای تقریبی می‌توان از رابطه تجربی زیر اســـتفاده نمود که مقدار آن به هیچ وجه دقیق نیست و تنها برای برآوردهای بسیار کلی می‌تواند قابل قبول باشد:

حجم منبع انبساط (gal) = ظرفیت گرمایی دیگ (Btu/hr) /6400

ظرفیت تقریبی منابع انبساط در سیستم آبگرم کم فشار

ظرفیت دیگ (kW)	ظرفیت منبع (litre)	اندازه شناور mm	اندازه لوله تغذیه mm	اندازه لوله رفت mm	اندازه لوله سر ریز mm
12	54	15	20	25	25
25	54	15	20	25	32
30	68	15	20	25	32
45	68	15	20	25	32
55	86	15	20	25	32
75	114	15	25	32	32
150	191	20	25	32	32
225	227	20	32	40	40
275	264	20	32	40	40
375	327	20	40	50	40
400	336	25	40	50	50
550	423	25	40	50	50
800	709	25	50	65	50
900	841	25	50	65	65
1200	1227	25	50	65	65

1kW = 3412 Btu/hr = 860 kcal/H

مرجع: راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه‌مطبوع - ویرایش یازدهم
فردپورجز - ترجمه محمدرضا سلطاندوست.

تخمین حجم منبع انبساط بسته

- 16 درصد حجم کل آب در سیستم آب سرد
- 20 درصد حجم کل آب در سیستم آبگرم در شرایط سطح دریا با 30 تا 40 فوت (90 تا 120 kPa) فشار استاتیک
- فشار پرکن 12 psig (83 kPa)، فشار شیر اطمینان 30 psig (207 kPa)
- دمای آب سرد 44°F (6.7°C)
- دمای آبگرم 200°F (93°C)

ظرفیت منبع انبساط برای سیستم‌های دمای کم

ظرفیت منبع انبساط بر اساس درصدی از حجم آب سیستم				
نوع منبع انبساط				
منبع انبساط بسته دیافراگمی				
حجم پذیرش	حجم منبع	منبع انبساط باز	منبع انبساط بسته	حداکثر دمای سیستم (°F)
0.59	1.32	1.37	2.21	100
0.82	1.83	1.87	3.08	110
0.99	2.21	2.24	3.71	120
1.28	2.86	2.87	4.81	130
1.51	3.37	3.37	5.67	140
1.80	4.03	3.99	6.77	150
2.10	4.68	4.61	7.87	160
2.45	5.48	5.36	9.20	170
2.81	6.27	6.11	10.53	180
3.16	7.06	6.86	11.87	190
3.52	7.86	7.61	13.20	200
3.93	8.79	-	14.77	210
4.35	9.72	-	16.34	220
4.77	10.66	-	17.90	230
5.25	11.73	-	19.71	240
5.73	12.80	-	21.51	250

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 10 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 30 psig تنظیم شده است.

4- برای به دست آوردن ظرفیت منبع انبساط تحت فشارهای اولیه و حداکثر دیگر باید حجم منبع انبساط بسته و دیافراگمی مستخرجه از جدول بالا را در ضریب تصحیح مستخرجه از جداول صفحات بعدی ضرب نمود.

ضریب تصحیح ظرفیت منبع انبساط بسته برای سیستم دمای کم

فشار اولیه (psig)	افزایش فشار - (psig) حداکثر فشار کار = افزایش فشار + فشار اولیه									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
5	1.76	1.06	0.83	0.71	0.64	0.59	0.56	0.53	0.51	0.50
10	2.66	1.55	1.18	1.00	0.89	0.82	0.76	0.72	0.69	0.67
15	3.73	2.14	1.60	1.34	1.18	1.07	0.99	0.94	0.89	0.86
20	4.99	2.81	2.08	1.72	1.50	1.36	1.25	1.17	1.11	1.06
25	6.43	3.57	2.62	2.15	1.86	1.67	1.53	1.43	1.35	1.29
30	8.05	4.43	3.22	2.62	2.26	2.02	1.84	1.71	1.61	1.53
35	9.85	5.37	3.88	3.14	2.69	2.39	2.18	2.02	1.89	1.80
40	11.83	6.41	4.60	3.70	3.16	2.80	2.54	2.35	2.20	2.07
45	13.99	7.54	5.39	4.31	3.66	3.23	2.93	2.70	2.52	2.37
50	16.34	8.75	6.23	4.96	4.21	3.70	3.34	3.07	2.86	2.69
55	18.86	10.06	7.13	5.66	4.78	4.20	3.78	3.46	3.22	3.02
60	21.57	11.46	8.09	6.41	5.40	4.72	4.24	3.88	3.60	3.37
65	24.46	12.95	9.11	7.20	6.05	5.28	4.73	4.32	4.00	3.75
70	27.53	14.53	10.20	8.03	6.73	5.87	5.25	4.78	4.42	4.13
75	30.77	16.20	11.34	8.91	7.45	6.48	5.79	5.27	4.86	4.54
80	34.21	17.96	12.55	9.84	8.21	7.13	6.36	5.78	5.33	4.96
85	37.82	19.81	13.81	10.81	9.01	7.81	6.95	6.31	5.81	5.41
90	41.61	21.75	15.13	11.83	9.84	8.52	7.57	6.86	6.31	5.87
95	45.59	23.79	16.52	12.89	10.71	9.25	8.22	7.44	6.83	6.35
100	49.74	25.91	17.97	13.99	11.61	10.02	8.98	8.04	7.37	6.84

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 10 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 30 psig تنظیم شده است.

ضریب تصحیح ظرفیت منبع انبساط بسته برای سیستم دمای کم

فشار اولیه (psig)	افزایش فشار - (psig) حداکثر فشار کار = افزایش فشار + فشار اولیه									
	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
5	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43
10	0.65	0.63	0.62	0.61	0.59	0.59	0.58	0.57	0.56	0.56
15	0.83	0.80	0.78	0.77	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70
20	1.03	0.99	0.96	0.94	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.85
25	1.24	1.19	1.16	1.13	1.10	1.08	1.06	1.04	1.02	1.00
30	1.47	1.41	1.37	1.33	1.29	1.26	1.24	1.21	1.19	1.17
35	1.71	1.65	1.59	1.54	1.50	1.46	1.43	1.40	1.37	1.35
40	1.98	1.89	1.82	1.77	1.71	1.67	1.63	1.59	1.56	1.53
45	2.26	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.84	1.80	1.76	1.73
50	2.55	2.44	2.34	2.26	2.18	2.12	2.06	2.01	1.97	1.93
55	2.86	2.73	2.62	2.52	2.44	2.36	2.30	2.24	2.19	2.14
60	3.19	3.04	2.91	2.80	2.70	2.62	2.54	2.48	2.42	2.36
65	3.54	3.36	3.21	3.09	2.98	2.88	2.80	2.72	2.65	2.59
70	3.90	3.70	3.53	3.39	3.27	3.16	3.06	2.98	2.90	2.83
75	4.27	4.05	3.87	3.71	3.57	3.45	3.34	3.24	3.16	3.08
80	4.67	4.42	4.21	4.04	3.88	3.75	3.63	3.52	3.43	3.34
85	5.08	4.81	4.58	4.38	4.21	4.06	3.92	3.81	3.70	3.61
90	5.51	5.21	4.95	4.73	4.54	4.38	4.23	4.10	3.99	3.88
95	5.95	5.62	5.34	5.10	4.89	4.71	4.55	4.41	4.28	4.17
100	6.41	6.05	5.74	5.48	5.26	5.06	4.88	4.73	4.59	4.46

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 10 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 30 psig تنظیم شده است.

ضریب تصحیح ظرفیت منبع انبساط بسته دیافراگمی برای سیستم دمای کم

فشار اولیه (psig)	افزایش فشار - (psig) حداکثر فشار کار = افزایش فشار + فشار اولیه									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
5	2.21	1.33	1.04	0.89	0.80	0.74	0.70	0.67	0.64	0.62
10	2.66	1.55	1.18	1.00	0.89	0.82	0.76	0.72	0.69	0.67
15	3.11	1.78	1.33	1.11	0.98	0.89	0.83	0.78	0.74	0.71
20	3.55	2.00	1.48	1.22	1.07	0.96	0.89	0.84	0.79	0.76
25	4.00	2.22	1.63	1.34	1.16	1.04	0.95	0.89	0.84	0.80
30	4.45	2.45	1.78	1.45	1.25	1.11	1.02	0.95	0.89	0.85
35	4.89	2.67	1.93	1.56	1.34	1.19	1.08	1.00	0.94	0.89
40	5.34	2.89	2.08	1.67	1.43	1.26	1.15	1.06	0.99	0.94
45	5.79	3.12	2.23	1.78	1.52	1.34	1.21	1.12	1.04	0.98
50	6.24	3.34	2.38	1.89	1.61	1.14	1.27	1.17	1.09	1.03
55	6.68	3.57	2.53	2.01	1.69	1.49	1.34	1.23	1.14	1.07
60	7.13	3.79	2.68	2.12	1.78	1.56	1.40	1.28	1.19	1.12
65	7.58	4.01	2.82	2.23	1.87	1.64	1.47	1.34	1.24	1.16
70	8.03	4.24	2.97	2.34	1.96	1.71	1.53	1.39	1.29	1.21
75	8.47	4.46	3.12	2.45	2.05	1.79	1.59	1.45	1.34	1.25
80	8.92	4.68	3.27	2.57	2.14	1.86	1.66	1.51	1.39	1.29
85	9.37	4.91	3.42	2.68	2.23	1.93	1.72	1.56	1.44	1.34
90	9.82	5.13	3.57	2.79	2.32	2.01	1.79	1.62	1.49	1.38
95	10.26	5.36	3.72	2.90	2.41	2.08	1.85	1.67	1.54	1.43
100	10.71	5.58	3.87	3.01	2.50	2.16	1.91	1.73	1.59	1.47

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 10 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 30 psig تنظیم شده است.

ضریب تصحیح ظرفیت منبع انبساط بسته دیافراگمی برای سیستم دمای کم

فشار اولیه (psig)	افزایش فشار (psig) – حداکثر فشار کار = افزایش فشار + فشار اولیه									
	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
5	0.61	0.59	0.58	0.57	0.56	0.56	0.55	0.55	0.54	0.54
10	0.65	0.63	0.62	0.61	0.59	0.59	0.58	0.57	0.56	0.56
15	0.69	0.67	0.65	0.64	0.62	0.61	0.60	0.60	0.59	0.58
20	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60
25	0.77	0.74	0.72	0.70	0.68	0.67	0.66	0.64	0.63	0.63
30	0.81	0.78	0.76	0.73	0.71	0.70	0.68	0.67	0.66	0.65
35	0.85	0.82	0.79	0.77	0.74	0.73	0.71	0.69	0.68	0.67
40	0.89	0.86	0.82	0.80	0.77	0.75	0.74	0.72	0.71	0.69
45	0.93	0.89	0.86	0.83	0.80	0.78	0.76	0.74	0.73	0.71
50	0.97	0.93	0.89	0.86	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75	0.74
55	1.01	0.97	0.93	0.89	0.86	0.84	0.81	0.79	0.78	0.76
60	1.06	1.00	0.96	0.92	0.89	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78
65	1.10	1.04	1.00	0.96	0.92	0.89	0.87	0.84	0.82	0.80
70	1.14	1.08	1.03	0.99	0.95	0.92	0.89	0.87	0.85	0.83
75	1.18	1.12	1.06	1.02	0.98	0.95	0.92	0.89	0.87	0.85
80	1.22	1.15	1.10	1.05	1.01	0.98	0.95	0.92	0.89	0.87
85	1.26	1.19	1.13	1.08	1.04	1.01	0.97	0.94	0.92	0.89
90	1.30	1.23	1.17	1.12	1.07	1.03	1.00	0.97	0.94	0.92
95	1.34	1.27	1.20	1.15	1.10	1.06	1.02	0.99	0.96	0.94
100	1.38	1.30	1.24	1.18	1.13	1.09	1.05	1.02	0.99	0.96

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 10 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 30 psig تنظیم شده است.

ظرفیت منبع انبساط برای سیستم‌های دمای متوسط

ظرفیت منبع انبساط بر اساس درصدی از حجم آب سیستم				
	نوع منبع انبساط			
	منبع انبساط بسته دیافراگمی			
حداکثر دمای سیستم (°F)	منبع انبساط بسته	منبع انبساط باز	حجم منبع	حجم پذیرش
250	263.25	-	18.02	5.73
260	285.30	-	19.53	6.21
270	310.23	-	21.24	6.75
280	335.16	-	22.95	7.29
290	360.08	-	24.65	7.83
300	387.88	-	26.56	8.44
310	415.67	-	28.46	9.04
320	443.47	-	30.36	9.65
330	474.13	-	32.46	10.32
340	504.80	-	34.56	10.98
350	538.33	-	36.86	11.71

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 200 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 300 psig تنظیم شده است.

4- برای به دست آوردن ظرفیت منبع انبساط تحت فشارهای اولیه و حداکثر دیگر باید حجم منبع انبساط بسته و دیافراگمی مستخرجه از جدول بالا را در ضریب تصحیح مستخرجه از جداول صفحات بعدی ضرب نمود.

ضریب تصحیح ظرفیت منبع انبساط بسته برای سیستم دمای متوسط

فشار اولیه (psig)	حداکثر فشار کار = افزایش فشار + فشار اولیه (psig) – افزایش فشار									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
30	0.36	0.21	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10
40	0.52	0.30	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13
50	0.72	0.41	0.30	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.16
60	0.94	0.52	0.39	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19
70	1.19	0.66	0.48	0.39	0.34	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23
80	1.47	0.80	0.58	0.47	0.41	0.36	0.33	0.31	0.29	0.27
90	1.78	0.97	0.70	0.56	0.48	0.43	0.39	0.36	0.34	0.32
100	2.12	1.14	0.82	0.66	0.56	0.49	0.45	0.41	0.39	0.36
110	2.49	1.34	0.95	0.76	0.64	0.57	0.51	0.47	0.44	0.41
120	2.88	1.54	1.09	0.87	0.74	0.65	0.58	0.54	0.50	0.47
130	3.31	1.76	1.25	0.99	0.83	0.73	0.66	0.60	0.56	0.52
140	3.77	2.00	1.41	1.11	0.94	0.82	0.73	0.67	0.62	0.58
150	4.26	2.25	1.58	1.25	1.05	0.91	0.82	0.75	0.69	0.65
160	4.78	2.52	1.76	1.39	1.16	1.01	0.90	0.82	0.76	0.71
170	5.32	2.80	1.96	1.54	1.28	1.11	0.99	0.90	0.83	0.78
180	5.90	3.09	2.16	1.69	1.41	1.22	1.09	0.99	0.91	0.85
190	6.50	3.40	2.37	1.85	1.54	1.34	1.19	1.08	0.99	0.92
200	7.14	3.73	5.59	2.02	1.68	1.45	1.29	1.17	1.08	1.00
210	7.81	4.07	2.82	2.20	1.83	1.58	1.40	1.27	1.16	1.08
220	8.50	4.42	3.06	2.39	1.98	1.71	1.51	1.37	1.25	1.16
230	9.22	4.79	3.32	2.58	2.13	1.84	1.63	1.47	1.35	1.25
240	9.98	5.18	3.58	2.78	2.30	1.98	1.75	1.58	1.44	1.34
250	10.76	5.58	3.85	2.98	2.47	2.12	1.87	1.69	1.54	1.43
260	11.57	5.99	4.13	3.20	2.64	2.27	2.00	1.80	1.65	1.52

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 200 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 300 psig تنظیم شده است.

ضریب تصحیح ظرفیت منبع انبساط بسته برای سیستم دمای متوسط

فشار اولیه (psig)	افزایش فشار (psig) = حداکثر فشار کار − فشار اولیه									
	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
30	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
40	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
50	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
60	0.19	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15
70	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18
80	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21
90	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24
100	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	2.29	0.28	0.28	0.27	0.27
110	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30
120	0.44	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33
130	0.50	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37
140	0.55	0.52	0.50	0.48	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41
150	0.61	0.58	0.55	0.53	0.51	0.49	0.48	0.47	0.46	0.44
160	0.67	0.63	0.61	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.50	0.48
170	0.73	0.69	0.66	0.63	0.61	0.59	0.57	0.55	0.54	0.53
180	0.80	0.76	0.72	0.69	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58	0.57
190	0.87	0.82	0.78	0.75	0.72	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61
200	0.94	0.89	0.84	0.81	0.77	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66
210	1.01	0.96	0.91	0.87	0.83	0.80	0.77	0.75	0.73	0.71
220	1.09	1.03	0.97	0.93	0.89	0.86	0.83	0.80	0.78	0.75
230	1.17	1.10	1.04	1.00	0.95	0.92	0.88	0.85	0.83	0.81
240	1.25	1.18	1.12	1.06	1.02	0.98	0.94	0.91	0.88	0.86
250	1.33	1.26	1.19	1.13	1.08	1.04	1.00	0.97	0.94	0.91
260	1.42	1.34	1.27	1.20	1.15	1.10	1.06	1.03	0.99	0.96

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 200 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 300 psig تنظیم شده است.

ضریب تصحیح ظرفیت منبع انبساط دیافراگمی برای سیستم دمای متوسط

فشار اولیه (psig)	افزایش فشار (psig) – حداکثر فشار کار = افزایش فشار + فشار اولیه									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
30	1.74	1.03	0.79	0.67	0.60	0.55	0.52	0.50	0.48	0.46
40	2.06	1.19	0.90	0.75	0.67	0.61	0.57	0.54	0.51	0.49
50	2.37	1.35	1.00	0.83	0.73	0.66	0.61	0.57	0.55	0.52
60	2.69	1.50	1.11	0.91	0.79	0.71	0.66	0.61	0.58	0.56
70	3.01	1.66	1.21	0.99	0.86	0.77	0.70	0.65	0.62	0.59
80	3.33	1.82	1.32	1.07	0.92	0.82	0.75	0.69	0.65	0.62
90	3.64	1.98	1.43	1.15	0.98	0.87	0.79	0.73	0.69	0.65
100	3.96	2.14	1.53	1.23	1.05	0.93	0.84	0.77	0.72	0.68
110	4.28	2.30	1.64	1.31	1.11	0.98	0.88	0.81	0.76	0.71
120	4.60	2.46	1.74	1.39	1.17	1.03	0.93	0.85	0.79	0.75
130	4.92	2.62	1.85	1.47	1.24	1.08	0.97	0.89	0.83	0.78
140	5.23	2.78	1.96	1.55	1.30	1.14	1.02	0.93	0.86	0.81
150	5.55	2.93	2.06	1.63	1.36	1.19	1.07	0.97	0.90	0.84
160	5.87	3.09	2.17	1.71	1.43	1.24	1.11	1.01	0.93	0.87
170	6.19	3.25	2.27	1.79	1.49	1.30	1.16	1.05	0.97	0.90
180	6.50	3.41	2.38	1.86	1.56	1.35	1.20	1.09	1.01	0.94
190	6.82	3.57	2.49	1.94	1.62	1.40	1.25	1.13	1.04	0.97
200	7.14	3.73	2.59	2.02	1.68	1.45	1.29	1.17	1.08	1.00
210	7.46	3.89	2.70	2.10	1.75	1.51	1.34	1.21	1.11	1.03
220	7.78	4.05	2.80	2.18	1.81	1.56	1.38	1.25	1.15	1.06
230	8.09	4.21	2.91	2.26	1.87	1.61	1.43	1.29	1.18	1.10
240	8.41	4.36	3.02	2.34	1.94	1.67	1.47	1.33	1.22	1.13
250	8.73	4.52	3.12	2.42	2.00	1.72	1.52	1.37	1.25	1.16
260	9.05	4.68	3.23	2.50	2.06	1.77	1.56	1.41	1.29	1.19

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 200 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 300 psig تنظیم شده است.

ضریب تصحیح ظرفیت منبع انبساط دیافراگمی برای سیستم دمای متوسط

فشار اولیه (psig)	افزایش فشار (psig) = حداکثر فشار کار − فشار اولیه									
	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
30	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.40	0.40	0.39	0.39
40	0.48	0.46	0.45	0.44	0.43	0.43	0.42	0.41	0.41	0.40
50	0.50	0.49	0.48	0.46	0.45	0.45	0.44	0.43	0.43	0.42
60	0.53	0.52	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.44
70	0.56	0.54	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45
80	0.59	0.57	0.55	0.53	0.52	0.51	0.49	0.48	0.48	0.47
90	0.62	0.60	0.57	0.56	0.54	0.53	0.51	0.50	0.49	0.48
100	0.65	0.62	0.60	0.58	0.56	0.55	0.53	0.52	0.51	0.50
110	0.68	0.65	0.62	0.60	0.58	0.57	0.55	0.54	0.53	0.52
120	0.71	0.67	0.65	0.62	0.60	0.59	0.57	0.56	0.54	0.53
130	0.74	0.70	0.67	0.65	0.62	0.61	0.59	0.57	0.56	0.55
140	0.76	0.73	0.70	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59	0.58	0.56
150	0.79	0.75	0.72	0.69	0.67	0.64	0.63	0.61	0.59	0.58
160	0.82	0.78	0.74	0.71	0.69	0.66	0.64	0.63	0.61	0.60
170	0.85	0.81	0.77	0.74	0.71	0.68	0.66	0.64	0.63	0.61
180	0.88	0.83	0.79	0.76	0.73	0.70	0.68	0.66	0.64	0.63
190	0.91	0.86	0.82	0.78	0.75	0.72	0.70	0.68	0.66	0.64
200	0.94	0.89	0.84	0.81	0.77	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66
210	0.97	0.91	0.87	0.83	0.79	0.76	0.74	0.71	0.69	0.67
220	1.00	0.94	0.89	0.85	0.81	0.78	0.76	0.73	0.71	0.69
230	1.02	0.97	0.92	0.87	0.84	0.80	0.78	0.75	0.73	0.71
240	1.05	0.99	0.94	0.90	0.86	0.82	0.79	0.77	0.74	0.72
250	1.08	1.02	0.96	0.92	0.88	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74
260	1.11	1.05	0.99	0.94	0.90	0.86	0.83	0.80	0.78	0.75

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 200 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 300 psig تنظیم شده است.

ظرفیت منبع انبساط برای سیستم‌های دمای زیاد

ظرفیت منبع انبساط بر اساس درصدی از حجم آب سیستم

حداکثر دمای سیستم (°F)	نوع منبع انبساط			
	منبع انبساط بسته	منبع انبساط باز	منبع انبساط بسته دیافراگمی	
			حجم منبع	حجم پذیرش
350	1995.03	–	47.71	11.71
360	2119.30	–	50.68	12.44
370	2243.58	–	53.65	13.17
380	2378.48	–	56.88	13.96
390	2524.02	–	60.36	14.82
400	2669.56	–	63.84	15.67
410	2815.10	–	67.32	16.53
420	2981.90	–	71.31	17.51
430	3138.07	–	75.04	18.42
440	3315.51	–	79.29	19.46
450	3.492.95	–	83.53	20.51

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 600 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 800 psig تنظیم شده است.

4- برای به دست آوردن ظرفیت منبع انبساط تحت فشارهای اولیه و حداکثر دیگر باید حجم منبع انبساط بسته و دیافراگمی مستخرجه از جدول بالا را در ضریب تصحیح مستخرجه از جداول صفحات بعدی ضرب نمود.

ضریب تصحیح ظرفیت منبع انبساط برای سیستم دمای زیاد

فشار اولیه (psig)	افزایش فشار (psig) = حداکثر فشار کار + فشار اولیه									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
160	0.68	0.37	0.27	0.22	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
180	0.83	0.46	0.33	0.27	0.23	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15
200	1.01	0.55	0.39	0.32	0.27	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18
220	1.19	0.64	0.46	0.37	0.31	0.28	0.25	0.23	0.22	0.20
240	1.40	0.75	0.53	0.43	0.36	0.32	0.29	0.26	0.25	0.23
260	1.62	0.86	0.61	0.49	0.41	0.36	0.32	0.30	0.28	0.26
280	1.85	0.98	0.70	0.55	0.46	0.41	0.37	0.33	0.31	0.29
300	2.10	1.11	0.78	0.62	0.52	0.46	0.41	0.37	0.35	0.32
320	2.37	1.25	0.88	0.69	0.58	0.51	0.45	0.41	0.38	0.36
340	2.65	1.40	0.98	0.77	0.64	0.56	0.50	0.46	0.42	0.39
360	2.95	1.55	1.08	0.85	0.71	0.62	0.55	0.50	0.46	0.43
380	3.27	1.71	1.19	0.94	0.78	0.68	0.60	0.55	0.50	0.47
400	3.60	1.88	1.31	1.02	0.85	0.74	0.66	0.59	0.55	0.51
420	3.95	2.06	1.43	1.12	0.93	0.80	0.71	0.65	0.59	0.55
440	4.31	2.25	1.56	1.21	1.01	0.87	0.77	0.70	0.64	0.59
460	4.69	2.44	1.69	1.31	1.09	0.94	0.83	0.75	0.69	0.64
480	5.08	2.64	1.83	1.42	1.17	1.01	0.90	0.81	0.74	0.69
500	5.50	2.85	1.97	1.53	1.26	1.09	0.96	0.87	0.79	0.73
520	5.92	3.07	2.12	1.64	1.36	1.17	1.03	0.93	0.85	0.78
540	6.37	3.29	2.27	1.76	1.45	1.25	1.10	0.99	0.90	0.84
560	6.82	3.53	2.43	1.88	1.55	1.33	1.17	1.05	0.96	0.89
580	7.30	3.77	2.59	2.00	1.65	1.41	1.25	1.12	1.02	0.94
600	7.79	4.02	2.76	2.13	1.75	1.50	1.32	1.19	1.08	1.00
620	8.30	4.28	2.93	2.26	1.86	1.59	1.40	1.26	1.15	1.06
640	8.82	4.54	3.11	2.40	1.97	1.69	1.48	1.33	1.21	1.12
660	9.36	4.81	3.30	2.54	2.09	1.78	1.57	1.41	1.28	1.18
680	9.91	5.10	3.49	2.69	2.20	1.88	1.65	1.48	1.35	1.24
700	10.49	5.39	3.69	2.84	2.33	1.99	1.74	1.56	1.42	1.31

توضیح:

5- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

6- جدول بر اساس فشار اولیه 600 psig تنظیم شده است.

7- جدول بر اساس حداکثر فشار 800 psig تنظیم شده است.

ضریب تصحیح ظرفیت منبع انبساط برای سیستم دمای زیاد

فشار اولیه (psig)	افزایش فشار (psig) – حداکثر فشار کار = افزایش فشار + فشار اولیه									
	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
160	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10
180	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12
200	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13
220	0.19	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15
240	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17
260	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19
280	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20
300	0.31	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22
320	0.34	0.32	0.31	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.25	0.25
340	0.37	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.27
360	0.40	0.38	0.37	0.35	0.34	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29
380	0.44	0.42	0.40	0.38	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31
400	0.48	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34
420	0.52	0.49	0.46	0.44	0.43	0.41	0.40	0.38	0.37	0.36
440	0.56	0.53	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39
460	0.60	0.56	0.54	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.43	0.41
480	0.64	0.60	0.57	0.55	0.52	0.50	0.49	0.47	0.45	0.44
500	0.69	0.65	0.61	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.47
520	0.73	0.69	0.65	0.62	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.50
540	0.78	0.73	0.69	0.66	0.63	0.61	0.58	0.56	0.54	0.53
560	0.83	0.78	0.74	0.70	0.67	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56
580	0.88	0.83	0.78	0.74	0.71	0.68	0.65	0.63	0.61	0.59
600	0.93	0.87	0.83	0.78	0.75	0.72	0.69	0.66	0.64	0.62
620	0.98	0.92	0.87	0.83	0.79	0.76	0.73	0.70	0.68	0.66
640	1.04	0.97	0.92	0.87	0.83	0.80	0.76	0.74	0.71	0.69
660	1.10	1.03	0.97	0.92	0.88	0.84	0.80	0.77	0.75	0.72
680	1.15	1.08	1.02	0.97	0.92	0.88	0.84	0.81	0.78	0.76
700	1.21	1.14	1.07	1.01	0.87	0.92	0.89	0.85	0.82	0.80

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 600 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 800 psig تنظیم شده است.

ضریب تصحیح ظرفیت منبع انبساط دیافراگمی برای سیستم دمای زیاد

فشار اولیه (psig)	افزایش فشار (psig) = حداکثر فشار کار − فشار اولیه									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
160	2.39	1.32	0.96	0.78	0.67	0.60	0.55	0.51	0.48	0.46
180	2.64	1.44	1.04	0.84	0.72	0.64	0.59	0.54	0.51	0.48
200	2.88	1.56	1.12	0.90	0.77	0.68	0.62	0.57	0.54	0.51
220	3.13	1.69	1.21	0.97	0.82	0.73	0.66	0.61	0.57	0.53
240	3.37	1.81	1.29	1.03	0.87	0.77	0.69	0.64	0.59	0.56
260	3.62	1.93	1.37	1.09	0.92	0.81	0.73	0.67	0.62	0.58
280	3.86	2.05	1.45	1.15	0.97	0.85	0.76	0.70	0.65	0.61
300	4.11	2.18	1.53	1.21	1.02	0.89	0.79	0.73	0.67	0.63
320	4.35	2.30	1.61	1.27	1.07	0.93	0.82	0.76	0.70	0.66
340	4.60	2.42	1.70	1.33	1.12	0.97	0.85	0.79	0.73	0.68
360	4.84	2.55	1.78	1.40	1.17	1.01	0.88	0.82	0.76	0.71
380	5.09	2.67	1.86	1.46	1.21	1.05	0.91	0.85	0.78	0.73
400	5.34	2.79	1.94	1.52	1.26	1.09	0.94	0.88	0.81	0.75
420	5.58	2.91	2.02	1.58	1.31	1.13	0.97	0.91	0.84	0.78
440	5.83	3.04	2.11	1.64	1.36	1.18	1.00	0.94	0.87	0.80
460	6.07	3.16	2.19	1.70	1.41	1.22	1.04	0.97	0.89	0.83
480	6.32	3.28	2.27	1.76	1.46	1.26	1.07	1.00	0.92	0.85
500	5.56	3.40	2.35	1.86	1.51	1.30	1.10	1.04	0.95	0.88
520	6.81	3.53	2.43	1.89	1.56	1.34	1.13	1.07	0.97	0.90
540	7.05	3.65	2.52	1.95	1.61	1.38	1.16	1.10	1.00	0.93
560	7.30	3.77	2.60	2.01	1.66	1.42	1.19	1.13	1.03	0.95
580	7.55	3.90	2.68	2.07	1.71	1.46	1.22	1.16	1.06	0.98
600	7.79	4.02	2.76	2.13	1.75	1.50	1.25	1.19	1.08	1.00
620	8.04	4.14	2.84	2.19	1.80	1.54	1.28	1.22	1.11	1.02
640	8.28	4.26	2.92	2.25	1.85	1.58	1.31	1.25	1.14	1.05
660	8.53	4.39	3.01	2.32	1.90	1.63	1.34	1.28	1.17	1.07
680	8.77	4.51	3.09	2.38	1.95	1.67	1.46	1.31	1.19	1.10
700	9.02	4.63	3.17	2.44	2.00	1.71	1.50	1.34	1.22	1.12

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 600 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 800 psig تنظیم شده است.

ضریب تصحیح ظرفیت منبع انبساط دیافراگمی برای سیستم دمای زیاد

فشار اولیه (psig)	افزایش فشار (psig) = حداکثر فشار کار − فشار اولیه									
	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
160	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.36	0.35
180	0.46	0.44	0.43	0.42	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.36
200	0.49	0.47	0.45	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.38
220	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.43	0.41	0.41	0.40	0.39
240	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40
260	0.55	0.53	0.50	0.49	0.47	0.46	0.44	0.43	0.42	0.41
280	0.57	0.55	0.52	0.50	0.49	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43
300	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.49	0.47	0.46	0.45	0.44
320	0.62	0.59	0.56	0.54	0.52	0.50	0.49	0.47	0.46	0.45
340	0.64	0.61	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.49	0.47	0.46
360	0.66	0.63	0.60	0.57	0.55	0.53	0.52	0.50	0.49	0.48
380	0.69	0.65	0.62	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.50	0.49
400	0.71	0.67	0.64	0.61	0.58	0.56	0.54	0.53	0.51	0.50
420	0.73	0.69	0.66	0.63	0.60	0.58	0.56	0.54	0.53	0.51
440	0.75	0.71	0.67	0.64	0.62	0.59	0.57	0.56	0.54	0.52
460	0.78	0.73	0.69	0.66	0.63	0.61	0.59	0.57	0.55	0.54
480	0.80	0.75	0.71	0.68	0.65	0.63	0.60	0.58	0.57	0.55
500	0.82	0.77	0.73	0.70	0.67	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56
520	0.84	0.79	0.75	0.71	0.68	0.66	0.63	0.61	0.59	0.57
540	0.86	0.81	0.77	0.73	0.70	0.67	0.65	0.62	0.60	0.59
560	0.89	0.83	0.79	0.75	0.72	0.69	0.66	0.64	0.62	0.60
580	0.91	0.85	0.81	0.77	0.73	0.70	0.67	0.65	0.63	0.61
600	0.93	0.87	0.73	0.78	0.75	0.72	0.69	0.66	0.64	0.62
620	0.95	0.89	0.84	0.80	0.76	0.73	0.70	0.68	0.66	0.64
640	0.98	0.92	0.86	0.82	0.78	0.75	0.72	0.69	0.68	0.65
660	1.00	0.94	0.88	0.84	0.80	0.76	0.73	0.71	0.68	0.66
680	1.02	0.96	0.90	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.69	0.67
700	1.04	0.98	0.92	0.87	083	0.79	0.76	0.73	0.71	0.68

توضیح:

1- جدول بر اساس دمای اولیه 50°F تنظیم شده است.

2- جدول بر اساس فشار اولیه 600 psig تنظیم شده است.

3- جدول بر اساس حداکثر فشار 800 psig تنظیم شده است.

۳-۸

کوره هوای گرم

اگرچه کوره‌های هوای گرم به کمک شبکه کانال می‌توانند به عنوان نوعی دستگاه مولد مرکزی برای تامین گرمایش فضاهای مختلف با شرایط یکسان مورد استفاده قرار گیرند؛ اما امروزه اغلب نه به صورت مرکزی بلکه به صورت محلی و برای یک فضای واحد نسبتا بزرگ کاربرد دارند.

تخمین ظرفیت کوره هوای گرم

به طور تقریبـــی می‌توان به ازای هر متر مکعب فضـــای مورد نظر 30 تا 50 کیلوکالری در ســـاعت بار گرمایشی در نظر گرفت و با مراجعه به کاتالوگ کارخانجات سازنده و در نظر داشتن بازده دستگاه و ظرفیت آن، کوره هوای گرم را انتخاب نمود.

ظرفیت تقریبی هوادهی کوره هوای گرم

نوع کوره	دبی تقریبی هوا	مثال
کوره هوای گرم گازسوز و گازوئیل‌سوز	1 cfm به ازای هر 100 Btu خروجی	64000 Btu $\frac{64000}{100} = 640$ cfm
کوره هوای گرم الکتریکی	50-70 cfm به ازای هر kW ورودی	1.10 kW cfm 70= 70 × 10 2.30 kW cfm 1500= 50 × 30

مشخصات فنی کوره هوای گرم

ساخت شرکت انرژی

مدل	وزن (kg)	فضای قابل گرمایش (m^3)	مصرف سوخت در ساعت	نوع سوخت	بازده[2] (٪)	توان[1] حرارتی ورودی (kcal/hr)
HO260	35	380- 580	3.2 m^3	گاز طبیعی	84	30000
HO250	55.4	400- 600	1.6-3.2 lit	نفت سفید	84	31000
HO320	102	320- 500	1.6-3.2 lit	نفت سفید	71	31000
HO660	128	500- 800	4.8 m^3	گاز طبیعی	77	45000
HO660	128	500- 800	3.75 kg	گاز مایع	77	45000
HO460	58	630- 900	5 m^3	گاز طبیعی	84	47000
HO510	135	500- 900	1.6-6 lit	نفت سفید	73	52000
HO510	135	500- 900	1.3-4.8 lit	گازوئیل	73	52000
HO450	85	700-1000	1.6-6 lit	نفت سفید	84	52000
HO450	85	700-1000	1.3-4.8 lit	گازوئیل	84	52000

1- برای تعیین ظرفیت واقعی کوره باید توان ورودی در مقدار بازده ضرب شود.
2- بازده برای فضای باز بدون دودکش.

مرجع: کاتالوگ‌های شرکت انرژی (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

۳-۹

واحد یکپارچه آبگرم

واحد یکپارچه آبگرم به صورت دیواری یا زمینی و در ظرفیت‌های کمتر از 70000 کیلو کالری در ساعت به منظور تامین گرمایش اماکن و آبگرم مصرفی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این نوع واحدها از جمله تجهیزات مولد محلی محسوب شده و نحوه تولید آبگرم مصرفی در آن‌ها به صورت لحظه‌ای است و البته برخی نیز دارای مخزن ذخیره آب کوچکی هستند. مشعل این‌گونه واحدها از نوع اتمسفریک است و در برخی مدل‌های زمینی از دیگ چدنی استفاده می‌شود. برخی از این‌گونه واحدها به صورت ایستاده نیز ساخته می‌شوند که ارتفاع آن‌ها نسبت به دو نوع رایج زمینی و دیواری بیشتر است. بخش زیرین نوع ایستاده شامل یک منبع ذخیره آبگرم مصرفی است.

استفاده از واحدهای یکپارچه آبگرم، ساختمان‌های مسکونی را بی‌نیاز از موتورخانه مرکزی و شبکه لوله‌کشی حد فاصل موتورخانه و فضای مورد گرمایش نموده و موجبات استقلال هر یک از واحدهای مسکونی را فراهم می‌آورد.

مشخصات واحد یکپارچه آبگرم دیواری

ساخت گروه صنعتی اخگر

ظرفیت حرارتی		اندازه لوله‌های ورودی و خروجی (in)					ابعاد (cm)			اندازه	
kcal/hr	kW	گاز	ورودی آب سرد	خروج آبگرم مصرفی	رفت گرمایش	برگشت گرمایش	طول	عرض	ارتفاع	(kg)	مدل
20000	23	$^{3}/_{4}$	$^{1}/_{2}$	$^{1}/_{2}$	$^{3}/_{4}$	$^{3}/_{4}$	38.5	49	90	48	ACB-20
24000	28	$^{3}/_{4}$	$^{1}/_{2}$	$^{1}/_{2}$	$^{3}/_{4}$	$^{3}/_{4}$	38.5	49	90	48	ACB-24
30000	35	$^{3}/_{4}$	$^{1}/_{2}$	$^{1}/_{2}$	$^{3}/_{4}$	$^{3}/_{4}$	38.5	49	90	50	ACB-30

مشخصات واحد یکپارچه آبگرم زمینی

ساخت گروه صنعتی اخگر

ظرفیت حرارتی		اندازه لوله‌های ورودی و خروجی (in)					ابعاد (cm)			وزن	
kcal/hr	kW	گاز	ورودی آب سرد	خروج آب‌گرم مصرفی	رفت گرمایش	برگشت گرمایش	طول	عرض	ارتفاع	(kg)	مدل
30000	35	$^{3}/_{4}$	$^{1}/_{2}$	$^{1}/_{2}$	1	1	65	50	85	160	ACB30
40000	47	$^{3}/_{4}$	$^{1}/_{2}$	$^{1}/_{2}$	$1^{1}/_{4}$	$1^{1}/_{4}$	65	50	85	160	ACB40

مرجع: کاتالوگ گروه صنعتی اخگر (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

۳-۱۰

گرمایش تشعشعی

واحدهای تشعشعی یا تابشـــی در دو گونه کاملا متفاوت در تاسیسات گرمایشی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

گونه اول که در واقع نوعی از تجهیزات تبادل حرارت محسوب می‌شود، شـــامل لوله‌های حاوی سیال گرم است که در جداره‌های فضا و به ویژه در کف اماکن اجرا می‌شـــوند و می‌توانند گرمای یکنواختی را تامین کنند. این نوع واحدها از طریق سیســـتم مرکزی تغذیه می‌شوند و همانگونه که گفته شد به صورت گسترده در زیرکف اماکن نصب می‌شوند.

گونه دوم از واحدهایی که تابشی یا تشعشعی خوانده می‌شوند در واقع نوعی از تجهیزات مولد گرما محسوب می‌شوند که از نظر ساختار و عملکرد هیچ مشابهت و سنخیتی با گروه اول ندارند. در این واحدها سوخت به طور مســـتقیم در درون لوله‌ای با آلیاژ مخصوص می‌سوزد و موجب ایجاد امواج مادون قرمز می‌شود. جذب این امواج بنا به درجه شفافیت و رنگ، موجب گرم شـــدن اجسام می‌شود. بنابراین در این گونه از تجهیزاتی که به درستی تابشـــی خوانده می‌شوند، واسطه‌ای چون هوا نقشی ندارد. در برخی از این گونه واحدها به جای استفاده از مشعل و بهره‌گیری از سوخت‌های فسیلی از المنت‌ها یا مقاومت‌های الکتریکی استفاده می‌شود.

در نوع دیگری گرم شـــدن سطوح سرامیکی متخلخل تحت تأثیر شعله موجب ایجاد امواج مادون‌قرمز می‌شـــود. اگرچـــه نمی‌توان نقش گرمایش

جابجایی در این شـــیوه را کاملا منتفی دانســـت؛ اما بنا به یک تعریف کلی چنانچه روش تابشی سهمی بیش از 50 درصد در گرمایش فضا داشته باشد، می‌توان شیوه کلی گرمایش را تابشی یا تشعشعی خواند.

دمای ســـطح در انواع گرمکن‌های لوله‌ای تابشی تا 650 درجه سلسیوس می‌رســـد و شدت گرمایش سطح تابش در آنها 24 کیلووات بر مترمربع است. دمای سطح در انواع گرمکن‌های سرامیکی تابشی 870 تا 980 درجه سلسیوس است و شدت گرمایش سطح تابش در آنها بین 54 تا 100 کیلووات بر مترمربع است.

تجهیزات گرمایش الکتریکی نیز که اغلب از نوع مقاومتی هســـتند گونه دیگری از تجهیزات گرمایش تابشـــی محسوب می‌شـــوند. برخی از این‌گونه تجهیزات، از لامپ‌های مادون‌قرمز برای گرمایش تابشی بهره می‌برند.

به طور کلی تجهیزات گرمایش الکتریکی تابشی در چهار نوع ورق فلزی، لوله کوارتز، لامپ کوارتز و لامپ با پوشش بازتابنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. عنصر حرارتی در نوع ورقه‌ای و لوله کوارتز مقاومت نیکل - کروم اســـت و در لامپ‌های کوارتز از فیلامان تنگستن اســـتفاده می‌شود. دمای مقاومت در انـــواع لوله کوارتز و ورقه‌ای به ترتیب 930 و 950 درجه سلســـیوس و در انواع لامپ کوارتز و لامپ رفلکتوری یا با پوشـــش بازتابنده داخلی به 2230 درجه سلسیوس می‌رسد. از لحاظ نصب، لامپ کوارتزی و نوع ورقه‌ای می‌توانند در وضعیت‌های مختلف مورد اســـتفاده قرار گیرند؛ اما انواع لوله کوارتز و لامپ کوارتز رفلکتوری تنها به صورت افقی نصب می‌شوند. شدت گرمای نسبی در نوع ورقه‌ای متوسط 2.4 kWm با قطر 13 میلی‌متر است و در لامپ رفلکتوری زیاد (375 - 125 وات بـــه صورت نقطه‌ای) اســـت. این مقدار برای لامپ کوارتز با قطرهای 9.5 و 13 میلی‌متر به ترتیب 3.9 kWm و 3 kWm است.

تخمین ظرفیت گرمایی سیستم تشعشعی آبگرم

جدار	حداکثر دمای سطح گرم کننده (°C)	حداکثر گرمای منتقل شده به ازای هر مترمربع (kcal/hr)	درصد گرمادهی از طریق وزش (%)	درصد گرمادهی از طریق تشعشع (%)
سقف	46 - 55	180 - 300	35	65
دیوار	40 - 45	120 - 200	40	60
کف	27 - 30	50 - 100	45	55

مرجع: حرارت مرکزی و تهویه‌مطبوع - چاپ دوم - علی اصغر ستوده تهرانی

نسبت‌های انتقال حرارت با روش‌های مختلف در سیستم تشعشعی

جدار	حداکثر دمای سطح (°C)	حداکثر گرمادهی کلی kcal/m²/hr	حداکثر گرمادهی تشعشعی kcal/m	حداکثر گرمادهی از راه وزش kcal/m	درصد گرمای تشعشعی	درصد گرمای وزشی
کف	32	120	65	55	55	45
دیوار	42	175	115	60	65	35
سقف	49	225	155	70	70	30

مرجع: حرارت مرکزی و تهویه‌مطبوع - چاپ دوم - علی‌اصغر ستوده تهرانی

تخمین اندازه و فواصل لوله‌های گرمایش کفی

توان گرمایی خروجی (w/m²)	فواصل لوله‌ها (mm)	قطر لوله[1] (mm)
82	100	15
67	200	15
55	300	15
47	300	15 (برای کف کاذب)

1- جنس لوله‌ها پلیمری

SOURCE: BUILDING SERVICES HANDBOOK- FRED HALL AND ROGER GREENO

مثال: برای یک اتاق به مساحت $13.5\ m^2$ و بار گرمایشی 779 وات، قطر لوله‌ها و فواصل آنها عبارت خواهد بود از:

لولـــه 15 میلی‌متر با فواصل 200 mm مطابق جـــدول فوق دارای توان گرمایی 67 وات بر مترمربع اســـت که این مقدار از میزان مورد نیاز بیشـــتر اســـت. بنابراین لولـــه به قطر 18 میلی‌متر با فواصـــل 300 میلی‌متر و توان گرمایشی 55 وات بر مترمربع مناسبت خواهد بود.

تخمین ظرفیت واحد تشعشعی مادون قرمز

برای سیستم‌های گازسوز:

160 - 140 کیلوکالری در ســـاعت به ازای هر مترمربع در فضاهایی با ارتفاع 12 - 5 متر

برای سیستم‌های الکتریکی:

150 - 120 وات به ازای هرمترمربع در فضاهایی با ارتفاع 6 - 4 متر

مشخصات گرمکن‌های تابشی لوله‌ای و سرامیکی

مشخصات	نوع لوله‌ای	نوع سرامیکی متخلخل
دمای سطح	650°C	870 - 980°C
شدت گرمایش نسبی	24 kW/m²	54 - 100 kW/m²
زمان واکنش (گرم شدن اولیه)	180 s	60 s
نسبت تابش به انرژی ورودی	0.35 - 0.55	0.35 - 0.60
رنگ تابش قابل رویت (نور مریی)	قرمز	زرد - قرمز
ارتفاع نصب	3 - 15 m	4 - 15 m
مقاومت در برابر با دو مکش	خوب	عالی
ونت	اختیاری	بدون ونت
انعطاف‌پذیری	خوب	عالی
مقاومت در برابر شوک‌های حرارتی	عالی	عالی
مقاومت در برابر ارتعاش	عالی	عالی

۳-۱۱

رادیاتور، کنوکتور، یونیت هیتر

گردش آبگرم در داخل رادیاتور که از پره‌های فلزی تشـــکیل شده است؛ ســـطح گرمی را به وجود می‌آورد که هوای محیط در تماس با آن گرم شده و در اثر وزش طبیعی و جابجایی در کل فضا انتشار می‌یابد. رادیاتور بخش عمـــده‌ای از حرارت فضا را به صورت وزش طبیعـــی و اندکی را به صورت تشعشع تامین می‌کند. کنوکتورها نیز به همین شکل عمل می‌کنند، اما در یونیت هیترها وزش به کمک فن صورت می‌گیرد.

تخمین ظرفیت رادیاتورها

انواع رادیاتورهای رایج فولادی - آلومینیومی	
ظرفیت رادیاتورهای فولادی:	
به ازای هر مترمربع سطح حرارتی	430 - 460 kcal/hr
به ازای هر پره با ارتفاع 300mm و عرض 150 mm تقریبا	60 kcal/hr
به ازای هر پره با ارتفاع 500mm و عرض 150 mm تقریبا	87 kcal/hr
به ازای هر پره با ارتفاع 600mm و عرض 150 mm تقریبا	99 kcal/hr
به ازای هر پره با ارتفاع 300mm و عرض 200 mm تقریبا	79 kcal/hr
به ازای هر پره با ارتفاع 500mm و عرض 200 mm تقریبا	111 kcal/hr
به ازای هر پره با ارتفاع 600mm و عرض 200 mm تقریبا	130 kcal/hr
ظرفیت رادیاتورهای الومینیومی به ازای هر پره به ارتفاع 500 mm	≈ 125 kcal/hr
1 kcal/hr = 3.96 Btu/hr	

● **مثالی برای تخمین:** چنانچه بار گرمایی اتاقی به مساحت 25 مترمربع معـــادل 3250 kcal/hr باشـــد، می‌توان یکی از گزینه‌های زیـــر را برای تامین گرمایش اتاق در نظر گرفت:

- یک بلوک رادیاتور فولادی 200 × 600 با 25 پره
- یک بلوک رادیاتور آلومینیومی 500 با 26 پره
- دو بلوک رادیاتور فولادی 150× 500 با 18 پره (هر یک)
- دو بلوک رادیاتور آلومینیومی 500 با 13 پره (هر یک)

ظرفیت گرمایشی کنوکتور با لوله پره‌دار

نوع لوله پره‌دار گرمکن	تعداد ردیف	میانگین دمای آب (°F)					
		220	210	200	190	180	170
لوله فولادی به قطر 1.25 اینچ با پره فولادی	1	1260	1140	1030	940	830	730
	2	2050	1850	1680	1520	1350	1190
لوله مسی به قطر 1 اینچ با پره آلومینیومی	1	1000	900	820	740	660	580
	2	1480	1340	1210	1100	970	860

● *ظرفیت برحسب Btu/hr.ft است.(Btu/hr به ازای هر فوت طول لوله).*

● *دمای هوای ورودی به کنوکتور 65°F در نظر گرفته شده است.*

SOURCE: HANDBOOK OF AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION- SHANK. WANG.

یونیت هیتر

دامنه ظرفیت = 10000 تا 230000 بی تی یو در ساعت

دبی تقریبی آبگرم به ازای اختلاف دمای 20°F برای هر 10000 Btu/hr = 1 gpm

دبی تقریبی هوای گرم به ازای اختلاف دمای 40°F برای هر 40 Btu/hr = 1 cfm

دبی تقریبی بخار فشار ضعیف به ازای هر 10000 Btu/hr = 10 lb/hr

ابعاد:	عمق تقریبی	45 تا 50 سانتی‌متر
	پهنای تقریبی	50 تا 100 سانتی‌متر
	ارتفاع تقریبی	45 تا 70 سانتی‌متر

مشخصات رادیاتور فولادی

ساخت شرکت آژیر

600×200 (mm)		500×200 (mm)			
انتشار گرما (kcal/hr)	سطح حرارتی (m^2)	انتشار گرما (kcal/hr)	سطح حرارتی (m^2)	طول کل (mm)	تعداد پره
1040	2.40	888	2.08	360	8
1300	3.00	1108	2.60	450	10
1560	3.60	1329	3.12	540	12
1820	4.20	1551	3.64	630	14
2080	4.80	1772	4.16	720	16
2340	5.40	1994	4.68	810	18
2600	6.00	2215	5.20	900	20
2860	6.60	2437	5.72	990	22
3120	7.20	2658	6.24	1080	24
3380	7.80	2880	6.76	1170	26
3640	8.40	3101	7.28	1260	28
3900	9.00	3323	7.80	1350	30

عمق رادیاتور 200 mm و ارتفاع بوشن رفت و برگشت به ترتیب 500 و 600 میلی‌متر است.

1- وزن هر پره 200×500 و 200×600 به ترتیب 2.4 و 2.8 کیلوگرم است.

2- سطح حرارتی هر پره 200×500 و 200×600 به ترتیب 0.26 و 0.31 مترمربع است.

3- ارتفاع کل رادیاتور با پایه برای 200×500 و 200×600 به ترتیب 650 و 750 میلی‌متر است.

مرجع: پایگاه اینترنتی شرکت آژیر (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات رادیاتور آلومینیومی

ساخت شرکت ایران رادیاتور

مدل	انتشار حرارتی هر پره (W)	(kcal/hr)	(Btu/hr)	η *	ارتفاع کل هر پره (mm)	عمق هر پره (mm)	آبگیری (lit)	وزن هر پره (kg)
TERMOCALOR	145	125	496	1.317	585	61	0.47	1.50
CALORIE 600	172	148	587	1.360	676	80	0.38	1.58
CALORIE 500	146	126	498	1.302	576	80	0.32	1.41
CALORIE 350	109	94	372	1.332	426	80	0.30	1.09
FIRE 600	172	148	587	1.360	672	80	0.38	1.58
FIRE 500	146	126	498	1.302	576	80	0.32	1.41
FIRE 350	109	94	372	1.332	426	80	0.30	1.09
KAL 600	196	169	669	1.354	679	80	0.51	1.94
KAL 500	171	147	584	1.357	579	80	0.45	1.63
KAL 350	127	109	433	1.306	429	80	0.34	1.29
TEMPO 600	194	167	662	1.321	678	80	0.52	1.87
TEMPO 500	162	140	553	1.306	585	80	0.59	1.71
TEMPO 350	125	107	426	1.306	430	80	0.34	1.29

* ظرفیت‌های گرمایی ارائه شـــده براســـاس اختلاف دمای 60 درجه سلسیوس بین دمای آب و دمای هوای اتاق اســـت. برای اختلاف دماهـــای دیگر می‌باید مقدار ظرفیت گرمایی برحسب وات را از رابطه زیر به دست آورد:

$$Q = Q_N \left(\frac{\Delta t}{60}\right)^{\eta}$$

که در آن Q_N ظرفیت نامی و Q ظرفیت واقعی براساس ΔT غیر از 60° سلسیوس است.

** منظور از اعداد 350، 500 و 600 در مدل‌ها، ارتفاع بوشن‌های آب رفت و برگشت بر حسب میلی‌متر است.

مرجع: پایگاه اینترنتی شـــرکت ایران رادیاتور (برای اطـــلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روز ترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات یونیت هیتر آبگرم

ساخت شرکت ساران

ظرفیت گرمایی	دبی آب	دمای هوای خروجی	هوادهی فن	توان موتور (W)		افت فشار آب
(MBH)	(gpm)	(°F)	(cfm)	900 rpm	1400 rpm	ft.W.g
12	1.2	99	280	75	110	0.15
14	1.5	106	280	75	110	0.25
16	1.6	112	280	75	110	0.35
22	2.2	100	500	75	110	0.40
25	2.5	106	500	75	110	0.45
30	3	115	500	75	110	0.55
35	3.5	100	800	90	140	0.50
40	4	106	800	90	140	0.55
45	4.5	115	800	90	140	0.60
50	5	100	1050	90	140	0.70
55	5.5	106	1050	90	140	0.80
60	6	112	1050	90	140	0.90
65	6.5	106	1350	100	140	0.80
70	7	108	1350	100	140	0.90
75	7.5	112	1350	100	140	1.00
75	7.5	104	1650	100	230	1.10
85	8.5	108	1650	100	230	1.20
95	9.5	111	1650	100	230	1.40
100	10	102	2250	130	230	1.60
120	12	107	2250	130	230	2.50
130	13	113	2250	130	230	3.00

← ادامه

مشخصات یونیت هیتر آبگرم (ادامه)

ساخت شرکت ساران

ظرفیت گرمایی	دبی آب	دمای هوای خروجی	هوادهی فن	توان موتور (W)		افت فشار آب
(MBH)	(gpm)	(°F)	(cfm)	900 rpm	1400 rpm	ft.W.g
140	14	113	2250	250	230	3.00
145	14.5	100	3200	155	300	2.00
165	16.5	107	3200	155	300	2.60
175	17.5	110	3200	155	300	3.00
180	18	98	4400	460	460	3.20
200	20	102	4400	460	460	3.60
225	22.5	107	4400	460	460	4.00

دمای خشک هوای ورودی: 60°F

دمای آبگرم ورودی و خروجی کوئل: 160 و 180 درجه فارنهایت

1000 Btu/hr = MBH

مرجع: کاتالوگ شـــرکت ساران (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

❋ ❋ ❋

۳-۱۲

پرده هوایی

پرده‌های هوایی اغلب به عنوان وسیله تبادل حرارت گرمایی و به منظور ایجاد پوسته‌ای از هوای گرم و پرفشار جهت جلوگیری از ورود هوای سرد به داخل اماکن پر رفت‌وآمد مورد اســـتفاده قرار می‌گیرند و از این جهت نوعی یونیت هیتر محسوب می‌شوند.

تعیین مقدار هوا در پرده‌های هوایی وابســـته بـــه متغیرهای متعددی اســـت، اما به صورت تجربی می‌توان مقدار هـــوای گرم را بین 5000 - 2000 مترمکعب در ساعت به ازای هر مترمربع از در، یا ورودی تخمین زد.

در شرایط ویژه و درصورتی که درها زیاد باز بمانند، این مقدار تا 10000 مترمکعب در ساعت به ازای هر مترمربع سطح ورودی افزایش می‌یابد.

سرعت هوا در پرده هوایی

دهش هوا از بالا	5 - 15 m/s (15 - 50 ft/s)
دهش هوا از پایین	2 - 5 m/s (5 - 15 ft/s)
دهش هوا از کنار	10 - 15 m/s (30 - 50 ft/s)

تعیین سطح دریچه

با استفاده از روابط:

یک طرفه $V = 0.45\ V_0$

دو طرفه $V = 0.9\ V_0$

که در آن V_0، مقدار هوای ورودی در حالت فقدان سد هوایی و V، مقدار هوای وزشـــی به منظور ایجاد سد هوایی اســـت. مطابق مثال زیر می‌توان سطح دریچه را تعیین نمود؛

- **مثال:** عرض در: 4 m، ارتفاع در: 2 m، سرعت هوای خارج: 2 m/s

$V_0 = 4 \times 2 \times 2 = 16\ m^3/s$

$V = 0.45 \times 16 = 7.2\ m^3/s$

چنانچه دریچه را از کنار در نظر گیریم:

سرعت خروجی = 10 m/s

سطح دریچه = 7.2/10 = 0.72 m^2

ارتفاع در = ارتفاع دریچه = 2 m

پهنای دریچه = 0.72/2 = 0.36 m

SOURCE: HVAC ENGINEER'S HANDBOOK -ELEVENTH EDITION - F.PORGES

* * *

۳-۱۳

چیلر جذبی

چیلرهـــای جذبی از نظر ماده مبـــرد و جاذب و همینطور نحوه عملیات تغلیـــظ و نوع منبع گرمایی برای تغلیظ ماده جـــاذب در گروه‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند و بر همین اساس، علیرغم مشابهت فراوان در چگونگی چرخه سرمایش از لحاظ ساختار تفاوت‌هایی با هم دارند.

از نظر ماده مبرد و جاذب می‌توان چیلرهای جذبی را در سه گروه چیلرهای جذبی آب - لیتیم بروماید، آمونیاک - آب و چیلر با مبرد آب و جاذب جامد (سیلیکاژل) طبقه‌بندی نمود.

از لحاظ چرخه تغلیظ ماده جاذب و مراحل سردسازی نیز چیلرهای جذبی در گروه‌هایی همچون جذبی تک اثره، دو اثره و سه اثره که همگی از نوع لیتیم بروماید و آب و همینطور سیستم‌های جذبی آب - آمونیاک که در انواع یک و چند مرحله‌ای هستند، طبقه‌بندی می‌شوند.

از نظـــر منبع گرمایی عملیات تغلیـــظ و احیا نیز می‌توان از چیلرهایی با ژنراتور آب داغ، آبگرم، بخار و شعله مستقیم نام برد.

در بسیاری از متون، چیلرهای جذبی تنها بر اساس منبع گرمایی عملیات تغلیظ و احیا به دو دسته کلی شعله مستقیم و غیرمستقیم طبقه‌بندی شده است.

فراگیرترین طبقه در بین سه گونه طبقه‌بندی فوق، طبقه‌بندی بر اساس ماده مبرد و جاذب است. زیرا هر یک از موارد مربوط به گروه‌های دیگر مانند

چرخه تغلیظ، مراحل سردســازی و نوع منبع گرمایی به هر حال منتسب به یکی از انواع سه گانه چیلرها از نظر ماده جاذب و مبرد است. به عنوان مثال، چیلر جذبی لیتیم بروماید و آب ممکن است از نوع یک اثره و یا چند اثره باشد و در عین حال همین نوع چیلر از منابع گرمایی متفاوتی همچون آبگرم، آب داغ یا بخار و یا حتی شعله مستقیم بهره گیرد و در عین حال ممکن است یک سیستم جذبی آب - آمونیاک نیز از نوع یک مرحله‌ای یا چند مرحله‌ای بوده و یا نوع منبع گرمایی آن، آب داغ، بخار و یا شعله مستقیم باشد.

انرژی گرمایی موردنیاز چیلرهای جذبی

نوع چیلر جذبی	فشار بخار (psig)	فشار بخار (kPa)	دمای آبگرم (°F)	دمای آبگرم (°C)	نرخ مصرف بخار lb/(h.ton)	نرخ مصرف بخار kg/(s.w)
چیلر جذبی یک اثره کم ظرفیت	-	-	160	71.1	-	-
چیلر جذبی یک اثره	8 - 15	55.16 تا 103.42	270	132.2	17.5تا 20	8.1 - 9.29
چیلر جذبی دو اثره	100 - 120	689.50تا 827.40	300تا 400	148.9تا 204.4	9.9تا 12	4.6 - 5.5
چیلر جذبی آمونیاکی یک مرحله‌ای	40 - 160	275.8تا 1103.2	-	-	30.6تا 57.8	14.2 - 26.8
چیلر جذبی آمونیاکی دو مرحله‌ای	1 - 24	6.9تا 165.5	-	-	47.5تا 67.5	22.1 - 31.3

SOURCE: HVAC APPLICATIONS FOR COGENERATION SYSTEMS- ALAN J.SMITH AND APARAJITU SENGUPTA.

تخمین شارژ لیتیم بروماید و آب

شارژ لیتیم بروماید 55 درصد به ازای هر تن تبرید تقریباً 4 لیتر و شارژ آب به ازای هر تن تبرید تقریبا 1 لیتر در نظر گرفته می‌شود. مقدار شارژ چیلرهایی با ظرفیت بیشتر از 450 تن تبرید کمتر است.

مشخصات چیلرهای جذبی بخار، آب داغ و آبگرم یک‌اثره

فشار بخار ورودی:	9 - 12 psig
مصرف بخار:	18.7 - 18.3 پوند درساعت به ازای هر تن تبرید
دمای سیال ورودی (به ژنراتور):	270 - 240 درجه فارنهایت و در سیستم‌های آبگرم و در دستگاه‌های کوچک محلی 190 درجه فارنهایت
نیاز گرمایی (در ژنراتور):	18500 - 18100 بی‌تی‌یو درساعت به ازای هرتن تبرید و در دستگاه‌های کوچکتر 17100 بی‌تی‌یو در ساعت به ازای هرتن تبرید
دمای آب ورودی از برج خنک‌کن:	85 درجه فارنهایت
اختلاف دمای آب رفت و برگشت برج:	17°F
دبی آب برج خنک‌کن:	3.6 گالن در دقیقه به ازای هر تن تبرید و 6.4 گالن در دقیقه به ازای هر تن تبرید برای دستگاه‌های کوچکتر محلی
دمای آب سرد خروجی (اواپراتور):	44 درجه فارنهایت
دبی آب سرد:	2.4 گالن دردقیقه به ازای هر تن تبرید و 2.6 گالن در دقیقه برای برخی دستگاه‌های کوچکتر محلی
توان الکتریکی:	0.04 - 0.01 کیلووات به ازای هرتن تبرید و حداقل 0.004 کیلووات به ازای هر تن تبرید برای دستگاه‌های کوچکتر محلی
مشخصات فیزیکی	
ظرفیت نامی:	1660 - 50 تن تبرید و 10-5 تن تبرید برای دستگاه‌های کوچک محلی
طول	33 - 11 فوت و برای دستگاه‌های کوچک محلی 6 فوت
عرض	10 - 5 فوت و برای دستگاه‌های کوچک محلی 6 فوت
ارتفاع	14 - 7 فوت و برای دستگاه‌های کوچک محلی 6 فوت
وزن (با مبرد و لیتیم بروماید)	115000 - 11000پوند و برای دستگاه‌های کوچک محلی 715 پوند

SOURCE:2002 ASHRAE REFRIGERATION HANDBOOK -ABSORPTION COOLING،HEATING ،AND REFRIGERATION EQUIPMENT.

مشخصات چیلرهای جذبی بخار دواثره

فشار بخار ورودی:	115 psig
مصرف بخار:	10 - 9.7 پوند در ساعت به ازای هر تن تبرید
دمای سیال ورودی (به ژنراتور):	370 درجه فارنهایت
گرمای سیال ورودی:	10000 بی‌تی‌یو در ساعت به ازای هر تن تبرید
دمای آب ورودی از برج خنک‌کن:	85 درجه فارنهایت
اختلاف دمای آب رفت و برگشت برج:	10°F - 12°F
دبی آب برج خنک‌کن:	4.5 - 3.6 گالن در دقیقه به ازای هر تن تبرید
دمای آب سرد خروجی (اواپراتور):	44 درجه فارنهایت
دبی آب سرد:	2.4 گالن در دقیقه به ازای هر تن تبرید
توان الکتریکی:	0.04 - 0.01 کیلو وات به ازای هر تن تبرید
مشخصات فیزیکی	
ظرفیت نامی:	1700 - 100 تن تبرید
طول	31 - 10 فوت
عرض	12 - 6 فوت
ارتفاع	14 - 8 فوت
وزن (با مبرد و لیتیم بروماید)	132000 - 15000 پوند

SOURCE: 2002 ASHRAE REFRIGERATION HANDBOOK -ABSORPTION COOLING, HEATING, AND REFRIGERATION EQUIPMENT.

مشخصات چیلرهای جذبی شعله مستقیم

مصرف سوخت (سوخت با ارزش حرارتی زیاد):	13044 - 12000 بی‌تی‌یو در ساعت به ازای هر تن تبرید
دمای آب ورودی از برج خنک‌کن:	85 درجه فارنهایت
دبی آب برج خنک‌کن:	4.5 - 4.4 گالن در دقیقه به ازای هر تن تبرید
دمای آب سرد خروجی (اواپراتور):	44 درجه فارنهایت
دبی آب سرد:	2.4 گالن در دقیقه به ازای هر تن تبرید
توان الکتریکی:	0.04 - 0.01 کیلو وات به ازای هر تن تبرید
مشخصات فیزیکی	
ظرفیت نامی:	1500 - 100 تن تبرید
طول	34 - 10 فوت
عرض	21.3 - 5 فوت
ارتفاع	12 - 7 فوت
وزن (با مبرد و لیتیم بروماید)	174600 - 11000 پوند

SOURCE: 2002 ASHRAE REFRIGERATION HANDBOOK -ABSORPTION COOLING، HEATING، AND REFRIGERATION EQUIPMENT.

نکته‌ای در مورد دبی آب برج خنک‌کننده چیلرهای جذبی

مطابق اســـتاندارد ARI، گالن در دقیقـــه آب برج خنک‌کن به ازای هر تـــن تبرید چیلرهای جذبی یک اثره 3.6 و برای چیلرهای دو اثره 4.0 منظور شـــده است که در ظاهر امر چنین مقادیری در تعارض با فلسفه استفاده از چیلرهای جذبی دو اثره است. زیرا می‌دانیم که با استفاده از چیلرهای جذبی دو اثره به دلیل اســـتفاده مجدد از بخار حاصل از عملیات تغلیظ، از مقدار گرمای قابل دفع توســـط برج خنک‌کننده کاســـته شده و برج خنک‌کننده کوچکتری نســـبت به سیستم یک اثره مورد نیاز خواهد بود؛ اما باید بدانیم که مقادیر تعیین‌شـــده فوق در اســـتاندارد ARI بر پایه اختلاف دماهای زیر برای چیلرهای یک اثره، دو اثره و تراکمی است:

تک اثره: 17°F (9°C)

دو اثره: 12°F (7°C)

تراکمی: 10°F (6°C)

بنابراین مقادیر 3.6 gpm/ton و 4 gpm/ton برای چیلرهای جذبی یک اثره و دو اثره بر پایه اختلاف دماهای فوق صادق هستند. بر همین اساس چنانچه اختلاف دما در چیلر جذبی یک اثره (6°C) 10°F در نظر گرفته شود. مقدار gpm/ton به 6.12 خواهد رسید:

$(17°F \times 3.6)/10°F = 6.12$ gpm/ton

بر همین اساس چنانچه اختلاف دمای آب برج خنک‌کننده برای چیلر دو اثره را نیز به جای (7°C) 12°F معادل (6°C) 10°F در نظر گیریم، گالن در دقیقه به ازای هر تن تبرید آب برج خنک‌کننده 4.5 خواهد شد. بنابراین تحت شرایط برابر، دبی آب برج خنک‌کننده برای چیلرهای دو اثره به مراتب کمتر از چیلرهای یک اثره است و این مقدار حدود 27 تا 30 درصد خواهد بود. در ضمن باید توجه داشت که اختلاف دماها بر حسب فارنهایت و سلسیوس به صورت اعداد بدون اعشار، کاملا بر هم منطبق نیستند و ممکن است ظرفیت‌های تبدیل شده اندکی با هم متفاوت باشند.

چیلر جذبی خورشیدی

صفحات تخت خورشیدی با دمای 60 درجه سلسیوس برای چیلرهای جذبی مناسب نیستند. برای چیلرهای جذبی باید از صفحاتی که دارای دامنه دمایی 140 - 120 درجه سلسیوس با بازده 60 - 50 درصد هستند استفاده نمود.

مساحت صفحه خورشیدی برای چیلرهای جذبی بین 22 - 8 مترمربع به ازای هر تن تبرید تخمین زده می‌شود.

SOURCE:SOLAR ABSORPTION COOLING PROJECT FOR GREECE - DR.HIRSCH -D.S.E.GROUP OF COMPANIES

تخمین سطح کلکتور خورشیدی چیلر جذبی

به ازای هر تن تبرید	22 - 8 مترمربع با دامنه دمایی 140 - 120 درجه سلسیوس و بازده 60 - 50 درصد

SOURCE: SOLAR ABSORPTION COOLING PROJECT FOR GREECE.DR.HIRSCH.

مقایسه چیلر جذبی یک و دو اثره لیتیم بروماید - آب

	سیستم لیتیمی تک‌اثره	سیستم لیتیمی دواثره
فشار بخار ورودی، psig (kPa)	5 - 15 (135 - 205)	65 - 145 (110 - 120)
دمای بخار ورودی، °F (°C)	225 - 250 (110 - 120)	305 - 365 (175 - 185)
دمای آب داغ ورودی، °F (°C)	240 - 300 (115 - 150)	310 - 400 (155 - 205)
دمای آب سرد خروجی، °F (°C)	40 - 100 (4 - 38)	40 - 80 (4 - 27)
ضریب کارایی	0.6 - 0.7	0.9 - 1.2
دبی آب برج خنک‌کننده gpm/ton ($l/s.kW_T$)	2.45 - 6.0 (0.04 - 0.1)	1.8 - 4.5 (0.03 - 0.08)
نیاز الکتریکی kW/ton (kW/kW_T)	0.012 - 0.030 (0.003 - 0.009)	0.015 - 0.021 (0.004 - 0.006)

دمای سیال گرم‌کننده در سه نوع چیلر جذبی یک اثره و دو اثره لیتیم بروماید - آب و چیلر آمونیاکی

نوع سیستم جذبی	دمای بخار یا گاز داغ فرآیندها	آب داغ یا سیال داغ فرآیندها
لیتیمی تک‌اثره	225 - 250 (110 - 120)	240 - 300 (115 - 150)
لیتیمی دواثره	350 - 365 (175 - 185)	310 - 400 (155 - 205)
آمونیاکی	210 - 385 (100 - 195)	210 - 385 (100 - 195)

ضریب کارایی چند نوع چیلر جذبی

ساخت	نوع	نرخ ظرفیت	شرح
CARRIER	یک اثره	100 - 680 tons	منبع گرمایی: بخار یا آبگرم ضریب کارایی: 0.7
	دو اثره (گواهی از ابارا)	(بخار) 100 - 1700 tons	منبع گرمایی: بخار ضریب کارایی: 1.2
		(گازوئیل یا گاز) 135 - 1000 tons	منبع گرمایی: گازوئیل یا گاز ضریب کارایی: 1.0 (برای گازوئیل) 0.97 (برای گاز)
MCQUAY	دو اثره (گواهی از سانیو)	(بخار) 100 - 1500 tons	منبع گرمایی: بخار ضریب کارایی: 1.2
		(گاز) 100 - 1500 tons	منبع گرمایی: شعله مستقیم ضریب کارایی: 0.99
TRANE	یک اثره	100 - 1600 tons	منبع گرمایی: بخار یا آبگرم ضریب کارایی: 067 - 066
	دو اثره (گواهی از کاوازاکی)	(بخار یا آبگرم) 380 - 1000 tons	منبع گرمایی: بخار یا آبگرم ضریب کارایی: 1.2
		100 - 1100 tons	منبع گرمایی: شعله مستقیم ضریب کارایی: 098 - 097 (در صورت بازده بالای سوخت - 1.05)
YORK	یک اثره	100 - 1400 tons	منبع گرمایی: بخار یا آبگرم ضریب کارایی: 0.69 (بخار) یا 0.67 (آبگرم)
	دو اثره (گواهی از هیتاچی)	450 - 1500 tons	منبع گرمایی: بخار ضریب کارایی: 1.19
		180 - 1000 tons	منبع گرمایی: شعله مستقیم ضریب کارایی: 1.0

مرجع: چیلر جذبی- تالیف محمدرضا سلطاندوست

سیستم‌های جذبی مناسب با انواع مولدهای توان در شبکه‌های CHP

فناوری تولید توان	دامنه ظرفیت	انرژی گرمایی جریان هوای تخلیه			نوع سیستم سرمایش مناسب
	(kW)	مقدار انرژی	دما F°	بازیافت عملی گرما	
توربین گاز	500 - 50000	5000 - 6000	500 - 1100	آب داغ و بخار پرفشار	چیلرهای جذبی یک اثره و دو اثره و چیلرهای توربینی بخار شعله مستقیم دو اثره
موتور با سوخت گاز طبیعی	100 - 2000	4000 - 5000	180 - 850	آب داغ و بخار با فشار 15 psig	چیلر جذبی یک اثره رطوبت‌گیر لانه زنبوری
میکرو توربین	25 - 400	5000 - 8000	400 - 650	آب داغ	چیلر جذبی یک اثره رطوبت‌گیر لانه زنبوری
سلول سوختی نوع اسید فسفریک	200 - 1000	2800 - 6300	140 - 200	آبگرم	چیلر جذبی یک اثره رطوبت‌گیر لانه زنبوری

انواع چیلرهای جذبی مورد استفاده در سیستم‌های CHP

آب/لیتیم بروماید	
دامنه ظرفیت	10 تا 2600 تن تبرید
سوخت: شعله مستقیم	گاز طبیعی
چیلرهای غیرمستقیم	بخار، آب داغ، آبگرم، تلفات گرمایی و گازهای گرم خروجی در فرایندها
ضریب کارایی	0.7 - 1.2
تاثیرات زیست‌محیطی	غیرسمی، انتشار آلودگی کم
آمونیاک/ آب	
دامنه ظرفیت	3 tons - 25 tons
سوخت: شعله مستقیم چیلرهای غیرمستقیم	گاز طبیعی بخار، آبگرم، آب داغ، تلفات گرمایی و گازهای گرم خروجی در فرایندها
ضریب کارایی	≅ 0.5
تاثیرات زیست‌محیطی	آزارنده، انتشار کم

مقایسه بین انواع مولدهای توان در شبکه‌های CHP

	موتور دیزلی	موتور احتراقی گازسوز	توربین گاز	میکروتوربین	سلول سوختی
بازده الکتریکی (LHV)	30 - 50٪	25 - 45٪	25 - 40٪ ساده 40 - 60٪ مرکب	20 - 30٪	40 - 70٪
توان خروجی (mW)	0.05-5	0.05-5	3-200	0.025-0.25	0.2-2
توان به ازای مساحت (ft^2/kW)	0.22	0.22-0.31	0.02-0.61	0.15-1.5	0.6-4
هزینه تاسیسات CHP ($/ kW)	500.1 - 800	800 - 1 .500	700 - 900	500 - 1 .300	> 3 .000
هزینه تعمیر و نگهداری ($/ kW)	0.005 - 0.010	0.007-0.015	0.002-0.008	0.002 - 0.01	0.003 - 0.015
قابلیت دستیابی	90 - 95٪	92 - 97٪	90 - 98٪	90 - 98٪	> 95٪
ساعات کار بین سرویس‌های کلی	25 .000 - 30 .000	24 .000 - 60 .000	30 .000 - 50 .000	5 .000 - 40 .000	10 .000 - 40 .000
زمان راه‌اندازی اولیه	10 sec	10 sec	1 hr - 10 min	60 sec	2 days - 3 hrs

مقایسه بین انواع مولدهای توان در شبکه‌های CHP (ادامه)

	موتور دیزلی	موتور احتراقی گازسوز	توربین گاز	میکروتوربین	سلول سوختی
فشار سوخت (psi)	< 5	1 - 45	125-500 شاید نیاز به کمپرسور باشد	40-100 شاید نیاز به کمپرسور باشد	0.5 - 45
سوخت	گازوئیل	گاز طبیعی، پروپان بیوگاز	گاز طبیعی، بیوگاز، پروپان	گاز طبیعی، بیوگاز پروپان	هیدروژن، گاز طبیعی، پروپان
سر و صدا	متوسط رو به زیاد	متوسط رو به زیاد	متوسط (با پوشش)	متوسط (با پوشش)	کم (بدون پوشش)
انتشار NO_x (lb/mw hr)	3 - 33	2.2 - 28	0.3 - 4	0.4 - 2.2	< 0.02
بازیافت حرارت برای	آبگرم - بخار کم‌فشار- گرمایش منطقه‌ای	آبگرم - بخار کم‌فشار- گرمایش منطقه‌ای	گرمایش مستقیم- آبگرم- بخار کم فشار و پرفشار- گرمایش منطقه‌ای	گرمایش مستقیم- آبگرم- بخار کم‌فشار	آبگرم- بخار کم فشار و پرفشار
توان خروجی CHP (Btu/kW)	3.400	1 .000 - 5 .000	3 .400 - 12 .000	4 .000 - 15 .000	500 - 3.700
دمای مفید برای CHP (°F)	180 - 900	300 - 500	500 - 1 .100	400 - 650	140 - 700

دما و توان خروجی مولدهای رایج در سیستم‌های CHP و شرایط تبدیل گرمای تلف‌شده

	دمای مفید برای CHP (°F)	توان خروجی CHP	بازیافت گرما برای
موتور دیزلی	180 - 900	3.004	آبگرم - بخار کم‌فشار - گرمایش منطقه‌ای
موتور احتراقی گازسوز	300 - 500	1.000 - 5.000	آبگرم - بخار کم‌فشار - گرمایش منطقه‌ای
توربین گاز	5.00 - 1.100	3.004 - 12.000	گرمایش مستقیم - آبگرم - بخار فشار کم و زیاد - گرمایش منطقه‌ای
میکروتوربین	400 - 650	4.000 - 15.000	گرمایش مستقیم - آبگرم - بخار کم‌فشار
سلول سوختی	140 - 700	500 - 3.007	آبگرم - بخار کم فشار

انرژی الکتریکی موردنیاز چیلر جذبی

نوع چیلر	ظرفیت tons (kW_T)	الکتریسیته مورد نیاز kW/ton (kW/kW_T)	مقدار پیشنهادی kW/ton (kW/kW_T)
یک اثره لیتیمی	100 - 200 (350 - 700)	0.014 - 0.055 (0.004 - 0.016)	0.030 (0.009)
	200 - 400 (700 - 1400)	0.011 - 0.028 (0.003 - 0.008)	0.022 (0.006)
	400 - 600 (1400 - 2100)	0.010 - 0.019 (0.003 - 0.005)	0.015 (0.004)
	600 - 1000 (2100 - 3500)	0.008 - 0.015 (0.002 - 0.004)	0.012 (0.003)
	1000 - 1600 (3500 - 5600)	0.006 - 0.017 (0.002 - 0.005)	0.012 (0.003)
دو اثره لیتیمی	100 - 250 (350 - 900)	0.019 - 0.023 (0.005 - 0.007)	0.021 (0.006)
	250 - 450 (900 - 1600)	0.015 - 0.028 (0.004 - 0.008)	0.020 (0.006)
	450 - 800 (1600 - 2800)	0.011 - 0.027 (0.003 - 0.008)	0.018 (0.005)
	800 - 1500 (2800 - 5300)	0.009 - 0.026 (0.003 - 0.007)	0.015 (0.004)

تعیین اندازه پمپ برج خنک‌کننده برای چیلر جذبی

اختلاف دمای آب برج	واحدها	چیلر جذبی یک اثره	چیلر جذبی دو اثره
10°F (6°C)	gpm/ton (l/s/kW$_T$)	6.0 (0.1)	4.5 (0.08)
	bhp/ton (kW/kW$_T$)	0.12 (0.025)	0.1 (0.021)
12°F (7°C)	gpm/ton (l/s/kW$_T$)		4.0 (0.07)
15°F (8°C)	gpm/ton (LIS/kW$_T$)	4.1 (0.07)	3.0 (0.05)
	bhp/ton (kW/kW$_T$)	0.09 (0.019)	0.06 (0.013)
17°F (9°C)	gpm/ton (l/s/kW$_T$)	3.6 (0.06)	-
20°F (11°C)	gpm/ton (l/s/kW$_T$)	3.1 (0.06)	2.3 (0.04)
	bhp/ton (kW/kW$_T$)	0.06 (0.013)	0.05 (0.011)
25°F (14°C)	gpm/ton (l/s/kW$_T$)	2.45 (0.04)	1.8 (0.03)
	bhp/ton (kW/kW$_T$)	0.05 (0.011)	0.04 (0.008)
30°F (17°C)	gpm/ton (l/s/kW$_T$)	2.05 (0.04)	-
	bhp/ton (kW/kW$_T$)	0.04 (0.008)	-
35°F (19°C)	gpm/ton (l/s/kW$_T$)	1.75 (0.03)	-
	bhp/ton (kW/kW$_T$)	0.04 (0.008)	-

تخمین ابعاد چیلرهای جذبی

تخمین ابعاد چیلر جذبی شعله مستقیم

ظرفیت سرمایشی (تن تبرید)	طول تقریبی (m)	عرض تقریبی (m)	ارتفاع تقریبی (m)	وزن برای حمل (تقریبی) (تن)
100	3.5	1.9	1.9	5.5
200	3.5	1.9	2	6
300	4.7	2.3	2.2	9
400	4.7	2.4	2.4	12
500	4.8	2.5	2.6	14
600	5.8	2.9	2.8	16
700	5.8	3	3	18

تخمین ابعاد چیلر جذبی یک اثره

ظرفیت سرمایشی (تن تبرید)	طول تقریبی (m)	عرض تقریبی (m)	ارتفاع تقریبی (m)	وزن برای حمل (تقریبی) (تن)
100	3	1.5	2.4	4
200	4	1.5	2.4	5
300	5.3	1.7	2.7	7.5
400	5.3	1.8	3	8.5
500	5.3	1.9	3.2	11.5
600	6.8	1.8	3.3	14
700	6.8	1.9	3.3	15.5
800	6.8	2	4	16.5
1000	6.8	2.2	4	17.5

تخمین ابعاد چیلر جذبی دو اثره

ظرفیت سرمایشی (تن تبرید)	طول تقریبی (m)	عرض تقریبی (m)	ارتفاع تقریبی (m)	وزن برای حمل (تقریبی) (تن)
100	3	2	2.4	5
200	4.2	1.8	2.4	7.5
300	5.3	2	2.5	9
400	5.3	2.1	2.8	11
500	5.4	2.2	3	12
600	7	2.1	2.7	14.5
700	7	2.2	2.9	16
800	7	2.3	3	17.5
1000	7	2.6	3.4	24

مشخصات چیلر جذبی یک اثره، ساخت شرکت ساری پویا

ظرفیت نامی (tbr)	120	155	172	235	273	311	363	410	446	565	617	704	908	1148	1235
ظرفیت حداکثر(tbr)	154	199	221	302	351	400	466	527	573	726	793	905	1167	1475	1587
دبی آب سرد (gpm)	288	372	413	564	655	746	871	984	1070	1356	1481	1690	2179	2755	2964
دبی آب برج خنک کننده (gpm)	480	620	688	940	1092	1244	1452	1640	1784	2260	2468	2816	3632	4592	4940
مصرف بخار (lb/hr)	2244	2898	3216	4395	5105	5816	6788	6764	8340	10566	11538	13165	16980	21468	23095
توان پمپ محلول (kW)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	3.7	3.7	3.7	5.5	5.5	5.5	11	11	11	11
توان پمپ مبرد (kW)	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	3.7	3.7	3.7
توان پمپ خلاء (kW)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6
توان الکتریکی کل (kW)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	5	6.1	6.3	8.1	8.1	8.1	13.6	15.3	15.3	15.3
طول دستگاه (mm)	3490	4500	5300	5000	5500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6700	6700	6700	6700
عرض دستگاه (mm)	1340	1340	1340	1400	1500	1500	1500	1600	1720	1720	1720	2100	2300	2350	2350
ارتفاع دستگاه (mm)	2280	2280	2280	2720	2900	2900	2900	3050	3300	3300	3300	3900	3920	4000	4000
ورن دستگاه (kg)	5642	7000	7776	10612	11874	12000	13484	15000	16000	20935	23560	26182	32000	35874	39748

● دمای ورود و خروج آب اواپراتور: 44°F - 54°F ● دمای ورود و خروج آب برج خنک کننده: 85°F - 100°F ● فشار بخار: 9 psig

مرجع: کاتالوگ شرکت ساری پویا (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات چیلرهای جذبی یک اثره آبگرم، ساخت شرکت ساری پویا

ظرفیت نامی (tbr)	40	50	60	70	80	90
دبی آب‌سرد (gpm)	96	120	144	168	192	216
دبی آب برج خنک‌کننده (gpm)	251	313	376	438	501	564
دبی آبگرم برای ژنراتور (gpm)	154.4	193	232	270	309	347
توان پمپ محلول (kW)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.2
توان پمپ مبرد (kW)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.1
توان پمپ خلاء (kW)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
توان الکتریکی کل (kW)	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	3.5
وزن دستگاه (kg)	2800	3000	3500	4000	4500	5000

دمای ورود و خروج آب‌سرد اواپراتور: 44°F- 54°F (6.7°C- 12.2°C)

دمای ورود و خروج آب برج خنک‌کننده: 85°F- 95°F (29.5°C- 35°C)

دمای ورود و خروج آبگرم: 184°F- 194°F (90°C- 84.5°C)

مرجع: کاتالوگ شرکت ساری پویا (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات چیلر جذبی دواثره، ساخت شرکت ساری پویا

ظرفیت (tbr)	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	800	1000	1200	1400
دبی آب‌سرد (gpm)	252	362	485	598	694	792	910	1015	1135	1414	1798	2309	2873	3091
دبی آب برج خنک‌کننده (gpm)	475	683	914	1126	1307	1493	1715	1914	2140	2665	3388	4352	5415	5827
مصرف بخار (kg/hr)	501	720	964	1188	1379	1574	1808	2018	2256	2810	3573	4589	5710	6144
توان الکتریکی کل (kW)	6.45	6.8	6.8	8	8.4	8.4	10.3	13.5	13.5	13.5	16.9	20	22.5	22.5
طول دستگاه (mm)	3490	4500	5300	5000	5500	6500	6500	6500	6500	6500	6700	6700	6700	6700
عرض دستگاه (mm)	1750	2100	1820	2170	2190	2220	2240	2520	2300	2300	2350	2550	3000	3220
ارتفاع دستگاه (mm)	2450	2450	2450	2930	3100	3100	3100	3200	3450	3450	4000	4000	4200	4200

دمای ورود و خروج آب‌سرد اواپراتور: 44°F- 54°F (6.5°C- 12°C)
دمای ورود و خروج آب برج‌خنک‌کننده: 85°F- 95°F (29.5°C- 35°C)
فشار بخار:120 psig

مرجع: کاتالوگ شرکت ساری پویا (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات چیلر جذبی شعله مستقیم، ساخت شرکت ساری پویا

ظرفیت سرمایشی (tbr)	30	50	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	800	1000
ظرفیت گرمایشی ($X10^3$ k cal/hr)	75	115	177	215	353	460	598	733	843	980	1118	1225	1500	2020	2510
دبی آب‌سرد (m^3/hr)	17	28	38	57	82	110	136	158	180	207	231	258	321	408	525
دبی آبگرم (m^3/hr)	9.4	14.5	22	27	44	57.5	75	91.5	105.5	122.5	140	153	187.5	252.5	314
دبی آب برج خنک‌کننده (m^3/hr)	33	54	74	111	161	215	265	307	351	402	449	502	626	796	1021
مصرف گاز (Nm^3/hr)	12.3	20	27.5	41.5	60	80	99	114	130.5	149.5	167	187	233	296.5	380
توان مصرفی برق (kW)	2	2	3	3	4	6	7	10	12	14	15	15	20	23	25
طول دستگاه (mm)	2500	2600	3500	3500	4500	5300	5300	5500	6500	6500	6500	6500	6500	6610	6610
عرض دستگاه (mm)	2200	2650	2700	2800	2800	2800	2800	3300	3300	3300	3400	3400	3400	3500	3500
ارتفاع دستگاه (mm)	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2725	2900	2940	2940	3100	3300	3300	4000	4000
وزن دستگاه (ton)	4.5	5.3	6.5	8.5	10	13	16	17.5	20	22	28	32	35	40	48
دبی دود (m^3/hr)	148	220	330	420	700	860	1200	1400	1600	1800	2000	2300	2800	3600	4500

دمای آبگرم ورودی و خروجی 149°F -134.6°F (65°C- 57°C)
ارزش گرمایی گاز برابر 9000 kcal/m^3 در نظر گرفته شده است.

دمای آب‌سرد ورودی و خروجی 54°F - 44°F (12.2°C- 6.7°C)
دمای آب برج خنک‌کننده 95°F- 85°F (35°C- 29.4°C)

مرجع: کاتالوگ شرکت ساری پویا (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی این شرکت و یا به به‌روز ترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

۳-۱۴

چیلر تراکمی

خنک‌کننده‌های تراکمی از نظر کمپرسور، کندانسور، اواپراتور، نوع کاربری، نوع مبرد و ظرفیت بسیار متنوع و گوناگون هستند، اما نام چیلر تراکمی بیشتر در مورد نوعی از آنها که دارای اواپراتور آبی هستند به کار می‌رود. در حالی که این گونه خنک‌کننده‌ها را از نظر کندانسورو اواپراتور می‌توان در چهار گونه زیر طبقه‌بندی کرد:

گروه یک: خنک‌کننده تراکمی با اواپراتور و کندانسور آبی که در آن اواپراتور آب را خنک می‌کند و کندانسور نیز با آب خنک می‌شود.

این گروه که اغلب از آن با همان نام چیلر تراکمی یاد می‌شود در ظرفیت‌های زیاد و به صورت مرکزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گروه دو: خنک‌کننده تراکمی با اواپراتور آبی و کندانسور هوایی که در آن اواپراتور آب را خنک می‌کند و کندانسور با هوا خنک می‌شود. این گروه نیز به طور معمول چیلر تراکمی خوانده می‌شود و به صورت مرکزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این نوع چیلر ممکن است یک‌تکه و یا دوتکه باشد که استفاده از نوع دوتکه آن رایج‌تر است. درنوع دوتکه کمپرسور و اواپراتور به صورت یک مجموعه در موتورخانه نصب شده و کندانسور در هوای آزاد قرار می‌گیرد.

درنوع یک‌تکه یا یک‌پارچه، هر سه جز اصلی چیلر بر روی یک شاسی

و در هوای آزاد قرار می‌گیرند. اســـتفاده از نوع دوتکه این گروه بسیار رایج‌تر از نوع یک‌تکه آن است.

گروه ســـه: خنک‌کننده تراکمی با اواپراتور و کندانسور هوایی که در آن اواپراتور هوا را خنک می‌کند و کندانسور نیز با هوا خنک می‌شود.

این گروه اغلب به صورت محلی و با ظرفیت‌های کمتری نســـبت به دو گروه یک و دو مورد استفاده قرار می‌گیرند و علیرغم اینکه نوعی خنک‌کننده تراکمی محسوب می‌شوند استفاده از نام چیلر تراکمی برای آنها رایج نیست و اغلب با نام پکیج یونیت سرمایی تراکمی و یا واحد یکپارچه تراکمی از آنها یاد می‌شود. کولرهای پنجره‌ای که به کولرهای گازی معروف شده‌اند نمونه بارزی از این گروه محسوب می‌شوند.

انعطاف‌پذیری ســـاختاری این گروه ســـبب شـــده تا بتوان ترکیب‌های متنوعی از آنها را برای کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار داد.

خنک‌کننده‌های تراکمی گروه سه را می‌توان به طور کلی در دو زیر گروه یک‌تکه و دوتکه طبقه‌بندی نمود.

در نوع یک‌تکه هر ســـه جز اصلی کمپرسور، کندانسور و اپراتور در یک قاب قرار می‌گیرند و هوای خنک به وسیله کانال در اختیار فضا یا فضاهای مورد نظر قرار می‌گیرد. واحدهای پشت بامی نمونه‌ای از این گونه هستند.

در نوع دوتکه اواپراتور از مجموعه کندانسور و کمپرسور که کندانسینگ یونیت نامیده می‌شود جداشده و در محل مورد تهویه یا در نزدیکی آن قرار می‌گیرد. در نوعی از سیســـتم‌های تراکمی دوتکه گروه سه، اواپراتور نقش کوئل یک هواســـاز را بازی می‌کند که به همین دلیل این گونه هواسازها، هواساز با کوئل انبساط مستقیم خوانده می‌شوند. در گونه‌ای دیگری ممکن است اواپراتور به طور مستقیم در فضای مورد تهویه نصب شود، که کولرهای گازی دوتکه نمونه‌ای از این گروه هســـتند و در بعضی دیگر ممکن اســـت اواپراتور نقـــش کوئل یک فن‌کوئل کانالی را به عهـــده گرفته و با نصب در نقطه‌ای از فضای ســـقف کاذب، هوای خنـــک را به کمک کانال در اختیار فضای مورد تهویه قرار دهد.

گروه چهار: خنک‌کننده تراکمی با اواپراتور هوایی و کندانسور آبی که در آن اواپراتور هوا را خنک می‌کند و کندانسور با آب خنک می‌شود. استفاده از این نوع برای سرمایش ساختمان‌ها چندان معمول نیست؛ اما برای سردخانه‌های بزرگ و پرظرفیت دستگاه مناسبی محسوب می‌شود.

فارغ از گروه‌بندی فوق، خنک‌کننده‌های تراکمی متناسب با نوع کاربری و ظرفیت می‌توانند دارای کمپرسورهای سیلندر - پیستونی، گریز از مرکز، پیچی و یا اسکرول باشند.

جدول زیر کلیاتی را به صورت عمومی و تقریبی در مورد خنک‌کننده‌های تراکمی گروه یک و دو ارائه می‌کند. مبنای تعیین دقیق هر یک از مقادیر تنها از طریق محاسبه و مراجعه به کاتالوگ کارخانجات سازنده و همچنین در نظر گرفتن شرایط ویژه طراحی میسر است.

انرژی الکتریکی مورد نیاز چیلر تراکمی:	0.8 - 1 کیلو وات به ازای هر تن تبرید
شارژ گاز مبرد	3 پوند به ازای هر تن تبرید
دبی آب سرد (رفت و برگشت به ساختمان):	2.4 گالن در دقیقه به ازای هر تن تبرید
دبی آب خنک‌کننده کندانسور (رفت و برگشت برج خنک‌کننده)	3 گالن در دقیقه به ازای هر تن تبرید
دمای آب سرد رفت به ساختمان:	44°F (6.7 °C)
دمای آب برگشت از ساختمان:	54°F (12.2 °C)
دمای آب خروجی از کندانسور:	95°F (35 °C)
دمای آب ورودی به کندانسور:	85°F (29.4 °C)

میانگین ظرفیت کمپرسورهای تبرید برحسب Btu/hr

در جدول زیر میانگین ظرفیت و توان کمپرسورهای تبرید بر اساس دمای تبخیر در اواپراتور و دمای تقطیر در کندانسور گرد آمده است.

توان (hp)	دمای تبخیر (°F)			
	-30		-15	
	دمای تقطیر (°F)			
	110	120	110	120
2	5200	4500	9100	8200
3	9000	8300	14300	13200
5	14200	12500	24800	22400
7 1/2	25000	20000	31000	28000
10	31000	26000	43600	44800
15	42600	37500	74400	67200
20	56000	44700	82000	71000
25	70000	56000	96000	85000
30	80000	67000	116500	102500
40	94000	75000	155000	135000
50	122000	100000	188500	159500
60	168000	134000	240000	220000
70	196000	156000	272000	239000
75	210000	167000	291000	256000
80	224000	178000	310000	273000
90	252000	201000	349000	307000
100	280000	223000	388000	341000

میانگین ظرفیت کمپرسورهای تبرید برحسب Btu/hr

در جدول زیر میانگین ظرفیت و توان کمپرسورهای تبرید بر اساس دمای تبخیر در اواپراتور و دمای تقطیر در کندانسور گرد آمده است.

دمای تبخیر (°F)				
+40		+20		
دمای تقطیر (°F)				
120	110	120	110	توان (hp)
21200	22800	16800	18000	2
34200	36300	20800	22100	3
58500	62400	39300	41700	5
81700	87000	48000	53000	$7\ ^{1}/_{2}$
112000	120000	75000	81000	10
160000	171600	102000	111000	15
218000	235000	142000	154000	20
263000	283000	174000	188000	25
324000	349000	210000	225000	30
406000	439000	306000	325000	40
550000	585000	350000	375000	50
670000	710000	420000	450000	60
742000	800000	534000	571000	70
795000	855000	542000	582000	75
842000	900000	578000	622000	80
955000	1027000	700000	750000	90
1100000	1170000	723000	777000	100

قطر لوله پیشنهادی برای خط مایع R-22 در سیستم‌های تبرید تراکمی

ظرفیت Btu (tons)	به طول 50 فوت (قطر برحسب اینچ)	به طول 100 فوت (قطر برحسب اینچ)
36000 (3)	1/2	1/2
48000 (4)	1/2	5/8
60000 (5)	1/2	5/8
75000 (6.25)	1/2	5/8
100000 (8.33)	5/8	7/8
150000 (12.5)	7/8	7/8
200000 (16.6)	7/8	7/8
300000 (25)	1 1/8	1 1/8

قطر لوله پیشـــــنهادی برای خط مایع R-22 در سیستم‌های تبرید تراکمی تحت دمای تبخیر 40°F

	به طول 50 فوت		به طول 100 فوت	
ظرفیت Btu (tons)	افقی	عمودی	افقی	عمودی
24000 (2)	7/8	7/8	7/8	7/8
36000 (3)	7/8	7/8	1 1/8	7/8
48000 (4)	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
60000 (5)	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
75000 (6.25)	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8
100000 (8.33)	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8
150000 (12.5)	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8
200000 (16.6)	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8
300000 (25)	2 1/8	2 1/8		2 1/8

SOURCE: HVAC/R PROFESSIONAL REFRGNCE-MASTER EDITION-PAUL ROSENBGRG.

افت فشار مجاز در خطوط دهش و مکش کمپرسور

	مبرد	(R - 12)	1.8 psi
خط مکش:	مبرد	(R - 22)	2.9 psi
	مبرد	(R - 500)	2.2 psi
	مبرد	(R - 12)	1.8 - 3.8 psi
خط دهش:	مبرد	(R - 22)	2.9 - 6 psi
	مبرد	(R - 500)	2.2 - 4.6 psi

دامنه ظرفیت چیلرهای تراکمی

نوع کمپرسور چیلر تراکمی	دامنه ظرفیت نامی (kW)	مبرد مورد استفاده	دامنه بازده در بار کامل (kW/ton)
رفت‌وآمدی (سیلندر- پیستونی)	50 - 1750	R - 22	0.8 - 1.00
پیچی	160 - 2350	R - 22 و R 134a	0.60 - 0.75
اسکرول	30 - 200	R - 22	0.81 - 0.92
گریز از مرکز	500 - 18000	R - 123 و R 134a	0.50 - 0.70

SOURCE: AIR CONDITIONING SYSTEMS- DENNIS L.ONEAL AND JOHN A.BRYANT.

ضریب کارایی و مصرف برق چیلر تراکمی

نوع	مصرف برق (کیلووات به ازای هر تن تبرید)	ضریب کارایی
گریز از مرکز	0.55 - 0.85 kW/ton	4.14 - 6.39
رفت‌وآمدی	0.90 - 1.30 kW/ton	2.70 - 3.90
دوار	1.00 - 1.50 kW/ton	1.34 - 3.50

SOURCE: HVAC EQUATION، DATA AND RULES OF THUMB. ARTHUR A.BELL

مشخصات عمومی چیلرهای تراکمی

نوع کمپرسور	دور rpm	دامنه ظرفیت ton	نوع مبرد	فشار در سمت تبخیر psia	فشار در سمت تقطیر psia	خنک کن کندانسور
رفت‌وآمدی نیم بسته	1750	20 - 200	R - 22	43	173	آب
رفت‌وآمدی باز	1750	20 - 150	R - 22	43	173	آب
رفت‌وآمدی نیم بسته	1750	20 - 200	R - 22	43	173	هوا
رفت‌وآمدی باز	1750	20 - 100	R - 134A	24	112	هوا
دوار بسته	3500	50 - 460	R - 22	43	173	آب
دوار باز	3500	120 - 750	R - 22	43	173	آب
گریز از مرکز بسته با محرک مستقیم	3500	100 - 2000	R - 123	-2.3	16	آب
گریز از مرکز باز گیربکسی	5000 - 7500	150 - 8000	R - 123 R134A	-2.3،24	16،112	آب
گریز از مرکز بسته گیربکسی	6000 - 20000	100 - 2000	R - 123 R134A	-2.3،24	16،112	آب

SOURCE: MECHANICAL AND ELECTRICAL SYSTEMS IN BUILDINGS - WILLIAM.Y. TAO-RICHARD R. JANIS

ظرفیت سنجی چیلر تراکمی

$$\text{ظرفیت چیلر برحسب تن تبرید} = \frac{\text{اختلاف دمای آب رفت و برگشت (°F)} \times \text{دبی آب (gpm)}}{24}$$

تعیین دبی کندانسور

$$\text{دبی آب کندانسور gpm} = \frac{\text{ظرفیت چیلر (تن تبرید)} \times 30}{\text{اختلاف دمای آب رفت و برگشت (°F)}}$$

معمولا اختلاف دما، معادل 10°F در نظر گرفته می‌شود. بنابراین رابطه بالا به شکل زیر ساده می‌شود:

$$\text{gpm} = 3 \times \text{ton}$$

تعیین ظرفیت کندانسور

ظرفیت کندانسور تقریبا 3000 Btu/hr به ازای هر تن بیشتر از اواپراتور است:

$$ton_{COND.} = ton_{EVAP.} \times 1.25$$

$$12000\ Btu/hr \times 1.25 = 15000\ Btu/hr.ton$$

بنابراین الکتروموتور کندانسورهای هوایی چیلرهای تراکمی باید بر اساس 15000 Btu/hr به ازای هر تن تبرید تعیین شود.

ظرفیت سرمایشی و دبی آب سرد اواپراتور در چیلر تراکمی

1. دمای آب خروجی از اواپراتور: 46°F - 42
2. اختلاف دمای آب رفت و برگشت: 20°F - 10
3. دبی 2.4 gpm/ton با اختلاف دمای 10°F
4. دبی 2.0 gpm/ton با اختلاف دمای 12°F
5. دبی 1.5 gpm/ton با اختلاف دمای 16°F
6. دبی 1.2 gpm/ton با اختلاف دمای 20°F
7. ظرفیت 5000 gpm /Btu با اختلاف دمای 10°F
8. ظرفیت 6000 gpm /Btu با اختلاف دمای 12°F
9. ظرفیت 8000 gpm /Btu با اختلاف دمای 16°F
10. ظرفیت 10000 gpm /Btu با اختلاف دمای 20°F
11. ضریب رسوب‌گذاری براساس استاندارد ARI:

$0.00010\ Btu/hr.ft^2.°F$

12. حداقل و حداکثر سرعت جریان در چیلرهای سرعت متغیر:

3.0 - 12.0 fps (فوت در ثانیه)

ظرفیت و دبی آب خنک‌کننده کندانسور در چیلر تراکمی

1- دمای آب ورودی: 85°F
2- اختلاف دمای آب رفت و برگشت: 20°F - 10
3- اختلاف دمای معمول: 10°F

4- دبی 3.0 gpm/ton با اختلاف دمای 10°F

5- دبی 2.5 gpm/ton با اختلاف دمای 12°F

6- دبی 2.0 gpm/ton با اختلاف دمای 15°F

7- دبی 1.5 gpm/ton با اختلاف دمای 20°F

8- ظرفیت 5000 gpm /Btu با اختلاف دمای 10°F

9- ظرفیت 6000 gpm /Btu با اختلاف دمای 12°F

10- ظرفیت 7500 gpm /Btu با اختلاف دمای 15°F

11- ظرفیت 10000 gpm /Btu با اختلاف دمای 20°F

12- ضریب رسوب‌گذاری براساس استاندارد ARI:

0.00025 Btu/hr .ft^2.°F

سیستم‌های ذخیره‌سازی آب سرد

1- با اختلاف دمای 10°F:

(A) 19.3 ft^3/ton.hr

(B) 623.1 Btu/ft^3؛ 83.3 Btu/gal

2- با اختلاف دمای 12°F:

(A) 16.1 ft^3/ton.hr

(B) 747.7 Btu/ft^3؛ 100.0 Btu/gal

3- با اختلاف دمای 16°F:

(A) 12.4 ft^3/ton.hr

(B) 996.9 Btu/ft^3؛ 133.3 Btu/gal

انباره یخ

برای هر یک درجه فارنهایت کمتر از 32°F:

(A) 144 Btu/lb. @32°F + 0.48 Btu/lb.

(B) 3.2 ft^3/ton.hr

برای طراحی انباره یخ فقط ظرفیت گرمای نهان یخ باید مورد توجه قرار گیرد.

شرایط عمومی کارکرد کندانسور آبی

دمای آب ورودی: 85°F

دمای آب خروجی: 95°F

دبی معمول با اختلاف دمای 10°F: 3 gpm/ton

کاهش دمای یک درجه فارنهایت موجب افزایش بازده چیلر به میزان 1 تا 1.2 درصد خواهد شد.

تخمین دبی هوای کندانسور هواخنک

حداقل دبی هوای خنک‌کننده کندانسور به ازای هر تن تبرید ظرفیت چیلر تراکمی، 1000 فوت‌مکعب در دقیقه (cfm) در نظر گرفته می‌شود.

تخمین ابعاد و وزن چیلرهای تراکمی

چیلرهای تراکمی تا 160 تن تبرید نامی:

حداکثر ارتفاع تقریبی: 220 cm

حداکثر عرض تقریبی: 100 cm

حداکثر طول تقریبی: 350 cm

تخمین وزن چیلر با کندانسور آبی: به ازای هر تن تبرید حداقل 30 kg

تخمین وزن چیلر بدون کندانسور آبی (کندانسور هوایی): به ازای هر تن تبرید حداقل 20 kg

مشخصات چیلر تراکمی با کندانسور آبی (خنک‌کننده گروه یک)

ساخت شرکت تهویه

ظرفیت سرمایش نامی (tbr)	ظرفیت سرمایش واقعی (tbr)	توان ورودی (kW)	تعداد کمپرسور	توان کمپرسور (hp)	وزن مبرد R– 22 (kg)	شارژ روغن (lit)	وزن در حال کار (kg)	طول (in)	عرض (in)	ارتفاع (in)
20	19.0	14.8	2	10	20	3.0	1180	109	43	67
30	27.2	22.2	2	15	32	3.0	1409	101	48	70
40	33.5	25.4	2	20	40	4.0	1529	109	48	70
50	41.5	32.0	2	25	45	4.5	1694	117	48	70
60	48.4	40.0	2	30	48	4.5	1712	125	48	70
70	60.5	46.7	2	35	51	4.8	2149	109	51	76
80	71.0	57.6	2	40	55	4.8	2184	117	51	78
100	82.3	67.5	2	50	60	4.8	2298	125	51	83
120	99.5	82.0	2	60	68	7.5	3214	121	61	87
140	122.2	94.1	4	35	71	4.8	3458	129	61	83
160	141.8	115.6	4	40	76	4.8	3658	137	61	85
200	169.4	131.7	4	50	80	4.8	3814	144	61	91

مرجع: کاتالوگ شـــرکت تهویه (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات چیلر تراکمی با کندانسور هوایی (خنک‌کننده گروه دو)

ساخت شرکت تهویه

ظرفیت سرمایش نامی (tbr)	ظرفیت سرمایش واقعی (tbr)	توان ورودی (kW)	تعداد کمپرسور	توان کمپرسور (hp)	وزن مبرد R-22 (kg)	شارژ روغن (lit)	وزن در حال کار (kg)	طول (in)	عرض (in)	ارتفاع (in)
20	16.8	16.9	2	10	8	3.0	800	109	43	59
30	24.4	24.9	2	15	9	3.0	977	101	48	62
40	28.2	28.3	2	20	10	4.0	1084	109	48	62
50	35.8	35.9	2	25	11	4.5	1182	117	48	62
60	41.9	43.7	2	30	12	4.5	1209	125	48	62
70	52.9	53.4	2	35	15	4.8	1354	109	51	68
80	61.8	64.6	2	40	19	4.8	1460	117	51	70
100	71.7	75.2	2	50	22	4.8	1523	125	51	75
120	86.4	90.6	2	60	26	7.5	2114	121	61	79
140	106.8	107.2	4	35	30	4.8	2280	129	61	75
160	124.8	127.7	4	40	35	4.8	2338	137	61	77
200	148.3	148.9	4	50	40	4.8	2414	144	61	83

مرجع: کاتالوگ شـــرکت تهویه (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات نوعی خنک‌کننده تراکمی یکپارچه (گروه سه، اواپراتور هوایی و کندانسور هوایی)، ساخت شرکت سرما آفرین

ظرفیت سرمایشی (Btu/hr)	هوادهی اواپراتور (cfm)	توان موتور کمپرسور (kW)	توان فن اواپراتور (hp)	توان فن کندانسور (hp)	طول (ft–in)	عرض (ft– in)	ارتفاع (ft– in)	وزن (lb)
70000	2000	6.7	3/4	1/3	5 - 6 3/8	3 - 5 1/2	2 - 5 3/4	702
96000	3400	9.1	1	1/2	6 - 1 3/4	3 - 5 1/2	2 - 9	860
118000	4000	12.5	2	1/2 ea	7 - 6 1/4	3 - 8 1/8	3 - 9 3/4	1420
158000	6000	14.2	3	1/2 ea	9 - 10 1/4	3 - 8 1/8	3 - 9 3/4	1700
209000	8000	19.0	5	1ea	9 - 5 1/2	6 - 1 1/2	4 - 8 1/4	2425
266000	10000	27.5	7 1/2	1ea	9 - 5 1/2	6 - 1 1/2	4 - 8 1/4	2550

دمای مرطوب هوای ورودی به اواپراتور: 67°F
دمای خشک هوای ورودی به کندانسور: 95°F

نوع فن اواپراتور: گریز از مرکز
نوع فن کندانسور: جریان محوری

نوع کمپرسور: سیلندر- پیستونی
نوع ماده مبرد: R-22

مرجع: کاتالوگ Single- PaCkage cooling Units- 50DA شرکت سرما آفرین (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یه به روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات نوعی خنک‌کننده تراکمی یکپارچه (گروه چهار، اواپراتور هوایی و کندانسور آبی)، ساخت شرکت سرما آفرین

ظرفیت سرمایشی (Btu/hr)	هوادهی اواپراتور (cfm)	توان موتور کمپرسور (kW)	توان فن اواپراتور (hp)	توان فن کندانسور (hp)	طول (ft–in)	عرض (ft– in)	ارتفاع (ft– in)	وزن (lb)
82000	3000	6.1	1	7	4 - 0	2 - $6^{1}/_{8}$	6-5	770
110000	4000	7.5	2	11	4 - 0	2 - $6^{1}/_{8}$	6-5	950
165000	6000	12.2	2	17	6 - 8	2 - $5^{1}/_{4}$	6 - $10^{1}/_{2}$	1414
214000	8000	14.9	3	21	6 - 8	2 - $5^{1}/_{4}$	6 - $10^{1}/_{2}$	1894
272000	10000	19.7	5	28	7 - $9^{1}/_{4}$	2 - $11^{1}/_{4}$	8 - $^{1}/_{8}$	2491
329000	12000	24.7	5	34	7 - $9^{1}/_{4}$	2 - $11^{1}/_{4}$	8 - $^{1}/_{8}$	2598
433000	16000	32.1	$7^{1}/_{2}$	43	10 - $6^{3}/_{8}$	3 - $10^{1}/_{4}$	8 - 10	3800

دمای مرطوب و خشک ورودی به اواپراتور: 67°F - 80°F
دمای آب ورودی به کندانسور: 75°F
دمای کندانسور: 105°F

این نوع خنک‌کننده با کندانسور هوایی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این صورت بین 5 تا 10 درصد از ظرفیت نامی کل تحت همین شرایط کاسته می‌شود.

مرجع: *کاتالوگ Single- PaCkage cooling Units- 50BA شرکت سرما آفرین*

مشخصات نوعی کندانسور هوایی، ساخت شرکت سرما آفرین

ظرفیت (tbr)	تعداد فن	ردیف فن	سطح فشار صورت در فاصله 33ft (dB)	طول (in)	عرض (in)
22.5	2	1	59	97	47.5
28.7	2	1	59	97	47.5
32.1	2	1	59	97	47.5
33.9	3	1	61	144	47.5
43.1	3	1	61	144	47.5
48.2	3	1	61	144	47.5
45.1	4	1	62	191.5	47.5
57.4	4	1	62	191.5	47.5
64.2	4	1	62	191.5	47.5
45.1	4	2	62	97	92.5
57.4	4	2	62	97	92.5
64.2	4	2	62	97	92.5
67.7	6	2	64	144	92.5
86.1	6	2	64	144	92.5
96.3	6	2	64	144	92.5
90.2	8	2	65	191.5	92.5
114.9	8	2	65	191.5	92.5
128.5	8	2	65	191.5	92.5

ظرفیت‌های فوق بر اســاس دمای محیط 77°F، مبرد R-22، ارتفاع از ســطح دریا 0ft و اختلاف دمای 27°F بین دمای تقطیر و دمای هوای ورودی به کندانسور تعیین شده است. برای شرایط دیگر می‌باید از ضرایب تصحیح زیر استفاده نمود.

- ضریب تصحیح برای دمای محیط:(1.032) 60°F، (1.014) 70°F، (0.993) 80°F، (0.971) 90°F، (0.949) 100°F، (0.929) 110°F و (0.91) 120°F
- ضریب تصحیح برای Δt (اختلاف دمای تقطیر و دمای ورودی کندانسور): (0.555) 15°F، (0.741) 20°F، (0.926) 25°F، (1.111) 30°F و (1.296) 35°F
- ضریب تصحیح برای مبردهای دیگر: R- 134A(0.954)، R- 502(0.975)
- ضریب تصحیح برای ارتفاع:1000ft(0.980)، 2000ft(0.959)، 3000ft(0.936)، 4000ft(0.917)، 5000ft(0.896)، 6000ft(0.875)، 7000ft(0.854)، 8000ft(0.834)
- توان موتور هر فن: 2000 وات ولتاژ: سه‌فازه 400 ولت

۳-۱۵

مبردها

مبردها دامنه وســـیعی از مواد، از آب گرفته تا انواع کلروفلوئورکربن‌ها را شامل می‌شـــوند. مبرد در چیلرهای تراکمی از نوع کلروفلوئورکربن است که استفاده از آنها به دلیل تاثیرات نامطلوب بر لایه ازن ممنوع اعلام شده است. در هر حال مبردهایی همچون R -11، R -12 و R -22 از جمله مبردهایی هستند که علی‌رغم ممنوعیت استفاده از آنها، همچنان مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ اما در عین حال چند ســـالی است که مبردهای جدیدی به عنوان مبردهای جایگزین در خنک‌کن‌های تراکمی به کار می‌روند. مبردهایی چون Care 30، R - 470، R - 407، R - 404، R - 134 و ایزوبوتان از این جمله‌اند. البته پیش از رواج انـــواع فرئون‌ها، آمونیاک به عنوان ماده مبرد در خنک‌کن‌های تراکمی مورد استفاده قرار می‌گرفت که امروزه نیز در حد محدود و برای سردخانه‌های صنعتی همچنان استفاده می‌شود. در سیســـتم‌های جذبی لتیمی، آب به عنوان مبرد مورد اســـتفاده قرار می‌گیـــرد و در انواع کم‌ظرفیت آمونیاک به عنوان مبرد و آب به عنوان ماده جاذب به کار گرفته می‌شوند.

مشخصات برخی مبردها

مبرد	دمای جوش °C	دمای بحرانی °C	ویژگی	کاربرد
فریون - 12 CCL_2F_2	-30	112	غیر قابل اشتعال غیر خورنده پایدار مخرب لایه ازن	برای سیستم‌های کوچک با کمپرسور رفت وآمدی
فریون -11 CCL_3F	9	198	غیر قابل اشتعال غیر خورنده پایدار مخرب لایه ازن	برای سیستم‌های بزرگ تجاری، کمپرسورهای گریز از مرکز
فریون - 22 $CHCLF_2$	-41	96	غیر قابل اشتعال غیر سمی غیر خورنده پایدار مخرب لایه ازن	برای واحدهای خنک کننده یک پارچه وکمپرسورهای رفت وآمدی
فریون - 500 CCL_2F_2 (74%) CH_3CHF_2 (26%)	-38	-	غیر قابل اشتعال غیر خورنده پایدار مخرب لایه ازن	مناسب برای سیستم‌هایی که برای فرکانس 60HZ طراحی شده‌اند اما با فرکانس 50HZ کار می‌کنند. تقریبا با 20 درصد ظرفیت تبرید بیشتر نسبت به R-12
فریون - 502 $CHCLF_2$ (50%) CCLF2CF3 (50%)	-46	90	غیر قابل اشتعال غیرسمی غیر خورنده	برای دماهای پایین
آمونیاک NH_3	-33	133	بوی نافذ، قابل حل در آب، تا0.33% بی‌ضرر، غیر قابل اشتعال، با مخلوط مناسبی از هوا قابل انفجار است. تاثیرات اندک گلخانه‌ای بدون اثرمخرب بر لایه ازن	تاسیسات صنعتی بزرگ- سردخانه‌های بزرگ
R - 134A CF_3CH_2F	-26	101	بدون اثر مخرب بر لایه ازن	تهویه‌مطبوع صنعتی، تبرید خانگی و جایگزین R12

← ادامه

مشخصات برخی مبردها (ادامه)

مبرد	دمای جوش °C	دمای بحرانی °C	ویژگی	کاربرد
R 404A CF_3CHF_2(44٪) CF_3CH_3(52٪) CF_3CH_2F (4٪)	-46	72	غیر قابل اشتعال با درجه سمی کم بدون تاثیرات مخرب بر لایه ازن	سردخانه ها و جایگزین مبرد R502
R 407A CH_2F_2(20٪) CHF_2CF_3(40٪) CF_3CH_2F(40٪)	-42	83	غیر قابل اشتعال با درجه سمی کم بدون تاثیرات مخرب بر لایه ازن	برای دماهای پایین و جایگزین مبرد 502 - R
R 407C CH_2F_2(23٪) CHF_2CF_3(25٪) CF_3CH_2F(52٪)	-43	87	غیر قابل اشتعال با درجه سمی کم بدون اثر مخرب بر لایه ازن	سیستم‌های تهویه‌مطبوع و پمپ‌های حرارتی و جایگزین مبرد22 - R
R410A CH_2F_2(50٪) CF_3CHF_2(50٪)	-52	72	غیرقابل اشتعال با درجه سمی کم بدون تاثیرات مخرب بر لایه ازن غیر خورنده	پمپ‌های حرارتی، واحدهای تهویه‌مطبوع و سردخانه‌ها
R507 CF_3CHF_2(50٪) CF_3CH_3(50٪)	-47	71	بدون تاثیرات مخرب بر لایه ازن غیر خورنده با درجه سمی کم	برای سیستم‌هایی با دمای پایین و متوسط و جایگزین مبرد R502
R290 (CARE 40) $CH_3CH_2CH_3$ (پروپان)	-42	97	بدون تاثیرات مخرب بر لایه ازن با اثرات گلخانه‌ای اندک، غیرسمی قابل اشتعال	سیستم‌های تبرید صنعتی و تجاری، پمپ‌های حرارتی و جایگزین مبردهای R22 و R502
R170 (CARE 50) $CH_3CH_2CH_3$ CH_3CH_3	-49	79	بدون تاثیرات مخرب بر لایه ازن با اثرات گلخانه‌ای اندک غیرسمی قابل اشتعال	تبرید فرایندهای صنعتی-تهویه‌مطبوع، پمپ‌های حرارتی جایگزین مبردهای R22 و R502

← ادامه

مشخصات برخی مبردها (ادامه)

مبرد	دمای جوش °C	دمای بحرانی °C	ویژگی	کاربرد
R600A (CARE 10) $CH(CH_3)_3$ (ایزو بوتان)	-12	135	بدون تاثیرات مخرب بر لایه ازن با اثرات گلخانه‌ای اندک غیرسمی قابل اشتعال	برای شارژ کمپرسورهای بسته کوچک و سیستم‌های تبرید خانگی
(CARE 30) $CH(CH_3)_3$ $CH_3CH_2CH_3$	-32	106	بدون تاثیرات مخرب بر لایه ازن با اثرات گلخانه‌ای اندک غیرسمی قابل اشتعال	یخچال‌ها و آب سردکن‌ها و جایگزین مبرد R12

خواص برخی مبردهای پراستفاده

مبرد	جرم مولکولی	نقطه جوش در فشار 14.7 psia (°F)	نقطه انجماد (°F)
R - 11	137.38	74.87	-168.0
R - 12	120.93	-21.62	-252.0
R - 13	104.47	-114.60	-294.0
R - 22	86.48	-41.36	-256.0
R - 113	187.39	117.63	-31.0
R - 114	170.94	38.80	-137.0
R - 134A	102.03	-15.08	-141.9
R - 500	99.31	-28.30	-254.0
R - 502	111.63	-49.80	-
R - 503	87.50	-127.60	-
R - 717 (آمونیاک)	17.03	-28.00	-107.9

کاربرد مبردها

نوع مبرد	نوع کمپرسور	کاربردها
R - 11	گریز از مرکز	سیستم‌های برودتی پرظرفیت از 200 تا 2000 تن تبرید و فرایندهای صنعتی
R - 123	گریز از مرکز	جایگزین R - 11
R - 12	رفت‌وآمدی گریز از مرکز دوار	سیستم‌های برودتی خانگی مانند یخچال‌ها و کولرهای پنجره‌ای و کولرهای اتومبیل
R - 134A	مانند R - 12	جایگزین R - 12
R - 401A	مانند R - 12	جایگزین R - 12
R - 22	رفت‌وآمدی گریز از مرکز دوار	سیستم‌های تجاری و خانگی و تاسیسات تهیه غذاهای منجمد
R - 500	رفت‌وآمدی گریز از مرکز	سیستم‌های کوچک خانگی و تجاری
R - 502	رفت‌وآمدی	تهیه غذاهای منجمد، یخچال‌های ویترینی، تهیه بستنی و پمپ‌های حرارتی و سیستم‌های تبرید تریلرها و کامیون‌های حمل مواد غذایی
R - 407A	مانند R - 502	جایگزین R - 502
R - 407B	مانند R - 502	جایگزین R - 502
R - 507A	مانند R - 502	جایگزین R - 502
R - 503	رفت‌وآمدی	سیستم‌های دمای پایین تا (130- °F) (90- °C)
R - 13	رفت‌وآمدی	سیستم‌های دمای پایین تا (130- °F) (90- °C)
R - 113	گریز از مرکز	سیستم‌های کوچک و متوسط، سرمایش صنعتی و تهیه و ذخیره‌سازی مواد غذایی منجمد

SOURCE: HVAC/R PROFESSIONAL REFRENCE-MASTER EDITION-PAUL ROSENBERG.

فشار مبردها در دماهای مختلف

فشار در سطح دریا برحسب (psig)

دما (°F)	R-12	R-22	R-502	آمونیاک (R-717)
-40	11.0*	0.5	4.1	8.7*
-35	8.4*	2.6	6.5	5.4*
-30	5.5*	4.9	9.2	1.6*
-25	2.3*	7.4	12.1	1.3
-20	0.6*	10.1	15.3	3.6
-15	2.4	13.2	18.8	6.2
-10	4.5	16.5	22.6	9.0
-5	6.7	20.1	26.7	12.2
0	9.2	24.6	31.1	15.7
5	11.8	28.2	35.9	18.6
10	14.6	32.8	41.0	23.8
15	17.7	37.7	46.5	28.4
20	21.0	43.0	52.5	33.5
25	24.6	48.8	58.8	39.0
30	28.5	54.9	65.6	45.0
35	32.6	61.5	72.8	51.6
40	37.0	68.5	80.5	58.6
45	41.7	76.0	88.7	66.3
50	46.7	84.0	97.4	74.5
55	52.0	92.6	106.6	83.4
60	57.7	101.6	116.4	92.9
65	63.8	111.2	126.7	103.1
70	70.2	121.4	137.6	114.1
75	77.0	132.2	149.1	125.8

← ادامه

فشار مبردها در دماهای مختلف (ادامه)

دما (°F)	R-12	R-22	R-502	آمونیاک (R-717)
80	84.2	143.6	161.2	138.3
85	91.8	155.7	174.0	151.7
90	99.8	168.4	187.4	165.9
95	108.2	181.8	201.4	181.1
100	117.2	195.9	216.2	197.2
105	126.6	210.8	231.7	214.2
110	136.4	226.4	247.9	232.3
115	146.8	242.7	264.9	251.5
120	157.6	259.9	282.7	271.7
125	169.1	277.9	301.4	293.1
130	181.0	296.8	320.8	-
135	193.5	316.6	341.3	-
140	206.6	337.2	362.6	-

* اینچ جیوه (جو استاندارد)

SOURCE: HVAC POCKET REFERENCE -JAMES BRUMBAUGH

❋ ❋ ❋

۳-۱۶

کولر گازی

این‌گونه تجهیزات سرمایش تراکمی در دو نوع پنجره‌ای (یکپارچه) و جدا از هم (دوتکه) به‌صورت محلی و تا ظرفیت 3 تن تبرید مورد اســـتفاده قرار می‌گیرند. به‌طور معمـــول ظرفیت کولرهای پنجره‌ای حداکثر 2 تن تبرید و حداکثر ظرفیت کولرهای جدا از هم 3 تن تبرید است.

تخمین ظرفیت کولرهای گازی پنجره‌ای و جدا از هم

در صورتیکه پنجره‌های اتاق سایه‌اندازهای خوبی داشته باشد، از مقادیر تعیین شده 10 درصد کاسته و در صورت آفتابگیر بودن به مقادیر، 10 درصد افزوده می‌شـــود. چنانچه واحد خنک‌کننده برای آشپزخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد باید 4000 Btu/hr به ظرفیت‌های مندرج در جدول اضافه شود:

مساحت (ft^2)	ظرفیت (Btu/hr)	مساحت (ft^2)	ظرفیت (Btu/hr)
100 - 150	5000	400 - 450	10000
150 - 250	6000	450 - 550	12000
250 - 300	7000	550 - 700	14000
300 - 350	8000	700 - 1000	18000
350 - 400	9000		

SOURCE: CARRIER COMPANY (PURCHASING ADVISOR)

وزن مبرد در سیستم‌های دوتکه

جمع کل: 3 پوند به‌ازای هر تن تبرید

در تجهیزات: 2 پوند به ازای هر تن تبرید

در لوله‌کشی‌های ارتباطی: 1 پوند به‌ازای هر تن تبرید

توان الکتریکی فن کندانسور هوایی

0.1 تا 0.2 اسب به ازای هر تن تبرید

❋ ❋ ❋

۳-۱۷

برج خنک‌کن

انتخاب برج خنک‌کن وابسته به تعیین چهار عامل زیر است:

- دبی آبی که باید سرد شود
- دمای آب ورودی به برج خنک‌کن
- دمای آب خروجی از برج خنک‌کن
- دمای مرطوب هوای ورودی به برج خنک‌کن

ارتباط این چهار عامل در روابط زیر شکل می‌گیرد:

(RANGE) دمای دامنه = دمای آب خروجی - دمای آب ورودی

(APPROACH) دمای نزدیکی = دمای مرطوب هوا - دمای آب خروجی

برج خنک‌کن وظیفه خارج نمودن گرمای حاصل از چرخه سیستم سرمایش را به عهده دارد و از آنجا که برج‌ها بر مبنای سیستم سرمایش تبخیری عمل می‌کنند، با افزایش دمای مرطوب، ظرفیت برج در خارج نمودن گرمای حاصل از چرخه سرمایش کاهش می‌یابد.

درحالت کلی تن تبرید برج خنک‌کن معادل 15000 Btu/hr درنظر گرفته می‌شود و این شامل 12000 Btu/hr (یک تن تبرید) ظرفیت اصلی دستگاه سرمایش و 3000 Btu/hr گرمای اضافی ناشی از چرخه فعال دستگاه سرمایش است. در واقع 15000 Btu/hr مقدار گرمایی است که باید توسط برج به خارج از سیستم هدایت شود. این تنها براساس شرایط زیر قابل قبول است:

دبی = 3 gpm
دمای آب ورودی = 95°F
دمای آب خروجی = 85°F
دمای مرطوب هوا = 78°F

gpm = (Btu/hr) / 5000 = 3 × 5000 = 15000 Btu/hr

برای چیلرهای تراکمی دبی 3 gpm قابل قبول اســت؛ اما در چیلرهای جذبی دبی آب برج خنک‌کن حداقل 3.6 gpm در نظر گرفته می‌شــود، زیرا آب برج فارغ از خنک‌سازی کندانسور، محلول رقیق در ابزوربر را نیز خنک می‌کند.

برای تعیین ظرفیت واقعی برج خنک‌کن باید با در نظر داشــتن دمای دامنــه (RANGE) و دمــای نزدیکی (APPROACH)، ضریــب ظرفیت را از منحنی‌ها یا جداول ویژه استخراج و در ظرفیت نامی ضرب نمود.

ضریب ظرفیت برج خنک‌کن

دمای آب ورودی °F	دمای آب خروجی °F	دمای مرطوب °F	ضریب ظرفیت
90	80	70	0.85
92	82	70	1.00
95	85	70	1.24
90	80	72	0.74
92	82	72	0.88
95	85	72	1.12
95	85	74	1.00
95	85	76	0.88
95	85	78	0.75
95	85	80	0.62

SOURCE: ASHRAE POCKET HANDBOOK.
NUMBER ،1985 ،ALTADENA ،CA،BY BILL HOLLADAY AND CY OTHER HOLM.

● **مثال:** ظرفیت دفع حرارت در برجی با شرایط 95 - 85 - 80 با توجه به ضریب ظرفیت 0.62، برابر است با:

$15000 \times 0.62 = 9300$ Btu/hr

و در شرایط 90 - 80 - 70 برابر است با:

$15000 \times 0.85 = 12750$ Btu/hr

نسبت ضرایب $0.62/0.85 = 0.73$ نشانگر ظرفیت برج در شرایط اول است.

بازده برج خنک‌کن

بازده برج خنک‌کن از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\text{بازده (\%)} = \frac{\left[\begin{array}{c}\text{دمای آب خروجی} \\ (\text{°C یا °F})\end{array} - \begin{array}{c}\text{دمای آب ورودی} \\ (\text{°C یا °F})\end{array}\right]}{[\text{دمای مرطوب هوا - دمای آب ورودی (°C یا °F)}]} \times 100$$

تخمین مقدار هوای برج خنک‌کن

دبـــی هوای برج بـــه ازای هر gpm تقریبا 90 تـــا 100 cfm در نظر گرفته می‌شود.

مقدار آب جبرانی برج خنک‌کن

مقدار تقریبی مصرف آب برج خنک‌کن به ازای هر تن تبرید:

0.3 - 0.2 لیتر در دقیقه

4.5 - 3 گالن در ساعت

1- دامنه: 0.0306 - 0.0432 gpm/ton

2- دامنه: (کندانسور 1.4% - 1.0) 0.0102 - 0.0144 gpm/cond.gpm

3- برای چیلرهای گریز از مرکز: 40 gpm/1000 ton

4- برای چیلرهای رفت‌وآمدی: 40 gpm/1000 ton

5- برای چیلرهای پیچی: 40 gpm/1000 ton

6- برای چیلرهای جذبی: 80 gpm/1000 ton

تخلیه برج خنک‌کننده

خط تخلیـــه آب برج خنک‌کننده را می‌توان بر اســـاس 2 برابر نرخ آب جبرانی اندازه‌گذاری کرد.

زیرآب‌کشی تدریجی و جایگزینی آب تازه برج خنک‌کننده

1- دامنه: 0.006 - 0.012 gpm/ton

2- دامنه: (گالن در دقیقه کندانسور 0.4% - 0.2)

0.002 - 0.004 gpm/cond.gpm

3- پیشنهادی: 0.002 gpm/cond.gpm

4- برای چیلرهای گریز از مرکز: 10 gpm/1000 tons

5- برای چیلرهای رفت‌وآمدی: 10 gpm/1000 tons

6- برای چیلرهای پیچی: 10 gpm/1000 tons

7- برای چیلرهای جذبی: 20 gpm/1000 tons

تخمین توان الکتریکی برج خنک‌کن

0.035 تا 0.040 کیلووات به ازای هر تن تبرید.

تخمین ظرفیت برج خنک‌کننده

دبی آب کندانســـور: 3 gpm (0.05 l/s) به ازای هر تن تبرید سیســـتم‌های تراکمی

دبی آب کندانســـور: 3.5 gpm (0.06 l/s) به ازای هر تن تبرید سیستم‌های جذبی

دبی هوا: حداقل 300 cfm (40 l/s) به ازای هر تن تبرید

توان فن در حالت مکشی: 1/15 اسب (0.014 kW) به ازای هر تن تبرید

توان فن در حالت دهشی: 1/7 اسب (0.03 kW) به ازای هر تن تبرید

سرعت جریان آب در لوله‌های کندانسور

5-12 fps (1.5-3.7 m/s)

سرعت هوا: 5 - 10 fps (1.5 - 3.0 m/s)

نرخ جریان آب در شبکه لوله‌کشی برج خنک‌کن

جدولی کـــه در ادامه می‌آید برای تعیین دبی لوله‌های برج خنک‌کن به ازای هر تن تبرید تدوین شـــده اســـت. در این جدول به ازای هر تن 3 gpm منظور شده است.

ظرفیت (ton) 3gpm/ ton	لوله مکش پمپ in	لوله دهش پمپ in	دبی (gpm)
0 - 2	1 (1/4)	1	0 - 6
2 - 5	1 (1/2)	1 (1/4)	7 - 15
5 - 7	2	1 (1/2)	16 - 21
7 - 13	2 (1/2)	2	22 - 39
13 - 22	3	2(1/2)	40 - 66
22 - 40	3 (1/2)*	3	67 - 120
40 - 55	4	3 (1/2)*	121 - 165
55 - 70	5	4	166 - 210
70 - 120	6	5	211 - 360
120 - 200	8	6	361 - 600
200 - 300	10	8	601 - 900
300 - 500	12	10	901 - 1500
500 - 700	14	12	1501 - 2100
700 - 900	16	14	2101 - 2700
900 - 1100	18	16	2701 - 3300
1100 - 1500	20	18	3301 - 4500
1500 - 1800	24	20	4501 - 5400
1800 - 2600	30	24	5401 - 7800

* *به دلیل نایاب بودن لوله (3(1/2 بهتر است از لوله 4 استفاده شود.*

SOURCE: HEATING, VENTILATION, AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL- LEE KENDRICK

تخمین ابعاد و وزن برج خنک‌کن مکعب فلزی

ظرفیت نامی (تن تبرید)	ارتفاع (cm)	عرض (cm)	طول به ازای هر تن تبرید (cm)	وزن بدون آب به ازای هر تن تبرید kg	وزن با آب kg
100 - 300	280 - 300	200	2.3	20	30
350 - 1000	280 - 300	380	1.2	20	32

تخمین ابعاد و وزن برج خنک‌کن فایبرگلاس

ظرفیت نامی (تن تبرید)	ارتفاع (m)	قطر (m)	وزن بدون آب kg	وزن با آب kg
100	2.6	2.6	520	950
200	3	3.7	1350	3000
300	3.3	4.4	1800	3500
400	3.7	4.9	2300	4300
500	4.3	5.5	2600	7200

تخمین فضای مورد نیاز برج خنک‌کننده

برج‌های خنک‌کننده حتما در فضای باز و در معرض جریان مستقیم هوا نصب می‌شوند.

- برج‌هایی با ارتفاع 8 ft (2.5 m) به ازای هر تن تبرید، نیازمند سطحی به اندازه 1 ft^2 به ازای هر 500 ft^2 زیربنای مفید ساختمان هستند. (0.1 m^2 per 50 m^2) به ازای هر تن تبرید)
- برج‌های بلندتر از 8 ft (2.5 m) به ازای هر تن تبرید، نیازمند سطحی به اندازه 1 ft^2 به ازای هر 400 فوت‌مربع زیر بنای مفید ساختمان هستند (0.12 m^2 per 50 m^2) به ازای هر تن تبرید).

مشخصات برج خنک‌کن مکعب فلزی با فن گریز از مرکز

ساخت شرکت ساراول

ظرفیت نامی (tbr)	دبی آب (gpm)	تعداد الکتروموتور	توان (hp)	دبی هوا (cfm)	طول (cm)	عرض (cm)	ارتفاع (cm)	وزن با آب (kg)
10	30	1	1.0	2800	550	930	1900	380
15	45	1	1.5	4200	720	930	1900	480
20	60	1	2	5600	930	930	1960	580
25	75	1	3	7000	930	1250	2000	720
30	90	1	3	8500	930	1450	2000	860
35	105	1	4	9900	930	1750	2000	990
40	120	1	5.5	11300	930	1930	2000	1080
50	150	1	7.5	14100	1200	1930	2000	1300
60	180	1	10	16900	1450	1930	2750	1750
75	225	1	10	21200	1750	1930	2750	2500
90	270	1	10	25400	1930	1930	2750	2600
105	315	1	15	29600	2400	1930	2750	3000
120	360	2	1 × 10 + 1 × 5.5	33800	2900	1930	2750	3800
140	420	2	2 × 10	39500	3350	1930	2750	4200
160	480	2	2 × 10	45000	3900	1930	2750	5100
180	540	2	2 × 10	50800	4200	1930	2750	5400
220	660	3	2 × 10 + 1 × 5.5	62000	4900	1930	2750	6300
260	780	3	3 × 10	73300	5800	1930	2750	7400
300	900	4	3 × 10 + 1 × 5.5	84600	6800	1930	2750	8700
340	1020	4	4 × 10	96000	7800	1930	2750	9900
400	1200	6	4 × 10 + 2 × 5.5	113000	4900	3800	2750	11800
450	1350	6	6 × 10	127000	5700	3800	2750	14100
500	1500	6	6 × 10	141000	5800	3800	2750	14400

مرجع: کاتالوگ شرکت ساراول (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات برج خنک‌کن مکعب فلزی جریان متقاطع با فن جریان‌محوری

ساخت شرکت عمران تهویه

ظرفیت نامی (tbr)	طول (mm)	عرض (mm)	ارتفاع کل (mm)	وزن با آب (kg)	تعداد و قطر فن (mm)	تعداد و توان الکتروموتور (hp)
15	1300	1000	1720	800	1 × 850	$1 \times {}^{1}/_{2}$
20	1300	1000	1820	900	1 × 850	$1 \times {}^{3}/_{4}$
25	1300	1000	1920	1050	1 × 850	$1 \times {}^{3}/_{4}$
30	1300	1000	2020	1300	1 × 850	1×1
40	2350	1450	1970	1500	1 × 1200	1×1
50	2350	1450	2070	2300	1 × 1200	1 × 1.5
65	2350	1450	2170	2550	1 × 1200	1 × 1.5
75	2350	1450	2270	2700	1 × 1200	1 × 2
90	2500	1700	2170	3000	1 × 1350	1 × 2
110	2500	1700	2270	3300	1 × 1350	1 × 3
130	2500	1700	2370	3800	1 × 1350	1 × 4
150	2500	1700	2470	4000	1 × 1400	1 × 5.5
180	2600	3380	2170	5800	2 × 1350	2 × 2
220	2500	3380	2270	6500	2 × 1350	2 × 3
260	2500	3380	2370	7500	2 × 1350	2 × 4
300	2600	3380	2470	9000	2 × 1400	2 × 5.5

اتصال لوله ورودی و خروجی تا 30 تن تبرید 2.5 اینچ، از 40 تا 75 تن تبرید، 3 اینچ و از 90 تا 150 تن تبرید؛ 4 اینچ.

اتصال لوله ورودی از 180 تا 300 تن تبرید 4 × 2 اینچ و اتصال خروجی 6 اینچ.

اتصال لوله آب جبرانی تا 75 تن تبرید ${}^{1}/_{2}$ اینچ و از 90 تا 300 تن تبرید ${}^{3}/_{4}$ اینچ.

مرجع: کاتالوگ شرکت عمران تهویه (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات برج خنک‌کن فایبر گلاس

ساخت شرکت آبگردان

دبی اسمی (gpm)	توان موتور (hp)	هوادهی فن (cfm)	ارتفاع (m)	قطر برج (m)	وزن بدون آب (kg)	وزن با آب (kg)
28	1/4	3000	1.4	0.93	52	120
35	1/4	3180	1.63	0.93	56	138
53	1/2	6360	1.68	1.17	83	218
71	1/2	7000	1.78	1.38	110	264
88	1/2	7770	2.02	1.38	115	329
105	1	8480	1.89	1.63	160	363
141	1	9410	2	1.78	171	410
176	1 1/2	11300	2.34	1.87	215	515
212	2	14500	2.37	1.99	399	708
282	2	17100	2.48	2.1	431	792
318	2	21800	2.35	2.59	459	854
352	2	24100	2.57	2.59	519	943
442	3	27500	2.38	2.95	629	1053
528	5	29700	2.62	2.95	789	1468
618	5	32900	2.62	3.33	874	1553
705	5	47100	2.92	3.71	1342	3043
795	7 1/2	57100	3.15	3.71	1462	3162
880	7 1/2	66500	3.66	4.39	1657	3357
1050	7 1/2	76900	3.28	4.39	1766	3473
1230	10	83500	3.45	4.85	1861	3861
1410	15	90700	3.68	4.85	2305	4305
1580	15	106500	4.04	5.51	2535	5818
1770	15	119500	4.27	5.51	2590	7155
2120	15	139500	4.6	6.53	3493	10588
2460	20	171000	4.83	6.53	3652	10747
2830	25	197100	5	7.59	5229	12808
3520	30	217700	5.23	7.59	5449	13247
4400	30	270700	5.56	8.79	6476	15458

● *ابعاد مربوط به برج خنک‌کن نوع استاندارد است.*

مرجع: کاتالوگ شرکت آبگردان ترین (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روز کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

۳-۱۸

هواشوی

هواشوی‌ها که در آنها آب و هوا به طور مستقیم در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند، هم به عنوان رطوبت‌زن و هم به عنوان رطوبت‌گیر و خنک‌کننده کاربرد دارند و در عین حال نوعی پاک‌کننده هوا نیز محسوب می‌شوند. به طور معمول هواشـــوی‌ها در چهار طول متفاوت 5 فوت، 7 فوت، 9 فوت و 14 فوت ساخته می‌شوند.

هواشوی‌های 5 فوتی از نوع تک بانک هستند و معمولا برای رطوبت‌زنی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

هواشـــوی‌های 7 و 9 فوت از نوع دو بانک هســـتند و کاربرد سرمایشی و رطوبت‌گیری دارند. هواشـــوی‌های 14 فوتی از دو بخش 7 فوتی تشـــکیل شده و دو مرحله‌ای محسوب می‌شوند. در این نوع اخیر جریان آب و هوا به صورت مخالف بوده و برای اشباع زیاد کاربرد دارند.

بازده یا ضریب بهره هواشوها بین 60 تا 95 درصد است و میزان آن بستگی به چگونگی چیدمان افشانک‌ها، سرعت هوا، فشار آب در افشانک‌ها، طول هواشـــوی، ارتفاع هواشوی و دمای آب دارد. به جای عبارت بازده گاهی از بازده اشباع نیز استفاده می‌شود که از طریق رابطه زیر و براساس دمای هوا و آب تعیین می‌شود.

$$PF = \frac{(wb_{ea} - t_{ew}) - (wb_{la} - t_{lw})}{(wb_{ea} - t_{ew})}$$

یا:

$$1 = \frac{(wb_{ea} - t_{ew})}{(wb_{ea} - t_{ew})}$$

PF = ضریب بهره

wb_{ea} = دمای مرطوب هوای ورودی

wb_{1a} = دمای مرطوب هوای خروجی

t_{ew} = دمای آب ورودی

t_{1w}= دمای آب خروجی

در هواشـــوی‌ها چنانچه دمای آب ورودی بیشـــتر از دمای خشک هوا باشد، ضمن افزایش رطوبت، دمای هوا نیز افزایش می‌یابد و اگر دمای آب ورودی به هواشوی بین دمای خشک و مرطوب باشد، هوای عبوری خنک شده و در ضمن رطوبت نیز افزایش می‌یابد.

چنانچه دمای آب ورودی بین دمای هوای مرطوب و نقطه شبنم باشد، هوا خنک می‌شـــود و در این حالت اثر رطوبت‌زنـــی تابع دمای آب ورودی خواهد بود. اگر دمای آب ورودی به هواشوی کمتر از نقطه شبنم هوا باشد، هوای عبوری خنک و در ضمن رطوبت‌گیری می‌شود.

تخمین ظرفیت هواشوی

برای تخمین ظرفیت هواشـــوی می‌توان همچون تخمین ظرفیت کولر آبی عمل نمود. اما از آنجا که بازده هواشـــوی‌ها بالاتر ازکولرهای آبی است می‌تـــوان به ازای هر مترمکعب فضا به جای 15 cfm، 12 cfm در نظر گرفت و یا از جدول دفعات تعویض هوا در مبحث کولرهای آبی اســـتفاده کرد. سایر مقادیر تخمینی مربوط به هواشوی‌ها عبارتند از:

دبی آب هواشوی تک بانک	5 - 6 gpm به ازای 100 cfm
دبی آب هواشوی دو بانک	10 - 12 gpm به ازای 100 cfm
دبی هر افشانک	1.25 - 2.5 gpm
فشار افشانک‌ها	20 - 25 psig
سطح پوشش هر افشانک	0.75 - 2.5 ft^2
ارتفاع پمپاژ	55 - 100 ft.water
زیرآب‌کشی	10٪ کل آب تشتک

تعیین ظرفیت هوادهی هواشوی (ایرواشر)

[دمای مرطوب طراحی] - [دمای خشک طراحی] = تعداد دفعات تعویض هوا در دقیقه

(ACH/min) = (°F) - (°F)

$$\text{ظرفیت هوادهی موردنیاز} = \frac{\text{حجم فضا}}{\text{تعداد دفعات تعویض هوا در دقیقه}}$$

$cfm = ft^3/(ACH/min)$

برای بارهای زیاد می‌توان cfm را تا 50 درصد افزایش داد.

تعیین دمای خشک خروجی از هواشوی

$T_2 = T_1 \times (T_1 - T_3) \times E$

T_2 = دمای خشک هوای خروجی

T_1 = دمای خشک هوای ورودی

T_3 = دمای مرطوب هوای ورودی

E = بازده

سرمایش محسوس

$Btu = \Delta H \times \Delta F \times cfm \times E$ (سرمایش محسوس)

cfm = دبی هوای جابجا شده

ΔH = ضریب ارتفاع

ΔF = اختلاف دمای خشک و مرطوب طراحی

E = بازده

تعیین ضریب ارتفاع

ارتفاع دریا = 1.08

1000 ft = 0.93

2000 ft = 0.93

3000 ft = 0.97

4000 ft = 0.93

5000 ft = 0.90

6000 ft = 0.86

مصرف آب هواشوی

$$\text{تبخیر} = \frac{\text{cfm}}{1000} \times \frac{\text{دمای خشک خروجی - دمای خشک ورودی}}{500}$$

مثال

$$\text{مقدار تبخیر} = \frac{50000}{1000} \times \frac{98 - 75}{500} = 2.3 \text{ gpm}$$

مشخصات هواشوی

ساخت شرکت تهویه

دامنه هوادهی (cfm)	دامنه دبی آب (gpm)		وزن با آب (kg)		طول کل (in)		ارتفاع کل (in)	عرض (in)
	یک بانک	دوبانک	یک‌بانک	دوبانک	یک‌بانک	دوبانک		
2560 - 3840	16 - 22	27 - 40	594.1	888.9	75.5	111.5	40.5	37
4250 - 6372	25 - 35	45 - 67	873.6	1294.1	79	115	44	53
5800 - 8700	34 - 48	62 - 90	1061	1561	84.5	120.5	49.5	61
7080 - 10620	41 - 59	75 - 110	1305.1	1923.5	83	119	48	77
7650 - 11470	45 - 64	83 - 120	1416.6	2086	83	119	48	83
11120 - 16680	63 - 91	118 - 170	1855.8	2753.8	92.5	128.5	59.5	94
13650 - 20480	77 - 111	144 - 210	2252.4	3333.5	92.5	128.5	59.5	115
14620 - 22000	83 - 120	155 - 226	2462.5	3619.2	92.5	128.5	59.5	123
19240 - 28870	107 - 155	202 - 300	3049.2	4486.1	102.5	138.5	71.5	131.5
21580 - 32370	118 - 173	225 - 330	3227.5	4692.3	109	145	78	131.5
24500 - 36700	133 - 194	255 - 370	3458.5	4955.3	117	153	86	131.5
32400 - 48600	172 - 254	334 - 490	3901	5510.3	114.25	150.25	108.75	132.25

مرجع: کاتالوگ شـــرکت تهویه (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روز ترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

۳-۱۹

کولر آبی

کولرهای آبی با ظرفیت مناسب و در شرایط ایده‌آل می‌توانند دمای خشک هوای عبوری را تا حد دمای مرطوب کاهش دهند و قادر به کاهش کمتر از آن نیستند.

کولرهای آبی به عنوان نوعی سیستم سرمایش تبخیری تنها می‌توانند با اخذ گرمای محسوس از هوای عبوری موجب کاهش دمای خشک شوند و در عین حال با افزودن رطوبت، موجب افزایش گرمای نهان هوا می‌شوند. از این‌رو تعویض هوا نقش عمده‌ای در کاهش گرمای نهان فضایی که به وسیله کولر آبی خنک می‌شود، بازی می‌کند.

تخمین ظرفیت کولر آبی (روش اول)

برای تعیین ظرفیت کولر آبی می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$\text{ظرفیت کولر آبی(cfm)} = \frac{\text{حجم فضا } (ft^3)}{\text{شاخص تعداد دفعات تعویض هوا در دقیقه}}$$

شاخص دفعات تعویض هوا بنا به شرایط آب و هوایی محل بین 1.5 تا 3 منظور می‌شود که میانگین آن را می‌توان 2.5 در نظر گرفت.

بر این اساس فضایی به مساحت 100 مترمربع و به ارتفاع 3 متر با حجم 300 m^3 (10593 ft^3)، نیازمند کولری به ظرفیت 4237 cfm (ترجیحا 4500 cfm) است:

$300 \times 35.31 = 10593\ ft^3$

$10593 / 2.5 = 4237\ cfm$

بنابراین می‌توان به طور تقریبی ظرفیت کولر آبی را به ازای هر مترمکعب فضا 15 cfm در نظر گرفت.

دفعات تعویض هوا برای تخمین ظرفیت کولر آبی

جدول زیر در نگاه اول برای برخی این سوال را به وجود می‌آورد که چرا شـــاخص دفعات تعویض برای مناطق سردسیر و خصوصی بیش از مناطق گرمسیر و عمومی است که البته پاسخ آن کاملا آشکار است. شاخص دفعات تعویض هوا در مخرج کســـر رابطه فوق قـــرار می‌گیرد و همین امر، موجب کاهش ظرفیت هوادهی کولر آبی برای مناطق سردســـیر می‌شود. از سوی دیگر کاهش دمای هوا موجب افزایش رطوبت نســـبی شده و از این‌رو برای کاهش رطوبت نسبی، تعویض هوای بیشتری لازم می‌شود.

منطقه	نوع ساختمان	شاخص دفعات تعویض هوا در دقیقه
سردسیر	خصوصی	3
	عمومی	2.5
معتدل	خصوصی	2.5
	عمومی	2
گرمسیر	خصوصی	2
	عمومی	1.5

تخمین ظرفیت کولر آبی (روش دوم)

در این روش ابتدا از طریق رابطه زیر، دفعات تعویض هوا در دقیقه تعیین می‌شود و سپس حجم فضا بر عدد دفعات تعویض هوا تقسیم می‌شود:

$$\text{دفعات تعویض هوا در دقیقه} = \frac{\text{دمای مرطوب هوا - دمای خشک هوا}}{10}$$

$$\text{دبی هوادهی کولر آبی (cfm)} = \frac{\text{حجم فضا } (ft^3)}{\text{دفعات تعویض هوا در دقیقه (ACH/min)}}$$

● **مثال:** دمای خشـــک و دمای مرطوب هوا بـــه ترتیب 95 و 65 درجه فارنهایت اســـت. ظرفیت کولر آبی برای فضایی به ابعاد 10 × 50 × 80 فوت چه مقدار باید باشد؟

$(95 - 65) / 10 = 3$ ACH/min

$(80 \times 50 \times 10) / 3 = 13333$ cfm

برای چنین فضایی می‌توان از دو کولر 6500 cfm استفاده نمود.

مصرف آب کولرآبی

دمای مرطوب °C	مقدار تبخیر (lit/hr) به ازای هر $1000\ m^3/hr$
20	4.5
30	6.5
40	9
50	11
60	13

$1m^3 = 35.31\ ft^3$

به ازای هر 10 درجه فارنهایت کاهش دمای خشک هوای ورودی به کولر به ازای هر 1000 cfm تقریبا 1.24 gph آب مصرف می‌شود.

سرعت هوا بر بستر کولرهای آبی

نوع کولر آبی	سرعت هوا (fpm)
کولر آبی معمولی با بستر مرطوب پوشالی	100 - 220
کولر آبی با بستر صلب سلولزی یا فایبرگلاس	400 - 600
کولر آبی آبفشان	300 - 600
کولر آبی با بستر مرطوب‌گردان	100 - 600

SOURCE: ASHRAE HANDBOOK- SYSTEMS AND EQUIPMENT.

مشخصات کولر آبی

ساخت شرکت ارج

هوادهی نامی (m^3hr)	هوادهی نامی (cfm)	فضایی که می‌تواند خنک کند (m^3)	وزن (kg)	مصرف آب (lit/hr)	طول × عرض (mm)	ارتفاع (mm)	ابعاد دهانه کانال (mm × mm)
4250	2500	255	52	13	720 × 560	860	386 × 333
5020	3000	288	61	14	800 × 800	985	483 × 497
6000	3500	342	65	16	870 × 870	1000	490 × 496
8500	5000	600	75	25	870 × 870	1160	505 × 512
22000	13000	1110	253	50	1380 × 1380	1590	800 × 800

مرجع: پایگاه اینترنتی شرکت ارج (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روز ترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات کولر آبی سلولزی

ساخت شرکت انرژی

هوادهی (m^3/hr)	هوادهی (cfm)	وزن کولر + آب (kg)	طول × عرض (cm)	ارتفاع (cm)
6600	3900	50 + 74	90 × 90	90
8280	4900	50 + 86	90 × 90	111
11000	6500	70 + 135	106 × 106	121

مرجع: پایگاه اینترنتی شرکت انرژی (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روز ترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

* * *

۳-۲۰

زنــت

زنت نوعی دســـتگاه نیمه مولد مرکب دو فصلی محســـوب می‌شـــود. تجهیزاتی را که نیمه مولد مرکب دو فصلی می‌خوانیم در تامین سرما، مولد و در تامین گرما متکی به سیستم مولد مرکزی هستند. از همین رو آن‌ها را نیمه مولد می‌خوانیم. از طرفی این گونه تجهیزات می‌توانند ضمن تولید سیال ســـرد و استفاده از سیال گرم، واحد تبادل و توزیع نیز باشند و بدون نیاز به سایر وسایل تبادل حرارت هوای گرم یا سرد را با شبکه کانال و بی‌واسطه در اختیار فضای مورد نظر قرار دهند. بنابراین ترکیبی هستند از تجهیزات مولد و تبادل حرارت و به همین دلیل می‌توانیم آن‌ها را نیمه مولد مرکب بخوانیم و از آنجا کـــه از این گونه تجهیزات می‌توان در هر دو فصل بهره‌برداری نمود آن‌ها را در نهایت نیمه مولد مرکب دو فصلی نامیده‌ایم. تجهیزات نیمه مولد مرکب دو فصلی ممکن اســـت از نوع تراکمی یا تبخیری باشند. اما در هر دو نوع، کوئل آبگرم متکی به تجهیزات مولد در موتورخانه مرکزی است. در نوع تراکمی عملیات سرمایشی به عهده یک واحد تراکمی کامل شامل کمپرسور، اواپراتور و کندانسور است که یک کوئل آبگرم در خروجی آن تعبیه شده است.

زنـــت از جمله تجهیـــزات تبخیری نیمه مولد مرکب اســـت که از نظر سرمایشی عملکردی مستقل، همچون سیستم‌های تبخیری دیگری مانند کولر آبی دارد. در زنت نیز همچون کولر آبی، بستر مرطوب در مسیر ورودی

هوا قرار گرفته و به طور مرتب توسط آب ارسالی از سوی پمپ تشتک خیس می‌شـــود و از نظر گرمایی نیز مجهز به یک کوئل آبگرم اســـت که از طریق موتورخانه مرکزی تغذیه می‌شود. هواشوهای مجهز به کوئل آبگرم نیز گونه دیگری از تجهیزات نیمه مولد مرکب دو فصلی تبخیری محسوب می‌شوند.

در صورت استفاده از تجهیزات تبخیری نیمه مولد مرکب، اجرای کانال برگشـــت برای چرخه زمستانی می‌تواند موجب صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی شود؛ اما در چرخه تابستانی باید صددرصد هوای فضای مورد نظر تخلیه شود.

وجود کوئل آبگرم در زنت، هواشـــوی و سایر تجهیزات مشابه تبخیری این امکان را فراهم می‌آورد که درتابســـتان نیز با جاری نمودن آب سرد در آن فارغ از کاهش گرمای محسوس، ضمن رطوبت‌گیری، گرمای نهان هوای عبوری را نیز کاهش داد و به این ترتیب با مرتبط نمودن دو دستگاه تبخیری مانند هواشـــوی و برج خنک کننده به سرمایش ماشینی و واقعی که در آن گرمای کل کاهش می‌یابد نزدیک شد.

زتکا از جمله چنین تجهیزاتی اســـت که خلاصه‌ای از مشخصات آن در ادامه آمده است.

مشخصات زتکا

ساخت شرکت صافیاد

ظرفیت			توان	ابعاد		
گرمایش (kcal/hr)	سرمایش (tbr)	هوادهی (m^3/hr)	الکتروموتور (hp)	طول (m)	عرض (m)	ارتفاع (m)
50000	7	7500	1.5	1.40	1.20	1.80
75000	10	10000	3	1.650	1.50	2.00
100000	15	15000	$5\,1/2$	1.70	2.00	2.10
150000	20	25000	$7\,1/2$	2.00	2.30	2.40

مرجع: کاتالوگ شرکت صافیاد (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روز ترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات زنت

ساخت شرکت صافیاد

ظرفیت		مشخصات موتور	ابعاد			وزن تقریبی	
هوادهی m^3/hr	گرمایش kcal/hr	توان (hp)	طول (cm)	عرض (cm)	ارتفاع (cm)	بدون آب (kg)	با آب (kg)
2500	12000	$^1/_2$	100	76	160	150	230
3500	17000	$^1/_2$	100	76	160	150	230
4500	18000	$^3/_4$	100	76	160	150	230
5000	20000	1	125	80	175	200	300
7500	35000	2	125	80	175	200	300
10000	40000	3	125	80	175	200	300
10000	45000	2	186	120	230	430	653
12500	55000	3	186	120	230	430	653
15000	70000	$5\ ^1/_2$	186	120	230	430	653
17000	80000	$5\ ^1/_2$	186	120	230	510	743
20000	100000	$7\ ^1/_2$	186	120	230	510	743
25000	115000	$7\ ^1/_2$	186	120	230	510	743

1- زنت‌هایی تا ظرفیت 4500 متر مکعب در ساعت دارای موتور تک‌فاز دوسرعته و زنت‌هایی با ظرفیت بیش از 4500 متر مکعب در ساعت دارای موتور سه‌فاز تک‌سرعته هستند.

2- دور موتورهای دو سرعته 900 تا 1400 rpm و دور موتورهای تک‌سرعته 1400 rpm است.

3- ابعاد اتاق زنت با در دو لنگه باید حداقل 40 سانتی‌متر از عرض و 30 سانتی‌متر از طول زنت بزرگتر باشد.

مرجع: کاتالوگ شرکت صافیاد (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

* * *

۳-۲۱

فن‌کوئل

فن‌کوئل‌ها به عنوان واحدهـــای تبادل حرارت دو فصلی اتاقی یا محلی شـــامل انواع زمینی، ســـقفی، کانالی، ایســـتاده، دو لوله‌ای و چهارلوله‌ای می‌شوند. فن‌کوئل‌های چهارلوله‌ای امروزه کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند و در بین ســـایر انواع، فن‌کوئل‌های زمینی و سقفی دو لوله‌ای کاربرد و رواج بیشتری دارند. فن‌کوئل‌های کانالی با دامنه ظرفیت بیشتر برای اماکن بزرگ با شرایط یکسان که نیازمند کنترل محلی هستند و در عین حال حساسیت چندانی در رابطه با پاکســـازی و کنترل رطوبت در آنها وجود ندارد، مناسب هستند. امروزه برخی از فن‌کوئل‌ها به جای کوئل‌های آبی مجهز به کوئل‌های انبساط مستقیم هستند. اگرچه این نوع نیز توسط برخی سازندگان، فن‌کوئل خوانده می‌شـــود؛ اما بهتر است آنها را واحدهای داخلی یک پمپ حرارتی یا اواپراتـــور یک خنک‌کننده تراکمی بنامیم. از این‌رو در این قســـمت تنها به فن‌کوئل‌هایی پرداخته شده است که دارای کوئل آبی (سرد یا گرم) هستند.

تخمین ظرفیت فن‌کوئل‌ها

انواع فن‌کوئل:	کانالی و غیر کانالی (سقفی و زمینی)
دامنه ظرفیت هوادهی فن‌کوئل کانالی:	800 - 4000 cfm (377 - 1890 LIS)
دامنه ظرفیت هوادهی فن‌کوئل غیرکانالی:	200 - 1200 cfm (94 - 566 LIS)
حداکثر فشار خارجی فن‌کوئل کانالی:	2.0 inwg (498 Pa)
حداکثر فشار خارجی فن‌کوئل غیرکانالی:	0.4 inwg (99 Pa)
دبی فن‌کوئل به ازای هر 100 cfm برای سرمایش:	≈ 0.75 gpm
ظرفیت سرمایی کل به ازای هر 100 cfm:	≈ 3800 Btu/hr
ظرفیت سرمایی محسوس به ازای هر 100 cfm:	≈ 2600 Btu/hr
دبی فن‌کوئل به ازای هر 100 cfm برای گرمایش:	≈ 0.95 gpm
ظرفیت گرمایی به ازای هر 100 cfm:	≈ 9500 Btu/hr

دمای خشک 80°F، دمای مرطوب 67°F، دمای آب ورودی 45°F، دمای آب خروجی 55°F

- **مثالی برای تخمین:** چنانچه بار سرمایی محسوس اتاقی به مساحت 25 مترمربع 3250 kcal/hr و بار گرمایی آن نیز همین مقدار باشد، می‌توان یکی از گزینه‌های زیر را برای تامین سرمایش و گرمایش اتاق درنظر گرفت:

$3250 \times 3.96 = 12870$ Btu/hr

$12870/2600 = 4.95 \times 100 = 495$ cfm

- یک فن‌کوئل 600 cfm
- دو فن‌کوئل 200 و 300 cfm که فن‌کوئل 200 cfm در فصل زمستان به تنهایی پاسخگوی نیازهای اتاق خواهد بود.

ظرفیت و مشخصات فن‌کوئل‌ها

مطابق اســـتاندارد ARI بر اســـاس دمای خشک 80°F و دمای مرطوب 67°F بـــا دمای آب ورودی 45°F و خروجـــی 55°F (اختلاف 10°F). حداقل ظرفیت فن‌کوئل‌ها باید مطابق جدول زیر باشد.

ظرفیت هوادهی (cfm)	دبی (gpm)	افت فشار (ft.w)	ظرفیت سرمایی	
			محسوس (Btu/hr)	کل (Btu/hr)
200	1.0	2.2	3500	4800
300	1.5	3.8	5300	7200
400	2.4	3.1	7900	11200
500	3.0	3.8	10400	13900
600	4.0	4.2	13500	18500
800	4.8	4.8	16800	22000
1000	5.3	5.5	20000	26300

مشخصات فن‌کوئل زمینی و سقفی

ساخت شرکت ساراول

هوادهی (cfm)	200	300	400	600	800	1000	1200
دبی آب سرد (gpm)	1.6	2.5	3.2	4.4	6.0	7.5	9.5
دبی آبگرم (gpm)	2.1	3.1	4.1	5.8	7.7	9.6	11.8
ظرفیت سرمایش کل (Btu/hr)	7800	12400	16100	21900	30000	37500	47400
ظرفیت سرمایش محسوس (Btu/hr)	5300	8300	10800	15000	20300	25300	31600
ظرفیت گرمایش (Btu/hr)	20100	30300	39500	56000	74700	93500	114600
تعداد فن	1	2	2	2	3	4	4
تعداد الکترو موتور	1	1	1	1	2	2	2
توان نامی موتور (hp)	$^1/_{30}$	$^1/_{25}$	$^1/_{25}$	$^1/_{20}$	$^1/_{30}$ $^1/_{20}$	$^1/_{20}$	$^1/_{20}$
شدت جریان نامی (A)	0.2	0.24	0.24	0.3	0.5	0.6	0.6
طول فن‌کوئل زمینی (mm)	920	1120	1220	1360	1620	1920	2270
طول فن‌کوئل سقفی (mm)	650	850	950	1090	1350	1650	2000

ارتفاع فن‌کوئل‌های زمینی روکار	(600 mm)
ارتفاع فن‌کوئل‌های سقفی بدون کابینت	(190 mm)
عمق فن‌کوئل‌های زمینی روکار	(210 mm)
عمق فن‌کوئل‌های سقفی بدون کابینت	(490 mm)

برای سرمایش: دمای خشک هوای ورودی 80°F و دمای مرطوب 67°F
دمای آب ورودی و خروجی 45°F و 55°F
برای گرمایش: دمای خشک هوای ورودی 70°F
دمای آب ورودی و خروجی 180°F و 160°F

مرجع: کاتالوگ شـــرکت ساراول (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات فن‌کوئل کانالی

ساخت شرکت ساران

هوادهی (cfm)	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
دبی آب سرد (gpm)	5	6.5	8	9.1	10	11.1	12.6
دبی آبگرم (gpm)	5	6.5	8	9.1	10	11.1	12.6
ظرفیت سرمایش کل (Btu/hr)	25750	33250	36550	43650	49400	56950	65500
ظرفیت سرمایش محسوس (Btu/hr)	20000	25100	28800	34050	38400	43850	49400
ظرفیت گرمایش (Btu/hr)	69650	87750	102100	120150	136000	155000	174800
توان الکتروموتور (W)	370	370	370	370	740	740	740
وزن در حال کار (kg)	71	76	84	92	103	116	130
پهنای فن کوئل (mm)	700	800	900	1050	1200	1300	1400

ارتفاع برای همه ظرفیت‌ها: 440 (mm)
طول (عمق) برای فن‌کوئل‌های پلنوم‌دار با دریچه برگشت از زیر: 950 (mm)
طول (عمق) برای فن‌کوئل‌های پلنوم‌دار با دریچه برگشت از پشت: 1100 (mm)

تعداد ردیف کوئل: 4
برای سرمایش: دمای خشک هوای ورودی 80°F و دمای مرطوب 67°F
دمای آب ورودی 44°F
برای گرمایش: دمای خشک هوای ورودی 70°F
دمای آب ورودی 180°F و خروجی 160°F

مرجع: کاتالوگ شرکت ساران (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روز ترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

۳-۲۲

هواساز

هواســـازها را می‌توان بر اســـاس تعداد کوئل، تجهیزات جانبی، مناطق هوادهی و شکل ظاهری در انواع مختلفی طبقه‌بندی نمود. هواسازها از نظر ساختار و شکل ظاهری در دو گروه عمده افقی و عمودی دسته‌بندی می‌شوند و از نظر کوئل می‌توان از دو گروه دو کوئله و کوئل دوفصلی نام برد.

از نظـــر مناطق هوادهی نیز هواســـازها به دو گروه یک منطقه‌ای و چند منطقه‌ای قابل تقسیم هستند.

هواســـازها از نظر نحوه قرارگیری بادزن و کوئل‌ها نیز در دو گروه عمده جریان دمشی و جریان مکشی جای می‌گیرند.

در هواسازهای نوع اول بادزن قبل از کوئل‌ها قرار می‌گیرد و در هواسازهای نوع جریان مکشی بادزن هواساز بعد از کوئل تعبیه می‌شود.

هواساز را می‌توان تنها وسیله تبادل حرارتی دانست که توانایی انجام کلیه عملیات مربوط به تهویه‌مطبوع شامل تنظیم دما، رطوبت، وزش و پاکسازی هوا را دارد. از همین‌رو، هواســـازها از جمله تجهیزات اصلی سیســـتم‌های تهویه‌مطبوع محسوب می‌شوند و در واقع سیستم‌های تهویه‌مطبوع مختلف ترکیب متناسبی از هواساز و چیدمان شبکه کانال به همراه تجهیزات پایانه‌ای یا بین کانالی هســـتند. پایه انواع سیستم‌های تهویه‌مطبوع یک منطقه‌ای، چند منطقه‌ای، یک منطقه‌ای با کوئل دوباره گرمکن، القایی، دوکانالی و دو جریانی اعم از سیستم‌های حجم ثابت یا متغیر هواساز است.

مقایسه فن‌کوئل و هواساز

موارد مقایسه	فن‌کوئل	هواساز
استقرار	محلی	مرکزی
نصب	در اتاق و محل مورد تهویه	دور از محل و در اتاقی مخصوص
دبی هوا cfm (m^3/s)	برابر یا کمتر از 2000 cfm یا 1 (m^3/s)	1200 تا 50000 فوت‌مکعب در دقیقه (cfm) یا 0.6 تا 25 مترمکعب در ثانیه (m^3/s)
فشار کل فن in.W (Pa)	برابر یا کمتـــر از 0.6 اینچ آب یا برابر یا کمتر از 150 پاسکال	برابر یا کمتر از 6 اینچ آب یا برابر یا کمتر از 1500 پاسکال
سطح صوت (dB)	کمتر	بیشتر
بازده فیلتر	کم	متوسط یا زیاد
ردیف کوئل	2، 3 یا 4 ردیف	2، 3، 4، 6 یا 8 ردیف
فاصله پره‌های روی لوله کوئل	ثابت	با توجه به شرایط در نظر گرفته می‌شود.
پارامتر اصلی برای انتخاب	بر اساس ظرفیت سرمایشی	بر اساس مقدار هوادهی

SOURCE: HANDBOOK OF AIR CONDITIONING AND REFRGERATION-SHAN.K.wANG.

افت فشار مناسب بخش‌های مختلف هواساز

بخش‌ها	استاندارد (in.Wg)	خوب (in.Wg)	خیلی خوب (in.Wg)
تجهیزات بازیافت انرژی	1	0.60	0.10
تجهیزات تغییر حجم	-	0.60-0.30	0.10
کوئل منطقه‌ای	0.42	0.20	0.00
صداگیر	1.0	0.25	0.00
افت فشار کل	2.7	1.7	1.00
افت فشارکل شبکه کانال	4.5	4.5	1.1
سرعت	500 fpm	400 fpm	300 fpm

اطلاعات کلی هواسازهای افقی از نوع مکشی

شرح										
			اطلاعات فن گریز از مرکز با پره‌های انحنا به عقب							
اندازه			13 (1/2)	15	16 (1/2)	18 (1/4)	20	22 (1/4)	22 (1/4)	
اندازه شفت (in)			1 (11/16)	1 (15/16)	1 (15/16)	2 (3/16)	2 (7/16)	2 (11/16)	2 (11/16)	
سطح خروجی (ft^2)	1.41	1.90	2.31	2.79	3.39	4.14	5.05	6.30	6.30	
حداکثر دور در دقیقه/ فشار استاتیک (in.W)			3536/8	3183/8	2894/8	2616/8	2387/8	2164/8	2164/8	
دامنه توان موتور(hp)			1-10	1-15	1-15	1-20	1-25	1-25	1-30	
					اطلاعات کوئل					
					کوئل با لوله 1/2 اینچ					
		(ft^2 سطح)	3.32	5.86	7.54	9.64	12.3	14.2	16.8	20.8	24.4	29.0
سرمایش		ابعاد (in)	21 × 23	23 × 36	27 × 40	27 × 51	32 × 55	35 × 59	37 × 65	45 × 67	51 × 69	51 × 82
		(ft^2 سطح)	2.34	4.31	5.49	7.01	9.46	10.2	12.3	15.0	17.8	21.2
گرمایش		ابعاد (in)	15 × 23	17 × 36	20 × 40	20 × 51	25 × 55	25 × 59	27 × 65	32 × 67	37 × 69	37 × 82
					کوئل با لوله 5/8 و 1 اینچ							
		(ft^2 سطح)	2.75	4.38	6.50	8.33	11.3	12.1	14.7	16.5	19.8	23.6
		ابعاد (in)	18 × 22	18 × 35	24 × 39	24 × 50	30 × 54	30 × 58	33 × 64	2-18 × 66	1-18 × 68	1-18 × 81
											1-24 × 68	1-24 × 81

SOURCE: THE TRANE COMPANY

حداقل سطح مقطع دهانه خروجی هواساز

سرعت در دهانه خروجی 1400 فوت در دقیقه:

$ft^2 = cfm / 1400\ fpm$ (1)

حداقل سطح کوئل هواساز

سرعت روی کوئل 500 فوت در دقیقه

$ft^2 = cfm / 500\ fpm$ (2)

تعیین دبی آب سرد کوئل هواساز

با اختلاف دمای 10 درجه فارنهایت در ورودی و خروجی کوئل:

$gpm = (Btu/hr) / 5000$ (3)

تعیین دبی آبگرم کوئل هواساز

با اختلاف دمای 20 درجه فارنهایت در ورودی و خروجی کوئل:

$gpm = (Btu/hr) / 10000$ (4)

توان بادزن هواساز

$$hp = (cfm \times P) / (6356 \times \eta_F \times \eta_M) \quad (5)$$

cfm = دبی هوا

P = فشار استاتیک in.W

η_F = بازده فن

η_M = بازده موتور

6356 = ضریب ثابت تبدیل واحد

تعیین ظرفیت کوئل دوباره گرم‌کن برقی

$(Btu/hr) / 3412 = kW$

تخمین توان الکتریکی موتور بادزن هواساز

توان تقریبی بادزن با افت فشار استاندارد (2.7 in.W):	2 وات به ازای هر cfm
توان تقریبی بادزن با افت فشار خوب (1.7 in.W):	1.2 وات به ازای هر cfm
توان تقریبی بادزن با افت فشار خیلی خوب (1.0 in.W):	0.6 وات به ازای هر cfm

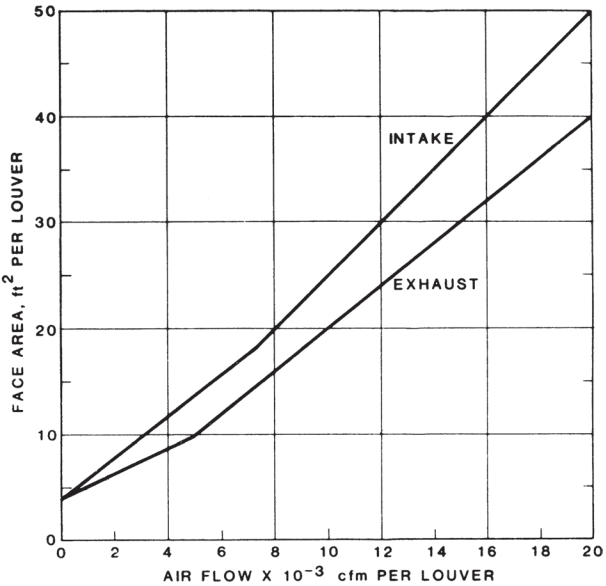
سرعت مناسب برای بخش‌های مختلف هواساز و شبکه کانال

دریچه ورودی هوا 7000 cfm و بیشتر	400 fpm
دریچه ورودی هوا کمتر از 7000 cfm	مطابق نمودار
دریچه تخلیه هوا 5000 cfm و بیشتر	500 fpm
دریچه تخلیه هوا کمتر از 7000 cfm	مطابق نمودار
فیلیتر چسبناک	200 - 800 fpm
فیلتر خشک از نوع تخت با بازده کم	مطابق سرعت در کانال
فیلتر خشک صفحه‌ای با بازده متوسط	تا 750 fpm
فیلتر هپا	250 fpm
فیلتر قابل تعویض متحرک چسبناک	500 fpm
فیلترخشک غلطکی (متحرک)	200 fpm
فیلتر الکترونیکی نوع یونیزه‌کننده	300 - 500 fpm
فیلتر الکترونیکی با واسطه باردار غیر یونیزه	250 fpm
کوئل گرمایی بخار و آبگرم	500 - 600 fpm
	حداقل 200 fpm
	حداکثر 1500 fpm
کوئل سرمایی و رطوبت‌گیر	500 - 600 fpm
هواشوی از نوع افشانکی	300 - 600 fpm
هواشوی از نوع پر سرعت افشانکی	1200 - 1800 fpm

SOURCE: ASHRAE POCKET HANDBOOK.

دبی آب حاصل از تقطیر روی کوئل سرد هواساز

هواساز با 100 درصد هوای تازه:	0.10 gpm به ازای هر 1000 cfm
هواساز با 50 درصد هوای تازه:	0.065 gpm به ازای هر 1000 cfm
هواساز با 25 درصد هوای تازه:	0.048 gpm به ازای هر 1000 cfm
هواساز با 15 درصد هوای تازه:	0.041 gpm به ازای هر 1000 cfm
هواساز بدون هوای تازه:	0.030 gpm به ازای هر 1000 cfm
هواساز با کوئل انبساط مستقیم متصل به سیستم تراکمی:	0.006 gpm به ازای هر تن تبرید.



نمودار اندازه‌گذاری دریچه ورودی هوا

اندازه لوله تخلیه آب حاصل از تقطیر کوئل سرمایی

ظرفیت (تن تبرید)	قطر لوله(in)
تا 2	3/4
2 - 5	1
6 - 30	1 (1/4)
31 - 50	1 (1/2)
50 - 170	2
171 - 300	3
301 - 430	4
431 - 700	5

شیب لوله یک اینچ در هر 10 فوت

تخمین ابعاد هواساز

جداول زیر نشـــان دهنده ابعاد تخمینی هواســـاز شامل قسمت بادزن، قســـمت کوئل و جعبه مخلوط‌کننده هوا است و شـــامل بخش فیلترهای کیســـه‌ای و هپا و تجهیزات دیگری مانند رطوبت‌زن نمی‌شـــود. در صورت اســـتفاده از ســـایر تجهیزات جانبی حدود 40 درصد به طول دستگاه اضافه می‌شود و سطح اتاق هواساز نیز باید حداقل 3.5 برابر سطح استقرار هواساز در نظر گرفته شود.

حدود ابعاد هواساز یک منطقه‌ای افقی

ظرفیت هوادهی (cfm)	طول(L) (m)	عرض(W) (m)	ارتفاع(H) (m)	مساحت اتاق هواساز L (m) × W (m) = A (m^2)
3000	2	1.2	0.9	4 × 3.6 = 14.4
5000	2.3	1.5	0.95	4.3× 4.3 = 18.5
7000	2.5	1.7	1.1	4.5 × 4.7 = 21.0
10000	2.7	2.0	1.3	4.7 × 5 = 23.5
12000	2.9	2.0	1.7	4.9 × 5 = 24.5
15000	3.1	2.4	1.7	5.1 × 5.4 = 27.6
20000	3.3	2.8	1.8	5.3 × 5.8 = 30.8

حدود ابعاد هواساز یک منطقه‌ای عمودی

ظرفیت هوادهی (cfm)	طول(L) (m)	عرض(W) (m)	ارتفاع(H) (m)	مساحت اتاق هواساز L (m) × W (m) = A (m^2)
3000	1.0	1.2	1.7	3 × 3.6 = 10.8
5000	1.1	1.5	1.9	3.1 × 4.3 = 13.3
7000	1.2	1.7	2.1	3.2 × 4.7 = 15.0
10000	1.3	2.0	2.4	3.3 × 5 = 16.5
12000	1.3	2.0	2.8	3.3 × 5 = 16.5
15000	1.5	2.4	3.0	3.5 × 5.4 = 18.9
20000	1.7	2.8	3.2	3.7 × 5.8 = 21.5

حدود ابعاد هواساز نیمه عمودی- نیمه افقی

ظرفیت هوادهی	طول(L)	عرض(W)	ارتفاع(H)	مساحت اتاق هواساز
(cfm)	(m)	(m)	(m)	L(m) × W(m) = A(m 2)
3000	1.6	1.2	1.7	3.6 × 3.6 = 13.0
5000	2.0	1.5	1.9	4 × 4.3 = 17.2
7000	2.1	1.7	2.1	4.1 × 4.7 = 19.2
10000	2.3	2.0	2.4	4.3 × 5 = 21.5
12000	2.5	2.0	2.8	4.5 × 5 = 22.5
15000	2.8	2.4	3.0	4.8 × 5.4 = 25.9
20000	3.0	2.8	3.2	5 × 5.8 = 29.0

حدود ابعاد هواساز چند منطقه‌ای

ظرفیت هوادهی	طول(L)	عرض(W)	ارتفاع(H)	مساحت اتاق هواساز
(cfm)	(m)	(m)	(m)	L(m) × W(m) = A(m 2)
3000	2.8	1.2	1.4	4.8 × 3.6 = 17.3
5000	3.3	1.5	1.6	5.3 × 4.3 = 22.8
7000	3.5	1.7	1.7	5.5 × 4.7 = 25.9
10000	3.9	2.0	2.0	5.9 × 5 = 29.5
12000	4.3	2.0	2.4	6.3 × 5 = 31.5
15000	4.6	2.4	2.4	6.6 × 5.4 = 35.7
20000	5.0	2.8	2.6	7× 5.8 = 40.6

ابعاد هواساز یک منطقه‌ای

ساخت شرکت ساراول

ظرفیت هوادهی (cfm)	طول (cm)			ارتفاع (cm)		ارتفاع شاسی (cm)	عرض (cm)
	افقی	عمودی	نیمه‌عمودی	افقی	عمودی		
2500	2230	1290	1870	950	1900	80	1320
3500	2460	1420	2100	1050	2100	80	1400
5000	2650	1510	2290	1100	2200	100	1580
7000	2780	1640	2420	1400	2800	120	1750
10000	3030	1790	2670	1400	2800	120	2150
13000	3130	1790	2770	1700	3400	120	2150
16000	3320	1980	2960	1700	3400	120	2630
20000	3660	2120	3300	2000	4000	140	2850
25000	3660	2120	3300	2020	4040	140	3330
30000	3520	1980	3160	2020	4040	140	3830
35000	3620	1980	3260	2170	4340	140	4230
40000	3760	2120	3400	2170	4340	140	4530

- *ابعـــاد بدون تجهیزات جانبی و تنها شـــامل بخش فن، بخش کوئل و جعبه مخلوط‌کننده هوا است.*
- *ارتفاع انواع هواساز عمودی و نیمه عمودی یکسان است.*
- *عرض کلیه انواع افقی، عمودی و نیمه عمودی یکسان است.*
- *منظور از طول، عمق دستگاه از روبه‌رو و از سمت دهانه خروجی هوا است.*

مرجع: کاتالوگ شـــرکت ساراول (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

ابعاد هواساز چند منطقه‌ای

ساخت شرکت ساراول

ظرفیت هوادهی (cfm)	طول کل (cm)	عرض کل (cm)	ارتفاع کل (cm)	
			دومنطقه‌ای	سه‌منطقه‌ای
2500	2570	1200	1250 + 100	1450 + 100
3500	2770	1200	1400 + 100	1650 + 100
5000	3250	1450	1520 + 120	1820 + 120
7000	3480	1650	1670 + 120	1970 + 120
10000	3900	2000	1940 + 140	2290 + 140
13000	4250	2000	2390 + 140	2770 + 140
16000	4600	2360	2390 + 140	2770 + 140
20000	4950	2720	2550 + 140	2950 + 1400
25000	4700	3300	2790 + 140	3240 + 140
30000	5300	3800	2860 + 160	3360 + 160
35000	5450	4100	3060 + 160	3610 + 160
40000	5500	4500	3060 + 160	3610 + 160

ابعاد بدون تجهیزات جانبی است و تنها شامل بخش فن، بخش کوئل و جعبه مخلوط‌کننده هوا می‌شود.

مرجع: کاتالوگ شرکت ساراول (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

❋ ❋ ❋

۳-۲۳

پمپ

اگرچه پمپ‌ها از تنوع بسیار زیادی برخوردارند؛ اما اکثر پمپ‌های مورد استفاده در سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه‌مطبوع از نوع گریز از مرکز هستند که می‌توان آنها را از نظر نصب، ساختار و کاربری در انواع زمینی، خطی، یک طبقه، چند طبقه، گردشی و تغذیه طبقه‌بندی کرد. بنابراین اطلاعات گردآوری شده برای این بخش مربوط به پمپ‌های گریز از مرکز در کاربردهای مختلف تهویه‌مطبوع می‌شود.

تخمین دبی پمپ برای انتقال آب سرد

$$gpm = \frac{(\text{Btu/hr})}{5000}$$

تخمین دبی پمپ برای انتقال آبگرم

$$gpm = \frac{(\text{Btu/hr})}{10000}$$

تخمین دبی پمپ برج خنک‌کن

برای چیلرهای تراکمی به ازای هر تن: 3 gpm

برای چیلرهای جذبی به ازای هر تن: 3.6 gpm

تخمین فشار دهش پمپ در سیستم بسته (پمپ گردشی)

$$ft = \left[\begin{array}{c} + \text{(طول لوله برگشت ft)} \\ + \text{(طول لوله رفت F)} \\ \text{(طول معادل وصاله‌ها F)} \end{array} \right] \times (2.5 / 100)$$

طول لوله‌های رفت، برگشت و طول معادل وصاله‌ها را می‌توان یکسان فرض نمود. بنابراین رابطه بالا به صورت زیر ساده می‌شود:

$$ft = (3L \times 2.5) / 100 \longrightarrow L \times 0.075$$

$$ft = L \times 0.075$$

تخمین فشار دهش پمپ برج خنک‌کن

$$ft = (L \times 0.075) + H$$

H = ارتفاع لوله ورودی برج از تشتک (ft)

تبدیل واحد ارتفاع آبدهی به فشار

تبدیل واحد ارتفاع آبدهی (ft) به فشار (psi):

$$psi = \frac{ftSG}{2.3}$$

SG = وزن مخصوص، که در مورد آب 1 است.

تبدیل ارتفاع آبدهی (m) به فشار (bar)

$$bar = \frac{mSG}{9.81}$$

$$m = \frac{bar \times 9.81}{SG}$$

اصطلاحات، اختصارات و تبدیل واحدها در مبحث پمپ‌ها

موضوع	اختصارات	واحدها	ضریب	واحد به دست آمده
طول	L	ft	0.3048	m
سطح	A	ft^2	0.0929	m^2
سرعت	V	ft/s	0.3048	m/s
حجم	V	ft^3	0.0283	m^3
دبی	Q_V	gpm	0.2272	m^3/h
فشار	P	psi	6890	Pa
		psi	6.89	kPa
		psi	14.5	bar
ارتفاع (آبدهی)	H	ft	0.3048	m
ارتفاع مکش مثبت خالص (NPSH)	H	ft	0.3048	m
توان خروجی	PO	Whp	0.7457	kW
توان شفت	PS	bhp	0.7457	kW
توان ورودی	PI	kW	1.0	kW
سرعت	N	rpm	0.1047	rad/s
	-	rpm	0.1067	r/s
چگالی	-	lb/ft^3	16.0	kg/m^3
دما	-	F	-	C

SOURCE: ASHRAE POCKET HANDBOOK - PUMP TERMS, ABBREVIATION AND CONVERSION FACTORS.

قوانین پمپ‌ها

شرایط جدید	در صورت تغییر سرعت	در صورت تغییر قطر پروانه
دبی	$Q_2 = Q_1 (N_2/N_1)$	$Q_2 = Q_1 (D_2/D_1)$
ارتفاع آبدهی	$H_2 = H_1 (N_2/N_1)^2$	$H_2 = H_1 (D_2/D_1)^2$
توان	$bhp_2 = bhp_1 (N_2/N_1)^3$	$bhp_2 = bhp_1 (D_2/D_1)^3$

SOURCE: 2000 ASHRAE SYSTEM AND EQUIPMENT HANDBOOK -CENTRIFUGAL PUMP

تعیین دبی پمپ در سرعت‌های مختلف

برای به دست آوردن دبی پمپ در سرعت‌های متفاوت می‌توان براساس قوانین پمپ‌ها از رابطه زیر استفاده نمود:

$$Q_2 = Q_1 (N_2 / N_1)$$

● **مثال:** چنانچه پمپی با سرعت 1200 دور در دقیقه، دبی 350 گالن در دقیقه داشته باشد، با افزایش سرعت تا 1800 دور در دقیقه، دبی آن چه مقدار خواهد شد؟ $Q_2 = 350 \times (1800/1200) = 525$ gpm

توان خروجی پمپ

توان خروجی بر حسب hp برای جابجایی آب با وزن مخصوص (SG=1):

$$WHP = \frac{M\Delta H}{33000}$$

M = دبی جرمی سیال (lb/min)

ΔH = اختلاف ارتفاع (ارتفاع رانش سیال) (ft)

33000 = واحد تبدیل ft.lb / min PER hp

$$WHP = \frac{Q\Delta H}{3960}$$

Q = دبی حجمی سیال gpm

3960 = واحد تبدیل ft.gpm PER hp

توان خروجی بر حسب kW برای جابجایی آب با وزن مخصوص (SG = 1)

$$kW = \frac{Q\Delta H}{367}$$

Q = دبی حجمی سیال (m^3/h)

توان ورودی پمپ

تاثیر بازده در توان خروجی، توان ورودی را به دست می‌دهد:

hp = [(gpm) (ارتفاع ft) (وزن مخصوص)] / (3960 × بازده پمپ)

در صورتی که ســـیال آب باشـــد، وزن مخصوص برابـــر 1 در نظر گرفته می‌شود:

$$hp = \frac{Q\Delta H}{3960E}$$

Q = دبی حجمی (gpm)

ΔH = ارتفاع (ft)

E = بازده

بر اساس واحدهای SI:

$$kW = \frac{Q\Delta H}{367E}$$

Q = دبی حجمی (m^3/h)

ΔH = ارتفاع (m)

E = بازده

توان پمپ

از طریـــق جدول زیر توان مـــورد نیاز پمپ برای انتقـــال 1 gpm آب در فشارهای مختلف و بازده 87 درصد تعیین می‌شود:

فشار کار	توان (hp) به ازای (gal) پمپ شده	فشار کار	توان (hp) به ازای (gal) پمپ شده
100	0.067	1500	1.000
150	0.10	1600	1.067
200	0.133	1800	1.20
300	0.20	2000	1.33
400	0.267	2250	1.50
500	0.33	2500	1.67
600	0.40	2750	1.83
700	0.467	3000	2.00
800	0.533	3500	2.33
900	0.60	4000	2.67
1000	0.667	4500	3.00
1200	0.80	5000	3.33
1300	0.867	5500	3.67
1400	0.933	6000	4.00

SOURCE: HVAC FIELD MANUAL -ROBERT O.PARMLEY

ظرفیت پمپ و توان الکتروموتور

ظرفیت پمپ (gpm)	ارتفاع آبدهی (ft)	توان موتور با دور 1150 (hp)	ارتفاع آبدهی (ft)	توان موتور با دور 1750 (hp)	ارتفاع آبدهی (ft)	توان موتور با دور 3500 (hp)
تا 15	-	-	تا 24	1/4 - 1/3	-	-
20	-	-	25 - 100	1/3 - 2	100 - 450	2 - 10
25	-	-	30 - 110	1/2 - 3	110 - 380	3 - 15
50	-	-	35 - 160	3/4 - 7.5	160 - 380	7.5 - 20
75	-	-	20 - 100	1 - 5	100 - 210	5 - 15
135	-	-	15 - 160	1 - 10	60 - 180	7.5 - 15
275	20 - 30	2 - 3	20 - 160	2 - 15	120 - 220	15 - 30
500	10 - 50	3 - 7.5	40 - 90	3 - 15	-	-
800	20 - 40	5 - 10	40 - 160	10 - 30	-	-
1250	20 - 60	10 - 20	55 - 160	25 - 60	-	-
1750	30 - 75	20 - 40	80 - 180	60 - 100	-	-
2500	25 - 75	20 - 50	-	-	-	-

1gpm = 0.063LPS; 1LPS = 15.87gpm.
1 ft = 0.305m; 1m = 3.28ft
1hp = 0.746 kW; 1kW = 1.34hp

SOURCE: HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING SYSTEMS ESTIMATING MANUAL. SECOND EDITION -A.M.KHASHAB

برای تعیین توان پمپ در شرایط متفاوت می‌توان از روابط زیر استفاده نمود:

$$hp_T / hp_X = \frac{(gpm \times H)_T}{(gpm \times H)_X} \qquad (1)$$

یا

$$kW_T / kW_X = \frac{(LPS \times H)_T}{(LPS \times H)_X} \qquad (2)$$

اندیس T نشانگر توان، دبی و ارتفاع پمپ مستخرجه از جدول بالا است و اندیس X نشانگر شرایط دلخواه می‌باشد.

● **مثال:** توان الکتروموتـــور 1750 دور در دقیقه (30 دور درثانیه) برای جابجایـــی 500 gpm (31.5 LPS) آب برای ارتفاع کل 60 ft (18.3 m) چه مقدار است؟

حل: از جدول «ظرفیت پمپ و تـــوان الکتروموتور» مقادیر زیر تعیین می‌شود:

(T) دور: 1750 rpm (30 RPS)
(T) دبی: 500 gpm (31.5 LPS)
(T) ارتفاع: 90 ft(27.45 m)
(T) توان: 15 hp(11.2 kW)

شرایط جدید:

(X) دور: 1750 rpm (30 RPS)
(X) دبی: 500 gpm (31.5 LPS)
(X) ارتفاع: 60 ft (18.3 m)
(X) توان: ?

$$15/hp_X = (500 \times 90)/(500 \times 60) = 10 \text{ hp}$$

یا

$$11.2/kW_X = (31.5 \times 27.45)/(31.5 \times 18.30) = 7.46 \text{ kW}$$

سرعت‌های توصیه‌شده برای سیستم‌های بسته (تحت فشار)

دهش پمپ:	8 - 12 fps (2.5 - 3.7 m/s)
مکش پمپ:	4 - 7 fps (1.2 - 2.1 m/s)
خط تخلیه:	4 - 7 fps (1.2 - 2.1 m/s)
کلکتور:	4 - 12 fps (1.2 - 3.7 m/s)
رایزر:	3 - 10 fps (0.9 - 3.1 m/s)
آب شهر:	3 - 7 fps (0.9 - 2.1 m/s)
سایر قسمت‌ها:	5 - 10 fps (0.9 - 3.1 m/s)

سرعت پیشنهادی آب در سمت مکش پمپ

برای جلوگیری از کاویتاسیون و پرهیز از بروز مشکلات درگردش آب که معمولا ناشی از سمت مکش پمپ است. سرعت‌های مندرج در جدولی که در ادامه می‌آید پیشنهاد می‌شود:

سرعت آب		قطر لوله مکش	
ft/s	**m/s**	**mm**	**in**
1.5	0.5	25	1
1.6	0.5	50	2
1.7	0.5	75	3
1.8	0.55	100	4
2	0.6	150	6
2.5	0.75	200	8
3	0.9	250	10
4.5	1.4	300	12

SOURCE: WWW.ENGINEERINGTOOLBOX.COM

ظرفیت پمپ و اندازه لوله

اندازه لوله (mm)	ظرفیت پمپ (lit/s)	ظرفیت پمپ (gpm)	اندازه لوله (in)
25	تا 1.0	تا 15	1
32	0.5-1.5	5-20	1(1/4)
38	1.0 - 2.0	10 - 25	1(1/2)
51	1.5 - 3.0	20 - 50	2
64	2.0 - 5.0	30 - 75	2(1/2)
76	3.5 - 8.5	55 - 135	3
102	7.0 - 17.0	115 - 275	4
127	21.0 - 50.0	200 - 500	5
152	12.5 - 31.5	330 - 800	6
203	44 - 82	700 - 1300	8
254	79 - 110	1250 - 1750	10
305	100 - 160	1600 - 2500	12

رابطه سرعت سیال با فشار سرعتی

فشار سرعتی تابعی از سرعت ســـیال است که مقادیر آن در جدول زیر گرد آمده است.

سرعت (فوت بر ثانیه)	فشار سرعتی (فوت)	سرعت (فوت بر ثانیه)	فشار سرعتی (فوت)	سرعت (فوت بر ثانیه)	فشار سرعتی (فوت)
0.5	0.004	7.5	0.875	14.5	3.269
1.0	0.016	8.0	0.995	15.0	3.498
1.5	0.035	8.5	1.123	15.5	3.735
2.0	0.062	9.0	1.259	16.0	3.980
2.5	0.097	9.5	1.403	16.5	4.232
3.0	0.140	10.0	1.555	17.0	4.493
3.5	0.190	10.5	1.714	17.5	4.761
4.0	0.248	11.0	1.881	18.0	5.037
4.3	0.314	11.5	2.056	18.5	5.321
5.0	0.389	12.0	2.239	19.0	5.613
5.5	0.470	12.5	2.429	19.5	5.912
6.0	0.560	13.0	2.627	20.0	6.219
6.5	0.657	13.5	2.833	21.0	6.856
7.0	0.762	14.0	3.047	22.0	7.525

SOURCE :HVAC EQUATION ،DATA AND RULES OF THUMB .ARTHUR A.BELL

❋ ❋ ❋

مشخصات پمپ گریز از مرکز (یک پروانه)، ساخت شرکت صنعتی کوشش

مدل	32-160		32-160		32-200		32-200		32-250		32-250		40-125		40-125	
دور (rpm)	2900		1450		2900		1450		2900		1450		2900		1450	
	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)
	10	35	**6**	8.5	**8**	54	**4**	13.4	**12**	80	**6**	20	**10**	23.5	**6**	5.8
	15	33	**8**	8	**10**	52.5	**5**	13.1	**16**	75	**8**	18.5	**20**	21.5	**10**	5.4
	20	29	**10**	7.2	**12**	50	**6**	12.5	**18**	70	**9**	17	**30**	17.5	**14**	4.6
	25	24	**12**	6.2	**14**	46.5	**7**	11.8	**20**	60	**10**	15	**35**	14.5	**18**	3.5
	28	20	**14**	5	**16**	-	**8**	10.4	**22**	-	**11**	-	**40**	10.5	**20**	2.7
قطر فلنج مکش پمپ (in)	2		2		2		2		2		2		$2\ ^1/_2$		$2\ ^1/_2$	
قطر فلنج دهش پمپ (in)	$1\ ^1/_4$		$1\ ^1/_4$		$1\ ^1/_4$		$1\ ^1/_4$		$1\ ^1/_4$		$1\ ^1/_4$		$1\ ^1/_2$		$1\ ^1/_2$	
قطر لوله مکش (in)	$2\ ^1/_2$		2		2		$2\ ^1/_2$		$2\ ^1/_2$		2		3		$2\ ^1/_2$	
قطر لوله دهش (in)	2		$1\ ^1/_2$		$1\ ^1/_4$		2		2		$1\ ^1/_4$		$2\ ^1/_2$		$1\ ^1/_2$	
قطر پروانه (mm)	160		160		200		200		250		250		125		125	
توان (kW)	4		0.55		0.75		5.5		15		1.5		3		0.37	
توان (hp)	5.5		0.75		1		7.5		20		2		4		0.5	
جریان (A)	8.7		1.7		2.2		11.6		29.2		4		6.6		1.06	
ولتاژ (V)	380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660	

← ادامه

مشخصات پمپ گریز از مرکز (یک پروانه)، (ادامه)

مدل	40-160		40-160		40-200		40-200		40-250		40-250		50-160		50-160	
دور (rpm)	2900		1450		2900		1450		2900		1450		2900		1450	
	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)
	15	34.5	**8**	8.6	**15**	52.5	**8**	13	**25**	85	**15**	21	**30**	32	**15**	7.9
	25	31.5	**11**	8.2	**20**	50	**11**	12.3	**35**	82	**20**	19.5	**40**	31	**20**	7.8
	30	27.5	**14**	7.3	**25**	46	**14**	10.8	**40**	78	**22**	18.5	**50**	29.8	**25**	7.4
	35	22	**17**	5.8	**30**	40	**16**	9.4	**45**	72	**25**	17	**60**	27.5	**30**	6.8
	40	-	**20**	-	**35**	31	**18**	-	**55**	58	**30**	13.2	**70**	24	**35**	-
قطر فلنج مکش پمپ (in)	$2\frac{1}{2}$		$2\frac{1}{2}$		$2\frac{1}{2}$		$2\frac{1}{2}$		$2\frac{1}{2}$		$2\frac{1}{2}$		$2\frac{1}{2}$		$2\frac{1}{2}$	
قطر فلنج دهش پمپ (in)	$1\frac{1}{2}$		$1\frac{1}{2}$		$1\frac{1}{2}$		$1\frac{1}{2}$		$1\frac{1}{2}$		$1\frac{1}{2}$		2		2	
قطر لوله مکش (in)	3		$2\frac{1}{2}$		3		$2\frac{1}{2}$		3		$2\frac{1}{2}$		4		$2\frac{1}{2}$	
قطر لوله دهش (in)	$2\frac{1}{2}$		$1\frac{1}{2}$		$2\frac{1}{2}$		$1\frac{1}{2}$		$2\frac{1}{2}$		2		3		$2\frac{1}{2}$	
قطر پروانه (mm)	160		160		200		200		250		250		160		160	
توان (kW)	5.5		0.75		11		1.1		3		22		7.5		1.1	
توان (hp)	7.5		1		15		1.5		4		30		10		1.5	
جریان (A)	11.6		2.25		22		2.8		7.5		39.5		15.7		2.8	
ولتاژ (V)	380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660	

← ادامه

مشخصات پمپ گریز از مرکز (یک پروانه)، (ادامه)

مدل	50-200		50-200		50-250		50-250		65-125		65-125		65-160		65-160	
دور (rpm)	2900		1450		2900		1450		2900		1450		2900		1450	
	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)
	30	52	**20**	12.8	**30**	82	**20**	19.5	**60**	19.5	**30**	4.8	**40**	34.3	**20**	8.6
	45	50	**25**	12.3	**45**	78	**25**	18.5	**80**	17.8	**40**	4.4	**80**	31	**40**	7.7
	60	46	**30**	11.6	**60**	70	**30**	17	**100**	15.3	**50**	3.8	**100**	28	**50**	6.9
	75	40	**35**	10.6	**70**	62	**35**	14.8	**120**	11.8	**60**	2.8	**140**	18	**70**	4.4
	90	-	**40**	9.2	**80**	53	**40**	12	**140**	7.5	**70**	1.8	**160**	-	**80**	2.9
قطر فلنج مکش پمپ (in)	$2\,^1/_2$		$2\,^1/_2$		$2\,^1/_2$		$2\,^1/_2$		3		3		3		3	
قطر فلنج دهش پمپ (in)	2		2		2		2		$2\,^1/_2$		$2\,^1/_2$		$2\,^1/_2$		$2\,^1/_2$	
قطر لوله مکش (in)	5		3		5		3		6		4		6		4	
قطر لوله دهش (in)	4		$2\,^1/_2$		4		$2\,^1/_2$		5		3		5		3	
قطر پروانه (mm)	200		200		250		250		125		125		160		160	
توان (kW)	15		2.2		3		22		7.5		1.1		15		1.5	
توان (hp)	20		3		4		30		10		1.5		20		2	
جریان (A)	29		5.2		7.5		39.5		15.7		2.85		29.2		4	
ولتاژ (V)	380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660	

← ادامه

مشخصات پمپ گریز از مرکز (یک پروانه)، (ادامه)

مدل	65-200		65-250		65-200		65-250		80-160		80-160		80-200		80-200	
دور (rpm)	2900		1450		2900		1450		2900		1450		2900		1450	
	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)
	40	53.5	**20**	13.7	**40**	86	**25**	21.5	**50**	32.3	**50**	8	**80**	51	**40**	12.9
	80	50	**40**	12.7	**80**	83	**40**	20.7	**100**	31	**70**	7.4	**120**	48	**60**	12
	110	43	**50**	11	**120**	73	**60**	18.4	**150**	28.1	**90**	6.4	**160**	43	**80**	10.8
	140	33.5	**60**	10.4	**140**	65	**70**	16.4	**200**	23	**110**	5	**200**	35	**100**	8.6
	160	-	**70**	8.7	**160**	54	**80**	13.5	**250**	13.5	**130**	3	**240**	24	**120**	5.8
قطر فلنج مکش پمپ (in)	3		3		3		3		4		4		4		4	
قطر فلنج دهش پمپ (in)	$2\ ^1/_2$		$2\ ^1/_2$		$2\ ^1/_2$		$2\ ^1/_2$		3		3		3		3	
قطر لوله مکش (in)	6		4		6		5		8		5-6		8		5-6	
قطر لوله دهش (in)	5		3		5		4		6		4-5		6		4-5	
قطر پروانه (mm)	200		200		250		250		160		160		200		200	
توان (kW)	22		3		45		7.5		18.5		2.2		30		4	
توان (hp)	30		4		60		10		25		3		40		5.5	
جریان (A)	39.5		7.5		81.5		16.5		34		5.52		54		8.8	
ولتاژ (V)	380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660	

← ادامه

مشخصات پمپ گریز از مرکز (یک پروانه)، (ادامه)

مدل	80-250		80-250		100-160		100-160		100-200		100-200		100-250		100-250	
دور (rpm)	2900		1450		2900		1450		2900		1450		2900		1450	
	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)
	50	85	**40**	21.3	**150**	27.8	**70**	7.1	**150**	51.5	**60**	13	**100**	82	**60**	20.4
	100	83	**70**	20.3	**200**	26.3	**100**	6.6	**200**	49	**90**	12.6	**175**	77	**90**	19.2
	150	79	**90**	18.8	**250**	23.6	**130**	5.9	**250**	45	**130**	11.6	**250**	67	**120**	17.2
	200	71	**120**	14.7	**300**	20.5	**160**	4.8	**300**	38.5	**150**	9.6	**300**	55	**150**	14.4
	250	56	**140**	11	**350**	16.5	**190**	3.4	**350**	29	**180**	6.3	**350**	40	**180**	10
قطر فلنچ مکش پمپ (in)	4		4		5		5		5		5		5		5	
قطر فلنچ دهش پمپ (in)	3		3		4		4		4		4		4		4	
قطر لوله مکش (in)	8		6		6-7		10		10		6-7		10		6-7	
قطر لوله دهش (in)	6		4-5		5-6		7-8		7-8		5-6		7		5-6	
قطر پروانه (mm)	250		250		169/150		169/150		200		200		250		250	
توان (kW)	75		11		3		30		7.5		55		75		11	
توان (hp)	100		15		4		40		10		75		100		15	
جریان (A)	131		23.8		7.89		54		16.5		98		131		23.8	
ولتاژ (V)	380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660	

← ادامه

مشخصات پمپ گریز از مرکز (یک پروانه)، (ادامه)

مدل	40-315		150-400		150-315		150-250		150-200		125-250		125-200		125-200	
دور (RPM)	1450		1450		1450		1450		1450		1450		1450		2900	
	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)
	8	34	**100**	49.5	**100**	31.8	**150**	19.5	**200**	10.6	**100**	21.4	**50**	12.6	**100**	50.4
	10	33.5	**200**	48	**200**	31	**200**	19	**250**	9.9	**150**	20.3	**100**	12.5	**200**	49.8
	12	32	**300**	44.3	**300**	28.2	**300**	17	**300**	9	**200**	18.4	**150**	11.7	**300**	46.5
	14	30	**400**	38	**350**	26.2	**400**	14	**350**	7.4	**250**	15.8	**200**	9.8	**400**	38
	16	22	**500**	28.5	**450**	19.5	**450**	12.2	**400**	6.6	**300**	11.7	**250**	6.3	**450**	32.2
قطر فلنج مکش پمپ (in)	$2\frac{1}{2}$		8		8		8		8		6		6		6	
قطر فلنج دهش پمپ (in)	$1\frac{1}{2}$		6		6		6		6		5		5		5	
قطر لوله مکش (in)	$2\frac{1}{2}$		12		10-12		10-12		10		8		7		12	
قطر لوله دهش (in)	$1\frac{1}{2}$		10		8-10		8-10		8		7		6		8	
قطر پروانه (mm)	310		380		310		250		209/200		250		200		200	
توان (kW)	4		75		37		22		11		18.5		11		75	
توان (hp)	5.5		100		50		30		15		25		15		100	
جریان (A)	9.26		141		70.5		44		23.8		36.5		23.8		131	
ولتاژ (V)	380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660	

← ادامه

مشخصات پمپ گریز از مرکز (یک پروانه)، (ادامه)

مدل	50-315		65-315		80-315		80-400		100-315		100-400		150-315		150-400	
دور (rpm)	1450		1450		1450		1450		1450		1450		1450		1450	
	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)	دبی (m^3/hr)	فشار (m)
	20	32.5	**25**	32	**40**	34	**40**	50.5	**60**	34.3	**40**	51	**100**	31.8	**100**	49.5
	25	31.3	**40**	31	**60**	33	**60**	50	**90**	33.6	**80**	49.5	**200**	31	**200**	48
	30	30	**60**	28	**80**	32	**80**	47.5	**120**	31.5	**120**	47	**300**	28.2	**300**	44.3
	35	28	**70**	25	**100**	29.5	**100**	42.5	**150**	28	**160**	41	**350**	26.2	**400**	38
	40	25	**80**	21.5	**120**	20	**120**	31	**180**	22.5	**200**	30	**450**	19.5	**500**	28.5
قطر فلنج مکش پمپ (in)	$2\ ^1/_2$		3		4		4		5		5		8		8	
قطر فلنج دهش پمپ (in)	2		$2\ ^1/_2$		3		3		4		4		6		6	
قطر لوله مکش (in)	3		4		6		6		6-7		7		10-12		12	
قطر لوله دهش (in)	$2\ ^1/_2$		3		5		5		5-6		6		8-10		10	
قطر پروانه (mm)	310		310		310		380		310		380		310		380	
توان (kW)	7.5		11		15		30		22		37		37		75	
توان (hp)	10		15		20		40		30		50		50		100	
جریان (A)	16.5		23.8		32		58.5		44		70.5		70.5		141	
ولتاژ (V)	380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660		380/660	

مرجع: کاتالوگ شرکت صنعتی کوشش (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

۳-۲۴

شبکه لوله‌کشی

اطلاعات مربوط به برخی شـــبکه‌های لوله‌کشـــی را می‌توانید از طریق مراجعه به صفحات زیر به دست آورید:

نرخ جریان در شبکه لوله‌کشی خلاء (15 inHg)	صفحه 559
نرخ جریان در شبکه لوله‌کشی هوای فشرده (100 psig)	صفحه 557
نرخ جریان در شبکه لوله‌کشی هوای فشرده (60 psig)	صفحه 556
نرخ جریان در شبکه لوله‌کشی برج‌خنک‌کن	صفحه 471
نرخ جریان چگالیده در شبکه لوله‌کشی فشار قوی (150 psig)	صفحه 314
نرخ جریان چگالیده در شبکه لوله‌کشی فشار قوی (100 psig)	صفحه 313
نرخ جریان چگالیده در شبکه لوله‌کشی فشار متوسط (50 psig)	صفحه 312
نرخ جریان چگالیده در شبکه لوله‌کشی فشار متوسط (30 psig)	صفحه 311
نرخ جریان بخار در شبکه لوله‌کشی فشار متوسط (50 psig)	صفحه 310
نرخ جریان بخار در شبکه لوله‌کشی فشار متوسط (30 psig)	صفحه 309
نرخ جریان بخار در شبکه لوله‌کشی فشار ضعیف (15 psig)	صفحه 308
نرخ جریان بخار در شبکه لوله‌کشی فشار ضعیف (1 psig)	صفحه 307

اندازه و قطر نامی لوله‌ها

اندازه نامی (NPS) (in)	قطر نامی (DN) (mm)	اندازه نامی (NPS) (in)	قطر نامی (DN) (mm)
0.25	6	8.0	200
0.5	15	10.0	250
0.75	20	12.0	300
1.0	25	14.0	350
1.25	32	16.0	400
1.5	40	18.0	450
2.0	50	20.0	500
2.5	65	24.0	600
3.0	80	36.0	900
4.0	100	42.0	1000
6.0	150	48.0	1200

SOURCE: VALVE HANDBOOK. SECOND EDITION. PHILIP L.SKOUSEN

کلاس فشار ANSI و فشار نامی

کلاس فشار ANSI (پوند بر اینچ مربع سطح)	فشار نامی (PN) (بار)
150	16
300	40
600	100
900	160
1500	250
2500	400
4500	700

SOURCE: VALVE HANDBOOK. SECOND EDITION. PHILIP L. SKOUSEN

نرخ جریان در شبکه لوله‌کشی بسته

جدول زیر برای تعیین دبی لوله‌های سیســـتم گرمایش و ســـرمایش با حداکثر افت فشار 4 فوت در هر 100 فوت و حداکثر سرعت 10 فوت در ثانیه کاربرد دارد.

قطر لوله(in)	دبی (gpm)	افت فشار(ft/100)
1/2	0 - 2	0 - 4
3/4	3 - 4	2.5 - 4
1	5 - 7.5	2.0 - 4
1(1/4)	8 - 16	1.25 - 4
1(1/2)	17 - 24	2 - 4
2	25 - 48	1.25 - 4
2(1/2)	49 - 77	2 - 4
3	78 - 140	1.5 - 4
4	141 - 280	1.25 - 4
5	281 - 500	1.5 - 4
6	501 - 800	1.75 - 4
8	801 - 1700	1.0 - 4
10	1701 - 2500	1.25 - 2.75
12	2501 - 3600	1.25 - 2.25
14	3601 - 4200	1.25 - 2.0
16	4201 - 5500	1.0 - 1.75
18	5501 - 7000	0.9 - 1.50
20	7001 - 9000	0.8 - 1.25
24	9001 - 13000	0.6 - 1.00

SOURCE: HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING SYSTEMS ESTIMATING MANUAL. SECOND EDITION -A.M.KHASHAB

کاربرد لوله‌ها و اتصالات

کاربرد	جنس لوله	نوع اتصال	جنس وصاله	کلاس وصاله	دمای کار °F	حداکثر فشار psig
سیستم بسته آب در گردش اندازه 2 اینچ و کوچکتر	فولادی درزدار	دنده‌ای	چدنی	125	250	125
	مسی سخت (l)	لحیمی- جوش نقره	مسی نرم	-	250	250
	PVC	چسبی	PVC	-	75	-
	CPVC	چسبی	CPVC	-	150	-
	PB	ذوب گرمایی	PB	-	160	-
		فشاری	فلزی	-	160	-
سیستم بسته آب در گردش اندازه 2(1/2) تا 12 اینچ	فولادی بدون درز	جوشی	فولادی نرم	استاندارد	250	400
		فلنچی	فولادی نرم	150	250	250
		فلنچی	چدنی	125	250	175
		فلنچی	چدنی	250	250	400
		شیاری	داکتیل	-	230	300
	PB	ذوب گرمایی	PB	-	160	-
بخار و چگالیده اندازه 2 اینچ و کوچکتر	فولادی بدون درز	دنده‌ای	چدنی	125	-	90
		دنده‌ای	آهن چکش‌خوار	150	-	90
	فولادی بدون درز	دنده‌ای	چدنی	125	-	100
		دنده‌ای	آهن چکش‌خوار	150	-	125
	فولادی بدون درز فوق‌سنگین	دنده‌ای	چدنی	250	-	200
		دنده‌ای	آهن چکش‌خوار	300	-	250

← ادامه

کاربرد لوله‌ها و اتصالات (ادامه)

کاربرد	جنس لوله	نوع اتصال	جنس وصاله	کلاس وصاله	دمای کار °F	حداکثر فشار psig
بخار و چگالیده اندازه $2\frac{1}{2}$ تا 12 اینچ	فولادی	جوشی	فولادی نرم	استاندارد	-	250
		فلنچی	فولادی نرم	150	-	200
		فلنچی	چدنی	125	-	100
	فولادی بدون درز فوق‌سنگین	جوشی	فولادی نرم	XS	-	700
		فلنچی	فولادی نرم	300	-	500
		فلنچی	چدنی	250	-	200
مبرد	مسی‌سخت(K)	لحیمی	مسی نرم	-	-	-
	فولادی (SML)	جوشی	فولادی نرم	-	-	-
آب آشامیدنی داخل ساختمان	مسی سخت (L)	لحیمی یا جوش نقره	مسی نرم	-	75	350
	فولادی گالوانیزه	دنده‌ای	گالوانیزه -چدنی	125	75	125
			گالوانیزه- آهن چکش‌خوار	150	75	125
	PB	ذوب گرمایی	PB	-	75	-
		فشاری	فلزی	-	75	-

SOURCE: 2000ASHRAE SYSTEMS AND EQUIPMENT HANDBOOK

تعیین دبی لوله از طریق مشاهده ریزش

وقتی که آبی از یک لوله افقی ســرباز به بیرون می‌ریزد، می‌توان از طریق رابطه زیر و با توجه به طول ریزش و ارتفاع آن دبی آب را مشخص نمود:

$$gpm = \frac{2.56 \times d^2 \times X}{\sqrt{Y}}$$

d = قطر لوله‌ای که آب به صورت کاملا پر از آن به بیرون می‌ریزد برحسب اینچ
X = طول پرتاب آب از دهانه خروجی تا نقطه‌ای که فرود می‌آید برحسب اینچ
Y = ارتفاع ریزش آب از روی لوله تا محل فرود آمدن برحسب اینچ

- **مثال:**

X = 24 in

Y = 25 in

d = 2 in

$$gpm = \frac{(2.56) \times (2^2)(24)}{\sqrt{25}}$$

$$= \frac{245.76}{5} = 49.15 \text{ gpm}$$

سرعت پیشنهادی سیال‌ها در خطوط لوله

نوع سیال	فشار (psig)	کاربرد	سرعت پیشنهادی	
			ft/min	ft/s
آب	25-40	آب شهر	120-300	2-5
آب	50-150	به طور عمومی برای گرمایش و سرمایش	300-600	5-10
آب	150 به بالا	تغذیه دیگ	600-1200	10-20
بخار اشباع	0-15	گرمایش	4000-6000	67-100
بخار اشباع	50 به بالا	مصارف مختلف	6000-10000	100-167
بخار فوق داغ	200 به بالا	توربین و دیگ‌های نیروگاهی	10000-200000	167-334

SOURCE: PIPING SYSTEMS- STEAM SYSTEMS PIPING- DANIEL A. VAN DUYNE.

سرعت برای آب و مایعات با ویسکوزیته مشابه آب

نوع خط لوله	قطر لوله (in)		
	3 - 10	10 - 28	28 - 48
	سرعت (فوت بر ثانیه)		
در مکش پمپ	1 - 4	3 - 6	5 - 8
در دهش پمپ	3 - 5	4 - 8	6 - 12
سیستم تخلیه ثقلی	3 - 5	4 - 8	6 - 10
برای مایعات با ویسکوزیته بالا			
در مکش پمپ	0.5 - 2	1 - 4	2 - 5
در دهش پمپ	3 - 5	4 - 6	5 - 7

SOURCE: PIPE LINE RULES OF THUMB HANDBOOK- E.W.MCALLISTER

حداکثر سرعت آب برای کاهش سایش جدار داخلی لوله

ساعات کارکرد در طول سال (h/yr)	سرعت آب (fps)
1500	15
2000	14
3000	13
4000	12
6000	10

SOURCE: CARRIER 1960

مقادیر سرعت و افت فشار در شبکه‌های آب سرد و آبگرم

سرعت پیشنهادی آب در شبکه لوله‌کشی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی	4 fps
حداقل و حداکثر افت فشار در شبکه لوله‌کشی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی	1 - 4 ft.w/100 ft
میانگین افت فشار مناسب در شبکه لوله‌کشی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی	2.5 ft.w/100 ft

SOURCE: ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK.

تعیین وزن لوله با جنس‌های مختلف

از طریق رابطه زیر می‌توان وزن لوله‌های مختلف را برحسب پوند به ازای هر فوت طول تخمین زد:

$$W = F \times 10.6802 \times T \times (D - T)$$

W = وزن لوله برحسب پوند به ازای هر فوت طول (lb/ft)

D = قطر خارجی لوله برحسب (in)

T = ضخامت جدار لوله برحسب (in)

F = ضریب نسبی وزن براساس جنس لوله براساس مقادیر زیر:

آلومینیوم = 0.35

برنج = 1.12

چدن = 0.91

مس = 1.14

سرب = 1.44

فولادی = 1.00

قلع = 0.93

آهن نرم = 0.98

فولاد منگنزدار = 1.02

فولاد ضد زنگ آهن‌دار = 0.95

تعیین وزن لوله بر اساس وزن مخصوص

با رابطه زیر می‌توان وزن لوله‌های مختلف را براســاس وزن مخصوص، ضخامت جدار و قطر خارجی محاسبه نمود:

$$W = G \times 0.3405 (D - 2T)^2$$

W = وزن برحسب پوند به ازای هر فوت طول لوله (lb/ft)

G = وزن مخصوص لوله بر اساس نوع جنس

D = قطر خارجی لوله برحسب (in)

T = ضخامت جدار لوله برحسب (in)

تعیین وزن لوله فولادی

با رابطه تجربی زیر می‌توان وزن لوله‌های فولادی با چگالی 490 پوند به ازای هر فوت‌مکعب را براساس قطر خارجی و ضخامت جدار به دست آورد:

$$W=(D-T^2\times10.68)\ W=[(D\times T)-T^2]\times10.68$$

D = قطر خارجی لوله برحسب (in)

T = ضخامت جدار برحسب (in)

W = وزن لوله به ازای هر فوت برحسب (lb)

● **مثال:** قطر خارجی لوله‌ای برابر 4.5 و ضخامت آن 0.25 اینچ است. وزن آن به ازای هر فوت برابر است با:

$$W=(4.5\times0.25-0.25^2)\times10.68$$
$$=(1.125-0.625)\times10.68$$
$$=1.0625\times10.68$$
$$=11.35(\text{lb})$$ پوند به ازای هر فوت طول

تخمین وزن لوله

از طریق روابط زیر می‌توان وزن تقریبی لوله‌ها را بر اساس طول و قطر داخلی و خارجی آن محاسبه نمود. در این روابط طول بر حسب فوت و وزن برحسب پوند است.

وزن لوله چدنی = $(A^2 - B^2)$ × طول لوله × 0.2042

وزن لوله فولادی = $(A^2 - B^2)$ × طول لوله × 0.2199

وزن لوله مسی = $(A^2 - B^2)$ × طول لوله × 0.2537

A = قطر خارجی لوله برحسب اینچ

B = قطر داخلی لوله برحسب اینچ

وزن لوله‌های چدنی

نوع و طول	قطر (in)	وزن معمولی (lb)	وزن سنگین (lb)
دو سر کاسه‌دار به طول 5 فوت	2	21	26
	3	31	47
	4	42	63
	5	54	78
	6	68	100
	8	105	157
	10	150	255
دو سر کاسه‌دار به طول 30 فوت	2	11	14
	3	17	26
	4	23	33
یک سر کاسه‌دار به طول 5 فوت	2	20	25
	3	30	45
	4	40	60
	5	52	75
	6	65	95
	8	100	150
	10	145	215
یک سر کاسه‌دار به طول 10 فوت	2	38	43
	3	56	83
	4	75	108
	5	98	133
	6	124	160
	8	185	265
	10	270	400
بدون سر کاسه به طول 10 فوت	1 1/2	27	–
	2	38	–
	3	54	–

← ادامه

وزن لوله‌های چدنی (ادامه)

نوع و طول	قطر (in)	وزن معمولی (lb)	وزن سنگین (lb)
بدون سر کاسه به طول 10 فوت	4	74	–
	5	95	–
	6	118	–
	8	180	–

SOURCE: COURTESY OF MCGRAW-HILL

وزن لوله فولادی با آب و بدون آب در واحد طول

قطر لوله (in)	وزن به ازای هر فوت لوله (lb)	طول لوله حاوی یک فوت‌مکعب آب (ft)	گالن در یک فوت طول لوله
1/4	0.42	–	0.005
3/8	0.57	754	0.009
1/2	0.85	473	0.016
3/4	1.13	270	0.027
1	1.67	166	0.05
1 1/4	2.27	96	0.01
1 1/2	2.71	70	0.1
2	3.65	42	0.17
2 1/2	5.8	30	0.24
3	7.5	20	0.38
4	10.8	11	0.66
5	14.6	7	1.03
6	19.0	5	1.5
8	25.5	3	2.6
10	40.5	1.8	4.1
12	53.5	1.2	5.9

معادل ضرایب اصطکاک به اینچ

ضریب اصطکاک	واحد طول(in)	ضریب اصطکاک	واحد طول(in)
0.06	1/16	0.56	9/16
0.12	1/8	0.62	5/8
0.19	3/16	0.69	11/16
0.31	5/16	0.81	13/16
0.38	3/8	0.88	7/8
0.44	7/16	0.94	15/16

SOURCE :PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL .SECOND EDITION .R.DODGE WOODSON

ظرفیت انتقال گرما توسط آبگرم در لوله‌های مسی (1)

ظرفیت انتقال گرما بر حســب MBtu/hr (Btu × 1000) توسط آبگرم در لوله‌های مسی نوع L.

جدول زیر بر اساس اختلاف دمای 20 درجه فارنهایت تنظیم شده است. در صورت اختلاف دمای 10 درجه فارنهایت مقادیر نصف خواهند شد.

قطر اسمی (in)	افت فشار (میلی اینچ درهر فوت طول لوله)			
	420	600	480	360
3/8	10	9	8	7
1/2	20	18	16	13.5
5/8	36	30	26	22
3/4	51	46	40	34
1	104	94	82	70
1(1/4)	185	169	149	125
1(1/2)	300	270	235	200
2	625	560	495	420
2(1/2)	1130	1010	890	750
3	1840	1650	1450	1210
3(1/2)	2750	2480	2170	1840
4	3900	3500	3100	2600

ظرفیت انتقال گرما توسط آبگرم در لوله‌های مسی (2)

ظرفیت انتقال گرما بر حسب MBtu/hr (Btu × 1000) توسط آبگرم در لوله‌های مسی نوع L.

جدول زیر بر اساس اختلاف دمای 20 درجه فارنهایت تنظیم شده است. در صورت اختلاف دمای 10 درجه فارنهایت مقادیر نصف خواهند شد.

قطر اسمی (in)	افت فشار (میلی اینچ در هر فوت طول لوله)			
	300	240	180	150
3/8	6	5.5	4.5	4
1/2	12	11	9	8
5/8	20	18	15	13
3/4	31	28	23	21
1	63	56	47	42
1(1/4)	112	100	84	75
1(1/2)	180	160	134	120
2	375	335	317	250
2(1/2)	680	600	500	450
3	1100	980	820	740
3(1/2)	1650	1450	1210	1100
4	2350	2090	1760	1580

ظرفیت انتقال گرما توسط آبگرم در لوله‌های مسی (3)

ظرفیت انتقال گرما بر حسب MBtu/hr (Btu × 1000) توسط آبگرم در لوله‌های مسی نوع L.

جدول زیر بر اساس اختلاف دمای 20 درجه فارنهایت تنظیم شده است. در صورت اختلاف دمای 10 درجه فارنهایت مقادیر نصف خواهند شد.

قطر اسمی (in)	افت فشار(میلی اینچ درهر فوت طول لوله)			
	120	90	75	60
3/8	3.5	3	3	2.5
1/2	7	6	5	5
5/8	12	10	9	8
3/4	18	15	14	12
1	37	32	28	25
1(1/4)	66	56	50	44
1(1/2)	105	90	81	71
2	200	188	170	150
2(1/2)	395	335	305	270
3	650	550	490	420
3(1/2)	980	820	740	650
4	1390	1180	1080	950

تخمین قطر لوله

با معلوم بودن دبی برحسب (gpm) و انتخاب سرعت مناسب می‌توان از طریق رابطه زیر قطر مناسب را به دست آورد:

$$Q = 2.449 \times V \times d^2$$

یا:

$$d = (Q \div 2.449 \times V)^{\frac{1}{2}}$$

Q = دبی بر حسب (gpm)
V = سرعت (ft/s)
d = قطر داخلی (in)

● **مثال:** دبی آب در لوله‌ای 2000 gpm و سرعت آن کمتر از 8 فوت بر ثانیه است، قطر لوله چه مقدار باید باشد؟

$$d = (Q \div 2.449 \times V)^{\frac{1}{2}}$$

$$d = (2000 \div 2.449 \times 8)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 10.1 \text{ (in)} \approx 10 \text{ (in)}$$

تعیین قطر کلکتور

برای محاسبه قطر کلکتور می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$D_C = \sqrt{(d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + ...)}$$

D_C = قطر کلکتور برحسب اینچ

$d_1 - d_2 - d_3$ = قطر لوله‌های خروجی از کلکتور بر حسب اینچ

فاصله لوله‌های ورودی یا خروجی از کلکتورها باید حداقل 30 سانتی‌متر باشد و فاصله انتها و یا ابتدای کلکتور با اولین یا آخرین لوله ورودی در حدود 20 سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس پس از تعیین قطر کلکتور می‌توان طول آن را نیز مشخص کرد.

تعیین تعداد لوله‌های منشعب از لوله اصلی

از طریق رابطه و یا جدول زیر می‌توان، تعداد لوله‌های منشعب از یک لوله اصلی را تعیین نمود:

$$N = \sqrt{(\frac{D}{d})^5}$$

N = تعداد لوله‌های منشعب
D = قطر لوله اصلی (mm)
d = قطر لوله‌های منشعب (mm)

تعیین تعداد لوله‌های منشعب از لوله اصلی

قطر نامی لوله اصلی (mm)	قطر نامی لوله‌های منشعب (mm)								
	100	75	65	50	40	32	25	20	15
100	1	2	3	6	10	17	32	56	115
75		1	2	3	5	9	16	28	56
65			1	2	4	6	11	19	39
50				1	2	3	6	10	21
40					1	2	4	6	12
32						1	2	4	7
25							1	2	4
20								1	2
15									1

مرجع: تجهیزات و تاسیسات ساختمان - تالیف فرد هال - ترجمه اردشیر اطیابی

تعیین حداکثر فاصله مجاز بست لوله‌ها

بـــرای لوله‌های فولادی رده 40 با قطر کمتر از 12 اینچ می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$S=7\sqrt{N}$$

S = حداکثر فاصله مجاز بست (فوت)

N = قطر اسمی لوله (اینچ)

برای لوله‌های فولادی رده 40 با قطر بیشـــتر از 12 اینچ می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$S=6.6\sqrt{\rho}$$

S = حداکثر فاصله مجاز بست (فوت)

ρ = قطر واقعی خارجی (اینچ)

- **مثال:** فاصله بست برای لوله 4 اینچ چه مقدار است؟

$$S=7\sqrt{4}=7\times 2=14\ \text{ft}$$

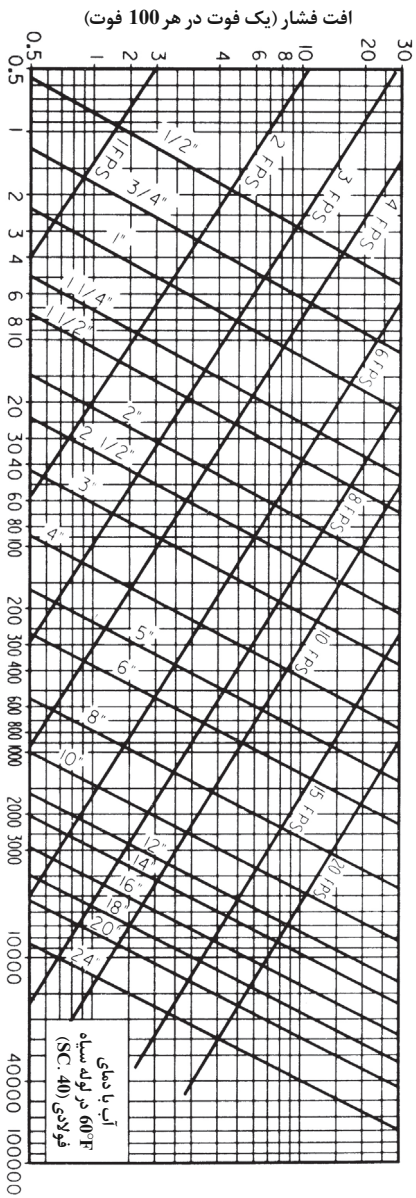
فاصله بست‌آویز لوله‌ها

قطر لوله (in)	فواصل بست‌آویز(ft)			قطر میل‌گرد آویز (in)
	لوله فولادی[1]		لوله مسی	
	آب	بخار	آب	
1/2	7	8	5	1/4
3/4	7	9	5	1/4
1	7	9	6	1/4
1(1/2)	9	12	8	3/8
2	10	13	8	3/8
2(1/2)	11	14	9	3/8
3	12	15	10	3/8
4	14	17	12	1/2
6	17	21	14	1/2
8	19	24	16	5/8
10	20	26	18	3/4
12	23	30	19	7/8
14	25	32	-	1
16	27	35	-	1
18	28	37	-	1(1/4)
20	30	39	-	1(1/4)

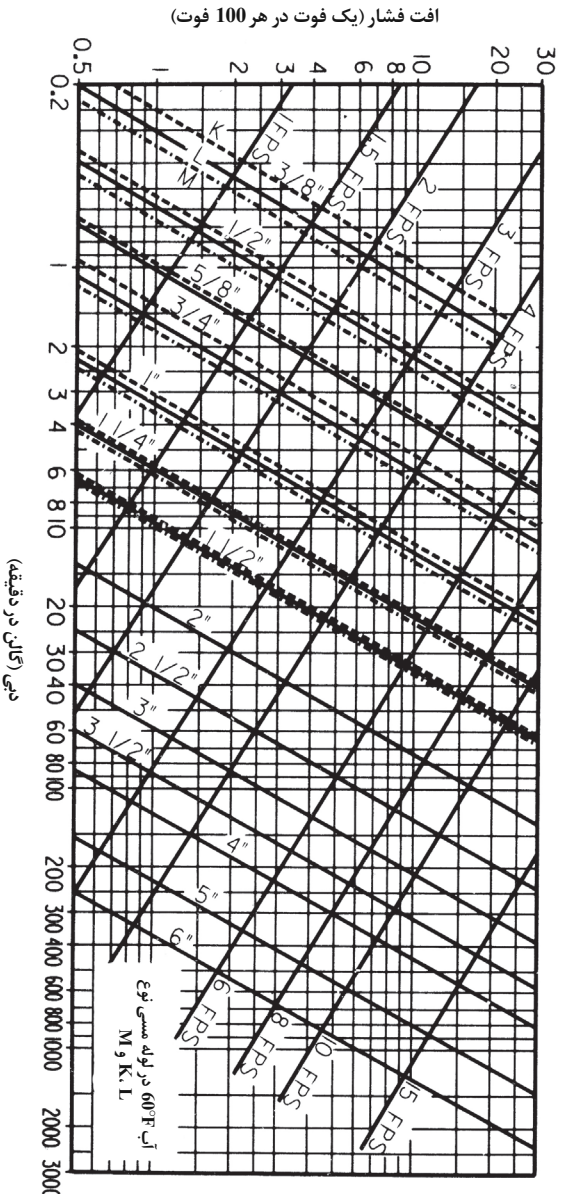
1- فواصل تعیین شده تنها برای خط افقی لوله است و شامل مقاطعی که در آنها فلنج، شیر و یا سایر قطعات نصب می‌شود نمی‌گردد.

SOURCE: 2000 ASHRAE SYSTEMS AND EQUIPMENT HANDBOOK.

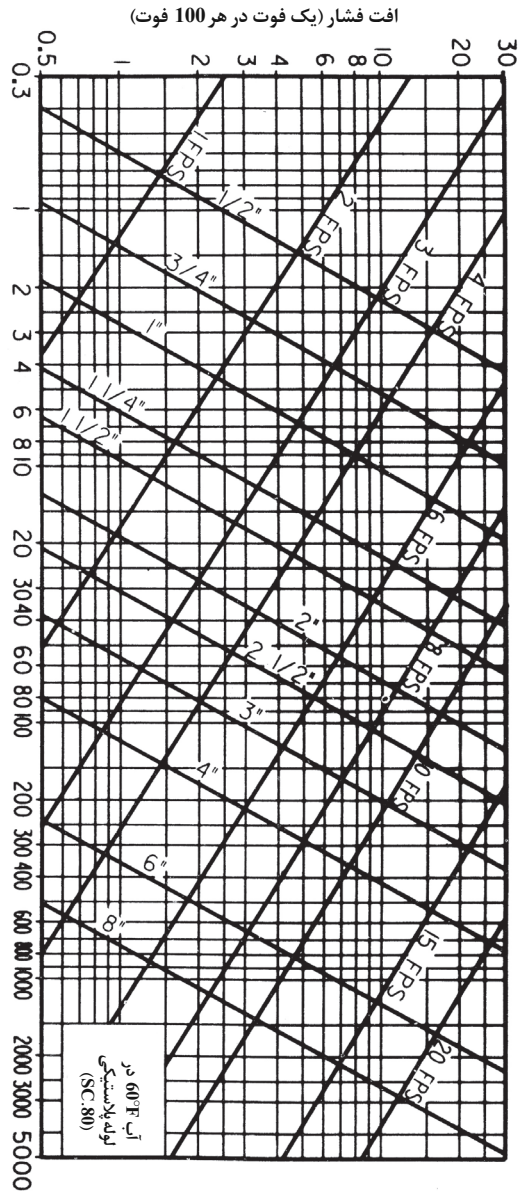
تعیین دبی و افت فشار در لوله فولادی



تعیین دبی و افت فشار در لوله مسی



تعیین دبی و افت فشار در لوله پلاستیکی



تخمین انبساط طولی لوله فولادی

انبســـاط طولی لوله‌های فولادی تقریبا 8 اینچ بـــه ازای هر 100 درجه فارنهایت برای هر 100 فوت طول لوله است:

$$\text{انبساط طولی} = 0.8 \times \frac{\text{تغییر دما (فارنهایت)}}{100} \times \frac{\text{طول لوله (فوت)}}{100}$$

● **مثال:** انبســـاط طولی خط لوله‌ای به طول 1000 فوت با تغییر دمای 100 درجه فارنهایت مطابق محاسبه زیر برابر با 8 اینچ است:

$$0.8\times\frac{1000}{100}\times\frac{1000}{100}=0.8\times10\times1=8(\text{in})$$

تعیین تنش در جدار لوله

از طریق رابطه زیر می‌توان تنش ایجادشـــده در جدار لوله بر اثر فشـــار داخلی را تعیین نمود:

$$St=\frac{1}{2}\times(D\times P)/T$$

St = تنش در جدار لوله (psi)

D = قطر لوله (in)

T = ضخامت جدار (in)

P = فشار داخلی (psi)

● **مثـــال:** تنش جدار لوله‌ای به قطر 24 اینچ با ضخامت جدار 1/4 اینچ در حالی که فشارسنج، فشـــار داخلی سیال را 800 psi نشان می‌دهد، چه مقدار است؟

$$St=(\frac{1}{2}\times24\times800)/\frac{1}{4}=38400\,\text{psi}$$

انبساط حرارتی انواع لوله‌ها

نوع لوله	ضریب in/(in/°F)	ضریب (°C)
لوله‌های فلزی		
کربن استیل	0.000005	(14.0)
فولادی	0.000115	(69)
چدنی	0.0000056	(1.0)
مسی	0.000010	(1.8)
آلومینیومی	0.0000980	(1.7)
برنجی (زرد)	0.000001	(1.8)
برنجی (قرمز)	0.000009	(1.4)
لوله‌های پلیمری		
ABC	0.00005	(8)
PVC	0.000060	(33)
PB	0.000150	(72)
PE	0.000080	(14.4)
CPVC	0.000035	(6.3)
STYRENE	0.000060	(33)
PVDF	0.000085	(14.5)
PP	0.000065	(77)
SARAN	0.000038	(6.5)
CAB	0.000080	(14.4)
FRP	0.000011	(1.9)
PVDF	0.000096	(15.1)
CAB	0.000085	(14.5)
HDPE	0.00011	(68)
لوله شیشه‌ای		
بوروسیلیکات	0.0000018	(0.33)

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON.

انبساط طولی لوله‌ها

(افزایش برحسب اینچ به ازای 100 فوت)

دما (°F)	چدن	آهن نرم	فولادی	برنجی و مسی
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.36	0.40	0.38	0.57
100	0.72	0.79	0.76	1.14
125	0.88	0.97	0.92	1.40
150	1.10	1.21	1.15	1.75
175	1.20	1.41	1.34	2.04
200	1.50	1.65	1.57	2.38
225	1.70	1.87	1.78	2.70
250	1.90	2.09	1.99	3.02
275	2.15	2.36	2.26	3.42
300	2.35	2.58	2.47	3.74
325	2.60	2.86	2.73	4.13
350	2.80	3.08	2.94	4.45
375	3.15	3.46	3.31	5.01
400	3.30	3.63	3.46	5.24
425	3.68	4.05	3.86	5.85
450	3.89	4.28	4.08	6.18
475	4.20	4.62	4.41	6.68
500	4.45	4.90	4.67	7.06
525	4.75	5.22	4.99	7.55
550	5.05	5.55	5.30	8.03
575	5.36	5.90	5.63	8.52
600	5.70	6.26	5.98	9.06
623	6.05	6.65	6.35	9.62

← ادامه

انبساط طولی لوله‌ها (ادامه)

دما (°F)	چدن	آهن نرم	فولادی	برنجی و مسی
650	6.40	7.05	6.71	10.18
975	6.78	7.46	7.12	10.78
700	7.15	7.86	7.50	11.37
725	7.58	8.33	7.96	12.06
750	7.96	8.75	8.36	12.66
775	8.42	9.26	8.84	13.38
800	8.87	9.76	9.31	14.10

SOURCE: HVAC FUNDAMENTALS- VOLUME 2 – JAMES G.BRUMBAUGH.

گنجایش لوله‌ها

قطر لوله (in)	گنجایش تقریبی به ازای هر فوت طول لوله برحسب گالن آمریکایی
3/4	0.0230
1	0.0408
1 1/4	0.0638
1 1/2	0.0918
2	0.1632
3	0.3673
4	0.6528
6	1.469
8	2.611
10	4.018

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON.

الزامات جلوگیری از یخزدگی آب در لوله‌ها

عایق‌کاری و گردش مقدار مشخصی آب در داخل لوله‌ها تحت شرایط و ضوابط خاصی می‌تواند مانع از یخزدگی شود.

الزامات جلوگیری از یخ‌زدگی آب در لوله‌ها

ضخامت عایق (in)						
4	3	2	4	3	2	
دبی جرمی آب در واحد طول لوله برای جلوگیری از یخ‌زدگی (lb/hr.ft)			زمان یخ زدن (hr)			قطر لوله فولادی (in)
0.39	0.45	0.54	0.36	0.32	0.27	0.5
0.48	0.55	0.70	0.85	0.75	0.61	1
0.58	0.68	0.89	1.69	1.46	1.16	1.5
0.66	0.79	1.05	2.49	2.13	1.67	2
0.84	1.03	1.44	2.42	3.71	2.83	3
1.00	1.26	1.83	6.54	5.43	4.07	4
1.19	1.52	2.30	8.96	7.36	5.45	5
1.37	1.80	2.83	11.5	9.37	6.86	6
1.76	2.39	4.08	16.5	13.3	9.59	8
2.21	3.13	5.94	22.1	17.6	12.6	10
2.70	3.99	8.63	27.4	21.7	15.4	12

SOURCE: ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK.

ابعاد پیشنهادی ترانشه لوله‌گذاری

قطر لوله (in)	عرض ترانشه (ft)	عمق ترانشه (ft)
تا 12	2.0	6.0
14–18	3.0	6.0
20–24	4.0	6.0
30–36	5.0	6.0

1 in = 25.4 mm؛ 1 mm = 0.0394 in
1 ft = 0.305 m؛ 1 m = 3.28 ft

SOURCE: HEATING, VENTILATING AND AIR CONDITIONING SYSTEMS ESTIMATING MANUAL- SECOND EDITION- A.M. KHASHAB

خروجی از لوله به طول 50 فوت

قطر لوله (in)	فشار (psi)	خروجی (gpm)	قطر لوله (in)	فشار (psi)	خروجی (gpm)
3/4	20	16	1 1/4	20	84
3/4	40	24	1 1/4	40	121
3/4	60	29	1 1/4	60	151
3/4	80	34	1 1/4	80	177
1	20	31	1 1/2	20	94
1	40	44	1 1/2	40	137
1	60	55	1 1/2	60	170
1	80	65	1 1/2	80	200

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON.

خروجی از لوله به طول 100 فوت

قطر لوله (in)	فشار (psi)	خروجی (gpm)	قطر لوله (in)	فشار (psi)	خروجی (gpm)
3/4	20	11	1 1/4	20	58
3/4	40	16	1 1/4	40	84
3/4	60	20	1 1/4	60	104
3/4	80	24	1 1/4	80	121
1	20	21	1 1/2	20	65
1	40	31	1 1/2	40	94
1	60	38	1 1/2	60	117
1	80	44	1 1/2	80	137

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON.

خروجی از لوله به طول 200 فوت

قطر لوله (in)	فشار (psi)	خروجی (gpm)	قطر لوله (in)	فشار (psi)	خروجی (gpm)
4/3	20	8	1 1/4	20	39
4/3	40	11	1 1/4	40	58
4/3	60	14	1 1/4	60	72
4/3	80	16	1 1/4	80	84
1	20	14	1 1/2	20	45
1	40	21	1 1/2	40	65
1	60	26	1 1/2	60	81
1	80	31	1 1/2	80	94

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON.

مشخصات فیزیکی لوله PVC

قطر نامی (in)	قطر خارجی (in)	قطر داخلی (in)	ضخامت دیواره (in)
1/2	0.840	0.750	0.045
3/4	1.050	0.940	0.055
1	1.315	1.195	0.060
1 1/4	1.660	1.520	0.070
1 1/2	1.900	1.740	0.80
2	2.375	2.175	0.100
2 1/2	2.875	2.635	0.120
3	3.500	3.220	0.140
4	4.500	4.110	0.195

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL. SECOND EDITION. R.DODGE WOODSON.

مشخصات لوله‌های فولادی

مشخصات لوله‌های فولادی مطابق استاندارد BS 1387: 1985

قطر اسمی		قطر خارجی		ضخامت جدار			وزن لوله سیاه					
							سبک		متوسط		سنگین	
in	mm	سبک mm	سنگین و متوسط mm	سبک mm	متوسط mm	سنگین mm	ساده kg/m	دنده شده kg/m	ساده kg/m	دنده شده kg/m	ساده kg/m	دنده شده kg/m
1/4	8	13.6	13.9	1.8	2.3	2.9	0.515	0.519	0.641	0.645	0.765	0.769
3/8	10	17.1	17.4	1.8	2.3	2.9	0.670	0.676	0.839	0.845	1.02	1.03
1/2	15	21.4	21.7	2.0	2.6	3.2	0.947	0.956	1.21	1.22	1.44	1.45
3/4	20	26.9	27.2	2.3	2.6	3.2	1.38	1.39	1.56	1.57	1.87	1.88
1	25	33.8	34.2	2.6	3.2	4.0	1.98	2.00	2.41	2.43	2.94	2.96
1 (1/4)	32	42.5	42.9	2.6	3.2	4.0	2.54	2.57	3.10	3.13	3.08	3.83
1(1/2)	40	48.4	48.8	2.9	3.2	4.0	3.23	3.27	3.57	3.61	4.38	4.42

← ادامه

مشخصات لوله‌های فولادی (ادامه)

قطر اسمی		قطر خارجی		ضخامت جدار			وزن لوله سیاه					
							سبک		متوسط		سنگین	
in	mm	سبک	سنگین و متوسط	سبک	متوسط	سنگین	ساده	دنده شده	ساده	دنده شده	ساده	دنده شده
		mm	mm	mm	mm	mm	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m
2	50	60.2	60.8	2.9	3.6	4.5	4.08	4.15	5.03	5.10	6.19	6.26
2(1/2)	65	76.0	76.6	3.2	3.6	4.5	5.71	5.83	6.43	6.55	7.93	8.05
3	80	88.7	89.5	3.2	4.0	5.0	6.72	6.89	8.37	8.54	10.3	10.5
4	100	113.9	114.9	3.6	4.5	5.4	9.75	10.0	12.2	12.5	14.5	14.8
5	125	-	140.6	-	5.0	5.4	-	-	16.6	17.1	17.9	18.4
6	150	-	166.1	-	5.0	5.4	-	-	19.7	20.3	21.3	21.9

مشخصات لوله‌های مسی

مشخصات لوله‌های مسی مطابق استاندارد BS 2871:1972

قطر اسمی mm	قطر خارجی mm	جدول X نیمه سخت سبک (شاخه‌ای)		جدول Y نیمه سخت تاب داده شده(کلافی)		جدول Z سخت با جدار نازک	
		ضخامت جدار mm	حداکثر فشار کار N/mm^2	ضخامت جدار mm	حداکثر فشار کار N/mm^2	ضخامت جدار mm	حداکثر فشار کار N/mm^2
6	6	0.6	13.3	0.8	14.4	0.5	11.3
8	8	0.6	9.7	0.8	10.5	0.5	9.8
10	10	0.6	7.7	0.8	8.2	0.5	7.8
12	12	0.6	6.3	0.8	6.7	0.5	6.4
15	15	0.7	5.8	1.0	6.7	0.5	5.0
18	18	0.8	5.6	1.0	5.5	0.6	5.0
22	22	0.9	5.1	1.2	5.7	0.6	4.1
28	28	0.9	4.0	1.2	4.2	0.6	3.2

← ادامه

مشخصات لوله‌های مسی (ادامه)

قطر اسمی	قطر خارجی	جدول X نیمه سخت سبک (شاخه‌ای)		جدول Y نیمه سخت تاب داده شده(کلافی)		جدول Z سخت با جدار نازک	
mm	mm	ضخامت جدار mm	حداکثر فشار کار N/mm^2	ضخامت جدار mm	حداکثر فشار کار N/mm^2	ضخامت جدار mm	حداکثر فشار کار N/mm^2
35	35	1.2	4.2	1.5	4.1	0.7	3.0
42	42	1.2	3.5	1.5	3.4	0.8	2.8
54	54	1.2	2.7	2.0	3.6	0.9	2.5
67	67	1.2	2.0	2.0	2.8	1.0	2.0
76.1	76.2	1.5	2.4	2.0	2.5	1.2	1.9
108	108.1	1.5	1.7	2.5	2.2	1.2	1.7
133	133.4	1.5	1.4	-	-	1.5	1.6
159	159.4	2.0	1.5	-	-	1.5	1.5

مشخصات لوله‌های پلیمری با لایه میانی آلومینیومی (پنج لایه)

ساخت شرکت سوپر پایپ

قطر داخلی (mm)	10	12	14	15	20	25	32	40	50
قطر خارجی × جداره (mm)	14 × 2	16 × 2	16 × 2	20 × 2.5	25 × 2.5	32 × 3	40 × 4	50 × 4.5	63 × 6
وزن بر متر طول (Gr/m)	92	107	125	153	210	325	508	720	1220
حجم آب در طول لوله (lit/m)	0.078	0.113	0.153	0.190	0.314	0.531	0.803	1.320	2.042

ضریب زبری (mm)	0.007	حداکثر دمای کار در زمان طولانی (°C)	95
ضریب انتقال حرارت (W/mK)	0.40	حداکثر دمای کار در زمان کوتاه (°C)	110
ضریب انبساط طولی (m/mK)	25×10^{-6}	حداکثر فشار کار در زمان طولانی (bar)	10

مرجع: کاتالوگ شرکت سوپر پایپ (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

* * *

۳-۲۵

فن

فن‌ها ممکن است به صورت دمنده یا مکنده عمل کنند. فن‌های مورد استفاده در سیستم‌های تهویه‌مطبوع شامل دو گروه فن‌های گریز از مرکز و جریان محوری می‌شوند. فن‌های گریز از مرکز نسبت به فن‌های جریان محوری کم صداتر هستند و توان کار برای فشارهای زیاد را دارند. از این‌رو استفاده این گونه فن‌ها که زاویه ورود و خروج هوا در آنها 90 درجه است در شبکه کانال و در اماکنی که موضوع کاهش سر و صدا دارای اهمیت است، بسیار رایج‌تر از فن‌های جریان محوری است.

در فن‌های جریان محوری ورود و خروج هوا در یک جهت و به موازات محور فن صورت می‌گیرد. این گونه فن‌ها به رغم سر و صدای نسبتا بیشتر به دلیل بازده مناسب در اماکن و مواردی که وجود سر و صدا چندان اهمیتی نداشته و در عین حال برای مکش یا دهش هوا نیز نیازی به اجرای شبکه کانال‌کشی نباشد، کاربرد زیادی دارند.

طبقه‌بندی فن‌ها بر اساس حداکثر فشار کل

رتبه و طبقه	حداکثر فشار کل (in w.g)
I	3 - 3/4
II	6 - 3/4
III	12 - 3/4
IV	بیشتر از 12

انواع فن و مشخصات عمومی آنها

نوع فن	نوع ارتباط فن با موتور و نوع پروانه	فشار استاتیک (اینچ آب)	قطر فن (اینچ)	دبی (cfm)	توان (hp)
گریز از مرکز					
	SWSI - BI/B	0 - 12	10 - 73	600 - 123000	1/3 - 200
	DWDI - BI/B	0 - 12	12 - 73	1300 - 225000	1/3 - 200
	SWSI - AF/B	0 - 14	18 - 120	1400 - 447000	1/3 - 200
	DWDI - AF/B	0 - 14	18 - 120	2400 - 804000	3/4 - 250
گریز از مرکز لوله‌ای					
	BI/B	0 - 9	10 - 108	450 - 332000	1/3 - 750
پره محوری					
	/B	0 - 5	18 - 72	1400 - 115000	1/3 - 100
	/D	0 - 4	18 - 60	1200 - 148000	1/3 - 150
لوله محوری					
	/B	0 - 15	12 - 60	900 - 76000	1/3 - 25
	/D	0 - 1	18 - 48	2600 - 48000	1/4 -15
ملخی					
	/B	0 - 1	20 - 72	400 - 80000	1/4 - 15
	/D	0 - 1	8 - 48	50 - 49000	1/6 - 10
گریز از مرکز بین کانالی					
	BI/B	0 - 2.25	7 - 36	60 - 22600	1/4 - 10
	BI/D	0 - 1.75	6 - 16	60 - 5100	1/8 - 2

با یک ورودی:	SWSI	ایرفویل:	AF
مستقیم:	D	تسمه‌ای:	B
با دو ورودی:	DWDI	انحنا به جلو:	FC
		انحنا به عقب:	BI

SOURCE: HVAC EQUATION, DATA AND RULES OF THUMB. ARTHUR A.BELL

قوانین فن‌ها

1A	$Q_1 = Q_2 \times (D_1 / D_2)^3 \times (N_1 / N_2)$
1B	$P_1 = P_2 \times (D_1 / D_2)^2 \times (N_1 / N_2)^2 \times (\rho_1 / \rho_2)$
1C	$W_1 = W_2 \times (D_1 / D_2)^5 \times (N_1 / N_2)^3 \times (\rho_1 / \rho_2)$
2A	$Q_1 = Q_2 \times (D_1 / D_2)^2 \times (P_1 / P_2)^{1/2} \times (\rho_1 / \rho_2)^{1/2}$
2B	$N_1 = N_2 \times (D_2 / D_1) \times (P_1 / P_2)^{1/2} \times (\rho_1 / \rho_2)^{1/2}$
2C	$W_1 = W_2 \times (D_1 / D_2)^2 \times (P_1 / P_2)^{3/2} \times (\rho_1 / \rho_2)^{1/2}$
3A	$N_1 = N_2 \times (D_2 / D_1)^3 \times (Q_1 / Q_2)$
3B	$P_1 = P_2 \times (D_2 / D_1)^4 \times (Q_1 / Q_2)^2 \times (\rho_1 / \rho_2)$
3C	$W_1 = W_2 \times (D_2 / D_1)^4 \times (Q_1 / Q_2)^3 \times (\rho_1 / \rho_2)$

Q = ظرفیت هوادهی	*D = قطر پروانه*
N = سرعت	*ρ = چگالی*
W = توان	*P = فشار*

- استفاده از این قوانین تنها زمانی قابل قبول است که نوع فن و بازده ثابت باشد.

قوانین 1B،1A و 1C، نشانگر تاثیرات تغییر قطر، سرعت و چگالی بر ظرفیت، فشار و توان است.

قوانین 2B،2A و 2C، نشانگر تاثیرات تغییر قطر، فشار و چگالی بر ظرفیت، سرعت و توان است.

قوانین 3B،3A و 3C، نشانگر تاثیرات تغییر قطر، ظرفیت و چگالی بر سرعت، فشار و توان است.

SOURCE: ASHRAE SYSTEM AND EQUIPMENT HANDBOOK -FANS.

مشخصات عمومی فن‌های گریز از مرکز

نوع فن	بیشترین بازده	توضیحات	
گریز از مرکز انحنا به جلو	تحت فشار کم و متوسط بین 0 تا 5 اینچ ستون آب	ارزان - امکان کار در سرعت‌های پایین بین 400 تا 1200 دور در دقیقه	امکان قرارگیری تحت اضافه بار - عدم امکان استفاده در سرعت‌های زیاد
گریز از مرکز انحنا به عقب	تحت فشار متوسط بین 3.5 تا 5 اینچ ستون آب	بازده خوب- امکان استفاده در فشار استاتیک زیاد...	سر و صدای بیشتر- گران‌تر از فن‌های انحنا به جلو
گریز از مرکز ایرفویل	تحت فشار 4 تا 8 اینچ ستون آب	امکان کار تحت سرعت‌های زیاد بین 1200 تا 2800 دور در دقیقه. بازده مناسب	سر و صدای بیشتر- گران‌ترین نوع فن گریز از مرکز
رادیال	تحت فشار بالا و سرعت‌های زیاد بین 2000 تا 3000 دور در دقیقه	این نوع فن چندان استفاده‌ای در سیستم‌های تهویه‌مطبوع ندارد و بیشتر در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد.	

مشخصات عمومی فن‌های جریان محوری

نوع فن	توضیحات
ملخی یا پروانه‌ای	فشار کم- دبی زیاد. نباید در مسیر کانال یا دارای شبکه کانال باشد. ارزان قیمت. مناسب برای سرعت‌های کم بین 900 تا 1800 دور در دقیقه. نمی‌تواند بر فشار استاتیک غلبه کند. مصرف جریان با فشار استاتیک افزایش یافته و تحت اضافه بار قرار می‌گیرد.
لوله محوری	امکان استفاده از این نوع در مسیر کانال وجود دارد. بازده بیشتری نسبت به فن‌های ملخی یا پروانه‌ای دارد. تحت فشارهای کم و متوسط با حجم زیاد در شبکه‌های کانال سیستم‌های تهویه‌مطبوع قابل استفاده است. قابلیت کار تحت سرعت‌های بالا بین 2000 تا 3000 دور در دقیقه را دارد. پر سر و صدا است. به دلیل جمع و جور بودن در فضا صرفه‌جویی می‌کند.
پره محوری	نسبت به فن‌های لوله‌محوری گران‌تر است. قابلیت کار تحت سرعت‌های بالا بین 2000 تا 3000 دور در دقیقه را دارد. امکان به کارگیری آنها در فشارهای بالا با جریان متوسط وجود دارد. پرسر و صدا است. وجود تیغه‌ها یا پره‌ها در خروجی موجب افزایش بازده می‌شود. جمع و جور است و در فضا صرفه‌جویی می‌کند. حداکثر بازده آن 65 درصد است.

ظرفیت فن‌های تخلیه هوای گریز از مرکز

قطر (in)	ظرفیت (cfm)	دامنه توان (hp)	دامنه سرعت خروجی (rpm)
4	50 - 250	1/70 - 1/20	800 - 2000
6	100 - 550	1/20 - 1/6	500 - 2500
8	300 - 1000	1/20 - 1/2	850 - 2900
10	600 - 2800	1/5 - 2	950 - 4300
12	800 - 1600	1/8 - 1/2	1000 - 2000
15	1200 - 2500	1/4 - 1	1000 - 2000
18	1700 - 3600	1 1/4 - 1/4	1000 - 2000
21	2300 - 5000	1 1/4 - 1/2	1000 - 2000

ظرفیت‌های مندرج بر اساس فشار استاتیک 1/4 تا 1 1/4 اینچ است.

ظرفیت فن‌های تخلیه هوای جریان محوری

قطر (in)	سرعت (rpm)	ظرفیت (cfm)
8	1500	500
12	1140	825
12	1725	1100
16	855	1000
16	1140	1500
18	850	1800
18	1140	2350
20	850	2400
20	1140	2750
20	1620	3300

قطر پروانه در فن گریز از مرکز

ظرفیت نامی cfm	قطر پروانه in	ظرفیت نامی cfm	قطر پروانه in
500	9	30000	1/4 - 40
750	10	37000	1/2 - 44
1500	12	45000	49
2000	1/4 - 12	55000	1/4 - 54
3000	15	67000	60
5000	1/4 - 18	81000	66
6500	20	99000	73
8000	1/4 - 22	122000	3/4 - 80
9000	1/2 - 24	148000	89
12000	27		
15000	30	1 in = 25.4mm	1 cfm = 0.427 lps
18000	33	1 mm = 0.0394 in	1 lps = 2.119 cfm
25000	1/2 - 36		

SOURCE:HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING SYSTEM ESTIMATING MANUAL- SECOND EDITION - A.M.KHASHAB

قطر پروانه در فن جریان محوری (تیغه محوری)

ظرفیت نامی cfm	قطر پروانه in	ظرفیت نامی cfm	قطر پروانه in
1200	16	34000 - 36000	54
1500 - 2750	19	37000 - 45000	60
5000 - 6000	21	53000 - 60000	72
8000 - 10000	27	75000 - 10000	78
10800 - 13000	30	125000	84
13500 - 20000	36		
23000 - 27000	44	1 in = 25.4mm	1 cfm = 0.427 lps
30000 - 33000	48	1 mm = 0.0394 in	1 lps = 2.119 cfm

SOURCE: HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING SYSTEM ESTIMATING MANUAL -SECOND EDITION - A.M.KHASHAB

قطر پروانه در فن جریان محوری پروانه‌ای

ظرفیت نامی cfm	قطر پروانه in	ظرفیت نامی cfm	قطر پروانه in
3000	16	12000	30
5000	20	20000	36
7500	24	–	–

SOURCE:HEATING، VENTILATING، AND AIR CONDITIONING SYSTEM ESTIMATING MANUAL- SECOND EDITION - A.M.KHASHAB

دامنه ظرفیت عملیاتی فن‌ها

نوع فن	فشار استاتیک (in.w.g)	قطر فن (in)	دبی هوا (cfm)	توان (bhp)
گریز از مرکز انحنا به عقب	0 - 12	10 - 75	500 - 125000	1/3 - 200
گریز از مرکز ایرفویل	0 - 14	20 - 120	1500 - 450000	1/3 - 1500
جریان محوری ملخی	0 - 1	10 - 50	50 - 50000	1/6 - 10
لوله محوری	0 - 1	20 - 50	2500 - 50000	1/3 - 15
تیغه محوری	0 - 5	20 - 60	1200 - 150000	1/3 - 150
گریز از مرکز لوله‌ای	0 - 10	10 - 110	500 - 350000	1/3 - 750

توان خروجی فن

$$hp = 15.75\times 10^{-5}\times P \times Q$$

$$kW = 9.81 \times 10^{-6}\times P \times Q$$

Q = دبی هوای (cfm) و (lps)

P = فشار کل (in.W) و (mm.W-kPa)

تعیین گرمای تولیدشده در اثر کارکرد فن

$$F_h = bhp \times 2545$$

F_h = گرمای فن (Btu/hr)

bhp = توان خروجی فن (hp)

حداکثر سرعت فن پروانه‌ای

منظور از حداکثر سرعت، مقدار سرعتی است که فن دارای صدای مجاز باشد. تا 5000 کم، بین 5000 تا 8000 متوسط و بیش از 8000 دور در دقیقه زیاد محسوب می‌شـــود. حداکثر مقدار سرعت فن با صدای مجاز از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

TIP SPEED (fpm) = (قطر پروانه /12) × 3.14 × دور در دقیقه

سرعت خروجی فن گریز از مرکز براساس فشار استاتیک

فشار استاتیک in	سرعت fpm	فشار استاتیک in	سرعت fpm
1/8	800	3/4	1400
1/4	1000	7/8	1500
3/8	1100	1	1600
1/2	1200	1(1/4)	1700
5/8	1300	1(1/2)	1800

SOURCE: HEATING، VENTILATION، AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL-LEE KENDRICK.

سرعت دهش فن برای راهبری کم صدا

مکان	حداکثر سرعت m/s	
	هوای رفت	هوای تخلیه
استودیو، کتابخانه	4 - 5	5 - 7
سینما، تئاتر	5 - 7	6 - 8
رستوران، دفاتر، هتل‌ها و فروشگاه‌ها	6 - 8	7 - 9

SOURCE: HVAC ENGINEER،S HAND BOOK -ELEVGNTH EDITION- F.PORGES.

توان موتورهای فن سیستم‌های تهویه‌مطبوع

نوع سیستم	کمتر از 20000 cfm	بیشتر از 20000 cfm
سیستم حجم ثابت	1.2 hp به ازای هر 1000 cfm	1.1 hp به ازای هر 1000 cfm
سیستم حجم متغیر	1.7 hp به ازای هر 1000 cfm	1.5 hp به ازای هر 1000 cfm

SOURCE: ASHRAE STANDARD (2001 - 1999)

پنکه

در مناطق مرطوب که چندان هم گرم نیســـتند، اســـتفاده از فن‌های پروانه‌ای یا ملخی می‌تواند با جابجایی هوا تا حدودی احســـاس خوشایند و خنکی ایجاد کند. این گونه فن‌ها با چنین کاربردی به پنکه معروف هستند که به صورت سقفی و در قالب تجهیزات پایه‌دار به صورت زمینی یا دیواری در داخل فضا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

حداقل فاصله پره‌های پنکه سقفی از کف: 8 ft

حداقل فاصله پره‌های پنکه سقفی از سقف: 1 ft

حداقل ارتفاع سقف برای نصب پنکه سقفی: 9 ft

شعاع تاثیرگذاری پنکه‌های معمولی: 4 تا 6 فوت

شعاع تاثیرگذاری پنکه‌های با کیفیت بالا: 4 تا 6 فوت

انتخاب قطر پنکه برمبنای مساحت اتاق

ابعاد کف اتاق (ft^2)	حداقل قطر پنکه (in)
100	36
150	42
225	48
375	52
400	باید از دو پنکه استفاده شود

مرجع: تهویه‌مطبوع برای مراکز آموزشی- اریک کولدراپ و پت جاکوبز- ترجمه رامین تابان

* * *

۳-۲۶

کانال‌ها و دریچه‌ها

کانال‌های هوا از نظر جنس در دو گروه فلزی و غیر فلزی قرار می‌گیرند و از نظر شکل می‌توانند مدور یا چهار گوش باشند. اندازه و چگونگی ساخت و نصـــب کانال‌ها تاثیرات مهمی بر انتقـــال و توزیع هوا دارد. در عین حال چیدمان ویژه کانال‌ها به همراه هواساز متناسب می‌توانند پدید آورنده نوع خاصی از سیستم تهویه‌مطبوع باشند. مانند سیستم تهویه‌مطبوع دو کاناله یا دو جریانی و یا چند منطقه‌ای.

تبدیل واحدهای کاربردی در شبکه کانال‌های هوا

پارامتر	واحد	ضریب	واحد
جریان هوا مانند دبی و سرعت	cfm	0.0004719	مترمکعب بر ثانیه (m^3/s)
	fpm	0.00508	متر بر ثانیه (m/s)
	fpm	0.508	سانتی‌متر بر ثانیه (cm/s)
	fps	0.3048	متر بر ثانیه (m/s)
	mph	0.447	متر بر ثانیه (m/s)
فشار در شبکه کانال	$in.h_2o$	0.25	کیلوپاسکال kPa
	$in.h_2o$	249	پاسکال Pa
	in.Hg	3.386	کیلوپاسکال kPa (kN/m^2)

← ادامه

تبدیل واحدهای کاربردی در شبکه کانال‌های هوا (ادامه)

پارامتر	واحد	ضریب	واحد
ابعاد و اندازه کانال مانند طول و سطح و حجم	in.	25.4	میلی‌متر (mm)
	in.	2.54	سانتی‌متر (cm)
	in.	0.0254	متر (m)
	in2.	6.452	سانتی‌مترمربع (cm^2)
	ft	0.3048	متر (m)
	ft^2	0.0929	مترمربع (m^2)
	ft^3	0.02832	مترمکعب (m^3)
کارکرد فن	cfm	0.4719	لیتر بر ثانیه (l/s)
	$in.h_2o$	249	پاسکال (Pa)
	hp	0.7460	کیلووات (kW)
	rpm	0.10472	رادیان بر ثانیه (rad/s)
	rpm	60	دور در ثانیه (rev/s)

سرعت‌های مناسب در شبکه توزیع هوا

بخش	ساختمان‌های عمومی		ساختمان‌های صنعتی	
	m/s	ft/min	m/s	ft/min
ورودی هوای بیرون	2.5 - 4.5	500 - 900	5 - 6	1000 - 1200
کانال اصلی هوای رفت	5.0 - 8.0	1000 - 1500	6 - 12	1200 - 2400
انشعاب کانال رفت	2.5 - 3.0	500 - 600	4.5 - 9	900 - 1800
دریچه‌های هوای رفت	1.2 - 2.3	250 - 450	1.5 - 2.5	350 - 500
دریچه هوای رفت درسطوح پایین	0.8 - 1.2	150 - 250	-	-
کانال اصلی تخلیه یا برگشت	4.5 - 8.0	900 - 1500	6 - 12	1200 - 2400
انشعاب کانال تخلیه یا برگشت	2.5 - 3.0	500 - 600	4.5 - 9	900 - 1800

* *سرعت در سیستم‌های طبیعی باید 3 m/s - 1 (600ft /min - 200) باشد.*

SOURCE: HVAC ENGINEER،S HANDBOOK -ELEVENTH EDITION- F.PORGES.

سرعت و افت فشار در کانال‌ها

دبی هوا cfm	اندازه کانال (in) 4	5	6	8	10	12	16
	in/100ft ft/min	in/100ft ft/min	in/100ft ft/min	in/100ft ft/min	in/100ft ft/min	in/100ft ft/min	in/100ft ft/min
100	0.65/1146	0.21/733	0.09/509	0.02/286	0.01/183	–	–
200	–	0.8/1467	0.32/1019	0.08/573	0.02/367	0.01/255	–
400	–	–	1019/2037	0.28/1146	0.09/733	0.04/509	0.01/286
800	–	–	–	–	0.34/1467	0.14/1019	0.03/573
1600	–	–	–	–	–	–	0.12/1146

سرعت‌های توصیه‌شده هوا در کانال‌های اصلی و انشعابات

کاربرد و مکان	کانال‌های اصلی		کانال‌های فرعی (منشعب)	
	رفت ft/min (m/s)	برگشت ft/min (m/s)	رفت ft/min (m/s)	برگشت ft/min (m/s)
منازل	1000 (5.1)	800 (4.1)	600 (3)	600 (3)
آپارتمان‌ها، اتاق مهمان هتل، اتاق بستری بیمار	1500 (7.6)	1300 (6.6)	1200 (6.1)	1000 (5.1)
دفاتر خصوصی، کتابخانه‌ها	1800 (9.1)	1400 (7.1)	1400 (7.1)	1200 (6.1)
سالن تئاتر	1300 (6.6)	1100 (5.6)	1000 (5.1)	800 (4.1)
دفاتر اداری عمومی، رستوران‌ها، فروشگاه‌ها، بانک‌ها	2000 (10.2)	1500 (7.6)	1600 (8.1)	1200 (6.1)
کافه‌تریا	2000 (10.2)	1500 (7.6)	1600 (8.1)	1200 (6.1)
صنایع	2500 - 3800 (19.3 - 12.7)	1400 - 1800 (9.1 - 7.1)	2000 - 3000 (15.2 - 10.2)	1200 - 1600 (8.1 - 6.1)

SOURCE: DUCT SIZING-NILS R.GRIMM.

سرعت توصیه شده در کانال‌ها براساس افت فشار

کانال با فشار زیاد

حداکثر افت اصطکاک تا 0.4 اینچ آب به ازای هر 100 فوت

سرعت 3500 - 2000 فوت در دقیقه (10 - 18 m/s)

	دبی هوا		حداکثر سرعت	
	m^3/s	cfm	m/s	ft/min
در شفت‌ها	<5000	<2950	12	2350
	<10000	<5900	15	2950
	<17000	<10000	17	3350
	<25000	<14700	20	3940
	<40000	<23500	22	4300
	<70000	<41000	25	4900
	<100000	<59000	30	5800
در کریدورها	<5000	<2950	10	2000
	<10000	<5900	12	2350
	<17000	<10000	15	2950
	<25000	<14700	17	3350
	<40000	<23500	20	3940
در دفاتر و اتاق‌ها	<5000	<2950	10	2000
	<10000	<5900	12	2350
	<17000	<10000	14	2750
	<25000	<14700	16	3150

کانال با فشار کم و متوسط

حداکثر افت اصطکاک 0.2 - 0.1 اینچ آب به ازای هر 100 فوت

سرعت 2000 - 1500 فوت در دقیقه (8 - 10 m/s)

دبی هوا		حداکثر سرعت	
m^3/s	cfm	m/s	ft/min
<300	<175	2.5	490
<1000	<590	3	590
<2000	<1200	4	785
<4000	<2350	5	980
<10000	<5900	6	1180
>10000	>5900	7	1380

تاثیر سرعت هوا

سرعت هوا (fpm)	تاثیر احتمالی
تا 50	کمتر کسی متوجه آن می‌شود
50 - 100	خوشایند است.
100 - 200	تقریبا خوشایند است ولی افراد پیوسته برخورد جریان هوا با پوست خود را احساس می‌کنند
200 - 300	موجب ایجاد جریان هوای کمی شـــدید می‌شود که ممکن است تا حدی آزاردهنده باشد
بیش از 300	موجب ایجاد جریان کوران در داخل ســـاختمان می‌شود که برای بهبود شرایط آسایش باید مقدار آن اصلاح شود

SOURCE: VICTOR OLGYAY، DESIGN WITH CLIMATE، PRINCETON UNIVERSITY PRESS 1963.

مرجع: تهویه‌مطبوع برای مراکز آموزشی- اریک کولدراپ و پت جاکوبز- ترجمه رامین تابان

تعیین سطح مقطع کانال هوا

$ft^2 = cfm / fpm$

ft^2 = سطح مقطع کانال (فوت‌مربع)
cfm = دبی هوا (فوت‌مکعب دردقیقه)
fpm = سرعت هوا (فوت دردقیقه)

تعیین فشار سرعتی

$HV = (V/4005)^2$

HV = فشار سرعتی برحسب اینچ آب (in.W)
V = سرعت هوا برحسب فوت در دقیقه (fpm)

وزن و اندازه ورق فولادی گالوانیزه در استاندارد ANSI / ASTMA 525M

واحد گیج	ضخامت (mm) نامی	ضخامت (mm) حداقل	وزن kg/m^2
30	0.3988	0.3188	3.2
28	0.4750	0.3950	3.81
26	0.5512	0.4712	4.42
24	0.7010	0.6010	5.64
22	0.8534	0.7534	6.86
20	1.006	0.906	8.08
18	1.311	1.181	10.52
16	1.613	1.463	12.96
14	1.994	1.784	16.01
12	2.753	2.523	22.21
10	3.510	3.280	28.21

منبع: نشریه شماره 3-128 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

نشت هوا از شبکه کانال

فشار کانال in.W.g	نشت هوا برحسب cfm به ازای هر 100 فوت‌مربع از سطح کانال
0.1	11
0.25	20
0.5	31
1.0	48

دامنه کاربرد کانال‌های قابل انعطاف

کانال‌های قابل انعطاف نباید در طولی بیشتر از 20 فوت مورد استفاده قرار گیرند.

افت فشار این گونه کانال‌ها 0.06 اینچ به ازای هر 100 فوت در نظر گرفته می‌شود و دامنه حداقل و حداکثر دبی هوا در آنها متناسب با قطر از جدول زیر قابل استخراج است:

قطر کانال قابل‌انعطاف (in)	حداقل دبی هوا (cfm)	حداکثر دبی هوا (cfm)
3	20	60
4	40	100
6	60	140
7	90	190
8	130	240
9	175	310
10	230	380
12	380	550

کانال‌های قابل انعطاف مدور

قطر کانال in	حداقل دبی هوا cfm	حداکثر دبی هوا cfm
4	20	60
5	40	100
6	60	140
7	90	190
8	130	240
9	175	310
10	230	380
12	380	550

- حداکثر دبی هوا براساس سرعت 700 fpm تعیین شده است.
- حداقل دبی هوا وابسته به نرخ اصطکاک است که در اینجا براساس 0.06 اینچ درهر 100 فوت تعیین شده است.
- طول کانال‌های قابل انعطاف نباید بیش از 20 فوت باشد، درغیر این صورت ممکن است افت فشار بسیار زیاد شود.
- مقادیر تعیین شده برای کانال‌های مندرج در صورتی صحیح است که کانال کاملا باز وکشیده شده وتمامی طول آن مورد استفاده قرار گرفته باشد. مقاومت هوا به هنگامی که کانال کاملا باز نشده باشد افزایش می‌یابد.

مقررات مربوط به کانال‌های قابل انعطاف

حداکثر طول کانال‌های قابل انعطاف:	4.25 متر
حداکثر دمای هوای داخل کانال:	120 درجه سلسیوس
حداکثر طول اتصال لرزه‌گیر:	25 سانتی‌متر

مرجع: مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان

ضخامت ورق نسبت به ابعاد کانال

برای سیستم‌های کم‌فشار با سرعت 10 متر بر ثانیه مطابق مقررات ملی ساختمان

بزرگترین بعد مقطع کانال		ضخامت ورق فولادی گالوانیزه رنگ‌پذیر	ضخامت ورق آلومینیومی
(cm)	(in)	(mm)	(mm)
تا 30	تا 12	0.50	0.60
33 - 75	13 - 30	0.60	0.70
78 - 137	31 - 54	0.75	0.85
240 - 213	54 - 84	1	1.25
بیشتر	بیشتر	1.25	1.40

مرجع: مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان

حداقل ضخامت ورق برای کانال‌های مدور

برای سیستم‌های کم‌فشار با سرعت 10 متر بر ثانیه مطابق مقررات ملی ساختمان

قطر کانال		کانال بادرز اسپیرال	کانال بادرز در طول	وصاله‌ها
(cm)	(in)	(mm)	(mm)	(mm)
تا 30	تا 12	0.50	0.50	0.50
33 - 46	13 - 18	0.50	0.60	0.60
49 - 71	19 - 28	0.60	0.75	0.75
91 - 74	29 - 36	0.75	1.00	1.00
94 - 132	37 - 52	1.00	1.25	1.25

مرجع: مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان

فواصل بست کانال‌های افقی

اندازه کانال		
سطح ft^2	قطر in	حداکثر فاصله بست ft
کمتر از 4	کمتر از 5	8
4 - 10	5 - 38	6
بیشتر از 10	بیشتر از 38	4

فواصل بست کانال‌های عمودی

نوع کانال	حداکثر فاصله بست (ft)
مدور	12
چهارگوش	10

$1ft^2 = 0.0929m^2 = 144\ in$

$1ft = 0.3048\ m = 12\ in$

تخمین سطح مقطع کانال هود (چهارگوش و مدور)

$$\text{سطح مقطع } (ft^2) = \frac{cfm \times 144}{\text{تعدادکانال‌های تخلیه} \times \text{سرعت هوای تخلیه}}$$

سرعت تخلیه: بین 1500 - 1800 فوت بر دقیقه

هوای جبرانی = کل هوای تخلیه شده از هود 0.85 × (cfm)

تخمین فشار استاتیک درکانال‌های هود

در سرعت	1600 fpm
افت تبدیل ابتدایی (هود به کانال اصلی)	0.070 in
ده فوت کانال مستقیم	0.025 in
زانو چهارگوش 45 درجه	0.050 in
زانو چهارگوش 90 درجه	0.200 in
زانو مدور 45 درجه	0.300 in
زانو مدور 90 درجه	0.040 in

حداقل مقدار هوا به ازای واحد سطح افقی زیر هود

تجهیزات پخت	هودهای سه طرفه		هودهای چهارطرفه	
	m^3s/m^2	cfm/ft^2	m^3s/m^2	cfm/ft^2
کباب پز	0.76	150	1	200
سرخ‌کن‌ها (تجهیزات با دمای بالا)	0.41	80	0.61	120
اجاق گاز (تجهیزات با دمای متوسط)	0.30	60	0.41	80
گرم‌خانه، دمکن‌ها (تجهیزات با دمای پایین)	0.25	50	0.30	60

مرجع: مبحث چهاردهم مقرات ملی ساختمان

حدود و شرایط انتخاب نوع دریچه

نوع دریچه	دبی هوا بر واحد سطح		دفعات تعویض هوا در ساعت برای ارتفاع 3 متر (10 فوت)		سرعت متوسط جریان هوا	
	l/sm^2	cfm/ft^2	H =3m	H =10 ft	m/min	fpm
دریچه ساده	3 - 6	0.6 - 1.2	7	7	7.6 - 10.6	25 - 35
دریچه خطی شکافدار	4 - 10	0.8 - 20	12	12	6 - 10.6	20 - 35
دریچه با صفحه مشبک	5 - 15	0.9 - 3	18	18	6 - 15.2	20 - 50
دریچه سقفی	5 - 25	0.9 - 6	30	30	6 - 15.2	20 - 50
دریچه سقفی با صفحه مشبک	5 - 50	0.9 - 12	60	60	6 - 15.2	20 - 50

SOURCE: ASHRAE SYSTEM AND EQUIPMENT - 1999 - 2000

مرجع: نشریه شماره 3 - 128 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

دریچه‌ها در کف

دبی دریچه به ازای cfm برواحد طول (ft) وعرض برحسب in
درسرعت 800 fpm با 40٪ سطح آزاد

عرض(in)	cfm / ft	عرض(in)	cfm / ft
4	120	1(1/2)	40
5	150	2	50
6	180	3	80

SOURCE: DESIGN MANUAL FOR HEATING, VENTILATION, AND AIR CONDITIONING -LEE KENDRICK.

کانال‌های شوت زباله

حداقل قطر داخلی کانال زباله با مقطع حلقوی	375 mm
در ساختمان‌های بیش از 12طبقه	457 mm
ارتفاع باز شوی کانال زباله در هر طبقه از کف تمام شده	700 mm
حداقل سطح مقطع لوله یا کانال تهویه کانال زباله	17500 mm^2

مرجع:تجهیزات و تاسیسات ساختمان- تالیف اف‌هال- ترجمه اردشیر اطیابی

اندازه پیشنهادی برای کانال‌های هوای رفت

براساس افت فشار 0.10 اینچ آب در هر 100 فوت

دبی (cfm)	اندازه‌های پیشنهادی (in × in)		
200	10 × 6	8 × 8	6 × 10
300	12 × 6	10 × 8	8 × 10
400	16 × 6	12 × 8	10 × 10
500	18 × 6	14 × 8	11 × 10
600	22 × 6	16 × 8	12 × 10
700	18 × 8	14 × 10	12 × 12
800	20 × 8	16 × 10	13 × 12
900	22 × 8	18 × 10	14 × 12
1000	24 × 8	20 × 10	16 × 12
1200	28 × 8	22 × 10	18 × 12
1400	32 × 8	24 × 10	20 × 12
1600	26 × 10	12 × 22	-
1800	30 × 10	24 × 12	-
2000	32 × 10	26 × 12	-

SOURCE: HVAC/R TERMINOLOGY- SECOND EDITION- RICHARD WIRTZ.

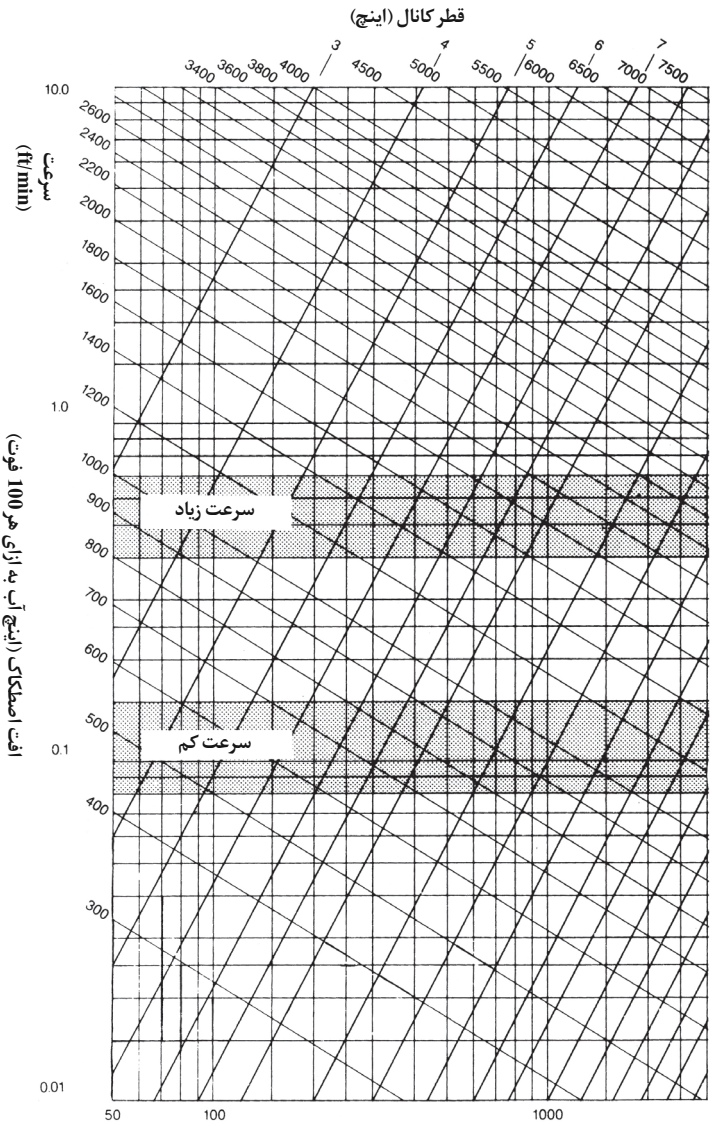
اندازه پیشنهادی برای کانال‌های هوای برگشت

براساس افت فشار 0.08 اینچ ستون آب در هر 100 فوت

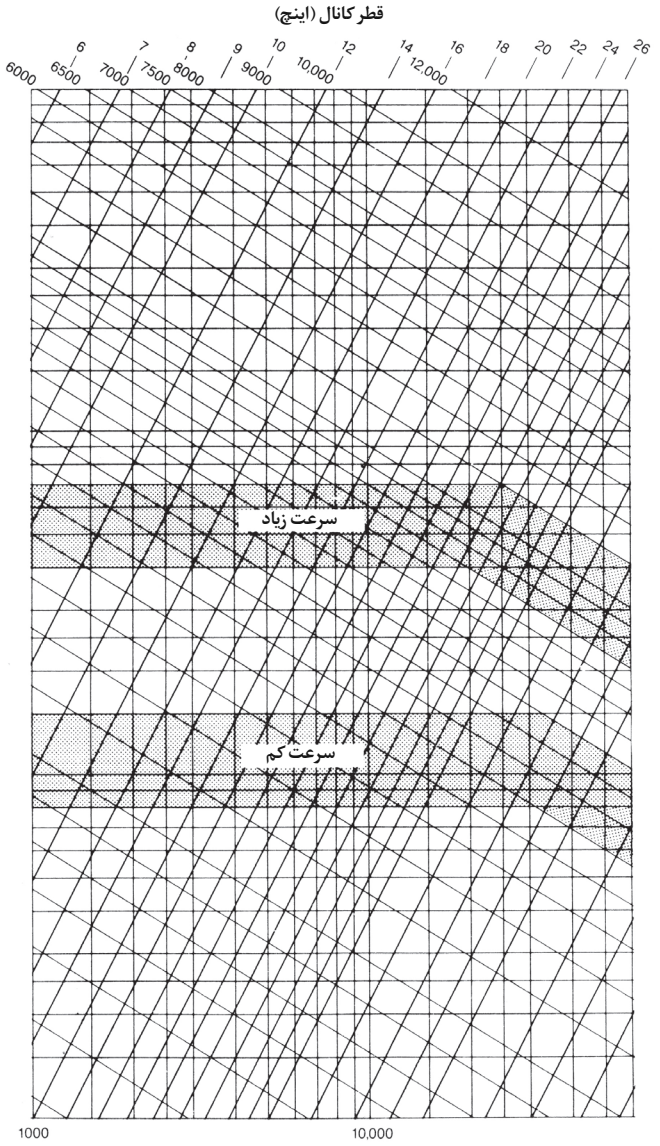
دبی (cfm)	اندازه‌های پیشنهادی (in× in)		
200	10 × 6	8 × 8	6 × 10
300	14 × 6	10 × 8	6 × 10
400	6 × 20	14 × 8	6 × 10
500	24 × 6	16 × 8	6 × 10
600	20 × 6	16 × 10	6 × 12
700	22 × 8	18 × 10	6 × 12
800	24 × 8	19 × 10	6 × 12
900	26 × 8	20 × 10	6 × 12
1000	30 × 8	22 × 10	6 × 12
1200	34 × 8	26 × 10	6 × 12
1400	30 × 10	24 × 10	6 × 12
1600	35 × 10	26 × 10	–
1800	37 × 10	30 × 12	–
2000	42 × 10	32 × 12	–

SOURCE: HVAC/R TERMINOLOGY- SECOND EDITION- RICHARD WIRTZ.

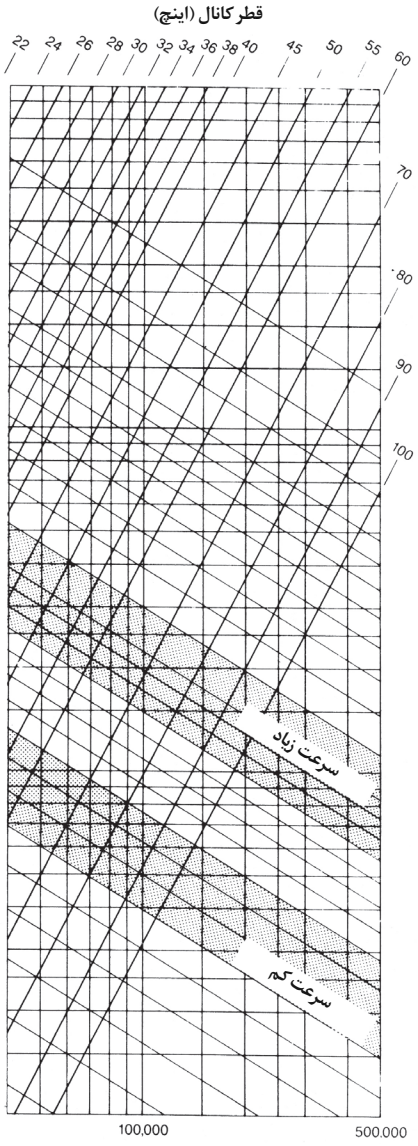
نمودار تعیین نرخ اصطکاک و سرعت برای کانال‌ها (1)



نمودار تعیین نرخ اصطکاک و سرعت برای کانال‌ها (2)



نمودار تعیین نرخ اصطکاک و سرعت برای کانال‌ها (3)



دبی هوا (ft^3/min)

دمای خشک هوا 70°F و فشار 14.693 psi ($0.075\ lb/ft^3$)

قطر معادل کانال‌های مدور و چهارگوش

(از 200 تا 50000 فوت‌مکعب در دقیقه)

دبی هوا cfm (m^3/s)	کانال چهارگوش in	قطر کانال مدور in	سرعت ft/min (m/s)	افت اصطکاک in/100ft
200 (0.09)	3×7	4.9	1527 (7.8)	0.88
	4×5	4.9		
300 (0.14)	4×7	5.7	1635 (8.3)	0.82
	5×6	6.0		
400 (0.19)	4×9	6.4	1736 (8.8)	0.8
	5×7	6.4		
	6×6	6.6		
500 (0.24)	6×7	7.1	1819 (9.2)	6.78
750 (0.35)	5×12	8.3	1996 (10.1)	0.77
	6×10	8.4		
	7×8	8.2		
1000 (0.47)	7×10	9.1	2166 (11)	0.79
	8×9	9.3		
1250 (0.59)	8×10	9.8	2386 (12.1)	0.88
	9×9	9.8		
1500 (0.71)	8×12	10.7	2358 (11.9)	0.77
	10×10	10.9		
1750 (0.83)	8×14	11.5	2469 (12.5)	0.78
	9×12	11.3		
	10×11	11.5		
2000 (0.94)	8×15	11.8	2589 (13.2)	0.81
	10×12	12.0		

← ادامه

قطر معادل کانال‌های مدور و چهارگوش (ادامه)

دبی هوا cfm (m^3/s)	کانال چهارگوش in	قطر کانال مدور in	سرعت ft/min (m/s)	افت اصطکاک in/100ft
2500 (1.2)	10×14	12.9	2712 (13.8)	0.8
	12×12	13.1		
3000 (1.4)	12×14	14.1	2767 (14.1)	0.75
3500 (1.7)	12×15	14.6	3010 (15.3)	0.84
4000 (1.9)	10×22	15.9	2938 (14.9)	0.73
	14×15	15.8		
4500 (2.1)	12×19	16.4	3068 (15.6)	0.76
	14×16	16.4		
5000 (2.4)	14×20	18.2	3248 (16.5)	0.82
	15×18	17.9		
6000 (2.8)	14×20	18.2	3358 (17.1)	0.8
	15×18	17.9		
7000 (4.7)	12×26	19.0	3482 (17.7)	0.8
	16×20	19.5		
8000 (3.8)	12×30	20.2	3595 (18.3)	0.8
	14×25	20.2		
9000 (4.3)	12×34	21.4	3671 (18.6)	0.78
	15×25	21.0		
10000 (4.7)	12×36	21.9	3858 (19.6)	0.83
	16×25	21.7		
	20×20	21.9		

← ادامه

قطر معادل کانال‌های مدور و چهارگوش (ادامه)

دبی هوا cfm (m^3/s)	کانال چهارگوش in	قطر کانال مدور in	سرعت ft/min (m/s)	افت اصطکاک in/100ft
12500 (5.9)	12×45	24.1	4012 (20.4)	0.8
	16×30	23.7		
	20×24	23.9		
15000 (7.1)	16×36	27.0	4337 (22)	0.79
	18×30	27.5		
	23×25	27.3		
20000 (9.4)	20 × 35	28.6	4483 (22.8)	0.79
	25 × 28	28.9		
25000 (11.8)	16 × 55	31.0	4709 23.9	0.78
	20 × 43	31.5		
	25 × 28	33.5		
30000 (14.2)	20 × 50	33.7	4815 (24.5)	0.74
	30 × 32	33.9		
35000 (16.5)	20 × 55	35.2	5179 26.3	0.81
	30 × 35	35.4		
40000 (18.9)	25 × 48	37.4	5243 (26.6)	0.77
	30 × 40	37.8		
45000 (21.2)	32 × 40	39.1	5397 (27.41)	0.77
50000 (23.6)	32 × 45	41.3	5222 (26.5)	0.66
	35 × 40	40.9		

SOURCE: WWW. ENGINEERINGTOOLBOX.COM.

جدول ابعاد کانال چهارگوش معادل کانال مدور

جداولی که در پی می‌آید تعیین‌کننده ابعاد کانال‌های چهارگوش براساس قطر کانال مدور است.

اعداد ردیف اول افقی (A) و ردیف اول عمودی (B)، هر یک نشانگر یکی از اضلاع کانال چهارگوش است.

طول ضلع دیگر (B)	طول یک ضلع از کانال چهارگوش (A)، in																
	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0
3.0	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.7	4.9	5.1	5.2	5.5	5.7	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0
3.5	4.1	4.3	4.6	4.8	5.0	5.2	5.3	5.5	5.7	6.0	6.3	6.5	6.8	7.0	7.2	7.5	7.7
4.0	4.4	4.6	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.4	6.7	7.0	7.3	7.6	7.8	8.0	8.3
4.5	4.6	4.9	5.2	5.4	5.7	5.9	6.1	6.3	6.5	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1	8.4	8.6	8.8
5.0	4.9	5.2	5.5	5.7	6.0	6.2	6.4	6.7	6.9	7.3	7.6	8.0	8.3	8.6	8.9	9.1	9.4
5.5	5.1	5.4	5.7	6.0	6.3	6.5	6.8	7.0	7.2	7.6	8.0	8.4	8.7	9.0	9.3	9.6	9.9

← ادامه

جدول ابعاد کانال چهارگوش معادل کانال مدور (ادامه)

طول ضلع دیگر (B)	طول یک ضلع از کانال چهارگوش (A)، in																				
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	طول ضلع دیگر (B)
6	6.6																				6
7	7.1	7.7																			7
8	7.6	8.2	8.7																		8
9	8.0	8.7	9.3	9.8																	9
10	8.4	9.1	9.8	10.4	10.9																10
11	8.8	9.5	10.2	10.9	11.5	12.0															11
12	9.1	9.9	10.7	11.3	12.0	12.6	13.1														12
13	9.5	10.3	11.1	11.8	12.4	13.1	13.7	14.2													13
14	9.8	10.7	11.5	12.2	12.9	13.5	14.2	14.7	15.3												14
15	10.1	11.0	11.8	12.6	13.3	14.0	14.6	15.3	15.8	16.4											15
16	10.4	11.3	12.2	13.0	13.7	14.4	15.1	15.7	16.4	16.9	17.5										16
17	10.7	11.6	12.5	13.4	14.1	14.9	15.6	16.2	16.8	17.4	18.0	18.6									17

← ادامه

جدول ابعاد کانال چهارگوش معادل کانال مدور (ادامه)

طول ضلع دیگر (B)	طول یک ضلع از کانال چهارگوش (A)، in																				طول ضلع دیگر (B)
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	
18	11.0	11.9	12.9	13.7	14.5	15.3	16.0	16.7	17.3	17.9	18.5	19.1	19.7								18
19	11.2	12.2	13.2	14.1	14.9	15.7	16.4	17.1	17.8	18.4	19.0	19.6	20.2	20.8							19
20	11.5	12.5	13.5	14.4	15.2	16.0	16.8	17.5	18.2	18.9	19.5	20.1	20.7	21.3	21.9						20
22	12.0	13.0	14.1	15.0	15.9	16.8	17.6	18.3	19.1	19.8	20.4	21.1	21.7	22.3	22.9	24.0					22
24	12.4	13.5	14.6	15.6	16.5	17.4	18.3	19.1	19.9	20.6	21.3	22.0	22.7	23.3	23.9	25.1	26.2				24
26	12.8	14.0	15.1	16.2	17.1	18.1	19.0	19.8	20.6	21.4	22.1	22.9	23.5	24.2	24.9	26.1	27.3	28.4			26
28	13.2	14.5	15.6	16.7	17.7	18.7	19.6	20.5	21.3	22.1	22.9	23.7	24.4	25.1	25.8	27.1	28.3	29.5	30.6		28
30	13.6	14.9	16.1	17.2	18.3	19.3	20.2	21.1	22.0	22.9	23.7	24.4	25.2	25.9	26.6	28.0	29.3	30.5	31.7	32.8	30
32	14.0	15.3	16.5	17.7	18.8	19.8	20.8	21.8	22.7	23.5	24.4	25.2	26.0	26.7	27.5	28.9	30.2	31.5	32.7	33.9	32
34	14.4	15.7	17.0	18.2	19.3	20.4	21.4	22.4	23.3	24.2	25.1	25.9	26.7	27.5	28.3	29.7	31.0	32.4	33.7	34.9	34
36	14.7	16.1	17.4	18.6	19.8	20.9	21.9	22.9	23.9	24.8	25.7	26.6	27.4	28.2	29.0	30.5	32.0	33.3	34.6	35.9	36
38	15.0	16.5	17.8	19.0	20.2	21.4	22.4	23.5	24.5	25.4	26.4	27.2	28.1	28.9	29.8	31.3	32.8	34.2	35.6	36.8	38

← ادامه

جدول ابعاد کانال چهارگوش معادل کانال مدور (ادامه)

طول ضلع دیگر (B)	طول یک ضلع از کانال چهارگوش (A)، in																				طول ضلع دیگر (B)
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	
40	15.3	16.8	18.2	19.5	20.7	21.8	22.9	24.0	25.0	26.0	27.0	27.9	28.8	29.6	30.5	32.1	33.6	35.1	36.4	37.8	40
42	15.6	17.1	18.5	19.9	21.1	22.3	23.4	24.5	25.6	26.6	27.6	28.5	29.4	30.3	31.2	32.8	34.4	35.9	37.3	38.7	42
44	15.9	17.5	18.9	20.3	21.5	22.7	23.9	25.0	26.1	27.1	28.1	29.1	30.0	30.9	31.8	33.5	35.1	36.7	38.1	39.5	44
46	16.2	17.8	19.3	20.6	21.9	23.2	24.4	25.5	26.6	27.7	28.7	29.7	30.6	31.6	32.5	34.2	35.9	37.4	38.9	40.4	46
48	16.5	18.1	19.6	21.0	22.3	23.6	24.8	26.0	27.1	28.2	29.2	30.2	31.2	32.2	33.1	34.9	36.6	38.2	39.7	41.2	48
50	16.8	18.4	19.9	21.4	22.7	24.0	25.2	26.4	27.6	28.7	29.8	30.8	31.8	32.8	33.7	35.5	37.2	38.9	40.5	42.0	50
52	17.1	18.7	20.2	21.7	23.1	24.4	25.7	26.9	28.0	29.2	30.3	31.3	32.3	33.3	34.3	36.2	37.9	39.6	41.2	42.8	52
54	17.3	19.0	20.6	22.0	23.5	24.8	26.1	27.3	28.5	29.7	30.8	31.8	32.9	33.9	34.9	36.8	38.6	40.3	41.9	43.5	54
56	17.6	19.3	20.9	22.4	23.8	25.2	26.5	27.7	28.9	30.1	31.2	32.3	33.4	34.4	35.4	37.4	39.2	41.0	42.7	44.3	56
58	17.8	19.5	21.2	22.7	24.2	25.5	26.9	28.2	29.4	30.6	31.7	32.8	33.9	35.0	36.0	38.0	39.8	41.6	43.3	45.0	58
60	18.1	19.8	21.5	23.0	24.5	25.9	27.3	28.6	29.8	31.0	32.2	33.3	34.4	35.5	36.5	38.5	40.4	42.3	44.0	45.7	60
62	-	20.1	21.7	23.3	24.8	26.3	27.6	28.9	30.2	31.5	32.6	33.8	34.9	36.0	37.1	39.1	41.0	42.9	44.7	46.4	62

← ادامه

جدول ابعاد کانال چهارگوش معادل کانال مدور (ادامه)

طول ضلع دیگر (B)	طول یک ضلع از کانال چهارگوش (A)، in																				طول ضلع دیگر (B)
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	
64	–	20.3	22.0	23.6	25.1	26.6	28.0	29.3	30.6	31.9	33.1	34.3	35.4	36.5	37.6	39.6	41.6	43.5	45.3	47.1	64
66	–	20.6	22.3	23.9	25.5	26.9	28.4	29.7	31.0	32.3	33.5	34.7	35.9	37.0	38.1	40.2	42.2	44.1	46.0	47.7	66
68	–	20.8	22.6	24.2	25.8	27.3	28.7	30.1	31.4	32.7	33.9	35.2	36.3	37.5	38.6	40.7	42.8	44.7	46.6	48.4	68
70	–	21.1	22.8	24.5	26.1	27.6	29.1	30.4	31.8	33.1	34.4	35.6	36.8	37.9	39.1	41.2	43.3	45.3	47.2	49.0	70
72	–	–	23.1	24.8	26.4	27.9	29.4	30.8	32.2	33.5	34.8	36.0	37.2	38.4	39.5	41.7	43.8	45.8	47.8	49.6	72
74	–	–	23.3	25.1	26.7	28.2	29.7	31.2	32.5	33.9	35.2	36.4	37.7	38.8	40.0	42.2	44.4	46.4	48.4	50.3	74
76	–	–	23.6	25.3	27.0	28.5	30.0	31.5	32.9	34.3	35.6	36.8	38.1	39.3	40.5	42.7	44.9	47.0	48.9	50.9	76
78	–	–	23.8	25.6	27.3	28.8	30.4	31.8	33.3	34.6	36.0	37.2	38.5	39.7	40.9	43.2	45.4	47.5	49.5	51.4	78
80	–	–	24.1	25.8	27.5	29.1	30.7	32.2	33.6	35.0	36.3	37.6	38.9	40.2	41.4	43.7	45.9	48.0	50.1	52.0	80
82	–	–	–	26.1	27.8	29.4	31.0	32.5	34.0	35.4	36.7	38.0	39.3	40.6	41.8	44.1	46.4	48.5	50.6	52.6	82
84	–	–	–	26.4	28.1	29.7	31.3	32.8	34.3	35.7	37.1	38.4	39.7	41.0	42.2	44.6	46.9	49.0	51.1	53.2	84
86	–	–	–	26.6	28.3	30.0	31.6	33.1	34.6	36.1	37.4	38.8	40.1	41.4	42.6	45.0	47.3	49.6	51.7	53.7	86

← ادامه

جدول ابعاد کانال چهارگوش معادل کانال مدور (ادامه)

طول ضلع دیگر (B)	طول یک ضلع از کانال چهارگوش (A)، in																				طول ضلع دیگر (B)
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	
88	–	–	–	26.9	28.6	30.0	31.9	33.4	34.9	36.4	37.8	39.2	40.5	41.8	43.1	45.5	47.8	50.0	52.2	54.3	88
90	–	–	–	27.1	28.9	30.6	32.2	33.8	35.3	36.7	38.2	39.5	40.9	42.2	43.5	45.9	48.3	50.5	52.7	54.8	90
92	–	–	–	–	29.1	30.8	32.5	34.1	35.6	37.1	38.5	39.9	41.3	42.6	43.9	46.4	48.7	51.0	53.2	55.3	92
94	–	–	–	–	29.6	31.4	33.0	34.7	36.2	37.7	39.2	40.6	42.0	43.3	44.7	47.2	49.6	52.0	54.2	56.4	96

← ادامه

جدول ابعاد کانال چهارگوش معادل کانال مدور

طول ضلع دیگر (B)	طول یک ضلع از کانال چهارگوش (A)، in																					طول ضلع دیگر (B)
	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88		
32	35.0																					32
34	36.1	37.2																				34
36	37.1	38.2	39.4																			36
38	38.1	39.3	40.4	41.6																		38
40	39.0	40.3	41.5	42.6	43.8																	40
42	40.0	41.3	42.5	43.7	44.8	45.9																42
44	40.9	42.2	43.5	44.7	45.8	47.0	48.1															44
46	41.8	43.1	44.4	45.7	46.9	48.0	49.2	50.3														46
48	42.6	44.0	45.3	46.6	47.9	49.1	50.2	51.4	52.6													48
50	43.6	44.9	46.2	47.5	48.8	50.0	51.2	52.4	53.6	54.7												50
52	44.3	45.7	47.1	48.4	49.7	51.0	52.2	53.4	54.6	55.7	56.8											52
54	45.1	46.5	48.0	49.3	50.7	52.0	53.2	54.4	55.6	56.8	57.9											54

← ادامه

جدول ابعاد کانال چهارگوش معادل کانال مدور (ادامه)

طول ضلع دیگر (B)	in ،(A) طول یک ضلع از کانال چهارگوش																					طول ضلع دیگر (B)
	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88		
56	45.8	47.3	48.8	50.2	51.6	52.9	54.2	55.4	56.6	57.8	59.0	61.2										56
58	46.6	48.1	49.6	51.0	52.4	53.8	55.1	56.4	57.6	58.8	60.0	62.3										58
60	47.3	48.9	50.4	51.9	53.3	54.7	60.0	57.3	58.6	59.8	61.0	63.4	65.7									60
62	48.0	49.6	51.2	52.7	54.1	55.5	56.9	58.2	59.5	60.8	62.0	64.4	66.7									62
64	48.7	50.4	51.9	53.5	54.9	56.4	57.8	59.1	60.4	61.7	63.0	65.4	67.7	70.0								64
66	49.4	51.1	52.7	54.2	55.7	57.2	58.6	60.0	61.3	62.6	63.9	66.4	68.8	71.0								66
68	50.1	51.8	53.4	55.0	65.5	58.0	59.4	60.8	62.2	63.6	64.9	67.4	69.8	72.1	74.3							68
70	50.8	52.5	54.1	55.7	57.3	58.8	60.3	61.7	63.1	64.4	65.8	68.3	70.8	73.2	75.4							70
72	51.4	53.2	54.8	56.5	58.0	59.6	61.1	62.5	63.9	65.3	66.7	69.3	71.8	74.2	76.5	78.7						72
74	52.1	53.8	55.5	57.2	58.8	60.3	61.9	63.3	64.8	66.2	67.5	70.2	72.7	75.2	77.5	79.8						74
76	52.7	54.5	56.2	57.9	59.5	61.1	62.6	64.1	65.6	67.0	68.4	71.1	73.7	76.2	78.6	80.9	83.1					76
78	53.3	55.1	56.9	58.6	60.2	61.8	63.4	64.9	66.4	67.9	69.3	72.0	74.6	77.1	49.6	81.9	84.2					78

← ادامه

جدول ابعاد کانال چهارگوش معادل کانال مدور (ادامه)

طول ضلع دیگر (B)	طول یک ضلع از کانال چهارگوش (A)، in																				طول ضلع دیگر (B)
	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	
80	53.9	55.8	57.5	59.3	60.9	62.6	64.1	65.7	67.2	68.7	70.1	72.9	75.4	78.1	80.6	82.9	85.2	87.5			80
82	54.5	56.4	58.2	59.9	61.6	63.3	64.9	66.5	68.0	69.5	70.9	73.7	76.4	79.0	81.5	84.0	86.3	88.5			82
84	55.1	57.0	58.8	60.6	62.3	64.0	65.6	67.2	68.7	70.3	71.7	74.6	77.3	80.0	82.5	85.0	87.3	89.6	91.8		84
86	55.7	57.6	59.4	61.2	63.0	64.7	66.3	67.9	69.5	71.0	72.5	75.4	78.2	80.9	83.5	85.9	88.3	90.7	92.9		86
88	56.3	58.2	60.1	61.9	63.6	65.4	67.0	68.7	70.2	71.8	73.3	76.3	79.1	81.8	84.4	86.9	89.3	91.7	94.0	96.2	88
90	56.8	58.8	60.7	62.5	64.3	66.0	67.7	69.4	71.0	72.6	74.1	77.1	79.9	82.7	85.3	87.9	90.3	92.7	95.0	97.3	90
92	57.4	59.3	61.3	63.1	64.9	66.7	68.4	70.1	71.7	73.3	74.9	77.9	80.8	83.5	86.2	88.8	91.3	93.7	96.1	98.4	92
94	57.9	59.9	61.9	63.7	65.6	67.3	69.1	70.8	72.4	74.0	75.6	78.7	81.6	84.4	87.1	89.7	92.3	94.7	97.1	99.4	94
96	58.4	60.5	62.4	64.3	66.2	68.0	69.7	71.5	73.1	74.8	76.3	79.4	82.4	85.3	88.0	90.7	93.2	95.7	98.1	100.5	96

۳-۲۷

رطوبت‌زنی- رطوبت‌گیری

هواشوی‌ها و رطوبت‌زن‌های تشتکی، بخار خشک و الکتریکی انواع رایج رطوبت‌زنی در تجهیزات تهویه‌مطبوع هستند که ممکن است به صورت مستقل و یا به عنوان قسمتی از یک سیستم تهویه‌مطبوع مجهز به هواساز مورد استفاده قرار گیرند. کوئل‌های سرد و سطوح متخلخل آغشته به مواد رطوبت‌گیری همچون سیلیکاژل نیز از انواع رایج رطوبت‌گیرها در سیستم‌های تهویه‌مطبوع محسوب می‌شوند.

تعیین مقدار بخار آب لازم برای افزایش رطوبت

از طریق جداول صفحات بعد می‌توان مقدار بخار آب لازم برای افزایش رطوبت را بر اساس آحاد SI و انگلیسی تعیین نمود. مثال زیر چگونگی تعیین مقدار بخار آب بر اساس کیلوگرم به ازای هر 100 متر مکعب هوا را روشن می‌کند:

- هوای اولیه: 20°C با 30 درصد رطوبت نسبی
- هوا پس از رطوبت‌زنی: 20°C با 80 درصد رطوبت نسبی
- مقدار بخار آب هوای اولیه مطابق جدول: 0.52 kg به ازای 100 مترمکعب هوا
- مقدار بخار آب هوا پس از رطوبت‌زنی مطابق جدول: 1.39 kg به ازای 100 مترمکعب هوا

- مقدار بخار آبی که باید به هوای اولیه اضافه شود براساس دانسته‌های بالا برابر است با اختلاف مقدار بخار آب هوای اولیه و هوای پس از رطوبت‌زنی:

$$1.39\ kg - 0.52\ kg = 0.87\ kg$$

بنابراین باید 0.87 kg بخار آب به ازای 100 مترمکعب به هوا اضافه شود تا رطوبت نسبی دردمای ثابت از 30 درصد به 80 درصد برسد.

تعیین مقدار بخار آب لازم برای افزایش رطوبت (واحد SI)

دمای خشک	رطوبت نسبی(%)												
(°C)	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	100
32	1.02	1.19	1.36	1.53	1.7	1.93	2.04	2.19	2.38	2.55	2.72	2.89	3.39
31	0.97	1.13	1.29	1.45	1.61	1.77	1.93	2.1	2.25	2.41	2.57	2.73	3.22
30	0.91	1.07	1.22	1.37	1.52	1.67	1.83	1.97	2.13	2.29	2.44	2.59	3.05
29	0.87	1.01	1.16	1.3	4.45	1.59	1.73	1.88	2.02	2.17	2.31	2.45	2.89
28	0.82	0.96	1.1	1.23	1.37	1.5	1.64	1.78	1.91	2.05	2.19	2.32	2.73
27	0.78	0.91	1.03	1.16	1.29	1.42	1.55	1.68	1.81	1.94	2.07	2.2	2.59
26	0.73	0.86	0.97	1.1	1.22	1.34	1.47	1.59	1.71	1.83	1.96	2.08	2.45
25	0.69	0.81	0.93	1.04	1.16	1.27	1.39	1.5	1.62	1.73	1.85	1.97	2.31
24	0.66	0.77	0.87	0.98	1.09	1.2	1.31	1.42	1.53	1.64	1.75	1.86	2.19
23	0.62	0.72	0.83	0.93	1.03	1.14	1.24	1.34	1.45	1.55	1.63	1.76	2.06
22	0.59	0.68	0.78	0.88	0.98	1.07	1.17	1.27	1.36	1.46	1.56	1.66	1.95
21	0.55	0.67	0.74	0.83	0.92	1.02	1.1	1.2	1.29	1.38	1.47	1.56	1.84
20	0.52	0.61	0.69	0.78	0.87	0.98	1.04	1.13	1.22	1.3	1.39	1.48	1.74
19	0.49	0.57	0.65	0.74	0.82	0.9	0.98	1.06	1.15	1.23	1.31	1.39	1.63
18	0.46	0.54	0.62	0.69	0.77	0.85	0.93	1	1.08	1.16	1.24	1.31	1.54
17	0.44	0.51	0.59	0.65	0.73	0.8	0.87	0.94	1.02	1.09	1.16	1.24	1.45
15	0.39	0.45	0.52	0.58	0.66	0.71	0.77	0.84	0.9	0.97	1.03	1.1	1.29
10	0.28	0.33	0.38	0.43	0.47	0.52	0.57	0.61	0.66	0.71	0.76	0.8	0.94
0	0.15	0.17	0.2	0.22	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.37	0.39	0.41	0.49
-5	0.1	0.11	0.13	0.15	0.16	0.18	0.2	0.21	0.23	0.25	0.26	0.28	0.33
-10	0.06	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.22

تعیین مقدار بخار آب لازم برای افزایش رطوبت (واحد انگلیسی)

مقدار بخار آب برحسب پوند بر ساعت (lb/hr) به ازای 100 cfm هوا

دمای خشک	رطوبت نسبی(%)												
(°F)	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	100
90	3.85	4.49	5.14	5.78	6.42	7.08	7.68	8.34	9	9.6	10.26	10.92	12.84
88	3.62	4.22	4.82	5.41	6.06	6.66	7.26	7.87	8.46	9.06	9.66	10.26	12.06
86	3.42	3.99	4.56	5.13	5.7	6.3	6.85	7.38	7.98	8.52	9.12	9.66	11.4
85	3.31	3.86	4.42	4.97	5.52	6.06	6.6	7.2	7.74	8.28	8.82	9.36	11.04
84	3.2	3.74	4.27	4.81	5.34	5.87	6.42	6.96	7.5	7.98	8.52	9.06	10.68
83	3.11	3.63	4.15	4.67	5.19	5.71	6.24	6.72	7.26	7.8	8.34	8.82	10.38
82	3.02	3.53	4.03	4.54	5.04	5.54	6.06	6.54	7.08	7.56	8.04	8.58	10.08
81	2.93	3.42	3.91	4.4	4.89	5.38	5.87	6.36	6.84	7.32	7.8	8.34	9.78
80	2.84	3.32	3.79	4.27	4.74	5.21	5.69	6.18	6.66	7.08	7.56	8.04	9.48
79	2.75	3.21	3.67	4.13	4.59	5.05	5.51	5.96	6.42	6.9	7.32	7.8	9.18
78	2.66	3.11	3.55	3.99	4.44	4.88	5.33	5.77	6.24	6.66	7.08	7.56	8.88
77	2.59	3.02	3.46	3.89	4.32	4.75	5.18	5.62	6.06	6.48	6.9	7.32	8.64
76	2.52	2.94	3.36	3.78	4.2	4.62	5.04	5.46	5.88	6.3	6.72	7.14	8.4
75	2.43	2.83	3.24	3.64	4.05	4.48	4.86	5.26	5.67	6.06	6.48	6.9	8.1
74	2.36	2.75	3.14	3.53	3.93	4.32	4.72	5.11	5.5	5.89	6.3	6.66	7.86
73	2.29	2.66	3.05	3.43	3.81	4.12	4.57	4.95	5.33	5.71	6.12	6.48	7.62
72	2.21	2.58	2.95	3.32	3.69	4.06	4.43	4.79	5.17	5.53	5.9	6.3	7.38
71	2.14	2.5	2.86	3.21	3.57	3.93	4.29	4.64	4.99	5.35	5.71	6.06	7.14
70	2.07	2.41	2.76	3.1	3.45	3.79	4.14	4.48	4.84	5.17	5.52	5.86	6.9
69	2.02	2.35	2.67	3.02	3.36	3.7	4.03	4.37	4.7	5.04	5.38	5.71	6.72
68	1.94	2.27	2.59	2.92	3.24	3.55	3.89	4.21	4.54	4.86	5.18	5.51	6.48
67	1.87	2.18	2.5	2.81	3.12	3.43	3.74	4.06	4.37	4.68	4.99	5.3	6.24
66	1.82	2.12	2.42	2.72	3.03	3.33	3.64	3.94	4.24	4.54	4.85	5.15	6.06
65	1.76	2.06	2.35	2.65	2.93	3.23	3.52	3.82	4.11	4.4	4.7	4.99	5.87

← ادامه

تعیین مقدار بخار آب لازم برای افزایش رطوبت (واحد انگلیسی) (ادامه)

دمای خشک (°F)	رطوبت نسبی (%)													
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	100
60	1.49	1.74	1.99	2.24	2.48	2.74	2.98	3.23	3.48	3.73	3.98	4.23	4.97
55	1.26	1.47	1.68	1.89	2.09	2.31	2.51	2.72	2.93	3.14	3.35	3.56	4.19
50	1.06	1.23	1.41	1.58	1.76	1.94	2.11	2.29	2.47	2.64	2.82	2.99	3.52
45	0.89	1.03	1.18	1.33	1.47	1.62	1.77	1.92	2.06	2.21	2.36	2.51	2.95
40	0.74	0.86	0.98	1.1	1.22	1.35	1.47	1.6	1.72	1.84	1.96	2.09	2.45
30	0.5	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1	1.09	1.17	1.25	1.33	1.42	1.67
20	0.32	0.37	0.43	0.48	0.53	0.59	0.64	0.7	0.75	0.8	0.85	0.91	1.07
10	0.2	0.23	0.26	03	0.33	0.37	0.4	0.43	0.47	0.5	0.53	0.56	0.67
0	0.12	0.13	0.16	0.19	0.2	0.22	0.25	0.26	0.29	0.31	0.32	0.35	0.41
-10	0.08	0.08	0.1	0.11	0.12	0.14	0.15	0.16	0.17	0.19	0.2	0.21	0.25
-20	0.04	0.05	0.05	0.06	0.72	0.08	0.08	0.1	0.1	0.11	0.11	0.12	0.14

- **مثالی برای چگونگی استفاده از جدول**

- هوای اولیه: 30°F با 100 درصد رطوبت نسبی.
- بخار آب موجود در هوای اولیه مطابق جدول: 1.67 lb /hr به ازای cfm 100.
- هوای ثانویه: 70°F با 40 درصد رطوبت نسبی.
- بخار آب موجود در هوای ثانویه مطابق جدول: 2.76 lb/hr به ازای cfm 100.
- اختلاف مقدار بخار آب 1.09 lb/hr= 1.67 - 2.76 برای 100 cfm

مشخص است که با افزایش گرما قابلیت جذب رطوبت هوا نیز افزایش می‌یابد، بنابراین مقدار بخار آب مورد نیاز برای افزایش رطوبت نسبی هوایی با دمای 70 درجه فارنهایت برابر 1.09 lb/hr خواهد بود.

رطوبت نسبی مناسب برای ذخیره‌سازی و برخی فرآیندها

نوع فرایند ذخیره‌سازی، کاربردی	رطوبت نسبی مناسب(%)
ذخیره‌سازی شکر	20 - 35
ذخیره‌سازی قهوه	30 - 40
ذخیره‌سازی شیر خشک	20 - 35
ذخیره‌سازی بذر	35 - 45
دارو غیر بسته‌بندی	20 - 35
سیم پیچ ترانسفورماتور	15 - 30
نیم هادی‌ها	30 - 50
آرشیو کتاب وروزنامه	40 - 55
انبار کاغذ	35 - 45
جلوگیری از زنگ‌زدگی وخوردگی	کمتراز40
کتابخانه	50 - 55
رنگ‌کاری پاششی	30 - 50
آزمایشگاه‌های الکترونیک	45 - 60
قالب پلاستیک	5 - 30
فضای پیرامون کامپیوتر	50 - 60
سرم قندی و شربت (دارو)	30 - 40
خشک‌کنی چوب	25 - 35
مواد منفجره[1]	35 - 50
ذخیره‌سازی‌های معمولی	50 - 55
آلات موسیقی	45 - 55
فرآورده‌های چرمی	40 - 55
لفاف کابل	15 - 25
آزمایشگاه شیمی	30 - 45

1- خشـــک شدن و کاهش بیشتر رطوبت نسبی احتمال جرقه ناشی از الکتریسیته ساکن و خطر انفجار را زیاد می‌کند.

حداکثر رطوبت نسبی برای عدم تعریق شیشه‌ها

جدولی که در ادامه می‌آید نشانگر حداکثر مقدار رطوبت نسبی در دمای 74 درجه فارنهایت فضای داخل با جابجایی طبیعی برای جلوگیری از تعریق روی شیشه‌ها است.

دمای هوای خارج °F	حداکثر رطوبت نسبی (%)	
	برای پنجره‌های یک جداره	برای پنجره‌های دوجداره
40	39	59
30	29	50
20	21	43
10	15	36
0	10	30
-10	7	26
-20	5	21
-30	3	17

SOURCE:2000 ASHRAE SYSTEM AND EQUIPMENT HANDBOOK.

ظرفیت رطوبت‌زن تشتکی الکتریکی

به صورت تئوریک میزان آبی که در تشـــتک تبخیر می‌شـــود، تابعی از میزان گرمای حاصله از مقاومت الکتریکی داخل تشتک است. برای افزایش دمـــای یک پونـــد آب از 40 درجه فارنهایت به 212 درجـــه فارنهایت، 1142 بی‌تی‌یـــو گرما لازم اســـت. بنابراین از آنجا که یک کیلـــووات معادل 3412 بی‌تی‌یو است، می‌توان نتیجه گرفت که این مقدار برای تبخیر 2.987 پوند در ساعت کافی است.

البته بخشی ازگرمای تولید شده توسط گرمکن از طریق دیواره‌های فلزی تشتک تلف می‌شود.

جدولی که در ادامه می‌آید، ظرفیت تبخیر آب رطوبت‌زن‌های الکتریکی بر حسب گالن درساعت و پوند بر ساعت را نشان می‌دهد:

توان الکتریکی kW	بخار lb/hr	آب تبخیر شده gal/hr
2	5.4	0.65
3	8.0	0.96
4	10.7	1.28
5	13.4	1.60
6	16.1	1.93
7	18.8	2.25
8	21.5	2.58
9	24.2	2.90
10	26.9	3.23
12	32.2	3.86
14	37.6	4.51
15	40.3	4.83
16	43.0	5.16
18	48.4	4.80
20	53.7	6.44
21	56.4	6.76
24	64.5	7.74
27	72.6	8.71
28	75.2	9.02
30	80.6	9.67
32	86.0	10.32
36	96.7	11.60
40	107.5	12.90
42	112.8	13.53
48	129.0	15.48
54	145.1	17.41
60	161.2	19.34

● *در صورت عایق شدن تشتک 10 درصد به مقادیر فوق اضافه می‌شود.*

SOURCE: DESIGN MANUAL FOR HEATING, VENTILATION, AND AIR CONDITIONING SECON DEDITION -LEE KENDRICK

رطوبت‌گیری به روش جذب

دمای فعال نمودن ماده جاذب (سیلیکاژل یا آلومین): 160 - 170°C

گرمای مورد نیاز برای احیای مجدد: 4800kJ به ازای kg آب خارج شده

مشخصات مواد جاذب رطوبت

نام	نماد شیمیایی	چگالی kg/m^3	ظرفیت گرمای ویژه kJ /kgK	درصد جذب نسبت به حجم (%)	درصد جذب نسبت به جرم (%)
سیلیکاژل	SIO_2	480 - 720	1.13	50 - 70	40
آلومینیوم‌فعال(آلومین)	AL_2O_3	800 - 870	1.0	50 - 70	66

آب جبرانی رطوبت‌زن‌ها

1. رطوبت‌زن بخار:

5.6 gpm/ 1000 kW ورودی یا 5.6 gpm/3413 MBH

2. رطوبت‌زن الکتریکی:

5.6 gpm/ 1000 kW ورودی یا 5.6 gpm/3413 MBH

3. رطوبت‌زن تبخیری:

5.0 gpm/ 1000 lb/hr

4. رطوبت‌زن افشانکی:

5.0 gpm/ 1000 lb/hr

❋ ❋ ❋

۳-۲۸

پاکسازی هوا

برای زدودن آلودگی‌های مختلف بســـته به نوع آنها، روش‌های متنوعی وجود دارد. ذرات گرد و غبار و ناخالصی‌های جامد را می‌توان توسط فیلترهای خشک و یا هواشوی‌ها از هوا جدا نمود.

ذرات ریز مایع معلق در هوا را می‌توان با افزایش دمای محیط و تبدیل ذرات به گاز از بین برد.

برای از بین بردن بخارها و گازهای سمی می‌توان از روش تراکم و تقطیر سود جست.

فیلترهای شـــیمیایی و اشـــعه فرابنفش نیز در از بین بردن باکتری‌ها و میکروب‌های بیماری‌زا بسیار موثر عمل می‌کنند.

بـــرای از بین بردن بوهـــای نامطبوع نیز می‌تـــوان از فیلترهای ذغالی اســـتفاده نمود. بر این اســـاس می‌توان انواع فیلترها مانند فیلتر خشک، روغنی، ذغالی، الکترواستاتیکی، فرابنفش، هواشوی را به عنوان گروه‌های اصلی تجهیزات تصفیه هوا طبقه‌بندی کرد.

هودهای آشپزخانه نیز برای زدودن چربی‌های ممزوج با هوای خروجی ناشـــی از عملیات پخت و پز و یا عملیات صنعتی و شیمیایی تحت عنوان نوعی از تجهیزات پاکسازی هوا در همین بخش جای گرفته‌اند.

اطلاعات جمع‌آوری شـــده در این بخش همگی مربوط به آلاینده‌ها و تجهیزات پاکسازی هوا است.

حداکثر مقدار تراکم آلاینده‌های هوای بیرون

چنانچه مقدار آلاینده‌ها از مقادیر مندرج در جدول بیشـــتر شود، باید برای بهبود کیفیت هوا از فیلتر استفاده نمود.

آلاینده‌ها	دراز مدت			کوتاه مدت		
	تراکم متوسط		دوره زمانی	تراکم متوسط		دوره زمانی
	$\mu g/m^3$	ppm	(ماه)	$\mu g/m^3$	ppm	(ساعت)
دی‌اکسیدکربن	80	0.03	12	365 [1]	0.14 [1]	24
ذرات PM10 [3]	50 [2]	-	12	150	-	24
منواکسید کربن	-	-	-	40000 [1]	35 [1]	1
ازن	-	-	-	235	0.12	1
دی‌اکسید ازت	100	0.055	12	-	-	-
سرب	1.5	-	3	-	-	-

1- بیش از یک بار در سال نباشد. 2- متوسط 3- ذرات کوچکتر از 10 میکرومتر

مرجع: مبحث چهاردهم مقرارت ملی ساختمان

تاثیرات منواکسیدکربن در واحد زمان

زمان در معرض قرار گرفتن	مقدار غلظت منواکسیدکربن بر حسب ppm		
	کاملا محسوس	ایجاد ناراحتی و حالت تهوع	مرگ
0.5	600	1000	2000
1.0	200	600	1600
2	100	300	1000
3	75	200	700
4	50	150	400
5	35	125	300
6	25	120	200
7	25	100	200
8	25	100	150

منواکسید کربن سبک‌تر از هوا است. (وزن مخصوص: 0.968).

SOURCE: HVAC EQATION, DATA AND RULES OF THUMB. ARTHUR A.BELL

سرعت ذرات (در سیستم تخلیه گرد و غبار پنیوماتیک)

ذرات	m/s	ft/min
خاکستر کوره سفال‌پزی	30 - 43	6500 - 8500
سیمان	30 - 46	6500 - 9000
پودر ذغال سنگ	20 - 28	4000 - 5500
دانه قهوه	15 - 20	3000 - 4000
چوب پنبه	17 - 28	3500 - 55000
ذرت - گندم	25 - 36	5500 - 7000
پنبه	22 - 30	4500 - 6500
آرد	17 - 30	3500 - 6500
غبار جو	10 - 15	2000 - 3000
غبار گدازه	17 - 23	3500 - 4500
الیاف کنف	22 - 30	4500 - 6500
غبار سرب	20 - 30	4500 - 6500
غبار چرم	8 - 12	1800 - 2500
آهک	25 - 36	5500 - 7500
غبار سنگ آهک	10 - 15	2000 - 3500
غبار فلزات	15 - 18	3500 - 4000
جو صحرایی	22 - 30	4500 - 6500
پودر قالب پلاستیک	15 - 17	3000 - 3500
غبار پلاستیک	10 - 12	2000 - 2500
تراشه نیشکر	22 - 36	4500 - 7000
خرده پارچه	22 - 33	4500 - 6500
غبار لاستیک	10 - 15	2000 - 3000
شن	30 - 46	6000 - 9000
غبار شن پاشی	17 - 23	3500 - 4500
خاک اره وتراشه	10 - 15	2000 - 3000
خاک اره با تراشه سنگین	17 - 23	3500 - 4500
غبار نساجی	10 - 15	2000 - 3500
تراشه چوب	20 - 25	4500 - 5500
پشم - کرک و مو	22 - 30	4500 - 6000

SOURCE: HVAC ENGINEER'S HANDBOOK -ELEVENTH EDITION- F.PORGES

اندازه ذرات

گرد و غبار	0.5 میکرون	ذرات ناشی از استخراج ذغال سنگ	1.0 میکرون
شن پاشی	1.4 میکرون	قطرات باران	500 - 5000 میکرون
گدازه فلزات	1.0 - 200 میکرون	نم و شبنم	40 - 500 میکرون
مه	1 - 40 میکرون	دود توتون	0.05 - 0.1 میکرون
خاکستر	3 - 70 میکرون	دود صنعتی	0.1 - 1 میکرون
پودر و خورده ذغال سنگ	10 - 400 میکرون	گرده	20 - 50 میکرون
غبار ناشی از برش گرانیت	1.4 میکرون	باکتری	0.3 - 10 میکرون
		ویروس	>1 میکرون

SOURCE: HVAC ENGINEER،S HAND BOOK -ELEVENTH EDITION- F.PORGES.

تجهیزات و تاسیسات ساختمان - اف. هال - ترجمه اردشیر اطیابی

حداقل اندازه ذرات برای انواع غبارگیرها

ثقلی:	200	میکرون
داخلی:	50 - 150	میکرون
گریز از مرکز با حلزونی بزرگ:	40 - 60	میکرون
گریز از مرکز با حلزونی کوچک:	20 - 30	میکرون
فن‌دار:	15 - 30	میکرون
صافی:	0.5	میکرون
اسکرابر:	0.5 - 2.0	میکرون
الکتریکی:	0.001 - 1.0	میکرون

SOURCE: HVAC ENGINEER،S HAND BOOK -ELEVENTH EDITION - F.PORGES.

کارایی فیلترها

خشک: از 95 - 50 درصد در محدوده 0.5 - 0.1 میکرومتر

چسبناک: از 95 - 85 درصد در محدوده 0.5 میکرومتر

الکترواستاتیک: تا 99 درصد در محدوده 0.1 میکرومتر

فیلتر هپا: 99.97 درصد برای ذرات 0.3 میکرون و بزرگتر

فیلتر اولپا: 99.9995 درصد برای ذرات 0.12 میکرون و بزرگتر

مشخصات فیلترهای تخت یا صفحه‌ای

بازده:	20 - 35٪
سرعت رخ:	500 fpm
افت فشار اولیه:	0.25 inWg
افت فشار نهایی:	0.50 inWg
ابعاد با ضخامت یک اینچ:	24 × 24 - 25 × 20 - 24 × 20 - 20 × 20 - 25 × 16 - 20 × 16
ابعاد با ضخامت دو اینچ:	24 - 20 × 25 - 24 × 20 - 20 × 20 - 24 × 18 - 24 × 16 - 25 × 24 - 24 × 12 - 20 × 16

SOURCE: HVAC EQUATIONS DATA AND RULES OF THUMB- ARTHUR A.BELL

مشخصات فیلترهای کیسه‌ای

بازده:	40 - 45٪؛ 50 - 55٪؛ 60 - 65٪؛ 80 - 85٪؛ 90 - 95٪
سرعت رخ:	500 fpm
افت فشار اولیه:	40-45٪ (inWg 0.25)؛ 50-55٪ (inWg 0.35)؛ 60 - 65٪ (inWg 0.40)؛ 80 - 85٪ (inWg 0.50)؛ 90 - 95٪ (inWg 0.60)
افت فشار نهایی:	با تمام بازده‌ها 1.0 inWg
ابعاد 40 - 45٪ (سطح روبرو):	20 × 20 - 24 × 20 - 25 × 20 - 20 × 24 - 24 × 24 - 20 × 16 - 25 × 16 - 20 × 12 - 24 × 24
ابعاد 50 - 55٪ (سطح روبرو):	24 × 12 - 20 × 20 - 24 × 20 - 20 × 24 - 24 × 24
ابعاد 60 - 65٪ (سطح روبرو):	24 × 12 - 20 × 20 - 24 × 20 - 20 × 24 - 24 × 24
ابعاد 80 - 85٪ (سطح روبرو):	24 × 12 - 20 × 20 - 24 × 20 - 20 × 24 - 24 × 24
ابعاد 90-95٪ (سطح روبرو):	24 × 24 - 24 × 20 - 20 × 24 - 20 × 20 - 12 × 24
ابعاد قاعده 40 - 45٪:	12 - 15
ابعاد قاعده 50 - 55٪:	21 - 22 - 30 - 37
ابعاد قاعده 60 - 65٪:	21 - 22 - 30 - 37
ابعاد قاعده 80 - 85٪:	21 - 22 - 30 - 37
ابعاد قاعده 90 - 95٪:	21 - 22 - 30 - 37

SOURCE: HVAC EQUATIONS DATA AND RULES OF THUMB- ARTHUR A.BELL

مشخصات فیلترهای هپا

بازده:	٪99.97 برای ذرات 0.3 میکرون و بزرگتر
سرعت رخ:	حداکثر 250 fpm
افت فشار اولیه:	برای بازده ٪95 (0.50 inWg) برای بازده 99.97 - 995.99 (1.0 inWg)
افت فشار نهایی:	برای بازده ٪95 (1.0 inWg) برای بازده 99.97 - 995.99 (3.0 inWg)
ضخامت (اینچ):	3 - 5 - 6 - 12
ابعاد (اینچ):	12 × 24 - 20 × 20 - 20 × 16 - 24 × 12 - 12 × 12 - 8 × 8 - 60 × 24 - 48 × 24 - 36 × 24 - 30 × 24 - 24 × 24 - 48 × 30 - 36 × 30 - 30 × 30 - 24 × 30 - 72 × 24 - 48 × 30 - 36 × 30 - 30 × 30 - 24 × 30 - 72 × 24 - 36 × 36 - 24 × 36 - 72 × 30 - 60 × 30 - 36 × 36 - 30 × 36 - 24 × 36 - 72 × 30 - 60 × 30 - 72 × 36 - 60 × 36 - 48 × 36

SOURCE: HVAC EQUATIONS DATA AND RULES OF THUMB - ARTHUR A.BELL

مشخصات فیلترهای اولپا

بازده:	٪99.9997 برای ذرات 0.12 میکرون و بزرگتر
سرعت رخ:	حداکثر 250 fpm
افت فشار اولیه:	1.0 inWg
افت فشار نهایی:	3.0 inWg
ضخامت (اینچ):	3 - 5 - 6 - 12
ابعاد (اینچ):	12 × 24 - 24 × 20 - 20 × 20 - 20 × 16 - 24 × 12 - 12 × 12 - 8 × 8 - 72 × 24 - 48 × 24 - 36 × 24 - 30 × 24 - 24 × 24 - 72 × 30 - 60 × 30 - 48 × 30 - 36 × 30 - 30 × 30 - 24 × 30 - 72 × 36 - 60 × 36 - 48 × 36 - 36 × 36 - 30 × 36 - 24 × 36

SOURCE: HVAC EQUATIONS DATA AND RULES OF THUMB- ARTHUR A.BELL

مشخصات فیلترهای غلتکی

بازده:	20 - 25٪
سرعت رخ:	500 fpm
افت فشار اولیه ٪20:	0.20 inWg
افت فشار نهایی ٪20:	0.45 inWg
ضخامت:	2
ابعاد (ارتفاع):	5 تا 15 فوت
ابعاد (پهنا):	3 تا 30 فوت

SOURCE: HVAC EQUATIONS DATA AND RULES OF THUMB- ARTHUR A.BELL

مشخصات فیلترهای الکترونیکی

بازده:	30 - 40 ٪
سرعت رخ:	625 fpm
افت فشار اولیه ٪20:	0.26 inWg
افت فشار نهایی ٪20:	0.50 inWg
عمق:	2 تا 4 فوت
ابعاد (ارتفاع):	2 فوت و 4 اینچ تا 15 فوت و 8 اینچ
ابعاد (پهنا):	2 فوت و 4 اینچ تا 18 فوت و 8 اینچ

SOURCE: HVAC EQUATIONS DATA AND RULES OF THUMB- ARTHUR A.BELL

زمان تعویض فیلترها و حداکثر افت فشار

نوع فیلتر	زمان تعویض	حداکثر افت فشار	
		in.W	(Pa)
تخت	30 تا 60 روز	0.5	(125)
صفحه‌ای 2 اینچ (50 mm)	3 تا 6 ماه	0.9	(225)
صفحه‌ای 4 اینچ (100 mm)	10 تا 14 ماه	0.9	(225)
کاتریجی 6 تا 12 اینچ (150 - 300 mm)	12 تا 18 ماه	1.5	(375)
کیسه‌ای 21 تا 36 اینچ	12 تا 24 ماه	1.5	(375)
هپا	1 تا 5 سال (در صورت استفاده از فیلتر اولیه)	2.0	(500)

SOURCE: HANDBOOK OF AIR CONDITIONING AND REFRGERATION- SHAN.K.WANG.

۳-۲۹

هوای فشرده و خلاء

هوای فشـــرده کاربرد بسیار زیادی در تجهیزات کنترل پنیوماتیک تهویه مطبوع و مخازن تحت فشـــار آبرســـانی دارد و از آن برای پاکسازی و نظافت تجهیزات هم استفاده می‌شود. در بیمارستان‌ها نیز از فشار مکانیکی هوای فشرده و سیستم خلاء استفاده می‌کنند که مطالب اختصاصی مربوط به آن‌ها در فصل پنجم آمده است.

واحدهای اندازه‌گیری هوای فشرده

icfm = (INLET cfm) برای تعیین هوای ورودی به کمپرسور

scfm = (STANDARD cfm) دبی استاندارد تحت شرایط زیر:

فشار = 14.696 psia

دما = 60°F (520°R)

رطوبت نسبی = 0 %

در استانداردهای اروپایی دما برابر 0 °C درنظر گرفته می‌شود.

acfm = (actual cfm)، دبی واقعی که وابســـته به فشـــار، دما و رطوبت است.

نرخ جریان در سیستم هوای فشرده (60 psig)

جدول زیر برای تعیین دبی هوای فشرده در فشار 60 psig با حداکثر افت فشار 1 psi به ازای هر 100 فوت کاربرد دارد.

دبی تعیین شده در جدول براساس هوای آزاد ورودی به کمپرسور تدوین شـــده است. برای تعیین اندازه ســـمت دهش باید دبی هوای ورودی را در (14.7/74.7) = 0.197 ضرب نمود.

● **مثال:** 1000 cfm هوای آزاد در صورت افزایش فشار تا 60 psig معادل 197 cfm خواهـــد بود. بنابراین لوله‌ای با اندازه کوچکتر برای آن مناســـب اســـت. در جدول برای 1000 cfm هوای آزاد می‌توان لوله 4 اینچ را انتخاب کرد. در حالی که با افزایش فشار تا 60 psig ، لوله 2 اینچ با دامنه 156تا 290 برای سمت دهش کافی است.

قطر لوله (in)	دبی هوا (هوای آزاد ورودی به کمپرسور) cfm	افت فشار (psi/100ft)
1/2	0 - 12	0.20 - 0.1
3/4	13 - 25	0.20 - 0.1
1	26 - 48	0.20 - 0.1
1(1/4)	49 - 100	0.25 - 0.1
1(1/2)	101 - 155	0.40 - 0.1
2	156 - 290	0.30 - 0.1
2(1/2)	291 - 475	0.40 - 0.1
3	476 - 825	0.30 - 0.1
4	826 - 1750	0.20 - 0.1
5	1751 - 3100	0.30 - 0.1
6	3101 - 5100	0.35 - 0.1
8	5101 - 10900	0.25 - 0.1
10	10901 - 19500	0.30 - 0.1
12	19501 - 30500	0.25 - 0.1

SOURCE: HEATING، VENTILATION، AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL- LEE KENDRICK

نرخ جریان در سیستم هوای فشرده (100 psig)

جدول زیر برای تعیین دبی هوای فشـــرده در فشار 100 psig با حداکثر افت فشار 1 psi به ازای هر 100 فوت کاربرد دارد.

دبی تعیین شده در جدول براساس هوای آزاد ورودی به کمپرسور تدوین شـــده است. برای تعیین اندازه ســـمت دهش باید دبی هوای ورودی را در (14.7/114.7) = 0.128 ضرب نمود.

● **مثال:** 1000 cfm هوای آزاد در صورت افزایش فشار تا 100 psig معادل 128 cfm خواهد بود. بنابراین لوله‌ای با اندازه کوچکتر برای آن مناسب است. در جدول برای 1000 cfm هوای آزاد می‌توان لوله 3 اینچ را انتخاب نمود. در حالی که با افزایش فشار تا 100 psig، لوله 1(1/2) اینچ با دامنه 197-126 برای سمت دهش کافی است.

قطر لوله (in)	دبی هوا (هوای آزاد ورودی به کمپرسور) cfm	افت فشار (psi/100ft)
1/2	0 - 15	0 - 0.1
3/4	16 - 32	0.30 - 0.1
1	33 - 60	0.30 - 0.1
1(1/4)	61 - 125	0.25 - 0.1
1(1/2)	126 - 197	0.40 - 0.1
2	198 - 360	0.30 - 0.1
2(1/2)	361 - 580	0.35 - 0.1
3	581 - 1100	0.30 - 0.1
4	1101 - 2150	0.25 - 0.1
5	2151 - 3900	0.30 - 0.1
6	3901 - 6300	0.35 - 0.1
8	6301 - 13100	0.25 - 0.1
10	13101 - 24000	0.30 - 0.1
12	24001 - 35000	0.35 - 0.1

SOURCE: HEATING, VENTILATION, AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL- LEE KENDRICK.

حجم مخزن هوای فشرده پیشنهادی هوای فشرده برای فشار 140 psig (9.5 bar)

دبی هوا		حجم مخزن پیشنهادی	
cfm	m^3/hr	m^3	ft^3
100	170	0.3	11
200	340	0.5	18
350	595	1	35
600	1020	1.5	53
700	1190	2	71
1500	2550	3	106
2000	3400	4	141
2600	4420	5	177
3000	5100	6	212
4000	6800	8	282
5000	8500	10	353
6000	10200	12	424
7000	11900	14	494
8000	13600	18	565
9000	15300	18	636
10000	17000	20	706

لوله‌کشی خلاء

نرخ جریان در سیستم خلاء (15 in.Hg)

جدول زیر برای تعیین جریان مکشی هوا در لوله‌کشی خلاء (15 in.Hg) با حداکثر افت فشـــار 1 in.Hg به ازای هر فوت و حداکثر سرعت 5000 فوت در دقیقه کاربرد دارد.

قطر لوله (in)	جریان مکش (cfm)	قطر لوله (in)	جریان مکش (cfm)
3/8	توصیه نمی‌شود	1(1/2)	تا 60
1/2	تا 4	2	تا 110
3/4	تا 9	2(1/2)	تا 170
1	تا 20	3	تا 250
1(1/4)	تا 35	4	تا 435

SOURCE: HEATING, VENTILATION, AND AIR CONDITIONING DESIGN MANUAL- LEE KENDRICK

تعیین اندازه لوله خلاء بر اساس افت فشار (1)

تعیین اندازه لوله خلاء براســـاس افت فشار به ازای هر 100 فوت طول لوله برحسب اینچ جیوه بر مبنای فشار 15 اینچ جیوه (خلاء 50%)

جریان هوا scfm	قطر نامی لوله in					
	1/2	3/4	1	1(1/4)	1(1/2)	2
1	0.65	0.15	0.04	–	–	–
2	1.15	0.39	0.10	–	–	–
3	–	0.77	0.19	–	–	–
4	–	1.24	0.31	0.10	–	–
5	–	1.78	0.44	0.14	0.07	–
6	–	2.40	0.60	0.19	0.09	–
7	–	–	0.77	0.24	0.12	–
8	–	–	0.95	0.31	0.15	–
9	–	–	1.17	0.38	0.18	–
10	–	–	1.38	0.45	0.22	0.06

← ادامه

تعیین اندازه لوله خلاء بر اساس افت فشار (1) (ادامه)

جریان هوا scfm	قطر نامی لوله in					
	1/2	3/4	1	1(1/4)	1(1/2)	2
12	–	–	1.90	0.62	0.30	0.08
14	–	–	2.52	0.80	0.39	0.11
16	–	–	–	0.99	0.48	0.13
18	–	–	–	1.21	0.60	0.16

تعیین اندازه لوله خلاء بر اساس افت فشار (2)

جریان هوا scfm	قطر نامی لوله in					
	1(1/4)	1(1/2)	2	2(1/2)	3	4
20	1.46	0.74	0.19	–	–	–
22	1.76	0.86	0.23	0.08	–	–
24	2.10	1.01	0.27	0.09	–	–
26	2.41	1.20	0.32	0.11	–	–
28	2.80	1.36	0.36	0.12	–	–
30	–	1.52	0.41	0.14	–	–
35	–	2.00	0.54	0.18	–	–
40	–	2.50	0.67	0.22	0.10	–
45	–	3.00	0.81	0.27	0.12	–
50	–	–	0.99	0.33	0.14	–
60	–	–	1.34	0.45	0.19	–
70	–	–	1.80	0.60	0.26	0.07
80	–	–	2.30	0.77	0.32	0.09
90	–	–	–	0.96	0.41	0.11
100	–	–	–	1.17	0.50	0.14
125	–	–	–	1.71	0.74	0.20
150	–	–	–	2.30	0.99	0.27
175	–	–	–	-	1.28	0.35
200	–	–	–	-	1.61	0.44

مرجع: شرکت خانه‌سازی ایران - سیستم توزیع مرکزی گازهای طبی در بیمارستان

۳-۳۰

عایق‌کاری و رنگ‌آمیزی

مشخصات عایق‌کاری لوله‌ها

سیستم	قطرلوله in(mm)	دمای خط °F	دمای محیط °F	ضخامت عایق in(mm)	چگالی عایق lb/ft^3 (kg/m^3)
رفت و برگشت بخار فشار بالا	1/2 - 4 (13 - 102)	250 -350	40 -100	1 (1/2) (38)	4 (64)
	5 - 12 (127 - 305)	250 -350	40 -100	2 (51)	4 (64)
	14 (356) و بالاتر	250 -350	40 -100	2 (1/2) (64)	4 (64)
رفت و برگشت بخار فشار ضعیف	1/2 - 4 (13 - 102)	212 -250	40 -100	3/4 (19)	4 (64)
	5 - 12 (127 - 305)	212 -250	40 -100	1 (25)	4 (64)
	14 (356) و بالاتر	212 -250	40 -100	1 (1/2) (38)	4 (64)
آبگرم	1 - 3 (25 - 76)	100 -200	50 -80	1/2 (15)	4 (64)
	4 - 12 (102 - 305)	100 -200	50 -80	1 (25)	4 (64)
	4 - 6 (102 - 152)	100 -150	50 -80	3/4 (20)	4 (64)

← ادامه

مشخصات عایق‌کاری لوله‌ها (ادامه)

سیستم		قطرلوله in(mm)	دمای خط °F	دمای محیط °F	ضخامت عایق in(mm)	چگالی عایق lb/ft^3 (kg/m^3)
آب سرد		1 - 3 (25 - 76)	40 -80	60 -100	1/2 (13)	4 (64)
		4 - 12 (102 - 305)	40 -80	60 -100	1 (25)	4 (64)
		14 (356) و بالاتر	40 -80	60 -100	1 1/2 (38)	4 (64)
		4 - 6 (102 - 152)	60 -70	60 -100	3/4 (19)	4 (64)
آب خنک‌کن کندانسور	داخل ساختمان	105- 85		70 - 90	-	-
آب خنک‌کن کندانسور	خارج از ساختمان	105- 85		10 -100	2 (51)	4 (64)
آب سرد	داخل ساختمان	70- 50		40 -100	3/4 (19)	4 (64)
آب سرد	خارج از ساختمان	70 - 50		10 - 100	2 (51)	4 (64)
آب سرد	خارج از ساختمان و زیر سطح زمین	-		60 - 40	دو لایه	با نوار پلاستیکی
مبرد	سمت مکش	135 - 20		- 10 - 100	1 1/2 (38)	6 (96)
	خط مایع	135 - 20		- 10 - 100	1 1/2 (38)	6 (96)
	سمت دهش	125 - 90		50 - 100	1 (25)	6 (96)

°C = 5/9 (°F - 32) ،°F = 32 + 9/5 (°C)

SOURCE: HEATING، VENTILATING، AND AIR CONDITIONING SYSTEM ESTIMATING MANUAL -SECOND EDITION - A.M.KHASHAB

مشخصات عایق‌کاری تجهیزات

سیستم	دمای سیستم °F (°C)	دمای محیط °F (°C)	ضخامت عایق in (mm)	چگالی lb/ft^3 (kg/m^3)
مبدل حرارتی آبگرم	21 - 300 (100 - 150)	50 - 100 (10 - 38)	1 (25)	6 (96)
تجهیزات تبرید	40 - 60 (4 - 16)	50 - 100 (10 - 38)	1 1/2 (38)	6 (96)
پمپ‌های سرمایش	40 - 60 (4 - 16)	50 - 100 (10 - 38)	1 1/2 (38)	6 (96)
منابع انبساط	100 - 200 (38 - 93)	50 - 100 (10 - 38)	1 (25)	6(96)

SOURCE: HEATING، VENTILATING، AND AIR CONDITIONING SYSTEM ESTIMATING MANUAL -SECOND EDITION - A.M.KHASHAB

افت گرما به ازای هر فوت طول لوله مسی و فولادی برحسب Btu/hr

قطر لوله (in)	لوله فولادی عایق‌شده رده 40	لوله مسی عایق‌شده نوع L	لوله فولادی عایق‌نشده	لوله مسی عایق‌نشده
1/2	10.0	8.2	4.0	2.3
3/4	11.5	10.3	5.0	3.0
1	13.5	12.0	6.0	4.0
1 1/4	16.0	13.9	7.5	4.5
1 1/2	18.6	15.8	8.5	5.5
2	20.5	20.0	11.0	6.5
2 1/2	25.0	22.6	12.0	8.0
3	31.0	26.7	15.0	9.5
4	35.0	33.8	19.0	12.0
5	50.0	–	22.5	–
6	65.0	–	26.0	–

بر اساس دمای آب 14°F و دمای محیط 70°F با 1/2 اینچ عایق پشم شیشه

SOURCE: FACILITY PIPING SYSTEMS HANDBOOK- MICHAEL FRANKEL

عایق‌کاری منابع آبگرم (انگلیسی)

ضخامت عایق (in)	گنجایش منبع (gal)	افت انرژی گرمایی از منبع با آب 140°F (Btu/hr)
1	50	468
1	100	736
2	250	459
3	500	759
3	1000	1273

عایق‌کاری منابع آبگرم (SI)

ضخامت عایق (mm)	گنجایش منبع (lit)	افت انرژی گرمایی از منبع با آب 60°F (W)
25.4	200	137
25.4	400	216
50.8	1000	222
76.2	2000	373
76.2	4000	-

SOURCE: FACILITY PIPING SYSTEMS HANDBOOK- MICHAEL FRANKEL

مشخصات عایق‌کاری شبکه کانال

سیستم	دمای خط °F (°C)	دمای محیط °F (°C)	ضخامت عایق in (mm)	چگالی lb/ft^3 (kg/m^3)
کانال هوای رفت و برگشت تهویه‌مطبوع خاج از اتاق هواساز	55 - 80 (13 - 27)	50 - 90 (10 - 32)	1 (25)	3/4 (12)
کانال هوای رفت و برگشت تهویه‌مطبوع داخل اتاق هواساز	55 - 80 (13 - 27)	50 - 90 (10 - 32)	1 (25)	6 (96)
کانال هوای تازه	- 10 - 100 (- 23 - 38)	50 - 100 (10 - 38)	1 (25)	6 (96)
کانال هود آشپزخانه	100 - 200 (38 - 93)	50 - 100 (10 - 38)	1 1/2 (38)	6 (96)

SOURCE: HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING SYSTEM ESTIMATING MANUAL -SECOND EDITION - A.M.KHASHAB

مشخصات عایق‌ها

نوع عایق	چگالی lb/ft³ (kg/m³)	هدایت گرمایی(K) دردمای مشخص Btu/-in / (h - ft².°F) [W/(m.K)]
پشم شیشه	3 (48)	0.25در دمای 50°F (0.036در دمای 10°C)
پلی‌یورتان	2 (32)	0.15 در دمای 75°F (0.022 در دمای 24°C)
سیلیکات کلسیم	13 (208)	0.55 در دمای 500°F (0.080 در دمای 260°C)
پشم معدنی (دندانه‌ای)	10 (160)	0.49 در دمای 500°F (0.071 در دمای 260°C)
پشم معدنی (پتویی)	8 (128)	0.49 در دمای 500°F (0.071 در دمای 260°C)

SOURCE: HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING SYSTEM ESTIMATING MANUAL -SECOND EDITION - A.M.KHASHAB

ضخامت عایق‌کاری سطوح سرد برای جلوگیری از تقطیر رطوبت

جدول زیر برای دمای محیط 80°F و سطح سرد با دمای 40°F و با قابلیت هدایت گرمایی عایق به میزان 0.30 Btu/in/(h.ft².°F) تدوین شده است. ضریب هدایت سطح سرد نیز 1.2 Btu/hr .ft².°F در نظر گرفته شده است.

رطوبت نسبی (٪)	ضخامت عایق (in)	رطوبت نسبی (٪)	ضخامت عایق (in)
20	-	70	0.7
30	0.1	80	1.3
40	0.2	90	2.9
50	0.3	95	6.0
60	0.5		

SOURCE: INSULATION FOR MECHANICAL SYSTEMS-ASHRAE JOURNAL- MAY 2006.

رنگ معرف سیال

با حلقه‌های رنگی بر زمینه‌ای سفید و بر اساس تعداد و رنگ آن‌ها می‌توان سیال داخل لوله را مشخص کرد.

سیال	رنگ لوله	تعداد حلقه
آب گرم کننده با دمای بالا - رفت و برگشت	قرمز تیره	2
آب گرم کننده با دمای متوسط - رفت و برگشت	قرمز تیره	1
آب گرم کننده با دمای پایین - رفت و برگشت	نارنجی	1
لوله مشترک آب گرم کننده و سردکننده - رفت و برگشت	نارنجی	2
آب خنک کننده کندانسور - رفت و برگشت	سبز روشن	1
آب سرد کننده - رفت و برگشت	سبز روشن	2
بخار کم فشار	قرمز روشن	1
بخار میان فشار	قرمز روشن	2
بخار پرفشار	قرمز روشن	3
چگالیده کم فشار	سبز تیره	1
چگالیده میان فشار	سبز تیره	2
چگالیده پرفشار	سبز تیره	3
آب سرد مصرفی	آبی روشن	1
آبگرم مصرفی - رفت و برگشت	آبی روشن	2
سوخت مایع	قهوه‌ای	1

مرجع: نشریه 1 - 128 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

تعیین سطح لوله برای رنگ‌آمیزی و عایق‌کاری

$$S\ (ft^2) = 0.26 \times D \times L$$

$$S\ (m^2) = 0.0031 \times D \times L$$

S= سطح لوله برحسب ft^2 و m^2
D= قطر خارجی لوله برحسب in و mm
L= طول لوله برحسب ft و m

تعیین سطح منابع

برای منابع کروی:

$$S = 3.14 \times D^2$$

برای منابع استوانه‌ای:

$$S = 1.57\ (2\ DL \times D^2)$$

S= سطح منبع برحسب ft^2 یا m^2
L = طول منبع برحسب ft یا m
D= قطر منبع برحسب ft یا m

❋ ❋ ❋

۴

آب و فاضلاب

۴-۱ آب ۵۷۱

- تخمین و تعیین مصارف آب سرد و گرم ..... ۵۷۳، ۵۹۳
- ظرفیت مخازن آب سرد و گرم ۵۸۱
- دبی، فشار و تعداد لوازم بهداشتی. ..... ۵۷۶ ، ۵۸۵
- سختی آب..... ۶۰۲
- آب برای اطفای حریق..... ۶۰۵

۴-۲ فاضلاب..... ۶۱۱

- تخمین و تعیین دبی فاضلاب و آب باران..... ۶۱۲ ، ۶۲۳
- اندازه گذاری لوله‌های فاضلاب، آب باران و هواکش فاضلاب ۶۱۶
- تخمین حجم سپتیک تانک و چاه جذبی.....۶۲۵

شبکه‌های آب و فاضلاب از قدیمی‌ترین و مهمترین اجزای تاسیسات مکانیکی ساختمان هستند که در این فصل اطلاعات و جداول مربوط به آنها تحت مباحث مختلفی چون ذخیره‌سازی و مصارف آب سرد وگرم، اطفای حریق، جمع‌آوری و دفع فاضلاب، لوله‌کشی تهویه فاضلاب و آب باران ارائه شده است.

۴-۱

آب

آب یکی از بهترین حلال‌های شیمیایی است و به همین دلیل دسترسی طبیعی به آن بدون ترکیبات مختلف و به صورت کاملا خالص بسیار مشکل و تقریبا غیر ممکن است. بنابراین آب به صورت طبیعی حاوی انواع عناصر و ترکیبات است. آب می‌تواند حاوی انواع ترکیبات اکسیژن، کربن، نیتروژن، و سولفورها باشد. همچنین وجود فلزاتی مانند مس، روی، آهن، منگنز، سرب، آلمینیوم و انواع عناصر دیگر مثل کلسیم، پتاسیم، سیلیس، فلوئور و ید و انواع باکتری‌ها در آن محتمل است.

وجود کربن در آب می‌تواند موجب خوردگی فلزات شود و همینطور وجود اکسیژن در آب نیز زنگ‌زدگی و فرسایش قطعات فلزی را به همراه خواهد داشت. وجود سولفات‌ها، نیترات‌ها، کلریدها و کربنات‌ها نیز موجب سختی آب و ایجاد رسوب گذاری در لوله‌ها و کاهش انتقال حرارت و افزایش خوردگی می‌شوند. وجود برخی ترکیبات و عناصر شیمیایی و همینطور میکروب‌ها آب را برای آشامیدن نامناسب می‌سازد. بنابراین متناسب با گونه مصرف می‌باید عملیات خاصی را برای آماده سازی آن به انجام رسانید.

وزن مخصوص آب در 4 درجه سلسیوس یک کیلوگرم به ازای یک لیتر یا در 62 درجه فارنهایت 10 پوند به ازای یک گالن انگلیسی است. انبساط حجمی آب از دمای 4 درجه سلسیوس برابر با 1/24 حجم اولیه آن است.

آب فارغ از مصارف گوناگون آشامیدنی، صنعتی، شستشو، اطفای

حریق، انتقال حرارت در سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و تهویه مطبوع به عنوان مبرد با شـــماره R-718 نیز کاربرد دارد. ســـایر مشخصات آب در شرایط متعارف عبارت است از:

دمای انجماد: صفر درجه سلسیوس یا 32 درجه فارنهایت

دمای جوش: 100 درجه سلسیوس یا 212 درجه فارنهایت

دمای بحرانی: 386- 380 درجه سلسیوس یا 716- 706 درجه فارنهایت

فشار بحرانی: 23520 کیلونیوتن بر مترمربع (کیلو پاسکال) یا 3200 پوند بر اینچ مربع

گرمای نهان ذوب: 334 کیلوژول بر کیلوگرم یا 144 بی‌تی‌یو بر پوند

گرمای نهان تبخیر: 2270 کیلوژول بر کیلوگرم یا 144 بی‌تی‌یو بر پوند

ظرفیت گرمایی ویژه در حالت مایع: 4.187 کیلوژول بر کیلوگرم کلوین یا یک بی‌تی‌یو بر پوند فارنهایت

ظرفیت گرمایی ویـــژه در حالت جامد (یخ): 2.108 کیلوژول بر کیلوگرم کلوین یا 0.504 بی‌تی‌یو بر پوند فارنهایت

ظرفیت گرمایی ویژه در حالت گازی (بخار) 1.9961 کیلوژول بر کیلوگرم کلوین یا 0.477 بی‌تی‌یو بر پوند فارنهایت

وزن مولکلولی: 18.02 گرم بر مول

برای مشاهده خواص ترمودینامیکی آب و بخار به بخش 4-1 فصل اول مراجعه کنید.

حداکثر مقدار مجاز برخی عناصر و ترکیبات در آب شرب

عناصر یا مواد	mm/lit	عناصر یا مواد	mm/lit	عناصر یا مواد	mm/lit
سرب	0.05	باریم	1	مس	0.2
سلنیوم	0.01	فلورید	2.0	نقره	0.05
ارسنیک	0.05	نیترات	45	منیزیم	0.10
کروم	0.05	آلومینیوم	0.05 - 0.2	کلرید	2.5
سیانور	0.02	آهن	0.3	سولفات	2.5
کادمیم	0.01	روی	5.0		

تخمین مصرف آب بر اساس نوع کاربری و ساختمان (1)

نوع ساختمان یا کاربری	مقدار مصرف
آپارتمان‌ها به ازای هر نفر	150-200 لیتر در شبانه‌روز
خانه‌های ویلایی تا دو طبقه به ازای هر نفر	200-250 لیتر در شبانه‌روز
ایستگاه راه‌آهن به ازای هر مسافر	0.5 - 1 لیتر در روز
پادگان به ازای هر سرباز	200 لیتر در روز
کارواش برای شستشوی هر اتومبیل	200 لیتر
محل چادرزنی (کمپینگ) برای هر جهانگرد	10 - 20 لیتر در روز
کشتارگاه برای شستن هر لاشه گاو یا دو لاشه گوسفند	300 - 400 لیتر
آبیاری فضاهای سبز درخت‌کاری شده به ازای هر مترمربع	1 - 3 لیتر در روز
فضای سبز با چمن‌کاری زیاد به ازای هر متر مربع	7 - 10 لیتر در روز
فضای سبز با چمن‌کاری متوسط به ازای هر متر مربع	5 - 8 لیتر در روز
فضای سبز با چمن‌کاری کم به ازای هر متر مربع	3 - 6 لیتر در روز
آبریزگاه عمومی به ازای هر واحد	40 لیتر در ساعت
گورستان به ازای هر مترمربع	0.1 - 1 لیتر در روز
استخرهای شنا به ازای هر مترمکعب استخر	100 لیتر در روز
حمام عمومی دوش‌دار به ازای هر مشتری	200 لیتر در روز
حمام عمومی وان‌دار به ازای هر مشتری	300 لیتر در روز
بیمارستان به ازای هر بیمار	250 - 600 لیتر در روز
درمانگاه به ازای هر بیمار و کارمند	60 - 120 لیتر در روز
شستشوی کانال‌های فاضلاب برای هر نفر از ساکنین شهر	0.3 - 2 لیتر در روز
نانوایی به ازای هر کارگر (برای هر 200 نفر ساکنین شهر یک کارگر)	140 لیتر در روز
قصابی به ازای هر کارگر (برای هر 300 نفر ساکنین شهر یک کارگر)	100 لیتر در روز
قنادی به ازای هرکارگر(برای هر1200 نفر ساکنین شهر یک کارگر)	200 لیتر در روز

← ادامه

تخمین مصرف آب بر اساس نوع کاربری و ساختمان (1) (ادامه)

نوع ساختمان یا کاربری	مقدار مصرف
آرایشگاه به ازای هر کارگر (برای هر 250 نفر ساکنین شهر یک کارگر)	100 لیتر در روز
نجاری به ازای هر کارگر (برای هر 1000 نفر ساکنین شهر یک کارگر)	10 لیتر در روز
هتل‌ها و متل‌ها با توجه به درجه‌بندی آنها به ازای هر مسافر	200-600 لیتر در روز
غذاخوری‌ها و رستوران‌ها به ازای هر میهمان	40 لیتر در روز
رستوران سلف سرویس به ازای هر میهمان	20-30 لیتر در روز

مرجع: لوله‌کشی آب و فاضلاب ساختمان و سپتیک تانک ـ سید محسن موسوی

تخمین مصرف آب بر اساس نوع کاربری و ساختمان (2)

نوع ساختمان یا کاربری	مقدار مصرف
سالن‌های ورزشی با دوش به ازای هر نفر	50 لیتر در روز
رختشویخانه مکانیزه به ازای هر کیلوگرم لباس خشک	3 لیتر به ازای هر صندلی
سینما برای هر نفر تماشاچی (یا به ازای هر صندلی)	10 - 20 لیتردر روز
زندان به ازای هر نفر	200 لیتردر روز
اردوگاه تربیتی به ازای هر نفر	200 - 250 لیتردر روز
ساختمان اداری به ازای هر نفر	50 لیتردر روز
مدارس شبانه‌روزی به ازای هر نفر	200 لیتردر روز
هتل و پانسیون‌ها با حمام خصوصی برای 25 درصد از اتاق‌ها به ازای هر نفر	200 - 250 لیتر در روز
هتل و پانسیون‌ها با حمام خصوصی برای 75 درصد از اتاق‌ها به ازای هر نفر	250 - 300 لیتر در روز
هتل و پانسیون‌ها با حمام خصوصی برای 100 درصد از اتاق‌ها به ازای هر نفر	250 - 400 لیتر در روز

تخمین مصرف آب براساس نوع کاربری و ساختمان (3)

نوع ساختمان یا کاربری	مقدار مصرف
صنایع فلزی:	
تهیه آهن با داشتن تاسیسات آب خنک‌کن به ازای هر تن فرآورده	10 - 20 مترمکعب
تهیه آهن بدون تاسیسات آب خنک‌کن به ازای هر تن فرآورده	40 - 50 مترمکعب
تهیه فولاد بدون داشتن تاسیسات آب خنک‌کن به ازای هر تن فرآورده	50 - 220 مترمکعب
صنایع شیمیایی:	
کارخانه داروسازی به ازای هر تن فرآورده	40 - 60 مترمکعب
کارخانه صابون‌سازی به ازای هر تن فرآورده	0.5 - 16 مترمکعب
کارخانه پلاستیک‌سازی به ازای هر تن فرآورده	100 - 500مترمکعب
صنایع نساجی:	
شستشوی پارچه‌های کثیف به ازای هر تن	30 - 60 متر مکب
شستشوی پشم به ازای هر تن	8 - 15 متر مکب
رنگرزی به ازای هر تن	80 - 100 متر مکب
صنایع غذایی:	
کنسرو گوشت به ازای هر تن	5 - 15 مترمکعب
کنسرو میوه و سبزی به ازای هر تن	5 - 20 مترمکعب
روغن خوراکی به ازای هر تن	10 - 20 مترمکعب
شیر پاستوریزه به ازای هر تن	4 - 6 مترمکعب
تولید شکر به ازای هر تن چغندرقند مصرفی	10 - 15 مترمکعب
سایر صنایع:	
کارخانه بتن پیش‌ساخته به ازای هر تن	0.4 - 1.8 مترمکعب
کارخانه کاغذ با تاسیسات آب خنک به ازای هر تن فرآورده	30 - 100 مترمکعب
کارخانه چرم به ازای هر مترمربع	3 - 5 مترمکعب
پالایشگاه نفت به ازای هر تن مصرف نفت خام	3 - 70 مترمکعب
کارخانه سیمان به ازای هر تن فرآورده	0.4 - 0.6 مترمکعب

مرجع: لوله‌کشی آب و فاضلاب ساختمان و سپتیک تانک ـ سید محسن موسوی

حداقل تعداد دستشویی براساس کاربری ساختمان

نوع کاربری	نفرات	تعداد دستشویی	
		مردانه	زنانه
مدارس ابتدایی و راهنمایی	1 - 120	1	1
	121 - 240	2	2
	برای هر 120 نفر اضافه بر 240 نفر	1	1
به ازای هر سه کلاس درس یک آبخوری به نحوی که حداقل در هر طبقه یک آبخوری باشد.			
ساختمان‌های اداری عمومی	1 - 15	1	1
	16 - 35	1	2
	36 - 60	2	2
	61 - 125	2	3
	به ازای هر 120 نفر اضافه بر 125 نفر	1	1.5
به ازای هر 1 تا 100 نفر و 250-101 نفر و 500-251 نفر به ترتیب 1، 2 و 3 آبخوری به نحوی که حداقل یک آبخوری در هرطبقه باشد.			
آرایشگاه‌ها	1 - 75	1	1
کارگاه عملیات سبک	1 - 35	1	1
	36 - 100	2	2
	101 - 200	3	3
	به ازای هر 100 نفر اضافه بر 200 نفر	1	1
یک آبخوری به ازای هر 75 نفر و یک دوش به ازای هر 15 نفر			
کارگاه عملیات سنگین	1 - 15	1	1
	16 - 35	2	1
	36 - 60	3	1
	61 - 90	4	1
	91 - 125	5	1
	به ازای هر 100 نفر اضافه بر 125 نفر	1	0.1
یک آبخوری به ازای هر 75 نفر اضافه بر 125 نفر و یک دوش به ازای هر 15 نفر			

← ادامه

حداقل تعداد دستشویی براساس کاربری ساختمان (ادامه)

نوع کاربری	نفرات	تعداد دستشویی	
		مردانه	زنانه
کلوب‌ها	1 - 150	1	1
	151 - 200	2	2
	201 - 400	3	3
	به ازای هر 200 نفر اضافه بر 400 نفر	1	1
خوابگاه	1 - 12	1	1
	13 - 30	2	2
	به ازای هر 30 نفر اضافه بر 30 نفر	1	1
یک دوش به ازای هر 8 نفر			
اماکن تجمعی	1 - 200	1	1
	201 - 400	2	2
	401 - 750	3	3
یک آبخوری به ازای هر 100 - 1 نفر و 2 آبخوری به ازای هر 101 تا 350 نفر و یک آبخوری اضافه به ازای هر 400 نفر اضافه بر 350 نفر			
رستوران	1 - 150	1	1
	151 - 200	2	2
	201 - 400	3	3
	به ازای هر 200 نفر اضافه بر 400 نفر	1	1
فروشگاه خرده فروشی	1 - 15	1	1
	16 - 35	1	2
	36 - 60	1	3
	61 - 125	2	4
	به ازای هر 200 نفر اضافه بر 125 نفر	1	1.75
برای هر 100-1 و 205-101 و 500-251 و 1000-501 نفر به ترتیب 1، 2، 3 و 4 آبخوری به نحوی که در هر طبقه حداقل یک آبخوری باشد			

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL - SECOND EDITION - R.DODGE WOODSON

حداقل تعداد توالت براساس کاربری ساختمان

نوع کاربری	نفرات	تعداد توالت	
		مردانه	زنانه
مدارس ابتدایی و راهنمایی	1 - 50	2	2
	51 - 100	3	3
	101 - 150	4	4
	151 - 200	5	5
	برای هر 50 نفر اضافه بر 200 نفر	1	1
ساختمان‌های اداری عمومی	1 - 15	1	1
	16 - 35	1	2
	36 - 55	2	2
	56 - 100	2	3
	101 - 150	3	4
	به ازای هر 100 نفر اضافه بر 150 نفر	1	1.5
آرایشگاه‌ها	1 - 35	1	1
	36 - 75	2	2
کارگاه عملیات سبک	1 - 25	1	1
	26 - 75	2	2
	76 - 100	3	3
	به ازای هر 60 نفر اضافه بر 100 نفر	1	1
کارگاه عملیات سنگین	1 - 10	1	1
	11 - 25	2	1
	26 - 50	3	1
	51 - 75	4	1
	76 - 100	5	1
	به ازای هر 60 نفر اضافه بر 100 نفر	1	0.1

← ادامه

حداقل تعداد توالت براساس کاربری ساختمان (ادامه)

نوع کاربری	نفرات	تعداد توالت	
		مردانه	زنانه
کلوب‌ها	1 - 50	2	2
	51 - 100	3	3
	101 - 300	4	4
	به ازای هر 200 نفر اضافه بر 300 نفر	1	2
خوابگاه	1 - 10	1	1
	11 - 30	1	2
	31 - 100	3	4
	به ازای هر 50 نفر اضافه بر 100 نفر	1	1
اماکن تجمعی	1 - 50	2	2
	51 - 100	3	3
	101 - 200	4	4
	201 - 400	5	5
	به ازای هر 250 نفر اضافه بر 400 نفر	1	1
رستوران	1 - 150	1	1
	51 - 100	2	2
	101 - 200	3	3
	201 - 300	4	4
	به ازای هر 200 نفر اضافه بر 300 نفر	1	2
فروشگاه خرده فروشی	1 - 35	1	1
	36 - 55	1	2
	5 - 80	2	3
	81 - 100	2	4
	101 - 150	2	5
	به ازای هر 200 نفر اضافه بر 150 نفر	1	1.75

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL - SECOND EDITION - R.DODGE WOODSON

حداقل تعداد لوازم بهداشتی برحسب تعداد استفاده‌کنندگان

مطابق مقررات ملی ساختمان

نوع کاربری ساختمان	توالت 1	دستشویی	وان - دوش	آب‌خوری
تئاتر- سینما و سالن اجتماعات	1 برای 125 نفر	1 برای 200 نفر	-	1 برای 500 نفر
اماکن مذهبی- زیارتی	1 برای 100 نفر	1 برای 100 نفر	-	1 برای 300 نفر
رستوران	1 برای 75 نفر	1 برای 200 نفر	-	1 برای 500 نفر
فروشگاه[2]	1 برای 500 نفر	1 برای 750 نفر	-	1 برای 1000 نفر
فروشگاه[3]	1 برای 25 نفر	1 برای 40 نفر	-	1 برای 100 نفر
ورزشگاه- استخر	1 برای 100 نفر	1 برای 150 نفر	-	1 برای 500 نفر
ساختمان‌های آموزشی	1 برای 50 نفر	1 برای 50 نفر	-	1 برای 100 نفر
ساختمان‌های صنعتی	1 برای 40 نفر	1 برای 40 نفر	1 برای 35 نفر	1 برای 100 نفر
بیماران در بیمارستان[4 و 5]	1 برای 8 نفر	1 برای 10 نفر	1 برای 15 نفر	1 برای 100 نفر
کارکنان بیمارستان	1 برای 25 نفر	1 برای 35 نفر	-	1 برای 100 نفر
مراجعان به بیمارستان	1 برای 75 نفر	1 برای 100 نفر	-	1 برای 500 نفر
زندان برای زندانیان	1 برای 15 نفر	1 برای 25 نفر	1 برای 30 نفر	1 برای 100 نفر
زندان برای زندان‌بانان	1 برای 25 نفر	1 برای 35 نفر	-	1 برای 100 نفر
زندان برای مراجعان	1 برای 75 نفر	1 برای 100 نفر	-	1 برای 500 نفر
هتل و متل[6]	1 برای 10 نفر	1 برای 10 نفر	1 برای 8 نفر	1 برای 100 نفر

← ادامه

حداقل تعداد لوازم بهداشتی برحسب تعداد استفاده‌کنندگان (ادامه)

نوع کاربری ساختمان	توالت 1	دستشویی	وان - دوش	آب‌خوری
آپارتمان	1 برای هر آپارتمان	1 برای هر آپارتمان	1 برای هر آپارتمان	-
خوابگاه	1 برای 10 نفر	1 برای 10 نفر	1 برای 8 نفر	1 برای 100 نفر
انبار	1 برای 100 نفر	1 برای 100 نفر	1 برای 15 نفر	1 برای 1000 نفر
ساختمان اداری	1 برای 20 نفر	1 برای 25 نفر	-	1 برای 75 نفر

1. حداکثر به تعداد 67 درصد توالت مورد نیاز می‌توان به جای توالت، پیسوار (آبریزگاه) نصب نمود.
2. ارقام برای مراجعان است.
3. ارقام برای کارکنان است.
4. اتاق بستری یک تخته، هر اتاق باید یک دستشویی، یک توالت، یک دوش یا وان داشته باشد. اتاق بستری چند تخته حداقل باید یک دستشویی داشته باشد.
5. توالت بیماران و کارکنان باید جدا باشد.
6. در هر اتاق خواب یک دستشویی، یک توالت و یک دوش یا وان باید باشد.

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

ظرفیت مخزن آب سرد به ازای تجهیزات

نوع تجهیزات	ذخیره‌سازی به ازای هر واحد	
	litres	gal
دوش	900 - 450	200 - 100
وان	900	200
توالت	180	40
دستشویی	90	20
سینک	90	20
آبریزگاه	180	40
شیر آبیاری باغچه	180	40

مرجع: راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه‌مطبوع ـ ویرایش یازدهم ـ فرد پورجز ـ ترجمه محمدرضا سلطاندوست.

ظرفیت مخزن آب سرد بر اساس نوع ساختمان

نوع ساختمان	ذخیره‌سازی به ازای هر نفر	
	Litres	gal
کارخانجات (به غیر از مصارف صنعتی)	10	2
بیمارستان به ازای هر تخت	150	33
بیمارستان به ازای کارکنان هر شیفت	45	10
خوابگاه دانشجویی	90	20
هتل	150	33
منازل	135	30
اماکن اداری با رستوران	45	10
اماکن اداری بدون رستوران	35	8
رستوران به ازای هر پرس غذا	7	1.5
مدارس شبانه‌روزی	90	20
مدارس روزانه	30	7

مرجع: راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه‌مطبوع- ویرایش یازدهم- فرد پورجز- ترجمه محمدرضا سلطاندوست

ظرفیت منابع ثقلی آب

تعداد واحد مصرف	گالن در دقیقه به ازای هر واحد مصرف	حداقل ظرفیت (گالن)	حداقل دبی پمپ (گالن در دقیقه)
هتل‌ها و باشگاه‌ها			
1 - 50	0.65	2000	25
51 - 100	0.55	2000	35
101 - 200	0.45	3000	60
201 - 400	0.35	3000	100
401 - 800	0.275	3000	150
801 - 1200	0.25	3000	225
1201و بالاتر	0.2	3000	300
بیمارستان‌ها			
1 - 50	1	2000	25
51 - 100	0.8	2000	55

← ادامه

ظرفیت منابع ثقلی آب (ادامه)

تعداد واحد مصرف	گالن در دقیقه به ازای هر واحد مصرف	حداقل ظرفیت (گالن)	حداقل دبی پمپ (گالن در دقیقه)
101 - 200	0.6	3000	85
201 - 400	0.5	3000	125
401 و بالاتر	0.4	3000	210
مدارس			
1 - 10	1.5	2000	10
11 - 25	1	2000	15
26 - 50	0.8	2000	30
51 - 100	0.6	2000	45
101 - 200	0.5	3000	65
201 و بالاتر	0.4	3000	110
ساختمان‌های صنعتی			
1 - 25	1.5	2000	25
26 - 50	1	2000	40
51 - 100	0.75	3000	60
101 - 150	0.7	3000	80
151 - 250	0.65	3000	110
251 و بالاتر	0.6	3000	165
ساختمان‌های اداری			
1 - 25	1.25	2000	25
26 - 50	0.9	2000	35
51 - 100	0.7	2000	50
101 - 150	0.65	3000	75
151 - 250	0.55	3000	100
251 - 500	0.45	3000	140
501 - 750	0.35	3000	230
751 - 1000	0.3	3000	270
1001و بالاتر	0.275	3000	310

قطر لوله تخلیه منابع ذخیره آب

گنجایش منبع (لیتر)	قطر نامی لوله تخلیه (mm)	قطر نامی لوله تخلیه (in)
تا 2500	25	1
2501 - 5000	40	1 1/2
5001 - 10000	50	2
10001 - 20000	65	2 1/2
20001 - 30000	80	3
بیش از 30000	100	4

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

ابعاد اتاق مخزن آب

گنجایش مخزن (lit)	ارتفاع مخزن 1.5 m	ارتفاع مخزن 2 m	ارتفاع مخزن 3 m
5000	18 m^2	18 m^2	-
10000	31 m^2	23 m^2	-
20000	50 m^2	40 m^2	-
40000	72 m^2	60 m^2	50 m^2
60000	-	80 m^2	60 m^2
100000	-	100 m^2	80 m^2

SOURCE: PLUMBING ENGINEERING SERVICES DESIGN GUIDE.STAN TIDSLEY- THE INSTITUTE OF PLUMBING.

شرایط کارکرد شبکه لوله‌کشی توزیع آب مصرفی

کاربرد	تغییرات فشار (bar)	دما (°C)	تعداد ساعت مصرف در سال
لوله‌کشی آب سرد مصرفی	0 - 10	حداکثر 25	8760
لوله‌کشی آب گرم مصرفی	0 - 10	حداکثر 65 حداکثر 85	8510 250

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

دمای پیشنهادی آبگرم برای برخی مصارف

کاربرد	دما (°F)
شستن دست	105
شستن صورت	115
دوش و وان	110
ظرفشویی و لباسشویی (خانگی)	140
ظرفشویی و لباسشویی (صنعتی و تجاری)	180
اسکراب (اتاق عمل)	110

دبی و فشار لوازم بهداشتی

لوازم بهداشتی	دبی (gpm)	فشار (psi)
وان	4	8
بیده	2	4
سینک با سینی	4	8
ماشین ظرفشویی خانگی	2.75	8
آبخوری	0.75	8
لگن رختشویی	4	8
دستشویی	2	8
دوش	3	8
دوش با شیر ترموستاتیک	3	20
شیر سر شیلنگی	5	8
سینک آشپزخانه خانگی	2.5	8
سینک شستشوی عمومی	3	8
آبریز با شیر فشاری	15	15
توالت با فلاش‌تانک	1.6	8
توالت با شیر فشاری	35	15

مرجع: مقررات ملی ساختمان ایران - تاسیسات بهداشتی - وزارت مسکن و شهرسازی

حداقل مقدار جریان و فشار آب در پشت شیرهای لوازم بهداشتی

مطابق مقررات ملی ساختمان

لوازم بهداشتی	مقدار جریان		فشار آب	
	لیتر در دقیقه	گالن در دقیقه	متر ستون آب	پوند بر اینچ مربع
وان	15	4	5.5	8
بیده	7.5	2	2.7	4
سینک با سینی	15	4	5.5	8
ماشین ظرفشویی خانگی	10	2.75	5.5	8
آب‌خوری	3	0.75	5.5	8
لگن رختشویی	15	4	5.5	8
دستشویی	7.5	2	5.5	8
دوش	11.5	3	5.5	8
دوش با شیر ترموستاتیک	11.5	3	14	20
شیر سرشیلنگی	19	5	5.5	8
سینک آشپزخانه - خانگی	9.5	2.5	5.5	8
سینک شستشوی عمومی	11.5	3	5.5	8
پیسوار با فلاش والو	57	15	10.5	15
توالت با فلاش تانک	11.5	3	5.5	8
توالت با فلاش والو	95	25	10.5	15
توالت فرنگی یکپارچه	23	6	14	20

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

حداکثر فشار و مقدار آب در لوازم بهداشتی

مطابق مقررات ملی ساختمان

لوازم بهداشتی	مقدار جریان		فشار آب	
	لیتر در دقیقه	گالن در دقیقه	متر ستون آب	پوند بر اینچ مربع
دستشویی خصوصی	8	2.1	40	60
دستشویی عمومی	2	0.5	40	60
دستشویی با شیر برقی خودکار	1	0.25	40	60
دوش	8	2.1	40	60
سینک	8	2.1	40	60
پیسوار	4	1.0	-	-
توالت	6	1.5	-	-

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

تعیین واحد مصرف (FU) تجهیزات و حداقل اندازه لوله و فشار برای آب مصرفی

تجهیزات	آب سرد (FU)	آبگرم (FU)	کل (FU)	حداقل فشار (psig)	حداقل قطر لوله in
عمومی:					
توالت با شیر فشاری	10	-	10	20 - 25	1
توالت با فلاش تانک	5	-	5	8 - 10	1/2
آبریزگاه با شیر فشاری	5	-	5	15 - 20	3/4
آبریزگاه با فلاش تانک	3	-	3	8 - 10	1/2
دستشویی	1.5	1.5	2	8 - 10	3/8
وان	3	3	4	8 - 10	1/2
دوش	3	3	4	8 - 10	3/4

← ادامه

تعیین واحد مصرف (FU) تجهیزات و حداقل اندازه لوله و فشار برای آب مصرفی (ادامه)

تجهیزات	آب سرد (FU)	آبگرم (FU)	کل (FU)	حداقل فشار (psig)	حداقل قطر لوله in
سینک سرویس (به طور کلی)	2.25	2.25	3	8 - 10	3/4
سینک آشپزخانه	3	3	4	8 - 10	3/4
کولر آبی	0.25	-	0.25	8 - 10	3/8
خصوصی:					
توالت با شیر فشاری	6	-	6	20 - 25	1
توالت با فلاش تانک	3	-	3	8 - 10	1/2
دستشویی	0.75	0.75	1	8 - 10	3/8
وان	1.5	1.5	2	8 - 10	1/2
دوش	1.5	1.5	2	8 - 10	1/2
یک واحد سرویس[1] با شیر فشاری	6	6	8	20 - 25	1
یک واحد سرویس با فلاش تانک	4	4	6	15 - 20	1
سینک آشپزخانه	1.5	1.5	2	8 - 10	1/2
ماشین ظرفشویی	-	1	1	10 - 15	1/2
ماشین لباسشویی (8 پوندی)	1.5	1.5	2	10 - 15	1/2

1- یک واحد سرویس کامل شامل یک توالت، یک دستشویی، یک دوش در یک فضای واحد است.

2- برای سایر تجهیزاتی که در جدول ذکری از آنها به میان نیامده است، می‌توان بر اساس اندازه لوله و برای مصارف خصوصی و عمومی واحدهای مصرف (FU) را به ترتیب زیر در نظر گرفت:

3/8" (1 ، 2) 1/2" (2 ، 4) 3/4" (3 ، 6) 1" (6 ،10)

SOURCE: MECHANICAL AND ELECTRICAL SYSTEMS IN BUILDINGS- WILLIAM K.Y.TAO- RICHARD R.JANIS

مقدار واحد مصرف آب لوازم بهداشتی

مطابق مقررات ملی ساختمان

نوع لوازم بهداشتی و محل کاربری	مقدار واحد مصرف (FU)		
	آب سرد	آبگرم	کل
شیر فشاری 1 1/4″ برای توالت عمومی	10	–	10
فلاش تانک برای توالت عمومی	5	–	5
شیر فشاری 1 اینچ برای پیسوار عمومی (آبریزگاه)	10	–	10
شیر فشاری 3/4 اینچ برای پیسوار عمومی (آبریزگاه)	5	–	5
فلاش تانک برای پیسوار عمومی (آبریزگاه)	3	–	3
شیر دستشویی برای سرویس عمومی	1.5	1.5	2
شیر وان برای سرویس عمومی	3	3	4
شیر دوش برای سرویس عمومی	3	3	4
شیر سینک عمومی برای ادارات	2.25	2.25	3
شیر سینک آشپزخانه برای هتل در رستوران	3	3	4
شیر آبخوری برای ادارات (3/8 اینچ)	0.25	–	0.25
شیر فشاری 1 1/4″ برای توالت خصوصی	6	–	6
فلاش تانک برای توالت خصوصی	2.2	–	2.2
شیر برای دستشویی خصوصی	0.5	0.5	0.7
شیر وان خصوصی	1.0	1.0	1.4
شیر دوش خصوصی	1.0	1.0	1.4
شیر سینک آشپزخانه خصوصی	1.0	1.0	1.4
شیر سینک رختشویی خصوصی	1.0	1.0	1.4
لوازم بهداشتی یک حمام کامل خصوصی با شیر فشاری	6	3	8
لوازم بهداشتی یک حمام کامل خصوصی با فلاش تانک	2.7	1.5	3.6
ماشین ظرفشویی اتوماتیک خصوصی	–	1.4	1.4
ماشین رختشویی 3.6 کیلوگرم خصوصی	1	1	1.4
ماشین رختشویی 3.6 کیلوگرم عمومی	2.25	2.25	3
ماشین رختشویی 7.3 کیلوگرم عمومی	3	3	4

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

تبدیل واحد مصرف به گالن در دقیقه (سیستم با شیر فشاری)

واحد مصرف در سیستم فشاری (FU)	دبی (gpm)	واحد مصرف در سیستم فشاری (FU)	دبی (gpm)
10	27	400	126
12	28.6	500	142
14	30.2	750	178
16	31.8	1000	208
18	33.4	1250	240
20	35	1500	267
25	38	1750	294
30	41	2000	321
35	43.8	2250	348
40	46.5	2500	375
45	49	2750	402
50	51.5	3000	432
60	55	4000	525
70	58.5	5000	593
80	62	6000	643
90	64.8	7000	685
100	67.5	8000	718
120	72.5	9000	745
140	77.5	10000	769
160	82.5	-	-
180	87	-	-
200	91.5	-	-
225	97	-	-
250	101	-	-
275	105.5	-	-
300	110	-	-

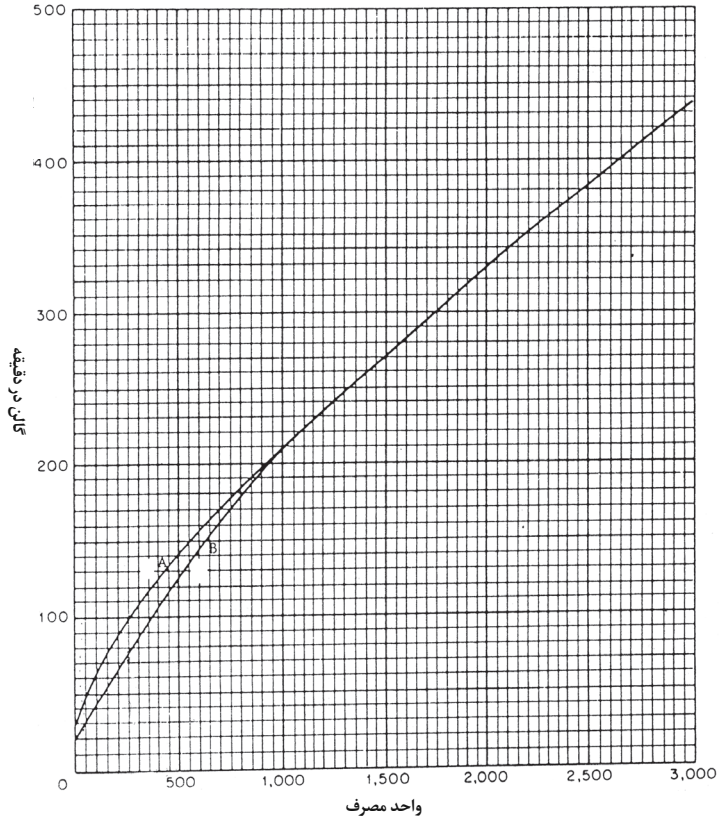
SOURCE: BUILDING TECHNOLOGY- MECHANICAL AND ELECTRICAL SYSTEMS- WILLIAM.J.MCGUINNESS AND BENJAMIN STEIN. NATIONAL STANDARD PLUMBING CODE.

تبدیل واحد مصرف به گالن در دقیقه (سیستم با فلاش تانک)

واحد مصرف در سیستم فلاش تانک (FU)	دبی (gpm)	واحد مصرف در سیستم فلاش تانک (FU)	دبی (gpm)
6	5	120	48
8	6.5	140	52.5
10	8	160	57
12	9.2	180	61
14	10.4	200	65
16	11.6	225	70
18	12.8	250	75
20	14	275	80
25	17	300	85
30	20	400	105
35	22.5	500	125
40	24.8	750	170
45	27	1000	208
50	29	1250	240
60	32	1500	267
70	35	1750	294
80	38	2000	321
90	41	2250	348
100	43.5	2500	375
-	-	2750	402
-	-	3000	432
-	-	4000	525
-	-	5000	593
-	-	6000	643
-	-	7000	685
-	-	8000	718
-	-	9000	745
-	-	10000	769

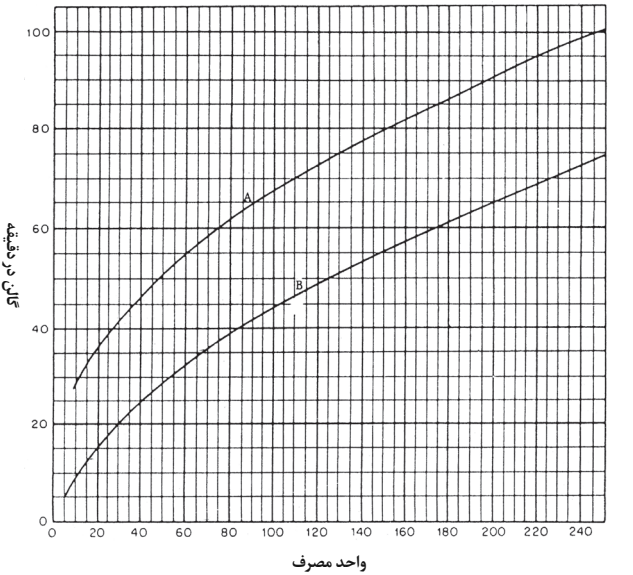
SOURCE: BUILDING TECHNOLOGY- MECHANICAL AND ELECTRICAL SYSTEMS- WILLIAM.J.MCGUINNESS AND BENJAMIN STEIN. NATIONAL STANDARD PLUMBING CODE.

نمودار تبدیل واحد مصرف به گالن در دقیقه (مصارف زیاد)



منحنی A = برای سیستم‌های مجهز به شیر فشاری
منحنی B = برای سیستم‌های مجهز به فلاش تانک

نمودار تبدیل واحد مصرف به گالن در دقیقه (مصارف کم)



منحنی A = برای سیستم‌های مجهز به شیر فشاری
منحنی B = برای سیستم‌های مجهز به فلاش تانک

ارتفاع تقریبی نصب شیرها یا سر لوله‌ها از کف تمام شده

شیر یا سر لوله	ارتفاع نصب (cm)
شیر زیر دستشویی	45
شیر بیده	8
شیر آشپزخانه	110
شیر مخلوط دوش	80
شیر توالت فرنگی	30
شیر تکی آفتابه	40
شیر شیلنگی توالت	40
شیر تکی فلاش تانک	165
سر لوله فاضلاب دستشویی	45
فاصله دو سر لوله شیر مخلوط	16

مرجع: لوله‌کشی آب و فاضلاب ساختمان و سپتیک تانک - سید محسن موسوی

نرخ آبگرم بر اساس نوع مصرف در ساختمان‌های مختلف

نوع ساختمان یا مصرف	حداکثر ساعتی gal	حداکثر روزانه gal	میانگین روزانه gal
خوابگاه پسران به ازای هر دانشجو	3.8	22.0	13.1
خوابگاه دختران به ازای هر دانشجو	5.0	26.5	12.3
متل‌ها:			
20 واحد یا کمتر به ازای هر واحد	6.0	35.0	20.0
60 واحد به ازای هر واحد	5.0	25.0	14.0
100 واحد یا بیشتر به ازای هر واحد	4.0	15.0	10.0
آسایشگاه سالمندان به ازای هر تخت	4.5	30.0	18.4
ساختمان اداری به ازای هر نفر	0.4	2.0	1.0
رستوران وکافه‌تریا به ازای هر پرس غذا	1.5 در ساعت	11.0 در روز	2.4 در روز
رستوران کوچک - ساندویچ فروشی به ازای هر پرس غذا	0.7 در ساعت	6.0 در روز	0.7 در روز
آپارتمان:			
20 واحد یا کمتر به ازای هر واحد	12.0	80.0	42.0
50 واحد به ازای هر واحد	10.0	73.0	40.0
75 واحد به ازای هر واحد	8.5	66.0	38.0
100 واحد به ازای هر واحد	7.0	60.0	37.0
200 واحد یا بیشتر به ازای هر واحد	5.0	50.0	35.0
مدارس ابتدایی به ازای هر دانش‌آموز	0.6	1.5	0.6
مدارس راهنمایی و دبیرستان به ازای هر دانش‌آموز	1.0	3.0	1.8

SOURCE: 1999 ASHRAE APPLICATIONS HANDBOOK - SERVICE WATER HEATING.

مصرف آبگرم بر اساس سرویس‌های بهداشتی

نوع سرویس	مقدار مصرف	
	litre / hr	gal / hr
دستشویی خصوصی	14	3
دستشویی عمومی	45	10
دوش	180	40
وان	90 - 180	20 - 40
سینک	45 - 90	10 - 20

مصرف آبگرم بر اساس نوع ساختمان

نوع ساختمان	مصرف به ازای هر نفر		حداکثر تقاضا به ازای هر نفر		منبع ذخیره به ازای هر نفر	
	litre / day	gal / day	litre / hr	gal / hr	litre	gal
کارخانجات (غیر از مصارف صنعتی)	22 - 45	5 - 10	9	2	5	1
بیمارستان عمومی	160	35	30	7	27	6
بیمارستان روانی	110	25	22	5	27	6
خوابگاه دانشجویی	120	26	50	11	30	7
هتل	130 - 230	28 - 50	50	11	30	7
منازل	45 - 160	10 - 35	50	11	30	7
دفاتر اداری	22	5	9	2	5	1
مدارس شبانه‌روزی	115	25	30	7	25	5
مدارس روزانه	10	2	9	2	5	1

مرجع: راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه‌مطبوع ـ ویرایش یازدهم ـ تالیف فرد پورجز ـ ترجمه محمدرضا سلطاندوست

نرخ واحد مصرف (FU) آبگرم بر اساس نوع سرویس و ساختمان

نوع سرویس	آپارتمان	باشگاه	ورزشگاه	بیمارستان	هتل و خوابگاه	کارخانه	اداری	مدرسه
دستشویی خصوصی	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
دستشویی عمومی	-	1	1	1	1	1	1	1
وان	1.5	1.5	-	1.5	-	-	-	-
ظرفشویی	1.5	5 واحد مصرف به ازای هر 250 تکه ظرف						
حمام درمانی	-	-	-	5	-	-	-	-
سینک آشپزخانه	0.75	1.5	-	3	1.5	3	-	0.75
سینک آبدارخانه	-	2.5	-	2.5	2.5	-	-	0.75
دوش	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	3.5	-	1.5

SOURCE: 1999 ASHRAE APPLICATIONS HANDBOOK - SERVICE WATER HEATING

نرخ واحد مصرف (FU) آبگرم بر اساس نوع ساختمان

نوع ساختمان یا کاربری	واحد مصرف (FU)
بیمارستان یا آسایشگاه	2.5 به ازای هر تخت
هتل یا متل	2.5 به ازای هر اتاق
ساختمان اداری	0.15 به ازای هر نفر
مدرسه ابتدایی	0.30 به ازای هر دانش‌آموز[1]
مدرسه راهنمایی و دبیرستان	0.30 به ازای هر دانش‌آموز[1]
واحد آپارتمانی	3 به ازای هر واحد آپارتمان

1- به اضافه دوش

SOURCE: 1999 ASHRAE APPLICATIONS HANDBOOK - SERVICE WATER HEATING

حداکثر مصرف آبگرم (GPH) بر اساس لوازم بهداشتی و نوع کاربری ساختمان برای تامین حجم منبع ذخیره

نوع سرویس	آپارتمان	باشگاه	ورزشگاه	بیمارستان	هتل	کارخانه	اداری	خانه ویلایی	مدرسه
دستشویی خصوصی	2	2	2	2	2	2	2	2	2
دستشویی عمومی	4	6	8	6	8	12	6	-	15
وان	20	20	30	20	20	-	-	20	-
ظرفشویی	15	150 - 50	-	150 - 50	200 - 50	100 - 20	-	15	100 - 20
پاشویه	3	3	12	3	3	12	-	3	3
سینک آشپزخانه	10	20	-	20	30	20	20	10	20
سینک آبدارخانه	5	10	-	10	10	-	10	10	10
دوش	30	150	225	75	75	225	30	30	225
وان رختشویی	20	28	-	28	28	-	-	-	-
ضریب تقاضا (DF)	0.30	0.30	0.40	0.25	0.25	0.40	0.30	0.30	0.40
ضریب ذخیره‌سازی منبع (DS)	1.25	0.90	1.00	0.60	0.80	1.00	2.00	2.00	1.00

تعیین مصرف آبگرم و حجم منبع

مقـــدار واقعی آبگرم از تاثیر دادن ضریـــب تقاضا (DF) بر حداکثر مقدار مصرف که از طریق جدول قبل تعیین می‌شود، به دست می‌آید:

مقدار واقعی آبگرم (GPH) = GPH × DF (1)

برای تعیین حجم منبع باید ضریب ذخیره‌سازی منبع را در مقدار واقعی آبگرم ضرب نمود:

حجم منبع (gal) = مقدار واقعی آبگرم (GPH) × DS

یا

حجم منبع (gal) = حداکثر مقدار مصرف (GPH) × DF × DS

حداقل ظرفیت منبع ذخیره آبگرم مصرفی برای اماکن مسکونی

تعداد اتاق خواب	نوع گرمکن آب	ظرفیت مخزن (گالن)
1	گازسوز	20
	برقی	30
	سوخت نفتی	30
2	گازسوز	30
	برقی	40
	سوخت نفتی	30
3	گازسوز	30
	برقی	50
	سوخت نفتی	30
4	گازسوز	40
	برقی	60
	سوخت نفتی	30

حداکثر طول لوله آبگرم بعد از اتصال خط برگشت بدون گردش آب

نوع و قطر لوله		طول (m)
فولادی	مسی	
15	15	12
20	22	8
25	28	3

مرجع: راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه‌مطبوع ـ تالیف فرد پورجز ـ ترجمه محمدرضا سلطاندوست

تعیین ظرفیت پمپ برگشت آبگرم

خط برگشـــت با تامین امکان گردش مـــداوم آبگرم بین منبع ذخیره و واحد مصرف‌کننده موجب پیوستگی جریان آبگرم به هنگام مصرف می‌شود. در کلیه شـــبکه‌هایی با طول بیش از 100 فوت باید از خط برگشت استفاده شود.

در شـــبکه‌های کوچک می‌توان به ازای هر 20 واحد مصرف 1 gpm دبی برگشت در نظر گرفت یا مطابق زیر عمل نمود:

برای هر رایزر 3/4 و1 اینچ	0.5 gpm
برای هر رایزر (1/4)1 و (1/2)1 اینچ	1 gpm
برای هر رایزر 2 اینچ یا بالاتر	2 gpm

SOURCE: ASHRAE APPLICATION HANDBOOK.

روش دیگر مبتنی بر افت حرارت در لوله‌ها و طول شبکه است. در این روش به ترتیب زیر عمل می‌شود:

1- **تعیین طول لوله رفت و برگشت آبگرم**

2- **تعیین افت حرارت** از جدول صفحه بعد و ضرب نمودن آن در طول شبکه

افت حرارت در شبکه لوله‌کشی آبگرم (دمای آب 140°F و دمای محیط 70°F)

قطر نامی in	لوله‌کشی مسی بدون عایق Btu/hr - ft	لوله‌کشی با نیم اینچ عایق پشم شیشه Btu/hr - ft
3/4	30	17.7
1	38	20.3
1(1/4)	45	23.4
1(1/2)	53	25.4
2	66	29.6
2 (1/2)	80	33.8
3	94	39.5
4	120	48.4

SOURCE: ASHRAE APPLICATION HANDBOOK.

درحالـــت کلی می‌توان برای لوله‌های عایق شـــده 30 Btu/hr به ازای هر فوت طول لوله و برای لوله‌های عایق نشده 60 Btu/hr به ازای هر فوت طول لوله در نظر گرفت. این مقادیر تنها برای تعیین دبی خط و پمپ برگشـــت آبگرم کاربرد دارد.

3 - تعیین ظرفیت پمپ برگشت. دبی پمپ برگشت از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$q = q / 60\ \rho C \Delta t \quad (1)$$

q = دبی پمپ بر حسب gpm
Q = افت حرارت بر حسب Btu/hr
ρ = چگالی آب = 8.25 lb / gal در دمای 120°F
C = گرمای ویژه = 1 Btu/ lb °F
Δt = اختلاف دما بر حسب °F

چنانچه افت دما را 20°F منظور داریم، رابطه (1) به شـــکل رابطه ساده (2) نوشته خواهد شد:

$$q = q / (60 \times 8.25 \times 1 \times 20)$$

$$q = q / 9900 \qquad (2)$$

شبکه آبیاری

مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز به ازای هر مترمربع:1 تا 3 لیتر در روز

سطح مرطوب‌شده توسط هر نازل قطره‌ای آبیاری

فاصله هر نازل (in × in)	خاک سخت (ft^2)	خاک متوسط (ft^2)	خاک نرم (ft^2)
12″ × 12″	0.8	1.6	3.1
18″ × 18″	1.8	3.5	7.1
24″ × 24″	3.1	6.3	12.6
36″ × 36″	7.1	14.1	28.3

سختی آب

مقدار سختی آب بر مبنای مقدار املاحی چون کلسیم و منیزیم برحسب میلی‌گرم در لیتر یا قسمت در میلیون (ppm) سنجیده می‌شود.

طبقه‌بندی سختی آب	براساس میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم
نرم	0 - 50
نرم (متوسط)	51 - 100
سخت (کم)	101 - 150
سخت (متوسط)	151 - 200
سخت	201 - 300
خیلی سخت	بیشتر از 300

SOURCE: WATER AND WASTE WATER CALCULATIONS MANUAL - SECOND EDITION - SHUN DAR LIN

سختی‌گیر

وجود املاح کلسیم و منیزیم در آب سیستم گرمایش و سرمایش موجب رسوب‌گذاری و در پی آن باعث کندی انتقال حرارت و خوردگی و فرسایش تجهیزات و شبکه لوله‌کشی می‌شود. بنابراین ضروری است که سختی آب گرفته شود. رایج‌ترین روش برای جداسازی املاح کلسیم و منیزیم از آب در حال گردش و یا آب جبرانی سیستم استفاده از سختی‌گیر با رزین سدیم است. آب سخت به هنگام عبور از بستر رزین سدیمی، یون‌های کلسیم و منیزیم را از دست داده و حاوی سدیم می‌شود و در عین حال به تدریج رزین نیز با کسب کلسیم و منیزیم اشباع شده و خاصیت تبادل و نرم نمودن آب را از دست می‌دهد. با آزمایش دوره‌ای آب خروجی از سختی‌گیر می‌توان از کیفیت رزین مطلع شد و در صورتی که رزین فاقد کارآیی باشد می‌باید با محلول کلرور سدیم (آب نمک) ده درصد شستشو و احیا شود.

مشخصات فنی سختی‌گیر

ساخت شرکت پاکمن

ظرفیت Grain	مدل	متوسط دبی (gpm)	حداکثر دبی (gpm)	دبی شستشو (gpm)	اندازه لوله‌ها (in)	قطر ستون (cm)	حجم رزین (ft^3)	مقدار نمک مورد نیاز (lb)	ارتفاع کل دستگاه (cm)	سطح اشغال (cm×cm)	افت فشار kPa
78000	pws/30	10.5	17.5	5	$^3/_4$	30	3.5	14	180	80×40	19
110000	pws/40B	12	20	6	1	40	4	16	146	100×50	12.6
140000	pws/40A	18	30	9	1	40	6	24	180	100×50	18.6
150000	pws/45	15	25	7.5	1	45	5	20	155	125×60	12.6
170000	pws/50C	18	30	8	1.5	50	6	24	140	125×60	12.6
220000	pws/50A	27	45	9	1.5	50	9	36	180	125×60	18
350000	pws/60	36	60	18	1.5	60	12	48	200	150×70	16.8
550000	pws/75	54	90	27	2	75	18	72	200	180×85	16.8
950000	pws/90	90	150	45	2	90	30	120	200	220×100	19

← ادامه

مشخصات فنی سختی‌گیر (ادامه)

ظرفیت Grain	مدل	متوسط دبی (gpm)	حداکثر دبی (gpm)	دبی شستشو (gpm)	اندازه لوله‌ها (in)	قطر ستون (cm)	حجم رزین (ft^3)	مقدار نمک مورد نیاز (lb)	ارتفاع کل دستگاه (cm)	سطح اشغال (cm×cm)	افت فشار kPa
1300000	pws/105	125	210	60	3	105	42	170	250	220×115	19
2000000	pws/130	190	320	100	3	130	64	260	250	280×160	19
3000000	pws/150	255	425	130	4	150	85	350	270	300×180	19

محدوده دمای آب ورودی: 5 تا 55 درجه سلسیوس
فشار کار: 1 تا 7 بار
فشار آزمایش: 10 بار

$$\text{ظرفیت سختی‌گیر (Grain)} = \frac{\text{سختی آب (ppm)} \times \text{چرخه شستشو (hr)} \times \text{دبی (gpm)}}{17.1}$$

مرجع: کاتالوگ شرکت پاکمن (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

آب برای اطفای حریق

رایزر خشک اطفای حریق

ارتفاع ساختمان (m)	تعداد شیر پاگرد در هر طبقه	قطر شیر پاگرد in (mm)	قطر رایزر in (mm)
حداکثر 45	1	2 (1/2) (63.5)	4 (100)
حداکثر 45	2	2 (1/2) (63.5)	6 (150)
45 - 60	1	2 (1/2) (63.5)	6 (150)
بیش از 60	رایزر خشک اجرا نمی‌شود؛ باید رایزر تر اجرا گردد.		

مرجع: تجهیزات و تاسیسات ساختمان ـ تالیف فرد هال ـ ترجمه اردشیر اطیابی

رایزر تر اطفای حریق

ارتفاع ساختمان (m)	تعداد شیر پاگرد در هر طبقه	قطر شیر پاگرد in(mm)	قطر رایزر in(mm)
حداکثر 45	1	2 (1/2) (63.5)	4 (100)
حداکثر 45	2	2 (1/2) (63.5)	6 (150)
45-60	1	2 (1/2) (63.5)	6 (150)

* *فشار در بالاترین شیر آتش نشانی: 410 kPa (59.5psi)*
* *بیشترین فشار استاتیک آب در شبکه بدون جریان داشتن آب: 690 kPa (100 psi)*
* *قطر لوله برگشت رایزر تر: 3 in (76 mm)*
* *قطر لوله برگشت حد فاصل رایزر برگشت و شیر: 2 in (50 mm)*
* *حداقل حجم منبع واسطه‌ای: $11.5\ m^3$ با تغذیه 27 لیتر در ثانیه*
* *حداقل حجم منبع واسطه‌ای در حالتی دیگر: $45.5\ m^3$ با تغذیه 8 لیتر در ثانیه*

مرجع: تجهیزات و تاسیسات ساختمان ـ تالیف فرد هال ـ ترجمه اردشیر اطیابی

حداقل قطر شبکه و رایزر آتش‌نشانی

کل فاصله از دورترین نقطه خروجی			دبی	
> 100 ft (< 30.5m)	50–100 ft (15,2 – 30,5 m)	< 50ft (< 15.2m)	l/min	gpm
3	$2\ ^1/_2$	2	379	100
6	4	4	382-1893	101-500
6	5	5	1896-2839	501-750
6	6	6	2843-4731	751-1250
8	8	8	4735	1521 و بیشتر

SOURCE: NFPA 14

حداقل دبی رایزر آتش‌نشانی

برای رایزرهای کلاس یک و سه به منظور اطفای آتش‌سوزی‌های سنگین	500 gpm (1893 l/min)
برای رایزرهای کلاس دو به منظور اطفای آتش‌سوزی‌های سبک	100 gpm (379 l/min)
مبنای محاسبه قطر لوله‌ها و اندازه مخزن برای کلاس یک و سه (بر مبنای دو شیر باز)	250 gpm × 2 (946 l/min × 2)
مبنای محاسبه قطر لوله‌ها و اندازه مخزن برای کلاس دو	100 gpm (379 l/min)

SOURCE: NFPA 14

برخی مقررات اطفای حریق

حداکثر ارتفاع نصب شیلنگ قرقره و جعبه آتش‌نشانی از کف تمام شده	3 ft (0.9 m)
حداقل ارتفاع نصب شیلنگ قرقره و جعبه آتش‌نشانی از کف تمام شده	5 ft (1.5 m)
حداکثر فشار سیستم	350 psi (24.1 bar)
حداکثر فشار در بالاترین خروجی	59.5 psi (4.1 bar)
حداکثر فشار تخلیه از یک خروجی	75.5 psi (5.2 bar)
حداقل فاصله هیدرانت‌های محوطه از ساختمان	40 ft (12.2 m)

SOURCE: NFPA 14

شیلنگ - قرقره

حداقل گذر آب در شیلنگ - قرقره:	0.4 (6 gpm) لیتر در ثانیه
فشار در افشانک شیلنگ - قرقره:	200 kPa (29 psi)
حداکثر فاصله افشانک تا دورترین بخش ساختمان:	6 m
تعداد شیلنگ قرقره:	هر $418\ m^2$ یک شیلنگ - قرقره
پرتاب افقی آب:	8 m
پرتاب عمودی آب:	5 m
قطر شیلنگ لاستیکی:	19 mm ،25 mm
طول شیلنگ19 mm:	46، 37، 30، 23، 18 متر
طول شیلنگ 25 mm:	37، 30، 24، 23، 18 متر
سطح تحت پوشش شیلنگ به طول 45 m	$800\ m^2$
استفاده همزمان:	3 شیلنگ - قرقره با دبی 1.2 (18 gpm) لیتر در ثانیه
حداقل حجم مخزن	$1.6\ m^2$ (1600 لیتر)
حداقل قطر لوله تا ارتفاع 15 m	50 mm
حداقل قطر لوله برای ارتفاع بیشتر از 15 m	65 mm

SOURCE: BUILDING SERVICES HANDBOOK-FRED HALL AND ROGER GREENO.

گنجایش استاندارد مخازن آب آتش‌نشانی

گنجایش		گنجایش		گنجایش	
(gal)	(m^3)	(gal)	(m^3)	(gal)	(m^3)
5000	18.93	30000	113.55	100000	378.50
10000	37.85	40000	151.40	150000	567.75
15000	56.78	50000	189.25	200000	757
20000	75.70	60000	227.10	300000	1135.50
25000	94.63	75000	283.88	500000	1892.50

SOURCE: NFPA 22

اطلاعات پمپ‌های آتش‌نشانی

تعداد و اندازه شیرهای شیلنگی (in)	دهش[1] (in)	مکش[1] (in)	دبی پمپ	
			l/min	gpm
1 - 1 1/2	1	1	95	25
1 - 1 1/2	1 1/4	1 1/2	189	50
1 - 2 1/2	2	2	379	100
1 - 2 1/2	2 1/2	2 1/2	568	150
1 - 2 1/2	3	3	757	200
1 - 2 1/2	3	3 1/2	946	250
1 - 2 1/2	4	4	1136	300
2 - 2 1/2	4	4	1514	400
2 - 2 1/2	5	5	1703	450
2 - 2 1/2	5	5	1892	500
3 - 2 1/2	6	6	2839	750
4 - 2 1/2	6	8	3785	1000
6 - 2 1/2	8	8	4731	1250
6 - 2 1/2	8	8	5677	1500
6 - 2 1/2	10	10	7570	2000
8 - 2 1/2	10	10	9462	2500
12 - 2 1/2	12	12	11355	3000
12 - 2 1/2	12	12	13247	3500
16 - 2 1/2	12	14	15140	4000
16 - 2 1/2	14	16	17032	4500
20 - 2 1/2	14	16	18925	5000

1. قطر فلنچ پمپ با قطر لوله متصل متفاوت است

SOURCE: NFPA 20

فواصل آبفشان‌های اطفای حریق

طبقه‌بندی از نظر خطر آتش‌سوزی	حداکثر فاصله بین هر آبفشان (m)	حداکثر مساحت تحت پوشش هر آبفشان (m^2)
با خطر کم	4.6	21
معمولی با چیدمان استاندارد	4.0	12
معمولی با چیدمان شطرنجی	4.6	12
با خطر زیاد	3.7	9

SOURCE: BUILDING SERVICES HANDBOOK-FRED HALL AND ROGER GREENO.

ظرفیت آبفشان اطفای حریق

قطر لوله	حداقل 25 mm
ورودی آب	حداقل 60 لیتر در دقیقه
خروجی آبفشان	42 لیتر در دقیقه
حداکثر مساحت تحت پوشش هر آبفشان	12 مترمربع
حداکثر فاصله بین نازل آبفشان‌ها	4 متر
حداکثر فاصله از دیوار	2 متر
فشار کار	حداقل 0.5 بار (50 kPa)

SOURCE: BUILDING SERVICES HANDBOOK-FRED HALL AND ROGER GREENO.

نازل آبفشان اطفای حریق

قطر نامی نازل (mm)	قطر نامی لوله (in)
10	3/8
15 و 20	1/2
20	3/4

SOURCE: PLUMBING ENGINEERING SERVICES DESIGN GUIDE.STAN TIDSLEY- THE INSTITUTE OF PLUMBING.

رنگ معرف و دمای آبفشان‌های حبابی

در سیســـتم اطفای حریق اتوماتیک نوعی از آبفشـــان‌ها دارای حبابی حاوی مایع منبســـط شونده هستند که تحت دمای مشخص عمل نموده و مجرای عبور آب پرفشار را به منظور خاموش نمودن آتش باز می‌کنند. رنگ مایع داخل حباب معرف دمایی است که تحت آن مایع منبسط می‌شود.

دمای عمل نمودن حباب °C	رنگ مایع حباب
57	نارنجی
68	قرمز
79	زرد
93	سبز
141	آبی
182	ارغوانی
227 - 288	سیاه

مرجع: تجهیزات و تاسیسات ساختمان ـ تالیف فرد هال ـ ترجمه اردشیر اطیابی

❋ ❋ ❋

۴-۲

فاضلاب

آلودگی فاضلاب

مقدار آلودگی فاضلاب بر مبنای میلی‌گرم اکسیژنی که در پنج روز اول در دمای 20 درجه سلسیوس موجب تجزیه یک لیتر فاضلاب می‌گردد، سنجیده می‌شود. این مبنا BOD 5 نامیده می‌شود.

آب یا فاضلاب	B0D 5 mg / l	آب یا فاضلاب	B0D 5 mg / l
آب خالص ـ آب آشامیدنی	0	آب نیمه کثیف	8
آب کاملا تمیز	1	آب خیلی کثیف	20
آب نسبتا تمیز	3	فاضلاب خانگی رقیق	200
آب رودخانه‌ی تمیز	1 - 3	فاضلاب خانگی متوسط	300
آب رودخانه‌ی متوسط	3 - 5	فاضلاب خانگی غلیظ	400
آب رودخانه‌ی کثیف	5 - 8	فاضلاب صنعتی	20 - 5000

مرجع: فاضلاب شهری ـ جمع‌آوری فاضلاب ـ جلد اول ـ محمد تقی منزوی

مقادیر فاضلاب صنعتی و جمعیت معادل

صنایع	واحد تولید یا مصرف	مقدار فاضلاب برای هر واحد تولید یا مصرف	جمعیت معادل از نظر آلودگی بر حسب نفر
صنایع شیمیایی:			
داروسازی	یک تن دارو	50 مترمکعب	--
رنگ‌سازی	هرکارگر	110 لیتر در شبانه‌روز	20 - 30
صابون و تهیه پودر	یک تن صابون	15مترمکعب	1000
لاستیک‌سازی	یک تن لاستیک	100 مترمکعب	--
پلاستیک	یک تن پلاستیک	500 مترمکعب	--
شیشه و چینی	یک تن فرآورده	3 تا38 مترمکعب	--
صنایع فولاد:			
تهیه سنگ‌آهن	یک مترمکعب سنگ	16 مترمکعب	560
کوره ذوب‌آهن	یک تن فولاد خام	65 تا 220 مترمکعب	--
ریخته‌گری	یک تن آهن ریخته‌شده	3 تا 8 مترمکعب	12 - 30
نورد	یک تن فولاد تولیدی	8 تا 50 مترمکعب	8 - 50
صنایع فلزی:			
ماشین‌سازی	هر نفر کارگر	40 لیتر در شبانه‌روز	1
ورق‌سازی	هرنفر کارگر	50 لیتر در شبانه‌روز	1 - 10
تولید لوازم برقی	هر نفر کارگر	40 لیتر در شبانه‌روز	1
صنایع چوب و کاغذ:			
کاغذسازی	یک تن کاغذ	125تا 1000مترمکعب	200 - 900
محصولات چوبی	یک مترمکعب چوب	4 مترمکعب	1

← ادامه

مقادیر فاضلاب صنعتی و جمعیت معادل (ادامه)

صنایع	واحد تولید یا مصرف	مقدار فاضلاب برای هر واحد تولید یا مصرف	جمعیت معادل از نظر آلودگی بر حسب نفر
چاپخانه	هر نفر کارگر	120 لیتر در شبانه‌روز	1
صنایع نساجی و چرم:			
دباغی	یک تن پوست	40 تا 60 مترمکعب	1000 - 4000
کفاشی	یک جفت کفش	5 لیتر	0.3
شستشوی پشم	یک تن پشم	20تا 70مترمکعب	2000 - 3000
رنگرزی	یک تن پارچه	20 تا 50 مترمکعب	2000 - 3500
رختشویی	یک تن پارچه	100تا 500 مترمکعب	250 - 350
صنایع غذایی:			
کارخانه شیر بدون پنیرسازی	1000 لیترشیر	4 تا 6 مترمکعب	20 - 30
کارخانه شیر با پنیرسازی	1000 لیترشیر	10 مترمکعب	250 - 50
کشتارگاه	دو بره یا یک گاو	0.3 تا 0.4 مترمکعب	200 - 70
شیرینی‌پزی	یک تن شیرینی	6 تا 26 مترمکعب	150 - 40
قند و شکر	یک تن چغندرقند	10 تا 20 مترمکعب	700 - 450
کنسرو و کمپوت	یک تن کنسرو	4 تا 14 مترمکعب	500 - 180
روغن نباتی	یک تن روغن	20 مترمکعب	500
نشاسته	یک تن ذرت	1.5 تا 8 مترمکعب	900 - 500
دامداری گاو و اسب	یک گاو یا یک اسب	80 لیتر در شبانه روز	10 - 5
دامداری گوسفند	یک گوسفند	20 لیتر در شبانه روز	5

مرجع: فاضلاب شهری ـ جمع‌آوری فاضلاب ـ جلد اول ـ محمد تقی منزوی

تعیین واحد مصرف (FU) فاضلاب و حداقل قطر لوله

تجهیزات	مصارف عمومی		مصارف خصوصی	
	واحد مصرف (FU)	حداقل قطر لوله (in)	واحد مصرف (FU)	حداقل قطر لوله (in)
توالت با شیر فشاری	6	4	6	4
توالت با فلاش‌تانک	4	4	4	4
آبریزگاه با شیرفشاری	4	3 - 2	-	-
آبریزگاه با فلاش‌تانک	2	2	-	-
دستشویی	1	2	1	2
وان	2	2	2	2
دوش	2	2	3	2
سینک سرویس (به طور کلی)	3	3	-	-
سینک آشپزخانه	3	2	2	2
کولر آبی	0.5	2	-	-
ماشین ظرفشویی	-	-	2	2
ماشین لباسشویی (8 پوندی)	-	-	3	2

** برای سایر مصارف می‌توان بر اساس قطر سیفون، واحدهای مصرفی (FU) و قطر لوله را به ترتیب زیر در نظر گرفت:*

قطر لوله	واحد مصرف	قطر سیفون	قطر لوله	واحد مصرف	قطر سیفون
2½	4	2½	2	1	$1^1/_4$
3	5	3	2	2	$1^1/_2$
4	6	4	2	3	2

SOURCE: MECHANICAL AND ELECTRICAL SYSTEMS IN BUILDINGS- WILLIAM K.Y.TAO RICHARD R.JANIS.

حداقل قطر لوله خروجی و سیفون فاضلاب لوازم بهداشتی

مطابق مقررات ملی ساختمان

لوازم بهداشتی	قطر نامی سیفون (mm)	قطر نامی سیفون (in)
دستشویی	32	1 1/4
بیده	32	1 1/4
سینک عمومی	40	1 1/2
وان	40	1 1/2
زیر دوشی	40	1 1/2
آب‌خوری	32	1 1/4
سینک آشپزخانه در رستوران	40	1 1/2
پیسوار	40	1 1/2
توالت ایرانی	100	4
لگن رختشویی دستی	40	1 1/2
ماشین رختشویی خانگی	50	2
ماشین رختشویی تجاری	80	3
ماشین ظرفشویی خانگی	40	1 1/2
ماشین ظرفشویی تجاری	80	3
کف‌شوی خانگی	50	2
کف‌شوی فضاهای باز تجاری	80	3

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

حداقل قطر سیفون لوازم بهداشتی

نوع لوازم بهداشتی	قطر سیفون (cm)	نوع لوازم بهداشتی	قطر سیفون (cm)
وان حمام	4	آبریز لگنی	4
حمام، دوش، کابین	5	آبریز تغاری	5
حمام	4	آبریز پایه‌دار	7.5
بیده	4	آبریز قدی	5
دستشویی	4	توالت	10
آبخوری	3.5	کف‌شوی	5
لگن رختشویی	4	سینک آشپزخانه	4

مرجع: لوله‌کشی آب و فاضلاب ساختمان و سپتیک‌تانک ـ سید محسن موسوی

اندازه‌گذاری لوله‌های عمودی و انشعاب‌های افقی فاضلاب

مطابق مقررات ملی ساختمان

قطر نامی لوله		بیشترین واحد مصرف فاضلاب (D.F.U)			
			لوله‌های عمودی		
(mm)	(in)	کل (D.F.U) برای انشعاب افقی	کل DFU برای انشعاب هر طبقه	کل DFU برای سه طبقه انشعاب	کل DFU برای بیش از سه طبقه انشعاب
50	2	6	6	10	24
80	3	20	20	48	72
100	4	160	90	240	500
125	5	360	200	540	1100
150	6	600	350	960	1900
200	8	1400	600	2200	3600
250	10	2500	1000	3800	5600
300	12	3900	1500	6000	8400

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

اندازه‌گذاری لوله‌های اصلی و شاخه‌های افقی فاضلاب

مطابق مقررات ملی ساختمان

قطر لوله (in)	حداکثر تعداد D.F.U فاضلاب که به هر قسمت از لوله اصلی افقی متصل می‌شود به علاوه شاخه‌هایی که به طور مستقیم به این لوله وصل می‌شود			
	شیب در هر فوت طول لوله			
	(0.5%) 1/16 ft/inch	(1%) 1/8 ft/inch	(2%) 1/4 ft/inch	(4%) 1/2 ft/inch
2	–	–	21	26
3	–	36	42	50
4	–	180	216	250
5	–	390	480	575
6	–	700	840	1000
8	1400	1600	1920	2300
10	2500	2900	3500	4200
12	2900	4600	5600	6700
15	7000	8300	100000	12000

اینچ در فوت = 83.3 میلی‌متر در متر

حداقل قطر لوله تهویه فاضلاب

نوع لوازم بهداشتی	حداقل قطر لوله تهویه (in)	واحد مصرف (FU)
دستشویی	1 1/4	1
آبخوری	1 1/4	0.5
زیر دوشی	2	2
وان	1 1/2	2
لگن رختشویی	1 1/2	2
سینک ظرفشویی	2	3
توالت	2	6

مرجع: لوله‌کشی آب و فاضلاب ساختمان و سپتیک تانک - سید محسن موسوی

حداقل شیب لوله‌های افقی فاضلاب

مطابق مقررات ملی ساختمان

قطر نامی لوله		حداقل شیب	
(mm)	(in)	(درصد)	اینچ بر فوت طول
تا 65	تا 1 1/2	2	1/4
80-150	3 - 6	1	1/8
200 و بیشتر	8 و بیشتر	0.5	1/16

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

حداکثر فاصله نقطه اتصال لوله هواکش به شاخه افقی فاضلاب تا نقطه سرریز سیفون

مطابق مقررات ملی ساختمان

قطر نامی لوله		حداقل شیب	
(in)	(mm)	شیب لوله فاضلاب (%)	حداکثر فاصله نقطه اتصال تا سیفون (m)
1 1/4	32	2	1
1 1/2	40	2	1.5
2	50	2	1.8
3	80	2	3
4	100	2	4

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

قطر نامی لوله هواکش مرطوب

مطابق مقررات ملی ساختمان

قطر نامی لوله		مقدار واحد مصرف فاضلاب لوازم بهداشتی (D.F.U)
(in)	(mm)	
1 1/2	40	**1**
2	50	**4**
3	80	**6**

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

اندازه لوله قائم مشترک فاضلاب و هواکش

مطابق مقررات ملی ساختمان

قطر نامی لوله		حداکثر مقدار واحد مصرف فاضلاب لوازم بهداشتی (D.F.U)
(mm)	(in)	
40	1 1/2	2
50	2	4
65	2 1/2	8
80	3	24
100	4	50
125	5	75
150	6	100

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

اندازه لوله مشترک فاضلاب و هواکش

سیستم مشترک فاضلاب و هواکش تنها برای کفشوی، سینک و دستشویی قابل استفاده است و حداکثر شیب لوله افقی مشترک فاضلاب و هواکش باید 4 درصد باشد.

قطر نامی لوله		حداکثر مقدار واحد مصرف فاضلاب (D.F.U) که به لوله افقی فاضلاب متصل می‌شود.	حداکثر مقدار واحد مصرف فاضلاب (D.F.U) که به شاخه افقی یا لوله قائم فاضلاب متصل می‌شود.
(mm)	(in)		
50	2	4	3
65	2 1/2	26	6
80	3	31	12
100	4	50	20
125	5	250	160
150	6	575	360

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

تعیین قطر و طول لوله تهویه فاضلاب

قطر لوله عمودی فاضلاب (in)	واحد مصرف فاضلاب (FU)	قطر لوله تهویه فاضلاب (in)								
		1¼	1 ½	2	2 ½	3	4	5	6	8
		حداکثر طول مجاز لوله تهویه فاضلاب (ft)								
1 (1/4)	2	30								
1(1/2)	8	50	150							
1 (1/2)	10	30	100							
2	12	30	75	200						
2	20	26	50	150						
2 (1/2)	42	-	30	100	300					
3	10	-	30	100	200	600				
3	30	-	-	60	200	500				
3	60	-	-	50	80	400				
4	100	-	-	35	100	260	1000			
4	200	-	-	30	90	250	900			
4	500	-	-	20	70	180	700			
5	200	-	-	-	35	80	350	1000		
5	500	-	-	-	30	70	300	900		
5	1100	-	-	-	20	50	200	700		
6	350	-	-	-	25	50	200	400	1300	
6	620	-	-	-	15	30	125	300	1100	
6	960	-	-	-	-	24	100	250	1100	
6	1900	-	-	-	-	20	70	200	700	
8	600	-	-	-	-	-	50	150	500	1300
8	1400	-	-	-	-	-	40	100	400	1200
8	2200	-	-	-	-	-	30	80	350	1100
8	3600	-	-	-	-	-	25	60	250	800
10	1000	-	-	-	-	-	-	75	125	1000
10	2500	-	-	-	-	-	-	50	100	500
10	3800	-	-	-	-	-	-	30	80	350
10	5600	-	-	-	-	-	-	25	60	250

حداقل قطر لوله تهویه فاضلاب بر اساس واحد مصرف

قطر لوله تهویه in	تعداد واحدهای مجاز (FU)	قطر لوله تهویه in	تعداد واحدهای مجاز (FU)
1 1/4	1	2 1/2	36
1 1/2	8	3	72
2	18	4	384

برای دستشـــویی که هر یک، یک واحد مصرف محسوب می‌شـــوند باید لوله تهویه (1(1/2 اینچ انتخاب شود.

مرجع: لوله‌کشی آب وفاضلاب ساختمان و سپتیک‌تانک ـ سید محسن موسوی

حداکثر فاصله سیفون از لوله هواکش فاضلاب

اندازه خروجی وسیله بهداشتی (in)	اندازه سیفون (in)	شیب (in/ft)	حداکثر فاصله از سیفون (ft)
1 1/4	1 1/4	1/4	3 ft 6 in
1 1/2	1 1/4	1/4	5
1 1/2	1 1/2	1/4	5
2	1 1/2	1/4	8
2	2	1/4	6
3	3	1/8	10
4	4	1/8	12

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL- R.WOODSON.

فواصل بست‌های نگهدارنده لوله‌های عمودی فاضلاب

نوع لوله	حداکثر فاصله بست‌ها (ft)
لوله سربی	4
لوله چدنی	به ازای هر طبقه مشروط بر اینکه از 15 فوت تجاوز نکند
فولادی گالوانیزه	به ازای هر طبقه مشروط بر اینکه از 30 فوت تجاوز نکند
مسی (1 1/4″ و کوچکتر)	4
مسی (1 1/2″ و بزرگتر)	به ازای هر طبقه
PVC (1 1/2″ و کوچکتر)	4
PVC (2″ و بزرگتر)	به ازای هر طبقه
ABS (1 1/2 و کوچکتر)	4
ABS (2 و بزرگتر)	به ازای هر طبقه

SOURCE: PLUMBER'S AND PIPE FITTER'S CALCULATIONS MANUAL- R.WOODSON.

تخلیه آب‌های سطحی

مقدار آب‌های سطحی را می‌توان از طریق رابطه زیر محاسبه نمود:

$$\text{ضریب نفوذناپذیری} \times \frac{\text{شدت بارندگی}}{(\text{mm/hr})} \times \frac{\text{مساحت}}{(\text{m}^2)} = \frac{\text{Q}}{(\text{لیتر بر ساعت})}$$

ضریب نفوذناپذیری سطوح مختلف از طریق جدول زیر در دسترس قرار می‌گیرد:

سطح	ضریب نفوذناپذیری
جاده و پیاده‌روی سنگفرش	0.90
بام	0.95
جاده	0.75
پارک‌ها و باغ‌ها	0.25
سطح مفروش با چوب	0.20

SOURCE: BUILDING SERVICES ENGINEERING. DAVID V.CHADDERTON

● **مثـــال:** محوطه‌ای به مســـاحت $75000\ m^2$ دارای 20 درصد ســـطح چمن‌کاری است و سایر قســـمت‌های آن به صورت معابر سنگفرش است. چنانچه شدت بارندگی 50 میلی‌متر در ساعت باشد، دبی آبی که باید تخلیه شود، چند لیتر در ثانیه خواهد بود؟

با مراجعه به جدول بالا ضریب نفوذناپذیری دو سطح مربوط به معابر و چمن‌کاری را تعیین نموده و با توجه به درصد هر کدام از سطوح، میانگین ضریب نفوذناپذیری را تعیین می‌کنیم:

$$\text{میانگین ضریب نفوذناپذیری} = (0.2 \times 0.25) + (0.8 \times 0.9) = 0.77$$

چون صورت مثال مقدار دبی آب را بر اســـاس لیتر بر ثانیه طلب نموده است، ضروری اســـت که شدت بارندگی را بر حسب میلی‌متر در ساعت به لیتر بر ثانیه تبدیل کنیم. بنابراین:

$$(50\ \text{mm/h} \times 1\text{h}/3600\ \text{s} \times 1\text{m}/10^3\ \text{mm}) \times (10^3\ /\ 1\ \text{m}^3) = 0.0139\ \text{l/s}$$

اینک می‌توانیم از طریق رابطه زیر، مقدار دبی آب را تعیین کنیم:

Q = مساحت × شدت بارندگی × ضریب نفوذناپذیری

$$Q = 75000\ m^2 \times 0.0139\ l/s \times 0.77 = 802.7\ l/s$$

تخمین قطر لوله آب باران

قطـــر لوله آب باران را می‌تـــوان از طریق رابطه زیر با تقریب قابل قبولی تعیین نمود:

$$in = \sqrt{\frac{ft^2}{250}} \times 1.128$$

ft^2 = سطح بام برحسب فوت‌مربع

in = قطر لوله برحسب اینچ

تعیین قطر لوله افقی آب باران

قطر لوله آب باران افقی (in)	حداکثر مساحت بام (ft^2)		
	شیب لوله 1/8 اینچ در فوت	شیب لوله ¼ اینچ در فوت	شیب لوله ½ اینچ در فوت
2	350	500	720
3	1030	1490	2120
4	2230	3320	4610
5	5510	7950	11400
6	6480	9300	13320
8	13700	19600	28200
10	24780	35700	50900
12	40000	57600	72300

** این جدول براساس شدت بارندگی 100 میلی‌متر در ساعت تنظیم شده است.*

$1\ ft^2 = 0.0929\ m^2$ *$1\ m^2 = 10.764\ ft^2$*

تعیین قطر لوله عمودی آب باران (با شدت 1 اینچ در سایت)

مساحت بام ft^2	قطر لوله عمودی باز (روکار) (in)	قطر لوله عمودی (توکار) (in)
تا 90	3	1 1/2
91 - 270	4	2
271 - 810	4	3
811 - 1800	5	3
1801 - 3600	6	4
3601 - 5500	8	5
5501 - 9600	10	6

** لوله‌های روکار در معرض یخ زدگی بزرگتر انتخاب می‌شوند.*

$1\ ft^2 = 0.0929\ m^2$ *$1\ m^2 = 10.764\ ft^2$*

قطر لوله عمودی آب باران بام (با شدت 1 اینچ در ساعت)

مطابق مقررات ملی ساختمان

قطر لوله آب باران (in)	حداکثر تصویر سطح بام بر صفحه افقی (ft^2)	گالن آمریکایی در دقیقه (us.gpm)
2	2176	23
2 1/2	3948	41
3	6440	67
4	13840	144
5	25120	261
6	408000	424
8	88000	913

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

قطر نامی لوله‌های افقی آب باران بام (با شدت 1 اینچ در ساعت)

مطابق مقررات ملی ساختمان

قطر لوله آب باران (in)	شیب 1.8 اینچ بر فوت		شیب 1.4 اینچ بر فوت		شیب 1.2 اینچ بر فوت	
	حداکثر تصویر سطح بام بر صفحه افقی بر حسب فوت‌مربع و گالن آمریکایی در دقیقه برای شیب‌های مختلف					
	(ft^2)	(gpm)	(ft^2)	(gpm)	(ft^2)	(gpm)
3	3288	34	4640	48	6576	68
4	7520	78	10600	110	15040	156
5	13360	139	18880	196	26720	278
6	21400	222	30200	314	42800	445
8	46000	478	65200	677	92000	956
10	82800	860	116800	1214	165600	1721
12	133200	1384	188000	1953	266400	2768
15	238000	2473	336000	3491	476000	4946

مرجع: مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان

تخمین حجم انباره چاه جذبی

توان جذب زمین و نیز مقدار فاضلاب عوامل مهم در تعیین حجم انباره چاه جذبی هستند؛ اما به طور تقریبی می‌توان از جدول زیر استفاده کرد:

نفر	حجم انباره (m^3)
10	50
20	100
30	150
40	180
50	225
60	275

مرجع: لوله‌کشی آب و فاضلاب ساختمان و سپتیک تانک - سید محسن موسوی

تخمین حجم انباره فاضلاب

در مناطقی که امکان حفر چاه جذبی و یا ترانشه‌های جذبی وجود ندارد می‌باید از انباره‌های پیش‌ساخته و یا بتنی استفاده کرد که هر 45 روز باید تخلیه و لایروبی شوند. انباره‌ها باید در مقابل آب باران نفوذناپذیر باشند. حجم انباره را می‌توان به ازای 150 لیتر پساب برای 45 روز تخمین زد:

$$C = P \times 150 \times 45$$

C = ظرفیت انباره برحسب لیتر
P = تعداد نفرات
150 = سرانه هر نفر در روز برحسب لیتر
45 = دوره تخلیه و لایروبی بر حسب روز

بنابراین حجم انباره به ازای هر نفر و برای یک دوره 45 روزه بالغ بر 6750 لیتر یا 6.75 مترمکعب خواهد شد.

تخمین حجم سپتیک تانک

حجم سپتیک تانک را می‌توان از طریق رابطه زیر بر اساس تعداد نفرات ساختمان تخمین زد:

$$C = (180 \times P) + 2000$$

C = ظرفیت بر حسب لیتر
P = تعداد نفرات

به عنوان مثال حجم سپتیک تانک برای 10 نفر عبارت است از:

$$C = (180 \times 10) / 2000 = 3800 \text{ lit } (3.8\ m^3)$$

تخمین حجم سپتیک تانک خانه‌ها

حداکثر جمعیت (نفر)	ظرفیت سپتیک تانک (m^3)	حداکثر جمعیت (نفر)	ظرفیت سپتیک تانک (m^3)
4	1.9	12	4.1
6	2.3	14	4.6
8	2.9	16	5.7
10	2.4	-	-

مرجع: لوله‌کشی آب و فاضلاب ساختمان و سپتیک تانک - سید محسن موسوی

حجم فاضلاب بر حسب گالن به ازای هر نفر در روز

نوع ساختمان یا کاربری	حجم lit / day / person	حجم lit / day / person
مدارس (بدون دوش و کافه‌تریا)	15	60
مدارس (با دوش و کافه‌تریا)	35	140
مدارس شبانه‌روزی	100	400
اردوگاه توریستی (روزانه)	25	100
استخرهای شنا	10	40
خانه‌های بزرگ	150	600
هتل‌ها (دو نفر به ازای هر اتاق)	100	400
کارخانجات	50	200
آسایشگاه	75	300
بیمارستان (عمومی)	100	400
موسسات عمومی	100	400
رستوران	25	100
متل‌ها	60	240
فروشگاه (به ازای هر توالت)	400	1600
فرودگاه (به ازای هر مسافر)	5	20
سالن کنفرانس (به ازای هر صندلی)	2	8
کلیسا (کوچک)	3 - 5	12 - 20
کلیسا (بزرگ)	5 - 7	20 - 28
خانه‌ها	75	300

- چنانچه حجم فاضلاب در شـــبانه روز 2 مترمکعب باشد، حجم سپتیک تانک 3 مترمکعب در نظر گرفته می‌شود.

- چنانچه حجم فاضلاب بین 2 تا 6 مترمکعب باشد، حجم تانک 1.5 برابر حجم فاضلاب در نظر گرفته می‌شود.

- چنانچه حجم فاضلاب بین 6 تا 60 مترمکعب باشـــد، حجم تانک از رابطه $V = 4500 + 0.78\,Q$ بدست می‌آید. Q مقدار فاضلاب و V حجم سپتیک تانک است که هر دو برحسب لیتر هستند.

- برای فاضلاب بیش از 60 تا 400 مترمکعب نیز می‌توان از رابطه بالا استفاده نمود.

SOURCE: MECHANICAL AND ELECTRICAL SYSTEMS IN BUILDING - WILLIAM K.Y.TAO - RICHARD R.JANIS.

ظرفیت سپتیک تانک بر اساس لوازم بهداشتی

اماکن مسکونی بر اساس تعداد اتاق خواب	حداکثر تعداد واحدهای مصرف (FU)	حداقل ظرفیت سپتیک تانک (gal)
1 و 2	15	750
3	20	1000
4	25	1200
5 و 6	33	1500

حداقل فاصله سپتیک تانک از اماکن دیگر

مکان یا مورد	فاصله (ft)	فاصله (m)
منابع آب	50	15
فونداسیون ساختمان‌های قابل سکونت	25	7.6
لبه خارجی کف ساختمان‌های قابل سکونت	15	4.5
دریاچه و برکه	50	15
آب انبار	50	15
نهر آب و راه آب	10	3.0
چشمه	100	30
رودخانه	50	15
استخر شنا	15	4.5
ساختمان‌ها و سازهای غیرمسکونی	10	3
چاه آب	50	15
خط لوله اصلی آب	50	15

SOURCE: FACILITY PIPING SYSTEMS HANDBOOK- MICHAEL FRANKEL

* * *

۵

کاربردها

۵-۱ بیمارستان‌ها ۶۳۵
۵-۲ اماکن مسکونی ۶۵۹
۵-۳ اماکن اداری-تجاری..... ۶۶۳
۵-۴ اماکن آموزشی ۶۷۱
۵-۵ استخر ۶۷۵
۵-۶ اتاق‌های تمیز..... ۶۸۵
۵-۷ سردخانه..... ۶۹۱
۵-۸ گلخانه ۷۱۳

اماکن مختلف متناسب با نوع کاربری نیازمند، تاسیسات مکانیکی با امکانات و شرایط ویژه‌ای هستند و در طراحی آن‌ها می‌باید از قواعد و استانداردهای مرتبط پیروی نمود. تاسیسات مکانیکی در برخی از این اماکن مانند ساختمان‌های مسکونی ساده‌تر و در برخی دیگر همچون بیمارستان‌ها پیچیده و گسترده‌تر است. البته در این میان فارغ از شرایط اقلیمی، عوامل دیگری همچون مساحت، نوع مالکیت، مصرف انرژی، مسائل زیست محیطی، سهولت تعمیر و نگهداری، هزینه دوره راهبری. مقدار سرمایه‌گذاری اولیه، محدودیت‌های ساختمانی و به ویژه ارتفاع اماکن نیز تاثیر بسزایی در سادگی، پیچیدگی و در مجموع کیفیت و کمیت کلی تاسیسات مکانیکی دارند؛ اما در هر صورت از آنجا که استانداردها و قواعد

اولیه به طور معمول ناظر به تامین حداقل‌های یک سیستم هستند، هیچ یک از عوامل برشـــمرده شـــده نباید تاثیری نفی کننـــده بر رعایت اصول و محدوده‌های استاندارد داشته باشند.

سیســـتم‌ها و تجهیزات مکانیکی ســـاختمان از تنوع زیادی برخوردار هســـتند؛ اما این تنوع گاهـــی اوقات ضمن افزایش دامنـــه اختیار طراح، تصمیم‌گیری برای تعیین گزینه مناسب را نیز دشوار می‌کند و از سوی دیگر بکارگیری و تطابق گونه‌های مختلف سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع در ارتباط با رنگارنگی اقلیم‌های مختلف ایران و نیز تنوع طرح‌های ســـازه و معماری بر مشـــکلات انتخاب بهینه می‌افزاید. ســـاختمان‌های درمانی، صنعتی، اداری، تجاری، آموزشی، خدماتی و ورزشی، علیرغم آنچه نامیده می‌شوند؛ اغلب شامل وجوه کاربردی متفاوت دیگری نیز می‌شوند. به عنوان مثال یک ساختمان آموزشی فارغ از بخش‌های اختصاصی به طور قطع شـــامل بخش‌هایی با کاربری اداری، خدماتی و ورزشی هم می‌شود. بنابراین اگرچه کاربردها در قالب یک ساختمان بیان می‌شود؛ اما شایسته اســـت که نه از کاربری ســـاختمان به صورت عام، بلکه به طور دقیق‌تر از کاربری فضاهای یک ساختمان که ممکن است طیف گسترده‌تری را شامل شـــود، ســـخن به میان آوریم و بر همین اساس متناسب با تنوع هر یک از فضاهای یک ساختمان از همان الگوهای پیشنهادی بهره گرفته و در نهایت تاسیســـات تهویه‌مطبوع با تجهیزاتی گوناگون اما هماهنگ و مرتبط را برپا داریم. محقق ساختن چنین هدفی، مستلزم نگاهی منطقه‌ای به بخش‌های مختلف تشکیل‌دهنده یک ساختمان است. در جدول پیش‌رو که بر گرفته از کتاب راهنمای Carrier است، تلاش شده تا به صورت فشرده، سیستم تهویه مطبوع مناسب برای کاربردهای خاص معرفی شود.

کاربرد سیستم‌های تهویه‌مطبوع مناسب

اماکن و کاربردها	اتاق‌های انفرادی یا واحد منطقه‌ای																	
	کوئل انبساط مستقیم			سیستم تمام آب		سیستم مرکزی												
	اتاق	منطقه	فن کوئل اتاقی			سیستم تمام هوا										سیستم آب- هوا		
						یک جریان هوا										با جریان هوای اولیه		
	$\frac{1}{3}$ تا 2 تن تبرید	2 تن تبرید و بیشتر	با هوای بازچرخانی	با هوای تازه بیرون	حجم متغیر	با هوای کنارگذر	با کوئل دوباره گرمکن									با واحد القایی	فن‌کوئل اتاقی با هوای تازه	
							در پایانه	منطقه‌ای در کانال	چندمنطقه‌ای تک کاناله									
مسکونی متوسط	×																	
مسکونی بزرگ		×	×						×									
فروشگاه		×				×												
رستوران متوسط		×						×										
رستوران بزرگ		×				×	×	×	×									
استودیوی رادیو تلویزیونی کوچک		×				×		×	×									

← ادامه

کاربرد سیستم‌های تهویه‌مطبوع مناسب (ادامه)

اماکن و کاربردها	اتاق‌های انفرادی یا واحد منطقه‌ای					سیستم مرکزی						
	کوئل انبساط مستقیم		سیستم تمام آب		سیستم تمام هوا						سیستم آب- هوا	
	اتاق	منطقه	فن کوئل اتاقی		یک جریان هوا						با جریان هوای اولیه	
					با کوئل دوباره گرمکن							
	$^1/_3$ تا 2 تن تبرید	2 تن تبرید و بیشتر	با هوای بازچرخانی	با هوای تازه بیرون	حجم متغیر	با هوای کنارگذر	در پایانه	منطقه‌ای در کانال	چندمنطقه‌ای تک کاناله		با واحد القایی	فن‌کوئل اتاقی با هوای تازه
استودیوی رادیو تلویزیون بزرگ		×				×		×	×			
کلوب		×				×		×	×			
سالن زیبایی	×	×				×						
کلیسا		×				×			×			
سالن تئاتر						×						
سالن اجتماعات						×			×			
سالن رقص و اسکیت		×			×	×						

← ادامه

کاربرد سیستم‌های تهویه‌مطبوع مناسب (ادامه)

	اتاق‌های انفرادی یا واحد منطقه‌ای				سیستم مرکزی							
	کوئل انبساط مستقیم		سیستم تمام آب		سیستم تمام هوا						سیستم آب- هوا	
	اتاق	منطقه	فن کوئل اتاقی		یک جریان هوا						با جریان هوای اولیه	
								با کوئل دوباره گرمکن				
اماکن و کاربردها	$^{1}/_{3}$ تا 2 تن تبرید	2 تن تبرید و بیشتر	با هوای بازچرخانی	با هوای تازه بیرون	حجم متغیر	با هوای کنارگذر	در پایانه	منطقه‌ای در کانال	چندمنطقه‌ای تک کاناله	با واحد القایی	فن‌کوئل اتاقی با هوای تازه
کارگاه		×				×		×			
ساختمان اداری					×				×	×	
هتل و خوابگاه			×	×						×	×
متل			×								
آپارتمان				×						×	×
بیمارستان				×				×		×	
مدارس				×	×	×	×	×			
موزه								×	×		

← ادامه

کاربرد سیستم‌های تهویه‌مطبوع مناسب (ادامه)

اماکن و کاربردها	اتاق‌های انفرادی یا واحد منطقه‌ای					سیستم مرکزی						
	کوئل انبساط مستقیم		سیستم تمام آب			سیستم تمام هوا					سیستم آب- هوا	
	اتاق	منطقه	فن کوئل اتاقی			یک جریان هوا					با جریان هوای اولیه	
	$\frac{1}{3}$ تا 2 تن تبرید	2 تن تبرید و بیشتر	با هوای بازچرخانی	با هوای تازه بیرون	حجم متغیر	با هوای کنارگذر	با کوئل دوباره گرمکن				با واحد القایی	فن‌کوئل اتاقی با هوای تازه
							در پایانه	منطقه‌ای در کانال	چندمنطقه‌ای تک کاناله			
کتابخانه (معمولی)		×				×		×	×			
کتابخانه (کتاب‌های نایاب)		×						×				
مراکز خرید		×				×			×			
آزمایشگاه کوچک		×			×			×	×			
آزمایشگاه بزرگ					×		×				×	
کشتی							×				×	

۵-۱

بیمارستان‌ها

بیمارستان‌ها از جمله ساختمان‌های پیچیده و مرکبی هستند که در قسمت‌های مختلف آن می‌توان جلوه‌ای از سایر اماکن را مشاهده نمود. به عنوان مثال ترتیب اتاق‌های بستری بسیار نزدیک به اتاق‌های مهمان در هتل‌ها است و در عین حال فضای بیتوته کارکنان شیفت شب و کاخ‌داری مشابهت‌هایی با اماکن مسکونی دارد. قسمت‌هایی مانند استریلیزاسیون، آشپزخانه، رختشویخانه، محل توزیع گازهای طبی، بخش‌های پرتو درمانی، سردخانه‌ها و موتورخانه مرکزی به شرایط حاکم بر ساختمان‌های صنعتی نزدیک است و از طرفی وجود سالن‌های سخنرانی و در برخی موارد کلاس‌های درس، مشابهت‌های بسیاری با ساختمان‌های آموزشی را به وجود می‌آورد. وجود داروخانه، گل‌فروشی و سایر فروشگاه‌های کوچک به بخش‌هایی از بیمارستان رنگی تجاری می‌دهد و در پاره‌ای از بیمارستان‌ها وجود محل‌های نگهداری و بازی کودکان آن را به اماکن تفریحی نزدیک می‌کند و در عین حال برخی از فضاهای درمانی خاص مانند فیزیوتراپی یا آب درمانی، این گونه مکان‌ها را شبیه به اماکن ورزشی می‌کند. بخش مدیریت و محل فعالیت کارمندان و لزوم انجام عملیات دفتری نیز ضرورت ایجاد فضاهای اداری را به وجود می‌آورد و از سوی دیگر وجود اتاق‌های عمل و بستری ایزوله، این گونه فضاها را به ضوابط حاکم بر اتاق‌های تمیز نزدیک

می‌کند و اگر نگاهی خشـــک و بی‌رحمانه داشته باشیم، لزوم ایجاد برخی محدودیت‌ها برای حفظ ســـلامت بیماران، جلوگیری از انتشار بیماری‌های مســـری، ایجاد اماکن قرنطینه و کنترل رفتار بیماران و ملاقات کنندگان یـــادآور زندان‌ها و اماکن امنیتی و انتظامی خواهد بود. بنابراین در طراحی بیمارســـتان رعایت تمامی ضوابط مربوط به ســـایر اماکن در قسمت‌های مختلف با هدف محوری بهبود بیماران و در راســـتای جلوگیری از انتشـــار عوامل بیماری‌زا اجتناب ناپذیر است.

شرایط هوای فضاهای داخلی بخش بستری و جراحی

نام فضا	فشار نسبی	بازگردانی هوا	صد در صد تخلیه هوا	دفعات تعویض هوا	
				حداقل هوای بیرون (بار در ساعت)	حداقل جابجایی هوا (بار در ساعت)
بستری چهار تخته	برابر	اختیاری	اختیاری	2	4
بستری یک تخته	مثبت	اختیاری	اختیاری	2	4
دوش، توالت و دستشویی	منفی	غیرمجاز	بله	-	10
بستری ایزوله	مثبت	غیرمجاز	بله	6	6
پیش‌ورودی ایزوله	برابر	غیرمجاز	بله	2	10
ایستگاه پرستاری	منفی	اختیاری	اختیاری	2	4
اتاق دارو	مثبت	اختیاری	اختیاری	2	4
اتاق کار تمیز	مثبت	اختیاری	اختیاری	2	4
اتاق کار کثیف	منفی	غیرمجاز	بله	-	10
جمع‌آوری کثیف	منفی	غیرمجاز	بله	-	10
نظافت بخش	منفی	غیرمجاز	بله	-	10
اتاق معاینه و درمان	مثبت	اختیاری	اختیاری	2	6
اتاق وان درمان	منفی	غیرمجاز	بله	-	10

← ادامه

شرایط هوای فضاهای داخلی بخش بستری و جراحی (ادامه)

نام فضا	فشار نسبی	بازگردانی هوا	صد در صد تخلیه هوا	دفعات تعویض هوا	
				حداقل هوای بیرون (بار در ساعت)	حداقل جابجایی هوا (بار در ساعت)
اتاق سرپرستار بخش	برابر	اختیاری	اختیاری	2	4
اتاق روز	برابر	اختیاری	اختیاری	2	6
توالت و دستشویی بیماران	منفی	غیرمجاز	بله	-	10
حمام بیماران	منفی	غیرمجاز	بله	-	10
انبار مواد و تجهیزات	مثبت	اختیاری	اختیاری	2	4
انبار رخت تمیز	مثبت	اختیاری	اختیاری	2	2
سرویس بهداشتی معمول	منفی	غیرمجاز	بله	-	10
آبدارخانه	برابر	غیرمجاز	بله	2	10
اتاق انتظار فرعی عیادت‌کنندگان	برابر	اختیاری	اختیاری	2	6
توالت و دستشویی کارکنان	منفی	غیرمجاز	اختیاری	-	10
اتاق برق	برابر	اختیاری	اختیاری	-	6
اتاق کنفرانس و نمایش بیمار	برابر	اختیاری	اختیاری	2	6
سرویس‌های بهداشتی بین دو بخش	منفی	غیرمجاز	بله	-	10
دفاتر پزشکان و رزیدنت	برابر	اختیاری	اختیاری	2	4
اتاق مطالعه و گزارش‌نویسی	برابر	اختیاری	اختیاری	2	6
آزمایشگاه تحقیقاتی	منفی	غیرمجاز	بله	6	6
رختکن کارکنان	منفی	غیرمجاز	بله	2	10
راهروی بخش	برابر	اختیاری	اختیاری	-	4

مرجع: طراحی بناهای درمانی جلد اول- نشریه 1-287 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

شرایط هوای فضاهای داخلی بخش مراقبت‌های ویژه

نام فضا	فشار نسبی	بازگردانی هوا	صد در صد تخلیه هوا	دفعات تعویض هوا: حداقل هوای بیرون (بار در ساعت)	دفعات تعویض هوا: حداقل جابجایی هوا (بار در ساعت)
پیش‌ورودی بخش	منفی	غیرمجاز	اختیاری	2	10
رختکن کارکنان	منفی	غیرمجاز	بله	2	10
سرویس‌های بهداشتی	منفی	غیرمجاز	بله	-	10
نظافت بخش	منفی	غیرمجاز	بله	-	10
اتاق جمع‌آوری کثیف	منفی	غیرمجاز	بله	-	10
اتاق ایزوله	مثبت	غیرمجاز	بله	15	15
پیش‌ورودی ایزوله	منفی	غیرمجاز	بله	2	10
ایستگاه پرستاری	مثبت	غیرمجاز	بله	6	6
پارک تجهیزات	مثبت	غیرمجاز	بله	6	6
اتاق دارو	مثبت	غیرمجاز	بله	6	6
اتاق تمیز	مثبت	غیرمجاز	بله	6	6
آبدارخانه	برابر	غیرمجاز	بله	2	10
اتاق کار کثیف	منفی	غیرمجاز	بله	-	10
انبار رخت تمیز	مثبت	اختیاری	اختیاری	2	2
اتاق تجهیزات پزشکی	مثبت	اختیاری	اختیاری	2	4
انبار مبلمان	برابر	اختیاری	اختیاری	2	4
آزمایشگاه	منفی	غیرمجاز	بله	6	6
اتاق درمان	مثبت	غیرمجاز	بله	15	15
استراحت کارکنان	برابر	اختیاری	اختیاری	2	6

← ادامه

شرایط هوای فضاهای داخلی بخش مراقبت‌های ویژه (ادامه)

نام فضا	فشار نسبی	بازگردانی هوا	صد در صد تخلیه هوا	دفعات تعویض هوا: حداقل هوای بیرون (بار در ساعت)	دفعات تعویض هوا: حداقل جابجایی هوا (بار در ساعت)
مدیر بخش	برابر	اختیاری	اختیاری	2	4
منشی بخش	برابر	اختیاری	اختیاری	2	4
سرپرستار بخش	برابر	اختیاری	اختیاری	2	4
اتاق پزشک	برابر	اختیاری	اختیاری	2	4
اتاق پزشک کشیک	مثبت	اختیاری	اختیاری	2	4
فضاهای خروجی و فرار	مثبت	اختیاری	اختیاری	2	4
انتظار عیادت‌کنندگان	برابر	اختیاری	اختیاری	2	6
تعمیر تجهیزات	مثبت	اختیاری	اختیاری	2	6
راهروی بخش	برابر	اختیاری	اختیاری	-	4

مرجع: طراحی بناهای درمانی جلد اول- نشریه 2-287 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

بسترها و بازده فیلترها در بخش‌های مختلف بیمارستان‌های عمومی

بخش	حداقل تعداد بستر	بازده% بستر اول	بازده% بستر دوم	بازده% بستر سوم
اتاق عمل ارتوپدی و انتقال عضو	3	25	90	99.97
مراقبت ویژه- اتاق پانسمان و تزریقات - معاینه- اتاق مراقبت از بیمار	2	25	90	-
آزمایشگاه‌ها و انبار استریل	1	80	-	-
آماده‌سازی غذا- رختشویخانه- فضاهای اداری- اتاق کثیف	1	25	-	-

SOURCE: ASHRAE APPLICATION HANDBOOK (HEALTH CARE FACILITIES)

ضوابط تهویه و فشار هوا در بیمارستان و مراکز درمانی

نام فضا	فشار نسبت به فضای مجاور	حداقل تعویض هوا با هوای تازه به ازای هر ساعت	حداقل تعویض هوای کل به ازای هر ساعت	تخلیه مستقیم کل هوا به بیرون	امکان بازچرخانی در فضاهای مجاور
اتاق عمل (100 درصد هوای تازه)	+	15	15	بله	خیر
اتاق عمل (با برگشت هوا)	+	5	25	اختیاری	خیر
اتاق عمل زایمان (100 درصد هوای تازه)	+	15	15	اختیاری	خیر
اتاق عمل زایمان (با برگشت هوا)	+	5	25	اختیاری	خیر
ریکاوری	متعادل	2	6	اختیاری	خیر
نگهداری نوزادان	+	5	12	اختیاری	خیر
اتاق مصدومین	+	5	12	اختیاری	خیر
انبار گاز بیهوشی	±	اختیاری	8	بله	اختیاری
اتاق بیمار	±	2	4	اختیاری	اختیاری
دستشویی و توالت	-	2	10	بله	خیر
مراقبت شدید	+	2	6	اختیاری	خیر
اتاق ایزوله	+	2	15	بله	اختیاری

← ادامه

ضوابط تهویه و فشار هوا در بیمارستان و مراکز درمانی (ادامه)

نام فضا	فشار نسبت به فضای مجاور	حداقل تعویض هوا با هوای تازه به ازای هر ساعت	حداقل تعویض هوای کل به ازای هر ساعت	تخلیه مستقیم کل هوا به بیرون	امکان بازچرخانی در فضاهای مجاور
اتاق بیمار واگیردار	±	2	6	بله	خیر
پیش ورودی اتاق بیمار واگیردار	±	2	10	بله	خیر
اتاق درد، زایمان و مراقبت های پس از زایمان	متعادل	2	4	اختیاری	اختیاری
راهروی بستری	متعادل	2	4	اختیاری	اختیاری
رادیولوژی (جراحی و مراقبت ویژه)	+	3	15	اختیاری	خیر
رادیولوژی (معاینه و درمان)	±	2	6	اختیاری	اختیاری
رادیولوژی (تاریکخانه)	-	2	10	بله	خیر
آزمایشگاه (عمومی)	-	2	6	بله	خیر
آزمایشگاه (میکروب‌شناسی)	-	2	6	بله	خیر
آزمایشگاه (بیوشیمی)	+	2	6	اختیاری	خیر
آزمایشگاه (سلول‌شناسی)	-	2	6	بله	خیر
آزمایشگاه (شیشه‌شویی)	-	اختیاری	10	بله	اختیاری

← ادامه

ضوابط تهویه و فشار هوا در بیمارستان و مراکز درمانی (ادامه)

نام فضا	فشار نسبت به فضای مجاور	حداقل تعویض هوا با هوای تازه به ازای هر ساعت	حداقل تعویض هوای کل به ازای هر ساعت	تخلیه مستقیم کل هوا به بیرون	امکان بازچرخانی در فضاهای مجاور
آزمایشگاه (بافت‌شناسی)	-	2	6	بله	خیر
آزمایشگاه (پزشکی هسته‌ای)	-	2	6	بله	خیر
آزمایشگاه (آسیب‌شناسی)	-	2	6	بله	خیر
آزمایشگاه (سرم‌شناسی)	+	2	6	اختیاری	خیر
آزمایشگاه (گندزدایی)	-	اختیاری	10	بله	خیر
آزمایشگاه (خون‌گیری)	+	2	4	اختیاری	خیر
کالبدشکافی	-	2	12	بله	خیر
اتاق نگهداری جسد	-	اختیاری	10	بله	خیر
داروخانه	+	2	4	اختیاری	اختیاری
تشخیص‌های ریوی	-	2	10	بله	اختیاری
اتاق معاینه	±	2	6	اختیاری	اختیاری
اتاق تجویز	+	2	4	اختیاری	اختیاری

← ادامه

ضوابط تهویه و فشار هوا در بیمارستان و مراکز درمانی (ادامه)

نام فضا	فشار نسبت به فضای مجاور	حداقل تعویض هوا با هوای تازه به ازای هر ساعت	حداقل تعویض هوای کل به ازای هر ساعت	تخلیه مستقیم کل هوا به بیرون	امکان بازچرخانی در فضاهای مجاور
تزریقات	±	2	6	اختیاری	اختیاری
فیزیوتراپی و آب درمانی	-	2	6	اختیاری	اختیاری
اتاق کثیف (محل نگهداری البسه و ملحفه کثیف)	-	2	10	بله	خیر
اتاق تمیز (محل نگهداری البسه و محلفه تمیز)	+	2	4	اختیاری	اختیاری
اتاق تجهیزات استریل	-	اختیاری	10	بله	خیر
اتاق استریلیزاسیون	-	2	6	بله	خیر
انبار استریل	+	2	4	اختیاری	اختیاری
انبار تجهیزات و لوازم	±	اختیاری 2	2	اختیاری	اختیاری
آماده‌سازی غذا	±	2	10	بله	خیر
شستشوی لوازم	-	اختیاری	10	بله	خیر
انبار غذای روزانه	±	اختیاری	2	اختیاری	خیر
رختشویخانه (فضای عمومی)	-	2	10	بله	خیر

← ادامه

ضوابط تهویه و فشار هوا در بیمارستان و مراکز درمانی (ادامه)

نام فضا	فشار نسبت به فضای مجاور	حداقل تعویض هوا با هوای تازه به ازای هر ساعت	حداقل تعویض هوای کل به ازای هر ساعت	تخلیه مستقیم کل هوا به بیرون	امکان بازچرخانی در فضاهای مجاور
بخش جمع‌آوری رخت کثیف	-	اختیاری	10	بله	خیر
بخش جمع‌آوری رخت تمیز	+	اختیاری 2	20	اختیاری	اختیاری
اتاق جمع‌آوری رخت دورریختنی	-	اختیاری	10	بله	خیر
اتاق لگن‌شویی	-	اختیاری	10	بله	خیر
حمام	-	اختیاری	10	اختیاری	خیر

± = در صورتی که فضاهای مجاور از نظر کاربری و آلودگی اختلاف چندانی با فضای مورد نظر نداشته باشند، کنترل پیوسته هدایت و جهت هوا ضرورتی ندارد، اما چنانچه فضاهای مجاور دارای تفاوت زیادی باشند، باید فشار داخل نسبت به فضاهای کثیف‌تر مثبت و نسبت به فضاهای تمیزتر منفی باشد.

حداقل تعویض هوای فضاهای بیمارستانی

در اینجا منظور از تعویض هوا لزوما جابه‌جایی هوای اتاق با هوای بیرون نیســـت، بلکه منظور تعویض هوای داخل فضا با هوای عبور کرده از کوئل هواســـاز است. در واقع هوای اتاق توســـط کانال به دستگاه تهویه مطبوع برگشت داده می‌شـــود تا پس از بدست آوردن کیفیت مطلوب مانند دما و رطوبت مناسب بار دیگر به فضای تهویه باز گردد و در این میان ممکن است بخشـــی از هوای برگشتی تخلیه و برای ترمیم مقدار اکسیژن، هوای تازه به آن اضافه شـــود. در مورد فضاهایی که امکان برگشـــت هوا وجود ندارد و یا اصلا برگشت هوا مجاز نیست، هوای تعویضی رفت برابر با هوای تازه بیرون خواهد بود که پس از گذر از هواســـاز به فضای مورد تهویه ارسال می‌شود. در جدول زیر حروف اختصاری CV و VAV به ترتیب نشـــانگر سیستم تهویه مطبوع با حجم ثابت و حجم متغیر هوا می‌باشند.

فضا	حداقل دفعات تعویض هوا در ساعت	نوع سیستم تهویه
اتاق دیالیز	6	CV
اتاق معاینه	6	VAV
ریکاوری	8	CV
اتاق بستری ایزوله	15	CV
اتاق بستری معلولین	12	CV
انواع آزمایشگاه طبی	12	CV
آزمایشگاه تحقیقاتی حیوانات	15	CV
کالبدشکافی	12	CV
اتاق تروما	12	CV
اتاق عمل‌های کوچک	12	CV

فضا	حداقل دفعات تعویض هوا در ساعت	نوع سیستم تهویه
ICU	8	CV
اتاق عمل	15	CV
اتاق بستری	4	VAV
فلورسکوپی	6	CV
اندوسکوپی	6	CV
اتاق درمان	6	VAV
راهروها	4	VAV
تاریکخانه	10	CV
ناهارخوری	10	VAV
آشپزخانه	10	VAV
اتاق انتظار	6	CV

SOURCE: HVAC DESIGN MANUAL - DEPARTMENT OF VETERANS AFFAIRS

نرخ تعویض هوا در فضاهای مهم بیمارستانی

بر اساس دو راهنمایی ASHRAE و AIA

	مطابق ASHRAE			مطابق AIA		
فضا	حداقل هوای تازه ACH	حداقل هوای کل ACH	نسبت فشار	حداقل هوای تازه ACH	حداقل هوای کل ACH	جهت حرکت هوا
اتاق عمل	5	25	P	3	15	out
ریکاوری	2	6	E	2	6	-
نگهداری نوزاد	5	12	P	2	6	-
تروما	5	12	P	3	15	out
بستری	5	4	+/-	2	6	-
ICU	2	6	P	2	6	-
اتاق ایزوله	2	15	P	2	12	out
اتاق ایزوله مسری	2	6	N	2	12	in

متعادل= E، منفی= N، مثبت = P، تعویض هوا در ساعت= ACH،
داخل= in، بیرون= out، نیازی به کنترل جهت هوا نیست -/+

مقدار هوای تازه اماکن درمانی

نام فضا	مقدار هوای تازه به ازای هر نفر (cfm)	مقدار هوای تازه به ازای هر فوت مساحت کف cfm/ft^2
اتاق عمل با صد در صد هوای تازه	40	2
اتاق عمل با برگشت هوا	40	2
زایمان	40	2
ریکاوری	15	-
مراقبت ویژه	15	-
اتاق بستری	7 به ازای هر تخت	-
اتاق کالبدشکافی	100	-
فیزیوتراپی	15	-

SOURCE: ASHRAE STANDARD (62-1981)- ASHRAE POCKET HANDBOOK

تخمین مصرف آب بیمارستان

تخمین مصرف آب به ازای هر بیمار: 250-600 لیتر در روز
تخمین مخزن آب سرد به ازای هر تخت: 150 لیتر
تخمین مخزن آب سرد به ازای کارکنان هر شیفت: 45 لیتر

تخمین مصرف آبگرم بیمارستان

- **بیمارستان عمومی**

مصرف به ازای هر نفر: 160 لیتر در روز (35 گالن در روز)
حداکثر تقاضا به ازای هر نفر: 30 لیتر در ساعت (7 گالن در ساعت)
منبع ذخیره به ازای هر نفر: 27 لیتر (6 گالن)

- **بیمارستان روانی**

مصرف به ازای هر نفر: 110 لیتر در روز (25 گالن در روز)
حداکثر تقاضا به ازای هر نفر: 22 لیتر در ساعت (5 گالن در ساعت)
منبع ذخیره به ازای هر نفر: 27 لیتر (6 گالن)

تخمین بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی بیمارستان

- بار گرمای تولید آبگرم مصرفی به ازای هر نفر: 5000 Btu/hr
- بار گرمای تولید آبگرم مصرفی بر اساس هر واحد لوازم بهداشتی:

دستشویی و توالت مخصوص 1000 Btu/hr
دستشویی و توالت عمومی 2700 Btu/hr
وان 6700 Btu/hr
دوش 33000 Btu/hr
سینک آبدارخانه 6700 Btu/hr
سینک ظرفشویی 6700 Btu/hr
رختشویخانه بر مبنای 2.5 گالن در ساعت برای هر پوند بار خشک 1700 Btu/hr
آشپزخانه بر مبنای 1.5 گالن در ساعت به ازای هر نفر 1000 Btu/hr

نرخ واحد مصرف (FU) آبگرم در بیمارستان

حمام درمانی:	5 FU
سینک آشپزخانه:	3 FU
سینک آبدارخانه:	2.5 FU
دوش:	1.5 FU
به ازای هر تخت:	2.5 FU

حداکثر مصرف آبگرم (GPH) در بیمارستان بر اساس نوع لوازم بهداشتی

دستشویی خصوصی:	2
دستشویی عمومی:	6
وان:	20
ظرفشویی:	50-150
پاشویه:	3
سینک آشپزخانه:	20
سینک آبدارخانه:	10
دوش:	75
وان رختشویی:	28
ضریب تقاضا (DF)	0.25
ضریب ذخیره‌سازی (SF)	0.60

تخمین حجم سپتیک تانک برای بیمارستان

حجم: 100 گالن در روز به ازای هر نفر (400 لیتر در روز به ازای هر نفر)

مصارف بیمارستانی هوای فشرده

فشار هوای فشرده برای مصارف طبی و جراحی:	50 psig (3.5 bar)
فشار هوای فشرده (فشار بالا برای تجهیزات):	120 psig (8bar)
فشار هوای فشرده برای آزمایشگاه:	30 psig (2 bar)
فشار هوای فشرده برای دندانپزشکی:	90 psig (6 bar)

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد سیستم هوای فشرده به فصل سوم مراجعه شود.

دبی هوای فشرده در فشار 50 psig برای مصارف بیمارستانی

بخش اعمال جراحی:	1 - 0.75 cfm به ازای هر اتاق
بخش مراقبت‌های ویژه و ریکاوری:	0.5 cfm به ازای هر تخت
بخش زایمان:	0.5 cfm به ازای هر تخت
اتاق‌های بستری:	1/4 cfm به ازای هر خروجی اتاق
آزمایشگاه:	1/4 cfm به ازای هر خروجی

حداقل دبی گازهای طبی

اکسیژن	0.71 cfm (20 l/min) به ازای هر خروجی
اکسید نیتروژن	0.71 cfm (20 l/min) به ازای هر خروجی
هوای فشرده طبی	0.71 cfm (20 l/min) به ازای هر خروجی
نیتروژن	15 cfm (0.42 l/min) به ازای هر خروجی
خلاء	1 Scfm (0.03 sm^3/min) به ازای هر خروجی
دی‌اکسیدکربن	0.71 cfm (20 l/min) به ازای هر خروجی
هلیم	0.71 cfm (20 l/min) به ازای هر خروجی

SOURCE: MEDICAL GAS SYSTEM- 2001 CALIFORNIA PLUMBING CODE

SCFM= STANDARD CUBIC FEET PER MINUTE

** فوت در دقیقه استاندارد. دبی گاز در شرایط استاندارد که در آن دما (20 °C) 68 °F و فشار یک اتمسفر است.*

فشار و دبی مناسب برای گازهای طبی

اکسیژن	50 psig (3.5 bar)
اکسید نیتروژن	50 psig (3.5 bar)
نیتروژن	160 psig (11 bar)
حداکثر افت فشار مجاز خط اکسیژن	5 psig به ازای 100 فوت طول لوله
حداکثر افت فشار مجاز خط اکسید نیتروژن	5 psig به ازای 100 فوت طول لوله
دبی گاز اکسیژن از هر خروجی	20 لیتر دردقیقه
دبی گاز اکسید نیتروژن از هر خروجی	20 لیتر دردقیقه
مصرف اکسیژن در بیمارستان	5 لیتر درساعت به ازای هر تخت

مقدار مصرف گاز اکسیژن در بیمارستان

نوع بیمارستان	حداکثر مصرف لیتر در ساعت به ازای هر تخت	حداقل مصرف لیتر در ساعت به ازای هر تخت	مصرف متوسط لیتر در ساعت به ازای هر تخت	مقدار پیشنهادی لیتر در ساعت به ازای هر تخت
بیمارستان دانشگاهی	11.1	4.7	7.6	10
بیمارستان عمومی	10.9	1.7	4.7	7
سایر بیمارستان‌ها	8.0	2.2	3.3	5

هر سیلندر گاز 50 لیتری تقریبا 10 متر مکعب گاز اکسیژن در فشار جو را در خود جای می‌دهد. فشار داخلی هر کپسول اکسیژن 150 تا 200 کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است.

توزیع گاز بیهوشی (اکسید نیتروژن)

دامنه مصرف گاز بیهوشی به ازای هر اتاق عمل	2-10 لیتر در دقیقه
مقدار متوسط مصرف گاز بیهوشی	5 لیتر در دقیقه
مقدار مصرف بخش زایمان	0.023 مترمکعب در 24 ساعت به ازای هر تخت
مقدار گاز اکسید نیتروژن در یک کپسول 40 لیتری	30 کیلوگرم
مقدار گاز اکسید نیتروژن در یک کپسول 50 لیتری	37.5 کیلوگرم
وزن اکسید نیتروژن به ازای هر لیتر حجم سیلندر	0.75 کیلوگرم
حداقل زمان تعویض هر ردیف از کپسول‌ها	7 روز

خروجی گازهای طبی در فضاهای بخش مراقبت ویژه

نام فضا	اکسیژن O_2	خلاء VAC	هوای فشرده A	گاز بیهوشی N_2O
هر تخت بیمار در فضای بستری باز	2	4	4	1
هر تخت بیمار در اتاق‌های ایزوله	2	4	4	1
اتاق درمان	1	2	1	1
برای هر میز کار آزمایشگاه	-	1	1	-
برای هر میز کار اتاق تعمیرات	1	1	1	1

مرجع: طراحی بناهای درمانی جلد دوم- نشریه 2-287 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

مقدار جریان و فشار گازهای طبی در خروجی‌های بخش مراقبت ویژه

نوع گاز	فشار گاز	مقدار جریان* (lit/min)	
		در طراحی	مصرف واقعی
اکسیژن	400 kPa	10	6
خلاء	300 mm.Hg	40	40
هوای فشرده	400 kPa	80	80
گاز بیهوشی	400 kPa	15	6

مرجع: طراحی بناهای درمانی جلد دوم نشریه 2-287 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

خروجی گازهای طبی در فضاهای بخش بستری داخلی و جراحی

نام فضا	خروجی اکسیژن	خروجی خلاء	خروجی هوای فشرده	توضیح
بستری 4 تخته	2	2	-	بین هر دو تخت یک عدد دیواری
بستری یک تخته	1	1	-	دیواری
بستری یک تخته ایزوله	1	2	-	دیواری
اتاق معاینه و درمان	1	1	-	دیواری
آزمایشگاه تحقیقاتی	-	1	1	روی میز آزمایشگاه

مرجع: طراحی بناهای درمانی جلد اول- نشریه 1-287 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

مقدار جریان و فشار گاز در خروجی‌های بخش بستری داخلی و جراحی

نوع گاز	فشار گاز	مقدار جریان* lit/min	
		در طراحی	مصرف واقعی
اکسیژن	400 kPa	10	6
خلاء	300 mm.Hg	40	40
هوای فشرده	400 kPa	20	10

* *مقدار جریان در جدول برای فشار اتمسفر (Free Air) است.*

مرجع: طراحی بناهای درمانی جلد اول- نشریه 1-287 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

فشار کار گازهای طبی و خلاء

نوع گاز	نماد	حداقل فشار	حداکثر فشار
اکسیژن	O_2	50 psig (0.34 MPa)	50 (+5-0) psig
خلاء طبی	Vac	12" Hg	-
اکسیدنیتروژن	N_2O	50 psig (0.34 MPa)	50 (+5-0) psig
هوای فشرده طبی	Med air	50 psig (0.34 MPa)	50 (+5-0) psig
نیتروژن	N_2	160 psig (1.10 MPa)	199 psig
هلیم	He	50 psig (0.34 MPa)	50 (+5-0) psig
دی‌اکسیدکربن	CO_2	50 psig (0.34 MPa)	50 (+5-0) psig
نیتروژن غیراستاندارد	N_2	200 psig (1.36 MPa)	300 psig (2.06 MPa)

SOURCE: MEDICAL GAS SYSTEM- 2001 CALIFORNIA PLUMBING CODE.

کد رنگ گازهای طبی

لوله اکسیژن	سبز
گاز بیهوشی	آبی
هوای فشرده	سفید
خلاء	زرد
نیتروژن	سیاه
گاز کربنیک	خاکستری

حداقل خروجی‌های گاز طبی و خلاء

بخش یا فضا	اکسیژن		خلاء		اکسید نیتروژن		هوا	
	هر تخت	هر اتاق	هر تخت	هر اتاق	هر تخت	هر اتاق	هر تخت	هر اتاق
اتاق بستری تا سه تخت	–	1	–	1	–	–	–	–
اتاق بستری از سه تخت بیشتر	–	2	–	2	–	–	–	–
اتاق بستری ایزوله	1	-	1	–	–	–	–	–
دندانپزشکی	–	1	1	–	–	–	1	به ازای واحد دندانپزشکی
معاینه گوش و حلق و بینی	–	–	–	1	–	–	–	1
اتاق معاینه	–	1	–	1	–	–	–	1
معاینه ارتوپدی	–	1	–	1	–	–	–	–
قسمت‌های آزمایشگاهی	–	–	–	1	–	–	–	1
خون‌گیری	–	1	–	1	–	–	–	1
تنفس درمانی	1	–	1	–	–	–	1	–
اتاق بی‌هوشی	1	–	1	–	1	–	1	–
اتاق عمل	–	2	–	4	–	2	–	2
ریکاوری	1	–	1	–	–	–	1	–
مراقبت ویژه I.C.U	1	–	2	–	–	–	1	–
بیماران قلبی C.C.U	1	–	1	–	–	–	1	–
اتاق درد	1	–	1	–	–	–	–	–
اتاق زایمان	–	2	–	4	–	2	–	2
رادیولوژی و آنژیوگرافی	–	1	–	1	–	–	–	–
رادیو ایزوتوپ	–	1	–	1	–	–	–	1
اورژانس (مسمومین)	–	2	–	2	–	–	–	2
اورژانس (گچ‌گیری)	–	1	–	1	–	–	–	1
اتاق عمل اورژانس	–	2	–	2	–	2	–	2
اورژانس (مصدومین)	–	2	–	2	–	–	–	–
اورژانس (بستری)	1	–	1	–	–	–	–	–

مرجع: شرکت خانه‌سازی ایران - سیستم توزیع مرکزی گازهای طبی در بیمارستان (بهمن 61)

اندازه‌گذاری لوله گازهای طبی و خلاء

گاز طبی یا خلاء	قطر لوله (in)	حداکثر ظرفیت (l/min) و scfm طول لوله‌کشی برحسب فوت و (متر) 100 (30)	250 (76)	500 (152)	750 (228)	1000 (304)
اکسیژن	1/2	15.0 (425)	10.6 (300)	7.4 (209)	5.9 (167)	5.1 (144)
	3/4	40.0 (1133)	28.3 (801)	19.6 (555)	15.7 (445)	13.3 (377)
	1	50.0 (1416)	50.0 (1416)	40.2 (1138)	32.2 (912)	27.7 (784)
اکسیدنیتروژن	1/2	15.0 (425)	9.5 (269)	6.5 (184)	5.3 (150)	4.5 (127)
	3/4	30.0 (849)	24.7 (699)	17.1 (484)	13.7 (388)	11.7 (331)
	1	40.0 (1113)	40.0 (1133)	34.7 (983)	28.2 (798)	24.3 (688)
هوای طبی	1/2	18.1 (512)	11.1 (314)	7.8 (221)	6.3 (177)	5.3 (151)
	3/4	40.0 (1133)	29.9 (847)	21.0 (595)	16.5 (467)	14.1 (399)
	1	50.0 (1416)	50.0 (1416)	42.1 (1192)	35.8 (1013)	29.2 (826)
خلاء	1	22.8 (645)	13.7 (388)	9.5 (269)	7.6 (215)	6.5 (184)
	1 1/4	40.1 (1135)	24.5 (694)	16.7 (473)	13.3 (377)	11.2 (317)
	1 1/2	63.7 (1804)	38.9 (1101)	26.8 (759)	21.1 (600)	17.9 (507)
	2	132.7 (3758)	81.4 (2305)	56.0 (1586)	45.0 (1274)	38.3 (1084)

← ادامه

اندازه‌گذاری لوله گازهای طبی و خلاء (ادامه)

گاز طبی یا خلاء	قطر لوله (in)	حداکثر ظرفیت (l/min) و scfm طول لوله‌کشی برحسب فوت و (متر) 100 (30)	250 (76)	500 (152)	750 (228)	1000 (304)
نیتروژن	1/2	25.0 (708)	25.0 (708)	25.0 (708)	23.8 (674)	20.6 (583)
	3/4	60.0 (1699)	60.0 (1699)	60.0 (1699)	60.0 (1699)	54.2 (1535)
	1	110.0 (3115)	110.0 (3115)	110.0 (3115)	110.0 (3115)	110.0 (3115)

MM= 304.8 × ft

MM= 25.4 × in

این جدول بر اســاس افت فشــار (Hg ”10) psig 5 برای اکسیژن، اکسید نیتروژن و هوای طبی و همینطور افت فشار (Hg ”4) psig 1.96 و (Hg ”10) psig 20 برای خلاء و نیتروژن است.

اندازه‌گذاری لوله‌های اکسیژن و اکسید نیتروژن

بر اساس فشار 50 psig

دبی گاز (lit/min)	قطر نامی (in) افت فشار به ازای هر 100 فوت طول لوله برحسب psi 3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4
50	0.12	0.04	–	–	–	–	–	–	–	–
100	0.50	0.16	–	–	–	–	–	–	–	–
125	0.80	0.25	–	–	–	–	–	–	–	–
150	1.10	0.36	0.04	–	–	–	–	–	–	–
175	1.50	0.48	0.06	–	–	–	–	–	–	–
200	2.00	0.63	0.07	–	–	–	–	–	–	–

← ادامه

اندازه‌گذاری لوله‌های اکسیژن و اکسید نیتروژن (ادامه)

دبی گاز (lit/min)	قطر نامی (in)									
	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4
	افت فشار به ازای هر 100 فوت طول لوله برحسب psi									
250	3.05	0.99	0.11	–	–	–	–	–	–	–
300	4.50	1.41	0.16	0.04	–	–	–	–	–	–
400	–	2.51	0.29	0.07	–	–	–	–	–	–
500	–	3.92	0.45	0.11	–	–	–	–	–	–
750	–	–	1.02	0.24	–	–	–	–	–	–
1000	–	–	1.80	0.42	0.13	0.05	–	–	–	–
1250	–	–	2.81	0.66	0.21	0.09	–	–	–	–
1500	–	–	4.05	0.95	0.30	0.12	–	–	–	–
2000	–	–	–	–	0.52	0.22	0.05	–	–	–
2500	–	–	–	–	0.83	0.34	0.08	–	–	–
3000	–	–	–	–	1.19	0.49	0.11	–	–	–
4000	–	–	–	–	2.10	0.88	0.20	0.06	–	–
5000	–	–	–	–	3.30	1.36	0.32	0.10	–	–
7500	–	–	–	–	–	3.10	0.71	0.22	0.09	–
10000	–	–	–	–	–	–	1.27	0.40	0.16	–
15000	–	–	–	–	–	–	2.82	0.89	0.35	0.08
20000	–	–	–	–	–	–	5.00	1.58	0.63	0.15
25000	–	–	–	–	–	–	–	2.47	0.98	0.23
30000	–	–	–	–	–	–	–	3.55	1.40	0.31
40000	–	–	–	–	–	–	–	–	2.48	0.59
50000	–	–	–	–	–	–	–	–	3.90	0.92

1 lit/min = 0.03531 cfm

مقررات اجرایی شبکه گازهای طبی

ارتفاع نصب خروجی‌ها از کف تمام‌شده	150 سانتی‌متر
جنس لوله‌ها	مسی بدون درز K و یا L
نوع اتصال لوله‌ها	جوشی
نوع جوشکاری	جوش نقره و آلیاژ برنج
شعاع خمش لوله‌ها	حداقل 5 برابر قطر لوله
فواصل بست‌ها برای 3/4 اینچ به بالا	3 متر
فواصل بست‌ها برای 1/2 اینچ به پایین	2 متر
آزمایش لوله	با هوا یا ازت با فشار 150 psi به مدت 24 ساعت
حداکثر دمای ایستگاه توزیع گاز	130 درجه فارنهایت
حداقل ارتفاع کلید و پریزها در ایستگاه توزیع گاز	150 سانتی‌متر
سایر موارد	گازهای طبی نباید با سیستم توزیع هوای فشرده و خلاء در یک محل در نظر گرفته شوند. لوله‌های اکسیژن و بیهوشی نباید از انبار مواد قابل احتراق، آشپزخانه و رختشویخانه عبور کنند.

مشخصات عمومی لوله‌کشی خلاء در بیمارستان

مقدار مکش در ایستگاه مرکزی خلاء:	19 in.Hg
مقدار مکش در محل استفاده:	15 in.Hg
افت مجاز خط لوله:	4 in.Hg
مکش هوا در اتاق‌های عمل و ریکاوری:	1 cfm به ازای هر خروجی
مکش هوا درسایر قسمت‌ها:	0.5 cfm به ازای هر خروجی
حداقل قطر نامی لوله:	1/2 in
درصد خلاء (0%):	760 TORR = 14.7 psia = 29.92 in.Hga
درصد خلاء (50%):	380 TORR = 7.3 psia = 15 in.Hga
درصد خلاء (99.9%):	1 TORR = 0.01934 psia = 0.03937 in.Hga

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد خلاء به فصل سوم مراجعه شود.

۵-۲

اماکن مسکونی

حداقل تهویه و تعویض هوای اماکن مسکونی (cfm)

مساحت ft^2	تعداد اتاق خواب					
	2	3	4	5	6	7
کمتر از 1000	45	60	75	90	105	120
1000-1500	45	60	75	90	105	120
1501-2000	45	60	75	90	105	120
2001-2500	48	60	75	90	105	120
2501-3000	53	60	75	90	105	120
3001-3500	58	65	75	90	105	120
3501-4000	63	70	78	90	105	120
4001-4500	68	75	83	90	105	120
4501-5000	73	80	88	95	105	120
5001-5500	78	85	93	100	108	120
5501-6000	83	90	98	105	113	120

حداقل تعویض هوا برای دستشـــویی و حمام در صورت کار پیوســـته هواکش 20 cfm و در صورت کار متناوب 50 cfm

SOURCE: MECHANICAL CODE OF ASHRAE STANDARD 62

مقدار هوای تازه مورد نیاز برای اماکن مسکونی

فضای مسکونی	سطح مورد نیاز هر نفر (ft^2)	مقدار هوای تازه به ازای هر نفر cfm/person		مقدار هوای تازه به ازای هر فوت مساحت کف cfm/ft^2
		با دود سیگار	بدون دود سیگار	
اتاق خواب یک‌نفره یا دو نفره	–	30 به ازای هر اتاق	15 به ازای هر اتاق	0.33
اتاق نشیمن	200	50 به ازای هر اتاق	25 به ازای هر اتاق	–
حمام و توالت متصل به اتاق خواب	50	50 به ازای هر واحد	50 به ازای هر واحد	–

SOURCE: ASHRAE STANDARD (62- 1981)-ASHRAE POKET HANDBOOK

حداقل مقدار هوای تازه برای اماکن مسکونی

مطابق مقررات ملی ساختمان

فضای مسکونی	برای هر نفر		برای واحد سطح		به ازای هر اتاق	
	(lit/s)	(cfm)	(lit/s)	(cfm)	(lit)	(cfm)
اتاق	7.5	15	–	–	–	–
آشپزخانه	–	–	–	–	50	100
توالت و حمام	–	–	–	–	25	50
اتاق خوابگاه	–	–	–	–	15	30
حمام خوابگاه	–	–	–	–	18	35

پارکینگ مشترک برای هر مترمربع 7.5 لیتر در ثانیه یا 1.5 cfm برای هر فوت‌مربع

پارکینگ خصوصی به ازای هر اتومبیل 50 لیتر در ثانیه یا 100 فوت‌مکعب در دقیقه

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث چهاردهم

تخمین مصرف آب ساختمان مسکونی

به ازای هر نفر: 140 لیتر در روز

تخمین ظرفیت مخزن آب سرد

منازل به ازای هر نفر: 135 لیتر یا 30 گالن

خوابگاه به ازای هر نفر: 90 لیتر یا 20 گالن

نرخ آبگرم بر اساس نوع مصرف

فضای مسکونی	حداکثر ساعتی (gal)	حداکثر روزانه (gal)	میانگین روزانه (gal)
خوابگاه پسران به ازای هر دانشجو	3.8	22.0	13.1
خوابگاه دختران به ازای هر دانشجو	5.0	26.5	12.3
آپارتمان 20 واحد یا کمتر به ازای هر واحد	12.0	80.0	42.0
آپارتمان 21 تا 50 واحد به ازای هر واحد	10.0	73.0	40.0
آپارتمان 51 تا 75 واحد به ازای هر واحد	8.5	66.0	38.0
آپارتمان 75 تا 100 واحد به ازای هر واحد	7.0	60.0	37.0
آپارتمان 200 واحد و بیشتر به ازای هر واحد	5.0	50.0	35.0

SOURCE: ASHRAE APPLICATION'S HANDBOOK-SERVICE WATER HEATING

مصرف آبگرم و حجم مخزن

	مصرف به ازای هر نفر		حداکثر تقاضا به ازای هر نفر		حداکثر به ازای هر نفر	
فضای مسکونی	lit/day	gal/day	lit/day	gal/day	lit	gal
خوابگاه دانشجویی	120	26	50	11	30	7
منازل	45-160	10-35	50	11	30	7

مرجع: راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه مطبوع، ویرایش یازدهم، تالیف فرد پورجز، ترجمه محمدرضا سلطاندوست.

نرخ واحد مصرف (FU) آبگرم بر اساس نوع لوازم بهداشتی

فضای مسکونی	دستشویی خصوصی	دستشویی عمومی	وان	ظرفشویی	سینک	دوش
آپارتمان	0.75	_	1.5	1.5	0.75	1.5
خوابگاه	0.75	1	_	_	1.5	1.5

برای واحدهای آپارتمانی می‌توان به طور کلی 3FU به ازای هر واحد آپارتمان در نظر گرفت.

SOURCE: ASHRAE APPLICATION'S HANDBOOK-SREVICE WATER HEATING

حداکثر مصرف آبگرم (GPH) بر اساس لوازم بهداشتی برای تعیین حجم منبع ذخیره

نوع سرویس	آپارتمان	خانه ویلایی
دستشویی خصوصی	2	2
دستشویی عمومی	4	_
وان	20	20
ظرفشویی	15	15
پاشویه	3	3
سینک	10	10
دوش	30	30
وان رختشویی	20	20
ضریب تقاضا (DF)	0.30	0.30
ضریب ذخیره‌سازی منبع (DS)	1.25	0.70
مقدار واقعی آبگرم بر حسب گالن در ساعت	GPH × DF = مقدار واقعی آبگرم	
حجم منبع آبگرم بر حسب گالن	DS × مقدار واقعی آبگرم = حجم منبع	

SOURCE:ASHRE APPLICATIONS HANDBOOK-SERVICE WATER HEATING

تخمین بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی به ازای هر نفر

خانه ویلایی	4000Btu/hr
آپارتمان با منبع اختصاصی	4000Btu/hr
آپارتمان با منبع مشترک	2800Btu/hr

تخمین بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی بر اساس لوازم بهداشتی بر حسب Btu/hr

نوع ساختمان مسکونی	دستشویی و توالت خصوصی	دستشویی و توالت عمومی	وان	دوش	سینک ظرفشویی
خانه ویلایی	700	_	4500	23000	4500
آپارتمان	700	1100	4500	23000	4500
خوابگاه	800	2700	_	53000	5400

۵-۳

اماکن اداری - تجاری

شرایط اختصاصی ساختمان‌های اداری

تراکم نفرات به طور عمومی	هر ft^2 75 یک نفر
تراکم نفرات در دفاتر خصوصی	هر ft^2 200 یک نفر
تراکم نفرات در اتاق‌های کنفرانس، انتظار و مدیران	هر ft^2 20 یک نفر
بار روشنایی و تجهیزات الکتریکی	2 تا 5 وات به ازای هر فوت‌مربع
بار روشنایی و تجهیزات الکتریکی همراه با تجهیزات کامپیوتری	5 تا 10 وات به ازای هر فوت‌مربع
مساحت موردنیاز برای تجهیزات الکتریکی و مکانیکی	8 تا 10 وات به ازای هر فوت‌مربع
ارتفاع اتاق هواساز	10 تا 18 فوت
اشغال فضا توسط تجهیزات پیرامونی مانند فن‌کوئل و رادیاتور	1 تا 3 درصد مساحت
مساحت شفت‌ها و بازشوهای داخلی برای عبور کانال‌ها و لوله‌ها و سایر تجهیزات	3 تا 15 درصد مساحت هر طبقه
مساحت تقریبی برای استقرار برج خنک‌کننده	به ازای هر ft^2 400 مساحت ساختمان یک فوت‌مربع
توان تحمل وزن برج خنک‌کننده برای بام	120 تا 150 پوند به ازای هر فوت‌مربع
سیستم پیشنهادی تهویه مطبوع	فن کوئل برای اتاق‌های اداری و سیستم‌های تمام هوا برای سالن‌ها و اماکن بزرگ

SOURCE: MECHANICAL CODE OF ASHRAE STANDARD 62

مقدار هوای تازه مورد نیاز اماکن تجاری- اداری

مکان	سطح مورد نیاز برای هر نفر (ft^2)	مقدار هوای تازه به ازای هر نفر (cfm/person)		مقدار هوای تازه به ازای هر فوت مساحت کف (cfm/ft^2)
		با دود سیگار	بدون دود سیگار	
طبقات همکف و زیرزمین فروشگاه‌های بزرگ	35	25	5	0.05
طبقات فوقانی فروشگاه‌های بزرگ	50	25	5	0.05
انبار قسمت فروش	70	25	5	–
محل عبور خریداران	50	10	5	–
انبار اصلی فروشگاه	200	10	5	–
خرده فروشی و حراجی	25	7.5	5	–
گل فروشی	100	25	5	–
گلخانه	1000	–	5	–
آرایشگاه مردانه و زنانه	40	35	20	–
کفاشی	100	15	10	–
عکاسی	100	–	5	–
تاریکخانه عکاسی	100	–	20	–
داروخانه	100	30	20	–
خشکشویی و لباسشویی	100	–	15	–
خشکشویی سکه‌ای	50	35	15	–
محل جمع‌آوری البسه در خشکشویی	50	35	15	–
کافه تریا	10	35	7	–
رستوران	15	35	7	–
آشپزخانه رستوران	50	–	10	–
دفتر کار	140	20	5	0.25
اتاق انتظار	17	35	7	–
اتاق کنفرانس	20	35	7	–
تالار نمایش سینما	7	35	7	–
باجه بلیط فروش سینما	–	20	5	–

← ادامه

مقدار هوای تازه مورد نیاز اماکن تجاری- اداری (ادامه)

مکان	سطح مورد نیاز برای هر نفر (ft^2)	مقدار هوای تازه به ازای هر نفر (cfm/person)		مقدار هوای تازه به ازای هر فوت مساحت کف (cfm/ft^2)
		با دود سیگار	بدون دود سیگار	
لابی و سرسرای سینما	7	35	7	-
سالن اپرا و تئاتر	7	35	7	-
استودیو رادیو و تلویزیون	15	-	10	-
لابی هتل	34	15	5	-
سالن اجتماعات هتل	8	35	7	-

SOURCE: ASHRAE STANDARD (62 -1981)- ASHRAE POCKET HANDBOOK

حداقل مقدار هوای تازه اماکن اداری- تجاری

مطابق مقررات ملی ساختمان

مکان	برای هر نفر		برای واحد سطح		برای هر اتاق	
	(lit/s)	(cfm)	(lit/s)	(cfm)	(lit/s)	(cfm)
اتاق اداری	10	20	-	-	-	-
اتاق کنفرانس	10	20	-	-	-	-
اتاق خواب هتل	-	-	-	-	15	30
سرسرای هتل	7.5	15	-	-	-	-
حمام هتل	-	-	-	-	18	35
سالن اجتماعات	7.5	15	-	-	-	-
سالن غذاخوری	10	20	-	-	-	-
آشپزخانه رستوران	7.5	15	7.5	1.5	-	-
کافه تریا	10	20	-	-	-	-
زیرزمین فروشگاه	-	-	1.5	0.3	-	-
طبقات فروشگاه	-	-	1	0.2	-	-
انبار فروشگاه	-	-	7.5	0.15	-	-
رختشویخانه	13	25	-	-	-	-

مرجع: *مقررات ملی ساختمان، مبحث چهاردهم*

تهویه و شرایط طرح داخل ساختمان‌های تجاری و عمومی

مکان	دما و رطوبت نسبی (زمستانی)	دما و رطوبت نسبی (تابستانی)	سرعت هوا	(بازچرخانی)دفعات تعویض هوا در ساعت	بازده فیلتر
کافه‌تریا	70-74 °F 20-30٪ RH	78 °F 50٪ RH	50 fpm در ارتفاع 6 فوت از کف	12-15	٪35 یا بهتر
رستوران	70-74 °F 20-30٪ RH	74-78 °F 55-60٪ RH	25-30 fpm	8-12	٪35 یا بهتر
آشپزخانه	70-74 °F	85-88 °F	30-50 fpm	12-15	٪10-15 یا بهتر
دفاتر اداری	70-74 °F 20-30٪ RH	74-78 °F 55-60٪ RH	25-45 fpm 0.75 تا 2 فوت‌مکعب در دقیقه به ازای هر فوت‌مربع	4-10	٪35-60 یا بهتر
موزه‌ها و کتابخانه‌ها (میانگین)	68-72 °F 40-55٪ RH	68-72 °F 40-55٪ RH	کمتر از 25 fpm	8-12	٪35-60 یا بهتر
سالن بولینگ	70-74 °F 20-30٪ RH	75-78 °F 55-55٪ RH	50 fpm در ارتفاع 6 فوت از کف	10-15	٪10-15 یا بهتر

← ادامه

تهویه و شرایط طرح داخل ساختمان‌های تجاری و عمومی (ادامه)

مکان	دما و رطوبت نسبی (زمستانی)	دما و رطوبت نسبی (تابستانی)	سرعت هوا	(بازچرخانی)دفعات تعویض هوا در ساعت	بازده فیلتر
مرکز تلفن	72–78 °F 40–50٪ RH	72–78 °F 50–55٪ RH	25–30 fpm	8–20	85٪ یا بهتر
استودیو رادیو و تلویزیونی	74–78 °F 30–40٪ RH	74–78 °F 40–55٪ RH	کمتر از 25 fpm در ارتفاع 12 فوت از کف	15–40	35٪ یا بهتر
ترمینال فرودگاه	70–74 °F 30–40٪ RH	74–78 °F 40–55٪ RH	25–30 fpm در ارتفاع 6 فوت از کف	8–12	35٪ یا بهتر و فیلترهای بوگیر
ترمینال مسافران در لنگرگاه	70–74 °F 20–30٪ RH	74–78 °F 55–60٪ RH	25–30 fpm در ارتفاع 6 فوت از کف	8–12	10–15٪ یا بهتر
ترمینال اتوبوس	70–74 °F 20–30٪ RH	74–78 °F 55–60٪ RH	25–30 fpm در ارتفاع 6 فوت از کف	8–12	35٪ یا بهتر
پارکینگ	40–55 °F	80–100 °F	30–75 fpm	4–6	10–15٪ یا بهتر

شرایط طرح داخل هتل

	شرایط زمستان		شرایط تابستان				
	دما (°F)	رطوبت نسبی (٪)	دما (°F)	رطوبت نسبی (٪)	تخلیه هوا (cfm)	بازده فیلتر (٪)	سطح صدا (dB)
اتاق‌های میهمان	74-76	30-35	74-78	50-60	به ازای هر اتاق 20-50	10-15	25-35
لابی	68-74	30-35	74-78	40-60	-	35 یا بهتر	35-45
سالن گردهمایی	68-74	30-35	74-78	40-60	-	35 یا بهتر	25-35

SOURCE: ASHRAE APPLICATION HANDBOOK

شرایط طرح داخل بخش‌های پشتیبانی هتل

بخش	شرایط داخل (°F)	رطوبت نسبی تابستانی (٪)	رطوبت نسبی زمستانی (٪)
آشپزخانه (عمومی)	82	-	-
آشپزخانه (تهیه نان و شیرینی)	76	-	-
سرپرست آشپزخانه	74-78	50-60	30-35
دفتر کاخداری	74-78	50-60	30-35

SOURCE: ASHRAE APPLICATION HANDBOOK

تخمین ظرفیت مخزن آب سرد

	ذخیره‌سازی به ازای هر نفر	
مکان	(lit)	(gal)
اماکن اداری یا رستوران	45	10
اماکن اداری بدون رستوران	35	8
هتل	15	33
رستوران به ازای هر پرس غذا	7	1.5

مرجع: راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه مطبوع، ویرایش یازدهم، تالیف فرد پورجز، ترجمه محمدرضا سلطاندوست

تخمین مصرف آب ساختمان‌های اداری - تجاری

مکان	مقدار مصرف
ساختمان اداری به ازای هر نفر	50 لیتر در روز
هتل با حمام خصوصی برای 25 درصد از اتاق‌ها به ازای هر نفر	200-250 لیتر در روز
هتل با حمام خصوصی برای 75 درصد از اتاق‌ها به ازای هر نفر	250-300 لیتر در روز
هتل با حمام خصوصی برای 100 درصد از اتاق‌ها به ازای هر نفر	250-400 لیتر در روز
سینما به ازای هر صندلی	10-20 لیتر در روز
رستوران‌ها به ازای هر میهمان	40 لیتر در روز
نانوایی به ازای هر کارگر	140 لیتر در روز
قصابی به ازای هر کارگر	100 لیتر در روز
قنادی به ازای هر کارگر	200 لیتر در روز
آرایشگاه به ازای هر کارگر	100 لیتر در روز
نجاری به ازای هر کارگر	10 لیتر در روز

مرجع: لوله‌کشی آب و فاضلاب ساختمان و سپتیک تانک - سید محسن موسوی

نرخ مصرف آبگرم

فضای اداری یا تجاری	حداکثر ساعتی (gal)	حداکثر روزانه (gal)	میانگین روزانه (gal)
ساختمان اداری به ازای هر نفر	0.4	2.0	1.0
رستوران و کافه تریا به ازای هر پرس غذا	1.5 در ساعت	11.0 در روز	2.4 در روز
اغذیه فروشی به ازای هر پرس	0.7 در ساعت	6.0 در روز	0.7 در روز
هتل تا 20 واحد یا کمتر به ازای هر واحد	6.0	35.0	2.0
هتل تا 60 واحد به ازای هر واحد	5.0	25.0	14.0
هتل تا 100 واحد یا بیشتر به ازای هر واحد	4.0	15.0	1.0

SOURCE: ASHRAE APPLICATION'S HANDBOOK- SERVICE WATER HEATING

نرخ واحد مصرف (FU) آبگرم لوازم بهداشتی

مکان	دستشویی خصوصی	دستشویی عمومی	سینک آشپزخانه	سینک آبدارخانه	دوش
اداری	0.75	1	–	2.5	–
هتل	0.75	1	1.5	2.5	1.5

نرخ کلی واحد مصرف (FU) آبگرم

ساختمان اداری	0.15 به ازای هر نفر
هتل	2.5 به ازای هر اتاق

حداکثر مصرف آبگرم (GPH) بر اساس لوازم بهداشتی برای تعیین حجم منبع ذخیره

نوع سرویس	اداری	هتل
دستشویی خصوصی	2	2
دستشویی عمومی	6	8
وان	–	20
ظرفشویی	–	50-200
پاشویه	–	3
سینک آشپزخانه	20	30
سینک آبدارخانه	10	10
دوش	30	75
وان رختشویی	–	28
ضریب تقاضا (DF)	0.30	0.25
ضریب ذخیره‌سازی منبع (DS)	2.00	0.80
مقدار واقعی آبگرم بر حسب گالن در ساعت	GPH × DF = مقدار واقعی آبگرم	
حجم منبع آبگرم بر حسب گالن	DS × مقدار واقعی آبگرم = حجم منبع	

SOURCE: ASHRAE APPLICATIONS HANDBOOK- SERVICE WATER HEATING

۵-۴

اماکن آموزشی

شرایط اختصاصی کتابخانه‌ها و موزه‌ها

ساعات کار کتابخانه‌ها	16 ساعت در هر شبانه‌روز
ساعات کار موزه‌ها	8 تا 10 ساعت در روز
تراکم نفرات	هر $10\ ft^2$ یک نفر
تراکم نفرات در بخش‌های اداری	هر 100 تا $150\ ft^2$ یک نفر
تراکم نفرات در مخزن کتاب	هر $1000\ ft^2$ یک نفر
سیستم پیشنهادی تهویه مطبوع	سیستم تمام هوا برای پرهیز از اجرای لوله‌کشی آب یا بخار به ویژه در فضاهای نمایش اشیا و قفسه‌های کتاب
دمای مناسب برای مخزن کتاب	55 تا 65 درجه فارنهایت
دما و رطوبت مناسب برای سالن مطالعه	68 °F با رطوبت نسبی 55 درصد
دما و رطوبت محل آثار هنری در موزه‌ها	60 تا 72 درجه فارنهایت با رطوبت نسبی 50 درصد
دما و رطوبت برای نگهداری حیوانات تاکسیدرمی شده	40 تا 50 درجه فارنهایت با رطوبت نسبی 50 درصد
رطوبت نسبی محل نگهداری میکروفیلم در کتابخانه‌ها	کمتر از 35 درصد
دما و رطوبت فضاهای عمومی موزه‌ها و کتابخانه‌ها	68 تا 72 درجه فارنهایت با رطوبت نسبی 55 درصد

SOURCE: ASHRAE APPLICATIONS HANDBOOK

مقدار هوای تازه مورد نیاز اماکن آموزشی

مکان	سطح مورد نیاز برای هر نفر (ft^2)	مقدار هوای تازه به ازای هر نفر (cfm/person)	
		با دود سیگار	بدون دود سیگار
کلاس درس	20	–	5
آزمایشگاه	34	25	5
کتابخانه	50	–	5
کارگاه آموزشی	34	35	7

SOURCE: ASHRAE STANDARD (62 -1981)- ASHRAE POCKET HANDBOOK

حداقل مقدار هوای تازه

مطابق مقررات ملی ساختمان

مکان	برای هر نفر		برای واحد سطح	
	(lit/s)	(cfm)	(lit/s)	(cfm)
کلاس درس	7.5	15	–	–
آزمایشگاه	10	20	–	–
کتابخانه	7.5	15	–	–
کارگاه آموزشی	10	20	–	–
رختکن	–	–	2.5	0.50

تخمین مصرف آب و ظرفیت مخزن آب سرد

مصرف آب مدارس شبانه‌روزی به ازای هر نفر	200 لیتر در روز
ذخیره‌سازی به ازای هر نفر برای مدارس شبانه‌روزی	90 لیتر
ذخیره‌سازی به ازای هر نفر برای مدارس روزانه	30 لیتر

نرخ مصرف آبگرم

مکان	حداکثر ساعتی (gal)	حداکثر روزانه (gal)	میانگین روزانه (gal)
مدارس ابتدایی به ازای هر دانش‌آموز	0.6	1.5	0.6
مدارس راهنمایی و دبیرستانی به ازای هر دانش‌آموز	1.0	3.0	1.8

نرخ کلی واحد مصرف (FU) آبگرم

مدرسه ابتدایی	0.3 به ازای هر دانش‌آموز به علاوه دوش
مدرسه راهنمایی و دبیرستان	0.4 به ازای هر دانش‌آموز به علاوه دوش

حداکثر مصرف آبگرم (GPH) برای تامین حجم منبع ذخیره مدارس

دستشویی خصوصی	2
دستشویی عمومی	15
ظرفشویی	20 - 100
سینک آبدارخانه	10
دوش	225
ضریب تقاضا (DF)	0.40
ضریب ذخیره‌سازی منبع (DS)	1.00

* * *

۵-۵

استخر

مشخصات ساختاری استخر کودکان

حداکثر عمق: 24 اینچ

حداقل عمق: 8 اینچ

حداکثر شیب: 1 فوت در 15 فوت

مشخصات ساختاری استخر آموزشی

حداکثر عمق: 4.5 فوت

حداقل عمق: 2 فوت

شرایط استخرهای مختلف

نوع استخر	دمای هوا (°C)	دمای آب (°C)	رطوبت نسبی (٪)
استخرهای عمومی و تفریحی	24 - 29	24 - 29	50 - 60
استخرهای درمانی	27 - 29	29 - 35	50 - 60
استخرهای مسابقه	26 - 29	24 - 28	50 - 60
استخرهای غواصی و شیرجه	27 - 29	27 - 32	50 - 60
جکوزی	27 - 29	36 - 40	50 - 60

SOURCE: DESIGN CONSIDRATIONS FOR POOLS AND SPAS (NATATORIUMS)- JOHN W.LUND

نرخ تعویض هوا برای استخرها

نوع	تعداد دفعات تعویض هوا در ساعت
استخر بدون جایگاه تماشاچی	4 - 6
استخر با جایگاه تماشاچی	6 - 8
استخر درمانی	4 - 6

کیفیت آب استخر

مورد	حداقل	مناسب	حداکثر
دمای آب استخر معمولی	-	78°F - 82°F	98°F
دمای آب استخر درمانی	-	102°F یا کمتر	104°F
کلر آزاد استخر معمولی (ppm)	1.0	2.0 - 3.0	8.0
کلر آزاد استخر درمانی (ppm)	2.0	3.0 - 5.0	8.0
کلر محلول	-	-	0.2
برم در استخر معمولی (ppm)	2.5	2.5 - 6.0	12
برم در استخر درمانی (ppm)	4.5	5.5 - 7.6	12
سطح PH	7.0	7.4 - 7.6	7.8
مواد قلیایی مانند دی‌کلرور سدیم و ترکیبات برم (ppm)	60	100 - 120	180
مواد قلیایی مانند هیپوکلریت کلسیم، هیپوکلریت لیتیم و هیپوکلریت سدیم (ppm)	60	80 - 100	180
سختی‌های کلسیمی مانند کربنات کلسیم (ppm)	150	200 - 400	500 - 1000
کل جامدات غیر محلول (ppm)	300	1000 - 2000	5000
اسید سیانوریک به عنوان تثبیت‌کننده (ppm)	-	10 - 40	100
شفافیت آب	کف استخر و تخلیه اصلی باید قابل رویت باشند.		
فلزات سنگین	0	0	0
جلبک و خزه	0	0	0
باکتری	0	0	0

SOURCE: TEXAS DEPARTMENT OF HEALTH - STANDARDS FOR PUBLIC SWIMMING POOL AND SPA.

نرخ گردش آب

دفعات تعویض آب استخر و گذر آن از فیلترها در جدول زیر تعیین شده است:

نوع استخر	دفعات تعویض (گردش) آب
استخرهای عمومی	هر 6 ساعت یک‌بار (4 بار در 24 ساعت)
استخرهای آموزشی و تمرینی	هر 4 ساعت یک‌بار (6 بار در 24 ساعت)
استخر عمومی کودکان	هر 2 ساعت یک‌بار (12 بار در 24 ساعت)
استخر درمانی	هر نیم ساعت یک‌بار (48 بار در 24 ساعت)

SOURCE: RULES AND REGULATIONS GOVERNING THE DESIGN. CONSTRUCTION. AND OPERATION OF PUBLIC SWIMMING POOLS AND SPAS - JEFFERSON COUNTY DEPARTMENT OF HEALTH.

حداقل تعداد سرویس‌های بهداشتی استخر

نوع سرویس	مردان	زنان
توالت	به ازای هر 75 نفر 1	به ازای هر 50 نفر 1
آبریزگاه	به ازای هر 75 نفر 1	0
دستشویی	به ازای هر 100 نفر 1	به ازای هر 100 نفر 1
دوش	به ازای هر 50 نفر 1	به ازای هر 50 نفر 1
میز تعویض لباس کودک	1	1
آبخوری	1	1

SOURCE: TEXAS DEPARTMENT OF HEALTH STANDARD FOR PUBLIC SWIMMING POOL AND SPA

رنگ‌های معرف

با استفاده از رنگ‌های مختلف باید سیال داخل لوله‌های روکار استخر را مشخص نمود.

لوله‌کشی	رنگ معرف
آب آشامیدنی	آبی تیره
آب در گردش استخر:	
آب در گذر از فیلتر	آبی روشن
آب برگشت از اسکیمر و پاشویه‌ها	سبز زیتونی
تخلیه اصلی	سیاه
خطوط شیمیایی:	
زاج	نارنجی
کلر	زرد
کربنات سدیم	سفید
اسید	صورتی
خط فاضلاب:	
پس‌شویی	قهوه‌ای تیره
تخلیه فاضلاب بهداشتی وغیره	خاکستری تیره
تخلیه سکوها	قهوه‌ای روشن
هوای فشرده	سبز تیره

SOURCE: TEXAS DEPARTMENT OF HEALTH - STANDARDS FOR PUBLIC SWIMMING POOL AND SPA.

تعیین گرمای مورد نیاز آب استخر

مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای آب اســـتخر به میزان مورد نیاز از طریق جمع نتایج دو رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_1 = \frac{\rho C V (T_2 - T_1)}{\Theta} \qquad (1)$$

Q_1 = گرمای مورد نیاز (Btu/hr)

ρ = چگالی آب 8.33 lb /gal

C = گرمای ویژه آب 1 Btu / lb.°F
V = حجم استخر (gal)
T_2 = دمای نهایی [معمولا 80°F (26.6°C)] در نظر گرفته می‌شود.
T_1 = دمای اولیه آب
Θ = زمان تعیین شده برای گرم شدن آب استخر بر حسب ساعت

$$Q_2 = UA\ (T_P - T_A) \qquad (2)$$

Q_2 = اتلاف گرما از سطح آب استخر (Btu/hr)
U = ضریب انتقال حرارت 10.5 Btu/h.ft ^{2}.°F
A = سطح استخر (ft^2)
T_P = دمای آب استخر (°F)
T_A = دمای محیط (°F)

گرمای کل از جمع نتایج روابط بالا تعیین می‌شود:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \qquad (3)$$

حـــال چنانچه در رابطه (1) دمای اولیه را برابر 59°F (15°C) و زمان گرم شـــدن استخر را 24 ساعت فرض کنیم. گرمای مورد نیاز برای یک گالن آب استخر چنین به دست خواهد آمد:

$$Q_1 = 8.33 \times 1 \times 1\ (80 - 59) / 24 = 174.93 / 24 = 7.28\ \text{Btu/hr}$$

و از ســـوی دیگر چنانچـــه در رابطـــه (2) دمای محیـــط را برابر 80°F (26.6°C) فرض کنیم، اتلاف گرما از ســـطح اســـتخر به ازای هر فوت‌مربع این‌گونه محاسبه می‌شود:

$$Q_2 = 10.5 \times 1\ (80 - 80) = 0$$

بنابراین با ایجاد تعادل بین دمای آب استخر و دمای محیط، نتیجه رابطه (2) برابر صفر خواهد شد. بر این اساس می‌توان گرمای مورد نیاز برای هر گالن آب استخر را در 24 ساعت برابر 7.28 بی‌تی‌یو در ساعت در نظر گرفت.

اگر به جای 24 ســـاعت بخواهیم در مدت زمان یک ساعت، یک گالن آب استخر را از دمای 59°F به دمای 80°F برسانیم، مقدار گرمای لازم تقریبا

برابر 175 Btu/hr خواهد شد.

$Q_1 = 8.33 \times 1 \times 1\ (80 - 59) / 1 = 174.93\ \ Btu/hr$

استخر شنای روباز

1- تعیین گنجایش استخر:

$V = \ (L \times W \times D \times 7.5)\ gal / ft^3$

(چنانچه عمق استخر نامشخص باشد، می‌توان عمق میانگین را معادل 5.5 فوت فرض نمود.)

عدد 7.5 از محاسبه 6.23 gal / 0.83 به‌دست آمده است تا گالن رابطه بر اساس گالن انگلیسی باشد. زیرا هر گالن آمریکایی 0.83 گالن انگلیسی است. به عبارت دیگر هر ft^3 برابر با 6.23 گالن آمریکایی و هر ft^3 برابر 7.5 گالن انگلیسی است.

2- تعیین زمان گرم شدن آب به میزان دلخواه (معمولا 24 ساعت)

3- تعیین دمای آب (معمولا 80°F)

4- تعیین دمای میانگین هوای خارج در سردترین ماه سال که استخر در آن مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد.

5- تعیین میانگین سرعت باد بر حسب مایل در ساعت. برای استخرهای کمتر از 900 فوت‌مربع که دارای سر پناه هستند یا نزدیک ساختمان قرار گرفته‌اند می‌توان میانگین سرعت باد را کمتر از 3.5 mph فرض نمود.

اتلاف گرمایی سطح استخر 5.5 Btu/hr به ازای هر فوت‌مربع به ازای هر درجه فارنهایت است. در رابطه زیر سرعت باد 3.5 مایل در ساعت فرض شده است. اگر سرعت باد کمتر از 3.5 مایل در ساعت باشد باید از ضریب تصحیح 0.75 استفاده نمود. برای سرعت 5 mph ضریب 1.25 و برای سرعت 10 mph از ضریب تصحیح 2 استفاده می‌شود.

6- استفاده از روابط زیر:

$H_{PH} = H_{HU} + H_{SL}$

$H_{HU} = (\ V \times 8.34\ lb / gal. \times \Delta T_W\ 1.0\ Btu / lb.°F.\ ) / T_{UP}$

$H_{SL} = 5.5\ Btu\ /hr.\ ft^2\ °F \times \Delta T_{W-A} \times A$

$\Delta T_W = T_F - T_{IN}$

$T_F = T_{PW}$

$T_{IN} = 50°F$

$\Delta T_{W-A} = T_F - T_{AVA}$

H_{PH} = ظرفیت گرمایش کل (Btu/hr)

ΔT= اختلاف دما (°F)

H_{HU} = ظرفیت گرمایی (Btu/hr)

H_{SL} = اتلاف گرمایی سطح استخر (Btu/hr)

V = حجم (gal.)

T_{UP} = زمان اولیه لازم برای گرم شدن آب استخر (ساعت)

ΔT_W = اختلاف دمای آب (°F)

ΔT_{W-A} = اختلاف دما بین آب و هوا (°F)

A = سطح استخر (فوت‌مربع)

T_F = دمای نهایی (°F)

T_{IN} = دمای اولیه (°F)

T_{PW} = دمای آب استخر (°F)

T_{AVA} = دمای میانگین هوا (°F)

اتلاف حرارت از سطح استخر روباز

بر اساس سرعت باد به میزان 3.5 مایل در ساعت

اختلاف دمای آب استخر و هوای محیط (°F)	10	15	20	25	30	35	40	50
اتلاف حرارت به ازای واحد سطح ($Btu/h.ft^2$)	105	158	210	263	315	368	420	525

- برای ســـرعت باد به میزان 5 مایل در ساعت، مقادیر در 1.25 ضرب می‌شود.
- برای ســـرعت باد به میزان 10 مایل در ســـاعت، مقادیر در 2 ضرب می‌شود.

تخمین سطح کلکتور خورشیدی استخر

سطح کلکتور می‌تواند نیمی از سطح استخر باشد.

● **مثال**: کلکتور خورشیدی استخری به مساحت $600ft^2$ ($30\ ft \times 20\ ft$) دارای $300\ ft^2$ سطح خواهد بود.

SOURCE:SOLAR ENERGY ASSOCIATION OF OREGON

سونا و جکوزی

دمای آب جکوزی	(36-40°C) (97-104°F)
سطح جکوزی به ازای هر نفر	$1\ m^2$
دبی هر نازل جکوزی	15 gpm - 20 gpm
دفعات تعویض آب جکوزی	هر یک ساعت دو بار
تعداد نازل به ازای هر متر مربع سطح	2-3 عدد
بار گرمایی سونای خشک به ازای هر متر مکعب	1100 Btu/hr
ظرفیت گرمکن برقی سونای خشک به ازای هر متر مکعب	1.4 kW
ظرفیت گرمکن مادون قرمز سونای خشک به ازای هر متر مکعب	0.6 kW
دفعات تعویض هوای سونای خشک	هر شش ساعت یک بار
توان مولد بخار به ازای هر متر مکعب سونای بخار	0.9 kW
مقدار بخار به ازای هر متر مکعب سونای بخار	1.4 kg/hr

نسبت دبی به سطح فیلتر شنی و دیاتومی

دامنه سرعت در فیلترهای شنی متداول	$2\ gpm/ft^2$- $8\ gpm/ft^2$
دامنه سرعت در فیلترهای شنی کند	$2\text{-}4\ gpm/ft^2$
دامنه سرعت در فیلترهای شنی سریع	$6\text{-}8\ gpm/ft^2$
حداکثر سرعت در فیلترهای شنی پربازده	$20\ gpm/ft^2$
سرعت معمول در فیلترهای دیاتومی	$2\ gpm/ft^2$

● **مثال**: سطح فیلتر شنی تندکار متداول برای استخری به حجم 24000

گالن که هر شش ساعت یک بار آب آن باید تعویض شود چه مقدار است؟

24000/6 = 4000 GPH

4000/60 = 67 gpm

چنانچه حداکثر جریان آب را برای فیلتر سریع متداول درنظر گیریم:

67 gpm/ 8 gpm/ ft^2 = 8.3 ft^2

مشخصات فیلتر شنی کند

ساخت شرکت کاریزاب

دبی پس‌شویی (m^3/hr)		دبی (m^3/hr)						
حداکثر	حداقل	4 gpm ft^2/	3 gpm ft^2/	2 gpm ft^2/	ارتفاع بستر (cm)	سطح مقطع (m^2)	ارتفاع (cm)	قطر (cm)
2.6	2.1	0.69	0.52	0.35	75	0.071	90	30
5.8	4.7	1.6	1.2	0.78	75	0.159	90	45
10.4	8.3	2.8	2.1	1.4	85	0.283	100	60
16.2	13.0	4.3	3.2	2.2	85	0.442	100	75
23.3	18.7	6.2	4.7	3.1	85	0.636	100	90
31.7	25.4	8.5	6.4	4.2	105	0.865	150	105
41.5	33.2	11.1	8.3	5.5	105	1.131	150	120
52.5	42.0	14.0	10.5	7.0	105	1.431	150	135
64.8	51.8	17.2	13.0	8.6	105	1.767	150	150
93.3	74.7	24.9	18.7	12.4	105	2.545	150	180
127	102	33.9	25.4	16.9	105	3.464	150	210
159	127	42.4	31.8	21.2	105	4.337	150	235
210	168	60.0	42.0	28.0	105	5.726	150	270
268	214	71.5	53.6	35.7	105	7.306	150	305

مرجع: کاتالوگ شرکت کاریزاب (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

مشخصات نوعی فیلتر شنی سریع

ساخت شرکت حرارت گستر

قطر (in)	ارتفاع (ft–in)	سطح کف تقریبی موردنیاز (ft/in)	وزن ناخالص درحال کار (lb)	دبی به ازای 6gpm/ ft^2(gpm)	دبی پس‌شویی (gpm)
16	4-2	2-8 × 6-0	620	8	13
20	4-4	2-8 × 6-0	775	13	21
24	4-6	3-0 × 6-7	985	19	30
28	4-8	3-0 × 6-7	1300	26	42
30	4-10	3-6 × 7-11	2000	30	49
36	5-0	4-0 × 8-5	2800	42	71
42	5-2	4-6 × 9-0	3800	60	96
48	5-5	5-0 × 9-7	4900	78	126
54	5-9	5-6 × 10-6	6500	96	159
60	5-11	6-0 × 11-1	8000	120	196
66	6-3	6-6 × 11-7	9600	144	237
72	6-6	7-0 × 12-7	11800	168	283
78	6-9	7-6 × 13-2	14400	198	332
84	7-0	8-0 × 13-8	16700	228	385
90	7-3	8-6 × 14-2	19500	264	440
96	7-4	9-0 × 14-8	22000	300	500

مرجع: کاتالوگ شرکت حرارت گستر (برای اطلاع از آخرین تغییرات احتمالی به پایگاه اینترنتی و یا به به‌روزترین کاتالوگ این شرکت مراجعه شود.)

❋ ❋ ❋

۶-۵

اتاق‌های تمیز

اتاق‌های تمیز به عنوان فضاهای کاملا کنترل‌شده، پاک و عاری از ذرات، موارد کاربرد متعددی در صنایع و آزمایشگاه‌های مختلف دارند.

در این گونه اماکن فارغ از تجهیزات تهویه‌مطبوع مناسب و نیز شبکه کانال‌های هوای رفت، برگشت و تخلیه و همچنین لوله‌کشی گازهای مختلف و سایر سرویس‌های معمول آب و فاضلاب، فیلترها نقش اصلی را ایفا می‌کنند که اطلاعات مربوط به آن‌ها پیش از این در بخش 28-3 ارائه شده است.

اغلب، شرایط اتاق‌های تمیز چنین حکم می‌کند که برای تامین گرمایش، سرمایش و تهویه‌مطبوع از هواسازهای یک منطقه‌ای با کوئل انبساط مستقیم و کوئل دوباره گرمکن استفاده شود تا امکان تنظیم اختصاصی دما و رطوبت مهیا شده و در عین حال از نقطه نظر تامین سرمایش، خودکفا و بی‌نیاز از سیستم مرکزی باشد؛ اما تحت شرایط مناسب، بهره‌گیری از سیستم و تجهیزات مولد مرکزی نیز امکان‌پذیر است. چنانچه دو یا چند اتاق تمیز از نظر کلاس ذرات، موقعیت جغرافیایی و ساعات کاربری دارای شرایط مشابه‌ای باشند، استفاده از هواساز چند منطقه‌ای به دلیل کاهش سطح اشغال و هزینه‌های اولیه مقرون به صرفه خواهد بود؛ اما اغلب احتمال چنین شرایط همگون و متناسبی کمتر به وجود می‌آید.

معرفی و مقایسه استانداردهای مختلف اتاق‌های تمیز

ISO	آلمان	فرانسه	استرالیا	انگلیس	آمریکا	آمریکا
	VD 1.2083	X 44101	AS 1386	BS 5295	209 E	209 D
–	0	–	–	–	–	–
3	1	–	0.035	C	m 1.5	1
4	2	–	0.35	D	m 2.5	10
5	3	4000	3.5	E یا F	m 3.5	100
6	4	–	35	E یا H	m4.5	1000
7	5	400000	350	J	m 5.5	10000
8	6	4000000	3500	K	m 6.5	100000

SOURCE: CLEAN ROOM TECHNOLOGY - BILL WHYTE

طبقه‌بندی اتاق‌های تمیز براساس 209 E (استاندارد آمریکا)

کلاس		اندازه ذرات برحسب میکرومتر				حداکثر ذرات در واحد حجم (m^3) و (ft^3)					
SI	انگلیسی	0.1 mm		0.2 mm		0.3 mm		0.5 mm		5 mm	
		m^3	ft^3	m^3	ft^3	m^3	ft^3	m^3	ft^3	m^3	ft^3
M1	–	350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10.0	0.283	–	–
M1.5	1	1240	35.0	265	7.50	106	3.00	35.3	1.00	–	–
M2	–	3500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	–	–
M2.5	10	12400	350	2650	75.0	1060	30.0	353	10.0	–	–
M3	–	35000	991	7570	214	3090	87.5	1000	28.3	–	–
M3.5	100	–	–	26500	750	10600	300	3530	100	–	–
M4	–	–	–	75700	2140	30900	875	10000	283	–	–
M4.5	1000	–	–	–	–	–	–	35300	1000	247	7.00
M5	–	–	–	–	–	–	–	100000	2830	618	17.5
M5.5	10000	–	–	–	–	–	–	353000	10000	2470	70.0
M6	–	–	–	–	–	–	–	1000000	28300	6180	175
M6.5	100000	–	–	–	–	–	–	3350000	100000	24700	700
M7	–	–	–	–	–	–	–	10000000	283000	61800	1750

SOURCE: CLEAN ROOM TECHNOLOGY - BILL WHYTE

طبقه‌بندی اتاق‌های تمیز بر اساس 209 D (استاندارد آمریکا)

کلاس	اندازه ذرات میکرومتر		تعداد ذره در واحد حجم (ft^3)		
	0.1	0.2	0.3	0.5	5.0
1	35	7.5	3	1	–
10	350	75	30	10	–
100	–	750	300	100	–
1000	–	–	–	1000	7
10000	–	–	–	10000	70
100000	–	–		100000	700

SOURCE: CLEAN ROOM TECHNOLOGY - BILL WHYTE

طبقه‌بندی اتاق‌های تمیز براساس استاندارد BS 5295

استاندارد انگلستان

کلاس	(اندزه ذرات برحسب میکرومتر)		حداکثر ذرات در واحد حجم (m^3)		
	0.3 mm	0.5 mm	5 mm	10 mm	25 mm
C	100	35	0	–	–
D	1000	350	0	–	–
E	10000	3500	0	–	–
F	–	3500	0	–	–
G	100000	35000	200	0	–
H	–	35000	200	0	–
J	–	350000	2000	450	0
K	–	3500000	20000	4500	500
L	–	–	200000	4500	5000
M	–	–	–	450000	50000

SOURCE: CLEAN ROOM TECHNOLOGY - BILL WHYTE.

طبقه‌بندی اتاق‌های تمیز بر اساس استاندارد ISO

استاندارد بین‌المللی (ISO 14644 - 1)

شماره	(اندازه ذرات، میکرو متر)			حداکثر ذرات در مترمکعب (m^3)		
	0.1 mm	0.2 mm	0.3 mm	0.5 mm	1 mm	5.0 mm
ISO1	10	2	–	–	–	–
ISO2	100	24	10	4	–	–
ISO3	1000	237	102	35	8	–
ISO4	10000	2370	1020	352	83	–
ISO5	100000	23700	10200	3520	832	29
ISO6	100000	237000	102000	35200	8320	293
ISO7	–	–	–	352000	83200	2930
ISO8	–	–	–	3520000	832000	29300
ISO9	–	–	–	35200000	8320000	293000

SOURCE: CLEAN ROOM TECHNOLOGY - BILL WHYTE.

محاسبه حداکثر ذره در استاندارد ISO

$$C_N = 10^{N} \left[0.1/D \right]^{2.08}$$

C_N= تعداد حداکثر ذره

N= شماره استاندارد ISO

D = اندازه ذره برحسب میکرومتر

حداکثر تعداد ذرات در واحد حجم اتاق‌های تمیز

براساس استاندارد اتحادیه اروپا

کلاس	تعداد ذره در واحد m^3	اندازه ذرات بر حسب میکرومتر	استاندارد معادل
	0.5	5.0	
A	3500	0	ISO 5-M3.5-CLASS 100
B	3500	0	ISO 5-M3.5-CLASS 100
C	350000	2000	ISO 7- M5.5- CLASS 10000
D	3500000	20000	ISO 8-M6.5-CLASS100000

نرخ تعویض هوا و سرعت هوا در اتاق‌های تمیز

براساس ISO 146144 - 1 و 209 E

کلاس اتاق تمیز	میانگین سرعت هوا	تعویض هوا در ساعت
ISO8 (100000)	0.005 - 0.041 m/s (1 - 8 ft/min)	5 - 48
ISO7 (10000)	0.051 - 0.076 m/s (10 - 15 ft/min)	60 - 90
ISO6 (1000)	0.127 - 0.203 m/s (25 - 40 ft/min)	150 - 240
ISO5 (100)	0.203 - 0.406 m/s (40 - 80 ft/min)	240 - 480
ISO4 (10)	0.254 - 0.457 m/s (50 - 90 ft/min)	300 - 540
ISO3 (1)	0.305 - 0.457 m/s (60 - 90 ft/min)	360 - 540
ISO1 - 2	0.305 - 0.508 m/s (60 - 100 ft/min)	360 - 600

اعداد داخل پرانتز مربوط به استاندارد آمریکایی 209 E است.

SOURCE: INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL SCIENCE.

کیفیت هوا بر اساس تعداد ذرات

اندازه ذره (میکرون)	هوای کثیف	هوای معمولی	هوای تمیز
>0.1	10،000،000،000	3،000،000،000	500،000،000
>0.3	300،000،000	90،000،000	20،000،000
>0.5	30،000،000	7،000،000	1،000،000

حداقل تناوب زمانی آزمایش اتاق‌های تمیز

پایش ذرات در هوا	هر شش ماه	اختلاف فشار هوا	روزانه
آزمایش فیلترهای هپا	هر سال	دما و رطوبت	روزانه
آزمایش نرخ تعویض هوا	هر شش ماه	پایش میکروبیولوژیک	روزانه

پوشش فیلترها در سقف اتاق‌های تمیز

کلاس	درصد پوشش سقف
ISO8 (100000)	5 - 15٪
ISO7 (10000)	15 - 20٪
ISO6 (1000)	25 - 40٪
ISO5 (100)	35 - 70٪
ISO4 (10)	50 - 90٪
ISO3 (1)	60 - 100٪
ISO1 - 2	80 - 100٪

SOURCE: INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL SCIENCE.

تعداد ذرات رهاشده از بدن انسان ناشی از فعالیت‌های مختلف

نوع فعالیت	تعداد ذرات رهاشده بزرگتر یا برابر 0.5 میکرون در دقیقه
در حالت نشسته و بدون حرکت	100000
در حالت نشسته با حرکت گردشی بازوان	500000
نشست و برخاست	2500000
راه رفتن، دویدن و از پله پایین آمدن	10000000

SOURCE: INTRODUCTION TO CONTAMINATION CONTROL AND CLEANROOM TECHNOLOGY. MATTS RAMSTOP

مقایسه تعداد ذرات موجود در چند شرایط نمونه

مکان	تعداد ذرات برابر یا بزرگتر از 0.5 میکرون در هر فوت‌مکعب
مناطق صنعتی	10000000
مناطق شهری	1000000
مناطق کوهستانی	100000
کره ماه	100

SOURCE: INTRODUCTION TO CONTAMINATION CONTROL AND CLEANROOM TECHNOLOGY. MATTS RAMSTOP

* * *

۵-۷

سردخانه

سردخانه‌ها در انواع مختلف کاربرد بسیار گسترده‌ای در اماکن تجاری، صنعتی، درمانی و آموزشـــی دارند؛ اما اصول محاسباتی گونه‌های مختلف بـــا کاربردهای متنوع چندان تفاوتی با یکدیگر ندارند. بار گرمایی ناشـــی از هدایت جداره‌ها و تابش خورشید، بار گرمایی ناشی از تعویض و نفوذ هوا، بار گرمایی ناشـــی از محصولاتی که در سردخانه انبار می‌شوند، بارهای گرمایی ناشی از روشنایی و تجهیزات مانند فن اواپراتور و همچنین گرمای ناشی از حضور کارکنان همگی مواردی هســـتند که می‌باید در محاسبات سردخانه یک به یک و به دقت تعیین شوند.

تخمین بار سردخانه

در صورت نامشخص بودن بار گرمایی ناشی از محصولات انبار شده و یا تغییرات پیوسته روزانه آن، می‌توان از روش سریع‌تر و ساده‌تری برای تخمین بار و ظرفیت ســـردخانه استفاده نمود. دراین روش بارها به دو دسته کلی، **بارگرمای جدار** و **بار کاربری** تقســـیم می‌شوند که هر یک باید به روشی که خواهد آمد به طور جداگانه محاسبه و سپس با هم جمع شوند.

بار گرمایی جدار

بار گرمایی جدار شـــامل دیواره‌ها، سقف و کف از طریق رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$Q_w = AU(\Delta t)$$

Q_w = بار گرمایی جدار بر حسب وات (W)
A = مساحت دیواره‌ها، سقف و کف بر حسب متر مربع (m^2)
U = ضریب انتقال حرارت بر حسب وات بر متر مربع درجه کلوین ($W/m^2.K$)
Δt= اختلاف دمای داخل و خارج بر حسب درجه کلوین (K)

در روش محاسبه سریع برای تعیین ضریب انتقال حرارت (U) از دیواره‌های سردخانه که با مصالح بنایی ساخته شده‌اند و همینطور جهت آن‌ها صرف‌نظر می‌شود و به جای آن برای تعیین بار گرمایی جدار، مساحت تمامی سطوح اعم از کف، سقف و دیواره‌ها با هم جمع شده و در ضریب انتقال حرارت (U) عایق و اختلاف دما ضرب می‌شود. به این دلیل در این روش از ضریب اطمینان جداگانه‌ای در پایان محاسبات استفاده نمی‌شود.

برای تعیین ضریب انتقال حرارت (U) ابتدا مقدار هدایت گرمایی عایق را از جدول (1) استخراج و سپس با توجه به ضخامت عایق به جدول (2) مراجعه کنید.

جدول (1) هدایت گرمایی عایق (K)

نوع عایق	قابلیت هدایت گرمایی (K) (W/mK)
عایق پتویی از الیاف پشم شیشه معدنی یا پشم شیشه	0.039
عایق قالبی یا تخته‌ای از الیاف پشم معدنی یا پشم شیشه	0.039
عایق شیشه اسفنجی (Cellular glass)	0.058
عایق چوب پنبه	0.043
عایق پشم شیشه	0.036
عایق پلی‌استر (پلاستوفوم یا یونولیت با سطح صاف)	0.029
عایق پلی‌استر (پلاستوفوم یا یونولیت قطعه‌ای)	0.036
عایق پلی‌یورتان	0.025
عایق خمیر چوب یا کاغذ	0.039
عایق از سرباره و تراشه فلزات	0.065
عایق پشم معدنی و پشم سنگ کم‌پشت	0.039

SOURCE: PRINCIPLES OF REFRIGERATION-SECOND EDITION-ROY J.DOSSAT

جدول (2) ضریب انتقال گرما (U)

ضخامت عایق (mm)	قابلیت هدایت گرمایی (W/mK)							
	0.025	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050	0.055	0.060
25	0.732	0.834	0.931	1.013	1.091	1.163	1.229	1.289
50	0.420	0.489	0.556	0.617	0.675	0.731	0.784	0.834
75	0.295	0.346	0.397	0.443	0.489	0.533	0.576	0.617
100	0.227	0.267	0.308	0.346	0.383	0.420	0.455	0.489
125	0.182	0.218	0.252	0.283	0.315	0.346	0.376	0.405
150	0.153	0.184	0.213	0.240	0.267	0.294	0.320	0.346
175	0.136	0.159	0.185	0.208	0.232	0.256	0.279	0.302
200	0.119	0.140	0.163	0.184	0.206	0.227	0.247	0.267

SOURCE: PRINCIPLES OF REFRIGERATION- SECOND EDITION- ROY J.DOSSAT

برای عایق‌کاری سردخانه بیشتر از پلی‌یورتان و پلاستوفوم استفاده می‌شود. میانگین قابلیت هدایت گرمایی بین عایق‌های پلی‌یورتان، پلاستوفوم و پشم شیشه 0.033 وات بر متر کلوین است و چنانچه ضخامت عایق معمول سردخانه را 150 میلی‌متر فرض کنیم؛ مقدار (U) از میان‌یابی در جدول (2) برابر با 0.199 وات بر مترمربع‌کلوین تعیین خواهد شد. بر این اساس می‌توانیم رابطه محاسباتی بار گرمایی جدار را به صورت مشخص‌تر زیر برای عایق‌کاری به ضخامت 150 میلی‌متر چنین بنویسیم:

$$Q_w = 0.199\,A\,(\Delta t)$$

چنانچه رواج عایق‌کاری از جنس پلی‌یورتان، پلاستوفوم و پشم شیشه را پذیرفته و به تبع آن بپذیریم که مقدار قابلیت هدایت گرمایی (K) اغلب سردخانه‌ها با چنین عایق‌هایی بین 0.030 تا 0.035 وات بر متر کلوین است و از سوی دیگر ضخامت عایق‌کاری سردخانه‌ها را بین 100 تا 200 میلی‌متر بدانیم، می‌توانیم به جای استفاده از جداول (1) و (2) برای تعیین مقدار U به شکل ساده‌تری از جدول (3) استفاده کنیم. در این صورت با تعیین سریع

U، از راه کوتاه‌تری بار گرمایی ناشی از جدار (Q_w) محاسبه خواهد شد.

جدول (3) تعیین ضریب انتقال حرارت (U) برای محاسبه سریع‌تر

ضخامت عایق (mm)	قابلیت هدایت گرمایی (K)	
	0.030	**0.035**
100	0.267	0.308
125	0.218	0.252
150	0.184	0.213
175	0.159	0.185
200	0.140	0.163

بار کاربری

بار کاربری یا سرویس در واقع جایگزین مقادیر مربوط به بارهای ناشی از گرمای محصولات، بار ناشی از نفوذ و تعویض هوا، بار ناشی از تجهیزات و روشنایی و همینطور بار ناشی از حضور کارکنان است. به طور قطع برای انجام محاسبه‌ای دقیق می‌باید بار ناشی از هر یک از عوامل گرمازا به طور جداگانه تعیین و سپس با یکدیگر جمع شوند؛ اما در روش تخمینی و کوتاهی که از آن سخن به میان آمد، کافی است از رابطه زیر استفاده شود:

$$Q_U = VF_U(\Delta t)$$

Q_U = بار کاربری بر حسب وات (W)

V = حجم سردخانه بر حسب متر مکعب (m^3)

F_U = ضریب کاربری مستخرجه از جدول (4) بر حسب وات بر مترمکعب کلوین (W/m^3K)

(Δt) = اختلاف دما بر حسب ($^\circ C$)

در جدول (4) ضریب کاربری بر اساس سه گروه استفاده متوسط، سنگین و با ذخیره‌سازی طولانی مدت ارائه شده است. در استفاده متوسط، محصولات یا غذاها به صورت گرم وارد سردخانه نمی‌شود.

جدول (4) تعیین ضریب کاربری بر حسب وات بر متر مکعب حجم داخلی به ازای اختلاف دمای یک درجه کلوین بین هوای داخل و خارج

حجم سردخانه (m^3)	ضریب کاربری		ذخیره‌سازی طولانی
	متوسط	سنگین	
0.6	3.63	3.97	
0.85	2.56	3.57	
1.5	1.77	2.76	
2	1.44	2.24	
3	1.25	1.96	
6	1.07	1.72	
8.5	1.01	1.61	
11	0.96	1.52	
14	0.94	1.45	
17	0.91	1.44	
23	0.86	1.37	
28	0.85	1.30	
34	0.77	1.23	
43	0.71	1.16	
57	0.65		0.60
85	0.85		0.45
140			0.31
200			0.24
280			0.19
560			0.16
1400			0.14
2100			0.14
2800			0.13

بر اســاس سرویس سنگین و متوسط بار محصول براساس دمای محصول ورودی $5^{\circ}C$ بالاتر از دمای سردخانه در نظر گرفته شده است.

SOURCE: PRINCIPLES OF REFRIGERATION- SECOND EDITION- ROY J.DOSSAT

سردخانه‌های آزمایشـــگاهی گونه‌ای از ســـردخانه با استفاده متوسط محسوب می‌شوند. این‌گونه سردخانه‌ها به صورت متعارف و معمولی مورد اســـتفاده قرار می‌گیرند؛ اما در سردخانه‌ها با ســـرویس سنگین، استفاده بسیار بیشتر و مستمر است. در برخی سردخانه‌ها نیز زمان ماند محصولات نسبتا طولانی است و به صورت روزانه مورد استفاده قرار نمی‌گیرند.

- **مثال**

طول و عرض سردخانه:	$6m \times 4m$
ارتفاع سردخانه:	$3.4m$
نوع عایق:	پشم شیشه
ضخامت عایق:	$100mm$
دمای خارج:	$30\ ^{\circ}C$
دمای داخل:	$5\ ^{\circ}C$
نوع کاربری و سرویس:	متوسط

ابتدا بار گرمایی ناشی از جدار را محاسبه می‌کنیم:

$$Q_w = AU(\Delta t)$$

از آنجا که ابعاد ســـردخانه $6m \times 4m \times 3.4m$ اســـت؛ مساحت جدارها شامل دیوارها، سقف و کف $116m^2$خواهد شد:

$$A = [(6\times3.4\times2)+(4\times3.4\times2)+(6\times4\times2)] = 116\ m^2$$

مقدار (k) از جدول (1) برابر 0.036 متر بر وات کلوین تعیین می‌شـــود و بـــا توجه به ضخامـــت 100 میلی‌متر عایق می‌توان از جـــدول (2) مقدار (U) را تعیین نمود. مطابق جـــدول مقدار ضریب انتقال (U) تقریبا برابر با $0.31W/m^2K$ است. بنابراین:

$$A = [(6\times3.4\times2)+(4\times3.4\times2)+(6\times4\times2)] = 116\ m^2 \text{ یا } 0.899\ kW$$

پس از تعیین بار جدار می‌باید بار کاربرد تعیین شود:

$$Q_U = VF_U(\Delta t)$$

حجم سردخانه با توجه به ابعاد آن 60.5 مترمکعب است، بنابراین می‌توان از طریق جدول (4) ضریب کاربری (F_U) را تعیین نمود. با میان‌یابی در جدول (4) بر اساس حجم 60.5 متر مکعب مقدار (F_U) برابر $0.642 W/m^3K$ تعیین می‌شود:

$$Q_U = (60.5 m^3)(0.642\ W/m^3K)(30°C - 5°C) = 971 W \quad \text{یا} \quad 0.971\ kW$$

بنابراین بار کل سردخانه برابر با 1.87 kW خواهد بود:

$$Q_T = Q_W + Q_U$$
$$= 0.899\ kW + 0.971\ kW = 1.87\ kW$$

تخمین بار سردخانه با آحاد انگلیسی

فارغ از امکان تبدیل واحدهای (SI) و متریک به آحاد انگلیسی می‌توان بار سردخانه را از ابتدا با آحاد انگلیسی نیز تخمین زد. این روش نیز اختلاف چندانی با روش پیشین ندارد به جز آن که برای تعیین بار گرمایی ناشی از جدار و بار گرمایی کاربرد از ضرایب مشخص و از پیش تعریف شده‌ای که در جداول (5) و (6) گرد آمده‌اند استفاده می‌شود. به این دلیل می‌توان این روش را ساده‌تر از روش پیشین دانست.

در این روش بار گرمایی ناشی از جداره‌ها از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_W = AF_W$$

Q_W = بار گرمایی جدار بر حسب (Btu/24hr)
A = مساحت جدار بر حسب (ft^2)
F_W = ضریب اخذ گرمای جدار مستخرجه از جدول (5)
بر حسب (Btu/ft^2 24hr)

در این روش قابلیت هدایت گرمایی (K) به طور ثابت برابر (0.3) در نظر گرفته می‌شود و برای تعیین بار گرمایی کافی است مجموع مساحت دیواره‌ها، کف و سقف را در ضریب مستخرجه از جدول (5) بر اساس ضخامت عایق بر حسب اینچ و اختلاف دما بر حسب درجه فارنهایت ضرب نمود.

بار گرمایی کاربرد نیز از طریق رابطه زیر تعیین می‌شود:

$Q_U = VF_U$

Q_U = بار کاربرد بر حسب (btu/24hr)
V = حجم سردخانه بر حسب (ft^3)
F_U = ضریب کاربری مستخرجه از جدول (6) بر حسب (Btu/ft^3 24hr)

ضریب کاربری از جدول (6) بر اساس اختلاف دما و نوع سرویس که ممکن است متوسط، سنگین و یا با زمان ذخیره طولانی باشد تعیین می‌شود.

جدول (5) ضریب گرمایی جدار $Btu/ft^2\ 24hr$

ضخامت عایق با قابلیت هدایت گرمایی 0.3 بر حسب (in)	اختلاف دما (°F)																	
	1	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
3	2.4	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240	252	264	276	288
4	1.8	72	81	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171	180	189	198	207	216
5	1.44	58	65	72	79	87	94	101	108	115	122	130	137	144	151	159	166	173
6	1.2	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144
7	1.03	41	46	52	57	62	67	72	77	82	88	93	98	103	108	113	118	124
8	0.90	36	41	45	50	54	59	63	68	72	77	81	86	90	95	99	104	108
9	0.80	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96
10	0.72	29	32	36	40	43	47	50	54	58	56	65	68	72	76	79	83	86
11	0.66	26	30	33	36	40	43	46	50	53	61	60	63	66	69	73	76	79
12	0.60	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72
13	0.55	22	25	28	30	33	36	39	41	44	47	50	52	55	58	61	63	66
14	0.51	20	23	26	28	31	33	36	38	41	43	46	49	51	54	56	59	61

جدول (6) تعیین ضریب کاربری (F_U) بر حسب Btu/ft^3 24hr

حجم (ft^3)	نوع سرویس	اختلاف دما (°F)										
		1	40	50	55	60	65	70	75	80	90	100
20	متوسط	4.68	187	234	258	281	305	328	351	374	421	468
	سنگین	5.51	220	276	303	331	358	386	413	441	496	551
30	متوسط	3.30	132	165	182	198	215	231	248	264	297	330
	سنگین	4.56	182	228	251	274	297	319	342	365	410	456
50	متوسط	2.28	91	114	126	137	148	160	171	182	205	228
	سنگین	3.55	142	177	196	213	231	249	267	284	320	355
75	متوسط	1.85	74	93	102	111	120	130	139	148	167	185
	سنگین	2.88	115	144	158	173	188	202	216	230	259	288
100	متوسط	1.61	69	81	84	97	105	113	121	129	145	161
	سنگین	2.52	101	126	139	151	164	176	189	202	227	252
200	متوسط	1.38	55	69	76	83	90	97	103	110	124	138
	سنگین	2.22	90	111	122	133	144	155	166	178	200	222

← ادامه

ادامه‌ی جدول (6) تعیین ضریب کاربری (F_U) بر حسب Btu/ft^3 24hr

حجم (ft^3)	نوع سرویس	اختلاف دما (°F)										
		1	**40**	**50**	**55**	**60**	**65**	**70**	**75**	**80**	**90**	**100**
300	متوسط	1.30	52	65	71.5	78	84.5	91	97.5	104	117	130
	سنگین	2.08	83.2	104	114	125	135	146	156	166	187	208
400	متوسط	1.24	49.6	62	68.2	74.4	80.6	86.8	93	99.2	112	124
	سنگین	1.96	78.4	98	108	118	128	137	147	157	176	196
500	متوسط	1.21	48.4	60.5	66.8	72.6	78.7	84.7	90.7	96.8	109	121
	سنگین	1.87	74.8	93.5	103	112	122	131	140	150	168	187
600	متوسط	1.17	46.8	58.5	64	70	76	82	88	94	105	117
	سنگین	1.85	74.0	92.5	102	111	120	130	139	148	167	185
800	متوسط	1.11	44.4	55.5	61.1	66.6	72.2	77.7	83.3	88.8	100	111
	سنگین	1.76	70.4	88.0	96.8	100	115	123	132	141	158	176
1000	متوسط	1.10	44.0	55.0	60.5	66	71.5	77	82.5	88	99	110
	سنگین	1.67	66.8	83.5	91.9	100	108	117	125	134	150	167

← ادامه

ادامه‌ی جدول (6) تعیین ضریب کاربری (F_U) بر حسب Btu/ft^3 24hr

حجم (ft^3)	نوع سرویس	اختلاف دما (°F)										
		1	40	50	55	60	65	70	75	80	90	100
1200	متوسط	0.995	39.8	49.8	54.7	59.7	64.7	69.7	74.7	79.6	89.6	99.5
	سنگین	1.58	63.2	79.0	86.9	94.8	103	111	119	126	142	158
1500	متوسط	0.920	36.8	46.0	50.6	55.2	59.8	64.4	69	73.6	82.8	92
	سنگین	1.50	60.0	75.0	82.5	90.0	97.5	105	113	120	135	150
2000	متوسط	0.835	33.4	41.8	45.9	50.1	54.3	58.5	62.7	66.8	75.2	83.5
	ذخیره‌سازی طولانی	0.775	31.0	38.8	42.6	46.5	50.4	54.3	58.1	62	69.8	77.5
3000	متوسط	0.750	30.0	37.5	41.3	45.0	48.8	52.5	56.2	60.0	67.5	75.0
	ذخیره‌سازی طولانی	0.576	23.0	28.8	31.7	34.6	37.3	40.3	43.2	46.1	51.8	57.0
5000	ذخیره‌سازی طولانی	0.403	16.1	20.2	22.2	24.2	26.2	28.2	30.2	32.2	36.3	40.3
7500	ذخیره‌سازی طولانی	0.305	12.2	15.3	16.8	18.3	19.8	21.4	22.9	24.4	27.5	30.5

← ادامه

ادامه‌ی جدول (6) تعیین ضریب کاربری (F_U) بر حسب Btu/ft^3 24hr

حجم (ft^3)	نوع سرویس	اختلاف دما (°F)										
		1	40	50	55	60	65	70	75	80	90	100
10000	ذخیره‌سازی طولانی	0.240	9.6	12.0	13.2	14.4	15.6	16.8	18.0	19.2	21.6	24.0
20000	ذخیره‌سازی طولانی	0.187	7.48	9.35	10.3	11.2	12.2	13.1	14.0	15.0	16.8	18.7
50000	ذخیره‌سازی طولانی	0.178	7.12	8.90	9.79	10.7	11.6	12.5	13.4	14.2	16.0	17.8
75000	ذخیره‌سازی طولانی	0.176	7.04	8.80	9.68	10.6	11.5	12.3	13.2	14.1	15.8	17.6
100000	ذخیره‌سازی طولانی	0.173	6.92	8.65	9.52	10.4	11.2	12.1	13.0	13.8	15.6	17.3

تعیین ظرفیت و انتخاب تجهیزات

پس از تعیین بار می‌باید ظرفیت تجهیزات را بر اســـاس ساعات کار آن‌ها در شبانه‌روز به دست آورد. به این منظور می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$\text{ظرفیت تجهیزات} = \frac{(\text{بار کل}) \times (24 \text{ ساعت})}{\text{ساعت کار در شبانه روز}}$$

به طور معمول ســـاعات کارکرد تجهیزات ســـردخانه شامل کمپرسور، کندانســـور و اواپراتور بین 16 تا 22 ســـاعت در نظر گرفته می‌شـــود. برای سردخانه‌های بالای صفر این مقدار بین 20 تا 22 ساعت و برای سردخانه‌های زیر صفر بین 16 تا 20 ساعت در شبانه‌روز در نظر گرفته می‌شود.

ضریب معادل گرمایی الکتروموتور در سردخانه (SI)

توان خروجی الکتروموتور (kW)	بازده (٪)	ضریب	
		الکتروموتور و فن در داخل سردخانه	الکتروموتور خارج و فن در داخل سردخانه
0.1-0.5	33.3	1.67	1.0
0.5-2.0	55.0	1.45	1.0
2.0-15.0	85.0	1.15	1.0

$$\text{گرمای ناشی از کارکرد الکتروموتور} = \frac{\text{ساعت کار الکتروموتور}}{24} \text{ (ضریب معادل) (توان خروجی الکتروموتور)}$$

SOURCE: PRINCIPLES OF REFRIGERATION-SECOND EDITION-ROY J.DOSSAT

گرمای ناشی از الکتروموتور در سردخانه (IP)

توان الکتروموتور (hp)	معادل حرارتی (Btu/hp.hr)	
	الکتروموتور و فن در داخل سردخانه	الکتروموتور در خارج و فن در داخل سردخانه
$^1/_8$-$^1/_2$	4250	2545
$^1/_2$ - 3	3700	2545
3 - 20	2950	2545

SOURCE: PRINCIPLES OF REFRIGERATION-ROY J.DOSSAT

میانگین نرخ هوای نفوذی به داخل سردخانه هنگام باز شدن در

حجم سردخانه (m^3)	نرخ نفوذ هوا lit/s	
	سردخانه بالای صفر درجه سلسیوس	سردخانه زیر صفر درجه سلسیوس
7	3.1	2.3
8.5	3.4	2.6
10	3.7	2.8
15	4.4	3.3
20	5.0	3.8
25	5.5	4.2
30	5.9	4.6
40	6.8	5.4
50	7.5	5.8
75	9.0	6.9
100	10.2	7.9
150	12.2	9.4
200	13.9	10.9
250	15.3	11.9
300	16.7	12.9
400	19.0	14.9
500	21.4	16.8
600	23.6	18.1
700	24.3	18.6
800	25.9	20.4
900	27.1	21.9
1000	28.9	23.1

برای سردخانه‌هایی که دارای پیش‌ورودی هستند نرخ‌های مندرج در جدول تا 50 درصد کاهش می‌یابد و برای سرویس‌های سنگین تا 50 درصد افزایش می‌یابد.

SOURCE: PRINCIPLES OF REFRIGERATION-SECOND EDITION-ROY J.DOSSAT

ضریب معادل گرمایی ناشی از حضور افراد در سردخانه (SI)

دمای سردخانه (°C)	ضریب معادل به ازای هر نفر (kW)
10	0.211
5	0.242
0	0.275
(-5)	0.305
(-10)	0.347
(-15)	0.378
(-20)	0.407

گرمای ناشی از حضور افراد = (ضریب معادل) (تعداد نفرات) (ساعت حضور افراد/24)

SOURCE: PRINCIPLES OF REFRIGERATION-ROY J.DOSSAT

گرمای ناشی از حضور افراد در سردخانه (IP)

دمای سردخانه (°F)	گرمای معادل به ازای هر نفر (Btu/hr)
50	720
40	840
30	950
20	1050
10	1200
0	1300
(-10)	1400

گرمای ناشی از حضور افراد = (گرمای معادل) (تعداد نفرات) × 24

SOURCE: PRINCIPLES OF REFRIGERATION-ROY J.DOSSAT

شرایط طراحی سردخانه برای برخی میوه‌ها

نوع	نوع نگهداری	دمای توصیه شده °C	دمای توصیه شده °F	گرمای ویژه قبل از انجماد kJ/kgK	گرمای ویژه قبل از انجماد Btu/lb°F	گرمای ویژه بعد از انجماد kJ/kgK	گرمای ویژه بعد از انجماد Btu/lb°F	گرمای نهان kJ/g	گرمای نهان Btu/lb
سیب	کوتاه	1.75	35	3.72	0.89	1.82	0.43	9.3	4.0
	طولانی	-1	30	3.72	0.89	1.82	0.43	0.46	0.2
زردآلو	کوتاه	1.75	35	3.85	0.92	2.1	0.50	9.3	4.0
	طولانی	0	32	3.85	0.92	2.1	0.50	0.70	0.3
آواکادو	کوتاه	4.5	40	3.81	0.91	2.1	0.49	10.46	4.5
	طولانی	3.25	38	3.81	0.91	2.1	0.49	0.70	0.3
موز	در حال رسیدن	21	70	3.77	0.90	–	–	4.65	2.0
	رسیده	13.5	56	3.77	0.90	–	–	2.32	1.0
	سبز	13.5	56	3.77	0.90	–	–	2.32	1.0
توت	کوتاه	1.75	35	3.77	0.90	2.1	0.49	14.64	6.3
	طولانی	0	32	3.77	0.90	2.1	0.49	0.70	0.3
خرما	کوتاه	1.75	35	1.46	0.35	–	–	0.23	0.10
	طولانی	-2.25	28	1.46	0.35	–	–	0.12	0.05
انجیر	کوتاه	4.5	40	2.97	0.71	1.84	0.44	11.62	5.0
	طولانی	1.0	34	2.97	0.71	1.84	0.44	0.93	0.4
انگور	کوتاه	1.75	35	3.77	0.90	2.55	0.61	11.62	5.0
	طولانی	-0.6	31	3.77	0.90	2.55	0.61	0.93	0.4

← ادامه

شرایط طراحی سردخانه برای برخی میوه‌ها (ادامه)

نوع	نوع نگهداری	دمای توصیه شده		گرمای ویژه				گرمای نهان	
				قبل از انجماد		بعد از انجماد			
		°C	°F	kJ/kgK	Btu/lb°F	kJ/kgK	Btu/lb°F	kJ/g	Btu/lb
لیمو	کوتاه	12.75	55	3.81	0.91	2.1	0.49	6.97	3.0
	طولانی	12.75	55	3.81	0.91	2.1	0.49	0.70	0.3
لیموترش	کوتاه	7.25	45	3.81	0.91	2.1	0.49	9.30	4.0
	طولانی	7.25	45	3.81	0.91	2.1	0.49	0.46	0.2
پرتقال	کوتاه	4.5	40	3.81	0.91	1.84	0.44	9.30	4.0
	طولانی	0	32	3.81	0.91	1.84	0.44	0.70	0.3
هلو	کوتاه	1.75	35	3.81	0.91	1.72	0.41	11.85	5.1
	طولانی	0	32	3.81	0.91	1.72	0.41	0.70	0.3
گلابی	کوتاه	1.75	35	3.81	0.91	2.1	0.49	13.95	6.0
	طولانی	0.5	31	3.81	0.91	2.1	0.49	0.70	0.3
آناناس	کوتاه	4.5	40	3.77	0.90	2.1	0.50	6.97	3.0
	طولانی	4.5	40	3.77	0.90	2.1	0.50	0.23	0.1
به	کوتاه	1.75	35	3.77	0.90	2.1	0.50	9.29	4.0
	طولانی	0	32	3.77	0.90	2.1	0.50	0.70	0.3
میوه‌های خشک	کوتاه	1.75	35	1.9	0.47	1.34	0.32	0.23	0.10
	طولانی	0	32	1.9	0.47	1.34	0.32	0.16	0.7

SOURCE: PRINCIPLES OF REFRIGERATION-ROY J.DOSSAT

شرایط سردخانه برای برخی سبزیجات

نوع	نوع نگهداری	دمای توصیه شده		گرمای ویژه				گرمای نهان	
				قبل از انجماد		بعد از انجماد			
		°C	°F	kJ/kgK	Btu/lb°F	kJ/kgK	Btu/lb°F	kJ/g	Btu/lb
حبوبات سبز	زمان کوتاه	4.5	40	3.64	0.87	1.97	0.47	6.97	3.0
	زمان طولانی	0.5	32	3.64	0.87	1.97	0.47	1.63	0.7
چغندر	زمان کوتاه	4.5	40	3.77	0.90	2.01	0.48	4.65	2.0
	زمان طولانی	0	32	3.77	0.90	2.01	0.48	0.70	0.3
کلم	زمان کوتاه	1.75	35	3.89	0.93	1.97	0.47	16.30	7.0
	زمان طولانی	0	32	3.89	0.93	1.97	0.47	1.16	0.5
کرفس	زمان کوتاه	1.75	35	3.81	0.91	1.92	0.46	9.30	4.0
	زمان طولانی	0	32	3.81	0.91	1.92	0.46	2.32	1.0
ذرت سبز	زمان کوتاه	1.75	35	3.60	0.86	1.59	0.38	16.30	7.0
	زمان طولانی	0	32	3.60	0.86	1.59	0.38	1.16	0.5
خیار	زمان کوتاه	10	50	3.89	0.93	2.01	0.48	6.97	3.0
	زمان طولانی	7.25	45	3.89	0.93	2.01	0.48	0.46	0.2
کاهو	زمان کوتاه	1.75	35	3.77	0.90	1.92	0.46	16.3	7.0
	زمان طولانی	1.75	35	3.77	0.90	1.92	0.46	2.32	1.0
پیاز	زمان کوتاه	10	50	3.81	0.91	2.13	0.51	4.65	2.0
	زمان طولانی	0	32	3.81	0.91	2.13	0.51	0.46	0.2

← ادامه

شرایط سردخانه برای برخی سبزیجات (ادامه)

نوع	نوع نگهداری	دمای توصیه شده		گرمای ویژه				گرمای نهان	
				قبل از انجماد		بعد از انجماد			
		°C	°F	kJ/kgK	Btu/lb/°F	kJ/kgK	Btu/lb °F	kJ/g	Btu/lb
اسفناج	زمان کوتاه	1.75	35	3.85	0.92	2.13	0.51	16.30	7.0
	زمان طولانی	0	32	3.85	0.92	2.13	0.51	1.16	0.5
گوجه فرنگی سبز	زمان کوتاه	12.75	55	3.85	0.92	1.92	0.46	6.97	3.0
	زمان طولانی	12.75	55	3.85	0.92	1.92	0.46	1.16	0.4
گوجه فرنگی رسیده	زمان طولانی	7.25	45	3.85	0.92	1.92	0.46	6.97	3.0
سبزی مخلوط	زمان طولانی	4.5	40	3.77	0.90	1.88	0.45	11.60	5.0
رسیده	زمان کوتاه	1.75	35	3.77	0.90	1.88	0.45	2.79	1.2

SOURCE: PRINCIPLES OF REFRIGERATION-ROY J.DOSSAT

شرایط طراحی سردخانه برای مواد گوشتی

نوع	نوع نگهداری	دمای توصیه شده		گرمای ویژه				گرمای نهان	
				قبل از انجماد		بعد از انجماد			
		°C	°F	kJ/kgK	Btu/lb°F	kJ/kgK	Btu/lb°F	kJ/g	Btu/lb
گوشت گاو	شروع سرمایش	3.25	38	3.14	0.75	1.67	0.4	1.74	18.0
گوشت خشک شده گاو	زمان طولانی	12.75	55	0.92 - 1.42	0.24- 0.22	0.79- 1.09	19.26	0.23	0.1
گوشت تازه گاو	زمان کوتاه	1.75	35	3.14	0.75	1.67	0.40	11.60	5.0
	زمان بلند	-1.0	30	3.14	0.75	1.67	0.40	3.95	1.7
گوشت نمک سود	زمان کوتاه	4.5	40	3.14	0.75	-	-	2.32	1.0
	زمان بلند	-0.5	31	3.14	0.75	-	-	1.86	1.0
ماهی منجمد	زمان طولانی	-18.0	0	3.18	0.76	1.72	0.41	0.23	0.1
گوشت گوسفند	زمان کوتاه	1.0	34	2.80	0.67	1.26	0.30	7.90	3.4
	زمان طولانی	-2.25	28	2.80	0.67	1.26	0.30	3.02	1.3
دل و جگر	شروع سرمایش	4.5	40	3.14	0.75	1.76	0.42	48.80	21.0
	اتمام سرمایش	0	32	3.14	0.75	1.76	0.42	3.02	1.3
گوشت تازه پرندگان	زمان طولانی	-2.25	28	3.18	0.79	1.55	0.37	0.93	0.4
گوشت منجمد پرندگان	زمان طولانی	-18.0	0	3.18	0.79	1.55	0.37	0.46	0.2
گوشت گوساله	زمان کوتاه	1.0	34	1.65	0.71	1.63	0.39	8.37	3.6
	زمان طولانی	-2.25	28	1.65	0.71	1.63	0.39	3.02	1.3

SOURCE: PRINCIPLES OF REFRIGERATION-ROY J.DOSSAT

شرایط طراحی سردخانه برای برخی لبنیات و مواد خوراکی دیگر

نوع	نوع نگهداری	دمای توصیه شده °C	دمای توصیه شده °F	گرمای ویژه قبل از انجماد kJ/kgK	گرمای ویژه قبل از انجماد Btu/lb/°F	گرمای ویژه بعد از انجماد kJ/kgK	گرمای ویژه بعد از انجماد Btu/lb°F	گرمای نهان kJ/g	گرمای نهان Btu/lb
کره	کوتاه	4.5	40	2.68	0.64	1.42	0.34	4.65	2.0
	طولانی	-18	0	2.68	0.64	1.42	0.34	0.70	0.3
پنیر سوئیسی	کوتاه	4.5	40	2.68	0.64	1.57	0.36	5.35	2.3
	طولانی	3.25	38	2.68	0.64	1.51	0.36	0.46	0.2
شیر در بطری	کوتاه	1.75	35	3.77	0.90	2.06	0.49	4.65	2.0
روغن	کوتاه	7.25	45	1.12	0.48	–	–	4.65	2.0
	طولانی	1.0	34	1.12	0.48	–	–	0.70	0.3
خامه ٪40	کوتاه	1.75	35	3.56	0.85	1.67	0.40	4.65	2.0
	طولانی	-15	5	3.56	0.85	1.67	0.40	0.23	0.1
تخم مرغ شانه‌ای	کوتاه	4.5	40	3.56	0.85	1.88	0.45	8.37	3.6
	طولانی	-1.0	30	3.56	0.85	1.88	0.45	0.46	0.2
تخم‌مرغ منجمد	طولانی	-15	5	–	–	1.88	0.45	0.14	0.06
شکلات	طولانی	15.5	60	2.34	0.56	1.26	0.30	2.32	0.1
آبنبات	طولانی	18.25	56	0.93	0.23	–	–	–	–
آرد	طولانی	25.5	78	1.59	0.38	1.17	0.28	–	–
خاویار	کوتاه	4.50	40	3.89	0.93	–	–	4.65	2.0
	طولانی	1.0	34	3.89	0.93	–	–	0.70	0.3
آجیل با پوست	کوتاه	4.50	40	1.05	0.25	0.92	0.22	1.16	0.50
	طولانی	0	32	1.05	0.25	0.92	0.22	0.19	0.080
آجیل بدون پوست	کوتاه	4.50	40	1.26	0.30	1.00	0.24	1.16	0.50
	طولانی	0	32	1.26	0.30	1.00	0.24	0.19	0.080
نوشابه	طولانی	-2.25	28	1.39	0.35	–	–	–	–

SOURCE: PRINCIPLES OF REFRIGERATION-ROY J.DOSSAT

۵-۸

گلخانه

دو سیســـتم **آبفشان** (مه‌زا) و **بســـتروفن** (PAD AND FAN) ازجمله سیستم‌های ســـرمایش تبخیری هســـتند که معمولا برای گلخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. سیستم بستر و فن در مرغداری‌ها نیز کاربرد دارد.

سیستم سرمایش آبفشان

در این سیســـتم آب با فشـــار بالا و مه‌گونه در معرض جریان هوا قرار می‌گیرد. پمپ‌های فشار قوی از طریق شبکه لوله‌کشی، آب را به نازل‌های پودرکننده می‌رسانند. در برخی سیستم‌ها جریان هوا به صورت طبیعی و در برخی دیگر به صورت اجباری است.

دبی آب سرمایش آبفشان با تهویه طبیعی

دامنه دمای هوای خارج (°F)	دبی آب (gpm) به ازای هر (ft^2)
75 - 85	0.00016
85 - 95	0.0002
95 - 105	0.0003
105 - 115	0.0004

SOURCE: AGROPONIC INDUSTRIES LTD.

دبی آب سرمایش آبفشان با تهویه مکانیکی

دامنه دمای هوای خارج (°F)	دبی آب (gpm) به ازای هر (cfm)
75 - 85	0.000018
85 - 95	0.000025
95 - 105	0.000034
105 - 115	0.0000435

gpm = گالن دردقیقه cfm = فوت‌مکعب در دقیقه هوای تخلیه ft^2 = مساحت گلخانه

SOURCE:AGROPONIC INDUSTRIES LTD.

● **مثـــال:** گلخانه‌ای دارای 10 بخش به عـــرض 21 فوت و به طول 144 فوت است. هر بخش دارای هواکشی به ظرفیت 20000 cfm است. چنانچه هوای خارج 95 درجه فارنهایت باشـــد. حداقل اندازه دبی پمپ به نحو زیر محاسبه می‌شود:

$10 \times 20000 \times 0.000025$ gpm / cfm = 5gpm (18.92 lit/min)

چنانچه نازل 1000 psi با دبی 0.0225 gpm انتخاب شود:

تعداد نازل 222 = 0.0225 / 5 gpm

آرایش منظم نازل‌ها در هر بخش به طول 144 ft با فواصلی که به طریق زیر محاسبه می‌شود، تعیین می‌شود.

فاصله مرکز به مرکز هر نازل 6.48 ft = (222/10) / 144 ft

بنابراین پمپی به ظرفیت 5 gpm که 10 شـــبکه، هر یک به طول 144 ft (نازل‌ها به فواصل 6.5 ft)را تغذیه کند مورد نیاز خواهد بود.

● برای تعویض هوا نیز می‌توان به صورت تجربی یک بار در دقیقه برای هر 8 ft در نظر گرفت.

سیستم بستر و فن

در این سیســـتم، در یک سمت گلخانه، بستری از سلولز یا پوشال‌هایی از الیاف گیاهی قرار می‌گیرد که به طور مرتب توســـط افشانک‌های خیس می‌شوند. (مانند کولر آبی)

در ســـمت مقابل بســـترها و بر روی جدار دیگر گلخانه، فن‌های برای مکش هوا تعبیه می‌شود. این سیستم می‌تواند 3 تا 4 درجه فارنهایت بالاتر از دمای مرطوب هوای بیرون، دمای خشک را کاهش دهد.

دبی هوا بر اســـاس 8 cfm به ازای هر فوت‌مربع ســـطح تعیین می‌شود که می‌باید در ضرایبی مانند ضریب ارتفاع، ضریب توان روشـــنایی و ضریب دمای مجاز بین بســـتر و فن ضرب شود. این ضرایب از جدول زیر استخراج می‌شود:

ضرایب تصحیح دبی هوا در سیستم بستر و فن

ضریب ارتفاع (F_E) بالاتر از سطح دریا		حداکثر روشنایی داخل(F_L)		اختلاف دما بین فن و بستر (ft)	
(ft)	(F_E)	(فوت کاندال)	F_L	°F	(ft)
<1000	1.00	4000	0.80	10	0.70
1000	1.04	4500	0.90	9	0.78
2000	1.08	5000	1.00	8	0.88
3000	1.12	5500	1.10	7	1.00
4000	1.16	6000	1.20	6	1.17
5000	1.20	6500	1.30	5	1.40
6000	1.25	7000	1.40	4	1.75
7000	1.30	7500	1.50	–	–
8000	1.36	8000	1.60	–	–

$FH = F_E \times F_T \times F_L$ ضریب تصحیح کل = FH

SOURCE: 1999 ASHRAE APPLICATIONS HANDBOOK - ENVIRONMENTAL CONTROL FOR ANIMALS AND PLANTS.

فواصل کوتاه بین بستر و فن موجب دم‌کردگی و کاهش سرعت می‌شود. در فواصل کمتر از 100 ft باید ضریب سرعت را نیز در محاسبات دخالت داد. ضریب تصحیح سرعت برای فواصل کمتر از 100 فوت در جدول زیر گرد آمده است:

ضریب تصحیح سرعت (F_V) در سیستم بستر و فن

فاصله بستر از فن (ft)	ضریب تصحیح سرعت (F_V)	فاصله بستر از فن (ft)	ضریب تصحیح سرعت (F_V)	فاصله بستر از فن (ft)	ضریب تصحیح سرعت (F_V)
20	2.24	50	1.41	80	1.12
25	2.00	55	1.35	85	1.08
30	1.83	60	1.29	90	1.05
35	1.69	65	1.24	95	1.03
40	1.58	70	1.20	100	1.00
45	1.49	75	1.15		

SOURCE: 1999 ASHRAE APPLICATIONS HANDBOOK - ENVIRONMENTAL CONTROL FOR ANIMALS AND PLANTS.

حداکثر فاصله بین بستر و فن 175 ft تا 25 ft است.

سرعت پیشنهادی هوا روی بستر

بستر سلولزی به ضخامت 4 اینچ	250 fpm
بستر سلولزی به ضخامت 6 اینچ	350 fpm

در صورت محدودیت، سرعت‌ها می‌توانند تا 25 درصد افزایش یابند.

حداقل حجم مخزن و دبی آب

نوع بستر	حداقل دبی آب (gpm) به ازای هر فوت طول بستر	حداقل حجم مخزن یا تشتک (gal) به ازای هر ft^2 سطح بستر
بستر سلولزی به ضخامت 4 اینچ	0.5	0.8
بستر سلولزی به ضخامت 6 اینچ	0.8	1.0

SOURCE: 1999 ASHRAE APPLICATIONS HANDBOOK - ENVIRONMENTAL CONTROL FOR ANIMALS AND PLANTS.

۶

معابر و اماکن تاسیسات مکانیکی

- **نکات عمومی** **۷۱۹**
- **تخمین سطح موتورخانه مرکزی** **۷۲۱**
- **تخمین سطح اماکن و معابر** **۷۲۳**
- **تخمین ابعاد اتاق هواساز** **۷۲۸**

در گفتگوها و تبادل نظر اولیه بین مهندسین معمار و مهندسین تاسیسات مکانیکی که اغلب برای هماهنگ نمودن ایده‌های معماری با طرح تهویه‌مطبوع صورت می‌گیرد، یکی از مهمترین موضوعات، تعیین حدود تقریبی اماکن و معابر تجهیزات مکانیکی است. در مراحل اولیه طراحی پروژه نوع و نشان تجاری تجهیزات به طور دقیق مشخص نمی‌شود، بنابراین به طور معمول نمی‌توان با اتکا به مشخصات فیزیکی مدلی خاص به نتیجه رسید، علاوه بر این، مباحث مطروحه در مرحله اول طراحی (فاز یک) قطعی نبوده و احتمال تغییرات بسیاری در آن وجود دارد. برای تخمین ابعاد و اندازه‌ها در مرحله اول طراحی معماری و تاسیسات مکانیکی می‌توان از جداول و اطلاعاتی که در فصل سوم آمده‌اند؛ استفاده نمود.

به طور قطع برای تعیین جانمایی نهایی تجهیزات و دست‌یابی به ابعاد و

اوزان دقیق باید از طریق مراجعه به کاتالوگ کارخانجات سازنده که انتخاب محصول آنها قطعیت یافته، اطلاعات دقیق را به دست آورد. جداولی که در لابه‌لای معرفی تجهیزات در فصل سوم آمده‌اند، تنها شامل تجهیزات حجیمی که تاثیرات قابل توجه‌ای بر معماری دارند می‌شوند. سایر تجهیزات کم حجم معمولا دارای تاثیرات چندان مهمی بر روند فضایابی طرح معماری نیستند.

در هر حال تخمین یا تعیین ابعاد معابر و اماکن مورد نیاز تاسیسات مکانیکی ساختمان تابعی از ابعاد تجهیزات است. در ویرایش جدید این کتاب مطالب مربوط به تخمین ابعاد و وزن هر یک از تجهیزات به فصل سوم و در ذیل هر یک از عناوین اختصاصی خود جای گرفته است که به منظور ایجاد سهولت در دسترسی، فهرستی از آن برای مراجعه و استخراج اطلاعات به شرح زیر ارائه شده است:

تخمین ابعاد دیگ فولادی بخار صفحه 295
تخمین وزن دیگ فولادی بخار صفحه 296
تخمین ابعاد دیگ فولادی آبگرم صفحه 286
تخمین وزن دیگ فولادی آبگرم صفحه 287
تخمین ابعاد دیگ چدنی آبگرم صفحه 287
تخمین وزن دیگ چدنی آبگرم صفحه 288
تخمین ابعاد چیلرهای جذبی صفحه 383
تخمین ابعاد و وزن چیلرهای تراکمی صفحه 399
تخمین ابعاد و وزن برج خنک‌کن صفحه 420
تخمین ابعاد هواساز صفحه 449

سقف‌های کاذب و شفت‌ها

سقف‌های کاذب از جمله مهمترین معابر کانال‌ها و لوله‌ها هستند که برای ساختمان‌های غیردرمانی ارتفاع آنها بین 30 تا 60 سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود و برای ساختمان‌های درمانی به دلیل حجم زیاد کانال‌های هوا نباید ارتفاع آن به ویژه در راهروها کمتر از 100 سانتی‌متر در نظر گرفته شود.

در کنار ســـقف‌های کاذب که نقش معابر افقـــی را به عهده دارند، معابر عمودی یا شفت‌ها نیز به ویژه در ساختمان‌های چند طبقه از اهمیت زیادی برخوردارند.

سطح مقطع معابر عمودی یا شفت‌ها تابعی از تعداد لوله‌ها و سطح مقطع کانال‌ها هستند که بنا به نوع ساختمان، منطقه‌بندی و نوع سیستم گرمایش و تهویه‌مطبوع دارای تنوع و تفاوت‌های زیادی است. محل استقرار شفت‌ها نیز به همین نسبت متفاوت و متنوع است. اما علی‌رغم تمامی امکانات متنوع و تفاوت‌هـــای زیاد به طور کلی می‌توانیم به ازای هر 2000 فوت‌مکعب در دقیقه هوای رفت، برگشت و تخلیه و یا هر 100 مترمربع مساحت کف فضای مورد تهویه با ارتفاع 3 متر، 0.4 مترمربع ســـطح برای عبور عمودی کانال‌ها در نظر گیریم. چنانچه فقط کانال‌های رفت را در نظر گیریم این مقدار 0.2 مترمربع خواهد بود.

نکات عمومی

در مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان و همچنین سایر استانداردهای معتبر و همینطور در جزوات فنی بسیاری از سازندگان تجهیزات، کلیاتی مربوط به اماکن و معابر تاسیســـاتی وجود دارد که توجه به آن‌ها می‌تواند در تخمین و یا تعیین این‌گونه اماکن راه‌گشا باشد. برخی از چنین قواعد و توصیه‌ها را از نظر می‌گذرانیم:

- حجم اتاقی که دستگاه‌های با ســـوخت مایع یا گاز (جز دیگ آبگرم یا بخار) در آن نصب می‌شود، باید حداقل 12 برابر حجم دستگاه باشد.
- حجم اتاقی که دیگ آبگرم یا بخار در آن نصب می‌شود، باید حداقل 16 برابر حجم دیگ باشد.
- اگر در دستورالعمل سازنده، نصب دستگاه روی فونداسیون نسوختنی اعلام شـــده باشد، این فونداسیون باید از هر طرف حداقل 30 سانتی‌متر بعد از دستگاه ادامه یابد. فونداسیون نسوختنی در سمتی که مشعل دستگاه قرار دارد، باید حداقل 90 سانتی‌متر بعد از دستگاه ادامه یابد.

● اگر دستگاه روی بام و با فاصله کمتر از 3 متر از لبه بام، یا روی سطح دیگری که بیش از 75 سانتی‌متر از زمین اطراف داشته باشد، نصب شود، باید فضای سرویس اطراف دستگاه با نرده حائل حفاظت شود و ارتفاع نرده نسبت به تراز محل نصب آن باید حداقل 100 سانتی‌متر و اندازه سطوح باز آن کمتر از 40 سانتی‌متر باشد.

● اگر دستگاه روی بام شیب داری، با شیب بیش از 25 درصد، نصب می‌شود به طوری که لبه بام شیب‌دار بیش از 75 سانتی‌متر از تراز سطح محوطه بالاتر باشد، باید اطراف دستگاه سکوی تراز به اندازه‌های توصیه شده در دستورالعمل سازنده و مورد تایید، برای دسترسی پیش‌بینی شود و اندازه‌های این سکو نباید از 75 سانتی‌متر کمتر باشد.

● دهانه‌های هوای دریافتی از بیرون باید از هر دهانه تخلیه هوای آلوده، از قبیل دهانه‌های تخلیه هوا، دودکش، هواکش فاضلاب و مانند آن‌ها، حداقل 3متر فاصله افقی داشته باشد، مگر آن‌که دهانه‌های تخلیه هوا در ترازی حداقل یک متر بالاتر از دهانه‌های هوای دریافتی قرار گیرد.

● دهانه‌های هوای دریافتی از بیرون باید حداقل 3متر از معابر عمومی مانند خیابان، کوچه، پارکینگ و نظایر آن‌ها فاصله افقی داشته باشد. این دهانه هوای دریافتی باید حداقل 3 متر از کف معابر عمومی بالاتر باشد.

● دهانه هوای دریافتی از بیرون باید حداقل 3 متر از ساختمان مجاور فاصله افقی داشته باشد.

● فاصله افقی دهانه تخلیه هوا از هر دهانه باز ساختمان حداقل باید 3 متر باشد، مگر آن‌که دهانه خروج هوا حداقل یک متر بالاتر از دهانه باز قرار گیرد. دهانه‌های تخلیه هوا نباید در فضای زیرشیروانی، داخل شفت‌ها، راهروهای آدم‌رو، خزیده‌روها و فضاهای مشابه قرار گیرد.

● سطح بازشوی دهانه هر فضا به هوای خارج باید حداقل 4 درصد سطح زیر بنای آن فضا باشد، که تعویض هوای طبیعی آن مورد نظر است.

● اگر فضایی که دهانه بازشوی مستقیم به هوای بیرون ندارد، از طریق فضای مجاور و تعویض هوای طبیعی شود، دهانه بازشوی بدون مانع بین این

دو فضا باید حداقل 8 درصد سطح زیر بنای فضای مورد نیاز و به هر حال نباید از 2 متر مربع کمتر باشد. سطح دهانه بازشوی فضای مجاور به هوای بیرون باید برای سطح زیر بنای کل هر دو فضا محاسبه و اندازه‌گذاری شود.

- اطراف محل نصب چیلر تراکمی یا جذبی باید بین 1.20 تا 1.50 متر برای سرویس و انجام تعمیرات باز باشد و فضای پشت یا جلوی چیلر تقریبا به اندازه طول آن با دیوار یا دستگاه‌های دیگر فاصله داشته باشد تا امکان تعویض و نظافت و رسوب گیری لوله‌های مسی اواپراتور و کندانسور وجود داشته باشد.
- بهتر است که در پشت دیگ فولادی لوله - آتش افقی به اندازه طول دیگ به علاوه هشتاد سانتی‌متر فضای خالی وجود داشته باشد.
- بهتر است دیگ‌های فولادی بخار و دیگ‌های فولادی آبگرم به ترتیب حداقل 120 و 80 سانتی‌متر از کنار با سایر تجهیزات و دیوار فاصله داشته باشند.
- بهتر است دیگ‌های چدنی از یک سمت کناری به اندازه پهنای دیگ به علاوه 30 سانتی‌متر از دیوار یا سایر تجهیزات فاصله داشته باشد.

تخمین سطح موتورخانه مرکزی براساس بار

سطح مورد نیاز برای موتورخانه‌های مرکزی تابعی است از نوع، تعداد و نحوه استقرار و آرایش تجهیزات. از سوی دیگر شکل هندسی، موانع سازه‌ای (مانند ستون‌ها و پل‌ها)، ارتفاع و عوامل دیگری همچون درها، پنجره‌ها و سایر بازشوها، تاثیر مستقیمی بر مقدار سطح مورد نیاز برای استقرار تجهیزات دارند. به نحوی که ممکن است حتی در دو سطح مساوی امکان چیدمان تجهیزات، تنها به دلیل اختلاف در شکل هندسی مقدور نباشد. بنابراین برای تعیین دقیق ابعاد موتورخانه ضروری است که نوع و تعداد تجهیزات ضمن توجه کامل به فضاهای سرویس و جابجایی به طور دقیق مشخص گردند. اما برای برآوردهای اولیه و تخمین حدود ابعاد موتورخانه‌ها می‌توان به طریق زیر عمل نمود:

- برای موتورخانه‌های گرمایشی - سرمایشی مجهز به **چیلر تراکمی** و **دیگ**

فولادی آبگرم به انضمام سایر تجهیزات:
(برآورد برحسب بار سرمایشی: هر مترمربع 1.6 تن تبرید)

• برای موتورخانه‌های گرمایشی - سرمایشی مجهز به **چیلر تراکمی** و **دیگ چدنی آبگرم** به انضمام سایر تجهیزات:
(برآورد برحسب بار سرمایشی: هر مترمربع 1.4 تن تبرید)

• برای موتورخانه‌های گرمایشی - سرمایشی مجهز به **چیلر جذبی** و **دیگ فولادی آبگرم** به انضمام سایر تجهیزات:
(برآورد برحسب بار سرمایشی: هر مترمربع 1.3 تن تبرید)

• برای موتورخانه‌های گرمایشی - سرمایشی مجهز به **چیلر جذبی** و **دیگ فولادی بخار** به انضمام سایر تجهیزات:
(برآورد برحسب بار سرمایشی: هر مترمربع 1 تن تبرید)

• برای موتورخانه‌های **گرمایشی** مجهز به **دیگ فولادی** به انضمام سایر تجهیزات:
(برآورد برحسب بار گرمایشی: هر مترمربع 15000 کیلو کالری در ساعت)

• برای موتورخانه‌های **گرمایشی** مجهز به **دیگ چدنی** به انضمام سایر تجهیزات:
(برآورد برحسب بار گرمایشی: هر مترمربع 11000 کیلو کالری در ساعت)

برآوردهای فوق تنها در مورد فضای اصلی موتورخانه شامل محل استقرار چیلرها، دیگ‌ها، منابع، مبدل‌ها، پمپ‌ها و کلکتورها صادق است و شامل فضاهای جنبی نمی‌شود.

در طراحی موتورخانه‌های مرکزی به ویژه موتورخانه‌های مرکزی بزرگ در نظر گرفتن اماکن جنبی مانند انبار لوازم، کارگاه تعمیرات، محل استقرار کارکنان، دوش، توالت، دستشویی، آبدارخانه، محل استراحت کارکنان شیفت، رختکن، دفتر امور اداری، اتاق کنترل و اتاق برق ضروری است. مساحت مورد نیاز برای فضاهای جنبی را می‌توان بر اساس 15 تا 20 درصد فضای اصلی موتورخانه در نظر گرفت.

تخمین سطح اماکن و معابر تجهیزات مکانیکی

موتورخانه مرکزی گرمایش و سرمایش:	حداقل بین 0.2 تا 1درصد مساحت مفید زیر بنا
اتاق هواساز:	2.0 تا 3.5 درصد مساحت فضایی که هواساز آن را تهویه می‌کند.
اتاق هواساز هوای تازه یا سیستم القایی:	0.50 تا 1.5درصد مساحت فضایی که هواساز آن را تهویه می‌کند.
شفت برای لوله‌های عمودی سیستم القایی (دو لوله‌ای):	0.25 تا 0.35 درصد حجم فضای مورد تهویه
شفت برای لوله‌های عمودی سیستم القایی (چهار لوله‌ای):	0.3 تا 0.4 درصد حجم فضای مورد تهویه
شبکه کانال‌های هوا:	0.8 تا 1.3 درصد حجم فضای مورد تهویه
لوله‌کشی برای فن‌کوئل‌ها (دو لوله‌ای):	0.1 تا 0.2 درصد سطح فضای مورد تهویه
لوله‌کشی برای فن‌کوئل‌ها (چهار لوله‌ای):	0.25 تا 0.3 درصد سطح فضای مورد تهویه

SOURCE: HEATING، VENTILATING، AND AIR CONDITIONING SYSTEMS ESTIMATING MANUAL - SECOND EDITION. A. M. KHASHAB.

درصد سطح مورد نیاز تاسیسات مکانیکی و برقی نسبت به مساحت کل ساختمان

نوع ساختمان	درصد نسبت به مساحت کل ساختمان
بیمارستان	5 تا 15
هتل	4 تا 10
دفتر اداری	2 تا 6
آزمایشگاه تحقیقاتی	5 تا 15
فروشگاه بزرگ	2 تا 7
فروشگاه (خرده‌فروشی)	1تا 3
مدارس ابتدایی	2 تا 4
دبیرستان	2 تا 6
دانشگاه	4 تا 8
مسکونی تک‌واحدی	1 تا 3
مسکونی بلندمرتبه	1 تا 3

SOURCE: MECHANICAL AND ELECTRICAL SYSTEMS IN BUILDINGS – WILLIAM K. Y. TAO، RICHARD R. JANIS.

مساحت تقریبی مورد نیاز برای تاسیسات مکانیکی

نوع سیستم و تجهیزات	مساحت ساختمان (m^2) 2000	5000	10000	20000
ساختمان‌های اداری:				
سیستم فقط گرمایشی با تهویه طبیعی:				
تاسیسات مرکزی	1.1-1.4	0.7-0.8	ـ	ـ
رادیاتورها	0.6-0.7	0.6-0.7	ـ	ـ
سیستم فقط گرمایشی با تهویه مکانیکی:				
تاسیسات مرکزی	1.1-1.4	0.7-0.8	ـ	ـ
اتاق هواساز	4.6-6.4	3.6-5.1	ـ	ـ
رادیاتورها	0.4-0.5	0.4-0.5	ـ	ـ
سیستم چهار لوله‌ای فن کوئل با هوای تازه (سه بار تعویض هوا در ساعت):				
تاسیسات مرکزی	3.8-4.2	2.0-2.3	1.1ـ1.5	0.8-1.2
اتاق هواساز	4.6	2.7	1.6	1.6
برج خنک‌کننده	1.2-1.4	0.6-0.8	0.4-0.6	0.3-0.5
گونه‌های دیگر:				
پنج طبقه، هواساز در هر طبقه	ـ	3.6	2.7	2.6
ده طبقه، هواساز در هر طبقه	ـ	5.4	3.5	2.6
کندانسور هوایی	3.2-4.3	1.8-2.8	1.2-2.4	0.7-2.4
فن کوئل‌های زمینی	1.0	1.0	0.5	0.4
سیستم هوای حجم متغیر با گرمایش پیرامونی:				
تاسیسات مرکزی	3.8-4.2	2.0-2.3	1.1-1.5	0.8-1.2
اتاق هواساز	7.5-10.8	6.0-9.0	4.0-8.7	2.3-7.7
برج خنک‌کننده	1.2-1.4	0.6-0.8	0.4-0.6	0.3-0.5
رادیاتورها	0.4-0.5	0.4-0.5	0.4-0.5	0.4-0.5

← ادامه

مساحت تقریبی مورد نیاز برای تاسیسات مکانیکی (ادامه)

نوع سیستم و تجهیزات	مساحت ساختمان (m^2)			
	2000	5000	10000	20000
گونه‌های مختلف:				
پنج طبقه،هواساز در هر طبقه	ـ	6.0-12.0	4.8-10.4	3.7-9.2
ده طبقه، هواساز در هر طبقه	ـ	7.8-15.6	7.8-10.4	3.7-9.0
کندانسور هوایی	3.2-4.3	1.8-2.8	1.2-2.4	0.7-2.4
فروشگاه‌ها:				
سیستم چهار لوله‌ای:				
تاسیسات مرکزی	ـ	2.5-2.8	1.5-2.1	1.0-1.3
اتاق هواساز	ـ	3.4-3.5	3.2-3.3	3.1-3.2
برج خنک کننده	ـ	0.8-1.0	0.5-0.7	0.5-0.7
گونه‌های دیگر:				
دو طبقه،هواساز در هر طبقه	ـ	6.0-12.0	3.1	3.0
پنج طبقه، هواساز در هر طبقه	ـ	7.8-15.6	3.9	3.0
کندانسور هوایی	3.2-4.3	1.8-2.8	2.0-3.7	1.9-3.3
سیستم هوای حجم متغیر با کوئل دوباره گرمکن:				
تاسیسات مرکزی	ـ	2.5-2.8	1.5-2.1	1.0-1.3
اتاق هواساز	ـ	6.7-12.9	6.4-11.1	5.5-9.9
برج خنک‌کننده	ـ	0.8-1.0	0.5-0.7	0.5-0.7
گونه‌های دیگر:				
دو طبقه، هواساز در هر طبقه	ـ	6.5-12.2	6.1-12.0	5.9-11.8
پنج طبقه، هواساز در هر طبقه	ـ	7.8-13.8	7.1-11.8	5.9-11.8
کندانسور هوایی	ـ	2.5-3.7	2.0-3.7	1.9-3.3

← ادامه

مساحت تقریبی مورد نیاز برای تاسیسات مکانیکی (ادامه)

نوع سیستم و تجهیزات	مساحت ساختمان (m^2)			
	2000	5000	10000	20000
هتل‌ها:				
فقط گرمایش با تهویه مکانیکی:				
تاسیسات مرکزی	ـ	2.5-3.0	1.6-2.1	1.2-1.3
اتاق هواساز	ـ	5.0	4.8	4.7
رادیاتورها	ـ	0.4	0.4	0.3
سیستم چهار لوله‌ای:				
تاسیسات مرکزی	ـ	2.5-3.0	1.6-2.1	1.2-1.3
اتاق هواساز	ـ	2.7	2.7	2.8
برج خنک‌کننده	ـ	2.0-2.6	1.5-2.0	1.5-2.0
گونه‌های دیگر:				
دوطبقه، هواساز در هر طبقه	ـ	3.3	2.8	2.6
پنج طبقه هواساز در هر طبقه	ـ	3.3	2.6	2.6
کندانسور هوایی	ـ	1.5-2.0	1.5-2.0	1.5-2.0
سیستم هوای حجم متغیر با گرمایش پیرامونی:				
تاسیسات مرکزی	ـ	2.5-3.0	1.6-2.1	1.2-1.3
اتاق هواساز	ـ	6.0-7.0	4.4-6.0	4.7-5.9
برج خنک‌کننده	ـ	0.6-0.7	0.4-0.5	0.3-0.4
گونه‌های دیگر:				
دو طبقه، هواساز در هر طبقه	ـ	4.7-7.5	4.7-7.4	4.7-6.8
پنج طبقه هواساز در هر طبقه	ـ	5.0-8.4	5.0-7.2	4.6-6.5
کندانسور هوایی	ـ	2.0-2.6	1.5-2.0	1.5-2.0

← ادامه

مساحت تقریبی مورد نیاز برای تاسیسات مکانیکی (ادامه)

نوع سیستم و تجهیزات	مساحت ساختمان (m^2)			
	2000	5000	10000	20000
سیستم فن کوئل دو لوله‌ای برای اتاق خواب‌ها و سیستم هوای حجم متغیر با کوئل دوباره گرمکن برای فضاهای عمومی:				
تاسیسات مرکزی	–	2.5-3.0	1.6-2.1	1.2-1.3
اتاق هواساز	–	5.8-6.6	3.9-4.5	3.2-4.2
برج خنک‌کننده	–	0.6-0.7	0.4-0.5	0.3-0.4
گونه‌های دیگر:				
دو طبقه، هواساز در هر طبقه	–	4.7-5.7	4.7-5.2	4.0-4.9
پنج طبقه،هواساز در هر طبقه	–	5.7-6.7	4.4-5.4	4.2-5.1
کندانسور هوایی	–	2.0-2.6	1.5-2.6	1.5-2.0
مراکز تجمع:				
سیستم هوای حجم متغیر با کوئل دوباره گرمکن:				
تاسیسات مرکزی	5.3-6.1	2.7-3.4	–	–
اتاق هواساز	7.8-11.4	6.5-3.4	–	–
برج خنک‌کننده	1.3-1.8	0.8-1.2	–	–
کندانسور هوایی	4.2-5.9	2.7-3.7	–	–

SOURCE: METRIC HANDBOOK PLANING AND DESIGN DATA-SECOND EDITION-SERVICE DISTRIBUTION-EDITED BY DAVID ADLER

تخمین فضای مورد نیاز تاسیسات مکانیکی (روش دوم)

به کمک دو نموداری که پی‌درپی می‌آیند می‌توان با در اختیار داشتن مساحت فضا و نوع کاربری آن، ضمن تخمین بار برودتی، مساحت تقریبی موتورخانه، سطح مورد نیاز برج خنک‌کننده و مساحت اتاق هواساز را تعیین نمود.

● **مثال (1):** ظرفیت تقریبی برودتی، مساحت موتورخانه و سطح مورد نیاز برج خنک‌کننده برای ساختمان تجاری به مساحت $150000\ ft^2$ یا 15000 مترمربع چه مقدار است؟

برای حل مثال کافی است بر روی محور عمودی (Floor Area Served) مقدار $150000\ ft^2$ را یافته و خطی افقی رسم کنیم تا باند خاکستری مربوط به ساختمان تجاری را قطع کند. سپس با حرکت مستقیم رو به پایین هر یک از مقادیر از مقیاس‌های زیر نمودار به شرح زیر خوانده می‌شود:

ظرفیت تقریبی برودتی = 450 تن تبرید

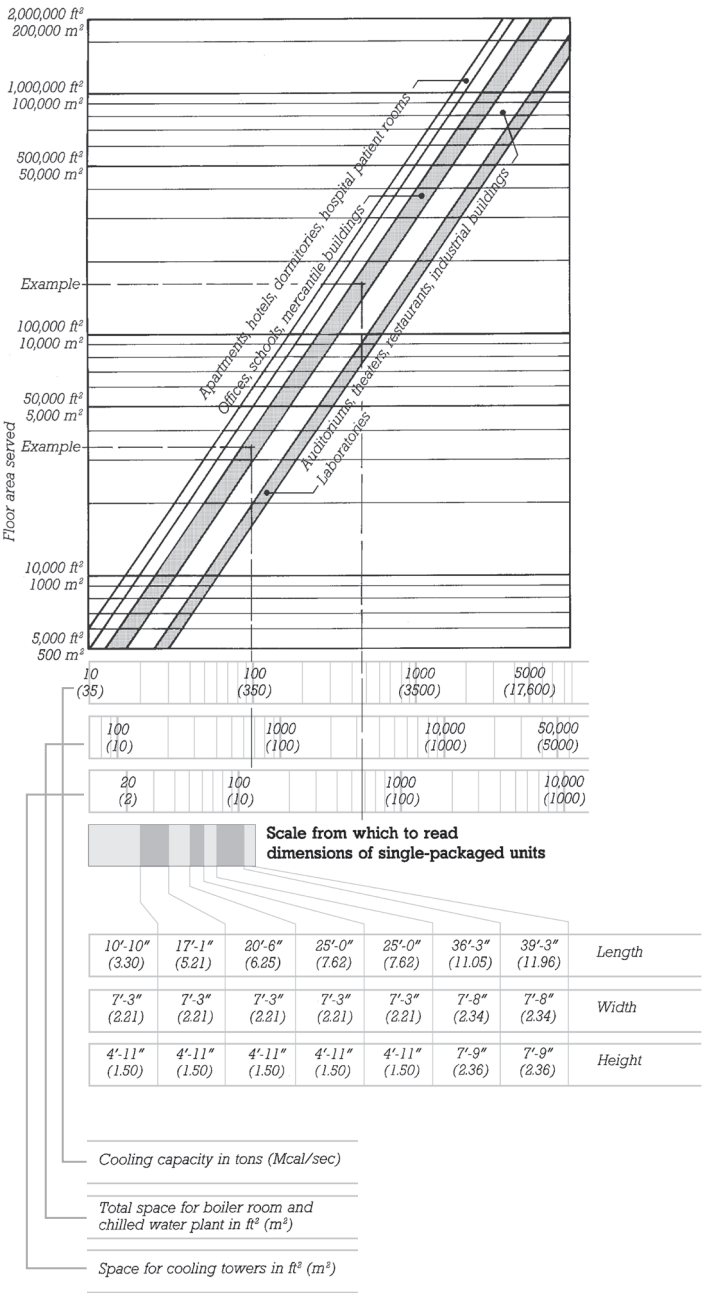
مساحت تقریبی موتورخانه = 3200 فوت مربع (320 مترمربع)

مساحت تقریبی مورد نیاز برج خنک‌کننده = 560 فوت مربع (56 مترمربع)

تخمین فضای مورد نیاز هواساز

به کمک نمودار صفحه 731 به راحتی می‌توان ابعاد اتاق هواساز را بر حسب مساحت فضایی که قرار است توسط هواساز تغذیه شود تعیین نمود. با این نمودار فارغ از تعیین ابعاد اتاق هواساز می‌توان سطح مقطع کانال اصلی هوای رفت و برگشت، سطح مقطع کانال‌های منشعب هوای رفت و برگشت، دبی هوای حامل بار سرمایی، سطح دریچه‌های هوای تازه و هوای تخلیه را نیز بر اساس آحاد SI و IP تعیین نمود.

● **مثال (2):** فضای مورد تهویه یک ساختمان اداری $150000ft^2$ یا $15000m^2$ است. بر اساس نمودار ابعاد اتاق هواساز، دبی هوای رفت، سطح مقطع کانال اصلی و کانال‌های فرعی و ابعاد تقریبی دریچه‌های هوای تازه و تخلیه را تعیین کنید.


2,000,000 ft²
200,000 m²
1,000,000 ft²
100,000 m²
500,000 ft²
50,000 m²
Example
100,000 ft²
10,000 m²
50,000 ft²
5,000 m²
Example
10,000 ft²
1000 m²
5,000 ft²
500 m²
Floor area served
Apartments, hotels, dormitories, hospital patient rooms
Offices, schools, mercantile buildings
Auditoriums, theaters, restaurants, industrial buildings
Laboratories
10 (35)
100 (350)
1000 (3500)
5000 (17,600)
100 (10)
1000 (100)
10,000 (1000)
50,000 (5000)
20 (2)
100 (10)
1000 (100)
10,000 (1000)
Scale from which to read dimensions of single-packaged units
10′-10″ (3.30)
17′-1″ (5.21)
20′-6″ (6.25)
25′-0″ (7.62)
25′-0″ (7.62)
36′-3″ (11.05)
39′-3″ (11.96)
Length
7′-3″ (2.21)
7′-3″ (2.21)
7′-3″ (2.21)
7′-3″ (2.21)
7′-3″ (2.21)
7′-8″ (2.34)
7′-8″ (2.34)
Width
4′-11″ (1.50)
4′-11″ (1.50)
4′-11″ (1.50)
4′-11″ (1.50)
4′-11″ (1.50)
7′-9″ (2.36)
7′-9″ (2.36)
Height
Cooling capacity in tons (Mcal/sec)
Total space for boiler room and chilled water plant in ft² (m²)
Space for cooling towers in ft² (m²)

برای حل مثال کافی اســـت بر روی محور عمودی (Floor Aera Served) مقدار 150000 فوت مربع را یافته و خطی افقی رسم کنیم تا به باند خاکستری مربوط به ساختمان اداری برسیم و آن گاه دقیقا از میانه این باند به صورت عمودی و کاملا مستقیم به پایین حرکت نموده و کلیه مقیاس‌های زیر نمودار اصلی را بخوانیم. بر این اساس نتایج زیر حاصل خواهد شد:

دبی هوای حامل بار سرمایی = 200000 cfm

سطح مقطع کانال اصلی رفت = 120 ft^2

سطح مقطع کانال منشعب = 200 ft^2 (چـــون بایـــد ســـرعت در انشعاب کمتر شود)

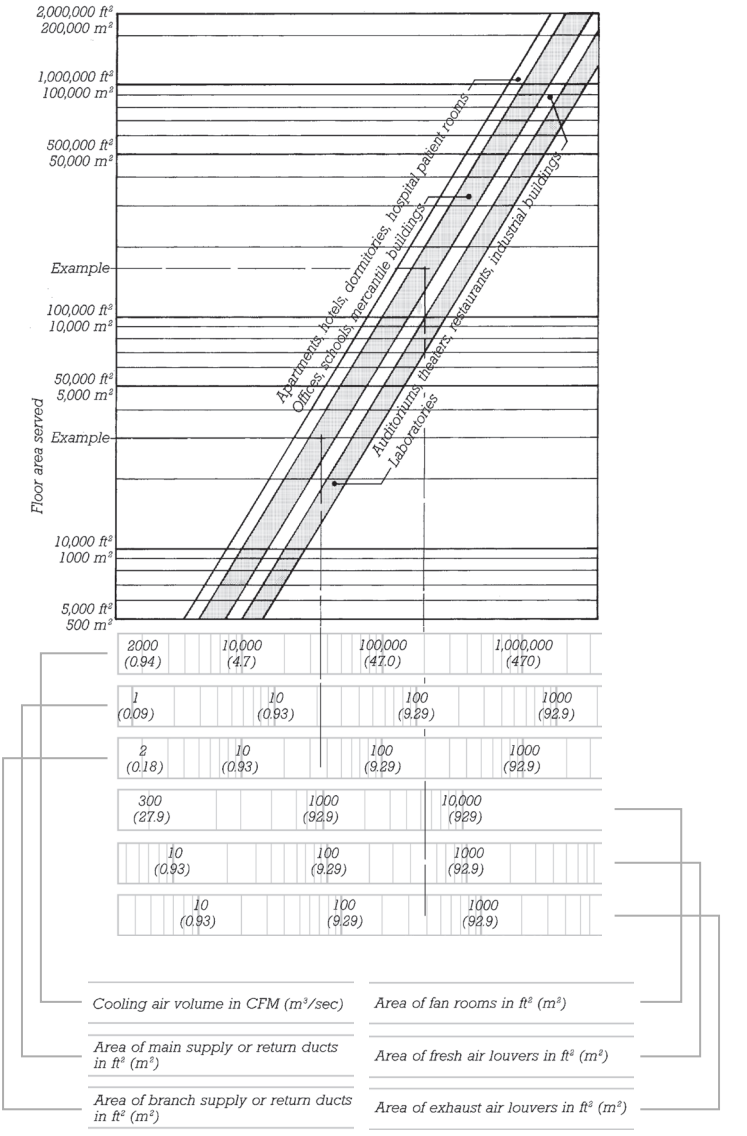
سطح اتاق هواساز = 5200 ft^2

سطح دریچه هوای تازه = 500 ft^2

سطح دریچه هوای تخلیه = 400 ft^2

بدیهی است که برای یک ساختمان اداری با مساحت 15000m^2 هیچ گاه از یک دستگاه هواساز استفاده نمی‌شود. بلکه متناسب با منطقه‌بندی فضاها تعداد هواسازها ممکن اســـت به ده دستگاه یا بیشتر هم برسد و به تبع آن تعداد اتاق‌های هواســـاز، ابعاد آن‌ها، سطح کانال‌های رفت و برگشت و غیره نیز متفاوت خواهد بود.

از این نمودار می‌توان به طریق دیگر نیز استفاده کرد. به عنوان مثال با در اختیار داشتن دبی هوا می‌توان با حرکت عمودی رو به پایین سایر مشخصات را تعیین نمود و یا با حرکت رو به بالا و قطع یکی از باندهای مربوط به کاربری فضا و سپس حرکت افقی به سمت محور مساحت، سطح فضای متناسب را به دست آورد.


2,000,000 ft²
200,000 m²
1,000,000 ft²
100,000 m²
500,000 ft²
50,000 m²
Example
100,000 ft²
10,000 m²
50,000 ft²
5,000 m²
Example
10,000 ft²
1000 m²
5,000 ft²
500 m²
Floor area served
Apartments, hotels, dormitories, hospital patient rooms
Offices, schools, mercantile buildings
Auditoriums, theaters, restaurants, industrial buildings
Laboratories
2000 (0.94)
10,000 (4.7)
100,000 (47.0)
1,000,000 (470)
1 (0.09)
10 (0.93)
100 (9.29)
1000 (92.9)
2 (0.18)
10 (0.93)
100 (9.29)
1000 (92.9)
300 (27.9)
1000 (92.9)
10,000 (929)
10 (0.93)
100 (9.29)
1000 (92.9)
10 (0.93)
100 (9.29)
1000 (92.9)
Cooling air volume in CFM (m³/sec)
Area of main supply or return ducts in ft² (m²)
Area of branch supply or return ducts in ft² (m²)
Area of fan rooms in ft² (m²)
Area of fresh air louvers in ft² (m²)
Area of exhaust air louvers in ft² (m²)

ابعاد تقریبی فن‌کوئل‌های زمینی

ارتفاع: 28 in – 25 (710 mm – 635)

عمق: 12 in – 9 (305 mm – 230)

طول: 84 in – 30 (2130 mm – 760)

ابعاد تقریبی واحدهای القایی زمینی

ارتفاع: 28 in – 25 (710 mm – 635)

عمق: 12 in – 9 (305 mm – 230)

طول: 84 in – 30 (213 mm – 760)

ابعاد جعبه‌های حجم هوای متغیر در سقف کاذب

برای فضاهایی تا مساحت $1500ft^2$ ($150\ m^2$): 11 in – 8 (280 mm – 200)

برای فضاهایی تا مساحت $7000ft^2$ ($700\ m^2$): 18 in (460 mm)

ابعاد تقریبی کولر آبی

پهنا: 36 in (915 mm)

عمق: 36 in (915 mm)

ارتفاع: 36 in (915 mm)

دهانه کانال 18 × 18 in (460 × 460 mm)

تخمین ابعاد اتاق هواساز

ظرفیت هوادهی (cfm)	هواساز یک منطقه‌ای افقی	هواساز یک منطقه‌ای عمودی	هواساز نیمه عمودی نیمه افقی	هواساز چند منطقه‌ای
	L (m) × W (m) = A (m^2)	L (m) × W (m) = A (m^2)	L (m) × W (m) = A (m^2)	L (m) × W (m) = A (m^2)
3000	4 × 3.6 = 14.4	3 × 3.6 = 10.8	3.6 × 3.6 = 13.0	4.8 × 3.6 =17.3
5000	4.3 × 4.3 = 18.5	3.1 × 4.3 = 13.3	4 × 4.3 = 17.2	5.3 × 4.3 = 22.8
7000	4.5 × 4.7 = 21.0	3.2 × 4.7 = 15.0	4.1 × 4.7 = 19.2	5.5 × 4.7 = 25.9
10000	4.7 × 5 = 23.5	3.3 × 5 = 16.5	4.3 × 5 = 21.5	5.9 × 5 = 29.5
12000	4.9 × 5 = 24.5	3.3 × 5 = 16.5	4.5 × 5 = 22.5	6.3 × 5 = 31.5
15000	5.1 × 5.4 = 27.6	3.5 × 5.4 = 18.9	4.8 × 5.4 = 25.9	6.6 × 5.4 = 35.7
20000	5.3 × 5.8 = 30.8	3.7 × 5.8 = 215	5 × 5.8 = 29.0	7 × 5.8 = 40.6

1- مقادیر فوق نشان‌دهنده ابعاد تخمینی اتاق برای هواسازی است که تنها شامل قسمت بادزن، قسمت کوئل و قسمت جعبه مخلوط‌کننده هوا می‌باشد و شامل بخش فیلترهای کیسه‌ای، هپا و تجهیزات دیگری مانند رطوبت‌زن یا فن جداگانه برگشت یا تخلیه هوا نیست. در صورت استفاده از سایر تجهیزات جانبی حداقل 3.5 برابر بر سطح استقرار هواساز افزوده خواهد شد.

2- (L) طول، (W) عرض، (A) مساحت

* * *

۷

برق

- موتورهای الکتریکی..... ۷۳۶
- راه‌اندازهای الکتروموتور ۷۴۱
- اندازه و مشخصات سیم و کابل..... ۷۴۶
- حسگرهای گرمایی..... ۷۴۹
- درجه حفاظت تجهیزات الکتریکی..... ۷۵۲
- محاسبه توان خازن..... ۷۵۴
- انتخاب تجهیزات کنترل و راه‌اندازی الکتروموتورها ۷۵۶
- روابط محاسباتی برق ۷۷۰

در ادامه، پرکاربردترین اطلاعات و جداول برق که ممکن است در زمینه تاسیسات مکانیکی ساختمان مورد استفاده قرار گیرند، ارائه شده است.

دور الکتروموتورها بر مبنای فرکانس و تعداد قطب

فرکانس (F) (Hz)	دور موتور(rpm) (N) — تعداد قطب (n)					
	2	4	6	8	10	12
10	600	300	200	150	120	100
20	1200	600	400	300	240	200
30	1800	900	600	450	360	300
40	2400	1200	800	600	480	400
501	3000	1500	1000	750	600	500
602	3600	1800	1200	900	720	600
70	4200	2100	1400	1050	840	700
80	4800	2400	1600	1200	960	800
90	5400	2700	1800	1350	1080	900
100	6000	3000	2000	1500	1200	1000

$N = 2 \times 60\ F/N$

شدت جریان الکتروموتورهای تکفاز و سه‌فاز تحت ولتاژهای مختلف

توان (VA)	تکفاز			سه‌فاز با بار متعادل	
	120	240	480	240	480
100	0.83	0.42	0.21	0.24	0.13
150	1.25	0.63	0.31	0.36	0.18
200	1.67	0.83	0.42	0.49	0.25
250	2.08	1.04	0.52	0.61	0.30
300	2.50	1.25	0.63	0.73	0.37
350	2.92	1.46	0.73	0.85	0.43
400	3.33	1.67	0.84	0.97	0.49
450	3.75	1.88	0.93	1.10	0.55
500	4.17	2.08	1.04	1.20	0.60
600	5.00	2.50	1.25	1.45	0.73

← ادامه

شدت جریان الکتروموتورهای تکفاز و سه‌فاز تحت ولتاژهای مختلف (ادامه)

توان (VA)	تکفاز			سه‌فاز با بار متعادل	
	120	240	480	240	480
700	5.83	2.92	1.46	1.70	0.85
750	6.25	3.13	1.56	1.81	0.91
800	6.67	3.33	1.67	1.93	0.97
900	7.50	3.75	1.87	2.17	1.09
1000	8.33	4.17	2.10	2.41	1.21
1100	9.17	4.58	2.30	2.65	1.33
1200	10.0	5.00	2.51	2.90	1.45
1250	10.4	5.21	2.61	3.10	1.55
1300	10.8	5.42	2.71	3.13	1.57
1 400	11.7	5.83	2.91	3.38	1.69
1500	12.5	6.25	3.12	3.62	1.82
1600	13.3	6.67	3.34	3.86	1.93
1700	14.2	7.08	3.54	4.10	2.05
1750	14.6	7.29	3.65	4.22	2.10
1800	15.0	7.50	3.75	4.34	2.17
1900	15.8	7.92	3.96	4.58	2.29
2000	16.7	8.33	4.17	4.82	2.41
2200	18.3	9.17	4.59	5.30	2.65
2500	20.8	10.4	5.21	6.10	3.05
2750	23.0	11.5	5.73	6.63	3.32
3000	25.0	12.5	6.25	7.23	3.62
3500	29.2	14.6	7.30	8.45	4.23
4000	33.3	16.7	8.33	9.64	4.82
4500	37.5	18.8	9.38	10.84	5.42
5000	41.7	20.8	10.42	12.1	6.1
6000	50.0	25.0	12.50	14.50	7.25
7000	58.3	29.2	14.59	16.9	8.5
8000	66.7	33.3	16.67	19.3	9.65
9000	75.0	37.5	18.75	21.7	10.85
10000	83.3	41.7	20.85	24.1	12.1

نسبت فرکانس و دور الکتروموتورها

(برای موتورهای 2 تا 8 قطب با فرکانس‌های 50Hz و 60Hz)

قطب‌ها	دور (rpm)			
	فرکانس 50Hz		فرکانس 60Hz	
	همزمان	بارکامل	همزمان	بار کامل
2	3000	2850	3600	3450
4	1500	1425	1800	1725
6	1000	950	1200	1150
8	750	700	900	850

موتورهای الکتریکی و تلفات حرارتی

توان موتور (kW)	تلفات W/kW
0-2	250
3-15	150
15-150	100
150	80

1kW = 1. 34 hp
1hp = 0. 746 kW

سرعت موتورها به نسبت بار

به‌طور معمول سرعت موتورهای الکتریکی تحت بار، کمتر از حالت بدون بار آنهاست.

تعداد قطب	سرعت تقریبی موتور (rpm)			
	تحت بار		بدون بار	
	60 Hz	50Hz	60Hz	50 Hz
2	3450	2850	3600	3000
4	1725	1425	1800	1500
6	1140	950	1200	1000
8	850	700	900	750

اطلاعات الکتریکی موتورهای آسنکرون

اطلاعات الکتریکی موتورهای آسنکرون تحت ولتاژ 380 ولت شامل جریان نامی، فیوز، جریان راه‌اندازی و جریان نامی کنتاکتور و کلید اتوماتیک

توان (kW)	توان (hp)	جریان نامی in (A)	فیوز مستقیم (A)	جریان راه‌اندازی ستاره– مثلث (A)	جریان نامی کنتاکتور ستاره‌مثلث (A)	جریان نامی کلید اتوماتیک (A)
0. 2	0. 3	0. 7	2	2		16
0. 33	0. 5	1. 1	2	2		16
0. 5	0. 7	1. 4	2	2		16
0. 8	1. 1	2. 1	4	4		16
1. 1	1. 5	2. 6	4	4		16
1. 5	2	3. 6	6	4	(16) 22	16
2. 2	3	5. 0	10	6	(16) 22	16
3	4	6. 6	16	10	(16) 22	16
4	5. 5	8. 5	20	16	(16) 22	16
5. 5	7. 5	11. 5	25	20	(16) 22	16
7. 5	10	15. 5	35	25	(25)22	25
11	15	22. 2	35	35	(40)30	40
15	20	30	50	35	(40)30	40
22	30	44	63	50	(63)/60	60
30	40	57	80	63	(63)/60	60
45	66	85	125	100	90	100
55	75	104	160	125	110	100
75	100	140	200	160	150	200
90	125	168	225	200	220	200
110	150	205	300	250	220	200
132	180	245	400	300	300	400
160	220	290	430	300	300	400
200	270	360	500	430	480	400
240	325	430	630	500	480	480

ضریب کاهش بازده موتورها در حالت عدم تعادل ولتاژ

عدم تعـــادل بین ولتاژ هر یک از فازهـــا در موتورهای چند فاز موجب کاهش بازده آنها می‌شود.

- تغییرات ولتاژ نباید بیش از % 10± باشد.
- تغییرات فرکانس نباید بیش از % 5 ± باشد.
- جمع جبری تغییرات ولتاژ فرکانس نباید بیش از % 10باشد.
- عدم تعادل ولتاژ بین دو فاز نباید بیش از % 1 باشد.

عدم تعادل ولتاژ (٪)	ضریب کاهش بازده
0	1. 00
0. 5	1. 00
1. 5	0. 97
2. 0	0. 95
2. 5	0. 93
3. 0	0. 89
3. 5	0. 85
4. 0	0. 82
4. 5	0. 78
5. 0	0. 76

توصیه‌هایی درباره استفاده از موتورهای الکتریکی

بهتر است موتورهایی با توان بیش از ½ اسب از نوع سه فاز باشند.
بهتر است موتورهایی با توان کمتر از ½ اسب از نوع تک فاز باشند.

دفعات خاموش و روشن اتوماتیک موتورها نباید بیش از 6 بار در ساعت شود.
بهتر است موتورهایی با توان بیش از 15 اسب به طور پیوسته روشن باشند و به طور متناوب روشن و خاموش نشوند.

به ازای هر 50ºF یا 10ºC افزایش، نسبت به دمای کار، عمر موتورها نصف خواهد شد. بنابراین موتورها نباید بالاتر از دامنه مجاز دما کار کنند.

به طور معمول موتورها با ولتاژی بیشتر یا کمتر از 10 درصد ولتاژ تعیین شده کار می‌کنند، اما مقدار ولتاژ تغذیه نباید کمتر یا بیشتر از 10 درصد شود.

راه‌اندازهای موتور بر اساس NEMA

بر اساس مقرارت NEMA، راه‌انداز الکتروموتورها مانند کنتاکتورها بر مبنای مقدار پیوسته و تحت ولتاژهای مشخص در هفت گروه یا هفت اندازه مطابق جدول زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

اندازه راه‌انداز NEMA	نرخ جریان پیوسته (A)	حداکثر توان (hp)								
		راه‌اندازی مستقیم			راه‌اندازی ترتیبی			راه‌اندازی ستاره- مثلث		
		200V	230V	460V 575V	200V	230V	460V 575V	200V	230V	460V 575V
00	9	1.5	1.5	2	-	-	-	-	-	-
0	18	3	3	5	-	-	-	-	-	-
1	27	7.5	7.5	10	10	10	15	10	10	15
2	45	10	15	25	20	25	40	20	25	40
3	90	25	30	50	40	50	75	40	50	75
4	135	40	50	100	75	75	150	60	75	150
5	270	75	100	200	150	150	350	150	150	300
6	540	150	200	400	-	300	600	300	350	700
7	810	-	300	600	-	450	900	500	500	1000

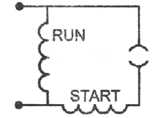
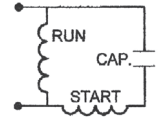
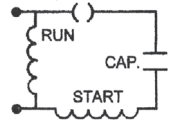
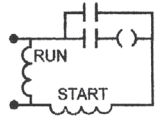
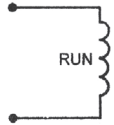
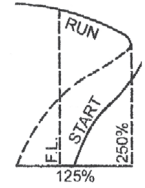
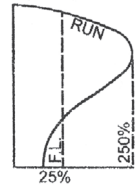
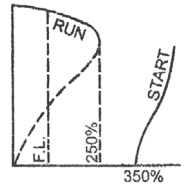
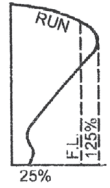
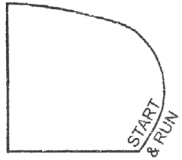
تاثیرات تغییرات ولتاژ و فرکانس بر مشخصه‌های موتورهای القایی (1)

تغییرات فرکانس و ولتاژ	راه‌اندازی و گشتاور حداکثر	سرعت همزمان	درصد لغزش	سرعت دربار کامل	بازده		
					بار کامل	بار 75%	بار 50%
120% ولتاژ	افزایش 44%	بدون تغییر	کاهش 30%	افزایش 1.5%	افزایش اندک	کاهش 0.5 تا 2%	کاهش 7 تا 20%
110% ولتاژ	افزیش 21%	بدون تغییر	کاهش 17%	افزایش 1%	افزایش 0.5 تا 1%	بدون تغییر	کاهش 1 تا 2%
ولتاژ کار	-	ثابت	ولتاژ 1%	-	-	-	-
90% ولتاژ	کاهش 19%	بدون تغییر	افزایش 23%	کاهش 1.5%	کاهش 2%	بدون تغییر	افزایش 1 تا 2%
105% فرکانس	کاهش 10%	افزایش 5%	بدون تغییر	افزایش 5%	افزایش مختصر	افزایش مختصر	افزایش مختصر
فرکانس کار	فرکانس 1%	-	-	-	-	-	-
95% فرکانس	افزایش 11%	کاهش 5%	بدون تغییر	کاهش 5%	کاهش مختصر	کاهش مختصر	کاهش مختصر

تاثیر تغییرات ولتاژ و فرکانس بر مشخصه‌های موتورهای القایی (2)

تغییرات فرکانس و ولتاژ	ضریب توان			جریان در بار کامل	جریان راه‌اندازی	افزایش دما در بارکامل	حداکثر دما در بار اضافه‌بار	نویز مغناطیسی بدون بار
	بار کامل	75%	50%					
120% ولتاژ	کاهش 5 تا 15%	کاهش 10 تا 30%	کاهش 15 تا 40%	کاهش 11%	افزایش 25%	کاهش 9 تا 11°F	افزایش 44%	افزایش قابل ملاحظه
110% ولتاژ	کاهش 3%	کاهش 4%	کاهش 5 تا 6%	کاهش 7%	افزایش 10 تا 12%	کاهش 5 تا 7°F	افزایش 21%	افزایش مختصر
ولتاژ کار	-	-	-	-	ولتاژ	-	ولتاژ[2]	-
90% ولتاژ	افزایش 3%	افزایش 2 تا 3%	افزایش 4 تا 5%	افزایش 11%	کاهش 10 تا 12%	افزایش 11 تا 13°F	کاهش 19%	کاهش مختصر
105% فرکانس	افزایش مختصر	افزایش مختصر	افزایش مختصر	کاهش مختصر	کاهش 5 تا 6%	کاهش مختصر	کاهش مختصر	کاهش مختصر
فرکانس‌کار	-	-	-	-	فرکانس 1%	-	-	-
95% فرکانس	کاهش مختصر	کاهش مختصر	کاهش مختصر	افزایش مختصر	افزایش 5 تا 6%	افزایش مختصر	افزایش مختصر	افزایش مختصر

موتورهای تکفاز

	دومیدانی (سیم‌پیچ مجزا)	با خازن دائم کار	بارخازن راه‌اندازی	با خازن راه‌اندازی و خازن دائم‌کار	قطب چاکدار	چند فاز (60Hz)
طرح اتصال						
منحنی سرعت– گشتاور						
روش راه‌اندازی	کلید گریز از مرکز	-	کلید گریز از مرکز	کلید گریز از مرکز	-	کنترل کننده
نرخ توان hp	0.05 تا 0.5	0.05 تا 5	0.05 تا 5	0.05 تا 5	0.01 تا 0.25	0.5

← ادامه

موتورهای تکفاز (ادامه)

سرعت در بار کامل در فرکانس 60HZ (دو قطبی و چهار قطبی)	3450 تا 1725	3450 تا 1725	3450 تا 1725	3500 تا 1750	3100 تا 1550	3500 تا 1750
گشتاور روتور قفل (موتور در حالت راه‌اندازی اولیه)	125 تا 150% 250 تا 300%	25% 250 تا 300%	250 تا 350% 250 تا 300%	250% 250%	25% 125%	150 تا 350% 250 تا 350%
طبقه‌بندی سرعت	ثابت	ثابت	ثابت	ثابت	ثابت یا قابل تنظیم	ثابت
ضریب توان	60%	95%	65%	95%	60%	80%
بازده	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	کم	زیاد- متوسط

جدول تبدیل اندازه‌گذاری آمریکایی سیم و کابل (AWG)

در جدول زیر قطر معادل ســیم‌ها که در استاندارد اندازه‌گذاری آمریکا (AWG) بر اساس شماره تعیین می‌شود، ارائه شده است. در این استاندارد سیم‌هایی با شماره بالاتر دارای قطر کمتر هستند.

اندازه‌گذاری آمریکایی	قطر (in)	قطر (mm)	سطح مقطع (mm^2)
0000	0.46	11.68	107.16
000	0.4096	10.40	84.97
00	0.3648	9.27	67.40
0	0.3249	8.25	53.46
1	0.2893	7.35	42.39
2	0.2576	6.54	33.61
3	0.2294	5.83	26.65
4	0.2043	5.19	21.14
5	0.1819	4.62	16.76
6	0.162	4.11	13.29
7	0.1443	3.67	10.55
8	0.1285	3.26	8.36
9	0.1144	2.91	6.63
10	0.1019	2.59	5.26
11	0.0907	2.30	4.17
12	0.0808	2.05	3.31
13	0.072	1.83	2.63
14	0.0641	1.63	2.08
15	0.0571	1.45	1.65
16	0.0508	1.29	1.31
17	0.0453	1.15	1.04

← ادامه

جدول تبدیل اندازه‌گذاری آمریکایی سیم و کابل (AWG) (ادامه)

اندازه‌گذاری آمریکایی	قطر (in)	قطر (mm)	سطح مقطع (mm^2)
18	0.0403	1.02	0.82
19	0.0359	0.91	0.65
20	0.032	0.81	0.52
21	0.0285	0.72	0.41
22	0.0254	0.65	0.33
23	0.0226	0.57	0.26
24	0.0201	0.51	0.20
25	0.0179	0.45	0.16
26	0.0159	0.40	0.13

اندازه سیم بر حســـب (AWG) و توان ترانسفورمر برای موتورهای تکفاز (230V)

اندازه سیم (AWG)[1]						
توان ترانسفورمر		فاصله موتور از ترانسفورمر بر حسب فوت[2]				
hp	**kVA**	**100**	**150**	**200**	**300**	500
1.5	3	10	8	8	6	4
2	3	10	8	8	8	4
3	5	8	8	8	4	2
5	7.5	6	4	4	2	0
7.5	10	6	4	3	1	0

1- برای تبدیل (AWG) به میلی‌متر به جدول صفحه 441 مراجعه شود.

2- 1ft = 0.3048m

اندازه سیم بر حسب (AWG) و توان ترانسفورمر برای موتورهای سه فاز (460V, 230)

اندازه سیم (AWG)[1]							
ترانسفورمر			فاصله موتور از ترانسفورمر بر حسب فوت [2]				
hp	Volts	kVA	100	150	200	300	500
1.5	230	3	12	12	12	12	10
2	460	3	12	12	12	12	12
3	230	3	12	12	12	10	8
2	460	3	12	12	12	12	12
3	230	5	12	10	10	8	6
3	460	5	12	12	12	12	10
5	230	7.5	10	8	8	6	4
5	460	7.5	12	12	12	10	8
7.5	230	10	8	6	6	4	2
7.5	460	10	12	12	12	10	8
10	230	15	6	4	4	4	1
10	460	15	12	12	12	10	8
15	230	20	4	4	4	2	0
15	460	20	12	10	10	8	6
20	230	1)	4	2	2	1	0
20	460	1)	10	8	8	6	4
25	230	1)	2	2	2	0	0
30	230	1)	2	1	1	0	0
30	460	1)	8	6	6	4	2
40	230	1)	1	0	0	0	0
50	230	1)	1	0	0	0	0
50	460	1)	4	4	2	2	0
30	230	1)	1	0	0	0	0
60	460	1)	4	2	2	0	0
75	230	1)	0	0	0	0	0
75	460	1)	4	2	2	0	0

1- برای تبدیل (AWG) به میلی‌متر به جدول قبلی مراجعه شود.

$1ft = 0.3048\ m^{-2}$

مقایسه حسگرهای گرمایی

مورد مقایسه	ترموکوپل	RTD	ترمیستور
هزینه	کم	زیاد	کم
دامنه دما	خیلی زیاد	زیاد	کم یا میانه
	- 450°F + 420°F	- 400°F + 1200°F	- 100°F +500°F
قابلیت تعویض	خوب	عالی	بد
پایداری‌درزمان طولانی	بد	خوب	بد
دقت	متوسط	زیاد	متوسط
حساسیت (خروجی)	کم	متوسط	خیلی زیاد
واکنش	متوسط و نسبتا سریع	متوسط	متوسط و نسبتا سریع
خود گرمایی	نه	خیلی کم	زیاد
حساسیت نقطه انتهایی	عالی	ضعیف	خوب
اندازه	نسبتا بزرگ	متوسط و کوچک	متوسط و کوچک

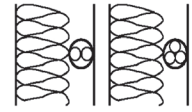
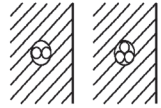
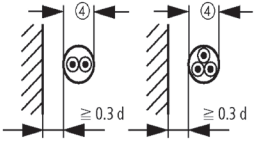
RTD- Thermal Resistive Sensor حسگر مقاومت گرمایی

دامنه دمایی ترموکوپل‌ها

ترموکوپل	حداکثر دما (°C)	
	پیوسته	نقطه‌ای
مس - کنستانتان	400	500
آهن- کنستانتان	850	1100
کروم- کنستانتان	700	1000
کروم- آلومینیم	1100	1300
تنگستن- مولیبدیوم	2600	2650

1- در دمای کمتر از 1250 °C نباید استفاده شود.

نحوه نصب کابل‌ها

نوع کابل یا سیم	NYM, NYBUY, NHYRUZY, NYIF, H07V-U, H07V-R, H07V-K, NYIFY				NYY, NYCWY, NYKY, NYM, NYMZ, NYMT, NYBUY, NHYRUZY	
نوع نصب	A1	B1	B2	C	E	
	به صورت توکار و روی عایق حرارتی دیوار و زیر سطح خارجی و در داخل لوله	زیر یا روی دیوار زیر پوشش‌نهایی دیوار در لوله		نصب در داخل دیوار	در هوای آزاد	
		کابل تک رشته	کابل چند رشته			
						
	کابل چند رشته توکار	سیم‌های تک رشته در داخل لوله و روی سطح دیوار	کابل چند رشته در داخل لوله روی سطح دیوار یا کف	کابل چند رشته در داخل دیوار		
تعداد رشته	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	

نرخ جریان مجاز کابل (I_z) و جریان وسائل محافظ (I_n)

نوع نصب	A1		B1		B2		C		E	
تعداد رشته	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
مقطع سیم مسی بر حسب mm^2	I_z	I_n	I_z	I_n	I_z	I_n	I_z	I_n	I_z	I_n	I_z	I_n	I_z	I_n	I_z	I_n	I_z	I_n	I_z	I_n
1.5	16.5	16	18.5	13	16.5	16	15	13	21	20	19.5	16
2.5	21	20	19	16	25	25	22	20	29	25	27	25
4	28	25	25	25	34	32	30	25	39	35	36	35
6	36	35	33	32	43	40	39	35	51	50	46	40
10	49	40	45	40	60	50	53	50	70	63	64	63
16	65	63	59	50	81	80	72	63	94	80	85	80
25	85	80	77	63	107	100	95	80	125	125	107	100
35	105	100	94	80	133	125	117	100	118	100	134	125
50	126	125	114	100	160	160	142	125	154	125	126	125
70	160	160	144	125	204	200	181	160	195	160	164	160
95	193	160	174	160	246	200	219	200	246	200	246	200
120	223	200	199	200	285	250	253	250	324	250	327	250

ضریب تصحیح جریان کابل‌ها در دمای بالاتر از 30°C

نوع پوشش عایق	NR / SR	PVC	EPR
دمای کار	60°C	70°C	80°C
دمای محیط °C	ضریب تبدیل	ضریب تبدیل	ضریب تبدیل
10	1.29	1.22	1.18
15	1.22	1.17	1.14
20	1.15	1.12	1.10
25	1.08	1.06	1.05
30	1.00	1.00	1.00
35	0.91	0.94	0.95
40	0.82	0.87	0.89
45	0.71	0.79	0.84
50	0.58	0.71	0.77
55	0.41	0.61	0.71
60	-	0.50	0.63
65	-	-	0.55
70	-	-	0.45

درجه حفاظت (IP) تجهیزات الکتریکی بر اساس IEC (رقم اول)

درجه حفاظت تجهیزات به وسیله دو رقم در کنار عبارت IP مشخص می‌شود. ارقام اول و دوم هر یک تعیین‌کننده نوع حفاظت هستند که در دو جدول زیر شرح هر یک از آنها آمده است.

رقم اول درجه حفاظت	شرح حفاظت
0	بدون حفاظت
1	حفاظت شده در برابر اجسام جامد بزرگتر از 50 میلی‌متر و حفاظت شده درمقابل ضربات مکانیکی 225 0. ژول مانند افتادن وزنه 150 گرمی از ارتفاع 15 سانتی‌متر بر روی آن

← ادامه

درجه حفاظت (IP) تجهیزات الکتریکی بر اساس IEC (رقم اول) (ادامه)

رقم اول درجه حفاظت	شرح حفاظت
2	حفاظت در برابر اجسام بزرگتر از 12 میلی‌متر و حفاظت شده در مقابل ضربات مکانیکی 0.375 ژول مانند افتادن وزنه 250 گرمی از ارتفاع 15سانتی‌متر برروی آن
3	حفاظت شده در برابر اجسام بزرگتر از 2.5 میلی‌متر و حفاظت شده در برابر ضربات مکانیکی 0.5 ژول مانند افتادن وزنه 250 گرمی از ارتفاع 20 سانتی‌متری بر روی آن
4	حفاظت شده در برابر اجسام بزرگتر از 1.5 میلی‌متر و حفاظت شده در مقابل ضربات مکانیکی 2.0 ژول مانند افتادن وزنه 500 گرمی از ارتفاع 40 سانتی‌متری بر روی آن
5	حفاظت شده در برابر گردو غبار و حفاظت در مقابل ضربات مکانیکی 6.0 ژول مانند افتادن وزنه 1.5 کیلوگرمی از ارتفاع 40 سانتی‌متری بر روی آن
6	حفاظت کامل در برابر گرد و غبار و حفاظت‌شده در مقابل ضربات مکانیکی 20 ژول مانند افتادن وزنه 5 کیلوگرمی از ارتفاع 40 سانتی‌متری بر روی آن

درجه حفاظت (IP) تجهیزات الکتریکی بر اساسIEC (رقم دوم)

رقم دوم درجه حفاظت	شرح حفاظت
0	بدون حفاظت
1	حفاظت شده در مقابل قطرات آب
2	حفاظت شده در برابر قطرات آب با زاویه 15 درجه
3	حفاظت شده در برابر پاشش آب تا زاویه 60 درجه یا عمودی
4	حفاظت شده در برابر پاشش آب از هر طرف
5	حفاظت شده در برابر پاشش کم‌فشار آب از هر طرف
6	حفاظت شده در برابر امواج دریا یا پاشش شدید آب
7	حفاظت شده در برابر مستغرق شدن در آب با فشار معین و در زمان مشخص (در عمق‌های 15cm تا 1m)
8	حفاظت شده در برابر مستغرق شدن در آب به مدت زیاد و مطابق دستور العمل‌های کارخانه سازنده

محاسبه توان خازن بر حسب کیلو ولت آمپر (kVA) برای اصلاح ضریب توان

برای ارتقای ضریب توان(COS φ) از مقداری به اندازه‌ای دیگر که نتیجه آن منجر به اصلاح ضریب توان شـــبکه شـــود باید دو مقدار (COS φ) اولیه و (COS φ)مورد نظر را در اختیار داشته و سپس از طریق جدول زیر ضریب F را به دست آورد. با استخراج ضریب F و ضرب نمودن آن درتوان فعال (اکتیو)، مقدار توان خازن بر حسب کیلو ولت آمپر به دست می‌آید.

ضریب توان مورد نیاز COSφ2																	
0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.775	0.8	0.825	0.85	0.875	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1	ضریب توان واقعی COS φ1
57	78	96	113	128	142	149	155	161	168	175	182	187	194	201	210	230	0.4
24	46	64	81	96	110	116	123	129	136	142	149	155	161	168	177	198	0.45
	21	40	56	71	85	92	98	104	111	118	125	130	137	144	153	173	0.5
		19	35	50	64	71	77	83	90	97	104	109	116	123	132	152	0.55
			16	32	46	52	58	95	71	78	85	91	97	104	113	133	0.6
				15	29	36	42	48	55	62	69	74	81	88	97	117	0.65
					14	20	27	33	40	46	54	59	66	73	81	102	0.7
					7	13	20	26	33	39	46	52	58	66	75	95	0.725
						6.5	13	19	26	33	40	45	52	59	67	88	0.75
							6.5	12	19	26	33	39	45	52	61	81	0.775

← ادامه

محاسبه توان خازن بر حسب کیلو ولت آمپر (kVA) برای اصلاح ضریب توان (ادامه)

ضریب توان واقعی COS φ1	ضریب توان مورد نیاز COSφ2																		
	1	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.875	0.85	0.825	0.8	0.775	0.75	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
0.8	75	54	46	39	32	27	19	13	6								
0.825	69	48	40	33	26	21	14	7									
0.85	62	42	33	26	19	14	7										
0.875	55	35	26	19	13	7											
0.9	48	28	19	12	6												
0.92	42	22	13	6													
0.94	36	16	7														
0.96	29	9															
0.98	20																
0.99	14																

مثال: cosφ2=0.96 ، cosφ1= 0.6 ، توان برابر با: 200 کیلوولت آمپر

توان خازن برای اصلاح ضریب توان: 125 kVAR =٪104×0.6×200

مرجع: مشخصات فنی عمومی و اجرایی تاسیسات برقی کارهای ساختمانی- (نشریه 110) معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی تک‌فاز

قدرت اسمی موتورهای تک‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 220 ولت، 50 هرتز	راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی – متال)		روش حفاظت موتورهای برقی					کابل یا سیم تغذیه
								فیوز پشتیبان					
کیلووات	اسب بخار (متریک)	دور در دقیقه 1425	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پاپه	فشنگ (آمپر)	اندازه کلید قطع (آمپر)	سطح مقطع و تعداد رشته	
0.047	$^1/_{16}$	0.7	اتصال مستقیم	0	9	1- 0.6	0.75	DIAZED تاخیر زمانی	25	4	16	2×2.5	
0.06	$^1/_{12}$	0.9	ا-م	0	9	1.2 - 0.8	0.95	DIA ت- ز	25	4	16	2×2.5	
0.09	$^1/_{8}$	1.2	ا- م	0	9	1.6 - 1.1	1.25	DIA ت- ز	25	6	16	2×2.5	
0.12	$^1/_{6}$	1.7	ا- م	0	9	2 - 1.4	1.75	DIA ت- ز	25	6	16	2×2.5	
0.18	$^1/_{4}$	2.3	ا- م	0	9	2.5 - 1.7	2.35	DIA ت- ز	25	6	16	2×2.5	
0.25	$^1/_{3}$	3.3	ا- م	0	9	4.5 - 3	3.35	DIA ت- ز	25	6	16	2×2.5	
0.37	$^1/_{2}$	4.1	ا- م	0	9	6 - 4	4.15	DIA ت- ز	25	10	16	2×2.5	
0.55	$^3/_{4}$	6.1	ا- م	0	9	8 - 5.5	6.20	DIA ت- ز	25	16	16	2×2.5	
0.75	1	7.5	ا- م	1	16	12 - 8	7.60	DIA ت- ز	25	16	16	2×2.5	

← ادامه

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی تک‌فاز (ادامه)

قدرت اسمی موتورهای تک‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 220 ولت، 50 هرتز	راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی – متال)		روش حفاظت موتورهای برقی					کابل یا سیم تغذیه
								فیوز پشتیبان					
کیلووات	اسب بخار (متریک)	دور در دقیقه 1425	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پایه	فشنگ (آمپر)	اندازه کلید قطع (آمپر)		سطح مقطع و تعداد رشته
1.1	1.5	9.5	ا- م	1	16	8 - 12	9.60	DIA ت- ز	25	25	25		2×4
1.5	2	14	ا- م	2	32	11 - 16	14.20	DIA ت- ز	63	35	40		2×6
2.2	3	21	ا- م	2	32	17 - 25	21.50	DIA ت- ز	63	50	63		2×10
3.6	5	35	ا- م	3	45	30 - 45	35.50	DIA ت- ز	100	80	100		2×16
5.5	7.5	50	ا- م	4	63	40 - 63	51	DIA ت- ز	100	100	100		2×25

مرجع: مشخصات فنی عمومی و اجرایی تاسیسات برقی کارهای ساختمان (نشریه شماره 110) دفتر تدوین ضوابط و معیاری فنی سازمان مدیریت برنامه‌ریزی کشور

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی سه‌فاز اتصال مستقیم

قدرت اسمی موتورهای سه‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 380 ولت، 50 هرتز				روش حفاظت موتورهای برقی							کابل یا سیم تغذیه
		دور در دقیقه			راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی – متال)	فیوز پشتیبان				
کیلووات	اسب بخار (متریک)	1000	1500	3000	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پایه	فشنگ (آمپر)	اندازه کلید قطع (آمپر)	سطح مقطع و تعداد رشته
0.06	$^1/_{12}$	0.24	0.23	0.2	اتصال مستقیم	0	9	0.25 – 0.18	0.25	DIAZED تاخیر زمانی	25	2	16	3×2.5
0.09	$^1/_8$	0.36	0.34	0.3	ا- م	0	9	0.4 - 0.25	0.35	DIA ت - ز	25	2	16	3×2.5
0.12	$^1/_6$	0.50	0.44	0.37	ا- م	0	9	0.6 – 0.4	0.45	DIA ت - ز	25	2	16	3×2.5
0.18	$^1/_4$	0.68	0.61	0.53	ا- م	0	9	1 – 0.6	0.65	DIA ت - ز	25	4	16	3×2.5

← ادامه

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی سه‌فاز اتصال مستقیم (ادامه)

قدرت اسمی موتورهای سه‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 380 ولت، 50 هرتز								روش حفاظت موتورهای برقی							کابل یا سیم تغذیه	
		دور در دقیقه			راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی – متال)		فیوز پشتیبان								
کیلووات	اسب بخار (متریک)	1000	1500	3000	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پایه	فشنگ (آمپر)	اندازه کلید قطع (آمپر)	سطح مقطع و تعداد رشته				
0.25	1/3	0.88	0.78	0.71	ا- م	0	9	1- 0.6	0.80	DIA ت - ز	25	4	16	3×2.5				
0.37	1/2	1.15	1.12	1.10	ا- م	0	9	1.2 – 0.8	1.15	DIA ت - ز	25	4	16	3×2.5				
0.55	3/4	1.63	1.47	1.45	ا- م	0	9	1.6 – 1.1	1.50	DIA ت - ز	25	6	16	3×2.5				
0.75	1.0	2.15	1.95	1.83	ا- م	0	9	2.5 - 1.7	2.00	DIA ت - ز	25	6	16	3×2.5				
1.1	1.5	3.0	2.8	2.55	ا- م	0	9	3.2 - 2.2	2.85	DIA ت - ز	25	6	16	3×2.5				

← ادامه

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی سه‌فاز اتصال مستقیم (ادامه)

قدرت اسمی موتورهای سه‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 380 ولت، 50 هرتز			روش حفاظت موتورهای برقی								کابل یا سیم تغذیه
		دور در دقیقه			راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی – متال)		فیوز پشتیبان			
کیلووات	اسب بخار (متریک)	1000	1500	3000	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پایه	فشنگ (آمپر)	اندازه کلید قطع (آمپر)	سطح مقطع و تعداد رشته
1.2	1.6	3.4	3.14	2.80	ا- م	0	9	4.5 - 3	3.15	DIA ت - ز	25	6	16	3×2.5
1.5	2.0	4.0	3.7	3.4	ا- م	0	9	4.5 - 3	3.75	DIA ت - ز	25	10	16	3×2.5
2.0	2.67	5.3	4.95	4.4	اتصال مستقیم	0	9	6 - 4	5.00	DIA ت - ز	25	16	25	3×2.5
2.2	3.0	5.8	5.2	4.8	ا - م	0	9	6 - 4	5.25	DIA ت - ز	25	16	25	3×2.5
3.0	4.0	7.6	7.0	6.4	ا - م	0	9	8 – 5.5	7.05	DIA ت - ز	25	16	25	3×2.5
4	5.5	9.5	8.8	8.1	ا - م	1	16	9.5 – 6.5	8.9	DIA ت - ز	25	25	25	3×4

← ادامه

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی سه‌فاز اتصال مستقیم (ادامه)

قدرت اسمی موتورهای سه‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 380 ولت، 50 هرتز								روش حفاظت موتورهای برقی							کابل یا سیم تغذیه
		دور در دقیقه			راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی – متال)		فیوز پشتیبان							
کیلووات	اسب بخار (متریک)	1000	1500	3000	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پایه	فشنگ (آمپر)	اندازه کلید قطع (آمپر)	سطح مقطع و تعداد رشته
5	6.67	11.9	10.8	10.1	ا - م	1	16	12 - 8	10.9	DIA ت - ز	25	25	25	3×4
5.5	7.5	13.1	11.7	11.2	ا - م	1	16	16 -11	11.8	DIA ت - ز	63	35	40	3×6
7.5	10	18.1	15.6	14.9	ا - م	2	32	20 - 14	15.7	DIA ت - ز	63	35	40	3×6
10	13.34	22.6	20	20.4	ا - م	2	32	25 - 17	20.5	DIA ت - ز	63	50	63	3×10
11	15	24.3	22	22.5	ا - م	2	32	25 - 17	22.5	DIA ت - ز	63	50	63	3×10

← ادامه

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی سه‌فاز اتصال مستقیم (ادامه)

قدرت اسمی موتورهای سه‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 380 ولت، 50 هرتز			روش حفاظت موتورهای برقی							کابل یا سیم تغذیه	
		دور در دقیقه			راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی – متال)	فیوز پشتیبان				
کیلووات	اسب بخار (متریک)	1000	1500	3000	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پایه	فشنگ (آمپر)	اندازه کلید قطع (آمپر)	سطح مقطع و تعداد رشته
15	20	31.5	29	30	ا - م	2	32	32 - 22	29.5	DIA ت - ز	63	63	63	3×10
18.5	25	37.5	38	36	ا - م	3	45	45 - 30	38.5	DIA ت - ز	100	80	100	3×16
20	33	40.1	39.8	37.9	اتصال مستقیم	3	45	45 - 30	40	DIA ت - ز	100	80	100	3×16
22	30	44.5	43.5	42.5	ا- م	4	63	63 - 40	44	DIA ت - ز	100	80	100	3×25
25	33.34	50	49	48	ا- م	4	63	63 - 40	50	DIA ت - ز	100	100	100	3×25

← ادامه

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی سه‌فاز اتصال مستقیم (ادامه)

قدرت اسمی موتورهای سه‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 380 ولت، 50 هرتز						روش حفاظت موتورهای برقی							
		دور در دقیقه			راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی – متال)		فیوز پشتیبان				کابل یا سیم تغذیه	
کیلووات	اسب بخار (متریک)	1000	1500	3000	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پایه	فشنگ (آمپر)	اندازه کلید قطع (آمپر)	سطح مقطع و تعداد رشته	
30	40	59	58	57	ا- م	4	63	63 - 40	59	DIA ت - ز	100	100	100	3×25	
35	53.33	68	67	65.5	ا- م	6	110	80 - 55	68	DIA ت - ز	200	125	200	3×35	
37	50	72	71	69	ا- م	6	110	80 - 55	72	DIA ت - ز	200	125	200	3×35	
40	53.33	77.2	75.6	74.2	ا- م	6	110	100 - 70	78	DIA ت - ز	200	125	200	3×35	
45	60	87	87	83	ا- م	6	110	100 - 70	88	DIA ت - ز	200	160	200	3×50	

← ادامه

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی سه‌فاز اتصال مستقیم (ادامه)

قدرت اسمی موتورهای سه‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 380 ولت، 50 هرتز			روش حفاظت موتورهای برقی								کابل یا سیم تغذیه
		دور در دقیقه			راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی – متال)		فیوز پشتیبان			
کیلووات	اسب بخار (متریک)	1000	1500	3000	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پایه	فشنگ (آمپر)	اندازه کلید قطع (آمپر)	سطح مقطع و تعداد رشته
50	66	96	94.5	93	ا- م	6	110	110 - 90	96	DIA ت - ز	200	160	200	3×50
55	75	106	104	104	ا- م	8	170	125 - 88	106	DIA ت - ز	200	200	200	3×50
75	100	144	142	140	ا- م	8	170	170 - 120	144	HRC	400	224	400	3×70
90	125	172	168	166	ا- م	10	250	200 - 140	172	HRC	400	250	400	3×95
110	150	210	205	200	ا- م	10	250	250 - 175	210	HRC	400	300	400	3×120
132	180	255	245	240	ا- م	12	400	320 - 225	255	HRC	400	315	400	3×150
160	220	295	295	290	ا- م	12	400	400 - 280	295	HRC	630	400	630	3×185

← ادامه

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی سه‌فاز اتصال مستقیم (ادامه)

قدرت اسمی موتورهای سه‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 380 ولت، 50 هرتز			روش حفاظت موتورهای برقی							کابل یا سیم تغذیه	
		دور در دقیقه			راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی – متال)		فیوز پشتیبان			
کیلووات	اسب بخار (متریک)	1000	1500	3000	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پایه	فشنگ (آمپر)	اندازه کلید قطع (آمپر)	سطح مقطع و تعداد رشته
200	270	370	360	360	ا- م	12	400	500 - 350	370	HRC	630	500	630	3×300
250	340	460	450	440	ا- م	14	630	630 - 440	460	HRC	630	630	630	3×300
315	430	580	570	560	ا- م	14	630	630 - 440	580	HRC	630	630	630	3×400
380	515	700	680	660	ا- م	-	1000	1000 - 250	700	HRC	1000	800	1000	2(3×240)
400	545	720	715	710	ا- م	-	1000	1000 - 250	720	HRC	1000	1000	1000	2(3×240)
500	680	910	895	875	ا- م	-	1000	1200 - 750	910	HRC	1000	1000	1000	2(3×240)

مرجع: مشخصات فنی عمومی و اجرایی تاسیسات برقی کارهای ساختمان (نشریه شماره 110) دفتر تدوین ضوابط و معیاری فنی سازمان مدیریت برنامه‌ریزی کشور

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی سه‌فاز اتصال ستاره - مثلث

قدرت اسمی موتورهای سه‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 380 ولت، 50 هرتز			راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی – متال)		روش حفاظت موتورهای برقی					کابل یا سیم تغذیه
		دور در دقیقه								فیوز پشتیبان				اندازه کلید قطع (آمپر)	
اسب بخار کیلووات	(متریک)	1000	1500	3000	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پایه	فشنگ (آمپر)			سطح مقطع و تعداد رشته
11	15	24.3	22	22.5	ستاره مثلث	1	25	16 -11	13	تاخیر زمانی یا HRC	NEOZ- 25 یا HRC-125	25		40	2 (3×6)
15	20	31.5	29	30	س - م	2	50	20 - 14	18	تاخیر زمانی یا HRC	NEOZ- 63 یا HRC-125	50		63	2 (3×10)
18.5	25	37.5	38	36	س - م	2	50	25 -17	22	تاخیر زمانی یا HRC	NEOZ- 63 یا HRC-125	63		100	2 (3×10)
20	26.66	40.1	39.8	37.9	س - م	3	70	32 - 22	24	تاخیر زمانی یا HRC	NEOZ- 63 یا HRC-125	63		100	2 (3×16)

← ادامه

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی سه‌فاز اتصال ستاره - مثلث (ادامه)

قدرت اسمی موتورهای سه‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 380 ولت، 50 هرتز			راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی – متال)		روش حفاظت موتورهای برقی					کابل یا سیم تغذیه
		دور در دقیقه								فیوز پشتیبان				اندازه کلید	
اسب بخار کیلووات	(متریک)	1000	1500	3000	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پاپه	فشنگ (آمپر)	قطع (آمپر)		سطح مقطع و تعداد رشته
22	30	44.5	43.5	42.5	س - م	3	70	32 - 22	26	تاخیر زمانی یا HRC	NEOZ- 63 یا HRC-125	63	100		2 (3×16)
25	33.34	50	49	48	س - م	3	70	32 - 22	29	تاخیر زمانی یا HRC	NEOZ- 63 یا HRC-125	63	100		2 (3×16)
30	40	59	58	57	س - م	3	70	45 - 30	35	HRC	125	80	125		2 (3×16)
35	46.66	68	67	65.5	س - م	4	100	45 - 30	40	HRC	125	100	125		2 (3×25)
37	50	72	71	69	س - م	4	100	63 - 40	42	HRC	160	125	160		2 (3×25)
40	53.33	77.2	75.6	74.2	س - م	4	100	63 - 40	45	HRC	160	125	160		2 (3×25)
45	60	87	87	83	س - م	6	160	63 - 40	51	HRC	160	125	160		2 (3×35)

← ادامه

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی سه‌فاز اتصال ستاره - مثلث (ادامه)

قدرت اسمی موتورهای سه‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 380 ولت، 50 هرتز			راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی - متال)		روش حفاظت موتورهای برقی				کابل یا سیم تغذیه
		دور در دقیقه								فیوز پشتیبان			اندازه کلید	
اسب بخار کیلووات	(متریک)	1000	1500	3000	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پایه (آمپر)	فشنگ (آمپر)	قطع (آمپر)	سطح مقطع و تعداد رشته
50	66.66	96	94.5	93	س - م	6	160	63 - 40	56	HRC	160	125	160	2 (3×35)
55	75	106	104	104	س - م	6	160	80 - 55	62	HRC	250	160	250	2(3×50)
75	100	144	142	140	س - م	6	160	100 - 70	84	HRC	250	200	250	2(3×70)
90	125	172	168	166	س - م	8/6	250	125 - 88	98	HRC	400	250	400	2(3×95)
110	150	210	205	200	س - م	8/6	250	125 - 88	120	HRC	400	250	400	2(3×95)
132	180	255	245	240	س - م	8/6	250	170 - 120	145	HRC	400	315	400	2(3×120)
160	220	295	295	290	س - م	12/8	500	250 - 175	175	HRC	630	400	630	2(3×150)
200	270	370	360	360	س - م	12/8	500	250 - 175	210	HRC	630	400	630	2(3×240)

← ادامه

انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی سه‌فاز اتصال ستاره - مثلث (ادامه)

قدرت اسمی موتورهای سه‌فاز		شدت جریان (آمپر) در 380 ولت، 50 هرتز			راه‌انداز			رله محافظ حرارتی (بی - متال)		روش حفاظت موتورهای برقی				کابل یا سیم تغذیه
		دور در دقیقه								فیوز پشتیبان			اندازه کلید	
کیلووات	اسب بخار (متریک)	1000	1500	3000	نوع	اندازه	جریان اسمی	گستره (آمپر)	تنظیم (آمپر)	نوع	پاپه	فشنگ (آمپر)	قطع (آمپر)	سطح مقطع و تعداد رشته
250	340	460	450	440	س - م	12/8	500	320 - 225	261	HRC	630	500	630	2(3×300)
315	430	580	570	560	س - م	12/10	700	400 - 280	331	HRC	2×630	2×500	1000	2(3×400)
380	515	700	680	660	س - م	12/10	700	400 - 280	395	HRC	2×630	2×500	1000	4(3×240)
400	545	720	715	710	س - م	-	1000	630 - 350	415	HRC	2×630	2×500	1000	4(3×240)
475	645	870	850	830	س - م	-	1000	630 - 350	493	HRC	2×630	2×500	1000	4(3×240)
500	680	910	895	875	س - م	-	1000	630 - 350	520	HRC	2×630	2×500	1000	6 (3×185)

* * *

روابط محاسباتی برق

قانون اهم :

$R = \frac{U}{I}\ [\Omega]$	$I = \frac{U}{R}\ [A]$	$U = I \times R\ [V]$

مقاومت سیم :

$R = \frac{l}{\chi \times A}\ [\Omega]$

l = طول سیم [m]

χ = قابلیت هدایت [$m/\Omega mm^2$]

A = سطح مقطع [mm^2]

مس : $\chi = 57\ \frac{m}{\Omega mm^2}$

آلومینیوم : $\chi = 33\ \frac{m}{\Omega mm^2}$

آهن : $\chi = 8.3\ \frac{m}{\Omega mm^2}$

روی : $\chi = 15.5\ \frac{m}{\Omega mm^2}$

مقاومت‌ها:

	$X_L = 2 \times \pi \times f \times L\ [\Omega]$	ترانسفورمر
	$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C}\ [\Omega]$	خازن
$Z = \frac{R}{\cos\varphi}\ [\Omega]$	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	امپدانس (مقاومت ظاهری)

f = فرکانس [Hz]

φ = اختلاف فاز (زاویه فاز)

L = مقاومت سلفی (اندوکتانس) [H]

C = مقاومت خازنی (کاپاسیتانس) [F]

X_L = امپدانس سلفی [Ω]

X_C = امپدانس خازنی [Ω]

مقاومت‌ها با اتصال موازی:

سه مقاومت موازی:	دو مقاومت موازی:
$R_g = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3}{R_1 \times R_2 + R_2 \times R_3 + R_1 \times R_3}\ [\Omega]$	$R_g = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}\ [\Omega]$

محاسبه عمومی مقاومت‌ها:

$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \ldots [1/\Omega]$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots [1/\Omega]$
	$\frac{1}{X} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \ldots [1/\Omega]$

← ادامه

روابط محاسباتی برق (ادامه)

افت ولتاژ:	با توان معلوم	با جریان معلوم
مستقیم (DC)	$\Delta U = \frac{2 \times l \times P}{\chi \times A \times U}$ [V]	$\Delta U = \frac{2 \times l \times I}{\chi \times A}$ [V]
تک‌فاز متناوب (AC)	$\Delta U = \frac{2 \times l \times P}{\chi \times A \times U}$ [V]	$\Delta U = \frac{2 \times l \times I}{\chi \times A} \times \cos\varphi$ [V]
سه فاز متناوب (AC)	$\Delta U = \frac{l \times P}{\chi \times A \times U}$ [V]	$\Delta U = \sqrt{3} \times \frac{l \times I}{\chi \times A} \times \cos\varphi$ [V]

محاسبات سطح مقطع سیم بر اساس افت ولتاژ:

	سه فاز متناوب (AC)	تک‌فاز متناوب (AC)	مستقیم (DC)
توان معلوم	$A = \frac{l \times P}{\chi \times u \times U}$ [mm²]	$A = \frac{2 \times l \times P}{\chi \times u \times U}$ [mm²]	$A = \frac{2 \times l \times P}{\chi \times u \times U}$ [mm²]
جریان معلوم	$A = \sqrt{3} \times \frac{l \times I}{\chi \times u} \times \cos\varphi$ [mm²]	$A = \frac{2 \times l \times I}{\chi \times u} \times \cos\varphi$ [mm²]	$A = \frac{2 \times l \times I}{\chi \times u}$ [mm²]

افت توان:

	تک‌فاز متناوب (AC)	مستقیم (DC)
	$P_{Verl} = \frac{2 \times l \times P \times P}{\chi \times A \times U \times U \times \cos\varphi \times \cos\varphi}$ [W]	$P_{Verl} = \frac{2 \times l \times P \times P}{\chi \times A \times U \times U}$ [W]

سه فاز متناوب (ac)

$$P_{Verl} = \frac{l \times P \times P}{\chi \times A \times U \times U \times \cos\varphi \times \cos\varphi}\ [W]$$

$l =$ [m];
$A =$ [mm²];
$\chi =$ $\chi = 57$; $\chi = 33$; $\chi = 8.3 \frac{m}{\Omega mm^2}$

توان الکتریکی

$I = \frac{P}{U}$[A]	$P = U \times I$ [W]
$I = \frac{P}{U \times \cos\varphi}$[A]	$P = U \times I \times \cos\varphi$[W]
$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi}$[A]	$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\varphi$[W]

روابط محاسباتی تعیین جریان بر حسب آمپر و توان بر حسب کیلو وات، کیلوولت آمپر و اسب

به‌دست آوردن:	جریان مستقیم	تک‌فاز	سه‌فاز
شدت جریان وقتی که توان بر حسب اسب معلوم است.	$\frac{hp \times 746}{E \times \%EFF}$	$\frac{hp \times 746}{E \times \%EFF \times PF}$	$\frac{hp \times 746}{1.73 \times E \times \%EFF \times PF}$
شدت جریان وقتی که توان بر حسب کیلووات معلوم است.	$\frac{kW \times 1000}{E}$	$\frac{kW \times 1000}{E \times PF}$	$\frac{kW \times 1000}{173 \times E \times \%EFF \times PF}$
شدت جریان وقتی که توان بر حسب کیلووات آمپر معلوم است.	-	$\frac{kVA \times 1000}{E}$	$\frac{kW \times 1000}{173 \times E}$
کیلو وات	$\frac{I \times E}{1000}$	$\frac{I \times E \times PF}{E}$	$\frac{I \times E \times 1.73 \times PF}{1000}$
کیلو ولت آمپر	-	$\frac{I \times E}{1000}$	
اسب	$\frac{E \times I \times \%EFF}{746}$	$\frac{E \times I \times \%EFF}{746}$	$\frac{E \times I\% EFF \times PF \times 1.7}{746}$

توان بر حسب kV

توان بر حسب اسب =hp

توان بر حسب کیلوولت آمپر =kVA

بازده بر حسب درصد = %EFF

شدت جریان بر حسب آمپر =I

اختلاف پتانسیل بر حسب ولت = E

۸

آسانسور و پله‌برقی

- ابعاد موتورخانه آسانسورهای کششی و هیدرولیک ۷۷۴
- مشخصات پله‌برقی و محاسبه ظرفیت حمل مسافر ۷۷۵
- ابعاد کابین و شفت آسانسورهای ساختمان‌های مسکونی ۷۷۸
- ابعاد کابین و شفت آسانسورهای ساختمان‌های غیرمسکونی ۷۷۹
- ابعاد کابین و شفت آسانسورهای ویژه بیمارستان ۷۸۰

الزامات نصب آسانسور

حداقل تعداد آسانسور	یک آسانسور برای چهار طبقه
حداقل فاصله دسترسی به آسانسور	45 متر
حداقل مساحت کابین	0.2 m^2 به ازای هر نفر
ضرورت احداث آسانسور	همه ساختمان‌های بیشتر از 3 طبقه
حداقل پهنای راهروی بین دوردیف آسانسور روبروی هم	3.5 تا 4.5 متر یا دو برابر عمق کابین

SOURCE: BUILDING SERVICES HANDBOOK-FRED HALL AND ROGER GREENO.

سرعت‌های متعارف آسانسور

نوع آسانسور	طبقات	سرعت (m/s)
کششی مسافربر	تا 4 طبقه	0.3-0.8
کششی مسافربر	4-6	0.8-1.2
کششی مسافربر	6-9	1.2-1.5
کششی مسافربر	9-15	5-7
هیدرولیکی مسافربر	-	0.1-1.0
باربر کششی یا هیدرولیکی	-	0.2-1

SOURCE: BUILDING SERVICES HANDBOOK-FRED HALL AND ROGER GREENO.

پله برقی

عرض استاندارد پلکان	600-800-1000 mm
سرعت متعارف	0.5 - 0.65 m/s
زاویه نسبت به سطح افقی طبقه	30 تا 35 درجه
ظرفیت حمل مسافر به ازای هر ساعت	$N = (3600 \times p \times v \times \cos\theta) / L$

P= تعداد نفرات به ازای هر پله
V= سرعت m/s
θ= زاویه پله برقی
L= عرض پله (mm)

- به عنوان مثال ظرفیت حمل مسافر برای یک پله برقی با زاویه 35 درجه و سرعت 0.65 m/s و عرض پلکان 400 mm عبارت است از:
نفر به ازای هر ساعت $N = 3600 \times 1 \times 0.65 \times 0.8192 / 0.4 = 4792$

SOURCE: BUILDING SERVICES HANDBOOK-FRED HALL AND ROGER GREENO.

ابعاد کلی کابین و شفت آسانسور

ابعاد شفت (m)		ابعاد کابین (m)			ابعاد در (m)		ارتفاع چاهک	ابعاد اتاق موتورخانه (m)		
عرض	عمق	عرض	عمق	ارتفاع	عرض	ارتفاع	انتهای شفت (m)	عرض	طول	ارتفاع
1.8	2.1	1.1	1.4	2.2	0.8	2.0	1.7	2.5	3.7	2.6
1.9	2.3	1.35	1.4	2.2	0.8	2.0	1.7	2.5	3.7	2.6
2.4	2.3	1.6	1.4	2.3	1.1	2.1	1.8	3.2	4.9	2.7
2.6	2.3	1.95	1.4	2.3	1.1	2.1	1.9	3.2	4.9	2.7
2.6	2.6	1.95	1.75	2.3	1.1	2.1	1.9	3.2	5.5	2.8

● ارتفاع موتورخانه مربوط به فاصله روی سکوی نصب موتور گیربکس تا زیر سقف است. بنابراین ارتفاع سایر قسمت‌های موتورخانه از کف تمام شده تا زیرسقف به اندازه برآمدگی سکوی نصب که معمولا آن را بین 90 تا 120 سانتی‌متر در نظر می‌گیرند بیشتر خواهد بود.

SOURCE: BUILDING SERVICES HANDBOOK-FRED HALL AND ROGER GREENO.

ابعاد کابین آسانسور کششی مسافربر برای ساختمان‌های مسکونی

ظرفیت به کیلوگرم	300	375	450	600	1000
ظرفیت به نفر	4	5	6	8	13
عرض کابین (mm)	900	1100	1100	1100	1100
عمق کابین (mm)	1000	1000	1100	1400	2100
ارتفاع کابین (mm)	2200	2200	2200	2200	2200
عرض در طبقات و کابین (mm)	700	800	800	800	800
ارتفاع در طبقات و کابین (mm)	2000	2000	2000	2000	2000

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم

ابعاد چاه آسانسور کششی مسافربر برای ساختمان‌های مسکونی

ظرفیت به کیلوگرم		300	375	450	600	1000
ظرفیت به نفر		4	5	6	8	13
عرض چاه (mm)	در نیمه اتوماتیک	1400	1600	1600	1600	1600
	در اتوماتیک کشویی	1400	1600	1600	1600	1600
	در اتوماتیک وسط بازشو	–	1800	1800	1800	1800
عمق چاه (mm)		1600	1700	1900	2600	2600
ارتفاع چاهک پایین حدفاصل روی کف پایین‌ترین طبقه تا کف چاه برای آسانسور با سرعت‌های مختلف (mm)	تا 1 m/s	1400	1400	1400	1400	1400
	تا 1.6 m/s	–	1600	1600	1600	1600
	تا 2.5 m/s	–	–	–	2200	2200
ارتفاع روی کف آخرین طبقه تا زیر سقف چاه برای آسانسور با سرعت‌های مختلف (mm)	تا 0.63 m/s	3600	3600	3600	3600	3600
	تا 1 m/s	3700	3700	3700	3700	3700
	تا 1.6 m/s	3800	3800	3800	3800	3800
	تا 2.5 m/s	–	–	–	5000	5000

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم

ابعاد موتورخانه آسانسور کششی مسافربر تا سرعت 1 متر بر ثانیه برای ساختمان‌های مسکونی

ظرفیت به کیلوگرم	300	375	450	600	1000
ظرفیت به نفر	4	5	6	8	13
عرض (mm)	1600	2200	2200	2400	2400
عمق (mm)	3000	3200	3200	3700	4200
ارتفاع از روی سقف چاه آسانسور تا زیر سقف موتورخانه برای همه ظرفیت‌ها					2000 میلی‌متر

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم

ابعاد موتورخانه آسانسور کششی مسافربر تا سرعت 1.6 متر بر ثانیه برای ساختمان‌های مسکونی

ظرفیت به کیلوگرم	300	375	450	600	1000
ظرفیت به نفر	4	5	6	8	13
عرض (mm)	ـ	2200	2200	2200	2400
عمق (mm)	ـ	3200	3200	3700	4200
ارتفاع از روی سقف چاه آسانسور تا زیر سقف موتورخانه برای همه ظرفیت‌ها					2200 میلی‌متر

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم

ابعاد موتورخانه آسانسور کششی مسافربر تا سرعت 2.5 متر برای ساختمان‌های مسکونی

ظرفیت به کیلوگرم	300	375	450	600	1000
ظرفیت به نفر	4	3	6	8	13
عرض (mm)	ـ	ـ	ـ	2800	2800
عمق (mm)	ـ	ـ	ـ	3700	4200
ارتفاع از روی سقف چاه آسانسور تا زیر سقف موتورخانه برای همه ظرفیت‌ها					2600 میلی‌متر

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم

ابعاد موتورخانه آسانسورهای هیدرولیک

	مسافربر مسکونی از 300 تا 1000 کیلوگرم	مسافربر غیر مسکونی از 600 تا 1600 کیلوگرم	خودروبر از 2000 تا 2500 کیلوگرم
عرض (mm)	2000	2000	2000
عمق (mm)	2000	2000	2000
ارتفاع (mm)	2000	2000	2000

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم

ابعاد کابین آسانسور کششی مسافربر برای ساختمان‌های غیر مسکونی

ظرفیت به کیلوگرم	600	750	1000	1200	1600
ظرفیت به نفر	8	10	13	16	21
عرض کابین (mm)	1100	1350	1600	1950	1950
عمق کابین (mm)	1400	1400	1400	1400	1750
ارتفاع کابین (mm)	2200	2200	2300	2300	2300
عرض در طبقات و کابین (mm)	800	800	1100	1100	1100
ارتفاع در طبقات و کابین (mm)	2000	2000	2100	2100	2100

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم

ابعاد چاه آسانسور کششی مسافربر برای ساختمان‌های غیر مسکونی

ظرفیت به کیلوگرم		600	750	1000	1200	1600
ظرفیت به نفر		8	10	13	16	21
عرض چاه (mm)	در تلسکوپی	1600	1800	2100	2400	2400
	در از وسط بازشو	1800	1900	2400	2600	2600
عمق چاه (mm)		1900	2100	2100	2100	2400
ارتفاع چاهک پایین- حدفاصل روی کف پایین‌ترین طبقه تا کف چاه برای آسانسور با سرعت‌های مختلف (mm)	تا 1.0 m/s	1400	1400	1400	1600	1600
	تا 1.6 m/s	1600	1600	1600	1600	1600
	تا 2.5 m/s	–	2200	2200	2200	2200
ارتفاع روی کف آخرین طبقه تا زیر سقف چاه برای آسانسور با سرعت‌های مختلف (mm)	تا 0.63 m/s	3800	3800	4200	4400	4400
	تا 1.0 m/s	3800	3800	4200	4400	4400
	تا 1.6 m/s	4000	4000	4200	4400	4400
	تا 2.5 m/s	–	5000	5200	5400	5400

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم

ابعاد موتورخانه آسانسور کششی مسافربر تا سرعت 1.6 متر بر ثانیه برای ساختمان‌های غیر مسکونی

ظرفیت به کیلوگرم	600	750	1000	1200	1600
ظرفیت به نفر	8	10	13	16	21
عرض (mm)	2500	2500	2500	3200	3200
عمق (mm)	3700	3700	3700	4900	5500
ارتفاع* (mm)	2200	2200	2200	2400	2800

** منظور از ارتفاع فاصله از روی سقف چاه آسانسور تا زیر سقف موتورخانه است.*

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم

ابعاد موتورخانه آسانسور کششی مسافربر تا سرعت 2.5 متر بر ثانیه برای ساختمان‌های غیر مسکونی

ظرفیت به کیلوگرم	600	750	1000	1200	1600
ظرفیت به نفر	8	10	13	16	21
عرض (mm)	ـ	4200	5200	5200	5200
عمق (mm)	ـ	4900	4900	4900	5500
ارتفاع از روی سقف چاه آسانسور تا زیر سقف موتورخانه برای همه ظرفیت‌ها					2800 میلی‌متر

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم

ابعاد کابین آسانسور کششی بیمارستانی

نوع	برانکاردبر	تخت‌بر		
ظرفیت به کیلوگرم	1000	1600	2000	2500
عرض کابین (mm)	1100	1400	1500	1800
عمق کابین (mm)	2100	2400	2700	2700
ارتفاع کابین (mm)	2200	2300	2300	2300
عرض در طبقات و کابین (mm)	900	1300	1300	1300
ارتفاع در طبقات و کابین (mm)	2000	2100	2100	2100

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم

ابعاد چاه آسانسور کششی بیمارستانی

نوع		برانکاردبر	تخت‌بر		
ظرفیت به کیلوگرم		1000	1600	2000	2500
عرض چاه (mm)	در تلسکوپی	1800	2400	2400	2400
	در از وسط بازشو	2000	2900	2900	2900
عمق چاه (mm)		2600	3000	3300	3300
ارتفاع چاهک پایین- حدفاصل روی کف پایین‌ترین طبقه تا کف چاه برای آسانسور با سرعت‌های مختلف (mm)	تا 0.63 m/s	1500	1600	1600	1800
	تا 1.0 m/s	1600	1700	1700	1900
	تا 1.6 m/s	1800	1900	1900	2100
	تا 2.5 m/s	2400	2500	2500	2500
ارتفاع روی کف آخرین طبقه تا زیر سقف چاه برای آسانسور با سرعت‌های مختلف (mm)	تا 1.6 m/s	4200	4400	4400	4600
	تا 2.5 m/s	5200	5400	5400	5600

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم

ابعاد موتورخانه آسانسور کششی بیمارستانی

نوع	برانکاردبر		تخت‌بر	
ظرفیت به کیلوگرم	1000	1600	2000	2500
عرض (mm)	2200	3200	3200	3500
عمق (mm)	4200	5500	5800	5800
ارتفاع* (mm)	2200	2800	2800	2800

* منظور از ارتفاع، فاصله از روی سقف چاه آسانسور تا زیر سقف موتورخانه است.

مرجع: مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم

ابعاد کابین آسانسور خودروبر

ظرفیت به کیلوگرم	2000	2500
عرض (mm)	2400	2500
عمق (mm)	5000	5700
ارتفاع (mm)	2200	2200
عرض در طبقات و کابین (mm)	2400	2500
ارتفاع در طبقات و کابین (mm)	2200	2200

ابعاد چاه آسانسور خودروبر

ظرفیت به کیلوگرم	2000	2500
ارتفاع چاهک پایین، حدفاصل روی کف پایین‌ترین طبقه تا کف چاه برای آسانسور با سرعت 0.63m/s بر حسب میلی‌متر	1300	1300
ارتفـــاع روی کف آخرین طبقه تا زیر ســـقف چاه بر روی آسانســـور با ســـرعت 0.63m/s بر حسب میلی‌متر برای نوع کششی و هیدرولیکی که مقدار هیدرولیکی در داخل پرانتز است.	(3300) 4200	(3300) 4200

ابعاد موتورخانه آسانسور کششی خودروبر با سرعت 0.63 متر بر ثانیه

ظرفیت به کیلوگرم	2000	2500
عرض (mm)	3200	3200
عمق (mm)	5300	6000
ارتفاع از روی سقف چاه آسانسور تا زیر سقف موتورخانه برای همه ظرفیت‌ها		2000 میلی‌متر

آسانسورهای مجاور با چاه مشترک

- عرض کل چاه مشـــترک برابر با مجموع چاه‌های هر آسانسور به علاوه ضخامت دیواره‌ها یا سازه‌های جدا کننده است. عرض هر دیواره حداقل 200 میلی‌متر است.
- عمق چاهک برابر با عمق سریع‌ترین آسانسور موجود در چاه مشترک است.
- حداقل ارتفاع کف آخرین توقف تا زیر ســـقف موتورخانه برابر با ارتفاع استاندارد برای سریع‌ترین آسانسور موجود در چاه مشترک است.

* * *

۹

انرژی

- مقایسه محتوای گرمایی انواع منابع انرژی ۷۸۴
- سهم مصارف انرژی در اماکن و کاربردهای مختلف..... ۷۸۴
- تاثیر عدم نگهداری مناسب در مصرف انرژی.....۷۸۹
- COP، EER، SEER، HSPF، kW/ton ۷۹۱

مقایسه محتوای گرمایی انواع منابع انرژی

1 بشکه نفت خام (42 گالن)	5800000 Btu
1 گالن بنزین	124000 Btu
1 گالن نفت سفید	139000 Btu
1 فوت‌مکعب گاز طبیعی	1026 Btu
1 گالن پروپان	91000 Btu
1 تن کوچک ذغال‌سنگ	20681000 Btu
1 کیلووات ساعت برق	3412 Btu

SOURCE: ENERGY POWERING THE PAST،PRESENT AND FUTURE- JULIE KERR CASPER

سهم مصارف انرژی در آپارتمان‌ها

موارد مصرف	دامنه (٪)	مصرف معمول (٪)
کنترل شرایط محیطی	50-80	70
روشنایی و پریزهای برق	10-20	15
آبگرم مصرفی	2-5	3
سایر اماکن خاص در ساختمان‌های آپارتمانی مانند، رختشویخانه، استخر، پارکینگ و آسانسور	5-20	12

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING- FIFTH EDITION- ALBERT THOMANNAND AND D.PAUL MEHTA

سهم مصارف انرژی در شیرینی‌پزی و نانوایی‌ها

موارد مصرف	سهم مصرف (٪)	موارد مصرف	سهم مصرف (٪)
گرمایش فضاها	21.5	مخلوط‌کن‌ها	4.1
تهویه مطبوع	1.6	فریزرها	3.3
روشنایی	1.4	پخت	2.0
آبگرم مصرفی	1.8	سرخ‌کن‌ها	1.8
اجاق‌ها و فرهای پخت	49.0	سایر مصارف	2.9
تشت شستشو	10.6		

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING- FIFTH EDITION- ALBERT THOMANNAND AND D.PAUL MEHTA

سهم مصارف انرژی در ریخته‌گری و قالب‌ریزی‌ها

موارد مصرف	سهم مصرف (٪)	موارد مصرف	سهم مصرف (٪)
گرمایش فضاها	24	حوضچه سردکن	20
تهویه مطبوع	2	ماشین قالب‌ریزی	10
روشنایی	2	کمپرسور هوای فشرده	5
آبگرم مصرفی	2	سایر فرایندها	5
ذوب	30		

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING- FIFTH EDITION- ALBERT THOMANNAND AND D.PAUL MEHTA

سهم مصارف انرژی در بیمارستان‌ها

موارد مصرف	دامنه (٪)	مصرف معمول (٪)
کنترل شرایط محیطی	40-65	58
روشنایی و پریزهای عمومی	10-20	15
رختشویخانه‌ها	8-15	12
آشپزخانه	5-10	7
تجهیزات پزشکی- بخش استریلیزاسیون آسانسورها، پارکینگ	5-15	8

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING- FIFTH EDITION- ALBERT THOMANNAND AND D.PAUL MEHTA

سهم مصارف انرژی در هتل‌ها و متل‌ها

موارد مصرف	دامنه (٪)	مصرف معمول (٪)
گرمایش فضاها	45-70	60
روشنایی	5-15	11
تهویه مطبوع	3-15	10
تبرید	0-10	4
سایر فضاها و مصارف مانند آشپزخانه، رختشویخانه، رستوران، استخر شنا، پارکینگ و آبگرم	5-20	15

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING- FIFTH EDITION- ALBERT THOMANNAND AND D.PAUL MEHTA

سهم مصارف انرژی در فروشگاه‌ها

موارد مصرف	دامنه (٪)	مصرف معمول (٪)
گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع	20-50	30
روشنایی	40-75	60
سایر مصارف مانند آسانسورها، پارکینگ و آبگرم مصرفی	5-20	10

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING- FIFTH EDITION- ALBERT THOMANNAND AND D.PAUL MEHTA

سهم مصارف انرژی در فروشگاه‌ها

موارد مصرف	دامنه (٪)	مصرف معمول (٪)
کنترل شرایط محیطی	45-80	65
روشنایی و پریزها	10-20	15
سرویس‌های مربوط به غذا	5-10	7
آبگرم مصرفی	2-5	3
مصارف خاص	0-20	10

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING- FIFTH EDITION- ALBERT THOMANNAND AND D.PAUL MEHTA

سهم مصارف انرژی در رستوران‌ها

موارد مصرف	دامنه (٪)	مصرف معمول (٪)
گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع	32	36
روشنایی	8	26
آماده‌سازی غذا	45	27
انبار و ذخیره‌سازی	2	6
رعایت اصول بهداشتی و سرویس‌ها	12	1
سایر	1	4

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING- FIFTH EDITION- ALBERT THOMANNAND AND D.PAUL MEHTA

سهم مصارف انرژی در ترمینال‌های مسافربری

موارد مصرف	دامنه (٪)	مصرف معمول (٪)
گرمایش فضاها	50-75	60
روشنایی	5-25	15
تهویه مطبوع	5-25	15
سایر مصارف مانند آسانسورها، پارکینگ و آبگرم مصرفی	3-20	10

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING- FIFTH EDITION- ALBERT THOMANNAND AND D.PAUL MEHTA

سهم مصارف انرژی در انبارها و اماکن ذخیره‌سازی

موارد مصرف	دامنه (٪)	مصرف معمول (٪)
گرمایش فضاها	45-80	67
تهویه مطبوع	3-10	6
روشنایی	4-12	7
تبرید	0-40	12
سایر مصارف مانند آسانسورها، پارکینگ و آبگرم	5-15	8

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING- FIFTH EDITION- ALBERT THOMANNAND AND D.PAUL MEHTA

مصرف انرژی برخی لوازم خانگی

نوع	توان (وات)	مصرف سالانه (کیلووات ساعت در سال)
رادیو	10	10
ضبط استریو	90	90
تلویزیون رنگی	100	229
ویدئو	30	63
پخش CD	12	6
میکروکامپیوتر	125	63
کامپیوتر پرینتر	250	25
نمابر	65	75
مخلوط‌کن	127	20
سرخ‌کن	1140	85

← ادامه

مصرف انرژی برخی لوازم خانگی (ادامه)

نوع	توان (وات)	مصرف سالانه (کیلووات ساعت در سال)
قهوه‌ساز	1200	140
جوجه سرخ‌کن	1448	83
ظرف‌شویی	1201	363
تخم‌مرغ‌پز	516	14
خرد کن	300	1
ماکروویو	1300	170
توستر	1146	39
اجاق برقی	3200	288
یخچال 18.5 تا 20.4 فوت‌مکعب	–	444
یخچال سایدبای‌ساید 20.5-22.4 فوت‌مکعب	–	612
اتوی دستی	1100	60
ماشین رخت‌شویی	–	286
آبگرمکن برقی	2475	4219
ساعت برقی	2	17
چرخ‌خیاطی برقی	75	11
صافی برقی هوا	50	216
دستگاه تهویه مطبوع اتاقی	600	600
رطوبت‌گیر برقی	257	377
فن زیر شیروانی	370	291
فن تهویه	88	43
فن پنجره‌ای	200	170
گرمکن برقی پرتابل	1322	176
رطوبت زن	177	163
سشوار	1000	40
لامپ مادون قرمز برای گرمایش	250	13
ریش تراش	15	0.5
مسواک برقی	1.1	1.0

SOURCE: ENERGY MANAGEMENT AND CONSERVATION HANDBOOK -FRANK KREITH

تاثیر عدم نگهداری مناسب در مصرف انرژی

تاثیر نگهداری نامناســب در بازده و مصرف انــرژی یک چیلر تراکمی با کمپرسور سیلندر پیستونی به ظرفیت نامی 15 تن تبرید

شرایط	دمای مکش (°F)	دمای تقطیر (°F)	ظرفیت (ton)	کاهش ظرفیت (٪)	توان ترمزی (hp)	توان ترمزی به ازای ظرفیت تبرید hp/t	افزایش توان مصرفی به ازای ظرفیت تبرید (٪)
طبیعی	45	105	17.0	–	15.9	0.93	–
کندانسور کثیف	45	115	15.6	8.2	17.5	1.12	20
اواپراتور کثیف	35	105	13.8	18.9	15.3	1.10	18
اواپراتور کندانسور کثیف	35	115	12.7	25.4	16.4	1.29	39

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING-FIFTH EDITION-ALBERT THUMANN AND D.PAUL MEHTA

تاثیر نگهداری نامناسب در بازده و مصرف انرژی یک چیلر جذبی به ظرفیت نامی 520 تن تبرید

شرایط	دمای آب‌سرد خروجی (°F)	دمای آب برج خنک کننده (°F)	ظرفیت (ton)	کاهش ظرفیت (٪)	مصرف بخار (lb/ton/hr)	درصد (٪)
طبیعی	44	85	520	–	18.7	–
کندانسور کیفیت	44	90	457	12	19.3	3
اواپراتور کیفیت	40	85	468	10	19.2	2.5
اواپراتور و کندانسور کیفیت	40	90	396	23.8	20.1	7.5

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING-FIFTH EDITION-ALBERT THUMANN AND D.PAUL MEHTA

اتلاف حرارت از منبع آبگرم

با عایق 75mm پشم شیشه در دمای محیط 25 درجه سلسیوس.

ظرفیت مخزن(lit)	اتلاف حرارت از مخزن(W)	ظرفیت مخزن(lit)	اتلاف حرارت از مخزن(W)	ظرفیت مخزن(lit)	اتلاف حرارت از مخزن(W)
150	40	650	100	3000	280
250	55	1000	135	4500	360
300	60	1500	180		
450	80	2500	250		

SOURCE: HEATING AND AIR CONDITIONING OF BUILDINGS-P.L.MARTIN-D.R.OUGHTON

مقایسه اتلاف گرما در لوله‌های عایق شده و نشده

قطر لوله (in)	دمای سطح (°F)	ضخامت عایق (in)	اتلاف گرما (Btu/ft/hr)		
			عایق نشده	عایق شده	بازده عایق
	200	$1^1/_2$	300	70	76.7
4	300	2	800	120	85.0
	400	$2^1/_2$	1500	150	90.0
	200	$1^1/_2$	425	95	78.7
6	300	2	1300	180	85.8
	400	$2^1/_2$	2000	195	90.25
	200	$1^1/_2$	550	115	79.1
8	300	2	1500	200	86.7
	400	$2^1/_2$	2750	250	91.0

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING-FIFTH EDITION-ALBERT THUMANN AND D.PAUL MGHTA

اتلاف انرژی از طریق نشت سیال

قطر سوراخ نشت (in)	بخار lb/hr		آب gal/hr		هوا بر حسب scfm در فشار 80psig
	100 psig	300 psig	20 psig	100 psig	
$^1/_{16}$	14	33	20	45	4
$^1/_8$	56	132	80	180	26
$^3/_{16}$	126	297	180	405	36
$^1/_4$	224	528	320	720	64

SOURCE: HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING-FIFTH EDITION-ALBERT THUMANN AND D.PAUL MEHTA

ضریب کارایی (COP)

ضریب کارایی (Coefficient of Performance) نسبتی است بین توان خروجی به توان ورودی یک دستگاه و نشانگر عملکرد دستگاه در تبدیل انرژی و نمایانگر قابلیت کار آن است:

$$\mathrm{COP} = \frac{\mathrm{P_{output}}}{\mathrm{P_{input}}}$$

هرچه COP بزرگتر باشد؛ بازده سیستم بیشتر است. ضریب کارایی عددی بدون واحد است؛ اما توان خروجی و ورودی برحسب وات است.

ضریب کارایی (COP) نشانگر بازده به صورت لحظه‌ای و در یک نقطه از زمان است. در طول بهره‌برداری از یک دستگاه عوامل مختلفی بر ضریب کارایی موثر افتاده و مقدار آن را تغییر می‌دهند. در واقع ضریب کارایی هر دستگاهی براساس آزمایش در شرایطی خاص تعیین می‌شود و تنها نشانگر قابلیت انجام کار در همان شرایط است و از آن نمی‌توان برای تخمین انرژی مصرفی در طول زمان بهره‌برداری استفاده کرد.

نسبت بازده انرژی (EER)

نسبت بازده انرژی (Energy Efficiency Ratio) نسبتی است بین خروجی یک دستگاه سرمایشی برحسب Btu به انرژی الکتریکی ورودی برحسب وات ساعت:

$$\mathrm{EER} = \frac{\mathrm{Btu}}{\mathrm{Wh}}$$

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با ورود پارامتر زمان، EER را می‌توان برای یک بازه زمانی یک ساعته به کار برد. برخی به اشتباه رابطه بالا را به صورت زیر به کار می‌برند:

$$\mathrm{EER} = \frac{\mathrm{Btu/h}}{\mathrm{W}}$$

رابطه بالا اگرچه از نظر بازده انرژی نادرست است؛ اما تعیین نسبت توان را آسان می‌کند. به عنوان مثال اگر دستگاهی دارای ظرفیت 5 تن تبرید با نسبت بازده انرژی 11.6 باشد. توان الکتریکی ورودی آن به صورت

زیر تعیین می‌شود:

$$\mathrm{EER} = \frac{\mathrm{Btu/h}}{\mathrm{W}}$$

$$11.6 = \frac{5 \times 12000\mathrm{Btu/h}}{\mathrm{W}} = 5172\mathrm{W} = 5.172\mathrm{kW}$$

به طور معمول EER دستگاه تحت شرایط مندرج در جدول زیر تعیین می‌شود:

	دمای خشک (°C) °F	دمای مرطوب (°C) °F	رطوبت نسبی (٪)	دمای شبنم (°C) °F
شرایط هوای خارج	(35)95	(24)75	40	(19)67
شرایط هوای داخل	(27)80	(19)67	51	(16)60

برای تبدیل EER به COP می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

EER=COP×3.41

نسبت بازده انرژی فصلی (SEER)

مانند EER، نسبت بازده انرژی فصلی (Seasonal Energy Efficiency Ratio) نسبتی است بین انرژی سرمایی خروجی دستگاه برحسب Btu به انرژی الکتریکی ورودی برحسب وات ساعت ؛ اما در یک فصل:

$$\mathrm{SEER} = \frac{\mathrm{Btu}_{season}}{\mathrm{Wh}_{season}}$$

بنابراین SEER نشانگر بازده انرژی در دماهای متفاوت یک فصل است. برای تعیین SEER یک دستگاه باید EER یا COP در ساعت‌های متفاوت با دماها و شرایط مختلف مورد محاسبه قرار گیرد.

مثال: SEER دستگاهی 13 تعیین شد است. اگر ظرفیت این دستگاه 5 تن تبرید (60000Btu/h) باشد و قرار باشد که 180 روز در سال کارکند. می‌توان فرض کرد که در روزهای گرم 14 ساعت و روزهای دیگر 4 ساعت باید مورد بهره‌برداری قرار گیرد. بنابراین می‌توان میانگین کارکرد روزانه دستگاه را 8 ساعت در نظر گرفت و اگر باز فرض کنیم که میانگین انرژی سرمایی مورد نیاز در طول 180 روز 2/3 باشد؛ می‌توان انرژی مورد نیاز را به شکل

زیر محاسبه کرد:

$$\frac{60000\text{Btu}}{\text{h}} \times \frac{2}{3} \times \frac{8\text{h}}{\text{day}} \times 180\text{days} = 57600000\ \text{Btu}$$

بنابراین انرژی مورد نیاز برابر است با:

$$\frac{57600000\text{Btu}}{13} = 4430769\text{Wh} = 4.43\text{MWh}$$

اکنون با در اختیار داشتن بهای برق به ازای هر وات یا کیلووات ساعت می‌توان، هزینه انرژی مصرفی برای یک فصل را محاسبه کرد. توجه به این نکته ضروری است که هرچه مقدار SEER بیشتر باشد؛ هزینه‌های مصرف انرژی کاهش می‌یابد. بنابراین به هنگام خرید تجهیزات باید به این مقدار توجه کرد. در استانداردهای آمریکایی برای تجهیزات خنک‌کننده دو تکه و یکپارچه حداقل SEER برابر با 13 درنظر گرفته شده است.

همان‌گونه که اشاره شد؛EER براساس شرایط مشخصی که در جدول پیشین آمد تعیین می‌شود، در حالی که SEER میانگین شرایط دیگری است که کمتر یا برابر مندرجات در جدول است. مقدارSEER به طور معمول 15 تا 35 درصد بیشتر از EER است و برای تبدیل این دو به یکدیگر می‌توان از دو رابطه زیر استفاده کرد:

$$\text{EER} = 1.12 \times \text{SEER} - 0.02 \times \text{SEER}^2$$

یا:

$$\text{SEER} = \frac{1.12 - \sqrt{1.2544 - 0.08 \times \text{EER}}}{0.04}$$

مثال: اگر EER دستگاهی 12 باشد؛ می‌توان SEER آن را به صورت زیر تعیین کرد:

$$\text{SEER} = \frac{1.12 - \sqrt{1.2544 - 0.08 \times 12}}{0.04} = 14.4$$

از نظر تئوری، برای این مثال SEER به مقدار 20 درصد بیشتر از EER است؛ اما در عمل ممکن است این مقدار بیشتر شود.

ضریب کارایی فصلی گرمایش (HSPF)

ضریب کارایی فصلـــی گرمایش (Heating Seasonal Performance Factor) مانند SEER است که برای تجهیزات گرمایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد و مانند EER، COP و SEER هرچه بزرگتر باشـــد، بازده دستگاه بیشتر است. رابطه COP با HSPF به صورت زیر است:

$$\text{COP} = \frac{\text{output heating energy}}{\text{input electrical energy}} = \text{HSPF} \times 0.293$$

به عنوان مثال اگر HSPF دســـتگاهی 8 باشد؛ ضریب کارایی (COP) آن 2.3 خواهد بود. به این معنـــا که با صرف 1kWh انرژی الکتریکی، 2.3kWh گرما توسط دستگاه که ممکن است یک پمپ حرارتی باشد؛ تامین خواهد شد. مطابق اســـتانداردهای آمریکایی مقدار HSPF دستگاه نباید کمتر از 7.7 باشد.

کیلووات بر تن (kW/ton)

بـــرای بیان بازده و کارایی تجهیزات پرظرفیت و صنعتی سرمایشـــی از کیلووات بر تن استفاده می‌شود. این نام به وضوح نشان می‌دهد که به ازای هر تن تبرید چه مقدار توان الکتریکی مورد نیاز است. بنابراین هرچه مقدار کیلووات بر تن کوچک‌تر باشـــد، کارایی و بازده دستگاه بیشتر خواهد بود. برای تبدیل کیلووات برتن به COP می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$\text{COP} = \frac{\text{Power output(W)}}{\text{Power input(W)}} = \frac{3.517}{\text{kW/ton}}$$

بـــرای مثال چیلری با نرخ 1.8kW/ton دارای ضریب کارایی (COP) 1.95 است. بنابراین به ازای هر 1 کیلووات مصرف انرژی الکتریکی، معادل 1.95 کیلووات سرما تامین خواهد کرد.

۱۰

نمایه

آب ۵۷۱
تخمین مصرف آب بر اساس نوع کاربری و ساختمان ۵۷۳
حداقل مقدار جریان و فشار آب در پشت شیرهای لوازم بهداشتی ۵۸۶
حداکثر فشار و مقدار آب در لوازم بهداشتی ۵۸۷
حداکثر مقدار مجاز برخی عناصر و ترکیبات در آب شرب ۵۷۲
دبی و فشار لوازم بهداشتی ۵۸۵
فشار اشباع آب ۸۰
مشخصات آب ۸۰
مشخصات گرمایی یخ ۸۴
نرخ جریان آب ۴۹
نسبت بین فشار و نقطه انجماد آب ۸۰
ویسکوزیته دینامیک و سینماتیک آب ۸۱
آب باران ۶۲۳
تخمین قطر لوله آب باران ۶۲۳
تعیین قطر لوله افقی آب باران ۶۲۳
تعیین قطر لوله عمودی آب باران ۶۲۴
قطر لوله عمودی آب باران مطابق مقررات ملی ساختمان ۶۲۴
قطر نامی لوله‌های افقی آب باران مطابق مقررات ملی ساختمان ۶۲۵

آب سطحی **۶۲۲**
تخلیه آب‌های سطحی ۶۲۲
آبگرم **۸۳**
وزن آبگرم به ازای هر فوت‌مکعب در دماهای مختلف ۸۳
آبگرم مصرفی **۵۷**
ابعاد منبع آبگرم و گنجایش آن برحسب گالن ۳۳۴
تخمین بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی بر اساس لوازم بهداشتی ۶۶۲
تخمین بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی به ازای هر نفر ۶۶۲
تعیین بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی ۱۶۱
تعیین ظرفیت پمپ برگشت آبگرم مصرفی ۵۸
تعیین ظرفیت منبع آبگرم مصرفی ۵۷
تعیین مصرف آبگرم و حجم منبع ۳۳۱
تعیین مقدار گرمای مورد نیاز برای تولید آبگرم مصرفی ۳۳۳
حداکثر مصرف آبگرم ۳۳۲-۵۹۷
دمای پیشنهادی آبگرم برای برخی مصارف ۵۸۵
مصرف آبگرم بر اساس سرویس‌های بهداشتی ۵۹۵
مصرف آبگرم بر اساس نوع ساختمان ۵۹۵
منبع ذخیره آبگرم ۳۳۳
نرخ آبگرم بر اساس نوع مصرف در ساختمان‌های مختلف ۵۹۴
آبگرمکن **۳۲۵**
تخمین سطح کلکتور خورشیدی آبگرمکن ۳۲۹
حداقل ظرفیت و دبی آبگرمکن‌های مخزنی و لحظه‌ای ۳۲۶
ظرفیت آبگرمکن برقی ۳۲۶-۳۲۷-۳۲۸
ظرفیت آبگرمکن گازسوز ۳۲۶-۳۲۷-۳۲۸
ظرفیت آبگرمکن نفتی ۳۲۶-۳۲۷-۳۲۸
اتاق تمیز **۶۸۵**
پوشش فیلترها در سقف اتاق‌های تمیز ۶۹۰
حداقل تناوب زمانی آزمایش اتاق‌های تمیز ۶۸۹
حداکثر تعداد ذرات در واحد حجم اتاق‌های تمیز ۶۸۸
طبقه‌بندی اتاق‌های تمیز ۶۸۶-۶۸۷-۶۸۸
محاسبه حداکثر ذره در استاندارد ISO ۶۸۸

معرفی و مقایسه استانداردهای مختلف اتاق‌های تمیز ۶۸۶
نرخ تعویض هوا و سرعت هوا در اتاق‌های تمیز ۶۸۹
اتلاف حرارت ۲۴۵
ضرایب اطمینان در محاسبات اتلاف حرارت ۲۴۵
اتلاف حرارت از منبع آبگرم ۷۹۰
اتلاف گرما ۶۷۹
مقایسه اتلاف گرما در لوله‌های عایق شده و نشده ۷۹۰
اتلاف گرما از سطح استخر ۶۸۱-۶۷۹
اثر سرد باد ۷۳
احتراق ۲۵۳
بازده احتراق ۲۵۴-۴۸
دمای احتراق ۲۵۳
هوای احتراق ۲۵۹-۲۵۸-۲۵۷
هوای اضافی برای احتراق خوب ۲۵۹
ارتفاع ۴۲۷-۲۴۵-۹۸-۷۲
تعیین ضریب ارتفاع ۴۲۷
ضریب تصحیح ارتفاع ۹۸
ارتفاع تقریبی نصب شیرها یا سر لوله‌ها از کف تمام شده ۵۹۳
فشار هوا و ارتفاع ۷۲
دمای هوا و ارتفاع ۷۲
تاثیر ارتفاع در مقدار نفوذ ۲۴۵
ارتفاع آبدهی ۴۵۵-۴۵۴
تبدیل ارتفاع آبدهی (m) به فشار (bar) ۴۵۴
تبدیل واحد ارتفاع آبدهی به فشار ۴۵۴
آسانسور ۷۷۲
ابعاد چاه آسانسور خودروبر ..... ۷۸۱ -۷۸۰
ابعاد چاه آسانسور کششی بیمارستانی ۷۸۰- ۷۷۹
ابعاد چاه آسانسور کششی مسافربر برای ساختمان‌های غیر مسکونی ۷۷۸
ابعاد چاه آسانسور کششی مسافربر برای ساختمان‌های مسکونی ۷۷۶- ۷۷۵
ابعاد کلی کابین و شفت آسانسور ۷۷۵
ابعاد موتورخانه آسانسور کششی بیمارستانی ۷۸۰

ابعاد موتورخانه آسانسور کششی خودروبر با سرعت ۰/۶۳ متر بر ثانیه ۷۸۱
ابعاد موتورخانه آسانسور کششی مسافربر مسکونی ۷۷۹-۷۷۷- ۷۷۶
موتورخانه آسانسور کششی مسافربر ساختمان‌های غیر مسکونی ۷۷۹
ابعاد موتورخانه آسانسورهای هیدرولیک ۷۷۷
آسانسورهای مجاور با چاه مشترک ۷۸۱
الزامات نصب آسانسور ۷۷۴
سرعت‌های متعارف آسانسور ۷۷۴
استخر ۶۷۵
اتلاف حرارت از سطح استخر روباز ۶۸۱
استخر شنای روباز ۶۸۰
تخمین سطح کلکتور خورشیدی استخر ۶۸۲
تعیین گرمای مورد نیاز آب استخر ۶۷۸
حداقل تعداد سرویس‌های بهداشتی استخر ۶۷۷
شرایط استخرهای مختلف ۶۷۵
کیفیت آب استخر ۶۷۶
مشخصات ساختاری استخر آموزشی ۶۷۵
مشخصات ساختاری استخر کودکان ۶۷۵
نرخ تعویض هوا برای استخرها ۶۷۶
نرخ گردش آب استخر ۶۷۷
اطفای حریق ۶۰۵
آب برای اطفای حریق ۶۰۵
اطلاعات پمپ‌های آتش‌نشانی ۶۰۸
برخی مقررات اطفای حریق ۶۰۶
حداقل دبی رایزر آتش‌نشانی ۶۰۶
حداقل قطر شبکه و رایزر آتش‌نشانی ۶۰۶
رایزر تر اطفای حریق ۶۰۵
رایزر خشک اطفای حریق ۶۰۵
رنگ معرف و دمای آبفشان‌های حبابی ۶۱۰
شیلنگ- قرقره ۶۰۷
ظرفیت آبفشان اطفای حریق ۶۰۹
فواصل آبفشان‌های اطفای حریق ۶۰۹

گنجایش استاندارد مخازن آب آتش‌نشانی ۶۰۷
نازل آبفشان اطفای حریق ۶۰۹
اماکن اداری - تجاری ۶۶۳
تخمین ظرفیت مخزن آب سرد ۶۶۸
تخمین مصرف آب ساختمان‌های اداری- تجاری ۶۶۹
تهویه و شرایط طرح داخل ساختمان‌های تجاری و عمومی ۶۶۶
حداقل مقدار هوای تازه اماکن اداری- تجاری ۶۷۰
شرایط اختصاصی ساختمان‌های اداری ۶۶۳
شرایط طرح داخل بخش‌های پشتیبانی هتل ۶۶۸
شرایط طرح داخل هتل ۶۶۸
مقدار هوای تازه مورد نیاز اماکن تجاری- اداری ۶۶۴
نرخ کلی واحد مصرف آبگرم ۶۷۰
نرخ مصرف آبگرم ۶۶۹
نرخ واحد مصرف آبگرم لوازم بهداشتی ۶۷۰
اماکن آموزشی ۶۷۱
تخمین مصرف آب و ظرفیت مخزن آب سرد ۶۷۲
حداقل مقدار هوای تازه‌مطابق مقررات ملی ساختمان ۶۷۲
حداکثر مصرف آبگرم برای تامین حجم منبع ذخیره مدارس ۶۷۳
شرایط اختصاصی کتابخانه‌ها و موزه‌ها ۶۷۱
مقدار هوای تازه مورد نیاز اماکن آموزشی ۶۷۲
نرخ کلی واحد مصرف آبگرم ۶۷۳
نرخ مصرف آبگرم ۶۷۲
اماکن مسکونی ۶۵۹
تخمین ظرفیت مخزن آب سرد ۶۶۰
تخمین مصرف آب ساختمان مسکونی ۶۶۰
حداقل تهویه و تعویض هوای اماکن مسکونی ۶۵۹
حداقل مقدار هوای تازه برای اماکن مسکونی ۶۶۰
حداکثر مصرف آبگرم ۶۶۲
مصرف آبگرم و حجم مخزن ۶۶۱
مقدار هوای تازه مورد نیاز برای اماکن مسکونی ۶۶۰
نرخ آبگرم بر اساس نوع مصرف ۶۶۱

نرخ واحد مصرف آبگرم بر اساس نوع لوازم بهداشتی ۶۶۱
انباره یخ ۳۹۸
انبساط ۲۸
ضریب انبساط طولی ۳۱-۹۵-۴۹۱-۴۹۲
انبساط حرارتی جامدات ۳۱
انبساط حجمی ۳۱
انبساط لوله‌ها ۶۱
انتالپی ۲۸
انتقال حرارت ۶۹۴
انتقال حرارت از طریق جداره‌ها، مواد و مصالح ساختمان ۲۱۵
انتقال گرما ۴۸-۶۹۳
ضریب انتقال گرما (U) ۶۹۳
اندازه حرکت ۲۲
اندازه ذرات ۵۵۰
انرژی ۲۲-۷۸۳
اتلاف انرژی از طریق نشت سیال ۷۹۰
انرژی پتانسیل ۲۳
انرژی جنبشی ۲۲
انرژی جنبشی دورانی ۲۳
تاثیر عدم نگهداری مناسب در مصرف انرژی ۷۸۹
سهم مصارف انرژی در آپارتمان‌ها ۷۸۴
سهم مصارف انرژی در انبارها و اماکن ذخیره‌سازی ۷۸۷
سهم مصارف انرژی در بیمارستان‌ها ۷۸۵
سهم مصارف انرژی در ترمینال‌های مسافربری ۷۸۷
سهم مصارف انرژی در رستوران‌ها ۷۸۶
سهم مصارف انرژی در ریخته‌گری و قالب‌ریزی‌ها ۷۸۵
سهم مصارف انرژی در شیرینی‌پزی و نانوایی‌ها ۷۸۴
سهم مصارف انرژی در فروشگاه‌ها ۷۸۶
سهم مصارف انرژی در هتل‌ها و متل‌ها ۷۸۵
مصرف انرژی برخی لوازم خانگی ۷۸۷
مقایسه محتوای گرمایی انواع منابع انرژی ۷۸۴

انرژی الکتریکی ۲۴
انرژی حرارتی ۲۳
آونگ ۲۶
بار سرمایی ۱۶۵-۱۶۴-۱۶۳
اتاق‌های کامپیوتر ۱۷۵
اتاق‌های مهمان هتل‌ها و متل‌ها و خوابگاه‌ها ۱۷۹
آشپزخانه‌ها ۱۷۷
بانک‌ها، دادگاه‌ها، سالن‌های اجتماعات و انجمن‌های شهر ۱۷۵
تخمین بار سرمایی ۱۸۲-۱۷۴- ۱۶۳
تخمین بار سرمایی اتاق‌های بستری بیمار ۱۶۶
تخمین بار سرمایی تالار کنفرانس، تئاتر، سالن اجتماعات ۱۷۷-۱۶۴
تخمین بار سرمایی خانه‌های بزرگ (ساختمان ویلایی) ۱۷۰
تخمین بار سرمایی خانه‌های متوسط (ساختمان ویلایی) ۱۷۰
تخمین بار سرمایی دفاتر اداری ۱۷۵-۱۶۹
تخمین بار سرمایی رستوران ۱۷۷-۱۷۶- ۱۷۱
تخمین بار سرمایی ساختمان‌های آموزشی ۱۶۵
تخمین بار سرمایی فضاهای عمومی اماکن اداری ۱۶۹
تخمین بار سرمایی فضاهای عمومی بیمارستان ۱۶۷
تخمین بار سرمایی کارخانه‌ها و کارگاه‌ها ۱۷۵-۱۶۶-۱۶۵
تخمین بار سرمایی کتابخانه‌ها ۱۷۹-۱۶۸
تخمین بار سرمایی مراکز خرید ۱۸۱-۱۸۰-۱۷۳-۱۷۲
تخمین بار سرمایی موزه‌ها ۱۷۹-۱۶۸
تخمین بار سرمایی هتل‌ها، متل‌ها و خوابگاه‌ها ۱۷۹- ۱۶۷
تخمین بار سرمایی واحدهای آپارتمانی ۱۷۸- ۱۶۴
جهت و ساعت بار حداکثر سرمایی ۲۴۵
درمانگاه‌ها، مراکز دندانپزشکی و بخش‌های اداری آنها ۱۷۸
زندان‌ها ۱۸۱
ساختمان‌های مسکونی (به طور کلی) ۱۸۰
سالن‌های بولینگ ۱۸۱
فضاهای عمومی هتل‌ها و متل‌ها ۱۷۹
کلاس‌های درس ۱۷۹

کلانتری‌ها، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و دفاتر پست ۱۷۶
کلیساها ۱۸۱
بار کاربری ۶۹۴
بار گرمایی ۱۵۱
تخمین بار گرمایی ۱۵۱-۱۵۲-۱۵۶
تخمین بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی ۱۶۱-۱۶۲
نمودار تخمین بار گرمایی ۱۵۳-۱۵۴-۱۵۵-۱۵۶
بار گرمایی تجهیزات الکتریکی ۲۰۴
بازده ۴۸
بازده و بازدهی کل ۲۷
بخار ۶۳-۲۹۱
اندازه‌گذاری لوله‌های بخار ۶۳
انرژی گرمایی مورد نیاز برای تولید یک پوند بخار ۲۹۲-۲۹۳
بخار و چگالیده ۶۳
مشخصات بخار اشباع ۸۵-۸۹
بخاری ۲۵۴-۲۷۴-۲۸۱
برج خنک‌کن ۴۱۵
بازده برج خنک‌کن ۴۱۷
تخلیه برج خنک‌کننده ۴۱۸
تخمین ابعاد و وزن برج خنک‌کن ۴۲۰
تخمین توان الکتریکی برج خنک‌کن ۴۱۸
تخمین ظرفیت برج خنک‌کننده ۴۱۸
تخمین فضای مورد نیاز برج خنک‌کننده ۴۲۰
تخمین مقدار هوای برج خنک‌کن ۴۱۷
چرخه آب در برج خنک‌کن ۵۴
زیرآب‌کشی تدریجی و جایگزینی آب تازه برج خنک‌کننده ۴۱۸
ضریب ظرفیت برج خنک‌کن ۴۱۶
مقدار آب جبرانی برج خنک‌کن ۴۱۷
نرخ جریان آب در شبکه لوله‌کشی برج خنک‌کن ۴۱۹
روابط محاسباتی برق ۷۷۰
حداقل حجم مخزن و دبی آب ۷۱۶

سرعت پیشنهادی هوا روی بستر ۷۱۶
سیستم بستر و فن ۷۱۵
ضرایب تصحیح دبی هوا در سیستم بستر و فن ۷۱۵
ضریب تصحیح سرعت در سیستم بستر و فن ۷۱۶
بیمارستان ۶۳۵
اندازه‌گذاری لوله گازهای طبی و خلاء ۶۵۴
اندازه‌گذاری لوله‌های اکسیژن و اکسید نیتروژن ۶۵۵
بسترها و بازده فیلترها در بخش‌های مختلف بیمارستان‌های عمومی ۶۳۹
تخمین بار گرمایی تولید آبگرم مصرفی بیمارستان ۶۴۷
تخمین حجم سپتیک تانک برای بیمارستان ۶۴۸
تخمین مصرف آب بیمارستان ۶۴۷
تخمین مصرف آبگرم بیمارستان ۶۴۷
توزیع گاز بیهوشی (اکسید نیتروژن) ۶۵۰
حداقل تعویض هوای فضاهای بیمارستانی ۶۴۵
حداقل خروجی‌های‌گاز طبی و خلاء ۶۵۳
حداقل دبی گازهای طبی ۶۴۹
حداکثر مصرف آبگرم در بیمارستان بر اساس نوع لوازم بهداشتی ۶۴۸
خروجی گازهای طبی در فضاهای بخش بستری داخلی و جراحی ۶۵۱
خروجی گازهای طبی در فضاهای بخش مراقبت ویژه ۶۵۱
دبی هوای فشرده برای مصارف بیمارستانی ۶۴۹
شرایط هوای فضاهای داخلی بخش بستری و جراحی ۶۳۶
شرایط هوای فضاهای داخلی بخش مراقبت‌های ویژه ۶۳۸
ضوابط تهویه و فشار هوا در بیمارستان و مراکز درمانی ۶۴۰
فشار کار گازهای طبی و خلاء ۶۵۲
فشار و دبی مناسب برای گازهای طبی ۶۵۰
کد رنگ گازهای طبی ۶۵۲
مشخصات عمومی لوله‌کشی خلاء در بیمارستان ۶۵۷
مصارف بیمارستانی هوای فشرده ۶۴۹
مقدار جریان و فشار گاز در خروجی‌های بخش بستری داخلی و جراحی ۶۵۲
مقدار جریان و فشار گازهای طبی در خروجی‌های بخش مراقبت ویژه ۶۵۱
مقدار مصرف گاز اکسیژن در بیمارستان ۶۵۰

مقدار هوای تازه اماکن درمانی ۶۴۶
مقررات اجرایی شبکه گازهای طبی ۶۵۷
نرخ تعویض هوا در فضاهای مهم بیمارستانی ۶۴۶
نرخ واحد مصرف آبگرم در بیمارستان ۶۴۸
پاکسازی هوا ۵۴۷
پرده هوایی ۳۶۹
تعیین سطح دریچه ۳۶۹
سرعت هوا در پرده هوایی ۳۶۹
پله برقی ۷۷۴
پمپ ۴۵۳
اصطلاحات، اختصارات و تبدیل واحدها در مبحث پمپ‌ها ۴۵۵
تخمین دبی پمپ برای انتقال آب سرد ۴۵۳
تخمین دبی پمپ برای انتقال آبگرم ۴۵۳
تخمین دبی پمپ برج خنک‌کن ۴۵۳
تخمین فشار دهش پمپ برج خنک‌کن ۴۵۴
تخمین فشار دهش پمپ در سیستم بسته (پمپ گردشی) ۴۵۴
تعیین دبی پمپ در سرعت‌های مختلف ۴۵۶
تعیین ظرفیت پمپ برگشت آبگرم ۵۹۹
توان پمپ ۴۵۷
توان خروجی پمپ ۴۵۶
توان ورودی پمپ ۴۵۶
سرعت پیشنهادی آب در سمت مکش پمپ ۴۶۰
ظرفیت پمپ و اندازه لوله ۴۶۰
ظرفیت پمپ و توان الکتروموتور ۴۵۸
فشار مکش مثبت خالص پمپ ۶۰
قوانین پمپ‌ها ۴۵۵-۵۹
پنکه ۵۰۹
انتخاب قطر پنکه برمبنای مساحت اتاق ۵۰۹
تابش ۱۳۲-۲۰۴-۳۵۹
زمان تاخیر انتقال تابش خورشید از میان دیوارها ۲۴۶
شدت تشعشع خورشیدبرای عرض جغرافیایی ۴۵ درجه ۲۴۶

تاسیسات مکانیکی **۷۲۳**
تخمین فضای مورد نیاز تاسیسات مکانیکی ۷۲۸
درصد سطح مورد نیاز تاسیسات مکانیکی و برقی ۷۲۳
تخمین سطح اماکن و معابر تجهیزات مکانیکی ۷۲۳
ترمودینامیک **۲۸**
ترموکوپل **۷۴۹**
تعویض هوا **۴۹-۱۴۵-۲۴۳**
تله بخار **۳۰۰-۲۹۸**
تهویه طبیعی **۱۴۶**
توالت **۵۷۸**
حداقل تعداد توالت براساس کاربری ساختمان ۵۷۸
توان ۲۴
توان درحالت تک‌فاز ۶۹
توان درحالت سه‌فاز ۶۹
توزیع هوا **۵۱۲**
سرعت‌های مناسب در شبکه توزیع هوا ۵۱۲
ثابت جهانی گازها **۳۰**
جکوزی **۶۸۲**
چاه جذبی **۶۲۵**
تخمین حجم انباره چاه جذبی ۶۲۵
چگالیده **۶۴**
اندازه‌گذاری لوله‌های چگالیده ۶۴
نرخ جریان چگالیده در سیستم فشار قوی ۳۱۱-۳۱۲-۳۱۳-۳۱۴
چیلر تراکمی **۳۸۹**
تخمین ابعاد و وزن چیلرهای تراکمی ۳۹۹
دامنه ظرفیت چیلرهای تراکمی ۳۹۵
ضریب کارایی و مصرف برق چیلر تراکمی ۳۹۵
ظرفیت سرمایشی و دبی آب سرد اواپراتور در چیلر تراکمی ۳۹۷
ظرفیت سنجی چیلر تراکمی ۳۹۶
مشخصات عمومی چیلرهای تراکمی ۳۹۶
چیلر جذبی **۳۷۱**

انرژی الکتریکی موردنیاز چیلر جذبی ۳۸۲
انرژی گرمایی موردنیاز چیلرهای جذبی ۳۷۲
انواع چیلرهای جذبی مورد استفاده در سیستم‌های CHP ۳۷۹
تخمین ابعاد چیلر جذبی ۳۸۴-۳۸۳
تخمین سطح کلکتور خورشیدی چیلر جذبی ۳۷۷
تعیین اندازه پمپ برج خنک‌کننده برای چیلر جذبی ۳۸۳
چیلر جذبی خورشیدی ۳۷۶
سیستم‌های جذبی مناسب با انواع مولدهای توان در شبکه‌های CHP ۳۷۹
ضریب کارایی چند نوع چیلر جذبی ۳۷۸
مشخصات چیلرهای جذبی ۳۷۵-۳۷۴-۳۷۳
مقایسه چیلر جذبی یک و دو اثره لیتیم بروماید - آب ۳۷۷
حجم هوای متغیر ۷۳۲
ابعاد جعبه‌های حجم هوای متغیر در سقف کاذب ۷۳۲
حرکت نوسانی ساده ۲۶
حسگر گرمایی ۷۴۹
خازن ۷۵۴
خطوط حافظ ۳۰۳
خلاء ۶۴۹-۶۵۲-۶۵۳
تعیین اندازه لوله خلاء بر اساس افت فشار ۵۶۰-۵۵۹
لوله‌کشی خلاء ۵۵۹
نرخ جریان در سیستم خلاء (15 in.Hg) ۵۵۹
خنک کننده تراکمی یکپارچه ۴۰۲
دبی ۱۱۲
تعیین دبی لوله از طریق مشاهده ریزش ۴۷۴
دبی جرمی و دبی حجمی ۱۱۲
دبی آب ۱۹۹
تعیین دبی آب حامل بار گرمایی و سرمایی ۱۹۹
تعیین و تخمین دبی آب سرد ۲۰۱
تعیین و تخمین دبی آبگرم سیستم گرمایشی ۲۰۰
دبی هوا ۱۹۷
تخمین مقدار هوای حامل بار سرمایی ۱۹۸-۱۹۶

تخمین مقدار هوای حامل بار گرمایی ۱۹۶
تعیین مقدار هوای حامل بار سرمایی ۱۹۸
تعیین مقدار هوای حامل بار گرمایی ۱۹۶
دبی هوای حامل بار گرمایی ۱۹۷
درجه حفاظت ۷۵۲
دریچه ۵۱۱
حدود و شرایط انتخاب نوع دریچه ۵۲۱
دریچه‌ها در کف ۵۲۱
دستشویی ۵۷۶
دما ۱۱۳
جدول تبدیل واحدهای دما ۱۱۵-۱۱۳
جدول تبدیل واحدهای دما (فارنهایت به سلسیوس) ۱۱۳
دما و فشار استاندارد و طبیعی ۷۳
مقیاس‌های دما ۲۸
دما و رطوبت نسبی ۱۳۶-۱۳۵
دمای داخل ۱۳۳-۱۳۲
دمای داخل مکان‌هایی که گرم نمی‌شوند ۱۳۳
شرایط مطلوب داخل در تابستان برای تابش کمتر از سه ساعت ۱۳۲
طرح دمای داخل ۱۳۲
دمای هوای ورودی به فضای مورد تهویه ۱۳۳
دودکش ۲۶۸
ابعاد دریچه انفجار و تثبیت‌کننده مکش دودکش ۲۷۰
تخمین سطح مقطع دودکش ۲۶۹-۲۶۸
دمای دود و هوای تخلیه تجهیزات با سوخت فسیلی ۲۶۹
رقیق‌سازی دود ۲۶۸
ضخامت ورق فولادی دودکش ۲۷۰
دیربتور ۳۰۲
دیگ ۲۸۳
تخمین ابعاد دیگ ۲۹۵-۲۸۷-۲۸۶
تخمین دبی پمپ تغذیه دیگ ۲۹۳
تخمین ظرفیت دیگ ۲۸۴

تخمین وزن دیگ ۲۸۷-۲۸۸-۲۹۶
تعیین ظرفیت دیگ ۲۸۳
دیگ در سیستم بخار ۲۹۲
سرعت هوای تخلیه دیگ ۲۸۵
ظرفیت مخزن آب تغذیه دیگ بخار ۲۹۴
قطر لوله آب جبرانی یا پرکن برای سیستم گرمایشی با دیگ آبگرم ۲۸۵
دیگ در سیستم آبگرم ۲۸۴
زتکا **۴۳۴**
زنـت **۴۳۳-۴۳۴-۴۳۵**
رادیاتور **۳۶۳**
رطوبت **۵۳-۵۴-۱۳۵**
تعیین رطوبت نسبی ۱۳۵
تعیین مقدار بخار آب لازم برای افزایش رطوبت ۵۳۹
تعیین مقدار بخار آب لازم برای افزایش رطوبت ۵۴۰-۵۴۱
تقطیر رطوبت در فرآیندهای سرمایشی ۵۴
تقطیر رطوبت روی شیشه ۵۳
حداکثر رطوبت نسبی برای عدم تعریق شیشه‌ها ۵۴۴
رطوبت نسبی مناسب برای ذخیره‌سازی و برخی فرآیندها ۵۴۳
مشخصات مواد جاذب رطوبت ۵۴۶
وزن بخار آب در هوا ۷۴
رطوبت‌زن **۵۳**
آب جبرانی رطوبت‌زن‌ها ۵۴۶
رطوبت‌زنی ۵۳
ظرفیت رطوبت‌زن تشتکی الکتریکی ۵۴۴
گرمای محسوس ناشی از عملکرد رطوبت‌زن ۵۳
رطوبت‌زنی **۵۳۹**
رطوبت‌گیری **۵۳۹-۵۴۶**
رنگ معرف سیال ۵۶۶
رنگ‌های معروف **۶۷۸**
روابط هندسی **۳۵**
روز درجه **۱۲۶**

جدول روز - درجه برخی شهرهای ایران ۱۲۶
روز - درجه سالانه مطابق مقررات ملی ساختمان ۱۳۱
سازندگان ۴۳۷-۷۱۹
آبگردان ۴۲۳
آژیر ۳۶۵
اخگر ۳۵۸
ارج ۴۳۲
انرژی ۴۳۲-۳۵۶
ایران رادیاتور ۳۶۶
پاکمن ۶۰۳-۲۹۷-۲۸۹
تهویه ۴۰۱-۴۰۰-۴۲۸
حرارت گستر ۶۸۴-۳۳۵
ساراول ۴۵۲-۴۵۱-۴۴۰-۴۲۱
ساران ۴۴۱-۳۶۸-۳۶۷
ساری پویا ۳۸۸-۳۸۷-۳۸۶-۳۸۵
سرما آفرین ۴۰۴-۴۰۳-۴۰۲
سوپرپایپ ۵۰۰
شوفاژ کار ۲۸۸
صافیاد ۴۳۵-۴۳۴
عمران تهویه ۴۲۲
کاریزاب ۶۸۳
کوشش ۴۶۸-۴۶۲
سایکرومتریک ۵۱-۳۲
سپتیک تانک ۶۲۶
تخمین حجم سپتیک تانک ۶۲۶
حداقل فاصله سپتیک تانک از اماکن دیگر ۶۲۸
ظرفیت سپتیک تانک بر اساس لوازم بهداشتی ۶۲۸
سختی ۶۰۲
سختی آب ۶۰۲
سختی‌گیر ۶۰۲
سردخانه ۶۹۱

بار گرمایی جدار ۶۹۱
تخمین بار سردخانه ۶۹۷-۶۹۱
تعیین ظرفیت و انتخاب تجهیزات ۷۰۴
شرایط سردخانه برای برخی سبزیجات ۷۰۹
شرایط طراحی سردخانه برای برخی لبنیات و مواد خوراکی دیگر ۷۱۲
شرایط طراحی سردخانه برای برخی میوه‌ها ۷۰۷
شرایط طراحی سردخانه برای مواد گوشتی ۷۱۱
ضریب معادل گرمایی الکتروموتور در سردخانه ۷۰۴
ضریب معادل گرمایی ناشی از حضور افراد در سردخانه ۷۰۶
میانگین نرخ هوای نفوذی به داخل سردخانه هنگام باز شدن در ۷۰۵
سرعت ذرات ۵۴۹
سرعت سیال ۴۷۵-۴۷۴
حداکثر سرعت آب برای کاهش سایش جدار داخلی لوله ۴۷۵
سرعت برای آب و مایعات با ویسکوزیته مشابه آب ۴۷۵
سرعت پیشنهادی سیال‌ها در خطوط لوله ۴۷۴
مقادیر سرعت و افت فشار در شبکه‌های آب سرد و آبگرم ۴۷۵
سرعت هوا ۵۱۵
سرمایش محسوس ۴۲۷
سرمایش تبخیری ۷۱۳-۴۳۳-۴۲۹-۴۱۵
دبی آب سرمایش آبفشان با تهویه طبیعی ۷۱۳
دبی آب سرمایش آبفشان با تهویه مکانیکی ۷۱۴
سیستم سرمایش آبفشان ۷۱۳
سطوح و احجام ۳۵
استوانه ۴۳-۴۰
بشکه ۴۳
بیضی ۳۸
پاشنه ۴۳
پنج ضلعی ۳۶
چند ضلعی نامنظم ۳۷
حلقه ۳۷
دایره ۳۸-۳۷

ذوزنقه ۳۶
شش ضلعی ۳۷
کره ۴۲-۴۱
متوازی‌الاضلاع ۳۵
متوازی‌السطوح ۳۹
مثلث ۳۶
مخروط ۴۱-۴۰
مربع ۳۵
مستطیل ۳۵
مکعب مربع ۳۹
مکعب‌مستطیل ۳۹
منشور ۴۳
هرم ۳۹
هشت ضلعی ۳۷
هلالی ۴۲
سوخت ۳۱
ارزش حرارتی سوخت ۳۱
افت فشار در لوله‌های سوخت ۲۶۵
افت گرما در لوله‌های سوخت ۲۶۲
افت گرما در مخازن سوخت ۲۶۳
انتقال سوخت ۲۶۴
تاثیر رسوب‌گذاری داخل دیگ در اتلاف سوخت ۲۸۶
تعیین اینچ خلاء پمپ سوخت مشعل ۲۶۵
تعیین ظرفیت پمپ سوخت بر اساس توان دیگ ۲۶۴
تعیین ظرفیت حرارتی گرمکن سوخت ۲۶۱
تعیین قطر لوله مکش پمپ سوخت از مخزن ۲۶۴
تعیین مصرف سالانه سوخت نفتی ۲۶۶
تعیین مقدار سوخت نفتی دیگ ۲۶۶
چگالی و حجم ویژه سوخت‌ها ۲۵۶
سرعت جریان سوخت نفتی در لوله ۲۶۴
ظرفیت گرمایی ویژه سوخت‌ها ۲۵۵

گرمکن سوخت ۲۶۱
مقدار تئوریک هوای موردنیاز برای سوخت ۳۱
مقدار ترکیب هوا با سوخت ۲۶۰
نرخ انتقال حرارت در گرمکن سوخت بخار فشار متوسط و آبگرم ۲۶۲
سیستم بخار **۲۹۱**
سیستم‌های ذخیره‌سازی آب سرد **۳۹۸**
سیم **۷۴۸-۷۴۷-۷۴۶**
شبکه آبیاری **۶۰۱**
شبکه لوله‌کشی **۴۶۹**
شتاب **۲۰**
سرعت و شتاب خطی ۲۰
سرعت و شتاب زاویه‌ای ۲۰
شتاب مماسی، مرکزگرا و شتاب کامل ۲۰
شرایط محیطی **۱۱۹**
شوت زباله **۵۲۲**
شومینه **۲۸۱-۲۵۴**
شیر اطمینان **۶۴**
اندازه شیر اطمینان ۲۸۶-۶۴
تعیین حداکثر طول لوله تخلیه شیر اطمینان ۶۸
جدول مشخصات برخی گازها برای تعیین اندازه شیر اطمینان ۶۷
صـدا **۹۹**
سرعت صوت در دماهای مختلف ۹۹
سرعت صوت در مواد مختلف ۹۹
صدای مجاز ناشی از کار تجهیزات گرمایشی، سرمایشی و تهویه‌مطبوع (به عنوان پس‌زمینه صوتی فضا) ۱۰۱
فشار و سطح صوت ۱۰۲
ضرایب **۱۶۰**
ضریب انتقال حرارت بام‌ها ۲۳۲
ضریب انتقال حرارت جدارها و مصالح ساختمان ۲۲۱
ضریب انتقال حرارت کف‌ها ۲۳۷
ضریب انتقال حرارت کف‌ها، سقف‌ها و جداره‌های داخلی ۲۴۰

ضریب کاربری ۷۰۰-۶۹۵
شرایط طراحی ۱۲۰-۱۱۹
شرایط طراحی زمستانی و تابستانی برخی شهرهای ایران ۱۲۰-۱۱۹
شرایط طرح خارج ۱۶۳
شرایط طرح داخل ۱۶۳
ظرفیت گرمایی ۲۸
عایق‌کاری ۵۶۱
تعیین سطح لوله برای رنگ‌آمیزی و عایق‌کاری ۵۶۷
تعیین سطح منابع ۵۶۷
ضخامت عایق‌کاری سطوح سرد برای جلوگیری از تقطیر رطوبت ۵۶۵
مشخصات عایق کاری تجهیزات ۵۶۳
عایق‌کاری منابع آبگرم ۵۶۴
مشخصات عایق‌کاری شبکه کانال ۵۶۴
مشخصات عایق‌کاری لوله‌ها ۵۶۱
مشخصات عایق‌ها ۵۶۵
عایق‌کاری و رنگ‌آمیزی ۵۶۱
عدد رینولدز ۹۶
عمر مفید ۲۵۱
غبارگیر ۵۵۰
فاضلاب ۶۱۱
آلودگی فاضلاب ۶۱۱
اندازه‌گذاری لوله‌های اصلی و شاخه‌های افقی فاضلاب ۶۱۷-۶۱۶
حجم فاضلاب بر حسب گالن به ازای هر نفر در روز ۶۲۷
حداقل شیب لوله‌های افقی فاضلاب مطابق مقررات ملی ساختمان ۶۱۸
حداقل قطر سیفون لوازم بهداشتی ۶۱۶
حداقل قطر لوله تهویه فاضلاب ۶۱۷
حداقل قطر لوله خروجی و سیفون فاضلاب لوازم بهداشتی ۶۱۵
فواصل بست‌های نگهدارنده لوله‌های عمودی فاضلاب ۶۲۱
مقادیر فاضلاب صنعتی و جمعیت معادل ۶۱۲
فشار ۱۱۰-۲۵
واحدهای فشار ۲۵

فشار جو ۲۵
فشار سرعتی / تعیین فشار سرعتی ۵۱۶
فشار سرعتی / رابطه سرعت سیال با فشار سرعتی ۴۶۱
فن ۵۰۱
انواع فن و مشخصات عمومی آنها ۵۰۲
تعیین گرمای تولیدشده در اثر کارکرد فن ۵۰۷
توان خروجی فن ۵۰۷
توان موتورهای فن سیستم‌های تهویه‌مطبوع ۵۰۸
حداکثر سرعت فن پروانه‌ای ۵۰۸
دامنه ظرفیت عملیاتی فن‌ها ۵۰۷
سرعت دهش فن برای راهبری کم صدا ۵۰۸
طبقه‌بندی فن‌ها بر اساس حداکثر فشار کل ۵۰۱
قوانین فن‌ها ۵۰۳-۵۰
فن جریان محوری ۵۰۴
ظرفیت فن‌های تخلیه هوای جریان محوری ۵۰۵
قطر پروانه در فن جریان محوری (تیغه محوری) ۵۰۶
قطر پروانه در فن جریان محوری پروانه‌ای ۵۰۷
مشخصات عمومی فن‌های جریان محوری ۵۰۴
فن گریز از مرکز ۵۰۴
سرعت خروجی فن گریز از مرکز براساس فشار استاتیک ۵۰۸
ظرفیت فن‌های تخلیه هوای گریز از مرکز ۵۰۵
قطر پروانه در فن گریز از مرکز ۵۰۶
مشخصات عمومی فن‌های گریز از مرکز ۵۰۴
فن‌کوئل ۴۳۷
ابعاد تقریبی فن‌کوئل‌های زمینی ۷۳۰
تخمین ظرفیت فن‌کوئل‌ها ۴۳۸
ظرفیت و مشخصات فن‌کوئل‌ها ۴۳۹
فیلتر ۵۵۰
زمان تعویض فیلترها و حداکثر افت فشار ۵۵۳
کارایی فیلترها ۵۵۰
مشخصات فیلترهای الکترونیکی ۵۵۳

مشخصات فیلترهای اولپا ۵۵۲
مشخصات فیلترهای تخت یا صفحه‌ای ۵۵۱
مشخصات فیلترهای غلتکی ۵۵۳
مشخصات فیلترهای کیسه‌ای ۵۵۱
مشخصات فیلترهای هپا ۵۵۲
فیلترشنی ۶۸۲
قانون ۲۱
قانون دوم نیوتن برای حرکت ۲۱
قانون بویل ۲۹
قانون چارلز ۲۹
قانون عمومی گاز ۲۹
قانون گیلوساک ۲۹
کابل ۷۴۶
جدول تبدیل اندازه‌گذاری آمریکایی سیم و کابل (AWG) ۷۴۶
ضریب تصحیح جریان کابل‌ها در دمای بالاتر از ۳۰°C ۷۵۲
نحوه نصب کابل‌ها ۷۵۰
کار ۲۲
کانال ۵۱۱
اندازه پیشنهادی برای کانال‌ها ۵۲۳-۵۲۲
تبدیل واحدهای کاربردی در شبکه کانال‌های هوا ۵۱۱
تعیین سطح مقطع کانال هوا ۵۱۶
جدول ابعاد کانال چهارگوش معادل کانال مدور ۵۳۰
حداقل ضخامت ورق برای کانال‌های مدور ۵۱۹
دامنه کاربرد کانال‌های قابل انعطاف ۵۱۷
سرعت توصیه شده در کانال‌ها براساس افت فشار ۵۱۴
سرعت و افت فشار در کانال‌ها ۵۱۳
سرعت‌های توصیه‌شده هوا در کانال‌های اصلی و انشعابات ۵۱۳
ضخامت ورق نسبت به ابعاد کانال ۵۱۹
فواصل بست کانال‌های افقی ۵۲۰
فواصل بست کانال‌های عمودی ۵۲۰
قطر معادل کانال‌های مدور و چهارگوش ۵۲۷

کانال با فشار زیاد ۵۱۴
کانال با فشار کم و متوسط ۵۱۵
کانال‌های قابل انعطاف مدور ۵۱۸
مقررات مربوط به کانال‌های قابل انعطاف ۵۱۸
نشت هوا از شبکه کانال ۵۱۷
نمودار تعیین نرخ اصطکاک و سرعت برای کانال‌ها ۵۲۶-۵۲۵-۵۲۴
کلکتور ۴۸۳
کمپرسور ۳۹۳-۳۹۲-۳۸۹-۹۸
افت فشار مجاز در خطوط دهش و مکش کمپرسور ۳۹۵
میانگین ظرفیت کمپرسورهای تبرید ۳۹۳-۳۹۲
کندانسور ۳۹۶
تخمین دبی هوای کندانسور هواخنک ۳۹۹
تعیین دبی کندانسور ۳۹۶
تعیین ظرفیت کندانسور ۳۹۷
سرعت جریان آب در لوله‌های کندانسور ۴۱۸
شرایط عمومی کارکرد کندانسور آبی ۳۹۹
ظرفیت و دبی آب خنک‌کننده کندانسور در چیلر تراکمی ۳۹۷
کنوکتور ۳۶۴
کوئل ۳۲۱
افت فشار هوا در کوئل‌ها ۳۲۲-۳۲۱
اندازه لوله تخلیه آب حاصل از تقطیر کوئل سرمایی ۴۴۸
تعیین ظرفیت کوئل دوباره گرم‌کن برقی ۴۴۶
کوئل سرمایی، محدوده‌های انتخاب ۳۲۳
کوره هوای گرم ۳۵۵
تخمین ظرفیت کوره هوای گرم ۳۵۵
ظرفیت تقریبی هوادهی کوره هوای گرم ۳۵۵
کولر آبی ۴۲۹
ابعاد تقریبی کولر آبی ۷۳۲
تخمین ظرفیت کولر آبی ۴۳۰-۴۲۹
دفعات تعویض هوا برای تخمین ظرفیت کولر آبی ۴۳۰
سرعت هوا بر بستر کولرهای آبی ۴۳۱

مصرف آب کولرآبی ۴۳۱
کولرگازی ۴۱۳
تخمین ظرفیت کولرهای گازی پنجره‌ای و جدا از هم ۴۱۳
توان الکتریکی فن کندانسور هوایی ۴۱۴
وزن مبرد در سیستم‌های دوتکه ۴۱۴
کیفیت هوا ۶۹۰-۶۸۹
تعداد ذرات رهاشده از بدن انسان ناشی از فعالیت‌های مختلف ۶۹۰
کیفیت هوا بر اساس تعداد ذرات ۶۸۹
مقایسه تعداد ذرات موجود در چند شرایط نمونه ۶۹۰
گاز ۲۷۳
ابعاد سیلندرهای گاز مایع ۲۷۵
ابعاد مخازن گاز مایع ۲۷۳
ترکیب گاز طبیعی ۲۵۶
تعیین دبی لوله گاز ۲۸۰-۲۷۹-۲۷۸-۲۷۷
تعیین مصرف سالانه سوخت گاز ۲۶۶
حداقل فواصل ایمنی توصیه‌شده برای مخازن گاز مایع ۲۷۳
حداقل فواصل کارگذاری تجهیزات گازسوز ۲۸۱
ضرایب تبدیل چگالی گاز ۲۷۵
فشار گاز ۲۷۵
فواصل نصب شیر گاز از مصرف‌کننده گازسوز ۲۸۱
مصارف برخی تجهیزات گازسوز ۲۷۴
نمودار دبی گاز در لوله‌های فولادی ۲۷۶
گاز طبی ۶۴۹-۶۵۰-۶۵۱-۶۵۲-۶۵۳-۶۵۴-۶۵۷
گرما ۱۰۸-۹۵
جریان گرمایی، گرما و انرژی ۱۰۸
گرمای ویژه برخی مواد ۹۵
گرمای محسوس ۲۸
رابطه گرمای محسوس ۲۸
گرمای محسوس تجهیزات در برخی اماکن ۲۱۰
گرمای ناشی از افراد با فعالیت‌های مختلف ۲۱۲
گرمای ناشی از برخی تجهیزات اداری و خانگی ۲۱۰

گرمای ناشی از برخی تجهیزات پخت و لوازم خانگی ۲۰۸
گرمای ناشی از روشنایی ۲۰۸
گرمای ناشی از سوخت و ساز بدن در فعالیت‌های مختلف ۲۱۴
گرمای ناشی از وجود افراد ۲۱۱
گرمای نهان ۲۸
گرمایش الکتریکی پوسته لوله ۳۰۴
گرمایش تشعشعی ۳۵۹
تخمین اندازه و فواصل لوله‌های گرمایش کفی ۳۶۱
تخمین ظرفیت گرمایی سیستم تشعشعی آبگرم ۳۶۱
تخمین ظرفیت واحد تشعشعی مادون قرمز ۳۶۲
مشخصات گرمکن‌های تابشی لوله‌ای و سرامیکی ۳۶۲
نسبت‌های انتقال حرارت با روش‌های مختلف در سیستم تشعشعی ۳۶۱
گرمکن سوخت ۳۲۳
ضریب انتقال حرارت کوئل‌های گرمکن ۲۶۳
نرخ انتقال گرما از لوله حاوی بخار و آبگرم مستغرق در سوخت نفتی ۳۲۳
گریز از مرکز ۲۳
نیروی گریز از مرکز (مرکزگرا) ۲۳
گشتاور ۲۷-۲۲
معادله گشتاور ۲۲
نسبت گشتاور ۲۷
گلخانه ۷۱۳
لوله ۶۰-۵۷
انبساط حرارتی انواع لوله‌ها ۴۹۰
انبساط طولی لوله‌ها ۴۹۱
تخمین انبساط طولی لوله فولادی ۴۸۹
تخمین حجم آب داخل لوله‌ها ۵۷
تخمین قطر لوله ۴۸۲
تخمین وزن لوله ۴۷۷- ۴۷۶
تعیین تعداد لوله‌های منشعب از لوله اصلی ۴۸۳- ۴۸۴
تعیین تنش در جدار لوله ۴۸۹
تعیین حداکثر فاصله مجاز بست لوله‌ها ۴۸۴

تعیین دبی و افت فشار در لوله فولادی ۴۸۶
فاصله بست‌آویز لوله‌ها ۴۸۵
گنجایش لوله‌ها ۴۹۲
وزن لوله فولادی با آب و بدون آب در واحد طول ۴۷۹
وزن لوله‌های چدنی ۴۷۸
لوله‌پلاستیکی ۴۸۸
لوله فولادی ۶۰
افت گرما به ازای هر فوت طول لوله مسی ۵۶۳
تعیین دبی و افت فشار در لوله مسی ۴۸۷
ظرفیت انتقال گرما توسط آبگرم در لوله‌های مسی ۶۰۰- ۴۸۲- ۴۸۱- ۴۸۰
اندازه و قطر نامی لوله‌ها ۴۷۰
حداکثر طول لوله آبگرم بعد از اتصال خط برگشت بدون گردش آب ۵۹۹
سرعت‌های توصیه‌شده برای سیستم‌های بسته (تحت فشار) ۴۵۹
شرایط کارکرد شبکه لوله‌کشی توزیع آب مصرفی ۵۸۴
کاربرد لوله‌ها و اتصالات ۴۷۲
کلاس فشار ANSI و فشار نامی ۴۷۰
نرخ جریان در شبکه لوله‌کشی بسته ۴۷۱
لوله‌کشی بخار ۳۰۶- ۳۰۵-۳۰۴
انبساط طولی لوله‌های بخار در دماهای مختلف ۳۰۵
دمای طبیعی سطح لوله بخار براساس فشار ۳۰۴
فواصل بست‌های نگهدارنده لوله‌های بخار ۳۰۶
قطر و طول مناسب آبریز برای خطوط اصلی و فرعی بخار ۳۰۵
نرخ جریان بخار در سیستم فشار ضعیف ۳۱۰- ۳۰۹- ۳۰۸- ۳۰۷
نرخ جریان بخار در فشارها و سرعت‌های مختلف ۳۱۵
لوله‌کشی مبرد ۳۹۵-۳۹۴
مبدل حرارتی ۳۲۰-۳۱۹-۵۷
تخمین حجم آب داخل مبدل حرارتی پوسته و لوله ۵۷
روش‌های انتقال حرارت در مبدل‌ها ۳۲۰
مبدل پوسته و لوله ۳۱۹
مبدل صفحه‌ای ۳۲۰
نرخ انتقال گرما از لوله حاوی بخار و آبگرم مستغرق در آب ۳۲۲

مبدل حرارتی و کوئل‌ها ۳۱۹
مبرد ۴۰۴
خواص برخی مبردهای پراستفاده ۴۰۸
فشار مبردها در دماهای مختلف فشار در سطح دریا ۴۱۰
کاربرد مبردها ۴۰۹
مشخصات برخی مبردها ۴۰۶
مبردها ۴۰۵
مخزن آب ۵۸۴-۵۸۲-۵۸۱
ابعاد اتاق مخزن آب ۵۸۴
ظرفیت مخزن آب سرد بر اساس نوع ساختمان ۵۸۲
ظرفیت مخزن آب سرد به ازای تجهیزات ۵۸۱
ظرفیت منابع ثقلی آب ۵۸۲
قطر لوله تخلیه منابع ذخیره آب ۵۸۴
مخزن سوخت ۲۶۷-۲۶۶
ابعاد مخازن سوخت نفتی ۲۶۷
فاصله مخزن سوخت از ساختمان ۲۶۶
مخازن سوخت ۲۶۶
مشعل ۲۷۲-۲۷۱
تعیین ظرفیت نازل مشعل گازوئیل‌سوز ۲۷۲
ظرفیت نازل مشعل‌ها ۲۷۱
مکانیک کاربردی ۱۹
منابع انبساط ۵۵
تخمین حجم سیستم ۵۶
منابع تولید آبگرم مصرفی ۳۳۱
منبع آبگرم ۷۹۰
منبع انبساط ۳۳۷
تخمین حجم منبع انبساط باز ۳۳۷
تخمین حجم منبع انبساط بسته ۳۳۸
ضریب تصحیح ظرفیت منبع انبساط .....
۳۵۳- ۳۵۲- ۳۵۱- ۳۵۰- ۳۴۸-۳۴۷-۳۴۶- ۳۴۵-۳۴۳-۳۴۲- ۳۴۱- ۳۴۰
ظرفیت تقریبی منابع انبساط در سیستم آبگرم کم فشار ۳۳۸

ظرفیت منبع انبساط ۳۴۹- ۳۴۴- ۳۳۹
منبع کوئل‌دار ۳۲۲
ظرفیت و ابعاد استاندارد منابع کوئل‌دار ۳۳۴
نرخ انتقال حرارت در منابع کوئل‌دار ۳۲۲
منبع آبگرم مصرفی ۵۹۸
تعیین مصرف آبگرم و حجم منبع ۵۹۸
حداقل ظرفیت منبع ذخیره آبگرم مصرفی برای اماکن مسکونی ۵۹۸
موتورالکتریکی ۷۰
اطلاعات الکتریکی موتورهای آسنکرون ۷۳۹
انتخاب تجهیزات کنترل، حفاظت و راه‌اندازی موتورهای الکتریکی تک‌فاز ۷۵۶- ۷۵۷
تاثیر تغییرات ولتاژ و فرکانس بر مشخصه‌های موتورهای القایی ۷۴۳- ۷۴۲
توصیه‌های درباره استفاده از موتورهای الکتریکی ۷۴۰
دور الکتروموتورها بر مبنای فرکانس و تعداد قطب ۷۳۶
سرعت موتورها به نسبت بار ۷۳۸
شدت جریان الکتروموتورهای تکفاز و سه‌فاز تحت ولتاژهای مختلف ۷۳۶
ضریب کاهش بازده موتورها در حالت عدم تعادل ولتاژ ۷۴۰
گرمای ناشی از موتورهای الکتریکی ۲۰۶
موتورهای الکتریکی و تلفات حرارتی ۷۳۸
موتورهای تکفاز ۷۴۴
نسبت فرکانس و دور الکتروموتورها ۷۳۸
موتور به عنوان محرک ۷۰
موتورخانه ۷۲۱
نفوذ هوا ۲۴۳-۲۴۲
افزایش بار ناشی از نفوذ ۲۴۲
تاثیر ارتفاع ساختمان در مقدار نفوذ ۲۴۵
تخمین بارهای گرمایشی و سرمایشی ناشی از نفوذ ۲۴۳
نرخ نفوذ هوا از درها و پنجره‌های خارجی به روش درزی ۱۵۸
نیرو ۲۱
نیروی گرانشی ۲۱
هدایت حرارت ۲۴۱-۲۱۵-۳۰

مقدار ضریب هدایت حرارت برخی مصالح ساختمانی ۲۴۱
انتقال هدایتی حرارت ۳۰
ضریب هدایت حرارتی برخی مواد (λ) ۳۰
هدایت گرما ۶۹۲
هدایت و مقاومت گرمایی مواد ۲۱۵
هزینه ۲۵۰
درصد هزینه تاسیسات مکانیکی به هزینه‌های کل ساختمان ۲۵۰
هوا ۷۲-۷۱
ترکیب هوا ۷۱
دما و فشار هوا به نسبت ارتفاع (SI) ۷۲
فشار هوا و ارتفاع ۷۲
هواساز ۴۴۳
اطلاعات کلی هواسازهای افقی از نوع مکشی ۴۴۵
افت فشار مناسب بخش‌های مختلف هواساز ۴۴۴
تخمین ابعاد اتاق هواساز ۷۳۳
تخمین ابعاد هواساز ۴۴۹
تخمین توان الکتریکی موتور بادزن هواساز ۴۴۶
تعیین دبی آب سرد کوئل هواساز ۴۴۶
تعیین دبی آبگرم کوئل هواساز ۴۴۶
توان بادزن هواساز ۴۴۶
حداقل سطح کوئل هواساز ۴۴۶
حداقل سطح مقطع دهانه خروجی هواساز ۴۴۶
حدود ابعاد هواساز چند منطقه‌ای ۴۵۰
حدود ابعاد هواساز نیمه عمودی- نیمه افقی ۴۵۰
حدود ابعاد هواساز یک منطقه‌ای افقی ۴۴۹
حدود ابعاد هواساز یک منطقه‌ای عمودی ۴۴۹
دبی آب حاصل از تقطیر روی کوئل سرد هواساز ۴۴۷
سرعت مناسب برای بخش‌های مختلف هواساز و شبکه کانال ۴۴۷
مقایسه فن‌کوئل و هواساز ۴۴۴
هواشوی ۴۲۵
تخمین ظرفیت هواشوی ۴۲۶

تعیین دمای خشک خروجی از هواشوی ۴۲۷
تعیین ظرفیت هوادهی هواشوی (ایرواشر) ۴۲۷
مصرف آب هواشوی ۴۲۸
هواکش فاضلاب ۶۲۱-۶۲۰-۶۱۹
اندازه لوله قائم مشترک فاضلاب و هواکش ۶۱۹
اندازه لوله مشترک فاضلاب و هواکش ۶۱۹
تعیین قطر و طول لوله تهویه فاضلاب ۶۲۰
حداقل قطر لوله تهویه فاضلاب بر اساس واحد مصرف ۶۲۱
حداکثر فاصله سیفون از لوله هواکش فاضلاب ۶۲۱- ۶۱۸
قطر نامی لوله هواکش مرطوب ۶۱۸
هوای تازه ۱۴۵-۱۴۴
تهویه مکانیکی و تامین هوای تازه ۱۴۴
حداقل هوای تازه ۱۴۵- ۱۴۲
مقدار هوای تازه مورد نیاز برای اماکن مختلف ۱۳۷
هوای فشرده ۵۵۵
حجم مخزن هوای فشرده ۵۵۸
نرخ جریان در سیستم هوای فشرده ۵۵۷- ۵۵۶
واحدهای اندازه‌گیری هوای فشرده ۵۵۵
هوای فشرده و خلاء ۵۵۵
هوای مرطوب ۷۵-۷۴
خواص مخلوط هوای اشباع با بخار آب ۷۵
فشار اشباع بخار آب در هوای مرطوب ۷۴
هود ۵۲۱-۵۲۰
تخمین سطح مقطع کانال هود (چهارگوش و مدور) ۵۲۰
تخمین فشار استاتیک درکانال‌های هود ۵۲۰
حداقل مقدار هوا به ازای واحد سطح افقی زیر هود ۵۲۱
واحد القایی ۷۳۲
واحد اندازه‌گیری ۱۰۵-۱۰۴-۱۰۳
توان ۱۰۷
جرم ۱۰۵
چگالی ۱۰۷

حجم ۱۰۴
سرعت ۱۰۶
سطح ۱۰۴
طول ۱۰۳
محتوی بر اساس وزن ۱۰۶
نیرو ۱۰۶
واحد مصرف ۵۸۷
تبدیل واحد مصرف به گالن در دقیقه (سیستم با شیر فشاری) ۵۹۰
تبدیل واحد مصرف به گالن در دقیقه (سیستم با فلاش تانک) ۵۹۱
تعیین واحد مصرف فاضلاب و حداقل قطر لوله ۶۱۴
مقدار واحد مصرف آب لوازم بهداشتی ۵۸۹
نرخ واحد مصرف آبگرم براساس نوع ساختمان ۵۹۶
نرخ واحد مصرف آبگرم براساس نوع سرویس و ساختمان ۵۹۶
نمودار تبدیل واحد مصرف به گالن در دقیقه (مصارف زیاد) ۵۹۲
نمودار تبدیل واحد مصرف به گالن در دقیقه (مصارف کم) ۵۹۳
واحد یکپارچه آبگرم ۳۵۷
وزن مخصوص ۹۷
یخ‌زدگی ۴۹۲
یونیت هیتر ۳۶۴

* * *

واحدهای اندازه‌گیری استفاده شده در این کتاب

فوت‌مکعب در دقیقه	cfm
	cfm/ft^2
فوت‌مکعب در دقیقه بر فوت‌مربع	
سانتی‌متر	cm
سانتی‌مترمربع	cm^2
سانتی‌مترمکعب	cm^3
فوت‌مکعب	cu.ft (ft^3)
دسی‌بل	dB
فارنهایت	F
فوت در دقیقه	fpm
فوت	ft
فوت آب	ft.W
فوت‌مربع	ft^2
	$ft^2h^\circ F/Btu$
فوت‌مربع‌ساعت‌فارنهایت بر بی‌تی‌یو	
	$ft^2h^\circ F/Btuin$
فوت‌مربع‌ساعت‌فارنهایت بر بی‌تی‌یو	

آمپر	A
آر	ac
اتمسفر	atm
بار	bar
اسب‌دیگ	bhp
بی‌تی‌یو	Btu
بی‌تی‌یو بر فوت‌مربع	Btu/ft^2
بی‌تی‌یو بر فوت‌مربع‌ساعت	Btu/ft^2hr
بی‌تی‌یو بر فوت‌مکعب	Btu/ft^3
	Btu/ft^3hr
بی‌تی‌یو بر فوت‌مکعب‌ساعت	
	Btu/hf^2F
بی‌تی‌یو بر ساعت فوت‌مربع‌فارنهایت	
بی‌تی‌یو در ساعت	Btu/hr
بی‌تی‌یو بر پوند	Btu/lb
سلسیوس	C
کالری	cal

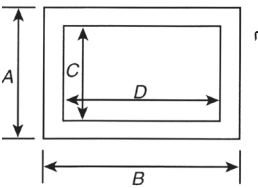
کیلوکالری بر کیلوگرم	kcal/kg	در اینچ	
کیلوکالری بر مترمربع	$kcal/m^2$	فوت‌پوند	ftlb
کیلوکالری بر مترمکعب	$kcal/m^3$	فوت‌پوند بر ثانیه	ftlb/s
کیلوگرم	kg	گرم	g
کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع	kg/cm^2	گرم بر کیلوگرم	g/kg
کیلوگرم در ساعت	kg/hr	گالن	gal
کیلوگرم بر کیلومول	kg/kmol	گالن در روز	gal/day
کیلوگرم بر لیتر	kg/l	گالن در دقیقه	gal/min
کیلوگرم بر مترمربع	kg/m^2	گالن بر ثانیه	gal/s
کیلوگرم بر مترمکعب	kg/m^3	گالن در دقیقه	gpm
کیلوگرم‌متر	kgm	گرین	Gr
کیلوژول بر کیلوگرم	kJ/kg	ساعت	h (hr)
کیلوژول بر کیلوگرم‌کلوین	kJ/kgK	هکتار	ha
کیلومتر	km	اسب	hp
کیلومتر در ساعت	km/hr	اینچ	in
کیلوگرم‌متربرثانیه	kgm/s	اینچ آب	in. h_2o
کیلونیوتن بر مترمربع	kN/m^2	گالن انگلیسی	in.gal
کیلوپاسکال	kPa	اینچ جیوه	in.Hg
کیلوولت‌آمپر	kVA	اینچ آب	in.W
کیلوولت‌آمپرراکتیو	kVAR	اینچ بر فوت	in/ft
کیلووات	kW	اینچ‌مربع	in^2
لیتر	l	اینچ‌مکعب	in^3
تن بزرگ	l.ton	ژول	J
پوند	lb	ژول بر ساعت	J/hr
پوند آب	lb.h_2o	ژول بر کیلوگرم	J/kg
پوند بر فوت‌مکعب	lb/ft^3	کلوین	K
پوند بر اینچ‌مربع	lb/in^2	کیلوکالری	kcal
پوند در دقیقه	lb/min	کیلوکالری بر ساعت	kcal/hr

پاسکال	Pa
قسمت در میلیون	ppm
پوند بر اینچ‌مربع	psi
پوند بر اینچ‌مربع مطلق	psia
پوند بر اینچ‌مربع گیج	psig
رانکین	R
دور در دقیقه	rpm
ثانیه	s
تن کوچک	s.ton
فوت‌مکعب در دقیقه استاندارد	scfm
ثانیه	sec.
فوت‌مربع	sq.ft
تن‌تبرید	tbr
تن	ton
گالن آمریکایی	US.gal
وات	W
وات بر مترمربع	W/m^2
وات بر مترکلوین	W/mK
وات‌ساعت	Wh
یارد	yd
یاردمکعب	yd^3
یاردمربع	yd^2
پوندنیرو	lbf
لیتر	lit
لیتر در روز	lit/day
لیتر در دقیقه	lit/min
متر	m
متر بر ثانیه	m/s
مترمربع	m^2
مترمربع‌کلوین بر وات	m^2K/W
متر مکعب	m^3
مترمکعب در ساعت	m^3/hr
مترمکعب در ثانیه بر مترمربع	m^3s/m^2
میلی‌بار	mbar
میلی‌گرم بر لیتر	mg/l
میلی‌گرم بر مترمکعب	mg/m^3
اسب‌متریک	mhr
مایل	mi
مایل در ساعت	mi/hr (mph)
میکرون	mic
دقیقه	min
مترکلوین بر وات	mK/W
میلی‌متر	mm
میلی‌متر جیوه	mm.Hg
میلی‌متر آب	mm.W
میلی‌مترمربع	mm^2
نیوتن	N
نیوتن بر مترمربع	N/m^2
نیوتن‌متر بر ثانیه	Nm/s
اونس	Oz

❋ ❋ ❋

نمادها و علائم نقشه‌کشی تاسیسات مکانیکی ساختمان

اندازه استاندارد نقشه‌ها



نام اختصاصی	ابعاد کاغذ		ابعاد سطح ترسیم	
	A mm	B mm	C mm	D mm
A0	841	1189	791	1139
A1	594	841	554	804
A2	420	594	380	554
A3	297	420	267	390
A4	210	297	180	267

نمادها و علائم نقشه‌کشی

گرمایش	
بخار فشار بالا	HPS
بخار فشار متوسط	MPS
بخار فشار پایین	LPS
چگالیده فشار بالا	HPC
چگالیده فشار متوسط	MPC
چگالیده فشار پایین	LPC
زیر آب‌کشی دیگ	BBD

چگالیده پمپ شده	PC
دهش پمپ خلاء	VPD
آب جبرانی	MU
ونت جوی - هواگیر	ATV
دهش سوخت نفتی	FOD
فشارسنج سوخت نفتی	FOG

مکش سوخت نفتی	FOS
برگشت سوخت نفتی	FOR
لوله هواکش منبع سوخت نفتی	FOV
رفت آبگرم دمای کم	HWS
رفت آبگرم دمای متوسط	MTWS
رفت آبگرم دمای زیاد	HTWS
برگشت آبگرم دمای کم	HWR
برگشت آبگرم دمای متوسط	MTWR
برگشت آبگرم دمای زیاد	HTWR
هوای فشرده	A
خلا (هوا)	VAC
لوله‌کشی موجود (نام خط)	(NAME)E
لوله جابه‌جا شده با نام خط	XX (NAME) XX
تهویه مطبوع و سرمایش	
دهش مبرد	RD
مکش مبرد	RS
رفت آب‌نمک	B
برگشت آب‌نمک	BR
رفت آب کندانسور	C
برگشت آب کندانسور	CR
رفت آب سرد شده	CWS
برگشت آب سرد شده	CWR
خط پرکن	FILL
خط رطوبت‌زن	H
تخلیه	D
رفت آب سرد یا گرم	HCS
برگشت آب سرد یا گرم	HCR
مبرد مایع	RL
رفت آب پمپ حرارتی	HPWS
برگشت آب پمپ حرارتی	HPWR
لوله‌کشی آب مصرفی و فاضلاب	
تخلیه لوازم بهداشتی بالاتر از سطح کف یا زمین	SAN
تخلیه لوازم بهداشتی زیر کف یا سطح زمین	SAN
تخلیه سیلابی بالاتر از کف یا سطح زمین	ST
تخلیه سیلابی زیرکف یا سطح زمین	ST
تخلیه آب حاصل از تقطیر بالاتر از کف یا سطح زمین	CD
تخلیه آب حاصل از تقطیر زیرکف یا سطح زمین	CD
هواکش (فاضلاب)	
آب‌سرد (مصرفی)	

آبگرم (مصرفی)	
برگشت آبگرم مصرفی	
گاز	G — G
فاضلاب اسیدی	ACID
رفت آب آشامیدنی	DWS
برگشت آب آشامیدنی	DWR

آشکارسازهای حریق

آشکارساز حرارتی	
آشکارساز دودی	S
آشکارساز گاز	
آشکارساز شعله	

شیرها

شیر هواگیر	
کروی	
پروانه‌ای	
دیافراگمی	
کشویی	
کشویی زاویه‌ای	
گلویی	
گلویی زاویه‌ای	
سماوری	
سه‌راهه	

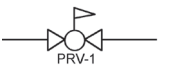
خلاء (هوا)	VAC
هوای فشرده	A
لوله رفت شیمیایی (با نام ماده شیمیایی)	(NAME)
کف‌شور	D
تخلیه قیفی (باز)	

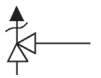
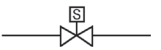
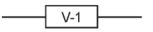
راه‌اندازهای شیرها

دستی درجا چرخ (غیر بالارونده)	
دستی با ساقه خارجی و یوغ	
اهرمی	
گیربکسی	G
الکتروموتوری	M
مغناطیسی - بوبین‌دار	S
موتوری پنیوماتیک	M
دیافراگمی	D

شیرها با کاربرد خاص

یکطرفه لولایی	
یکطرفه فنری	S
کنترل (برقی - پنیوماتیک)	EP
کنترل (پنیوماتیک - برقی)	PE
سرشیلنگی و تخلیه	

قفل شونده	
سوزنی	
تقلیل فشار (شماره و ویژگی)	
سریع بازشو	
سریع‌بند، فیوزی	

اطمینان (R) یا ایمنی (S)	
مغناطیسی (بوبین‌دار)	
با محور چهارگوش	
طبقه‌بندی نشده	

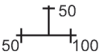
اتصالات

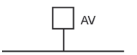
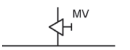
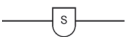
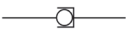
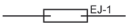
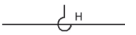
تسمه‌ای و سربه‌سر	دنده‌ای	فلنچی
		
چسبی	لحیمی	جوشی
		

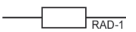
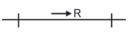
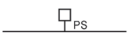
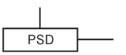
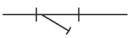
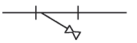
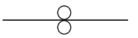
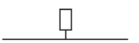
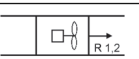
بوشن	
کلاهک - درپوش	
اتصال از زیر	
اتصال از رو	
اتصال - جفت‌کننده	
چهارراهه	
زانو ۹۰ درجه	
زانو ۴۵ درجه	
زانو با گردش رو به بالا	
زانو با گردش رو به پایین	
زانو تبدیل با نمایش قطر	

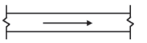
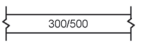
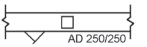
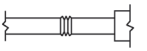
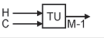
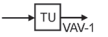
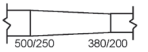
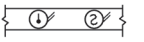
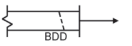
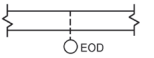
زانو با پایه	
زانو شعاع بلند	
سه راه دوردار (زانوی دو انشعاب)	
سه راه دوردار (زانوی دو انشعاب) با انشعاب از پهلو و خروجی رو به بالا	
سه راه دوردار (زانوی دو انشعاب) با انشعاب از پهلو و خروجی رو به پایین	
سه راه با نافی ۴۵ درجه	
تبدیل هم مرکز	

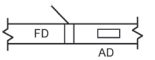
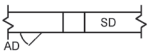
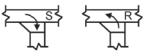
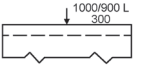
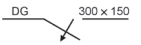
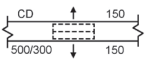
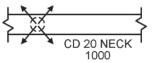
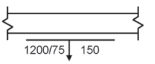
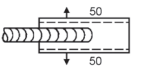
تبدیل خارج از مرکز (قسمت تحتانی در یک امتداد)	
تبدیل خارج از مرکز (قسمت فوقانی در یک امتداد)	
سه‌راهی	
سه راه با خروجی رو به بالا	
سه‌راه با خروجی رو به پایین	

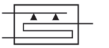
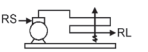
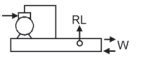
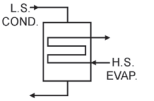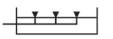
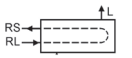
سه‌راه تبدیل با نمایش قطر	
سه‌راه با خروجی از کنار رو به بالا	
سه‌راه با خروجی از کنار رو به پایین	
سه‌راه تک انشعاب (یک‌طرفه)	
مهره ماسوره دنده‌ای	
مهره ماسوره فلنچی	

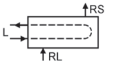
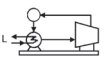
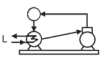
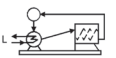
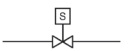
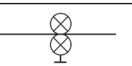
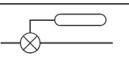
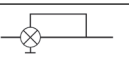
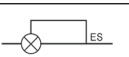
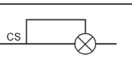
تجهیزات ویژه لوله‌کشی	
هواگیر اتوماتیک	
هواگیر دستی	
جداکننده هوا	
هادی لوله	
مهار میان (خط)	
مهار اصلی	
اتصال توپی - اتصال کروی	
اتصال انبساطی	
خم انبساطی	
متصل‌کننده قابل انعطاف	
جریان‌سنج، افشانکی	
جریان‌سنج، ونتوری	
کلید جریانی، فلوسوییچ	
آویز میله‌ای	
آویز فنری	

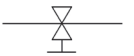
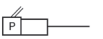
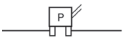
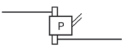
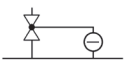
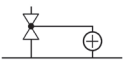
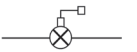
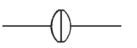
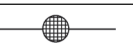
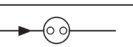
مبدل حرارتی، مایع به مایع	
سطح اتصال حرارت با نمایش نوع	
شیب لوله (R) رو به بالا - (D) رو به پایین	
فشارسنج با شیر	
کلید فشاری	
پمپ با نمایش کاربرد (پمپ خطی)	
توزیع‌کننده مکش پمپ	
ماسوره فلنچی	
صافی	
صافی با شیر تخلیه	
صافی دوتایی	
مخزن با نمایش کاربرد	
دماسنج	
مخزن دماسنج	
ترموستات پنیوماتیک	
ترموستات الکتریکی	
ترموستات یکپارچه	
تله بخار با نمایش نوع	
یونیت هیتر با نمایش نوع	
تجهیزات جابه‌جایی هوا	
فن جریان محوری	
فن گریز از مرکز	
فن ملخی	
تهویه‌کننده پشت‌بامی- دمنده	
تهویه‌کننده پشت‌بامی- مکنده	
تهویه‌کننده پشت‌بامی کرکره‌ای	

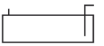
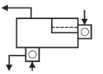
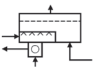
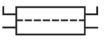
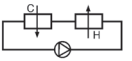
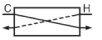
شبکه کانال	
کانال با جریان مستقیم	
کانال با نمایش اندازه، عدد اول نشان‌دهنده ارتفاع کانال است.	
مقطع کانال با فشار مثبت و نمایش ابعاد. عدد اول نشانه پهنای کانال است (کانال رفت)	
مقطع کانال با فشار منفی (کانال برگشت یا تخلیه)	
تغییر ارتفاع کانال به طرف بالا یا پایین	
دریچه دسترسی کانال، عمودی یا افقی	
لایه صداگیر	
کلاهک (گردن غازی)	
اتصال قابل انعطاف	
کانال قابل انعطاف (خرطومی)	
صدا خفه‌کن	
پایانه مخلوط‌کننده	
پایانه مخلوط‌کننده، دوباره گرمکن	
پایانه مخلوط‌کننده حجم متغیر	
تبدیل دوطرفه	
زانوی با تیغه‌های هدایت هوا	
آشکارسازهای اعلام حریق، دودی یا حرارتی	
دمپرها	
دمپر مکش از پشت	
دمپر با کنترل‌کننده پنیوماتیکی	
دمپر با کنترل الکتریکی	
دمپر حریق و غلاف با دریچه دسترسی	

وضعیت افقی	
دمپر حجمی دستی	
دمپر انشعاب با اهرم تنظیم دستی	
دمپر دود با دریچه دسترسی	
انشعاب استاندارد رفت یا برگشت بدون تیغه جداکننده	
گرمکن الکتریکی کانالی	
شبکه‌ها، دریچه‌ها و توزیع‌کننده‌های هوا	
دریچه یا شبکه تخلیه	
دریچه یا شبکه هوای رفت	
دریچه مشبک یا قابل تنظیم سقفی	
دریچه کرکره‌ای یا مشبک	
دریچه کرکره‌ای دیواری یا پادری	
دریچه پادری	
(جریان هوا از) برش زیرین در	
دریچه توزیع هوای چهارگوش سقفی	
دریچه توزیع هوای مدور سقفی	
دریچه توزیع هوای خطی	
واحد مرکب توزیع هوا و روشنایی	
دریچه انتقال	
تبرید	
کمپرسور گریزازمرکز	

کمپرسور تناوبی- رفت و برگشتی	
کمپرسور دوار	
کمپرسور دوار پیچی	
کندانسورها	
کندانسور هوایی	
کندانسور تبخیری	
کندانسور آبی	
واحدهای تقطیر (کمپرسور – کندانسور)	
واحد تقطیر هوایی	
واحد تقطیر آبی	
کندانسور - اواپراتور	
برج‌های خنک‌کن	
برج خنک‌کن	
(برج از نوع) افشانکی	
تبخیرکننده‌ها	
کلاف پره‌دار	
اواپراتور با وزش اجباری	
اواپراتور مستغرق	
اواپراتور صفحه‌ای	
اواپراتور لوله‌ای	
خنک‌کننده‌های مایع	
خنک‌کننده انبساط مستقیم	

خنک‌کننده پر (اواپراتور از نوع پر)	
مخزن بسته برای اواپراتور	
مخزن باز برای اواپراتور	
دستگاه تبرید	
خنک‌کننده جذبی- چیلر جذبی	
خنک‌کننده گریزازمرکز- چیلر سانتریفوژ	
خنک‌کننده رفت و برگشتی- چیلر با کمپرسور سیلندر پیستونی	
خنک‌کننده با کمپرسور دوار پیچی	
کنترل‌کننده‌ها	
لوله موئین	
شیر انبساطی دستی	
شیر انبساطی اتوماتیک	
شیر انبساطی حرارتی	
کنترل شناوری بخش فشار قوی	
کنترل شناوری بخش فشار ضعیف	
حباب حساس حرارتی	
شیر برقی- شیر مغناطیسی	
شیر تثبیت فشار، مکش	
شیر تنظیم فشار اواپراتور از نوع حرارتی- اختناقی	
شیر تنظیم اواپراتور از نوع حرارتی- فنری	
شیر تنظیم فشار اواپراتور از نوع حرارتی- اختناقی (سمت اواپراتور)	
شیر کنترل مکش کمپرسور از نوع اختناقی با فنر محدودکننده (سمت کمپرسور)	

شیر مکش حرارتی	
شیر با عملکرد فنری (آنی)	
شیر معکوس‌کننده جریان مبرد	
ترموستات	
ترموستات با حباب حساس بلند	
کلید فشاری (کلیدی که با میزان فشار سیال قطع یا وصل می‌شود)	
کلید فشاری دوتایی (فشار کم و زیاد)	
کلید فشاری تفاضلی روغن	
شیر اتوماتیک تقلیل فشار	
شیر اتوماتیک کنارگذر	
شیر تقلیل فشار	
شیر تنظیم آب کندانسور	
تجهیزات کمکی تبرید	
فیلتر	
صافی- توری	
فیلتر و خشک‌کن	
جرم‌گیر	
خشک‌کن	
لرزه‌گیر	
مبدل حرارتی	
جداکن روغن	
شیشه رویت	

درپوش ذوب‌شونده	
صفحه پاره‌شونده	
انباره افقی فشار قوی	
انباره عمودی فشار قوی	
انباره فشار ضعیف	
خنک‌کن میانی	
خنک‌کن میانی- کاهنده گرما	
تجهیزات بازیافت انرژی	
کندانسور دوتایی	
چرخ بازیافت گرما	
حلقه کوئل	
پمپ حرارتی	
صفحه ثابت بازیافت	
صفحه پره‌دار با جریان متقاطع	
مولد توان	
موتور الکتریکی (با شماره برای شناسایی و شرح مختصات)	
موتور احتراقی (با نمایش نوع سوخت)	
توربین گاز	
توربین بخار	
توربین بخار، چگالشی	

فهرست منابع و مراجع

- استاندارد لوله‌کشی گاز طبیعی- مدیریت پژوهش و فناوری شرکت گاز ملی ایران.
- نشریه۲۷۱ دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور - شـــرایط طراحی برای محاسبات تاسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه‌مطبوع مخصوص تعدادی از شهرهای کشور.
- نشـــریه شماره۱-۱۲۸ و۲-۱۲۸ و۳-۱۲۸ دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور - مشخصات فنی تاسیسات مکانیکی ساختمان‌ها(سه جلد).
- مباحث چهاردهم، پانزدهم، شـــانزدهم، هفدهم و نوزدهم مقررارت ملی ساختمان- معاونت نظام مهندســـی و اجرای ساختمان وزارت مسکن و شهرسازی- دفتر تدوین وترویج مقررات ملی ساختمان.
- طراحی بناهای درمانی، راهنمای طراحی تاسیسات مکانیکی بخش‌های بســـتری داخلی، جراحی و بخش مراقبت ویژه - معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- مشخصات فنی عمومی و اجرای تاسیسات برقی کارهای ساختمانی جلد اول - تاسیسات برقی فشار ضعیف و فشار متوسط، نشریه ۱-۱۱۰، معاونت

امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

- طرح و محاسبه عملی تاسیسات لوله‌کشی آب و فاضلاب ساختمان و سپتیک تانک - سید محسن موسوی - انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران- دانشکده هنرهای زیبا.
- حرارت مرکزی و تهویه‌مطبوع - علی اصغر ستوده تهرانی - انتشارات دهخدا.
- چیلر جذبی - محمدرضا سلطاندوست - نشر یزدا.
- تجهیزات و تاسیسات ساختمان - تالیف فرد هال - ترجمه اردشیر اطیابی - انتشارات اتحاد.
- فاضلاب شهری - جمع‌آوری فاضلاب - تصفیه‌ی فاضلاب - دو جلد - محمد تقی منزوی - انتشارات دانشگاه تهران.
- راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه‌مطبوع- ویرایش یازدهم - تالیف فرد پورجز - ترجمه محمدرضا سلطاندوست - نشر کتاب دانشگاهی.
- استاندارد سیستم‌های تاسیساتی تهویه مطبوع در بیمارستان‌ها، ترجمه محمدرضا خواجه‌نوری - شرکت سرمایه‌گذاری خانه‌سازی ایران.
- سایکرومتریک - محمدرضا سلطاندوست - نشر یزدا.
- طبقه‌بندی تجهیزات و سیستم‌ها - محمدرضا سلطاندوست - نشر یزدا.
- تله‌بخار - محمدرضا سلطاندوست - نشر یزدا.
- برق برای تهویه‌مطبوع - محمدرضا سلطاندوست - نشر یزدا.
- تهویه‌مطبوع برای مراکز آموزشی - اریک کولدراپ و پت جاکوبز - ترجمه رامین تابان - نشر یزدا.
- سیستم توزیع مرکزی گازهای طبی در بیمارستان - شرکت خانه‌سازی ایران.
- نشریات سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.
- نشریات و جزوات فنی شرکت‌های آبگردان، آژیر، اخگر، ارج، انرژی، ایران رادیاتور، پاکمن، تهویه، حرارت گستر، ساراول، ساران، ساری پویا، سرماآفرین، سوپرپایپ، شوفاژکار، صافیاد، عمران تهویه، کاریزاب و کوشش.

❋ ❋ ❋

[1] Heating, Ventilating, and Air Conditioning Systems Estimating Manual - Second Edition - A.M.Khashab - Mc Graw - Hill Book Company

[2] HVAC Applications - ASHRAE Handbook - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer, Inc.

[3] Equipment and Systems - ASHRAE Handbook - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer ,Inc.

[4] Fundamentals - ASHRAE Handbook - American Society of Heating Refrrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.

[5] Refrigertion - ASHRAE Handbook - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.

[6] Design Manual for Heating, Ventilation and Air Conditioning - Second Edition - Lee Kendrick - Published by Technical Standards Publications- Frank M.Trent and Associates, Inc. (Capitoline Trans- A- Plate).

[7] HVAC Pocket Reference - James Brumbaugh- Wiley Publishing, Inc.

[8] HVAC Field Manual - Robert O.Parmley - Mc Graw - Hill Book Company.

[9] ASHRAE Pocket Handbook for Air Conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration - America Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.

[10] Mechanical and Electrical Systems in Buildings - William K.Y.Tao, Richard R.Janis- Prentice Hall.

[11] Building Technology - Mechanical and Electrical System - William J.Mc Guinness, Benjamin Stein - John Wiley and son›s.

[12] HVAC Equations, Data, and Rules of Thumb - Arthur A.Bell.Mc Graw - Hill Book Company.

[13] Understanding Pharmaceutical Cleanroom Design John Zhang - ASHRAE Journal, September 2004.

[14] Heating, Ventilation and Air Conitioning- Richard Nicholis - Third Edition - 2002.

[15] Guidelines for Energy Efficient Commercial Unitary HVAC Systems- Final Report - Denise Rouleau - January 2001.

[16] Installation, Operation and Maintenace Costs for Distributed Generation Technologies - D.Herman- February 2003.

[17] HVAC and Water Heating - Hawall Commercial Building Guidelines for Energy Efficiency - 2003.

[18] A Simple Approach for Building Cooling Load Estimation - F.A.Ansari, A.S.Mokhtar, K.A.Abbas and N.W.Adam - American Journal of Environmental Sciences - 2005.

[19] How Contractors Really Size Air Conditiong Systems - Robin K.Vieira, Danny S.Parker - Jon F. klon Gerbo, Jeffrey K.Sonne and Jo Ellen Cumminqs - Florida Solar Energy Center. (FSEC)

[20] Introduction to Building Services - Lecture3- Ventilation, Air Conditioning- Rules

of Thumb - Laura Mansel - Thomas.
[21] Water Efficiency Manual for Commercial, Industrial and Institutional Facilities - North Carolina Department of Environment and Natural Resources
[22] Health Care Facilities and Medical Gas and Vacuum Systems - California Plumbing Code - October 2002.
[23] HVAC Engineers Handbook - Eelevnth Edition - F.Porges - Butter Worth Heinemann.
[24] Rules and Regulations Governing The Design, Construction and Operation of Public Swimming Pools and Spas - Jefferson County Department of Health.
[25] Texas Department of Health Pool and SPA - Standards for Public Swimming.
[26] ASHRAE Standard 622003- Mechanical Code of NewYork State-2005.
[27] Axial Ventilators- Emerson. Consider it Solved.
[28] CHP Resource Guide- September 2003.
[29] Solar Absorption Cooling Project for Greece - Dr. Hirsch.
[30] Cleanroom Technology- Biill Whyte.
[31] Solar Eenergy Assoclation of Oregon.
[32] Rules of Thumb - How Do They Change With The Changes in Technology - Hemant R.Mehta.
[33] General Principles of Installation and Operation of Steam Traps. Armstrong International. Inc.
[34] Environmental Technology Class Notes- Walter Grondzik- Design Cooling LOAD - Pair.com.
[35] Residental Heat Loss Aand Heat Gain - Dan Sleeth - HVAC - Talk.com.
[36] Rule of Thumb HVAC Sizing - ASHRAE.com.
[37] Rule of Thumb - Thaihvac.com.
[38] The Rules of Thumb Project - Digitalstandbox.typepad.com.
[39] Natural Ventilation - Aandy Walker - National Renewable Energy Laboratory - Wbdg.org.
[40] Plumber's and Pipe Fitter's Calculations Manual. Second Edition - R.Dodge Woodson - Mc Graw - Hill.
[41] Building Services Engineering - 5th Edition - David V. Chadderton - Taylor and Francis Group.
[42] Valve Handbook. Second Edition - Philip L. Skousen.
[43] HVAC/R Professional Reference - Paul Rosenberg. Pal Publications.
[44] HVAC Fundamentals - Volume2: Heating System Components, Gas and Oil Burners and Automatic Controls - James E. Brumbaugh - Willey Publishing Inc.
[45] Indoor Air Quality - 2ND Edition - Edition - Marcel Dekker. INC - The Fairmont Press ,Inc.
[46] Insulation for Mechnical Systems - Ashrae Journal - May 2006.
[47] HVAC Applications for Congeneration Systems - Alan J. Smitha and A.Porajita Sengupta.

[48] Duct Sizing - Nils R. Grimm.
[49] Air Conditioning Sytems - Dennis L.o'neal and John A.Bryant.
[50] Energy Caclculations - Building Loads - Ari Rabi and Peteres. Curtiss.
[51] Handbook of Air Conditioning and Refrigeration - Shan K. Wanng.
[52] Unified Faclilities Griteria - Heating Systems Operation and Maintenance - Department of Defense - United States of America - 2004.
[53] Metric Handbook Planing and Design Data- Second Edition- Service Distribution- Editted by David Adler
[54] Energy Powering The Past, Present and Futrue- Julie Kerr Casper
[55] Handbook of Eenergy Enginnering- Fifth Edition- Albert Thomannand and D. Paul Mehta
[56] Energy Managment and Conservation Handbook – Frank Kreith
[57] Heating and Air Conditioning of Buildings- P. L. Martin- D.r. Ouhghton
[58] Water and Waste Water Calculations Manula- Second Eedition- Shun Dar Lin
[59] Building Services Handbook- Fred Hall and Roger Greeno
[60] Plumbing Engineering Services Design Guide- Stan Tidsley- Yhe Institute of Plumbing
[61] Facility Piping Systems Handbook- Michael Frankel
[62] Medical Gas System- 2001 California Plumbing Code
[63] Design Cosidrations for Pools and Spas- John W.Lund
[64] Introduction to Contaminayion Control and Cleanroom Technology Matts Ramstop
[65] Priciples of Rrefrigeration- Second Edition- Roy J. Dossat
[66] Technical Formullae- Kurt Gieek
[67] Tranne Air Conditioning Manual- TheTrane Company
[68] Modern Air Conditioning Practice – Norman C Harris
[69] Conversion Factors and Tables-BS350:Part1- British Standards Institution
[70] Piping Hand Book- Reno C. King- Sabin Crocker
[71] Refrigeration and Air Conditiong- W.F.Stoecker
[72] Refrigeraion: Home and Commercial- Edwin P. anderson

❋ ❋ ❋

- www.armstrong-intl.com.
- www.alliantenergy.com.
- www.aeromechindia.com.
- www.ashrae.org.
- www.aps.com.
- www.agroponic.com.
- www.bellgossett.com.
- www.buildingscience.com.
- www.cti.org.
- www.cleaver-brooks.com.
- www.colonialsupply.com
- www.cadetco.com.
- www.cip.ukcentre.com.
-www.energysolutionscenter.org.
- www.electrostatic-filter.com.
- www.ee.byu.edu.
- www.ext.vt.edu.
- www.epri.com.
- www.energystar.gov.
- www.engineeringtoolbox.com.
- www.hvacwebtech.com.
- www.homeenergy.org.
- www.heatinghelp.com.
- www.healthgoods.com.
- www.hpac.com.
- www.ieeo.org.
- www.infraredheaters.com.
- www.kennspenns.com.
- www.mcacleanrooms.com.
- www.mssi.ucl.ac.uk.
- www.mckenziecrop.com.
- www. pwi-energy.com.
- www.terrauniversal.com.com.
- www.solardev.com.
-www.wbdg.org.
- www.weather.ir.
- www.wapa.gov.

❋ ❋ ❋

تاکنون از همین مولف منتشر شده است

۱- تئوری گشایش‌ها (سه جلد)، انتشارات گوتنبرگ، ۱۳۶۸
۲- فرهنگ تأسیسات ساختمان، ویراســـت اول (انتشارات سالکان ۱۳۷۶)، ویراست دوم (نشر کتاب دانشگاهی ۱۳۸۳)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۸)
۳- تله بخار، ویراست اول (انتشارات سورمق ۱۳۸۲)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)
۴- راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه مطبوع ویرایش یازدهم، چاپ اول تا چهارم (نشر کتاب دانشگاهی ۱۳۸۴)، چاپ پنجم (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، چاپ ششم (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)
۵- طبقه‌بندی تجهیزات و سیستم‌ها، ویراست اول (انتشارات سورمق ۱۳۸۵)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۰)
۶- مراجعات ســـریع، ویراست اول (انتشارات ســـورمق ۱۳۸۵)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۸)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)
۷- برق برای تهویه مطبوع، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)
۸- سایکرومتریک، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، ویراست دوم (انتشارات

یزدا ۱۳۹۲)
۹- چیلر جذبی، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۰)
۱۰- دستنامه تأسیسات، انتشارات یزدا ۱۳۸۸
۱۱- فرهنگ جیبی تأسیسات ساختمان، انتشارات یزدا ۱۳۸۹
۱۲- طراحی موتورخانه، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۹)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۰)
۱۳- اقلیم، معماری، تهویه‌مطبوع، انتشارات یزدا ۱۳۹۰
۱۴- جزئیات تأسیسات ساختمان، انتشارات یزدا ۱۳۹۱
۱۵- چیلر تراکمی، انتشارات یزدا ۱۳۹۱
۱۶- تأسیسات مکانیکی برای دانشجویان معماری، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۹)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۰)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۱)
۱۷- تاسیسات برقی برای دانشجویان معماری، انتشارات یزدا ۱۳۹۲
۱۸- سیستم‌های اعلام حریق، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۵)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۸)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۹)، ویراست چهارم (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)
۱۹- اجزا و چرخه‌ی سرمایش (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)
۲۰ - چیلر پیچی و گریز از مرکز (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)
۲۱ - آشنایی با چیلر جذبی (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)
۲۲- آشنایی با سیستم‌های تهویه مطبوع (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)
۲۳ - محاسبات بار سرمایی و گرمایی (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)
۲۴- طراحی تاسیسات ساختمان (دو جلد)، انتشارات یزدا، ۱۳۹۳

❋ ❋ ❋