



دانشگاه صنعتی شریف  
دانشکده مهندسی مکانیک

# طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع و تأسیسات مکانیکی

تألیف و گردآوری  
دکتر محمد حسن سعیدی  
دکتر بهرنگ سجادی

بهار ۱۳۸۸

## پیشگفتار

در دنیای امروز که بیشتر وقت افراد در محیط‌های بسته‌ای نظیر ساختمان‌های مسکونی، دفاتر اداری و مجتمع‌های تجاری می‌گذرد، وجود تأسیسات مکانیکی مناسب به ویژه سیستم‌های تهویه مطبوع، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. طراحی صحیح این تأسیسات علاوه بر تأمین شرایط آسایش ساکنین، در کنترل و کاهش میزان مصرف انرژی ساختمان نیز نقش قابل ملاحظه‌ای ایفا می‌کند. از آنجا که دانشجویان امروز مهندسان فردای کشور هستند، لزوم تدوین کتابی که به طور ویژه با هدف آموزشی تهیه شده باشد، به شدت احساس می‌شد. کتاب حاضر نتیجه مطالعه و بررسی کتب و استانداردهای متعدد و معتبر خارجی و داخلی بوده و از آنجا که تجربه همواره بخشی از طراحی مهندسی به شمار می‌آید، در موارد لازم در برگرفته تجربیات شخصی مؤلفان نیز می‌باشد. در فصول اول تا سیزدهم کتاب، محاسبه و طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع، مرحله به مرحله، از محاسبات بار تا طراحی موتورخانه تشریح شده و در فصول چهاردهم تا شانزدهم به سایر بخش‌های تأسیسات مکانیکی شامل سیستم آبرسانی، جمع‌آوری فاضلاب و گازرسانی پرداخته شده است. در فصل پایانی کتاب، روش محاسبه بار حرارتی و برودتی با استفاده از نرم افزار HAP در حد لازم تشریح شده است به نحوی که به رغم پیچیدگی نسبی نرم افزار در ورود اطلاعات، با توجه به نکات ذکر شده کاربر بدون هیچ مشکلی قادر به استفاده از آن جهت محاسبه بار ساختمان خواهد بود.

هر چند این کتاب مشخصاً با اهداف آموزشی تدوین شده و با توجه به برنامه زمان‌بندی ارائه شده در فصل اول می‌تواند در قالب درسی ۳ واحدی ارائه گردد، اما مطالب آن قابل استفاده برای تمامی مهندسين و طراحان سیستم‌های تهویه مطبوع و تأسیسات مکانیکی نیز می‌باشد. از آنجا که هیچ تلاشی خالی از اشکال نیست، نظرات و پیشنهادات جامعه اساتید، مهندسين و دانشجویان عزیز در رفع نقایص و بهبود کیفیت کتاب در چاپ‌های بعد، مزید سپاسگزاری مؤلفان خواهد بود.

بهار ۱۳۸۸

محمد حسن سعیدی

بهرنگ سجادی



## فهرست مطالب

|    |                                                     |
|----|-----------------------------------------------------|
| ۱  | پیشگفتار                                            |
| ۲  | فهرست مطالب                                         |
| ۷  | فصل اول مقدمه                                       |
| ۱۰ | فصل دوم شرایط طرح داخل و خارج                       |
| ۱۰ | ۱-۲. شرایط طرح داخل                                 |
| ۱۰ | ۲-۲. شرایط طرح خارج                                 |
| ۱۱ | ۱-۲-۲. شرایط طرح زمستانی (گرمایش)                   |
| ۱۱ | ۲-۲-۲. شرایط طرح تابستانی (سرمایش و رطوبت زدایی)    |
| ۱۱ | ۳-۲-۲. شرایط طرح باد                                |
| ۱۱ | ۴-۲-۲. سایر موارد                                   |
| ۱۱ | ۳-۲. شرایط طرح در شهرهای ایران                      |
| ۱۱ | ۴-۲. دمای فضاهای تهویه نشده                         |
| ۱۵ | فصل سوم محاسبه بار گرمایشی                          |
| ۱۵ | ۱-۳. اتلافات حرارتی از جداره‌های ساختمان            |
| ۱۵ | ۱-۱-۳. اتلافات حرارتی از دیوار، سقف، در و پنجره     |
| ۱۶ | ۲-۱-۳. اتلافات حرارتی از دیوار زیرزمین و کف ساختمان |
| ۱۶ | ۲-۳. اتلافات حرارتی ناشی از نفوذ و تهویه            |
| ۲۳ | فصل چهارم محاسبه نفوذ و تهویه                       |
| ۲۳ | ۱-۴. روش تعویض هوا                                  |
| ۲۳ | ۲-۴. روش درزی                                       |
| ۲۵ | ۱-۲-۴. فشار ناشی از اثر دودکشی                      |
| ۲۵ | ۲-۲-۴. فشار ناشی از وزش باد                         |
| ۲۶ | ۳-۲-۴. فشار ناشی از سیستم تهویه                     |
| ۲۶ | ۴-۲-۴. روش سطح موثر                                 |
| ۲۶ | ۵-۲-۴. برآورد میزان نفوذ در ساختمان‌های تجاری       |
| ۲۷ | ۶-۲-۴. روش Carrier                                  |
| ۲۷ | ۳-۴. تهویه                                          |
| ۳۵ | فصل پنجم وسایل گرمایشی                              |
| ۳۵ | ۱-۵. رادیاتور                                       |
| ۳۶ | ۲-۵. فن کویل                                        |

|    |                                              |
|----|----------------------------------------------|
| ۳۷ | ۳-۵. یونیت هیتر                              |
| ۳۸ | ۴-۵. کنوکتور                                 |
| ۳۹ | <b>فصل ششم مقدمه‌ای بر لوله‌کشی</b>          |
| ۳۹ | ۱-۶. لوله‌ها                                 |
| ۳۹ | ۲-۶. اتصالات انبساطی                         |
| ۴۰ | ۳-۶. تکیه‌گاه‌ها                             |
| ۴۰ | ۴-۶. اتصالات                                 |
| ۴۰ | ۵-۶. شیرآلات                                 |
| ۴۹ | <b>فصل هفتم سیستم گرمایش با آب گرم</b>       |
| ۴۹ | ۱-۷. تقسیم‌بندی سیستم‌های لوله‌کشی آب        |
| ۵۰ | ۲-۷. طراحی شبکه لوله‌کشی آب گرم              |
| ۵۱ | ۳-۷. نکات اجرای شبکه لوله‌کشی آب گرم         |
| ۵۶ | <b>فصل هشتم موتورخانه گرمایشی</b>            |
| ۵۶ | ۱-۸. آب گرم مصرفی                            |
| ۵۷ | ۲-۸. دیگ آب گرم                              |
| ۵۸ | ۳-۸. مشعل                                    |
| ۵۸ | ۴-۸. مخزن سوخت                               |
| ۵۹ | ۵-۸. منبع انبساط                             |
| ۵۹ | ۱-۵-۸. منبع انبساط باز                       |
| ۶۱ | ۲-۵-۸. محاسبه قطر لوله‌های رفت و برگشت       |
| ۶۱ | ۳-۵-۸. منبع انبساط بسته                      |
| ۶۲ | ۶-۸. پمپ سیرکولاتور                          |
| ۶۳ | ۷-۸. کلکتور                                  |
| ۶۷ | <b>فصل نهم سیستم گرمایش با بخار</b>          |
| ۶۷ | ۱-۹. تقسیم‌بندی سیستم‌های بخار               |
| ۶۸ | ۱-۱-۹. نحوه آرایش لوله‌ها                    |
| ۶۸ | ۲-۱-۹. فشار کاری                             |
| ۷۰ | ۳-۱-۹. نحوه برگشت آب‌کندانس به دیگ           |
| ۷۰ | ۲-۹. طراحی سیستم گرمایش با بخار              |
| ۷۱ | ۱-۲-۹. تعیین اندازه لوله‌های بخار            |
| ۷۲ | ۲-۲-۹. تله‌های بخار                          |
| ۷۴ | ۳-۲-۹. مخزن و پمپ برگشت‌کندانس               |
| ۷۴ | ۳-۹. نکات اجرایی سیستم گرمایش با بخار        |
| ۷۴ | ۱-۳-۹. رایزر بخار                            |
| ۷۵ | ۲-۳-۹. جلوگیری از ضربه قوچ                   |
| ۷۵ | ۳-۳-۹. اتصال انشعاب به خط تغذیه              |
| ۷۶ | ۴-۳-۹. انبساط و انقباض لوله‌ها               |
| ۷۶ | ۵-۳-۹. موانع                                 |
| ۷۶ | ۶-۳-۹. اتصال خطوط بخار به خط برگشت آب‌کندانس |

|     |                                                                                                |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۷۷  | ۹-۳-۷. لوله‌کشی دیگ                                                                            |
| ۸۳  | <b>فصل دهم محاسبه بار برودتی</b>                                                               |
| ۸۳  | ۱۰-۱. روش‌های محاسبه بار برودتی                                                                |
| ۸۶  | ۱۰-۱-۱. روش توازن حرارتی                                                                       |
| ۸۷  | ۱۰-۱-۲. روش تابع انتقال                                                                        |
| ۸۹  | ۱۰-۱-۳. روش اختلاف دمای برودتی و ضرایب بار                                                     |
| ۸۹  | ۱۰-۲. روش اختلاف دمای معادل و ضرایب ذخیره بار Carrier                                          |
| ۸۹  | ۱۰-۲-۱. کسب حرارت از تشعشع خورشید                                                              |
| ۹۱  | ۱۰-۲-۲. کسب حرارت از منابع داخلی                                                               |
| ۹۲  | ۱۰-۲-۳. بار تشعشع خورشید و منابع داخلی با استفاده از مفهوم ضریب بار                            |
| ۹۳  | ۱۰-۲-۴. محاسبه بار انتقال حرارت هدایتی از جدارهای خارجی با استفاده از مفهوم اختلاف دمای برودتی |
| ۹۴  | ۱۰-۲-۵. محاسبه بار انتقال حرارت هدایتی از پنجره‌ها، درها و کف                                  |
| ۹۴  | ۱۰-۲-۶. محاسبه بار انتقال حرارت هدایتی از جدارهای داخلی                                        |
| ۹۵  | ۱۰-۲-۷. بار نفوذ و تهویه هوا                                                                   |
| ۱۱۵ | <b>فصل یازدهم وسایل، لوله‌کشی و موتورخانه برودتی</b>                                           |
| ۱۱۵ | ۱۱-۱. وسایل سرمایشی                                                                            |
| ۱۱۵ | ۱۱-۱-۱. کولر آبی و هواشوی                                                                      |
| ۱۱۶ | ۱۱-۱-۲. کولر گازی                                                                              |
| ۱۱۷ | ۱۱-۱-۳. فن‌کوئل                                                                                |
| ۱۱۷ | ۱۱-۱-۴. هوا ساز و پکیج                                                                         |
| ۱۱۸ | ۱۱-۲. سیستم سرمایش با آب سرد                                                                   |
| ۱۱۹ | ۱۱-۳. موتورخانه سرمایشی                                                                        |
| ۱۲۲ | ۱۱-۳-۱. واحد کمپرسور                                                                           |
| ۱۲۳ | ۱۱-۳-۲. واحد کندانس                                                                            |
| ۱۲۴ | ۱۱-۳-۳. چیلر                                                                                   |
| ۱۲۵ | ۱۱-۳-۴. برج خنک‌کن                                                                             |
| ۱۲۸ | <b>فصل دوازدهم سایکرومتریک کاربردی</b>                                                         |
| ۱۲۸ | ۱۲-۱. تعاریف و مفاهیم اولیه                                                                    |
| ۱۲۸ | ۱۲-۱-۱. بار محسوس ( $SH$ )                                                                     |
| ۱۲۸ | ۱۲-۱-۲. بار نهان ( $LH$ )                                                                      |
| ۱۲۸ | ۱۲-۱-۳. بار کل ( $TH$ )                                                                        |
| ۱۳۰ | ۱۲-۱-۴. نسبت بار محسوس ( $SHF$ )                                                               |
| ۱۳۰ | ۱۲-۱-۵. بار هوای تازه                                                                          |
| ۱۳۱ | ۱۲-۱-۶. بار اتاق                                                                               |
| ۱۳۱ | ۱۲-۱-۷. بار دستگاه                                                                             |
| ۱۳۱ | ۱۲-۲. محاسبه گذر حجمی هوای تهویه                                                               |
| ۱۳۲ | ۱۲-۲-۱. نقطه شبنم دستگاه                                                                       |
| ۱۳۳ | ۱۲-۲-۲. ضریب کنارگذر                                                                           |
| ۱۳۴ | ۱۲-۲-۳. بار مؤثر                                                                               |

|     |                                                                                     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۳۴ | ۴-۲-۱۲. محاسبه گذر حجمی هوای تهویه با استفاده از <i>ADP</i> و <i>ESHF</i> <i>BF</i> |
| ۱۳۵ | ۳-۱۲. مثال‌هایی از تحلیل سایکرومتریک سیستم‌های تهویه مطبوع                          |
| ۱۳۵ | ۱-۳-۱۲. سرمایش و رطوبت زدایی                                                        |
| ۱۳۶ | ۲-۳-۱۲. سرمایش و رطوبت‌زدایی سیستم با بار نهان بالا                                 |
| ۱۳۸ | ۳-۳-۱۲. سرمایش و رطوبت‌زدایی سیستم تمام هوای تازه                                   |
| ۱۴۱ | ۴-۳-۱۲. سرمایش و رطوبت‌زدایی با دمای طرح داخل بالا                                  |
| ۱۴۸ | <b>فصل سیزدهم کانال‌کشی و شبکه توزیع هوا</b>                                        |
| ۱۴۸ | ۱-۱۳. تقسیم‌بندی شبکه‌های کانال‌کشی                                                 |
| ۱۴۸ | ۱-۱-۱۳. سرعت هوا                                                                    |
| ۱۴۸ | ۲-۱-۱۳. فشار هوا                                                                    |
| ۱۴۹ | ۲-۱۳. عوامل موثر بر طراحی شبکه کانال‌کشی                                            |
| ۱۴۹ | ۱-۲-۱۳. عوامل اقتصادی                                                               |
| ۱۴۹ | ۲-۲-۱۳. ملاحظات طراحی                                                               |
| ۱۵۳ | ۳-۱۳. طراحی کانال‌کشی                                                               |
| ۱۵۳ | ۱-۳-۱۳. نمودار اصطکاک                                                               |
| ۱۵۴ | ۲-۳-۱۳. گذر حجمی هوا                                                                |
| ۱۵۴ | ۳-۳-۱۳. اندازه کانال                                                                |
| ۱۵۴ | ۴-۳-۱۳. سرعت هوا                                                                    |
| ۱۵۴ | ۵-۳-۱۳. نرخ اصطکاک                                                                  |
| ۱۵۴ | ۶-۳-۱۳. تبدیل فشار-سرعت در فن                                                       |
| ۱۵۵ | ۴-۱۳. روش‌های طراحی سیستم توزیع هوا                                                 |
| ۱۵۵ | ۱-۴-۱۳. روش کاهش سرعت                                                               |
| ۱۵۵ | ۲-۴-۱۳. روش ضریب افت فشار ثابت                                                      |
| ۱۵۶ | ۳-۴-۱۳. روش بازیافت فشار استاتیکی                                                   |
| ۱۵۶ | ۵-۱۳. دریچه‌های هوا                                                                 |
| ۱۵۸ | ۱-۵-۱۳. انواع دریچه‌ها                                                              |
| ۱۵۹ | ۲-۵-۱۳. سرعت هوا در دریچه‌ها                                                        |
| ۱۵۹ | ۳-۵-۱۳. محل قرارگیری دریچه‌ها                                                       |
| ۱۶۰ | ۶-۱۳. نکات اجرایی کانال‌کشی                                                         |
| ۱۷۳ | <b>فصل چهاردهم شبکه توزیع آب مصرفی</b>                                              |
| ۱۷۳ | ۱-۱۴. تأمین فشار آب ساختمان                                                         |
| ۱۷۳ | ۱-۱-۱۴. سیستم توزیع آب با استفاده از فشار آب شهر                                    |
| ۱۷۳ | ۲-۱-۱۴. سیستم توزیع آب با استفاده از مخزن ثقلی و مخزن تحت فشار                      |
| ۱۷۴ | ۲-۱۴. طراحی شبکه توزیع آب                                                           |
| ۱۷۵ | ۳-۱۴. طراحی سیستم سیرکولاسیون آب گرم                                                |
| ۱۷۶ | ۴-۱۴. نکات طراحی شبکه توزیع آب مصرفی                                                |
| ۱۸۲ | <b>فصل پانزدهم شبکه جمع‌آوری فاضلاب</b>                                             |
| ۱۸۲ | ۱-۱۵. اجزای شبکه فاضلاب                                                             |
| ۱۸۳ | ۲-۱۵. طراحی شبکه فاضلاب بهداشتی                                                     |

|     |                                                                          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|
| ۱۸۴ | ۳-۱۵. طراحی شبکه آب باران                                                |
| ۱۸۴ | ۴-۱۵. طراحی شبکه تهویه                                                   |
| ۱۹۲ | فصل شانزدهم شبکه گاز طبیعی                                               |
| ۱۹۲ | ۱-۱۶. فشار گاز در شبکه                                                   |
| ۱۹۲ | ۲-۱۶. مراحل طراحی شبکه گاز                                               |
| ۱۹۳ | ۳-۱۶. انواع شیرآلات در شبکه لوله‌کشی گاز                                 |
| ۱۹۳ | ۴-۱۶. نکات اجرایی شبکه لوله‌کشی گاز                                      |
| ۱۹۶ | <b>فصل هفدهم محاسبه بار حرارتی و برودتی با استفاده از نرم‌افزار HAP</b>  |
| ۱۹۶ | ۱-۱۷. مقدمه                                                              |
| ۱۹۷ | ۲-۱۷. داده‌های مربوط به آب و هوا (Weather)                               |
| ۱۹۸ | ۳-۱۷. داده‌های مربوط به فضاها (Spaces)                                   |
| ۱۹۹ | ۱-۳-۱۷. داده‌های کلی ساختمان (General)                                   |
| ۱۹۹ | ۲-۳-۱۷. داده‌های بارهای داخلی (Internals)                                |
| ۲۰۰ | ۳-۳-۱۷. داده‌های دیوارهای خارجی، پنجره‌ها و درها (Walls, Windows, Doors) |
| ۲۰۴ | ۴-۳-۱۷. داده‌های بام و نورگیرها (Roofs, Skylights)                       |
| ۲۰۶ | ۵-۳-۱۷. داده‌های نفوذ (Infiltration)                                     |
| ۲۰۶ | ۶-۳-۱۷. داده‌های کف (Floors)                                             |
| ۲۰۷ | ۷-۳-۱۷. داده‌های پارتیشن‌ها (Partitions)                                 |
| ۲۰۷ | ۴-۱۷. داده‌های مربوط به سیستم (Systems)                                  |
| ۲۰۹ | ۵-۱۷. تهیه گزارش از نرم‌افزار                                            |
| ۲۰۹ | ۶-۱۷. محاسبات نمونه بار حرارتی و برودتی با استفاده از نرم‌افزار HAP 4.20 |
| ۲۱۰ | ۱-۶-۱۷. داده‌های اولیه                                                   |
| ۲۱۱ | ۲-۶-۱۷. محاسبه بار حرارتی                                                |
| ۲۱۲ | ۳-۶-۱۷. محاسبه بار برودتی                                                |
| ۲۱۳ | ۴-۶-۱۷. مقایسه نتایج محاسبات دستی و نرم‌افزار HAP 4.20                   |

## فصل اول

### مقدمه

وجود تأسیسات مکانیکی و الکتریکی مناسب، لازمه تأمین آسایش و امکانات زندگی در ساختمان‌های امروزی است. جدول ۱-۱ تقسیم‌بندی کلی تأسیسات را نشان می‌دهد. هدف از مباحث ارائه شده در فصول آینده آشنایی با تأسیسات مکانیکی ساختمان و اصول طراحی آنها بوده و فهرست عناوین مورد بررسی، در قالب درسی ۳ واحدی، عبارت است از:

|        |                                                        |        |
|--------|--------------------------------------------------------|--------|
| فصل ۱  | مقدمه                                                  | ۱ جلسه |
| فصل ۲  | شرایط طرح داخل و خارج                                  | ۱ جلسه |
| فصل ۳  | محاسبه بار گرمایشی                                     | ۱ جلسه |
| فصل ۴  | محاسبه نفوذ و تهویه                                    | ۱ جلسه |
| فصل ۵  | وسایل گرمایشی                                          | ۱ جلسه |
| فصل ۶  | مقدمه‌ای بر لوله‌کشی                                   | ۱ جلسه |
| فصل ۷  | سیستم گرمایش با آب گرم                                 | ۱ جلسه |
| فصل ۸  | موتورخانه گرمایشی                                      | ۲ جلسه |
| فصل ۹  | سیستم گرمایش با بخار                                   | ۳ جلسه |
| فصل ۱۰ | محاسبه بار برودتی                                      | ۲ جلسه |
| فصل ۱۱ | وسایل، لوله‌کشی و موتورخانه برودتی                     | ۴ جلسه |
| فصل ۱۲ | سایکرومتریک کاربردی                                    | ۲ جلسه |
| فصل ۱۳ | کانال‌کشی و شبکه توزیع هوا                             | ۲ جلسه |
| فصل ۱۴ | شبکه توزیع آب مصرفی                                    | ۱ جلسه |
| فصل ۱۵ | شبکه جمع‌آوری فاضلاب                                   | ۱ جلسه |
| فصل ۱۶ | شبکه گاز طبیعی                                         | ۱ جلسه |
| فصل ۱۷ | محاسبه بار حرارتی و برودتی با استفاده از نرم‌افزار HAP | ۳ جلسه |

سیستم تهویه مطبوع یکی از بخش‌های اصلی تأسیسات مکانیکی ساختمان به شمار می‌آید. تهویه مطبوع علمی است که به بررسی اصول کنترل درجه حرارت، رطوبت، سرعت و تمیزی هوا در محیط به منظور رسیدن به شرایط آسایش انسان می‌پردازد. شبکه‌های توزیع آب مصرفی، جمع‌آوری فاضلاب و توزیع گاز طبیعی سایر بخش‌های اصلی تأسیسات مکانیکی ساختمان را تشکیل می‌دهند. از آنجا که بخش عمده‌ای از زندگی انسان در ساختمان می‌گذرد، انتخاب صحیح نوع سیستم تهویه مطبوع برای ساختمان تصمیم مهمی است که توسط مهندس طراح اتخاذ می‌گردد. مهمترین مواردی که مهندس طراح جهت انتخاب سیستم مناسب باید در نظر داشته باشد عبارت است از:

۱. امکانات مالی
۲. کاربری، محل و فضای موجود در ساختمان
۳. شرایط محیطی مانند دما، رطوبت، شدت باد، شدت تابش و میزان سایه
۴. میزان تغییرات بارهای داخلی ساختمان در طول روز
۵. انتظارات کارفرما در مورد کیفیت هوا

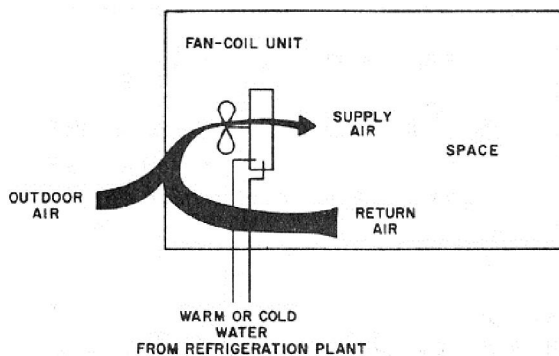
#### جدول ۱-۱ تقسیم‌بندی کلی تأسیسات



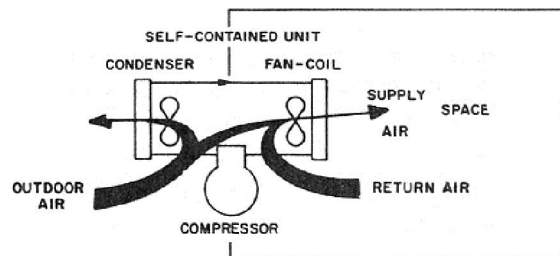
اصلی‌ترین تقسیم‌بندی سیستم‌های تهویه مطبوع بر مبنای سیال واسط انتقال حرارت صورت گرفته و از این نظر انواع سیستم‌های تهویه مطبوع عبارت است از:

۱. سیستم‌های انبساط مستقیم (DX): همان‌طور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، در این‌گونه سیستم‌ها واحد تبرید تراکمی مستقیماً داخل محیط قرار گرفته و گرمایش فضا نیز بوسیله همین واحد یا بصورت مجزا صورت می‌گیرد. کولر گازی نمونه‌ای از سیستم‌های انبساط مستقیم است که می‌تواند گرم و سرد یا تنها سرد باشد.

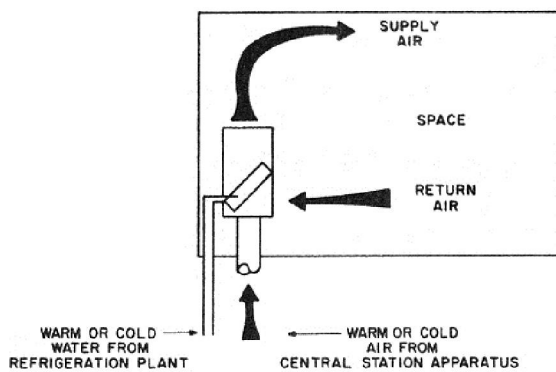
۲. سیستم‌های تمام آب: در چنین سیستم‌هایی آب سرد یا گرم در محل جداگانه‌ای (موتورخانه) تهیه شده و با گردش در مبدل‌های حرارتی داخل محیط، عمل سرمایش یا گرمایش را انجام می‌دهد. شکل ۲-۱ نمایی از سیستم تمام آب را نشان می‌دهد. فن کویل و رادیاتور نمونه‌هایی از سیستم‌های تمام آب هستند.
۳. سیستم‌های تمام هوا: مطابق شکل ۳-۱، در این سیستم‌ها هوای سرد یا گرم در محل جداگانه‌ای (موتورخانه) تهیه شده و از طریق کانال‌کشی و دریچه‌های خروجی در محیط توزیع می‌گردد. پکیج‌های تهویه مطبوع و دستگاه‌های هواساز از جمله سیستم‌های تمام هوا به شمار می‌آیند.
۴. سیستم‌های هوا-آب: همان‌گونه که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است، سیستم‌های هوا-آب ترکیبی از سیستم‌های تمام آب و تمام هوا می‌باشد. آب سرد یا گرم بیشتر بار محیط را جبران کرده و هوای سرد یا گرم ضمن جبران کمی از بار، نیاز محیط به هوای تازه را برآورده می‌سازد.
۵. پمپ‌های حرارتی: پمپ حرارتی اساساً واحد تبرید تراکمی است که می‌توان با استفاده از شیرهای مخصوص، مسیر جریان مبرد در اواپراتور و کندانسور آن را برعکس نمود. به این ترتیب واحد داخل ساختمان در فصل گرما به عنوان اواپراتور و در فصل سرما به عنوان کندانسور عمل کرده و از چنین سیستمی می‌توان به عنوان سیستم سرمایشی یا گرمایشی استفاده نمود. در شکل ۵-۱ نمایی از پمپ حرارتی و عملکرد آن نشان داده شده است.



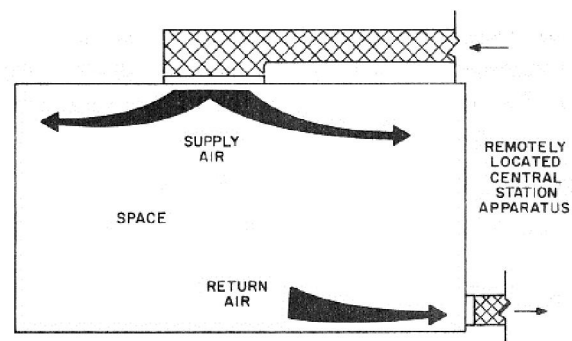
شکل ۲-۱ سیستم تمام آب



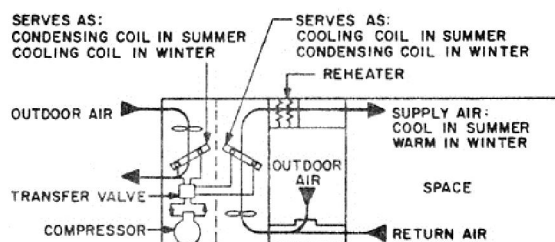
شکل ۱-۱ سیستم DX



شکل ۴-۱ سیستم هوا-آب



شکل ۳-۱ سیستم تمام هوا



شکل ۵-۱ پمپ حرارتی



## فصل دوم

### شرایط طرح داخل و خارج

شرایطی که محاسبات بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان بر مبنای آن صورت می‌گیرد، شرایط طرح نامیده می‌شود. در این فصل شرایط طرح داخل و خارج مناسب با توجه نوع کاربری و محل ساختمان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۱-۲. شرایط طرح داخل

میزان حرارت تولیدی بدن به شدت با سطح فعالیت، سن، اندازه و جنسیت انسان تغییر می‌کند. عوامل محیطی که توازن حرارتی و در نتیجه سطح راحتی فرد را تحت تاثیر قرار می‌دهد عبارت است از:

۱. دمای خشک محیط

۲. رطوبت محیط

۳. سرعت نسبی هوای محیط

۴. دمای سطوحی که با بدن تبادل حرارت تشعشی دارند

به علاوه متغیرهای شخصی شامل فعالیت بدنی و نوع پوشش فرد نیز در تعیین سطح راحتی موثر هستند. با توجه به مجموعه مطالعات تئوری و آزمایشگاهی، شرایط طرح پیشنهادی ASHRAE برای تامین و حفظ شرایط آسایش برای کاربردهای مختلف در جدول ۱-۲ ارائه شده است.

#### ۲-۲. شرایط طرح خارج

شرایط طرح خارج به محل ساختمان بستگی داشته و برای محاسبات بار گرمایشی و سرمایشی متفاوت می‌باشد. نمونه‌ای از شرایط طرح ارائه شده توسط ASHRAE برای شهر لس‌آنجلس در ایالت کالیفرنیا آمریکا در جداول ۲-۲ و ۳-۲ ارائه شده است.

اطلاعات ارائه شده در جدول ۲-۲ (شرایط طرح گرمایش و باد) عبارت است از:

۱. نام و مختصات ایستگاه هواشناسی

۲. دمای حباب خشک (که از این به بعد به اختصار دمای خشک نامیده می‌شود) با وقوع سالانه ۹۹/۶٪ و ۹۹٪ (وقوع سالانه ۹۹/۶٪ به این معنی است که دمای محیط به طور متوسط تنها در ۰/۴٪ ساعات سال یعنی ۳۵ ساعت، از مقدار داده شده کمتر می‌شود)

۳. سرعت باد با وقوع سالانه ۱٪، ۲/۵٪ و ۵٪

۴. سرعت باد با وقوع ۰/۴٪ و ۱٪ در سردترین ماه سال و متوسط دمای خشک متناظر با آن

۵. متوسط سرعت و جهت باد متناظر با دمای خشک ۹۹/۶٪ در ستون دوم جدول ۲-۲ و ۰/۴٪ در ستون دوم جدول ۳-۲

۶. متوسط حداقل و حداکثر دمای خشک سالانه و میزان انحراف معیار آنها

اطلاعات ارائه شده در جدول ۳-۲ (شرایط طرح سرمایش و رطوبت‌زدایی) عبارت است از:

۱. نام و مختصات ایستگاه هواشناسی
۲. دمای خشک با وقوع سالانه ۰/۴٪، ۱٪، ۲٪ و متوسط دمای حباب مرطوب (که این به بعد به اختصار دمای مرطوب نامیده می‌شود) متناظر با آن (وقوع سالانه ۰/۴٪ به این معنی است که دمای محیط به طور متوسط در ۰/۴٪ ساعات سال یعنی ۳۵ ساعت، از مقدار داده شده تجاوز می‌کند)
۳. دمای مرطوب با وقوع سالانه ۰/۴٪، ۱٪، ۲٪ و متوسط دمای خشک متناظر با آن
۴. دمای نقطه شبنم با وقوع سالانه ۰/۴٪، ۱٪، ۲٪ و متوسط دمای خشک و نسبت رطوبت متناظر با آن
۵. گستره دمای روزانه متوسط که عبارت است از متوسط اختلاف بین حداکثر و حداقل دمای روزانه طی گرم‌ترین ماه سال

استفاده از شرایط طرح ارائه شده به هدف طراحی بستگی داشته و در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۱-۲-۲. شرایط طرح زمستانی (گرمایش)

برای محاسبه بار و تجهیزات گرمایشی، معمولاً از شرایط طرح ۹۹/۶٪ یا ۹۹٪ در ستون دوم جدول ۲-۲ استفاده می‌شود.

## ۲-۲-۲. شرایط طرح تابستانی (سرمایش و رطوبت‌زدایی)

جهت محاسبه بار و تجهیزات سرمایشی، معمولاً دمای خشک ۰/۴٪، ۱٪ یا ۲٪ دمای مرطوب متوسط متناظر با آن در ستون دوم جدول ۳-۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## ۳-۲-۲. شرایط طرح باد

به منظور طراحی سیستم‌های مرتبط با دود و آلاینده‌ها نظیر دودکش کارخانجات و واحدهای پتروشیمی از سرعت باد ارائه شده در ستون سوم جدول ۲-۲ استفاده شده و برای برآورد میزان نفوذ هوای خارج در محاسبات بار، مقادیر ستون‌های چهارم و پنجم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## ۴-۲-۲. سایر موارد

شرایط طرح دمای مرطوب در ستون ۳ جدول ۳-۲ نشان دهنده حداکثر آنتالپی کل هوای خارج بوده و لذا در طراحی برج‌های خنک‌کن، خنک‌کننده‌های تبخیری و سیستم‌های تهویه با هوای تازه مفید است. شرایط طرح دمای نقطه شبنم در ستون ۴ جدول ۳-۲ مستقیماً با حداکثر نسبت رطوبت هوا مرتبط بوده و نشان دهنده حداکثر بار رطوبتی هوای خارج است. اطلاعات فوق در کاربردهایی که مستلزم کنترل رطوبت است نظیر خنک‌کننده‌های جاذب رطوبت و سیستم‌های تهویه با هوای تازه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## ۳-۲. شرایط طرح در شهرهای ایران

متأسفانه تاکنون اطلاعات هواشناسی شهرهای مختلف ایران به شکل کامل جمع‌آوری و ارائه نشده و لذا فعلاً می‌توان از مقادیر داده شده در جدول ۴-۲ استفاده نمود.

## ۴-۲. دمای فضاهای تهویه نشده

صرفنظر از دمای طرح داخل و خارج، تخمین دمای فضاهای تهویه نشده نیز جهت محاسبه بار گرمایشی و سرمایشی ضروری است. دمای فضاهای تهویه نشده را می‌توان با استفاده از رابطه زیر تقریب زد:

$$T_u = \frac{T_i (A_1 U_1 + A_2 U_2 + A_1 U_1 + \dots) + T_o (1.1 V_o + A_a U_a + A_b U_b + \dots)}{(A_1 U_1 + A_2 U_2 + A_1 U_1 + \dots) + (1.1 V_o + A_a U_a + A_b U_b + \dots)} \quad (1-2)$$

که در آن:

$T_u$  دمای فضای تهویه نشده برحسب  $^{\circ}\text{F}$

$T_i$  دمای طرح داخل برحسب  $^{\circ}\text{F}$

$T_o$  دمای طرح خارج برحسب  $^{\circ}\text{F}$

$A_1, A_2, \dots$  مساحت سطوح فضای تهویه نشده مجاور با فضای تهویه شده برحسب  $\text{ft}^2$

$A_a, A_b, \dots$  مساحت سطوح فضای تهویه نشده مجاور با محیط خارج برحسب  $\text{ft}^2$

$U_1, U_2, \dots$  ضریب انتقال حرارت سطوح  $A_1, A_2, \dots$  برحسب  $\text{Btu/hr.ft}^2.^{\circ}\text{F}$

$U_a, U_b, \dots$  ضریب انتقال حرارت سطوح  $A_a, A_b, \dots$  برحسب  $\text{Btu/hr.ft}^2.^{\circ}\text{F}$

$V_o$  نرخ ورود هوای خارج به فضای تهویه نشده به دلیل نفوذ یا تهویه برحسب  $\text{cfm}$

برای فضاهای تهویه نشده عادی، روابط زیر دارای دقت قابل قبول است:

$$\begin{array}{ll} T_u = T_i + 0.667(T_o - T_i) & \text{سرمایش} \\ T_u = T_i - 0.50(T_i - T_o) & \text{گرمایش} \end{array} \quad (2-2)$$

دمای فضاهای تهویه نشده با سطوح شیشه‌ای بزرگ و با بیش از یک سطح مجاور با محیط خارج و نیز فضاهایی با میزان هوای نفوذی زیاد مانند پارکینگ‌ها، عموماً برابر دمای خارج فرض می‌گردد.

جدول ۱-۲ شرایط طرح داخل

| TYPE OF APPLICATION                                                                                                             | SUMMER       |               |                     |               |                   | WINTER              |               |                   |                        |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------|------------------------|-------------------|
|                                                                                                                                 | Deluxe       |               | Commercial Practice |               |                   | With Humidification |               |                   | Without Humidification |                   |
|                                                                                                                                 | Dry-Bulb (F) | Rel. Hum. (%) | Dry-Bulb (F)        | Rel. Hum. (%) | Temp. Swing † (F) | Dry-Bulb (F)        | Rel. Hum. (%) | Temp. Swing † (F) | Dry-Bulb (F)           | Temp. Swing † (F) |
| <b>GENERAL COMFORT</b><br>Apt., House, Hotel, Office<br>Hospital, School, etc.                                                  | 74-76        | 50-45         | 77-79               | 50-45         | 2 to 4            | 74-76               | 35-30         | -3<br>to -4       | 75-77                  | -4                |
| <b>RETAIL SHOPS</b><br>(Short term occupancy)<br>Bank, Barber or Beauty<br>Shop, Dept. Store,<br>Supermarket, etc.              | 76-78        | 50-45         | 78-80               | 50-45         | 2 to 4            | 72-74               | 35-30**       | -3<br>to -4       | 73-75                  | -4                |
| <b>LOW SENSIBLE HEAT<br/>FACTOR APPLICATIONS</b><br>(High Latent Load)<br>Auditorium, Church, Bar,<br>Restaurant, Kitchen, etc. | 76-78        | 55-50         | 78-80               | 60-50         | 1 to 2            | 72-74               | 40-35         | -2<br>to -3       | 74-76                  | -4                |
| <b>FACTORY COMFORT</b><br>Assembly Areas,<br>Machining Rooms, etc.                                                              | 77-80        | 55-45         | 80-85               | 60-50         | 3 to 6            | 68-72               | 35-30         | -4<br>to -6       | 70-74                  | -6                |

جدول ۲-۲ شرایط طرح خارج در لس آنجلس برای گرمایش و باد

| Lat. Lon. Elev. |        |       | Heating DB |     | Extreme Wind<br>Speed, mph |      |    | Coldest Month WS/MDB |     |    |     | MWS/MWD to DB |     |      |     | Annual Extreme Daily |     |           |     |
|-----------------|--------|-------|------------|-----|----------------------------|------|----|----------------------|-----|----|-----|---------------|-----|------|-----|----------------------|-----|-----------|-----|
|                 |        |       |            |     |                            |      |    | 0.4%                 |     | 1% |     | 99.6%         |     | 0.4% |     | Mean DB              |     | Std.D. DB |     |
| Lat.            | Lon.   | Elev. | 99.6%      | 99% | 1%                         | 2.5% | 5% | WS                   | MDB | WS | MDB | MWS           | MWD | MWS  | MWD | Max                  | Min | Max       | Min |
| 33.93           | 118.40 | 105   | 43         | 45  | 21                         | 18   | 16 | 20                   | 56  | 17 | 56  | 6             | 70  | 10   | 250 | 97                   | 38  | 5.1       | 3.0 |

Elev. = Elevation [ft]  
Long. = Longitude [W]

DB = Dry-bulb Temperature [°F]  
std.D. = Standard Deviation

Lat. = Latitude [N]  
WS = Wind Speed [mph]

جدول ۳-۲ نمونه شرایط طرح خارج در لس آنجلس برای سرمایش و رطوبت‌زدایی

| Cooling BD/MWB |     |    |     |    |     | WB/MDB |     |    |     |    |     | DP/MDB and HR |    |     |    |    |     |    |    |     | D,<br>R. |
|----------------|-----|----|-----|----|-----|--------|-----|----|-----|----|-----|---------------|----|-----|----|----|-----|----|----|-----|----------|
| 0.4%           |     | 1% |     | 2% |     | 0.4%   |     | 1% |     | 2% |     | 0.4%          |    |     | 1% |    |     | 2% |    |     |          |
| DB             | MWB | DB | MWB | DB | MWB | WB     | MDB | WB | MDB | WB | MDB | DP            | HR | MDB | DP | HR | MDB | DP | HR | MDB |          |
| 85             | 64  | 81 | 64  | 78 | 64  | 70     | 78  | 69 | 76  | 68 | 75  | 67            | 99 | 75  | 66 | 95 | 73  | 65 | 92 | 72  | 11       |

MDB = Mean Coincident Dry Temp [°F]  
MWB = Mean Coincident Wet Temp [°F]

MWS = Mean Coincident Wind Speed [mph]  
MWD = Mean Coincident Wind Direction

HR = Humidity Ratio [grain/lb dry air]  
DP = Dew-point Temperature [°F]

جدول ۲-۴ شرایط طرح خارج برای شهرهای مختلف ایران

| ارتفاع از<br>سطح دریا<br>فوت | عرض<br>جغرافیایی<br>درجه | زمستان           | تابستان                                           |                    |                  | نام شهر  |
|------------------------------|--------------------------|------------------|---------------------------------------------------|--------------------|------------------|----------|
|                              |                          | دمای<br>خشک<br>F | دامنه<br>تغییرات*<br>روزانه F<br>(Daily<br>Range) | دمای<br>مرطوب<br>F | دمای<br>خشک<br>F |          |
| 0                            | 37                       | 24               | 22                                                | 83                 | 90               | رشت      |
| 1600                         | 31                       | 40               | 27                                                | 84                 | 116              | زابل     |
| 4500                         | 29                       | 17               | 32                                                | 76                 | 105              | زاهدان   |
| 5400                         | 37                       | 3                | 31                                                | 72                 | 95               | زنجان    |
| 3100                         | 36                       | 16               | 31                                                | 75                 | 100              | سبزوار   |
| 4900                         | 36                       | 2                | 37                                                | 75                 | 97               | سقز      |
| 3800                         | 36                       | 23               | 25                                                | 79                 | 105              | سمنان    |
| 5000                         | 35                       | 9                | 33                                                | 72                 | 100              | سنندج    |
| 4500                         | 36                       | 15               | 28                                                | 74                 | 96               | شاهرود   |
| 5600                         | 35                       | 20               | 30                                                | 70                 | 95               | شمیران   |
| 5000                         | 30                       | 22               | 35                                                | 70                 | 100              | شیراز    |
| 3000                         | 34                       | 25               | 33                                                | 78                 | 113              | طبرس     |
| 4600                         | 29                       | 28               | 31                                                | 77                 | 105              | فسا      |
| 4300                         | 36                       | 17               | 31                                                | 76                 | 102              | قزوین    |
| 3150                         | 34                       | 24               | 29                                                | 83                 | 110              | کاشان    |
| 5800                         | 30                       | 15               | 33                                                | 72                 | 100              | کرمان    |
| 4600                         | 34                       | 13               | 42                                                | 65                 | 100              | کرمانشاه |
| 400                          | 37                       | 30               | 19                                                | 85                 | 102              | گرگان    |
| 3104                         | 36                       | 12               | 29                                                | 67                 | 96               | مشهد     |
| 5500                         | 35                       | 14               | 38                                                | 63                 | 95               | همدان    |
| 4000                         | 32                       | 20               | 28                                                | 76                 | 105              | یزد      |

| ارتفاع از<br>سطح دریا<br>فوت | عرض<br>جغرافیایی<br>درجه | زمستان           | تابستان                                          |                    |                  | نام شهر     |
|------------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------------------------------|--------------------|------------------|-------------|
|                              |                          | دمای<br>خشک<br>F | دامنه<br>تغییرات<br>روزانه F<br>(Daily<br>Range) | دمای<br>مرطوب<br>F | دمای<br>خشک<br>F |             |
| 7                            | 30                       | 39               | 32                                               | 81                 | 115              | آبادان      |
| 5780                         | 34                       | 8                | 30                                               | 70                 | 97               | اراک        |
| 4400                         | 38                       | 9                | 27                                               | 72                 | 93               | ارومیه      |
| 5200                         | 33                       | 14               | 29                                               | 68                 | 100              | اصفهان      |
| 66                           | 31                       | 37               | 35                                               | 80                 | 115              | اهواز       |
| 1870                         | 27                       | 37               | 29                                               | 84                 | 115              | ایران شهر   |
| 0                            | 37                       | 32               | 15                                               | 82                 | 92               | بابل        |
| 0                            | 37                       | 32               | 15                                               | 82                 | 90               | بندر انزلی  |
| 30                           | 27                       | 50               | 16                                               | 90                 | 105              | بندر عباس   |
| 43                           | 27                       | 47               | 15                                               | 98                 | 110              | بندر لنگه   |
| 40                           | 30                       | 45               | 15                                               | 86                 | 110              | بندر ماهشهر |
| 46                           | 29                       | 43               | 16                                               | 87                 | 105              | بوشهر       |
| 4800                         | 33                       | 17               | 30                                               | 74                 | 103              | بیرجند      |
| 4500                         | 38                       | 18               | 24                                               | 86                 | 95               | تبریز       |
| 4000                         | 35                       | 22               | 27                                               | 74                 | 100              | تهران       |
| 20                           | 25                       | 50               | 12                                               | 90                 | 104              | چابهار      |
| 0                            | 28                       | 55               | 16                                               | 90                 | 105              | خارک        |
| 4000                         | 33                       | 26               | 33                                               | 78                 | 105              | خرم آباد    |
| 0                            | 30                       | 45               | 35                                               | 80                 | 115              | خرمشهر      |
| 500                          | 32                       | 30               | 31                                               | 79                 | 115              | دزفول       |
| 0                            | 37                       | 31               | 13                                               | 70                 | 90               | رامسر       |

## فصل سوم

### محاسبات بار گرمایشی

برای حفظ شرایط طرح مناسب در داخل ساختمان، ابتدا میزان بار گرمایشی ساختمان برآورد شده و سپس بر مبنای آن سیستم گرمایش و تجهیزات موتورخانه محاسبه و انتخاب می‌گردد. بار گرمایشی در فصل زمستان از دو بخش اصلی تشکیل می‌شود:

۱. اتلافات حرارتی از جداره‌های ساختمان مانند دیوار، سقف و کف
  ۲. اتلافات حرارتی ناشی از ورود هوای سرد خارج به دلیل نفوذ طبیعی هوا از درزهای در و پنجره یا تهویه مکانیکی
- حرارت تولیدی از منابع انرژی داخل ساختمان مانند سیستم روشنایی یا وسایل آشپزخانه معمولاً، در جهت اطمینان، صرفنظر شده و در محاسبه بار گرمایشی منظور نمی‌شود. با این وجود در برخی از کاربردهای غیرمسکونی مانند آشپزخانه رستورانها یا سالن‌های تولید ممکن است حرارت تولیدی از چنین منابعی قابل توجه بوده و بنابراین در محاسبات بار لحاظ گردد.

#### ۳-۱. اتلافات حرارتی از جداره‌های ساختمان

با توجه به نحوه محاسبات بار، اتلافات حرارتی از جداره‌های ساختمان را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود:

۱. اتلافات حرارتی از دیوار، سقف، در و پنجره
۲. اتلافات حرارتی از دیوار زیرزمین و کف ساختمان

#### ۳-۱-۱. اتلافات حرارتی از دیوار، سقف، در و پنجره

انتقال انرژی از جسم گرم‌تر به جسم سردتر انتقال حرارت نامیده می‌شود. در حالت کلی انتقال حرارت به سه روش هدایت، جابجایی و تشعشع امکان‌پذیر است. با استفاده از مفهوم ضریب کلی انتقال حرارت و رابطه سرمایش نیوتن می‌توان نوشت:

$$q = UA(T_i - T_o) \quad (۳-۱)$$

که در آن:

$q$  اتلاف حرارتی از جدار برحسب Btu/hr

$U$  ضریب کلی انتقال حرارت جدار برحسب Btu/hr.ft<sup>2</sup>.°F

$A$  سطح جدار برحسب ft<sup>2</sup>

$T_i$  دمای طرح داخل برحسب °F

$T_o$  دمای طرح خارج برحسب °F

با صرفنظر کردن از اثرات تشعشعی در محاسبات بار گرمایشی، ضریب انتقال حرارت کلی جدار عبارت است از:

$$\frac{1}{U} = R_i + \sum R_n + R_o \quad (۳-۲)$$

که در آن:

$$\begin{aligned} U & \text{ ضریب کلی انتقال حرارت جدار بر حسب } \text{Btu/hr.ft}^2.^{\circ}\text{F} \\ R_n & \text{ مقاومت حرارتی اجزای جدار بر حسب } \text{ft}^2.^{\circ}\text{F}/(\text{Btu/hr}) \\ R_i & \text{ مقاومت حرارتی فیلم هوای داخل بر حسب } \text{ft}^2.^{\circ}\text{F}/(\text{Btu/hr}) \\ R_o & \text{ مقاومت حرارتی فیلم هوای خارج بر حسب } \text{ft}^2.^{\circ}\text{F}/(\text{Btu/hr}) \end{aligned}$$

در جدول ۳-۱ مقاومت حرارتی اجزای مختلف ساختمانی و نیز فیلم هوای داخل و خارج در شرایط مختلف ارائه شده است. ضریب انتقال حرارت انواع در و پنجره را می‌توان مستقیماً از جدول ۳-۲ استخراج نمود.

### ۳-۱-۲. اتلافات حرارتی از دیوار زیرزمین و کف ساختمان

به دلیل تغییر دمای زمین در عمق، نحوه محاسبه اتلافات حرارتی از دیواره زیرزمین و کف تا حدودی متفاوت است. دمای داخلی زمین در نزدیک سطح تابع دمای محیط خارج بوده و این وابستگی با افزایش عمق به تدریج کاهش می‌یابد به نحوی که در عمق بیشتر از ۸ فوت دمای زمین در طول سال تقریباً ثابت می‌باشد. بنابراین در عمق کمتر از ۸ فوت، دمای زمین در مجاورت دیوارهای زیرزمین و نیز کف ساختمان یکنواخت نخواهد بود. به این ترتیب انتقال حرارت از دیوارهای زیرزمین و نیز کف ساختمان کاملاً سه‌بعدی بوده و لذا جهت تخمین آن از داده‌های آزمایشی استفاده می‌گردد. در این حالت اتلافات حرارتی عبارت است از:

$$q = F_p L_p (T_i - T_o) + U A_b (T_i - T_g) \quad (3-3)$$

که در آن:

$$\begin{aligned} q & \text{ اتلاف حرارتی از کف و دیوار زیرزمین بر حسب } \text{Btu/hr} \\ F_p & \text{ فاکتور انتقال حرارت محیطی بر حسب } \text{Btu/hr.ft}^2.^{\circ}\text{F} \\ L_p & \text{ بخشی از محیط ساختمان که در مجاورت محیط خارج قرار گرفته بر حسب } \text{ft} \\ U & \text{ ضریب انتقال حرارت کف ساختمان یا دیوار زیرزمین در عمق بیشتر از ۸ فوت بر حسب } \text{Btu/hr.ft}^2.^{\circ}\text{F} \\ A_b & \text{ مساحت کف ساختمان یا دیوار زیرزمین در عمق بیشتر از ۸ فوت بر حسب } \text{ft}^2 \\ T_i & \text{ دمای طرح داخل بر حسب } ^{\circ}\text{F} \\ T_o & \text{ دمای طرح خارج بر حسب } ^{\circ}\text{F} \\ T_g & \text{ دمای عمق زمین بر حسب } ^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

مقادیر  $F_p$ ،  $U_b$  و  $T_g$  به ترتیب از جداول ۳-۳ تا ۳-۵ تعیین می‌گردد. در تابستان بار سرمایشی کف و دیوارهای زیرزمین بسیار ناچیز بوده و می‌توان از آن صرف‌نظر نمود.

### ۳-۲. اتلافات حرارتی ناشی از نفوذ و تهویه

چنانچه گذر حجمی هوای نفوذی یا تهویه مشخص باشد، بار گرمایشی ناشی از ورود هوای سرد عبارت است از:

$$q = 1.08 \times \dot{V} \times (T_i - T_o) \quad (4-3)$$

که در آن:

$$\begin{aligned} q & \text{ اتلاف حرارتی ناشی از نفوذ و تهویه بر حسب } \text{Btu/hr} \\ \dot{V} & \text{ گذر حجمی هوای نفوذی یا تهویه بر حسب } \text{cfm} \end{aligned}$$

$T_i$  دمای طرح داخل برحسب  $^{\circ}\text{F}$

$T_o$  دمای طرح خارج برحسب  $^{\circ}\text{F}$

ضریب ۱/۰۸ در رابطه (۳-۴) برای هوا در شرایط استاندارد  $70^{\circ}\text{F}$  و فشار اتمسفر بوده و برای سایر شرایط باید از ضریب تصحیح چگالی، که در نمودار ۳-۱ داده شده است، استفاده نمود. در دمای  $30^{\circ}\text{F}$  تا  $120^{\circ}\text{F}$  و ارتفاع تا ۲۰۰۰ ft تصحیح چگالی جزئی بوده و رابطه (۳-۴) معتبر می‌باشد. برآورد میزان نفوذ و تهویه در فصل ۴ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نکته بسیار مهمی که غالباً در نظر گرفته نمی‌شود آنست که بار هوای نفوذی جزء بار اتاق محسوب شده اما بار هوای تهویه جزء بار اتاق محسوب نمی‌شود. این مطلب هنگام بررسی نمودار رطوبت‌سنجی در فصل ۱۵ به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به این موضوع، برای محاسبه بار نفوذ و تهویه ابتدا باید نوع سیستم تهویه مطبوع مشخص گردد:

■ از آنجا که در سیستم‌های آبی و DX از هوا جهت تأمین بار استفاده نمی‌شود، هوای تهویه نیز وجود نداشته و بنابراین وزش باد موجب نفوذ هوای سرد خارج به داخل ساختمان می‌شود. در این حالت از بین میزان هوای نفوذ و میزان هوای تخلیه مقدار بیشتر مبنای محاسبه بار قرار می‌گیرد.

■ در سیستم‌های هوایی معمولاً داخل ساختمان تحت فشار مثبت قرار داشته و لذا نفوذ صورت نمی‌گیرد.

در حال حاضر سیستم رایج در بسیاری از ساختمان‌های کوچک و متوسط کشور، رادیاتور جهت گرمایش و کولر آبی برای سرمایش است. در این حالت نفوذ هوا جهت محاسبه بار گرمایشی در نظر گرفته شده ولی برای محاسبه بار سرمایشی لحاظ نمی‌گردد.



جدول ۱-۳ مقاومت حرارتی اجزای مختلف ساختمانی

| MATERIAL                                                     | DESCRIPTION                                                               | THICK-<br>NESS<br>(in.) | DENSITY<br>(lb per<br>cu ft) | WEIGHT<br>(lb per<br>sq ft) | RESISTANCE R                           |                                          |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
|                                                              |                                                                           |                         |                              |                             | Per Inch<br>Thickness<br>$\frac{1}{k}$ | For Listed<br>Thickness<br>$\frac{1}{c}$ |
| BUILDING MATERIALS                                           |                                                                           |                         |                              |                             |                                        |                                          |
| BUILDING<br>BOARD<br>Boards,<br>Panels,<br>Sheathing,<br>etc | Asbestos-Cement Board                                                     |                         | 120                          | —                           | 0.25                                   | —                                        |
|                                                              | Asbestos-Cement Board                                                     | $\frac{1}{4}$           | 120                          | 1.25                        | —                                      | 0.03                                     |
|                                                              | Gypsum or Plaster Board                                                   | $\frac{3}{4}$           | 50                           | 1.58                        | —                                      | 0.32                                     |
|                                                              | Gypsum or Plaster Board                                                   | $\frac{1}{2}$           | 50                           | 2.08                        | —                                      | 0.45                                     |
|                                                              | Plywood                                                                   |                         | 34                           | —                           | 1.25                                   | —                                        |
|                                                              | Plywood                                                                   | $\frac{1}{4}$           | 34                           | 0.71                        | —                                      | 0.31                                     |
|                                                              | Plywood                                                                   | $\frac{3}{4}$           | 34                           | 1.06                        | —                                      | 0.47                                     |
|                                                              | Plywood                                                                   | $\frac{1}{2}$           | 34                           | 1.42                        | —                                      | 0.63                                     |
|                                                              | Plywood or Wood Panels                                                    | $\frac{3}{4}$           | 34                           | 2.13                        | —                                      | 0.94                                     |
|                                                              | Wood Fiber Board, Laminated or Homogeneous                                |                         | 26                           | —                           | 2.38                                   | —                                        |
|                                                              |                                                                           |                         | 31                           | —                           | 2.00                                   | —                                        |
|                                                              | Wood Fiber, Hardboard Type                                                |                         | 65                           | —                           | 0.72                                   | —                                        |
|                                                              | Wood Fiber, Hardboard Type                                                | $\frac{1}{4}$           | 65                           | 1.35                        | —                                      | 0.18                                     |
|                                                              | Wood, Fir or Pine Sheathing                                               | $2\frac{1}{2}$          | 32                           | 2.08                        | —                                      | 0.98                                     |
|                                                              | Wood, Fir or Pine                                                         | $1\frac{1}{2}$          | 32                           | 4.34                        | —                                      | 2.03                                     |
| BUILDING<br>PAPER                                            | Vapor Permeable Felt                                                      |                         | —                            | —                           | —                                      | 0.06                                     |
|                                                              | Vapor Seal, 2 Layers of Mopped 15 lb felt                                 |                         | —                            | —                           | —                                      | 0.12                                     |
|                                                              | Vapor Seal, Plastic Film                                                  |                         | —                            | —                           | —                                      | Negl                                     |
| WOODS                                                        | Maple, Oak, and Similar Hardwoods                                         |                         | 45                           | —                           | 0.91                                   | —                                        |
|                                                              | Fir, Pine, and Similar Softwoods                                          |                         | 32                           | —                           | 1.25                                   | —                                        |
| MASONRY<br>UNITS                                             | Brick, Common                                                             | 4                       | 120                          | 40                          | —                                      | .80                                      |
|                                                              | Brick, Face                                                               | 4                       | 130                          | 43                          | —                                      | .44                                      |
|                                                              | Clay Tile, Hollow:                                                        |                         |                              |                             |                                        |                                          |
|                                                              | 1 Cell Deep                                                               | 3                       | 60                           | 15                          | —                                      | 0.80                                     |
|                                                              | 1 Cell Deep                                                               | 4                       | 48                           | 16                          | —                                      | 1.11                                     |
|                                                              | 2 Cells Deep                                                              | 6                       | 50                           | 25                          | —                                      | 1.52                                     |
|                                                              | 2 Cells Deep                                                              | 8                       | 45                           | 30                          | —                                      | 1.85                                     |
|                                                              | 2 Cells Deep                                                              | 10                      | 42                           | 35                          | —                                      | 2.22                                     |
|                                                              | 3 Cells Deep                                                              | 12                      | 40                           | 40                          | —                                      | 2.50                                     |
|                                                              | Concrete Blocks, Three Oval Core                                          | 3                       | 76                           | 19                          | —                                      | 0.40                                     |
|                                                              | Sand & Gravel Aggregate                                                   | 4                       | 69                           | 23                          | —                                      | 0.71                                     |
|                                                              |                                                                           | 6                       | 64                           | 32                          | —                                      | 0.91                                     |
|                                                              |                                                                           | 8                       | 64                           | 43                          | —                                      | 1.11                                     |
|                                                              |                                                                           | 12                      | 63                           | 63                          | —                                      | 1.28                                     |
|                                                              | Cinder Aggregate                                                          | 3                       | 68                           | 17                          | —                                      | 0.86                                     |
|                                                              |                                                                           | 4                       | 60                           | 20                          | —                                      | 1.11                                     |
|                                                              |                                                                           | 6                       | 54                           | 27                          | —                                      | 1.50                                     |
|                                                              |                                                                           | 8                       | 56                           | 37                          | —                                      | 1.72                                     |
|                                                              |                                                                           | 12                      | 53                           | 53                          | —                                      | 1.89                                     |
|                                                              | Lightweight Aggregate<br>(Expanded Shale, Clay, Slate or<br>Slag, Pumice) | 3                       | 60                           | 15                          | —                                      | 1.27                                     |
|                                                              |                                                                           | 4                       | 52                           | 17                          | —                                      | 1.50                                     |
|                                                              |                                                                           | 8                       | 48                           | 32                          | —                                      | 2.00                                     |
|                                                              |                                                                           | 12                      | 43                           | 43                          | —                                      | 2.27                                     |
|                                                              | Gypsum Partition Tile:                                                    |                         |                              |                             |                                        |                                          |
|                                                              | 3"x12"x30" solid                                                          | 3                       | 45                           | 11                          | —                                      | 1.26                                     |
|                                                              | 3"x12"x30" 4-cell                                                         | 3                       | 35                           | 9                           | —                                      | 1.35                                     |
|                                                              | 4"x12"x30" 3-cell                                                         | 4                       | 38                           | 13                          | —                                      | 1.67                                     |
|                                                              | Stone, Lime or Sand                                                       |                         | 150                          | —                           | 0.08                                   | —                                        |

## جدول ۱-۳ مقاومت حرارتی اجزای مختلف ساختمانی (ادامه)

| MATERIAL                                 | DESCRIPTION                                           | THICK-<br>NESS<br>(in.)                       | DENSITY<br>(lb per<br>cu ft) | WEIGHT<br>(lb per<br>sq ft) | RESISTANCE R                           |                                          |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
|                                          |                                                       |                                               |                              |                             | Per Inch<br>Thickness<br>$\frac{1}{k}$ | For Listed<br>Thickness<br>$\frac{1}{c}$ |
| BUILDING MATERIALS, (CONT.)              |                                                       |                                               |                              |                             |                                        |                                          |
| MASONRY<br>MATERIALS<br>Concretes        | Cement Mortar                                         |                                               | 116                          | —                           | 0.20                                   | —                                        |
|                                          | Gypsum-Fiber Concrete 87½% gypsum,<br>12½% wood chips |                                               | 51                           | —                           | 0.60                                   | —                                        |
|                                          | Lightweight Aggregates                                |                                               | 120                          | —                           | 0.19                                   | —                                        |
|                                          | Including Expanded                                    |                                               | 100                          | —                           | 0.28                                   | —                                        |
|                                          | Shale, Clay or Slate                                  |                                               | 80                           | —                           | 0.40                                   | —                                        |
|                                          | Expanded Slag; Cinders                                |                                               | 60                           | —                           | 0.59                                   | —                                        |
|                                          | Pumice; Perlite; Vermiculite                          |                                               | 40                           | —                           | 0.86                                   | —                                        |
|                                          | Also, Cellular Concretes                              |                                               | 30                           | —                           | 1.11                                   | —                                        |
|                                          |                                                       |                                               | 20                           | —                           | 1.43                                   | —                                        |
|                                          |                                                       | Sand & Gravel or Stone Aggregate (Oven Dried) |                              | 140                         | —                                      | 0.11                                     |
|                                          | Sand & Gravel or Stone Aggregate (Not Dried)          |                                               | 140                          | —                           | 0.08                                   | —                                        |
|                                          | Stucco                                                |                                               | 116                          | —                           | 0.20                                   | —                                        |
| PLASTERING<br>MATERIALS                  | Cement Plaster, Sand Aggregate                        |                                               | 116                          | —                           | 0.20                                   | —                                        |
|                                          | Sand Aggregate                                        | ½                                             | 116                          | 4.8                         | —                                      | 0.10                                     |
|                                          | Sand Aggregate                                        | ¾                                             | 116                          | 7.2                         | —                                      | 0.15                                     |
|                                          | Gypsum Plaster:                                       |                                               |                              |                             |                                        |                                          |
|                                          | Lightweight Aggregate                                 | ½                                             | 45                           | 1.88                        | —                                      | 0.32                                     |
|                                          | Lightweight Aggregate                                 | ¾                                             | 45                           | 2.34                        | —                                      | 0.39                                     |
|                                          | Lightweight Aggregate on Metal Lath                   | ¾                                             | 45                           | 2.80                        | —                                      | 0.47                                     |
|                                          | Perlite Aggregate                                     |                                               | 45                           | —                           | 0.67                                   | —                                        |
|                                          | Sand Aggregate                                        |                                               | 105                          | —                           | 0.18                                   | —                                        |
|                                          | Sand Aggregate                                        | ½                                             | 105                          | 4.4                         | —                                      | 0.09                                     |
|                                          | Sand Aggregate                                        | ¾                                             | 105                          | 5.5                         | —                                      | 0.11                                     |
|                                          | Sand Aggregate on Metal Lath                          | ¾                                             | 105                          | 6.6                         | —                                      | 0.13                                     |
|                                          | Sand Aggregate on Wood Lath                           |                                               | 105                          | —                           | —                                      | 0.40                                     |
|                                          | Vermiculite Aggregate                                 |                                               | 45                           | —                           | 0.59                                   | —                                        |
| ROOFING                                  | Asbestos-Cement Shingles                              |                                               | 120                          | —                           | —                                      | 0.21                                     |
|                                          | Asphalt Roll Roofing                                  |                                               | 70                           | —                           | —                                      | 0.15                                     |
|                                          | Asphalt Shingles                                      |                                               | 70                           | —                           | —                                      | 0.44                                     |
|                                          | Built-up Roofing                                      | ¾                                             | 70                           | 2.2                         | —                                      | 0.33                                     |
|                                          | Slate                                                 | ½                                             | 201                          | 8.4                         | —                                      | 0.05                                     |
|                                          | Sheet Metal                                           |                                               | —                            | —                           | Negl                                   | —                                        |
|                                          | Wood Shingles                                         |                                               | 40                           | —                           | —                                      | 0.94                                     |
| SIDING<br>MATERIALS<br>(On Flat Surface) | Shingles                                              |                                               |                              |                             |                                        |                                          |
|                                          | Wood, 16", 7½" exposure                               |                                               | —                            | —                           | —                                      | 0.87                                     |
|                                          | Wood, Double, 16", 12" exposure                       |                                               | —                            | —                           | —                                      | 1.19                                     |
|                                          | Wood, Plus Insul Backer Board, ¾"                     |                                               | —                            | —                           | —                                      | 1.40                                     |
|                                          | Siding                                                |                                               |                              |                             |                                        |                                          |
|                                          | Asbestos-Cement, ¼" lapped                            |                                               | —                            | —                           | —                                      | 0.21                                     |
|                                          | Asphalt Roll Siding                                   |                                               | —                            | —                           | —                                      | 0.15                                     |
|                                          | Asphalt Insul Siding, ½" Board                        |                                               | —                            | —                           | —                                      | 1.45                                     |
|                                          | Wood, Drop, 1"x8"                                     |                                               | —                            | —                           | —                                      | 0.79                                     |
|                                          | Wood, Bevel, ½"x8", lapped                            |                                               | —                            | —                           | —                                      | 0.81                                     |
|                                          | Wood, Bevel, ¾"x10", lapped                           |                                               | —                            | —                           | —                                      | 1.05                                     |
|                                          | Wood, Plywood, ¾", lapped                             |                                               | —                            | —                           | —                                      | 0.59                                     |
|                                          | Structural Glass                                      |                                               | —                            | —                           | —                                      | 0.10                                     |
|                                          | FLOORING<br>MATERIALS                                 | Asphalt Tile                                  | ¼                            | 120                         | 1.25                                   | —                                        |
| Carpet and Fibrous Pad                   |                                                       |                                               | —                            | —                           | —                                      | 2.08                                     |
| Carpet and Rubber Pad                    |                                                       |                                               | —                            | —                           | —                                      | 1.23                                     |
| Ceramic Tile                             |                                                       | 1                                             | —                            | —                           | —                                      | 0.08                                     |
| Cork Tile                                |                                                       |                                               | 25                           | —                           | 2.22                                   | —                                        |
| Cork Tile                                |                                                       | ¼                                             | 25                           | 0.26                        | —                                      | 0.28                                     |
| Felt, Flooring                           |                                                       |                                               | —                            | —                           | —                                      | 0.06                                     |
| Floor Tile                               |                                                       | ½                                             | —                            | —                           | —                                      | 0.05                                     |
| Linoleum                                 |                                                       | ½                                             | 80                           | 0.83                        | —                                      | 0.08                                     |
| Plywood Subfloor                         |                                                       | ¾                                             | 34                           | 1.77                        | —                                      | 0.78                                     |
| Rubber or Plastic Tile                   |                                                       | ¼                                             | 110                          | 1.15                        | —                                      | 0.02                                     |
| Terrazzo                                 |                                                       | 1                                             | 140                          | 11.7                        | —                                      | 0.08                                     |
| Wood Subfloor                            |                                                       | 2½                                            | 32                           | 2.08                        | —                                      | 0.98                                     |
| Wood, Hardwood Finish                    |                                                       | ¾                                             | 45                           | 2.81                        | —                                      | 0.68                                     |

## جدول ۱-۳ مقاومت حرارتی اجزای مختلف ساختمانی (ادامه)

| MATERIAL                                    | DESCRIPTION                                                       | THICK-<br>NESS<br>(in.) | DENSITY<br>(lb per<br>cu ft) | WEIGHT<br>(lb per<br>sq ft) | RESISTANCE R                           |                                          |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
|                                             |                                                                   |                         |                              |                             | Per Inch<br>Thickness<br>$\frac{1}{k}$ | For Listed<br>Thickness<br>$\frac{1}{c}$ |
| INSULATING MATERIALS                        |                                                                   |                         |                              |                             |                                        |                                          |
| BLANKET AND BATT                            | Cotton Fiber                                                      |                         | 0.8 - 2.0                    | —                           | 3.85                                   | —                                        |
|                                             | Mineral Wool, Fibrous Form<br>Processed From Rock, Slag, or Glass |                         | 1.5 - 4.0                    | —                           | 3.70                                   | —                                        |
|                                             | Wood Fiber<br>Wood Fiber, Multi-layer Stitched Expanded           |                         | 3.2 - 3.6<br>1.5 - 2.0       | —<br>—                      | 4.00<br>3.70                           | —<br>—                                   |
| BOARD AND SLABS                             | Glass Fiber                                                       |                         | 9.5                          | —                           | 4.00                                   | —                                        |
|                                             | Wood or Cane Fiber                                                |                         |                              |                             |                                        |                                          |
|                                             | Acoustical Tile                                                   | $\frac{1}{2}$           | 22.4                         | .93                         | —                                      | 1.19                                     |
|                                             | Acoustical Tile                                                   | $\frac{3}{4}$           | 22.4                         | 1.4                         | —                                      | 1.78                                     |
|                                             | Interior Finish (Tile, Lath, Plank)                               |                         | 15.0                         | —                           | 2.86                                   | —                                        |
|                                             | Interior Finish (Tile, Lath, Plank)                               | $\frac{1}{2}$           | 15.0                         | 0.62                        | —                                      | 1.43                                     |
|                                             | Roof Deck Slab                                                    |                         |                              |                             |                                        |                                          |
|                                             | Sheathing (Impreg or Coated)                                      |                         | 20.0                         | —                           | 2.63                                   | —                                        |
|                                             | Sheathing (Impreg or Coated)                                      | $\frac{1}{2}$           | 20.0                         | 0.83                        | —                                      | 1.32                                     |
|                                             | Sheathing (Impreg or Coated)                                      | $\frac{3}{8}$           | 20.0                         | 1.31                        | —                                      | 2.06                                     |
|                                             | Cellular Glass                                                    |                         | 9.0                          | —                           | 2.50                                   | —                                        |
|                                             | Cork Board (Without Added Binder)                                 |                         | 6.5 - 8.0                    | —                           | 3.70                                   | —                                        |
| Hog Hair (With Asphalt Binder)              |                                                                   | 8.5                     | —                            | 3.00                        | —                                      |                                          |
| Plastic (Foamed)                            |                                                                   | 1.62                    | —                            | 3.45                        | —                                      |                                          |
| Wood Shredded (Cemented in Preformed Slabs) |                                                                   | 22.0                    | —                            | 1.82                        | —                                      |                                          |
| LOOSE FILL                                  | Macerated Paper or Pulp Products                                  |                         | 2.5 - 3.5                    | —                           | 3.57                                   | —                                        |
|                                             | Wood Fiber: Redwood, Hemlock, or Fir                              |                         | 2.0 - 3.5                    | —                           | 3.33                                   | —                                        |
|                                             | Mineral Wool (Glass, Slag, or Rock)                               |                         | 2.0 - 5.0                    | —                           | 3.33                                   | —                                        |
|                                             | Sawdust or Shavings                                               |                         | 8.0 - 15.0                   | —                           | 2.22                                   | —                                        |
|                                             | Vermiculite (Expanded)                                            |                         | 7.0                          | —                           | 2.08                                   | —                                        |
| ROOF INSULATION                             | All Types                                                         |                         |                              |                             |                                        |                                          |
|                                             | Preformed, for use above deck                                     |                         |                              |                             |                                        |                                          |
|                                             | Approximately                                                     | $\frac{1}{2}$           | 15.6                         | .7                          | —                                      | 1.39                                     |
|                                             | Approximately                                                     | 1                       | 15.6                         | 1.3                         | —                                      | 2.78                                     |
|                                             | Approximately                                                     | $1\frac{1}{2}$          | 15.6                         | 1.9                         | —                                      | 4.17                                     |
|                                             | Approximately                                                     | 2                       | 15.6                         | 2.6                         | —                                      | 5.26                                     |
|                                             | Approximately                                                     | $2\frac{1}{2}$          | 15.6                         | 3.2                         | —                                      | 6.67                                     |
| Approximatley                               | 3                                                                 | 15.6                    | 3.9                          | —                           | 8.33                                   |                                          |
| AIR                                         |                                                                   |                         |                              |                             |                                        |                                          |
| AIR SPACES                                  | POSITION                                                          | HEAT FLOW               |                              |                             |                                        |                                          |
|                                             | Horizontal                                                        | Up (Winter)             | $\frac{3}{4} \times 4$       | —                           | —                                      | 0.85                                     |
|                                             | Horizontal                                                        | Up (Summer)             | $\frac{3}{4} \times 4$       | —                           | —                                      | 0.78                                     |
|                                             | Horizontal                                                        | Down (Winter)           | $\frac{3}{4}$                | —                           | —                                      | 1.02                                     |
|                                             | Horizontal                                                        | Down (Winter)           | $1\frac{1}{2}$               | —                           | —                                      | 1.15                                     |
|                                             | Horizontal                                                        | Down (Winter)           | 4                            | —                           | —                                      | 1.23                                     |
|                                             | Horizontal                                                        | Down (Winter)           | 8                            | —                           | —                                      | 1.25                                     |
|                                             | Horizontal                                                        | Down (Summer)           | $\frac{3}{4}$                | —                           | —                                      | 0.85                                     |
|                                             | Horizontal                                                        | Down (Summer)           | $1\frac{1}{2}$               | —                           | —                                      | 0.93                                     |
|                                             | Horizontal                                                        | Down (Summer)           | 4                            | —                           | —                                      | 0.99                                     |
|                                             | Sloping 45°                                                       | Up (Winter)             | $\frac{3}{4} \times 4$       | —                           | —                                      | 0.90                                     |
|                                             | Sloping 45°                                                       | Down (Summer)           | $\frac{3}{4} \times 4$       | —                           | —                                      | 0.89                                     |
|                                             | Vertical                                                          | Horiz. (Winter)         | $\frac{3}{4} \times 4$       | —                           | —                                      | 0.97                                     |
|                                             | Vertical                                                          | Horiz. (Summer)         | $\frac{3}{4} \times 4$       | —                           | —                                      | 0.86                                     |
| AIR FILM                                    | POSITION                                                          | HEAT FLOW               |                              |                             |                                        |                                          |
|                                             | Horizontal                                                        | Up                      |                              | —                           | —                                      | 0.61                                     |
|                                             | Sloping 45°                                                       | Up                      |                              | —                           | —                                      | 0.62                                     |
|                                             | Vertical                                                          | Horizontal              |                              | —                           | —                                      | 0.68                                     |
|                                             | Sloping 45°                                                       | Down                    |                              | —                           | —                                      | 0.76                                     |
|                                             | Horizontal                                                        | Down                    |                              | —                           | —                                      | 0.92                                     |
| 15 Mph Wind                                 | Any Position (For Winter)                                         | Any Direction           |                              | —                           | —                                      | 0.17                                     |
| 7½ Mph Wind                                 | Any Position (For Summer)                                         | Any Direction           |                              | —                           | —                                      | 0.25                                     |

جدول ۲-۳ ضریب انتقال حرارت انواع در و پنجره برحسب  $\text{Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$

| GLASS                     |                |        |      |       |        |      |       |                  |        |               |        |
|---------------------------|----------------|--------|------|-------|--------|------|-------|------------------|--------|---------------|--------|
|                           | Vertical Glass |        |      |       |        |      |       | Horizontal Glass |        |               |        |
|                           | Single         | Double |      |       | Triple |      |       | Single           |        | Double (1/4") |        |
| Air Space Thickness (in.) |                | 1/4    | 1/2  | 3/4-4 | 1/4    | 1/2  | 3/4-4 | Summer           | Winter | Summer        | Winter |
| Without Storm Windows     | 1.13           | 0.61   | 0.55 | 0.53  | 0.41   | 0.36 | 0.34  | 0.86             | 1.40   | 0.50          | 0.70   |
| With Storm Windows        | 0.54           |        |      |       |        |      |       | 0.43             | 0.64   |               |        |

| DOORS                              |                |                   |  |
|------------------------------------|----------------|-------------------|--|
| Nominal Thickness of Wood (Inches) | U Exposed Door | U With Storm Door |  |
| 1                                  | 0.69           | 0.35              |  |
| 1 1/4                              | 0.59           | 0.32              |  |
| 1 1/2                              | 0.52           | 0.30              |  |
| 1 3/4                              | 0.51           | 0.30              |  |
| 2                                  | 0.46           | 0.28              |  |
| 2 1/2                              | 0.38           | 0.25              |  |
| 3                                  | 0.33           | 0.23              |  |
| Glass (1/4" Herculite)             | 1.05           | 0.43              |  |

جدول ۳-۳ فاکتور انتقال حرارت محیطی برحسب  $\text{Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$

| Distance of Floor From Ground Level | Perimeter Factor (q) |
|-------------------------------------|----------------------|
| 2 Feet above                        | .90                  |
| At ground level                     | .60                  |
| 2 Feet below                        | .75                  |
| 4 Feet below                        | .90                  |
| 6 Feet below                        | 1.05                 |
| 8 Feet below                        | 1.20                 |

جدول ۴-۳ ضریب انتقال حرارت کف ساختمان یا دیوار زیرزمین

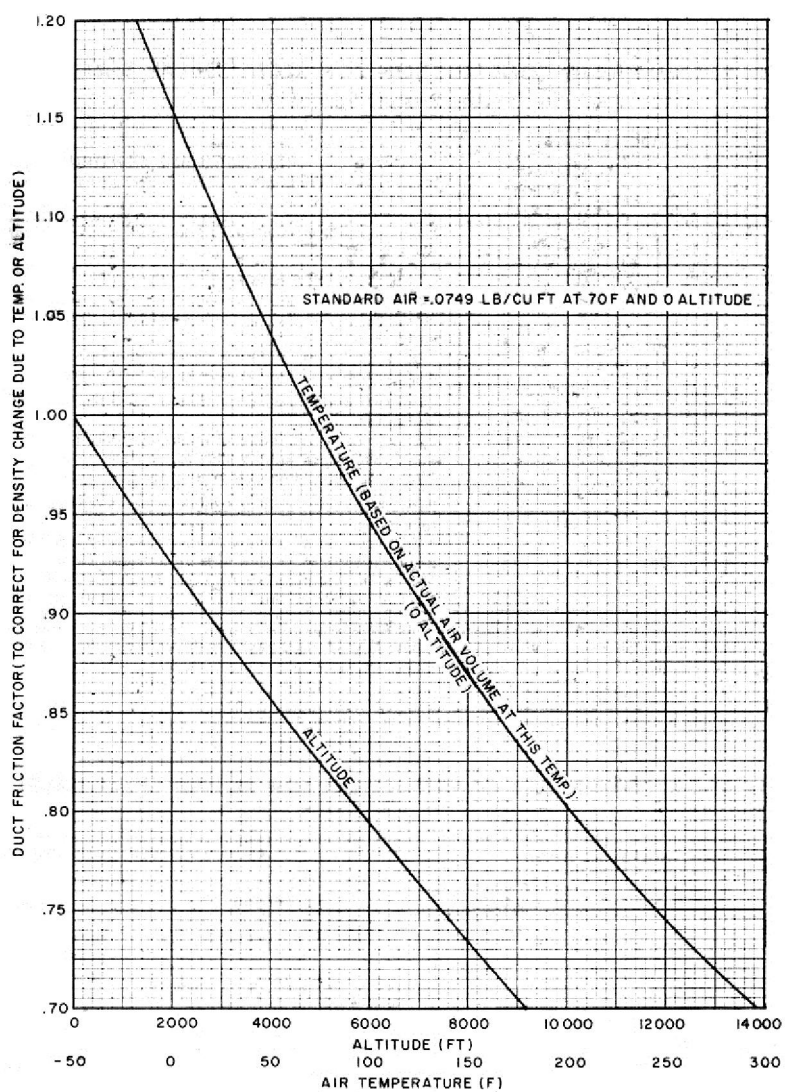
در عمق بیشتر از ۸ فوت برحسب  $\text{Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$

| Floor or Wall                                       | Transmission Coefficient U<br>$\text{Btu/(hr) (sq ft) (deg F)}$ |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Basement Floor                                      | .05                                                             |
| Portion of Wall exceeding 8 feet below ground level | .08                                                             |

جدول ۵-۳ دمای عمق زمین برحسب  $\text{°F}$

| Outdoor Design Temp (F) | -30 | -20 | -10 | 0  | +10 | +20 |
|-------------------------|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| Ground Temp (F)         | 40  | 45  | 50  | 55 | 60  | 65  |

نمودار ۱-۳ تصحیح چگالی برای شرایط غیر استاندارد



## فصل چهارم

### برآورد میزان نفوذ و تهویه

نشت هوا از درز و شکاف اطراف پنجره‌ها، درها و نیز سقف و دیوارهای ساختمان را نفوذ می‌نامند. از آنجا که بار ناشی از نفوذ می‌تواند بخش مهمی از کل بار حرارتی یا برودتی ساختمان را به خود اختصاص دهد، لذا تخمین مناسب آن جهت محاسبات بار ضروری است. به طور کلی میزان نفوذ به مصالح ساختمانی، نحوه اجرا و نیز شرایط محیط بستگی دارد.

نرخ جریان هوا به داخل یا خارج از ساختمان به میزان اختلاف فشار داخل و خارج ساختمان و نیز مقاومت درزها و بازشوها در برابر جریان هوا بستگی دارد. اختلاف فشار وارد بر ساختمان به دو دلیل ایجاد می‌گردد:

۱. وزش باد: هنگام وزش باد، هوا از درزها و بازشوهای مشرف به باد وارد ساختمان شده و از درزها و بازشوهای پشت به باد یا از فن‌های تخلیه ساختمان خارج می‌گردد.
۲. اختلاف چگالی هوای داخل و خارج ساختمان (اثر دودکش): چنانچه به دلیل اختلاف دما، چگالی هوا در داخل و خارج ساختمان متفاوت باشد، اختلاف فشاری بین داخل و خارج ساختمان بوجود می‌آید که اثر دودکشی نامیده می‌شود. در زمستان به دلیل گرم بودن هوای ساختمان، فشار هوا در داخل کمتر بوده و لذا هوای سرد خارج از درزها و بازشوهای پایین ساختمان نفوذ کرده، با گرم شدن در داخل ساختمان بالا رفته و نهایتاً از بازشوهای طبقات فوقانی خارج می‌گردد. طبیعی است که در تابستان عکس چنین جریانی اتفاق می‌افتد.

طبق استاندارد ASHRAE دو روش جهت تخمین نفوذ هوا در ساختمان‌ها وجود دارد:

۱. روش تعویض هوا یا حجمی
۲. روش درزی

#### ۴-۱. روش تعویض هوا

در این روش، تخمین حجم هوای نفوذی بر مبنای تعداد تعویض هوای فضا در ساعت بیان شده و به نوع، کاربری و موقعیت فضا بستگی دارد. به دلیل سادگی روش تعویض هوا و از آنجا که به هر حال سایر روش‌های برآورد نفوذ نیز نیازمند تخمین حداقل یک ضریب عددی مناسب است، مهندسان و طراحان معمولاً از این روش جهت برآورد میزان نفوذ هوا استفاده می‌کنند. گستره تعداد تعویض هوا در ساعت از ۰/۵ (خیلی پایین) تا ۲ (خیلی بالا) برای شرایط معمول متغیر بوده و در ساختمان‌های اداری مدرن حتی به ۰/۱ نیز می‌رسد. جدول ۴-۱ مقادیر پیشنهادی مناسب برای ساختمان‌های مسکونی را نشان می‌دهد.

#### ۴-۲. روش درزی

در این روش برآورد حجم هوای نفوذی براساس اندازه‌گیری مشخصات اجزای ساختمانی و محاسبه اختلاف فشار وارد بر ساختمان صورت می‌گیرد. از آنجا که درز اطراف درها و پنجره‌ها عموماً اصلی‌ترین منبع نفوذ هواست، روش فوق به‌عنوان روش درزی شناخته می‌شود. روش درزی بیشتر بر پایه اصول علمی قرار داشته و چنانچه مشخصات اجزای ساختمانی و اختلاف فشار به درستی تعیین گردد، از روش تعویض هوا دقیق‌تر خواهد بود. با این وجود دقت برآورد میزان نفوذ با استفاده از این روش به دلیل محدودیت

اطلاعات موجود در رابطه با مشخصات اجزای ساختمانی، بویژه در تولیدات داخل، و نیز مشکل تخمین اختلاف فشار عملاً محدود شده و در چنین شرایطی روش تعویض هوا، علیرغم تقریبی بودن، به دلیل سادگی برتری خواهد داشت.

با توجه به اندازه نسبی درزها و بازشوها در قسمت‌های مختلف ساختمان و نیز جهت وزش باد، فضاهای مختلف تحت فشارهای متفاوتی قرار خواهد داشت. چنانچه درزها و بازشوهای مشرف به باد بیشتر باشد، بخش‌های داخلی ساختمان بیشتر تحت فشار مثبت قرار گرفته و بالعکس در صورتی که درزها و بازشوهای پشت به باد بیشتر باشد، بخش‌های داخلی بیشتر تحت اثر فشار منفی قرار خواهند داشت. وجود سیستم‌های تغذیه و تخلیه هوا، دمپرها و لوورها و نیز باز و بسته شدن درها و پنجره‌ها توسط ساکنین نیز پیچیدگی مسئله را بیشتر می‌سازد. بنابراین به دلیل زیاد بودن تعداد مجهولات، پیش‌بینی دقیق میزان نفوذ از تئوری امکان‌پذیر نبوده و استفاده از داده‌های عددی و آزمایشی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

از نظر تئوری میزان نفوذ به اختلاف فشار، لایه‌ای یا توربولانس بودن جریان در درزها و نیز اندازه و شکل درزها بستگی دارد. رابطه بین نرخ جریان و اختلاف فشار که "تابع نفوذ" نامیده می‌شود، عبارت است از:

$$\dot{V} = C_D A \left( \frac{2\Delta p}{\rho} \right)^n \quad (۱-۴)$$

که در آن:

$\dot{V}$  نرخ جریان هوا برحسب cfm

$C_D$  ضریب تخلیه درز یا بازشو

$A$  سطح مقطع درز یا بازشو  $ft^2$

$\rho$  چگالی هوا برحسب  $lb/ft^3$

$\Delta p$  اختلاف فشار دو سمت درز یا بازشو برحسب psi

$n$  برای جریان لایه‌ای برابر ۱ و برای جریان توربولانس برابر ۰/۵

ضریب تخلیه عدد بی‌بعدی است که به هندسه بازشو و عدد رینولدز جریان بستگی دارد. معمولاً با ترکیب ضریب تخلیه و سطح مقطع درز و نیز چگالی هوا به صورت "ضریب جریان" می‌توان رابطه فوق را ساده نمود:

$$\dot{V} = C \Delta p^n \quad (۲-۴)$$

ضریب جریان،  $C$ ، برای درز در و پنجره به صورت آزمایشی تعیین شده و به جای استفاده از آن با مشخص بودن اختلاف فشار می‌توان میزان نفوذ هوا از درها و پنجره‌ها را مستقیماً با استفاده از نمودار ۱-۴ و جداول ۲-۴ و ۳-۴ بر واحد طول درز برآورد نمود. اختلاف فشار دو سمت درز یا بازشو را می‌توان با رابطه زیر بیان نمود:

$$\Delta p = \Delta p_s + \Delta p_w + \Delta p_p \quad (۳-۴)$$

که در آن:

$\Delta p_s$  اختلاف فشار ناشی از اثر دودکشی

$\Delta p_w$  اختلاف فشار ناشی از وزش باد

$\Delta p_p$  اختلاف فشار ناشی از سیستم تهویه

#### ۴-۲-۱. فشار ناشی از اثر دودکشی

با استفاده از روابط کلاسیک سیالات و انتقال حرارت، اختلاف فشار تئوری ناشی از اثر دودکش به صورت رابطه (۴-۴) قابل محاسبه خواهد بود:

$$\Delta p_{st} = 0.52 p_b h \left[ \frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_i} \right] \quad (4-4)$$

که در آن:

$\Delta p_s$  اختلاف فشار تئوری ناشی از اثر دودکش برحسب in.wg

$p_b$  فشار مطلق خارج (اتمسفر) برحسب psi

$h$  فاصله عمودی از سطح فشار خنثی برحسب ft

$T_o$  دمای مطلق خارج برحسب R

$T_i$  دمای مطلق داخل برحسب R

سطح فشار خنثی، ارتفاعی از ساختمان است که در آن اختلاف فشار ناشی از اختلاف چگالی بین داخل و خارج ساختمان صفر باشد. از نظر تئوری چنانچه درزها و بازشوهای در راستای عمودی به طور یکنواخت توزیع شده باشد، سطح فشار خنثی در وسط ارتفاع ساختمان قرار داشته و در صورت عدم اطلاع از جزئیات توزیع درزها و بازشوها می‌توان از همین فرض استفاده نمود.

در ساختمان‌های متداول، طبقات در برابر جریان هوا به سمت بالا مقاومت کرده و این مقاومت به چگونگی درزبندی راه پله‌ها و شفت آسانسور بستگی دارد. در صورت برابر بودن میزان مقاومت در طبقات مختلف، می‌توان با استفاده از "ضریب کوران" اختلاف فشار واقعی ناشی از اثر دودکشی را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\Delta p_s = C_d \Delta p_{st} \quad (5-4)$$

ضریب کوران،  $C_d$ ، همواره کمتر از ۱ بوده و به میزان درزبندی درهای راه پله‌ها و شفت‌های آسانسور بستگی دارد. مقدار ضریب کوران از ۱ برای ساختمان‌هایی با راه پله‌های بدون در و از ۰/۵ تا ۰/۸۵ برای ساختمان‌های اداری مدرن تغییر می‌کند. لازم به ذکر است که در محاسبات بار برودتی به دلیل کم بودن اختلاف دمای داخل و خارج ساختمان، عموماً محاسبات نفوذ تنها به نفوذ از درها و پنجره‌ها محدود شده و اثر دودکشی منظور نمی‌گردد.

#### ۴-۲-۲. فشار ناشی از وزش باد

فشار ناشی از سرعت هوا را فشار سرعتی نامیده و مقدار تئوری آن عبارت است از:

$$\Delta p_{wt} = \frac{1}{2} \rho V_w^2 \quad (6-4)$$

از آنجا که سرعت جریان هوا هنگام برخورد به ساختمان دقیقاً به صفر نمی‌رسد، برای در نظر گرفتن این اثرات از مفهوم "ضریب فشار" استفاده شده و اختلاف فشار واقعی ناشی از وزش باد با رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$\Delta p_w = C_p \Delta p_{wt} \quad (7-4)$$



ضریب فشار،  $C_p$ ، همواره کمتر از ۱ و تابع شکل و جهت ساختمان نسبت به باد بوده و از مقداری مثبت در سمت مشرف به باد به مقداری منفی در سمت پشت به باد تغییر می‌کند. نمودار ۲-۴ متوسط ضریب فشار دیوار در ساختمان‌های کوتاه یعنی ساختمان‌هایی که ارتفاع آنها کمتر از ۳ برابر عرض آنهاست را نشان می‌دهد. متوسط ضریب فشار سقف برای چنین ساختمان‌هایی با زاویه سقف کمتر از ۲۰ درجه تقریباً برابر ۰/۵ می‌باشد. در نمودارهای ۳-۴ و ۴-۴ نیز به ترتیب متوسط ضریب فشار دیوار و سقف در ساختمان‌های بلند نشان داده شده است. هر چند با افزایش ارتفاع ضریب فشار تا حدودی افزایش می‌یابد، اما عموماً میزان این تغییرات در محدوده تقریب داده‌ها قرار دارد.

#### ۴-۲-۳. فشار ناشی از سیستم تهویه

اغلب ساختمان‌ها نیازمند ورود هوای تازه برای ساکنین یا فرآیندهای صنعتی بوده و لذا با تنظیم مناسب هوای ورودی، برگشت و تخلیه می‌توان با تولید فشار مثبت در ساختمان، میزان نفوذ را به حداقل رسانده و اتلافات حرارتی ناشی از آن را حذف نمود.

#### ۴-۲-۴. روش سطح موثر

روشی ساده جهت محاسبه نرخ نفوذ هوا استفاده از "سطح نفوذ موثر" با استفاده از داده‌های جدول ۴-۴ است. در جدول فوق مقادیر سطح نفوذ بر واحد جز ساختمانی، مساحت سطح یا طول درز ارائه شده است. برای محاسبه مساحت نفوذ کل، تعداد یا ابعاد هر یک از اجزای ساختمانی را در مقدار مناسب سطح نفوذ از جدول ۴-۴ ضرب نموده و با جمع نتایج، مساحت نفوذ کل محاسبه می‌گردد. به این ترتیب نرخ نفوذ با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\dot{V} = A_L (C_s \Delta T + C_w V_w^2)^{0.5} \quad (۴-۸)$$

که در آن:

$\dot{V}$  نرخ جریان هوا برحسب cfm

$A_L$  مساحت نفوذ موثر برحسب  $\text{in}^2$

$C_s$  ضریب دودکش

$\Delta T$  متوسط اختلاف دمای داخل و خارج ساختمان برحسب  $^{\circ}\text{F}$

$C_w$  ضریب باد

$V_w$  سرعت باد برحسب mph

مقدار ضریب  $C_w$  به کلاس پوشش ساختمان در مقابل باد بستگی داشته و مقادیر آن برای ساختمان‌های یک تا سه طبقه در جدول ۴-۵ داده شده است. کلاس پوشش ساختمان در مقابل باد را می‌توان با استفاده از جدول ۴-۶ تعیین نمود. جدول ۴-۷ نیز مقدار ضریب  $C_s$  را برای ساختمان‌های یک تا سه طبقه نشان می‌دهد.

#### ۴-۲-۵. برآورد میزان نفوذ در ساختمان‌های تجاری

از آنجا که بخش مهمی از میزان هوای نفوذی از درهای ساختمان‌های تجاری، به دلیل رفت و آمد و استفاده از آنهاست، مشخصات نفوذ در مورد آنها با مقادیر جدول ۴-۲ متفاوت می‌باشد. معمولاً در ساختمان‌های تجاری دو نوع در مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱. درهای نوع لولایی: نمونه‌ای از این نوع درها در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.
۲. درهای نوع چرخشی: شکل ۴-۲ نمونه‌ای از این نوع درها را نشان می‌دهد. چرخش این درها ممکن است دستی یا بوسیله موتور مکانیکی صورت گیرد.

میزان نفوذ هوا به ازای واحد طول درز اطراف درهای لولایی در نمودار ۴-۵ داده شده و نمودارهای ۴-۶ و ۴-۷ نیز داده‌های لازم جهت تخمین نفوذ ناشی از رفت و آمد به ساختمان را نشان می‌دهد. میزان نفوذ کل برابر مجموع نفوذ از درها به علاوه نفوذ ناشی

از رفت و آمد است. نمودارهای فوق بر مبنای در استاندارد به ابعاد  $7 \times 3$  فوت بوده و هرچند در مورد درهای اتوماتیک تاکنون هیچ گونه داده‌ای منتشر نشده است، اما از آنجا که این گونه درها معمولاً ۲ تا ۴ برابر بیشتر از درهای معمولی باز می‌مانند، دو برابر کردن نفوذ بدست آمده برای درهای معمولی، تخمین معقولی از میزان نفوذ هوا از آنها خواهد بود.



شکل ۲-۴ نمایی از در چرخشی



شکل ۱-۴ نمایی از در لولایی

در نمودار ۸-۴ نفوذ ناشی از اختلاف فشار در دو طرف درهای چرخشی استاندارد نشان داده شده و نفوذ ناشی از چرخش درها نیز با استفاده از نمودارهای ۹-۴ و ۱۰-۴ برآورد می‌گردد. نفوذ کل مجموع نفوذ از درزها و نفوذ ناشی از تعویض مکانیکی هوا به دلیل چرخش در است.

#### ۶-۲-۴. روش Carrier

به عنوان روشی ساده با مشخص بودن سرعت باد، می‌توان مستقیماً از جداول ۸-۴ تا ۱۰-۴ به منظور تعیین میزان نفوذ از درها و پنجره‌ها استفاده نمود.

#### ۳-۴. تهویه

ورود هوای تازه به ساختمان جهت تهویه و کاهش غلظت آلاینده‌های تولیدی بوسیله افراد، دود سیگار و غیره امری ضروری بوده و مقدار آن بیش از هر چیز به کاربری فضا، تعداد ساکنین و تعداد افراد سیگاری بستگی دارد. میزان تهویه استاندارد برای اماکن مختلف در جدول ۱۱-۴ ارائه شده است.

تخلیه (اگزاست) نیز نوعی تهویه بشمار می‌آید که در آن هوای فضاهایی نظیر سرویس‌های بهداشتی و گاراژها با استفاده از فن‌های اگزاست تخلیه شده و هوای تازه از سایر نقاط ساختمان جایگزین آن می‌گردد. هر چند برای سیستم‌های آبی و DX معمولاً هوای تازه در نظر گرفته نمی‌شود، اما نصب فن‌های تخلیه در محل‌های مورد نیاز تحت هر شرایطی ضروری است.

جدول ۱-۴ مقدار نفوذ برای فضاهای مختلف در روش حجمی

| تعداد تعویض هوا در ساعت | نوع فضا                                           |
|-------------------------|---------------------------------------------------|
| ۱                       | با یک دیوار با در یا پنجره رو به خارج             |
| ۱/۵                     | با دو دیوار با در یا پنجره رو به خارج             |
| ۲                       | با بیش از دیوار با در یا پنجره رو به خارج         |
| ۲                       | فضاهای داخلی بدون دیوار با در یا پنجره رو به خارج |
| ۰/۵                     | راهروی ورودی                                      |

جدول ۲-۴ مقدار ضریب K برای محاسبه نفوذ از پنجره‌ها، میزان نفوذ از نمودار ۱-۴ تعیین می‌گردد.

|                                     | Wood Double-hung (Locked)                                                                                                        | Other Types                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tight-fitting window<br>$K = 1.0$   | Weatherstripped average gap ( $\frac{1}{64}$ -in. crack)                                                                         | Wood casement and awning windows; weatherstripped<br>Metal casement windows; weatherstripped                                                                                                                                                                                                        |
| Average-fitting window<br>$K = 2.0$ | Non-weatherstripped average gap ( $\frac{1}{64}$ -in. crack)<br><br>or<br>Weatherstripped large gap ( $\frac{3}{32}$ -in. crack) | All types of vertical and horizontal sliding windows; weatherstripped. Note: If average gap ( $\frac{1}{64}$ -in. crack) this could be tight-fitting window<br><br>Metal casement windows; Nonweatherstripped. Note: If large gap ( $\frac{3}{32}$ -in. crack) this could be a loose-fitting window |
| Loose-fitting window<br>$K = 6.0$   | Non-weatherstripped large gap ( $\frac{3}{32}$ -in. crack)                                                                       | Vertical and horizontal sliding windows; nonweatherstripped                                                                                                                                                                                                                                         |

جدول ۳-۴ مقدار ضریب K برای محاسبه نفوذ از درها، میزان نفوذ از نمودار ۱-۴ تعیین می‌گردد.

|                                   |                                                                                                                              |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tight-fitting door<br>$K = 1.0$   | Very small perimeter gap and perfect fit weatherstripping—often characteristic of new doors                                  |
| Average-fitting door<br>$K = 2.0$ | Small perimeter gap having stop trim fitting properly around door and weatherstripped                                        |
| Loose-fitting door<br>$K = 6.0$   | Larger perimeter gap having poor fitting stop trim and weatherstripped<br>or<br>Small perimeter gap with no weatherstripping |

جدول ۴-۴ مقدار سطح نفوذ موثر برای بازشوهای مختلف

|                                             | Units<br>(see note)              | Best<br>Estimate | Mini-<br>mum | Maxi-<br>mum |                                                     | Units<br>(see note)              | Best<br>Estimate | Mini-<br>mum | Maxi-<br>mum |
|---------------------------------------------|----------------------------------|------------------|--------------|--------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------|------------------|--------------|--------------|
| Ceiling                                     |                                  |                  |              |              | Piping/Plumbing/Wiring penetrations                 |                                  |                  |              |              |
| General                                     | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.026            | 0.011        | 0.04         | Uncaulked                                           | in <sup>2</sup> ea               | 0.9              | 0.31         | 3.7          |
| Drop                                        | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.0027           | 0.00066      | 0.003        | Caulked                                             | in <sup>2</sup> ea               | 0.3              | 0.16         | 0.3          |
| Ceiling penetrations                        |                                  |                  |              |              | Vents                                               |                                  |                  |              |              |
| Whole-house fans                            | in <sup>2</sup> ea               | 3.1              | 0.25         | 3.3          | Bathroom with damper closed                         | in <sup>2</sup> ea               | 1.6              | 0.39         | 3.1          |
| Recessed lights                             | in <sup>2</sup> ea               | 1.6              | 0.23         | 3.3          | Bathroom with damper open                           | in <sup>2</sup> ea               | 3.1              | 0.95         | 3.4          |
| Ceiling/Flue vent                           | in <sup>2</sup> ea               | 4.8              | 4.3          | 4.8          | Dryer with damper                                   | in <sup>2</sup> ea               | 0.46             | 0.45         | 1.1          |
| Surface-mounted lights                      | in <sup>2</sup> ea               | 0.13             |              |              | Dryer without damper                                | in <sup>2</sup> ea               | 2.3              | 1.9          | 5.3          |
| Chimney                                     | in <sup>2</sup> ea               | 4.5              | 3.3          | 5.6          | Kitchen with damper open                            | in <sup>2</sup> ea               | 6.2              | 2.2          | 11           |
| Crawl space                                 |                                  |                  |              |              | Kitchen with damper closed                          | in <sup>2</sup> ea               | 0.8              | 0.16         | 1.1          |
| General (area for exposed wall)             | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.144            | 0.1          | 0.24         | Kitchen with tight gasket                           | in <sup>2</sup> ea               | 0.16             |              |              |
| 8 in. by 16 in. vents                       | in <sup>2</sup> ea               | 20               |              |              | Walls (exterior)                                    |                                  |                  |              |              |
| Door frame                                  |                                  |                  |              |              | Cast-in-place concrete                              | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.007            | 0.0007       | 0.026        |
| General                                     | in <sup>2</sup> ea               | 1.9              | 0.37         | 3.9          | Clay brick cavity wall, finished                    | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.0098           | 0.0007       | 0.033        |
| Masonry, not caulked                        | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.07             | 0.024        | 0.07         | Precast concrete panel                              | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.017            | 0.0004       | 0.024        |
| Masonry, caulked                            | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.014            | 0.004        | 0.014        | Lightweight concrete block, unfinished              | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.05             | 0.019        | 0.058        |
| Wood, not caulked                           | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.024            | 0.009        | 0.024        | Lightweight concrete block, painted or stucco       | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.016            | 0.0075       | 0.016        |
| Wood, caulked                               | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.004            | 0.001        | 0.004        | Heavyweight concrete block, unfinished              | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.0036           |              |              |
| Trim                                        | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.05             |              |              | Continuous air infiltration barrier                 | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.0022           | 0.0008       | 0.003        |
| Jamb                                        | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.4              | 0.3          | 0.5          | Rigid sheathing                                     | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.005            | 0.0042       | 0.006        |
| Threshold                                   | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.1              | 0.06         | 1.1          | Window framing                                      |                                  |                  |              |              |
| Doors                                       |                                  |                  |              |              | Masonry, uncaulked                                  | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.094            | 0.082        | 0.148        |
| Attic/crawl space, not weatherstripped      | in <sup>2</sup> ea               | 4.6              | 1.6          | 5.7          | Masonry, caulked                                    | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.019            | 0.016        | 0.03         |
| Attic/crawl space, weatherstripped          | in <sup>2</sup> ea               | 2.8              | 1.2          | 2.9          | Wood, uncaulked                                     | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.025            | 0.022        | 0.039        |
| Attic fold down, not weatherstripped        | in <sup>2</sup> ea               | 6.8              | 3.6          | 13           | Wood, caulked                                       | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.004            | 0.004        | 0.007        |
| Attic fold down, weatherstripped            | in <sup>2</sup> ea               | 3.4              | 2.2          | 6.7          | Windows                                             |                                  |                  |              |              |
| Attic fold down, with insulated box         | in <sup>2</sup> ea               | 0.6              |              |              | Awning, not weatherstripped                         | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.023            | 0.011        | 0.035        |
| Attic from unconditioned garage             | in <sup>2</sup> ea               | 0                | 0            | 0            | Awning, weatherstripped                             | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.012            | 0.006        | 0.017        |
| Double, not weatherstripped                 | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.16             | 0.1          | 0.32         | Casement, weatherstripped                           | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.011            | 0.005        | 0.14         |
| Double, weatherstripped                     | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.12             | 0.04         | 0.33         | Casement, not weatherstripped                       | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.013            |              |              |
| Elevator (passenger)                        | in <sup>2</sup> ea               | 0.04             | 0.022        | 0.054        | Double horizontal slider, not weatherstripped       | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.052            | 0.0009       | 0.16         |
| General, average                            | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.015            | 0.011        | 0.021        | Double horizontal slider, wood, weatherstripped     | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.026            | 0.0070       | 0.081        |
| Interior (pocket, on top floor)             | in <sup>2</sup> ea               | 2.2              |              |              | Double horizontal slider, aluminum, weatherstripped | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.034            | 0.027        | 0.038        |
| Interior (stairs)                           | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.04             | 0.012        | 0.070        | Double-hung, not weatherstripped                    | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.12             | 0.040        | 0.29         |
| Mail slot                                   | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.2              |              |              | Double-hung, weatherstripped                        | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.031            | 0.009        | 0.089        |
| Sliding exterior glass patio                | in <sup>2</sup> ea               | 3.4              | 0.46         | 9.3          | Double-hung with storm, not weatherstripped         | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.046            | 0.023        | 0.080        |
| Sliding exterior glass patio                | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.079            | 0.009        | 0.22         | Double-hung with storm, weatherstripped             | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.037            | 0.021        | 0.05         |
| Storm (difference between with and without) | in <sup>2</sup> ea               | 0.9              | 0.46         | 0.96         | Double-hung with pressurized track, weatherstripped | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.023            | 0.018        | 0.026        |
| Single, not weatherstripped                 | in <sup>2</sup> ea               | 3.3              | 1.9          | 8.2          | Jalousie                                            | in <sup>2</sup> /louver          | 0.524            |              |              |
| Single, weatherstripped                     | in <sup>2</sup> ea               | 1.9              | 0.6          | 4.2          | Lumped                                              | in <sup>2</sup> /lfts            | 0.022            | 0.00042      | 0.097        |
| Vestibule (subtract per each location)      | in <sup>2</sup> ea               | 1.6              |              |              | Single horizontal slider, weatherstripped           | in <sup>2</sup> /lfts            | 0.031            | 0.009        | 0.097        |
| Electrical outlets/switches                 |                                  |                  |              |              | Single horizontal slider, aluminum                  | in <sup>2</sup> /lfts            | 0.04             | 0.013        | 0.097        |
| No gaskets                                  | in <sup>2</sup> ea               | 0.38             | 0.08         | 0.96         | Single horizontal slider, wood                      | in <sup>2</sup> /lfts            | 0.021            | 0.013        | 0.047        |
| With gaskets                                | in <sup>2</sup> ea               | 0.023            | 0.012        | 0.54         | Single horizontal slider, wood clad                 | in <sup>2</sup> /lfts            | 0.030            | 0.025        | 0.038        |
| Furnace                                     |                                  |                  |              |              | Single-hung, weatherstripped                        | in <sup>2</sup> /lfts            | 0.041            | 0.029        | 0.058        |
| Sealed (or no) combustion                   | in <sup>2</sup> ea               | 0                | 0            | 0            | Sill                                                | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.0099           | 0.0065       | 0.010        |
| Retention head or stack damper              | in <sup>2</sup> ea               | 4.6              | 3.1          | 4.6          | Storm inside, heat shrink                           | in <sup>2</sup> /lfts            | 0.00085          | 0.00042      | 0.00085      |
| Retention head and stack damper             | in <sup>2</sup> ea               | 3.7              | 2.8          | 4.6          | Storm inside, rigid sheet with magnetic seal        | in <sup>2</sup> /lfts            | 0.0056           | 0.00085      | 0.011        |
| Floors over crawl spaces                    |                                  |                  |              |              | Storm inside, flexible sheet with mechanical seal   | in <sup>2</sup> /lfts            | 0.0072           | 0.00085      | 0.039        |
| General                                     | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.032            | 0.006        | 0.071        | Storm inside, rigid sheet with mechanical seal      | in <sup>2</sup> /lfts            | 0.019            | 0.0021       | 0.039        |
| Without ductwork in crawl space             | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.0285           |              |              | Storm outside, pressurized track                    | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.025            |              |              |
| With ductwork in crawl space                | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.0324           |              |              | Storm outside, 2-track                              | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.058            |              |              |
| Fireplace                                   |                                  |                  |              |              | Storm outside, 3-track                              | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.116            |              |              |
| With damper closed                          | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.62             | 0.14         | 1.3          |                                                     |                                  |                  |              |              |
| With damper open                            | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 5.04             | 2.09         | 5.47         |                                                     |                                  |                  |              |              |
| With glass doors                            | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.58             | 0.06         | 0.58         |                                                     |                                  |                  |              |              |
| With insert and damper closed               | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.52             | 0.37         | 0.66         |                                                     |                                  |                  |              |              |
| With insert and damper open                 | in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> | 0.94             | 0.58         | 1.3          |                                                     |                                  |                  |              |              |
| Gas water heater                            | in <sup>2</sup> ea               | 3.1              | 2.3          | 3.9          |                                                     |                                  |                  |              |              |
| Joints                                      |                                  |                  |              |              |                                                     |                                  |                  |              |              |
| Ceiling-wall                                | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.070            | 0.0075       | 0.12         |                                                     |                                  |                  |              |              |
| Sole plate, floor/wall, uncaulked           | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.2              | 0.018        | 0.26         |                                                     |                                  |                  |              |              |
| Sole plate, floor/wall, caulked             | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.04             | 0.0035       | 0.056        |                                                     |                                  |                  |              |              |
| Top plate, band joist                       | in <sup>2</sup> /lftc            | 0.005            | 0.0035       | 0.018        |                                                     |                                  |                  |              |              |

Note: Air leakage areas are based on values found in the literature. The effective air leakage area (in square inches) is based on a pressure difference of 0.016 in. of water and  $C_D = 1$ .

Abbreviations: ft<sup>2</sup> = gross area in square feet  
ea = each

lftc = linear foot of crack  
lfts = linear foot of sash

جدول ۴-۵ مقدار ضریب باد برای محاسبه نفوذ به روش سطح نفوذ موثر

| Shielding Class | House Height (Stories) |        |        |
|-----------------|------------------------|--------|--------|
|                 | One                    | Two    | Three  |
| 1               | 0.0119                 | 0.0157 | 0.0184 |
| 2               | 0.0092                 | 0.0121 | 0.0143 |
| 3               | 0.0065                 | 0.0086 | 0.0101 |
| 4               | 0.0039                 | 0.0051 | 0.0060 |
| 5               | 0.0012                 | 0.0016 | 0.0018 |

جدول ۴-۶ کلاس پوشش برای ساختمان‌های مختلف

| Class | Description                                                                                                                            |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | No obstructions or local shielding                                                                                                     |
| 2     | Light local shielding; few obstructions, few trees, or small shed                                                                      |
| 3     | Moderate local shielding; some obstructions within two house heights, thick hedge, solid fence, or one neighboring house               |
| 4     | Heavy shielding; obstructions around most of perimeter, buildings or trees within 30 ft in most directions; typical suburban shielding |
| 5     | Very heavy shielding; large obstructions surrounding perimeter within two house heights; typical downtown shielding                    |

جدول ۴-۷ مقدار ضریب دودکش برای محاسبه نفوذ به روش سطح نفوذ موثر

|                   | House Height (Stories) |        |        |
|-------------------|------------------------|--------|--------|
|                   | One                    | Two    | Three  |
| Stack coefficient | 0.0150                 | 0.0299 | 0.0449 |

جدول ۴-۸ مقدار نفوذ از پنجره‌های کشویی به روش Carrier

| TYPE OF DOUBLE HUNG WINDOW    | CFM PER LINEAR FOOT OF CRACK |         |            |         |            |         |            |         |            |         |            |         |
|-------------------------------|------------------------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
|                               | Wind Velocity—Mph            |         |            |         |            |         |            |         |            |         |            |         |
|                               | 5                            |         | 10         |         | 15         |         | 20         |         | 25         |         | 30         |         |
|                               | No W-Strip                   | W-Strip | No W-Strip | W-Strip | No W-Strip | W-Strip | No W-Strip | W-Strip | No W-Strip | W-Strip | No W-Strip | W-Strip |
| Wood Sash                     |                              |         |            |         |            |         |            |         |            |         |            |         |
| Average Window                | .12                          | .07     | .35        | .22     | .65        | .40     | .98        | .60     | 1.33       | .82     | 1.73       | 1.05    |
| Poorly Fitted Window          | .45                          | .10     | 1.15       | .32     | 1.85       | .57     | 2.60       | .85     | 3.30       | 1.18    | 4.20       | 1.53    |
| Poorly Fitted—with Storm Sash | .23                          | .05     | .57        | .16     | .93        | .29     | 1.30       | .43     | 1.60       | .59     | 2.10       | .76     |
| Metal Sash                    | .33                          | .10     | .78        | .32     | 1.23       | .53     | 1.73       | .77     | 2.3        | 1.00    | 2.8        | 1.27    |

جدول ۹-۴ مقدار نفوذ از پنجره‌های لولایی به روش Carrier

| TYPE OF CASEMENT WINDOW AND<br>TYPICAL CRACK SIZE |            | CFM PER LINEAR FOOT OF CRACK |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------|------------|------------------------------|------|------|------|------|------|
|                                                   |            | Wind Velocity—Mph            |      |      |      |      |      |
|                                                   |            | 5                            | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |
| <b>Rolled Section—Steel Sash</b>                  |            |                              |      |      |      |      |      |
| Industrial Pivoted                                | 1/8" crack | .87                          | 1.80 | 2.9  | 4.1  | 5.1  | 6.2  |
| Architectural Projected                           | 1/2" crack | .25                          | .60  | 1.03 | 1.43 | 1.86 | 2.3  |
| Architectural Projected                           | 3/4" crack | .33                          | .67  | 1.47 | 1.93 | 2.5  | 3.0  |
| <b>Residential Casement</b>                       |            |                              |      |      |      |      |      |
| Residential Casement                              | 1/4" crack | .10                          | .30  | .55  | .78  | 1.00 | 1.23 |
| Residential Casement                              | 1/2" crack | .23                          | .53  | .87  | 1.27 | 1.67 | 2.10 |
| <b>Heavy Casement Section Projected</b>           |            |                              |      |      |      |      |      |
| Heavy Casement Section Projected                  | 1/4" crack | .05                          | .17  | .30  | .43  | .58  | .80  |
| Heavy Casement Section Projected                  | 1/2" crack | .13                          | .40  | .63  | .90  | 1.20 | 1.53 |
| <b>Hollow Metal—Vertically Pivoted</b>            |            | .50                          | 1.46 | 2.40 | 3.10 | 3.70 | 4.00 |

جدول ۱۰-۴ مقدار نفوذ از درها به روش Carrier

| TYPE OF DOOR                   |            | CFM PER LINEAR FOOT OF CRACK |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------------|------------------------------|------|------|------|------|------|
|                                |            | Wind Velocity—mph            |      |      |      |      |      |
|                                |            | 5                            | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |
| <b>Glass Door—Herculite</b>    |            |                              |      |      |      |      |      |
| Good Installation              | 1/8" crack | 3.2                          | 6.4  | 9.6  | 13.0 | 16.0 | 19.0 |
| Average Installation           | 3/8" crack | 4.8                          | 10.0 | 14.0 | 20.0 | 24.0 | 29.0 |
| Poor Installation              | 1/4" crack | 6.4                          | 13.0 | 19.0 | 26.0 | 26.0 | 38.0 |
| <b>Ordinary Wood or Metal</b>  |            |                              |      |      |      |      |      |
| Well Fitted—W-Strip            |            | .45                          | .60  | .90  | 1.3  | 1.7  | 2.1  |
| Well Fitted—No W-Strip         |            | .90                          | 1.2  | 1.8  | 2.6  | 3.3  | 4.2  |
| Poorly Fitted—No W-Strip       |            | .90                          | 2.3  | 3.7  | 5.2  | 6.6  | 8.4  |
| <b>Factory Door 1/8" crack</b> |            | 3.2                          | 6.4  | 9.6  | 13.0 | 16.0 | 19.0 |

جدول ۱۱-۴ میزان تهویه استاندارد برای اماکن مختلف

| APPLICATION                                                | SMOKING                      | CFM PER PERSON |                | CFM PER<br>SQ FT OF FLOOR<br>Minimum* |
|------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------|
|                                                            |                              | Recommended    | Minimum*       |                                       |
| Apartment { Average<br>De Luxe                             | Some<br>Some                 | 20<br>30       | 15<br>25       | —<br>.33                              |
| Banking Space                                              | Occasional                   | 10             | 7 1/2          | —                                     |
| Barber Shops                                               | Considerable                 | 15             | 10             | —                                     |
| Beauty Parlors                                             | Occasional                   | 10             | 7 1/2          | —                                     |
| Broker's Board Rooms                                       | Very Heavy                   | 50             | 30             | —                                     |
| Cocktail Bars                                              | Heavy                        | 30             | 25             | —                                     |
| Corridors (Supply or Exhaust)                              | —                            | —              | —              | .25                                   |
| Department Stores                                          | None                         | 7 1/2          | 5              | .05                                   |
| Directors Rooms                                            | Extreme                      | 50             | 30             | —                                     |
| Drug Stores †                                              | Considerable                 | 10             | 7 1/2          | —                                     |
| Factories † §                                              | None                         | 10             | 7 1/2          | .10                                   |
| Five and Ten Cent Stores                                   | None                         | 7 1/2          | 5              | —                                     |
| Funeral Parlors                                            | None                         | 10             | 7 1/2          | —                                     |
| Garage †                                                   | —                            | —              | —              | 1.0                                   |
| Hospitals { Operating Rooms † **<br>Private Rooms<br>Wards | None<br>None<br>None         | —<br>30<br>20  | —<br>25<br>15  | 2.0<br>.33<br>—                       |
| Hotel Rooms                                                | Heavy                        | 30             | 25             | .33                                   |
| Kitchen { Restaurant †<br>Residence                        | —<br>—                       | —<br>—         | —<br>—         | 4.0<br>2.0                            |
| Laboratories †                                             | Some                         | 20             | 15             | —                                     |
| Meeting Rooms                                              | Very Heavy                   | 50             | 30             | 1.25                                  |
| Office { General<br>Private<br>Private                     | Some<br>None<br>Considerable | 15<br>25<br>30 | 10<br>15<br>25 | —<br>.25<br>.25                       |
| Restaurant { Cafeteria †<br>Dining Room †                  | Considerable<br>Considerable | 12<br>15       | 10<br>12       | —<br>—                                |
| School Rooms †                                             | None                         | —              | —              | —                                     |
| Shop Retail                                                | None                         | 10             | 7 1/2          | —                                     |
| Theater †                                                  | None                         | 7 1/2          | 5              | —                                     |
| Theater                                                    | Some                         | 15             | 10             | —                                     |
| Toilets † (Exhaust)                                        | —                            | —              | —              | 2.0                                   |

\*When minimum is used, use the larger.

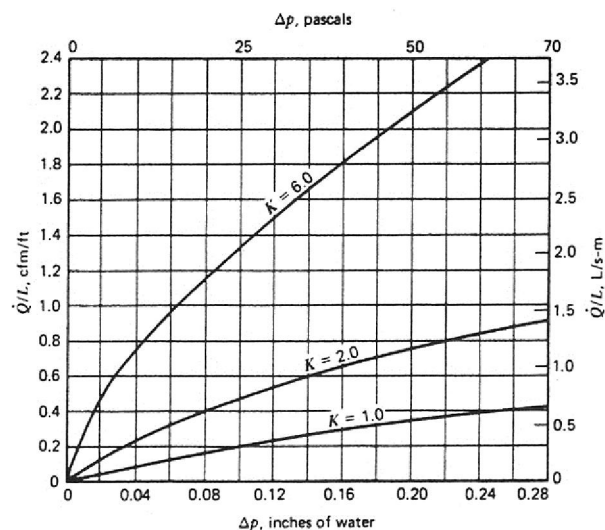
†See local codes which may govern.

‡May be governed by exhaust.

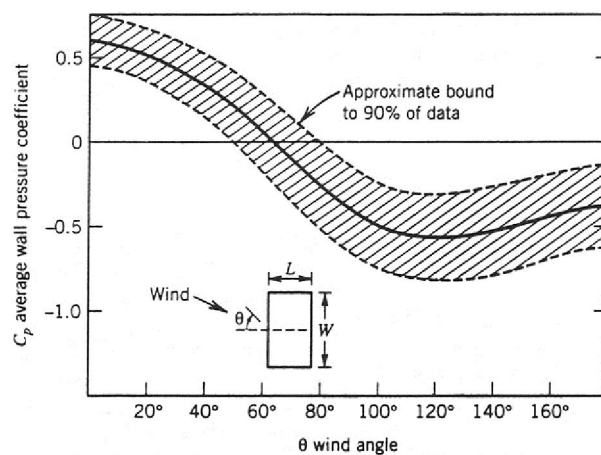
§Use these values unless governed by other sources of contamination or by local codes.

\*\*All outdoor air is recommended to overcome explosion hazard of anesthetics.

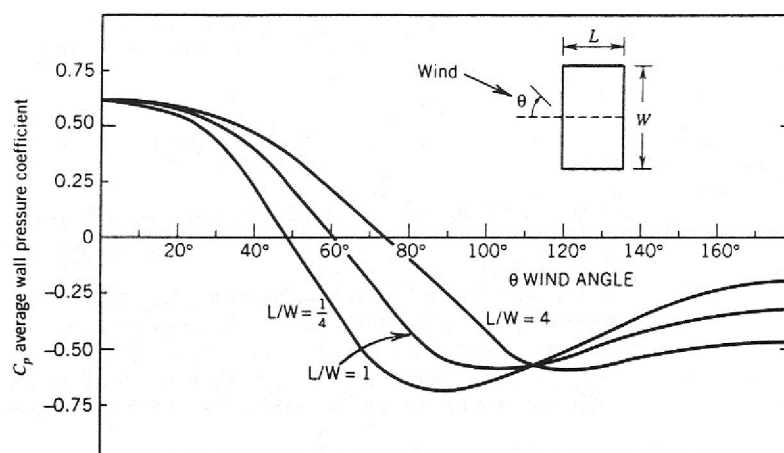
نمودار ۱-۴ تعیین میزان نفوذ از درها و پنجره‌ها به روش ASHRAE  
ضریب K برای پنجره‌ها و درها به ترتیب از جداول ۲-۴ و ۳-۴ تعیین می‌گردد.



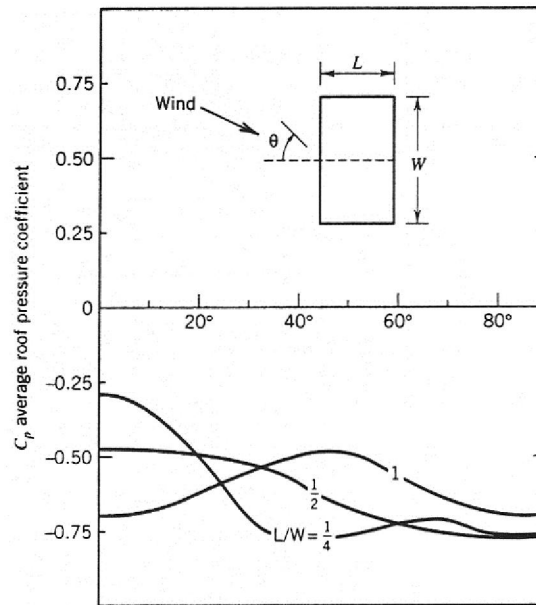
نمودار ۲-۴ متوسط ضریب فشار دیوار در ساختمان‌های کوتاه



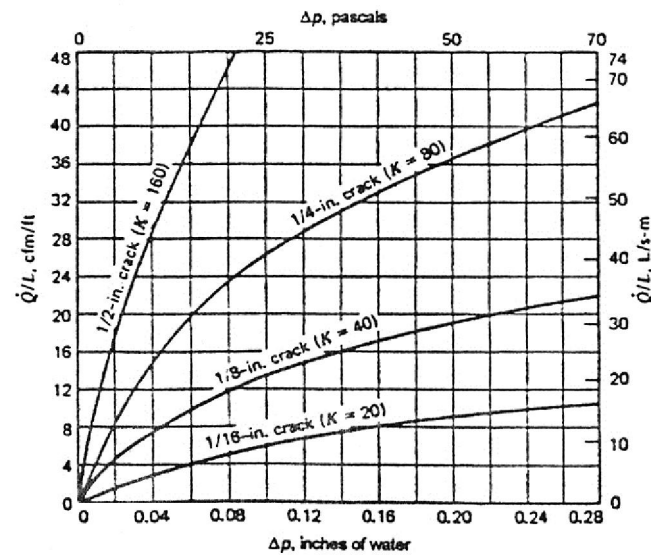
نمودار ۳-۴ متوسط ضریب فشار دیوار در ساختمان‌های بلند



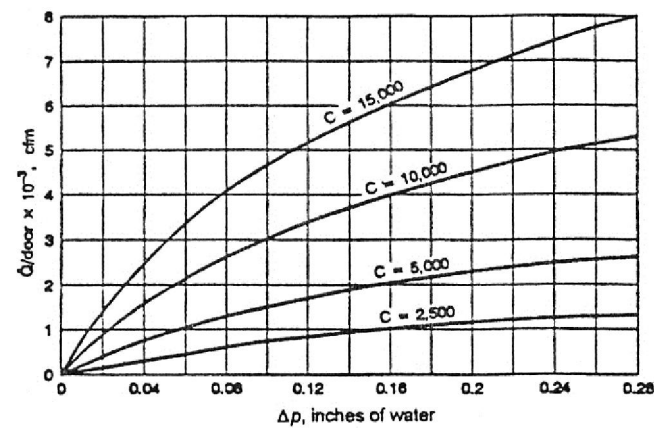
نمودار ۴-۴ متوسط ضریب فشار سقف در ساختمان‌های بلند



نمودار ۴-۵ تعیین میزان نفوذ از درهای لولایی در حالت بسته

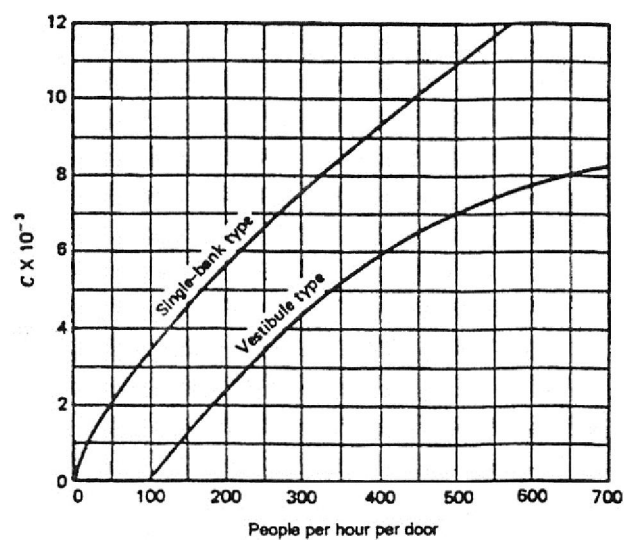


نمودار ۴-۶ تعیین میزان نفوذ از درهای لولایی ناشی از رفت و آمد

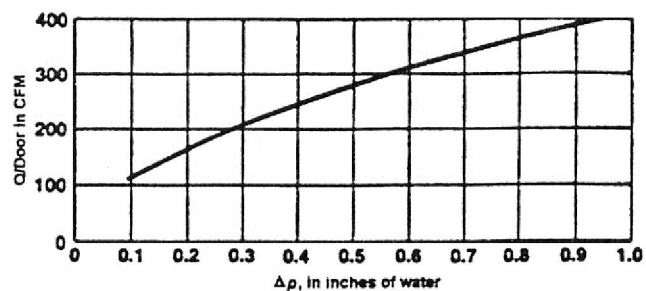




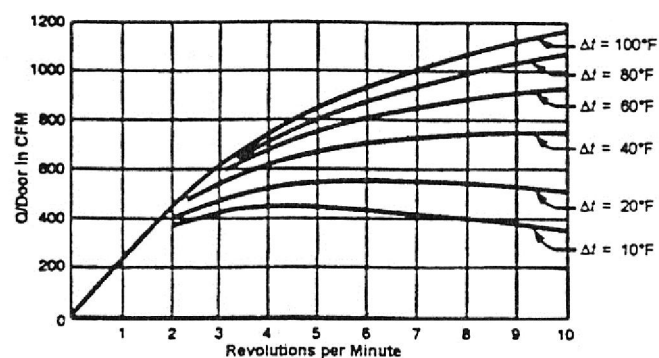
نمودار ۴-۷ ضریب جریان  $C$  برای درهای لولایی ناشی از رفت و آمد



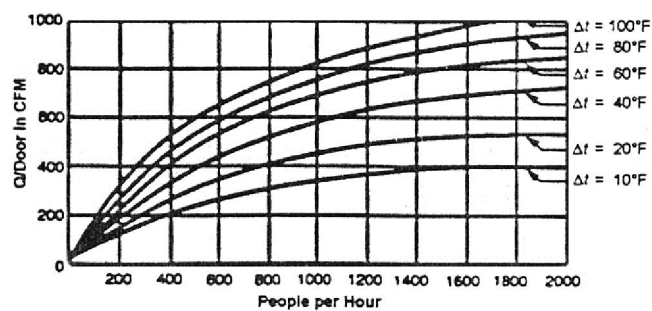
نمودار ۴-۸ تعیین میزان نفوذ از درهای چرخشی در حالت ساکن



نمودار ۴-۹ تعیین میزان نفوذ از درهای چرخشی (موتوری) ناشی از رفت و آمد



نمودار ۴-۱۰ تعیین میزان نفوذ از درهای چرخشی (دستی) ناشی از رفت و آمد



## فصل پنجم

## وسایل گرمایشی

پس از محاسبه بار گرمایشی فضاهای مختلف، با توجه به نوع سیستم گرمایشی و مقتضات ساختمان باید وسیله گرمایشی مناسب برای نقاط مختلف ساختمان انتخاب گردد. در این فصل وسایل گرمایشی متداول در حرارت مرکزی مورد بررسی قرار می‌گیرد که عبارتند از:

۱. رادیاتور
۲. فن کویل
۳. یونیت هیتر
۴. کنوکتور



شکل ۱-۵ رادیاتور چدنی



شکل ۲-۵ رادیاتور آلومینیومی

### ۱-۵. رادیاتور

رایج‌ترین وسیله گرمایشی رادیاتور است. انتقال حرارت در رادیاتور با جابجایی طبیعی صورت گرفته و نمونه‌ای از آنها در شکل‌های ۱-۵ و ۵-۲ نشان داده شده است. صرفنظر از شکل ظاهری رادیاتورها با سه جنس مختلف تولید می‌گردد:

۱. رادیاتورهای چدنی: این نوع رادیاتورها وزن زیاد و راندمان حرارتی پایینی دارد ولی در مقابل زنگ‌زدگی و خوردگی بسیار مقاوم است. هرچند شکننده هستند. امروزه رادیاتورهای چدنی عملاً در تولید خارج شده‌اند.
  ۲. رادیاتورهای فولادی: از نظر راندمان بین رادیاتورهای چدنی و آلومینیومی قرار دارد، اما دوام آن پایین بوده و در مقابل ضربه و خوردگی آسیب‌پذیر است.
  ۳. رادیاتورهای آلومینیومی: نسبت به انواع دیگر سبک‌تر و زیباتر بوده و راندمان حرارتی بالاتری دارد. امروزه در ساختمان‌ها اغلب از رادیاتورهای آلومینیومی استفاده می‌گردد.
- اجزای اصلی رادیاتور صرفنظر از جنس و طرح آن عبارت است از:

۱. پره‌ها
۲. شیر قطع و وصل (شیر رگلاژ)
۳. زانویی خروجی (زانو قفلی)
۴. شیر هواگیری

ورودی رادیاتور همواره در بالا و خروجی در پایین قرار داشته و شیر

هواگیری نیز در بالا و در مقابل شیر رگلاژ نصب می‌گردد.

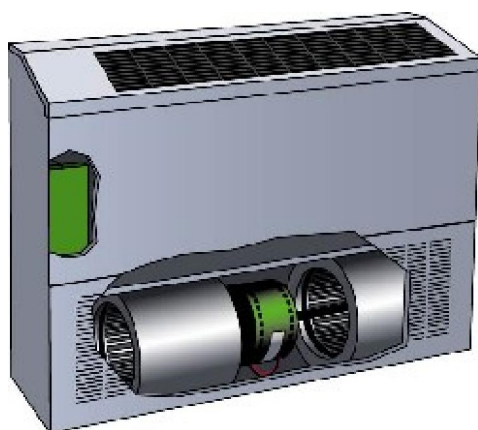
هرچند انتخاب رادیاتورها باید با توجه به بار گرمایشی و با استفاده از کاتالوگ سازنده صورت می‌گیرد، اما تقریباً می‌توان به ازای هر  $500 \text{ Btu/hr}$  بار گرمایشی یک پره برای رادیاتور در نظر گرفت. از آنجا که رادیاتورها اغلب بدون پوشش و در ارتفاع پایین نصب می‌شوند، تنها برای استفاده با آب گرم مناسب هستند. بهترین محل نصب رادیاتور در زیر پنجره‌ها یا مجاورت دیوارهای سرد است تا از نفوذ هوای سرد جلوگیری کرده و دمای اتاق یکنواخت‌تر باشد. فاصله رادیاتور از دیوار و کف حداقل ۵ سانتیمتر است تا هوا به خوبی در اطراف آن جریان یابد. رادیاتورها را گاه برای زیبایی داخل فرورفتگی دیوار یا قاب قرار می‌دهند که این امر باعث کاهش راندمان حرارتی آنها می‌شود. تعداد پره‌های رادیاتور حتی‌الامکان نباید از ۳۰ پره تجاوز کند، اما در این صورت معمولاً لوله‌های رفت و برگشت را به دو طرف رادیاتور متصل می‌کنند. لازم به ذکر است که به لحاظ هزینه، زیبایی و سهولت نصب بهتر است در نقاط مختلف ساختمان از چند تیپ رادیاتور با تعداد پره‌های یکسان استفاده نمود.

## ۵-۲. فن کویل

فن کویل یکی از پر کاربردترین وسایل گرمایش و سرمایش در محیط‌های لوکسی نظیر هتل‌ها، آپارتمان‌ها و ساختمان‌های اداری است. با استفاده از فن کویل دمای اتاق را می‌توان به طور اتوماتیک با فرمان ترموستات اتاقی کنترل نمود. مطابق شکل ۵-۲، فن کویل از چند ردیف کویل مسی با پره‌های آلومینیومی تشکیل شده که به اقتضای فصل آب گرم یا سرد در آنها جریان می‌یابد. یک فن دمنده در پشت فن کویل هوا را از روی کویل‌ها عبور داده و انتقال حرارت به روش جابجایی اجباری صورت می‌گیرد. انواع فن کویل از نظر شکل ظاهری عبارت است از:

۱. فن کویل‌های زمینی
۲. فن کویل‌های سقفی
۳. فن کویل‌های کانالی

فن کویل‌های زمینی و سقفی از نظر ظاهری مشابه بوده و تنها محل نصب آنها متفاوت است اما فن کویل‌های کانالی عملاً مشابه هواسازی کوچک عمل کرده و هوا را از طریق کانال‌کشی نقاط مختلف هدایت می‌کند. در شکل‌های ۵-۳ و ۵-۴ به ترتیب فن کویل‌های زمینی و کانالی نشان داده شده است. اجزای اصلی فن کویل عبارت است از:



شکل ۵-۳ اجزای داخلی فن کویل

۱. کویل
۲. فن و الکتروموتور
۳. فیلتر هوا
۴. شیرهای قطع و وصل رفت و برگشت
۵. شیر هواگیری
۶. لوله تخلیه
۷. وسایل کنترل دور فن

چنانچه از فن کویل به عنوان وسیله سرمایشی استفاده شود، امکان تقطیر رطوبت هوا روی کویل‌ها وجود خواهد داشت. آب حاصل از تقطیر در سینی زیر کویل‌ها جمع شده و از طریق لوله تخلیه خارج می‌گردد. لوله تخلیه باید به شکلی به شبکه دفع آب باران ساختمان متصل گردد. قطر لوله تخلیه اغلب  $\frac{3}{4}$  و جنس آن از فولاد گالوانیزه است.

انواع فن کویل از نظر تعداد لوله‌های اتصالی عبارت است از:

۱. فن کویل‌های چهار لوله‌ای: رفت و برگشت آب گرم و سرد در این گونه فن کویل‌ها از طریق لوله‌های مجزا صورت می‌گیرد

۲. فن کویل‌های سه لوله‌ای: لوله رفت آب گرم و سرد در این نوع فن کویل‌ها مجزا بوده ولی لوله برگشت مشترک است.
۳. فن کویل‌های دو لوله‌ای: از لوله‌های مشترک به منظور رفت و برگشت آب گرم و سرد استفاده شده و جهت جریان آب به دیگ یا چیلر با استفاده از شیر سه‌راهی در موتورخانه تعیین می‌گردد.



شکل ۴-۵ انواع فن کویل

یکی از مزایای مهم فن کویل امکان کنترل دمای اتاق بوده و معمولاً از طریق روشن و خاموش کردن فن دستگاه با استفاده از ترموستات در شرایطی که آب پیوسته در کویل جریان دارد، صورت می‌گیرد. دیوار مقابل فن کویل بهترین محل برای نصب ترموستات بشمار می‌آید.

انتخاب فن کویل با توجه به بار گرمایشی-سرمایشی و با مراجعه به کاتالوگ سازنده صورت می‌گیرد. از آنجا که اختلاف دمای بین آب و محیط در گرمایش تقریباً دو برابر سرمایش است، ظرفیت گرمایشی فن کویل‌ها به مراتب بیش از ظرفیت سرمایشی آنها بوده و لدت اغلب فن کویل برای بار برودتی انتخاب شده و برای بار گرمایی چک می‌شود. فن کویل‌ها در ظرفیت‌های ۲۰۰ تا ۱۲۰۰ cfm تولید می‌گردند هرچند به دلیل مشکلات حمل و نقل، از ظرفیت‌های بالای ۱۰۰۰ cfm کمتر استفاده می‌شود. مشابه رادیاتور، بهتر است ظرفیت فن کویل‌های انتخابی برای نقاط مختلف ساختمان حتی‌الامکان مشابه باشد.

### ۳-۵. یونیت هیتر



مشابه فن کویل، یونیت هیتر نیز از چند ردیف کویل تشکیل شده که فنی دمنده در پشت آن هوا را روی کویل‌ها به جریان می‌اندازد. برخلاف فن کویل، یونیت هیتر تنها برای گرمایش مورد استفاده قرار گرفته و از آنجا که معمولاً در ارتفاع نصب می‌گردد، امکان استفاده از آب گرم، آب داغ یا بخار وجود دارد. به دلیل ظاهر نامناسب و صدای زیاد، یونیت هیتر تنها در سالن‌هایی نظیر اماکن ورزشی و کارخانجات مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۵-۵ نمونه‌ای از یونیت هیتر را نشان می‌دهد. یونیت هیتر با توجه به بار گرمایشی و از روی کاتالوگ سازنده انتخاب می‌شود.

شکل ۵-۵ یونیت هیتر آلومینیومی

#### ۵-۴. کنوکتور

کنوکتور از نظر ساختمانی چیزی بین فن کویل و رادیاتور است. مشابه فن کویل، کنوکتور از چند ردیف کویل مسی با پره‌های آلومینیومی تشکیل شده که در داخل جعبه‌ای آهنی قرار گرفته ولی بدون فن کار می‌کند. به این ترتیب مشابه رادیاتور انتقال حرارت در کنوکتور نیز به روش جابجایی طبیعی صورت می‌گیرد. مشابه رادیاتور، کنوکتور دارای شیر رگلاژ، زانو قفلی و شیر هواگیری بوده و به دلیل قرار گرفتن در داخل جعبه و عدم دسترسی به سطح لوله‌ها، کنوکتور برای گرمایش با آب گرم، آب داغ یا بخار مناسب است. امروزه کنوکتورها کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

## فصل ششم

### مقدمه‌ای بر لوله‌کشی

در این فصل اجزای شبکه لوله‌کشی شامل لوله‌ها، اتصالات انبساطی، تکیه‌گاه‌ها، اتصالات و شیرآلات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۱-۶. لوله‌ها

هرچند در صنعت تأسیسات دو واژه pipe و tube با معانی مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما متأسفانه در فارسی هر دو به عنوان لوله برگردان می‌شوند.

Pipe: به محصولات لوله‌ای شکلی اطلاق می‌گردد که برای انتقال سیال از نقطه‌ای به نقطه دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. لوله‌ها با استفاده از قطر نامی و ضخامت جدار مشخص شده و معمولاً در طول‌های ۶ یا ۱۲ متری در بازار عرضه می‌گردند.

Tube: به محصولات لوله‌ای شکلی اطلاق می‌گردد که در ساختار داخلی تجهیزاتی نظیر مبدل‌های حرارتی به عنوان سطح انتقال حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرد. تیوب‌ها معمولاً با استفاده از قطر خارجی و ضخامت جدار، بر حسب شاخص BWG یا هزارم اینچ، مشخص می‌شود.

اندازه لوله‌های فولادی با استفاده از قطر نامی بیان می‌گردد. قطر نامی در مقیاس متریک با DN و در مقیاس انگلیسی با NPS نشان داده شده و در جدول ۱-۶ تطابق قطر نامی لوله‌ها با شناسه رایج در بازار ایران ارائه شده است. برخلاف لوله‌های فولادی اندازه لوله‌های پلیمری با استفاده از قطر خارجی و بر حسب میلیمتر مشخص می‌شود. جدول ۲-۶ تطابق اندازه لوله‌های پلیمری با لوله‌های فولادی را نشان می‌دهد.

برای دستیابی به استحکام و در نتیجه فشار کاری متفاوت، هر اندازه لوله می‌تواند با ضخامت‌های جدار مختلفی ساخته شود. برای مشخص کردن ضخامت لوله‌ها معمولاً یکی از دو استاندارد زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱. استاندارد انجمن استاندارد ملی آمریکا (ANSI) که از شاخص Schedule Number استفاده می‌کند.
۲. استاندارد جامعه مهندسين مکانیک آمریکا (ASME) و انجمن تست و مواد آمریکا (ASTM) که از شاخص‌های STD، XS و XXS استفاده می‌کند.

جدول ۳-۶ و ۴-۶ به ترتیب خواص استاندارد لوله‌های فولادی و تیوب‌های مسی با قطر نامی و ضخامت‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که جدول ۳-۶ مشخص است در لوله‌های بزرگتر از ۱۴ اینچ، قطر نامی با قطر خارجی لوله برابر است. لازم به ذکر است که در شبکه‌های تأسیساتی معمولاً لوله‌های ضخامت استاندارد یا Sch. ۴۰ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### ۲-۶. اتصالات انبساطی

تمامی لوله‌هایی که در معرض تغییرات دمایی قرار دارند، منبسط و منقبض شده و چنانچه تغییرات دمایی قابل توجه باشد، برای جذب تغییرات طولی لوله‌ها باید تمهیداتی در نظر گرفته شود. در جدول ۵-۶ مقدار انبساط حرارتی لوله‌های فولادی و مسی ارائه شده است. عموماً سه روش به منظور جذب انبساط و انقباض لوله‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱. حلقه یا انحراف/انبساطی در مسیر لوله‌کشی: این روش متداول‌ترین شیوه برای جذب تغییرات طولی لوله‌ها در شبکه‌های تأسیساتی است. با استفاده از نمودارهای ۱-۶ و ۲-۶ و نیز جدول ۶-۶ می‌توان اندازه حلقه و انحراف انبساطی لازم برای لوله‌های فولادی و مسی را تعیین نمود.

۲. اتصالات/انبساطی: معمولاً از نوع لغزشی یا آکاردئونی بوده و انتخاب آن از روی کاتالوگ سازنده صورت می‌گیرد.

۳. شلنگ‌های لاستیکی یا فلزی

ذکر این نکته لازم است که استفاده از روش‌های فوق به منظور جذب تغییرات طولی لوله‌ها همواره لازم نبوده و در بسیاری از موارد، خصوصاً در سیستم‌های لوله‌کشی کوچک، به دلیل وجود انبساط و انقباض محدود یا تغییر جهت‌هایی که در طرح‌بندی لوله‌کشی وجود دارد، مشکل انبساط و انقباض لوله‌ها خودبخود حل می‌شود.

### ۳-۶. تکیه‌گاه‌ها

برای تحمل وزن لوله‌ها و سیال داخل آن، وصاله‌ها و شیرآلات، تمامی خطوط لوله‌کشی باید با استفاده از تکیه‌گاه‌های مطمئن محکم شود. عامل اصلی در تعیین فاصله تکیه‌گاه‌ها برای لوله‌های افقی تغییر شکل ناشی از وزن خطوط است. جدول ۶-۷ و ۶-۸ به ترتیب فواصل توصیه شده برای لوله‌های فولادی با ضخامت استاندارد و مسی در شرایط پر از آب را نشان می‌دهد.

### ۴-۶. اتصالات

افت فشار در اتصالات درصد زیادی از افت فشار شبکه لوله‌کشی را تشکیل داده و برای محاسبه آن معمولاً از مفهوم طول معادل استفاده می‌شود. در جدول ۶-۹ طول معادل اتصالات مختلف ارائه شده است. معمولاً طول مستقیم لوله روی خط مرکزی اتصالات و شیرآلات مشخص شده و طول معادل اجزای دیگر به آن اضافه می‌شود.

### ۵-۶. شیرآلات

انتخاب مناسب شیرآلات نقش مهمی در افزایش کارایی و عمر شبکه لوله‌کشی و نیز کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات دارد. متداول‌ترین شیرآلات مورد استفاده در شبکه‌های تأسیساتی عبارت است از:

۱. شیر کشویی (دروازه‌ای)

۲. شیر کف فلزی (بشقابی)

۳. شیر زاویه‌ای

۴. شیر Y شکل

۵. شیر ربع گرد در انواع سماوری<sup>۱</sup> و توپکی<sup>۲</sup>

۶. شیر یک طرفه در انواع لولایی<sup>۳</sup> و بشقابی<sup>۴</sup>

■ شیر کشویی: معمولاً به عنوان شیر قطع و وصل بکار رفته و بهترین عملکرد آن زمانی است که به صورت کاملاً باز یا کاملاً بسته مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ۶-۱ نمونه‌ای از شیر کشویی نشان داده شده است.

■ شیر کف فلزی، زانویی و Y شکل: ساختار و کاربری هر سه نوع شیر یکسان بوده و معمولاً جهت تنظیم جریان استفاده می‌شود. شکل ۶-۲ نمونه‌ای از شیر کف فلزی را نشان می‌دهد.

■ شیر ربع گرد: معمولاً جهت بالانس و تنظیم جریان در شبکه‌هایی مانند لوله‌کشی گاز که در معرض تغییرات مکرر جریان قرار ندارد، بکار می‌رود. شیرهای ربع گرد ممکن است سماوری یا توپکی بوده و قیمت آنها ارزان‌تر از شیرهای کف فلزی است. در شکل ۶-۳ نمونه‌ای از شیر ربع گرد توپکی نشان داده شده است.

<sup>۱</sup> Plug Cock Valve

<sup>۲</sup> Ball Cock Valve

<sup>۳</sup> Swing Check Valve

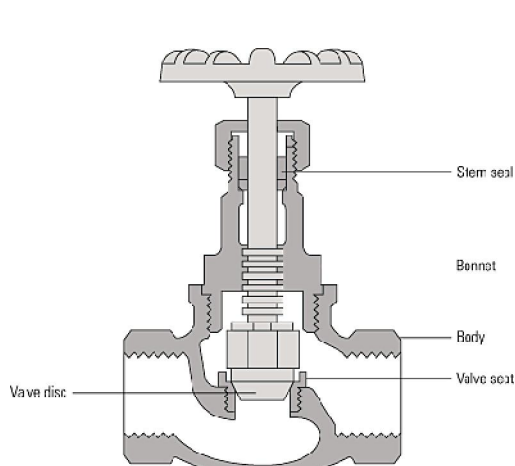
<sup>۴</sup> Lift Check Valve

■ شیر یک طرفه: همان طور که نام آن مشخص است تنها جریان را در یک طرف از خود عبور می‌دهد. دو طرح متداول برای شیرهای یک طرفه وجود دارد:

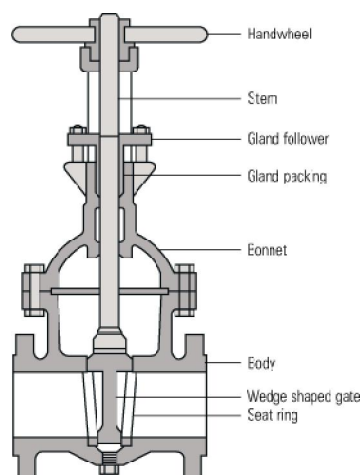
الف) شیر یک طرفه لولایی: روی خطوط افقی یا قائم با جریان رو به بالا قابل استفاده بوده و معمولاً همراه با شیر کشویی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۴-۶ نمونه‌ای از این نوع شیر یک طرفه را نشان می‌دهد.

ب) شیر یک طرفه بشقابی: تنها روی خطوط افقی قابل استفاده بوده و معمولاً همراه با شیر کف فلزی، زاویه‌ای یا Y شکل نصب می‌گردد. در شکل ۵-۶ نمونه‌ای از این نوع شیر یک طرفه نشان داده شده است.

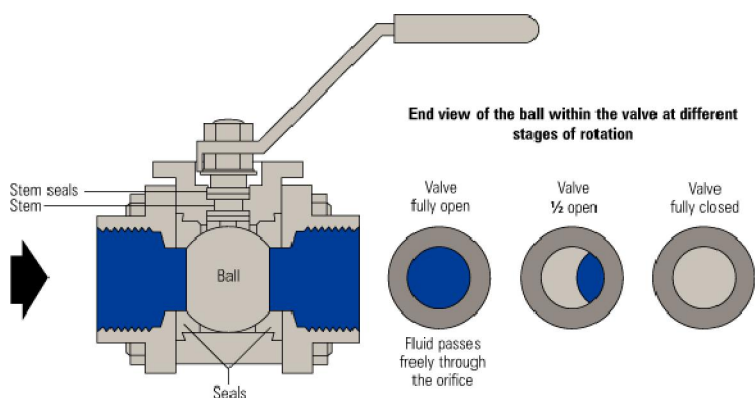
جدول ۱۰-۶ طول معادل شیرآلات مختلف را، جهت محاسبه میزان افت فشار، نشان می‌دهد.



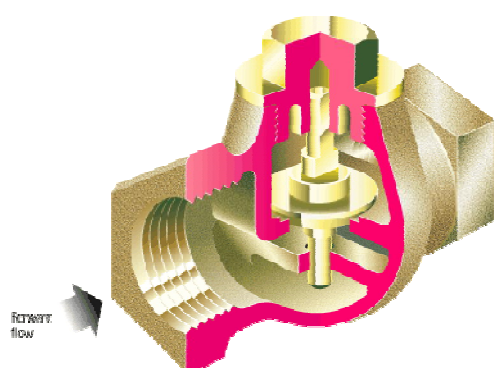
شکل ۲-۶ برشی از شیر کف فلزی



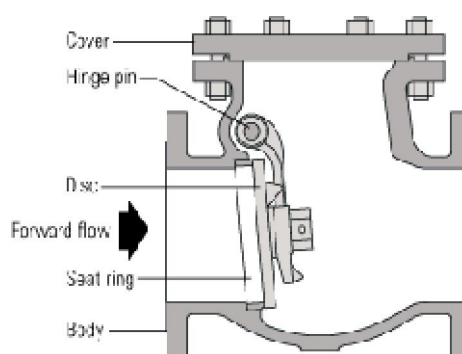
شکل ۱-۶ برشی از شیر کشویی



شکل ۳-۶ برشی از شیر ربع گرد توپکی و نحوه عملکرد آن



شکل ۵-۶ برشی از شیر یک طرفه بشقابی



شکل ۴-۶ برشی از شیر یک طرفه لولایی



جدول ۶-۱ تطابق قطر نامی لوله‌ها با شناسه رایج در بازار ایران

| قطر اسمی    |                |                           |
|-------------|----------------|---------------------------|
| سیستم متریک | سیستم اینچی    | شناسه رایج در بازار ایران |
| ۱۵          | $\frac{1}{2}$  | ۲                         |
| ۲۰          | $\frac{3}{4}$  | ۲/۵                       |
| ۲۵          | ۱              | ۳                         |
| ۳۲          | $1\frac{1}{4}$ | ۴                         |
| ۴۰          | $1\frac{1}{2}$ | ۵                         |
| ۵۰          | ۲              | ۶                         |
| ۶۵          | $2\frac{1}{2}$ | ۷                         |
| ۸۰          | ۳              | ۸                         |
| ۱۰۰         | ۴              | ۱۰                        |

جدول ۶-۲ تطابق اندازه لوله‌های پلیمری با لوله‌های فولادی

| وزن واحد طول<br>Weight<br>kg/m | دبی آب<br>Water Content<br>l/m | قطر داخلی<br>Internal Diameter<br>mm | ضخامت<br>Thickness<br>mm | قطر معادل<br>Diameter<br>Inch | قطر خارجی<br>Diameter<br>mm |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 0.110                          | 0.088                          | 10.6                                 | 2.7                      | 3/8                           | 16                          |
| 0.172                          | 0.137                          | 13.2                                 | 3.4                      | 1/2                           | 20                          |
| 0.226                          | 0.216                          | 16.6                                 | 4.2                      | 3/4                           | 25                          |
| 0.434                          | 0.353                          | 21.2                                 | 5.4                      | 1                             | 32                          |
| 0.671                          | 0.556                          | 26.6                                 | 6.7                      | 1.1/4                         | 40                          |
| 1.050                          | 0.866                          | 33.2                                 | 8.4                      | 1.1/2                         | 50                          |
| 1.650                          | 1.385                          | 42.0                                 | 10.5                     | 2                             | 63                          |
| 2.340                          | 1.963                          | 50.0                                 | 12.5                     | 2.1/2                         | 75                          |
| 3.360                          | 2.827                          | 60.0                                 | 15.0                     | 3                             | 90                          |
| 5.040                          | 4.208                          | 73.2                                 | 18.4                     | 4                             | 110                         |

جدول ۳-۶ خواص استاندارد لوله‌های فولادی

| NOM.<br>PIPE<br>SIZE<br>(in.) | SCHEDULE<br>NO.† | OUTSIDE<br>DIAM<br>(in.) | INSIDE<br>DIAM<br>(in.) | WALL<br>THICK-<br>NESS<br>(in.) | WEIGHT<br>OF<br>PIPE<br>(lb/ft) | WT OF<br>WATER<br>IN PIPE*<br>(lb/ft) | OUTSIDE<br>SURFACE<br>(sq ft/ft) | INSIDE<br>SURFACE<br>(sq ft/ft) | TRANS-<br>VERSE<br>AREA<br>(sq in.) |
|-------------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| ¼                             | 40(S)            | .405                     | .269                    | .068                            | .244                            | .0246                                 | .106                             | .0705                           | .0568                               |
|                               | 80(X)            | .405                     | .215                    | .095                            | .314                            | .0157                                 | .106                             | .0563                           | .0364                               |
| ½                             | 40(S)            | .540                     | .364                    | .088                            | .424                            | .0451                                 | .141                             | .0955                           | .1041                               |
|                               | 80(X)            | .540                     | .302                    | .119                            | .535                            | .0310                                 | .141                             | .0794                           | .0716                               |
| ¾                             | 40(S)            | .675                     | .493                    | .091                            | .567                            | .0827                                 | .177                             | .1295                           | .1910                               |
|                               | 80(X)            | .675                     | .423                    | .126                            | .738                            | .0609                                 | .177                             | .1106                           | .1405                               |
| 1                             | 40(S)            | .840                     | .622                    | .109                            | .850                            | .1316                                 | .220                             | .1637                           | .3040                               |
|                               | 80(X)            | .840                     | .546                    | .147                            | 1.087                           | .1013                                 | .220                             | .1433                           | .2340                               |
| 1¼                            | 40(S)            | 1.050                    | .824                    | .113                            | 1.130                           | .2301                                 | .275                             | .2168                           | .5330                               |
|                               | 80(X)            | 1.050                    | .742                    | .154                            | 1.473                           | .1875                                 | .275                             | .1948                           | .4330                               |
| 1½                            | 40(S)            | 1.315                    | 1.049                   | .133                            | 1.678                           | .3740                                 | .344                             | .2740                           | .8640                               |
|                               | 80(X)            | 1.315                    | .957                    | .179                            | 2.171                           | .3112                                 | .344                             | .2520                           | .7190                               |
| 1¾                            | 40(S)            | 1.660                    | 1.380                   | .140                            | 2.272                           | .6471                                 | .434                             | .3620                           | 1.495                               |
|                               | 80(X)            | 1.660                    | 1.278                   | .191                            | 2.996                           | .5553                                 | .434                             | .3356                           | 1.283                               |
| 2                             | 40(S)            | 1.900                    | 1.610                   | .145                            | 2.717                           | .8820                                 | .497                             | .4213                           | 2.036                               |
|                               | 80(X)            | 1.900                    | 1.500                   | .200                            | 3.631                           | .7648                                 | .497                             | .3927                           | 1.767                               |
| 2½                            | 40(S)            | 2.375                    | 2.067                   | .154                            | 3.652                           | 1.452                                 | .622                             | .5401                           | 3.355                               |
|                               | 80(X)            | 2.375                    | 1.939                   | .218                            | 5.022                           | 1.279                                 | .622                             | .5074                           | 2.953                               |
| 3                             | 40(S)            | 2.875                    | 2.469                   | .203                            | 5.79                            | 2.072                                 | .753                             | .6462                           | 4.788                               |
|                               | 80(X)            | 2.875                    | 2.323                   | .276                            | 7.66                            | 1.834                                 | .753                             | .6095                           | 4.238                               |
| 3½                            | 40(S)            | 3.500                    | 3.068                   | .216                            | 7.57                            | 3.20                                  | .916                             | .802                            | 7.393                               |
|                               | 80(X)            | 3.500                    | 2.900                   | .300                            | 10.25                           | 2.86                                  | .916                             | .761                            | 6.605                               |
| 4                             | 40(S)            | 4.000                    | 3.548                   | .226                            | 9.11                            | 4.28                                  | 1.047                            | .929                            | 9.89                                |
|                               | 80(X)            | 4.000                    | 3.364                   | .318                            | 12.51                           | 3.85                                  | 1.047                            | .880                            | 8.89                                |
| 5                             | 40(S)            | 4.500                    | 4.026                   | .237                            | 10.79                           | 5.51                                  | 1.178                            | 1.055                           | 12.73                               |
|                               | 80(X)            | 4.500                    | 3.826                   | .337                            | 14.98                           | 4.98                                  | 1.178                            | 1.002                           | 11.50                               |
| 6                             | 40(S)            | 5.563                    | 5.047                   | .258                            | 14.62                           | 8.66                                  | 1.456                            | 1.321                           | 20.01                               |
|                               | 80(X)            | 5.563                    | 4.813                   | .375                            | 20.78                           | 7.87                                  | 1.456                            | 1.260                           | 18.19                               |
| 8                             | 40(S)            | 6.625                    | 6.065                   | .280                            | 18.97                           | 12.51                                 | 1.735                            | 1.587                           | 28.99                               |
|                               | 80(X)            | 6.625                    | 5.761                   | .432                            | 28.57                           | 11.29                                 | 1.735                            | 1.510                           | 26.07                               |
| 10                            | 40(S)            | 8.625                    | 7.981                   | .322                            | 28.55                           | 21.6                                  | 2.26                             | 2.090                           | 50.0                                |
|                               | 80(X)            | 8.625                    | 7.625                   | .500                            | 43.39                           | 19.8                                  | 2.26                             | 2.006                           | 45.6                                |
| 12                            | 40(S)            | 10.750                   | 10.020                  | .365                            | 40.48                           | 34.1                                  | 2.81                             | 2.62                            | 78.9                                |
|                               | 80(X)            | 10.750                   | 9.750                   | .500                            | 54.70                           | 32.4                                  | 2.81                             | 2.55                            | 74.7                                |
| 14                            | 40(S)            | 12.750                   | 12.090                  | .330                            | 43.80                           | 49.6                                  | 3.34                             | 3.17                            | 115.0                               |
|                               | 80(X)            | 12.750                   | 11.938                  | .406                            | 53.53                           | 48.5                                  | 3.34                             | 3.13                            | 111.9                               |
| 16                            | 40(S)            | 14.000                   | 13.250                  | .375                            | 54.60                           | 59.8                                  | 3.67                             | 3.46                            | 138.0                               |
|                               | 80(X)            | 14.000                   | 13.125                  | .438                            | 63.37                           | 58.5                                  | 3.67                             | 3.44                            | 135.3                               |
| 18                            | 40(S)            | 16.000                   | 15.250                  | .500                            | 72.10                           | 55.8                                  | 3.67                             | 3.40                            | 133.0                               |
|                               | 80(X)            | 16.000                   | 15.000                  | .750                            | 106.31                          | 51.2                                  | 3.67                             | 3.27                            | 122.7                               |
| 20                            | 40(S)            | 18.000                   | 17.250                  | .375                            | 70.60                           | 100.8                                 | 4.71                             | 4.52                            | 234.0                               |
|                               | 80(X)            | 18.000                   | 17.000                  | .500                            | 93.50                           | 98.3                                  | 4.71                             | 4.45                            | 227.0                               |
| 24                            | 40(S)            | 20.000                   | 19.250                  | .500                            | 104.20                          | 122.5                                 | 5.24                             | 4.97                            | 284.0                               |
|                               | 80(X)            | 20.000                   | 18.814                  | .593                            | 122.91                          | 120.4                                 | 5.24                             | 4.93                            | 278.0                               |
| 28                            | 40(S)            | 24.000                   | 23.250                  | 1.031                           | 208.87                          | 109.4                                 | 5.24                             | 4.70                            | 252.7                               |
|                               | 80(X)            | 24.000                   | 23.000                  | .500                            | 125.50                          | 179.0                                 | 6.28                             | 6.08                            | 426.0                               |
| 32                            | 40(S)            | 24.000                   | 22.626                  | .687                            | 171.17                          | 174.2                                 | 6.28                             | 5.92                            | 402.1                               |
|                               | 80(X)            | 24.000                   | 21.564                  | 1.218                           | 296.36                          | 158.2                                 | 6.28                             | 5.65                            | 365.2                               |

\*To change "Wt of Water in Pipe (lb/ft)" to "Gallons of Water in Pipe (gal/ft)," divide values in table by 8.34.

†S is designation of standard wall pipe.

X is designation of extra strong wall pipe.

جدول ۴-۶ خواص استاندارد تیوب‌های مسی

| CLASSIFICATION                                        | NOM. TUBE SIZE (in.) | OUTSIDE DIAM (in.) | STUBBS GAGE | WALL THICKNESS (in.) | INSIDE DIAM (in.) | TRANSVERSE AREA (sq in.) | MINIMUM TEST PRESSURE (psi) | WEIGHT OF TUBE (lb/ft) | WT OF WATER IN TUBE* (lb/ft) | OUTSIDE SURFACE (sq ft/ft) |
|-------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|-------------|----------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|
| HARD<br><br>Govt. Type "M"<br>250 Lb Working Pressure | 1/4                  | 3/8                | 23          | .025                 | .325              | .083                     | 1000                        | .106                   | .036                         | .098                       |
|                                                       | 3/8                  | 1/2                | 23          | .025                 | .450              | .159                     | 1000                        | .144                   | .069                         | .131                       |
|                                                       | 1/2                  | 3/4                | 22          | .028                 | .569              | .254                     | 890                         | .203                   | .110                         | .164                       |
|                                                       | 3/4                  | 7/8                | 21          | .032                 | .811              | .516                     | 710                         | .328                   | .224                         | .229                       |
|                                                       | 1                    | 1 1/8              | 20          | .035                 | 1.055             | .874                     | 600                         | .464                   | .379                         | .295                       |
|                                                       | 1 1/4                | 1 3/8              | 19          | .042                 | 1.291             | 1.309                    | 590                         | .681                   | .566                         | .360                       |
|                                                       | 1 1/2                | 1 5/8              | 18          | .049                 | 1.527             | 1.831                    | 580                         | .94                    | .793                         | .425                       |
|                                                       | 2                    | 2 1/8              | 17          | .058                 | 2.009             | 3.17                     | 520                         | 1.46                   | 1.372                        | .556                       |
|                                                       | 2 1/2                | 2 3/8              | 16          | .065                 | 2.495             | 4.89                     | 470                         | 2.03                   | 2.120                        | .687                       |
|                                                       | 3                    | 3 1/8              | 15          | .072                 | 2.981             | 6.98                     | 440                         | 2.68                   | 3.020                        | .818                       |
|                                                       | 3 1/2                | 3 3/8              | 14          | .083                 | 3.459             | 9.40                     | 430                         | 3.58                   | 4.060                        | .949                       |
|                                                       | 4                    | 4 1/8              | 13          | .095                 | 3.935             | 12.16                    | 430                         | 4.66                   | 5.262                        | 1.08                       |
|                                                       | 5                    | 5 1/8              | 12          | .109                 | 4.907             | 18.91                    | 400                         | 6.66                   | 8.180                        | 1.34                       |
|                                                       | 6                    | 6 1/8              |             | .122                 | 5.881             | 27.16                    | 375                         | 8.91                   | 11.750                       | 1.60                       |
|                                                       | 8                    | 8 1/8              |             | .170                 | 7.785             | 47.6                     | 375                         | 16.46                  | 20.60                        | 2.13                       |
| HARD<br><br>Govt. Type "L"<br>250 Lb Working Pressure | 3/8                  | 1/2                | 19          | .035                 | .430              | .146                     | 1000                        | .198                   | .063                         | .131                       |
|                                                       | 1/2                  | 3/4                |             | .040                 | .545              | .233                     | 1000                        | .284                   | .101                         | .164                       |
|                                                       | 3/4                  | 7/8                |             | .045                 | .785              | .484                     | 1000                        | .454                   | .209                         | .229                       |
|                                                       | 1                    | 1 1/8              |             | .050                 | 1.025             | .825                     | 880                         | .653                   | .358                         | .295                       |
|                                                       | 1 1/4                | 1 3/8              |             | .055                 | 1.265             | 1.256                    | 780                         | .882                   | .554                         | .360                       |
|                                                       | 1 1/2                | 1 5/8              |             | .060                 | 1.505             | 1.78                     | 720                         | 1.14                   | .770                         | .425                       |
|                                                       | 2                    | 2 1/8              |             | .070                 | 1.985             | 3.094                    | 640                         | 1.75                   | 1.338                        | .556                       |
|                                                       | 2 1/2                | 2 3/8              |             | .080                 | 2.465             | 4.77                     | 580                         | 2.48                   | 2.070                        | .687                       |
|                                                       | 3                    | 3 1/8              |             | .090                 | 2.945             | 6.812                    | 550                         | 3.33                   | 2.975                        | .818                       |
|                                                       | 3 1/2                | 3 3/8              |             | .100                 | 3.425             | 9.213                    | 530                         | 4.29                   | 4.000                        | .949                       |
|                                                       | 4                    | 4 1/8              |             | .110                 | 3.905             | 11.97                    | 510                         | 5.38                   | 5.180                        | 1.08                       |
|                                                       | 5                    | 5 1/8              |             | .125                 | 4.875             | 18.67                    | 460                         | 7.61                   | 8.090                        | 1.34                       |
| HARD<br><br>Govt. Type "K"<br>400 Lb Working Pressure | 1/4                  | 3/8                | 21          | .032                 | .311              | .076                     | 1000                        | .133                   | .033                         | .098                       |
|                                                       | 3/8                  | 1/2                | 18          | .049                 | .402              | .127                     | 1000                        | .269                   | .055                         | .131                       |
|                                                       | 1/2                  | 3/4                | 18          | .049                 | .527              | .218                     | 1000                        | .344                   | .094                         | .164                       |
|                                                       | 3/4                  | 7/8                | 16          | .065                 | .745              | .436                     | 1000                        | .641                   | .189                         | .229                       |
|                                                       | 1                    | 1 1/8              | 16          | .065                 | .995              | .778                     | 780                         | .839                   | .336                         | .295                       |
|                                                       | 1 1/4                | 1 3/8              | 16          | .065                 | 1.245             | 1.217                    | 630                         | 1.04                   | .526                         | .360                       |
|                                                       | 1 1/2                | 1 5/8              | 15          | .072                 | 1.481             | 1.722                    | 580                         | 1.36                   | .745                         | .425                       |
|                                                       | 2                    | 2 1/8              | 14          | .083                 | 1.959             | 3.014                    | 510                         | 2.06                   | 1.300                        | .556                       |
|                                                       | 2 1/2                | 2 3/8              | 13          | .095                 | 2.435             | 4.656                    | 470                         | 2.92                   | 2.015                        | .687                       |
|                                                       | 3                    | 3 1/8              | 12          | .109                 | 2.907             | 6.637                    | 450                         | 4.00                   | 2.870                        | .818                       |
|                                                       | 3 1/2                | 3 3/8              | 11          | .120                 | 3.385             | 8.999                    | 430                         | 5.12                   | 3.890                        | .949                       |
|                                                       | 4                    | 4 1/8              | 10          | .134                 | 3.857             | 11.68                    | 420                         | 6.51                   | 5.05                         | 1.08                       |
|                                                       | 5                    | 5 1/8              |             | .160                 | 4.805             | 18.13                    | 400                         | 9.67                   | 7.80                         | 1.34                       |
|                                                       | 6                    | 6 1/8              |             | .192                 | 5.741             | 25.88                    | 400                         | 13.87                  | 11.20                        | 1.60                       |
| SOFT<br><br>Govt. Type "K"<br>250 Lb Working Pressure | 1/4                  | 3/8                | 21          | .032                 | .311              | .076                     | 1000                        | .133                   | .033                         | .098                       |
|                                                       | 3/8                  | 1/2                | 18          | .049                 | .402              | .127                     | 1000                        | .269                   | .055                         | .131                       |
|                                                       | 1/2                  | 3/4                | 18          | .049                 | .527              | .218                     | 1000                        | .344                   | .094                         | .164                       |
|                                                       | 3/4                  | 7/8                | 16          | .065                 | .745              | .436                     | 1000                        | .641                   | .189                         | .229                       |
|                                                       | 1                    | 1 1/8              | 16          | .065                 | .995              | .778                     | 780                         | .839                   | .336                         | .295                       |
|                                                       | 1 1/4                | 1 3/8              | 16          | .065                 | 1.245             | 1.217                    | 630                         | 1.04                   | .526                         | .360                       |
|                                                       | 1 1/2                | 1 5/8              | 15          | .072                 | 1.481             | 1.722                    | 580                         | 1.36                   | .745                         | .425                       |
|                                                       | 2                    | 2 1/8              | 14          | .083                 | 1.959             | 3.014                    | 510                         | 2.06                   | 1.300                        | .556                       |
|                                                       | 2 1/2                | 2 3/8              | 13          | .095                 | 2.435             | 4.656                    | 470                         | 2.92                   | 2.015                        | .687                       |
|                                                       | 3                    | 3 1/8              | 12          | .109                 | 2.907             | 6.637                    | 450                         | 4.00                   | 2.870                        | .818                       |
|                                                       | 3 1/2                | 3 3/8              | 11          | .120                 | 3.385             | 8.999                    | 430                         | 5.12                   | 3.89                         | .949                       |
|                                                       | 4                    | 4 1/8              | 10          | .134                 | 3.857             | 11.68                    | 420                         | 6.51                   | 5.05                         | 1.08                       |
|                                                       | 5                    | 5 1/8              |             | .160                 | 4.805             | 18.13                    | 400                         | 9.67                   | 7.80                         | 1.34                       |
|                                                       | 6                    | 6 1/8              |             | .192                 | 5.741             | 25.88                    | 400                         | 13.87                  | 11.2                         | 1.60                       |

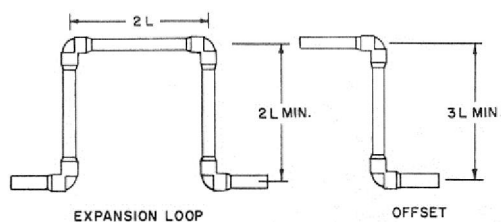
\*To change "Wt of Water in Tube (lb/ft)" to "Gallons of Water in Tube (gal/ft)," divide values in table by 8.34.

جدول ۵-۶ مقدار انبساط حرارتی لوله‌های فولادی و تیوب‌های مسی

| TEMP RANGE (F) | COPPER TUBING | STEEL PIPE |
|----------------|---------------|------------|
| 0              | 0             | 0          |
| 50             | 0.56          | 0.37       |
| 100            | 1.12          | 0.76       |
| 150            | 1.69          | 1.15       |
| 200            | 2.27          | 1.55       |
| 250            | 2.85          | 1.96       |
| 300            | 3.45          | 2.38       |
| 350            | 4.05          | 2.81       |
| 400            | 4.65          | 3.25       |
| 450            | 5.27          | 3.70       |
| 500            | 5.89          | 4.15       |

**NOTE:** Above data are based on expansion from 0°F but are sufficiently accurate for all other temperature ranges.

جدول ۶-۶ اندازه حلقه و انحراف انبساطی برای تیوب‌های مسی



| TUBE<br>OD<br>(in.) | LENGTH—L (INCHES)<br>For Travel of |    |     |    |     |    |    |    |
|---------------------|------------------------------------|----|-----|----|-----|----|----|----|
|                     | ½"                                 | 1" | 1½" | 2" | 2½" | 3" | 4" | 6" |
| ¾                   | 10                                 | 15 | 19  | 22 | 25  | 27 | 30 | 38 |
| 1¼                  | 11                                 | 16 | 20  | 24 | 27  | 29 | 33 | 42 |
| 1½                  | 11                                 | 17 | 21  | 26 | 29  | 32 | 36 | 47 |
| 1¾                  | 12                                 | 18 | 23  | 28 | 31  | 35 | 39 | 51 |
| 2¼                  | 14                                 | 20 | 25  | 31 | 34  | 38 | 44 | 57 |
| 2½                  | 16                                 | 22 | 27  | 32 | 37  | 42 | 47 | 62 |
| 3¼                  | 18                                 | 24 | 30  | 34 | 39  | 45 | 53 | 67 |
| 4¼                  | 20                                 | 28 | 34  | 39 | 44  | 48 | 58 | 75 |
| 5¼                  | 22                                 | 31 | 39  | 44 | 49  | 54 | 62 | 78 |
| 6¼                  | 24                                 | 34 | 42  | 48 | 54  | 59 | 68 | 83 |

جدول ۷-۶ فواصل توصیه شده برای لوله‌های فولادی با ضخامت استاندارد در شرایط پر از آب

| NOMINAL PIPE SIZE<br>(in.) | DISTANCE BETWEEN SUPPORTS<br>(ft) |
|----------------------------|-----------------------------------|
| ¾ - 1¼                     | 8                                 |
| 1½ - 2½                    | 10                                |
| 3 - 3½                     | 12                                |
| 4 - 6                      | 14                                |
| 8 - 12                     | 16                                |
| 14 - 24                    | 20                                |

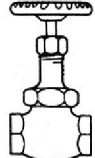
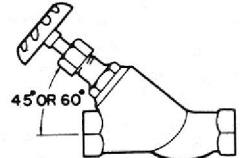
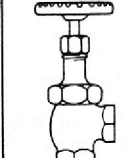
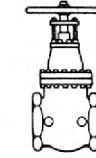
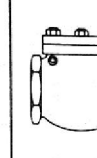
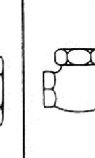
جدول ۸-۶ فواصل توصیه شده برای تیوب‌های مسی در شرایط پر از آب

| TUBE OD<br>(in.) | DISTANCE BETWEEN SUPPORTS<br>(ft) |
|------------------|-----------------------------------|
| ¾                | 6                                 |
| ¾ - 1¼           | 8                                 |
| 1½ - 2½          | 10                                |
| 2½ - 5¼          | 12                                |
| 6¼ - 8¼          | 14                                |

## جدول ٩-٦ طول معادل اتصالات مختلف

| NOMINAL<br>PIPE<br>OR<br>TUBE<br>SIZE<br>(in.) | SMOOTH BEND ELBOWS                                                                |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   | SMOOTH BEND TEES                                                                     |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                | 90°<br>Std*                                                                       | 90° Long<br>Red.†                                                                 | 90°<br>Street*                                                                    | 45°<br>Std*                                                                       | 45°<br>Street*                                                                    | 180°<br>Std*                                                                      | Flow-Thru<br>Branch                                                                  | Straight-Thru Flow                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |
|                                                |  |  |  |  |  |  |                                                                                      | No<br>Reduction                                                                       | Reduced<br>¼                                                                          | Reduced<br>½                                                                          |
| ¾                                              | 1.4                                                                               | 0.9                                                                               | 2.3                                                                               | 0.7                                                                               | 1.1                                                                               | 2.3                                                                               |    |    |    |    |
| 1                                              | 1.6                                                                               | 1.0                                                                               | 2.5                                                                               | 0.8                                                                               | 1.3                                                                               | 2.5                                                                               |    |    |    |    |
| 1½                                             | 2.0                                                                               | 1.4                                                                               | 3.2                                                                               | 0.9                                                                               | 1.6                                                                               | 3.2                                                                               |    |    |    |    |
| 2                                              | 2.6                                                                               | 1.7                                                                               | 4.1                                                                               | 1.3                                                                               | 2.1                                                                               | 4.1                                                                               |    |    |    |    |
| 2½                                             | 3.3                                                                               | 2.3                                                                               | 5.6                                                                               | 1.7                                                                               | 3.0                                                                               | 5.6                                                                               |    |    |    |    |
| 3                                              | 4.0                                                                               | 2.6                                                                               | 6.3                                                                               | 2.1                                                                               | 3.4                                                                               | 6.3                                                                               |    |    |    |    |
| 4                                              | 5.0                                                                               | 3.3                                                                               | 8.2                                                                               | 2.6                                                                               | 4.5                                                                               | 8.2                                                                               |    |    |    |    |
| 5                                              | 6.0                                                                               | 4.1                                                                               | 10                                                                                | 3.2                                                                               | 5.2                                                                               | 10                                                                                |   |  |  |  |
| 6                                              | 7.5                                                                               | 5.0                                                                               | 12                                                                                | 4.0                                                                               | 6.4                                                                               | 12                                                                                |  |  |  |  |
| 8                                              | 9.0                                                                               | 5.9                                                                               | 15                                                                                | 4.7                                                                               | 7.3                                                                               | 15                                                                                |  |  |  |  |
| 10                                             | 10                                                                                | 6.7                                                                               | 17                                                                                | 5.2                                                                               | 8.5                                                                               | 17                                                                                |  |  |  |  |
| 12                                             | 13                                                                                | 8.2                                                                               | 21                                                                                | 6.5                                                                               | 11                                                                                | 21                                                                                |  |  |  |  |
| 14                                             | 16                                                                                | 10                                                                                | 25                                                                                | 7.9                                                                               | 13                                                                                | 25                                                                                |  |  |  |  |
| 16                                             | 20                                                                                | 13                                                                                | —                                                                                 | 10                                                                                | —                                                                                 | 33                                                                                |  |  |  |  |
| 18                                             | 25                                                                                | 16                                                                                | —                                                                                 | 13                                                                                | —                                                                                 | 42                                                                                |  |  |  |  |
| 20                                             | 30                                                                                | 19                                                                                | —                                                                                 | 16                                                                                | —                                                                                 | 50                                                                                |  |  |  |  |
| 24                                             | 34                                                                                | 23                                                                                | —                                                                                 | 18                                                                                | —                                                                                 | 55                                                                                |  |  |  |  |
| 24                                             | 38                                                                                | 26                                                                                | —                                                                                 | 20                                                                                | —                                                                                 | 62                                                                                |  |  |  |  |
| 24                                             | 42                                                                                | 29                                                                                | —                                                                                 | 23                                                                                | —                                                                                 | 70                                                                                |  |  |  |  |
| 24                                             | 50                                                                                | 33                                                                                | —                                                                                 | 26                                                                                | —                                                                                 | 81                                                                                |  |  |  |  |
| 24                                             | 60                                                                                | 40                                                                                | —                                                                                 | 30                                                                                | —                                                                                 | 94                                                                                |  |  |  |  |

## جدول ١٠-٦ طول معادل شیرآلات مختلف

| NOMINAL<br>PIPE<br>OR<br>TUBE<br>SIZE<br>(in.) | GLOBE†                                                                              | 60° - Y                                                                             |     | 45° - Y                                                                             | ANGLE†                                                                               | GATE††                                                                                | SWING CHECK‡                                                                          | LIFT CHECK                                                                            |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                |  |  |     |  |  |  |  |  |
| ¾                                              | 17                                                                                  | 8                                                                                   | 6   | 6                                                                                   | 0.6                                                                                  | 5                                                                                     | Globe &<br>Vertical<br>Lift<br>Same as<br>Globe<br>Valve**                            |                                                                                       |
| 1                                              | 18                                                                                  | 9                                                                                   | 7   | 7                                                                                   | 0.7                                                                                  | 6                                                                                     |                                                                                       |                                                                                       |
| 1½                                             | 22                                                                                  | 11                                                                                  | 9   | 9                                                                                   | 0.9                                                                                  | 8                                                                                     |                                                                                       |                                                                                       |
| 2                                              | 29                                                                                  | 15                                                                                  | 12  | 12                                                                                  | 1.0                                                                                  | 10                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |
| 2½                                             | 38                                                                                  | 20                                                                                  | 15  | 15                                                                                  | 1.5                                                                                  | 14                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |
| 3                                              | 43                                                                                  | 24                                                                                  | 18  | 18                                                                                  | 1.8                                                                                  | 16                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |
| 4                                              | 55                                                                                  | 30                                                                                  | 24  | 24                                                                                  | 2.3                                                                                  | 20                                                                                    | Angle Lift<br>Same as<br>Angle<br>Valve                                               |                                                                                       |
| 5                                              | 69                                                                                  | 35                                                                                  | 29  | 29                                                                                  | 2.8                                                                                  | 25                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |
| 6                                              | 84                                                                                  | 43                                                                                  | 35  | 35                                                                                  | 3.2                                                                                  | 30                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |
| 8                                              | 100                                                                                 | 50                                                                                  | 41  | 41                                                                                  | 4.0                                                                                  | 35                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |
| 10                                             | 120                                                                                 | 58                                                                                  | 47  | 47                                                                                  | 4.5                                                                                  | 40                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |
| 12                                             | 140                                                                                 | 71                                                                                  | 58  | 58                                                                                  | 6                                                                                    | 50                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |
| 14                                             | 170                                                                                 | 88                                                                                  | 70  | 70                                                                                  | 7                                                                                    | 60                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |
| 16                                             | 220                                                                                 | 115                                                                                 | 85  | 85                                                                                  | 9                                                                                    | 80                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |
| 18                                             | 280                                                                                 | 145                                                                                 | 105 | 105                                                                                 | 12                                                                                   | 100                                                                                   |                                                                                       |                                                                                       |
| 20                                             | 320                                                                                 | 165                                                                                 | 130 | 130                                                                                 | 13                                                                                   | 120                                                                                   |                                                                                       |                                                                                       |
| 24                                             | 360                                                                                 | 185                                                                                 | 155 | 155                                                                                 | 15                                                                                   | 135                                                                                   |                                                                                       |                                                                                       |
| 24                                             | 410                                                                                 | 210                                                                                 | 180 | 180                                                                                 | 17                                                                                   | 150                                                                                   |                                                                                       |                                                                                       |
| 24                                             | 460                                                                                 | 240                                                                                 | 200 | 200                                                                                 | 19                                                                                   | 165                                                                                   |                                                                                       |                                                                                       |
| 24                                             | 520                                                                                 | 275                                                                                 | 235 | 235                                                                                 | 22                                                                                   | 200                                                                                   |                                                                                       |                                                                                       |
| 24                                             | 610                                                                                 | 320                                                                                 | 265 | 265                                                                                 | 25                                                                                   | 240                                                                                   |                                                                                       |                                                                                       |

\*Losses are for all valves in fully open position.

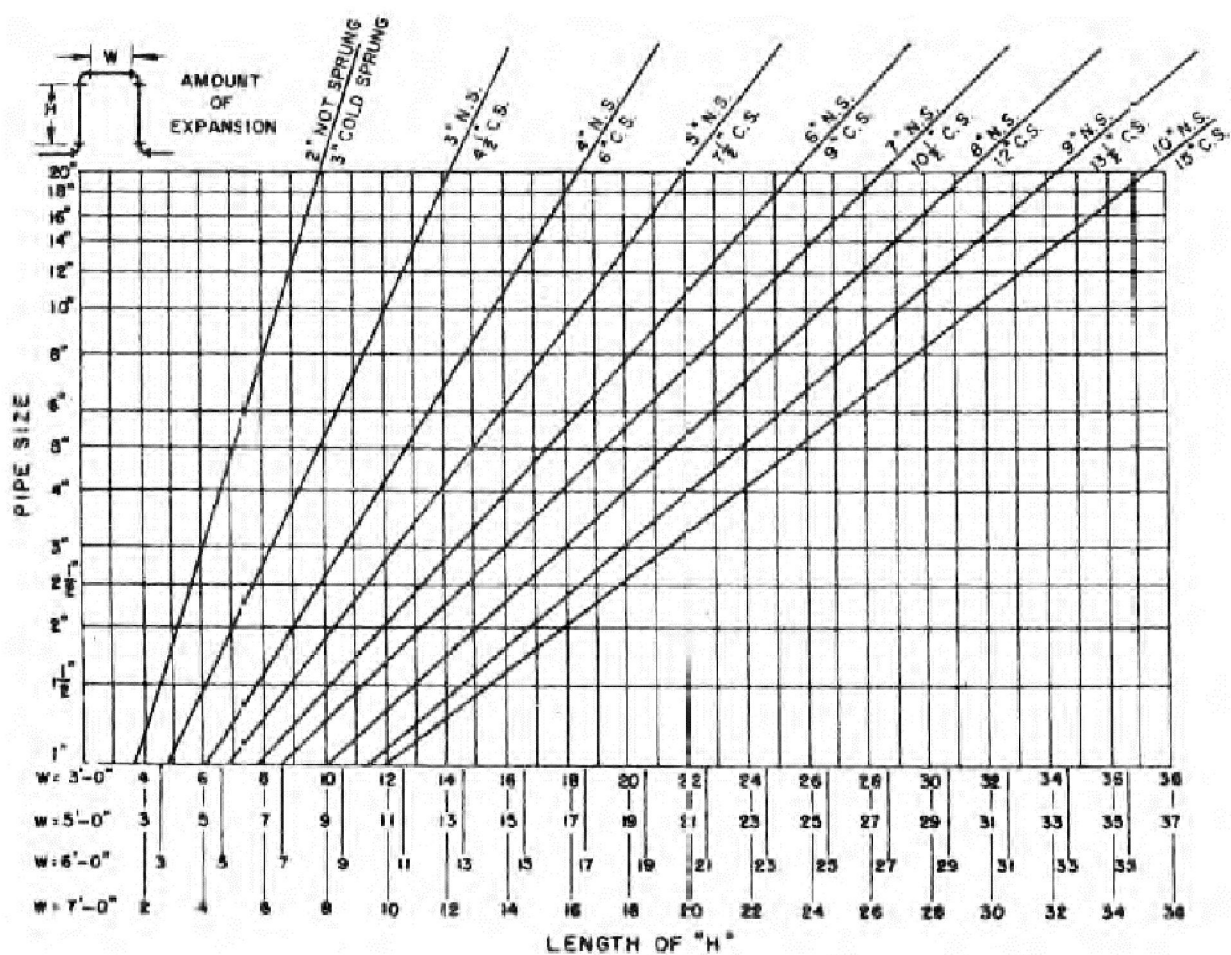
†These losses do not apply to valves with needle point type seats.

‡Losses also apply to the in-line, ball type check valve.

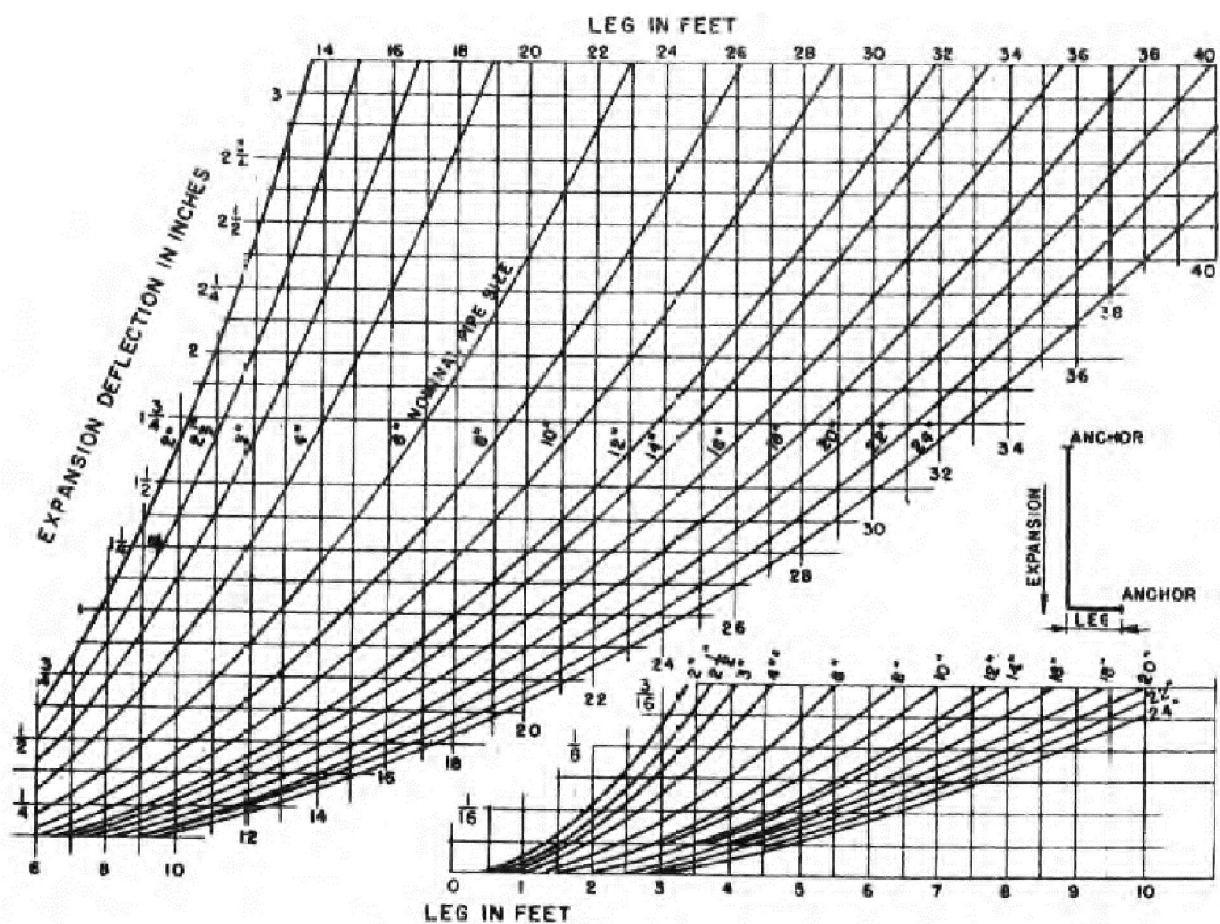
\*\*For "Y" pattern globe lift check valve with seat approximately equal to the nominal pipe diameter, use values of 60° "Y" valve for loss.

††Regular and short pattern plug cock valves, when fully open, have same loss as gate valve. For valve losses of short pattern plug cocks above 6 ins. check manufacturer.

نمودار ۱-۷ اندازه حلقه انبساطی برای لوله‌های فولادی



نمودار ۲-۷ اندازه انحراف انبساطی برای لوله‌های فولادی



## فصل هفتم

### سیستم گرمایش با آب گرم

سیستم‌های آبی، متداول‌ترین سیستم تهویه مطبوع به ویژه جهت گرمایش محسوب می‌گردند. در این فصل روش‌های طراحی سیستم گرمایش با آب گرم در کاربردهای تهویه مطبوع مورد بررسی قرار گرفته و اگرچه مطالب ارائه شده بیشتر در مورد سیستم‌های گرمایشی است، اصول طراحی سیستم‌های سرمایش با آب در فصل یازدهم نیز با آن مشابه می‌باشد.

#### ۷-۱. تقسیم‌بندی سیستم‌های لوله‌کشی آب

انواع شبکه لوله‌کشی آب از نظر تماس با اتمسفر عبارت است از:

۱. سیستم‌های باز: در این گونه شبکه‌ها جریان آب وارد مخزنی می‌شود که در مجاورت اتمسفر قرار دارد. شبکه لوله‌کشی برج خنک کن و ایرواشر نمونه‌هایی از سیستم لوله‌کشی باز محسوب می‌شود.
۲. سیستم‌های بسته: در این شبکه‌ها مسیر آب بسته بوده و در هیچ نقطه‌ای به اتمسفر راه نداشته و به جای آن دارای منبع انبساط هستند.

انواع شبکه‌های لوله‌کشی از نظر نحوه آرایش لوله‌های رفت و برگشت عبارت است از:

۱. سیستم‌های یک لوله‌ای: همان گونه که در شکل ۷-۱ نشان داده شده است، در شبکه‌های یک لوله‌ای از لوله‌ای مشترک به منظور انتقال آب به وسایل گرمایشی و برگشت آب به دیگ استفاده می‌شود. در چنین سیستمی قطر لوله اصلی در تمام طول مسیر یکسان بوده و از آنجا که دمای آب در طول مسیر به تدریج کاهش می‌یابد، وسایل گرمایشی دورتر باید بزرگتر در نظر گرفته شود. به دلیل کاهش دمای آب در شبکه و نیز لزوم متوازن کردن سیستم، امروزه این نوع شبکه به ندرت و تنها در ساختمان‌های ساده و کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد.
۲. سیستم‌های دو لوله‌ای: برخلاف شبکه‌های یک لوله‌ای، در این گونه شبکه‌ها رفت آب به وسایل گرمایشی و برگشت آب به دیگ، از طریق لوله‌هایی مجزا صورت می‌گیرد.

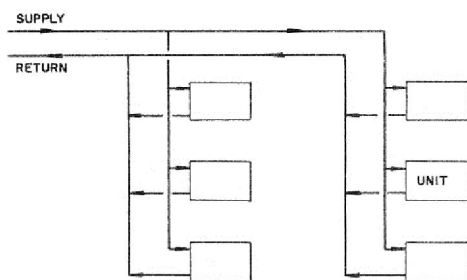
انواع سیستم‌های لوله‌کشی دو لوله‌ای از نظر نحوه آرایش لوله برگشت عبارت است از:

۱. لوله‌کشی با برگشت مستقیم: مطابق شکل ۷-۲، در شبکه لوله‌کشی با برگشت مستقیم لوله برگشت آب مستقیماً به دیگ برمی‌گردد. هزینه کمتر، سادگی اجرا و کاهش فضای لازم جهت لوله‌ها از مزایای اصلی این سیستم نسبت به برگشت معکوس محسوب می‌شود. با این وجود از آنجا که طول مسیر لوله‌کشی برای وسایل گرمایشی مختلف متفاوت است، چنین سیستمی ذاتاً متوازن نبوده و باید با استفاده از زانو قفلی در خروجی وسایل و شیر فلکه‌های کف فلزی در مسیر لوله برگشت، متوازن گردد. در غیر این صورت به دلیل پایین بودن میزان افت فشار در وسایل گرمایشی نزدیک به دیگ، گذر حجمی آب در این وسایل بیشتر شده و سیستم جوابگوی نیازهای طراحی نخواهد بود. با این وجود چنانچه وسایل گرمایشی مختلف دارای اختلاف افت فشار قابل توجه بوده و یا شبکه به هر دلیل نیازمند تنظیم جریان باشد، استفاده از برگشت مستقیم اقتصادی می‌باشد. لازم به ذکر است که لوله‌کشی شبکه‌های باز حتماً باید به صورت مستقیم اجرا گردد.

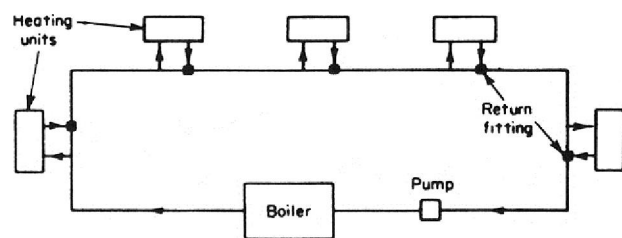


۲. لوله‌کشی با برگشت معکوس: شکل ۷-۳ آرایش لوله برگشت در شبکه‌های لوله‌کشی با برگشت معکوس را نشان می‌دهد. چنانچه افت فشار در وسایل گرمایشی مختلف تقریباً یکسان باشد، استفاده از روش برگشت معکوس توصیه می‌شود. در این حالت طول مسیر لوله‌کشی برای تمامی وسایل یکسان بوده و بنابراین شبکه به ندرت نیازمند تنظیم خواهد بود. از معایب این نوع شبکه نسبت به شبکه با برگشت مستقیم افزایش هزینه، مشکل‌تر بودن اجرا و افزایش فضای لازم برای لوله‌هاست. همان‌طور که پیش از این نیز ذکر شد از آنجا که در سیستم‌های باز فشار جریان در نقاط باز برابر فشار اتمسفر می‌باشد، استفاده از برگشت معکوس نامناسب بوده و مستلزم لوله‌کشی غیر ضروری است.

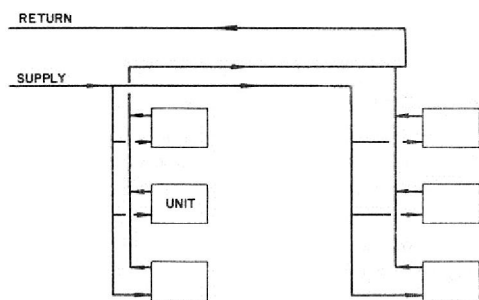
۳. لوله‌کشی مختلط: همان‌طور که در شکل ۷-۴ نشان داده شده است، این سیستم در حقیقت ترکیبی از شبکه با برگشت مستقیم و برگشت معکوس است. چنانچه طول مسیر لوله‌کشی در طبقات (رایزرها) نسبت به کل لوله‌کشی ناچیز باشد، می‌توان لوله‌کشی در طبقات (رایزرها) را به صورت مستقیم و در رایزرها (طبقات) را به صورت معکوس طراحی نمود به نحوی که توازن کل شبکه حفظ شود. شبکه‌ای را که افت فشار برای تمام وسایل تقریباً یکسان بوده و اختلاف آنها از حدود ۵ تا ۱۰ درصد بیشتر نباشد، متعادل گویند.



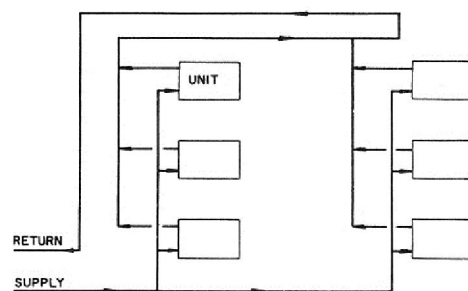
شکل ۷-۲ شبکه دو لوله‌ای یا برگشت مستقیم



شکل ۷-۱ شبکه یک لوله‌ای



شکل ۷-۴ شبکه دو لوله‌ای یا برگشت مختلط



شکل ۷-۳ شبکه دو لوله‌ای یا برگشت معکوس

## ۷-۲. طراحی شبکه لوله‌کشی آب گرم

افت فشار سیال در طول مسیر لوله‌کشی تابع عوامل زیر است:

۱. نوع سیال
۲. سرعت سیال
۳. قطر لوله
۴. زبری سطح داخلی لوله
۵. طول لوله

روش کلی جهت محاسبه میزان افت فشار، استفاده از معادله دارسی- ویسباخ و نمودار مودی است. با این وجود به دلیل طولانی و مشکل بودن این روش، معمولاً در تأسیسات از نمودارها و جداولی که به طور مشخص برای سیالی خاص استخراج شده است، استفاده می‌گردد. نمودارهای ۷-۱ تا ۷-۳ ضریب افت فشار آب در لوله‌های فولادی Sch. ۴۰ و تیوب‌های مسی را نشان می‌دهد. اثرات زبری سطح داخلی لوله در نمودارهای فوق لحاظ شده و لذا ضریب افت فشار تنها تابع سرعت آب و قطر لوله می‌باشد. در

نمودارهای ۷-۱ تا ۷-۳ چهار مشخصه اصلی سیستم شامل گذر حجمی آب، قطر لوله، سرعت آب و ضریب افت فشار مشخص شده است. با تعیین دو مورد از عوامل فوق، دو مورد دیگر به سادگی و با استفاده از نمودار محاسبه می‌گردد. معمولاً گذر حجمی آب با توجه به نیاز شبکه مشخص بوده و از آنجا که هدف تعیین قطر لوله‌هاست، از بین سرعت آب و ضریب افت فشار یکی باید معیار طراحی قرار گیرد.

ایجاد سر و صدا، سایش و نیز هزینه اولیه و کارکرد سیستم، حداقل و حداکثر سرعت در شبکه‌های لوله‌کشی را محدود می‌کند. چنانچه اندازه لوله‌ها بیش از حد کوچک باشد، سرعت زیاد شده و باعث افزایش سر و صدا، سایش و هزینه پمپاژ می‌گردد. در مقابل بزرگ بودن بیش از اندازه لوله‌ها نیز هزینه اولیه شبکه را افزایش می‌دهد. بنابراین اندازه لوله‌ها باید به نحوی تعیین شود که هزینه اولیه سیستم را کاهش داده و از اثرات مخرب سرعت بالای آب در شبکه نیز جلوگیری کند. معمولاً گستره مناسب سرعت آب در تأسیسات ساختمانی بین ۱ تا ۵ fps بوده و برای مکان‌هایی مانند سالن‌های ورزشی و کارخانجات که سر و صدا اهمیت چندانی ندارد می‌تواند تا حداکثر تا ۱۰ fps افزایش یابد.

حتی در صورتی که سرعت جریان آب در محدوده مناسب قرار داشته باشد، انتخاب ضریب افت فشار بالا موجب افزایش هزینه پمپاژ می‌شود. در مقابل پایین بودن بیش از حد ضریب افت فشار نیز موجب بزرگ شدن اندازه لوله‌ها و در نتیجه افزایش هزینه اولیه شبکه می‌گردد. به این ترتیب باید توازنی منطقی بین افزایش هزینه کارکرد ناشی از افت فشار بالا و افزایش هزینه اولیه ناشی از افت فشار پایین وجود داشته باشد.

متداول‌ترین روش طراحی، استفاده از روش ضریب افت فشار ثابت است که در آن از ضریب افت فشاری ثابت برای تعیین اندازه تمام شاخه‌های مسیر استفاده می‌شود. استفاده از روش ضریب افت فشار ثابت دو مزیت عمده دارد:

۱. با مشخص بودن طول معادل مسیر و ضریب افت فشار، افت فشار لوله‌کشی به سادگی قابل محاسبه می‌باشد.
  ۲. چنانچه سرعت در ابتدای شبکه در محدوده مجاز قرار داشته باشد، در انشعابات بدلیل کاهش گذر حجمی، سرعت جریان کاهش یافته و لذا نیازی به بررسی حد سرعت در آنها نخواهد بود.
- گستره مناسب ضریب افت فشار برای کاربردهای تأسیساتی، معمولاً بین ۱ تا ۴ ft.wt. به ازای هر ۱۰۰ فوت طول معادل لوله بوده و استفاده از ضریب افت فشار ۲/۵ ft.wt. به ازای هر ۱۰۰ فوت طول معادل لوله، برای انجام محاسبات مناسب است. چنانچه سرعتی که با استفاده از گذر حجمی جریان و ضریب افت فشار ۲/۵ ft.wt. به ازای هر ۱۰۰ فوت طول لوله در ابتدای شبکه به دست می‌آید، در محدوده مجاز باشد، قطر بدست آمده قابل قبول بوده و در غیر این صورت سرعت ۵ fps باید مبنای انتخاب ضریب افت فشار شبکه قرار گیرد. لازم به ذکر است حداقل قطر لوله‌های فولادی در شبکه‌های لوله‌کشی تأسیساتی " ۱/۲ می‌باشد.

بنابراین مراحل طراحی و محاسبه شبکه لوله‌کشی آب عبارت است از:

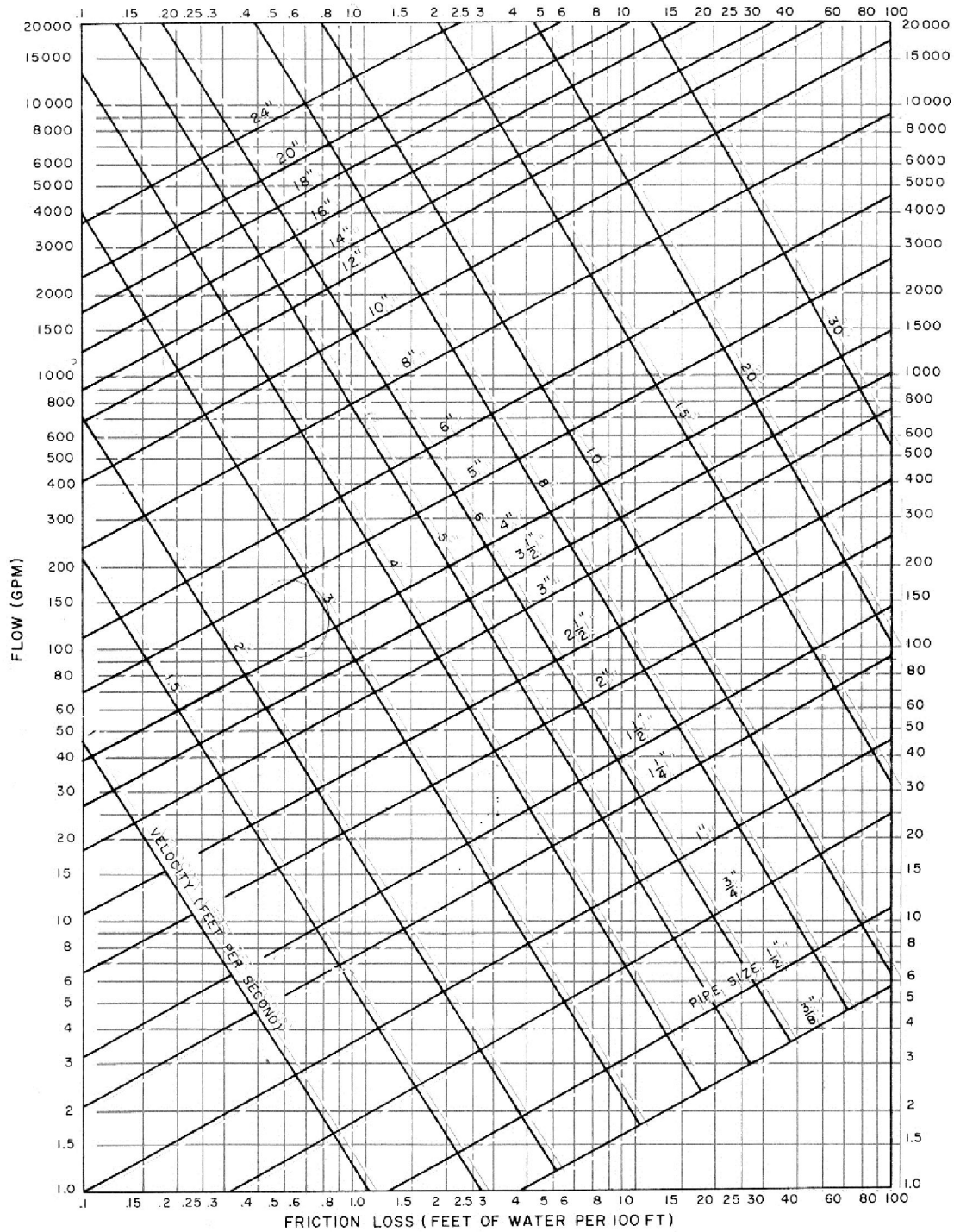
۱. تعیین محل وسایل گرمایشی و مسیر لوله‌کشی ساختمان روی نقشه پلان: تعیین محل وسایل گرمایشی با توجه به نکات ارائه شده در فصل ۵ صورت می‌گیرد. در انتخاب مسیر لوله‌کشی به جای لوله‌های کف خواب باید حتی‌الامکان از رایزر استفاده نمود.
۲. انتخاب ضریب افت فشار مناسب
۳. تعیین اندازه لوله‌ها: با مشخص بودن ضریب افت فشار و گذر حجمی جریان، می‌توان اندازه لوله‌های شبکه در شاخه‌های مختلف را از نمودار مناسب محاسبه نمود.
۴. تعیین افت فشار کل شبکه: با مشخص بودن طول معادل مسیر لوله‌کشی، ضریب افت فشار و افت فشار در وسایل گرمایشی، می‌توان افت فشار کل شبکه را محاسبه نمود.

### ۷-۳. نکات اجرای شبکه لوله‌کشی آب گرم

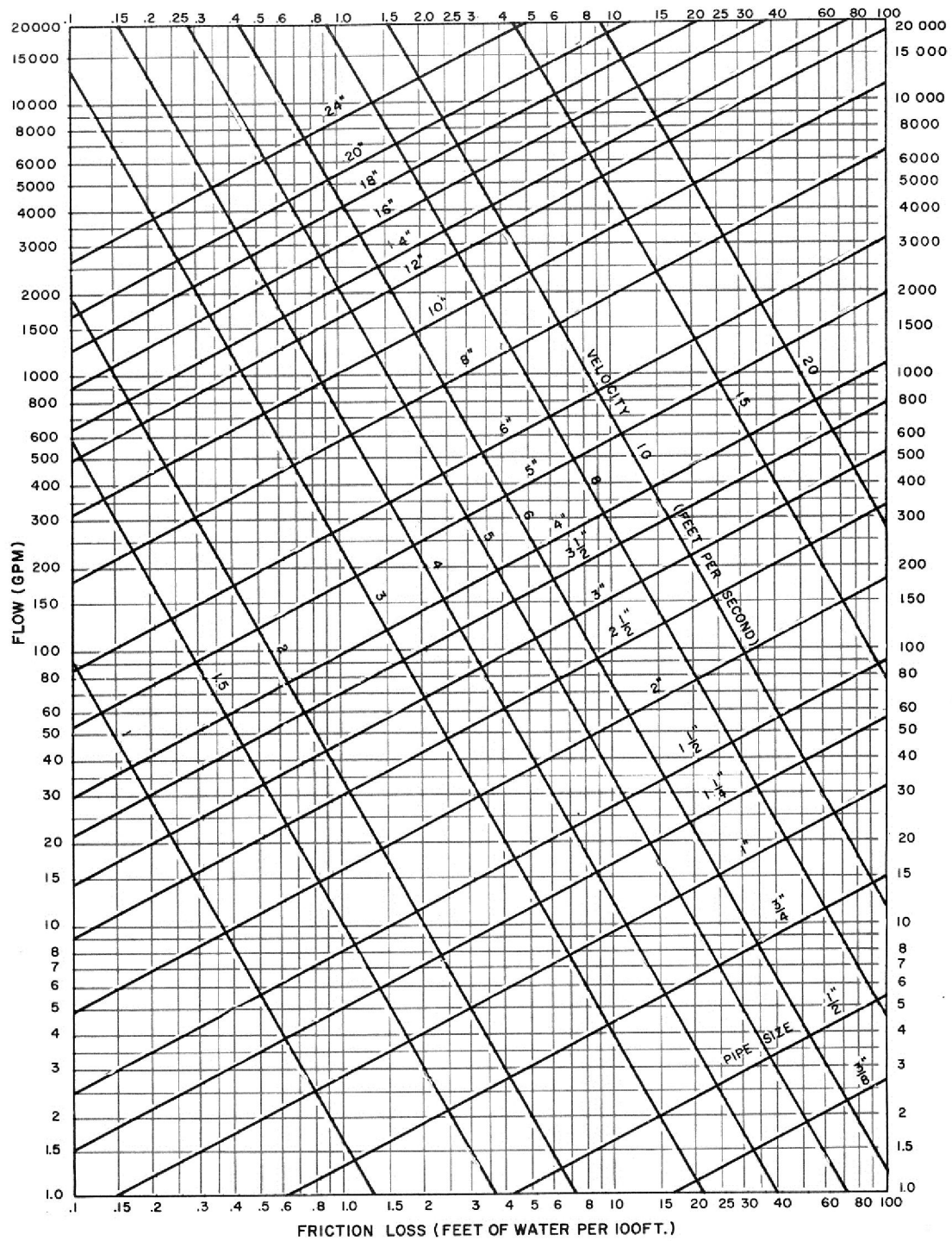
۱. جهت سهولت هواگیری سیستم و نیز تخلیه مناسب آب لوله‌ها در موارد لازم، تمامی لوله‌های افقی باید شیب ملایمی به طرف موتورخانه داشته باشد.

۲. برای هواگیری سیستم در بالای تمام وسایل گرمایشی و نیز در مرتفع‌ترین نقاط شبکه لوله‌کشی باید شیر هواگیری نصب گردد.
۳. برای جلوگیری از تغییر شکل لوله‌های افقی با طول بیش از ۳۰ فوت در نتیجه تغییرات دمایی، باید از اتصالات انبساطی استفاده نمود.
۴. جنس لوله‌های شبکه گرمایش با آب از فولاد سیاه بوده و برای جلوگیری از خوردگی و نیز کاهش اتلافات حرارتی باید حداقل با استفاده از ۱ اینچ پشم شیشه عایق‌پیچی گردد.
۵. جهت اتصال لوله‌ها تا قطر ۲ از وصله‌های رزوه‌ای و برای اندازه‌های بالاتر از اتصال فلانجی استفاده می‌شود.
۶. در ورودی انشعاب واحدهای مجزا و نیز رایزرها نصب شیر فلکه ضروری است.
۷. تمامی تجهیزات مانند پمپ‌ها، دیگ، مبدل‌های حرارتی و غیره باید با استفاده از شیر فلکه به شبکه متصل شده و دارای شیر تخلیه باشند.

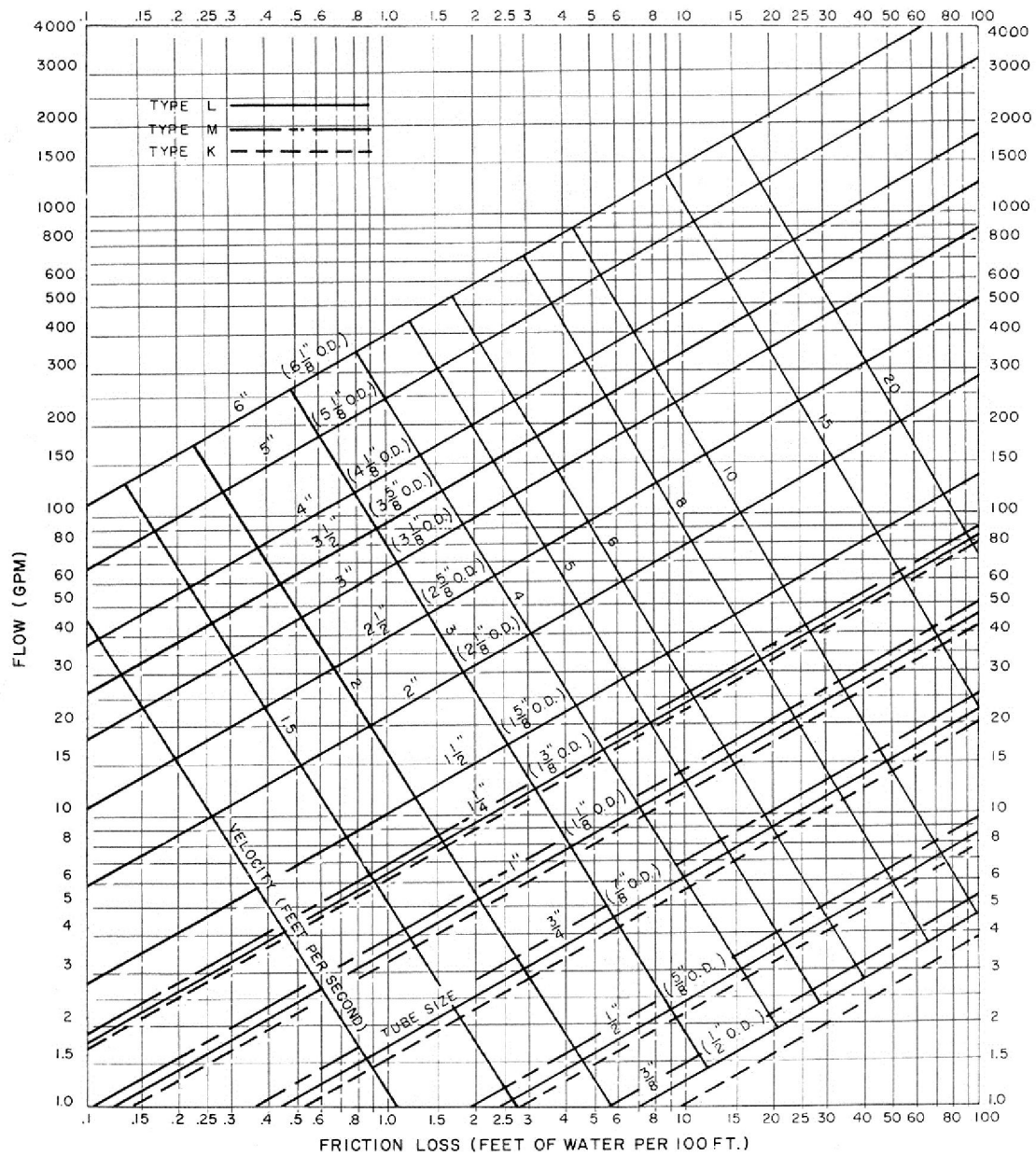
نمودار ۱-۷ افت فشار اصطکاکی آب در سیستم‌های بسته برای لوله‌های فولادی Sch.۴۰



نمودار ۷-۲ افت فشار اصطکاکی آب در سیستم‌های باز برای لوله‌های فولادی Sch. ۴۰



### نمودار ۳-۷ فشار آب در سیستم‌های بسته و باز برای تیوب‌های مسی



## فصل هشتم

### موتورخانه گرمایشی

برای تأمین بار گرمایشی ساختمان و نیز بار آب گرم مصرفی معمولاً از موتورخانه مرکزی استفاده می‌شود. در این فصل تجهیزات موتورخانه گرمایشی و نحوه محاسبه ظرفیت و انتخاب آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۸-۱. آب گرم مصرفی

همان‌گونه که ذکر شد، علاوه بر بار گرمایشی ساختمان، بار آب گرم مصرفی نیز می‌بایست بوسیله موتورخانه تأمین گردد. هر چند دمای آب گرم با توجه به مورد مصرف آن تا حدی متفاوت است، جهت محاسبه بار آب گرم مصرفی در ساختمان‌های مسکونی و تجاری اغلب دمای آب ورودی برابر  $60^{\circ}\text{F}$  و دمای آب گرم خروجی برابر  $140^{\circ}\text{F}$  در نظر گرفته می‌شود.

میزان آب گرم مصرفی برای مصارف مختلف در جدول ۸-۱ ارائه شده است. با این وجود میزان مصرف آب گرم در تمام ساعات یکسان نبوده و به علاوه تمامی وسایل بهداشتی به طور همزمان مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. برای در نظر گرفتن موارد فوق، از مفهوم ضریب تقاضا استفاده می‌شود. ضریب تقاضا به نوع کاربری ساختمان بستگی داشته و با ضرب آن در میزان آب گرم مصرفی، میزان واقعی مصرف آب گرم بدست می‌آید. ضریب تقاضا برای کاربردهای مختلف نیز در جدول ۸-۱ داده شده است. بار آب گرم مصرفی با توجه به میزان واقعی مصرف آب گرم تعیین شده و عبارت است از:

$$q = 8.33 \times \text{MPD} \times \Delta T \quad (8-1)$$

که در آن

$q$  بار آب گرم مصرفی برحسب Btu/hr

MPD محتمل‌ترین میزان مصرف آب گرم برحسب GPH

$\Delta T$  اختلاف دمای آب ورودی و خروجی برحسب  $^{\circ}\text{F}$

به منظور تهیه آب گرم در موتورخانه از منبع دو جداره یا منبع کویل‌دار استفاده می‌شود. منبع دو جداره از دو استوانه تو در تو تشکیل شده است که آب داغ تولیدی در دیگ وارد جدار بین دو استوانه شده و آب ذخیره شده در منبع را گرم می‌کند. جنس این منابع از آهن گالوانیزه بوده و در ظرفیت‌های مختلف تا ۲۰۰۰ لیتر تولید می‌گردد. در ظرفیت‌های بالا قطر منابع دو جداره بیش از حد زیاد شده و لذا آب ذخیره شده خوب گرم نمی‌شود. در چنین شرایطی منابع کویل‌دار مورد استفاده قرار می‌گیرد. منبع کویل‌دار یک مبدل حرارتی از نوع پوسته-لوله‌ای بوده و با جریان آب داغ در کویل، آب داخل منبع گرم می‌شود. منابع کویلی در ظرفیت‌هایی تا ۳۰۰۰ لیتر تولید می‌گردد. در صورت امکان منبع دو جداره باید حدود ۵/۰ متر بالاتر از دیگ نصب شود تا در صورت خاموش بودن پمپ سیرکولاتور آب بتواند تحت نیروی ترموسیفون در منبع گردش کند.

حجم منبع ذخیره باید به اندازه‌ای باشد که مصرف یک ساعت آب گرم ساختمان را تأمین نماید. نکته مهم در تعیین ظرفیت منابع ذخیره آب گرم آنست که معمولاً پس از مصرف درصدی از آب گرم ذخیره شده، بقیه آب منبع سرد خواهد شد. بنابراین لازم است حجم منبع آب گرم را مقداری بیش از میزان واقعی مصرف در نظر گرفت. این مقدار با ضریب ذخیره مخزن مشخص شده و درصد آن برای ساختمان‌های مختلف در جدول ۸-۱ مشخص شده است. در تأسیسات بزرگ بهتر است بجای یک منبع از دو یا چند منبع ذخیره آب گرم استفاده نمود تا در صورت تعمیرات، نیاز ساختمان به آب گرم تا حدودی تأمین گردد.

## ۸-۲. دیگ آب گرم

با مشخص بودن بار گرمایشی کل شامل بار ساختمان و بار آب گرم مصرفی، قدرت دیگ با در نظر گرفتن حدود ۱۵٪ ضریب اطمینان تعیین می‌گردد:

$$q_B = q \times SF \quad (8-2)$$

در تأسیسات بزرگ بهتر است بجای یک دیگ از دو یا چند دیگ استفاده نمود تا با توجه به میزان نیاز گرمایشی مورد استفاده قرار گرفته و به علاوه در صورت تعمیرات، گرمایش ساختمان تا حدودی تأمین شود. همچنین می‌توان از یک دیگ کوچکتر به منظور تهیه آب گرم مصرفی و از یک یا چند دیگ اصلی جهت تأمین بار گرمایشی ساختمان استفاده نموده و در فصولی که احتیاج به گرمایش کل ساختمان نیست، دیگ‌های اصلی را از سرویس خارج نمود. دیگ‌ها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود:

۱. دیگ‌های چدنی: معمولاً برای تحمل فشار تا ۵ اتمسفر و توان حداکثر تا ۵۰۰۰۰۰ Btu/hr ساخته می‌شوند. در شکل ۸-۱ مقطع برش خورده دیگ چدنی نشان داده شده است.

مزایای اصلی این نوع دیگ‌ها عبارت است از:

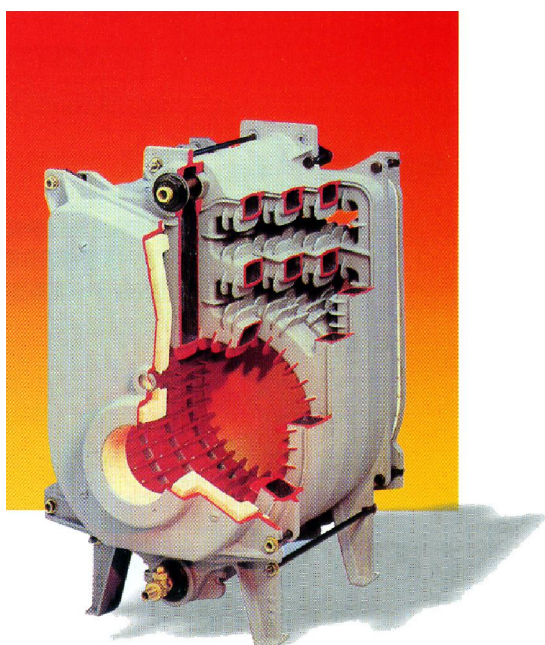
- (الف) حمل و نقل ساده و مونتاژ در موتورخانه به دلیل جدا بودن پره‌ها
- (ب) امکان تغییر ظرفیت با کم و زیاد کردن تعداد پره‌ها
- (پ) طول عمر بالا به دلیل مقاومت در برابر زنگ‌زدگی و خوردگی

معایب عمده دیگ‌های چدنی نیز عبارت است از:

- (الف) عدم تحمل فشارهای بالا
  - (ب) شکنندگی پره‌ها و امکان ایجاد ترک در جدار آنها
۲. دیگ‌های فولادی: این نوع دیگ‌ها برای تولید آب گرم، آب داغ یا بخار با فشار بالا مورد استفاده قرار گرفته و در دو نوع لوله آتش<sup>۵</sup> و با لوله آبی<sup>۶</sup> تولید می‌شود. جهت تولید

آب گرم و بخار برای مقاصد تأسیساتی در ظرفیت‌های کم و متوسط، استفاده از دیگ‌های با لوله‌های آتش متداول‌تر است. شکل‌های ۸-۲ و ۸-۳ به ترتیب مقطع برش خورده‌ای از دیگ‌های فولادی نوع لوله آتش و لوله آبی را نشان می‌دهد. اصلی‌ترین مزیت دیگ‌های فولادی توانایی تحمل فشار بالا است. در مقابل معایب این نوع دیگ‌ها عبارت است از:

- (الف) حمل و نقل بسیار مشکل به دلیل یکپارچگی



شکل ۸-۱ مقطع برش خورده دیگ چدنی

<sup>۵</sup> Fire Tube

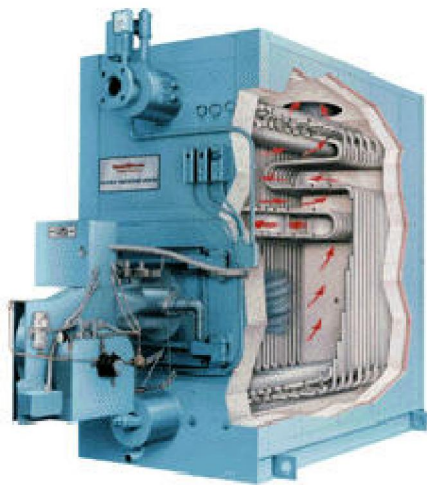
<sup>۶</sup> Water Tube



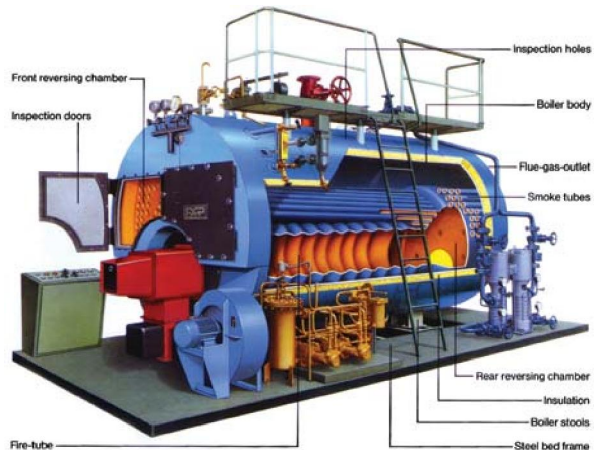
(ب) عدم امکان تغییر ظرفیت

(ت) کاهش عمر به دلیل زنگ زدگی، خوردگی و نیز رسوب گرفتگی سطوح در مجاورت با آب

به این ترتیب در شرایط یکسان استفاده از دیگ‌های چدنی برتری داشته و لذا از دیگ‌های فولادی تنها در سیستم‌های بخار یا آب داغ و برای ظرفیت‌های بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۸-۳ مقطع برش خورده دیگ فولادی نوع لوله آبی



شکل ۸-۲ مقطع برش خورده دیگ فولادی نوع لوله آتش

تعیین قطر صحیح دودکش در عملکرد مناسب دیگ و مشعل نقش به سزایی دارد. برای تعیین سطح مقطع برحسب قدرت دیگ و ارتفاع دودکش می‌توان از جدول ۸-۲ استفاده نمود.

### ۸-۳. مشعل

با استفاده از قدرت دیگ، توان مشعل حرارتی عبارت است از:

$$q_{\text{burner}} = \frac{q_B}{\eta} \quad (8-3)$$

که در آن  $\eta$  راندمان حرارتی مشعل است که با توجه به اطلاعات سازنده مشعل به دست آمده و در حدود ۷۵٪ است. با توجه ارزش حرارتی سوخت‌های مختلف، میزان مصرف سوخت مشعل از روابط زیر مشخص می‌گردد:

$$\dot{Q} = \frac{q_{\text{burner}}}{1000} \quad \text{مشعل گازسوز} \quad (8-4)$$

$$\dot{Q} = \frac{q_{\text{burner}}}{140000} \quad \text{مشعل گازوئیل سوز}$$

که در آن:

$q_{\text{burner}}$  توان مشعل برحسب Btu/hr

$\dot{Q}$  میزان مصرف سوخت برای مشعل گازسوز برحسب CFH و برای مشعل گازسوز برحسب GPH

### ۸-۴. مخزن سوخت

اگرچه در حال حاضر بسیاری از مناطق کشور از شبکه گاز شهری برخوردار است، اما چنانچه بنا به ملاحظات مکانی یا کاربردی استفاده از سوخت گازوئیل ضروری باشد، می‌توان حجم مخزن سوخت لازم را از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$V = \dot{m} \times n \times h \times A \quad (۵-۸)$$

که در آن:

$V$  حجم مخزن سوخت بر حسب gal

$n$  تعداد روزهای مورد نظر

$h$  تعداد ساعات کاری در هر شبانه‌روز

$A$  درصد انقطاع کار در شبانه‌روز

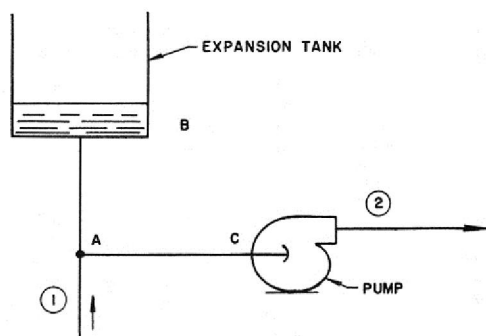
معمولاً حجم مخزن سوخت برای مدت ۱ ماه برآورد می‌گردد. از آنجا که مشعل در تمام مدت کار سیستم روشن نبوده و به تناوب خاموش و روشن می‌شود، برای در نظر گرفتن تعداد ساعات خالص کار مشعل از درصد انقطاع کار که معمولاً بین ۵۰ تا ۶۰ درصد است، در رابطه (۵-۷) استفاده شده است. حداقل قطر لوله پرکن مخزن "۲"، لوله تهویه "۱" و لوله تغذیه مشعل "۱/۲" است.

## ۵-۸. منبع انبساط

مطابق شکل ۸-۴، منبع انبساط مخزنی است که در مسیر شبکه‌های لوله‌کشی بسته قرار گرفته و سه نقش عمده ایفا می‌کند:

۱. فراهم کردن امکان انبساط حجمی آب بر اثر تغییرات دمایی در شبکه
۲. ورودی برای پر کردن شبکه لوله‌کشی و نیز تأمین آب جبرانی
۳. تنظیم فشار شبکه: با استفاده از معادله برنولی اصلاح شده بین دو نقطه دلخواه  $A$  و  $B$  در شکل ۸-۴ می‌توان نوشت:

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + z_B + h_l \quad (۶-۸)$$



شکل ۵-۸ نمای شماتیکی از منبع انبساط باز

با توجه به رابطه فوق چنانچه فشار جریان در هیچ نقطه‌ای از شبکه مشخص نباشد، سیستم از نظر سیالاتی نامعین بوده و فشار در سایر نقاط شبکه نیز نامشخص خواهد بود. با استفاده از منبع انبساط، فشار شبکه در نقطه اتصال منبع مشخص شده و سیستم معین خواهد شد. با همین توجه در هر شبکه لوله‌کشی بسته تحت هیچ شرایطی نباید بیش از یک منبع انبساط نصب گردد زیرا در این صورت قیود سیالاتی سیستم بیش از اندازه بوده و جریان سیال در شبکه قابل پیش‌بینی نخواهد بود.

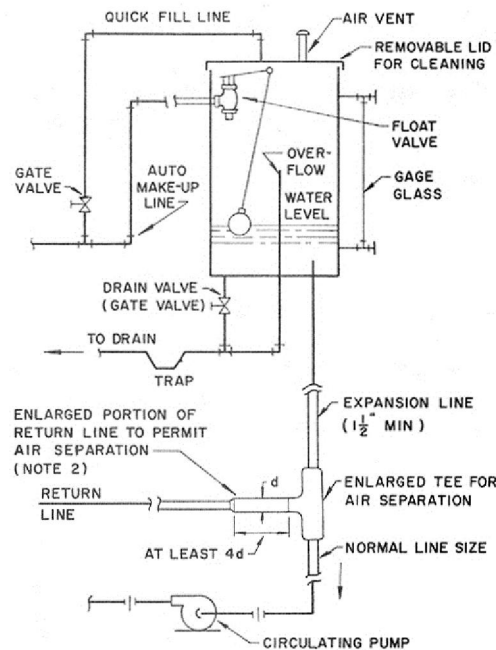
انواع منابع انبساط عبارت است از:

۱. منابع انبساط باز
۲. منابع انبساط بسته

## ۵-۸-۱. منبع انبساط باز

منبع انبساط باز با هوای آزاد (اتمسفر) در ارتباط بوده و بنابراین باید حداقل ۲ تا ۳ متر بالاتر از آخرین مبدل حرارتی ساختمان نصب گردد تا حتی در شرایطی که پمپ سیرکولاسیون آب گرم خاموش است، شبکه لوله‌کشی از آب پر باشد. با توجه به این که فشار سیستم در نقطه اتصال منبع انبساط برابر فشار اتمسفر است، طبیعی است که منابع باز تنها در سیستم‌های آب گرم با فشار

پایین قابل استفاده می‌باشد. شکل ۸-۶ نحوه لوله‌کشی منبع انبساط باز را نشان می‌دهد. افزایش اندازه لوله در محل اتصال منبع به شبکه، امکان جدا شدن هوا و خارج شدن آن از منبع انبساط را فراهم می‌آورد.



NOTES:

1. Do not put any valve strainer or trap in the expansion line.
2. Enlarged portion of return line and enlarged tee are each two standard pipe sizes larger than return line.

شکل ۸-۶ نحوه لوله‌کشی منبع انبساط باز

به دلیل تماس با هوا جنس منبع انبساط باز معمولاً از ورق فولاد گالوانیزه بوده و برای حداقل نمودن اتلافات حرارتی عایق می‌شود. هر چند از نظر تنوری می‌توان منبع انبساط را تنها با یک لوله به سیستم متصل نمود، اما معمولاً جهت چرخش آب گرم در منبع انبساط و جلوگیری از یخ زدن آب آن در زمستان، دو لوله رفت و برگشت برای منبع انبساط در نظر گرفته می‌شود. لوله رفت باید مستقیماً و بدون وجود شیر فلکه به دیگ متصل گردد. از آنجا که منبع انبساط باید تغییر حجم آب شبکه را جبران نماید، حجم آن عبارت است از:

$$V = E \times V_s \quad (۸-۷)$$

که در آن:

$V$  حجم منبع انبساط باز

$V_s$  حجم کل آبگیری سیستم

$E$  درصد افزایش حجم آب

حجم کل آب داخل سیستم شامل حجم آب داخل لوله‌ها به علاوه حجم آب درون مبدل‌های حرارتی و دیگ بوده و درصد افزایش حجم آب با توجه به تغییرات دمایی آب درون شبکه از جدول ۸-۳ برآورد می‌گردد. برای سیستم‌های گرمایش با آب گرم متداول رابطه فوق به صورت زیر ساده می‌گردد:

$$V = 0.04 \times V_s \quad (۸-۸)$$

حجم آبیگری لوله‌ها برای لوله‌های فولادی با استفاده از جدول ۶-۱ قابل محاسبه بوده و حجم آبیگری مبدل‌های حرارتی و دیگ از روی کاتالوگ سازنده تعیین می‌شود. حجم آبیگری تقریبی تجهیزات مختلف عبارت است از:

۱. رادیاتور: ۰/۵ لیتر به ازای هر ۵۰۰ Btu/hr بار حرارتی
۲. فن کوئل: ۰/۴ لیتر به ازای هر ۱۰۰ cfm هوادهی
۳. دیگ چدنی: ۰/۲۵ تا ۰/۵ لیتر به ازای هر ۱۰۰۰ Btu/hr
۴. منبع آبگرم دو جداره: ۰/۱ تا ۰/۲ لیتر به ازای هر لیتر ظرفیت منبع آب گرم

در روش تجربی حجم منبع انبساط برحسب قدرت دیگ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$V = \frac{q_B}{6400} \quad (۹-۸)$$

که در آن:

$V$  حجم منبع انبساط باز برحسب gal  
 $q_B$  قدرت دیگ برحسب Btu/hr

#### ۸-۵-۲. محاسبه قطر لوله‌های رفت و برگشت

به طور کلی قطر لوله رفت نباید از ۱" و قطر لوله برگشت از ۱/۲" کمتر باشد. معمولاً اندازه لوله برگشت یک سایز از لوله رفت کوچکتر بوده و جهت محاسبه حداقل قطر آنها می‌توان از روابط تجربی زیر استفاده نمود:

$$D_{\min} = 0.59 + 0.059 \sqrt{\frac{q_B}{4000}} \quad \text{قطر لوله رفت} \quad (۱۰-۸)$$

$$D_{\min} = 0.59 + 0.04 \sqrt{\frac{q_B}{4000}} \quad \text{قطر لوله برگشت}$$

که در آن:

$D_{\min}$  حداقل قطر لوله برحسب in  
 $q_B$  قدرت دیگ برحسب Btu/hr

#### ۸-۵-۳. منبع انبساط بسته

منبع انبساط بسته با هوای آزاد (اتمسفر) در ارتباط نبوده و لذا فشار داخل منبع می‌تواند بیش از یک اتمسفر باشد. بنابراین طبیعی است منابع انبساط بسته را می‌توان در داخل موتورخانه نیز نصب نمود. در شرایط یکسان، منبع انبساط بسته بزرگتر بوده و هزینه نصب و نگهداری آن نیز بالاتر است، با این وجود در مواردی که امکان استفاده از منبع انبساط باز وجود نداشته باشد، به کارگیری منبع انبساط بسته ضروری خواهد بود. از جمله این موارد عبارت است از:

۱. سیستم‌های آب داغ با فشار بالا
۲. محدودیت ارتفاع ساختمان جهت تأمین فشار در آخرین مبدل حرارتی
۳. عدم دسترسی به فضای پشت بام
۴. مناطق بسیار سرد که امکان یخ زدن آب منبع انبساط باز وجود دارد

حجم منبع انبساط بسته بر مبنای استاندارد ASME محاسبه شده و چنانچه دمای آب کمتر از ۱۶۰°F باشد، برابر است با:

$$V = \frac{E \times V_s}{\frac{P_a}{P_f} - \frac{P_a}{P_o}} \quad (۱۱-۸)$$

که در آن:

$V$  حجم منبع انبساط بسته

$V_s$  حجم کل آگیری سیستم

$E$  درصد افزایش حجم آب

$P_a$  فشار مطلق منبع انبساط قبل از پر کردن سیستم

$P_f$  فشار مطلق منبع انبساط پس از پر شدن و قبل از راه اندازی سیستم

$P_o$  حداکثر فشار مطلق کاری سیستم

$P_a$  معمولاً برابر فشار اتمسفر یعنی ۱۴/۷ psi است.  $P_f$  باید به اندازه‌ای باشد که هنگام خاموش بودن پمپ سیرکولاتور، بالاترین مبدل حرارتی را از آب پر کند و لذا  $P_f$  برابر است با:

$$P_f = 0.43H + 14.7 + 4$$

که در آن  $H$  ارتفاع ساختمان برحسب ft بوده و ۴ psi اضافه شده برای هواگیری سیستم است.  $P_o$  حداکثر فشار کاری دیگ بوده و از روی کاتالوگ سازنده تعیین می‌گردد. توجه به این نکته ضروری است که فشار کاری دیگ در کاتالوگ‌ها غالباً به صورت نسبی بیان شده و لذا برای استفاده در رابطه (۱۱-۷) باید با فشار اتمسفر جمع شود. هنگامی که دمای آب بین ۱۶۰ تا ۲۸۰ °F باشد، حجم منبع انبساط را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$V = \frac{V_s}{\frac{P_a}{P_f} - \frac{P_a}{P_o}} (0.00041T - 0.0466) \quad (۱۲-۸)$$

که در آن  $T$  حداکثر دمای آب سیستم برحسب درجه فارنهایت است.

در روش تجربی حجم منبع انبساط برحسب قدرت دیگ و از جدول ۴-۸ بدست می‌آید.

## ۸-۶. پمپ سیرکولاتور

عموماً جهت به گردش در آوردن آب در شبکه دیگ، لوله‌کشی و مبدل‌های حرارتی و نیز تأمین فشار مورد نیاز کارکرد سیستم، از پمپ سیرکولاتور استفاده می‌شود. پمپ‌های سیرکولاتور از نوع گریز از مرکز بوده و با توجه به ظرفیت آن در دو نوع خطی و زمینی تولید می‌گردد. تا دبی ۱۰۰ gpm و هد ۱۰۰ فوت، پمپ‌های خطی و در خارج از این محدوده، پمپ‌های زمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل‌های ۸-۷ و ۸-۸ به ترتیب پمپ‌های خطی و زمینی را نشان می‌دهد. به منظور انتخاب پمپ از روی کاتالوگ می‌بایست دو مشخصه کاری پمپ تعیین شود:

۱. هد پمپ: میزان هد پمپ باید به اندازه‌ای باشد که افت فشار در دیگ، مسیر لوله‌کشی و مبدل‌های حرارتی را جبران نماید. همان‌طور که در بحث لوله‌کشی آب گرم مطرح شد، معمولاً شبکه لوله‌کشی بر مبنای افت فشار ۲/۵ ft.wt. در هر ۱۰۰ فوت طول لوله، طراحی می‌گردد. نکته مهم در مورد هد پمپ آنست که انتخاب پمپ باید دقیقاً بر مبنای هد محاسبه شده و بدون در نظر گرفتن ضریب اطمینان صورت گیرد زیرا معمولاً لوله‌های نو افت اصطکاکی کمتری داشته و

لذا با توجه به شکل منحنی مشخصه پمپ‌های گریز از مرکز، در ابتدای نصب دبی بیشتری تولید کرده و توان بیشتری نیاز خواهد داشت. بنابراین چنانچه برای محاسبه هد پمپ ضریب اطمینان در نظر گرفته شود احتمال دارد الکتروموتور پمپ تحت اضافه بار قرار گیرد.

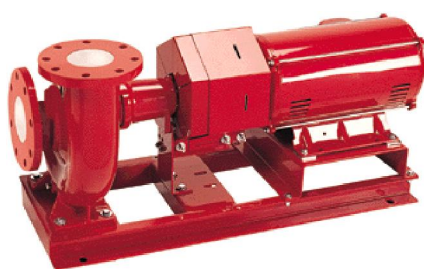
۲. دبی پمپ: با مشخص بودن بار گرمایشی کل ساختمان دبی پمپ سیرکولاسیون عبارت است از:

$$Q = \frac{q}{10000} \quad (۸-۱۳)$$

که در آن:

Q دبی پمپ برحسب gpm

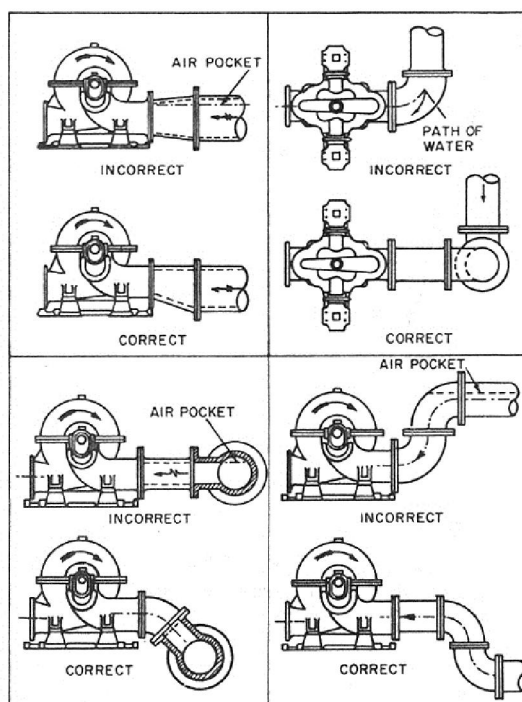
q بار حرارتی کل ساختمان برحسب But/hr



شکل ۸-۸ پمپ گریز از مرکز زمینی



شکل ۸-۷ پمپ گریز از مرکز خطی



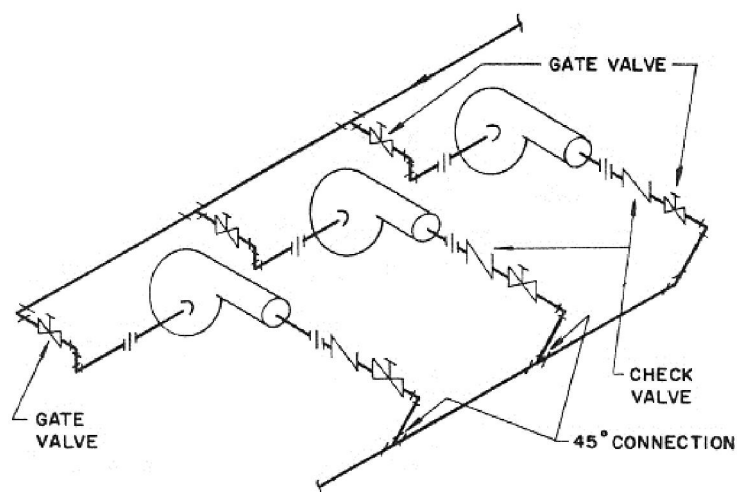
شکل ۸-۹ نکات نصب پمپ‌های گریز از مرکز

یکی از مشخصه‌های عملکردی مهم در پمپ‌های گریز از مرکز که معمولاً از دید طراحان پنهان می‌ماند حداقل فشار مثبت در دهانه مکش یا NPSH است. به دلیل نحوه عملکرد پمپ‌های گریز از مرکز، فشار سیال در داخل این گونه پمپ‌ها کاهش یافته و لذا چنانچه فشار در دهانه مکش از حد معینی کمتر باشد، احتمال وقوع کاویتاسیون و مختل شدن عملکرد پمپ وجود خواهد داشت. حداقل فشار لازم برای کارکرد مناسب پمپ‌های گریز از مرکز را NPSH می‌نامند. از آنجا که در سیستم گرمایش با آب گرم، پمپ در مسیری بسته و تحت فشار کار می‌کند، NPSH مهم نبوده و بررسی آن ضروری نیست.

نکات مهم در نصب پمپ در شکل ۸-۹ نشان داده شده است. به علاوه مطابق شکل ۸-۱۰، چنانچه پمپی به تنهایی در سیستم بسته کار می‌کند نیازی به شیر یک طرفه ندارد اما در صورت موازی کردن چند پمپ استفاده از شیر یک طرفه در خروجی تمامی پمپ‌ها الزامیست. نصب فشار سنج روی دهانه مکش و رانش پمپ ضروری می‌باشد.

## ۸-۷. کلکتور

هنگامی که آب از چند مسیر به تجهیزاتی نظیر پمپ یا دیگ وارد یا از آنها خارج می‌شود، از کلکتور به منظور اتصال لوله‌ها به لوله اصلی ورودی یا خروجی استفاده می‌گردد. قطر کلکتور را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:



شکل ۸-۱۰ روش نصب موازی چند پمپ

$$d_c = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots}$$

(۸-۱۴)

که در آن  $d_i$  قطر هر یک از لوله‌های متصل به کلکتور است. فاصله بین لوله‌هایی که به کلکتور وارد یا از آن خارج می‌شود حداقل ۱۲" و فاصله بین اولین و آخرین لوله از طرفین کلکتور حداقل ۸" می‌باشد. جهت تخلیه آب کلکتور در مواقع لزوم، معمولاً در زیر کلکتور شیر تخلیه‌ای به قطر ۳/۴" نصب می‌گردد.

جدول ۸-۱ میزان آب گرم مصرفی برای مصارف مختلف

|                             | Apartment House | Club   | Gymnasium | Hospital | Hotel  | Industrial Plant | Office Building | Private Residence | School |
|-----------------------------|-----------------|--------|-----------|----------|--------|------------------|-----------------|-------------------|--------|
| 1. Basins, private lavatory | 2               | 2      | 2         | 2        | 2      | 2                | 2               | 2                 | 2      |
| 2. Basins, public lavatory  | 4               | 6      | 8         | 6        | 8      | 12               | 6               | -                 | 15     |
| 3. Bathtubs                 | 20              | 20     | 30        | 20       | 20     | -                | -               | 20                | -      |
| 4. Dishwashers              | 15              | 50-150 | -         | 50-150   | 50-200 | 20-100           | -               | 15                | 20-100 |
| 5. Foot basins              | 3               | 3      | 12        | 3        | 3      | 12               | -               | 3                 | 3      |
| 6. Kitchen sink             | 10              | 20     | -         | 20       | 30     | 20               | 20              | 10                | 20     |
| 7. Laundry, stationary tubs | 20              | 28     | -         | 28       | 28     | -                | -               | 20                | -      |
| 8. Pantry sink              | 5               | 10     | -         | 10       | 10     | -                | 10              | 5                 | 10     |
| 9. Showers                  | 30              | 150    | 225       | 75       | 75     | 225              | 30              | 30                | 225    |
| 10. Slop sink               | 20              | 20     | -         | 20       | 30     | 20               | 20              | 15                | 20     |
| 11. Demand factor           | 0.30            | 0.30   | 0.40      | 0.25     | 0.25   | 0.40             | 0.30            | 0.30              | 0.40   |
| 12. Storage capacity factor | 1.25            | 0.90   | 1.00      | 0.60     | 0.80   | 1.00             | 2.00            | 0.70              | 1.00   |

جدول ۸-۲ سطح مقطع مناسب دودکش برحسب قدرت دیگ و ارتفاع دودکش

| ارتفاع دودکش [ft] |       |       |       |     |      | قدرت دیگ<br>[Btu/hr] |
|-------------------|-------|-------|-------|-----|------|----------------------|
| ۱۳۲               | ۹۹    | ۶۶    | ۴۹/۵  | ۳۳  | ۱۶/۵ |                      |
|                   |       |       |       |     | ۶۲   | تا ۸۰۰۰۰             |
|                   |       |       |       |     | ۷۰   | ۱۲۰۰۰                |
|                   |       |       |       | ۶۵  | ۹۳   | ۱۶۰۰۰۰               |
|                   |       |       | ۶۵    | ۸۱  |      | ۲۰۰۰۰۰               |
|                   | ۶۲    | ۷۷/۵  | ۹۱/۵  | ۱۱۳ |      | ۲۸۰۰۰۰               |
| ۷۳                | ۸۱    | ۱۰۱   | ۱۱۸   | ۱۴۶ |      | ۳۶۰۰۰۰               |
| ۸۴                | ۹۹    | ۱۲۲/۵ | ۱۴۳   | ۱۷۸ |      | ۴۴۰۰۰۰               |
| ۹۳                | ۱۰۸/۵ | ۱۳۹/۵ | ۱۵۵   |     |      | ۵۲۰۰۰۰               |
| ۱۰۸/۵             | ۱۲۴   | ۱۵۵   | ۱۸۶   |     |      | ۶۰۰۰۰۰               |
| ۱۳۹/۵             | ۱۵۵   | ۱۸۶   | ۲۱۷   |     |      | ۷۰۰۰۰۰               |
| ۱۵۵               | ۱۷۰/۵ | ۲۱۷   | ۲۶۳/۵ |     |      | ۸۰۰۰۰۰               |
| ۱۷۰/۵             | ۲۰۱/۵ | ۲۴۸   | ۲۷۹   |     |      | ۹۰۰۰۰۰               |
| ۲۰۱/۵             | ۲۱۷   | ۲۷۹   | ۳۱۰   |     |      | ۱۰۰۰۰۰۰              |
| ۲۱۷               | ۲۴۸   | ۲۹۴/۵ | ۳۵۶/۵ |     |      | ۱۱۰۰۰۰۰              |
| ۲۳۲/۵             | ۲۶۳/۵ | ۳۲۵/۵ | ۳۸۷/۵ |     |      | ۱۲۰۰۰۰۰              |
| ۲۶۳/۵             | ۲۷۹   | ۳۵۶/۵ | ۴۱۸/۵ |     |      | ۱۳۰۰۰۰۰              |
| ۲۷۹               | ۳۱۰   | ۳۸۷/۵ | ۴۴۹/۵ |     |      | ۱۴۰۰۰۰۰              |
| ۲۹۴/۵             | ۳۲۵/۵ | ۴۱۸/۵ | ۴۸۰/۵ |     |      | ۱۵۰۰۰۰۰              |
| ۳۲۵/۵             | ۳۵۶/۵ | ۴۳۴   | ۵۱۱/۵ |     |      | ۱۶۰۰۰۰۰              |



جدول ۳-۸ درصد افزایش حجم آب برحسب تغییرات دمایی آب در دمای بالاتر از ۴۰°F

| TEMP (F) | VOLUME (%) | TEMP (F) | VOLUME (%) |
|----------|------------|----------|------------|
| 100      | 0.6        | 275      | 6.8        |
| 125      | 1.2        | 300      | 8.3        |
| 150      | 1.8        | 325      | 9.8        |
| 175      | 2.8        | 350      | 11.5       |
| 200      | 3.5        | 375      | 13.0       |
| 225      | 4.5        | 400      | 15.0       |
| 250      | 5.6        |          |            |

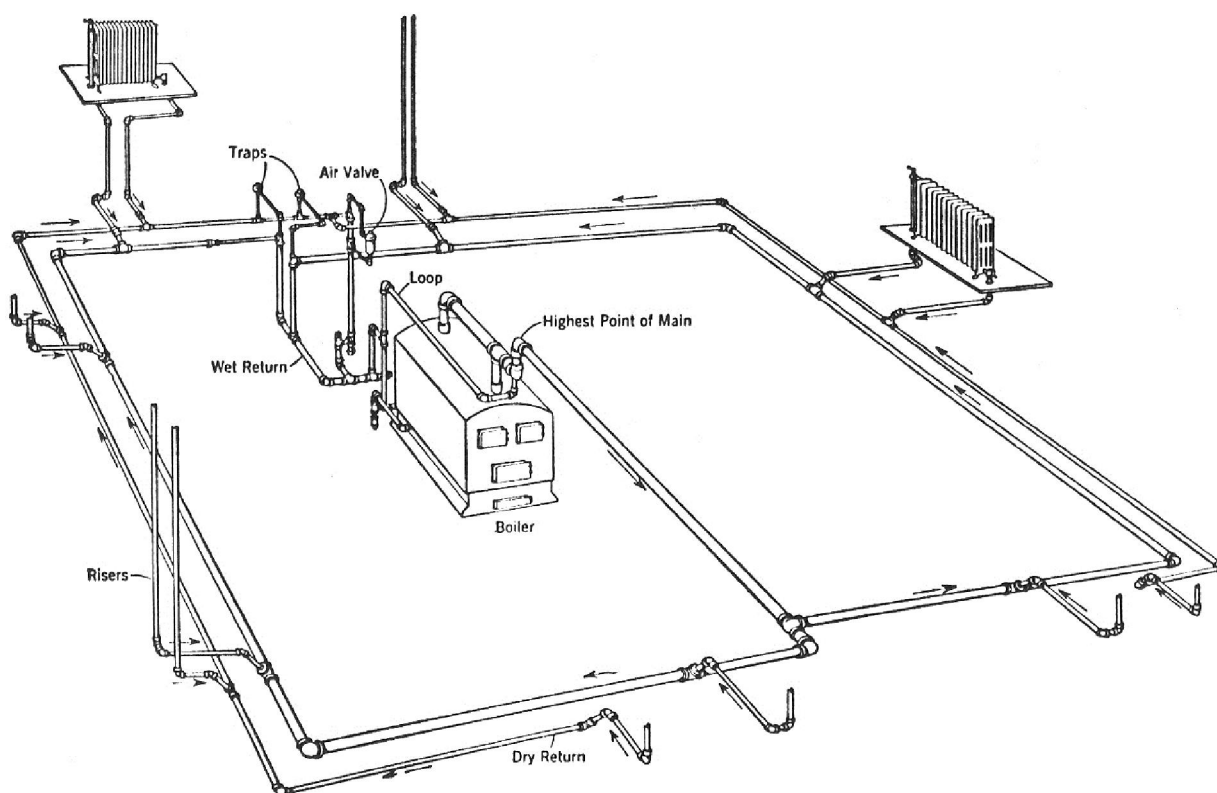
جدول ۴-۸ حجم تقریبی منبع انبساط بسته برحسب قدرت دیگ

| حجم منبع انبساط باز [gal] | قدرت دیگ [Btu/hr] |
|---------------------------|-------------------|
| ۸                         | تا ۶۰۰۰۰          |
| ۱۵                        | ۶۰۰۰۰-۸۶۰۰۰       |
| ۱۸                        | ۸۶۰۰۰-۱۲۰۰۰۰      |
| ۲۴                        | ۱۲۰۰۰۰-۲۴۰۰۰۰     |
| ۶۰                        | ۲۴۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰۰    |

## فصل نهم

### سیستم گرمایش با بخار

در این فصل اصول طراحی سیستم گرمایش با بخار مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجا که در خطوط بخار عموماً هر سه سیال بخار، آب و هوا به صورت همزمان جریان دارد، طراحی چنین شبکه‌هایی با سایر خطوط متفاوت بوده و نیازمند تمهیدات خاصی است. شکل ۹-۱ نمایی از سیستم گرمایش با بخار را نشان می‌دهد. آب در دیگ تبخیر شده و بخار تحت فشار دیگ از طریق لوله‌های رفت وارد وسایل گرمایشی می‌شود. وجود تله بخار در خروجی وسایل گرمایشی از خارج شدن بخار جلوگیری کرده و به این ترتیب تنها آب کندانس از مسیر برگشت وارد دیگ شده و این سیکل ادامه می‌یابد. چنین سیستمی به دلیل استفاده از بخار به جای آب گرم برای گرمایش، انرژی حرارتی بیشتری منتقل می‌کند.



شکل ۹-۱ نمایی از سیستم گرمایش با بخار

#### ۹-۱. تقسیم‌بندی سیستم‌های بخار

سیستم‌های بخار را می‌توان با توجه به نحوه آرایش لوله‌ها، فشار کاری و نحوه بازگشت آب کندانس به دیگ دسته‌بندی نمود. در ادامه سه دسته‌بندی کلی خطوط بخار تشریح می‌گردد.

## ۹-۱-۱. نحوه آرایش لوله‌ها

مشابه خطوط آب گرم، شبکه بخار نیز می‌تواند یک لوله‌ای یا دو لوله‌ای باشد. در سیستم‌های یک لوله‌ای مطابق شکل ۹-۲، از یک لوله مشترک برای تغذیه بخار و برگشت آب کندانس به دیگ استفاده می‌گردد. چنین شبکه‌هایی به ندرت و تنها در فشار بخار پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد به نحوی که از سال ۱۹۹۷ بخش مربوط به آنها از استاندارد ASHRAE نیز حذف شده است. سیستم‌های دو لوله‌ای متداول‌تر بوده و همان‌گونه که در شکل ۹-۳ نشان داده شده است، در آنها از یک لوله جهت تغذیه بخار و از لوله‌ای دیگر برای برگشت آب کندانس به دیگ استفاده می‌شود. آرایش خطوط بخار را از جهت نحوه اتصال خط کندانس به دیگ و جهت جریان در رایزرها نیز می‌توان دسته‌بندی نمود:

۱. نحوه برگشت آب کندانس به دیگ:

الف) برگشت خشک: مطابق شکل ۹-۴، خط برگشت آب کندانس به نقطه‌ای بالاتر از سطح آب دیگ وارد می‌شود.

ب) برگشت مرطوب: مطابق شکل ۹-۵، خط برگشت آب کندانس به نقطه‌ای پایین‌تر از سطح آب دیگ وارد می‌گردد.

۲. جهت جریان بخار در رایزرها:

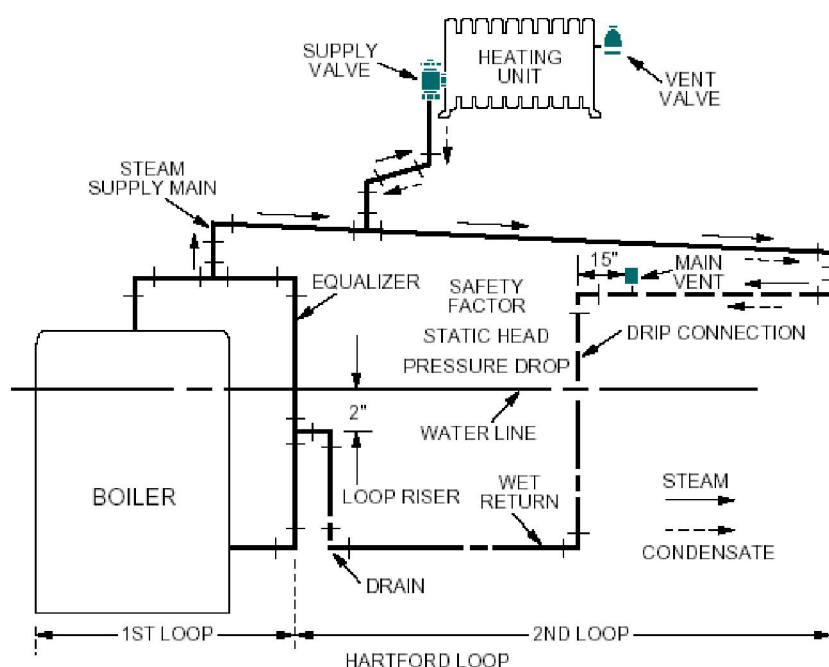
الف) تغذیه به بالا: در این حالت جهت جریان بخار در رایزرها به سمت بالا بوده و معمولاً موتورخانه بخار در زیرزمین قرار دارد. شکل ۹-۶ نمونه‌ای از سیستم تغذیه به بالا را نشان می‌دهد.

ب) تغذیه به پایین: در این حالت جهت جریان بخار در رایزرها به سمت پایین می‌باشد. در شکل ۹-۷ نمونه‌ای از سیستم تغذیه به پایین نشان داده شده است.

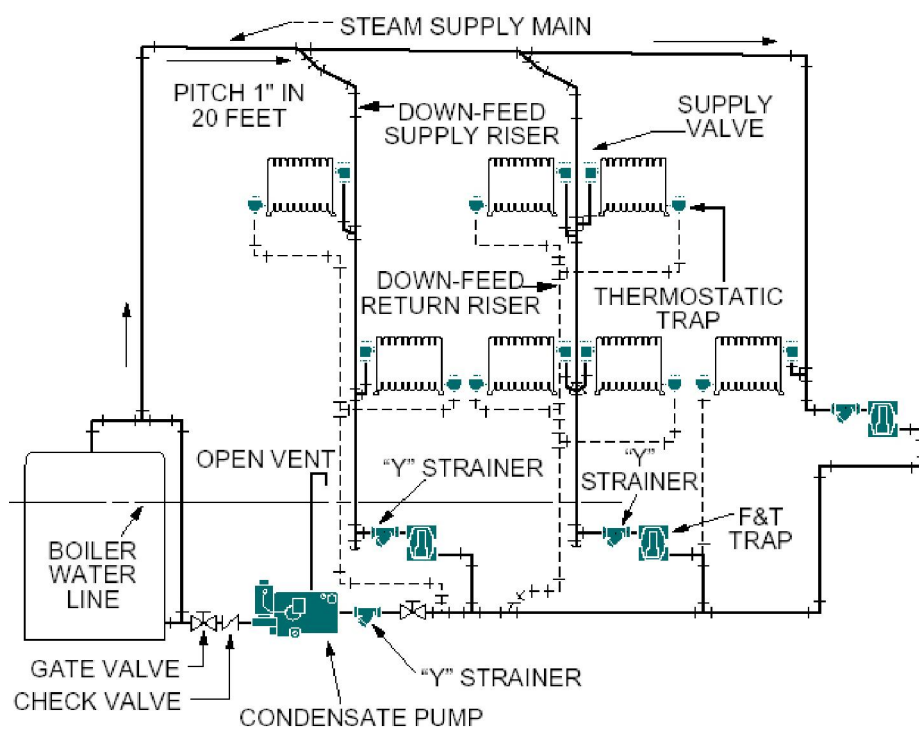
## ۹-۱-۲. فشار کاری

شبکه‌های بخار از نظر فشار کاری عموماً به پنج دسته تقسیم می‌شود:

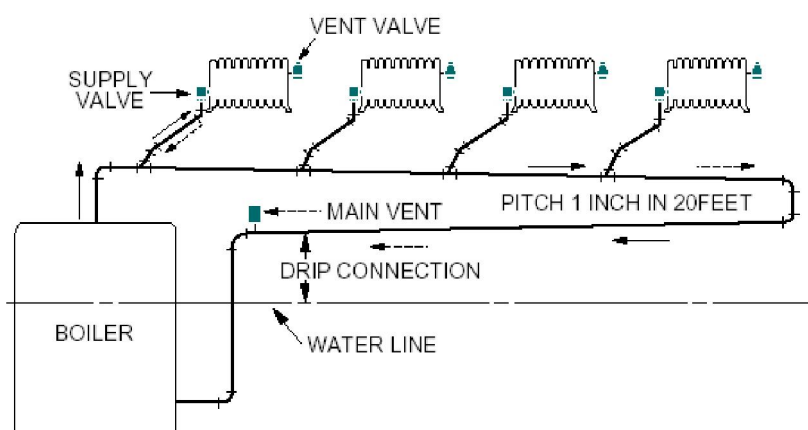
۱. سیستم‌های فشار بالا: فشار بخار بیش از ۱۰۰ psig
  ۲. سیستم‌های فشار متوسط: فشار بخار بین ۱۵ تا ۱۰۰ psig
  ۳. سیستم‌های فشار پایین: فشار بخار بین صفر تا ۱۵ psig
  ۴. سیستم‌های بخار: سیستم تحت خلا قرار داشته و فاقد پمپ خلا است.
  ۵. سیستم‌های خلا: سیستم تحت خلا قرار داشته و از پمپ خلا استفاده می‌کند.
- متداول‌ترین نوع سیستم بخار برای کاربردهای گرمایشی، سیستم‌های فشار پایین بوده و سایر سیستم‌ها عموماً صنعتی هستند.



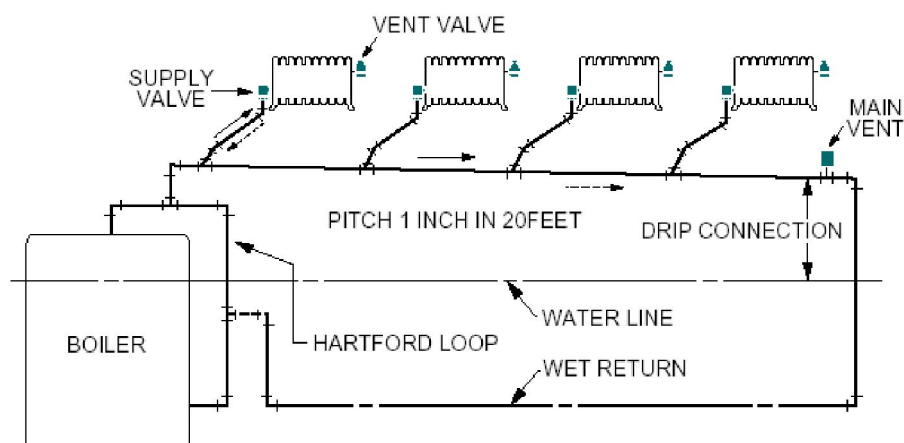
شکل ۹-۲ شبکه بخار یک لوله‌ای



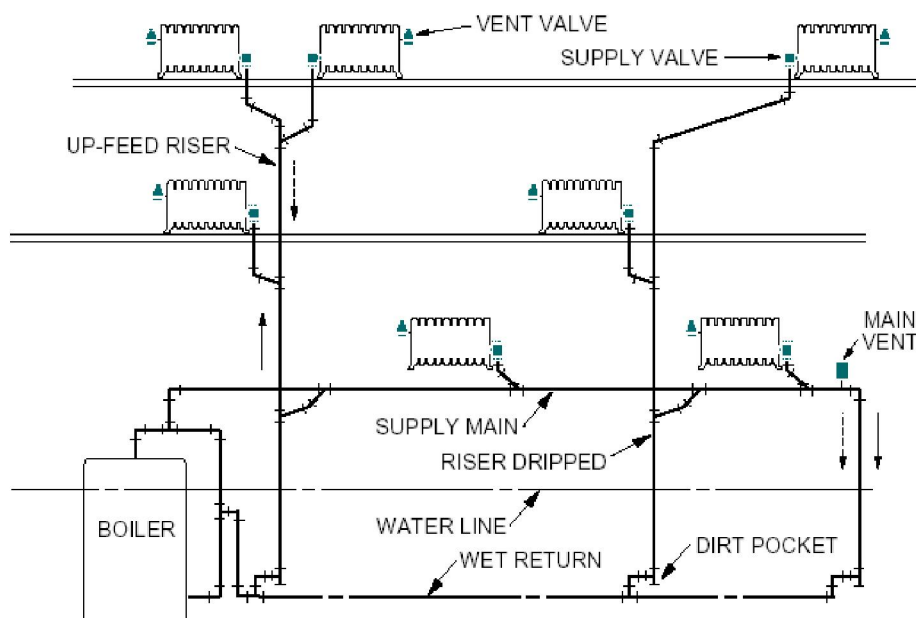
شکل ۹-۳ شبکه بخار دو لوله‌ای



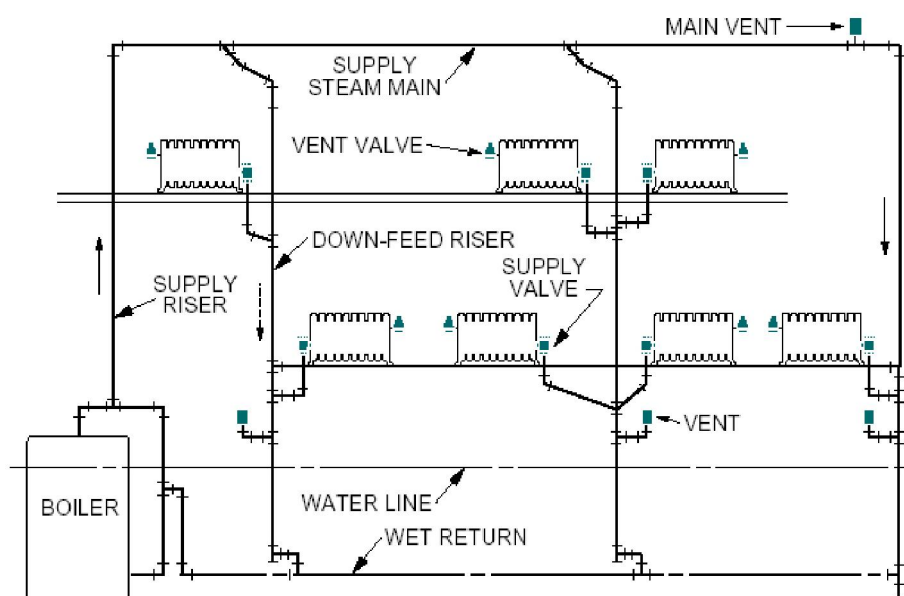
شکل ۹-۴ شبکه بخار با برگشت خشک



شکل ۹-۵ شبکه بخار با برگشت مرطوب



شکل ۹-۶ شبکه بخار با تغذیه به بالا



شکل ۹-۷ شبکه بخار با تغذیه به پایین

### ۹-۱-۳. نحوه برگشت آب کندانس به دیگ

برگشت آب کندانس از وسایل گرمایشی به دیگ می‌تواند ثقلی یا مکانیکی باشد. چنانچه تمامی وسایل گرمایشی حداقل ۲ فوت بالاتر از دیگ قرار داشته باشد، برگشت آب کندانس به دیگ بواسطه نیروی گرانش صورت گرفته و سیستم ثقلی نامیده می‌شود. در مقابل هنگامی که ارتفاع وسایل گرمایشی برای استفاده از برگشت ثقلی مناسب نباشد، آب کندانس به مخزنی هدایت شده و برای برگشت آن به دیگ لازم است از پمپ استفاده شود. چنین سیستمی را برگشت مکانیکی می‌نامند. برگشت آب کندانس در شکل ۹-۲ ثقلی بوده و در ۹-۳ مکانیکی است.

### ۹-۲. طراحی سیستم گرمایش با بخار

مراحل طراحی و محاسبه سیستم گرمایش با بخار عبارت است از:

۱. تعیین فشار کاری سیستم: در صورت مشخص نبودن فشار کاری، با توجه به طول لوله‌کشی، گذر جرمی بخار مورد نظر و محدودیت‌های اجرایی می‌توان فشار مناسب شبکه را مشخص نمود.
۲. تعیین محل وسایل گرمایشی، لوله‌های افقی و لوله‌های قائم روی نقشه پلان: تعیین محل وسایل گرمایشی با توجه به نکات ارائه شده در فصل ۵ صورت می‌گیرد. در انتخاب مسیر لوله‌کشی به جای لوله‌های کف خواب باید حتی‌الامکان از رایزر استفاده شود.
۳. تعیین گذر جرمی بخار در نقاط مختلف شبکه: با توجه به بار گرمایشی در نقاط مختلف و گرمای نهان تبخیر آب در فشار کاری سیستم، گذر جرمی بخار از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$\dot{m} = \frac{q}{h_{fg}} \quad (۱-۹)$$

که در آن:

$\dot{m}$  گذر جرمی بخار بر حسب lb/hr

$q$  بار گرمایشی بر حسب Btu/hr (بار سیستم‌های بخار گاهی بر حسب EDR<sup>۷</sup> بیان می‌شود که برابر ۲۴۰ Btu/hr است)

$h_{fg}$  گرمای نهان تبخیر آب بر حسب But/lb

در سیستم‌های فشار پایین گذر جرمی بخار تقریباً برابر است با:

$$\dot{m} = \frac{Q}{1000} \quad (۲-۹)$$

۴. تعیین اندازه لوله‌های تغذیه بخار و برگشت آب کندانس: با استفاده از فشار کاری سیستم و گذر جرمی بخار در نقاط مختلف، اندازه لوله‌های رفت و برگشت قابل محاسبه خواهد بود.
۵. تعیین محل، انتخاب نوع و محاسبه ظرفیت تله‌های بخار: با مشخص بودن نوع کاربری، فشار کاری و گذر جرمی بخار، نوع و ظرفیت تله‌های بخار تعیین می‌گردد.
۶. تعیین اندازه مخزن و پمپ آب کندانس: در صورت نیاز می‌توان اندازه و مشخصات مخزن و پمپ آب کندانس را با توجه به گذر جرمی بخار آب و مشخصات کاری سیستم محاسبه نمود.

## ۱-۲-۹. تعیین اندازه لوله‌های بخار

اندازه لوله‌های بخار به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. فشار کاری اولیه و میزان افت فشار مجاز سیستم
  ۲. طول معادل کل لوله‌کشی در طولانی‌ترین مسیر
  ۳. هم‌جهت یا مختلف‌الجهت بودن حرکت بخار و آب کندانس در خطوط
- نمودار ۹-۱، نموداری عمومی جهت تعیین اندازه لوله‌های بخار در فشار صفر تا ۲۰۰ psig و نرخ بخار بین ۵ تا ۱۰۰۰۰۰ lb/hr است. نمودار فوق بر اساس ضریب اصطکاک مودی بوده و در صورت هم‌جهت بودن جریان بخار و آب کندانس معتبر می‌باشد. نکته قابل توجه آنست که سرعت در نمودار فوق بر مبنای فشار صفر بوده و سرعت در سایر فشارها باید با استفاده از نمودار ۹-۲ تصحیح گردد. با توجه به کلی بودن نمودار ۹-۱، غالباً به منظور تسریع محاسبات از جداولی که برای گسترده‌های فشاری مختلف تنظیم شده است، استفاده می‌شود. مراحل اندازه‌گذاری لوله‌ها در شبکه‌های بخار دو لوله‌ای فشار پایین عبارت است از:

<sup>۷</sup> Equivalent Direct Radiation

۱. تعیین حداکثر افت فشار مجاز در لوله‌های تغذیه بخار و برگشت آب کندانس: مقادیر فوق با استفاده از جدول ۹-۱ تعیین می‌گردد. همانطور که مشخص است، مجموع افت فشار خطوط تغذیه و برگشت هرگز نباید بیش از نصف فشار اولیه باشد.
۲. تعیین نرخ افت فشار در لوله‌های تغذیه بخار و برگشت آب کندانس: حداکثر نرخ افت فشار در خطوط تغذیه بخار ۲ psi در هر ۱۰۰ ft و در خطوط برگشت کندانس ۰/۵ psi در هر ۱۰۰ ft بوده و در مقایسه با نرخ افت فشار بدست آمده از بند قبل، مقدار کمتر مبنای تعیین اندازه لوله‌های بخار قرار می‌گیرد.
۳. تعیین اندازه لوله‌های رفت و برگشت: با مشخص بودن شیب لوله‌ها و با استفاده از جداول ۹-۲ تا ۹-۴ می‌توان اندازه لوله‌های رفت و برگشت را در حالت‌های مختلف محاسبه نمود. حداقل شیب برای خطوط تغذیه بخار ۰/۲٪ به سمت خارج دیگ و برای خطوط برگشت آب کندانس ۰/۲٪ به سمت دیگ است.

## ۹-۲-۲. تله‌های بخار

عملکرد اصلی تله بخار نگه داشتن بخار در وسیله گرمایشی یا سیستم لوله‌کشی، عبور آب کندانس به خط کندانس و تخلیه هوا به بیرون است. بنابراین بخار تا زمانی که انرژی خود را از دست داده و به آب تبدیل شود پشت تله باقی می‌ماند. در شبکه بخار معمولاً در نقاط زیر تله بخار نصب می‌گردد:

۱. در خروجی وسایل گرمایشی
۲. زیر رایزرهای آب‌ریز قبل از اتصال به لوله برگشت
۳. در طول لوله رفت و نیز انتهای لوله رفت قبل از اتصال به لوله برگشت

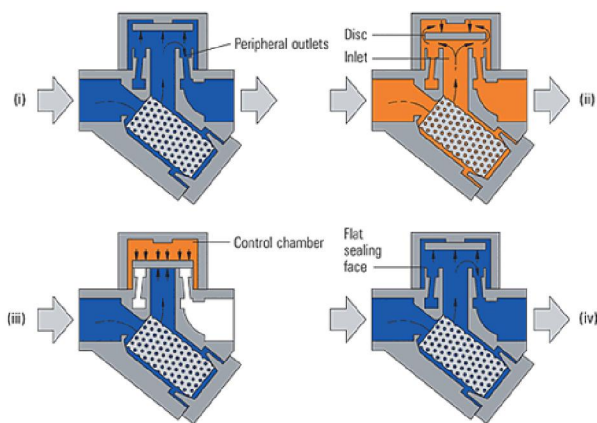
تله‌های بخار بر اساس سیستم عملکرد آنها به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شود:

۱. تله‌های ترموستاتیکی: این نوع تله‌ها با واکنش نسبت به دمای سیال داخل تله عمل می‌کنند. در صورت وجود بخار، دهانه خروجی به دلیل بالا بودن دمای بخار بسته نگه‌داشته می‌شود. با پر شدن تله از آب کندانس، دمای المان حرارتی کم شده و مجرای خروجی باز می‌گردد. از آنجا که برای عمل کردن تله ترموستاتیکی، آب کندانس داخل تله باید خنک شود، در صورت استفاده از آن برای وسایل گرمایشی بهتر است حداقل ۲ فوت فاصله بین خروجی وسیله گرمایشی و ورودی تله برای خنک شدن آب کندانس در نظر گرفته شود تا راندمان وسیله گرمایشی افزایش یابد. مهمترین انواع تله‌های ترموستاتیکی عبارت است از: تله‌های آکاردئونی (فانوسی) و تله‌های بی‌متال. شکل ۹-۸ نمایی از تله بی‌متال را نشان می‌دهد. ساختار تله‌های آکاردئونی نیز تقریباً مشابه است با این تفاوت که به جای المان بی‌متال از جزئی آکاردئونی شکل و پر از گاز استفاده می‌شود که حجم آن متناسب با دمای سیال داخل تله تغییر می‌کند.
۲. تله‌های ترمودینامیکی: این نوع تله‌ها بر پایه دینامیک جریان بخار و کندانس و عدم توازن فشار در دو طرف المان فشارشکن تله عمل کرده و متداول‌ترین نوع آن در شکل ۹-۹ نشان داده شده است.
۳. تله‌های مکانیکی: عملکرد این نوع تله‌ها مکانیکی بوده و بر مبنای اختلاف چگالی بخار و آب کندانس قرار دارد. چگالی آب کندانس به مراتب بیش از چگالی بخار بوده و موجب باز شدن دهانه خروجی تله می‌گردد. مهمترین انواع تله‌های مکانیکی عبارت است از: تله‌های شناور- ترموستاتیکی و تله‌های پیاله وارونه. شکل‌های ۹-۱۰ و ۹-۱۱ به ترتیب نمایی از تله‌های شناور- ترموستاتیکی و پیاله وارونه را نشان می‌دهد.

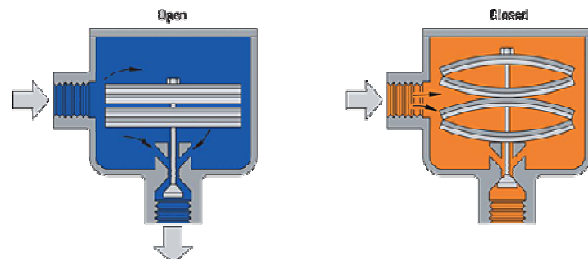
هرچند انتخاب نوع تله بیش از هر چیز به نوع کاربری تله بستگی دارد، اما عوامل دیگری نظیر هزینه، سهولت تعمیرات، اندازه تله، چیدمان خطوط و تجربیات شخصی طراح نیز در این رابطه موثر خواهد بود. در جدول ۹-۵ تله‌های پیشنهادی جهت کاربری‌های مختلف ارائه شده است. اندازه تله بخار به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. مقدار آب کندانس عبوری از تله بخار
۲. اختلاف فشار بین ورودی و خروجی تله
۳. ضریب اطمینان

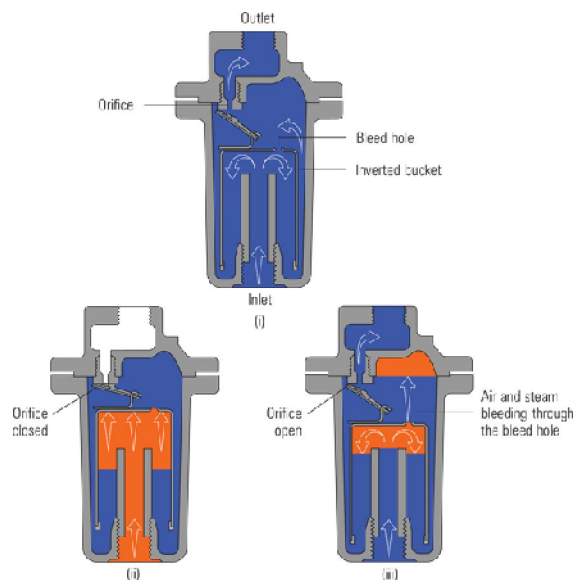
مقدار آب کندانس به محل کاربری (لوله‌های افقی، رایزرها یا وسیله گرمایشی) تله بخار بستگی دارد. میزان کندانس آب در وسایل گرمایشی مشخص بوده و به ظرفیت حرارتی آن بستگی دارد. کندانس آب در لوله‌ها به دو دلیل صورت می‌گیرد:



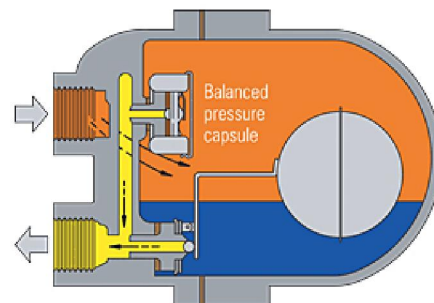
شکل ۹-۹ تله ترمودینامیکی



شکل ۸-۹ تله ترمواستاتیکی از نوع بی متال



شکل ۹-۱۱ تله مکانیکی از نوع پیاله وارونه



شکل ۹-۱۰ تله مکانیکی از نوع شناور- ترمواستاتیکی

۱. بار راهاندازی<sup>۸</sup>: در ابتدای راهاندازی سیستم، لوله‌ها هنوز سرد است. بار راهاندازی مقدار آبی است که به هنگام ورود اولیه بخار جهت گرم شدن سطح لوله‌ها کندانس می‌گردد. بار راهاندازی با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_w = \frac{0.114 \times W \times \Delta T}{h_{fg} \times t} \quad (۹-۳)$$

که در آن:

$C_w$  بار راهاندازی بر حسب lb/hr

$W$  وزن کل لوله‌ها بر حسب lb

$\Delta T$  اختلاف دمای اولیه و نهایی لوله‌ها بر حسب °F

$h_{fg}$  گرمای نهان بخار بر حسب Btu/lb

$t$  زمان گرم شدن بر حسب hr که معمولاً در حدود ۵ تا ۳۰ دقیقه است.

<sup>8</sup> Warm-up Heat



۲. بار اتلافی<sup>۹</sup>: مقدار آب کندانسی است که به دلیل اتلاف حرارت از لوله‌ها تشکیل شده و برابر است با:

$$C_r = \frac{L \times K \times \Delta T}{h_{fg}} \quad (۴-۹)$$

که در آن:

$C_r$  بار اتلافی برحسب lb/hr

$L$  طول لوله‌ها برحسب ft

$K$  ضریب هدایت حرارتی برحسب (Btu/hr)/ft.°F

$\Delta T$  اختلاف دمای لوله‌ها و محیط

$h_{fg}$  گرمای نهان تبخیر آب برحسب Btu/lb

عموماً با گذشت زمان از شروع راه‌اندازی سیستم، به تدریج بار راه‌اندازی کاهش و بار اتلافی افزایش یافته و لذا حداکثر بار در نقطه میانی سیکل راه‌اندازی اتفاق می‌افتد. بنابراین از مجموع بار راه‌اندازی و نصف بار اتلافی به منظور تعیین میزان آب کندانس استفاده می‌شود. اختلاف فشار دو سمت تله نیز با توجه به شرایط طراحی تعیین می‌گردد.

بنابه دلایل زیر اعمال ضریب اطمینان جهت انتخاب تله‌های بخار ضروری می‌باشد:

۱. فشار در ورودی و خروجی تله بخار متغیر بوده و این مسئله ظرفیت تله را تغییر می‌دهد.
  ۲. چنانچه تعیین اندازه تله بر اساس شرایط معمول کاری صورت گیرد، ممکن است طی مرحله راه‌اندازی آب کندانس وارد خط بخار یا وسیله گرمایشی شود.
  ۳. چنانچه اندازه تله به نحوی تعیین گردد که آب کندانس همواره در آن جریان داشته باشد، امکان خروج هوا از شبکه وجود نخواهد داشت.
- ضریب اطمینان مناسب به نوع کاربری تله بستگی داشته و با استفاده از جدول ۹-۶ تعیین می‌گردد.

### ۹-۲-۳. مخزن و پمپ برگشت کندانس

پمپ‌های کندانس جهت سیستم‌های گرمایشی فشار پایین با برگشت ثقلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پمپ‌ها معمولاً از نوع گریز از مرکز بوده و دارای دریافت کننده و شناور خودکار است. اندازه دریافت کننده کندانس به نحوی تعیین می‌گردد که از نوسان زیاد سطح آب بویلر جلوگیری به عمل آورد. ظرفیت دریافت کننده تقریباً ۱/۵ برابر مقدار کندانس شبکه در یک دقیقه بوده و پمپ کندانس ظرفیتی معادل ۲/۵ تا ۳ برابر جریان معمول شبکه را داراست.

### ۹-۳. نکات اجرایی سیستم گرمایش با بخار

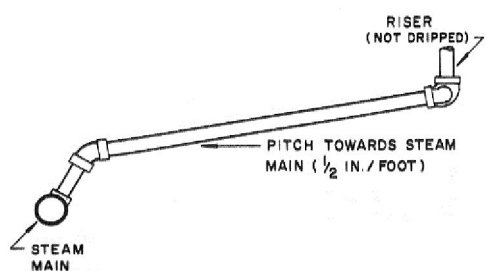
برای عملکرد صحیح سیستم بخار، رعایت پاره‌ای اصول به هنگام اجرای شبکه ضروری است. در این بخش برخی از مهمترین نکات اجرایی خطوط بخار تشریح می‌گردد.

#### ۹-۳-۱. رایزر بخار

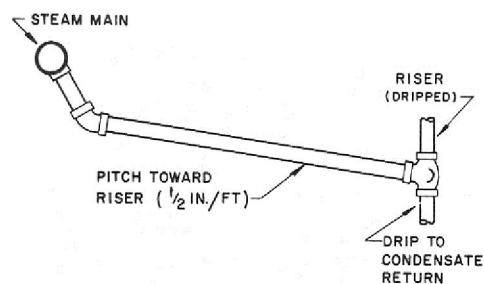
شکل‌های ۹-۱۲ و ۹-۱۳ نحوه اتصال رایزرهای تغذیه بخار با انشعاب افقی را نشان می‌دهد. شکل ۹-۱۲ به هنگام آبریز بودن رایزر مورد استفاده قرار گرفته و در آن انشعاب افقی ضمن اتصال به بخش تحتانی خط بخار، به سمت رایزر شیب دارد تا آب کندانس به سمت رایزر برگردد. در صورت خشک بودن خط برگشت آب کندانس، آبریزی رایزر از طریق تله بخار انجام شده و در غیر این

<sup>۹</sup> Radiation Heat

صورت تله حذف می‌شود. در شکل ۹-۱۳ نحوه لوله‌کشی هنگامی که رایزر بخار آبریز نباشد نشان داده شده است. در این وضعیت انشعاب افقی به بخش فوقانی خط اصلی متصل شده و برای هدایت آب کندانس از رایزر به خط اصلی، شیب آن به سمت خط اصلی می‌باشد.



شکل ۹-۱۳ اتصال رایزر غیرآبریز به لوله تغذیه بخار

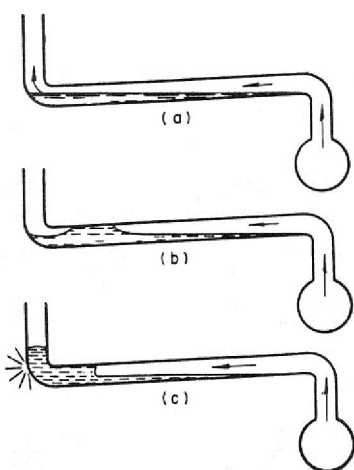


شکل ۹-۱۲ اتصال رایزر آبریز به لوله تغذیه بخار

### ۹-۳-۲. جلوگیری از ضربه قوچ

مطابق شکل ۹-۱۴، چنانچه شیب خطوط اصلی بخار نامناسب باشد، احتمال وقوع ضربه قوچ در لوله وجود خواهد داشت. موارد زیر در جلوگیری از وقوع ضربه قوچ موثر است:

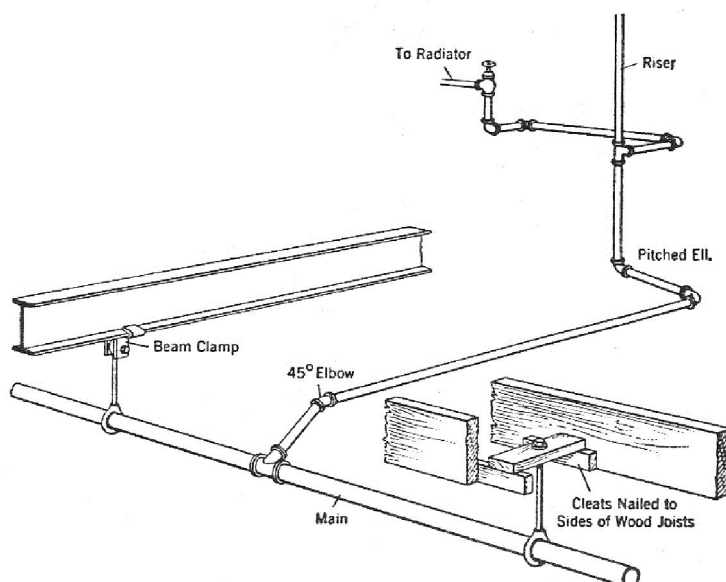
۱. شیب مناسب لوله‌ها
۲. جلوگیری از تجمع آب در لوله‌ها
۳. انتخاب مناسب اندازه لوله در مواردی که جریان کندانس و بخار مختلف‌الجهت هستند به نحوی که از سرعت بالای بخار جلوگیری به عمل آید.



شکل ۹-۱۴ ایجاد ضربه قوچ در خط بخار

### ۹-۳-۳. اتصال انشعاب به خط تغذیه

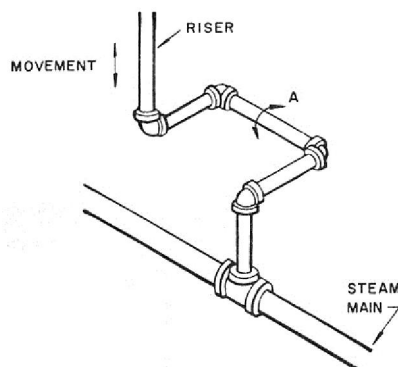
شکل ۹-۱۵ مجموعه‌ای از اتصالات و تکیه‌گاه‌های خطوط بخار را نشان می‌دهد. انشعاب از لوله تغذیه به صورت قائم نیز قابل اجرا می‌باشد، اما بکارگیری زانویی ۴۵ درجه به دلیل افت فشار کمتر ارجحیت دارد.



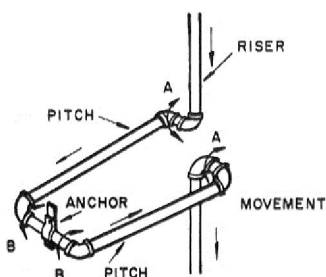
شکل ۹-۱۵ اتصال رایزر به لوله اصلی به همراه کلیه اتصالات و تکیه‌گاه‌های مورد نیاز

### ۴-۳-۹. انبساط و انقباض لوله‌ها

هنگامی که ارتفاع رایزر بیش از ۱ طبقه باشد، اتصال آن به خط اصلی بخار باید مطابق شکل ۱۶-۹ صورت گیرد. در شکل ۱۷-۹ نیز نحوه گیردار کردن رایزر در طبقات نشان داده شده است.



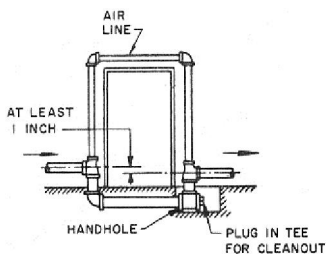
شکل ۱۶-۹ روش اتصال رایزر با ارتفاع بیش از یک طبقه



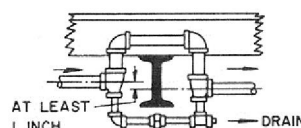
شکل ۱۷-۹ روش گیردار کردن رایزر در طبقات

### ۵-۳-۹. موانع

شکل‌های ۱۸-۹ و ۱۹-۹ به ترتیب آرایش عبور خطوط تغذیه بخار و برگشت کندانس از موانعی مانند تیرهای ساختمانی و ستونها را نشان می‌دهد.



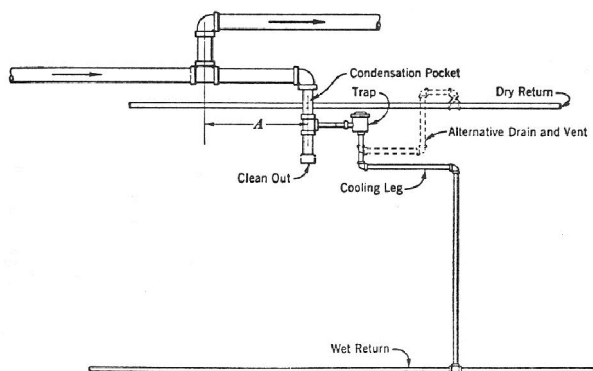
شکل ۱۹-۹ نحوه عبور لوله برگشت کندانس از موانع



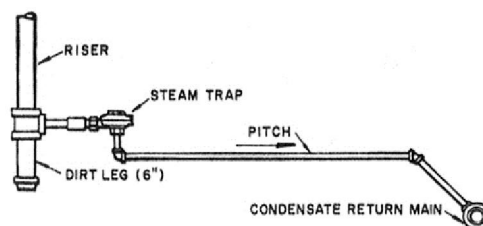
شکل ۱۸-۹ نحوه عبور لوله تغذیه بخار از موانع

### ۶-۳-۹. اتصال خطوط بخار به خط برگشت آب کندانس

چنانچه ارتفاع تراز خط تغذیه بخار در نقطه‌ای از شبکه به هر دلیل افزایش یابد، لازم است لوله تغذیه مطابق شکل ۲۰-۹ به خط برگشت آب کندانس متصل گردد. در شکل ۲۱-۹ نیز روش اتصال رایزر آبریز به لوله برگشت آب کندانس نشان داده شده است.



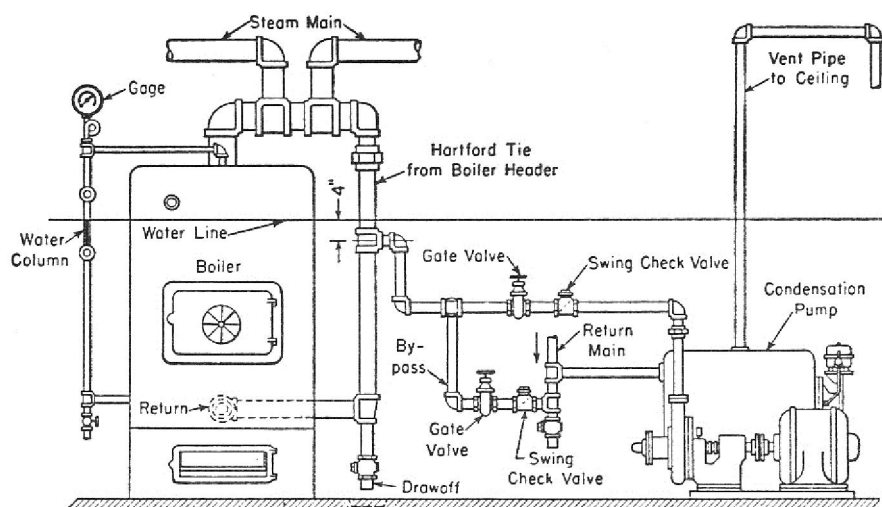
شکل ۲۱-۹ نحوه اتصال خط تغذیه به خط کندانس



شکل ۲۰-۹ نحوه اتصال رایزر آبریز به خط کندانس

### ۷-۳-۹. لوله‌کشی دیگ

شکل ۲۲-۹ طرح پیشنهادی برای موتورخانه بخار را نشان می‌دهد. حلقه هارتفورد از جمله ابداعات اوایل قرن ۲۰ بود که به میزان زیادی موجب کاهش آمار مربوط به ترکیدگی دیگ‌های بخار گردید. هر چند امروزه با وجود کنترل‌های سطح آب دیگ، احتمال ترکیدگی دیگ بسیار ضعیف است، با این وجود آرایش فوق همچنان اجرا می‌گردد.



شکل ۲۲-۹ آرایش لوله‌کشی در اطراف دیگ بخار

جدول ۹-۱ حداکثر افت فشار مجاز در لوله‌های تغذیه بخار و برگشت آب کندانس

| INITIAL<br>STEAM<br>PRESSURE<br>(psig) | TOTAL<br>PRESSURE DROP<br>IN<br>SUPPLY PIPING<br>(psi) | TOTAL<br>PRESSURE DROP<br>IN<br>RETURN PIPING<br>(psi) |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 2                                      | 1/2                                                    | 1/2                                                    |
| 5                                      | 1 1/4                                                  | 1 1/4                                                  |
| 10                                     | 2 1/2                                                  | 2 1/2                                                  |
| 15                                     | 3 3/4                                                  | 3 3/4                                                  |
| 20                                     | 5                                                      | 5                                                      |

جدول ۹-۲ ظرفیت لوله‌های رفت در سیستم بخار فشار پایین

| NOM.<br>PIPE<br>SIZE<br>(in.) | PRESSURE DROP PER 100 FT  |        |                |        |                |        |                |        |                 |        |        |        |        |        |
|-------------------------------|---------------------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                               | 1/8 psi (1 oz)            |        | 1/4 psi (2 oz) |        | 3/8 psi (4 oz) |        | 1/2 psi (8 oz) |        | 3/4 psi (12 oz) |        | 1 psi  |        | 2 psi  |        |
|                               | SATURATED PRESSURE (PSIG) |        |                |        |                |        |                |        |                 |        |        |        |        |        |
|                               | 3.5                       | 12     | 3.5            | 12     | 3.5            | 12     | 3.5            | 12     | 3.5             | 12     | 3.5    | 12     | 3.5    | 12     |
| 3/4                           | 9                         | 11     | 14             | 16     | 20             | 24     | 29             | 35     | 36              | 43     | 42     | 50     | 60     | 73     |
| 1                             | 17                        | 21     | 26             | 31     | 37             | 46     | 54             | 66     | 68              | 82     | 81     | 95     | 114    | 137    |
| 1 1/4                         | 36                        | 45     | 53             | 66     | 78             | 96     | 111            | 138    | 140             | 170    | 162    | 200    | 232    | 280    |
| 1 1/2                         | 56                        | 70     | 84             | 100    | 120            | 147    | 174            | 210    | 218             | 260    | 246    | 304    | 360    | 430    |
| 2                             | 108                       | 134    | 162            | 194    | 234            | 285    | 336            | 410    | 420             | 510    | 480    | 590    | 710    | 850    |
| 2 1/2                         | 174                       | 215    | 258            | 310    | 378            | 460    | 540            | 660    | 680             | 820    | 780    | 950    | 1,150  | 1,370  |
| 3                             | 318                       | 380    | 465            | 550    | 660            | 810    | 960            | 1,160  | 1,190           | 1,430  | 1,380  | 1,670  | 1,950  | 2,400  |
| 3 1/2                         | 462                       | 550    | 670            | 800    | 990            | 1,218  | 1,410          | 1,700  | 1,740           | 2,100  | 2,000  | 2,420  | 2,950  | 3,450  |
| 4                             | 726                       | 800    | 950            | 1,160  | 1,410          | 1,690  | 1,980          | 2,400  | 2,450           | 3,000  | 2,880  | 3,460  | 4,200  | 4,900  |
| 5                             | 1,200                     | 1,430  | 1,680          | 2,100  | 2,440          | 3,000  | 3,570          | 4,250  | 4,380           | 5,250  | 5,100  | 6,100  | 7,500  | 8,600  |
| 6                             | 1,920                     | 2,300  | 2,820          | 3,350  | 3,960          | 4,850  | 5,700          | 7,000  | 7,200           | 8,600  | 8,400  | 10,000 | 11,900 | 14,200 |
| 8                             | 3,900                     | 4,800  | 5,570          | 7,000  | 8,100          | 10,000 | 11,400         | 14,300 | 14,500          | 17,700 | 16,500 | 20,500 | 24,000 | 29,500 |
| 10                            | 7,200                     | 8,800  | 10,200         | 12,600 | 15,000         | 18,200 | 21,000         | 26,000 | 26,200          | 32,000 | 30,000 | 37,000 | 42,700 | 52,000 |
| 12                            | 11,400                    | 13,700 | 16,500         | 19,500 | 23,400         | 28,400 | 33,000         | 40,000 | 41,000          | 49,500 | 48,000 | 57,500 | 67,800 | 81,000 |

جدول ۹-۳ ظرفیت لوله‌های برگشت در سیستم بخار فشار پایین

| PIPE<br>SIZE<br>(in.) | PRESSURE DROP PER 100 FT |       |     |                   |       |        |                 |       |        |                |       |        |                |       |        |                |     |        |
|-----------------------|--------------------------|-------|-----|-------------------|-------|--------|-----------------|-------|--------|----------------|-------|--------|----------------|-------|--------|----------------|-----|--------|
|                       | 1/32 psi (1/2 oz)        |       |     | 1/24 psi (3/8 oz) |       |        | 1/16 psi (1 oz) |       |        | 1/8 psi (2 oz) |       |        | 1/4 psi (4 oz) |       |        | 1/2 psi (8 oz) |     |        |
|                       | Wet*                     | Dry   | Vac | Wet*              | Dry   | Vac    | Wet*            | Dry   | Vac    | Wet*           | Dry   | Vac    | Wet*           | Dry   | Vac    | Wet*           | Dry | Vac    |
| RETURN MAINS          |                          |       |     |                   |       |        |                 |       |        |                |       |        |                |       |        |                |     |        |
| 3/4                   |                          |       |     |                   |       | 42     |                 |       | 100    |                |       | 142    |                |       | 200    |                |     | 283    |
| 1                     | 125                      | 62    |     | 145               | 71    | 143    | 175             | 80    | 175    | 250            | 103   | 249    | 350            | 115   | 350    |                |     | 494    |
| 1 1/4                 | 213                      | 130   |     | 248               | 149   | 244    | 300             | 168   | 300    | 425            | 217   | 426    | 600            | 241   | 600    |                |     | 848    |
| 1 1/2                 | 338                      | 206   |     | 393               | 236   | 388    | 475             | 265   | 475    | 675            | 340   | 674    | 950            | 378   | 950    |                |     | 1,340  |
| 2                     | 700                      | 470   |     | 810               | 535   | 815    | 1,000           | 575   | 1,000  | 1,400          | 740   | 1,420  | 2,000          | 825   | 2,000  |                |     | 2,830  |
| 2 1/2                 | 1,180                    | 760   |     | 1,580             | 868   | 1,360  | 1,680           | 950   | 1,680  | 2,350          | 1,230 | 2,380  | 3,350          | 1,360 | 3,350  |                |     | 4,730  |
| 3                     | 1,880                    | 1,460 |     | 2,130             | 1,560 | 2,180  | 2,680           | 1,750 | 2,680  | 3,750          | 2,250 | 3,800  | 5,350          | 2,500 | 5,350  |                |     | 7,560  |
| 3 1/2                 | 2,750                    | 1,970 |     | 3,300             | 2,200 | 3,250  | 4,000           | 2,500 | 4,000  | 5,500          | 3,230 | 5,680  | 8,000          | 3,580 | 8,000  |                |     | 11,300 |
| 4                     | 3,880                    | 2,930 |     | 4,580             | 3,350 | 4,500  | 5,500           | 3,750 | 5,500  | 7,750          | 4,830 | 7,810  | 11,000         | 5,380 | 11,000 |                |     | 15,500 |
| 5                     |                          |       |     |                   |       | 7,880  |                 |       | 9,680  |                |       | 13,700 |                |       | 19,400 |                |     | 27,300 |
| 6                     |                          |       |     |                   |       | 12,600 |                 |       | 15,500 |                |       | 22,000 |                |       | 31,000 |                |     | 43,800 |
| RETURN RISERS         |                          |       |     |                   |       |        |                 |       |        |                |       |        |                |       |        |                |     |        |
| 3/4                   |                          | 48    |     |                   | 48    | 143    |                 | 48    | 175    |                | 48    | 249    |                | 48    | 350    |                |     | 494    |
| 1                     |                          | 113   |     |                   | 113   | 244    |                 | 113   | 300    |                | 113   | 426    |                | 113   | 600    |                |     | 848    |
| 1 1/4                 |                          | 248   |     |                   | 248   | 388    |                 | 248   | 475    |                | 248   | 674    |                | 248   | 950    |                |     | 1,340  |
| 1 1/2                 |                          | 375   |     |                   | 375   | 815    |                 | 375   | 1,000  |                | 375   | 1,420  |                | 375   | 2,000  |                |     | 2,830  |
| 2                     |                          | 750   |     |                   | 750   | 1,360  |                 | 750   | 1,680  |                | 750   | 2,380  |                | 750   | 3,350  |                |     | 4,730  |
| 2 1/2                 |                          |       |     |                   |       | 2,180  |                 |       | 2,680  |                |       | 3,800  |                |       | 5,350  |                |     | 7,560  |
| 3                     |                          |       |     |                   |       | 3,250  |                 |       | 4,000  |                |       | 5,680  |                |       | 8,000  |                |     | 11,300 |
| 3 1/2                 |                          |       |     |                   |       | 4,480  |                 |       | 5,500  |                |       | 7,810  |                |       | 11,000 |                |     | 15,500 |
| 4                     |                          |       |     |                   |       | 7,880  |                 |       | 9,680  |                |       | 13,700 |                |       | 19,400 |                |     | 27,300 |
| 5                     |                          |       |     |                   |       | 12,600 |                 |       | 15,500 |                |       | 22,000 |                |       | 31,000 |                |     | 43,800 |

\*Vac values may be used for wet return risers and mains.

جدول ۴-۹ ظرفیت لوله‌ها در سیستم بخار فشار پایین با جریان مختلف‌الجهت

| PIPE<br>SIZE<br>(in.) | TWO-PIPE SYSTEM |            | ONE-PIPE SYSTEM             |                             |                       |
|-----------------------|-----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
|                       | Vertical        | Horizontal | Up-feed<br>Supply<br>Risers | Vertical<br>Con-<br>nectors | Riser<br>Run-<br>outs |
| A                     | B*              | C†         | D‡                          | E                           | F                     |
| ¾                     | 8               | —          | 6                           | —                           | 7                     |
| 1                     | 14              | 9          | 11                          | 7                           | 7                     |
| 1¼                    | 31              | 19         | 20                          | 16                          | 16                    |
| 1½                    | 48              | 27         | 38                          | 23                          | 16                    |
| 2                     | 97              | 49         | 72                          | 42                          | 23                    |
| 2½                    | 159             | 99         | 116                         | —                           | 42                    |
| 3                     | 282             | 175        | 200                         | —                           | 65                    |
| 3½                    | 387             | 288        | 286                         | —                           | 119                   |
| 4                     | 511             | 425        | 380                         | —                           | 186                   |
| 5                     | 1,050           | 788        | —                           | —                           | 278                   |
| 6                     | 1,800           | 1,400      | —                           | —                           | 545                   |
| 8                     | 3,750           | 3,000      | —                           | —                           | —                     |
| 10                    | 7,000           | 5,700      | —                           | —                           | —                     |
| 12                    | 11,500          | 9,500      | —                           | —                           | —                     |
| 16                    | 22,000          | 19,000     | —                           | —                           | —                     |

\*Do not use Column B for pressure drops less than 1/16 psi/100 ft of equivalent length.

†Pitch of horizontal runouts to riser should be not less than 1/2 in./ft. Where this pitch cannot be obtained, runouts over 8 ft in length should be one pipe size larger than called for in this table.

‡Do not use Column D for pressure drops less than 1/24 psi/100 ft of equivalent run except on sizes 3 in. and larger.

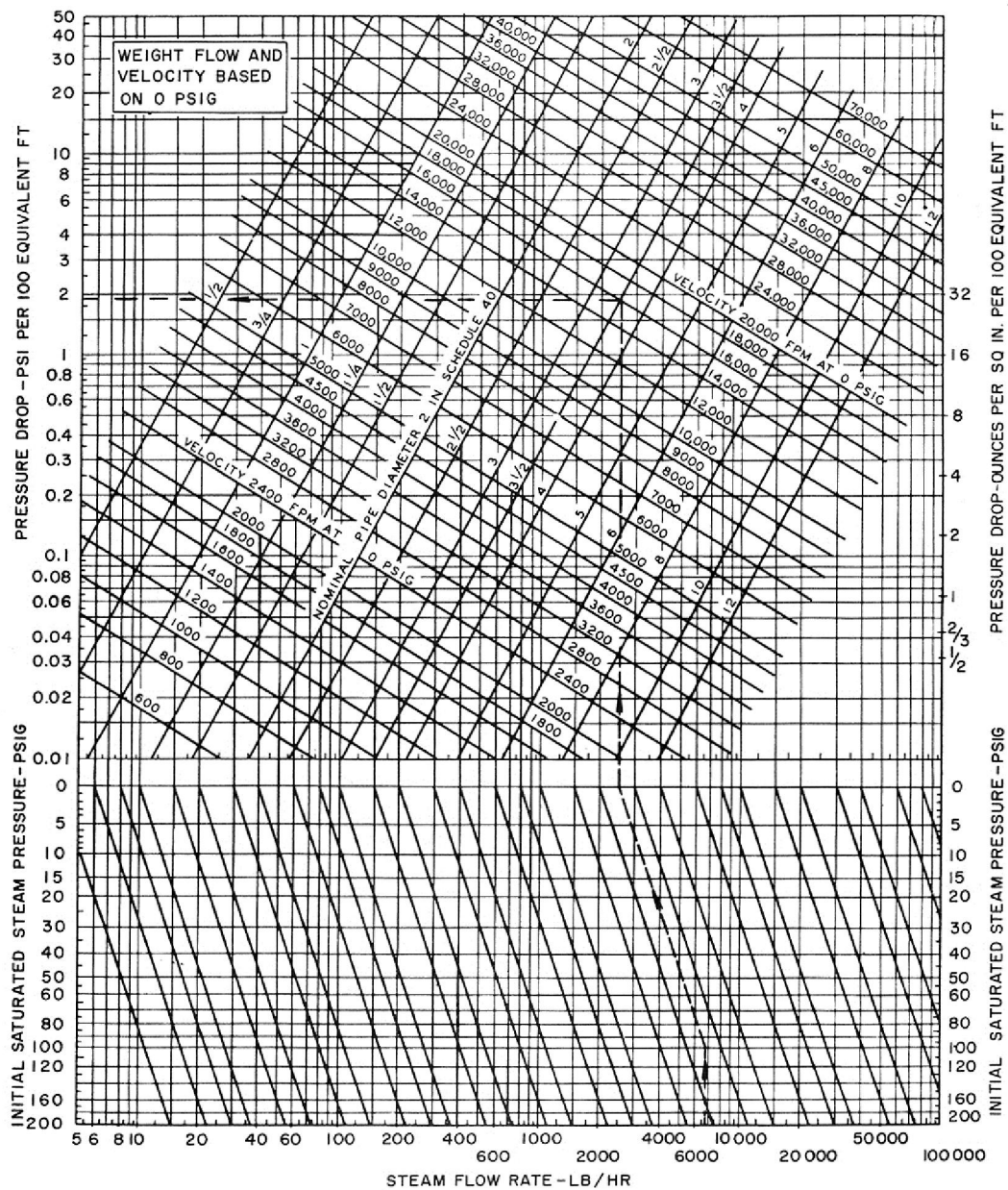
جدول ۵-۹ تله‌های پیشنهادی جهت کاربری‌های مختلف

| Application                  | Thermo-<br>static | Thermo-<br>dynamic | Free<br>Float | Inverted<br>Bucket | Float &<br>Thermostatic |
|------------------------------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------|-------------------------|
| <b>Drip &amp; Tracing</b>    |                   |                    |               |                    |                         |
| Main Drip to 30 PSIG         | 1                 |                    | 2             | 3                  | 2                       |
| to 300 PSIG                  | 1                 | 2                  | 3             | 2                  | 3                       |
| to 650 PSIG                  | 1                 | 2                  |               |                    | 3                       |
| to 2500 PSIG                 |                   |                    |               |                    |                         |
| Steam Tracing                | 1                 | 2                  | 2             | 2                  | 2                       |
| <b>Process</b>               |                   |                    |               |                    |                         |
| Heat Exchanger to 20 PSIG    | 2                 |                    | 1             | 2                  | 1                       |
| to 150 PSIG                  | 1                 |                    | 1             | 2                  | 1                       |
| to 300 PSIG                  | 1                 |                    | 1             | 2                  | 1                       |
| to 600 PSIG                  |                   |                    | 1             |                    |                         |
| Cooker/Reactor to 15 PSIG    | 2                 |                    | 1             | 3                  | 1                       |
| to 60 PSIG                   | 1                 |                    | 1             | 3                  | 1                       |
| to 150 PSIG                  | 1                 |                    | 1             | 3                  | 1                       |
| to 600 PSIG                  | 2                 |                    | 1             |                    |                         |
| Pressing to 100 PSIG         | 1                 |                    | 1             | 2                  | 1                       |
| to 300 PSIG                  | 1                 | 2                  | 2             | 2                  |                         |
| Reboiler                     | 2                 |                    | 1             | 3                  | 1                       |
| Rotating Cylinders           | 2*                |                    | 1*            | 2                  |                         |
| Sterilizer                   | 1                 |                    | 2             |                    | 2                       |
| Tank Heating Storage         | 1                 |                    | 2             |                    | 2                       |
| Line Heater                  | 1                 |                    | 2             |                    | 2                       |
| Evaporator                   |                   |                    | 1             | 2                  | 2                       |
| <b>HVAC</b>                  |                   |                    |               |                    |                         |
| Air Heating Coils to 15 PSIG | 2                 |                    | 1             | 3                  | 1                       |
| to 60 PSIG                   | 2                 |                    | 1             | 2                  | 1                       |
| to 250 PSIG                  | 2                 |                    | 1             |                    |                         |
| Radiator                     | 1                 |                    |               |                    |                         |
| Unit Heater                  | 1                 |                    | 1             | 2                  | 1                       |
| Absorption Chiller           | 2                 |                    | 1             | 2                  | 1                       |

جدول ۹-۶ ضریب اطمینان با توجه به کاربری تله بخار

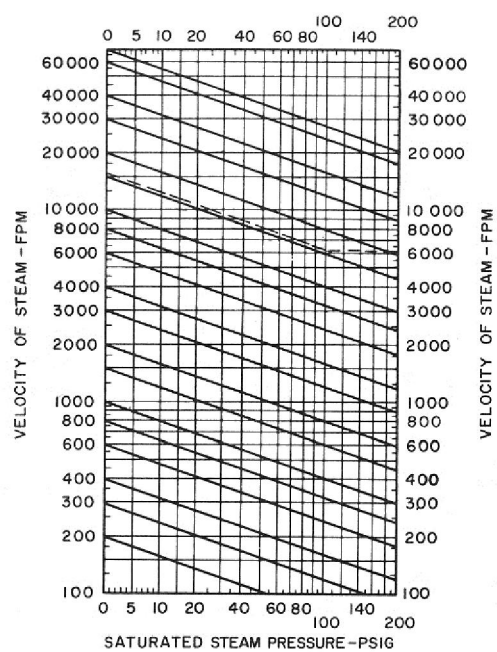
| DESIGN                         | SAFETY FACTOR |
|--------------------------------|---------------|
| Draining steam main            | 3 to 1        |
| Draining steam riser           | 2 to 1        |
| Between boiler and end of main | 2 to 1        |
| Before reducing valve          | 3 to 1        |
| Before shut-off valve          | 3 to 1        |
| Draining coils                 | 3 to 1        |
| Draining apparatus             | 3 to 1        |

نمودار ۹-۱ نمودار عمومی جریان بخار در فشار صفر تا ۲۰۰ psig و نرخ بخار بین ۵ تا ۱۰۰۰۰۰ lb/hr





نمودار ۹-۲ تصحیح سرعت بخار در فشار غیر صفر



## فصل دهم

### محاسبه بار برودتی

برای حفظ شرایط طرح مناسب در داخل ساختمان، ابتدا باید میزان بار برودتی ساختمان برآورد شده و سپس بر مبنای آن سیستم برودتی و تجهیزات موتورخانه محاسبه و انتخاب می‌گردد. در این فصل جزئیات محاسبه بار برودتی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۱۰-۱. روش‌های محاسبه بار برودتی

محاسبه بار برودتی به دلایل زیر پیچیده‌تر از محاسبه بار حرارتی است:

۱. وجود فرآیندهای مختلف انتقال حرارت و وابستگی شدید آنها به یکدیگر
  ۲. تغییرات زمانی منابع حرارتی مختلف و عدم هم فازی آنها با یکدیگر
  ۳. ذخیره و تخلیه انرژی در ساختمان که موجب گذرا شدن فرآیندهای انتقال حرارت می‌شود.
- لذا برای تخمین صحیح بار برودتی، اثر تمامی پارامترهای فوق باید در نظر گرفته شود. چنین محاسباتی می‌تواند بسیار پیچیده و طولانی باشد.

برای تجسم انتقال حرارت در ساختمان، مثال ساده‌ای از بار برودتی ناشی از سیستم روشنایی را در نظر می‌گیریم. حرارت از لامپ‌ها به صورت جابجایی و تشعشعی منتقل می‌گردد. انتقال حرارت جابجایی هوای اتاق را گرم کرده و لذا مستقیماً به بار برودتی تبدیل می‌شود. حرارت تشعشعی ابتدا بوسیله دیوارها، سقف، کف و مبلمان ساختمان جذب شده و سپس مجدداً از طریق تشعشع، جابجایی و هدایت به سایر سطوح، هوای اتاق و مصالح ساختمان منتقل می‌گردد. فرآیندهای جذب، ذخیره‌سازی، تشعشع و جابجایی در طول زمان ادامه یافته و در نتیجه کسب حرارت از سیستم روشنایی به تدریج و طی ساعات بعد به بار برودتی تبدیل می‌شود.

در طراحی سیستم تهویه مطبوع، از چهار عامل که با یکدیگر مرتبط هستند، استفاده می‌شود:

۱. کسب حرارت<sup>۱۰</sup>
۲. بار برودتی<sup>۱۱</sup>
۳. نرخ حرارت خروجی<sup>۱۲</sup>
۴. بار برودتی کوئل<sup>۱۳</sup>

کسب حرارت: عبارت است از نرخ حرارتی که در هر لحظه به فضای مورد نظر وارد یا در آن تولید می‌شود. روش‌های کسب حرارت عبارتند از:

۱. تشعشع خورشید
۲. انتقال حرارت هدایتی از سطوح خارجی
۳. انتقال حرارت هدایتی از سطوح داخلی و کف

<sup>10</sup> Heat Gain

<sup>11</sup> Cooling Load

<sup>12</sup> Heat Extraction Rate

<sup>13</sup> Coil Cooling Load

۴. منابع داخلی نظیر افراد، سیستم روشنایی و تجهیزات

۵. نفوذ و تهویه

بار برودتی: عبارت است از نرخ حرارت منتقل شده به فضای مورد نظر که باید بوسیله تجهیزات تهویه مطبوع خارج گردد تا دمای داخلی فضا ثابت باقی بماند. از آنجا که کسب حرارت تشعشعی بلافاصله به بار برودتی تبدیل نمی‌شود، کسب حرارت لحظه‌ای الزاماً برابر بار برودتی در همان لحظه نیست. انرژی تشعشعی ابتدا بوسیله سطوح داخلی فضا جذب شده و با گرم شدن این سطوح، بخشی از انرژی آنها از طریق جابجایی به هوای فضا منتقل می‌گردد (بار برودتی). ظرفیت حرارتی مصالح ساختمانی نقش تعیین کننده‌ای در نرخ افزایش دمای آنها بر اثر تشعشع ورودی داشته و ارتباط بین بخش تشعشعی کسب حرارت و اثر آن بر بار برودتی اتاق را برقرار می‌سازد.

نرخ حرارت خروجی: عملکرد تجهیزات برودتی عموماً منقطع بوده و با توجه به مشخصات سیستم کنترلی مورد استفاده، دمای اتاق در حد مشخصی نوسان می‌کند. نرخ حرارت خروجی عبارت است از مقدار حرارتی که در حالت واقعی، با در نظر گرفتن تغییرات دمای فضا، بوسیله تجهیزات برودتی خارج می‌شود. این مفهوم اگرچه برای محاسبه بار برودتی طراحی و انتخاب تجهیزات ضروری نمی‌باشد، اما جهت تخمین مصرف انرژی سالانه در ساختمان ضروری است.

بار برودتی کویل: نرخ انتقال حرارت در کویل برودتی، که یک با چند فضا را سرویس‌دهی می‌کند، برابر است با مجموع بار برودتی لحظه‌ای فضاها به علاوه بارهای خارجی ناشی از سیستم توزیع و ورود هوای تازه. همان‌طور که ذکر شد، انرژی تشعشعی پیش از تبدیل به بار برودتی، بوسیله مصالح ساختمانی جذب می‌گردد. درصد انرژی تشعشعی و جابجایی برای منابع مختلف کسب حرارت به صورت تقریبی در جدول ۱۰-۱ داده شده است.

جدول ۱۰-۱ درصد تقریبی انرژی تشعشعی و جابجایی برای منابع مختلف کسب حرارت

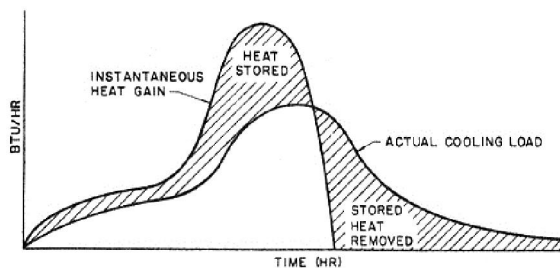
| منبع کسب حرارت        | حرارت تشعشعی | حرارت جابجایی |
|-----------------------|--------------|---------------|
| خورشید، یدون سایه‌بان | ۱۰۰          | ۰             |
| خورشید، با سایه‌بان   | ۵۸           | ۴۲            |
| لامپ فلورسنت          | ۵۰           | ۵۰            |
| لامپ رشته‌ای          | ۸۰           | ۲۰            |
| افراد <sup>*</sup>    | ۴۰           | ۲۰            |
| تجهیزات <sup>xx</sup> | ۲۰-۸۰        | ۸۰-۲۰         |
| نفوذ و تهویه          | ۰            | ۱۰۰           |

\* ۴۰٪ کسب حرارت از افراد مربوط به صورت بار نهان است.

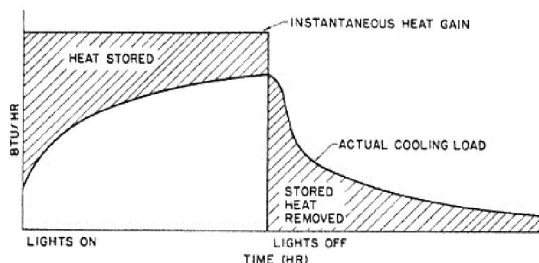
<sup>xx</sup> درصد بار تشعشعی تجهیزات به دمای سطح آن بستگی دارد. هر چه دمای

سطح بالاتر باشد، میزان بار تشعشعی هم بیشتر است.

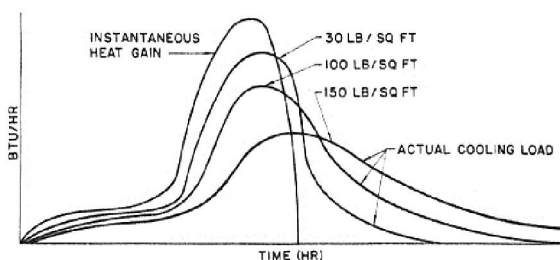
هنگامی که انرژی تشعشعی به سطوح جامدی نظیر دیوارها، کف و سقف برخورد می‌کند، جذب شده و دمای سطوح افزایش می‌یابد. بر اثر اختلاف دمای ایجاد شده، حرارت از طریق هدایت به داخل جدارها و از طریق جابجایی به هوای اتاق انتقال می‌یابد. حرارتی که به داخل جدارها منتقل می‌شود، ذخیره شده و حرارتی که به هوا منتقل می‌شود به بار برودتی تبدیل می‌شود. از آنجا که مقاومت حرارتی اغلب مصالح ساختمانی کمتر از مقاومت حرارتی فیلم هوا است، بیشتر انرژی تشعشعی به داخل جدارها منتقل و در آنها ذخیره می‌گردد. با این وجود با ادامه فرآیند ذخیره‌سازی، جدارها گرمتر شده و توانایی ذخیره انرژی آنها کاهش می‌یابد. در شکل ۱۰-۱ نمودار کسب حرارت خورشیدی و بار برودتی ناشی از آن برای پنجره غربی در ساختمانی با مصالح متداول نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، حداکثر بار برودتی تقریباً ۴۰٪ کمتر از حداکثر کسب حرارت بوده و زمان وقوع آن نیز حدوداً ۱ ساعت به تعویق می‌افتد. محدوده هاشور خورده در شکل ۱۰-۱ نشان دهنده اثرات ذخیره و تخلیه انرژی بوده و از آنجا که تمام حرارت ورودی به ساختمان باید خارج شود، مساحت خالص آن صفر است.



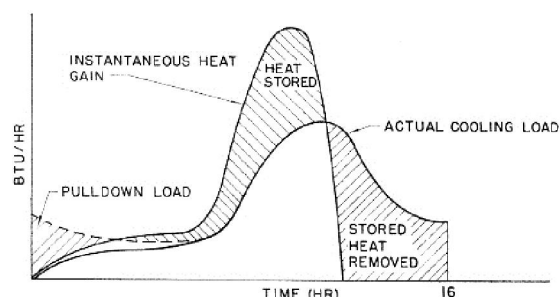
شکل ۱۰-۱ کسب حرارتی و بار برودتی خورشیدی



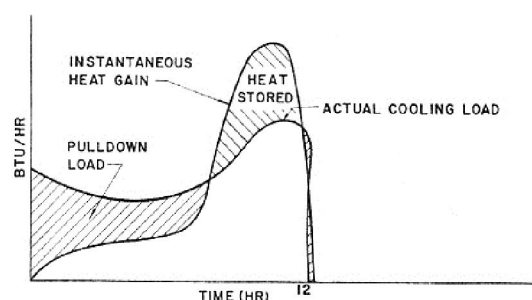
شکل ۱۰-۲ کسب حرارتی و بار برودتی روشنایی



شکل ۱۰-۳ اثر وزن ساختمان بر ذخیره انرژی



شکل ۱۰-۴ بار پسماند برای کارکرد ۱۶ ساعته



شکل ۱۰-۵ بار پسماند برای کارکرد ۱۲ ساعته

شکل ۱۰-۲ نمودار کسب حرارت سیستم روشنایی و بار برودتی ناشی از آن را در ساختمانی با مصالح متداول نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بار تقریباً ثابت سیستم روشنایی باعث می‌شود تا بلافاصله بعد از روشن شدن لامپ‌ها بیشتر انرژی تشعشعی ذخیره شده و سپس مقدار آن به تدریج کاهش یابد. مجدداً محدوده هاشور خورده اثرات ذخیره و تخلیه انرژی از ساختمان را نشان می‌دهد.

یکی از پارامترهای مهم در ظرفیت ذخیره‌سازی ساختمان، وزن مصالح ساختمانی است. از آنجا که گرمای ویژه اغلب مصالح ساختمانی در حدود  $0.2 \text{ Btu/hr.}^\circ\text{F}$  است، ظرفیت حرارتی ساختمان و اثرات ذخیره‌سازی ناشی از آن، با وزن ساختمان متناسب می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده است، در ساختمان‌های سبک، به دلیل ظرفیت حرارتی کمتر، انرژی کمتری ذخیره شده و در ساختمان‌های سنگین‌تر اثرات ذخیره‌سازی بیشتر است.

یکی دیگر از مواردی که اثرات ذخیره‌سازی انرژی در ساختمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، دوره زمانی کار تجهیزات تهویه مطبوع است. منحنی‌های شکل‌های ۱۰-۱ تا ۱۰-۳، بار برودتی را برای کارکرد ۲۴ ساعته نشان می‌دهد. چنانچه تجهیزات برودتی بعد از ۱۶ ساعت کار خاموش شوند، بخشی از حرارت ذخیره شده در ساختمان باقی مانده و با شروع به کار تجهیزات در روز به صورت بار پسماند ظاهر می‌شود. طی زمان خاموشی سیستم تهویه مطبوع، دمای اتاق به دلیل تخلیه انرژی ذخیره شده افزایش یافته و پس از روشن شدن سیستم، مجدداً به نقطه طرح باز می‌گردد. کسب حرارت خورشیدی و بار برودتی ناشی از اثرات بار پسماند در پنجره غربی ساختمانی با مصالح متداول برای کارکرد ۱۶ ساعته تجهیزات در شکل ۱۰-۴ نشان داده شده است. خط چین نمایانگر اضافه بار برودتی ناشی از انرژی باقی مانده در ساختمان (بار پسماند) است. محدوده هاشور خورده نشان دهنده ذخیره‌سازی و تخلیه انرژی از ساختمان بوده و به دلیل بقای انرژی، مساحت خالص آن برابر صفر می‌باشد.

با کاهش زمان کارکرد تجهیزات برودتی، به دلیل افزایش انرژی باقی مانده در ساختمان، بار پسماند افزایش می‌یابد. شکل ۱۰-۵ کسب حرارت خورشیدی و بار برودتی ناشی از اثرات بار پسماند را در پنجره غربی ساختمانی با مصالح متداول برای کارکرد ۱۲ ساعته سیستم نشان می‌دهد. مجدداً محدوده هاشور خورده اثرات ذخیره و تخلیه انرژی ساختمان را نشان می‌دهد.

روش‌های مختلف به منظور محاسبه بار برودتی به ترتیب پیچیدگی عبارت است از:

۱. روش توازن حرارتی
۲. روش تابع انتقال
۳. روش اختلاف دمای برودتی و ضرایب بار
۴. روش اختلاف دمای معادل و ضرایب ذخیره بار Carrier

#### ۱-۱-۱۰. روش توازن حرارتی

پیچیده‌ترین روش جهت محاسبه بار برودتی، روش توازن حرارتی<sup>۱۴</sup> است. روش فوق مفهومی پایه‌ای در محاسبه بار برودتی محسوب شده و هر چند برای استفاده معمول و گسترده پیچیده است، اما اساس سایر روش‌های ساده شده‌ای به حساب می‌آید که در ادامه معرفی می‌گردد. در روش توازن حرارتی، فضای ساختمان به تعدادی گره، که هر کدام نماینده یک سطح یا جرم ساختمانی است، تقسیم شده و معادله بقای انرژی برای تمامی گره‌ها حل می‌شود. معادله بقای انرژی برای هر جرم ساختمانی عبارت است از:

نرخ حرارت ورودی - نرخ حرارت خروجی = نرخ ذخیره‌سازی انرژی

از آنجا که سطوح فاقد جرم هستند، معادله بقای انرژی برای سطوح عبارت است از:

نرخ حرارت ورودی = نرخ حرارت خروجی

برای تعریف نرخ حرارت ورودی و خروجی به هر گره، تمامی فرآیندهای هدایت، جابجایی و تشعشع با استفاده از قوانین پایه انتقال حرارت و ترمودینامیک محاسبه شده و این امر عموماً به صورت معادلات دیفرانسیلی غیرخطی، یا شکل خطی شده آنها، بیان می‌گردد. با حل همزمان تمامی معادلات فوق، نرخ کلی جابجایی حرارت به هوای فضای مورد نظر، که معرف بار برودتی است، تعیین می‌شود.

برای بررسی روش توازن حرارتی، محاسبات بار ناشی از سیستم روشنایی را در نظر می‌گیریم. ابتدا فرآیندهای انتقال حرارتی که در تبدیل کسب حرارت از سیستم روشنایی به بار برودتی مؤثر هستند، شرح داده شده و در ادامه خلاصه‌ای از نحوه بکارگیری روش توازن حرارتی جهت محاسبه بار برودتی ارائه می‌گردد. بخشی از حرارت کسب شده از سیستم روشنایی به صورت جابجایی بوده و بنابراین با گرم کردن هوای اتاق مستقیماً تبدیل به بار برودتی می‌شود. بقیه حرارت کسب شده به صورت تشعشع حرارتی است که به سطوح مختلف اتاق برخورد می‌کند. هر سطح بخشی از حرارت تشعشعی را جذب کرده و بقیه آن را به سایر سطوح بازتابش می‌کند. بخش جذب شده دمای سطح را افزایش داده و موجب ایجاد فرآیندهای انتقال حرارت بیشتری در محیط می‌شود که عبارت است از:

۱. این امر موجب ایجاد اختلاف دما بین سطح و جرم داخلی دیوار شده و لذا بخشی از انرژی با انتقال از سطح به جرم داخلی دیوار، در آن ذخیره می‌گردد. چنانچه در ادامه شرایط تغییر کرده و سطح دیوار خنک شود، حرارت ذخیره شده نیز تخلیه خواهد شد.
  ۲. گرم شدن سطح دیوار موجب ایجاد اختلاف دما بین سطح دیوار و هوای اتاق شده و موجب انتقال حرارت جابجایی و تبدیل حرارت به بار می‌شود.
  ۳. افزایش دمای سطح موجب تشعشع حرارتی بین سطح دیوار و سایر سطوح اتاق شده و فرآیندهای مشابهی رخ می‌دهد.
- این فرآیندها به طور پیوسته ادامه یافته و تغییر می‌کند. استفاده از روش توازن حرارتی نیازمند نوشتن معادلات بقای انرژی برای سطوح و اجزای مختلف ساختمانی بوده و هر یک شامل فرآیندهای زیر است:

<sup>14</sup> Heat Balance Method (HBM)

۱. جابجایی از سیستم روشنایی به هوا
۲. تشعشع از سیستم روشنایی به هر یک از سطوح
۳. هدایت، جابجایی و تشعشع برای هر یک از سطوح
۴. هدایت و ذخیره‌سازی برای هر یک از اجزای ساختمانی

توجه به این نکته ضروری است که فرآیندهای فوق مجزا نبوده و به شدت به یکدیگر وابسته هستند. به علاوه هر یک از سطوح اتاق از سایر منابع حرارتی نظیر خورشید، افراد و تجهیزات نیز انرژی دریافت کرده و تعیین بار برودتی کل نیازمند ارزیابی تمامی فرآیندهای فوق خواهد بود.

نتیجه چنین تحلیلی، تا حدی که دقت داده‌های ورودی اجازه می‌دهد، بسیار دقیق است. با این وجود استفاده از برنامه کامپیوتری جهت انجام محاسبات لازم، نیازمند سخت افزار قوی، اطلاعات ورودی دقیق و زمان محاسبات طولانی بوده و لذا استفاده از آن برای کاربردهای معمولی مشکل می‌باشد. با این وجود این روش پایه سایر روش‌های ساده شده‌ای است که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۱۰-۲. روش تابع انتقال

روش تابع انتقال<sup>۱۵</sup> در سال ۱۹۷۲ توسط ASHRAE ارائه شده و نزدیک‌ترین روش جهت تقریب مفهوم توازن حرارتی است. این روش کامپیوتری در دو مرحله انجام می‌شود به نحوی که ابتدا میزان کسب حرارت از تمام منابع تعیین شده و سپس میزان تبدیل کسب حرارت به بار برودتی محاسبه می‌گردد.

روش تابع انتقال تکمیل تحقیق اولیه‌ای است که در سال ۱۹۶۷ در انجمن تحقیقات ملی کانادا منتشر گردید و بر پایه ایده‌ای است که *اصل فاکتور پاسخ* نامیده می‌شود. بر طبق این اصل، برای فضا و منبع حرارتی مشخص، الگوی پاسخ حرارتی، یعنی نحوه تبدیل کسب حرارت به بار برودتی در طول زمان، همواره یکسان است. بنابراین برای کسب حرارتی ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ Btu/hr، با وجود تفاوت اندازه بارها، الگوی تبدیل کسب حرارت به بار مشابه خواهد بود. *اصل فاکتور پاسخ* خود بر پایه سه اصل دیگر استوار است:

۱. اصل برهم‌نهی: بار برودتی کل با مجموع بار برودتی ناشی از منابع حرارتی مختلف برابر است.
  ۲. اصل خطی بودن: اندازه پاسخ حرارتی به صورت خطی با مقدار کسب حرارت متناسب است.
  ۳. اصل عدم تغییر: الگوی پاسخ حرارتی به زمان کسب حرارت بستگی ندارد.
- استفاده از این اصول امکان ساده‌سازی روش توازن حرارتی را فراهم می‌آورد.
- برای استفاده از روش تابع انتقال، بار برودتی به صورت تابعی ریاضی از کسب حرارت برحسب زمان بیان می‌گردد. این رابطه ریاضی، معادله تابع انتقال اتاق<sup>۱۶</sup> نامیده شده و به صورت رابطه زیر است:

$$Q_0 = v_0 q_0 + v_1 q_1 + v_2 q_2 + w_1 Q_1 + w_2 Q_2 \quad (1-10)$$

که در آن:

$Q$  و  $q$  به ترتیب بار برودتی و کسب حرارت بوده و اندیس‌های ۰، ۱ و ۲ به ترتیب نشان‌دهنده زمان حال، ۱ ساعت قبل و ۲ ساعت قبل است.

ضرایب  $v_1$ ،  $v_2$ ،  $w_1$  و  $w_2$  ضرایب تابع انتقال بوده و مقدار آنها، با توجه به نوع منبع حرارتی و ویژگی‌های ساختمان، توسط ASHRAE در قالب جداولی منتشر شده است.

به طور خلاصه، معادله تابع انتقال اتاق بیان می‌کند که بار برودتی در هر ساعت تابعی از کسب حرارت در همان ساعت و دو ساعت قبل و بار برودتی در دو ساعت قبل است. از آنجا که بار ساعت‌های گذشته به نوبه خود به کسب حرارت در ساعت‌های قبل‌تر بستگی دارد، بار برودتی در هر ساعت در واقع به اثرات کسب حرارت در تمامی ساعت‌های گذشته وابسته خواهد بود. برای استفاده

<sup>15</sup> Transfer Function Method (TFM)

<sup>16</sup> Room Transfer Function Equation

از معادله تابع انتقال اتاق، ابتدا ضرایب تابع انتقال بدست آمده و سپس برای منابع حرارتی مختلف بار برودتی در دو مرحله محاسبه می‌گردد:

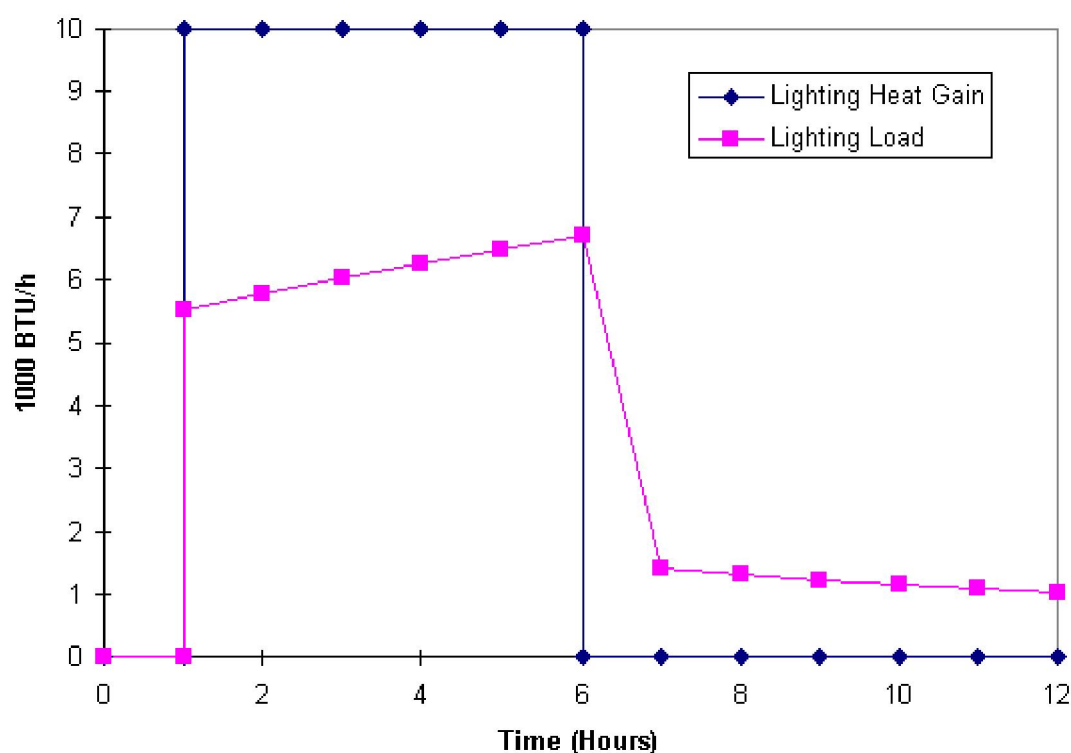
۱. تعیین کسب حرارت در هر ساعت

۲. استفاده از کسب حرارت و ضرایب تابع انتقال برای محاسبه بار برودتی

برای بررسی روش تابع انتقال، مجدداً محاسبات بار ناشی از سیستم روشنایی را در نظر می‌گیریم. فرض کنید سیستم روشنایی با توان ثابت ۱۰۰۰۰ Bru/hr به مدت ۶ ساعت کار کرده و سپس خاموش شود. برای ساختمان و سیستم روشنایی مشخص، ضرایب تابع انتقال اتاق منتشر شده توسط ASHRAE عبارت است از:

$$v_0 = 0/55 \quad v_1 = -0/49 \quad v_2 = 0/0 \quad w_1 = -0/94 \quad w_2 = 0/0$$

شکل ۱۰-۶ نمودار تغییرات کسب حرارت و بار برودتی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، به دلیل اثرات مربوط به ذخیره و تخلیه انرژی، اولاً به هنگام روشن بودن سیستم روشنایی بار برودتی کمتر از میزان کسب حرارت می‌باشد و ثانیاً پس از خاموش شدن سیستم روشنایی و حذف کسب حرارت، بار برودتی همچنان وجود خواهد داشت. بنابراین روش تابع انتقال فرآیند گذرای ذخیره و تخلیه انرژی را در ساختمان مدلسازی کرده و به علاوه می‌تواند به سادگی برای محاسبه بار برودتی ناشی از کسب حرارت متغیر مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۱۰-۶ نمودار تغییرات کسب حرارت از سیستم روشنایی و بار برودتی ناشی از آن

در خاتمه لازم به ذکر است که روش تابع انتقال همچنین با استفاده از تابع انتقال هوای فضا می‌تواند اثرات وجود ترموستات و سیستم کنترل تجهیزات برودتی را نیز مدلسازی نماید.

اگر چه در ابتدا روش تابع انتقال ممکن است تا حدودی پیچیده به نظر برسد، اما در حقیقت این روش بر پایه مفهوم توازن حرارتی و تعدادی اصل ساده قرار داشته و در نتیجه آن، در صورت مشخص بودن ضرایب تابع انتقال، بار برودتی با استفاده از روابط جبری قابل محاسبه خواهد بود. با آنکه محاسبه دستی معادلات در این روش عملی نیست، اما با استفاده از کامپیوترهای شخصی می‌توان

بار برودتی را به سرعت محاسبه نمود. امروزه اغلب نرم افزارهای محاسباتی نظیر HAP از روش تابع انتقال جهت محاسبات بار برودتی بهره می گیرند.

### ۱۰-۱-۳. روش اختلاف دمای برودتی و ضرایب بار

روش اختلاف دمای برودتی و ضرایب بار<sup>۱۷</sup> ویرایشی ساده از روش تابع انتقال حرارت محسوب می شود که در سال ۱۹۷۷ توسط ASHRAE برای انواع خاصی از ساختمان ارائه گردید. این روش یک مرحله ای از مفهوم اختلاف دمای بار برودتی (CLTD)، بار برودتی خورشیدی (SCL) و ضرایب بار برودتی (CLF) بعنوان تقریبی از روش تابع انتقال در محاسبه بار برودتی استفاده می کند.

### ۱۰-۲. روش اختلاف دمای معادل و ضرایب ذخیره بار Carrier

مشابه روش اختلاف دمای برودتی و ضرایب بار ASHRAE، مراحل روش Carrier جهت محاسبه بار برودتی ساختمان عبارت است از:

۱. محاسبه کسب حرارت از تشعشع خورشید
  ۲. محاسبه کسب حرارت از منابع داخلی
  ۳. محاسبه بار تشعشع خورشید و منابع داخلی با استفاده از مفهوم ضریب ذخیره بار
  ۴. محاسبه بار انتقال حرارت هدایتی از جدارهای خارجی با استفاده از مفهوم اختلاف دمای معادل
  ۵. محاسبه بار انتقال حرارت هدایتی از پنجره ها، درها و کف
  ۶. محاسبه بار انتقال حرارت هدایتی از جدارهای داخلی
  ۷. محاسبه بار نفوذ و تهویه
- در بخش های بعد مراحل فوق به تفصیل مورد بررسی قرار می گیرد.

### ۱۰-۲-۱. کسب حرارت از تشعشع خورشید

در خارج از جو زمین، انرژی تشعشعی خورشید در اول زمستان، هنگامی که در نزدیک ترین فاصله به خورشید قرار دارد، تقریباً  $445 \text{ Btu/hr.ft}^2$  و در اول تابستان، هنگامی که در دورترین فاصله از خورشید قرار دارد، تقریباً  $415 \text{ Btu/hr.ft}^2$  است. در طول سال انرژی تشعشعی خورشید در خارج از جو بین این دو مقدار تغییر می کند. عملاً بخش قابل توجهی از تشعشع فوق توسط اتمسفر پراکنده، بازتابش یا جذب شده و لذا مقدار تشعشعی که به زمین می رسد بسیار کمتر از این مقدار است.

هر چه گرد و غبار و رطوبت هوا بیشتر باشد، بخش بیشتری از تشعشع خورشید بازتابش یا جذب شده و لذا تشعشع مستقیمی که به زمین می رسد کمتر است. به علاوه هر چه ارتفاع محل کمتر باشد، تشعشع خورشید فاصله بیشتری را در جو طی کرده و لذا مقدار بیشتری از آن پراکنده یا جذب می گردد. به این ترتیب مقدار حرارتی که به صورت تشعشع خورشید وارد محل می شود به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. زمان (ساعت و ماه)
۲. مکان (عرض جغرافیایی)
۳. جهت تابش
۴. جنس سطح
۵. ارتفاع محل
۶. میزان گرد و غبار و رطوبت هوا

جداول ۱-۱۰ تا ۳-۱۰ میزان تشعشع خورشید برای شیشه معمولی و به ترتیب در عرض های جغرافیایی  $20^\circ$ ،  $30^\circ$  و  $40^\circ$  را نشان می دهد. شرایط جدول فوق عبارت است از:

<sup>17</sup> Cooling Load Temperature, Solar Cooling Load, Cooling Load Factor (CLTD/SCL/CLF)



۱. قاب چوبی
۲. در سطح دریا
۳. بدون گرد و غبار محیطی
۴. دمای نقطه شبنم  $67^{\circ}\text{F}$  در سطح دریا

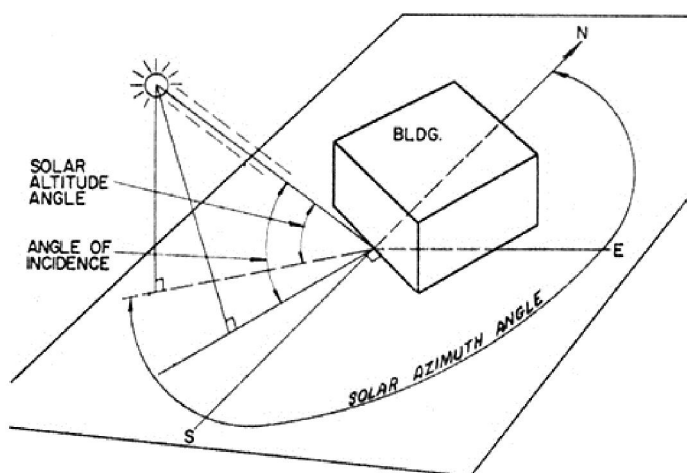
نکته ۱: چنانچه شرایط فوق برقرار نباشد از ضرایب تصحیحی که در زیر جدول ۱۰-۱ داده شده، استفاده می‌شود.  
نکته ۲: چنانچه شیشه ساده نبوده و یا دارای پرده یا سایبان باشد، ضرایب تصحیح جدول ۱۰-۴ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### ۱۰-۱-۲-۱. محاسبات سایه

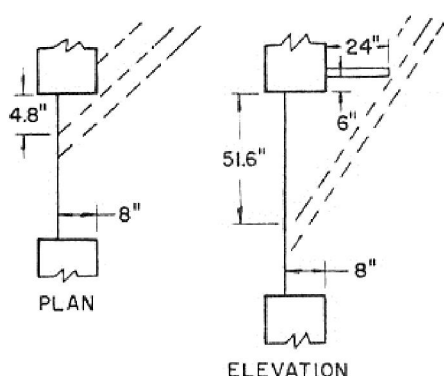
وجود ساختمان‌های مجاور یا تورفتگی و پیش‌آمدگی‌هایی که در نقشه ساختمان وجود دارد، می‌تواند بخش یا تمامی شیشه را در سایه قرار داده و از میزان تشعشع ورودی به میزان قابل توجهی بکاهد. لذا محاسبه مقدار سایه در تعیین بار تشعشعی ساختمان از اهمیت خاصی برخوردار است. در محاسبه انرژی تشعشعی، بخش‌های سایه در تمامی جهات به صورت دیوار شمالی، که همواره در سایه قرار دارد، در نظر گرفته می‌شود.

همان طور که در شکل ۷-۱۰ نشان داده شده است، موقعیت خورشید نسبت به مکان مورد نظر را می‌توان با دو زاویه تعیین نمود:

۱. زاویه ارتفاع خورشیدی: زاویه بین جهت تابش خورشید و صفحه افق در نقطه مورد نظر
۲. زاویه آزیموت خورشیدی: زاویه بین جهت شمال جغرافیایی و صفحه عمودی گذرنده از خورشید و نقطه مورد نظر



شکل ۷-۱۰ زوایای ارتفاع و آزیموت خورشیدی



شکل ۸-۱۰ مثال محاسبات سایه

روشن است که زوایای فوق تابع مکان و زمان مورد نظر می‌باشد. در جدول ۵-۱۰ زوایای ارتفاع و آزیموت خورشیدی در زمان‌های مختلف و به ازای عرض‌های مختلف جغرافیایی داده شده است. به این ترتیب میزان سایه ایجاد شده توسط هر مانع، به زوایای ارتفاع و آزیموت خورشیدی، جهت مانع و ابعاد آن بستگی داشته و با استفاده از نمودار ۱۰-۱ محاسبه می‌گردد. در ادامه نحوه محاسبه سایه در غالب یک مثال بررسی می‌شود.

**مثال:** مطلوبست محاسبه میزان سایه افقی و عمودی روی پنجره‌ای که مطابق شکل ۸-۱۰ دارای تورفتگی ۸ اینچی و سایه‌بان ۱۲ فوتی است. محل ساختمان در عرض جغرافیایی  $40^{\circ}$  شمالی بوده و زمان طرح در ساعت ۲ بعد از ظهر مرداد ماه پیش‌بینی می‌شود.

۱. با استفاده از جدول ۵-۱۰ زاویه ارتفاع خورشیدی برابر  $57^{\circ}$  و زاویه آزیموت خورشیدی برابر  $242^{\circ}$  است.
۲. با استفاده از نمودار ۱-۱۰ ضرایب سایه افقی و عمودی به ترتیب برابر  $0/6$  و  $1/8$  بوده و بنابراین طول سایه‌های افقی و عمودی ناشی از تورفتگی و سایه‌بان عبارت است از:

$$\text{میزان سایه افقی ناشی از تورفتگی} = 0.8 \times 20 = 12 \text{ in.}$$

$$\text{میزان سایه عمودی ناشی از تورفتگی و سایه‌بان} = 1.8 \times (28 + 8) = 57.6 \text{ in.}$$

توجه به این نکته ضروری است که سایه‌بان ۶ اینچ بالاتر از پنجره بوده و لذا سایه عمودی واقعی روی پنجره  $51/6$  اینچ می‌باشد.

### ۱۰-۲-۲. کسب حرارت از منابع داخلی

بار داخلی، حرارت محسوس یا نهانی است که بوسیله افراد، سیستم روشنایی، تجهیزات، موتورهای الکتریکی، لوله‌ها و سایر وسایل در محیط تولید می‌گردد.

#### ۱۰-۲-۲-۱. افراد

مواد غذایی در بدن ضمن فرآیند اکسیداسیونی که متابولیسم نامیده می‌شود به حرارت تبدیل می‌گردد. نرخ متابولیسم به مشخصات فرد از نظر جنسیت و سن و نیز میزان تحرک وی بستگی دارد. برای انجام فرآیندهای طبیعی بدن، صرفنظر از تغییرات دمای خارج، دمای داخلی بدن انسان باید در حدود  $98/6$  درجه فارنهایت باشد. تنظیم دمای داخلی بدن در انسان و به طور کلی تمامی موجودات خونگرم از طریق سیستم گردش خون و دفع حرارت پوستی صورت می‌گیرد. این دفع حرارت از سه طریق انجام می‌شود:

۱. تشعشع

۲. جابجایی

۳. تعرق

میزان تشعشع و انتقال حرارت جابجایی به محیط تابع اختلاف دمای سطح بدن و محیط بوده و از طریق مقدار گردش خون در سطح پوست تنظیم می‌گردد. میزان تعرق نیز به اختلاف فشار بخار بدن و هوای محیط وابسته است. جدول ۱۰-۶ کسب حرارت ناشی از افراد با فعالیت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

نکته ۱: در لحظات ابتدایی ورود افراد به محل، اختلاف شرایط بدن با محیط بیشتر بوده و لذا بار برودتی بیش از مقداری است که در جدول ۱۰-۶ داده شده است. هنگامی که زمان حضور فرد در محیط کمتر از ۱۵ دقیقه باشد (به عنوان مثال در فروشگاه‌ها) مقادیر فوق می‌بایست ۱۰٪ افزایش یابد.

#### ۱۰-۲-۲-۲. سیستم روشنایی

سیستم روشنایی انرژی الکتریکی ورودی را به روشنایی و حرارت تبدیل می‌کند. لامپ‌های رشته‌ای تقریباً ۱۰٪ توان ورودی را به روشنایی تبدیل کرده، ۸۰٪ را از طریق تشعشع و ۱۰٪ را به روش هدایت و جابجایی به محیط منتقل می‌کنند. در لامپ‌های فلوروسنت این مقادیر به ترتیب تقریباً ۲۵، ۲۵ و ۵۰٪ می‌باشد. به علاوه به دلیل حرارت تولید شده در بالاست لامپ‌های فلوروسنت، حرارت کسب شده از این گونه لامپ‌ها حدود ۲۵٪ بیش از توان ورودی آنهاست. در جدول ۱۰-۷ کسب حرارت ناشی از لامپ‌های رشته‌ای و فلوروسنت داده شده است.

#### ۱۰-۲-۲-۳. تجهیزات

جداول ۱۰-۸ و ۱۰-۹ به ترتیب کسب حرارت از تجهیزات برقی و گازی آشپزخانه را نشان می‌دهد. نکته ۱: چنانچه برای تهویه تجهیزات از هود استفاده شود مقادیر فوق بایستی در ۵/۰ ضرب گردند.

#### ۱۰-۲-۲-۴. موتورهای الکتریکی

موتور الکتریکی انرژی الکتریکی ورودی را به کار و حرارت تبدیل می‌کند. در جدول ۱۰-۱۰ حرارت ناشی از موتورهای الکتریکی برای شرایط مختلف نشان داده شده است:

۱. موتور و ماشین هر دو در داخل محیط قرار دارد: در این حالت تمام توان ورودی موتور به حرارت تبدیل می‌شود.
۲. موتور در خارج و ماشین در داخل محیط قرار دارد: در این حالت تنها توان خروجی موتور به حرارت تبدیل می‌گردد.
۳. موتور در داخل و ماشین در خارج از محیط قرار دارد: در این حالت تنها انرژی تلف شده در موتور به صورت حرارت به محیط منتقل می‌شود.

نکته ۱: توان ورودی به موتورهای الکتریکی لزوماً از توان نامی موتور بر بازده آن بدست نمی‌آید زیرا موتور ممکن است تحت بار جزئی یا اضافه بار کار کند. بنابراین در صورت امکان توان ورودی باید با اندازه‌گیری تعیین گردد. این امر بویژه در مورد کاربردهای صنعتی که بار موتورهای الکتریکی جزء اصلی بار برودتی را تشکیل می‌دهد، حائز اهمیت است.

#### ۱۰-۲-۵. لوله‌ها، مخازن و تبخیر آب از سطوح آزاد

لوله‌ها و مخازن از طریق جابجایی و تشعشع تولید حرارت کرده و لوله‌های آب سرد به عکس از محیط اطراف حرارت محسوس جذب می‌کنند. در مخازن سر باز آب گرم، به دلیل تبخیر سطحی علاوه بر تولید حرارت محسوس، حرارت نهان نیز تولید می‌شود. جداول ۱۰-۱۱ تا ۱۳-۱۰ به ترتیب ضریب انتقال برای لوله‌های گرم بدون عایق، لوله‌های گرم عایق شده و لوله‌های سرد عایق شده را نشان می‌دهد. مقادیر جداول ۱۰-۱۲ و ۱۳-۱۰ به ترتیب برای مقاومت حرارتی  $2/5$  و  $2/9 \text{ ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}/(\text{Btu}/\text{hr})$  به ازای هر اینچ ضخامت عایق ارائه شده است.

در جداول ۱۰-۱۴ حرارت محسوس تولیدی از مخازن عایق نشده ارائه شده است. در صورت سر باز بودن مخزن، حرارت نهان تولیدی را می‌توان از جدول ۱۰-۱۵ محاسبه نمود.

نکته ۱: جداول ۱۰-۱۲ و ۱۳-۱۰ شامل اثر اتصالات نبوده و در صورت زیاد بودن تعداد آنها بهتر است از ضریب اطمینان ۱۰٪ استفاده گردد.

نکته ۲: جدول ۱۰-۱۴ می‌تواند جهت محاسبه کسب حرارت از کوره‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد.

نکته ۳: گرمای نهان تبخیر آب در فشار ۱ اتمسفر  $1050 \text{ Btu}/\text{lb}$  است.

#### ۱۰-۲-۳. بار تشعشع خورشید و منابع داخلی با استفاده از مفهوم ضریب بار

بار برودتی ناشی از تشعشع خورشید عبارت است از:

$$q = \text{SHG} \times A \times \text{SLF} \quad (10-2)$$

که در آن:

SHG حداکثر کسب حرارت خورشیدی از جدول ۱۰-۲۱

A مساحت قاب پنجره

SLF ضریب ذخیره بار از جدول ۱۰-۱۶ تا ۱۰-۲۰

مقادیر ارائه شده در جدول ۱۰-۲۱ مقادیر حداکثر روزانه کسب حرارت خورشیدی در جداول ۱۰-۱ تا ۱۰-۳ است. ضرایب تصحیح ارائه شده در زیر جدول، ضرایب سایه و محاسبات سایه در صورت لزوم مشابه بخش ۱۰-۲-۱ باید مورد استفاده قرار گیرد. در جدول ۱۰-۲۲ ضریب ذخیره بار مورد استفاده برای منابع کسب حرارت داخلی (روشنایی، افراد و تجهیزات) ارائه شده است. داده‌های فوق می‌تواند برای موارد زیر مورد استفاده قرار گیرد:

۱. سیستم روشنایی
۲. افراد: در مواردی که تراکم افراد بالاست مانند سالن‌های کنفرانس و تئاتر، سطح تشعشع افراد کم شده و لذا انتقال حرارت تشعشعی کاهش می‌یابد. در این حالت ضریب ذخیره بار برای افراد برابر ۱ فرض می‌شود.

۳. تجهیزات: تنها در مواردی که دمای سطح خارجی تجهیزات بالاست، مانند کوره‌ها، ضریب ذخیره بار برای تجهیزات مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سایر موارد ضریب ذخیره بار برابر ۱ است.
- نکته ۱: همان‌طور که در جداول ضریب ذخیره بار ملاحظه می‌گردد، از آنجا که گرمای ویژه اغلب مصالح ساختمانی در حدود  $0.2 \text{ Btu/hr.}^\circ\text{F}$  است، ظرفیت حرارتی ساختمان و اثرات ذخیره‌سازی ناشی از آن، با وزن ساختمان متناسب می‌باشد.
- نکته ۲: در صورت استفاده از ضریب ذخیره برای افراد و تجهیزات از داده‌های ردیف اول جدول ۱۰-۲۲ استفاده می‌شود.
- نکته ۳: طبق توصیه ASHRAE برای در نظر گرفتن اثرات بار پسماند<sup>۱۸</sup> می‌توان در موارد زیر ضریب ذخیره بار برای منابع کسب حرارت داخلی را برابر ۱ در نظر گرفت:
۱. منبع کسب حرارت به صورت ۲۴ ساعته وجود داشته باشد.
  ۲. تجهیزات برودتی شب‌ها یا روزهای آخر هفته خاموش باشد.

#### ۱۰-۲-۴. محاسبه بار انتقال حرارت هدایتی از جدارهای خارجی با استفاده از مفهوم اختلاف دمای برودتی

بار برودتی حاصل از انتقال حرارت هدایتی از دیوارهای خارجی تحت تأثیر عوامل زیر قرار دارد:

۱. تشعشع خورشید
  ۲. اختلاف دمای محیط داخل و خارج
- از آنجا که شدت تابش خورشید و دمای خارج در طول روز تغییر می‌کند، انتقال حرارت از دیوارهای خارجی فرآیندی گذرا و پیچیده بوده و به همین دلیل از مفهوم/اختلاف دمای برودتی جهت محاسبه بار برودتی ناشی از آن استفاده می‌گردد. اختلاف دمای برودتی، اختلاف دمای معادلی است که انتقال حرارتی برابر انتقال حرارت ناشی از اثرات تابش خورشید و اختلاف دمای محیط داخل و خارج را پیش‌بینی نماید. بنابراین بار برودتی عبارت است از:

$$q = UA\Delta T_e \quad (10-3)$$

که در آن:

$q$  بار برودتی ناشی از انتقال حرارت هدایتی از جدارهای خارجی بر حسب  $\text{Btu/hr}$

$U$  ضریب کلی انتقال حرارت پنجره یا در بر حسب  $\text{Btu/hr.ft}^2.^\circ\text{F}$

$A$  سطح جدار بر حسب  $\text{ft}^2$

$\Delta T_e$  اختلاف دمای برودتی بر حسب  $^\circ\text{F}$

اختلاف دمای برودتی به مصالح ساختمانی، جهت، زمان، مکان و شرایط طرح بستگی داشته و در جداول ۱۰-۲۳ و ۱۰-۲۴ به ترتیب برای دیوارها و بام در شرایط زیر داده شده است:

۱. ماه جولای روی مدار  $40^\circ$  درجه شمالی
  ۲. حداکثر دمای طرح خارج  $95^\circ\text{F}$  درجه و دمای طرح داخل  $80^\circ\text{F}$  یعنی  $15^\circ\text{F}$  اختلاف دما
  ۳. دامنه تغییرات دمای خشک خارج  $20^\circ\text{F}$
  ۴. رنگ جدارها تیره؛ ضریب جذب سطوح تیره، متوسط و روشن به ترتیب  $0.9$ ،  $0.7$  و  $0.5$  است.
- همان‌طور که در جداول فوق ملاحظه می‌گردد، از آنجا که گرمای ویژه اغلب مصالح ساختمانی در حدود  $0.2 \text{ Btu/hr.}^\circ\text{F}$  است، ظرفیت حرارتی جدارهای خارجی و اثرات ذخیره‌سازی ناشی از آن، با وزن آنها متناسب می‌باشد.
- نکته ۱: برای محاسبه اختلاف دمای برودتی در شرایط دمایی متفاوت، مقادیر تصحیح ارائه شده در جدول ۱۰-۲۵ به مقادیر بدست آمده از جداول ۱۰-۲۳ و ۱۰-۲۴ اضافه می‌گردد.
- نکته ۲: برای دیوارهایی که در سایه قرار داشته باشد از مقادیر مربوط به دیوار شمالی استفاده می‌شود.

<sup>18</sup> Pulldown

نکته ۳: برای مکان، ماه و رنگ جدار متفاوت از روابط زیر استفاده می‌گردد:

$$\Delta T_e = \frac{R_s}{R_m} \Delta T_m + \left(1 - \frac{R_s}{R_m}\right) \Delta T_{cs} \quad \text{رنگ جدار تیره}$$

$$\Delta T_e = 0.78 \frac{R_s}{R_m} \Delta T_m + \left(1 - 0.78 \frac{R_s}{R_m}\right) \Delta T_{cs} \quad \text{رنگ جدار متوسط (۱۰-۴)}$$

$$\Delta T_e = 0.55 \frac{R_s}{R_m} \Delta T_m + \left(1 - 0.55 \frac{R_s}{R_m}\right) \Delta T_{cs} \quad \text{رنگ جدار روشن}$$

که در آن:

$\Delta T_e$  اختلاف دمای معادل دیوار یا بام در مکان و زمان مورد نظر

$\Delta T_{es}$  اختلاف دمای معادل دیوار یا بام در شرایط سایه از جداول ۱۰-۲۳ و ۱۰-۲۴ که در صورت لزوم طبق نکته ۱ تصحیح شده باشد.

$\Delta T_{em}$  اختلاف دمای معادل دیوار یا بام از جداول ۱۰-۲۳ و ۱۰-۲۴ که در صورت لزوم طبق نکته ۱ تصحیح شده باشد.

$R_s$  حداکثر کسب حرارت تابش خورشید برای زمان، مکان و جهت مورد نظر از جدول ۱۰-۲۱

$R_{sm}$  حداکثر کسب حرارت خورشید در ماه جولای روی مدار ۴۰ درجه شمالی در جهت مورد نظر از جدول ۱۰-۲۱

#### ۱۰-۲-۵. محاسبه بار انتقال حرارت هدایتی از پنجره‌ها، درها و کف

در مورد بار برودتی ناشی از انتقال حرارت هدایتی از پنجره‌ها و درها، اثرات ذخیره‌سازی در نظر گرفته نشده و بار برودتی عبارت است از:

$$q = UA(T_o - T_i) \quad (۱۰-۵)$$

که در آن:

$q$  بار برودتی ناشی از انتقال حرارت هدایتی از پنجره یا در بر حسب Btu/hr

$U$  ضریب کلی انتقال حرارت پنجره یا در بر حسب Btu/hr.ft<sup>2</sup>.°F

$A$  سطح پنجره یا در بر حسب ft<sup>2</sup>

$T_i$  دمای حباب خشک طرح داخل بر حسب °F

$T_o$  دمای حباب خشک طرح خارج بر حسب °F

دمای حباب خشک و حباب تر طرح خارج در زمانی غیر از ۳ بعد از ظهر ماه جولای را می‌توان با استفاده از تصحیحات ارائه شده در جداول ۱۰-۲۶ و ۱۰-۲۷ محاسبه نمود.

از آنجا که اختلاف دمای زمین و دمای طرح داخل در تابستان کم است، معمولاً بار کف در محاسبات بار برودتی منظور نمی‌شود.

#### ۱۰-۲-۶. محاسبه بار انتقال حرارت هدایتی از جدارهای داخلی

در مورد بار برودتی ناشی از انتقال حرارت هدایتی از جدارهای داخلی نیز اثرات ذخیره‌سازی در نظر گرفته نشده و بار برودتی عبارت است از:

$$q = UA(T_o - T_u) \quad (۱۰-۶)$$

که در آن:

$q$  بار برودتی ناشی از انتقال حرارت هدایتی از جدارهای داخلی برحسب Btu/hr

$U$  ضریب کلی انتقال حرارت جدار داخلی برحسب  $\text{Btu/hr.ft}^2.^\circ\text{F}$

$A$  سطح جدار داخلی برحسب  $\text{ft}^2$

$T_i$  دمای حباب خشک طرح داخل برحسب  $^\circ\text{F}$

$T_o$  دمای حباب خشک محیط تهویه نشده برحسب  $^\circ\text{F}$

#### ۱۰-۲-۷. بار نفوذ و تهویه هوا

از آنجا که کسب حرارت ناشی از هوای گرم نفوذی یا تهویه به صورت جابجایی منتقل می‌شود، مستقیماً به بار برودتی تبدیل شده و اثرات دخیله‌سازی انرژی در مورد آن مطرح نمی‌گردد. بنابراین چنانچه گذر حجمی هوای نفوذ یا تهویه مشخص باشد، بار برودتی ناشی از ورود هوای گرم عبارت است از:

$$q_s = 1.08 \times \dot{V} \times (T_o - T_i) \quad (7-10)$$

$$q_l = 0.68 \times \dot{V} \times (w_o - w_i) \quad (8-10)$$

$$q_t = 4.45 \times \dot{V} \times (h_o - h_i) \quad (9-10)$$

که در آن:

$q_s$  بار برودتی محسوس ناشی از نفوذ و تهویه هوا برحسب Btu/hr

$q_l$  بار برودتی نهان ناشی از نفوذ و تهویه هوا برحسب Btu/hr

$q_t$  بار برودتی کل ناشی از نفوذ و تهویه هوا برحسب Btu/hr

$\dot{V}$  گذر حجمی هوای نفوذی برحسب cfm

$T_i$  دمای حباب خشک طرح داخل برحسب  $^\circ\text{F}$

$T_o$  دمای حباب خشک طرح خارج برحسب  $^\circ\text{F}$

$w_i$  نسبت رطوبت (محتوای رطوبتی) طرح داخل برحسب grain/lb dry air

$w_o$  نسبت رطوبت (محتوای رطوبتی) طرح خارج برحسب grain/lb dry air

$h_i$  آنتالپی طرح داخل برحسب Btu/lb dry air

$h_o$  آنتالپی طرح خارج برحسب Btu/lb dry air

دمای حباب خشک و حباب تر طرح خارج در زمانی غیر از ۳ بعد از ظهر ماه جولای را می‌توان با استفاده از تصحیحات ارائه شده در جداول ۱۰-۲۶ و ۱۰-۲۷ محاسبه نمود.

ضرایب روابط (۷-۱۰) تا (۹-۱۰) برای هوا در شرایط استاندارد  $70^\circ\text{F}$  و فشار اتمسفر بوده و برای سایر شرایط باید از ضریب تصحیح چگالی، که در نمودار ۱-۳ داده شده است، استفاده نمود. در دمای  $30^\circ\text{F}$  تا  $120^\circ\text{F}$  و ارتفاع تا  $2000 \text{ ft}$  تصحیح چگالی جزئی بوده و روابط فوق معتبر می‌باشد. برآورد میزان نفوذ و تهویه هوا در فصل ۴ مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱-۱۰ کسب حرارت خورشیدی برای شیشه معمولی در عرض‌های جغرافیایی ۲۰°

Btu/hr.ft<sup>2</sup> sash

| 20° NORTH LATITUDE     |                                           | SUN TIME             |     |     |     |                                |     |      |     |                                                 |     |     |     |                                                 |            | 20° SOUTH LATITUDE                 |  |
|------------------------|-------------------------------------------|----------------------|-----|-----|-----|--------------------------------|-----|------|-----|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|-------------------------------------------------|------------|------------------------------------|--|
| Time of Year           | Exposure                                  | 6                    | 7   | 8   | 9   | 10                             | 11  | Noon | 1   | 2                                               | 3   | 4   | 5   | 6                                               | Exposure   | Time of Year                       |  |
| JUNE 21                | North                                     | 28                   | 41  | 33  | 25  | 19                             | 17  | 15   | 17  | 19                                              | 25  | 33  | 41  | 28                                              | South      | DEC 22                             |  |
|                        | Northeast                                 | 81                   | 154 | 144 | 122 | 83                             | 38  | 15   | 14  | 14                                              | 14  | 12  | 9   | 3                                               | Southeast  |                                    |  |
|                        | East                                      | 81                   | 148 | 160 | 143 | 96                             | 41  | 14   | 14  | 14                                              | 14  | 12  | 9   | 3                                               | East       |                                    |  |
|                        | Southeast                                 | 28                   | 62  | 73  | 66  | 44                             | 21  | 14   | 14  | 14                                              | 14  | 12  | 9   | 3                                               | Northeast  |                                    |  |
|                        | South                                     | 3                    | 9   | 12  | 14  | 14                             | 14  | 14   | 14  | 14                                              | 14  | 12  | 9   | 3                                               | North      |                                    |  |
| JULY 23<br>&<br>MAY 21 | Southwest                                 | 3                    | 9   | 12  | 14  | 14                             | 14  | 14   | 21  | 44                                              | 66  | 73  | 62  | 28                                              | Northwest  | JAN 21<br>&<br>NOV 21              |  |
|                        | West                                      | 3                    | 9   | 12  | 14  | 14                             | 14  | 14   | 41  | 96                                              | 143 | 160 | 148 | 81                                              | West       |                                    |  |
|                        | Northwest                                 | 3                    | 9   | 12  | 14  | 14                             | 14  | 15   | 38  | 83                                              | 122 | 144 | 154 | 81                                              | Southwest  |                                    |  |
|                        | Horizontal                                | 11                   | 60  | 121 | 176 | 216                            | 232 | 250  | 232 | 216                                             | 176 | 121 | 60  | 11                                              | Horizontal |                                    |  |
|                        | North                                     | 20                   | 28  | 23  | 17  | 15                             | 14  | 14   | 14  | 15                                              | 17  | 23  | 28  | 20                                              | South      |                                    |  |
| AUG 24<br>&<br>APR 20  | Northeast                                 | 71                   | 132 | 138 | 111 | 73                             | 31  | 14   | 14  | 14                                              | 13  | 12  | 8   | 3                                               | Southeast  | FEB 20<br>&<br>OCT 23              |  |
|                        | East                                      | 75                   | 148 | 163 | 145 | 99                             | 46  | 14   | 14  | 14                                              | 13  | 12  | 8   | 3                                               | East       |                                    |  |
|                        | Southeast                                 | 31                   | 70  | 85  | 79  | 57                             | 29  | 14   | 14  | 14                                              | 13  | 12  | 8   | 3                                               | Northeast  |                                    |  |
|                        | South                                     | 3                    | 8   | 12  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 14  | 14                                              | 13  | 12  | 8   | 3                                               | North      |                                    |  |
|                        | Southwest                                 | 3                    | 8   | 12  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 29  | 57                                              | 79  | 85  | 70  | 31                                              | Northwest  |                                    |  |
| SEPT 22<br>&<br>MAR 22 | West                                      | 3                    | 8   | 12  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 46  | 99                                              | 145 | 163 | 148 | 75                                              | West       | MAR 22<br>&<br>SEPT 22             |  |
|                        | Northwest                                 | 3                    | 8   | 12  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 31  | 73                                              | 111 | 138 | 132 | 71                                              | Southwest  |                                    |  |
|                        | Horizontal                                | 8                    | 55  | 118 | 175 | 216                            | 240 | 251  | 240 | 216                                             | 175 | 118 | 55  | 8                                               | Horizontal |                                    |  |
|                        | North                                     | 6                    | 10  | 11  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 14  | 14                                              | 13  | 11  | 10  | 6                                               | South      |                                    |  |
|                        | Northeast                                 | 45                   | 111 | 118 | 89  | 50                             | 18  | 14   | 14  | 14                                              | 13  | 11  | 7   | 2                                               | Southeast  |                                    |  |
| OCT 23<br>&<br>FEB 20  | East                                      | 53                   | 142 | 165 | 149 | 106                            | 51  | 14   | 14  | 14                                              | 13  | 11  | 7   | 2                                               | East       | APR 20<br>&<br>AUG 24              |  |
|                        | Southeast                                 | 29                   | 89  | 113 | 108 | 98                             | 55  | 20   | 14  | 14                                              | 13  | 11  | 7   | 2                                               | Northeast  |                                    |  |
|                        | South                                     | 2                    | 7   | 11  | 14  | 20                             | 24  | 26   | 24  | 20                                              | 14  | 11  | 7   | 2                                               | North      |                                    |  |
|                        | Southwest                                 | 2                    | 7   | 11  | 13  | 14                             | 14  | 20   | 55  | 98                                              | 108 | 113 | 89  | 29                                              | Northwest  |                                    |  |
|                        | West                                      | 2                    | 7   | 11  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 51  | 106                                             | 149 | 165 | 142 | 53                                              | West       |                                    |  |
| NOV 21<br>&<br>JAN 21  | Northwest                                 | 2                    | 7   | 11  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 18  | 50                                              | 89  | 118 | 111 | 45                                              | Southwest  | MAY 21<br>&<br>JULY 23             |  |
|                        | Horizontal                                | 5                    | 48  | 107 | 167 | 210                            | 235 | 247  | 235 | 210                                             | 167 | 107 | 48  | 5                                               | Horizontal |                                    |  |
|                        | North                                     | 0                    | 6   | 11  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 14  | 14                                              | 13  | 11  | 6   | 0                                               | South      |                                    |  |
|                        | Northeast                                 | 0                    | 83  | 87  | 59  | 22                             | 14  | 14   | 14  | 14                                              | 13  | 11  | 6   | 0                                               | Southeast  |                                    |  |
|                        | East                                      | 0                    | 130 | 163 | 149 | 104                            | 45  | 14   | 14  | 14                                              | 13  | 11  | 6   | 0                                               | East       |                                    |  |
| DEC 22                 | Southeast                                 | 0                    | 99  | 136 | 140 | 120                            | 84  | 41   | 15  | 14                                              | 13  | 11  | 6   | 0                                               | Northeast  | JUNE 21                            |  |
|                        | South                                     | 0                    | 8   | 22  | 38  | 52                             | 63  | 65   | 63  | 52                                              | 38  | 22  | 8   | 0                                               | North      |                                    |  |
|                        | Southwest                                 | 0                    | 6   | 11  | 13  | 14                             | 15  | 41   | 84  | 120                                             | 140 | 136 | 99  | 0                                               | Northwest  |                                    |  |
|                        | West                                      | 0                    | 6   | 11  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 45  | 104                                             | 149 | 163 | 130 | 0                                               | West       |                                    |  |
|                        | Northwest                                 | 0                    | 6   | 11  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 22  | 59                                              | 87  | 83  | 0   | Southwest                                       |            |                                    |  |
| JAN 21<br>&<br>MAY 21  | Horizontal                                | 0                    | 30  | 93  | 153 | 198                            | 225 | 233  | 225 | 198                                             | 153 | 93  | 30  | 0                                               | Horizontal | JULY 23<br>&<br>NOV 21             |  |
|                        | North                                     | 0                    | 4   | 9   | 12  | 13                             | 14  | 14   | 14  | 13                                              | 12  | 9   | 4   | 0                                               | South      |                                    |  |
|                        | Northeast                                 | 0                    | 44  | 52  | 29  | 13                             | 14  | 14   | 14  | 13                                              | 12  | 9   | 4   | 0                                               | Southeast  |                                    |  |
|                        | East                                      | 0                    | 99  | 147 | 141 | 100                            | 49  | 14   | 14  | 13                                              | 12  | 9   | 4   | 0                                               | East       |                                    |  |
|                        | Southeast                                 | 0                    | 91  | 146 | 160 | 149                            | 119 | 74   | 27  | 13                                              | 12  | 9   | 4   | 0                                               | Northeast  |                                    |  |
| FEB 20<br>&<br>JUN 21  | South                                     | 0                    | 21  | 50  | 76  | 93                             | 106 | 111  | 106 | 93                                              | 76  | 50  | 21  | 0                                               | North      | AUG 24<br>&<br>DEC 22              |  |
|                        | Southwest                                 | 0                    | 4   | 9   | 12  | 13                             | 27  | 74   | 119 | 149                                             | 160 | 146 | 91  | 0                                               | Northwest  |                                    |  |
|                        | West                                      | 0                    | 4   | 9   | 12  | 13                             | 14  | 14   | 49  | 100                                             | 141 | 147 | 99  | 0                                               | West       |                                    |  |
|                        | Northwest                                 | 0                    | 4   | 9   | 12  | 13                             | 14  | 14   | 14  | 13                                              | 29  | 52  | 44  | 0                                               | Southwest  |                                    |  |
|                        | Horizontal                                | 0                    | 18  | 68  | 127 | 171                            | 196 | 208  | 196 | 171                                             | 127 | 68  | 18  | 0                                               | Horizontal |                                    |  |
| MAY 21<br>&<br>OCT 23  | North                                     | 0                    | 3   | 8   | 11  | 13                             | 13  | 13   | 13  | 13                                              | 11  | 8   | 3   | 0                                               | South      | NOV 21<br>&<br>APR 20              |  |
|                        | Northeast                                 | 0                    | 24  | 26  | 14  | 13                             | 13  | 13   | 13  | 13                                              | 11  | 8   | 3   | 0                                               | Southeast  |                                    |  |
|                        | East                                      | 0                    | 71  | 128 | 127 | 91                             | 43  | 13   | 13  | 13                                              | 11  | 8   | 3   | 0                                               | East       |                                    |  |
|                        | Southeast                                 | 0                    | 73  | 144 | 164 | 158                            | 135 | 91   | 46  | 16                                              | 11  | 8   | 3   | 0                                               | Northeast  |                                    |  |
|                        | South                                     | 0                    | 28  | 69  | 100 | 123                            | 136 | 141  | 136 | 123                                             | 100 | 69  | 28  | 0                                               | North      |                                    |  |
| JUN 21<br>&<br>JAN 21  | Southwest                                 | 0                    | 3   | 8   | 11  | 16                             | 46  | 91   | 135 | 158                                             | 164 | 144 | 73  | 0                                               | Northwest  | FEB 20<br>&<br>JULY 23             |  |
|                        | West                                      | 0                    | 3   | 8   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 43  | 91                                              | 127 | 128 | 71  | 0                                               | West       |                                    |  |
|                        | Northwest                                 | 0                    | 3   | 8   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 13  | 13                                              | 14  | 26  | 24  | 0                                               | Southwest  |                                    |  |
|                        | Horizontal                                | 0                    | 5   | 48  | 101 | 146                            | 172 | 180  | 172 | 146                                             | 101 | 48  | 5   | 0                                               | Horizontal |                                    |  |
|                        | North                                     | 0                    | 2   | 7   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 13  | 12                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | South      |                                    |  |
| JULY 23<br>&<br>JUN 21 | Northeast                                 | 0                    | 14  | 18  | 12  | 12                             | 13  | 13   | 13  | 12                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | Southeast  | AUG 24<br>&<br>DEC 22              |  |
|                        | East                                      | 0                    | 56  | 118 | 121 | 85                             | 34  | 13   | 13  | 12                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | East       |                                    |  |
|                        | Southeast                                 | 0                    | 59  | 139 | 167 | 159                            | 134 | 97   | 60  | 20                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | Northeast  |                                    |  |
|                        | South                                     | 0                    | 25  | 74  | 111 | 132                            | 146 | 149  | 146 | 132                                             | 111 | 74  | 25  | 0                                               | North      |                                    |  |
|                        | Southwest                                 | 0                    | 2   | 7   | 11  | 20                             | 60  | 97   | 134 | 159                                             | 167 | 139 | 59  | 0                                               | Northwest  |                                    |  |
| AUG 24<br>&<br>JAN 21  | West                                      | 0                    | 2   | 7   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 34  | 85                                              | 121 | 118 | 56  | 0                                               | West       | FEB 20<br>&<br>JULY 23             |  |
|                        | Northwest                                 | 0                    | 2   | 7   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 13  | 12                                              | 12  | 18  | 14  | 0                                               | Southwest  |                                    |  |
|                        | Horizontal                                | 0                    | 4   | 36  | 92  | 135                            | 161 | 170  | 161 | 135                                             | 92  | 36  | 4   | 0                                               | Horizontal |                                    |  |
|                        | North                                     | 0                    | 2   | 7   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 13  | 12                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | South      |                                    |  |
|                        | Northeast                                 | 0                    | 14  | 18  | 12  | 12                             | 13  | 13   | 13  | 12                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | Southeast  |                                    |  |
| SEP 22<br>&<br>MAY 21  | East                                      | 0                    | 56  | 118 | 121 | 85                             | 34  | 13   | 13  | 12                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | East       | JUN 21<br>&<br>JAN 21              |  |
|                        | Southeast                                 | 0                    | 59  | 139 | 167 | 159                            | 134 | 97   | 60  | 20                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | Northeast  |                                    |  |
|                        | South                                     | 0                    | 25  | 74  | 111 | 132                            | 146 | 149  | 146 | 132                                             | 111 | 74  | 25  | 0                                               | North      |                                    |  |
|                        | Southwest                                 | 0                    | 2   | 7   | 11  | 20                             | 60  | 97   | 134 | 159                                             | 167 | 139 | 59  | 0                                               | Northwest  |                                    |  |
|                        | West                                      | 0                    | 2   | 7   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 34  | 85                                              | 121 | 118 | 56  | 0                                               | West       |                                    |  |
| OCT 23<br>&<br>JUN 21  | Northwest                                 | 0                    | 2   | 7   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 13  | 12                                              | 12  | 18  | 14  | 0                                               | Southwest  | JULY 23<br>&<br>AUG 24             |  |
|                        | Horizontal                                | 0                    | 4   | 36  | 92  | 135                            | 161 | 170  | 161 | 135                                             | 92  | 36  | 4   | 0                                               | Horizontal |                                    |  |
|                        | North                                     | 0                    | 2   | 7   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 13  | 12                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | South      |                                    |  |
|                        | Northeast                                 | 0                    | 14  | 18  | 12  | 12                             | 13  | 13   | 13  | 12                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | Southeast  |                                    |  |
|                        | East                                      | 0                    | 56  | 118 | 121 | 85                             | 34  | 13   | 13  | 12                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | East       |                                    |  |
| NOV 21<br>&<br>JAN 21  | Southeast                                 | 0                    | 59  | 139 | 167 | 159                            | 134 | 97   | 60  | 20                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | Northeast  | FEB 20<br>&<br>JULY 23             |  |
|                        | South                                     | 0                    | 25  | 74  | 111 | 132                            | 146 | 149  | 146 | 132                                             | 111 | 74  | 25  | 0                                               | North      |                                    |  |
|                        | Southwest                                 | 0                    | 2   | 7   | 11  | 20                             | 60  | 97   | 134 | 159                                             | 167 | 139 | 59  | 0                                               | Northwest  |                                    |  |
|                        | West                                      | 0                    | 2   | 7   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 34  | 85                                              | 121 | 118 | 56  | 0                                               | West       |                                    |  |
|                        | Northwest                                 | 0                    | 2   | 7   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 13  | 12                                              | 12  | 18  | 14  | 0                                               | Southwest  |                                    |  |
| DEC 22                 | Horizontal                                | 0                    | 4   | 36  | 92  | 135                            | 161 | 170  | 161 | 135                                             | 92  | 36  | 4   | 0                                               | Horizontal | JAN 21<br>&<br>JUN 21              |  |
|                        | North                                     | 0                    | 2   | 7   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 13  | 12                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | South      |                                    |  |
|                        | Northeast                                 | 0                    | 14  | 18  | 12  | 12                             | 13  | 13   | 13  | 12                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | Southeast  |                                    |  |
|                        | East                                      | 0                    | 56  | 118 | 121 | 85                             | 34  | 13   | 13  | 12                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | East       |                                    |  |
|                        | Southeast                                 | 0                    | 59  | 139 | 167 | 159                            | 134 | 97   | 60  | 20                                              | 11  | 7   | 2   | 0                                               | Northeast  |                                    |  |
| JAN 21<br>&<br>JUN 21  | South                                     | 0                    | 25  | 74  | 111 | 132                            | 146 | 149  | 146 | 132                                             | 111 | 74  | 25  | 0                                               | North      | JULY 23<br>&<br>AUG 24             |  |
|                        | Southwest                                 | 0                    | 2   | 7   | 11  | 20                             | 60  | 97   | 134 | 159                                             | 167 | 139 | 59  | 0                                               | Northwest  |                                    |  |
|                        | West                                      | 0                    | 2   | 7   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 34  | 85                                              | 121 | 118 | 56  | 0                                               | West       |                                    |  |
|                        | Northwest                                 | 0                    | 2   | 7   | 11  | 12                             | 13  | 13   | 13  | 12                                              | 12  | 18  | 14  | 0                                               | Southwest  |                                    |  |
|                        | Horizontal                                | 0                    | 4   | 36  | 92  | 135                            | 161 | 170  | 161 | 135                                             | 92  | 36  | 4   | 0                                               | Horizontal |                                    |  |
| Solar Gain Correction  | Steel Sash, or No Sash<br>× 1/.85 or 1.17 | Haze<br>- 15% (Max.) |     |     |     | Altitude<br>+ 0.7% per 1000 Ft |     |      |     | Dewpoint<br>Decrease From 67 F<br>+ 7% per 10 F |     |     |     | Dewpoint<br>Increase From 67 F<br>- 7% per 10 F |            | South Lat.<br>Dec. or Jan.<br>+ 7% |  |

جدول ۱۰-۲ کسب حرارت خورشیدی برای شیشه معمولی در عرض‌های جغرافیایی ۳۰°

Btu/hr.ft<sup>2</sup> sash

| 30° NORTH LATITUDE     |                                           | AM                   |     |     |     | SUN TIME                       |     |      |     |                                                 |     |     |     | PM                                              |            |                                    |  | 30° SOUTH LATITUDE |  |
|------------------------|-------------------------------------------|----------------------|-----|-----|-----|--------------------------------|-----|------|-----|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|-------------------------------------------------|------------|------------------------------------|--|--------------------|--|
| Time of Year           | Exposure                                  | 6                    | 7   | 8   | 9   | 10                             | 11  | Noon | 1   | 2                                               | 3   | 4   | 5   | 6                                               | Exposure   | Time of Year                       |  |                    |  |
| JUNE 21                | North                                     | 33                   | 29  | 18  | 14  | 14                             | 14  | 14   | 14  | 14                                              | 14  | 18  | 29  | 33                                              | South      | DEC 22                             |  |                    |  |
|                        | Northeast                                 | 105                  | 139 | 130 | 97  | 55                             | 19  | 14   | 14  | 14                                              | 14  | 12  | 10  | 5                                               | Southeast  |                                    |  |                    |  |
|                        | East                                      | 108                  | 156 | 161 | 143 | 98                             | 44  | 14   | 14  | 14                                              | 14  | 12  | 10  | 5                                               | East       |                                    |  |                    |  |
|                        | Southeast                                 | 42                   | 75  | 90  | 90  | 73                             | 44  | 17   | 14  | 14                                              | 14  | 12  | 10  | 5                                               | Northeast  |                                    |  |                    |  |
|                        | South                                     | 5                    | 10  | 12  | 14  | 15                             | 19  | 21   | 19  | 15                                              | 14  | 12  | 10  | 5                                               | North      |                                    |  |                    |  |
|                        | Southwest                                 | 5                    | 10  | 12  | 14  | 14                             | 14  | 17   | 44  | 73                                              | 90  | 90  | 75  | 42                                              | Northwest  |                                    |  |                    |  |
| JULY 23<br>&<br>MAY 21 | West                                      | 5                    | 10  | 12  | 14  | 14                             | 14  | 14   | 44  | 98                                              | 143 | 161 | 156 | 108                                             | West       | JAN 21<br>&<br>NOV 21              |  |                    |  |
|                        | Northwest                                 | 5                    | 10  | 12  | 14  | 14                             | 14  | 14   | 19  | 55                                              | 97  | 130 | 139 | 105                                             | Southwest  |                                    |  |                    |  |
|                        | Horizontal                                | 19                   | 61  | 131 | 180 | 217                            | 240 | 250  | 240 | 217                                             | 180 | 131 | 61  | 19                                              | Horizontal |                                    |  |                    |  |
|                        | North                                     | 22                   | 20  | 14  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 14  | 14                                              | 13  | 14  | 20  | 22                                              | South      |                                    |  |                    |  |
|                        | Northeast                                 | 93                   | 131 | 123 | 89  | 46                             | 16  | 14   | 14  | 14                                              | 13  | 12  | 9   | 4                                               | Southeast  |                                    |  |                    |  |
|                        | East                                      | 100                  | 155 | 164 | 145 | 99                             | 44  | 14   | 14  | 14                                              | 13  | 12  | 9   | 4                                               | East       |                                    |  |                    |  |
| AUG 24<br>&<br>APR 20  | Southeast                                 | 42                   | 82  | 100 | 100 | 83                             | 53  | 22   | 14  | 14                                              | 13  | 12  | 9   | 4                                               | Northeast  | FEB 20<br>&<br>OCT 23              |  |                    |  |
|                        | South                                     | 4                    | 9   | 12  | 14  | 20                             | 27  | 30   | 27  | 20                                              | 14  | 12  | 9   | 4                                               | North      |                                    |  |                    |  |
|                        | Southwest                                 | 4                    | 9   | 12  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 53  | 83                                              | 100 | 100 | 82  | 42                                              | Northwest  |                                    |  |                    |  |
|                        | West                                      | 4                    | 9   | 12  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 44  | 99                                              | 145 | 164 | 155 | 100                                             | West       |                                    |  |                    |  |
|                        | Northwest                                 | 4                    | 9   | 12  | 13  | 14                             | 14  | 14   | 16  | 46                                              | 89  | 123 | 131 | 93                                              | Southwest  |                                    |  |                    |  |
|                        | Horizontal                                | 15                   | 66  | 123 | 176 | 214                            | 236 | 246  | 236 | 214                                             | 176 | 123 | 66  | 15                                              | Horizontal |                                    |  |                    |  |
| SEPT 22<br>&<br>MAR 22 | North                                     | 6                    | 8   | 11  | 13  | 13                             | 14  | 14   | 14  | 13                                              | 13  | 11  | 8   | 6                                               | South      | MAR 22<br>&<br>SEPT 22             |  |                    |  |
|                        | Northeast                                 | 55                   | 108 | 100 | 66  | 27                             | 14  | 14   | 14  | 13                                              | 13  | 11  | 8   | 2                                               | Southeast  |                                    |  |                    |  |
|                        | East                                      | 66                   | 147 | 165 | 148 | 102                            | 46  | 14   | 14  | 13                                              | 13  | 11  | 8   | 2                                               | East       |                                    |  |                    |  |
|                        | Southeast                                 | 37                   | 98  | 127 | 129 | 112                            | 82  | 39   | 15  | 13                                              | 13  | 11  | 8   | 2                                               | Northeast  |                                    |  |                    |  |
|                        | South                                     | 2                    | 8   | 13  | 27  | 47                             | 58  | 63   | 58  | 47                                              | 27  | 13  | 8   | 2                                               | North      |                                    |  |                    |  |
|                        | Southwest                                 | 2                    | 8   | 11  | 13  | 13                             | 15  | 39   | 82  | 112                                             | 129 | 127 | 98  | 37                                              | Northwest  |                                    |  |                    |  |
| OCT 23<br>&<br>FEB 20  | West                                      | 2                    | 8   | 11  | 13  | 13                             | 14  | 14   | 46  | 102                                             | 148 | 165 | 147 | 66                                              | West       | APR 20<br>&<br>AUG 24              |  |                    |  |
|                        | Northwest                                 | 2                    | 8   | 11  | 13  | 13                             | 14  | 14   | 14  | 27                                              | 66  | 100 | 108 | 55                                              | Southwest  |                                    |  |                    |  |
|                        | Horizontal                                | 6                    | 47  | 107 | 161 | 200                            | 225 | 235  | 225 | 200                                             | 161 | 107 | 47  | 6                                               | Horizontal |                                    |  |                    |  |
|                        | North                                     | 0                    | 5   | 10  | 12  | 13                             | 14  | 14   | 14  | 13                                              | 12  | 10  | 5   | 0                                               | South      |                                    |  |                    |  |
|                        | Northeast                                 | 0                    | 74  | 90  | 40  | 15                             | 14  | 14   | 14  | 13                                              | 12  | 10  | 5   | 0                                               | Southeast  |                                    |  |                    |  |
|                        | East                                      | 0                    | 124 | 158 | 144 | 103                            | 48  | 14   | 14  | 13                                              | 12  | 10  | 5   | 0                                               | East       |                                    |  |                    |  |
| NOV 21<br>&<br>JAN 21  | Southeast                                 | 0                    | 98  | 131 | 152 | 141                            | 113 | 67   | 25  | 13                                              | 12  | 10  | 5   | 0                                               | Northeast  | MAY 21<br>&<br>JULY 23             |  |                    |  |
|                        | South                                     | 0                    | 9   | 18  | 60  | 82                             | 98  | 105  | 98  | 82                                              | 60  | 18  | 9   | 0                                               | North      |                                    |  |                    |  |
|                        | Southwest                                 | 0                    | 5   | 10  | 12  | 13                             | 25  | 67   | 113 | 141                                             | 152 | 131 | 98  | 0                                               | Northwest  |                                    |  |                    |  |
|                        | West                                      | 0                    | 5   | 10  | 12  | 13                             | 14  | 14   | 48  | 103                                             | 144 | 158 | 124 | 0                                               | West       |                                    |  |                    |  |
|                        | Northwest                                 | 0                    | 5   | 10  | 12  | 13                             | 14  | 14   | 15  | 40                                              | 90  | 74  | 0   | Southwest                                       |            |                                    |  |                    |  |
|                        | Horizontal                                | 0                    | 25  | 81  | 135 | 179                            | 202 | 212  | 202 | 179                                             | 135 | 81  | 25  | 0                                               | Horizontal |                                    |  |                    |  |
| DEC 22                 | North                                     | 0                    | 3   | 8   | 11  | 12                             | 13  | 14   | 13  | 12                                              | 11  | 8   | 3   | 0                                               | South      | JUNE 21                            |  |                    |  |
|                        | Northeast                                 | 0                    | 33  | 39  | 18  | 12                             | 13  | 14   | 13  | 12                                              | 11  | 8   | 3   | 0                                               | Southeast  |                                    |  |                    |  |
|                        | East                                      | 0                    | 79  | 135 | 132 | 94                             | 43  | 14   | 13  | 12                                              | 11  | 8   | 3   | 0                                               | East       |                                    |  |                    |  |
|                        | Southeast                                 | 0                    | 73  | 142 | 163 | 159                            | 136 | 92   | 47  | 15                                              | 11  | 8   | 3   | 0                                               | Northeast  |                                    |  |                    |  |
|                        | South                                     | 0                    | 18  | 57  | 92  | 121                            | 139 | 145  | 139 | 121                                             | 92  | 57  | 18  | 0                                               | North      |                                    |  |                    |  |
|                        | Southwest                                 | 0                    | 3   | 8   | 11  | 15                             | 47  | 92   | 136 | 159                                             | 163 | 142 | 73  | 0                                               | Northwest  |                                    |  |                    |  |
| NOV 21<br>&<br>JAN 21  | West                                      | 0                    | 3   | 8   | 11  | 12                             | 13  | 14   | 43  | 94                                              | 132 | 135 | 79  | 0                                               | West       | JUNE 21                            |  |                    |  |
|                        | Northwest                                 | 0                    | 3   | 8   | 11  | 12                             | 13  | 14   | 13  | 12                                              | 11  | 8   | 3   | 0                                               | Southwest  |                                    |  |                    |  |
|                        | Horizontal                                | 0                    | 6   | 49  | 100 | 143                            | 171 | 179  | 171 | 143                                             | 100 | 49  | 6   | 0                                               | Horizontal |                                    |  |                    |  |
|                        | North                                     | 0                    | 1   | 6   | 9   | 11                             | 12  | 12   | 12  | 11                                              | 9   | 6   | 1   | 0                                               | South      |                                    |  |                    |  |
|                        | Northeast                                 | 0                    | 8   | 16  | 9   | 11                             | 12  | 12   | 12  | 11                                              | 9   | 6   | 1   | 0                                               | Southeast  |                                    |  |                    |  |
|                        | East                                      | 0                    | 27  | 109 | 116 | 83                             | 35  | 12   | 12  | 11                                              | 9   | 6   | 1   | 0                                               | East       |                                    |  |                    |  |
| DEC 22                 | Southeast                                 | 0                    | 28  | 127 | 161 | 162                            | 143 | 104  | 64  | 23                                              | 9   | 6   | 1   | 0                                               | Northeast  | JUNE 21                            |  |                    |  |
|                        | South                                     | 0                    | 10  | 68  | 109 | 137                            | 154 | 159  | 154 | 137                                             | 109 | 68  | 10  | 0                                               | North      |                                    |  |                    |  |
|                        | Southwest                                 | 0                    | 1   | 6   | 9   | 23                             | 64  | 104  | 143 | 162                                             | 161 | 127 | 28  | 0                                               | Northwest  |                                    |  |                    |  |
|                        | West                                      | 0                    | 1   | 6   | 9   | 11                             | 12  | 12   | 35  | 83                                              | 116 | 109 | 27  | 0                                               | West       |                                    |  |                    |  |
|                        | Northwest                                 | 0                    | 1   | 6   | 9   | 11                             | 12  | 12   | 12  | 11                                              | 9   | 6   | 1   | 0                                               | Southwest  |                                    |  |                    |  |
|                        | Horizontal                                | 0                    | 2   | 27  | 71  | 109                            | 136 | 145  | 136 | 109                                             | 71  | 27  | 2   | 0                                               | Horizontal |                                    |  |                    |  |
| NOV 21<br>&<br>JAN 21  | North                                     | 0                    | 0   | 4   | 9   | 11                             | 12  | 12   | 12  | 11                                              | 9   | 4   | 0   | 0                                               | South      | JUNE 21                            |  |                    |  |
|                        | Northeast                                 | 0                    | 0   | 10  | 9   | 11                             | 12  | 12   | 12  | 11                                              | 9   | 4   | 0   | 0                                               | Southeast  |                                    |  |                    |  |
|                        | East                                      | 0                    | 0   | 92  | 105 | 80                             | 32  | 12   | 12  | 11                                              | 9   | 4   | 0   | 0                                               | East       |                                    |  |                    |  |
|                        | Southeast                                 | 0                    | 0   | 114 | 157 | 162                            | 143 | 108  | 72  | 28                                              | 9   | 4   | 0   | 0                                               | Northeast  |                                    |  |                    |  |
|                        | South                                     | 0                    | 0   | 64  | 113 | 142                            | 159 | 163  | 159 | 142                                             | 113 | 64  | 0   | 0                                               | North      |                                    |  |                    |  |
|                        | Southwest                                 | 0                    | 0   | 4   | 9   | 28                             | 72  | 108  | 143 | 162                                             | 157 | 114 | 0   | 0                                               | Northwest  |                                    |  |                    |  |
| NOV 21<br>&<br>JAN 21  | West                                      | 0                    | 0   | 4   | 9   | 11                             | 12  | 12   | 32  | 80                                              | 105 | 92  | 0   | 0                                               | West       | JUNE 21                            |  |                    |  |
|                        | Northwest                                 | 0                    | 0   | 4   | 9   | 11                             | 12  | 12   | 12  | 11                                              | 9   | 4   | 0   | 0                                               | Southwest  |                                    |  |                    |  |
|                        | Horizontal                                | 0                    | 0   | 19  | 60  | 97                             | 122 | 131  | 122 | 97                                              | 60  | 19  | 0   | 0                                               | Horizontal |                                    |  |                    |  |
|                        | North                                     | 0                    | 0   | 4   | 9   | 11                             | 12  | 12   | 12  | 11                                              | 9   | 4   | 0   | 0                                               | South      |                                    |  |                    |  |
|                        | Northeast                                 | 0                    | 0   | 10  | 9   | 11                             | 12  | 12   | 12  | 11                                              | 9   | 4   | 0   | 0                                               | Southeast  |                                    |  |                    |  |
|                        | East                                      | 0                    | 0   | 92  | 105 | 80                             | 32  | 12   | 12  | 11                                              | 9   | 4   | 0   | 0                                               | East       |                                    |  |                    |  |
| NOV 21<br>&<br>JAN 21  | Southeast                                 | 0                    | 0   | 114 | 157 | 162                            | 143 | 108  | 72  | 28                                              | 9   | 4   | 0   | 0                                               | Northeast  | JUNE 21                            |  |                    |  |
|                        | South                                     | 0                    | 0   | 64  | 113 | 142                            | 159 | 163  | 159 | 142                                             | 113 | 64  | 0   | 0                                               | North      |                                    |  |                    |  |
|                        | Southwest                                 | 0                    | 0   | 4   | 9   | 28                             | 72  | 108  | 143 | 162                                             | 157 | 114 | 0   | 0                                               | Northwest  |                                    |  |                    |  |
|                        | West                                      | 0                    | 0   | 4   | 9   | 11                             | 12  | 12   | 32  | 80                                              | 105 | 92  | 0   | 0                                               | West       |                                    |  |                    |  |
|                        | Northwest                                 | 0                    | 0   | 4   | 9   | 11                             | 12  | 12   | 12  | 11                                              | 9   | 4   | 0   | 0                                               | Southwest  |                                    |  |                    |  |
|                        | Horizontal                                | 0                    | 0   | 19  | 60  | 97                             | 122 | 131  | 122 | 97                                              | 60  | 19  | 0   | 0                                               | Horizontal |                                    |  |                    |  |
| Solar Gain Correction  | Steel Sash, or No Sash<br>× 1/.85 or 1.17 | Haze<br>- 15% (Max.) |     |     |     | Altitude<br>+ 0.7% per 1000 Ft |     |      |     | Dewpoint<br>Decrease From 67 F<br>+ 7% per 10 F |     |     |     | Dewpoint<br>Increase From 67 F<br>- 7% per 10 F |            | South Lat.<br>Dec. or Jan.<br>+ 7% |  |                    |  |



جدول ۳-۱۰ کسب حرارت خورشیدی برای شیشه معمولی در عرض‌های جغرافیایی ۴۰°

Btu/hr.ft<sup>2</sup> sash

| 40° NORTH LATITUDE     |            | AM  |     | SUN TIME |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |            | PM                     |  | 40° SOUTH LATITUDE |  |
|------------------------|------------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|------------------------|--|--------------------|--|
| Time of Year           | Exposure   | 6   | 7   | 8        | 9   | 10  | 11  | Noon | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | Exposure   | Time of Year           |  |                    |  |
| JUNE 21                | North      | 32  | 20  | 12       | 13  | 14  | 14  | 14   | 14  | 14  | 13  | 12  | 20  | 32  | South      | DEC 22                 |  |                    |  |
|                        | Northeast  | 118 | 133 | 112      | 73  | 30  | 14  | 14   | 14  | 14  | 13  | 12  | 10  | 6   | Southeast  |                        |  |                    |  |
|                        | East       | 126 | 161 | 162      | 142 | 95  | 44  | 14   | 14  | 14  | 13  | 12  | 10  | 6   | East       |                        |  |                    |  |
|                        | Southeast  | 51  | 88  | 109      | 111 | 99  | 71  | 34   | 14  | 14  | 13  | 12  | 10  | 6   | Northeast  |                        |  |                    |  |
|                        | South      | 6   | 10  | 12       | 19  | 35  | 44  | 54   | 44  | 35  | 19  | 12  | 10  | 6   | North      |                        |  |                    |  |
|                        | Southwest  | 6   | 10  | 12       | 13  | 14  | 14  | 34   | 71  | 99  | 111 | 109 | 88  | 51  | Northwest  |                        |  |                    |  |
| JULY 23<br>&<br>MAY 21 | West       | 6   | 10  | 12       | 13  | 14  | 14  | 14   | 44  | 95  | 142 | 162 | 161 | 126 | West       | JAN 21<br>&<br>NOV 21  |  |                    |  |
|                        | Northwest  | 6   | 10  | 12       | 13  | 14  | 14  | 14   | 30  | 73  | 112 | 133 | 118 |     | Southwest  |                        |  |                    |  |
|                        | Horizontal | 31  | 82  | 134      | 179 | 210 | 232 | 237  | 232 | 210 | 179 | 134 | 82  | 31  | Horizontal |                        |  |                    |  |
|                        | North      | 24  | 14  | 12       | 13  | 14  | 14  | 14   | 14  | 14  | 13  | 12  | 14  | 24  | South      |                        |  |                    |  |
|                        | Northeast  | 106 | 127 | 105      | 66  | 26  | 14  | 14   | 14  | 14  | 13  | 12  | 10  | 5   | Southeast  |                        |  |                    |  |
|                        | East       | 118 | 161 | 164      | 144 | 98  | 43  | 14   | 14  | 14  | 13  | 12  | 10  | 5   | East       |                        |  |                    |  |
| AUG 24<br>&<br>APR 20  | Southeast  | 54  | 96  | 119      | 125 | 110 | 82  | 42   | 15  | 14  | 13  | 12  | 10  | 5   | Northeast  | FEB 20<br>&<br>OCT 23  |  |                    |  |
|                        | South      | 5   | 10  | 13       | 26  | 44  | 63  | 69   | 63  | 44  | 26  | 13  | 10  | 5   | North      |                        |  |                    |  |
|                        | Southwest  | 5   | 10  | 12       | 13  | 14  | 15  | 42   | 82  | 110 | 125 | 119 | 96  | 54  | Northwest  |                        |  |                    |  |
|                        | West       | 5   | 10  | 12       | 13  | 14  | 14  | 14   | 43  | 98  | 144 | 164 | 161 | 118 | West       |                        |  |                    |  |
|                        | Northwest  | 5   | 10  | 12       | 13  | 14  | 14  | 14   | 26  | 66  | 105 | 127 | 106 |     | Southwest  |                        |  |                    |  |
|                        | Horizontal | 24  | 73  | 126      | 171 | 203 | 225 | 233  | 225 | 203 | 171 | 126 | 73  | 24  | Horizontal |                        |  |                    |  |
| SEPT 22<br>&<br>MAR 22 | North      | 7   | 8   | 11       | 13  | 14  | 14  | 14   | 14  | 14  | 13  | 11  | 8   | 7   | South      | MAR 22<br>&<br>SEPT 22 |  |                    |  |
|                        | Northeast  | 68  | 102 | 82       | 46  | 16  | 14  | 14   | 14  | 14  | 13  | 11  | 8   | 3   | Southeast  |                        |  |                    |  |
|                        | East       | 84  | 147 | 162      | 145 | 101 | 45  | 14   | 14  | 14  | 13  | 11  | 8   | 3   | East       |                        |  |                    |  |
|                        | Southeast  | 48  | 105 | 138      | 146 | 139 | 107 | 66   | 25  | 14  | 13  | 11  | 8   | 3   | Northeast  |                        |  |                    |  |
|                        | South      | 3   | 8   | 24       | 51  | 89  | 97  | 102  | 97  | 89  | 51  | 24  | 8   | 3   | North      |                        |  |                    |  |
|                        | Southwest  | 3   | 8   | 11       | 13  | 14  | 25  | 66   | 107 | 139 | 146 | 138 | 105 | 48  | Northwest  |                        |  |                    |  |
| OCT 23<br>&<br>FEB 20  | West       | 3   | 8   | 11       | 13  | 14  | 14  | 14   | 45  | 101 | 145 | 162 | 147 | 84  | West       | APR 20<br>&<br>AUG 24  |  |                    |  |
|                        | Northwest  | 3   | 8   | 11       | 13  | 14  | 14  | 14   | 16  | 46  | 82  | 102 | 68  |     | Southwest  |                        |  |                    |  |
|                        | Horizontal | 9   | 47  | 100      | 150 | 185 | 205 | 214  | 205 | 185 | 150 | 100 | 47  | 9   | Horizontal |                        |  |                    |  |
|                        | North      | 0   | 5   | 9        | 12  | 13  | 13  | 14   | 13  | 13  | 12  | 9   | 5   | 0   | South      |                        |  |                    |  |
|                        | Northeast  | 0   | 51  | 58       | 26  | 13  | 13  | 14   | 13  | 13  | 12  | 9   | 5   | 0   | Southeast  |                        |  |                    |  |
|                        | East       | 0   | 116 | 149      | 139 | 99  | 45  | 14   | 13  | 13  | 12  | 9   | 5   | 0   | East       |                        |  |                    |  |
| NOV 21<br>&<br>JAN 21  | Southeast  | 0   | 95  | 144      | 162 | 157 | 133 | 90   | 41  | 14  | 12  | 9   | 5   | 0   | Northeast  | MAY 21<br>&<br>JULY 23 |  |                    |  |
|                        | South      | 0   | 12  | 44       | 81  | 110 | 122 | 140  | 122 | 110 | 81  | 44  | 12  | 0   | North      |                        |  |                    |  |
|                        | Southwest  | 0   | 5   | 9        | 12  | 14  | 41  | 90   | 133 | 157 | 162 | 144 | 95  | 0   | Northwest  |                        |  |                    |  |
|                        | West       | 0   | 5   | 9        | 12  | 13  | 13  | 14   | 45  | 99  | 139 | 149 | 116 | 0   | West       |                        |  |                    |  |
|                        | Northwest  | 0   | 5   | 9        | 12  | 13  | 13  | 14   | 13  | 13  | 26  | 58  | 51  | 0   | Southwest  |                        |  |                    |  |
|                        | Horizontal | 0   | 21  | 67       | 124 | 153 | 176 | 183  | 176 | 153 | 124 | 67  | 21  | 0   | Horizontal |                        |  |                    |  |
| DEC 22                 | North      | 0   | 2   | 6        | 10  | 11  | 12  | 12   | 12  | 11  | 10  | 6   | 2   | 0   | South      | JUNE 21                |  |                    |  |
|                        | Northeast  | 0   | 35  | 33       | 12  | 11  | 12  | 12   | 12  | 11  | 10  | 6   | 2   | 0   | Southeast  |                        |  |                    |  |
|                        | East       | 0   | 85  | 117      | 122 | 88  | 39  | 12   | 12  | 11  | 10  | 6   | 2   | 0   | East       |                        |  |                    |  |
|                        | Southeast  | 0   | 81  | 132      | 161 | 163 | 144 | 107  | 63  | 20  | 10  | 6   | 2   | 0   | Northeast  |                        |  |                    |  |
|                        | South      | 0   | 21  | 59       | 104 | 137 | 154 | 162  | 154 | 137 | 104 | 59  | 21  | 0   | North      |                        |  |                    |  |
|                        | Southwest  | 0   | 2   | 6        | 10  | 20  | 63  | 107  | 144 | 163 | 161 | 132 | 81  | 0   | Northwest  |                        |  |                    |  |
| JAN 21<br>&<br>FEB 20  | West       | 0   | 2   | 6        | 10  | 11  | 12  | 12   | 39  | 88  | 122 | 117 | 85  | 0   | West       | MAY 21<br>&<br>JULY 23 |  |                    |  |
|                        | Northwest  | 0   | 2   | 6        | 10  | 11  | 12  | 12   | 11  | 12  | 33  | 35  | 0   |     | Southwest  |                        |  |                    |  |
|                        | Horizontal | 0   | 8   | 29       | 64  | 101 | 123 | 129  | 123 | 101 | 64  | 29  | 8   | 0   | Horizontal |                        |  |                    |  |
|                        | North      | 0   | 0   | 3        | 7   | 9   | 10  | 11   | 10  | 9   | 7   | 3   | 0   | 0   | South      |                        |  |                    |  |
|                        | Northeast  | 0   | 0   | 12       | 7   | 9   | 10  | 11   | 10  | 9   | 7   | 3   | 0   | 0   | Southeast  |                        |  |                    |  |
|                        | East       | 0   | 0   | 91       | 100 | 74  | 33  | 11   | 10  | 9   | 7   | 3   | 0   | 0   | East       |                        |  |                    |  |
| NOV 21<br>&<br>JAN 21  | Southeast  | 0   | 0   | 109      | 144 | 156 | 144 | 116  | 70  | 27  | 7   | 3   | 0   | 0   | Northeast  | MAY 21<br>&<br>JULY 23 |  |                    |  |
|                        | South      | 0   | 0   | 59       | 104 | 139 | 158 | 166  | 158 | 139 | 104 | 59  | 0   | 0   | North      |                        |  |                    |  |
|                        | Southwest  | 0   | 0   | 3        | 7   | 27  | 70  | 116  | 144 | 156 | 144 | 109 | 0   | 0   | Northwest  |                        |  |                    |  |
|                        | West       | 0   | 0   | 3        | 7   | 9   | 10  | 11   | 33  | 74  | 100 | 91  | 0   | 0   | West       |                        |  |                    |  |
|                        | Northwest  | 0   | 0   | 3        | 7   | 9   | 10  | 11   | 10  | 9   | 7   | 12  | 0   | 0   | Southwest  |                        |  |                    |  |
|                        | Horizontal | 0   | 0   | 16       | 43  | 73  | 92  | 103  | 92  | 73  | 43  | 16  | 0   | 0   | Horizontal |                        |  |                    |  |
| DEC 22                 | North      | 0   | 0   | 2        | 6   | 9   | 10  | 10   | 10  | 9   | 6   | 2   | 0   | 0   | South      | JUNE 21                |  |                    |  |
|                        | Northeast  | 0   | 0   | 7        | 6   | 9   | 10  | 10   | 10  | 9   | 6   | 2   | 0   | 0   | Southeast  |                        |  |                    |  |
|                        | East       | 0   | 0   | 72       | 86  | 68  | 31  | 10   | 10  | 9   | 6   | 2   | 0   | 0   | East       |                        |  |                    |  |
|                        | Southeast  | 0   | 0   | 88       | 134 | 148 | 142 | 115  | 73  | 30  | 7   | 2   | 0   | 0   | Northeast  |                        |  |                    |  |
|                        | South      | 0   | 0   | 51       | 99  | 134 | 158 | 165  | 158 | 134 | 99  | 51  | 0   | 0   | North      |                        |  |                    |  |
|                        | Southwest  | 0   | 0   | 2        | 7   | 30  | 73  | 115  | 142 | 148 | 134 | 88  | 0   | 0   | Northwest  |                        |  |                    |  |
| JAN 21<br>&<br>FEB 20  | West       | 0   | 0   | 2        | 6   | 9   | 10  | 10   | 31  | 68  | 86  | 72  | 0   | 0   | West       | MAY 21<br>&<br>JULY 23 |  |                    |  |
|                        | Northwest  | 0   | 0   | 2        | 6   | 9   | 10  | 10   | 10  | 9   | 6   | 7   | 0   | 0   | Southwest  |                        |  |                    |  |
|                        | Horizontal | 0   | 0   | 8        | 32  | 55  | 76  | 85   | 76  | 55  | 32  | 8   | 0   | 0   | Horizontal |                        |  |                    |  |
|                        | North      | 0   | 0   | 3        | 7   | 9   | 10  | 11   | 10  | 9   | 7   | 3   | 0   | 0   | South      |                        |  |                    |  |
|                        | Northeast  | 0   | 0   | 12       | 7   | 9   | 10  | 11   | 10  | 9   | 7   | 3   | 0   | 0   | Southeast  |                        |  |                    |  |
|                        | East       | 0   | 0   | 91       | 100 | 74  | 33  | 11   | 10  | 9   | 7   | 3   | 0   | 0   | East       |                        |  |                    |  |
| NOV 21<br>&<br>JAN 21  | Southeast  | 0   | 0   | 109      | 144 | 156 | 144 | 116  | 70  | 27  | 7   | 3   | 0   | 0   | Northeast  | MAY 21<br>&<br>JULY 23 |  |                    |  |
|                        | South      | 0   | 0   | 59       | 104 | 139 | 158 | 166  | 158 | 139 | 104 | 59  | 0   | 0   | North      |                        |  |                    |  |
|                        | Southwest  | 0   | 0   | 3        | 7   | 27  | 70  | 116  | 144 | 156 | 144 | 109 | 0   | 0   | Northwest  |                        |  |                    |  |
|                        | West       | 0   | 0   | 3        | 7   | 9   | 10  | 11   | 33  | 74  | 100 | 91  | 0   | 0   | West       |                        |  |                    |  |
|                        | Northwest  | 0   | 0   | 3        | 7   | 9   | 10  | 11   | 10  | 9   | 7   | 12  | 0   | 0   | Southwest  |                        |  |                    |  |
|                        | Horizontal | 0   | 0   | 16       | 43  | 73  | 92  | 103  | 92  | 73  | 43  | 16  | 0   | 0   | Horizontal |                        |  |                    |  |
| DEC 22                 | North      | 0   | 0   | 2        | 6   | 9   | 10  | 10   | 10  | 9   | 6   | 2   | 0   | 0   | South      | JUNE 21                |  |                    |  |
|                        | Northeast  | 0   | 0   | 7        | 6   | 9   | 10  | 10   | 10  | 9   | 6   | 2   | 0   | 0   | Southeast  |                        |  |                    |  |

|                       |                        |              |                    |                                  |                                  |                   |
|-----------------------|------------------------|--------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Solar Gain Correction | Steel Sash, or No Sash | Haze         | Altitude           | Dewpoint                         | Dewpoint                         | South Lat.        |
|                       | × 1/.85 or 1/.17       | — 15% (Max.) | + 0.7% per 1000 Ft | Decrease From 67 F + 7% per 10 F | Increase From 67 F — 7% per 10 F | Dec. or Jan. + 7% |

[illegible]

## جدول ۵-۱۰ زوایای ارتفاع و آزیموت خورشیدی

| NORTH<br>LATITUDE | SUN<br>TIME | Jan. 21 |     | Feb. 20 |     | Mar. 22 |     | Apr. 20 |     | May 21 |     | June 21 |     | July 23 |     | Aug. 24 |     | Sept. 22 |     | Oct. 23 |     | Nov. 21 |     | Dec. 22 |      | SUN<br>TIME |
|-------------------|-------------|---------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|-----|----------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|------|-------------|
|                   |             | Alt     | Az  | Alt     | Az  | Alt     | Az  | Alt     | Az  | Alt    | Az  | Alt     | Az  | Alt     | Az  | Alt     | Az  | Alt      | Az  | Alt     | Az  | Alt     | Az  |         |      |             |
| LAT<br>0°         | 6 AM        |         |     |         |     |         |     |         |     |        |     |         |     |         |     |         |     |          |     |         |     |         |     |         | 6 AM |             |
|                   | 7           | 14      | 111 | 15      | 102 | 15      | 90  | 15      | 78  | 14     | 69  | 14      | 66  | 14      | 69  | 15      | 78  | 15       | 90  | 15      | 102 | 14      | 111 | 14      | 114  | 7           |
|                   | 8           | 28      | 113 | 30      | 103 | 30      | 89  | 30      | 77  | 28     | 67  | 27      | 63  | 28      | 67  | 30      | 77  | 30       | 89  | 30      | 103 | 28      | 113 | 27      | 117  | 8           |
|                   | 9           | 42      | 117 | 44      | 106 | 45      | 89  | 44      | 74  | 42     | 63  | 41      | 58  | 42      | 63  | 44      | 74  | 45       | 89  | 44      | 106 | 42      | 117 | 41      | 122  | 9           |
|                   | 10          | 54      | 126 | 58      | 112 | 60      | 89  | 58      | 68  | 54     | 54  | 53      | 49  | 54      | 54  | 58      | 68  | 60       | 89  | 58      | 112 | 54      | 126 | 53      | 131  | 10          |
|                   | 11          | 65      | 144 | 71      | 127 | 75      | 88  | 71      | 53  | 65     | 56  | 52      | 32  | 65      | 56  | 71      | 53  | 75       | 88  | 71      | 127 | 65      | 144 | 62      | 148  | 11          |
|                   | 12 N        | 70      | 180 | 79      | 180 | 90      | 0   | 79      | 0   | 70     | 0   | 67      | 0   | 70      | 0   | 79      | 0   | 90       | 0   | 79      | 180 | 70      | 180 | 67      | 180  | 12 N        |
|                   | 1 PM        | 65      | 216 | 71      | 233 | 75      | 272 | 71      | 307 | 65     | 324 | 62      | 328 | 65      | 324 | 71      | 307 | 75       | 272 | 71      | 233 | 65      | 216 | 62      | 212  | 1 PM        |
|                   | 2           | 54      | 234 | 58      | 248 | 60      | 271 | 58      | 292 | 54     | 306 | 53      | 311 | 54      | 306 | 58      | 292 | 60       | 271 | 58      | 248 | 54      | 234 | 53      | 229  | 2           |
|                   | 3           | 42      | 243 | 44      | 254 | 45      | 271 | 44      | 286 | 42     | 297 | 41      | 302 | 42      | 297 | 44      | 286 | 45       | 271 | 44      | 254 | 42      | 243 | 41      | 238  | 3           |
|                   | 4           | 28      | 247 | 30      | 257 | 30      | 271 | 30      | 283 | 28     | 293 | 27      | 297 | 28      | 293 | 30      | 283 | 30       | 271 | 30      | 257 | 28      | 247 | 27      | 243  | 4           |
|                   | 5           | 14      | 249 | 15      | 258 | 15      | 270 | 15      | 282 | 14     | 291 | 14      | 294 | 14      | 291 | 15      | 282 | 15       | 270 | 15      | 258 | 14      | 249 | 14      | 246  | 5           |
|                   | 6           |         |     |         |     |         |     |         |     |        |     |         |     |         |     |         |     |          |     |         |     |         |     |         |      | 6           |
| LAT<br>10°        | 6 AM        |         |     |         |     |         |     |         |     |        |     |         |     |         |     |         |     |          |     |         |     |         |     |         | 6 AM |             |
|                   | 7           | 10      | 113 | 12      | 103 | 15      | 92  | 16      | 81  | 17     | 72  | 18      | 68  | 17      | 72  | 16      | 81  | 15       | 92  | 12      | 103 | 10      | 113 | 9       | 116  | 7           |
|                   | 8           | 24      | 117 | 27      | 108 | 30      | 95  | 31      | 83  | 32     | 72  | 32      | 68  | 32      | 72  | 31      | 83  | 30       | 95  | 27      | 108 | 24      | 117 | 23      | 121  | 8           |
|                   | 9           | 37      | 124 | 41      | 115 | 44      | 99  | 46      | 84  | 46     | 72  | 45      | 67  | 46      | 72  | 46      | 84  | 44       | 99  | 41      | 115 | 37      | 124 | 35      | 128  | 9           |
|                   | 10          | 48      | 136 | 54      | 125 | 59      | 106 | 61      | 84  | 60     | 67  | 58      | 61  | 60      | 67  | 61      | 84  | 59       | 106 | 54      | 125 | 48      | 136 | 46      | 139  | 10          |
|                   | 11          | 57      | 155 | 64      | 144 | 72      | 122 | 75      | 84  | 73     | 53  | 70      | 44  | 73      | 53  | 75      | 84  | 72       | 122 | 64      | 144 | 57      | 155 | 53      | 156  | 11          |
|                   | 12 N        | 60      | 180 | 69      | 180 | 80      | 180 | 89      | 0   | 80     | 0   | 77      | 0   | 80      | 0   | 89      | 0   | 80       | 180 | 69      | 180 | 60      | 180 | 67      | 180  | 12 N        |
|                   | 1 PM        | 57      | 205 | 64      | 216 | 72      | 238 | 75      | 276 | 73     | 307 | 70      | 316 | 73      | 307 | 75      | 276 | 72       | 238 | 64      | 216 | 57      | 205 | 53      | 204  | 1 PM        |
|                   | 2           | 48      | 224 | 54      | 235 | 59      | 254 | 61      | 276 | 60     | 293 | 61      | 299 | 60      | 293 | 61      | 276 | 59       | 254 | 54      | 235 | 48      | 224 | 46      | 221  | 2           |
|                   | 3           | 37      | 236 | 41      | 245 | 44      | 261 | 46      | 276 | 46     | 288 | 45      | 293 | 46      | 288 | 46      | 276 | 44       | 261 | 41      | 245 | 37      | 236 | 35      | 232  | 3           |
|                   | 4           | 24      | 243 | 27      | 252 | 30      | 265 | 31      | 277 | 32     | 288 | 32      | 292 | 32      | 288 | 31      | 277 | 30       | 265 | 27      | 252 | 24      | 243 | 23      | 239  | 4           |
|                   | 5           | 10      | 247 | 12      | 257 | 15      | 268 | 16      | 279 | 17     | 288 | 18      | 292 | 17      | 288 | 16      | 279 | 15       | 268 | 12      | 257 | 10      | 247 | 9       | 244  | 5           |
|                   | 6           |         |     |         |     |         |     |         |     |        |     |         |     |         |     |         |     |          |     |         |     |         |     |         |      | 6           |
| LAT<br>20°        | 6 AM        |         |     |         |     |         |     |         |     |        |     |         |     |         |     |         |     |          |     |         |     |         |     |         | 6 AM |             |
|                   | 7           | 6       | 114 | 10      | 106 | 14      | 95  | 16      | 84  | 17     | 75  | 18      | 68  | 7       | 71  | 4       | 79  | 9        | 95  | 10      | 106 | 6       | 114 | 5       | 117  | 7           |
|                   | 8           | 19      | 121 | 23      | 112 | 28      | 101 | 32      | 89  | 34     | 79  | 35      | 75  | 34      | 79  | 32      | 89  | 28       | 101 | 23      | 112 | 19      | 121 | 17      | 124  | 8           |
|                   | 9           | 30      | 130 | 36      | 121 | 42      | 108 | 46      | 94  | 48     | 82  | 48      | 77  | 48      | 82  | 46      | 94  | 42       | 108 | 36      | 121 | 30      | 130 | 28      | 133  | 9           |
|                   | 10          | 40      | 142 | 47      | 133 | 55      | 120 | 59      | 102 | 62     | 85  | 62      | 77  | 62      | 85  | 59      | 102 | 55       | 120 | 47      | 133 | 40      | 142 | 38      | 145  | 10          |
|                   | 11          | 47      | 158 | 55      | 152 | 66      | 143 | 72      | 117 | 75     | 88  | 76      | 74  | 75      | 88  | 72      | 117 | 66       | 143 | 55      | 152 | 47      | 158 | 44      | 163  | 11          |
|                   | 12 N        | 50      | 180 | 59      | 180 | 70      | 180 | 81      | 180 | 90     | 0   | 87      | 0   | 90      | 0   | 81      | 180 | 70       | 180 | 59      | 180 | 50      | 180 | 47      | 180  | 12 N        |
|                   | 1 PM        | 47      | 202 | 55      | 208 | 66      | 217 | 72      | 243 | 75     | 272 | 76      | 286 | 75      | 272 | 72      | 243 | 66       | 217 | 55      | 208 | 47      | 202 | 44      | 197  | 1 PM        |
|                   | 2           | 40      | 218 | 47      | 227 | 55      | 240 | 59      | 258 | 62     | 275 | 62      | 283 | 62      | 275 | 59      | 258 | 55       | 240 | 47      | 227 | 40      | 218 | 38      | 215  | 2           |
|                   | 3           | 30      | 230 | 36      | 239 | 42      | 252 | 46      | 266 | 48     | 278 | 48      | 283 | 48      | 278 | 46      | 266 | 42       | 252 | 36      | 239 | 30      | 230 | 28      | 227  | 3           |
|                   | 4           | 19      | 239 | 23      | 248 | 28      | 259 | 32      | 271 | 34     | 281 | 35      | 285 | 34      | 281 | 32      | 271 | 28       | 259 | 23      | 248 | 19      | 239 | 17      | 236  | 4           |
|                   | 5           | 6       | 246 | 10      | 254 | 14      | 265 | 18      | 276 | 20     | 285 | 21      | 288 | 20      | 285 | 18      | 276 | 14       | 265 | 10      | 254 | 6       | 246 | 5       | 243  | 5           |
|                   | 6           |         |     |         |     |         |     |         |     |        |     |         |     |         |     |         |     |          |     |         |     |         |     |         |      | 6           |
| LAT<br>30°        | 6 AM        |         |     |         |     |         |     |         |     |        |     |         |     |         |     |         |     |          |     |         |     |         |     |         | 6 AM |             |
|                   | 7           | 2       | 115 | 7       | 107 | 13      | 97  | 16      | 80  | 10     | 72  | 11      | 69  | 10      | 72  | 6       | 80  | 7        | 107 | 2       | 115 | 2       | 115 | 1       | 126  | 7           |
|                   | 8           | 14      | 124 | 19      | 116 | 26      | 106 | 31      | 95  | 35     | 86  | 37      | 82  | 35      | 86  | 31      | 95  | 26       | 106 | 19      | 116 | 14      | 124 | 11      | 136  | 8           |
|                   | 9           | 24      | 134 | 30      | 127 | 38      | 116 | 44      | 104 | 48     | 93  | 49      | 88  | 48      | 93  | 44      | 104 | 38       | 116 | 30      | 127 | 24      | 134 | 21      | 149  | 9           |
|                   | 10          | 32      | 146 | 40      | 141 | 49      | 130 | 56      | 117 | 61     | 103 | 62      | 96  | 61      | 103 | 56      | 117 | 49       | 130 | 40      | 141 | 32      | 146 | 29      | 149  | 10          |
|                   | 11          | 38      | 162 | 46      | 159 | 57      | 151 | 67      | 140 | 73     | 122 | 75      | 112 | 73      | 122 | 67      | 140 | 57       | 151 | 46      | 159 | 38      | 162 | 35      | 164  | 11          |
|                   | 12 N        | 40      | 180 | 49      | 180 | 60      | 180 | 71      | 180 | 80     | 180 | 83      | 180 | 80      | 180 | 71      | 180 | 60       | 180 | 49      | 180 | 40      | 180 | 37      | 180  | 12 N        |
|                   | 1 PM        | 38      | 198 | 46      | 201 | 57      | 209 | 67      | 220 | 73     | 238 | 75      | 248 | 73      | 238 | 67      | 220 | 57       | 209 | 46      | 201 | 38      | 198 | 35      | 196  | 1 PM        |
|                   | 2           | 32      | 214 | 40      | 219 | 49      | 230 | 56      | 243 | 61     | 257 | 62      | 264 | 61      | 257 | 56      | 243 | 49       | 230 | 40      | 219 | 32      | 214 | 29      | 211  | 2           |
|                   | 3           | 24      | 226 | 30      | 233 | 38      | 244 | 44      | 256 | 48     | 267 | 49      | 272 | 48      | 267 | 44      | 256 | 38       | 244 | 30      | 233 | 24      | 226 | 21      | 224  | 3           |
|                   | 4           | 14      | 236 | 9       | 244 | 26      | 254 | 31      | 265 | 35     | 274 | 37      | 278 | 35      | 274 | 31      | 265 | 26       | 254 | 9       | 244 | 14      | 236 | 11      | 234  | 4           |
|                   | 5           | 2       | 245 | 7       | 253 | 13      | 263 | 19      | 273 | 23     | 281 | 24      | 284 | 23      | 281 | 19      | 273 | 13       | 263 | 7       | 253 | 2       | 245 | 5       | 243  | 5           |
|                   | 6           |         |     |         |     |         |     |         |     |        |     |         |     |         |     |         |     |          |     |         |     |         |     |         |      | 6           |
| LAT<br>40°        | 6 AM        |         |     |         |     |         |     |         |     |        |     |         |     |         |     |         |     |          |     |         |     |         |     |         | 6 AM |             |
|                   | 7           | 8       | 125 | 5       | 110 | 12      | 99  | 17      | 81  | 13     | 74  | 15      | 72  | 13      | 74  | 7       | 81  | 5        | 110 | 8       | 125 | 8       | 125 | 5       | 127  | 7           |
|                   | 8           | 17      | 136 | 24      | 131 | 33      | 112 | 41      | 113 | 47     | 104 | 49      | 100 | 47      | 104 | 41      | 113 | 33       | 112 | 24      | 131 | 17      | 136 | 14      | 138  | 8           |
|                   | 9           | 24      | 149 | 32      | 145 | 42      | 138 | 51      | 129 | 57     | 118 | 60      | 114 | 57      | 118 | 51      | 129 | 42       | 138 | 32      | 145 | 24      | 149 | 21      | 151  | 9           |
|                   | 10          | 28      | 164 | 37      | 162 | 48      | 157 | 58      | 151 | 66     | 143 | 69      | 138 | 66      | 143 | 58      | 151 | 48       | 157 | 37      | 162 | 28      | 164 | 25      | 165  | 10          |
|                   | 12 N        | 30      | 180 | 39      | 180 | 50      | 180 | 61      | 180 | 70     | 180 | 73      | 180 | 70      | 180 | 61      | 180 | 50       | 180 | 39      | 180 | 30      | 180 | 27      | 180  | 12 N        |
|                   | 1 PM        | 28      | 196 | 37      | 198 | 48      | 203 | 58      | 209 | 66     | 217 | 69      | 222 | 66      | 217 | 58      | 209 | 48       | 203 | 37      | 198 | 28      | 196 | 25      | 195  | 1 PM        |
|                   | 2           | 24      | 211 | 32      | 215 | 42      | 222 | 51      | 231 | 57     | 242 | 60      | 246 | 57      | 242 | 51      | 231 | 42       | 222 | 32      | 215 | 24      | 211 | 21      | 209  | 2           |
|                   | 3           | 17      | 224 | 24      | 229 | 33      | 238 | 41      | 247 | 47     | 256 | 49      | 260 | 47      | 256 | 41      | 247 | 33</     |     |         |     |         |     |         |      |             |

جدول ۱۰-۶ کسب حرارت از افراد

| DEGREE OF ACTIVITY       | TYPICAL APPLICATION             | Metabolic Rate (Adult Male) Btu/hr | Average Adjusted Metabolic Rate* Btu/hr | ROOM DRY-BULB TEMPERATURE |        |          |        |          |        |          |        |          |        |
|--------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|                          |                                 |                                    |                                         | 82 F                      |        | 80 F     |        | 78 F     |        | 75 F     |        | 70 F     |        |
|                          |                                 |                                    |                                         | Btu/hr                    |        | Btu/hr   |        | Btu/hr   |        | Btu/hr   |        | Btu/hr   |        |
|                          |                                 |                                    |                                         | Sensible                  | Latent | Sensible | Latent | Sensible | Latent | Sensible | Latent | Sensible | Latent |
| Seated at rest           | Theater, Grade School           | 390                                | 350                                     | 175                       | 175    | 195      | 155    | 210      | 140    | 230      | 120    | 260      | 90     |
| Seated, very light work  | High School                     | 450                                | 400                                     | 180                       | 220    | 195      | 205    | 215      | 185    | 240      | 160    | 275      | 125    |
| Office worker            | Offices, Hotels, Apts., College | 475                                | 450                                     | 180                       | 270    | 200      | 250    | 215      | 235    | 245      | 205    | 285      | 165    |
| Standing, walking slowly | Dept., Retail, or Variety Store | 550                                |                                         |                           |        |          |        |          |        |          |        |          |        |
| Walking, seated          | Drug Store                      | 550                                | 500                                     | 180                       | 320    | 200      | 300    | 220      | 280    | 255      | 245    | 290      | 210    |
| Standing, walking slowly | Bank                            | 550                                |                                         |                           |        |          |        |          |        |          |        |          |        |
| Sedentary work           | Restaurant†                     | 500                                | 550                                     | 190                       | 360    | 220      | 330    | 240      | 310    | 280      | 270    | 320      | 230    |
| Light bench work         | Factory, light work             | 800                                | 750                                     | 190                       | 560    | 220      | 530    | 245      | 505    | 295      | 455    | 365      | 385    |
| Moderate dancing         | Dance Hall                      | 900                                | 850                                     | 220                       | 630    | 245      | 605    | 275      | 575    | 325      | 525    | 400      | 450    |
| Walking, 3 mph           | Factory, fairly heavy work      | 1000                               | 1000                                    | 270                       | 730    | 300      | 700    | 330      | 670    | 380      | 620    | 460      | 540    |
| Heavy work               | Bowling Alley‡, Factory         | 1500                               | 1450                                    | 450                       | 1000   | 465      | 985    | 485      | 965    | 525      | 925    | 605      | 845    |

Adjusted Metabolic Rate is the metabolic rate to be applied to a mixed group of people with a typical percent composition based on the following factors:  
 Metabolic rate, adult female = Metabolic rate, adult male  $\times$  0.85  
 Metabolic rate, children = Metabolic rate, adult male  $\times$  0.75

†Restaurant—Values for this application include 60 Btu per hr for food per individual (30 Btu sensible and 30 Btu latent heat per hr).

‡Bowling—Assume one person per alley actually bowling and all others sitting, metabolic rate 400 Btu per hr; or standing, 550 Btu per hr.

جدول ۱۰-۷ کسب حرارت از سیستم روشنایی

| نوع سیستم | کسب حرارت (Btu/hr)                   |
|-----------|--------------------------------------|
| فلوئورسنت | $3.4 \times 1.25 \times \text{Watt}$ |
| رشته‌ای   | $3.4 \times \text{Watt}$             |

جدول ۸-۱۰ کسب حرارت از تجهیزات برقی آشپزخانه

| APPLIANCE                                               | OVERALL DIMENSIONS<br>Less Legs and Handles (In.)  | TYPE OF CONTROL        | MISCELLANEOUS DATA                                                  | MFR MAX RATING<br>Btu/hr | MAIN-TAIN-ING RATE<br>Btu/hr | RECOM HEAT GAIN FOR AVG USE |                       |                      |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------|
|                                                         |                                                    |                        |                                                                     |                          |                              | Sensible Heat<br>Btu/hr     | Latent Heat<br>Btu/hr | Total Heat<br>Btu/hr |
| Coffee Brewer—½ gal Warmer—½ gal                        |                                                    | Man.<br>Man.           |                                                                     | 2240<br>306              | 306<br>306                   | 900<br>230                  | 220<br>90             | 1120<br>320          |
| 4 Coffee Brewing Units with 4½ gal Tank                 | 20 x 30 x 26H                                      | Auto.                  | Water heater—2000 watts<br>Brewers—2960 watts                       | 16900                    |                              | 4800                        | 1200                  | 6000                 |
| Coffee Urn—3 gal<br>—3 gal<br>—5 gal                    | 15 Dia x 34H<br>12 x 23 oval x 21H<br>18 Dia x 37H | Man.<br>Auto.<br>Auto. | Black finish<br>Nickel plated<br>Nickel plated                      | 11900<br>15300<br>17000  | 3000<br>2600<br>3600         | 2600<br>2200<br>3400        | 1700<br>1500<br>2300  | 4300<br>3700<br>5700 |
| Doughnut Machine                                        | 22 x 22 x 57H                                      | Auto.                  | Exhaust system to outdoors—½ hp motor                               | 16000                    |                              | 5000                        |                       | 5000                 |
| Egg Boiler                                              | 10 x 13 x 25H                                      | Man.                   | Med. ht.—550 watts<br>Low ht.—275 watts                             | 3740                     |                              | 1200                        | 800                   | 2000                 |
| Food Warmer with Plate Warmer, per sq ft top surface    |                                                    | Auto.                  | Insulated, separate heating unit for each pot. Plate warmer in base | 1350                     | 500                          | 350                         | 350                   | 700                  |
| Food Warmer without Plate Warmer, per sq ft top surface |                                                    | Auto.                  | Ditto, without plate warmer                                         | 1020                     | 400                          | 200                         | 350                   | 550                  |
| Fry Kettle—11½ lb fat                                   | 12 Dia x 14H                                       | Auto.                  |                                                                     | 8840                     | 1100                         | 1600                        | 2400                  | 4000                 |
| Fry Kettle—25 lb fat                                    | 16 x 18 x 12H                                      | Auto.                  | Frying area 12" x 14"                                               | 23800                    | 2000                         | 3800                        | 5700                  | 9500                 |
| Griddle, Frying                                         | 18 x 18 x 8H                                       | Auto.                  | Frying top 18" x 14"                                                | 8000                     | 2800                         | 3100                        | 1700                  | 4800                 |
| Grille, Meat                                            | 14 x 14 x 10H                                      | Auto.                  | Cooking area 10" x 12"                                              | 10200                    | 1900                         | 3900                        | 2100                  | 6000                 |
| Grille, Sandwich                                        | 13 x 14 x 10H                                      | Auto.                  | Grill area 12" x 12"                                                | 5600                     | 1900                         | 2700                        | 700                   | 3400                 |
| Roll Warmer                                             | 26 x 17 x 13H                                      | Auto.                  | One drawer                                                          | 1500                     | 400                          | 1100                        | 100                   | 1200                 |
| Toaster, Continuous                                     | 15 x 15 x 28H                                      | Auto.                  | 2 Slices wide—360 slices/hr                                         | 7500                     | 5000                         | 5100                        | 1300                  | 6400                 |
| Toaster, Continuous                                     | 20 x 15 x 28H                                      | Auto.                  | 4 Slices wide—720 slices/hr                                         | 10200                    | 6000                         | 6100                        | 2600                  | 8700                 |
| Toaster, Pop-Up                                         | 6 x 11 x 9H                                        | Auto.                  | 2 Slices                                                            | 4150                     | 1000                         | 2450                        | 450                   | 2900                 |
| Waffle Iron                                             | 12 x 13 x 10H                                      | Auto.                  | One waffle 7" dia                                                   | 2480                     | 600                          | 1100                        | 750                   | 1850                 |
| Waffle Iron for Ice Cream Sandwich                      | 14 x 13 x 10H                                      | Auto.                  | 12 Cakes, each 2½" x 3¾"                                            | 7500                     | 1500                         | 3100                        | 2100                  | 5200                 |

If properly designed positive exhaust hood is used, multiply recommended value by .50.

## جدول ۹-۱۰ کسب حرارت از تجهیزات گازی آشپزخانه

| APPLIANCE                                                           | OVERALL<br>DIMENSIONS<br>Less Legs and<br>Handles (In.) | TYPE<br>OF<br>CON-<br>TROL | MISCELLANEOUS<br>DATA                          | MFR<br>MAX<br>RATING<br>Btu/hr | MAIN-<br>TAIN-<br>ING<br>RATE<br>Btu/hr | RECOM HEAT GAIN<br>FOR AVG USE |                          |                         |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                                                                     |                                                         |                            |                                                |                                |                                         | Sensible<br>Heat<br>Btu/hr     | Latent<br>Heat<br>Btu/hr | Total<br>Heat<br>Btu/hr |
| GAS BURNING                                                         |                                                         |                            |                                                |                                |                                         |                                |                          |                         |
| Coffee Brewer—½ gal<br>Warmer—½ gal                                 |                                                         | Man.<br>Man.               | Combination brewer<br>and warmer               | 3400<br>500                    | 500                                     | 1350<br>400                    | 350<br>100               | 1700<br>500             |
| Coffee Brewer Unit with<br>Tank                                     | 19 x 30 x 26H                                           |                            | 4 Brewers and 4½<br>gal tank                   |                                |                                         | 7200                           | 1800                     | 9000                    |
| Coffee Urn—3 gal                                                    | 15" Dia x 34H                                           | Auto.                      | Black finish                                   | 3200                           | 3900                                    | 2900                           | 2900                     | 5800                    |
| Coffee Urn—3 gal                                                    | 12 x 23 oval x 21H                                      | Auto.                      | Nickel plated                                  |                                | 3400                                    | 2500                           | 2500                     | 5000                    |
| Coffee Urn—5 gal                                                    | 18 Dia x 37H                                            | Auto.                      | Nickel plated                                  |                                | 4700                                    | 3900                           | 3900                     | 7800                    |
| Food Warmer, Values per<br>sq ft top surface                        |                                                         | Man.                       | Water bath type                                | 2000                           | 900                                     | 850                            | 450                      | 1300                    |
| Fry Kettle—15 lb fat                                                | 12 x 20 x 18H                                           | Auto.                      | Frying area 10 x 10                            | 14250                          | 3000                                    | 4200                           | 2800                     | 7000                    |
| Fry Kettle—28 lb fat                                                | 15 x 35 x 11H                                           | Auto.                      | Frying area 11 x 16                            | 24000                          | 4500                                    | 7200                           | 4800                     | 12000                   |
| Grill—Broil-O-Grill<br>Top Burner<br>Bottom Burner                  | 22 x 14 x 17H<br>(1.4 sq ft<br>grill surface)           | Man.                       | Insulated<br>22,000 Btu/hr<br>15,000 Btu/hr    | 37000                          |                                         | 14400                          | 3600                     | 18000                   |
| Stoves, Short Order—<br>Open Top. Values per<br>sq ft top surface   |                                                         | Man.                       | Ring type burners<br>12000 to 22000<br>Btu/ea  | 14000                          |                                         | 4200                           | 4200                     | 8400                    |
| Stoves, Short Order—<br>Closed Top. Values per<br>sq ft top surface |                                                         | Man.                       | Ring type burners 10000<br>to 12000 Btu/ea     | 11000                          |                                         | 3300                           | 3300                     | 6600                    |
| Toaster, Continuous                                                 | 15 x 15 x 28H                                           | Auto.                      | 2 Slices wide—<br>360 slices/hr                | 12000                          | 10000                                   | 7700                           | 3300                     | 11000                   |
| STEAM HEATED                                                        |                                                         |                            |                                                |                                |                                         |                                |                          |                         |
| Coffee Urn—3 gal<br>—3 gal<br>—5 gal                                | 15 Dia x 34H<br>12 x 23 oval x 21H<br>18 Dia x 37H      | Auto.<br>Auto.<br>Auto.    | Black finish<br>Nickel plated<br>Nickel plated |                                |                                         | 2900<br>2400<br>3400           | 1900<br>1600<br>2300     | 4800<br>4000<br>5700    |
| Coffee Urn—3 gal<br>—3 gal<br>—5 gal                                | 15 Dia x 34H<br>12 x 23 oval x 21H<br>18 Dia x 37H      | Man.<br>Man.<br>Man.       | Black finish<br>Nickel plated<br>Nickel plated |                                |                                         | 3100<br>2600<br>3700           | 3100<br>2600<br>3700     | 6200<br>5200<br>7400    |
| Food Warmer, per sq ft<br>top surface                               |                                                         | Auto.                      |                                                |                                |                                         | 400                            | 500                      | 900                     |
| Food Warmer, per sq ft<br>top surface                               |                                                         | Man.                       |                                                |                                |                                         | 450                            | 1150                     | 1500                    |

If properly designed positive exhaust hood is used, multiply recommended value by .50.

## جدول ۱۰-۱۰ کسب حرارت از موتورهای الکتریکی

| NAMEPLATE†<br>OR<br>BRAKE<br>HORSEPOWER | FULL LOAD<br>MOTOR<br>EFFICIENCY<br>PERCENT | LOCATION OF EQUIPMENT WITH RESPECT TO<br>CONDITIONED SPACE OR AIR STREAM   |                                                      |                                                                                                  |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                         |                                             | Motor In -<br>Driven Machine in<br>$\frac{HP \times 2545}{\% \text{ Eff}}$ | Motor Out -<br>Driven Machine in<br>$HP \times 2545$ | Motor In -<br>Driven Machine out<br>$\frac{HP \times 2545 (1 - \% \text{ Eff})}{\% \text{ Eff}}$ |
|                                         |                                             | Btu per Hour                                                               |                                                      |                                                                                                  |
| 1/20                                    | 40                                          | 320                                                                        | 130                                                  | 190                                                                                              |
| 1/12                                    | 49                                          | 430                                                                        | 210                                                  | 220                                                                                              |
| 1/6                                     | 55                                          | 580                                                                        | 320                                                  | 260                                                                                              |
| 1/4                                     | 60                                          | 710                                                                        | 430                                                  | 280                                                                                              |
| 1/3                                     | 64                                          | 1,000                                                                      | 640                                                  | 360                                                                                              |
| 1/2                                     | 66                                          | 1,290                                                                      | 850                                                  | 440                                                                                              |
| 3/4                                     | 70                                          | 1,820                                                                      | 1,280                                                | 540                                                                                              |
| 1                                       | 72                                          | 2,680                                                                      | 1,930                                                | 750                                                                                              |
| 1 1/4                                   | 79                                          | 3,220                                                                      | 2,540                                                | 680                                                                                              |
| 1 1/2                                   | 80                                          | 4,770                                                                      | 3,820                                                | 950                                                                                              |
| 2                                       | 80                                          | 6,380                                                                      | 5,100                                                | 1,280                                                                                            |
| 3                                       | 81                                          | 9,450                                                                      | 7,650                                                | 1,800                                                                                            |
| 5                                       | 82                                          | 15,600                                                                     | 12,800                                               | 2,800                                                                                            |
| 7 1/2                                   | 85                                          | 22,500                                                                     | 19,100                                               | 3,400                                                                                            |
| 10                                      | 85                                          | 30,000                                                                     | 25,500                                               | 4,500                                                                                            |
| 15                                      | 86                                          | 44,500                                                                     | 38,200                                               | 6,300                                                                                            |
| 20                                      | 87                                          | 58,500                                                                     | 51,000                                               | 7,500                                                                                            |
| 25                                      | 88                                          | 72,400                                                                     | 61,600                                               | 8,800                                                                                            |
| 30                                      | 89                                          | 85,800                                                                     | 76,400                                               | 9,400                                                                                            |
| 40                                      | 89                                          | 115,000                                                                    | 102,000                                              | 13,000                                                                                           |
| 50                                      | 89                                          | 143,000                                                                    | 127,000                                              | 16,000                                                                                           |
| 60                                      | 89                                          | 172,000                                                                    | 153,000                                              | 19,000                                                                                           |
| 75                                      | 90                                          | 212,000                                                                    | 191,000                                              | 21,000                                                                                           |
| 100                                     | 90                                          | 284,000                                                                    | 255,000                                              | 29,000                                                                                           |
| 125                                     | 90                                          | 354,000                                                                    | 318,000                                              | 36,000                                                                                           |
| 150                                     | 91                                          | 420,000                                                                    | 382,000                                              | 38,000                                                                                           |
| 200                                     | 91                                          | 560,000                                                                    | 510,000                                              | 50,000                                                                                           |
| 250                                     | 91                                          | 700,000                                                                    | 636,000                                              | 64,000                                                                                           |

## جدول ۱۰-۱۱ کسب حرارت از لوله‌های گرم بدون عایق

Btu/hr.ft. °F

| NOMINAL<br>PIPE<br>SIZE<br>(in.) | HOT WATER               |       |       |       | STEAM           |                  |                   |
|----------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-----------------|------------------|-------------------|
|                                  | 120 F                   | 150 F | 180 F | 210 F | 5 psig<br>227 F | 50 psig<br>300 F | 100 psig<br>338 F |
|                                  | TEMPERATURE DIFFERENCE* |       |       |       |                 |                  |                   |
|                                  | 50 F                    | 80 F  | 110 F | 140 F | 157 F           | 230 F            | 268 F             |
| 1/2                              | 0.46                    | 0.50  | 0.55  | 0.58  | 0.61            | 0.71             | 0.76              |
| 3/4                              | 0.56                    | 0.61  | 0.67  | 0.72  | 0.75            | 0.87             | 0.93              |
| 1                                | 0.68                    | 0.74  | 0.82  | 0.88  | 0.92            | 1.07             | 1.15              |
| 1 1/4                            | 0.85                    | 0.92  | 1.01  | 1.09  | 1.14            | 1.32             | 1.43              |
| 1 1/2                            | 0.96                    | 1.04  | 1.15  | 1.23  | 1.29            | 1.49             | 1.63              |
| 2                                | 1.18                    | 1.28  | 1.41  | 1.51  | 1.58            | 1.84             | 1.99              |
| 2 1/2                            | 1.40                    | 1.53  | 1.68  | 1.80  | 1.88            | 2.19             | 2.36              |
| 3                                | 1.68                    | 1.83  | 2.01  | 2.15  | 2.26            | 2.63             | 2.84              |
| 3 1/2                            | 1.90                    | 2.06  | 2.22  | 2.43  | 2.55            | 2.97             | 3.22              |
| 4                                | 2.12                    | 2.30  | 2.53  | 2.72  | 2.85            | 3.32             | 3.59              |
| 5                                | 2.58                    | 2.80  | 3.08  | 3.30  | 3.47            | 4.05             | 4.39              |
| 6                                | 3.04                    | 3.29  | 3.63  | 3.89  | 4.07            | 4.77             | 5.16              |
| 8                                | 3.88                    | 4.22  | 4.64  | 4.96  | 5.21            | 6.10             | 6.61              |
| 10                               | 4.76                    | 5.18  | 5.68  | 6.09  | 6.41            | 7.49             | 8.12              |
| 12                               | 5.59                    | 6.07  | 6.67  | 7.15  | 7.50            | 8.80             | 9.53              |

\*At 70 F db room temperature

جدول ۱۰-۱۲ کسب حرارت از لوله‌های گرم عایق شده

Btu/hr.ft. °F

| IRON PIPE<br>SIZE<br>(in.) | 85 PERCENT MAGNESIA INSULATION |              |             |
|----------------------------|--------------------------------|--------------|-------------|
|                            | 1 In. Thick                    | 1½ In. Thick | 2 In. Thick |
| ½                          | 0.16                           | 0.14         | 0.12        |
| ¾                          | 0.18                           | 0.15         | 0.13        |
| 1                          | 0.20                           | 0.17         | 0.15        |
| 1¼                         | 0.24                           | 0.20         | 0.17        |
| 1½                         | 0.26                           | 0.21         | 0.18        |
| 2                          | 0.30                           | 0.24         | 0.21        |
| 2½                         | 0.35                           | 0.27         | 0.24        |
| 3                          | 0.40                           | 0.32         | 0.27        |
| 3½                         | 0.45                           | 0.35         | 0.30        |
| 4                          | 0.49                           | 0.38         | 0.32        |
| 5                          | 0.59                           | 0.45         | 0.38        |
| 6                          | 0.68                           | 0.52         | 0.43        |
| 8                          | 0.85                           | 0.65         | 0.53        |
| 10                         | 1.04                           | 0.78         | 0.64        |
| 12                         | 1.22                           | 0.90         | 0.73        |

جدول ۱۰-۱۳ کسب حرارت از لوله‌های سرد عایق شده

Btu/hr.ft. °F

| IRON PIPE SIZE<br>(in.) | ICE WATER                               |             | BRINE                                   |             | HEAVY BRINE                             |             |
|-------------------------|-----------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|-------------|
|                         | Actual Thickness<br>of Insulation (In.) | Coefficient | Actual Thickness<br>of Insulation (In.) | Coefficient | Actual Thickness<br>of Insulation (In.) | Coefficient |
| ½                       | 1.5                                     | 0.11        | 2.0                                     | 0.10        | 2.8                                     | 0.09        |
| ¾                       | 1.6                                     | 0.12        | 2.0                                     | 0.11        | 2.9                                     | 0.09        |
| 1                       | 1.6                                     | 0.14        | 2.0                                     | 0.12        | 3.0                                     | 0.10        |
| 1¼                      | 1.6                                     | 0.16        | 2.4                                     | 0.13        | 3.1                                     | 0.11        |
| 1½                      | 1.5                                     | 0.17        | 2.5                                     | 0.13        | 3.2                                     | 0.12        |
| 2                       | 1.5                                     | 0.20        | 2.5                                     | 0.15        | 3.3                                     | 0.13        |
| 2½                      | 1.5                                     | 0.23        | 2.6                                     | 0.17        | 3.3                                     | 0.15        |
| 3                       | 1.5                                     | 0.27        | 2.7                                     | 0.19        | 3.4                                     | 0.16        |
| 3½                      | 1.5                                     | 0.29        | 2.9                                     | 0.19        | 3.5                                     | 0.18        |
| 4                       | 1.7                                     | 0.30        | 2.9                                     | 0.21        | 3.7                                     | 0.18        |
| 5                       | 1.7                                     | 0.35        | 3.0                                     | 0.24        | 3.9                                     | 0.20        |
| 6                       | 1.7                                     | 0.40        | 3.0                                     | 0.26        | 4.0                                     | 0.23        |
| 8                       | 1.9                                     | 0.46        | 3.0                                     | 0.32        | 4.0                                     | 0.26        |
| 10                      | 1.9                                     | 0.56        | 3.0                                     | 0.38        | 4.0                                     | 0.31        |
| 12                      | 1.9                                     | 0.65        | 3.0                                     | 0.44        | 4.0                                     | 0.36        |

جدول ۱۰-۱۴ کسب حرارت از مخازن عایق نشده

Btu/hr.ft². °F

| CONSTRUCTION    | METAL     |       |       |       |                 |       |       |       | WOOD<br>2½ in. Thick |       |       |       | CONCRETE<br>6 in. Thick |       |       |       |
|-----------------|-----------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|
|                 | Painted   |       |       |       | Bright (Nickel) |       |       |       | Painted or Bare      |       |       |       | Painted or Bare         |       |       |       |
|                 | Temp Diff |       |       |       | Temp Diff       |       |       |       | Temp Diff            |       |       |       | Temp Diff               |       |       |       |
|                 | 50 F      | 100 F | 150 F | 200 F | 50 F            | 100 F | 150 F | 200 F | 50 F                 | 100 F | 150 F | 200 F | 50 F                    | 100 F | 150 F | 200 F |
| Vertical(Sides) | 1.8       | 2.0   | 2.3   | 2.6   | 1.3             | 1.7   | 1.6   | 1.7   | .37                  | .37   | .37   | .37   | .91                     | .93   | .96   | .97   |
| Top             | 2.1       | 2.4   | 2.7   | 2.9   | 1.6             | 1.4   | 1.9   | 2.1   | .38                  | .38   | .38   | .38   | .99                     | 1.0   | 1.0   | 1.1   |
| Bottom          | 1.5       | 1.7   | 2.0   | 2.2   | 0.97            | 1.1   | 1.3   | 1.4   | .35                  | .36   | .36   | .36   | .83                     | .86   | .88   | .90   |

جدول ۱۰-۱۵ کسب حرارت نهان از مخازن باز

STILL AIR, ROOM AT 75 F db, 50% RH

| WATER TEMP      | 75 F | 100 F | 125 F | 150 F | 175 F | 200 F |
|-----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Btu/(hr)(sq ft) | 42   | 140   | 330   | 680   | 1260  | 2190  |



جدول ۱۰-۱۶ ضریب ذخیره بار ناشی از کسب حرارت خورشیدی

شیشه‌های با سایه‌بان داخلی، کارکرد سیستم ۲۴ ساعته

| EXPOSURE<br>(North Lat) | WEIGHT<br>(lb per sq ft<br>of floor area) | SUN TIME |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  | EXPOSURE<br>(South Lat) |
|-------------------------|-------------------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|-------------------------|
|                         |                                           | AM       |     |     |     |     |     |     |     |     |     | PM  |     |     |     |     |     |     |     |     |     | AM  |     |     |     |  |                         |
|                         |                                           | 6        | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |  |                         |
| Northeast               | 150 & over                                | .47      | .58 | .54 | .42 | .27 | .21 | .20 | .19 | .18 | .17 | .16 | .14 | .12 | .09 | .08 | .07 | .06 | .06 | .05 | .05 | .04 | .04 | .04 | .03 |  |                         |
|                         | 100                                       | .48      | .60 | .57 | .46 | .30 | .24 | .20 | .19 | .17 | .16 | .15 | .13 | .11 | .08 | .07 | .06 | .05 | .05 | .04 | .04 | .03 | .03 | .02 | .02 |  |                         |
|                         | 30                                        | .55      | .76 | .73 | .58 | .36 | .24 | .19 | .17 | .15 | .13 | .12 | .11 | .07 | .04 | .02 | .02 | .01 | .01 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |  |                         |
| East                    | 150 & over                                | .39      | .56 | .62 | .59 | .49 | .33 | .23 | .21 | .20 | .18 | .17 | .15 | .12 | .10 | .09 | .08 | .08 | .07 | .06 | .05 | .05 | .04 | .04 | .02 |  |                         |
|                         | 100                                       | .40      | .58 | .65 | .63 | .52 | .35 | .24 | .22 | .20 | .18 | .16 | .14 | .12 | .09 | .08 | .07 | .06 | .05 | .05 | .04 | .04 | .03 | .03 | .04 |  |                         |
|                         | 30                                        | .46      | .70 | .80 | .79 | .64 | .42 | .25 | .19 | .16 | .14 | .11 | .09 | .07 | .04 | .02 | .02 | .01 | .01 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |  |                         |
| Southeast               | 150 & over                                | .04      | .28 | .47 | .59 | .64 | .62 | .53 | .41 | .27 | .24 | .21 | .19 | .16 | .14 | .12 | .11 | .10 | .09 | .08 | .07 | .06 | .06 | .05 | .05 |  |                         |
|                         | 100                                       | .03      | .28 | .47 | .61 | .67 | .65 | .57 | .44 | .29 | .24 | .21 | .18 | .15 | .12 | .10 | .09 | .08 | .07 | .06 | .05 | .05 | .04 | .04 | .03 |  |                         |
|                         | 30                                        | 0        | .30 | .57 | .75 | .84 | .81 | .69 | .50 | .30 | .20 | .17 | .13 | .09 | .05 | .04 | .03 | .02 | .01 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |  |                         |
| South                   | 150 & over                                | .06      | .06 | .23 | .38 | .51 | .60 | .66 | .67 | .64 | .59 | .42 | .24 | .22 | .19 | .17 | .15 | .13 | .12 | .11 | .10 | .09 | .08 | .07 | .07 |  |                         |
|                         | 100                                       | .04      | .04 | .22 | .38 | .52 | .63 | .70 | .71 | .69 | .59 | .45 | .26 | .22 | .18 | .16 | .13 | .12 | .10 | .09 | .08 | .07 | .06 | .06 | .05 |  |                         |
|                         | 30                                        | .10      | .21 | .43 | .63 | .77 | .86 | .88 | .82 | .56 | .50 | .24 | .16 | .11 | .08 | .05 | .04 | .02 | .02 | .01 | .01 | 0   | 0   | 0   | 0   |  |                         |
| Southwest               | 150 & over                                | .08      | .08 | .09 | .10 | .11 | .24 | .39 | .53 | .63 | .66 | .61 | .47 | .23 | .19 | .18 | .16 | .14 | .13 | .11 | .10 | .09 | .08 | .08 | .07 |  |                         |
|                         | 100                                       | .07      | .08 | .08 | .08 | .10 | .24 | .40 | .55 | .66 | .70 | .64 | .50 | .26 | .20 | .17 | .15 | .13 | .11 | .10 | .09 | .08 | .07 | .06 | .05 |  |                         |
|                         | 30                                        | .03      | .04 | .06 | .07 | .09 | .23 | .47 | .67 | .81 | .86 | .79 | .60 | .26 | .17 | .12 | .08 | .05 | .04 | .03 | .02 | .01 | .01 | 0   | 0   |  |                         |
| West                    | 150 & over                                | .08      | .09 | .09 | .10 | .10 | .10 | .10 | .18 | .36 | .52 | .63 | .65 | .55 | .22 | .19 | .17 | .15 | .14 | .12 | .11 | .10 | .09 | .08 | .07 |  |                         |
|                         | 100                                       | .07      | .08 | .08 | .09 | .09 | .09 | .09 | .18 | .36 | .54 | .66 | .68 | .60 | .25 | .20 | .17 | .15 | .13 | .11 | .10 | .08 | .07 | .06 | .05 |  |                         |
|                         | 30                                        | .03      | .04 | .06 | .07 | .08 | .08 | .08 | .19 | .42 | .65 | .81 | .85 | .74 | .30 | .19 | .13 | .09 | .06 | .05 | .03 | .02 | .02 | .01 | 0   |  |                         |
| Northwest               | 150 & over                                | .08      | .09 | .10 | .10 | .10 | .10 | .10 | .16 | .33 | .49 | .61 | .60 | .19 | .17 | .15 | .13 | .12 | .10 | .09 | .08 | .08 | .07 | .06 | .06 |  |                         |
|                         | 100                                       | .07      | .08 | .09 | .09 | .10 | .10 | .10 | .16 | .34 | .52 | .65 | .64 | .23 | .18 | .15 | .12 | .11 | .09 | .08 | .07 | .06 | .06 | .05 | .05 |  |                         |
|                         | 30                                        | .03      | .05 | .07 | .08 | .09 | .09 | .10 | .17 | .39 | .63 | .80 | .79 | .28 | .18 | .12 | .09 | .06 | .04 | .03 | .02 | .02 | .01 | 0   | 0   |  |                         |
| North and Shade         | 150 & over                                | .08      | .37 | .67 | .71 | .74 | .76 | .79 | .81 | .83 | .84 | .86 | .87 | .88 | .29 | .26 | .23 | .20 | .19 | .17 | .15 | .14 | .12 | .11 | .10 |  |                         |
|                         | 100                                       | .06      | .31 | .67 | .72 | .76 | .79 | .81 | .83 | .85 | .87 | .88 | .90 | .30 | .26 | .22 | .19 | .16 | .15 | .13 | .12 | .10 | .09 | .08 | .08 |  |                         |
|                         | 30                                        | 0        | .25 | .74 | .83 | .88 | .91 | .94 | .96 | .96 | .98 | .98 | .99 | .99 | .26 | .17 | .12 | .08 | .05 | .04 | .03 | .02 | .01 | .01 | .01 |  |                         |
| South and Shade         | 150 & over                                | .08      | .37 | .67 | .71 | .74 | .76 | .79 | .81 | .83 | .84 | .86 | .87 | .88 | .29 | .26 | .23 | .20 | .19 | .17 | .15 | .14 | .12 | .11 | .10 |  |                         |
|                         | 100                                       | .06      | .31 | .67 | .72 | .76 | .79 | .81 | .83 | .85 | .87 | .88 | .90 | .30 | .26 | .22 | .19 | .16 | .15 | .13 | .12 | .10 | .09 | .08 | .08 |  |                         |
|                         | 30                                        | 0        | .25 | .74 | .83 | .88 | .91 | .94 | .96 | .96 | .98 | .98 | .99 | .99 | .26 | .17 | .12 | .08 | .05 | .04 | .03 | .02 | .01 | .01 | .01 |  |                         |

جدول ۱۰-۱۷ ضریب ذخیره بار ناشی از کسب حرارت خورشیدی

شیشه‌های بدون سایه‌بان یا با سایه‌بان خارجی، کارکرد سیستم ۲۴ ساعته

| EXPOSURE<br>(North Lat) | WEIGHT§<br>(lb per sq ft<br>of floor area) | SUN TIME |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  | EXPOSURE<br>(South Lat) |    |  |  |  |  |
|-------------------------|--------------------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|-------------------------|----|--|--|--|--|
|                         |                                            | AM       |     |     |     |     |     |     |     |     |     | PM  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |                         | AM |  |  |  |  |
|                         |                                            | 6        | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |  |                         |    |  |  |  |  |
| Northeast               | 150 & over                                 | .17      | .27 | .33 | .33 | .31 | .29 | .27 | .25 | .23 | .22 | .20 | .19 | .17 | .15 | .14 | .12 | .11 | .10 | .09 | .08 | .07 | .07 | .06 | .06 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 100                                        | .19      | .31 | .38 | .39 | .36 | .34 | .27 | .24 | .22 | .21 | .19 | .17 | .16 | .14 | .12 | .10 | .07 | .08 | .07 | .06 | .05 | .05 | .04 | .03 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 30                                         | .31      | .56 | .65 | .61 | .46 | .33 | .26 | .21 | .18 | .16 | .14 | .12 | .09 | .06 | .04 | .03 | .02 | .01 | .01 | .01 | 0   | 0   | 0   | 0   |  |                         |    |  |  |  |  |
| East                    | 150 & over                                 | .16      | .26 | .34 | .39 | .40 | .38 | .34 | .30 | .28 | .26 | .23 | .22 | .20 | .18 | .16 | .14 | .13 | .12 | .10 | .09 | .08 | .08 | .07 | .06 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 100                                        | .16      | .29 | .40 | .46 | .46 | .42 | .36 | .31 | .28 | .25 | .23 | .20 | .18 | .15 | .14 | .12 | .11 | .09 | .08 | .08 | .06 | .06 | .05 | .04 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 30                                         | .27      | .50 | .67 | .73 | .68 | .53 | .38 | .27 | .22 | .18 | .15 | .12 | .09 | .06 | .04 | .03 | .02 | .01 | .01 | .01 | .01 | 0   | 0   | .01 |  |                         |    |  |  |  |  |
| Southeast               | 150 & over                                 | .08      | .14 | .22 | .31 | .38 | .43 | .44 | .43 | .39 | .35 | .32 | .29 | .26 | .23 | .21 | .19 | .16 | .15 | .13 | .12 | .11 | .10 | .09 | .08 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 100                                        | .05      | .12 | .23 | .35 | .44 | .49 | .51 | .47 | .41 | .36 | .31 | .27 | .24 | .21 | .18 | .16 | .14 | .12 | .10 | .09 | .08 | .08 | .06 | .06 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 30                                         | 0        | .18 | .40 | .59 | .72 | .77 | .72 | .60 | .44 | .32 | .23 | .18 | .14 | .09 | .07 | .05 | .03 | .02 | .01 | .01 | .01 | 0   | 0   | 0   |  |                         |    |  |  |  |  |
| South                   | 150 & over                                 | .10      | .10 | .13 | .20 | .28 | .35 | .42 | .48 | .51 | .51 | .48 | .42 | .37 | .33 | .29 | .26 | .23 | .21 | .19 | .17 | .15 | .14 | .13 | .12 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 100                                        | .07      | .06 | .12 | .20 | .30 | .39 | .48 | .54 | .58 | .57 | .53 | .45 | .37 | .31 | .27 | .23 | .20 | .18 | .16 | .14 | .12 | .11 | .10 | .08 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 30                                         | 0        | 0   | .12 | .29 | .48 | .64 | .75 | .82 | .81 | .75 | .61 | .42 | .28 | .19 | .13 | .09 | .06 | .04 | .03 | .02 | .01 | .01 | 0   | 0   |  |                         |    |  |  |  |  |
| Southwest               | 150 & over                                 | .11      | .10 | .10 | .10 | .10 | .14 | .21 | .29 | .36 | .43 | .47 | .46 | .40 | .34 | .30 | .27 | .24 | .22 | .20 | .18 | .16 | .14 | .13 | .12 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 100                                        | .09      | .09 | .08 | .09 | .09 | .14 | .22 | .31 | .42 | .50 | .53 | .51 | .44 | .35 | .29 | .26 | .22 | .19 | .17 | .15 | .13 | .12 | .11 | .09 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 30                                         | .02      | .03 | .05 | .06 | .08 | .12 | .34 | .53 | .68 | .78 | .78 | .68 | .46 | .29 | .20 | .14 | .09 | .07 | .05 | .03 | .02 | .02 | .01 | .01 |  |                         |    |  |  |  |  |
| West                    | 150 & over                                 | .12      | .11 | .11 | .10 | .10 | .10 | .10 | .13 | .19 | .27 | .36 | .42 | .44 | .38 | .33 | .29 | .26 | .23 | .21 | .18 | .16 | .15 | .13 | .12 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 100                                        | .09      | .09 | .10 | .09 | .09 | .09 | .10 | .12 | .19 | .30 | .40 | .48 | .51 | .42 | .35 | .30 | .25 | .22 | .19 | .16 | .14 | .13 | .11 | .09 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 30                                         | .02      | .03 | .05 | .06 | .07 | .07 | .08 | .14 | .29 | .49 | .67 | .76 | .75 | .53 | .33 | .22 | .15 | .11 | .08 | .05 | .04 | .03 | .02 | .01 |  |                         |    |  |  |  |  |
| Northwest               | 150 & over                                 | .10      | .10 | .10 | .10 | .10 | .10 | .10 | .10 | .12 | .17 | .25 | .34 | .39 | .34 | .29 | .26 | .23 | .20 | .18 | .16 | .14 | .13 | .12 | .10 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 100                                        | .08      | .09 | .09 | .09 | .09 | .09 | .09 | .11 | .19 | .29 | .40 | .46 | .40 | .32 | .26 | .22 | .19 | .16 | .14 | .13 | .11 | .10 | .08 | .08 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 30                                         | .02      | .04 | .05 | .07 | .08 | .09 | .10 | .10 | .13 | .27 | .48 | .65 | .73 | .49 | .31 | .21 | .16 | .10 | .07 | .05 | .04 | .03 | .02 | .01 |  |                         |    |  |  |  |  |
| North and Shade         | 150 & over                                 | .16      | .23 | .33 | .41 | .47 | .52 | .57 | .61 | .66 | .69 | .72 | .74 | .59 | .52 | .46 | .42 | .37 | .34 | .31 | .27 | .25 | .23 | .21 | .17 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 100                                        | .11      | .33 | .44 | .51 | .57 | .62 | .66 | .70 | .74 | .76 | .79 | .80 | .60 | .51 | .44 | .37 | .32 | .29 | .27 | .23 | .21 | .18 | .16 | .13 |  |                         |    |  |  |  |  |
|                         | 30                                         | 0        | .48 | .66 | .76 | .82 | .87 | .91 | .93 | .95 | .97 | .98 | .98 | .52 | .34 | .24 | .16 | .11 | .07 | .05 | .04 | .02 | .02 | .01 | .01 |  |                         |    |  |  |  |  |

جدول ۱۰-۱۸ ضریب ذخیره بار ناشی از کسب حرارت خورشیدی

شیشه‌های با سایه‌بان داخلی، کارکرد سیستم ۱۶ ساعته

| EXPOSURE<br>(North Lat) | WEIGHT<br>(lb per sq ft<br>of floor area) | SUN TIME |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | EXPOSURE<br>(South Lat) |
|-------------------------|-------------------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------------|
|                         |                                           | A M      |     |     |     |     |     |     |     | P M |     |     |     |     |     |     |     |                         |
|                         |                                           | 6        | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |                         |
| Northeast               | 150 & over                                | .53      | .64 | .59 | .47 | .31 | .25 | .24 | .22 | .18 | .17 | .16 | .14 | .12 | .09 | .08 | .07 | Southeast               |
|                         | 100                                       | .53      | .65 | .61 | .50 | .33 | .27 | .22 | .21 | .17 | .16 | .15 | .13 | .11 | .08 | .07 | .06 |                         |
|                         | 30                                        | .56      | .77 | .73 | .58 | .36 | .24 | .19 | .17 | .15 | .13 | .12 | .11 | .07 | .04 | .02 | .02 |                         |
| East                    | 150 & over                                | .47      | .63 | .68 | .64 | .54 | .38 | .27 | .25 | .20 | .18 | .17 | .15 | .12 | .10 | .09 | .08 | East                    |
|                         | 100                                       | .46      | .63 | .70 | .67 | .56 | .38 | .27 | .24 | .20 | .18 | .16 | .14 | .12 | .09 | .08 | .07 |                         |
|                         | 30                                        | .47      | .71 | .80 | .79 | .64 | .42 | .25 | .19 | .16 | .14 | .11 | .09 | .07 | .04 | .02 | .02 |                         |
| Southeast               | 150 & over                                | .14      | .37 | .55 | .66 | .70 | .68 | .58 | .46 | .27 | .24 | .21 | .19 | .16 | .14 | .12 | .11 | Northeast               |
|                         | 100                                       | .11      | .35 | .53 | .66 | .72 | .69 | .61 | .47 | .29 | .24 | .21 | .18 | .15 | .12 | .10 | .09 |                         |
|                         | 30                                        | .02      | .31 | .57 | .75 | .84 | .81 | .69 | .50 | .30 | .20 | .17 | .13 | .09 | .05 | .04 | .03 |                         |
| South                   | 150 & over                                | .19      | .18 | .34 | .48 | .60 | .68 | .73 | .74 | .64 | .59 | .42 | .24 | .22 | .19 | .17 | .15 | North                   |
|                         | 100                                       | .16      | .14 | .31 | .46 | .59 | .69 | .76 | .70 | .69 | .59 | .45 | .26 | .22 | .18 | .16 | .13 |                         |
|                         | 30                                        | .12      | .23 | .44 | .64 | .77 | .86 | .88 | .82 | .56 | .50 | .24 | .16 | .11 | .08 | .05 | .04 |                         |
| Southwest               | 150 & over                                | .22      | .21 | .20 | .20 | .20 | .32 | .47 | .60 | .63 | .66 | .61 | .47 | .23 | .19 | .18 | .16 | Northwest               |
|                         | 100                                       | .20      | .19 | .18 | .17 | .18 | .31 | .46 | .60 | .66 | .70 | .64 | .50 | .26 | .20 | .17 | .15 |                         |
|                         | 30                                        | .08      | .08 | .09 | .09 | .10 | .24 | .47 | .67 | .81 | .86 | .79 | .60 | .26 | .17 | .12 | .08 |                         |
| West                    | 150 & over                                | .23      | .23 | .21 | .21 | .20 | .19 | .18 | .25 | .36 | .52 | .63 | .65 | .55 | .22 | .19 | .17 | West                    |
|                         | 100                                       | .22      | .21 | .19 | .19 | .17 | .16 | .15 | .23 | .36 | .54 | .66 | .68 | .60 | .25 | .20 | .17 |                         |
|                         | 30                                        | .12      | .10 | .10 | .10 | .10 | .10 | .09 | .19 | .42 | .65 | .81 | .85 | .74 | .30 | .19 | .13 |                         |
| Northwest               | 150 & over                                | .21      | .21 | .20 | .19 | .18 | .18 | .17 | .16 | .16 | .33 | .49 | .61 | .60 | .19 | .17 | .15 | Southwest               |
|                         | 100                                       | .19      | .19 | .18 | .17 | .17 | .16 | .16 | .15 | .16 | .34 | .52 | .65 | .23 | .18 | .15 | .12 |                         |
|                         | 30                                        | .12      | .11 | .11 | .11 | .11 | .11 | .11 | .10 | .17 | .39 | .63 | .80 | .79 | .28 | .18 | .12 |                         |
| North and Shade         | 150 & over                                | .23      | .58 | .75 | .79 | .80 | .80 | .81 | .82 | .83 | .84 | .86 | .87 | .88 | .39 | .35 | .31 | South and Shade         |
|                         | 100                                       | .25      | .46 | .73 | .78 | .82 | .82 | .83 | .84 | .85 | .87 | .88 | .89 | .90 | .40 | .34 | .29 |                         |
|                         | 30                                        | .07      | .22 | .69 | .80 | .86 | .93 | .94 | .95 | .97 | .98 | .98 | .99 | .99 | .35 | .23 | .16 |                         |

جدول ۱۰-۱۹ ضریب ذخیره بار ناشی از کسب حرارت خورشیدی

شیشه‌های بدون سایه‌بان یا با سایه‌بان خارجی، کارکرد سیستم ۱۶ ساعته

| EXPOSURE<br>(North Lat) | WEIGHT<br>(lb per sq ft<br>of floor area) | SUN TIME |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | EXPOSURE<br>(South Lat) |
|-------------------------|-------------------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------------|
|                         |                                           | A M      |     |     |     |     |     |     |     | P M |     |     |     |     |     |     |     |                         |
|                         |                                           | 6        | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |                         |
| Northeast               | 150 & over                                | .28      | .37 | .42 | .41 | .38 | .36 | .33 | .31 | .23 | .22 | .20 | .19 | .17 | .15 | .14 | .12 | Southeast               |
|                         | 100                                       | .28      | .39 | .45 | .45 | .41 | .39 | .31 | .27 | .22 | .21 | .19 | .17 | .16 | .14 | .12 | .10 |                         |
|                         | 30                                        | .33      | .57 | .66 | .62 | .46 | .33 | .26 | .21 | .18 | .16 | .14 | .12 | .09 | .06 | .04 | .03 |                         |
| East                    | 150 & over                                | .29      | .38 | .44 | .48 | .48 | .46 | .41 | .36 | .28 | .26 | .23 | .22 | .20 | .18 | .16 | .14 | East                    |
|                         | 100                                       | .27      | .38 | .48 | .54 | .52 | .48 | .41 | .35 | .28 | .25 | .23 | .20 | .18 | .15 | .14 | .12 |                         |
|                         | 30                                        | .29      | .51 | .68 | .74 | .69 | .53 | .38 | .27 | .22 | .18 | .15 | .12 | .09 | .06 | .04 | .03 |                         |
| Southeast               | 150 & over                                | .24      | .29 | .35 | .43 | .49 | .53 | .53 | .51 | .39 | .35 | .32 | .29 | .26 | .23 | .21 | .19 | Northeast               |
|                         | 100                                       | .19      | .24 | .33 | .44 | .52 | .57 | .57 | .53 | .41 | .36 | .31 | .27 | .24 | .21 | .18 | .16 |                         |
|                         | 30                                        | .03      | .20 | .41 | .60 | .73 | .77 | .72 | .60 | .44 | .32 | .23 | .18 | .14 | .09 | .07 | .05 |                         |
| South                   | 150 & over                                | .33      | .31 | .32 | .37 | .43 | .49 | .55 | .60 | .57 | .51 | .48 | .42 | .37 | .33 | .29 | .26 | North                   |
|                         | 100                                       | .27      | .24 | .28 | .34 | .42 | .50 | .58 | .60 | .60 | .57 | .53 | .45 | .37 | .31 | .27 | .23 |                         |
|                         | 30                                        | .06      | .04 | .15 | .31 | .49 | .65 | .75 | .82 | .81 | .75 | .61 | .42 | .28 | .19 | .13 | .09 |                         |
| Southwest               | 150 & over                                | .35      | .32 | .30 | .28 | .26 | .28 | .30 | .37 | .43 | .47 | .46 | .40 | .34 | .30 | .27 | .24 | Northwest               |
|                         | 100                                       | .31      | .28 | .25 | .24 | .22 | .26 | .33 | .40 | .46 | .50 | .53 | .51 | .44 | .35 | .29 | .26 |                         |
|                         | 30                                        | .11      | .10 | .10 | .09 | .10 | .14 | .35 | .54 | .68 | .78 | .78 | .68 | .46 | .29 | .20 | .14 |                         |
| West                    | 150 & over                                | .38      | .34 | .32 | .28 | .26 | .25 | .23 | .25 | .26 | .27 | .36 | .42 | .44 | .38 | .33 | .29 | West                    |
|                         | 100                                       | .34      | .31 | .28 | .25 | .23 | .22 | .21 | .21 | .23 | .30 | .40 | .48 | .51 | .43 | .35 | .30 |                         |
|                         | 30                                        | .17      | .14 | .13 | .11 | .11 | .10 | .10 | .15 | .29 | .49 | .67 | .76 | .75 | .53 | .33 | .22 |                         |
| Northwest               | 150 & over                                | .33      | .30 | .28 | .26 | .24 | .23 | .22 | .20 | .18 | .17 | .25 | .34 | .39 | .34 | .29 | .26 | Southwest               |
|                         | 100                                       | .30      | .28 | .25 | .23 | .22 | .20 | .19 | .17 | .17 | .19 | .29 | .40 | .46 | .40 | .32 | .26 |                         |
|                         | 30                                        | .18      | .14 | .12 | .12 | .12 | .12 | .12 | .11 | .13 | .27 | .48 | .65 | .73 | .49 | .31 | .21 |                         |
| North and Shade         | 150 & over                                | .31      | .57 | .64 | .68 | .72 | .73 | .73 | .74 | .74 | .75 | .76 | .78 | .78 | .59 | .52 | .46 | South and Shade         |
|                         | 100                                       | .30      | .47 | .60 | .67 | .72 | .74 | .77 | .78 | .79 | .80 | .81 | .82 | .83 | .60 | .51 | .44 |                         |
|                         | 30                                        | .04      | .07 | .53 | .70 | .78 | .84 | .88 | .91 | .93 | .95 | .97 | .98 | .99 | .62 | .34 | .24 |                         |

| EXPOSURE<br>(North Lat) | WEIGHT<br>(lb per sq ft<br>of floor area) | INTERNAL SHADE |     |     |     |     |     |     |     |     |     | BARE GLASS OR EXTERNAL SHADE |     |     |     |     |      |     |     |     |     |      |     |     |           |                    | EXPOSURE<br>(South Lat) |
|-------------------------|-------------------------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----------|--------------------|-------------------------|
|                         |                                           | SUN TIME       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |                              |     |     |     |     |      |     |     |     |     |      |     |     |           |                    |                         |
|                         |                                           | A.M.           |     |     |     |     |     |     |     |     |     | P.M.                         |     |     |     |     | A.M. |     |     |     |     | P.M. |     |     |           |                    |                         |
|                         |                                           | 6              | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 1   | 2   | 3   | 4                            | 5   | 6   | 7   | 8   | 9    | 10  | 11  | 12  | 1   | 2    | 3   | 4   | 5         |                    |                         |
| Northeast               | 150 & over<br>100<br>30                   | .59            | .67 | .62 | .49 | .33 | .27 | .25 | .24 | .22 | .21 | .20                          | .17 | .34 | .42 | .47 | .45  | .42 | .39 | .36 | .33 | .30  | .29 | .26 | .25       | Southeast          |                         |
|                         |                                           | .59            | .68 | .64 | .52 | .35 | .29 | .24 | .23 | .20 | .19 | .17                          | .15 | .35 | .45 | .50 | .49  | .45 | .42 | .34 | .30 | .27  | .26 | .23 | .20       |                    |                         |
|                         |                                           | .62            | .80 | .75 | .60 | .37 | .25 | .19 | .17 | .15 | .13 | .12                          | .11 | .40 | .62 | .69 | .64  | .48 | .34 | .27 | .22 | .18  | .16 | .14 | .12       |                    |                         |
| East                    | 150 & over<br>100<br>30                   | .51            | .66 | .71 | .67 | .57 | .40 | .29 | .26 | .25 | .23 | .21                          | .19 | .36 | .44 | .50 | .53  | .53 | .50 | .44 | .39 | .36  | .34 | .30 | .28       | East               |                         |
|                         |                                           | .52            | .67 | .73 | .70 | .58 | .40 | .29 | .26 | .24 | .21 | .19                          | .16 | .34 | .44 | .54 | .58  | .57 | .51 | .44 | .39 | .34  | .31 | .28 | .24       |                    |                         |
|                         |                                           | .53            | .74 | .82 | .81 | .65 | .43 | .25 | .19 | .16 | .14 | .11                          | .09 | .36 | .56 | .71 | .76  | .70 | .54 | .39 | .28 | .23  | .18 | .15 | .12       |                    |                         |
| Southeast               | 150 & over<br>100<br>30                   | .20            | .42 | .59 | .70 | .74 | .71 | .61 | .48 | .33 | .30 | .26                          | .24 | .34 | .37 | .43 | .50  | .54 | .58 | .57 | .55 | .50  | .45 | .41 | .37       | Northeast          |                         |
|                         |                                           | .18            | .40 | .57 | .70 | .75 | .72 | .63 | .49 | .34 | .28 | .25                          | .21 | .29 | .33 | .41 | .51  | .58 | .61 | .61 | .56 | .49  | .44 | .37 | .33       |                    |                         |
|                         |                                           | .09            | .35 | .61 | .78 | .86 | .82 | .69 | .50 | .30 | .20 | .17                          | .13 | .14 | .27 | .47 | .64  | .75 | .79 | .73 | .61 | .45  | .32 | .23 | .18       |                    |                         |
| South                   | 150 & over<br>100<br>30                   | .28            | .25 | .40 | .53 | .64 | .72 | .77 | .77 | .73 | .67 | .49                          | .31 | .47 | .43 | .42 | .46  | .51 | .56 | .61 | .65 | .66  | .65 | .61 | .54       | North              |                         |
|                         |                                           | .26            | .22 | .38 | .51 | .64 | .73 | .79 | .77 | .65 | .51 | .31                          | .44 | .37 | .39 | .43 | .50  | .57 | .64 | .68 | .70 | .68  | .63 | .53 |           |                    |                         |
|                         |                                           | .21            | .29 | .48 | .67 | .79 | .88 | .89 | .83 | .56 | .50 | .24                          | .16 | .28 | .19 | .25 | .38  | .54 | .68 | .78 | .84 | .82  | .76 | .61 | .42       |                    |                         |
| Southwest               | 150 & over<br>100<br>30                   | .31            | .27 | .27 | .26 | .25 | .27 | .50 | .63 | .72 | .74 | .69                          | .54 | .51 | .44 | .40 | .34  | .36 | .41 | .47 | .54 | .57  | .60 | .58 | Northwest |                    |                         |
|                         |                                           | .33            | .28 | .25 | .23 | .23 | .35 | .50 | .64 | .74 | .77 | .70                          | .55 | .53 | .44 | .37 | .35  | .31 | .33 | .39 | .46 | .55  | .62 | .64 |           | .60                |                         |
|                         |                                           | .29            | .21 | .18 | .15 | .14 | .27 | .50 | .69 | .82 | .87 | .79                          | .60 | .48 | .32 | .25 | .20  | .17 | .19 | .39 | .56 | .70  | .80 | .79 |           | .69                |                         |
| West                    | 150 & over<br>100<br>30                   | .63            | .31 | .28 | .27 | .25 | .24 | .22 | .29 | .46 | .61 | .71                          | .72 | .56 | .49 | .44 | .39  | .36 | .33 | .31 | .31 | .35  | .42 | .49 | .54       | West               |                         |
|                         |                                           | .67            | .33 | .28 | .26 | .24 | .22 | .20 | .28 | .44 | .61 | .72                          | .73 | .60 | .52 | .44 | .39  | .34 | .31 | .29 | .28 | .33  | .43 | .51 | .57       |                    |                         |
|                         |                                           | .77            | .34 | .25 | .20 | .17 | .14 | .13 | .22 | .44 | .67 | .82                          | .85 | .77 | .56 | .38 | .28  | .22 | .18 | .16 | .19 | .33  | .52 | .69 | .77       |                    |                         |
| Northwest               | 150 & over<br>100<br>30                   | .68            | .28 | .27 | .25 | .23 | .22 | .20 | .19 | .24 | .41 | .56                          | .67 | .49 | .44 | .39 | .36  | .33 | .30 | .28 | .26 | .26  | .30 | .37 | .44       | Southwest          |                         |
|                         |                                           | .71            | .31 | .27 | .24 | .22 | .21 | .19 | .18 | .23 | .40 | .58                          | .70 | .54 | .49 | .41 | .35  | .31 | .28 | .25 | .23 | .24  | .30 | .39 | .48       |                    |                         |
|                         |                                           | .82            | .33 | .25 | .20 | .18 | .15 | .14 | .13 | .19 | .41 | .64                          | .80 | .75 | .53 | .36 | .28  | .24 | .19 | .17 | .15 | .17  | .30 | .50 | .66       |                    |                         |
| North and<br>Shade      | 150 & over<br>100<br>30                   | .96            | .96 | .96 | .96 | .96 | .96 | .96 | .96 | .96 | .96 | .96                          | .96 | .75 | .75 | .79 | .83  | .84 | .86 | .88 | .88 | .91  | .92 | .93 | .93       | South and<br>Shade |                         |
|                         |                                           | .98            | .98 | .98 | .98 | .98 | .98 | .98 | .98 | .98 | .98 | .98                          | .98 | .81 | .84 | .86 | .89  | .91 | .93 | .93 | .94 | .94  | .95 | .95 | .95       |                    |                         |
|                         |                                           | 1.00           |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1.00                         |     |     |     |     |      |     |     |     |     |      |     |     |           |                    |                         |

جدول ۱۰-۲۱ حداکثر کسب حرارت خورشیدی برای شیشه معمولی

Btu/hr.ft<sup>2</sup> sash

| NORTH<br>LAT.            | MONTH                                       | EXPOSURE NORTH LATITUDE |     |     |                                |     |                                         |     |     |                                         | MONTH        | SOUTH<br>LAT.                   |
|--------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|-----|-----|--------------------------------|-----|-----------------------------------------|-----|-----|-----------------------------------------|--------------|---------------------------------|
|                          |                                             | N                       | NE  | E   | SE                             | S   | SW                                      | W   | NW  | Horiz                                   |              |                                 |
| 0°                       | June                                        | 59                      | 156 | 147 | 42                             | 14  | 42                                      | 147 | 156 | 226                                     | Dec          | 0°                              |
|                          | July & May                                  | 48                      | 153 | 152 | 52                             | 14  | 52                                      | 152 | 153 | 233                                     | Nov & Jan    |                                 |
|                          | Aug & April                                 | 25                      | 141 | 163 | 79                             | 14  | 79                                      | 163 | 141 | 245                                     | Oct & Feb    |                                 |
|                          | Sept & March                                | 10                      | 118 | 167 | 118                            | 14  | 118                                     | 167 | 118 | 250                                     | Sept & March |                                 |
|                          | Oct & Feb                                   | 10                      | 79  | 163 | 141                            | 34  | 141                                     | 163 | 79  | 245                                     | Aug & April  |                                 |
|                          | Nov & Jan                                   | 10                      | 52  | 152 | 153                            | 67  | 153                                     | 152 | 52  | 233                                     | July & May   |                                 |
|                          | Dec                                         | 10                      | 42  | 147 | 156                            | 82  | 156                                     | 147 | 42  | 226                                     | June         |                                 |
| 10°                      | June                                        | 40                      | 153 | 155 | 55                             | 14  | 55                                      | 155 | 153 | 243                                     | Dec          | 10°                             |
|                          | July & May                                  | 30                      | 148 | 158 | 66                             | 14  | 66                                      | 158 | 148 | 247                                     | Nov & Jan    |                                 |
|                          | Aug & April                                 | 13                      | 130 | 163 | 94                             | 14  | 94                                      | 163 | 130 | 250                                     | Oct & Feb    |                                 |
|                          | Sept & March                                | 10                      | 103 | 164 | 127                            | 28  | 127                                     | 164 | 103 | 247                                     | Sept & March |                                 |
|                          | Oct & Feb                                   | 10                      | 66  | 155 | 149                            | 73  | 149                                     | 155 | 66  | 230                                     | Aug & April  |                                 |
|                          | Nov & Jan                                   | 9                       | 37  | 143 | 161                            | 106 | 101                                     | 143 | 37  | 210                                     | July & May   |                                 |
|                          | Dec                                         | 9                       | 28  | 137 | 163                            | 120 | 163                                     | 137 | 28  | 202                                     | June         |                                 |
| 20°                      | June                                        | 26                      | 154 | 160 | 73                             | 14  | 73                                      | 160 | 154 | 250                                     | Dec          | 20°                             |
|                          | July & May                                  | 19                      | 138 | 163 | 85                             | 14  | 85                                      | 163 | 138 | 251                                     | Nov & Jan    |                                 |
|                          | Aug & April                                 | 11                      | 118 | 165 | 113                            | 26  | 113                                     | 165 | 118 | 247                                     | Oct & Feb    |                                 |
|                          | Sept & March                                | 10                      | 87  | 163 | 140                            | 65  | 140                                     | 163 | 87  | 233                                     | Sept & March |                                 |
|                          | Oct & Feb                                   | 9                       | 52  | 147 | 160                            | 111 | 160                                     | 147 | 52  | 208                                     | Aug & April  |                                 |
|                          | Nov & Jan                                   | 8                       | 26  | 128 | 164                            | 141 | 164                                     | 128 | 26  | 180                                     | July & May   |                                 |
|                          | Dec                                         | 8                       | 18  | 121 | 167                            | 149 | 167                                     | 121 | 18  | 170                                     | June         |                                 |
| 30°                      | June                                        | 20                      | 139 | 161 | 90                             | 21  | 90                                      | 161 | 139 | 250                                     | Dec          | 30°                             |
|                          | July & May                                  | 16                      | 131 | 164 | 100                            | 30  | 100                                     | 164 | 131 | 246                                     | Nov & Jan    |                                 |
|                          | Aug & April                                 | 11                      | 108 | 165 | 129                            | 63  | 129                                     | 165 | 108 | 235                                     | Oct & Feb    |                                 |
|                          | Sept & March                                | 9                       | 90  | 158 | 152                            | 105 | 152                                     | 158 | 90  | 212                                     | Sept & March |                                 |
|                          | Oct & Feb                                   | 8                       | 39  | 135 | 163                            | 145 | 163                                     | 135 | 39  | 179                                     | Aug & April  |                                 |
|                          | Nov & Jan                                   | 7                       | 16  | 116 | 162                            | 159 | 162                                     | 116 | 16  | 145                                     | July & May   |                                 |
|                          | Dec                                         | 6                       | 12  | 105 | 162                            | 163 | 162                                     | 105 | 12  | 131                                     | June         |                                 |
| 40°                      | June                                        | 17                      | 133 | 162 | 111                            | 54  | 111                                     | 162 | 133 | 237                                     | Dec          | 40°                             |
|                          | July & May                                  | 15                      | 127 | 164 | 125                            | 69  | 125                                     | 164 | 127 | 233                                     | Nov & Jan    |                                 |
|                          | Aug & April                                 | 11                      | 102 | 162 | 146                            | 102 | 146                                     | 162 | 102 | 214                                     | Oct & Feb    |                                 |
|                          | Sept & March                                | 9                       | 58  | 149 | 162                            | 140 | 162                                     | 149 | 58  | 183                                     | Sept & March |                                 |
|                          | Oct & Feb                                   | 7                       | 35  | 122 | 163                            | 162 | 163                                     | 122 | 35  | 129                                     | Aug & April  |                                 |
|                          | Nov & Jan                                   | 5                       | 12  | 100 | 156                            | 166 | 156                                     | 100 | 12  | 103                                     | July & May   |                                 |
|                          | Dec                                         | 5                       | 10  | 86  | 148                            | 165 | 148                                     | 86  | 10  | 85                                      | June         |                                 |
| 50°                      | June                                        | 16                      | 126 | 164 | 135                            | 93  | 135                                     | 164 | 126 | 220                                     | Dec          | 50°                             |
|                          | July & May                                  | 14                      | 117 | 163 | 143                            | 106 | 143                                     | 163 | 117 | 211                                     | Nov & Jan    |                                 |
|                          | Aug & April                                 | 11                      | 94  | 158 | 157                            | 138 | 157                                     | 158 | 94  | 185                                     | Oct & Feb    |                                 |
|                          | Sept & March                                | 8                       | 58  | 138 | 163                            | 158 | 163                                     | 138 | 58  | 148                                     | Sept & March |                                 |
|                          | Oct & Feb                                   | 5                       | 29  | 105 | 157                            | 167 | 157                                     | 105 | 29  | 94                                      | Aug & April  |                                 |
|                          | Nov & Jan                                   | 4                       | 9   | 64  | 127                            | 153 | 127                                     | 64  | 9   | 53                                      | July & May   |                                 |
|                          | Dec                                         | 3                       | 7   | 47  | 116                            | 141 | 116                                     | 47  | 7   | 40                                      | June         |                                 |
|                          |                                             | S                       | SE  | E   | NE                             | N   | NW                                      | W   | SW  | Horiz                                   |              |                                 |
| EXPOSURE SOUTH LATITUDE  |                                             |                         |     |     |                                |     |                                         |     |     |                                         |              |                                 |
| Solar Gain<br>Correction | Steel Sash or<br>No Sash<br>× 1/.85 or 1.17 | Haze<br>— 15% (Max)     |     |     | Altitude<br>+ 0.7% per 1000 ft |     | Dewpoint<br>Above 67 F<br>— 7% per 10 F |     |     | Dewpoint<br>Below 67 F<br>+ 7% per 10 F |              | South Lat<br>Dec or Jan<br>+ 7% |



| EXPOSURE         | WEIGHT<br>OF WALL†<br>(lb/sq ft) | SUN TIME |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|----------------------------------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                  |                                  | AM       |    |    |    |    |    |    |    | PM |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | AM |    |    |    |    |
|                  |                                  | 6        | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |    |
| Northeast        | 20                               | 5        | 15 | 22 | 23 | 24 | 19 | 14 | 13 | 12 | 13 | 14 | 14 | 14 | 12 | 10 | 8  | 6  | 4  | 2  | 0  | -2 | -3 | -4 | -2 |    |
|                  | 60                               | -1       | -2 | -2 | 5  | 24 | 22 | 20 | 15 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8  | 6  | 4  | 2  | 1  | 0  | -1 |    |
|                  | 100                              | 4        | 3  | 4  | 4  | 4  | 10 | 16 | 15 | 14 | 12 | 10 | 11 | 12 | 12 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 6  | 5  | 3  |    |
|                  | 140                              | 5        | 5  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 10 | 14 | 16 | 14 | 12 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9  | 9  | 6  | 8  | 7  | 7  |
| East             | 20                               | 1        | 17 | 30 | 33 | 36 | 35 | 32 | 20 | 12 | 13 | 14 | 14 | 14 | 12 | 10 | 8  | 6  | 4  | 2  | 0  | -1 | -2 | -3 | -3 |    |
|                  | 60                               | -1       | -1 | 0  | 21 | 30 | 31 | 31 | 19 | 14 | 13 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8  | 5  | 4  | 3  | 1  | 1  | 0  |    |
|                  | 100                              | 5        | 5  | 6  | 8  | 14 | 20 | 24 | 28 | 25 | 24 | 20 | 18 | 16 | 14 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 7  | 6  |    |
|                  | 140                              | 11       | 10 | 10 | 9  | 8  | 9  | 10 | 15 | 18 | 19 | 18 | 17 | 16 | 14 | 12 | 13 | 14 | 14 | 14 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Southeast        | 20                               | 10       | 6  | 13 | 19 | 26 | 27 | 28 | 26 | 24 | 19 | 16 | 15 | 14 | 12 | 10 | 8  | 6  | 4  | 2  | 0  | -1 | -1 | -2 | -2 |    |
|                  | 60                               | 1        | 1  | 0  | 13 | 20 | 24 | 28 | 26 | 25 | 21 | 18 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8  | 6  | 5  | 4  | 3  | 3  | 2  |    |
|                  | 100                              | 7        | 7  | 6  | 6  | 11 | 16 | 17 | 18 | 19 | 18 | 16 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9  | 8  | 8  | 7  | 7  |    |
|                  | 140                              | 9        | 8  | 8  | 8  | 8  | 7  | 6  | 11 | 14 | 15 | 16 | 18 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 | 12 | 11 | 11 | 10 | 10 | 9  |    |
| South            | 20                               | -1       | -2 | -4 | 1  | 4  | 14 | 22 | 27 | 30 | 28 | 26 | 20 | 16 | 12 | 10 | 7  | 6  | 3  | 2  | 1  | 1  | 0  | 0  | -1 |    |
|                  | 60                               | -1       | -3 | -4 | -3 | -2 | 7  | 12 | 20 | 24 | 25 | 26 | 23 | 20 | 15 | 12 | 10 | 8  | 6  | 4  | 2  | 1  | 1  | 0  | -1 |    |
|                  | 100                              | 4        | 4  | 2  | 2  | 3  | 4  | 8  | 12 | 15 | 16 | 18 | 18 | 15 | 14 | 11 | 10 | 9  | 8  | 8  | 7  | 6  | 6  | 5  | 5  |    |
|                  | 140                              | 7        | 6  | 6  | 5  | 4  | 4  | 4  | 4  | 7  | 10 | 13 | 14 | 15 | 16 | 16 | 14 | 12 | 10 | 10 | 9  | 9  | 8  | 8  | 7  |    |
| Southwest        | 20                               | -2       | -4 | -4 | -2 | 0  | 4  | 6  | 19 | 26 | 34 | 40 | 41 | 42 | 30 | 24 | 12 | 6  | 4  | 2  | 1  | 1  | 0  | -1 | -1 |    |
|                  | 60                               | 2        | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  | 8  | 12 | 24 | 32 | 35 | 36 | 35 | 34 | 20 | 10 | 7  | 6  | 5  | 4  | 4  | 3  | 3  |    |
|                  | 100                              | 7        | 5  | 6  | 5  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 12 | 14 | 19 | 22 | 23 | 24 | 23 | 22 | 15 | 10 | 10 | 9  | 9  | 8  | 7  |    |
|                  | 140                              | 8        | 8  | 8  | 8  | 8  | 7  | 6  | 6  | 6  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 15 | 18 | 19 | 20 | 13 | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  |    |
| West             | 20                               | -2       | -3 | -4 | -2 | 0  | 3  | 6  | 14 | 20 | 32 | 40 | 45 | 48 | 34 | 22 | 14 | 8  | 5  | 2  | 1  | 0  | 0  | -1 | -1 |    |
|                  | 60                               | 2        | 1  | 0  | 0  | 0  | 2  | 4  | 7  | 10 | 19 | 26 | 34 | 40 | 41 | 36 | 28 | 16 | 10 | 6  | 5  | 4  | 3  | 3  | 2  |    |
|                  | 100                              | 7        | 7  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 7  | 8  | 10 | 12 | 17 | 20 | 25 | 28 | 26 | 19 | 14 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 8  |    |
|                  | 140                              | 12       | 11 | 10 | 9  | 8  | 8  | 8  | 9  | 10 | 10 | 10 | 11 | 12 | 14 | 16 | 21 | 22 | 23 | 22 | 20 | 18 | 16 | 15 | 13 |    |
| Northwest        | 20                               | -3       | -4 | -4 | -2 | 0  | 3  | 6  | 10 | 12 | 19 | 24 | 33 | 40 | 37 | 34 | 18 | 6  | 4  | 2  | 0  | -1 | -1 | -2 | -2 |    |
|                  | 60                               | -2       | -3 | -4 | -3 | -2 | 0  | 2  | 6  | 8  | 10 | 12 | 21 | 30 | 31 | 32 | 21 | 12 | 8  | 6  | 4  | 3  | 1  | 0  | -1 |    |
|                  | 100                              | 5        | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 5  | 6  | 9  | 12 | 17 | 20 | 21 | 22 | 14 | 8  | 7  | 7  | 6  | 6  | 5  |    |
|                  | 140                              | 8        | 7  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 14 | 18 | 19 | 20 | 16 | 13 | 11 | 10 | 9  |    |
| North<br>(Shade) | 20                               | -3       | -3 | -4 | -3 | -2 | 1  | 4  | 8  | 10 | 12 | 14 | 13 | 12 | 10 | 8  | 6  | 4  | 2  | 0  | 0  | -1 | -1 | -2 | -2 |    |
|                  | 60                               | -3       | -3 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0  | 3  | 6  | 8  | 10 | 11 | 12 | 12 | 12 | 10 | 8  | 6  | 4  | 2  | 1  | 0  | -1 | -2 |    |
|                  | 100                              | 1        | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 5  | 5  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 3  | 2  | 2  | 1  |    |
|                  | 140                              | 1        | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 7  | 6  | 4  | 3  | 2  | 2  | 1  |    |
|                  |                                  | 6        | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |    |
|                  |                                  | AM       |    |    |    |    |    |    |    | PM |    |    |    |    |    |    |    | AM |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                  |                                  | SUN TIME |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

جدول ۱۰-۲۴ اختلاف دمای برودتی بام

| CONDI-<br>TION           | WEIGHT<br>OF ROOF<br>(lb/sq ft) | SUN TIME |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|--------------------------|---------------------------------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|
|                          |                                 | AM       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | PM |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | AM |  |  |  |
|                          |                                 | 6        | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |    |  |  |  |
| Exposed<br>to<br>Sun     | 10                              | -4       | -6 | -7 | -5 | -1 | 7  | 15 | 24 | 32 | 38 | 43 | 46 | 45 | 41 | 35 | 28 | 22 | 16 | 10 | 7  | 3  | 1  | -1 | -3 |    |  |  |  |
|                          | 20                              | 0        | -1 | -2 | -1 | 2  | 9  | 16 | 23 | 30 | 36 | 41 | 43 | 43 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 12 | 8  | 6  | 4  | 2  |    |  |  |  |
|                          | 40                              | 4        | 3  | 2  | 3  | 6  | 10 | 16 | 23 | 28 | 33 | 38 | 40 | 41 | 39 | 35 | 32 | 28 | 24 | 20 | 17 | 13 | 11 | 9  | 6  |    |  |  |  |
|                          | 60                              | 9        | 8  | 6  | 7  | 8  | 11 | 16 | 22 | 27 | 31 | 35 | 38 | 39 | 38 | 36 | 34 | 31 | 28 | 25 | 22 | 18 | 16 | 13 | 11 |    |  |  |  |
|                          | 80                              | 13       | 12 | 11 | 11 | 12 | 13 | 16 | 22 | 26 | 28 | 32 | 35 | 37 | 37 | 35 | 34 | 34 | 32 | 30 | 27 | 23 | 20 | 18 | 14 |    |  |  |  |
| Covered<br>with<br>Water | 20                              | -5       | -2 | 0  | 2  | 4  | 10 | 16 | 19 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 6  | 2  | 1  | 1  | -1 | -2 | -3 | -4 | -5 |    |  |  |  |
|                          | 40                              | -3       | -2 | -1 | -1 | 0  | 5  | 10 | 13 | 15 | 15 | 16 | 15 | 15 | 14 | 12 | 10 | 7  | 5  | 3  | 1  | -1 | -2 | -3 | -4 |    |  |  |  |
|                          | 60                              | -1       | -2 | -2 | -2 | -2 | 2  | 5  | 7  | 10 | 12 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 12 | 10 | 8  | 6  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  |    |  |  |  |
| Sprayed                  | 20                              | -4       | -2 | 0  | 2  | 4  | 8  | 12 | 15 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 12 | 10 | 6  | 2  | 1  | 0  | -1 | -2 | -2 | -3 | -3 |    |  |  |  |
|                          | 40                              | -2       | -2 | -1 | -1 | 0  | 2  | 5  | 9  | 13 | 14 | 14 | 14 | 14 | 13 | 12 | 9  | 7  | 5  | 3  | 1  | 0  | 0  | -1 | -1 |    |  |  |  |
|                          | 60                              | -1       | -2 | -2 | -2 | -2 | 0  | 2  | 5  | 8  | 10 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8  | 6  | 4  | 2  | 1  | 0  | -1 |    |  |  |  |
| Shaded                   | 20                              | -5       | -5 | -4 | -2 | 0  | 2  | 6  | 9  | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 10 | 8  | 5  | 2  | 1  | 0  | -1 | -3 | -4 | -5 | -5 |    |  |  |  |
|                          | 40                              | -5       | -5 | -4 | -3 | -2 | 0  | 2  | 5  | 8  | 10 | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8  | 6  | 4  | 2  | 0  | -1 | -3 | -4 | -5 |    |  |  |  |
|                          | 60                              | -3       | -3 | -2 | -2 | -2 | -1 | 0  | 2  | 4  | 6  | 8  | 9  | 10 | 10 | 10 | 9  | 8  | 6  | 4  | 2  | 1  | 0  | -1 | -2 |    |  |  |  |
|                          |                                 | 6        | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |    |  |  |  |
|                          |                                 | AM       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | PM |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | AM |  |  |  |
|                          |                                 | SUN TIME |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |

جدول ۱۰-۲۵ تصحیح اختلاف دمای برودتی برای شرایط دمایی متفاوت

| OUTDOOR<br>DESIGN<br>FOR MONTH<br>AT 3 P.M.<br>MINUS<br>ROOM TEMP<br>(deg F) | DAILY RANGE (deg F) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
|                                                                              | 8                   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  |  |  |
|                                                                              |                     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| -30                                                                          | -39                 | -40 | -41 | -42 | -43 | -44 | -45 | -46 | -47 | -48 | -49 | -50 | -51 | -52 | -53 | -54 | -55 |  |  |
| -20                                                                          | -29                 | -30 | -31 | -32 | -33 | -34 | -35 | -36 | -37 | -38 | -39 | -40 | -41 | -42 | -43 | -44 | -45 |  |  |
| -10                                                                          | -19                 | -20 | -21 | -22 | -23 | -24 | -25 | -26 | -27 | -28 | -29 | -30 | -31 | -32 | -33 | -34 | -35 |  |  |
| 0                                                                            | -9                  | -10 | -11 | -12 | -13 | -14 | -15 | -16 | -17 | -18 | -19 | -20 | -21 | -22 | -23 | -24 | -25 |  |  |
| 5                                                                            | -4                  | -5  | -6  | -7  | -8  | -9  | -10 | -11 | -12 | -13 | -14 | -15 | -16 | -17 | -18 | -19 | -20 |  |  |
| 10                                                                           | 1                   | 0   | -1  | -2  | -3  | -4  | -5  | -6  | -7  | -8  | -9  | -10 | -11 | -12 | -13 | -14 | -15 |  |  |
| 15                                                                           | 6                   | 5   | 4   | 3   | 2   | 1   | 0   | -1  | -2  | -3  | -4  | -5  | -6  | -7  | -8  | -9  | -10 |  |  |
| 20                                                                           | 11                  | 10  | 9   | 8   | 7   | 6   | 5   | 4   | 3   | 2   | 1   | 0   | -1  | -2  | -3  | -4  | -5  |  |  |
| 25                                                                           | 16                  | 15  | 14  | 13  | 12  | 11  | 10  | 9   | 8   | 7   | 6   | 5   | 4   | 3   | 2   | 1   | 0   |  |  |
| 30                                                                           | 21                  | 20  | 19  | 18  | 17  | 16  | 15  | 14  | 13  | 12  | 11  | 10  | 9   | 8   | 7   | 6   | 5   |  |  |
| 35                                                                           | 26                  | 25  | 24  | 23  | 22  | 21  | 20  | 19  | 18  | 17  | 16  | 15  | 14  | 13  | 12  | 11  | 10  |  |  |
| 40                                                                           | 31                  | 30  | 29  | 28  | 27  | 26  | 25  | 24  | 23  | 22  | 21  | 20  | 19  | 18  | 17  | 16  | 15  |  |  |

جدول ۱۰-۲۶ تصحیح دمای طرح خارج تابستانی برای زمان‌های مختلف روز

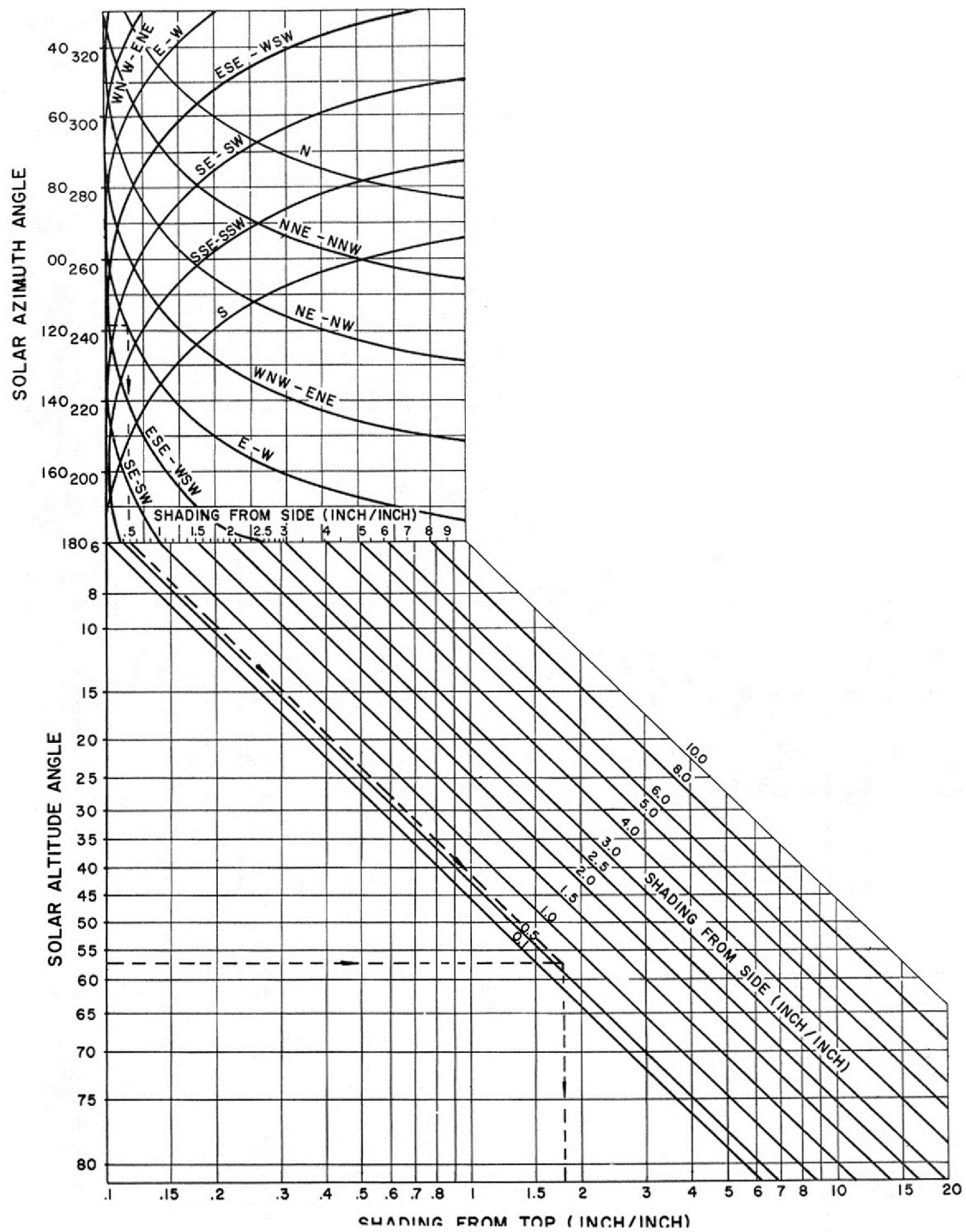
| DAILY<br>RANGE OF<br>TEMPERA-<br>TURE (F) | DRY-<br>OR<br>WET-<br>BULB | SUN TIME |     |    |    |   |    |    |     |     |     |
|-------------------------------------------|----------------------------|----------|-----|----|----|---|----|----|-----|-----|-----|
|                                           |                            | AM       |     |    |    |   | PM |    |     |     |     |
|                                           |                            | 8        | 10  | 12 | 2  | 3 | 4  | 6  | 8   | 10  | 12  |
| 10                                        | Dry-Bulb                   | -9       | -7  | -5 | -1 | 0 | -1 | -2 | -5  | -8  | -9  |
|                                           | Wet-Bulb                   | -2       | -2  | -1 | 0  | 0 | 0  | -1 | -1  | -2  | -2  |
| 15                                        | Dry-Bulb                   | -12      | -9  | -5 | -1 | 0 | -1 | -2 | -6  | -10 | -14 |
|                                           | Wet-Bulb                   | -3       | -2  | -1 | 0  | 0 | 0  | -1 | -1  | -3  | -4  |
| 20                                        | Dry-Bulb                   | -14      | -10 | -5 | -1 | 0 | -1 | -3 | -7  | -11 | -16 |
|                                           | Wet-Bulb                   | -4       | -3  | -1 | 0  | 0 | 0  | -1 | -2  | -3  | -4  |
| 25                                        | Dry-Bulb                   | -16      | -10 | -5 | -1 | 0 | -1 | -3 | -8  | -13 | -18 |
|                                           | Wet-Bulb                   | -4       | -3  | -1 | 0  | 0 | 0  | -1 | -2  | -3  | -5  |
| 30                                        | Dry-Bulb                   | -18      | -12 | -6 | -1 | 0 | -1 | -4 | -10 | -15 | -21 |
|                                           | Wet-Bulb                   | -5       | -3  | -1 | 0  | 0 | 0  | -1 | -3  | -4  | -6  |
| 35                                        | Dry-Bulb                   | -21      | -14 | -7 | -1 | 0 | -1 | -6 | -12 | -18 | -24 |
|                                           | Wet-Bulb                   | -6       | -4  | -2 | 0  | 0 | 0  | -1 | -3  | -5  | -7  |
| 40                                        | Dry-Bulb                   | -24      | -16 | -8 | -1 | 0 | -1 | -7 | -14 | -21 | -28 |
|                                           | Wet-Bulb                   | -7       | -4  | -2 | 0  | 0 | 0  | -2 | -4  | -6  | -9  |
| 45                                        | Dry-Bulb                   | -26      | -17 | -8 | -2 | 0 | -2 | -8 | -16 | -24 | -31 |
|                                           | Wet-Bulb                   | -7       | -5  | -2 | 0  | 0 | -1 | -2 | -4  | -8  | -10 |

جدول ۱۰-۲۷ تصحیح دمای طرح خارج تابستانی برای ماه‌های مختلف سال

| YEARLY<br>RANGE OF<br>TEMPERA-<br>TURE(F) | DRY- OR<br>WET-BULB | TIME OF YEAR |       |     |      |      |        |       |      |      |
|-------------------------------------------|---------------------|--------------|-------|-----|------|------|--------|-------|------|------|
|                                           |                     | March        | April | May | June | July | August | Sept. | Oct. | Nov. |
| 120                                       | Dry-Bulb            | -39          | -22   | -11 | -4   | 0    | 0      | -9    | -24  | -44  |
|                                           | Wet-Bulb            | -23          | -12   | -5  | -2   | 0    | 0      | -4    | -13  | -27  |
| 115                                       | Dry-Bulb            | -33          | -22   | -11 | -4   | 0    | 0      | -8    | -20  | -36  |
|                                           | Wet-Bulb            | -18          | -11   | -5  | -2   | 0    | 0      | -4    | -10  | -21  |
| 110                                       | Dry-Bulb            | -30          | -20   | -11 | -4   | 0    | 0      | -6    | -17  | -31  |
|                                           | Wet-Bulb            | -15          | -10   | -5  | -2   | 0    | 0      | -3    | -8   | -16  |
| 105                                       | Dry-Bulb            | -30          | -20   | -11 | -4   | 0    | 0      | -6    | -17  | -29  |
|                                           | Wet-Bulb            | -15          | -10   | -5  | -2   | 0    | 0      | -3    | -8   | -14  |
| 100                                       | Dry-Bulb            | -29          | -19   | -10 | -3   | 0    | 0      | -6    | -16  | -27  |
|                                           | Wet-Bulb            | -14          | -10   | -5  | -2   | 0    | 0      | -3    | -8   | -14  |
| 95                                        | Dry-Bulb            | -29          | -19   | -10 | -3   | 0    | 0      | -6    | -16  | -27  |
|                                           | Wet-Bulb            | -14          | -10   | -5  | -2   | 0    | 0      | -3    | -8   | -14  |
| 90                                        | Dry-Bulb            | -29          | -19   | -10 | -3   | 0    | 0      | -6    | -16  | -26  |
|                                           | Wet-Bulb            | -14          | -10   | -5  | -2   | 0    | 0      | -3    | -8   | -14  |
| 85                                        | Dry-Bulb            | -29          | -19   | -9  | -3   | 0    | 0      | -5    | -16  | -25  |
|                                           | Wet-Bulb            | -14          | -10   | -5  | -2   | 0    | 0      | -3    | -8   | -14  |
| 80                                        | Dry-Bulb            | -24          | -16   | -8  | -3   | 0    | 0      | -4    | -12  | -20  |
|                                           | Wet-Bulb            | -13          | -9    | -4  | -2   | 0    | 0      | -2    | -6   | -11  |
| 75                                        | Dry-Bulb            | -14          | -9    | -4  | -1   | 0    | 0      | -3    | -7   | -15  |
|                                           | Wet-Bulb            | -7           | -5    | -2  | 0    | 0    | 0      | -2    | -4   | -8   |
| 70                                        | Dry-Bulb            | -13          | -9    | -4  | -1   | 0    | 0      | -2    | -7   | -14  |
|                                           | Wet-Bulb            | -6           | -4    | -2  | 0    | 0    | 0      | -1    | -4   | -6   |
| 65                                        | Dry-Bulb            | -11          | -8    | -4  | -1   | 0    | 0      | -2    | -6   | -12  |
|                                           | Wet-Bulb            | -6           | -4    | -2  | 0    | 0    | 0      | -1    | -3   | -6   |
| 60                                        | Dry-Bulb            | -9           | -7    | -3  | -1   | 0    | 0      | -2    | -5   | -10  |
|                                           | Wet-Bulb            | -4           | -3    | -2  | 0    | 0    | 0      | -1    | -3   | -5   |
| 55                                        | Dry-Bulb            | -6           | -5    | -3  | -1   | 0    | 0      | -2    | -4   | -8   |
|                                           | Wet-Bulb            | -3           | -3    | -2  | 0    | 0    | 0      | -1    | -2   | -4   |
| 50                                        | Dry-Bulb            | -5           | -4    | -3  | -1   | 0    | 0      | -2    | -4   | -7   |
|                                           | Wet-Bulb            | -3           | -2    | -1  | 0    | 0    | 0      | -1    | -2   | -3   |



نمودار ۱۰-۱ تعیین میزان سایه افقی و عمودی



## فصل یازدهم

### وسایل، لوله کشی و موتورخانه برودتی

پس از محاسبه بار برودتی فضاهای مختلف، با توجه به نوع سیستم برودتی و مقتضیات ساختمان باید وسیله سرمایشی مناسب برای نقاط مختلف ساختمان انتخاب گردد. در این فصل اصول و مبانی طراحی، محاسبه و انتخاب اجزای مختلف سیستم برودتی شامل وسایل، لوله کشی و موتورخانه مورد بررسی قرار می گیرد.

#### ۱-۱۱. وسایل سرمایشی

با توجه به تقسیم بندی ارائه شده در ابتدای فصل اول، متداول ترین وسایل سرمایشی عبارتند از:

۶. کولر آبی و هواشوی
۷. کولر گازی
۸. فن کوئل
۹. هواساز و پکیج

#### ۱-۱۱-۱. کولر آبی و هواشوی

کولر آبی، شکل ۱-۱۱، ساده ترین و متداول ترین وسیله سرمایشی در ایران محسوب می شود. تولید برودت در کولر آبی بر مبنای سرمایش تبخیری هوا انجام شده و بنابراین برای اغلب نقاط ایران که دارای آب و هوای خشک هستند، مناسب می باشد. در این روش آب روی سطوح پوشالی یا از جنس سلولزی ریخته شده و هوا ضمن عبور از روی سطوح فوق با طی فرآیندی تقریباً آدیاباتیکی با رطوبت نسبی حدود ۸۰٪ از کولر خارج می گردد. مهمترین عیوب کولر آبی عبارت است از عدم امکان کنترل دما و رطوبت فضا، افزایش بیش از اندازه رطوبت فضا که علاوه بر ایجاد ناراحتی، زمینه ساز رشد قارچ ها و شیوع بیماری نیز می باشد و عدم امکان استفاده در مناطق مرطوب نظیر نواحی جنوبی کشور. اصولاً استفاده از کولر آبی برای مناطقی با دمای حباب خشک بیش از ۹۰°F و دمای حباب تر کمتر از ۷۰°F مناسب است.



شکل ۱-۱۱ کولر آبی

طبقه بندی کولرهای آبی بر اساس حجم هوادهی آنها بر حسب cfm صورت گرفته و انواع موجود در بازار عبارتند از ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۳۵۰۰، ۴۰۰۰، ۶۰۰۰ و ۷۰۰۰ که انواع بین ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متداول تر است. هر چند انتخاب کولر آبی می تواند با توجه به بار برودتی فضا و محاسبات سایکرومتریک هوا صورت گیرد، یک روش تقریبی و سریع جهت تعیین اندازه کولر آبی استفاده از روش حجمی است به نحوی که کولر باید هوای فضا را به اندازه ۲۰ بار در ساعت تعویض نماید. به عبارت دیگر با تقسیم حجم فضا بر عدد ۳، اندازه کولر آبی مناسب بدست می آید.

در صورت استفاده از کولر آبی، گرمایش عموماً با استفاده از رادیاتور انجام می‌شود، هر چند انواعی از کولرهای آبی که زنت نامیده می‌شوند، دارای کویل آب گرم جهت تأمین هوای گرم هستند. لازم به ذکر است، نوع صنعتی سیستم‌های سرمایش تبخیری ایرواشر نامیده می‌شود که از نظر اصول کارکردی دقیقاً مشابه کولر آبی بوده اما دارای راندمان بالاتری است.

### ۱۱-۲. کولر گازی

طبق طبقه‌بندی فصل اول، کولر گازی، که در اصطلاح لاتین معمولاً Air Conditioner نامیده می‌شود، نوعی سیستم انبساط مستقیم (DX) است که در آن اواپراتور سیستم تبرید تراکمی مستقیماً در داخل فضای مورد نظر قرار می‌گیرد. کولر گازی جهت سرمایش فضاهای مستقل کوچک و متوسط بویژه در مناطق مرطوبی نظیر نواحی جنوبی کشور مناسب می‌باشد. همانطور که در شکل ۱۱-۲ مشاهده می‌شود، کولرهای گازی دارای دو نوع اصلی هستند:

۱. کولرهای گازی یک تکه (پنجره‌ای): در این حالت تمامی اجزای کولر به صورت یکپارچه بوده و معمولاً در داخل پنجره یا دیوار به نحوی نصب می‌گردد که اواپراتور در داخل و کندانسور در خارج فضا قرار گیرد. در شکل ۱۱-۲ نمونه‌ای از کولر گازی پنجره‌ای نشان داده شده است.
۲. کولرهای گازی دو تکه (اسپیلیت): در این حالت کولر از دو جزء داخلی (اواپراتور) و خارجی (کمپرسور و کندانسور) تشکیل می‌شود. جزء داخلی در داخل فضا نصب شده و با لوله‌کشی به جزء خارجی که در خارج از فضا (معمولاً روی دیوار خارجی، داخل بالکن یا روی بام) قرار گرفته، متصل می‌گردد. انواع مختلف کولرهای گازی اسپیلیت، با توجه به شکل ظاهری جزء داخلی، عبارت است از دیواری، ایستاده (زمینی)، سقفی، سقفی/زمینی، توکار (کاستی) و کانالی. شکل ۱۱-۲ نمونه‌هایی از کولرهای گازی اسپیلیت دیواری، ایستاده و کانالی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۲ انواع کولر گازی

کولرهای گازی معمولاً در ظرفیت‌های ۹۰۰۰، ۱۲۰۰۰، ۱۸۰۰۰ و ۲۴۰۰۰ Btu/hr تولید شده و انتخاب آنها بر اساس بار برودتی کل ساختمان صورت می‌گیرد.

در صورت استفاده از کولر گازی، گرمایش می‌تواند با استفاده از رادیاتور صورت گیرد. همچنین بعضی از انواع کولرهای گازی دارای المنت الکتریکی به منظور گرمایش بوده و کولرهای سرد و گرم نامیده می‌شوند. لازم به ذکر است که در کولرهای گازی (بجز انواع کانالی که در حقیقت نوعی پکیج کوچک به شمار می‌روند) عموماً هوای فضا سیرکوله شده و تهویه‌ای انجام نمی‌شود.

### ۱۱-۳. فن کویل

همان‌طور که در فصل پنجم اشاره شد، فن کویل (شکل ۵-۲) نوعی سیستم تمام آب و یکی از متداول‌ترین وسایل جهت تأمین بار حرارتی و برودتی فضاهایی نظیر اتاق‌های اداری است که نیاز به کنترل دمای مجزا دارند. از آنجا که اختلاف دمای بین آب و محیط در گرمایش تقریباً دو برابر سرمایش است، ظرفیت گرمایشی فن کویل‌ها به مراتب بیش از ظرفیت سرمایشی آنها بوده و لذا اغلب فن کویل برای بار برودتی انتخاب شده و برای بار گرمایی چک می‌شود. آب سرد مورد نیاز برای فن کویل در موتورخانه بوسیله چیلر تأمین شده و از طریق سیستم لوله‌کشی بین فن کویل‌های مختلف توزیع می‌گردد.

### ۱۱-۴. هواساز و پکیج

دستگاه هواساز (Air Handling Unit) به عنوان سیستمی تمام هوا، کامل‌ترین نوع سیستم تهویه مطبوع به شمار می‌آید که ضمن تأمین هوای تازه مورد نیاز جهت تهویه فضا، امکان کنترل همزمان دما، رطوبت و تمیزی هوا را نیز فراهم می‌آورد. در شکل‌های ۱۱-۳ و ۱۱-۴ به ترتیب نمونه‌ای از دستگاه هواساز و اجزای مختلف دستگاه نشان داده شده و شکل ۱۱-۵ نیز نمایی از سیستم کامل هواساز به همراه تجهیزات جانبی مورد نیاز را نشان می‌دهد.

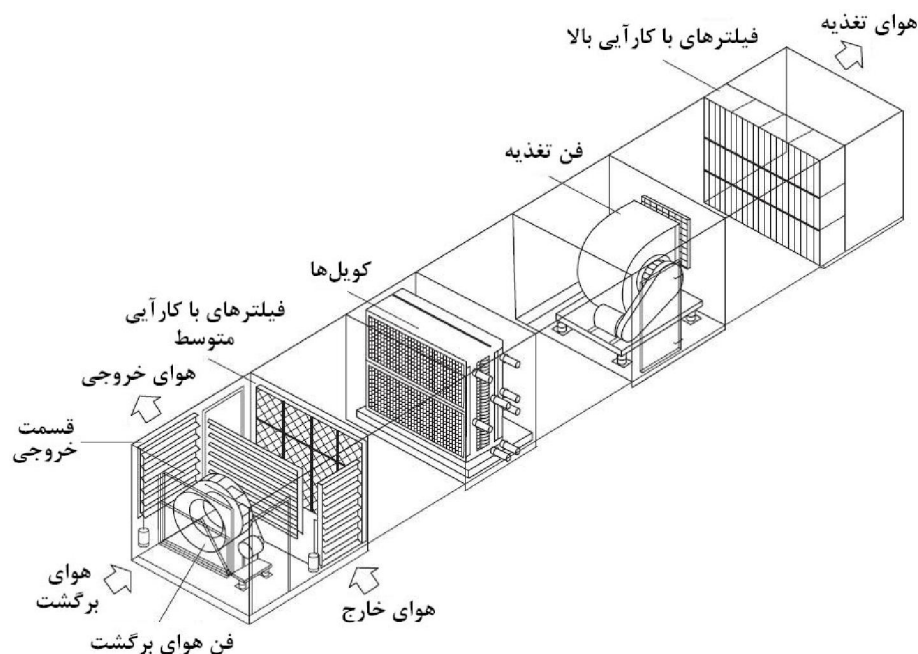
در هواساز هوا با عبور از روی کویل‌های سرمایش (DX یا آب سرد) یا گرمایش (آب گرم یا بخار) مطابق نیاز سرد یا گرم شده، رطوبت آن در رطوبت‌زن تنظیم شده و سپس از طریق سیستم کانال‌کشی در فضاهای مختلف توزیع می‌گردد. مبنای تحلیل سایکرومتریک و انتخاب کویل‌ها در فصل پانزدهم و اصول طراحی سیستم کانال‌کشی در فصل شانزدهم مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در صورت استفاده از کویل DX، چگالش مبرد در واحد کندانس صورت گرفته و در صورت استفاده از آب سرد، از چیلر جهت تأمین آب سرد مورد نیاز استفاده می‌شود. چیلر واحد تبریدی تراکمی یا جذبی است که به نوبه خود ممکن است نیازمند برج خنک‌کن باشد.

به طور کلی قسمت‌های مختلف دستگاه هواساز با توجه به نیازمندی‌های پروژه و کاملاً مطابق نظر طراح انتخاب شده و لذا بالاترین سطح کنترل برای پارامترهای مختلف طراحی را ممکن می‌سازد. نوع پیش‌ساخته دستگاه هواساز که طبعاً شرایط کاری محدودتری دارد، را اصطلاحاً پکیج می‌نامند. کویل برودتی پکیج‌ها از نوع DX بوده و کندانسور آنها ممکن است آبی یا هوایی باشد.

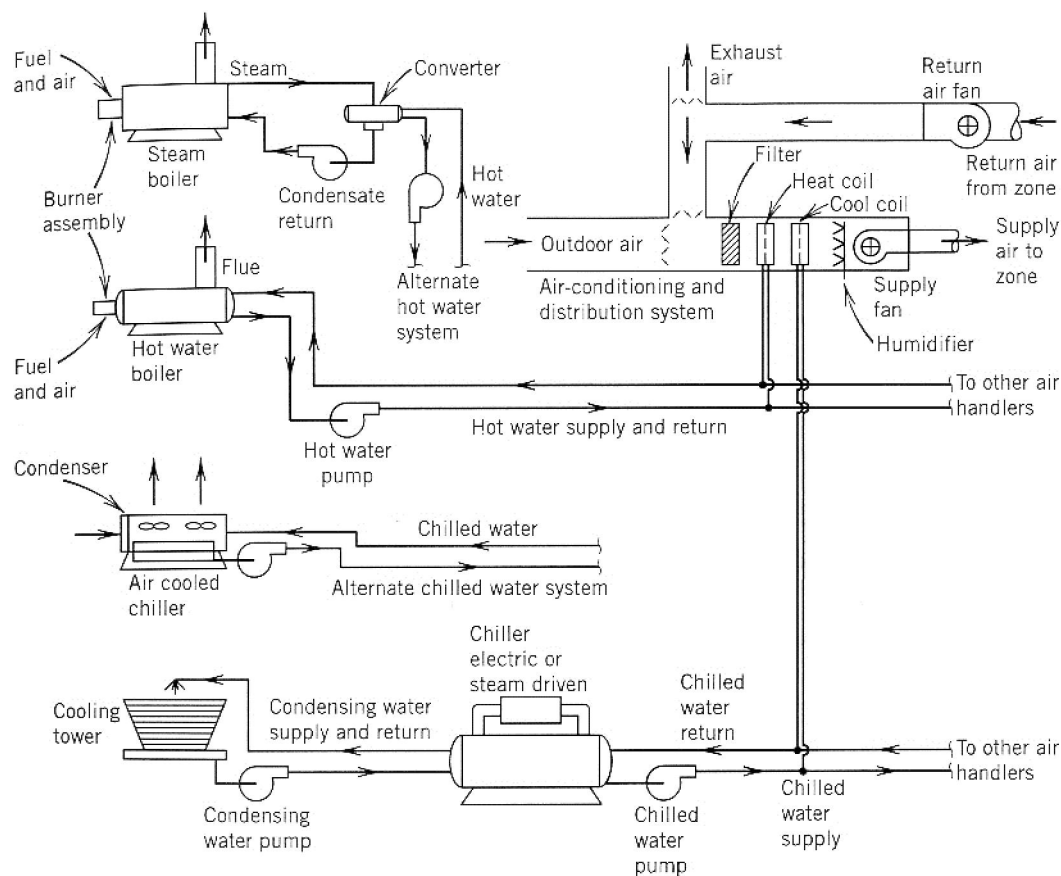


شکل ۱۱-۳ نمونه‌ای از دستگاه هواساز





شکل ۱۱-۴ نمایی از اجزای اصلی دستگاه هواساز



شکل ۱۱-۵ نمایی از سیستم کامل هواساز به همراه تجهیزات جانبی مورد نیاز

## ۱۱-۲. سیستم سرمایش با آب سرد

اصول لوله‌کشی سیستم سرمایش دقیقاً مشابه سیستم گرمایش است با این تفاوت که اختلاف دمای مناسب بین آب سرد رفت و برگشت اغلب حدود  $10^{\circ}\text{F}$  بوده و لذا گذر حجمی آب مورد نیاز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Q = \frac{q}{5000} \quad (۱-۱۱)$$

که در آن:

Q گذر حجمی آب بر حسب gpm

q بار برودتی کل بر حسب But/hr

گذر حجمی آب سرد معمولاً بیش از آب گرم بوده و بنابراین معمولاً محاسبات لوله‌کشی در سیستم‌های دولوله‌ای بر مبنای گذر حجمی آب سرد صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است حجم منبع انبساط مورد نیاز در صورت استفاده از روابط دقیق، مشابه فصل هشتم ( $E=0.02$ ) بوده و در صورت استفاده از روابط تقریبی، به دلیل کمتر بودن تغییرات دمایی آب سرد، برابر نصف مقادیر روابط شده در فصل هشتم در نظر گرفته می‌شود.

### ۱۱-۳. موتورخانه سرمایشی

صرفنظر از سیستم‌های DX نظیر کولر گازی، تولید برودت در سیستم‌های تهویه مطبوع عمدتاً در موتورخانه صورت می‌گیرد. انواع سیستم‌های تبرید از نظر چرخه عملکردی عبارتند از:

۱. چرخه تبرید تراکمی که اجزای اصلی آن عبارت است از کمپرسور، کندانسور، شیر انبساط و اواپراتور
۲. چرخه تبرید جذبی که اجزای اصلی آن عبارت است از اواپراتور، جذب کننده، ژنراتور کندانسور، مبدل حرارتی و پمپ

با توجه به نوع کمپرسور مورد استفاده، چیلرهای تراکمی خود به چهار دسته قابل تقسیم هستند:

۱. رفت و برگشتی (Reciprocating)
۲. اسکرو (Scroll)
۳. پیچی (Screw)
۴. گریز از مرکز (Centrifugal)

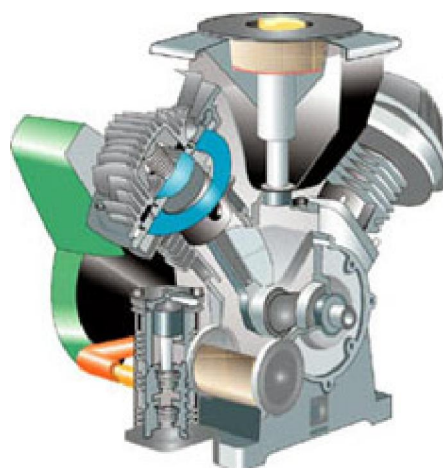
در شکل ۱۱-۶ نمای برش خورده انواع کمپرسور نشان داده شده و شکل‌های ۱۱-۷ و ۱۱-۸ نیز به ترتیب جزء داخلی کمپرسورهای اسکرو و پیچی را نشان می‌دهد. انتخاب نوع سیستم تبرید با توجه به مجموعه ملاحظات فنی و اقتصادی صورت گرفته و معمولاً ظرفیت تبرید مورد نیاز اصلی‌ترین عامل مؤثر در تعیین آن به شمار می‌رود. به عنوان یک راهنمایی کلی، تا ظرفیت ۶۰ تن معمولاً از چیلرهای رفت و برگشتی و در ظرفیت‌های بیش از ۲۰۰ تن معمولاً از چیلرهای گریز از مرکز یا جذبی استفاده می‌شود. در ظرفیت‌های بین ۶۰ تا ۲۰۰ تن استفاده از هر سه نوع سیستم متداول است.

برای تکمیل چرخه تبرید، حرارت جذب شده در اواپراتور و کار مورد نیاز برای کمپرسور باید در کندانسور دفع گردد. انتقال حرارت در کندانسور می‌تواند به صورت گرمای محسوس یا گرمای محسوس و نهان انجام شود. بر این اساس انواع کندانسورها عبارت است از:

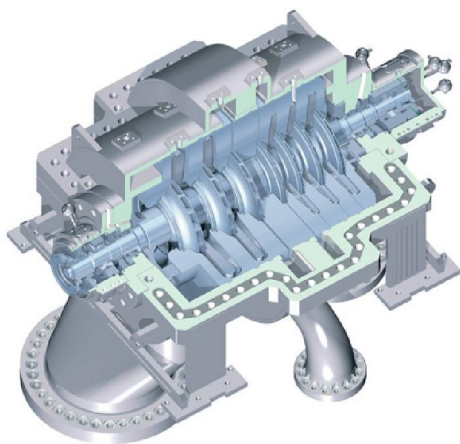
۱. کندانسورهای هوایی (Air Cooled Condenser): در کندانسور هوایی حرارت مستقیماً و به صورت گرمای محسوس به هوای خارج منتقل می‌شود.
  ۲. کندانسورهای آبی (Water Cooled Condenser): کندانسور آبی در واقع یک مبدل لوله پوسته‌ای است که آب سرد در لوله‌ها جریان یافته و گاز مبرد درون پوسته را خنک می‌کند. آب سرد مورد نیاز ممکن است به صورت تک‌گذر از منابعی نظیر آب رودخانه، دریاچه یا چاه تهیه شده و یا در مسیری بسته و از طریق برج خنک‌کن تأمین شود.
  ۳. کندانسورهای تبخیری (Evaporative Condenser): در کندانسور تبخیری از اسپری آب بر روی کویل‌ها جهت دفع حرارت به صورت گرمای محسوس و نهان استفاده می‌گردد.
- در شکل‌های ۱۱-۹ و ۱۱-۱۰ به ترتیب کندانسور هوایی و تبخیری نشان داده شده است.



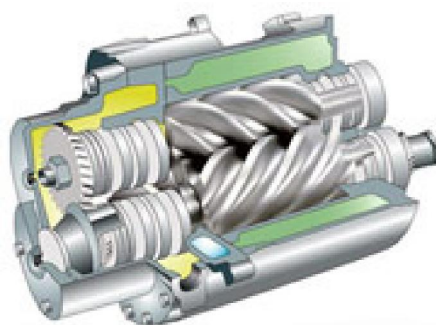
ب. کمپرسور اسکرو



الف. کمپرسور رفت و برگشتی

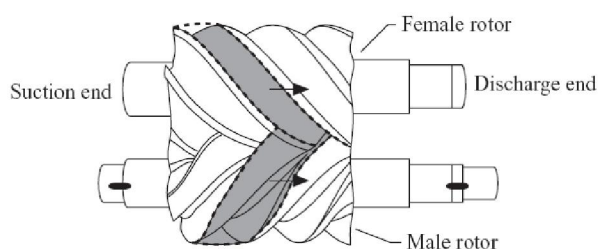


ت. کمپرسور گریز از مرکز چند طبقه

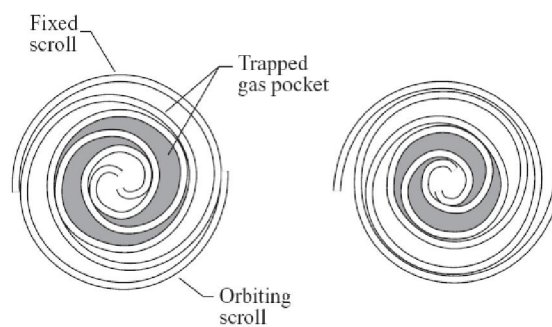


پ. کمپرسور پیچی

شکل ۶-۱۱ انواع کمپرسور

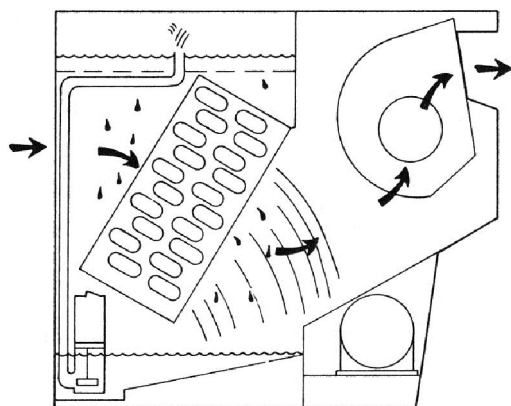


شکل ۸-۱۱ جزء داخلی کمپرسور پیچی

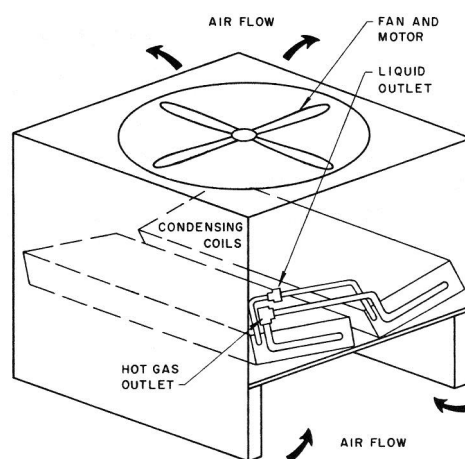


شکل ۷-۱۱ جزء داخلی کمپرسور اسکرو

انتخاب نوع کندانسور معمولاً بر اساس ارزیابی هزینه‌های اولیه و کاری سیستم صورت می‌گیرد. با این وجود مقررات ملی و نظر کارفرما نیز می‌تواند در انتخاب نوع کندانسور تأثیرگذار باشد. در شرایط یکسان، کندانسورهای هوایی تا ظرفیت ۷۵ تن، کندانسورهای تبخیری از ظرفیت ۵۰ تا ۱۵۰ تن و کندانسورهای آبی به همراه برج خنک‌کن برای ظرفیت‌های بالاتر از ۱۰۰ تن متداول‌تر هستند.



شکل ۱۱-۱۰ کندانسور تبخیری



شکل ۱۱-۹ کندانسور هوایی

در ظرفیت‌هایی که هر سه نوع کندانسور قابل استفاده است، کندانسورهای هوایی معمولاً بالاترین هزینه اولیه را داشته و در مقابل هزینه نگهداری آنها به میزان قابل توجهی پایین‌تر از انواع دیگر می‌باشد. بنابراین کندانسورهای هوایی برای مواردی که سرویس تجهیزات نامرتب یا ناقص انجام می‌شود، بسیار مناسب هستند. هزینه کاری این‌گونه کندانسورها برای ظرفیت‌های معمول کمتر از کندانسورهای آبی و تقریباً قابل مقایسه با کندانسورهای تبخیری است. سایر پارامترهایی که انتخاب کندانسورهای هوایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد عبارت است از: عدم وجود آب جبران یا بالا بودن هزینه آن، سختی بالای آب و بالا بودن دمای حباب تر یا پایین بودن دمای حباب خشک هوای محیط.

در ظرفیت‌های برودتی بین ۵۰ تا ۱۵۰ تن، کندانسورهای تبخیری معمولاً پایین‌ترین هزینه اولیه را دارا هستند. سایر پارامترهایی که استفاده از این نوع کندانسورها را تحت تأثیر قرار می‌دهد عبارت است از: وجود آب ارزان با کیفیت مطلوب و پایین بودن دمای حباب تر هوای محیط. هزینه کاری این‌گونه کندانسورها عموماً پایین‌تر از کندانسورهای هوایی است به ویژه در صورتیکه دمای کندانس مورد نظر پایین‌تر باشد.

عموماً در شرایطی که امکان استفاده از کندانسورهای تبخیری وجود داشته باشد، بکارگیری کندانسورهای آبی به همراه برج خنک‌کن نیز مطلوب است. چنانچه تجهیزات دفع حرارت در فاصله دورتری از سایر اجزای چرخه تبرید (موتورخانه) قرار داشته باشد، استفاده از کندانسور آبی به همراه برج خنک‌کن از نظر اقتصادی در ارجحیت قرار دارد زیرا هزینه لوله‌کشی مبرد در کندانسورهای هوایی و تبخیری به مراتب بیشتر از هزینه لوله‌کشی آب در برج خنک‌کن است. لازم به ذکر است که کندانسورهای آبی تک‌گذر عملی‌ترین و اقتصادی‌ترین گزینه در شرایطی است که منبع آبی نظیر دریاچه، رودخانه یا چاه با دما و کیفیت مطلوب در نزدیکی تأسیسات برودتی وجود داشته باشد.

به دلیل گستردگی کاربرد سیستم‌های تبرید تراکمی در ظرفیت‌های پایین و متوسط، در ادامه فصل به جزئیات طراحی و انتخاب اجزای این سیستم پرداخته می‌شود. مطابق جدول ۱۱-۱، سیستم‌های فوق را می‌توان در یکی از گروه‌های زیر دسته‌بندی نمود:

۱. واحد کمپرسور<sup>۱۹</sup> که از کمپرسور، الکتروموتور و کنترل‌کننده‌های مربوطه تشکیل شده است.
۲. واحد کندانس<sup>۲۰</sup> که از واحد کمپرسور به همراه کندانسور آبی یا هوایی تشکیل شده است.

<sup>۱۹</sup> Compressor Unit

<sup>۲۰</sup> Condensing Unit



۳. چیلر<sup>۲۱</sup> که از واحد کندانس به همراه اواپراتور و کنترل کننده‌های مربوطه تشکیل شده است.

جدول ۱۱-۱ بخش‌های مختلف سیستم‌های تبرید تراکمی

| واحد کمپرسور | کمپرسور | کندانسور | شیر انبساط | اواپراتور |
|--------------|---------|----------|------------|-----------|
| واحد کمپرسور | ✓       |          |            |           |
| واحد کندانس  | ✓       | ✓        |            |           |
| چیلر         | ✓       | ✓        | ✓          | ✓         |

### ۱۱-۳-۱. واحد کمپرسور

انتخاب کمپرسور بیشتر در کاربردهای تبرید دما پایین مانند سردخانه‌ها مطرح شده و در کاربردهای تهویه مطبوع غالباً به صورت واحدهای کندانس یا چیلر با سایر اجزای چرخه تبرید ترکیب می‌گردد. انواع اصلی کمپرسورهای رفت و برگشتی عبارت است از:

۱. کمپرسورهای باز: در کمپرسورهای باز موتور محرکه کمپرسور از آن جدا بوده و با استفاده از کوپلینگ یا تسمه به کمپرسور متصل می‌گردد. انتخاب نوع موتور محرکه (الکتریکی، احتراق داخلی یا توربین بخار) با توجه به توان مورد نیاز صورت می‌گیرد.

۲. کمپرسورهای بسته (هرمتیک): در کمپرسورهای بسته، کمپرسور و موتور الکتریکی در یک مجموعه به صورت کاملاً بسته مونتاژ می‌شود. موتور این نوع کمپرسورها معمولاً با عبور بخار مکش از روی آن خنک شده و مشکلات مربوط به مونتاژ موتور محرکه، تراز کوپلینگ، روغن کاری موتور و نشت مبرد از محل آب‌بندی شفت در آنها مرتفع شده است.

پارامترهای مؤثر بر انتخاب کمپرسور عبارت است از:

۱. ظرفیت کمپرسور: مقدار حرارتی است که بوسیله سیستم تبرید در اواپراتور جذب می‌شود. این حرارت به گذر جرمی مبرد و آنتالپی ورودی و خروجی آن بستگی دارد.
۲. دمای اواپراتور: دمای مبرد مورد نیاز برای جذب حرارت از سیال خنک شونده است. کاهش دمای اواپراتور به میزان  $10^{\circ}\text{F}$  از شرایطی که دمای اواپراتور و کندانسور به ترتیب  $40^{\circ}\text{F}$  و  $105^{\circ}\text{F}$  باشد، ظرفیت کمپرسور را حدود ۲۴٪ کاهش داده و همزمان توان آن را ۱۸٪ افزایش می‌دهد.
۳. دمای کندانسور: دمای مبرد مورد نیاز برای دفع حرارت به سیال عامل کندانسور است. افزایش دمای کندانسور به میزان  $15^{\circ}\text{F}$  از شرایطی که دمای اواپراتور و کندانسور به ترتیب  $40^{\circ}\text{F}$  و  $105^{\circ}\text{F}$  باشد، ظرفیت کمپرسور را ۱۳٪ کاهش داده و همزمان توان آن را ۲۷٪ افزایش می‌دهد.
۴. نوع مبرد: مبردهای اصلی مورد استفاده در کمپرسورهای رفت و برگشتی عبارتند از R-۱۲، R-۲۲ و R-۵۰۰. در جدول ۱۲-۲ ویژگی‌های مختلف این سه نوع مبرد با یکدیگر مقایسه شده است.
۵. میزان مادون سردی مبرد: مادون سرد کردن مبرد در کندانسور باعث کاهش درصد مایع تبخیر شده و اثر تبرید چرخه را افزایش می‌دهد. مادون سرد کردن می‌تواند در کندانسور، در مادون سرد کننده خارجی یا در مبدل حرارتی مایع-مکش صورت گیرد. با هر درجه مادون سرد شدن مبرد، دلیل افزایش اثر تبرید، ظرفیت کمپرسور حدود ۰/۵٪ افزایش می‌یابد.
۶. میزان مافوق گرمی بخار مکش: مافوق گرم کردن مبرد می‌تواند در اواپراتور، لوله‌کشی مبرد یا مبدل حرارتی مایع-مکش انجام گیرد. در صورت استفاده از مبردهای R-۱۲ یا R-۵۰۰، مافوق گرم کردن مبرد، به شرط ایجاد اثر تبرید مفید، ظرفیت کمپرسور را به میزان جزئی افزایش می‌دهد (۰/۳ تا ۱٪ به ازای هر  $10^{\circ}\text{F}$ ). مافوق گرم کردن مبرد در مبدل حرارتی مایع-مکش نیز به دلیل مادون سرد کردن مایع چگالش یافته، ظرفیت کمپرسور را بیشتر می‌کند. مافوق گرم کردن مبرد در سیستم‌هایی که از مبرد R-۲۲ بهره می‌گیرند توصیه نمی‌شود زیرا اولاً افزایش ظرفیت ناچیز بوده و ثانیاً احتمال گرم شدن بیش از اندازه کمپرسور وجود خواهد داشت.

<sup>21</sup> Water Chilling Unit

جدول ۱۲-۲ مشخصات مبردهای مختلف مورد استفاده در سیستم‌ها تبرید تراکمی

| شماره مبرد                                           | ۱۲                       | ۲۲                      | ۵۰۰                                                              |
|------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|
| نام شیمیایی                                          | دی کلرو دی فلورو متان    | مونو کلرو دی فلورو متان | آزنوتروپی از ۱۲ و ۱۵۲a                                           |
| فرمول شیمیایی                                        | $\text{CCl}_2\text{F}_2$ | $\text{CHClF}_2$        | $\text{CH}_3\text{CHF}_2$ ۲۶/۳٪ و $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ۷۳/۸٪ |
| نقطه جوش ( $^{\circ}\text{F}$ ) در فشار ۱ بار        | -۲۱/۶۲                   | -۴۱/۴                   | -۲۸/۰                                                            |
| فشار اشباع ( $\text{psig}$ ) در $40^{\circ}\text{F}$ | ۵۱/۶۷                    | ۸۳/۷۲                   | ۶۰/۹۴                                                            |
| $105^{\circ}\text{F}$                                | ۱۴۱/۲۵                   | ۲۲۷/۶۵                  | ۱۶۷/۸۵                                                           |
| اثر تبرید خالص ( $\text{Btu/lb}$ )                   | ۴۹/۱۳                    | ۶۶/۴۴                   | ۵۹/۸۲                                                            |
| جابجایی کمپرسور ( $\text{cfm/ton}$ )                 | ۳/۱۴                     | ۱/۹۸                    | ۲/۶۹                                                             |

۷. افت فشار در لوله‌ها: در کاربردهای متداول، افت فشاری تقریباً معادل  $2^{\circ}\text{F}$  افت دمایی مبرد در خطوط لوله کشی مکش و بخار مجاز است. بنابراین چنانچه دمای مبرد مورد نیاز در اواپراتور  $42^{\circ}\text{F}$  باشد، کمپرسور می‌بایست جهت دمای مکش  $40^{\circ}\text{F}$  انتخاب گردد. به همین ترتیب، در صورتیکه کندانسور به دمای  $103^{\circ}\text{F}$  برای دفع حرارت نیاز داشته باشد، انتخاب کمپرسور باید بر مبنای دمای کندانس  $105^{\circ}\text{F}$  صورت گیرد.

۸. دفع حرارت کمپرسور: جهت انتخاب کندانسوری منطبق با کمپرسور، دفع حرارت کمپرسور باید مشخص باشد. این مقدار به نوع، توان و سیستم خنک کاری کمپرسور بستگی داشته و معمولاً توسط تولیدکننده ارائه می‌گردد. تقریبی از میزان دفع حرارت را می‌توان برای کمپرسورهای باز با اضافه کردن توان ترمزی موتور به ظرفیت برودتی کمپرسور و برای کمپرسورهای بسته با اضافه کردن توان ورودی موتور به ظرفیت برودتی کمپرسور محاسبه نمود.

### ۱۱-۳-۲. واحد کندانس

واحد کندانس دستگاهی است که مبرد سرد مورد نیاز برای کویل DX هواساز را تأمین می‌کند. انواع واحد کندانس عبارت است از:

۱. واحد کندانس آبی

۲. واحد کندانس هوایی

علاوه بر موارد مطرح شده در رابطه با واحد کمپرسور، در مورد واحدهای کندانس نکات این بخش حائز اهمیت است.

برای واحدهای کندانس آبی:

۱. منبع آب: آب سرد لازم برای کندانسور می‌تواند از منابعی نظیر آب شهر، چاه، رودخانه، دریا یا برج خنک‌کن تأمین گردد. در صورت دسترسی به منابع مختلف، انتخاب نوع منبع غالباً با توجه به ملاحظات اقتصادی صورت می‌گیرد. از آنجا که آب و هوای بیشتر نقاط ایران خشک است، در اغلب قریب به اتفاق کاربردهای تهویه مطبوع خانگی و تجاری، استفاده از برج خنک‌کن بهترین گزینه به شمار می‌آید.

۲. دمای آب ورودی: در صورت استفاده از آب رودخانه، دریاچه یا چاه به عنوان سیال عامل در سیستم‌های تک‌گذر، حداکثر دمای آب منبع در زمان طرح بایستی جهت انتخاب کندانسور مورد استفاده قرار گیرد. چنانچه از برج خنک‌کن برای خنک کردن آب کندانسور استفاده گردد، دمای آب خروجی از کندانسور برابر دمای ورودی به برج بوده و عموماً بین ۸۵ تا  $105^{\circ}\text{F}$  می‌باشد. اختلاف دمای مناسب بین آب ورودی و خروجی کندانسور نیز  $10^{\circ}\text{F}$  است.

۳. گذر حجمی آب: گذر حجمی آب در کندانسور با توجه به ظرفیت برودتی و میزان دفع حرارت کمپرسور تعیین می‌گردد. با در نظر گرفتن  $10^{\circ}\text{F}$  اختلاف دما بین ورودی و خروجی آب کندانسور، گذر حجمی آب را می‌توان از رابطه (۱۱-۱) محاسبه نمود که در آن  $q$  مجموع ظرفیت برودتی و دفع حرارت کمپرسور می‌باشد. در سیستم‌های تهویه مطبوع معمولاً COP سیکل در حدود ۴ بوده و لذا در صورت استفاده از برج خنک‌کن، گذر حجمی آب مورد نیاز حدود ۳ gpm به ازای هر تن ظرفیت برودتی است.

برای واحدهای کندانس هوایی:

۱. دمای هوای ورودی: دمای حباب خشک طرح خارج در تابستان به عنوان دمای هوای ورودی به کندانسور مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای عملکرد مطلوب کندانسور هوایی، اختلاف دمای مبرد و دمای هوای ورودی باید حداقل  $10^{\circ}\text{F}$  باشد.
۲. جریان هوا: استقرار واحد کندانس باید به نحوی صورت گیرد که جریان هوا روی کویل کندانسور محدود نشده و فضای کافی در اطراف واحد جهت جلوگیری از سیرکولاسیون هوا وجود داشته باشد. برای واحدهایی که از فن‌های پروانه‌ای با محرک مستقیم بهره می‌گیرند، بهتر است از کانال جهت تأمین هوای کندانسور استفاده نشود زیرا موجب کاهش ظرفیت فن و افزایش دمای کندانسور می‌شود. در واحدهایی با فن گریز از مرکز و محرک تسمه‌ای استفاده از کانال بلامانع است.

### ۱۱-۳-۳. چیلر

چیلر دستگاهی است که آب سرد مورد نیاز برای فن کویل یا کویل آب سرد هواساز را تأمین می‌کند. کندانسور چیلرها ممکن است هوایی یا آبی باشد. پارامترهای موثر بر انتخاب چیلر عبارت است از:

۱. ظرفیت برودتی: برابر بار برودتی ساختمان با  $10\%$  ضریب اطمینان برای در نظر گرفتن تلفات حرارتی موتورخانه است.
۲. دمای آب خروجی و اختلاف دمای آب ورودی و خروجی اواپراتور: دمای آب سرد خروجی از اواپراتور برابر دمای ورودی به کویل هواساز یا فن کویل بوده و عموماً بین  $40^{\circ}\text{F}$  تا  $50^{\circ}\text{F}$  است. معمولاً از دمای  $45^{\circ}\text{F}$  به عنوان دمای طراحی استفاده می‌شود. اختلاف دمای مناسب بین آب ورودی و خروجی اواپراتور نیز  $10^{\circ}\text{F}$  می‌باشد.
۳. گذر حجمی آب اواپراتور: برابر گذر حجمی آب سرد سیستم سرمایش بوده و با در نظر گرفتن  $10^{\circ}\text{F}$  اختلاف دما بین ورودی و خروجی اواپراتور از رابطه (۱-۱۱) محاسبه می‌گردد. توجه داشته باشید که در رابطه فوق  $Q$  بار برودتی ساختمان است.
۴. دمای آب خروجی و اختلاف دمای آب ورودی و خروجی کندانسور آبی: دمای آب خروجی از کندانسور برابر دمای ورودی به برج خنک‌کن بوده و عموماً بین  $85^{\circ}\text{F}$  تا  $105^{\circ}\text{F}$  می‌باشد. اختلاف دمای مناسب بین آب ورودی و خروجی کندانسور نیز  $10^{\circ}\text{F}$  است.
۵. گذر حجمی آب کندانسور آبی: برابر گذر حجمی آب برج خنک‌کن بوده و با در نظر گرفتن  $10^{\circ}\text{F}$  اختلاف دما بین ورودی و خروجی کندانسور از رابطه (۱-۱۱) محاسبه می‌گردد. توجه داشته باشید که در رابطه فوق  $Q$  مجموع ظرفیت چیلر و دفع حرارت کمپرسور است که در قسمت ۱۱-۳-۱ مورد بررسی قرار گرفت.
۶. دمای کندانسور هوایی: برابر دمای چگالش بخار مبرد در کندانسور بوده و عموماً بین  $115^{\circ}\text{F}$  تا  $135^{\circ}\text{F}$  می‌باشد. سایر مشخصات چیلر مانند ابعاد، مشخصات الکتریکی و افت فشار قسمت‌های مختلف دستگاه از روی کاتالوگ مشخص می‌شود.

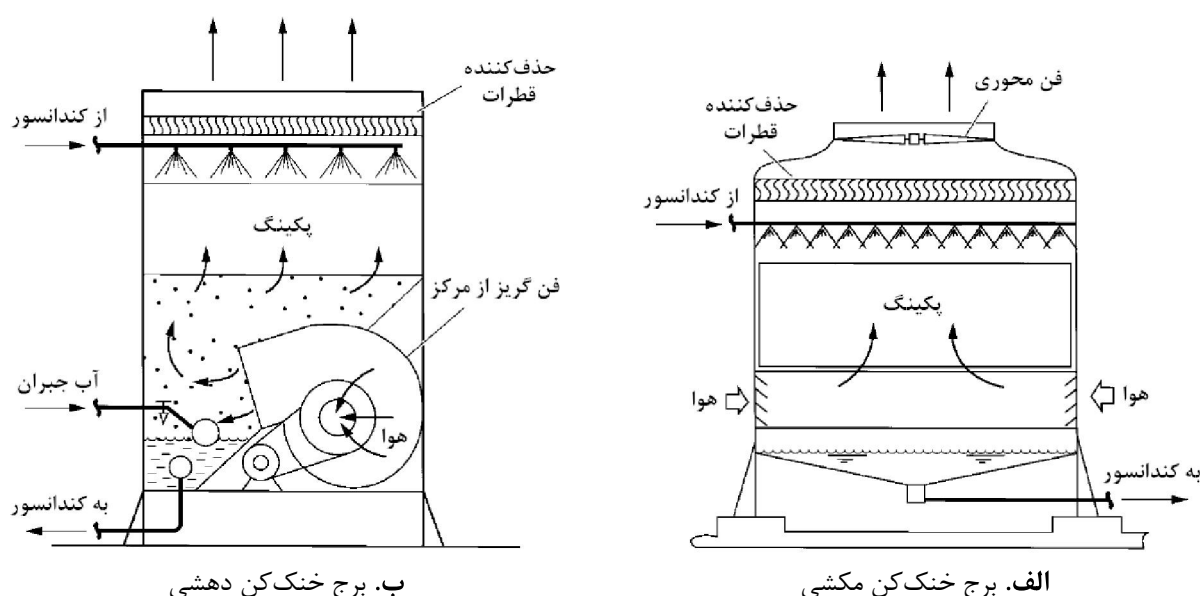
### ۱۱-۳-۴. برج خنک‌کن

برای خنک کردن آب مورد نیاز در کندانسور آبی از دستگاهی به نام برج خنک‌کن استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل‌های ۱۱-۱۱ و ۱۲-۱۱ نشان داده شده است، آب ورودی از کندانسور از طریق نازل یا سیستم توزیع روی پکینگ برج، که عموماً از جنس چوب یا PVC است، پاشیده می‌شود. در مسیر ریزش قطرات روی پکینگ، تبخیر بخشی از قطرات در تماس با هوا موجب خنک شدن آب شده و در نهایت آب سرد با استفاده از پمپ سیرکولاتور از حوضچه برج به کندانسور برمی‌گردد. سطح آب در حوضچه برج بوسیله یک شیر مجهز به شناور کنترل شده و آب تبخیر شده از طریق آب جبران جایگزین می‌شود. انواع برج خنک‌کن با توجه به جهت جریان هوا و ریزش آب عبارت است از:

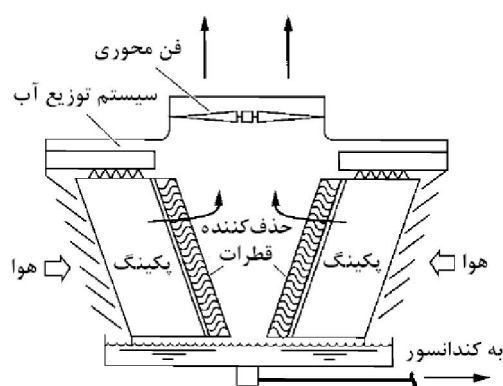
۱. برج خنک‌کن جریان مخالف: مطابق شکل ۱۱-۱۱، هوا از پایین به بالا جریان یافته و قطرات آب از بالا روی پکینگ برج می‌ریزد. با توجه به مثبت یا منفی بودن فشار هوا در برج، این‌گونه برج‌ها می‌توانند دهشی یا مکشی باشند.
  ۲. برج خنک‌کن جریان متقاطع: مطابق شکل ۱۱-۱۲، قطرات آب از بالا روی پکینگ برج ریخته و هوا به صورت متقاطع با آن جریان می‌یابد. از نظر فشار هوا در برج، برج‌های جریان متقاطع، مکشی محسوب می‌شوند.
- پارامترهای موثر بر انتخاب برج خنک‌کن عبارت است از:

۱. ظرفیت برودتی: ظرفیت برودتی برج خنک‌کن برابر مجموع ظرفیت برودتی اواپراتور و دفع حرارتی کمپرسور است.

۲. دمای آب ورودی: دمای آب ورودی به برج خنک کن برابر دمای آب خروجی از کندانسور آبی بوده و معمولاً بین ۸۵ تا ۱۰۵°F است. معمولاً از دمای ۹۵°F به عنوان دمای طراحی استفاده می‌شود.
۳. اختلاف دمای آب ورودی و خروجی: اختلاف دمای مناسب بین آب ورودی و خروجی برج خنک کن ۱۰°F می‌باشد.
۴. گذر حجمی آب: گذر حجمی آب در برج خنک کن برابر گذر حجمی آب در کندانسور آبی بوده و طبق نکات مطرح شده در بخش ۱۱-۳ تعیین می‌گردد. همان‌طور که پیش از این ذکر شد، در کاربردهای تهویه مطبوع این مقدار معمولاً حدود ۳ gpm به ازای هر تن ظرفیت برودتی چیلر می‌باشد.
۵. دمای حباب تر محیط: از آنجا که خنک شدن آب در برج خنک کن بر مبنای سرمایش تبخیری صورت می‌گیرد، دمای حباب تر محیط در عملکرد برج تأثیر بسزایی دارد. اختلاف بین دمای آب خروجی از برج و دمای حباب تر ورودی به برج رشش<sup>۲۲</sup> نامیده شده و برای عملکرد مطلوب برج باید حداقل ۵°F باشد. به طور کلی استفاده از کندانسور آبی و برج خنک کن در مواردی که دمای حباب تر محیط بیش از ۸۰°F باشد، توصیه نمی‌شود.



شکل ۱۱-۱۱ انواع برج خنک کن جریان مخالف

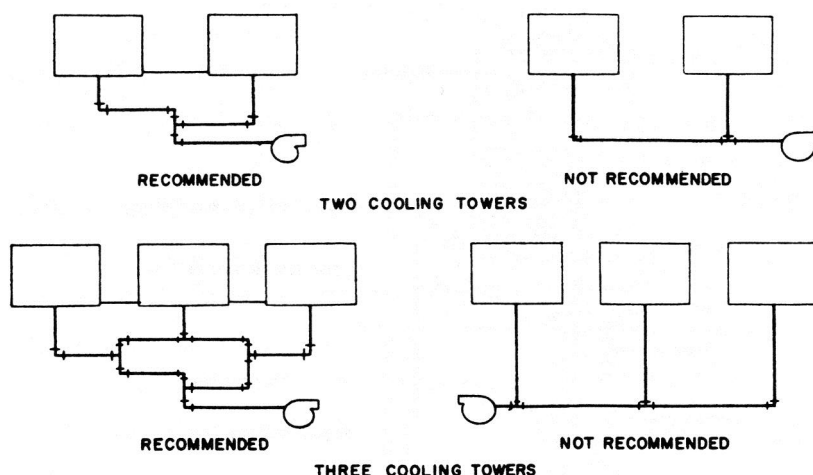


شکل ۱۱-۱۲ برج خنک کن جریان متقاطع

سایر مشخصات برج خنک کن مانند ابعاد و مشخصات الکتریکی از روی کاتالوگ مشخص می‌شود. برج‌های خنک کن بهتر است در فضای آزاد، روی زمین و حتی‌الامکان در نزدیکی موتورخانه نصب گردد. با این وجود امروزه در بسیاری از موارد به دلیل محدودیت فضا، برج‌ها روی بام ساختمان نصب می‌شوند که در این صورت وزن آن به هنگام محاسبات سازه باید مورد توجه قرار گیرد.

<sup>22</sup> Approach

لوله‌کشی مسیر بین کندانسور و برج خنک‌کن مطابق اصول مندرج در فصول ۵ و ۶ صورت گرفته و پمپ سیرکولاتور آن معمولاً در مسیر برگشت از برج قرار می‌گیرد تا کندانسور همواره تحت فشار باشد. شکل ۱۱-۱۳ نحوه موازی کردن چند برج خنک‌کن را نشان می‌دهد، لوله‌کشی باید به گونه‌ای انجام شود که افت فشار در تمام مسیرها یکسان باشد. اتصال حوضچه برج‌ها به هم موجب همتراز شدن سطح آب در تمامی برج‌ها می‌شود.



شکل ۱۱-۱۳ لوله‌کشی توصیه شده برای برج‌های خنک‌کن موازی

۱۱-۴-۱. گذر حجمی آب جبران

آب برج خنک‌کن به دلایل زیر به تدریج کاهش یافته و لازم است از طریق آب جبران جایگزین گردد:

۱. تبخیر آب: سرد شدن آب در برج خنک‌کن به روش سرمایش تبخیری انجام شده و لذا بخشی از آب در این فرآیند تبخیر شده و از دست می‌رود.
۲. فرار قطرات<sup>۲۳</sup>: به دلیل سرعت بالای جریان هوا در برج‌های خنک‌کن، بخشی از قطرات آب بدون تبخیر و ایجاد اثر سرمایش از برج خارج می‌شوند. با استفاده از حذف‌کننده قطرات<sup>۲۴</sup> می‌توان فرار را به حداقل رساند.
۳. تخلیه آب<sup>۲۵</sup>: به منظور جلوگیری از افزایش غلظت املاح آب در کندانسور، که به دلیل تبخیر آب در برج خنک‌کن رخ می‌دهد، لازم است بخش کمی از آب کندانسور پیش از ورود به برج از چرخه خارج گردد.

بنابراین گذر حجمی آب جبران عبارت است از:

$$Q_m = W_e + W_d + W_b \quad (۲-۱۱)$$

که در آن:

$Q_m$  گذر حجمی آب جبران برحسب gpm

$W_e$  گذر حجمی تبخیر آب برحسب gpm

$W_d$  گذر حجمی فرار قطرات برحسب gpm

$W_b$  گذر حجمی تخلیه آب برحسب gpm

گذر جرمی تبخیر آب در برج خنک‌کن را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

<sup>23</sup> Drift Loss

<sup>24</sup> Drift Eliminator

<sup>25</sup> Bleed off

$$\dot{m}_e = \frac{q_c}{h_{fg}} \quad (3-11)$$

که در آن:

$\dot{m}_e$  گذر جرمی تبخیر آب بر حسب lb/hr

$q_c$  ظرفیت برودتی برج خنک کن بر حسب Btu/hr

$h_{fg}$  گرمای نهان تبخیر آب بر حسب Btu/hr

با توجه به اینکه به ازای هر تن ظرفیت برودتی چیلر، گذر حجمی آب برج خنک کن تقریباً ۳ gpm است رابطه (۳-۱۱) به صورت زیر ساده می شود:

$$W_e = 0.01Q_c \quad (4-11)$$

که در آن:

$W_e$  گذر حجمی تبخیر آب بر حسب gpm

$Q_c$  گذر حجمی برج خنک کن بر حسب gpm

میزان فرار قطرات به نوع برج خنک کن بستگی داشته و برای برج های خنک کن بدون حذف کننده قطرات بین ۰/۱ تا ۰/۳٪ گذر حجمی جریان در برج خنک کن است. امروزه با استفاده از حذف کننده قطرات، میزان فرار به کمتر از ۰/۰۵٪ کاهش یافته است.

نسبت املاح در آب برج به املاح در آب جبران، چرخه غلظت<sup>۲۶</sup> نامیده شده و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$C = \frac{W_e + W_d + W_b}{W_d + W_b} \quad (5-11)$$

به این ترتیب گذر حجمی تخلیه آب عبارت است از:

$$W_b = \frac{W_e + W_d(1 - C)}{C - 1} \quad (6-11)$$

که در آن C چرخه غلظت بوده و از نسبت سختی مجاز آب در برج خنک کن به سختی آب جبران تعیین می گردد. هر چند مقدار C به سختی آب جبران مورد استفاده بستگی دارد، در صورت عدم دسترسی به اطلاعات مربوطه و استفاده از آب شهر، می توان C را تقریباً برابر ۳ در نظر گرفت. در این حالت گذر حجمی آب جبران تقریباً ۱/۵٪ گذر حجمی آب برج خواهد بود.

<sup>26</sup> Concentration Cycle

## فصل دوازدهم

### سایکرومتریک کاربردی

سایکرومتریک علمی است که به مطالعه خواص و فرآیندهای ترمودینامیکی هوای مرطوب و تأثیر آن بر شرایط آسایش می‌پردازد. شکل ۱۲-۱ نمونه‌ای از فرآیند تهویه مطبوع را روی نمودار سایکرومتریک نشان می‌دهد. هوای خارج (۲) با هوای برگشتی از اتاق (۱) مخلوط شده و وارد دستگاه می‌شود (۳). هوا با عبور از دستگاه تهویه مطبوع (۴-۳) وارد اتاق شده (۴) و بار اتاق را جذب می‌کند (۴-۱). تکرار چرخه فوق کل سیستم تهویه مطبوع را تشکیل می‌دهد. طراحی سیستم تهویه مطبوع مناسب، به ویژه سیستم‌های سرمایش هوایی، مستلزم آشنایی با سایکرومتریک و محاسبات مرتبط با آن است. در ارائه مطالب این فصل فرض بر آن است که خواننده با مفاهیم اولیه سایکرومتریک از ترمودینامیک کلاسیک آشنایی دارد و لذا تنها اصول کاربردی سایکرومتریک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۱۲-۱. تعاریف و مفاهیم اولیه

تعاریف و مفاهیم این بخش در مورد تمامی بارهای چرخه تهویه مطبوع یکسان بوده و می‌توان از آنها در مورد بار هوای تازه، بار اتاق و بار دستگاه استفاده نمود.

##### ۱۲-۱-۱. بار محسوس (SH)

مقدار انرژی است که به صورت محسوس به هوا داده شده یا از آن گرفته می‌شود تا درجه حرارت آن به مقدار معینی برسد. در این فرآیند مقدار رطوبت هوا تغییر نمی‌کند. بار محسوس در فرآیند ۱-۲ برابر است با:

$$SH = 1.08 \times cfm \times (t_2 - t_1) \quad (1-12)$$

##### ۱۲-۱-۲. بار نهان (LH)

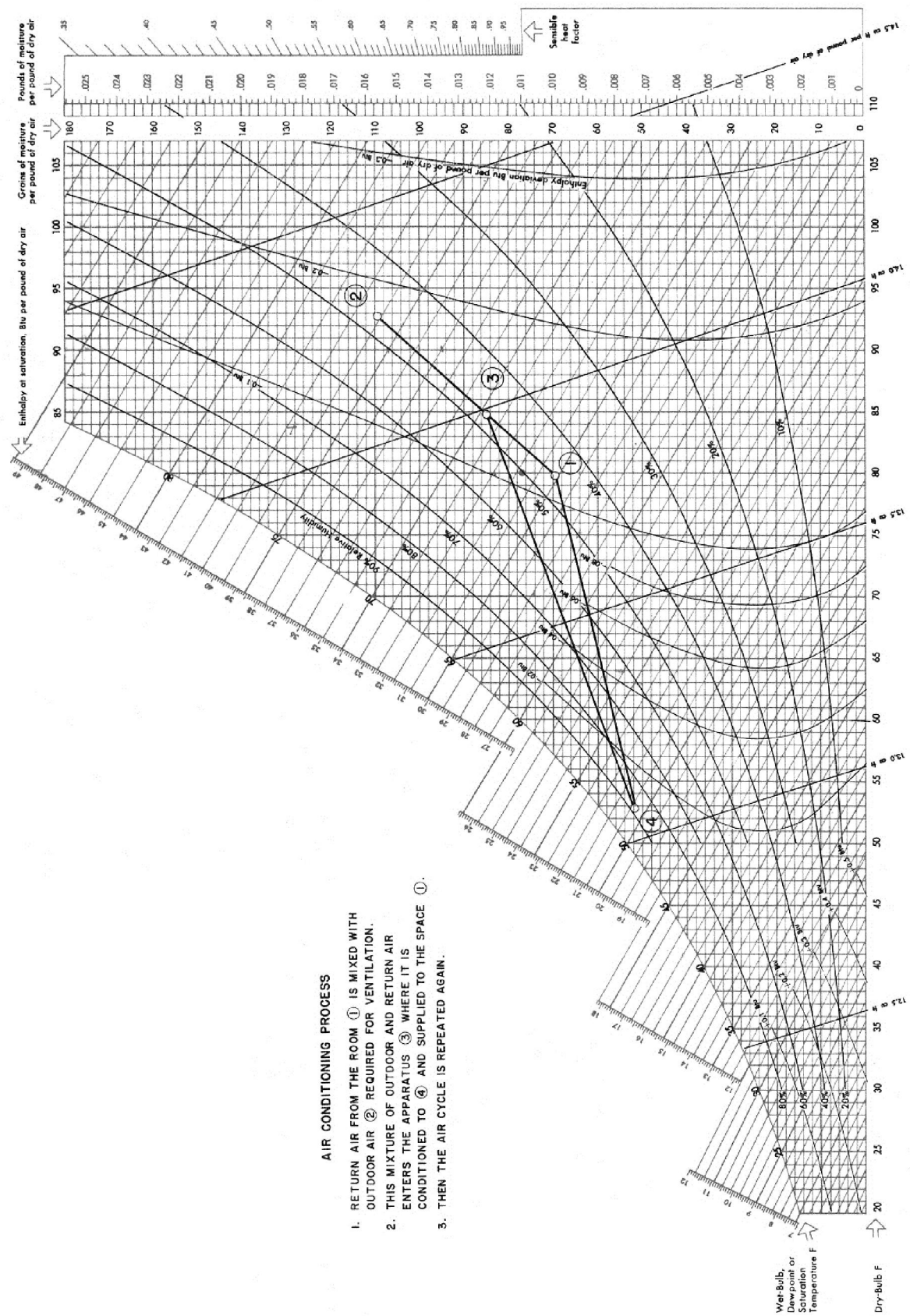
مقدار انرژی است که به صورت نهان به هوا داده شده یا از آن گرفته شود تا رطوبت آن به مقدار معینی برسد. در این فرآیند درجه حرارت هوا تغییر نمی‌کند. بار نهان در فرآیند ۱-۲ برابر است با:

$$LH = 0.68 \times cfm \times (w_2 - w_1) \quad (2-12)$$

##### ۱۲-۱-۳. بار کل (TH)

مقدار انرژی است که به هوا داده شده یا از آن گرفته شود تا درجه حرارت و رطوبت آن به مقدار معینی برسد. در این فرآیند درجه حرارت و رطوبت هوا هر دو تغییر می‌کند. بار کل در فرآیند ۱-۲ برابر است با:

$$TH = SH + LH = 4.45 \times cfm \times (h_2 - h_1) \quad (3-12)$$



شکل ۱۲-۱ نمودار سایکرومتریک



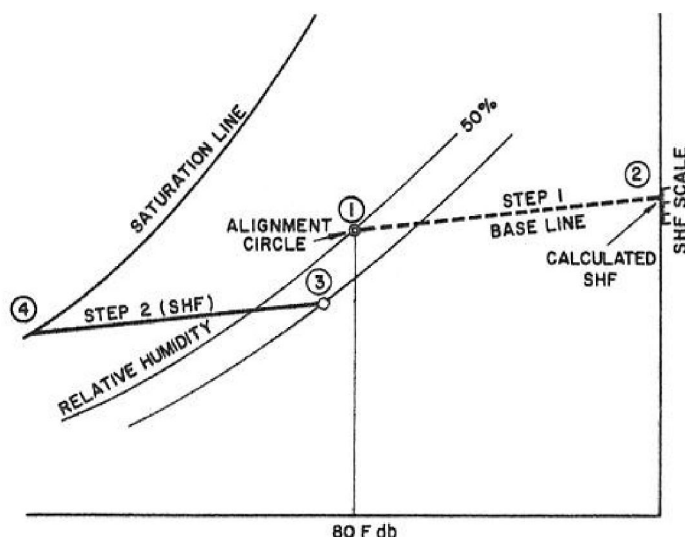
## ۴-۱-۱۲. نسبت بار محسوس (SHF)

نسبت بار محسوس به بار کل را نسبت بار محسوس می‌نامند و برابر است با:

$$SHF = \frac{SH}{TH} = \frac{SH}{SH + LH} \quad (۴-۱۲)$$

روی نمودار سایکرومتریک هر فرآیند، صرف‌نظر از مسیر واقعی آن، با خطی که شرایط اولیه و نهایی فرآیند را به هم متصل می‌کند، نشان داده می‌شود. خط فوق، خط نسبت بار محسوس نامیده شده و شیب آن برابر نسبت بار محسوس خواهد بود. تمامی فرآیندها با SHF مشخص، موازی خطی هستند که از دایره مبنا (نقطه مرجع محاسبات سایکرومتریک که در دمای خشک ۸۰°F و رطوبت نسبی ۵۰٪ قرار دارد) تا مقدار مورد نظر روی محور SHF در سمت راست نمودار سایکرومتریک رسم گردد. بنابراین برای محاسبه SHF هر فرآیند کافی است از دایره مبنا خطی به موازات فرآیند مورد نظر رسم نمود تا محور SHF در سمت راست نمودار سایکرومتریک را قطع کند. همان گونه که در ادامه ذکر می‌گردد، در اغلب موارد SHF و شرایط یکی از نقاط ابتدایی یا انتهایی فرآیند معلوم بوده و هدف تعیین نقطه دوم است. همان‌طور که در شکل ۱۲-۲ نشان داده شده است، در این شرایط می‌توان خط نسبت بار محسوس فرآیند را به روش زیر رسم نمود:

۱. رسم خط مبنا بین دایره مبنا و SHF
۲. رسم خط نسبت بار محسوس فرآیند از نقطه با شرایط معلوم و موازی خط مبنا. نقطه دوم فرآیند جایی روی این خط قرار خواهد داشت.



شکل ۱۲-۲ نحوه بدست آوردن نسبت بار محسوس

## ۵-۱-۱۲. بار هوای تازه

مقدار انرژی است که به هوای تازه داده شده یا از آن گرفته می‌شود تا شرایط آن به شرایط طرح داخل برسد. با توجه به روابط (۱-۱۲) تا (۴-۱۲) می‌توان نوشت:

$$OASH = 1.08 \times cfm_{oa} \times (t_{oa} - t_{rm}) \quad (۵-۱۲) \quad \text{بار محسوس هوای تازه}$$

$$OALH = 0.68 \times cfm_{oa} \times (w_{oa} - w_{rm}) \quad (۶-۱۲) \quad \text{بار نهان هوای تازه}$$

$$OATH = OASH + OALH = 4.45 \times cfm_{oa} \times (h_{oa} - h_{rm}) \quad (۷-۱۲) \quad \text{بار کل هوای تازه}$$

## ۱۲-۱-۶. بار اتاق

مقدار انرژی است که از اتاق خارج شده یا به آن وارد می‌شود. با توجه به روابط (۱۲-۱) تا (۱۲-۴) داریم:

$$RSH = 1.08 \times cfm \times (t_{rm} - t_{sa}) \quad \text{بار محسوس اتاق} \quad (۱۲-۸)$$

$$RLH = 0.68 \times cfm_{sa} \times (w_{rm} - w_{sa}) \quad \text{بار نهان اتاق} \quad (۱۲-۹)$$

$$RTH = RSH + RLH = 4.45 \times cfm_{sa} \times (h_{rm} - h_{sa}) \quad \text{بار کل اتاق} \quad (۱۲-۱۰)$$

$$RSHF = \frac{RSH}{RTH} = \frac{RSH}{RSH + RLH} \quad \text{نسبت بار محسوس اتاق} \quad (۱۲-۱۱)$$

با توجه به شکل ۱۲-۱، شرایط هوای ورودی به اتاق و طرح داخل به ترتیب نقاط ابتدایی و انتهایی خط نسبت بار محسوس اتاق بوده و از آنجا که معمولاً RSHF و شرایط طرح داخل معلوم هستند، می‌توان با توجه به روش ارائه شده در بخش ۱۲-۴، خط نسبت بار محسوس اتاق را رسم نمود. جهت تأمین بارهای محسوس و نهان اتاق، شرایط هوای ورودی به اتاق باید جایی روی این خط قرار داشته باشد.

## ۱۲-۱-۷. بار دستگاه

مقدار انرژی است که در دستگاه هواساز به هوا داده شده یا از آن گرفته می‌شود تا شرایط آن در خروجی دستگاه به مقدار معینی برسد. با صرفنظر کردن از اتلافات و نشتی کانال‌کشی، بار دستگاه برابر مجموع بار هوای تازه و بار اتاق بوده و لذا:

$$TSH = RSH + OASH \quad \text{بار محسوس دستگاه} \quad (۱۲-۱۲)$$

$$TLH = RLH + OALH \quad \text{بار نهان دستگاه} \quad (۱۲-۱۳)$$

$$GTH = RTH + OATH \quad \text{بار کل دستگاه} \quad (۱۲-۱۴)$$

$$GSHF = \frac{TSH}{GTH} = \frac{TSH}{TSH + TLH} \quad \text{نسبت بار محسوس دستگاه} \quad (۱۲-۱۵)$$

همچنین با توجه به روابط (۱۲-۱) تا (۱۲-۴) می‌توان نوشت:

$$TSH = 1.08 \times cfm_{da} \times (t_e - t_l) \quad (۱۲-۱۶)$$

$$TLH = 0.68 \times cfm_{da} \times (w_e - w_l) \quad (۱۲-۱۷)$$

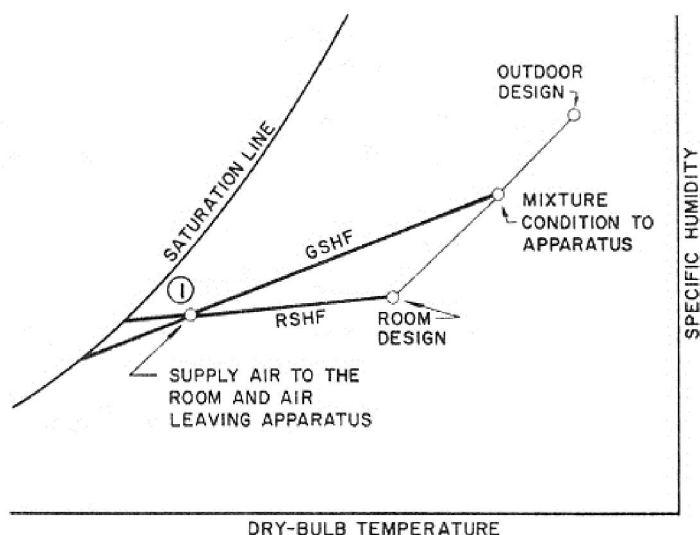
$$GTH = TSH + TLH = 4.45 \times cfm_{da} \times (h_e - h_l) \quad (۱۲-۱۸)$$

با توجه به شکل ۱۲-۱، شرایط هوای ورودی به و خروجی از دستگاه به ترتیب نقاط ابتدایی و انتهایی خط نسبت بار محسوس دستگاه بوده و از آنجا که معمولاً GSHF و شرایط طرح هوای ورودی به دستگاه معلوم هستند، می‌توان با توجه به روش ارائه شده در بخش ۱۲-۴، خط نسبت بار محسوس دستگاه را رسم نمود. جهت تأمین بارهای محسوس و نهان دستگاه، شرایط هوای خروجی از دستگاه باید جایی روی این خط قرار داشته باشد.

## ۱۲-۲. محاسبه گذر حجمی هوای تهویه

چنانچه اثرات بار فن‌های تغذیه و برگشت ناچیز بوده و از اتلافات و نشتی کانال‌کشی صرفنظر شود، شرایط هوای ورودی به اتاق با شرایط هوای خروجی از دستگاه یکسان بوده و شرایط آن را می‌توان، مطابق شکل ۱۲-۳، از محل تلاقی خطوط RSHF و GSHF تعیین نمود. با مشخص شدن شرایط هوای ورودی به اتاق، گذر حجمی هوای تهویه برابر است با:

$$cfm_{sa} = \frac{RSH}{1.08(t_{rm} - t_{sa})} = \frac{TSH}{1.08(t_m - t_{ldb})} \quad (۱۹-۱۲)$$



شکل ۱۲-۳ نحوه بدست آوردن شرایط هوای ورودی به اتاق با استفاده از نسبت بار محسوس اتاق و دستگاه

با این وجود شرایط هوای ورودی به دستگاه تهویه مطبوع به نسبت گذر حجمی هوای تازه و برگشتی بستگی داشته و لذا از ابتدا مشخص نیست. هرچند گذر حجمی هوای تازه با توجه به نوع کاربری معلوم است، اما گذر حجمی هوای برگشتی به عنوان بخشی از فرآیند تحلیل سیستم تعیین شده و به این ترتیب تحلیل فرآیند سایکرومتریک سیستم به این صورت نیازمند سعی و خطا خواهد بود. استثنای این مورد حالتی است که هوای خروجی از اتاق برگشت نشده و تنها از هوای تازه استفاده شود. چنین سیستم‌هایی عموماً شامل کاربردهای بیمارستانی (نظیر اتاق عمل) یا اماکنی با هوای تازه زیاد (مانند سالن‌های تئاتر) بوده و سیستم‌های تمام هوای تازه (Full Fresh Air) یا تک گذره (Ounce Through) نامیده می‌شوند.

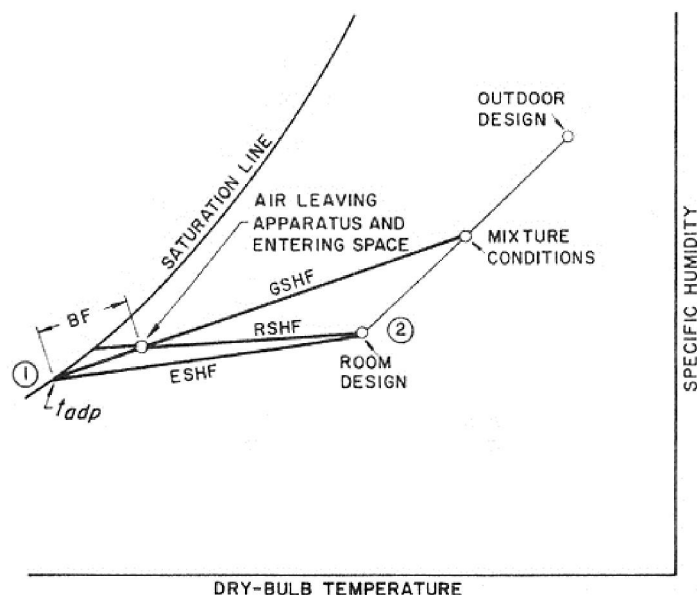
مراحل انجام سعی و خطا عبارت است از:

۱. انتخاب دمای هوای ورودی به اتاق و محاسبه گذر حجمی هوای ورودی به اتاق
۲. محاسبه دمای مخلوط هوای ورودی به دستگاه
۳. محاسبه دمای هوای خروجی از دستگاه
۴. کنترل برابری دمای هوای خروجی از دستگاه با دمای هوای ورودی به اتاق و در صورت لزوم تصحیح دمای هوای ورودی به اتاق

تعیین گذر حجمی هوای تهویه به روش فوق، به دلیل مشکل بودن حدس اولیه دمای هوای ورودی به اتاق، فرآیندی طولانی و خسته‌کننده است. با این وجود، با مربوط ساختن بارهای تهویه مطبوع به کارایی فیزیکی دستگاه و استفاده از آن در محاسبات بار می‌توان فرآیند فوق را ساده نمود. به این منظور از مفاهیم نقطه شبنم دستگاه، ضریب کنارگذر و نسبت بار محسوس مؤثر استفاده می‌شود.

#### ۱۲-۲-۱. نقطه شبنم دستگاه

همان‌طور که در شکل ۱۲-۴ نشان داده شده است، نقطه‌ای است که خط GSHF خط اشباع را قطع می‌کند. این نقطه شرایط هوای خروجی از دستگاه را در حالت ایده‌آل نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۲ نقطه شبنم دستگاه، ضریب کنارگذر، خط نسبت بار محسوس مؤثر و نحوه ارتباط آنها

## ۱۲-۲-۲. ضریب کنارگذر

اگرچه در حالت ایده آل شرایط هوای خروجی از دستگاه می تواند به شرایط نقطه شبنم دستگاه برسد، اما در عمل تمام هوای عبوری از دستگاه به طور کامل تحت تأثیر کویل قرار نمی گیرد. ضریب کنار گذر معرف بخشی از هوا است که بدون تغییر از دستگاه عبور می کند. هرچند رابطه ضریب کنارگذر کاملاً خطی نیست، با توجه به شکل ۴-۱۲، تقریباً می توان نوشت:

$$BF = \frac{t_{ldb} - t_{adp}}{t_{edb} - t_{adp}} = \frac{w_{ldb} - w_{adp}}{w_{edb} - w_{adp}} = \frac{h_{ldb} - h_{adp}}{h_{edb} - h_{adp}} \quad (۱۲-۲۰)$$

ضریب کنارگذر تابع مشخصات فیزیکی و عملکردی دستگاه است به نحوی که:

۱. کاهش سطح انتقال حرارت دستگاه ( کاهش تعداد ردیف های کویل، کاهش سطح کویل و افزایش فاصله بین لوله های کویل) موجب افزایش ضریب کنارگذر می شود.

۲. کاهش سرعت هوا روی کویل موجب افزایش زمان انتقال حرارت هوا و در نتیجه کاهش ضریب کنارگذر می گردد.

و بالعکس. در حالت کلی تغییر سطح انتقال حرارت بیش از تغییر سرعت هوا بر ضریب کنارگذر مؤثر است.

همان گونه که شکل ۴-۱۲ نشان می دهد، چنانچه شرایط طرح داخل و خارج، GSHP، RSHP و گذر حجمی هوای تازه مشخص باشد، خط RSHP ثابت بوده و با تغییر ضریب کنارگذر، موقعیت نسبی GSHP تغییر می کند. بنابراین می توان مرحله انتخاب دمای هوای ورودی به اتاق در محاسبه گذر حجمی هوای تهویه را با انتخاب ضریب کنارگذر جایگزین نمود. ضریب کنارگذر عددی بی بعد بوده و لذا حدس اولیه آن با توجه به کاربرد ساده تر خواهد بود. جدول ۱-۱۲ مقادیر پیشنهادی ضریب کنارگذر را با توجه به کاربری محل نشان می دهد.

علیرغم ساده شدن مراحل طراحی با استفاده از مفهوم ضریب کنارگذر، هنوز هم محاسبات نیازمند استفاده ترسیمی از نمودار سایکرومتریک بوده و لذا خسته کننده و وقت گیر است. چنانچه در ادامه ملاحظه می گردد، نسبت بار محسوس مؤثر با ضریب کنارگذر و نقطه شبنم دستگاه در ارتباط تنگاتنگ بوده و لذا محاسبه گذر حجمی هوای تهویه و انتخاب دستگاه را به میزان زیادی راحت می کند.

## ۱۲-۲-۳. بار مؤثر

مجموع بار اتاق و بخشی از بار هوای تازه است که بدون تغییر از دستگاه عبور می‌کند. مفاهیم بار محسوس، بار نهان، بار کل و نسبت بار محسوس برای بار مؤثر نیز قابل تعمیم بوده و بنابراین:

$$\begin{aligned} \text{ERSH} &= \text{RSH} + \text{BF} \times \text{OASH} && \text{بار محسوس مؤثر} && (21-12) \\ \text{ERLH} &= \text{RLH} + \text{BF} \times \text{OALH} && \text{بار نهان مؤثر} && (22-12) \\ \text{ERTH} &= \text{RTH} + \text{BF} \times \text{OATH} && \text{بار کل مؤثر} && (23-12) \\ \text{ESHF} &= \frac{\text{ERSH}}{\text{ERTH}} = \frac{\text{ERSH}}{\text{ERSH} + \text{ERLH}} && \text{نسبت بار محسوس مؤثر} && (24-12) \end{aligned}$$

مفهوم فیزیکی بار مؤثر آن است که می‌توان فرض کرد بخشی از هوا با شرایط ایده‌آل (نقطه شبنم دستگاه) از کویل خارج شده و پس از جبران بار بخشی از هوا که از روی کویل عبور نکرده (این بار را می‌توان مشابه بار هوایی دانست که به صورت نفوذ از در و پنجره‌ها وارد اتاق می‌شود)، بار اتاق را تأمین می‌کند. هوای عبور نکرده در حقیقت مجموع دو هوای تازه و برگشتی بوده و از آنجا که هوای برگشتی باری ندارد، فقط می‌بایست بار هوای تازه جبران گردد.

همچنین با توجه به روابط (۱-۱۲) تا (۴-۱۲) می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned} \text{ERSH} &= 1.08 \times (1 - \text{BF}) \times \text{cfm}_{\text{da}} \times (t_{\text{rm}} - t_{\text{adp}}) && (25-12) \\ \text{ERLH} &= 0.68 \times (1 - \text{BF}) \times \text{cfm}_{\text{da}} \times (w_{\text{rm}} - w_{\text{adp}}) && (26-12) \\ \text{ERTH} &= 4.45 \times (1 - \text{BF}) \times \text{cfm}_{\text{da}} \times (h_{\text{rm}} - h_{\text{adp}}) && (27-12) \end{aligned}$$

با توجه به شکل ۱۲-۳، دمای نقطه شبنم دستگاه و شرایط طرح داخل به ترتیب نقاط ابتدایی و انتهایی خط نسبت بار محسوس مؤثر بوده و از آنجا که معمولاً ESHF و شرایط طرح داخل معلوم هستند، می‌توان با توجه به روش ارائه شده در بخش ۱۲-۴ خط نسبت بار محسوس مؤثر را رسم کرده و دمای نقطه شبنم دستگاه مورد نیاز را مشخص نمود. برای سادگی به جای نمودار سایکرومتریک می‌توان از جدول ۱۲-۲ جهت تعیین نقطه شبنم دستگاه با توجه به شرایط طرح داخل و ESHF استفاده کرد.

## ۱۲-۲-۴. محاسبه گذر حجمی هوای تهویه با استفاده از BF، ESHF و ADP

با استفاده از مفاهیم ضریب کنارگذر، نسبت بار محسوس مؤثر و دمای نقطه شبنم دستگاه تعیین گذر حجمی هوای تهویه بسیار ساده‌تر می‌شود. مراحل کار عبارت است از:

- انتخاب ضریب کنارگذر مناسب با استفاده از جدول ۱-۱۲
  - محاسبه نسبت بار محسوس مؤثر با استفاده از رابطه (۲۴-۱۲)
  - محاسبه دمای نقطه شبنم دستگاه با استفاده از جدول ۲-۱۲
- چنانچه دمای نقطه شبنم دستگاه بیش از حد پایین باشد (کمتر از حدود  $38^{\circ}\text{F}$ )، مبرد ورودی به کویل بیش از اندازه سرد خواهد بود. در این حالت لازم است دمای نقطه شبنم دستگاه تصحیح شده و برای جبران ESHF از کویل بازگرمایش استفاده گردد (مثال بخش ۱۲-۳).
- محاسبه گذر حجمی هوای تهویه با استفاده از رابطه (۲۵-۱۲)
- چنانچه گذر حجمی هوای تهویه کمتر از گذر حجمی هوای تازه باشد، سیستم به صورت تمام هوای تازه خواهد بود. در این حالت لازم است گذر حجمی هوای تهویه برابر گذر حجمی هوای تازه در نظر گرفته شده و بخشی از هوای تازه به صورت مصنوعی از روی کویل دستگاه کنارگذر گردد (مشابه مثال بخش ۱۲-۳).

چنانچه سیستم تمام هوای تازه بوده و گذر حجمی هوای تهویه بیشتر از گذر حجمی هوای تازه باشد، لازم است گذر حجمی هوای تازه برابر گذر حجمی هوای تهویه در نظر گرفته شده و محاسبات تکرار گردد (مثال بخش ۱۲-۳-۳).

۵. محاسبه اختلاف دمای هوای ورودی به اتاق با دمای طرح داخل با استفاده از رابطه (۱۲-۱۹)

چنانچه اختلاف دمای فوق بیش از اندازه بالا باشد (بیشتر از حدود  $25^{\circ}\text{F}$ )، هوای ورودی به اتاق بیش از اندازه گرم خواهد بود. در این حالت لازم است اختلاف دمای فوق تصحیح شده و بخشی از هوای برگشتی به صورت مصنوعی از روی کویل دستگاه کنارگذر گردد (مثال بخش ۱۲-۳-۴).

۶. محاسبه ضریب کنارگذر با استفاده از رابطه (۱۲-۲۰)

۷. کنترل برابری ضریب کنار گذر بدست آمده با مقدار انتخاب شده و در صورت لزوم تصحیح آن

هرچند این روش نیز به صورت سعی و خطا انجام می گیرد، اما اولاً ضریب کنارگذر تابع نوع کاربری بوده و حدس اولیه آن نسبت به حدس دمای هوای ورودی به اتاق ساده تر است. ثانیاً استفاده از مفاهیم نسبت بار محسوس مؤثر و دمای نقطه شبنم دستگاه لزوم استفاده از نمودار سایکرومتریک را مرتفع ساخته و می توان محاسبات را با استفاده از جداول ۱-۱۲ و ۲-۱۲ انجام داد.

### ۱۲-۳. مثال هایی از تحلیل سایکرومتریک سیستم های تهویه مطبوع

#### ۱۲-۳-۱. سرمایش و رطوبت زدایی

کاربرد: فروشگاه

شرایط طرح خارج: دمای حباب خشک  $95^{\circ}\text{F}$  و دمای حباب تر  $75^{\circ}\text{F}$

شرایط طرح داخل: دمای حباب خشک  $75^{\circ}\text{F}$  و رطوبت نسبی ۵۰٪

بار محسوس:  $200000 \text{ Btu/hr}$

بار نهان:  $50000 \text{ Btu/hr}$

گذر حجمی هوای تازه:  $2000 \text{ cfm}$

مرحله اول:

$$\text{cfm}_{\text{oa}} = 2000$$

$$\text{OASH} = 1.08 \times \text{cfm}_{\text{oa}} \times (t_{\text{oa}} - t_{\text{rm}}) = 1.08 \times 2000 \times (95 - 75) = 43200 \quad \text{Btu/hr}$$

$$\text{OALH} = 0.68 \times \text{cfm}_{\text{oa}} \times (w_{\text{oa}} - w_{\text{rm}}) = 0.68 \times 2000 \times (99 - 65) = 46200 \quad \text{Btu/hr}$$

$$\text{OATH} = \text{OASH} + \text{OALH} = 43200 + 46200 = 89400 \quad \text{Btu/hr}$$

مرحله دوم:

$$\text{BF} = 0.15$$

$$\text{ERSH} = \text{RSH} + \text{BF} \times \text{OASH} = 200000 + 0.15 \times 43200 = 206480 \quad \text{Btu/hr}$$

$$\text{ERLH} = \text{RLH} + \text{BF} \times \text{OALH} = 50000 + 0.15 \times 46200 = 56930 \quad \text{Btu/hr}$$

$$\text{ERTH} = \text{ERSH} + \text{ERLH} = 206480 + 56930 = 263410 \quad \text{Btu/hr}$$

مرحله سوم:

$$\text{ESHF} = \frac{\text{ERSH}}{\text{ERTH}} = \frac{206480}{263410} = 0.78$$

$$t_{\text{adp}} = 50^{\circ}\text{F}$$

چنانچه  $t_{\text{adp}} < 38^{\circ}\text{F}$  باشد، باید مطابق مثال بخش ۱۲-۳-۲ عمل شود.

مرحله چهارم:

$$cfm_{da} = \frac{ERSH}{1.08 \times (1 - BF) \times (t_{rm} - t_{adp})} = \frac{206480}{1.08 \times (1 - 0.15) \times (75 - 50)} = 9000$$

چنانچه گذر حجمی هوای تهویه کمتر از گذر حجمی هوای تازه باشد، باید مشابه مثال بخش ۱۲-۳-۳ عمل شود.

$$t_{rm} - t_{sa} = \frac{RSH}{1.08 \times cfm_{da}} = \frac{200000}{1.08 \times 9000} = 20.6^{\circ}F$$

چنانچه  $t_{rm} - t_{sa} > 25^{\circ}F$  باشد، باید مطابق مثال بخش ۱۲-۳-۴ عمل شود.

$$t_{sa} = t_{rm} - (t_{rm} - t_{sa}) = 75 - 20.6 = 54.4^{\circ}F$$

$$cfm_{sa} = cfm_{da} = 9000$$

$$cfm_{ra} = cfm_{sa} - cfm_{oa} = 9000 - 2000 = 7000$$

مرحله پنجم:

$$t_{edb} = \frac{cfm_{oa}}{cfm_{sa}} t_{oa} + \frac{cfm_{ra}}{cfm_{sa}} t_{rm} = \frac{2000}{9000} \times 95 + \frac{7000}{9000} \times 75 = 79.4^{\circ}F$$

$$t_{ewb} = 65.5^{\circ}F$$

$$t_{ldb} = t_{adp} + BF \times (t_{edb} - t_{adp}) = 50 + 0.15 \times (79.4 - 50) = 54.4^{\circ}F$$

$$t_{lwb} = 52.7^{\circ}F$$

مرحله ششم:

$$TSH = RSH + OASH = 200000 + 43200 = 243200 \quad \text{Btu/hr}$$

$$TLH = RLH + OALH = 50000 + 46200 = 96200 \quad \text{Btu/hr}$$

$$GTH = TSH + TLH = 243200 + 96200 = 339400 \quad \text{Btu/hr}$$

بنابراین لازم است کویلی با ظرفیت ۳۳۹۴۰۰ Btu/hr و گذر حجمی هوای ۹۰۰۰ cfm، با شرایط هوای ورودی ۷۹/۴°Fdb و ۶۵/۵°Fwb و شرایط هوای خروجی ۵۴/۴°Fdb و ۵۲/۷°Fwb انتخاب شده و کنترل شود که ضریب کنارگذر در حدود ۰/۱۵ باشد. در شکل ۱۲-۵ فرآیندهای سیستم فوق روی نمودار سایکرومتریک نشان داده شده است.

### ۱۲-۳-۲. سرمایش و رطوبت‌زدایی سیستم با بار نهان بالا

کاربرد: آزمایشگاه

شرایط طرح خارج: دمای حباب خشک ۹۰°F و دمای حباب تر ۷۳°F

شرایط طرح داخل: دمای حباب خشک ۷۵°F و رطوبت نسبی ۵۰٪

بار محسوس: ۱۲۰۰۰۰ Btu/hr

بار نهان: ۶۵۰۰۰ Btu/hr

گذر حجمی هوای تازه: ۲۵۰۰ cfm

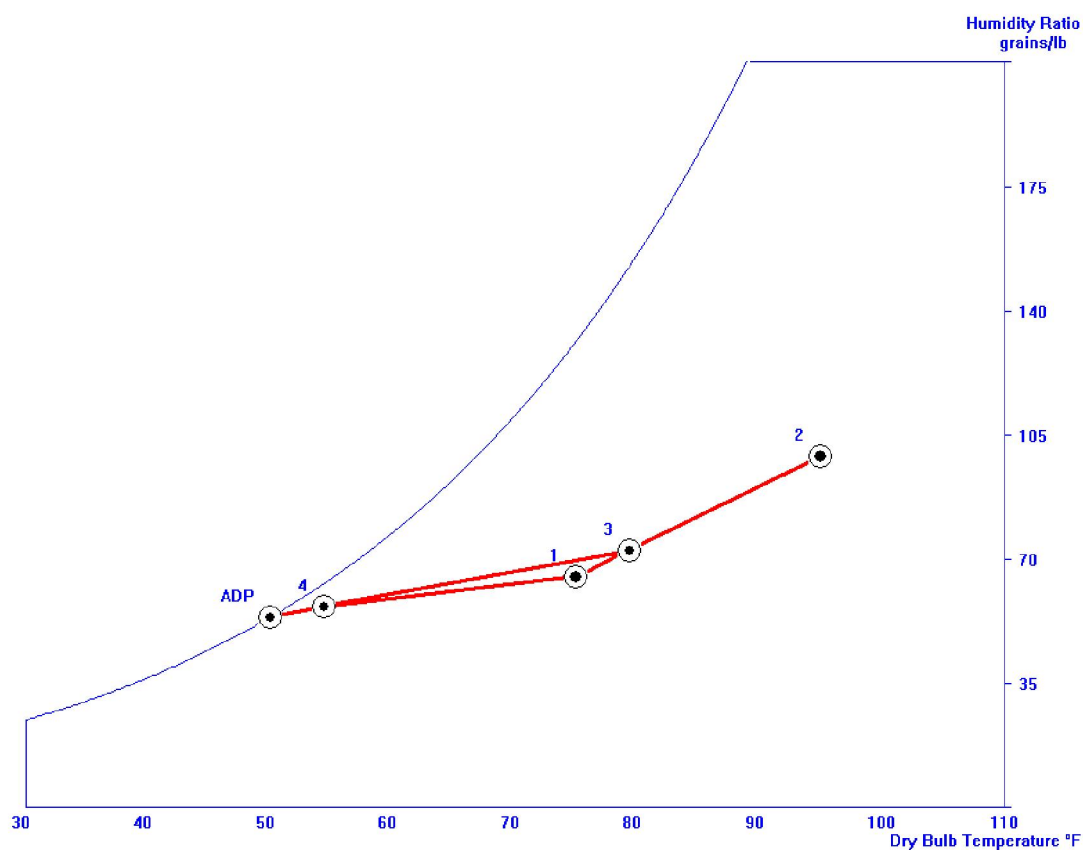
مرحله اول:

$$cfm_{oa} = 2500$$

$$OASH = 1.08 \times cfm_{oa} \times (t_{oa} - t_{rm}) = 1.08 \times 2500 \times (90 - 75) = 40500 \quad \text{Btu/hr}$$

$$OALH = 0.68 \times cfm_{oa} \times (w_{oa} - w_{rm}) = 0.68 \times 2500 \times (95 - 65) = 51000 \quad \text{Btu/hr}$$

$$OATH = OASH + OALH = 40500 + 51000 = 91500 \quad \text{Btu/hr}$$



شکل ۵-۱۲ فرآیندهای سایکرومتریک مثال بخش ۱۲-۳-۱

مرحله دوم:

$$BF = 0.05$$

$$ERSH = RSH + BF \times OASH = 120000 + 0.05 \times 40500 = 122025 \quad \text{Btu/hr}$$

$$ERLH = RLH + BF \times OALH = 65000 + 0.05 \times 51000 = 67550 \quad \text{Btu/hr}$$

$$ERTH = ERSR + ERLH = 122025 + 67550 = 189575 \quad \text{Btu/hr}$$

مرحله سوم:

$$ESHF = \frac{ERSH}{ERTH} = \frac{122025}{189575} = 0.64$$

$$t_{adp} = 35^\circ \text{F}$$

دمای نقطه شبنم دستگاه پایین بوده و آب ورودی به کویل بیش از اندازه سرد خواهد بود. بنابراین  $t_{adp}$  جدیدی برابر  $48^\circ \text{F}$  انتخاب نموده و از آنجا که ESHF چنین نتیجه‌ای را ایجاب نمی‌کند، ضروری است با افزودن کویل بازگرمایش، پس از کویل سرد دستگاه، بار محسوس اتاق به صورت مصنوعی افزایش یابد.

مرحله چهارم:



$$t_{adp} = 48^{\circ}F$$

$$ESHF = \frac{ERSH}{ERTH} = \frac{122025 + \text{Re heat}}{189570 + \text{Re heat}} = 0.74$$

$$\text{Re heat} = 70230 \quad \text{Btu / hr}$$

مرحله پنجم:

$$cfm_{da} = \frac{ERSH}{1.08 \times (1 - BF) \times (t_{rm} - t_{adp})} = \frac{122025 + 70230}{1.08 \times (1 - 0.05) \times (75 - 48)} = 6940$$

چنانچه گذر حجمی هوای تهویه کمتر از گذر حجمی هوای تازه باشد، باید مشابه مثال بخش ۱۲-۳-۳ عمل شود.

$$t_{rm} - t_{sa} = \frac{RSH}{1.08 \times cfm_{da}} = \frac{120000}{1.08 \times 6940} = 16^{\circ}F$$

چنانچه  $t_{rm} - t_{sa} > 25^{\circ}F$  باشد، باید مطابق مثال بخش ۱۲-۳-۴ عمل شود.

$$t_{sa} = t_{rm} - (t_{rm} - t_{sa}) = 75 - 16 = 59^{\circ}F$$

$$cfm_{sa} = cfm_{da} = 6940$$

$$cfm_{ra} = cfm_{sa} - cfm_{oa} = 6940 - 2500 = 4440$$

مرحله ششم:

$$t_{edb} = \frac{cfm_{oa}}{cfm_{sa}} t_{oa} + \frac{cfm_{ra}}{cfm_{sa}} t_{rm} = \frac{2500}{6950} \times 90 + \frac{4450}{6950} \times 75 = 80.4^{\circ}F$$

$$t_{ewb} = 66.6^{\circ}F$$

$$t_{ldb} = t_{adp} + BF \times (t_{edb} - t_{adp}) = 48 + 0.05 \times (80.4 - 48) = 49.6^{\circ}F$$

$$t_{lwb} = 49.1^{\circ}F$$

مرحله هفتم:

$$TSH = RSH + OASH + \text{Re heat} = 120000 + 40500 + 70230 \approx 231000 \quad \text{Btu / hr}$$

$$TLH = RLH + OALH = 65000 + 51000 = 116000 \quad \text{Btu / hr}$$

$$GTH = TSH + TLH = 231000 + 116000 = 347000 \quad \text{Btu / hr}$$

بنابراین لازم است کویلی با ظرفیت ۳۴۷۰۰۰ Btu/hr و گذر حجمی هوای ۶۹۴۰ cfm، با شرایط هوای ورودی ۸۰/۴°Fdb و ۶۶/۶°Fwb و شرایط خروجی ۴۹/۶°Fdb و ۴۹/۱°Fwb انتخاب شده و کنترل شود که ضریب کنارگذر در حدود ۰/۰۵ باشد. در شکل ۱۲-۶ فرآیندهای سیستم فوق روی نمودار سایکرومتریک نشان داده شده است.

۱۲-۳-۳. سرمایش و رطوبت‌زدایی سیستم تمام هوای تازه

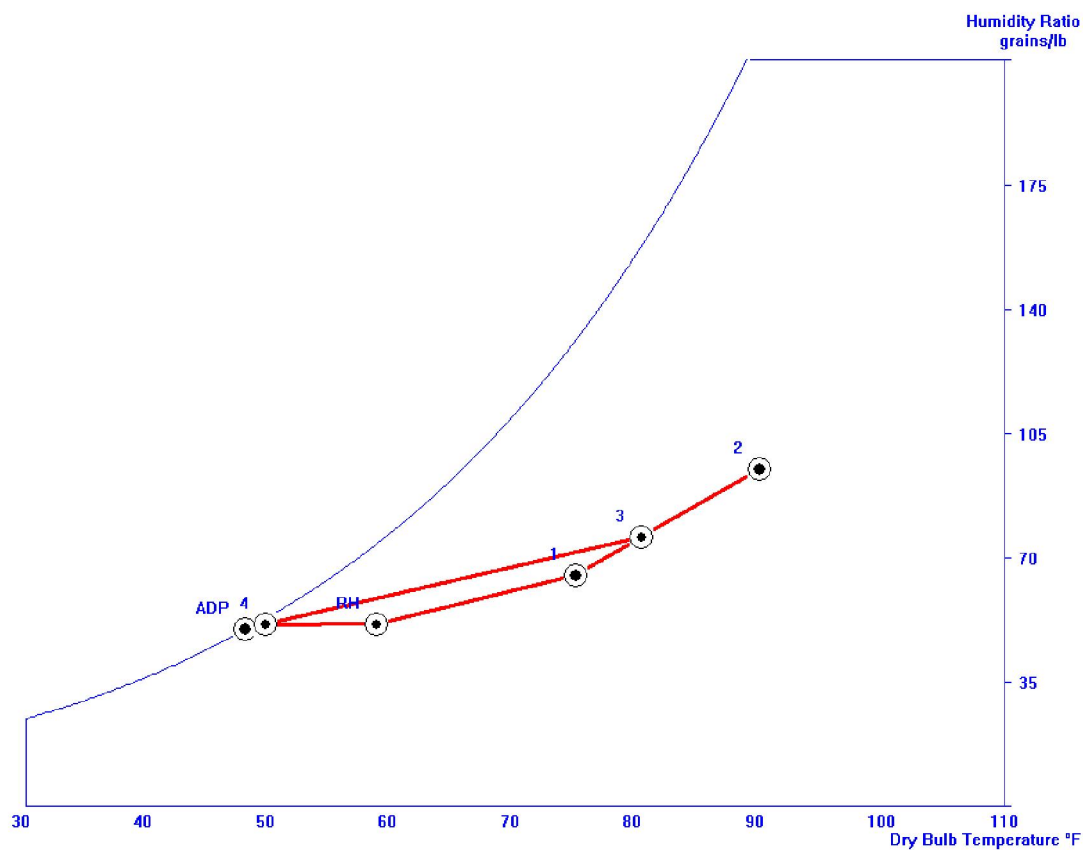
کاربرد: آزمایشگاه

شرایط طرح خارج: دمای حباب خشک ۹۵°F و دمای حباب تر ۷۵°F

شرایط طرح داخل: دمای حباب خشک ۷۵°F و رطوبت نسبی ۵۵٪

بار محسوس: ۵۰۰۰۰ Btu/hr

بارنهمان: ۱۱۰۰۰ Btu/hr  
گذر حجمی هوای تازه: ۱۶۰۰ cfm



شکل ۱۲-۶ فرآیندهای سایکرومتریک مثال بخش ۱۲-۳

مرحله اول:

$$cfm_{oa} = 1600$$

$$OASH = 1.08 \times cfm_{oa} \times (t_{oa} - t_{rm}) = 1.08 \times 1600 \times (95 - 75) = 34600 \quad \text{Btu/hr}$$

$$OALH = 0.68 \times cfm_{oa} \times (w_{oa} - w_{rm}) = 0.68 \times 1600 \times (98.5 - 71) = 30000 \quad \text{Btu/hr}$$

$$OATH = OASH + OALH = 34600 + 30000 = 64600 \quad \text{Btu/hr}$$

مرحله دوم:

$$BF = 0.05$$

$$ERSH = RSH + BF \times OASH = 50000 + 0.05 \times 34600 = 51730 \quad \text{Btu/hr}$$

$$ERLH = RLH + BF \times OALH = 11000 + 0.05 \times 30000 = 12500 \quad \text{Btu/hr}$$

$$ERTH = ERSR + ERLH = 51730 + 12500 = 64230 \quad \text{Btu/hr}$$

مرحله سوم:

$$ESHF = \frac{ERSH}{ERTH} = \frac{51730}{64230} = 0.81$$

$$t_{adp} = 54.5^\circ \text{F}$$

چنانچه  $t_{adp} < 38^{\circ}\text{F}$  باشد، باید مطابق مثال ۱۲-۳-۲ عمل شود.

مرحله چهارم:

$$cfm_{da} = \frac{ERSH}{1.08 \times (1 - BF) \times (t_{rm} - t_{adp})} = \frac{51730}{1.08 \times (1 - 0.05) \times (75 - 54.5)} = 2450$$

از آنجایی که سیستم تمام هوای تازه بوده و برگشت ندارد، گذر حجمی هوای تازه نباید کمتر از گذر حجمی هوای تهویه باشد. بنابراین گذر حجمی هوای تازه جدیدی برابر  $cfm = 2450$  انتخاب کرده و لازم است محاسبات مجدداً تکرار گردد:

تکرار مرحله اول:

$$cfm_{oa} = 2450$$

$$OASH = 1.08 \times cfm_{oa} \times (t_{oa} - t_{rm}) = 1.08 \times 2450 \times (95 - 75) = 53000 \quad \text{Btu / hr}$$

$$OALH = 0.68 \times cfm_{oa} \times (w_{oa} - w_{rm}) = 0.68 \times 2450 \times (98.5 - 71) = 46000 \quad \text{Btu / hr}$$

$$OATH = OASH + OALH = 53000 + 46000 = 99000 \quad \text{Btu / hr}$$

تکرار مرحله دوم:

$$BF = 0.05$$

$$ERSH = RSH + BF \times OASH = 50000 + 0.05 \times 53000 = 52650 \quad \text{Btu / hr}$$

$$ERLH = RLH + BF \times OALH = 11000 + 0.05 \times 46000 = 13300 \quad \text{Btu / hr}$$

$$ERTH = ERSR + ERLH = 52650 + 13300 = 65950 \quad \text{Btu / hr}$$

تکرار مرحله سوم:

$$ESHF = \frac{ERSH}{ERTH} = \frac{52650}{65950} = 0.80$$

$$t_{adp} = 54^{\circ}\text{F}$$

تکرار مرحله چهارم:

$$cfm_{da} = \frac{ERSH}{1.08 \times (1 - BF) \times (t_{rm} - t_{adp})} = \frac{52650}{1.08 \times (1 - 0.05) \times (75 - 54)} = 2500$$

اختلاف گذر حجمی هوای تهویه و هوای تازه قابل قبول است.

$$t_{rm} - t_{sa} = \frac{RSH}{1.08 \times cfm_{da}} = \frac{50000}{1.08 \times 2500} = 18.5^{\circ}\text{F}$$

چنانچه  $t_{rm} - t_{sa} > 25^{\circ}\text{F}$  باشد، باید مطابق مثال بخش ۱۲-۳-۴ عمل شود.

$$t_{sa} = t_{rm} - (t_{rm} - t_{sa}) = 75 - 18.5 = 56.5^{\circ}\text{F}$$

$$cfm_{sa} = cfm_{da} = 2500$$

$$cfm_{ra} = cfm_{sa} - cfm_{oa} = 2500 - 2500 = 0$$

مرحله پنجم:

$$t_{edb} = t_{oa} = 95^{\circ} \text{ F}$$

$$t_{ewb} = 75^{\circ} \text{ F}$$

$$t_{ldb} = t_{sa} = 56.5^{\circ} \text{ F}$$

$$t_{lwb} = 55.6^{\circ} \text{ F}$$

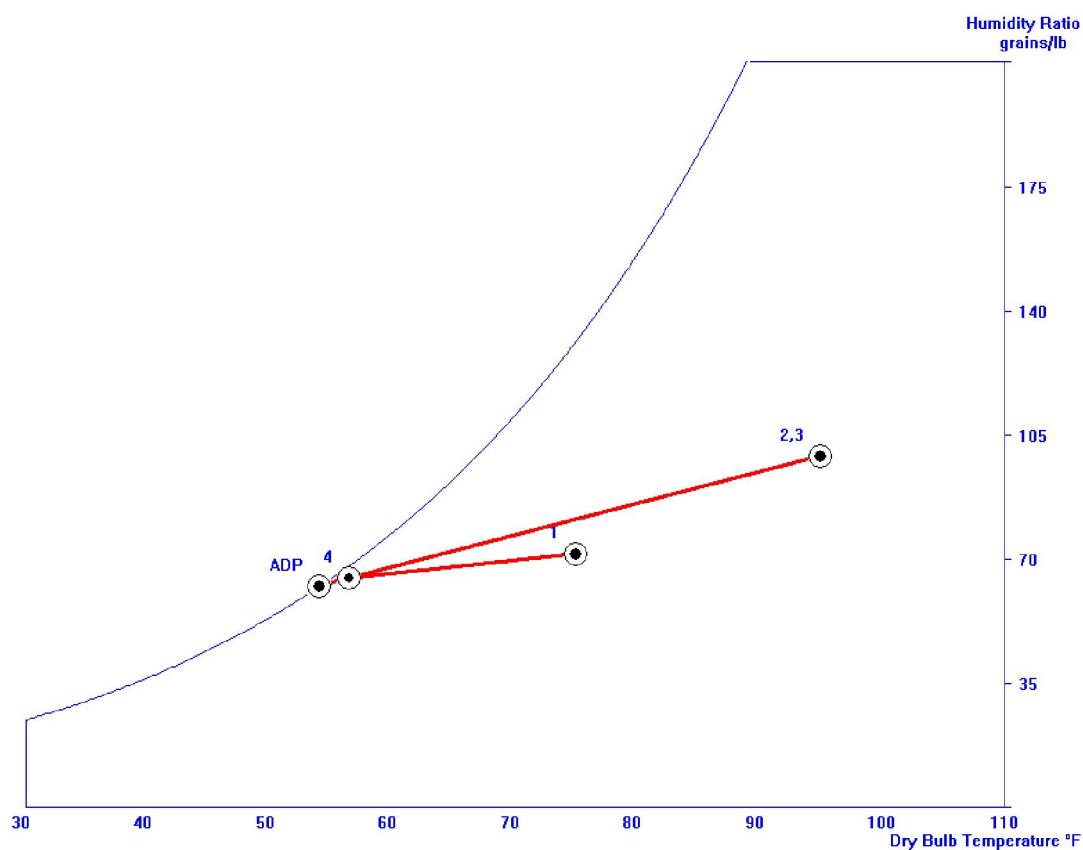
مرحله ششم:

$$\text{TSH} = \text{RSH} + \text{OASH} = 50000 + 53000 = 103000 \quad \text{Btu / hr}$$

$$\text{TLH} = \text{RLH} + \text{OALH} = 11000 + 46000 = 57000 \quad \text{Btu / hr}$$

$$\text{GTH} = \text{TSH} + \text{TLH} = 103000 + 57000 = 160000 \quad \text{Btu / hr}$$

بنابراین لازم است کویلی با ظرفیت ۱۶۰۰۰۰ Btu/hr و گذر حجمی هوای ۲۵۰۰ cfm، با شرایط هوای ورودی ۹۵°Fdb و ۷۵°Fwb و شرایط خروجی ۵۶/۵°Fdb و ۵۵/۶°Fwb انتخاب شده و کنترل شود که ضریب کنارگذر در حدود ۰/۰۵ باشد. در شکل ۷-۱۲ فرآیندهای سیستم فوق روی نمودار سایکرومتریک نشان داده شده است.



شکل ۷-۱۲ فرآیندهای سایکرومتریک مثال بخش ۳-۱۲-۳

۱۲-۳-۴. سرمایش و رطوبت زدایی با دمای طرح داخل بالا

کاربرد: کارخانه

شرایط طرح خارج: دمای حباب خشک ۹۵°F و دمای حباب تر ۷۵°F

شرایط طرح داخل: دمای حباب خشک ۸۰°F و رطوبت نسبی ۵۰٪

بار محسوس: ۱۲۰۰۰۰ Btu/hr

بار نهان: ۶۶۰۰۰ Btu/hr

گذر حجمی هوای تازه: ۳۴۰۰ cfm

مرحله اول:

$$cfm_{oa} = 3400$$

$$OASH = 1.08 \times cfm_{oa} \times (t_{oa} - t_{rm}) = 1.08 \times 3400 \times (95 - 80) = 55200 \quad \text{Btu/hr}$$

$$OALH = 0.68 \times cfm_{oa} \times (w_{oa} - w_{rm}) = 0.68 \times 3400 \times (99 - 77) = 50800 \quad \text{Btu/hr}$$

$$OATH = OASH + OALH = 55200 + 50800 = 106000 \quad \text{Btu/hr}$$

مرحله دوم:

$$BF = 0.075$$

$$ERSH = RSH + BF \times OASH = 120000 + 0.075 \times 55200 = 124130 \quad \text{Btu/hr}$$

$$ERLH = RLH + BF \times OALH = 66000 + 0.075 \times 50800 = 69810 \quad \text{Btu/hr}$$

$$ERTH = ERSR + ERLH = 124130 + 69810 = 193940 \quad \text{Btu/hr}$$

مرحله سوم:

$$ESHF = \frac{ERSH}{ERTH} = \frac{124130}{193940} = 0.64$$

$$t_{adp} = 46^\circ \text{F}$$

چنانچه  $t_{adp} < 38^\circ \text{F}$  باشد، باید مطابق مثال بخش ۱۲-۳-۲ عمل شود.

مرحله چهارم:

$$cfm_{da} = \frac{ERSH}{1.08 \times (1 - BF) \times (t_{rm} - t_{adp})} = \frac{124130}{1.08 \times (1 - 0.075) \times (80 - 46)} = 3700$$

چنانچه گذر حجمی هوای تهویه کمتر از گذر حجمی هوای تازه باشد، باید مشابه مثال بخش ۱۲-۳-۳ عمل شود.

$$t_{rm} - t_{sa} = \frac{RSH}{1.08 \times cfm_{sa}} = \frac{120000}{1.08 \times 3700} = 30^\circ \text{F}$$

اختلاف دمای فوق زیاد بوده و موجب ناراحتی افراد در نزدیکی دریچه‌های خروجی هوا می‌شود. بنابراین اختلاف دمای جدیدی معادل  $20^\circ \text{F}$  انتخاب کرده و از آنجا که  $cfm_{sa}$  چنین نتیجه‌ای را ایجاد نمی‌کند، لازم است گذر حجمی هوای برگشتی افزایش یافته و بخشی از آن به صورت مصنوعی از روی کویل دستگاه کنارگذر گردد.

$$cfm_{da} = 3700$$

$$cfm_{sa} = \frac{RSH}{1.08 \times (t_{rm} - t_{sa})} = \frac{120000}{1.08 \times 20} = 5600$$

$$cfm_{ra} = cfm_{sa} - cfm_{oa} = 5600 - 3400 = 2200$$

$$cfm_{bp} = cfm_{da} - cfm_{sa} = 5600 - 3700 = 1900$$

مرحله پنجم:

$$t_{edb} = \frac{cfm_{oa}}{cfm_{sa}} t_{oa} + \frac{cfm_{ra}}{cfm_{sa}} t_{rm} = \frac{3400}{3700} \times 95 + \frac{300}{3700} \times 80 = 93.8^\circ F$$

$$t_{ewb} = 74.4^\circ F$$

$$t_{ldb} = t_{adp} + BF \times (t_{edb} - t_{adp}) = 46 + 0.05 \times (93.8 - 46) = 49.6^\circ F$$

$$t_{lwb} = 48.8^\circ F$$

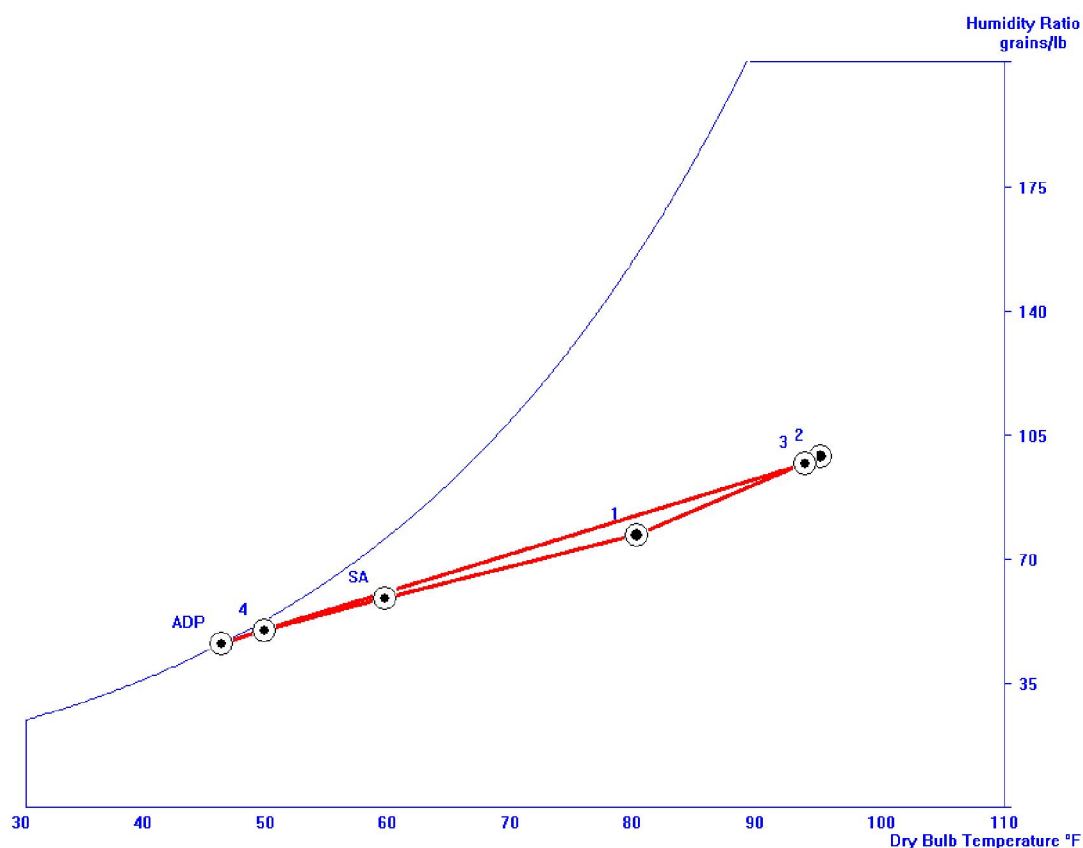
مرحله ششم:

$$TSH = RSH + OASH = 120000 + 55200 = 175200 \quad \text{Btu/hr}$$

$$TLH = RLH + OALH = 66000 + 50800 = 116800 \quad \text{Btu/hr}$$

$$GTH = TSH + TLH = 175200 + 116800 = 292000 \quad \text{Btu/hr}$$

بنابراین لازم است کویلی با ظرفیت ۲۹۲۰۰۰ Btu/hr و گذر حجمی هوای ۳۷۰۰ cfm با شرایط هوای ورودی ۹۳/۸°Fdb و ۷۴/۴°Fwb و شرایط خروجی ۴۹/۶°Fdb و ۴۸/۸°Fwb انتخاب شده و کنترل شود که ضریب کنارگذر در حدود ۰/۰۷۵ باشد. در شکل ۸-۱۲ فرآیندهای سیستم فوق روی نمودار سایکرومتریک نشان داده شده است.



شکل ۸-۱۲ فرآیندهای سایکرومتریک مثال بخش ۱۲-۳-۴

در این حالت ۳۷۰۰ cfm هوا با درجه حرارت ۵۰°Fdb از دستگاه خارج شده و با توجه به اختلاف دمای جدید انتخاب شده در مرحله چهارم، لازم است دمای آن تا ۶۰°Fdb افزایش یابد. به این منظور کافی است بخشی از هوای برگشتی به صورت مصنوعی از روی کویل دستگاه کنار گذر شده و با هوای عبوری از کویل مخلوط گردد. از آنجا که شرایط هوای برگشتی مشابه اتاق است، باری نداشته و ظرفیت کویل دستگاه تهویه مطبوع ثابت باقی می‌ماند.

جدول ۱-۱۲ مقادیر پیشنهادی ضریب کنارگذر برای کاربردهای مختلف

| COIL<br>BYPASS<br>FACTOR | TYPE OF APPLICATION                                                                                                              | EXAMPLE                                        |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 0.30 to 0.50             | A <i>small</i> total load or a load that is somewhat larger with a low sensible heat factor (high latent load).                  | Residence                                      |
| 0.20 to 0.30             | Typical comfort application with a <i>relatively small</i> total load or a low sensible heat factor with a somewhat larger load. | Residence,<br>Small<br>Retail Shop,<br>Factory |
| 0.10 to 0.20             | Typical comfort application.                                                                                                     | Dept. Store,<br>Bank, Factory                  |
| 0.05 to 0.10             | Applications with high internal sensible loads or requiring a large amount of outdoor air for ventilation.                       | Dept. Store,<br>Restaurant,<br>Factory         |
| 0 to 0.10                | All outdoor air applications.                                                                                                    | Hospital<br>Operating<br>Room, Factory         |

## جدول ۱۲-۲ ارتباط دمای نقطه شبنم دستگاه با شرایط طرح داخل و نسبت بار محسوس مؤثر

90 - 80 F DB

| ROOM CONDITIONS |     |      |         | EFFECTIVE SENSIBLE HEAT FACTOR AND APPARATUS DEWPOINT |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|-----------------|-----|------|---------|-------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| DB              | RH  | WB   | W       |                                                       |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| (F)             | (%) | (F)  | (gr/lb) |                                                       |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| 90              | 20  | 62.7 | 42.0    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .96 | .92 | .90 | .88 | .86 | .84 | .82 | .81 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 43.5 | 41  | 39  | 37  | 35  | 32  | 29  | 24  | 22  |  |  |
|                 | 25  | 65.1 | 52.7    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .96 | .92 | .88 | .84 | .82 | .80 | .78 | .75 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 49.6 | 48  | 46  | 44  | 41  | 39  | 36  | 32  | 22  |  |  |
|                 | 30  | 67.3 | 63.6    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .92 | .87 | .83 | .80 | .76 | .74 | .72 | .70 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 54.5 | 52  | 50  | 48  | 46  | 42  | 38  | 34  | 24  |  |  |
|                 | 35  | 69.3 | 74.2    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .92 | .85 | .81 | .76 | .73 | .71 | .69 | .66 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 58.8 | 57  | 55  | 53  | 50  | 48  | 45  | 42  | 33  |  |  |
|                 | 40  | 71.2 | 84.8    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .92 | .83 | .78 | .74 | .69 | .66 | .63 | .62 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 62.4 | 61  | 59  | 57  | 55  | 52  | 48  | 44  | 40  |  |  |
| 90              | 45  | 73.0 | 95.5    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .92 | .82 | .76 | .70 | .66 | .62 | .60 | .58 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 65.8 | 65  | 63  | 61  | 59  | 56  | 52  | 49  | 43  |  |  |
|                 | 50  | 74.9 | 106.4   | ESHF ADP                                              | 1.00 | .92 | .78 | .68 | .64 | .60 | .58 | .56 | .54 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 68.9 | 68  | 66  | 63  | 61  | 58  | 56  | 53  | 47  |  |  |
|                 | 55  | 76.7 | 117.5   | ESHF ADP                                              | 1.00 | .92 | .76 | .68 | .64 | .57 | .54 | .52 | .50 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 71.6 | 71  | 69  | 67  | 66  | 62  | 59  | 57  | 50  |  |  |
|                 | 60  | 78.4 | 128.4   | ESHF ADP                                              | 1.00 | .86 | .68 | .60 | .56 | .52 | .50 | .48 | .46 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 74.2 | 73  | 71  | 69  | 67  | 64  | 62  | 59  | 50  |  |  |
|                 | 65  | 80.0 | 139.6   | ESHF ADP                                              | 1.00 | .75 | .68 | .62 | .55 | .50 | .47 | .45 | .43 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 76.8 | 75  | 74  | 73  | 71  | 69  | 66  | 64  | 59  |  |  |
| 90              | 70  | 81.6 | 151.0   | ESHF ADP                                              | 1.00 | .78 | .66 | .60 | .52 | .47 | .43 | .41 | .39 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 79.0 | 78  | 77  | 76  | 74  | 72  | 69  | 66  | 58  |  |  |

|    |    |      |       |          |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|----|----|------|-------|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| 85 | 20 | 59.6 | 35.8  | ESHF ADP | 1.00 | .98 | .95 | .92 | .90 | .88 | .87 | .86 | .84 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 39.4 | 38  | 36  | 34  | 32  | 30  | 28  | 26  | 22  |  |  |
|    | 25 | 61.7 | 44.8  | ESHF ADP | 1.00 | .98 | .93 | .90 | .86 | .84 | .82 | .80 | .78 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 45.2 | 44  | 42  | 40  | 37  | 35  | 32  | 28  | 20  |  |  |
|    | 30 | 63.7 | 54.1  | ESHF ADP | 1.00 | .94 | .89 | .85 | .81 | .79 | .77 | .75 | .73 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 50.2 | 48  | 46  | 44  | 40  | 38  | 35  | 31  | 22  |  |  |
|    | 35 | 65.5 | 62.9  | ESHF ADP | 1.00 | .92 | .86 | .82 | .78 | .74 | .72 | .70 | .69 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 54.1 | 52  | 50  | 48  | 45  | 41  | 38  | 32  | 27  |  |  |
|    | 40 | 67.4 | 71.7  | ESHF ADP | 1.00 | .92 | .84 | .79 | .76 | .73 | .69 | .67 | .65 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 57.9 | 56  | 54  | 52  | 50  | 48  | 44  | 40  | 32  |  |  |
| 85 | 45 | 69.1 | 81.1  | ESHF ADP | 1.00 | .92 | .83 | .77 | .72 | .68 | .64 | .62 | .61 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 61.2 | 60  | 58  | 56  | 54  | 51  | 46  | 41  | 36  |  |  |
|    | 50 | 70.8 | 90.1  | ESHF ADP | 1.00 | .92 | .80 | .73 | .68 | .64 | .61 | .59 | .57 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 64.2 | 63  | 61  | 59  | 57  | 54  | 51  | 48  | 39  |  |  |
|    | 55 | 72.3 | 99.4  | ESHF ADP | 1.00 | .92 | .83 | .73 | .67 | .60 | .57 | .56 | .54 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 66.9 | 66  | 65  | 63  | 61  | 57  | 54  | 52  | 47  |  |  |
|    | 60 | 73.9 | 108.8 | ESHF ADP | 1.00 | .92 | .76 | .67 | .61 | .56 | .54 | .52 | .50 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 69.5 | 69  | 67  | 65  | 63  | 60  | 58  | 55  | 49  |  |  |
|    | 65 | 75.5 | 118.2 | ESHF ADP | 1.00 | .88 | .69 | .61 | .56 | .53 | .50 | .48 | .47 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 71.9 | 71  | 69  | 67  | 65  | 63  | 61  | 58  | 54  |  |  |
| 85 | 70 | 77.0 | 127.6 | ESHF ADP | 1.00 | .81 | .63 | .55 | .51 | .49 | .47 | .45 | .43 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 74.0 | 73  | 71  | 69  | 67  | 66  | 64  | 62  | 55  |  |  |

|    |    |      |      |          |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|----|----|------|------|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| 82 | 35 | 63.3 | 57.0 | ESHF ADP | 1.00 | .92 | .88 | .84 | .80 | .76 | .74 | .72 | .71 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 51.6 | 49  | 48  | 46  | 43  | 39  | 36  | 31  | 27  |  |  |
| 82 | 40 | 65.0 | 65.1 | ESHF ADP | 1.00 | .90 | .87 | .82 | .78 | .74 | .71 | .69 | .67 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 55.2 | 53  | 52  | 50  | 48  | 45  | 41  | 38  | 31  |  |  |

| ROOM CONDITIONS |     |      |         | EFFECTIVE SENSIBLE HEAT FACTOR AND APPARATUS DEWPOINT |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|-----------------|-----|------|---------|-------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| DB              | RH  | WB   | W       |                                                       |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| (F)             | (%) | (F)  | (gr/lb) |                                                       |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| 82              | 45  | 66.7 | 73.5    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .91 | .87 | .80 | .75 | .72 | .68 | .65 | .63 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 58.5 | 57  | 56  | 54  | 52  | 50  | 46  | 41  | 53  |  |  |
|                 | 50  | 68.3 | 81.9    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .90 | .80 | .74 | .70 | .64 | .62 | .60 | .59 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 61.5 | 60  | 58  | 56  | 54  | 50  | 47  | 42  | 37  |  |  |
|                 | 55  | 69.8 | 90.2    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .90 | .83 | .74 | .68 | .64 | .61 | .58 | .56 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 64.2 | 63  | 62  | 60  | 58  | 56  | 54  | 50  | 44  |  |  |
|                 | 60  | 71.3 | 98.5    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .92 | .76 | .68 | .63 | .59 | .56 | .54 | .52 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 66.7 | 66  | 64  | 62  | 60  | 58  | 55  | 52  | 44  |  |  |
|                 | 65  | 72.8 | 107.0   | ESHF ADP                                              | 1.00 | .86 | .71 | .63 | .58 | .54 | .52 | .51 | .49 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 69.1 | 68  | 66  | 64  | 62  | 60  | 58  | 56  | 51  |  |  |
| 82              | 70  | 74.2 | 115.5   | ESHF ADP                                              | 1.00 | .80 | .71 | .65 | .60 | .54 | .51 | .48 | .46 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 71.2 | 70  | 69  | 68  | 67  | 65  | 63  | 60  | 56  |  |  |

|    |    |      |       |          |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|----|----|------|-------|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| 81 | 35 | 62.5 | 55.2  | ESHF ADP | 1.00 | .94 | .89 | .84 | .81 | .77 | .75 | .73 | .71 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 50.8 | 49  | 47  | 45  | 43  | 39  | 36  | 32  | 21  |  |  |
|    | 40 | 64.2 | 63.2  | ESHF ADP | 1.00 | .94 | .87 | .82 | .78 | .75 | .72 | .69 | .67 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 54.4 | 53  | 51  | 49  | 47  | 45  | 41  | 36  | 23  |  |  |
|    | 45 | 65.9 | 71.2  | ESHF ADP | 1.00 | .96 | .91 | .83 | .78 | .74 | .70 | .67 | .64 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 57.6 | 57  | 56  | 54  | 52  | 50  | 47  | 43  | 36  |  |  |
|    | 50 | 67.5 | 79.0  | ESHF ADP | 1.00 | .90 | .84 | .80 | .74 | .70 | .66 | .62 | .60 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 60.5 | 59  | 58  | 57  | 55  | 53  | 50  | 45  | 38  |  |  |
|    | 55 | 69.0 | 87.4  | ESHF ADP | 1.00 | .90 | .77 | .71 | .66 | .62 | .60 | .58 | .56 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 63.2 | 62  | 60  | 58  | 56  | 53  | 51  | 47  | 35  |  |  |
| 81 | 60 | 70.5 | 95.4  | ESHF ADP | 1.00 | .92 | .77 | .68 | .63 | .59 | .56 | .54 | .52 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 65.8 | 65  | 63  | 61  | 59  | 56  | 53  | 50  | 46  |  |  |
|    | 65 | 71.9 | 103.7 | ESHF ADP | 1.00 | .85 | .76 | .71 | .66 | .60 | .56 | .52 | .50 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 68.2 | 67  | 66  | 65  | 64  | 62  | 60  | 56  | 52  |  |  |
|    | 70 | 73.3 | 111.9 | ESHF ADP | 1.00 | .80 | .71 | .61 | .55 | .52 | .48 | .47 | .46 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 70.3 | 69  | 68  | 66  | 64  | 62  | 58  | 56  | 52  |  |  |

|    |    |      |       |             |              |           |           |           |           |           |           |           |           |
|----|----|------|-------|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 80 | 20 | 56.4 | 30.4  | ESHF<br>ADP | 1.00<br>35.4 | .98<br>34 | .95<br>32 | .93<br>30 | .91<br>28 | .89<br>26 | .88<br>24 | .87<br>22 | .86<br>20 |
|    | 25 | 58.3 | 38.0  | ESHF<br>ADP | 1.00<br>40.9 | .96<br>39 | .93<br>37 | .90<br>35 | .88<br>33 | .86<br>31 | .84<br>28 | .82<br>24 | .81<br>20 |
|    | 30 | 60.0 | 45.6  | ESHF<br>ADP | 1.00<br>45.7 | .96<br>44 | .91<br>42 | .88<br>40 | .85<br>38 | .83<br>36 | .80<br>32 | .78<br>28 | .76<br>21 |
|    | 35 | 61.8 | 53.5  | ESHF<br>ADP | 1.00<br>49.8 | .94<br>48 | .88<br>46 | .85<br>44 | .82<br>42 | .79<br>40 | .77<br>37 | .73<br>29 | .72<br>24 |
|    | 40 | 63.5 | 61.2  | ESHF<br>ADP | 1.00<br>53.5 | .94<br>52 | .90<br>51 | .84<br>49 | .80<br>47 | .76<br>44 | .73<br>41 | .70<br>36 | .68<br>28 |
|    | 45 | 65.1 | 68.9  | ESHF<br>ADP | 1.00<br>56.8 | .96<br>56 | .87<br>54 | .81<br>52 | .76<br>50 | .73<br>48 | .70<br>45 | .67<br>41 | .64<br>31 |
|    | 50 | 66.7 | 76.7  | ESHF<br>ADP | 1.00<br>59.7 | .89<br>58 | .80<br>56 | .74<br>54 | .70<br>52 | .66<br>49 | .64<br>46 | .62<br>42 | .61<br>39 |
|    | 55 | 68.2 | 84.6  | ESHF<br>ADP | 1.00<br>62.3 | .89<br>61 | .82<br>60 | .74<br>58 | .69<br>56 | .65<br>54 | .61<br>50 | .59<br>47 | .57<br>40 |
|    | 60 | 69.6 | 92.3  | ESHF<br>ADP | 1.00<br>64.8 | .91<br>64 | .83<br>63 | .72<br>61 | .66<br>59 | .62<br>57 | .59<br>55 | .57<br>53 | .54<br>47 |
|    | 65 | 71.1 | 100.4 | ESHF<br>ADP | 1.00<br>67.2 | .85<br>66 | .76<br>65 | .71<br>64 | .63<br>62 | .58<br>60 | .55<br>58 | .52<br>54 | .50<br>47 |
|    | 70 | 72.4 | 108.3 | ESHF<br>ADP | 1.00<br>69.4 | .78<br>68 | .71<br>67 | .65<br>66 | .61<br>65 | .55<br>63 | .52<br>61 | .49<br>58 | .47<br>53 |



جدول ۱۲-۲ ارتباط دمای نقطه شبنم دستگاه با شرایط طرح داخل و نسبت بار محسوس مؤثر (ادامه)

## 79 - 72 F DB

| ROOM CONDITIONS |     |      |         | EFFECTIVE SENSIBLE HEAT FACTOR AND APPARATUS DEWPOINT |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|-----------------|-----|------|---------|-------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| DB              | RH  | WB   | W       | ESHF ADP                                              | 1.00 | .96 | .91 | .89 | .85 | .82 | .78 | .75 | .73 |  |  |
| (F)             | (%) | (F)  | (gr/lb) |                                                       |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| 79              | 35  | 61.0 | 51.5    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .96 | .91 | .89 | .85 | .82 | .78 | .75 | .73 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 48.9 | 48  | 46  | 45  | 43  | 41  | 37  | 32  | 26  |  |  |
|                 | 40  | 62.7 | 59.2    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .97 | .90 | .84 | .80 | .76 | .74 | .71 | .69 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 52.7 | 52  | 50  | 48  | 46  | 43  | 41  | 36  | 29  |  |  |
|                 | 45  | 64.3 | 66.7    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .91 | .83 | .78 | .75 | .72 | .70 | .67 | .65 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 55.9 | 54  | 52  | 50  | 48  | 46  | 44  | 39  | 32  |  |  |
|                 | 50  | 65.9 | 74.2    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .89 | .80 | .75 | .71 | .68 | .66 | .63 | .61 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 58.9 | 57  | 55  | 53  | 51  | 49  | 47  | 42  | 33  |  |  |
| 76              | 55  | 67.4 | 81.9    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .96 | .82 | .74 | .69 | .66 | .63 | .60 | .58 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 61.4 | 61  | 59  | 57  | 55  | 53  | 51  | 47  | 41  |  |  |
|                 | 60  | 68.8 | 89.3    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .90 | .76 | .69 | .64 | .61 | .57 | .55 | .54 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 63.9 | 63  | 61  | 59  | 57  | 55  | 51  | 47  | 41  |  |  |
|                 | 65  | 70.2 | 97.0    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .84 | .71 | .64 | .59 | .56 | .54 | .52 | .51 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 66.3 | 65  | 63  | 61  | 59  | 57  | 55  | 51  | 48  |  |  |
|                 | 70  | 71.6 | 104.8   | ESHF ADP                                              | 1.00 | .81 | .71 | .65 | .58 | .54 | .52 | .50 | .48 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 68.5 | 67  | 66  | 65  | 63  | 61  | 59  | 57  | 53  |  |  |

|    |    |      |       |          |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|----|----|------|-------|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| 78 | 35 | 60.3 | 50.0  | ESHF ADP | 1.00 | .96 | .91 | .87 | .83 | .79 | .77 | .75 | .73 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 48.2 | 47  | 45  | 43  | 41  | 37  | 35  | 31  | 22  |  |  |
|    | 40 | 61.9 | 57.3  | ESHF ADP | 1.00 | .93 | .87 | .82 | .79 | .77 | .73 | .71 | .69 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 51.7 | 50  | 48  | 46  | 44  | 42  | 38  | 34  | 25  |  |  |
|    | 45 | 63.5 | 64.6  | ESHF ADP | 1.00 | .95 | .86 | .81 | .76 | .74 | .70 | .68 | .66 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 55.0 | 54  | 52  | 50  | 48  | 46  | 42  | 39  | 34  |  |  |
|    | 50 | 65.0 | 71.9  | ESHF ADP | 1.00 | .94 | .83 | .76 | .73 | .70 | .67 | .64 | .62 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 57.9 | 57  | 55  | 53  | 51  | 49  | 47  | 42  | 36  |  |  |
| 77 | 55 | 66.6 | 79.2  | ESHF ADP | 1.00 | .96 | .83 | .75 | .70 | .65 | .62 | .60 | .59 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 60.5 | 60  | 58  | 56  | 54  | 51  | 48  | 44  | 41  |  |  |
|    | 60 | 67.9 | 86.4  | ESHF ADP | 1.00 | .90 | .82 | .76 | .69 | .64 | .60 | .57 | .55 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 63.0 | 62  | 61  | 60  | 58  | 56  | 53  | 49  | 42  |  |  |
|    | 65 | 69.3 | 93.8  | ESHF ADP | 1.00 | .85 | .77 | .71 | .67 | .62 | .58 | .54 | .52 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 65.2 | 64  | 63  | 62  | 61  | 59  | 57  | 53  | 48  |  |  |
|    | 70 | 70.6 | 101.2 | ESHF ADP | 1.00 | .71 | .66 | .62 | .59 | .55 | .52 | .50 | .48 |  |  |
|    |    |      |       | ADP      | 67.5 | 65  | 64  | 63  | 62  | 60  | 58  | 55  | 48  |  |  |

|    |    |      |      |          |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|----|----|------|------|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| 77 | 35 | 59.6 | 48.3 | ESHF ADP | 1.00 | .96 | .91 | .87 | .83 | .79 | .77 | .75 | .74 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 47.3 | 46  | 44  | 42  | 40  | 36  | 33  | 28  | 24  |  |  |
|    | 40 | 61.2 | 55.5 | ESHF ADP | 1.00 | .96 | .89 | .84 | .81 | .78 | .76 | .73 | .70 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 50.9 | 50  | 48  | 46  | 44  | 42  | 40  | 36  | 27  |  |  |
|    | 45 | 62.7 | 62.4 | ESHF ADP | 1.00 | .94 | .86 | .81 | .77 | .74 | .72 | .69 | .66 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 54.1 | 53  | 51  | 49  | 47  | 45  | 43  | 39  | 29  |  |  |
|    | 50 | 64.2 | 69.7 | ESHF ADP | 1.00 | .94 | .84 | .77 | .73 | .70 | .68 | .65 | .63 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 57.0 | 56  | 54  | 52  | 50  | 48  | 46  | 42  | 37  |  |  |
| 72 | 55 | 65.6 | 76.6 | ESHF ADP | 1.00 | .95 | .83 | .75 | .70 | .67 | .63 | .61 | .59 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 59.6 | 59  | 57  | 55  | 53  | 51  | 48  | 44  | 37  |  |  |
|    | 60 | 67.1 | 83.6 | ESHF ADP | 1.00 | .89 | .82 | .77 | .73 | .67 | .62 | .58 | .56 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 62.0 | 61  | 60  | 59  | 58  | 56  | 53  | 48  | 43  |  |  |
|    | 65 | 68.5 | 90.8 | ESHF ADP | 1.00 | .84 | .72 | .64 | .60 | .57 | .55 | .54 | .53 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 64.4 | 63  | 61  | 59  | 57  | 55  | 53  | 51  | 48  |  |  |
|    | 70 | 69.8 | 97.9 | ESHF ADP | 1.00 | .79 | .66 | .60 | .55 | .53 | .51 | .50 | .49 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 66.5 | 65  | 63  | 61  | 59  | 57  | 55  | 53  | 49  |  |  |

| ROOM CONDITIONS |     |      |         | EFFECTIVE SENSIBLE HEAT FACTOR AND APPARATUS DEWPOINT |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|-----------------|-----|------|---------|-------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| DB              | RH  | WB   | W       | ESHF ADP                                              | 1.00 | .96 | .91 | .87 | .84 | .81 | .79 | .77 | .74 |  |  |
| (F)             | (%) | (F)  | (gr/lb) |                                                       |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| 76              | 35  | 58.9 | 46.7    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .96 | .91 | .87 | .84 | .81 | .79 | .77 | .74 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 46.3 | 45  | 43  | 41  | 39  | 37  | 34  | 31  | 21  |  |  |
|                 | 40  | 60.4 | 53.7    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .96 | .89 | .84 | .81 | .78 | .76 | .72 | .70 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 49.9 | 49  | 47  | 45  | 43  | 41  | 39  | 32  | 22  |  |  |
|                 | 45  | 61.9 | 60.4    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .94 | .86 | .81 | .77 | .74 | .71 | .69 | .67 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 53.2 | 52  | 50  | 48  | 46  | 44  | 40  | 37  | 31  |  |  |
|                 | 50  | 63.4 | 67.4    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .93 | .83 | .77 | .73 | .69 | .67 | .65 | .63 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 56.2 | 55  | 53  | 51  | 49  | 46  | 43  | 40  | 32  |  |  |
| 75              | 55  | 64.9 | 74.0    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .94 | .82 | .75 | .70 | .67 | .65 | .62 | .60 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 58.7 | 58  | 56  | 54  | 52  | 50  | 48  | 44  | 38  |  |  |
|                 | 60  | 66.2 | 80.9    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .90 | .77 | .70 | .66 | .62 | .60 | .58 | .57 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 61.1 | 60  | 58  | 56  | 54  | 52  | 49  | 46  | 43  |  |  |
|                 | 65  | 67.6 | 87.6    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .84 | .72 | .65 | .61 | .58 | .56 | .54 | .53 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 63.4 | 62  | 60  | 58  | 56  | 54  | 52  | 48  | 43  |  |  |
|                 | 70  | 68.9 | 94.6    | ESHF ADP                                              | 1.00 | .80 | .67 | .60 | .56 | .54 | .52 | .51 | .50 |  |  |
|                 |     |      |         | ADP                                                   | 65.5 | 64  | 62  | 60  | 58  | 56  | 54  | 52  | 49  |  |  |

|    |    |      |      |          |      |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|----|----|------|------|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| 75 | 20 | 53.2 | 25.7 | ESHF ADP | 1.00 | .98 | .96 | .94 | .92 | .90 | .89 |     |     |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 31.5 | 30  | 28  | 26  | 24  | 22  | 20  |     |     |  |  |
|    | 25 | 54.8 | 32.1 | ESHF ADP | 1.00 | .95 | .92 | .90 | .88 | .86 | .84 |     |     |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 36.9 | 34  | 32  | 30  | 28  | 25  | 21  |     |     |  |  |
|    | 30 | 56.5 | 38.5 | ESHF ADP | 1.00 | .97 | .93 | .90 | .87 | .85 | .82 | .80 | .79 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 41.4 | 40  | 38  | 36  | 34  | 32  | 28  | 24  | 20  |  |  |
|    | 35 | 58.1 | 45.2 | ESHF ADP | 1.00 | .96 | .91 | .87 | .84 | .80 | .78 | .76 | .75 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 45.5 | 44  | 42  | 40  | 38  | 34  | 31  | 27  | 22  |  |  |
| 74 | 40 | 59.6 | 51.8 | ESHF ADP | 1.00 | .96 | .89 | .84 | .81 | .79 | .76 | .73 | .71 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 49.1 | 48  | 46  | 44  | 42  | 40  | 37  | 32  | 24  |  |  |
|    | 45 | 61.1 | 58.2 | ESHF ADP | 1.00 | .94 | .87 | .81 | .77 | .75 | .72 | .69 | .67 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 52.2 | 51  | 49  | 47  | 45  | 43  | 40  | 35  | 21  |  |  |
|    | 50 | 62.6 | 65.0 | ESHF ADP | 1.00 | .92 | .84 | .78 | .74 | .71 | .69 | .66 | .64 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 55.2 | 54  | 52  | 50  | 48  | 46  | 44  | 40  | 34  |  |  |
|    | 55 | 64.0 | 71.5 | ESHF ADP | 1.00 | .94 | .87 | .78 | .73 | .69 | .65 | .63 | .61 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 57.8 | 57  | 56  | 54  | 52  | 50  | 47  | 44  | 39  |  |  |
| 73 | 60 | 65.3 | 77.9 | ESHF ADP | 1.00 | .90 | .77 | .71 | .66 | .63 | .61 | .59 | .58 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 60.1 | 59  | 57  | 55  | 53  | 51  | 49  | 46  | 43  |  |  |
|    | 65 | 66.7 | 84.8 | ESHF ADP | 1.00 | .84 | .72 | .65 | .61 | .59 | .57 | .55 | .54 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 62.4 | 61  | 59  | 57  | 55  | 53  | 51  | 48  | 44  |  |  |
|    | 70 | 68.0 | 91.2 | ESHF ADP | 1.00 | .80 | .73 | .68 | .61 | .57 | .54 | .52 | .51 |  |  |
|    |    |      |      | ADP      | 64.5 | 63  | 62  | 61  | 59  | 57  | 55  | 52  | 49  |  |  |

|    |    |      |      |             |              |           |           |           |           |           |           |           |           |  |
|----|----|------|------|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| 72 | 35 | 55.9 | 40.8 | ESHF<br>ADP | 1.00<br>42.8 | .98<br>42 | .93<br>40 | .89<br>38 | .86<br>36 | .83<br>34 | .81<br>31 | .79<br>28 | .77<br>22 |  |
|    | 40 | 57.3 | 46.7 | ESHF<br>ADP | 1.00<br>46.3 | .95<br>45 | .92<br>44 | .87<br>42 | .84<br>40 | .81<br>38 | .77<br>34 | .75<br>30 | .73<br>23 |  |
|    | 45 | 58.7 | 52.7 | ESHF<br>ADP | 1.00<br>49.5 | .94<br>48 | .87<br>46 | .82<br>44 | .79<br>42 | .76<br>40 | .74<br>38 | .71<br>32 | .69<br>22 |  |
|    | 50 | 60.1 | 58.8 | ESHF<br>ADP | 1.00<br>52.4 | .92<br>51 | .88<br>50 | .81<br>48 | .77<br>46 | .73<br>43 | .70<br>40 | .68<br>37 | .66<br>30 |  |
|    | 55 | 61.4 | 64.4 | ESHF<br>ADP | 1.00<br>54.9 | .93<br>54 | .83<br>52 | .77<br>50 | .72<br>48 | .68<br>45 | .66<br>42 | .64<br>39 | .63<br>36 |  |
|    | 60 | 62.7 | 70.2 | ESHF<br>ADP | 1.00<br>57.3 | .89<br>56 | .79<br>54 | .72<br>52 | .68<br>50 | .65<br>48 | .63<br>46 | .61<br>42 | .60<br>39 |  |
|    |    |      |      |             |              |           |           |           |           |           |           |           |           |  |
|    |    |      |      |             |              |           |           |           |           |           |           |           |           |  |

جدول ۱۲-۲ ارتباط دمای نقطه شبنم دستگاه با شرایط طرح داخل و نسبت بار محسوس مؤثر (ادامه)

72 - 55 F DB

| ROOM CONDITIONS |      |      |         | EFFECTIVE SENSIBLE HEAT FACTOR AND APPARATUS DEWPOINT* |      |     |     |     |     |     |     |     |  |
|-----------------|------|------|---------|--------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| DB              | RH   | WB   | W       |                                                        |      |     |     |     |     |     |     |     |  |
| (F)             | (%)  | (F)  | (gr/lb) |                                                        |      |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 72              | 65   | 64.0 | 76.3    | ESHF                                                   | 1.00 | .84 | .73 | .67 | .63 | .61 | .59 | .58 |  |
|                 |      |      |         | ADP                                                    | 59.5 | 58  | 56  | 54  | 52  | 50  | 48  | 47  |  |
| 70              | 65.2 | 82.3 |         | ESHF                                                   | 1.00 | .80 | .69 | .62 | .59 | .56 | .54 | .53 |  |
|                 |      |      |         | ADP                                                    | 61.6 | 60  | 58  | 56  | 54  | 51  | 48  | 44  |  |

|    |    |      |       |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|----|------|-------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 70 | 20 | 49.9 | 21.6  | ESHF | 1.00 | .98 | .96 | .94 | .93 |     |     |     |     |
|    |    |      |       | ADP  | 27.6 | 26  | 24  | 22  | 21  |     |     |     |     |
|    | 25 | 51.5 | 27.0  | ESHF | 1.00 | .97 | .94 | .92 | .90 | .88 |     |     |     |
|    |    |      |       | ADP  | 33.7 | 31  | 29  | 27  | 25  | 22  |     |     |     |
|    | 30 | 53.0 | 32.8  | ESHF | 1.00 | .98 | .94 | .91 | .88 | .86 | .84 | .82 |     |
|    |    |      |       | ADP  | 37.1 | 36  | 34  | 32  | 30  | 27  | 25  | 20  |     |
|    | 35 | 54.4 | 38.0  | ESHF | 1.00 | .97 | .93 | .89 | .86 | .84 | .82 | .80 | .78 |
|    |    |      |       | ADP  | 41.1 | 40  | 38  | 36  | 34  | 32  | 30  | 27  | 22  |
|    | 40 | 55.8 | 43.5  | ESHF | 1.00 | .95 | .90 | .86 | .83 | .80 | .78 | .76 | .74 |
|    |    |      |       | ADP  | 44.5 | 43  | 41  | 39  | 37  | 35  | 32  | 29  | 22  |
|    | 45 | 57.1 | 49.1  | ESHF | 1.00 | .93 | .87 | .82 | .79 | .77 | .75 | .73 | .71 |
|    |    |      |       | ADP  | 47.7 | 46  | 44  | 42  | 40  | 38  | 36  | 33  | 27  |
|    | 50 | 58.5 | 54.8  | ESHF | 1.00 | .92 | .84 | .80 | .76 | .74 | .71 | .69 | .67 |
|    |    |      |       | ADP  | 50.5 | 49  | 47  | 45  | 43  | 41  | 38  | 35  | 25  |
|    | 55 | 59.7 | 60.1  | ESHF | 1.00 | .93 | .83 | .77 | .73 | .71 | .68 | .66 | .64 |
|    |    |      |       | ADP  | 53.1 | 52  | 50  | 48  | 46  | 44  | 42  | 38  | 32  |
| 65 | 60 | 60.9 | 65.5  | ESHF | 1.00 | .89 | .79 | .73 | .69 | .66 | .64 | .62 | .61 |
|    |    |      |       | ADP  | 55.4 | 54  | 52  | 50  | 48  | 46  | 43  | 40  | 36  |
|    | 65 | 62.2 | 71.1  | ESHF | 1.00 | .93 | .78 | .71 | .66 | .63 | .61 | .59 | .58 |
|    |    |      |       | ADP  | 57.7 | 57  | 55  | 53  | 51  | 49  | 47  | 44  | 40  |
|    | 70 | 63.4 | 76.9  | ESHF | 1.00 | .90 | .74 | .66 | .61 | .59 | .57 | .56 | .55 |
|    |    |      |       | ADP  | 59.8 | 59  | 57  | 55  | 53  | 51  | 49  | 47  | 45  |
|    | 75 | 64.5 | 82.5  | ESHF | 1.00 | .88 | .70 | .62 | .57 | .55 | .53 | .52 | .51 |
|    |    |      |       | ADP  | 61.7 | 61  | 59  | 57  | 55  | 53  | 51  | 49  | 44  |
|    | 80 | 65.7 | 88.0  | ESHF | 1.00 | .87 | .73 | .65 | .60 | .54 | .51 | .49 | .48 |
|    |    |      |       | ADP  | 63.5 | 63  | 62  | 61  | 60  | 58  | 56  | 53  | 49  |
|    | 85 | 66.8 | 93.7  | ESHF | 1.00 | .71 | .56 | .52 | .50 | .48 | .47 | .46 | .45 |
|    |    |      |       | ADP  | 65.3 | 64  | 62  | 61  | 60  | 59  | 58  | 57  | 54  |
|    | 90 | 67.9 | 99.3  | ESHF | 1.00 | .66 | .56 | .50 | .47 | .45 | .43 | .42 | .41 |
|    |    |      |       | ADP  | 66.9 | 66  | 65  | 64  | 63  | 62  | 61  | 60  | 56  |
|    | 95 | 69.0 | 105.0 | ESHF | 1.00 | .60 | .47 | .42 | .39 | .38 | .37 |     |     |
|    |    |      |       | ADP  | 68.5 | 68  | 67  | 66  | 65  | 64  | 62  |     |     |

|    |    |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 65 | 60 | 56.6 | 55.0 | ESHF | 1.00 | .95 | .84 | .77 | .73 | .70 | .68 | .66 | .65 |
|    |    |      |      | ADP  | 50.6 | 50  | 48  | 46  | 44  | 42  | 39  | 36  | 34  |
|    | 65 | 57.7 | 59.7 | ESHF | 1.00 | .92 | .85 | .80 | .73 | .69 | .66 | .64 | .62 |
|    |    |      |      | ADP  | 52.9 | 52  | 51  | 50  | 48  | 46  | 44  | 41  | 37  |
|    | 70 | 58.9 | 64.5 | ESHF | 1.00 | .89 | .80 | .76 | .69 | .65 | .62 | .60 | .58 |
|    |    |      |      | ADP  | 55.0 | 54  | 53  | 52  | 50  | 48  | 46  | 43  | 37  |
|    | 75 | 59.9 | 69.2 | ESHF | 1.00 | .88 | .78 | .72 | .65 | .61 | .58 | .56 | .55 |
|    |    |      |      | ADP  | 56.9 | 56  | 55  | 54  | 52  | 50  | 48  | 45  | 41  |
|    | 80 | 51.0 | 73.8 | ESHF | 1.00 | .75 | .68 | .63 | .60 | .58 | .55 | .53 | .52 |
|    |    |      |      | ADP  | 58.7 | 57  | 56  | 55  | 54  | 53  | 51  | 48  | 46  |
| 65 | 85 | 62.0 | 78.6 | ESHF | 1.00 | .71 | .63 | .58 | .55 | .52 | .50 | .49 |     |
|    |    |      |      | ADP  | 60.3 | 59  | 58  | 57  | 56  | 54  | 52  | 50  |     |
|    | 90 | 63.0 | 83.2 | ESHF | 1.00 | .70 | .58 | .53 | .50 | .48 | .46 | .45 |     |
|    |    |      |      | ADP  | 61.9 | 61  | 60  | 59  | 58  | 57  | 55  | 53  |     |
|    | 95 | 64.0 | 88.0 | ESHF | 1.00 | .69 | .51 | .46 | .43 | .42 | .41 |     |     |
|    |    |      |      | ADP  | 63.5 | 63  | 62  | 61  | 60  | 59  | 58  |     |     |

| ROOM CONDITIONS |      |      |         | EFFECTIVE SENSIBLE HEAT FACTOR AND APPARATUS DEWPOINT* |      |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------|------|------|---------|--------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| DB              | RH   | WB   | W       |                                                        |      |     |     |     |     |     |     |     |     |
| (F)             | (%)  | (F)  | (gr/lb) |                                                        |      |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 60              | 52.3 | 46.2 |         | ESHF                                                   | 1.00 | .94 | .89 | .81 | .77 | .74 | .72 | .70 | .68 |
|                 |      |      |         | ADP                                                    | 46.0 | 45  | 44  | 42  | 40  | 38  | 36  | 34  | 28  |
| 65              | 53.3 | 50.0 |         | ESHF                                                   | 1.00 | .91 | .86 | .78 | .74 | .70 | .69 | .67 | .65 |
|                 |      |      |         | ADP                                                    | 48.1 | 47  | 46  | 44  | 42  | 40  | 39  | 36  | 31  |
| 70              | 54.3 | 53.9 |         | ESHF                                                   | 1.00 | .89 | .83 | .74 | .70 | .67 | .65 | .63 | .62 |
|                 |      |      |         | ADP                                                    | 50.1 | 49  | 48  | 46  | 44  | 42  | 40  | 37  | 34  |
| 75              | 55.3 | 57.8 |         | ESHF                                                   | 1.00 | .79 | .74 | .71 | .68 | .64 | .62 | .60 | .59 |
|                 |      |      |         | ADP                                                    | 52.0 | 50  | 49  | 48  | 47  | 45  | 43  | 40  | 37  |
| 80              | 56.3 | 61.7 |         | ESHF                                                   | 1.00 | .85 | .76 | .70 | .66 | .61 | .59 | .57 | .56 |
|                 |      |      |         | ADP                                                    | 53.8 | 53  | 52  | 51  | 50  | 48  | 46  | 44  | 41  |
| 85              | 57.2 | 65.5 |         | ESHF                                                   | 1.00 | .75 | .67 | .63 | .57 | .56 | .54 | .53 |     |
|                 |      |      |         | ADP                                                    | 55.4 | 54  | 53  | 52  | 50  | 49  | 47  | 45  |     |
| 90              | 58.2 | 69.4 |         | ESHF                                                   | 1.00 | .72 | .62 | .57 | .54 | .52 | .50 | .49 |     |
|                 |      |      |         | ADP                                                    | 57.0 | 56  | 55  | 54  | 53  | 52  | 50  | 47  |     |
| 95              | 59.1 | 73.5 |         | ESHF                                                   | 1.00 | .69 | .55 | .49 | .47 | .46 | .45 |     |     |
|                 |      |      |         | ADP                                                    | 58.5 | 58  | 57  | 56  | 55  | 54  | 52  |     |     |

|    |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 60 | 47.9 | 38.4 |      | ESHF | 1.00 | .93 | .89 | .85 | .80 | .77 | .75 | .73 | .71 |
|    |      |      |      | ADP  | 41.3 | 40  | 39  | 38  | 36  | 34  | 32  | 29  | 23  |
|    | 65   | 48.8 | 41.4 | ESHF | 1.00 | .91 | .86 | .83 | .78 | .74 | .72 | .70 | .68 |
|    |      |      |      | ADP  | 43.3 | 42  | 41  | 40  | 38  | 36  | 34  | 31  | 24  |
|    | 70   | 49.7 | 44.6 | ESHF | 1.00 | .90 | .84 | .80 | .74 | .71 | .69 | .67 | .66 |
|    |      |      |      | ADP  | 45.2 | 44  | 43  | 42  | 40  | 38  | 36  | 33  | 31  |
|    | 75   | 50.6 | 48.0 | ESHF | 1.00 | .89 | .82 | .74 | .69 | .66 | .65 | .64 | .63 |
|    |      |      |      | ADP  | 47.1 | 46  | 45  | 43  | 41  | 39  | 37  | 36  | 34  |
|    | 80   | 51.5 | 51.2 | ESHF | 1.00 | .88 | .79 | .74 | .67 | .64 | .62 | .61 | .60 |
|    |      |      |      | ADP  | 48.8 | 48  | 47  | 46  | 44  | 42  | 40  | 39  | 37  |
| 55 | 85   | 52.4 | 54.5 | ESHF | 1.00 | .77 | .70 | .66 | .63 | .60 | .58 | .57 |     |
|    |      |      |      | ADP  | 50.4 | 49  | 48  | 47  | 46  | 44  | 42  | 40  |     |
|    | 90   | 53.2 | 57.7 | ESHF | 1.00 | .76 | .67 | .61 | .58 | .55 | .54 | .53 |     |
|    |      |      |      | ADP  | 52.0 | 51  | 50  | 49  | 48  | 46  | 44  | 41  |     |
|    | 95   | 54.2 | 61.2 | ESHF | 1.00 | .69 | .58 | .54 | .51 | .49 |     |     |     |
|    |      |      |      | ADP  | 53.6 | 53  | 52  | 51  | 50  | 48  |     |     |     |

\*The values shown in the gray areas indicate the lowest effective sensible heat factor possible without the use of reheat. This limiting condition is the lowest effective sensible heat factor line that intersects the saturation curve. Note that the room dewpoint is equal to the required apparatus dewpoint for an effective sensible heat factor of 1.0.

#### NOTES FOR TABLE 65:

1. For Room Conditions Not Given: The apparatus dewpoint may be determined from the scale on the chart, or may be calculated as shown in the following equation:

$$ESHF = \frac{1}{1 + .628 \frac{(W_{rm} - W_{adp})}{(t_{rm} - t_{adp})}}$$

This equation in more familiar form is:

$$ESHF = \frac{0.244 (t_{rm} - t_{adp})}{0.244 (t_{rm} - t_{adp}) + \frac{1076}{7000} (W_{rm} - W_{adp})}$$

(Cont.)

## فصل سیزدهم

### کانال کشی و شبکه توزیع هوا

وظیفه سیستم کانال کشی انتقال هوا از دستگاه هواساز به فضاهای مورد نظر است. برای عملکرد مطلوب سیستم، طراحی باید با توجه به محدودیت‌های فضای اجراء، افت اصطکاکی، سرعت، سطح مجاز صدا، نشتی هوا و انتقال حرارت صورت گیرد. در این فصل معیارها و روش‌های طراحی شبکه توزیع هوا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۱-۱۳. تقسیم‌بندی شبکه‌های کانال کشی

سیستم کانال کشی رفت و برگشت را می‌توان با توجه به سرعت و فشار هوا در کانال تقسیم‌بندی نمود.

##### ۱-۱-۱۳. سرعت هوا

سیستم‌های انتقال هوا از جهت سرعت هوا در کانال به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱. سیستم‌های سرعت پایین (معمولی)
  ۲. سیستم‌های سرعت بالا
- هر چند مرز بین این سیستم‌ها دقیقاً مشخص نیست، مقادیر زیر می‌تواند به عنوان راهنما مورد استفاده قرار گیرد:

۱. سیستم تهویه مطبوع تجاری:
  - سرعت پایین: بین ۱۲۰۰ تا ۲۲۰۰ fpm و حداکثر تا ۲۵۰۰ fpm
  - سرعت بالا: بالاتر از ۲۵۰۰ fpm
۲. سیستم تهویه مطبوع صنعتی:
  - سرعت پایین: بین ۲۲۰۰ تا ۲۵۰۰ fpm و حداکثر تا ۲۵۰۰ fpm
  - سرعت بالا: بین ۲۵۰۰ تا ۵۰۰۰ fpm

معمولاً سیستم هوای برگشت، در صورت وجود، برای هر دو سیستم تغذیه هوای سرعت پایین و سرعت بالا به صورت سرعت پایین طراحی می‌گردد. گستره سرعت هوای برگشت در کاربردهای تجاری و صنعتی عبارت است از:

۱. سیستم تهویه مطبوع تجاری: بین ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ fpm حداکثر تا ۲۰۰۰ fpm
۲. سیستم تهویه مطبوع صنعتی: بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ fpm حداکثر تا ۲۵۰۰ fpm

##### ۲-۱-۱۳. فشار هوا

سیستم‌های توزیع هوا از جهت فشار هوا در کانال به سه دسته تقسیم می‌شوند که منطبق با تقسیم‌بندی فن‌هاست:

۱. فشار پایین: حداکثر تا ۳/۷۵ اینچ جیوه - فن کلاس ۱
  ۲. فشار متوسط: بین ۳/۷۵ تا ۶/۷۵ اینچ جیوه - فن کلاس ۲
  ۳. فشار بالا: بین ۶/۷۵ تا ۱۲/۲۵ اینچ جیوه - فن کلاس ۳
- فشارهای فوق مربوط به فشار کل و شامل افت در تجهیزات هواساز، کانال کشی و دریچه‌های هواست.

### ۱۳-۲. عوامل موثر بر طراحی شبکه کانال کشی

جهت تعیین بهترین شبکه توزیع هوا، علاوه بر بررسی فضاهای موجود، می‌بایست توازن بین هزینه اولیه و هزینه کاری سیستم نیز در نظر گرفته شود. هر چند رسیدن به طرح مناسب برای هر کاربرد مستلزم بررسی جداگانه است، اصول کلی ارائه شده در این بخش می‌تواند در این راه به مهندسین کمک کند.

#### ۱۳-۲-۱. عوامل اقتصادی

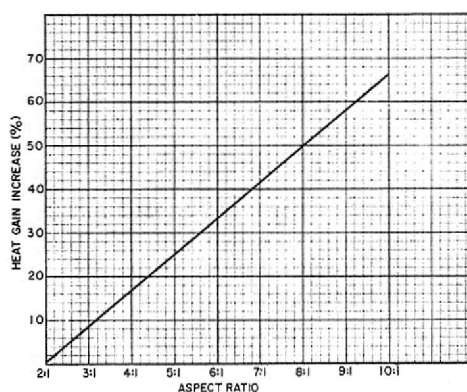
اصلی‌ترین عوامل موثر بر هزینه اولیه و کاری سیستم توزیع هوا عبارت است از:

##### ۱. انتقال حرارت از کانال‌ها:

- بالا بودن نسبت منطری (نسبت ضلع بزرگ به ضلع کوچک سطح مقطع کانال)، سطح جانبی کانال را بیشتر کرده و انتقال حرارت از کانال را افزایش می‌دهد. در شکل ۱۳-۱ اثر افزایش نسبت منطری کانال بر میزان انتقال حرارت از کانال نشان داده شده است.
- پایین بودن سرعت هوا در کانال انتقال حرارت از کانال را زیاد می‌کند.
- عایق کردن کانال انتقال حرارت از کانال را کاهش می‌دهد.

بنابراین در حالت کلی و با توجه به سایر محدودیت‌ها، کاهش نسبت منطری کانال و افزایش سرعت هوا، انتقال حرارت از کانال را کاهش می‌دهد. همچنین عایق کردن کانال‌ها بویژه در صورت عبور کانال از فضاهای تهویه نشده یا طولانی بودن مسیر کانال‌کشی، ضروری است.

۲. نسبت منطری کانال: افزایش نسبت منطری کانال علاوه بر بیشتر کردن میزان انتقال حرارت از کانال، هزینه اولیه (تهیه و نصب) و راهبری (افت فشار) سیستم را نیز افزایش می‌دهد. در شکل‌های ۱۳-۲ و ۱۳-۳ به ترتیب اثر افزایش نسبت منطری کانال بر هزینه اولیه و راهبری سیستم توزیع هوا نشان داده شده است. بهترین نسبت منطری بین ۱ تا ۲ بوده و حتی‌الامکان نباید از ۶ بیشتر شود.

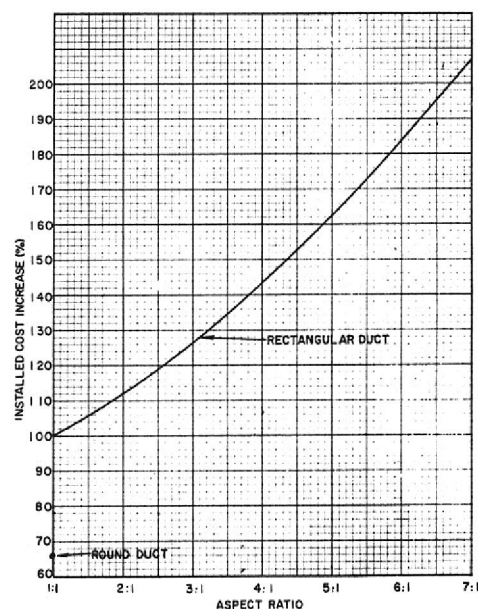
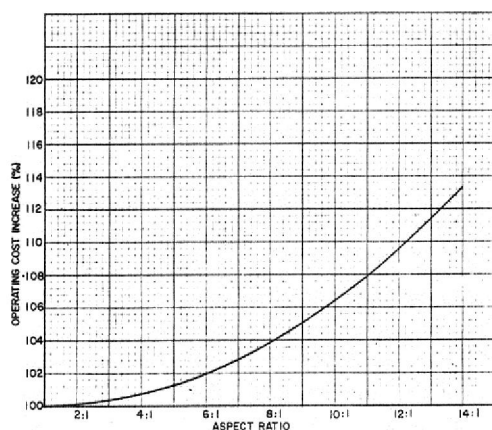


شکل ۱۳-۱ اثر نسبت منطری بر میزان انتقال حرارت کانال

۳. نوع اتصالات: همان‌طور که شکل ۱۳-۴ نشان می‌دهد، انواع اتصالات را می‌توان به دو دسته بدون پره و با پره تقسیم نمود. در حالت کلی هزینه اولیه اتصالات دسته دوم بیشتر بوده و لذا استفاده از اتصالات بدون پره هزینه تهیه و نصب را کاهش می‌دهد. به هر حال گاهی محدودیت‌های اجرایی استفاده از اتصالات با پره را اجتناب ناپذیر می‌سازد.

#### ۱۳-۲-۲. ملاحظات طراحی

پیش از تعیین اندازه کانال‌ها موارد متعددی می‌بایست مد نظر قرار گیرد. این موارد عبارت است از نحوه تغییر شکل کانال، شکل زانویی‌ها، نحوه انشعاب‌گیری و کنترل امکان چگالش رطوبت بر روی کانال



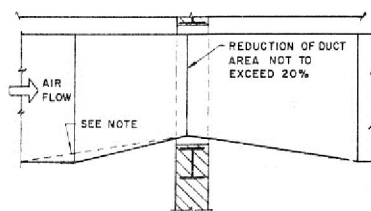
شکل ۱۳-۲ اثر نسبت منطری بر هزینه اولیه سیستم توزیع شکل ۱۳-۳ اثر نسبت منطری بر هزینه راهبری سیستم توزیع

| CLASS A—NO VANED FITTINGS                              |  |
|--------------------------------------------------------|--|
| Any fitting with constant cross-section dimensions.    |  |
| Any fitting with changing radius and constant width.   |  |
| Fittings with straight sides and seams.                |  |
| CLASS B—ALL VANED FITTINGS                             |  |
| Any fitting with concentric radii, and changing width. |  |
| Any fitting with eccentric radii and changing width.   |  |

شکل ۱۳-۴ انواع اتصالات: باپره و بدون پره

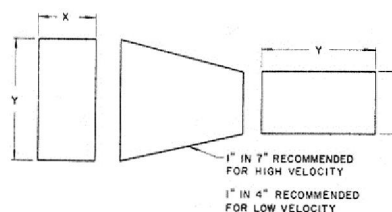
### ۱۳-۲-۲-۱. تغییر شکل کانال

غالباً در طراحی شبکه توزیع هوا، تغییر شکل مقطع کانال و افزایش یا کاهش سطح مقطع آن اجتناب ناپذیر است. مطابق شکل ۱۳-۵، شیب توصیه شده برای تغییر شکل کانال در شرایطی که سطح مقطع آن ثابت باشد، ۱ به ۷ بوده و در صورتیکه رعایت آن امکان پذیر نباشد می تواند حداکثر تا ۱ به ۴ افزایش یابد. گاهی برای جلوگیری از برخورد کانال با موانعی نظیر تیرهای ساختمان، مانند شکل ۱۳-۶، لازم است ابعاد کانال کاهش یابد. در چنین شرایطی ضمن رعایت شیب لازم جهت تغییر شکل، بهتر است کاهش سطح مقطع بیشتر از ۲۰٪ نباشد. در برخی از سیستم های توزیع هوا، تجهیزاتی نظیر کوئل گرمایش و فیلتر در کانال نصب می شود. سرعت مجاز روی این تجهیزات معمولاً کمتر از سرعت جریان هوا در کانال بوده و لذا ابعاد آنها بزرگتر از ابعاد کانال خواهد بود. در این شرایط، همان طور که در شکل ۱۳-۷ نشان داده شده است، شیب تغییر شکل کانال در بالادست تجهیز حداکثر ۳۰° و در پایین دست آن حداکثر ۴۵° می باشد.

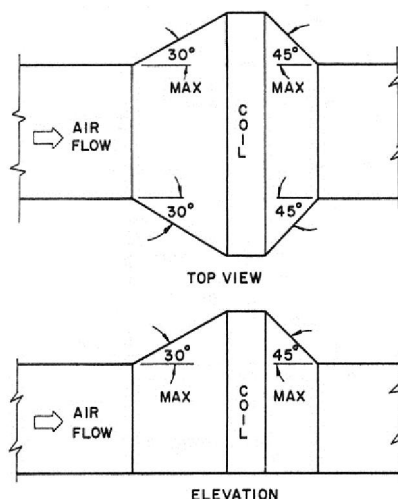


NOTE: 1:7 slope is recommended for high velocity,  
1:4 slope for low velocity.

شکل ۱۳-۶ نحوه عبور کانال از روی موانع



شکل ۱۳-۵ نحوه تغییر شکل کانال



شکل ۱۳-۷ نحوه تغییر شکل کانال جهت قرار دادن تجهیزات

۱۳-۲-۲. زانویی‌ها

انواع مختلفی از زانویی برای کانال‌های مستطیلی یا گرد وجود دارد. انواع متداول زانویی، به ترتیب هزینه ساخت، عبارت است از:

۱. کانال مستطیلی

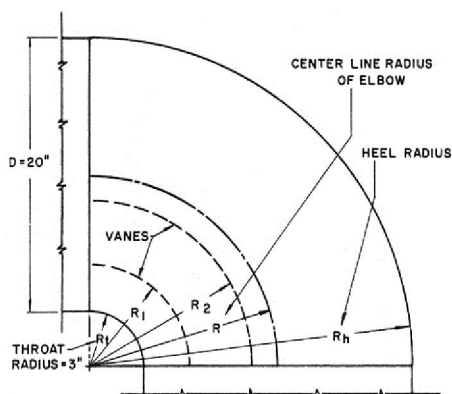
- زانویی شعاع کامل
- زانویی شعاع کوتاه (پره‌دار)
- زانویی مربعی (پره‌دار)

۲. کانال مدور

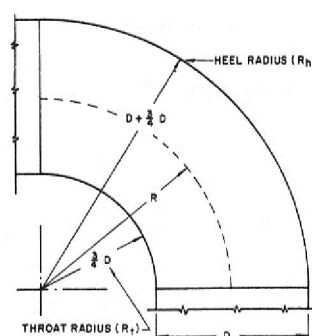
- زانویی صاف
- زانویی ۳ تکه
- زانویی ۵ تکه

مطابق شکل ۱۳-۸، در زانویی شعاع کامل، شعاع کوچک زانویی ۰/۷۵ عرض کانال بوده و به این ترتیب نسبت  $R/D$  برابر ۱/۲۵ می‌باشد. زانویی شعاع کوتاه پره‌دار در شکل ۱۳-۹ نشان داده شده و می‌تواند دارای یک، دو یا سه پره هدایت کننده باشد. تعیین تعداد و محل پره‌ها با استفاده از نمودار ۱۳-۱ صورت می‌گیرد. در شکل ۱۳-۱۰ زانویی مربعی پره‌دار نشان داده شده است. هزینه ساخت و میزان افت فشار زانویی در این نوع زانویی بیش از انواع دیگر بوده و لذا تنها در مواردی که محدودیت فضا ایجاب نماید، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نسبت  $R/D$  برای تمامی زانویی‌های مدور برابر ۱/۵ است. زانویی صاف کمترین هزینه و افت فشار را داشته و اولین گزینه جهت طراحی شبکه کانال‌کشی مدور محسوب می‌شود. زانویی‌های ۳ تکه و ۵ تکه به ندرت و تنها در مواردی که زانویی صاف موجود نباشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۹-۱۳ زانویی شعاع کوتاه (پره‌دار)

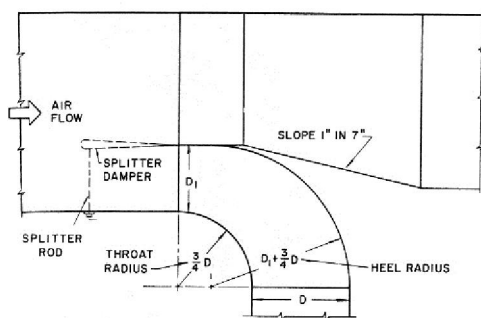


شکل ۸-۱۳ زانویی استاندارد

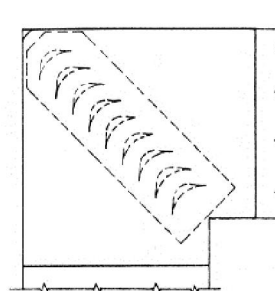
### ۱۳-۲-۳. انشعاب‌گیری

در شکل ۱۱-۱۳ متداول‌ترین روش جهت انشعاب‌گیری از کانال‌های مستطیلی نشان داده شده است. زانویی‌های شعاع کوتاه یا مربعی تنها در صورت عدم دسترسی به فضای کافی برای نصب مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقدار  $D_1$  با توجه به نسبت گذر حجمی عبوری از انشعاب به گذر حجمی مسیر اصلی مشخص شده و در صورت نیاز به تنظیم دقیق‌تر گذر حجمی، می‌توان مطابق شکل ۱۱-۱۳ از دمپر جداکننده (باد دزد) استفاده نمود. در سیستم‌های سرعت بالا معمولاً استفاده از دمپرهای حجمی جهت تنظیم گذر حجمی هوا در انشعابات ضروری است.

معمولاً بعد از هر انشعاب‌گیری سطح مقطع کانال کاهش می‌یابد. از آنجا که ابعاد استاندارد کانال‌ها همگی زوج است، حداقل کاهش ابعاد کانال ۲" بوده و به علاوه بهتر است کاهش سطح مقطع تنها از یک بعد صورت گیرد.



شکل ۱۱-۱۳ نوع متداول انشعاب‌گیری



شکل ۱۰-۱۳ زانویی مربعی (پره‌دار)

### ۱۳-۲-۴. چگالش رطوبت بر روی کانال

هنگامی که دمای سطح کانال پایین‌تر از دمای نقطه شبنم هوای اطراف باشد، امکان چگالش رطوبت بر روی کانال وجود خواهد داشت. از رابطه (۱-۱۳) می‌توان جهت محاسبه میزان عایق مورد نیاز برای پیشگیری از این مسئله استفاده نمود:

$$\frac{U}{f} = \frac{T_{rm} - T_{dp}}{T_{rm} - T_{sa}} \quad (1-13)$$

که در آن:

$T_{rm}$  دمای حباب خشک محیط اطراف کانال

$T_{dp}$  دمای نقطه شبنم محیط اطراف کانال

$T_{sa}$  دمای حباب خشک هوای تغذیه

$f$  ضریب انتقال حرارت فیلم هوای خارج کانال برحسب  $\text{Btu/hr.ft}^2.^\circ\text{F}$

$U$  ضریب انتقال حرارت کلی کانال برحسب  $\text{Btu/hr.ft}^2.^\circ\text{F}$

ضریب انتقال حرارت  $f$  برای کانال‌های رنگ شده ۱/۶۵ و برای کانال‌های فلزی رنگ نشده ۱/۰۵ بوده و ضریب انتقال حرارت کلی  $U$  را می‌توان از جدول ۱۳-۱ استخراج نمود.

### ۱۳-۳. طراحی کانال‌کشی

در این بخش اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی سیستم‌های کانال‌کشی سرعت پایین ارائه می‌گردد. این اطلاعات شامل نمودار اصطکاک کانال، افت فشار در زانویی‌ها و وصاله‌ها، مقادیر توصیه شده طراحی و تشریح روش‌های متداول طراحی سیستم توزیع هوا می‌باشد. طراحی سیستم‌های کانال‌کشی سرعت بالا عموماً مربوط به اماکن صنعتی بوده و از محدوده بحث خارج است. مراحل طراحی و محاسبه سیستم کانال‌کشی عبارت است از:

۱. تعیین محل دریچه‌های هوا و مسیر کانال‌کشی روی نقشه پلان: تعیین محل دریچه‌های رفت و در صورت لزوم برگشت هوا با توجه به نکات ارائه شده در بخش ۱۳-۵ صورت می‌گیرد. مسیر کانال‌کشی باید با توجه به فضاهای موجود و حتی‌الامکان ساده، متقارن، مستقیم و با کمترین وصاله‌ها طراحی گردد. در صورت وجود برگشت هوا، می‌توان از کانال‌کشی و یا راهرو ساختمان به این منظور استفاده نمود.
۲. تعیین اندازه کانال‌ها: با استفاده از یکی از سه روش ارائه شده در بخش ۱۳-۴، می‌توان اندازه کانال‌های هوا در انشعابات مختلف را محاسبه نمود.
۳. تعیین افت فشار کل شبکه: با مشخص بودن افت فشار در دریچه‌ها، مسیر کانال‌کشی رفت و برگشت و تجهیزات هواساز نظیر دمپرها، فیلترها و کویل‌ها می‌توان افت فشار کل شبکه را محاسبه نمود.

### ۱۳-۳-۱. نمودار اصطکاک

افت فشار در کانال هوا به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. سرعت هوا
۲. اندازه کانال
۳. زبری سطح داخلی کانال
۴. طول کانال

و مقدار آن را برای هوای استاندارد می‌توان از رابطه (۱۳-۲) محاسبه نمود:

$$\Delta P = 0.03f \left( \frac{L}{d^{1.22}} \right) \left( \frac{V}{1000} \right)^{1.82} \quad (13-2)$$

که در آن:

$\Delta P$  افت فشار برحسب اینچ آب

$f$  زبری سطح داخلی کانال (۰/۹ برای کانال گالوانیزه)

$L$  طول کانال برحسب ft

$d$  قطر (یا قطر معادل) کانال برحسب in

$V$  سرعت هوا برحسب fpm

با استفاده از رابطه (۱۳-۲) برای کانال‌های گالوانیزه، نمودار ۱۳-۲ بدست می‌آید که در دمای ۳۰ تا ۱۲۰°F و ارتفاع تا ۲۰۰۰ ft قابل بکارگیری است. برای سایر شرایط باید از ضریب تصحیح چگالی، که در نمودار ۱۳-۱ داده شده است، استفاده نمود.



## ۱۳-۳-۲. گذر حجمی هوا

گذر حجمی هوای تغذیه برای فضاهای مختلف با توجه به محاسبات بار حرارتی و برودتی تعیین می‌گردد.

## ۱۳-۳-۳. اندازه کانال

در حالت کلی استفاده از کانال با مقطع دایره‌ای به دلیل پایین بودن میزان انتقال حرارت، هزینه ساخت و افت فشار، بر کانال با مقطع مستطیلی ارجحیت دارد. با این وجود غالباً به دلیل محدودیت فضاهای موجود جهت نصب، مانند ارتفاع سقف کاذب، از کانال با سطح مقطع مستطیلی استفاده شده و بکارگیری کانال با مقطع دایره‌ای به اماکن صنعتی و ورزشی محدود می‌شود. در جدول ۱۳-۲ قطر و مساحت معادل کانال‌های مستطیلی ارائه شده است. محاسبات قطر معادل بر مبنای گذر حجمی و نرخ افت فشار یکسان صورت گرفته و لذا سطح مقطع معادل از سطح مقطع واقعی کانال کوچکتر می‌باشد. برای تعیین اندازه کانال‌های مستطیلی، ابتدا قطر معادل کانال از نمودار ۱۳-۲ و یا با استفاده از گذر حجمی و سرعت هوا در کانال تعیین شده و سپس اندازه مناسب با استفاده از جدول ۱۳-۲ مشخص می‌گردد. لازم به ذکر است چنانچه اندازه کانال‌های مستطیلی بدون استفاده از جدول ۱۳-۲ و مستقیماً با استفاده از سطح مقطع کانال تعیین شود، اندازه کانال بدست آمده کوچکتر بوده و لذا سرعت و نرخ افت فشار در آن بزرگتر از مقادیر طراحی خواهد بود.

## ۱۳-۳-۴. سرعت هوا

سرعت طراحی در سیستم توزیع هوا به سطح صدای مجاز و نیز هزینه اولیه و راهبری سیستم توزیع بستگی دارد. در جدول ۱۳-۳ مقادیر توصیه شده برای سرعت هوا در کانال‌های رفت و برگشت سیستم‌های سرعت پایین ارائه شده است.

## ۱۳-۳-۵. نرخ اصطکاک

نرخ اصطکاک در نمودار ۱۳-۲ بر حسب اینچ آب در ۱۰۰ ft طول معادل کانال کشی شامل تمامی طول کانال، زانویی‌ها و وصاله‌ها داده شده است. طول معادل وصاله‌های مختلف را می‌توان از جداول ۱۳-۴ و ۱۳-۵ استخراج نمود. در شبکه‌های نسبتاً ساده می‌توان طول معادل کانال کشی را ۱/۵ برابر طول مسیر در نظر گرفت.

## ۱۳-۳-۶. تبدیل فشار - سرعت در فن

علاوه بر افت فشار هوا در شبکه کانال کشی، تبدیل فشار - سرعت در خروجی فن نیز امکان‌پذیر بوده و مقدار این تبدیل، بویژه در سیستم‌های سرعت بالا، می‌تواند قابل توجه باشد. چنانچه سرعت هوا در کانال بیشتر از سرعت در خروجی فن باشد، افت فشار ناشی از تبدیل فشار استاتیکی به دینامیکی از رابطه (۱۳-۳) تعیین شده و در صورتی که سرعت هوا در کانال کمتر از سرعت در خروجی فن باشد، افزایش فشار ناشی از تبدیل فشار دینامیکی به استاتیکی از رابطه (۱۳-۴) محاسبه می‌گردد:

$$\Delta P = 1.1 \left[ \left( \frac{V_d}{4000} \right)^2 - \left( \frac{V_f}{4000} \right)^2 \right] \quad (۱۳-۳)$$

$$\Delta P = 0.75 \left[ \left( \frac{V_f}{4000} \right)^2 - \left( \frac{V_d}{4000} \right)^2 \right] \quad (۱۳-۴)$$

که در آن:

$\Delta P$  افت فشار یا افزایش فشار بر حسب اینچ آب

$V_d$  سرعت هوا در کانال بر حسب fpm

$V_f$  سرعت در خروجی فن بر حسب fpm

### ۴-۱۳. روش‌های طراحی سیستم توزیع هوا

به عنوان قاعده‌ای کلی طراحی مسیر کانال‌کشی باید حتی‌الامکان ساده و تا جای ممکن به صورت متقارن صورت گیرد. تعداد و محل دریچه‌های خروجی نیز باید به نحوی باشد که توزیع هوا در فضا به شکل مناسب انجام شود. روش‌های طراحی سیستم‌های سرعت پایین به ترتیب افزایش دقت عبارت است:

۱. روش کاهش سرعت
۲. روش ضریب افت فشار ثابت
۳. روش بازیافت فشار

افزایش دقت طراحی موجب می‌شود بالانس اولیه مورد نیاز پس از نصب و پیش از شروع کار سیستم کاهش یافته و عملکرد سیستم مطمئن‌تر باشد. برای طراحی کانال‌های برگشت و اگزاست غالباً استفاده از روش ضریب افت فشار ثابت توصیه می‌شود. لازم به ذکر است در هر یک از روش‌های فوق، فشار استاتیکی فن شامل موارد زیر می‌باشد:

۱. بیشترین افت فشار مسیر کانال‌کشی
۲. افت فشار استاتیکی دریچه‌ها که از روی مشخصات دریچه انتخابی مشخص شده و در شبکه‌های سرعت پایین حداکثر ۰/۱۵ اینچ آب است.
۳. تبدیل فشار - سرعت در فن از روابط (۳-۱۳) و (۴-۱۳)
۴. افت فشار استاتیکی اجزای هواساز شامل دمپرها، فیلترها، کویل‌ها و غیره

#### ۴-۱۳-۱. روش کاهش سرعت

رویه طراحی سیستم کانال در این روش شامل مراحل زیر است:

۱. انتخاب سرعت در خروجی فن با توجه به جدول ۳-۱۳
  ۲. کاهش دلخواه سرعت در طول مسیر کانال‌کشی
  ۳. تعیین قطر معادل کانال با استفاده از نمودار ۲-۱۳ با مشخص بودن گذر حجمی و سرعت هوا
  ۴. تعیین ابعاد کانال با استفاده از جدول ۲-۱۳
  ۵. تعیین فشار استاتیکی فن با محاسبه افت فشار در طولانی‌ترین مسیر معادل
- این روش نیازمند تجربه کافی بوده و تنها در مورد سیستم‌های کوچک و ساده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نهایت نیز شبکه طراحی شده نیازمند بالانس اولیه خواهد بود.

#### ۴-۱۳-۲. روش ضریب افت فشار ثابت

این روش معمول‌ترین راه جهت تعیین اندازه شبکه کانال‌کشی بوده و در آن از ضریب افت فشاری ثابت در تمام طول مسیر استفاده می‌شود. رویه معمول در روش ضریب افت فشار ثابت عبارت است از:

۱. انتخاب سرعت در خروجی فن با توجه به جدول ۳-۱۳
۲. تعیین ضریب افت فشار و قطر معادل در خروجی فن با استفاده از نمودار ۲-۱۳ با مشخص بودن گذر حجمی و سرعت هوا
۳. تعیین قطر معادل کانال در طول مسیر با استفاده از نمودار ۲-۱۳ با مشخص بودن ضریب افت فشار و گذر حجمی هوا
۴. تعیین ابعاد کانال با استفاده از جدول ۲-۱۳
۵. تعیین فشار استاتیکی فن با محاسبه افت فشار در طولانی‌ترین مسیر معادل

به جای استفاده از مراحل ۱ و ۲، معمولاً برای مسیر رفت از ضریب افت فشار ۰/۱ و برای مسیر برگشت از ضریب افت فشار ۰/۰۸ استفاده می‌شود (در حالت کلی‌تر ضریب افت فشار در مسیر برگشت معمولاً ۸۰٪ مسیر رفت در نظر گرفته می‌شود). همچنین برای سادگی می‌توان به جای نمودار ۲-۱۳، از جدول ۶-۱۳ جهت تعیین سطح مقطع معادل کانال در انشعابات استفاده کرده و سپس ابعاد کانال را از جدول ۲-۱۳ استخراج نمود.

خصوصیات این روش عبارت است از:

۱. به دلیل استفاده از ضریب افت فشار ثابت، با کاهش گذر حجمی جریان هوا در طول مسیر کانال کشی، سرعت هوا خودبخود کم می‌شود.
۲. به دلیل استفاده از ضریب افت فشار ثابت، نسبت به روش کاهش سرعت نیازمند بالانس کمتری است.
۳. از آنجا که هیچ تمهیدی جهت برابر کردن افت فشار در انشعابات و تأمین فشار استاتیکی مساوی در دریچه‌های خروجی پیش‌بینی نشده است، چنانچه اختلاف طول انشعابات شبکه قابل توجه باشد، مشکل بالانس سیستم همچنان وجود خواهد داشت. بنابراین روش فوق اساساً مناسب شبکه‌هایی است که از نظر طول انشعابات تقریباً متوازن باشد.

در صورتی که اختلاف طول انشعابات مختلف کانال کشی زیاد باشد، می‌توان از ضریب افت فشار در شاخه‌های کوتاه‌تر را به نحوی انتخاب نمود که میزان افت فشار در تمام مسیرها تقریباً برابر گردد. به هر حال سرعت در انشعابات نباید از حدود مجاز تجاوز کند. این روش، افت فشار متعادل یا ضریب افت فشار ثابت اصلاح شده نامیده می‌شود.

#### ۴-۴-۱۳. روش بازیافت فشار استاتیکی

در روش بازیافت فشار استاتیکی اندازه کانال به نحوی تعیین می‌گردد که افزایش فشار استاتیکی به دلیل کاهش سرعت در ابتدای هر انشعاب، افت اصطکاکی در قسمت بعدی کانال را جبران نماید. به این ترتیب افت فشار در هر انشعاب با افزایش فشار ناشی از کاهش سرعت هوا در ابتدای انشعاب برابر بوده و لذا فشار استاتیکی هوا در ابتدای تمامی انشعابات و دریچه‌های خروجی یکسان خواهد بود. رویه طراحی سیستم کانال به روش بازیافت فشار شامل مراحل زیر است:

۱. انتخاب سرعت در خروجی فن با توجه به جدول ۳-۱۳
۲. تعیین قطر معادل در خروجی فن با استفاده از نمودار ۲-۱۳ با مشخص بودن گذر حجمی و سرعت هوا
۳. تعیین نسبت  $L/Q$  برای هر انشعاب با استفاده از نمودار ۳-۱۳ با مشخص بودن گذر حجمی هوا و طول معادل انشعاب
۴. تعیین سرعت هوا در هر انشعاب با استفاده از نمودار ۴-۱۳ با مشخص بودن نسبت  $L/Q$  و سرعت هوا قبل از انشعاب
۵. تعیین قطر معادل کانال در هر انشعاب با استفاده از نمودار ۲-۱۳ با مشخص بودن گذر حجمی و سرعت هوا
۶. تعیین ابعاد کانال در هر انشعاب با استفاده از جدول ۲-۱۳
۷. تعیین فشار استاتیکی فن با محاسبه افت فشار در طولانی‌ترین مسیر معادل

خصوصیات این روش عبارت است از:

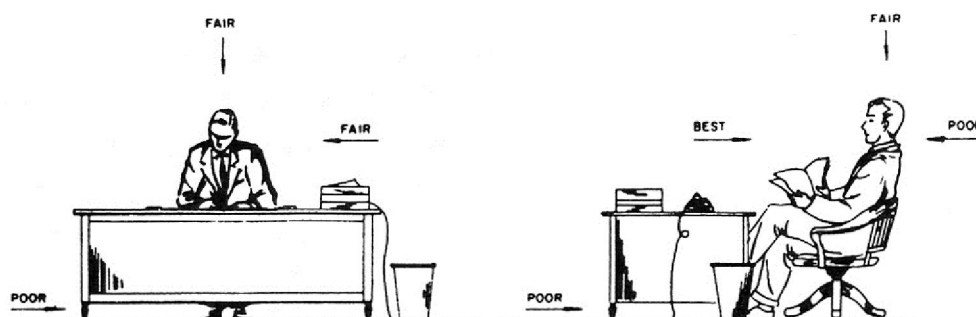
۱. به دلیل نکات مطرح شده در خصوص اندازه کانال در بخش ۳-۳-۱۳، ممکن است مقداری کاهش یا افزایش فشار در شبکه کانال کشی بوجود آید که لازم است بوسیله فن جبران گردد. با این وجود، مقدار این کاهش یا افزایش فشار غالباً ناچیز بوده و قابل صرف‌نظر می‌باشد.
۲. به دلیل یکسان بودن فشار در ابتدای انشعابات و دریچه‌های خروجی، نیازمند بالانس بسیار کمی است.
۳. فشار استاتیکی فن کمتر از سایر روش‌ها بوده و لذا قدرت موتور فن کمتر خواهد بود.
۴. اندازه کانال‌ها در این روش نسبت به روش ضریب افت فشار ثابت بزرگتر بوده و لذا هزینه اجرای آن بیشتر خواهد بود. با این وجود، افزایش هزینه اولیه با کاهش زمان بالانس و هزینه راهبری سیستم جبران می‌شود.

#### ۵-۱۳. دریچه‌های هوا

پس از انتقال هوای تغذیه به فضاها، لازم است هوا به صورت مناسب در محیط توزیع گردد. در طراحی سیستم توزیع رعایت نکات زیر حائز اهمیت است:

۱. دما: توزیع هوا می‌بایست به گونه‌ای صورت گیرد که اختلاف دما در نقاط مختلف محیط از  $3^{\circ}\text{F}$  تجاوز نکند. حساسیت به تغییرات دمایی در زمستان بیش از تابستان است.

۲. سرعت هوا: جدول ۷-۱۳ نشان‌دهنده اثر سرعت جریان هوا بر روی ساکنین است. لازم به ذکر است که سرعت‌های ارائه شده در جدول فوق مربوط به سرعت نهایی جریان در اتاق بوده و ارتباط مستقیمی با سرعت خروج هوا از دریچه‌ها ندارد. در اغلب موارد، بهتر است سرعت جریان هوا بین ۲۵ تا ۵۰ fpm باشد.
۳. جهت جریان هوا: چنانچه نحوه نشستن ساکنین مشخص باشد، می‌توان از شکل ۱۲-۱۳، در کنار سایر مسایل طراحی و اجرایی، به عنوان راهنما برای انتخاب جهت مناسب جریان هوا استفاده نمود.



شکل ۱۲-۱۳ جهت مناسب برای وزش هوا به ساکنین

پارامترهای موثر بر عملکرد دریچه‌های هوا عبارت است از:

۱. پرتاب: فاصله افقی که هوا پس از خروج از دریچه تا رسیدن به سرعت حدی طی می‌کند. سرعت حدی معمولاً ۵۰ fpm بوده و در فاصله ۶/۵ ft از کف اندازه‌گیری می‌شود. پرتاب متناسب با سرعت هوای خروجی از دریچه بوده و مستقل از اختلاف دمای هوای تغذیه و اتاق است. معمولاً پوشش کامل عرض اتاق به وسیله پرتاب هوا ضروری نبوده و پوشش ۷۵٪ فاصله دریچه تا دیوار مقابل کافی خواهد بود.
۲. افت: فاصله عمودی که هوا از زمان خروج از دریچه تا زمان رسیدن به انتهای پرتاب طی می‌کند. افت علاوه بر سرعت هوای خروجی به اختلاف دمای هوای تغذیه و اتاق نیز بستگی داشته و لازم است در انتخاب ابعاد دریچه، با توجه به ارتفاع سقف و موانع مقابل جریان هوا، مورد بررسی قرار گیرد.
۳. نسبت القا: جریان یافتن بخشی از هوای اتاق (هوای ثانویه) به وسیله هوای خروجی از دریچه (هوای اولیه) القا نامیده می‌شود. با استفاده از معادله بقای جرم و مومنوم می‌توان نوشت:

$$M_1 V_1 + M_2 V_2 = (M_1 + M_2) V_3 \quad (۵-۱۳)$$

که در آن:

- $M_1$  جرم هوای اولیه
- $M_2$  جرم هوای ثانویه
- $V_1$  سرعت هوای اولیه
- $V_2$  سرعت هوای ثانویه
- $V_3$  سرعت هوای کل

نسبت القا عبارت است از:

$$R = \frac{M_1 + M_2}{M_1} \quad (۶-۱۳)$$

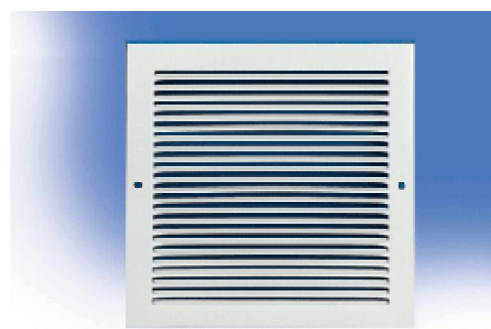
### ۱۳-۵-۱. انواع دریچه‌ها

انواع دریچه هوای مورد استفاده در سیستم کانال‌کشی عبارت است:

۱. دریچه دیواری ساده (Grill): مطابق شکل‌های ۱۳-۱۳ و ۱۴-۱۳ دارای یک یا دو ردیف پره‌های افقی و عمودی ثابت بوده و معمولاً جهت دریچه هوای برگشت یا تخلیه بکار می‌رود.
۲. دریچه دیواری دمپر دار (Register): چنانچه دریچه دارای دمپر باشد، Register نامیده شده و عمدتاً به عنوان دریچه هوای رفت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

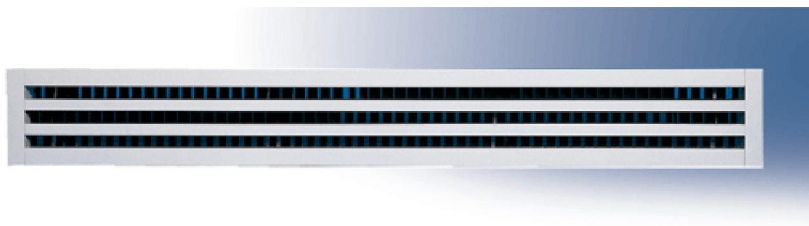


شکل ۱۴-۱۳ دریچه دیواری دو طرفه



شکل ۱۳-۱۳ دریچه دیواری یک طرفه

۳. دریچه خطی (Linear Slot Diffuser): این نوع دریچه نیز به عنوان دریچه هوای رفت مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر چند کارایی دریچه‌های خطی تقریباً مشابه نوع دیواری است، اما سطح موثر آنها کمتر بوده و پرتاب هوا، به دلیل بالاتر بودن اثر القایی جریان در خروج از دریچه، کوتاه‌تر است. استفاده از این دریچه‌ها در مکان‌های تجاری-اداری لوکسی که شکل ظاهری سیستم توزیع و تطابق آن با دکوراسیون داخلی حائز اهمیت است، متداول می‌باشد. شکل ۱۳-۱۵ نمونه‌ای از دریچه خطی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵-۱۳ دریچه خطی



شکل ۱۶-۱۳ جت نازل

۴. جت نازل (Jet Nozzle): تحت فشار بالا عمل کرده و به دلیل زیاد بودن سرعت هوای خروجی، نسبت القا در آنها بالا است. از جت نازل‌ها عمدتاً در اماکن صنعتی یا برای سرمایش و گرمایش موضعی استفاده می‌شود. در شکل ۱۳-۱۶ نمونه‌ای از جت نازل نشان داده شده است.
۵. دریچه سقفی (Diffuser): همان‌طور که در شکل‌های ۱۳-۱۷ و ۱۸-۱۳ نشان داده شده است، به صورت گرد یا چهارگوش ساخته شده و با استفاده از تیغه‌های متحرک امکان تنظیم گذر حجمی جریان را فراهم می‌آورد. دریچه‌های قسمت پایینی شکل ۱۳-۱۷ را نوع گردابی یا خورشیدی نیز

می‌نامند. تجربه نشان می‌دهد که اجرای دریچه‌های سقفی نسبت به نوع دیواری ساده‌تر بوده و کوران کمتری در اتاق ایجاد می‌کند. از آنجا که شرایط هوای ورودی به دریچه‌های سقفی در عملکرد آنها تاثیر بسزایی دارد، در ورودی آنها معمولاً از پره‌های هدایت‌کننده استفاده می‌شود.



شکل ۱۳-۱۸ دریچه سقفی چهارگوش

شکل ۱۳-۱۷ دریچه سقفی گرد و گردابی (خورشیدی)

### ۱۳-۵-۲. سرعت هوا در دریچه‌ها

سرعت هوا در دریچه‌های هوای رفت و برگشت با توجه به حد مجاز صدا در اماکن مختلف محدود می‌شود. جداول ۱۳-۸ و ۱۳-۹ به ترتیب حداکثر سرعت در دریچه‌های رفت و برگشت را برای کاربردهای مختلف نشان می‌دهد.

### ۱۳-۵-۳. محل قرارگیری دریچه‌ها

در حالت کلی چیدمان و محل دریچه‌های رفت و برگشت باید با در نظر گرفتن مجموعه عوامل مختلفی شامل معماری داخلی، اسکلت ساختمان، موقعیت پنجره‌ها و سطوح خارجی و فضاهای موجود جهت اجرا تعیین گردد. با این وجود، رعایت اصول ارائه شده در این بخش در بهبود عملکرد سیستم توزیع موثر است.

دریچه‌های رفت دیواری باید حتی‌الامکان در بالای دیوار و در ارتفاع نصب گردد. چنانچه سقف دارای موانعی نظیر تیر نمایان باشد، بهتر است دریچه تا محلی که هوا بدون برخورد با مانع جریان یابد، پایین آورده شود. همانطور که پیش از این ذکر شد، استفاده از دریچه‌های سقفی، بویژه در شرایطی که گذر حجمی هوای ورودی به حدود ۲ cfm بر فوت مربع مساحت برسد، ارجحیت دارد.

جهت برگشت هوا، در صورت لزوم، می‌توان از یکی از روش‌های زیر استفاده نمود:

۱. استفاده از کانال برگشت: این روش اگر چه بهترین روش محسوب می‌شود اما به دلیل افزایش مقدار و هزینه کانال کشی و نیز محدودیت‌های مربوط به فضای اجرا، بویژه ارتفاع سقف کاذب و داکت‌ها، در بسیاری از موارد قابل اجرا نیست.

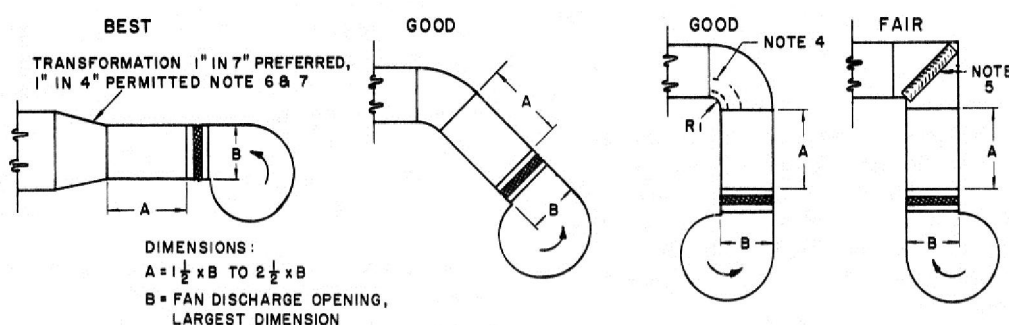
۲. استفاده از راهرو: در این روش دریچه‌های برگشت هوا در پایین درها (دریچه پادری) نصب شده و از راهرو ساختمان به عنوان مسیر بازگشت هوا استفاده می‌شود. دریچه برگشت دستگاه هواساز نیز بر روی دیوار اتاق هواساز و در نزدیکی دستگاه قرار می‌گیرد. به این ترتیب علاوه بر کاهش میزان کانال‌کشی، نیاز حرارتی و برودتی راهروها نیز تأمین می‌گردد. از این روش معمولاً در ساختمان‌های عمومی، اداری و هتل‌ها استفاده می‌شود.

۳. استفاده از سقف کاذب: در این روش از سقف کاذب اتاق جهت جمع‌آوری هوای برگشتی استفاده شده و سپس هوای برگشتی از طریق یک یا چند دریچه به دستگاه هواساز منتقل می‌گردد. از آنجا که در این روش هوای برگشتی از داخل سقف کاذب عبور می‌کند، رعایت نکات بهداشتی نظیر نازک‌کاری داخل سقف کاذب، روکشدار بودن عایق کانال‌ها و استفاده از فیلتر مناسب در دستگاه حائز اهمیت است.

حتی چنانچه سرعت هوا در دریچه برگشت نسبتاً بالا باشد، در فاصله کوتاهی از دریچه سرعت هوا سریعاً افت کرده و لذا محل دریچه‌های برگشت نسبت به دریچه‌های رفت از اهمیت کمتری برخوردار است. معمولاً استفاده از دریچه برگشت سقفی، به خصوص در مواردی که ارتفاع سقف بیشتر از ۵ متر باشد، توصیه نمی‌شود زیرا ممکن است بخشی از هوا به صورت میان‌بر خارج شده و گردش هوا برای رسیدن هوا به کف اتاق، به ویژه در فصل زمستان، کافی نباشد. بهترین محل جهت نصب دریچه برگشت روی دیوار و در فاصله ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتری بالای کف است. به این ترتیب در فصل زمستان که اثرات شناوری موجب کاهش جریان هوای گرم می‌شود، هوای سرد از پایین مکش شده و با هوای گرم بالا جایگزین می‌گردد.

### ۱۳-۶. نکات اجرایی کانال‌کشی

۱. در شکل ۱۳-۱۹ روش‌های مختلف جهت اتصال کانال به دهانه دهش فن نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۱۹ روش‌های مختلف اتصال کانال به دهانه دهش فن

۲. جنس کانال‌ها معمولاً از ورق گالوانیزه بوده و ضخامت ورق آنها از جدول ۱۳-۱۰ تعیین می‌گردد.

۳. در نقاط نصب دمپر اتوماتیک، کوئل، ترموستات و سایر تجهیزاتی که نیازمند سرویس است، پیش‌بینی دریچه بازدید ضروری است.

۴. اتصال فلنج‌ها به بدنه کانال با پرچ گالوانیزه و اتصال فلنج‌ها به یکدیگر با پیچ و مهره گالوانیزه صورت می‌گیرد.

۵. جهت آب‌بندی کانال‌ها در محل اتصال از نخ نسوز استفاده می‌شود.

۶. جهت عایق کردن کانال‌ها معمولاً از پشم شیشه یا پشم سنگ استفاده می‌شود. ضخامت عایق برای کانال‌های داخلی حداقل ۱" و برای کانال‌های خارجی حداقل ۲" بوده و کانال‌های برگشت و تخلیه معمولاً نیازی به عایق ندارند. به دو دلیل روکشدار بودن سطح خارجی عایق‌های معدنی ضروری است: اولاً برای جلوگیری از پخش شدن ذرات عایق و ثانیاً برای پیش‌گیری از خوردگی عایق در اثر چگالش رطوبت بر روی آن در کانال‌های هوای سرد. به این منظور عموماً یکی از موارد زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

▪ کاغذ کرافت و سیم‌پیچی با مفتول گالوانیزه

- کاغذ کرافت و پوشش پارچه‌ای متقال یا کرباس با ماستیک و رنگ روغنی
  - روکش آلومینیومی با نوارچسب مخصوص درزبندی و بست‌های حلقوی آلومینیومی
۷. برای جلوگیری از انتقال لرزش دستگاه هواساز به شبکه کانال‌کشی، اتصال کانال به دستگاه با برزنت به عرض حداقل ۵۰ سانتیمتر انجام می‌شود.
۸. در کانال‌های مستقیم لازم است در محل‌های مناسب اتصال برزنتی جهت تغییر طول کانال پیش‌بینی گردد.



## جدول ١٣-١ ضریب انتقال حرارت کلی کانال

| TYPE DUCT INSULATION                 | FINISH                        | TOTAL THICKNESS (in.) | WEIGHT (lb/sq ft) | K * | U †    |
|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------|-----|--------|
| Uninsulated Sheet Metal              | None                          | —                     | —                 | —   | 1.14 ‡ |
|                                      | Metal lath and plaster — 3/4" | —                     | —                 | —   | .99    |
|                                      | Wood lath and plaster — 3/4"  | —                     | —                 | —   | .79    |
| Corkboard                            | None                          | 1                     | 0.7               | .28 | .22    |
|                                      | None                          | 2                     | 1.4               | —   | .12    |
|                                      | Plaster — 3/8"                | 1                     | 2.2               | .28 | .22    |
|                                      | Plaster — 3/8"                | 2                     | 2.9               | —   | .12    |
| Corrugated Asbestos Paper (air cell) | None                          | 1                     | 0.73              | .50 | .34    |
|                                      | None                          | 2                     | 1.46              | —   | .20    |
| Rock Cork                            | None                          | 1                     | 1.35              | .35 | .23    |
|                                      | None                          | 2                     | 2.7               | —   | .13    |
|                                      | Plaster — 3/8"                | 1                     | 2.9               | .35 | .23    |
|                                      | Plaster — 3/8"                | 2                     | 4.2               | —   | .13    |
| Mineral Wool Blanket                 | None                          | 1                     | 1.17              | .28 | .22    |
|                                      | None                          | 2                     | 2.35              | —   | .12    |
| Glass Fiber                          | None                          | 1                     | .08               | .27 | .21    |
|                                      | None                          | 2                     | .17               | —   | .10    |
| 85% Magnesia                         | None                          | 1                     | 1.0               | .39 | .26    |

\*Conductivity of insulating material only (per in.)

†Overall U for still air outside duct and 1200 fpm inside duct.

‡Uninsulated Bare Duct.

| Air Velocity (fpm) | 400 | 800  | 1200 | 1600 | 2000 |
|--------------------|-----|------|------|------|------|
| Overall U          | .98 | 1.08 | 1.14 | 1.19 | 1.22 |

## جدول ۱۳-۲ قطر معادل کانال های مستطیلی

| SIDE | 6             |             | 8             |             | 10            |             | 12            |             | 14            |             | 16            |             | 18            |             | 20            |             | 22            |             |
|------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
|      | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. |
| 10   | .39           | 8.4         | .52           | 9.8         | .65           | 10.9        |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 12   | .45           | 9.1         | .62           | 10.7        | .77           | 11.9        | .94           | 13.1        |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 14   | .52           | 9.8         | .72           | 11.5        | .91           | 12.9        | 1.09          | 14.2        | 1.28          | 15.3        |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 16   | .59           | 10.4        | .81           | 12.2        | 1.02          | 13.7        | 1.24          | 15.1        | 1.45          | 16.3        | 1.67          | 17.5        |               |             |               |             |               |             |
| 18   | .66           | 11.0        | .91           | 12.9        | 1.15          | 14.5        | 1.40          | 16.0        | 1.63          | 17.3        | 1.87          | 18.5        | 2.12          | 19.7        |               |             |               |             |
| 20   | .72           | 11.5        | .99           | 13.5        | 1.26          | 15.2        | 1.54          | 16.8        | 1.81          | 18.2        | 2.07          | 19.5        | 2.34          | 20.7        | 2.61          | 21.9        |               |             |
| 22   | .78           | 12.0        | 1.08          | 14.1        | 1.38          | 15.9        | 1.69          | 17.6        | 1.99          | 19.1        | 2.27          | 20.4        | 2.57          | 21.7        | 2.86          | 22.9        | 3.17          | 24.1        |
| 24   | .84           | 12.4        | 1.16          | 14.6        | 1.50          | 16.6        | 1.83          | 18.3        | 2.14          | 19.8        | 2.47          | 21.3        | 2.78          | 22.6        | 3.11          | 23.9        | 3.43          | 25.1        |
| 26   | .89           | 12.8        | 1.26          | 15.2        | 1.61          | 17.2        | 1.97          | 19.0        | 2.31          | 20.6        | 2.66          | 22.1        | 3.01          | 23.5        | 3.35          | 24.8        | 3.71          | 26.1        |
| 28   | .95           | 13.2        | 1.33          | 15.6        | 1.71          | 17.7        | 2.09          | 19.6        | 2.47          | 21.3        | 2.86          | 22.9        | 3.25          | 24.4        | 3.60          | 25.7        | 4.00          | 27.1        |
| 30   | 1.01          | 13.6        | 1.41          | 16.1        | 1.82          | 18.3        | 2.22          | 20.2        | 2.64          | 22.0        | 3.06          | 23.7        | 3.46          | 25.2        | 3.89          | 26.7        | 4.27          | 28.0        |
| 32   | 1.07          | 14.0        | 1.48          | 16.5        | 1.93          | 18.8        | 2.36          | 20.8        | 2.81          | 22.7        | 3.25          | 24.4        | 3.68          | 26.0        | 4.12          | 27.5        | 4.55          | 28.9        |
| 34   | 1.13          | 14.4        | 1.58          | 17.0        | 2.03          | 19.3        | 2.49          | 21.4        | 2.96          | 23.3        | 3.43          | 25.1        | 3.89          | 26.7        | 4.37          | 28.3        | 4.81          | 29.7        |
| 36   | 1.18          | 14.7        | 1.65          | 17.4        | 2.14          | 19.8        | 2.61          | 21.9        | 3.11          | 23.9        | 3.63          | 25.8        | 4.09          | 27.4        | 4.58          | 29.0        | 5.07          | 30.5        |
| 38   | 1.23          | 15.0        | 1.73          | 17.8        | 2.25          | 20.3        | 2.76          | 22.5        | 3.27          | 24.5        | 3.80          | 26.4        | 4.30          | 28.1        | 4.84          | 29.8        | 5.37          | 31.4        |
| 40   | 1.28          | 15.3        | 1.81          | 18.2        | 2.33          | 20.7        | 2.88          | 23.0        | 3.43          | 25.1        | 3.97          | 27.0        | 4.52          | 28.8        | 5.07          | 30.5        | 5.62          | 32.1        |
| 42   | 1.33          | 15.6        | 1.86          | 18.5        | 2.43          | 21.1        | 2.98          | 23.4        | 3.57          | 25.6        | 4.15          | 27.6        | 4.71          | 29.4        | 5.31          | 31.2        | 5.86          | 32.8        |
| 44   | 1.38          | 15.9        | 1.95          | 18.9        | 2.52          | 21.5        | 3.11          | 23.9        | 3.71          | 26.1        | 4.33          | 28.2        | 4.90          | 30.0        | 5.55          | 31.9        | 6.12          | 33.5        |
| 46   | 1.43          | 16.2        | 2.01          | 19.2        | 2.61          | 21.9        | 3.22          | 24.3        | 3.88          | 26.7        | 4.49          | 28.7        | 5.10          | 30.6        | 5.76          | 32.5        | 6.37          | 34.2        |
| 48   | 1.48          | 16.5        | 2.09          | 19.6        | 2.71          | 22.3        | 3.35          | 24.8        | 4.03          | 27.2        | 4.65          | 29.2        | 5.30          | 31.2        | 5.97          | 33.1        | 6.64          | 34.9        |
| 50   |               |             | 2.16          | 19.9        | 2.81          | 22.7        | 3.46          | 25.2        | 4.15          | 27.6        | 4.84          | 29.8        | 5.51          | 31.8        | 6.19          | 33.7        | 6.87          | 35.5        |
| 52   |               |             | 2.22          | 20.2        | 2.91          | 23.1        | 3.57          | 25.6        | 4.30          | 28.1        | 5.00          | 30.3        | 5.72          | 32.4        | 6.41          | 34.3        | 7.14          | 36.0        |
| 54   |               |             | 2.29          | 20.5        | 2.98          | 23.4        | 3.71          | 26.1        | 4.43          | 28.5        | 5.17          | 30.8        | 5.90          | 32.9        | 6.64          | 34.9        | 7.38          | 36.8        |
| 56   |               |             | 2.38          | 20.9        | 3.09          | 23.8        | 3.83          | 26.5        | 4.55          | 28.9        | 5.31          | 31.2        | 6.08          | 33.4        | 6.87          | 35.5        | 7.62          | 37.4        |
| 58   |               |             | 2.43          | 21.1        | 3.19          | 24.2        | 3.94          | 26.9        | 4.68          | 29.3        | 5.48          | 31.7        | 6.26          | 33.9        | 7.06          | 36.0        | 7.87          | 38.0        |
| 60   |               |             | 2.50          | 21.4        | 3.27          | 24.5        | 4.06          | 27.3        | 4.84          | 29.8        | 5.65          | 32.2        | 6.50          | 34.5        | 7.26          | 36.5        | 8.12          | 38.6        |
| 64   |               |             | 2.64          | 22.0        | 3.46          | 25.2        | 4.24          | 27.9        | 5.10          | 30.6        | 5.91          | 33.1        | 6.87          | 35.5        | 7.71          | 37.6        | 8.59          | 39.7        |
| 68   |               |             |               |             | 3.63          | 25.8        | 4.49          | 28.7        | 5.37          | 31.4        | 6.26          | 33.9        | 7.18          | 36.3        | 8.12          | 38.6        | 9.03          | 40.7        |
| 72   |               |             |               |             | 3.83          | 26.5        | 4.71          | 29.4        | 5.69          | 32.3        | 6.60          | 34.8        | 7.54          | 37.2        | 8.50          | 39.5        | 9.52          | 41.8        |
| 76   |               |             |               |             | 4.09          | 27.4        | 4.91          | 30.0        | 5.86          | 32.8        | 6.83          | 35.4        | 7.95          | 38.2        | 8.90          | 40.4        | 9.98          | 42.8        |
| 80   |               |             |               |             | 4.15          | 27.6        | 5.17          | 30.8        | 6.15          | 33.6        | 7.22          | 36.4        | 8.29          | 39.0        | 9.21          | 41.1        | 10.4          | 43.8        |
| 84   |               |             |               |             |               |             | 5.41          | 31.5        | 6.41          | 34.5        | 7.54          | 37.2        | 8.55          | 39.6        | 9.75          | 42.3        | 10.8          | 44.6        |
| 88   |               |             |               |             |               |             | 5.58          | 32.0        | 6.64          | 34.9        | 7.87          | 38.0        | 8.94          | 40.5        | 10.1          | 43.1        | 11.2          | 45.4        |
| 92   |               |             |               |             |               |             | 5.79          | 32.6        | 6.91          | 35.6        | 8.12          | 38.6        | 9.39          | 41.5        | 10.4          | 43.8        | 11.7          | 46.3        |
| 96   |               |             |               |             |               |             | 5.90          | 33.0        | 7.14          | 36.2        | 8.40          | 39.2        | 9.70          | 42.1        | 10.8          | 44.5        | 12.1          | 47.2        |
| 100  |               |             |               |             |               |             |               |             | 7.40          | 36.9        | 8.50          | 39.5        | 9.80          | 42.5        | 11.3          | 45.5        | 12.3          | 47.6        |
| 104  |               |             |               |             |               |             |               |             | 7.60          | 37.4        | 8.90          | 40.5        | 10.3          | 43.5        | 11.6          | 46.2        | 13.0          | 48.8        |
| 108  |               |             |               |             |               |             |               |             | 7.90          | 38.0        | 9.20          | 41.2        | 10.6          | 44.0        | 12.0          | 47.0        | 13.4          | 49.6        |
| 112  |               |             |               |             |               |             |               |             | 8.10          | 38.6        | 9.50          | 41.8        | 10.9          | 44.7        | 12.3          | 47.5        | 13.8          | 50.3        |
| 116  |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             | 9.80          | 42.4        | 11.3          | 45.5        | 12.6          | 48.1        | 14.3          | 51.3        |
| 120  |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             | 10.0          | 42.8        | 11.5          | 46.0        | 13.1          | 49.1        | 14.4          | 51.5        |
| 124  |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             | 10.3          | 43.5        | 11.9          | 46.7        | 13.4          | 49.6        | 15.0          | 52.4        |
| 128  |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             | 10.6          | 44.1        | 12.1          | 47.1        | 13.8          | 50.4        | 15.5          | 53.3        |
| 132  |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             | 12.5          | 47.9        | 14.1          | 50.9        | 15.8          | 53.9        |
| 136  |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             | 12.8          | 48.5        | 14.5          | 51.6        | 16.2          | 54.5        |
| 140  |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             | 13.0          | 48.8        | 14.7          | 52.0        | 16.5          | 55.0        |
| 144  |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             | 13.3          | 49.4        | 15.2          | 52.9        | 16.8          | 55.6        |

\*Circular equivalent diameter (d<sub>c</sub>). Calculated from  $d_c = 1.3 \frac{(ab)^{0.25}}{(a+b)^{0.25}}$ 

†Large numbers in table are duct class.

جدول ۱۳-۲ قطر معادل کانال های مستطیلی (ادامه)

| SIDE | 24            |             | 26            |             | 28            |             | 30            |             | 32            |             | 34            |             | 36            |             | 38            |             | 40            |             |
|------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
|      | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. | Area<br>sq ft | Diam<br>in. |
| 10   |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 12   |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 14   |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 16   |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 18   |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 20   |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 22   |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 24   | 3.74          | 26.2        |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 26   | 4.03          | 27.2        | 4.40          | 28.4        |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 28   | 4.33          | 28.2        | 4.74          | 29.5        | 5.10          | 30.6        |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 30   | 4.68          | 29.3        | 5.07          | 30.5        | 5.44          | 31.6        | 5.86          | 32.8        |               |             |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 32   | 4.94          | 30.1        | 5.37          | 31.4        | 5.79          | 32.6        | 6.23          | 33.8        | 6.68          | 35.0        |               |             |               |             |               |             |               |             |
| 34   | 5.24          | 31.0        | 5.69          | 32.3        | 6.15          | 33.6        | 6.60          | 34.8        | 7.06          | 36.0        | 7.54          | 37.2        |               |             |               |             |               |             |
| 36   | 5.58          | 32.0        | 5.94          | 33.0        | 6.52          | 34.6        | 6.99          | 35.8        | 7.46          | 37.0        | 7.95          | 38.2        | 8.46          | 39.4        |               |             |               |             |
| 38   | 5.86          | 32.8        | 6.38          | 34.2        | 6.87          | 35.5        | 7.34          | 36.7        | 7.87          | 38.0        | 8.37          | 39.2        | 8.89          | 40.4        | 9.43          | 41.6        |               |             |
| 40   | 6.15          | 33.6        | 6.71          | 35.1        | 7.22          | 36.4        | 7.71          | 37.6        | 8.29          | 39.0        | 8.81          | 40.2        | 9.34          | 41.4        | 9.89          | 42.6        | 10.5          | 43.8        |
| 42   | 6.45          | 34.4        | 7.03          | 35.9        | 7.58          | 37.3        | 8.12          | 38.6        | 8.68          | 39.9        | 9.21          | 41.1        | 9.80          | 42.4        | 10.4          | 43.6        | 11.0          | 44.8        |
| 44   | 6.75          | 35.2        | 7.34          | 36.7        | 7.91          | 38.1        | 8.50          | 39.5        | 9.07          | 40.8        | 9.61          | 42.0        | 10.3          | 43.4        | 10.8          | 44.6        | 11.4          | 45.8        |
| 46   | 7.03          | 35.9        | 7.63          | 37.4        | 8.25          | 38.9        | 8.85          | 40.3        | 9.48          | 41.7        | 10.1          | 43.0        | 10.7          | 44.3        | 11.3          | 45.6        | 11.9          | 46.8        |
| 48   | 7.30          | 36.6        | 7.95          | 38.2        | 8.59          | 39.7        | 9.25          | 41.2        | 9.89          | 42.6        | 10.5          | 43.9        | 11.1          | 45.2        | 11.8          | 46.5        | 12.4          | 47.8        |
| 50   | 7.58          | 37.3        | 8.25          | 38.9        | 8.90          | 40.4        | 9.61          | 42.0        | 10.3          | 43.5        | 10.9          | 44.8        | 11.6          | 46.1        | 12.2          | 47.4        | 13.0          | 48.8        |
| 52   | 7.87          | 38.0        | 8.55          | 39.6        | 9.25          | 41.2        | 9.98          | 42.8        | 10.7          | 44.3        | 11.4          | 45.7        | 12.1          | 47.1        | 12.7          | 48.3        | 13.5          | 49.7        |
| 54   | 8.16          | 38.7        | 8.85          | 40.3        | 9.61          | 42.0        | 10.4          | 43.6        | 11.0          | 45.0        | 11.8          | 46.5        | 12.6          | 48.0        | 13.2          | 49.2        | 14.0          | 50.6        |
| 56   | 8.42          | 39.3        | 9.16          | 41.0        | 9.94          | 42.7        | 10.7          | 44.3        | 11.4          | 45.8        | 12.2          | 47.3        | 13.0          | 48.8        | 13.7          | 50.1        | 14.5          | 51.5        |
| 58   | 8.63          | 39.8        | 9.48          | 41.7        | 10.3          | 43.4        | 11.0          | 45.0        | 11.8          | 46.6        | 12.6          | 48.1        | 13.4          | 49.6        | 14.2          | 51.0        | 15.0          | 52.4        |
| 60   | 8.89          | 40.4        | 9.75          | 42.3        | 10.5          | 44.0        | 11.4          | 45.8        | 12.2          | 47.3        | 13.0          | 48.9        | 13.8          | 50.4        | 14.6          | 51.8        | 15.5          | 53.3        |
| 64   | 9.43          | 41.6        | 10.3          | 43.5        | 11.2          | 45.4        | 12.1          | 47.2        | 12.9          | 48.7        | 13.8          | 50.4        | 14.7          | 52.0        | 15.5          | 53.4        | 16.5          | 55.0        |
| 68   | 9.98          | 42.8        | 10.9          | 44.7        | 11.8          | 46.6        | 12.8          | 48.4        | 13.7          | 50.2        | 14.6          | 51.8        | 15.6          | 53.5        | 16.5          | 55.0        | 17.5          | 56.6        |
| 72   | 10.4          | 43.8        | 11.5          | 45.9        | 12.4          | 47.8        | 13.5          | 49.7        | 14.4          | 51.5        | 15.4          | 53.2        | 16.4          | 54.9        | 17.4          | 56.5        | 18.3          | 58.0        |
| 76   | 10.8          | 44.9        | 12.0          | 47.0        | 13.1          | 49.0        | 14.1          | 50.8        | 15.1          | 52.7        | 16.2          | 54.6        | 17.3          | 56.3        | 18.3          | 57.9        | 19.3          | 59.5        |
| 80   | 11.5          | 46.0        | 12.6          | 48.0        | 13.7          | 50.1        | 14.7          | 52.0        | 15.8          | 53.9        | 17.0          | 55.8        | 18.1          | 57.6        | 19.2          | 59.3        | 20.3          | 61.0        |
| 84   | 12.0          | 46.9        | 13.2          | 49.2        | 14.2          | 51.1        | 15.4          | 53.2        | 16.5          | 55.0        | 17.7          | 57.0        | 18.9          | 58.9        | 20.1          | 60.7        | 21.2          | 62.4        |
| 88   | 12.5          | 47.9        | 13.7          | 50.1        | 14.8          | 52.2        | 16.1          | 54.3        | 17.3          | 56.3        | 18.5          | 58.2        | 19.7          | 60.1        | 20.9          | 62.0        | 22.1          | 63.7        |
| 92   | 12.9          | 48.7        | 14.2          | 51.1        | 15.5          | 53.4        | 16.7          | 55.4        | 18.0          | 57.4        | 19.2          | 59.4        | 20.5          | 61.3        | 21.8          | 63.2        | 23.0          | 65.0        |
| 96   | 13.3          | 49.5        | 14.8          | 52.2        | 15.9          | 54.0        | 17.2          | 56.2        | 18.6          | 58.5        | 19.7          | 60.2        | 21.1          | 62.2        | 22.7          | 64.5        | 24.0          | 66.3        |
| 100  | 13.9          | 50.6        | 15.0          | 52.5        | 16.7          | 55.3        | 17.9          | 57.3        | 19.2          | 59.4        | 20.6          | 61.5        | 21.6          | 63.0        | 23.4          | 65.5        | 24.8          | 67.5        |
| 104  | 14.6          | 51.8        | 15.8          | 53.9        | 17.1          | 56.0        | 18.6          | 58.5        | 19.9          | 60.5        | 21.4          | 62.6        | 22.7          | 64.5        | 24.1          | 66.5        | 25.6          | 68.5        |
| 108  | 14.8          | 52.1        | 16.2          | 54.6        | 17.6          | 56.8        | 19.2          | 59.4        | 20.5          | 61.4        | 22.0          | 63.5        | 23.5          | 65.7        | 24.8          | 67.5        | 26.5          | 69.7        |
| 112  | 15.1          | 52.7        | 16.8          | 55.5        | 18.3          | 58.0        | 19.7          | 60.1        | 21.1          | 62.3        | 22.5          | 64.3        | 24.5          | 67.0        | 25.7          | 68.7        | 27.1          | 70.5        |
| 116  | 15.8          | 53.9        | 17.3          | 56.4        | 18.9          | 58.9        | 20.3          | 61.1        | 22.0          | 63.6        | 23.5          | 65.7        | 24.8          | 67.5        | 26.2          | 69.4        | 28.2          | 71.9        |
| 120  | 16.2          | 54.6        | 17.8          | 57.1        | 19.4          | 59.6        | 20.9          | 62.0        | 22.7          | 64.5        | 24.2          | 66.7        | 26.1          | 69.2        | 27.2          | 70.6        | 29.0          | 73.0        |
| 124  | 16.6          | 55.2        | 18.4          | 58.1        | 19.8          | 60.3        | 21.6          | 63.0        | 23.2          | 65.4        | 25.2          | 68.0        | 26.5          | 69.8        | 28.2          | 71.9        | 29.8          | 74.0        |
| 128  | 17.1          | 56.0        | 18.8          | 58.8        | 20.3          | 61.1        | 22.3          | 64.0        | 23.7          | 66.0        | 25.6          | 68.6        | 27.3          | 70.8        | 28.7          | 72.6        | 30.2          | 74.5        |
| 132  | 17.4          | 56.5        | 19.3          | 59.5        | 20.8          | 61.8        | 22.6          | 64.4        | 24.5          | 67.0        | 26.3          | 69.5        | 28.2          | 72.0        | 29.8          | 74.0        | 32.0          | 76.6        |
| 136  | 17.9          | 57.3        | 19.7          | 60.2        | 21.4          | 62.7        | 23.0          | 65.0        | 25.1          | 67.9        | 26.9          | 70.3        | 28.7          | 72.6        | 30.5          | 74.8        | 32.6          | 77.3        |
| 140  | 18.5          | 58.2        | 20.3          | 61.0        | 22.3          | 64.0        | 24.1          | 66.5        | 25.9          | 69.0        | 27.5          | 71.1        | 29.4          | 73.5        | 31.5          | 76.0        | 33.4          | 78.3        |
| 144  | 18.8          | 58.7        | 20.6          | 61.5        | 22.7          | 64.5        | 24.8          | 67.5        | 26.3          | 69.5        | 28.2          | 72.0        | 29.9          | 74.1        | 32.0          | 76.6        | 34.0          | 79.0        |

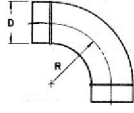
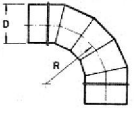
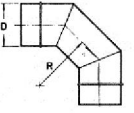
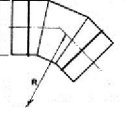
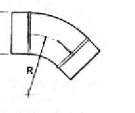
\*Circular equivalent diameter (d.). Calculated from  $d_e = 1.3 \frac{(ab)^{0.25}}{(a+b)^{0.25}}$ 

†Large numbers in table are duct class.

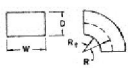
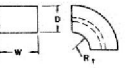
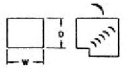
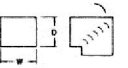
جدول ۳-۱۳ مقادیر توصیه شده سرعت هوا در کانال‌های رفت و برگشت

| APPLICATION                                                             | CONTROLLING FACTOR<br>NOISE GENERATION<br>Main Ducts | CONTROLLING FACTOR—DUCT FRICTION |        |              |        |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------|--------|--------------|--------|
|                                                                         |                                                      | Main Ducts                       |        | Branch Ducts |        |
|                                                                         |                                                      | Supply                           | Return | Supply       | Return |
| Residences                                                              | 600                                                  | 1000                             | 800    | 600          | 600    |
| Apartments<br>Hotel Bedrooms<br>Hospital Bedrooms                       | 1000                                                 | 1500                             | 1300   | 1200         | 1000   |
| Private Offices<br>Directors Rooms<br>Libraries                         | 1200                                                 | 2000                             | 1500   | 1600         | 1200   |
| Theatres<br>Auditoriums                                                 | 800                                                  | 1300                             | 1100   | 1000         | 800    |
| General Offices<br>High Class Restaurants<br>High Class Stores<br>Banks | 1500                                                 | 2000                             | 1500   | 1600         | 1200   |
| Average Stores<br>Cafeterias                                            | 1800                                                 | 2000                             | 1500   | 1600         | 1200   |
| Industrial                                                              | 2500                                                 | 3000                             | 1800   | 2200         | 1500   |

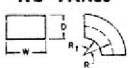
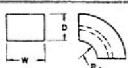
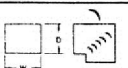
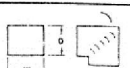
جدول ۴-۱۳ طول معادل وصاله‌ها در کانال با مقطع دایره‌ای

| ELBOW<br>DIAMETER<br>(in.)                         | 90° SMOOTH<br><br>R/D = 1.5 | 90° 5-PIECE<br><br>R/D = 1.5 | 90° 3-PIECE<br><br>R/D = 1.5 | 45° 3-PIECE<br><br>R/D = 1.5 | 45° SMOOTH<br><br>R/D = 1.5 |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ADDITIONAL EQUIVALENT LENGTH OF STRAIGHT DUCT (FT) |                                                                                                               |                                                                                                                |                                                                                                                |                                                                                                                  |                                                                                                                 |
| 3                                                  | 2.3                                                                                                           | 3                                                                                                              | 6                                                                                                              | 1.5                                                                                                              | 1.1                                                                                                             |
| 4                                                  | 3                                                                                                             | 4                                                                                                              | 8                                                                                                              | 2                                                                                                                | 1.5                                                                                                             |
| 5                                                  | 3.8                                                                                                           | 5                                                                                                              | 10                                                                                                             | 2.5                                                                                                              | 1.9                                                                                                             |
| 6                                                  | 4.5                                                                                                           | 6                                                                                                              | 12                                                                                                             | 3                                                                                                                | 2.3                                                                                                             |
| 7                                                  | 5.3                                                                                                           | 7                                                                                                              | 14                                                                                                             | 3.5                                                                                                              | 2.6                                                                                                             |
| 8                                                  | 6                                                                                                             | 8                                                                                                              | 16                                                                                                             | 4                                                                                                                | 3                                                                                                               |
| 9                                                  | —                                                                                                             | 9                                                                                                              | 18                                                                                                             | 4.5                                                                                                              | —                                                                                                               |
| 10                                                 | —                                                                                                             | 10                                                                                                             | 20                                                                                                             | 5                                                                                                                | —                                                                                                               |
| 11                                                 | —                                                                                                             | 11                                                                                                             | 22                                                                                                             | 5.5                                                                                                              | —                                                                                                               |
| 12                                                 | —                                                                                                             | 12                                                                                                             | 24                                                                                                             | 6                                                                                                                | —                                                                                                               |
| 14                                                 | —                                                                                                             | 14                                                                                                             | 28                                                                                                             | 7                                                                                                                | —                                                                                                               |
| 16                                                 | —                                                                                                             | 16                                                                                                             | 32                                                                                                             | 8                                                                                                                | —                                                                                                               |
| 18                                                 | —                                                                                                             | 18                                                                                                             | 36                                                                                                             | 9                                                                                                                | —                                                                                                               |
| 20                                                 | —                                                                                                             | 20                                                                                                             | 40                                                                                                             | 10                                                                                                               | —                                                                                                               |
| 22                                                 | —                                                                                                             | 22                                                                                                             | 44                                                                                                             | 11                                                                                                               | —                                                                                                               |
| 24                                                 | —                                                                                                             | 24                                                                                                             | 48                                                                                                             | 12                                                                                                               | —                                                                                                               |

جدول ۵-۱۳ طول معادل وصاله‌ها در کانال با مقطع مستطیلی

| DUCT DIMENSIONS (in.)                              |    | RADIUS ELBOW NO VANES                                                             | RADIUS ELBOW—WITH VANES                                                           |                            | SQUARE ELBOWS                                                                       |                                                                                     |
|----------------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                    |    |  |  |                            |  |  |
| W                                                  | D  | Radius Ratio<br>$R/D = 1.25$                                                      | $R_f = 6"$<br>(Recommended)                                                       | $R_f = 3"$<br>(Acceptable) | Double Thickness<br>Turning Vanes                                                   | Single Thickness<br>Turning Vanes                                                   |
| ADDITIONAL EQUIVALENT LENGTH OF STRAIGHT DUCT (FT) |    |                                                                                   |                                                                                   |                            |                                                                                     |                                                                                     |
|                                                    |    |                                                                                   | Vanes                                                                             |                            |                                                                                     |                                                                                     |
| 96                                                 | 48 | 31                                                                                | 45                                                                                | 2                          | 43                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 36 | 25                                                                                | 36                                                                                | 2                          | 31                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 30 | 22                                                                                | 31                                                                                | 2                          | 38                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 24 | 19                                                                                | 33                                                                                | 1                          | 29                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 20 | 16                                                                                | 28                                                                                | 1                          | 25                                                                                  | 2                                                                                   |
| 72                                                 | 48 | 28                                                                                | 44                                                                                | 2                          | 41                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 36 | 23                                                                                | 33                                                                                | 2                          | 29                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 30 | 21                                                                                | 28                                                                                | 2                          | 33                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 24 | 17                                                                                | 29                                                                                | 1                          | 25                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 20 | 15                                                                                | 23                                                                                | 1                          | 19                                                                                  | 2                                                                                   |
| 60                                                 | 48 | 27                                                                                | 41                                                                                | 2                          | 39                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 36 | 22                                                                                | 31                                                                                | 2                          | 27                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 30 | 19                                                                                | 25                                                                                | 2                          | 31                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 24 | 16                                                                                | 27                                                                                | 1                          | 26                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 20 | 14                                                                                | 22                                                                                | 1                          | 21                                                                                  | 2                                                                                   |
| 48                                                 | 48 | 27                                                                                | 41                                                                                | 2                          | 39                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 36 | 22                                                                                | 31                                                                                | 2                          | 27                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 30 | 19                                                                                | 25                                                                                | 2                          | 31                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 24 | 16                                                                                | 27                                                                                | 1                          | 26                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 20 | 14                                                                                | 22                                                                                | 1                          | 21                                                                                  | 2                                                                                   |
| 42                                                 | 48 | 27                                                                                | 41                                                                                | 2                          | 39                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 36 | 22                                                                                | 31                                                                                | 2                          | 27                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 30 | 19                                                                                | 25                                                                                | 2                          | 31                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 24 | 16                                                                                | 27                                                                                | 1                          | 26                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 20 | 14                                                                                | 22                                                                                | 1                          | 21                                                                                  | 2                                                                                   |
| 36                                                 | 48 | 27                                                                                | 41                                                                                | 2                          | 39                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 36 | 22                                                                                | 31                                                                                | 2                          | 27                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 30 | 19                                                                                | 25                                                                                | 2                          | 31                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 24 | 16                                                                                | 27                                                                                | 1                          | 26                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 20 | 14                                                                                | 22                                                                                | 1                          | 21                                                                                  | 2                                                                                   |
| 32                                                 | 48 | 27                                                                                | 41                                                                                | 2                          | 39                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 36 | 22                                                                                | 31                                                                                | 2                          | 27                                                                                  | 3                                                                                   |
|                                                    | 30 | 19                                                                                | 25                                                                                | 2                          | 31                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 24 | 16                                                                                | 27                                                                                | 1                          | 26                                                                                  | 2                                                                                   |
|                                                    | 20 | 14                                                                                | 22                                                                                | 1                          | 21                                                                                  | 2                                                                                   |

جدول ۵-۱۳ طول معادل وصاله‌ها در کانال با مقطع مستطیلی (ادامه)

| DUCT DIMENSIONS (in.)                              |    | RADIUS ELBOW NO VANES<br> | RADIUS ELBOW—WITH VANES                                                           |                            | SQUARE ELBOWS                                                                      |                                                                                     |    |    |
|----------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
|                                                    |    |                                                                                                            |  |                            |  |  |    |    |
| W                                                  | D  | Radius Ratio<br>R/D = 1.25                                                                                 | $R_1 = 6"$<br>(Recommended)                                                       | $R_1 = 3"$<br>(Acceptable) | Double Thickness<br>Turning Vanes                                                  | Single Thickness<br>Turning Vanes                                                   |    |    |
| ADDITIONAL EQUIVALENT LENGTH OF STRAIGHT DUCT (FT) |    |                                                                                                            |                                                                                   |                            |                                                                                    |                                                                                     |    |    |
|                                                    |    |                                                                                                            | Vaness                                                                            |                            | Vaness                                                                             |                                                                                     |    |    |
| 28                                                 | 28 | 15                                                                                                         | 14                                                                                | 2                          | 17                                                                                 | 2                                                                                   | 14 | 34 |
|                                                    | 24 | 13                                                                                                         | 17                                                                                | 1                          | 15                                                                                 | 2                                                                                   | 13 | 30 |
|                                                    | 20 | 12                                                                                                         | 15                                                                                | 1                          | 13                                                                                 | 2                                                                                   | 12 | 25 |
|                                                    | 16 | 10                                                                                                         | 11                                                                                | 1                          | 11                                                                                 | 2                                                                                   | 10 | 20 |
|                                                    | 12 | 8                                                                                                          |                                                                                   |                            | 11                                                                                 | 1                                                                                   | 8  | 15 |
|                                                    | 10 | 7                                                                                                          |                                                                                   |                            | 9                                                                                  | 1                                                                                   | 7  | 12 |
|                                                    | 8  | 6                                                                                                          |                                                                                   |                            | 8                                                                                  | 1                                                                                   | 6  | 10 |
|                                                    | 24 | 96                                                                                                         | 38                                                                                | 19                         | 3                                                                                  |                                                                                     |    | 23 |
| 72                                                 |    | 32                                                                                                         | 17                                                                                | 3                          |                                                                                    |                                                                                     | 21 | 72 |
| 48                                                 |    | 22                                                                                                         | 20                                                                                | 2                          | 20                                                                                 | 3                                                                                   | 18 | 62 |
| 24                                                 |    | 13                                                                                                         | 16                                                                                | 1                          | 14                                                                                 | 2                                                                                   | 12 | 30 |
| 20                                                 |    | 11                                                                                                         | 13                                                                                | 1                          | 12                                                                                 | 2                                                                                   | 10 | 25 |
| 16                                                 |    | 10                                                                                                         | 11                                                                                | 1                          | 10                                                                                 | 2                                                                                   | 9  | 20 |
| 12                                                 |    | 8                                                                                                          |                                                                                   |                            | 10                                                                                 | 1                                                                                   | 8  | 15 |
| 10                                                 |    | 7                                                                                                          |                                                                                   |                            | 8                                                                                  | 1                                                                                   | 7  | 12 |
| 8                                                  |    | 6                                                                                                          |                                                                                   |                            | 7                                                                                  | 1                                                                                   | 6  | 10 |
| 6                                                  |    | 5                                                                                                          |                                                                                   |                            |                                                                                    |                                                                                     | 4  | 8  |
| 20                                                 | 80 | 32                                                                                                         | 16                                                                                | 3                          |                                                                                    |                                                                                     | 19 | 66 |
|                                                    | 60 | 26                                                                                                         | 19                                                                                | 2                          |                                                                                    |                                                                                     | 17 | 58 |
|                                                    | 40 | 22                                                                                                         | 15                                                                                | 2                          | 14                                                                                 | 3                                                                                   | 14 | 49 |
|                                                    | 20 | 11                                                                                                         | 12                                                                                | 1                          | 10                                                                                 | 2                                                                                   | 10 | 25 |
|                                                    | 16 | 9                                                                                                          | 9                                                                                 | 1                          | 9                                                                                  | 2                                                                                   | 8  | 20 |
|                                                    | 12 | 7                                                                                                          |                                                                                   |                            | 9                                                                                  | 1                                                                                   | 7  | 15 |
|                                                    | 10 | 6                                                                                                          |                                                                                   |                            | 8                                                                                  | 1                                                                                   | 6  | 12 |
|                                                    | 8  | 5                                                                                                          |                                                                                   |                            | 7                                                                                  | 1                                                                                   | 5  | 10 |
|                                                    | 6  | 4                                                                                                          |                                                                                   |                            |                                                                                    |                                                                                     | 4  | 8  |
|                                                    | 16 | 64                                                                                                         | 26                                                                                | 9                          | 3                                                                                  |                                                                                     |    | 14 |
| 48                                                 |    | 21                                                                                                         | 12                                                                                | 2                          | 12                                                                                 | 3                                                                                   | 12 | 43 |
| 32                                                 |    | 15                                                                                                         | 11                                                                                | 2                          | 9                                                                                  | 3                                                                                   | 11 | 38 |
| 16                                                 |    | 9                                                                                                          | 8                                                                                 | 1                          | 8                                                                                  | 2                                                                                   | 7  | 20 |
| 12                                                 |    | 7                                                                                                          |                                                                                   |                            | 8                                                                                  | 1                                                                                   | 6  | 15 |
| 10                                                 |    | 6                                                                                                          |                                                                                   |                            | 6                                                                                  | 1                                                                                   | 5  | 12 |
| 8                                                  |    | 5                                                                                                          |                                                                                   |                            | 6                                                                                  | 1                                                                                   | 5  | 10 |
| 6                                                  |    | 4                                                                                                          |                                                                                   |                            |                                                                                    |                                                                                     | 4  | 8  |
| 12                                                 | 48 | 19                                                                                                         | 8                                                                                 | 2                          | 8                                                                                  | 3                                                                                   | 10 | 33 |
|                                                    | 36 | 16                                                                                                         | 7                                                                                 | 2                          | 7                                                                                  | 3                                                                                   | 9  | 30 |
|                                                    | 24 | 11                                                                                                         | 8                                                                                 | 1                          | 8                                                                                  | 2                                                                                   | 8  | 26 |
|                                                    | 12 | 7                                                                                                          |                                                                                   |                            | 7                                                                                  | 1                                                                                   | 5  | 15 |
|                                                    | 10 | 6                                                                                                          |                                                                                   |                            | 5                                                                                  | 1                                                                                   | 5  | 12 |
|                                                    | 8  | 5                                                                                                          |                                                                                   |                            | 5                                                                                  | 1                                                                                   | 4  | 10 |
|                                                    | 6  | 4                                                                                                          |                                                                                   |                            |                                                                                    |                                                                                     | 3  | 8  |
|                                                    | 10 | 40                                                                                                         | 19                                                                                | 6                          | 2                                                                                  | 6                                                                                   | 3  | 8  |
| 30                                                 |    | 13                                                                                                         | 6                                                                                 | 2                          | 8                                                                                  | 2                                                                                   | 7  | 24 |
| 20                                                 |    | 9                                                                                                          | 7                                                                                 | 1                          | 6                                                                                  | 2                                                                                   | 6  | 21 |
| 10                                                 |    | 5                                                                                                          |                                                                                   |                            | 5                                                                                  | 1                                                                                   | 4  | 12 |
| 8                                                  |    | 4                                                                                                          |                                                                                   |                            | 5                                                                                  | 1                                                                                   | 4  | 10 |
| 6                                                  |    | 4                                                                                                          |                                                                                   |                            |                                                                                    |                                                                                     | 3  | 8  |
| 8                                                  | 32 | 13                                                                                                         | 5                                                                                 | 2                          | 4                                                                                  | 3                                                                                   | 6  | 21 |
|                                                    | 24 | 11                                                                                                         | 6                                                                                 | 1                          | 5                                                                                  | 2                                                                                   | 6  | 19 |
|                                                    | 16 | 8                                                                                                          | 4                                                                                 | 1                          | 5                                                                                  | 2                                                                                   | 5  | 16 |
|                                                    | 8  | 4                                                                                                          |                                                                                   |                            | 4                                                                                  | 1                                                                                   | 3  | 10 |
|                                                    | 6  | 3                                                                                                          |                                                                                   |                            |                                                                                    |                                                                                     | 3  | 8  |
| 6                                                  | 24 | 10                                                                                                         | 4                                                                                 | 1                          | 4                                                                                  | 2                                                                                   | 4  | 15 |
|                                                    | 18 | 8                                                                                                          | 3                                                                                 | 1                          | 4                                                                                  | 2                                                                                   | 4  | 13 |
|                                                    | 12 | 6                                                                                                          |                                                                                   |                            | 4                                                                                  | 1                                                                                   | 3  | 11 |
|                                                    | 6  | 3                                                                                                          |                                                                                   |                            |                                                                                    |                                                                                     | 3  | 8  |

جدول ۱۳-۶ سطح مقطع معادل انشعابات در روش نرخ افت فشار ثابت

| CFM CAPACITY % | DUCT AREA % | CFM CAPACITY % | DUCT AREA % | CFM CAPACITY % | DUCT AREA % | CFM CAPACITY % | DUCT AREA % |
|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| 1              | 2.0         | 26             | 33.5        | 51             | 59.0        | 76             | 81.0        |
| 2              | 3.5         | 27             | 34.5        | 52             | 60.0        | 77             | 82.0        |
| 3              | 5.5         | 28             | 35.5        | 53             | 61.0        | 78             | 83.0        |
| 4              | 7.0         | 29             | 36.5        | 54             | 62.0        | 79             | 84.0        |
| 5              | 9.0         | 30             | 37.5        | 55             | 63.0        | 80             | 84.5        |
| 6              | 10.5        | 31             | 39.0        | 56             | 64.0        | 81             | 85.5        |
| 7              | 11.5        | 32             | 40.0        | 57             | 65.0        | 82             | 86.0        |
| 8              | 13.0        | 33             | 41.0        | 58             | 65.5        | 83             | 87.0        |
| 9              | 14.5        | 34             | 42.0        | 59             | 66.5        | 84             | 87.5        |
| 10             | 16.5        | 35             | 43.0        | 60             | 67.5        | 85             | 88.5        |
| 11             | 17.5        | 36             | 44.0        | 61             | 68.0        | 86             | 89.5        |
| 12             | 18.5        | 37             | 45.0        | 62             | 69.0        | 87             | 90.0        |
| 13             | 19.5        | 38             | 46.0        | 63             | 70.0        | 88             | 90.5        |
| 14             | 20.5        | 39             | 47.0        | 64             | 71.0        | 89             | 91.5        |
| 15             | 21.5        | 40             | 48.0        | 65             | 71.5        | 90             | 92.0        |
| 16             | 23.0        | 41             | 49.0        | 66             | 72.5        | 91             | 93.0        |
| 17             | 24.0        | 42             | 50.0        | 67             | 73.5        | 92             | 94.0        |
| 18             | 25.0        | 43             | 51.0        | 68             | 74.5        | 93             | 94.5        |
| 19             | 26.0        | 44             | 52.0        | 69             | 75.5        | 94             | 95.0        |
| 20             | 27.0        | 45             | 53.0        | 70             | 76.5        | 95             | 96.0        |
| 21             | 28.0        | 46             | 54.0        | 71             | 77.0        | 96             | 96.5        |
| 22             | 29.5        | 47             | 55.0        | 72             | 78.0        | 97             | 97.5        |
| 23             | 30.5        | 48             | 56.0        | 73             | 79.0        | 98             | 98.0        |
| 24             | 31.5        | 49             | 57.0        | 74             | 80.0        | 99             | 99.0        |
| 25             | 32.5        | 50             | 58.0        | 75             | 80.5        | 100            | 100.0       |

جدول ۱۳-۷ اثر سرعت جریان هوا بر ساکنین

| ROOM AIR VELOCITY (fpm) | REACTION                                                                                   | RECOMMENDED APPLICATION                                        |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 0-16                    | Complaints about stagnant air                                                              | none                                                           |
| 25                      | Ideal design—favorable                                                                     | all commercial applications                                    |
| 25-50                   | Probably favorable but 50 fpm is approaching maximum tolerable velocity for seated persons | all commercial applications                                    |
| 65                      | Unfavorable—light papers are blown off a desk                                              |                                                                |
| 75                      | Upper limit for people moving about slowly—favorable                                       | retail and dept. store                                         |
| 75-300                  | Some factory air conditioning installations—favorable                                      | factory air conditioning<br>higher velocities for spot cooling |

جدول ۱۳-۸ مقادیر توصیه شده در خروجی دریچه رفت

| APPLICATION                           | TERMINAL VELOCITY (FPM) |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Broadcast studios                     | 300-500                 |
| Residences                            | 500-750                 |
| Apartments                            | 500-750                 |
| Churches                              | 500-750                 |
| Hotel bedrooms                        | 500-750                 |
| Legitimate theaters                   | 500-750                 |
| Private offices, acoustically treated | 500-750                 |
| Private offices, not treated          | 500-800                 |
| Motion picture theaters               | 1000                    |
| General offices                       | 1000-1250               |
| Dept. stores, upper floors            | 1500                    |
| Dept. stores, main floor              | 2000                    |

جدول ۹-۱۳ مقادیر توصیه شده در ورودی دریچه برگشت

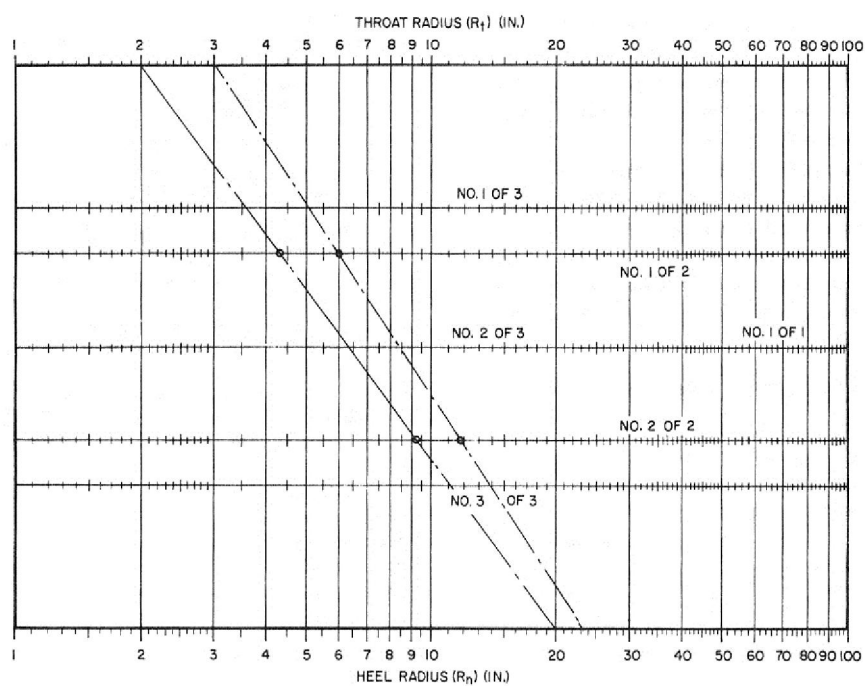
| GRILLE LOCATION                     | FPM OVER GROSS AREA |
|-------------------------------------|---------------------|
| Commercial                          |                     |
| Above occupied zone                 | 800 and above       |
| Within occupied zone not near seats | 600-800             |
| Within occupied zone near seats     | 400-600             |
| Door or wall louvers                | 500-1000            |
| Undercutting of doors               | 600                 |
| Industrial                          | 800 and above       |
| Residential                         | 400                 |

جدول ۱۰-۱۳ ضخامت ورق مورد استفاده در کانال با ابعاد مختلف

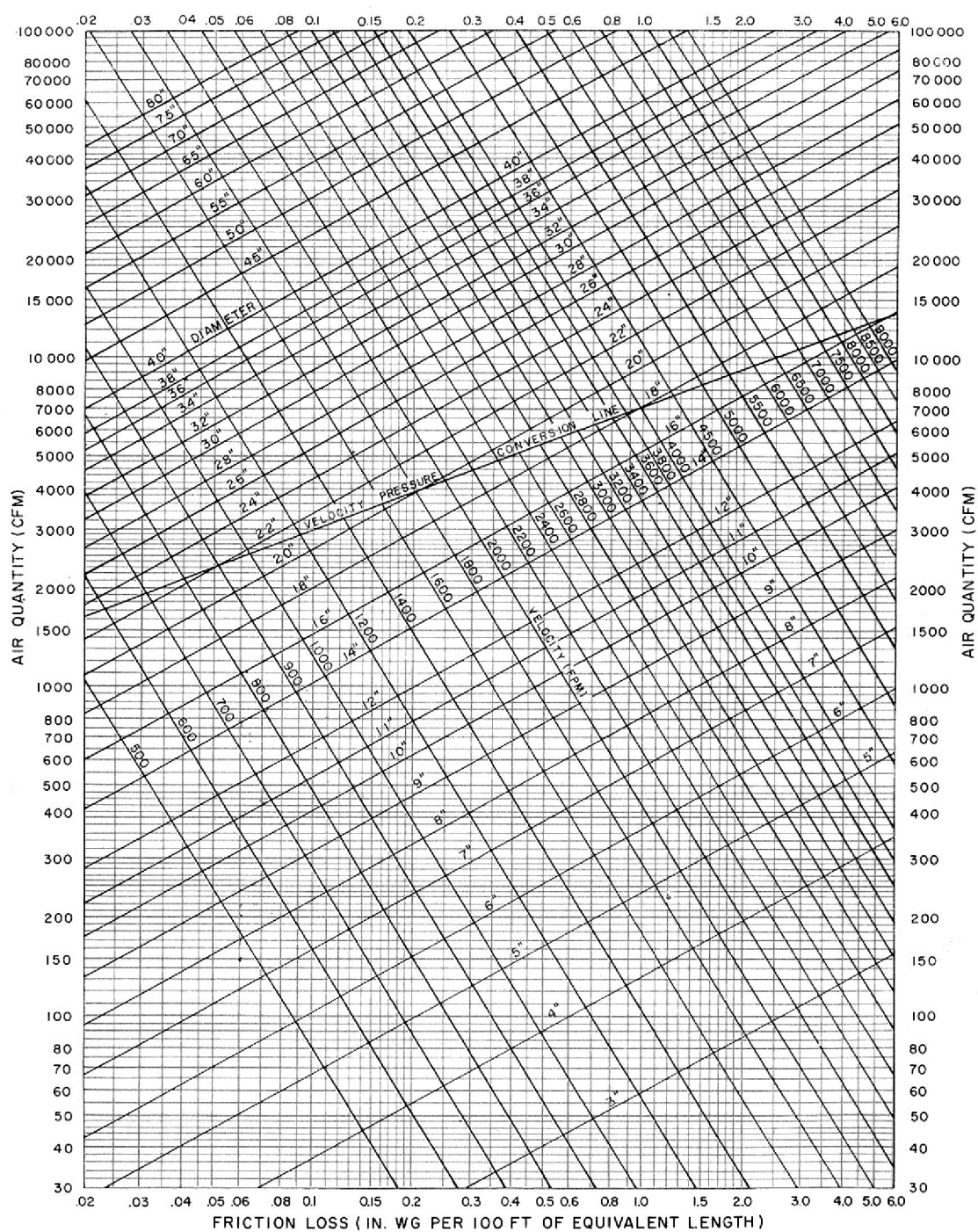
| بزرگترین بعد کانال (in.) | ضخامت ورق (mm) |
|--------------------------|----------------|
| تا ۲۴                    | ۰/۶            |
| ۲۴-۴۸                    | ۰/۷۵           |
| از ۴۸                    | ۱              |



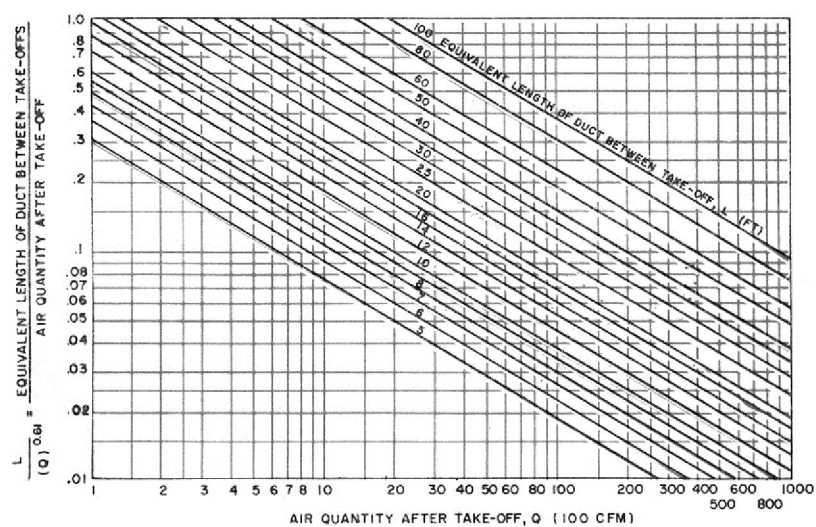
نمودار ۱-۱۳ تعیین تعداد و محل پره‌ها در زانویی شعاع کوتاه (پره‌دار)



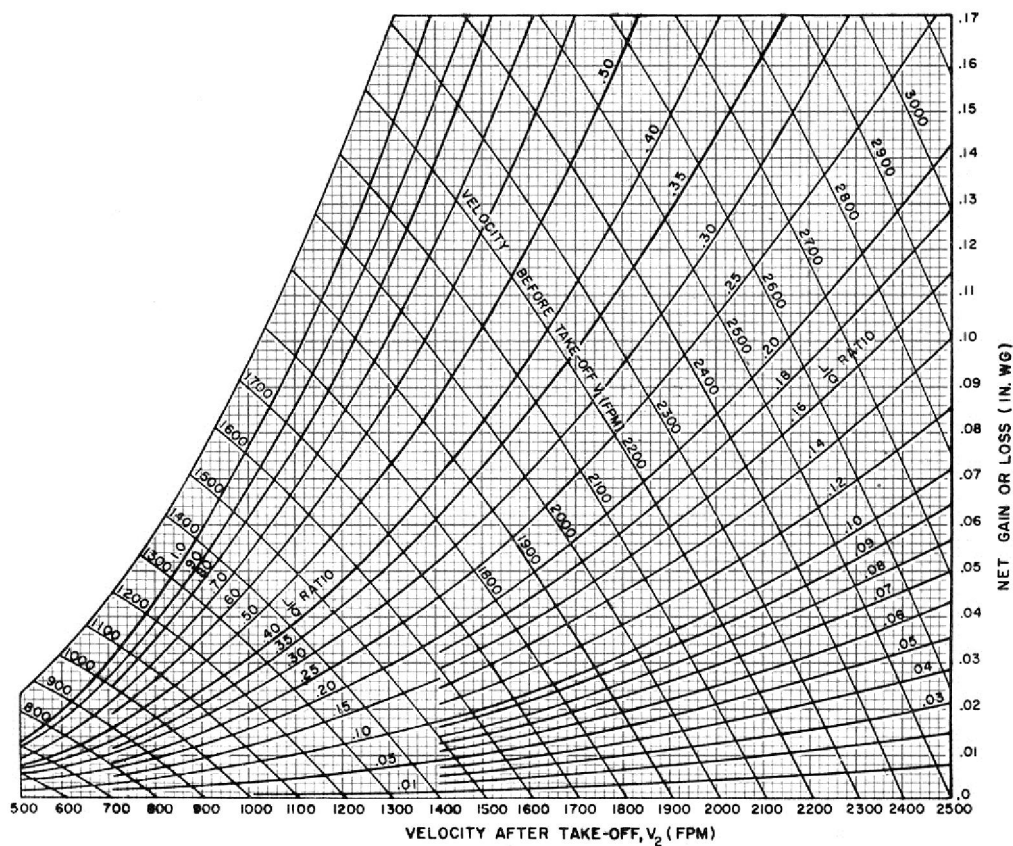
نمودار ۲-۱۳ نمودار اصطکاک برای کانال گالوانیزه در شرایط استاندارد



### نمودار ۳-۱۳ تعیین نسبت $L/Q$ در روش بازیافت فشار



### نمودار ۴-۱۳ تعیین سرعت هوا در انشعابات در روش بازیافت فشار



## فصل چهاردهم

### شبکه توزیع آب مصرفی

تأمین و توزیع صحیح آب سالم و بهداشتی در ساختمان از جمله مسایل مهم در معماری ساختمان است که طراحی آن بر عهده مهندس تأسیسات می‌باشد. آب مصرفی ممکن است از شبکه آب شهری و یا منابع دیگری نظیر چاه، قنات یا رودخانه تأمین گردد. آب مصرفی توسط شبکه آب شهری توزیع شده و سپس، در ابتدای ورود به ساختمان، پس از عبور از کنتور و متعلقات دیگر به شبکه داخلی لوله‌کشی آب منتقل شده و پس از جریان یافتن در انشعابات اصلی و فرعی به وسایل بهداشتی می‌رسد.

#### ۱۴-۱. تأمین فشار آب ساختمان

فشار شبکه آب پس از ورود به ساختمان باید به اندازه‌ای باشد که بتواند موارد زیر را تأمین نماید:

۱. افت فشار در کنتور آب
  ۲. کاهش فشار ناشی از اختلاف ارتفاع تراز نصب کنتور و بالاترین نقطه شبکه لوله‌کشی آب
  ۳. افت فشار در لوله‌ها، اتصالات و شیرآلات
  ۴. حداقل فشار لازم در پشت بالاترین وسیله بهداشتی
- فشار آب مورد نیاز ممکن است بوسیله فشار آب شهر، مخزن ثقیلی، مخزن تحت فشار یا بوستر پمپ تأمین گردد.

#### ۱۴-۱-۱. سیستم توزیع آب با استفاده از فشار آب شهر

فشار آب در شبکه شهری معمولاً بین ۲ تا ۴ اتمسفر است. به دلیل اختلاف فشار آب شهری در نقاط مختلف و عدم وجود اطلاعات کافی در این خصوص، مهندس طراح باید با توجه به تجربیات قبلی و یا با بررسی فشار آب در اماکن مجاور محل احداث ساختمان، در مورد کافی بودن فشار آب شهری تصمیم‌گیری نماید. حداقل فشار لازم در پشت وسایل بهداشتی معمولاً ۱ بار و افت فشار مجاز در کنتور آب نیز بین ۰/۵ تا حداکثر ۱ بار است. بنابراین از آنجا که افت‌های اصطکاکی در مقایسه با کاهش فشار هیدرواستاتیکی جریان معمولاً ناچیز است، ارتفاع ساختمان اصلی‌ترین عامل در تعیین امکان استفاده از فشار آب شهری به شمار می‌آید. عموماً فشار آب شهری برای ساختمان‌های تا ۵ طبقه جوابگو بوده و در مورد ساختمان‌های بلندتر احتمال کمبود فشار وجود خواهد داشت. در صورتیکه فشار آب شهری برای رساندن آب به طبقات بالای ساختمان و تأمین حداقل فشار مجاز در وسایل بهداشتی طبقات فوق کافی نباشد، باید از مخزن ثقیلی یا مخزن تحت فشار استفاده نمود.

#### ۱۴-۱-۲. سیستم توزیع آب با استفاده از مخزن ثقیلی و مخزن تحت فشار

در صورتیکه آب ساختمان از منابعی نظیر چاه، قنات یا رودخانه تأمین شده و یا فشار آب شهر برای رساندن آب به طبقات بالای ساختمان کافی نباشد، می‌توان از مخزن ثقیلی یا مخزن تحت فشار به منظور تأمین فشار مورد نیاز شبکه استفاده نمود. مخزن ثقیلی روی برج یا پشت بام و حداقل ۶ فوت بالاتر از بالاترین وسیله بهداشتی نصب شده و به این ترتیب فشار مورد نیاز، به دلیل نیروی ثقل تأمین می‌شود. مهمترین مشکل مخزن ثقیلی لزوم تقویت سازه ساختمان تحمل وزن مخزن است. در مخازن تحت فشار، فشار

آب لازم با استفاده از بالشک هوا ایجاد شده و لذا می‌توان آنها را در هر جای ساختمان، حتی در موتورخانه، نصب نمود. با پایین آمدن سطح آب در مخزن ثقلی یا تحت فشار، آب مجدداً به وسیله پمپ به آن منتقل می‌گردد.

## ۱۴-۲. طراحی شبکه توزیع آب

۱. تعیین سیستم توزیع آب: با استفاده از نکات مطرح شده، باید در خصوص فشار مورد نیاز شبکه و لذا سیستم توزیع آب تصمیم‌گیری نمود.
۲. تعیین محل وسایل بهداشتی و مسیر لوله‌کشی روی نقشه پلان: جانمایی وسایل بهداشتی معمولاً توسط مهندس معمار تعیین شده و با توجه به آن طراحی مسیر لوله‌کشی آب مصرفی توسط مهندس تأسیسات صورت می‌گیرد.
۳. تعیین تعداد واحدهای مصرف وسایل بهداشتی<sup>۲۷</sup>: واحد مصرف، مقیاسی نسبی جهت اندازه‌گیری میزان مصرف آب وسایل بهداشتی مختلف بوده و تعداد آن برای وسایل بهداشتی متداول در جدول ۱۴-۱ ارائه شده است. برای وسایلی نظیر دستشویی که از آب سرد و گرم توأم استفاده می‌کنند، تعداد واحد مصرف آب سرد و گرم، هر کدام برابر ۰/۷۵ تعداد واحد مصرف کل در نظر گرفته می‌شود.
۴. تعیین میزان واقعی تقاضای آب در شاخه‌های مختلف: از آنجا که وسایل بهداشتی مختلف هیچگاه به صورت همزمان مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، میزان واقعی تقاضای آب در هر لوله به مراتب کمتر از مجموع مصرف وسایل متصل به آن خواهد بود. با مشخص بودن تعداد واحدهای مصرف در هر شاخه و با استفاده از نمودار ۱۴-۱ میزان واقعی مصرف آب تعیین می‌گردد.
۵. تعیین نرخ افت فشار در شبکه: با توجه به مطالب قبلی، حداکثر افت فشار مجاز شبکه از ورودی آب شهر تا بالاترین وسیله بهداشتی عبارت است از:

$$\Delta p_l = p_s - \Delta p_m - 0.43H - p_f \quad (1-14)$$

که در آن:

$\Delta p_l$  حداکثر افت فشار اصطکاکی مجاز برحسب psi

$p_s$  فشار آب شهر برحسب psi

$\Delta p_m$  افت فشار در کنتور آب برحسب psi

H اختلاف ارتفاع تراز نصب کنتور تا محل نصب بالاترین وسیله بهداشتی برحسب ft

$p_f$  حداقل فشار لازم در پشت بالاترین وسیله بهداشتی برحسب psi

۶. تعیین قطر لوله اصلی ساختمان: در صورت مشخص بودن طول معادل مسیر لوله‌کشی، با توجه به میزان واقعی مصرف آب ساختمان و افت فشار مجاز محاسبه شده از رابطه (۱-۱۴)، می‌توان از روی نمودار ۷-۲ برای سیستم‌های باز، قطر لوله اصلی ساختمان را تعیین نمود. محاسبه طول معادل اتصالات و شیرآلات با استفاده از جداول ۶-۹ و ۶-۱۰ امکان‌پذیر است. با این وجود از آنجا که طول معادل اتصالات و شیرآلات تابعی از قطر لوله بوده و در ابتدای محاسبات مشخص نیست، در عمل برای محاسبه نرخ افت فشار از ۵۰٪ طول لوله‌کشی به عنوان طول معادل اتصالات استفاده می‌گردد. جدول ۱۴-۲ حداقل جریان و فشار مورد نیاز در پشت وسایل بهداشتی متداول را نشان می‌دهد.
- افت فشار آب در کنتورهای دیسکی متداول را می‌توان از نمودار ۱۴-۲ برآورد نمود. همان‌طور که مشخص است، افت فشار کنتور تابعی از قطر آن و در نتیجه قطر لوله اصلی بوده و بنابراین ظاهراً محاسبه اندازه لوله اصلی ساختمان مستلزم استفاده از روش سعی و خطاست. در این صورت ابتدا قطری برای لوله اصلی حدس زده شده و با استفاده از نرخ افت فشار

<sup>27</sup> Fixture Unit (FU)

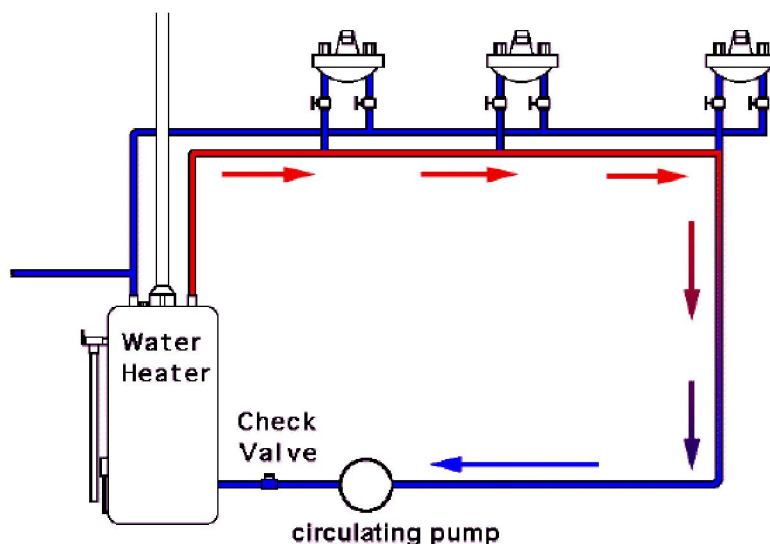
بدست آمده از رابطه (۱-۱۴) و میزان واقعی مصرف، مجدداً اندازه آن تعیین می‌گردد. چنانچه قطر بدست آمده با مقدار حدس زده شده برابر باشد، طراحی شبکه به درستی صورت گرفته است.

نکته حائز اهمیت آن است که محدوده مجاز سرعت جریان آب در لوله‌ها بین ۱ تا ۵ fps بوده و لذا هر نرخ افت فشاری که از رابطه (۱-۱۴) بدست آید، نمی‌تواند معیار طراحی شبکه قرار گیرد. همان‌گونه که ذکر شد، افت فشار محاسبه شده با استفاده از رابطه (۱-۱۴) حداکثر افت فشار مجاز بوده و لذا الزامی برای کمتر نبودن افت فشار در شبکه وجود ندارد. در صورت کمتر بودن میزان افت فشار، در نهایت فشار آب در پشت وسایل بهداشتی بیشتر خواهد بود. از آنجا که مطابق مقررات ملی ساختمان مبحث شانزدهم، حداکثر فشار آب در پشت شیرهای مصرف ۴ بار است، در صورت استفاده از فشار آب شهری، هیچگاه فشار در پشت شیر وسایل بهداشتی بیشتر از حد مجاز نخواهد بود. بنابراین روش محاسبه قطر لوله اصلی ساختمان نیازی به سعی و خطا نداشته و اندازه آن را می‌توان با استفاده از روش سرعتی تعیین نمود. پس از مشخص شدن قطر لوله اصلی، نرخ افت فشار و افت فشار کل سیستم نیز قابل محاسبه می‌باشد. در نهایت میزان افت فشار محاسبه شده باید با مقدار مجاز بدست آمده از رابطه (۱-۱۴) مقایسه شود. همان‌گونه که پیش از این نیز ذکر شد، امکان استفاده از فشار شبکه آب شهر بیشتر تحت تأثیر ارتفاع ساختمان بوده و در صورت مناسب بودن ارتفاع ساختمان، به احتمال بسیار زیاد افت فشار محاسبه شده در این مرحله کمتر از مقدار رابطه (۱-۱۴) خواهد بود.

۷. تعیین قطر لوله‌های شبکه توزیع: با مشخص شدن قطر لوله اصلی ساختمان، نرخ افت فشار شبکه تعیین شده و قطر بقیه لوله‌ها با استفاده از روش نرخ افت فشار ثابت محاسبه می‌گردد.

### ۱۴-۳. طراحی سیستم سیرکولاسیون آب گرم

محاسبه سیستم لوله‌کشی برگشت آب گرم مصرفی: در صورت عدم مصرف آب گرم در وسایل بهداشتی، آب گرم درون لوله‌ها به تدریج حرارت خود را از دست داده و لذا پس از باز کردن شیر، مدتی طول می‌کشد تا آب مجدداً گرم شود. مطابق شکل ۱-۱۴ این مشکل با استفاده از سیستم لوله‌کشی برگشت آب گرم از رایزرها به منبع دو جداره و نصب پمپ سیرکولاتور در این مسیر قابل حل است. کنترل پمپ سیرکولاتور معمولاً با استفاده از ترموستاتی روی مسیر برگشت صورت می‌گیرد.



شکل ۱-۱۴ سیستم سیرکولاسیون آب گرم مصرفی

بر طبق استاندارد ASHRAE چنانچه طول مسیر لوله‌کشی بیشتر از ۱۰۰ ft باشد، نصب سیستم سیرکولاسیون آب گرم ضروری است. مراحل طراحی این سیستم دقیقاً مشابه شبکه توزیع آب مصرفی بوده و تنها روش محاسبه گذر حجمی آب گرم در گردش متفاوت می‌باشد. برای شبکه‌های کوچک می‌توان به ازای هر ۲۰ واحد مصرف ۱ gpm برای پمپ سیرکولاتور در نظر گرفته و یا از جدول ۱-۱۴ استفاده نمود.

جدول ۱۴-۱ گذر حجمی آب گرم برگشتی در شبکه‌های کوچک

| قطر رایزر (in.)           | $\frac{3}{4}$ یا ۱ | $\frac{1}{4}$ یا $1\frac{1}{2}$ | ۲ و بالاتر |
|---------------------------|--------------------|---------------------------------|------------|
| گذر حجمی آب در گردش (gpm) | ۰/۵                | ۱                               | ۲          |

در صورت بزرگ بودن سیستم، اتلافات حرارتی لوله‌ها قابل توجه بوده و مراحل برآورد گذر حجمی آب گرم در گردش عبارتست از:

۱. تعیین کل طول مسیر لوله‌کشی رفت و برگشت آب گرم
۲. تعیین اتلاف حرارتی لوله‌ها: مقدار افت انرژی به صورت تقریبی در لوله بدون عایق  $60 \text{ Btu/hr.ft}$  و در لوله با ۱" عایق پشم شیشه  $30 \text{ Bru/hr.ft}$  است.
۳. تعیین دبی پمپ سیرکولاتور آب گرم: برای جبران اتلاف حرارتی آب گرم در لوله‌ها، دبی پمپ سیرکولاتور برابر است با:

$$Q = \frac{q}{10000} \quad (2-14)$$

که در آن:

Q دبی پمپ سیرکولاتور آب گرم برحسب gpm

q اتلاف حرارتی در کل مسیر لوله‌کشی رفت و برگشت آب گرم برحسب  $\text{Btu/hr}$

#### ۱۴-۴. نکات طراحی شبکه توزیع آب مصرفی

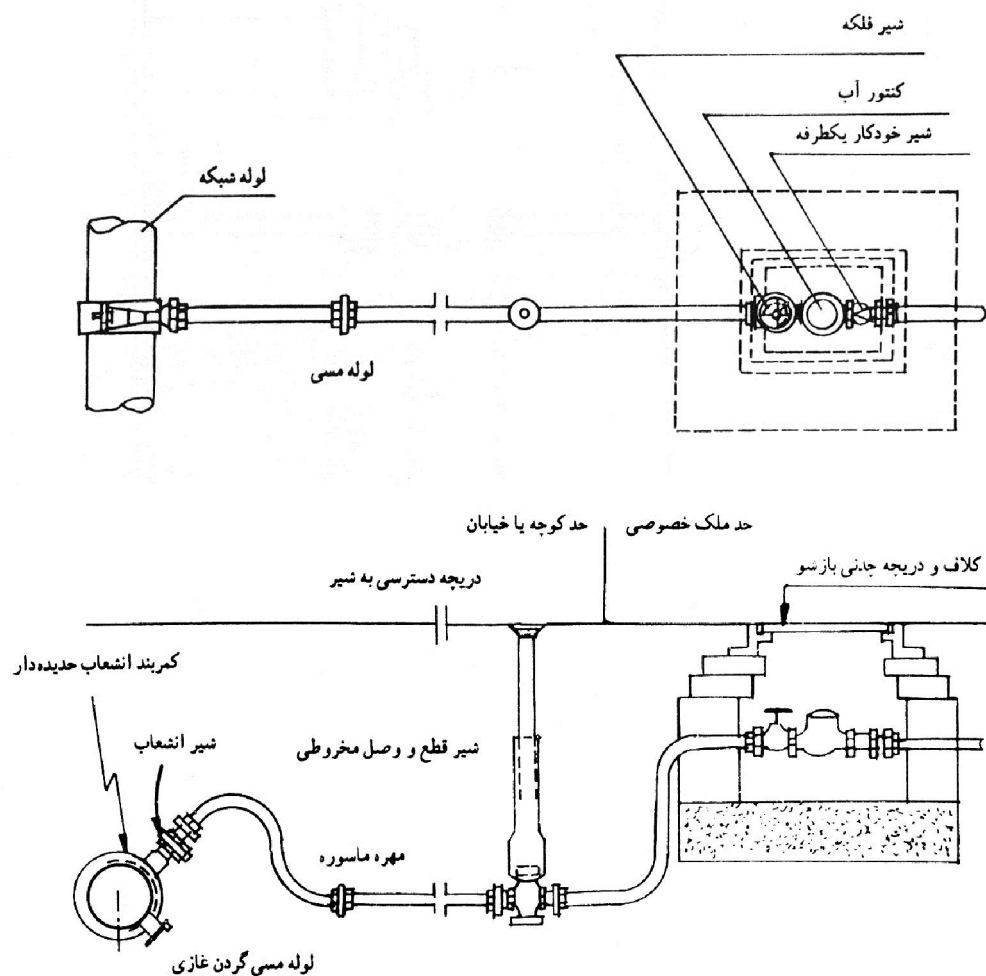
۱. در صورت استفاده از مخزن ثقلی یا تحت فشار، نصب مستقیم پمپ روی لوله انشعاب آب شهری مجاز نیست.
۲. مطابق شکل ۱۴-۲، روی لوله خروجی کنتور آب باید شیر قطع و وصل، شیر یک‌طرفه و شیر تخلیه نصب شود.
۳. نقاط بالای شبکه لوله‌کشی که احتمال محبوس شدن هوا وجود داشته باشد باید شیر هواگیری نصب گردد.
۴. در زیر هر یک از رایزرهای ساختمان که حداقل به دو طبقه آب می‌رساند، باید شیر قطع و وصل و در زیر آن شیر تخلیه نصب شود.
۵. در ورود لوله آب به هر واحد آپارتمانی باید شیر قطع و وصل و شیر یک طرفه نصب گردد.
۶. در ورود لوله تغذیه آب به هر نوع مخزن باید یک شیر قطع و وصل نصب شود.
۷. در ورود لوله تغذیه آب به هر نوع مخزن تحت فشار باید شیر قطع و وصل و شیر یک طرفه نصب گردد.
۸. در ورود لوله تغذیه آب به هر نوع دستگاه آبگرمکن باید شیر قطع و وصل و شیر یکطرفه نصب شود.
۹. تمامی شیرها باید در دسترس بوده و به هیچ عنوان نباید در اجزای ساختمان یا زیر کف دفن گردد.

در ساختمان‌های مسکونی با بیش از ۴ طبقه یا بیش از ۱۰ واحد مسکونی پیش‌بینی مخزن ذخیره آب ضروری است. مزایای اصلی ذخیره‌سازی آب در ساختمان عبارت است از:

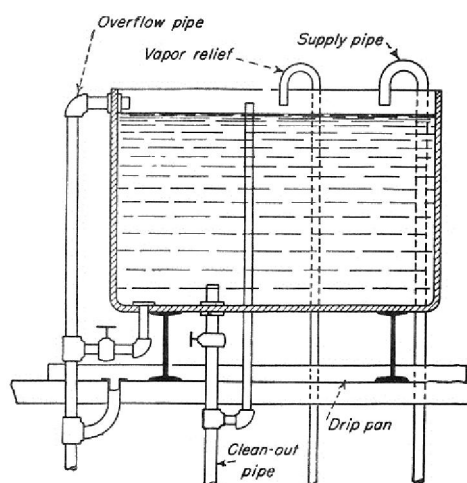
۱. تأمین آب مورد نیاز ساختمان به هنگام قطع شبکه آب شهری
۲. جلوگیری از انتقال حداکثر مصرف آب ساختمان به شبکه آب شهری
۳. کنترل فشار آب مورد نیاز ساختمان
۴. حفاظت از شبکه آب شهری

حجم مخزن ذخیره آب باید حداقل برای ۱۲ ساعت مصرف، بر اساس ۱۵۰ لیتر برای هر نفر در شبانه روز، محاسبه شود. چنانچه حجم مخزن بیشتر از ۴۰۰۰ لیتر باشد، به جای یک مخزن باید حداقل دو مخزن به صورت موازی نصب گردد تا در هنگام تعمیر یا تمیز کردن یکی از مخازن، آب ساختمان قطع نشود. به هر حال هر مخزن باید به طور جداگانه و مستقل به شیر ورودی و خروجی، شیر کنترل، شیر تخلیه، لوله سرریز و لوله هواکش مجهز باشد.

در شکل ۳-۱۴ نمایی از مخزن ذخیره آب نشان داده شده است. قطر لوله سر ریز باید حداقل دو برابر قطر لوله تغذیه آب بوده و روی آن نباید هیچ شیرری نصب شود. قطر لوله هواکش باید حداقل برابر قطر لوله تغذیه آب و قطر لوله تخلیه حداقل برابر مقادیر جدول ۳-۱۴ باشد.



شکل ۳-۱۴ انشعاب آب ساختمان از لوله شبکه آب شهری (بالا) و شیرآلات حوضچه کنتور (پایین)



شکل ۳-۱۴ مخزن ذخیره آب ثقلی



جدول ۱۴-۱ تعداد واحد مصرف برای وسایل بهداشتی مختلف

| مقدار S.F.U |     |      | نوع کنترل                           | نوع تصرف،<br>سکونت یا اشغال | لوازم بهداشتی              |
|-------------|-----|------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| کل          | گرم | سرد  |                                     |                             |                            |
| ۱۰          |     | ۱۰   | فلاش والو $1\frac{1}{4}$ "          | عمومی                       | توالت                      |
| ۵           |     | ۵    | فلاش تانک                           | عمومی                       | توالت                      |
| ۱۰          |     | ۱۰   | فلاش والو $1\frac{1}{4}$ " (۲۵۴ mm) | عمومی                       | پیسوار                     |
| ۵           |     | ۵    | فلاش والو $\frac{3}{4}$ " (۱۹ mm)   | عمومی                       | پیسوار                     |
| ۳           |     | ۳    | فلاش تانک                           | عمومی                       | پیسوار                     |
| ۲           | ۱۵  | ۱۵   | شیر                                 | عمومی                       | دستشویی                    |
| ۴           | ۳   | ۳    | شیر                                 | عمومی                       | وان                        |
| ۴           | ۳   | ۳    | شیر مخلوط                           | عمومی                       | دوش                        |
| ۳           | ۲۲۵ | ۲۲۵  | شیر                                 | ادارت، غیره                 | سینک عمومی                 |
| ۴           | ۳   | ۳    | شیر                                 | هتل، رستوران                | سینک آشپزخانه              |
| ۰.۲۵        |     | ۰.۲۵ | شیر $\frac{3}{8}$ " (۹.۵۲ mm)       | ادارت، غیره                 | آبخوری                     |
| ۶           |     | ۶    | فلاش والو $1\frac{1}{4}$ "          | خصوصی                       | توالت                      |
| ۲۲          |     | ۲۲   | فلاش تانک                           | خصوصی                       | توالت                      |
| ۰.۷         | ۰.۵ | ۰.۵  | شیر                                 | خصوصی                       | دستشویی                    |
| ۱.۴         | ۱.۰ | ۱.۰  | شیر                                 | خصوصی                       | وان                        |
| ۱.۴         | ۱.۰ | ۱.۰  | شیر مخلوط                           | خصوصی                       | دوش                        |
| ۱.۴         | ۱.۰ | ۱.۰  | شیر                                 | خصوصی                       | سینک آشپزخانه              |
| ۱.۴         | ۱.۰ | ۱.۰  | شیر                                 | خصوصی                       | سینک رختشویی               |
| ۸           | ۳   | ۶    | فلاش والو                           | خصوصی                       | لوازم بهداشتی یک حمام کامل |
| ۳.۶         | ۱.۵ | ۲.۷  | فلاش تانک                           | خصوصی                       | لوازم بهداشتی یک حمام کامل |
| ۱.۴         | ۱.۴ | —    | اتوماتیک                            | خصوصی                       | ماشین ظرفشویی              |
| ۱.۴         | ۱   | ۱    | اتوماتیک                            | خصوصی                       | ماشین رختشویی ۳.۶ کیلوگرم  |
| ۳           | ۲۲۵ | ۲۲۵  | اتوماتیک                            | عمومی                       | ماشین رختشویی ۳.۶ کیلوگرم  |
| ۴           | ۳   | ۳    | اتوماتیک                            | عمومی                       | ماشین رختشویی ۷.۳ کیلوگرم  |

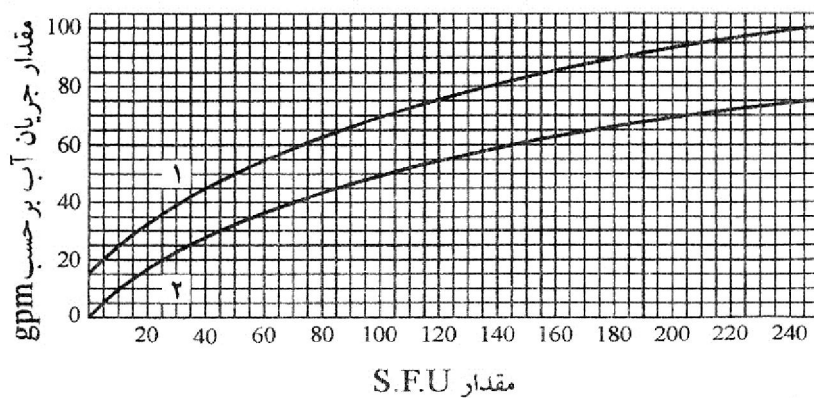
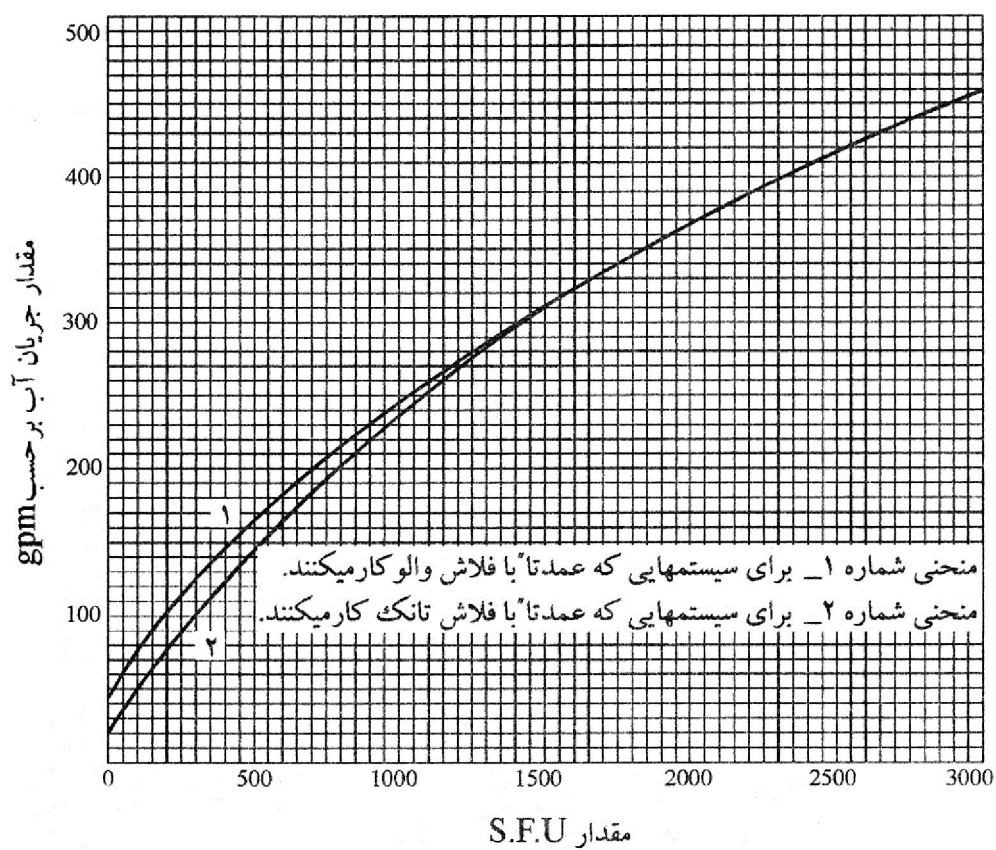
جدول ۱۴-۲ حداقل جریان و فشار مورد نیاز در پشت وسایل بهداشتی مختلف

| لوازم بهداشتی         | مقدار جریان   |               | فشار آب    |                   |
|-----------------------|---------------|---------------|------------|-------------------|
|                       | لیتر در دقیقه | گالن در دقیقه | مترستون آب | پوند بر اینچ مربع |
| وان                   | ۱۵            | ۴             | ۵/۵        | ۸                 |
| بیده                  | ۷/۵           | ۲             | ۲/۷        | ۴                 |
| سینک با سینی          | ۱۵            | ۴             | ۵/۵        | ۸                 |
| ماشین ظرف شویی خانگی  | ۱۰            | ۲/۷۵          | ۵/۵        | ۸                 |
| آب خوری               | ۳             | ۰/۷۵          | ۵/۵        | ۸                 |
| لگن رخت شویی          | ۱۵            | ۴             | ۵/۵        | ۸                 |
| دستشویی               | ۷/۵           | ۲             | ۵/۵        | ۸                 |
| دوش                   | ۱۱/۵          | ۳             | ۵/۵        | ۸                 |
| دوش با شیر ترموستاتیک | ۱۱/۵          | ۳             | ۱۴         | ۲۰                |
| شیر سرشستگی           | ۱۹            | ۵             | ۵/۵        | ۸                 |
| سینک آشپزخانه - خانگی | ۹/۵           | ۲/۵           | ۵/۵        | ۸                 |
| سینک شستشوی عمومی     | ۱۱/۵          | ۳             | ۵/۵        | ۸                 |
| پیسوار با فلاش والو   | ۵۷            | ۱۵            | ۱۰/۵       | ۱۵                |
| توالت - با فلاش تانک  | ۱۱/۵          | ۳             | ۵/۵        | ۸                 |
| توالت - با فلاش والو  | ۹۵            | ۲۵            | ۱۰/۵       | ۱۵                |
| توالت فرنگی یکپارچه   | ۲۳            | ۶             | ۱۴         | ۲۰                |

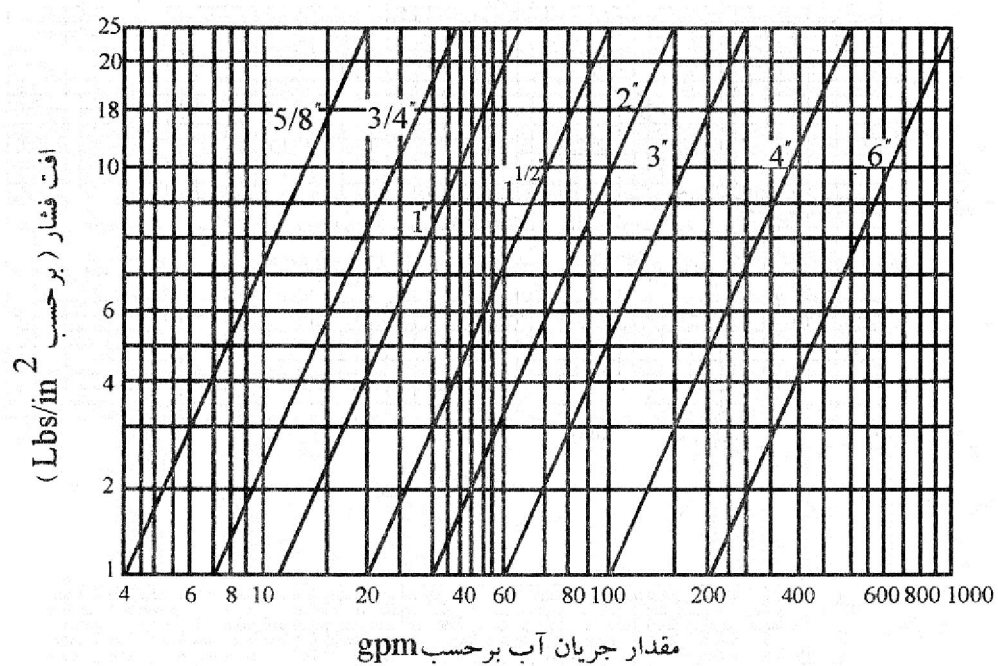
جدول ۱۴-۳ حداقل قطر لوله تخلیه برای مخزن آب ثقلی

| قطر نامی لوله تخلیه |          | گنجایش مخزن ذخیره آب (لیتر) |
|---------------------|----------|-----------------------------|
| اینچ                | میلی متر |                             |
| ۱                   | ۲۵       | تا ۲۵۰۰                     |
| ۱ ۱/۲               | ۴۰       | ۲۵۰۱ تا ۵۰۰۰                |
| ۲                   | ۵۰       | ۵۰۰۱ تا ۱۰۰۰۰               |
| ۲ ۱/۲               | ۶۵       | ۱۰۰۰۱ تا ۲۰۰۰۰              |
| ۳                   | ۸۰       | ۲۰۰۰۱ تا ۳۰۰۰۰              |
| ۴                   | ۱۰۰      | بیش از ۳۰۰۰۰                |

نمودار ۱۴-۱ میزان واقعی مصرف آب بر حسب تعداد واحد مصرف



نمودار ۱۴-۲ افت فشار آب در کنتورهای دیسکی متداول



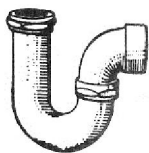
## فصل پانزدهم

### شبکه جمع آوری فاضلاب

در این فصل اصول طراحی شبکه جمع آوری فاضلاب و آب باران مورد بررسی قرار می گیرد. سیستم فاضلاب اماکن مسکونی، صنعتی و محوطه ها از جمله مسائل مهم در معماری ساختمان است که طراحی آن در حیطه وظایف مهندس تأسیسات قرار داشته و عدم توجه به آن می تواند منجر به مشکلاتی نظیر گرفتگی مکرر لوله ها و انتشار بوی بد در ساختمان شود که اصلاح آن پس از اجرا به سادگی امکان پذیر نمی باشد.

#### ۱۵-۱. اجزای شبکه فاضلاب

شبکه فاضلاب ساختمان از وسایل بهداشتی شروع شده و پس از جمع آوری فاضلاب، نهایتاً آن را به شبکه فاضلاب شهری، چاه جذبی یا تانک سپتیک هدایت می کند. متأسفانه در حال حاضر تعداد بسیار کمی از شهرهای ایران دارای شبکه فاضلاب شهری بوده و لذا عمدتاً چاه جذبی مورد استفاده قرار می گیرد (نکته قابل توجه آن است که فاضلاب شهر پاریس بیش از ۲۰۰ سال قدمت دارد!). معمولاً محل چاه جذبی با توجه مسیر شبکه لوله کشی فاضلاب توسط مهندس طراح مشخص شده و حجم آن توسط پیمانکار، با توجه به شناختی که از میزان جذب خاک منطقه دارد، به هنگام اجرا تعیین می گردد. هرچند حجم چاه جذبی در نقشه های تأسیساتی مشخص نمی شود، تقریباً ۸ مترمکعب به ازای هر نفر از ساکنین برای دوره ای ۲۰ ساله کافی خواهد بود. محل چاه جذبی باید در مکانی باشد که وزن پی های ساختمان روی آن نبوده و در صورت امکان حداقل عبور و مرور از روی آن انجام شود. با توجه به مسیر شبکه فاضلاب در ساختمان، زیر پاگرد پله ها، حیات خلوت و حیات از محل های مناسب جهت حفر چاه است. در مناطقی که خاک نفوذپذیر نبوده و یا به دلیل بالا بودن سطح آبهای زیرزمینی امکان حفر چاه وجود نداشته باشد، تانک سپتیک مورد استفاده قرار می گیرد. سایر اجزای اصلی شبکه فاضلاب عبارت است از:



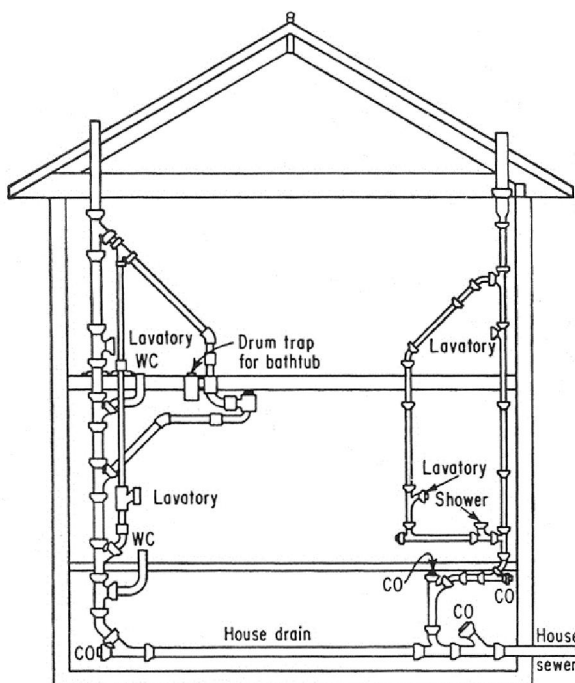
شکل ۱۵-۱ سیفون شترگلو

۱. سیفون: وسیله ای هوابندی شده است که در محل اتصال وسیله بهداشتی به لوله فاضلاب قرار گرفته و با نگهداری مقداری آب در خود مانع از انتشار هوای آلوده و گازهای داخل شبکه لوله کشی فاضلاب به فضای داخل ساختمان می شود. عمق مناسب هوابندی بین ۲ تا ۴ اینچ است. معمول ترین نوع سیفون، نوع P شکل یا شترگلو است که در شکل ۱۵-۱ نشان داده شده است.
۲. لوله ها: شبکه فاضلاب شامل مجموعه ای از لوله های فاضلاب سبک (فاضلابی که از آب خالص یا محتویات سبک تشکیل شده باشد مانند فاضلاب دستشویی یا کفشی) و سنگین (فاضلابی که محتوی مواد معلق سنگین نظیر فضولات انسانی یا حیوانی باشد مانند فاضلاب توالت)، لوله های تهویه و لوله های آب باران است. شبکه آب باران و همچنین شبکه های فاضلاب صنعتی یا آزمایشگاهی، در صورت وجود، باید از شبکه فاضلاب بهداشتی کاملاً جدا باشد. گاهی برای فاضلاب آشپزخانه نیز، به دلیل وجود چربی بالا، سیستمی جداگانه در نظر می گیرند که البته طبق استاندارد الزامی نیست.
۳. دریچه بازدید: دریچه ای قابل دسترسی روی لوله های فاضلاب یا آب باران است که برای تمیز کردن و رفع گرفتگی لوله ها مورد استفاده قرار می گیرد. تعداد دریچه های بازدید باید به اندازه کافی باشد به نحوی که امکان دسترسی به تمامی نقاط شبکه فراهم آید.

شبکه فاضلاب را می‌توان به سه بخش تقسیم نمود:

۱. شبکه فاضلاب بهداشتی
۲. شبکه آب باران
۳. شبکه تهویه

در شکل ۱۵-۲ نمونه‌ای از شبکه فاضلاب ساختمان نشان داده شده است. در ادامه، مراحل طراحی بخش‌های فوق بررسی می‌گردد.



شکل ۱۵-۲ نمایی از اجزای یک شبکه فاضلاب ساده

## ۱۵-۲. طراحی شبکه فاضلاب بهداشتی

مراحل طراحی و محاسبه شبکه فاضلاب بهداشتی عبارت است از:

۱. تعیین محل وسایل بهداشتی و مسیر لوله‌های افقی، لوله‌های قائم و لوله افقی اصلی ساختمان روی نقشه پلان: جانمایی وسایل بهداشتی معمولاً توسط مهندس معمار تعیین شده و با توجه به آن، مسیر شبکه فاضلاب توسط مهندس تأسیسات طراحی می‌گردد. مسیر لوله‌ها باید حتی‌الامکان ساده و مستقیم باشد. کلیه اتصالات زانو و سه راه شبکه فاضلاب با اتصال ۴۵ درجه طراحی و اجرا شده و باید از اتصالات ۹۰ درجه در مسیر عبور جریان خودداری نمود. همچنین به دلیل شیب‌دار بودن لوله‌های افقی، حتی‌الامکان باید از طراحی شبکه فاضلاب با لوله‌های افقی بلند اجتناب نمود زیرا احتمال گرفتگی لوله‌ها بیشتر شده و به علاوه ارتفاع سقف کاذب جهت نصب لوله‌ها نیز بیش از اندازه زیاد می‌شود. ارتفاع متداول سقف کاذب بین ۴۰ تا ۵۰ سانتیمتر بوده و این ارتفاع برای نصب ۱۰ متر لوله ۴ اینچی با شیب ۲٪ کافی است. بنابراین معمولاً سعی می‌شود طول لوله‌های افقی فاضلاب از ۱۰ متر تجاوز ننماید. لوله‌های قائم فاضلاب عموماً در کنار کنج دیوار یا در شفت تأسیساتی قرار داده می‌شوند.

۲. تعیین محل دریچه‌های بازدید: برای تمیز کردن و رفع گرفتگی لوله‌های فاضلاب عموماً در نقاط زیر دریچه بازدید نصب می‌گردد:

(الف) بالاترین نقطه در لوله‌های افقی (وسایل بهداشتی خود می‌تواند به عنوان دریچه بازدید مورد استفاده قرار گیرد)

(ب) محل تغییر امتداد بیشتر از ۴۵ درجه در لوله‌های افقی

(ج) پایین‌ترین نقطه لوله قائم فاضلاب، قبل از زانویی اتصال به لوله افقی اصلی ساختمان

(د) روی لوله افقی اصلی ساختمان در فواصل حداقل ۳۰ متری

۳. تعیین تعداد واحد مصرف وسایل بهداشتی<sup>۲۸</sup>: واحد مصرف، مقیاسی نسبی جهت اندازه‌گیری میزان تخلیه فاضلاب وسایل بهداشتی مختلف بوده و تعداد آن، همراه قطر نامی سیفون، در وسایل بهداشتی متداول در جدول ۱۵-۱ داده شده است. برای تخلیه فاضلاب از وسایل و سیستم‌هایی نظیر پمپ‌ها و تأسیسات گرمایشی- سرمایشی که تخلیه آب یا فاضلاب از آنها به‌طور پیوسته یا نیمه پیوسته صورت می‌گیرد، به ازای هر گالن در دقیقه برای تخلیه پیوسته ۲ واحد مصرف و برای تخلیه نیمه پیوسته ۱ واحد مصرف در محاسبات اندازه لوله منظور می‌گردد.
۴. تعیین شیب لوله‌های افقی و لوله افقی اصلی ساختمان: از آنجا که جریان سیال در شبکه فاضلاب تحت نیروی ثقل صورت می‌گیرد، لوله‌های افقی فاضلاب باید شیب مناسبی در جهت دور کردن فاضلاب از وسایل بهداشتی داشته باشد. شیب لوله‌های افقی فاضلاب باید به اندازه‌ای باشد که سرعت جریان در لوله‌ها حداقل ۰/۷ متر بر ثانیه باشد تا لوله‌های افقی خود بخود شسته شده و رسوبی در لوله‌ها باقی نماند.
- مناسب‌ترین شیب برای لوله‌های افقی ۲٪ بوده و بهتر است در تمام طول شبکه ثابت باقی بماند. در صورت نیاز به اجرای شیب کمتر، مقدار آن نباید از مقادیر مندرج در جدول ۱۵-۲ کمتر باشد. لازم به ذکر است که شیب بیش از حد لوله‌های افقی فاضلاب، موجب افزایش سرعت سیال در لوله‌ها و ایجاد مکش سیفونی در وسایل بهداشتی متصل به لوله می‌گردد. بنابراین شیب لوله‌های افقی نباید از ۴٪ تجاوز کند.
۵. تعیین قطر لوله‌های افقی و لوله‌های قائم: با توجه به تعداد واحدهای مصرف تخلیه شده به هر لوله، قطر لوله‌های افقی و لوله‌های قائم با استفاده از جدول ۱۵-۳ تعیین می‌گردد. قطر نامی لوله قائم فاضلاب از پایین تا بالای ساختمان بهتر است تغییر نکند، مگر آنکه در طبقات بالا قطر نامی لوله از نصف قطر نامی لوله در پایین ساختمان کمتر شود.
- حداقل قطر لوله‌های افقی و قائم فاضلاب سبک ۲ اینچ و حداقل قطر لوله‌های افقی و قائم فاضلاب سنگین ۴ اینچ بوده و قطر هیچ یک از لوله‌ها به هیچ عنوان نباید از قطر قطورترین لوله متصل به آن کمتر باشد. به علاوه توجه به این نکته ضروری است که به دلیل ثقلی بودن جریان در لوله‌های شبکه فاضلاب، قطر بیش از اندازه لوله‌ها علاوه بر افزایش هزینه، سرعت جریان را کاهش داده و می‌تواند منجر به گرفتگی لوله‌ها شود.
۶. تعیین قطر لوله افقی اصلی ساختمان: با توجه به شیب لوله افقی اصلی ساختمان و تعداد واحد مصرف تخلیه شده به آن، قطر لوله افقی اصلی ساختمان با استفاده از جدول ۱۵-۴ مشخص می‌شود.

### ۱۵-۳. طراحی شبکه آب باران

تعیین اندازه لوله‌های افقی و عمودی آب باران بر اساس مساحت سطح پشت بام یا تصویر افقی سطح شیروانی و به ترتیب با استفاده از جداول ۱۵-۵ و ۱۵-۶ صورت می‌گیرد. چنانچه در مجاورت بام، دیواری باشد که آب باران پس از برخورد به آن روی بام جاری شود، باید نصف مساحت دیوار به سطح بام اضافه شده و محاسبات بر اساس مجموع آنها صورت گیرد.

نکته جالب توجه آن است که در پروژه‌های ساختمانی عملاً محل و تعداد لوله‌های آب باران بوسیله مهندس تأسیسات مشخص نمی‌شود. از آنجا که برای هدایت آب باران، بام باید شیبی در حدود ۲٪ داشته باشد، زیاد بودن مساحت منطقه تحت پوشش هر ناودانی موجب افزایش بار مرده ساختمان و نیز هزینه اجرای کار خواهد شد. بنابراین معمولاً با توجه به طراحی ساختمان، به ازای هر ۱۰۰ تا ۱۵۰ مترمربع مساحت بام، یک کفشوی<sup>۲۹</sup> توسط مهندس معمار در نظر گرفته می‌شود. این میزان معمولاً بسیار کمتر از سطح مجاز محاسبه شده از جدول است. کفشوی بام باید مستقیماً به لوله قائم متصل شده و حتی‌الامکان بدون لوله افقی تا لوله افقی اصلی یا محوطه ساختمان ادامه یابد. در صورتی که لوله آب باران در مجاورت هوای آزاد نصب شده و احتمال یخ‌زدگی وجود داشته باشد، لازم است با استفاده از روش‌های مناسب در برابر یخ‌زدگی محافظت گردد.

### ۱۵-۴. طراحی شبکه تهویه

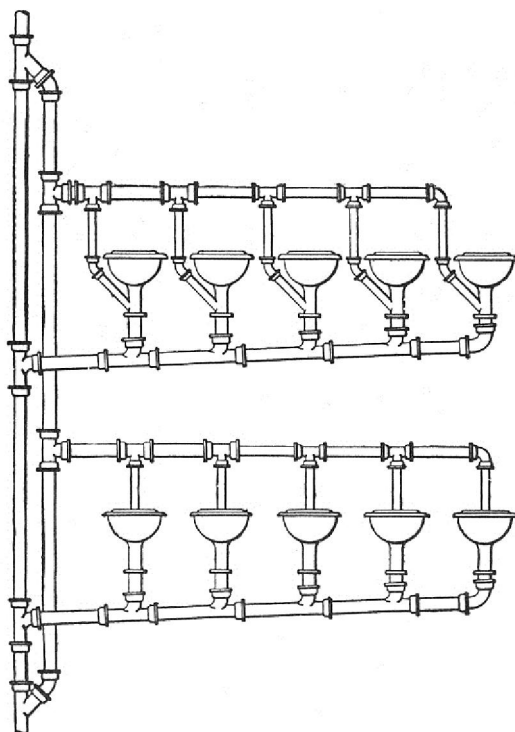
چنانچه آب‌بند سیفون وسایل بهداشتی به هر دلیل خالی شود، گازها و بوی بد شبکه فاضلاب وارد محیط ساختمان شده و آسایش ساکنین را برهم می‌زند. به طور کلی سیفون وسایل بهداشتی به دو دلیل ممکن است خالی شود:

<sup>28</sup> Fixture Unit (FU)

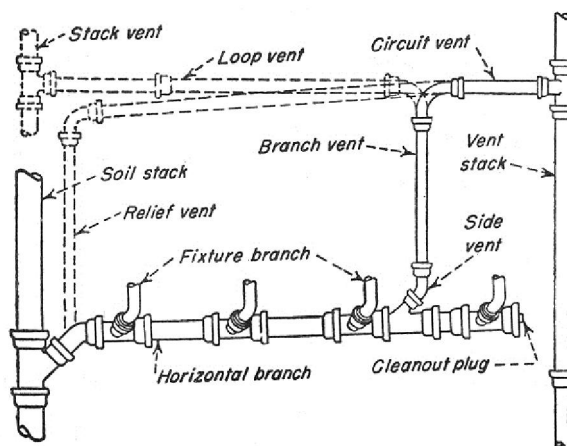
۱. سیفوناژ: خالی شدن آب‌بند سیفون تحت فشار اتمسفر به دلیل کاهش فشار پشت سیفون
۲. فشار معکوس: خالی شدن آب‌بند سیفون به دلیل افزایش فشار پشت سیفون

اصلی‌ترین وظیفه شبکه تهویه، تعدیل فشار سیستم فاضلاب و لذا جلوگیری از خالی شدن آب‌بند سیفون وسایل بهداشتی تحت اثر سیفوناژ یا فشار معکوس است. مطابق شکل ۱۵-۲ لوله هواکش در فاصله مناسبی از سیفون به لوله فاضلاب متصل شده و سپس به نحوی به هوای آزاد مرتبط می‌گردد. هر چند تهویه وسایل بهداشتی مختلف به صورت مجزا بهترین طرح به شمار می‌آید، اما عموماً بدلیل محدودیت فضا، تهویه وسایل به صورت مشترک صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که شبکه آب باران نیازی به تهویه ندارد. به منظور اتصال مجموعه لوله‌های هواکش به هوای آزاد از سه روش استفاده می‌شود:

۱. امتداد لوله هواکش تا بام: این روش تنها در ساختمان‌های کوچک و ساده امکان‌پذیر است.
۲. هواکش لوله قائم: این لوله در واقع امتداد لوله قائم فاضلاب است که باید بدون کاهش قطر تا بام ادامه یابد. لوله‌های هواکش شبکه را می‌توان مطابق شکل ۱۵-۳ به هواکش لوله قائم متصل نمود. طبیعی است که از این لوله تنها در طبقه آخر ساختمان می‌توان استفاده نمود.
۳. لوله قائم هواکش: لوله قائمی است که از پایین به لوله افقی اصلی ساختمان یا لوله قائم متصل بوده و از بالا تا بام ادامه دارد. نقطه اتصال باید پایین‌تر از آخرین شاخه ورودی به لوله قائم بوده و چنانچه به لوله افقی اصلی ساختمان وصل شود، حداقل ۱۰ برابر قطر لوله افقی اصلی پایین‌تر از زانویی لوله قائم فاضلاب قرار داشته باشد. لوله‌های قائم هواکش ممکن است در طبقه آخر با هم یا با هواکش لوله قائم مشترک گردد. شکل ۱۵-۴ نمایی از لوله هواکش قائم و نحوه اتصال هواکش‌های شبکه به آنرا نشان می‌دهد. اندازه لوله قائم هواکش به تعداد واحد مصرف تهویه شده و طول آن بستگی دارد.



شکل ۱۵-۴ لوله هواکش قائم و هواکش لوله قائم



شکل ۱۵-۳ انواع لوله‌های تهویه

مراحل طراحی و محاسبه شبکه تهویه عبارت است از:

۱. تعیین مسیر لوله‌های افقی و لوله‌های قائم تهویه روی نقشه پلان: با توجه به جانمایی وسایل بهداشتی و محدودیت‌های اجرایی، مسیر شبکه تهویه توسط مهندس تأسیسات طراحی می‌گردد. از آنجا که عموماً نمی‌توان برای هر وسیله بهداشتی تهویه جداگانه در نظر گرفت، این مرحله مهمترین قسمت در طراحی سیستم فاضلاب محسوب می‌شود.



۲. تعیین قطر لوله‌های هواکش جداگانه، مشترک و شاخه/افقی: قطر این لوله‌ها نباید از  $1\frac{1}{4}$  یا نصف قطر لوله فاضلاب متصل به وسیله بهداشتی کوچکتر باشد. چنانچه طول لوله هواکش تا محل اتصال به لوله هواکش قائم یا لوله قائم هواکش بیش از ۱۲ متر باشد، قطر لوله هواکش باید یک اندازه بزرگتر در نظر گرفته شود.
۳. تعیین قطر لوله‌های هواکش قائم و هواکش لوله قائم: با مشخص بودن طول کل لوله هواکش قائم، از دورترین نقطه اتصال به لوله قائم فاضلاب تا دهانه خروجی به هوای آزاد، و تعداد واحد مصرف تهویه شده، با استفاده از جدول ۷-۱۵ می‌توان اندازه لوله‌های قائم هواکش را تعیین نمود. همچنین، همان‌طور که پیش از این اشاره شد، قطر هواکش لوله قائم برابر قطر لوله فاضلاب قائم می‌باشد.

در اجرای شبکه تهویه فاضلاب، رعایت نکات زیر ضروری است:

۱. برای هدایت بخار آب تقطیر شده در لوله‌ها، لوله‌های افقی تهویه باید دارای شیب ملایمی به سمت لوله‌های فاضلاب باشد که البته تاثیری در محاسبه اندازه لوله‌های شبکه نخواهد داشت.
۲. ارتفاع انتهای لوله هواکش در روی بام از کف تمام شده حداقل ۳۰ سانتیمتر، و چنانچه روی بام امکان رفت و آمد وجود داشته باشد حداقل ۲/۲ متر می‌باشد. این ارتفاع در نقاط سردسیر باید با توجه به حداکثر ارتفاع برف در منطقه افزایش یابد.
۳. فاصله افقی انتهای لوله هواکش از هرگونه در، پنجره، بازشو یا دهانه ورودی سیستم تهویه مطبوع ساختمان (از جمله کولرهای آبی) حداقل ۳ متر است، مگر آنکه انتهای لوله هواکش حداقل ۶۰ سانتیمتر بالاتر از نقطه مورد نظر قرار گیرد.

جدول ۱۵-۱ قطر نامی و میزان تخلیه فاضلاب وسایل بهداشتی مختلف

| لوازم بهداشتی                        | مقدار D.F.U. | قطر نامی سیفون اینچ |
|--------------------------------------|--------------|---------------------|
| لوله علم تخلیه ماشین رختشویی - تجاری | ۳            | ۲                   |
| لوله علم تخلیه ماشین رختشویی - خانگی | ۲            | ۲                   |
| گروه لوازم بهداشتی یک حمام کامل      | ۶            |                     |
| وان                                  | ۲            | ۱-۱/۴               |
| بیده                                 | ۱            | ۱-۱/۴               |
| صندلی دندان پزشکی                    | ۱            | ۱-۱/۴               |
| ماشین ظرفشویی - خانگی                | ۲            | ۱-۱/۴               |
| آبخوری                               | ۱/۲          | ۱-۱/۴               |
| کفشوی                                | ۲            | ۱-۱/۴               |
| سینک آشپزخانه                        | ۲            | ۱-۱/۴               |
| سینک رختشویی                         | ۲            | ۱-۱/۴               |
| دستشویی                              | ۱            | ۱-۱/۴               |
| دوش                                  | ۲            | ۱-۱/۴               |
| سینک                                 | ۲            | ۱-۱/۴               |
| پیسوار                               | ۴            | ۲                   |
| توالت، غیر عمومی                     | ۴            | +                   |
| توالت، عمومی                         | ۶            | +                   |

+ قطر نامی سیفون توالت ایرانی و توالت غربی برابر دهانه خروجی توالت

جدول ۱۵-۲ حداقل شیب لوله‌های فاضلاب

| حداقل شیب       |      | قطر نامی لوله |              |
|-----------------|------|---------------|--------------|
| اینچ بر فوت طول | درصد | اینچ          | میلی متر     |
| ۱/۴             | ۲    | تا ۲ ۱/۲      | تا ۶۵        |
| ۱/۸             | ۱    | ۳ تا ۶        | ۸۰ تا ۱۵۰    |
| ۱/۱۶            | ۰/۵  | ۸ و بزرگتر    | ۲۰۰ و بزرگتر |

جدول ۱۵-۳ ظرفیت لوله‌های افقی و قائم فاضلاب

| بیشترین مقدار D.F.U.                 |                               |                               |                | قطر نامی لوله |     |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|---------------|-----|
| لوله‌های قائم                        |                               |                               | کل D.F.U.      |               |     |
| کل D.F.U. برای بیش از سه طبقه انشعاب | کل D.F.U. برای سه طبقه انشعاب | کل D.F.U. برای انشعاب هر طبقه | برای شاخه افقی | اینچ          | DN  |
| ۲۴                                   | ۱۰                            | ۶                             | ۶              | ۲             | ۵۰  |
| ۷۲                                   | ۴۸                            | ۲۰                            | ۲۰             | ۳             | ۸۰  |
| ۵۰۰                                  | ۲۴۰                           | ۹۰                            | ۱۶۰            | ۴             | ۱۰۰ |
| ۱۱۰۰                                 | ۵۴۰                           | ۲۰۰                           | ۳۶۰            | ۵             | ۱۲۵ |
| ۱۹۰۰                                 | ۹۶۰                           | ۳۵۰                           | ۶۲۰            | ۶             | ۱۵۰ |
| ۳۶۰۰                                 | ۲۲۰۰                          | ۶۰۰                           | ۱۴۰۰           | ۸             | ۲۰۰ |
| ۵۶۰۰                                 | ۳۸۰۰                          | ۱۰۰۰                          | ۲۵۰۰           | ۱۰            | ۲۵۰ |
| ۸۴۰۰                                 | ۶۰۰۰                          | ۱۵۰۰                          | ۳۹۰۰           | ۱۲            | ۳۰۰ |

جدول ۱۵-۴ ظرفیت لوله افقی اصلی فاضلاب ساختمان

| حداکثر تعداد D.F.U. که به هر قسمت از لوله اصلی افقی متصل می‌شود،<br>به اضافه شاخه‌هایی که به طور مستقیم به این لوله وصل می‌شود. |                  |                  |                  | قطر لوله<br>(بر حسب اینچ) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| شیب در هر فوت طول                                                                                                               |                  |                  |                  |                           |
| 1/2 Inch/ft (4%)                                                                                                                | 1/4 Inch/ft (2%) | 1/8 Inch/ft (1%) | 1/16 Inch (0.5%) |                           |
| ۲۶                                                                                                                              | ۲۱               |                  |                  | ۲                         |
| ۵۰                                                                                                                              | ۴۲               | ۳۶               |                  | ۳                         |
| ۲۵۰                                                                                                                             | ۲۱۶              | ۱۸۰              |                  | ۴                         |
| ۵۷۵                                                                                                                             | ۴۸۰              | ۳۹۰              |                  | ۵                         |
| ۱۰۰۰                                                                                                                            | ۸۴۰              | ۷۰۰              |                  | ۶                         |
| ۲۳۰۰                                                                                                                            | ۱۹۲۰             | ۱۶۰۰             | ۱۴۰۰             | ۸                         |
| ۴۲۰۰                                                                                                                            | ۳۵۰۰             | ۲۹۰۰             | ۲۵۰۰             | ۱۰                        |
| ۶۷۰۰                                                                                                                            | ۵۶۰۰             | ۴۶۰۰             | ۲۹۰۰             | ۱۲                        |
| ۱۲۰۰۰                                                                                                                           | ۱۰۰۰۰            | ۸۳۰۰             | ۷۰۰۰             | ۱۵                        |

جدول ۱۵-۵ ظرفیت لوله‌های افقی آب باران

| حداکثر تصویر سطح بام بر صفحه افقی بر حسب فوت مربع و گالن آمریکایی در دقیقه برای شیب های مختلف |        |                     |        |                     |        | قطر لوله<br>آب باران<br>(اینچ) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|--------------------------------|
| شیب ۱/۲ اینچ بر فوت                                                                           |        | شیب ۱/۴ اینچ بر فوت |        | شیب ۱/۸ اینچ بر فوت |        |                                |
| فوت مربع                                                                                      | gpm    | فوت مربع            | gpm    | فوت مربع            | gpm    |                                |
| ۶۸                                                                                            | ۶۵۷۶   | ۴۸                  | ۴۶۴۰   | ۳۴                  | ۳۲۸۸   | ۳                              |
| ۱۵۶                                                                                           | ۱۵۰۴۰  | ۱۱۰                 | ۱۰۶۰۰  | ۷۸                  | ۷۵۲۰   | ۴                              |
| ۲۷۸                                                                                           | ۲۶۷۲۰  | ۱۹۶                 | ۱۸۸۸۰  | ۱۳۹                 | ۱۳۳۶۰  | ۵                              |
| ۴۴۵                                                                                           | ۴۲۸۰۰  | ۳۱۴                 | ۳۰۲۰۰  | ۲۲۲                 | ۲۱۴۰۰  | ۶                              |
| ۹۵۶                                                                                           | ۹۲۰۰۰  | ۶۷۷                 | ۶۵۲۰۰  | ۴۷۸                 | ۴۶۰۰۰  | ۸                              |
| ۱۷۲۱                                                                                          | ۱۶۵۶۰۰ | ۱۲۱۴                | ۱۱۶۸۰۰ | ۸۶۰                 | ۸۲۸۰۰  | ۱۰                             |
| ۲۷۶۸                                                                                          | ۲۶۶۴۰۰ | ۱۹۵۳                | ۱۸۸۰۰۰ | ۱۳۸۴                | ۱۳۳۲۰۰ | ۱۲                             |
| ۴۹۴۶                                                                                          | ۴۷۶۰۰۰ | ۳۴۹۱                | ۳۳۶۰۰۰ | ۲۴۷۳                | ۲۳۸۰۰۰ | ۱۵                             |

جدول ۱۵-۶ ظرفیت لوله‌های عمودی آب باران

| گالن آمریکایی<br>در دقیقه | حداکثر تصویر سطح بام<br>بر صفحه افقی (فوت مربع) | قطر لوله آب باران<br>(اینچ) |
|---------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------|
| ۲۳                        | ۲۱۷۶                                            | ۲                           |
| ۴۱                        | ۳۹۴۸                                            | ۲ ۱/۲                       |
| ۶۷                        | ۶۴۴۰                                            | ۳                           |
| ۱۴۴                       | ۱۳۸۴۰                                           | ۴                           |
| ۲۶۱                       | ۲۵۱۲۰                                           | ۵                           |
| ۴۲۴                       | ۴۰۸۰۰                                           | ۶                           |
| ۹۱۳                       | ۸۸۰۰۰                                           | ۸                           |

جدول ۷-۱۵ ظرفیت لوله‌های تهویه

| حداکثر طول لوله هواکش (فوت)<br>بر حسب قطر لوله هواکش (اینچ) |    |     |      |     |     |      |                |     |                |                | مقدار<br>متصل D.F.U<br>به لوله قائم | قطر لوله<br>قائم فاضلاب<br>(اینچ) |
|-------------------------------------------------------------|----|-----|------|-----|-----|------|----------------|-----|----------------|----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| ۱۲                                                          | ۱۰ | ۸   | ۶    | ۵   | ۴   | ۳    | $2\frac{1}{2}$ | ۲   | $1\frac{1}{2}$ | $1\frac{1}{4}$ |                                     |                                   |
|                                                             |    |     |      |     |     |      |                |     |                | ۳۰             | ۲                                   | $1\frac{1}{4}$                    |
|                                                             |    |     |      |     |     |      |                |     | ۱۵۰            | ۵۰             | ۸                                   | $1\frac{1}{2}$                    |
|                                                             |    |     |      |     |     |      |                |     | ۱۰۰            | ۳۰             | ۱۰                                  | $1\frac{1}{2}$                    |
|                                                             |    |     |      |     |     |      |                | ۲۰۰ | ۷۵             | ۳۰             | ۱۲                                  | ۲                                 |
|                                                             |    |     |      |     |     |      |                | ۱۵۰ | ۵۰             | ۲۶             | ۲۰                                  | ۲                                 |
|                                                             |    |     |      |     |     |      | ۳۰۰            | ۱۰۰ | ۳۰             |                | ۴۲                                  | $2\frac{1}{2}$                    |
|                                                             |    |     |      |     |     | ۱۰۴۰ | ۳۶۰            | ۱۵۰ | ۴۲             |                | ۱۰                                  | ۳                                 |
|                                                             |    |     |      |     |     | ۸۱۰  | ۲۷۰            | ۱۱۰ | ۳۲             |                | ۲۱                                  | ۳                                 |
|                                                             |    |     |      |     |     | ۶۸۰  | ۲۳۰            | ۹۴  | ۲۷             |                | ۵۳                                  | ۳                                 |
|                                                             |    |     |      |     |     | ۶۲۰  | ۲۱۰            | ۸۶  | ۲۵             |                | ۱۰۲                                 | ۳                                 |
|                                                             |    |     |      |     | ۹۸۰ | ۲۵۰  | ۸۵             | ۳۵  |                |                | ۴۳                                  | ۴                                 |
|                                                             |    |     |      |     | ۷۵۰ | ۲۰۰  | ۶۵             | ۲۷  |                |                | ۱۴۰                                 | ۴                                 |
|                                                             |    |     |      |     | ۶۴۰ | ۱۷۰  | ۵۵             | ۲۳  |                |                | ۳۲۰                                 | ۴                                 |
|                                                             |    |     |      |     | ۵۸۰ | ۱۵۰  | ۵۰             | ۲۱  |                |                | ۵۴۰                                 | ۴                                 |
|                                                             |    |     |      | ۹۹۰ | ۳۲۰ | ۸۲   | ۲۸             |     |                |                | ۱۹۰                                 | ۵                                 |
|                                                             |    |     |      | ۷۶۰ | ۲۵۰ | ۶۳   | ۲۱             |     |                |                | ۴۹۰                                 | ۵                                 |
|                                                             |    |     |      | ۶۷۰ | ۲۱۰ | ۵۳   | ۱۸             |     |                |                | ۹۴۰                                 | ۵                                 |
|                                                             |    |     |      | ۵۹۰ | ۱۹۰ | ۴۹   | ۱۶             |     |                |                | ۱۴۰۰                                | ۵                                 |
|                                                             |    |     | ۱۰۰۰ | ۴۰۰ | ۱۳۰ | ۳۳   |                |     |                |                | ۵۰۰                                 | ۶                                 |
|                                                             |    |     | ۷۸۰  | ۳۱۰ | ۱۰۰ | ۲۶   |                |     |                |                | ۱۱۰۰                                | ۶                                 |
|                                                             |    |     | ۶۶۰  | ۲۶۰ | ۸۴  | ۲۲   |                |     |                |                | ۲۰۰۰                                | ۶                                 |
|                                                             |    |     | ۶۰۰  | ۲۴۰ | ۷۷  | ۲۰   |                |     |                |                | ۲۹۰۰                                | ۶                                 |
|                                                             |    | ۹۴۰ | ۲۴۰  | ۹۵  | ۳۱  |      |                |     |                |                | ۱۸۰۰                                | ۸                                 |
|                                                             |    | ۷۲۰ | ۱۹۰  | ۷۳  | ۲۴  |      |                |     |                |                | ۳۴۰۰                                | ۸                                 |
|                                                             |    | ۶۱۰ | ۱۶۰  | ۶۲  | ۲۰  |      |                |     |                |                | ۵۶۰۰                                | ۸                                 |
|                                                             |    | ۵۶۰ | ۱۴۰  | ۵۶  | ۱۸  |      |                |     |                |                | ۷۶۰۰                                | ۸                                 |



## فصل شانزدهم

### شبکه گاز طبیعی

در این فصل اصول طراحی شبکه گاز ساختمان‌های مسکونی و تجاری و برخی نکات اجرایی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. به دلیل اهمیت خاص شبکه گاز طبیعی به لحاظ ایمنی، طراحی آن حتماً باید بر اساس استاندارد شرکت ملی گاز ایران انجام شود.

#### ۱-۱۶. فشار گاز در شبکه

فشار شبکه گاز شهری  $60 \text{ psi}$  بوده و با توجه به کاربری ملک در ورودی شبکه لوله‌کشی ساختمان به فشار مورد نیاز کاهش می‌یابد. فشار گاز در شبکه لوله‌کشی ساختمان با توجه به طول لوله‌کشی و میزان مصرف گاز به  $0.25 \text{ psi}$  (۷ اینچ آب) یا  $2 \text{ psi}$  ( $0.14$  کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) است:

۱. فشار  $0.25 \text{ psi}$  (۷ اینچ آب): ساختمان‌های مسکونی و تجاری با طول لوله‌کشی و مصرف گاز کم
  ۲. فشار  $2 \text{ psi}$  ( $0.14$  کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع): ساختمان‌های مسکونی و تجاری با طول لوله‌کشی یا مصرف گاز زیاد
- وسيله‌ای که فشار شبکه توزیع گاز را کاهش داده و آن را در مقدار مجاز برای مصارف خانگی، تجاری یا صنعتی ثابت نگه می‌دارد، رگلاتور نامیده می‌شود. در شبکه گاز با فشار ۷ اینچ آب، کاهش فشار در یک مرحله و در شبکه گاز با فشار  $0.14$  کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، در دو مرحله به وسیله رگلاتورهای اولیه و ثانویه صورت می‌گیرد. فشار بیش از  $2 \text{ psi}$  در تأسیسات صنعتی مورد استفاده قرار گرفته و ضوابط طراحی و اجرای آن با توجه به استانداردهای صنعتی تعیین می‌گردد.

#### ۲-۱۶. مراحل طراحی شبکه گاز

مراحل محاسبات و طراحی شبکه گاز طبیعی عبارت است از:

۱. تهیه نقشه لوله‌کشی شامل نقشه پلان و ایزومتریک
  ۲. تعیین مقدار مصرف گاز هر یک از وسایل گازسوز: میزان مصرف وسایل گازسوز مختلف در جدول ۱-۱۶ ارائه شده است.
  ۳. تعیین دورترین مسیر لوله
  ۴. تعیین قطر لوله‌ها: با مشخص بودن میزان مصرف گاز در هر یک از انشعابات و طول دورترین مسیر لوله با استفاده از جدول ۲-۱۶ می‌توان قطر لوله‌ها را تعیین نمود. توجه به این نکته ضروری است که برای تعیین اندازه تمامی لوله‌ها تنها یک سطر جدول فوق مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب اطمینان لازم نیز در مقادیر جدول فوق لحاظ شده است.
- در صورتیکه طول لوله‌کشی یا میزان مصرف گاز به حدی باشد که با استفاده از جدول ۲-۱۶ قطر لوله‌ها از ۴ اینچ بیشتر شود، می‌بایست با تایید شرکت ملی گاز از شبکه با فشار  $0.14$  کیلوگرم بر سانتیمتر مربع استفاده نمود.

در تهیه مسیر لوله‌کشی از علمک ورودی ملک تا وسایل گازسوز رعایت نکات زیر ضروری است:

۱. رگلاتور باید در فضای آزاد و یا در محلی که به روشی مطمئن به هوای آزاد راه داشته باشد، نصب گردد.
۲. کنتور باید در داخل ساختمان و حتی‌الامکان بلافاصله بعد از رگلاتور قرار گرفته و در معرض جریان هوا باشد.
۳. فاصله کنتور از منابع تولید اشتعال مانند کوره و آب گرمکن باید حداقل یک متر باشد.

۴. فاصله کنتور از سیم‌های برق روکار باید حداقل ۱۰ سانتیمتر و از کنتور برق حداقل ۵۰ سانتیمتر باشد.
۵. فاصله لوله‌های روکار تا لوله‌های آب گرم باید حداقل ۵ سانتیمتر بوده و چنانچه حفظ این فاصله امکان‌پذیر نباشد، باید روی لوله گاز عایق‌بندی حرارتی گردد.
۶. فاصله لوله‌های روکار از سیم‌های برق روکار، کلید و پریز برق باید حداقل ۵ سانتیمتر باشد.
۷. شیرهای گاز باید حداقل ۱۰ سانتیمتر بالاتر از کلید و پریز نصب شوند. نصب شیر گاز در تراز پایین‌تر از مقدار ذکر شده در صورتی مجاز است که فاصله افقی شیر گاز از لبه کلید و پریز حداقل ۱۰ سانتیمتر باشد.

### ۱۶-۳. انواع شیرآلات در شبکه لوله‌کشی گاز

شیرهایی که قبل از لوله‌کشی داخلی ساختمان نصب می‌شود عبارت است از:

۱. شیر پیاده‌رو که در قسمت افقی انشعاب لوله گاز ساختمان در زیر زمین نصب شده و دسترسی به آن از طریق دریچه‌ای بر روی سطح زمین امکان‌پذیر است. شیر پیاده‌رو فقط توسط کارکنان مجاز شرکت ملی گاز ایران و بوسیله آچار مخصوص باز و بسته می‌شود.
۲. شیر قبل از رگلاتور که قبل از رگلاتور نصب شده و دارای سوراخی برای قفل کردن در حالت بسته است. این شیر از نوع سماوری بوده و باید برای فشار کاری ۶۰ psi مناسب باشد.

شیرهایی که بر روی لوله‌کشی گاز داخلی نصب می‌گردد همگی از نوع ربع‌گرد توپکی یا سماوری بوده و عبارت است:

۱. شیر اصلی مصرف که در ابتدای لوله‌کشی داخلی و بلافاصله بعد از کنتور نصب می‌شود.
۲. شیر فرعی که بعد از انشعاب هر واحد مستقل (مانند آپارتمان)، روی لوله‌کشی آن واحد نصب می‌گردد.
۳. شیر مصرف که قبل از وسیله گازسوز نصب می‌شود.

### ۱۶-۴. نکات اجرایی شبکه لوله‌کشی گاز

در ادامه برخی نکات در خصوص چگونگی نصب و بهره‌برداری از شبکه لوله‌کشی گاز مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۱. لوله‌کشی گاز باید حتی‌الامکان به صورت روکار اجرا گردد.
۲. جنس لوله‌های روکار از فولاد سیاه درزدار یا بدون درز است.
۳. اتصال لوله‌های روکار تا قطر ۲ اینچ می‌تواند دنده‌ای یا جوشی بوده و برای قطر بالاتر باید حتماً جوشی باشد.
۴. حداکثر فاصله بین نقاط بست یا پایه‌ها نباید از مقادیر جدول ۱۶-۳ بیشتر باشد.
۵. در مواردی که لوله از داخل دیوار یا سقف عبور می‌کند، باید با نصب غلاف از ساییدگی لوله جلوگیری به عمل آید.



جدول ۱۶-۱ میزان مصرف وسایل گازسوز مختلف

| مقدار تقریبی مصرف مترمکعب در ساعت | وسایل گازسوز                                    |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------|
| ۰/۳                               | اجاق گاز خانگی تک شعله                          |
| ۰/۷                               | اجاق گاز خانگی متوسط سه شعله                    |
| ۱                                 | اجاق گاز خانگی پنج شعله بدون فر                 |
| ۰/۳                               | فر یا کباب پز                                   |
| ۱/۳                               | اجاق گاز تجاری چند شعله                         |
| ۰/۵                               | آبگرمکن مخزن دار با ظرفیت ۷۵ لیتر               |
| ۰/۸                               | آبگرمکن مخزن دار با ظرفیت ۱۱۵ لیتر              |
| ۱/۴                               | آبگرمکن مخزن دار با ظرفیت ۱۹۰ لیتر              |
| ۱/۷                               | آبگرمکن فوری با ظرفیت ۴ لیتر در دقیقه           |
| ۳/۵                               | آبگرمکن فوری با ظرفیت ۸ لیتر در دقیقه           |
| ۰/۱                               | یخچال گازی                                      |
| ۰/۱                               | چراغ گازی                                       |
| ۵                                 | مشعل تنور                                       |
| ۰/۸                               | بخاری گازی                                      |
| ۰/۴                               | پلوپز گازی                                      |
| ۲/۵                               | پلوپز بزرگ تجاری گازی                           |
| ۱/۵                               | مشعل گازی شوفاژ به ازاء هر ۱۰۰ متر مربع زیر بنا |

جدول ۱۶-۲ حداکثر ظرفیت لوله‌های گاز طبیعی با فشار ۷ اینچ آب و چگالی ۰/۶۵

| قطر اسمی لوله به اینچ |       |                |       |                |                |      |               |               | طول لوله<br>به متر |
|-----------------------|-------|----------------|-------|----------------|----------------|------|---------------|---------------|--------------------|
| ۴                     | ۳     | $2\frac{1}{2}$ | ۲     | $1\frac{1}{2}$ | $1\frac{1}{4}$ | ۱    | $\frac{3}{4}$ | $\frac{1}{2}$ |                    |
| ۸۰۱/۹                 | ۳۹۰/۷ | ۲۲۰/۰          | ۱۳۸/۳ | ۷۲/۰           | ۴۷/۹           | ۲۳/۳ | ۱۲/۳۰         | ۵/۹۰          | ۲                  |
| ۵۵۱/۱                 | ۲۶۸/۵ | ۱۵۱/۲          | ۹۵/۱  | ۴۹/۴           | ۳۲/۹           | ۱۶/۰ | ۸/۵۰          | ۴/۰۰          | ۴                  |
| ۴۴۲/۸                 | ۲۱۵/۷ | ۱۲۱/۵          | ۷۶/۴  | ۳۹/۷           | ۲۶/۴           | ۱۲/۹ | ۶/۸۰          | ۳/۲۰          | ۶                  |
| ۳۷۹/۱                 | ۱۸۴/۷ | ۱۰۴/۰          | ۶۵/۴  | ۳۴/۰           | ۲۲/۶           | ۱۱/۰ | ۵/۸۰          | ۲/۸۰          | ۸                  |
| ۳۲۹/۷                 | ۱۶۰/۶ | ۹۰/۴           | ۵۶/۹  | ۲۹/۶           | ۱۹/۷           | ۹/۶  | ۵/۰۰          | ۲/۴۰          | ۱۰                 |
| ۳۰۴/۳                 | ۱۴۸/۲ | ۸۳/۴           | ۵۲/۵  | ۲۷/۳           | ۱۸/۱           | ۸/۸  | ۴/۷۰          | ۲/۲۰          | ۱۲                 |
| ۲۷۹/۴                 | ۱۳۶/۱ | ۷۶/۶           | ۴۸/۲  | ۲۵/۰           | ۱۶/۷           | ۸/۱  | ۴/۳۰          | ۲/۰۰          | ۱۴                 |
| ۲۶۰/۰                 | ۱۲۶/۷ | ۷۱/۳           | ۴۴/۸  | ۲۳/۳           | ۱۵/۵           | ۷/۵  | ۴/۰۰          | ۱/۹۰          | ۱۶                 |
| ۲۴۴/۸                 | ۱۱۹/۳ | ۶۷/۱           | ۴۲/۲  | ۲۱/۹           | ۱۴/۶           | ۷/۱  | ۳/۷۰          | ۱/۸۰          | ۱۸                 |
| ۲۳۱/۰۰                | ۱۱۲/۵ | ۶۳/۳           | ۳۹/۸  | ۲۰/۷           | ۱۳/۸           | ۶/۷  | ۳/۵۰          | ۱/۷۰          | ۲۰                 |
| ۲۱۹/۲                 | ۱۰۶/۸ | ۶۰/۱           | ۳۷/۸  | ۱۹/۶           | ۱۳/۱           | ۶/۳  | ۳/۳۰          | ۱/۶۰          | ۲۲                 |
| ۲۰۹/۲                 | ۱۰۱/۹ | ۵۷/۴           | ۳۶/۱  | ۱۸/۷           | ۱۲/۵           | ۶/۱  | ۳/۲۰          | ۱/۵۰          | ۲۴                 |
| ۲۰۰/۹                 | ۹۷/۹  | ۵۵/۱           | ۳۴/۶  | ۱۸/۰           | ۱۲/۰           | ۵/۸  | ۳/۱۰          | ۱/۴۰          | ۲۶                 |
| ۱۹۲/۰                 | ۹۳/۶  | ۵۲/۶           | ۳۳/۱  | ۱۷/۲           | ۱۱/۴           | ۵/۵  | ۲/۹۰          | ۱/۴۰          | ۲۸                 |
| ۱۸۵/۱                 | ۹۰/۲  | ۵۰/۸           | ۳۱/۹  | ۱۶/۶           | ۱۱/۰           | ۵/۳  | ۲/۸۰          | ۱/۳۰          | ۳۰                 |
| ۱۷۰/۶                 | ۸۳/۱  | ۴۶/۸           | ۲۹/۴  | ۱۵/۳           | ۱۰/۲           | ۴/۹  | ۲/۶۰          | ۱/۲۰          | ۳۵                 |
| ۱۵۷/۹                 | ۷۶/۹  | ۴۳/۳           | ۲۷/۱  | ۱۴/۱           | ۹/۴            | ۴/۶  | ۲/۴۰          | ۱/۱۰          | ۴۰                 |
| ۱۴۸/۱                 | ۷۲/۲  | ۴۰/۶           | ۲۵/۵  | ۱۳/۳           | ۸/۸            | ۴/۳  | ۲/۲۰          | ۱/۱۰          | ۴۵                 |
| ۱۴۱/۰                 | ۶۸/۷  | ۳۸/۶           | ۲۴/۳  | ۱۲/۶           | ۸/۴            | ۴/۱  | ۲/۱۰          | ۱/۰۰          | ۵۰                 |
| ۱۳۳/۹                 | ۶۵/۲  | ۳۶/۷           | ۲۳/۱  | ۱۲/۰           | ۸/۰            | ۳/۹  | ۲/۰۰          | ۰/۹۹          | ۵۵                 |
| ۱۲۸/۱                 | ۶۲/۴  | ۳۵/۱           | ۲۲/۱  | ۱۱/۵           | ۷/۶            | ۳/۷  | ۱/۹۰          | ۰/۹۴          | ۶۰                 |
| ۱۱۶/۱                 | ۵۶/۵  | ۳۱/۸           | ۲۰/۰  | ۱۰/۴           | ۶/۹            | ۳/۳  | ۱/۸۰          | ۰/۸۵          | ۷۰                 |
| ۱۰۸/۹                 | ۵۳/۱  | ۲۹/۸           | ۱۸/۸  | ۹/۷            | ۶/۵            | ۳/۱  | ۱/۶۰          | ۰/۸۰          | ۸۰                 |
| ۱۰۲/۰                 | ۴۹/۷  | ۲۸/۰           | ۱۷/۶  | ۹/۱            | ۶/۱            | ۲/۹  | ۱/۵۰          | ۰/۷۵          | ۹۰                 |
| ۹۶/۵                  | ۴۷/۰  | ۲۶/۴           | ۱۶/۶  | ۸/۶            | ۵/۷            | ۲/۸  | ۱/۴۰          | ۰/۷۱          | ۱۰۰                |
| ۸۷/۳                  | ۴۲/۵  | ۲۳/۹           | ۱۵/۰  | ۷/۸            | ۵/۲            | ۲/۵  | ۱/۳۰          | ۰/۶۴          | ۱۲۰                |
| ۷۷/۵                  | ۳۷/۷  | ۲۱/۲           | ۱۳/۳  | ۶/۹            | ۴/۶            | ۲/۲  | ۱/۲۰          | ۰/۵۷          | ۱۵۰                |
| ۶۶/۲                  | ۳۲/۲  | ۱۸/۱           | ۱۱/۴  | ۵/۹            | ۳/۹            | ۱/۹  | ۱/۰۰          | ۰/۴۹          | ۲۰۰                |
| ۵۸/۸                  | ۲۸/۶  | ۱۶/۱           | ۱۰/۱  | ۵/۲            | ۳/۵            | ۱/۷  | ۰/۹۱          | ۰/۴۳          | ۲۵۰                |
| ۵۳/۲                  | ۲۵/۹  | ۱۴/۶           | ۹/۲   | ۴/۷            | ۳/۱            | ۱/۵  | ۰/۸۲          | ۰/۳۹          | ۳۰۰                |

جدول ۱۶-۳ حداکثر فاصله بین بست‌ها در لوله‌کشی گاز

| قطر اسمی لوله به اینچ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{3}{4}$ و ۱ | $1\frac{1}{4}$ یا بزرگتر (افقی) | $1\frac{1}{4}$ یا بزرگتر (عمودی) |
|-----------------------|---------------|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| فواصل اتکاء به متر    | ۲             | $2\frac{1}{2}$    | ۳                               | در هر طبقه                       |



مطابق شکل ۱، قسمت‌های اصلی نرم‌افزار عبارت است از:

۱. Menu Bar: در قسمت بالای صفحه نرم‌افزار قرار داشته و با استفاده از آن می‌توان عملیات مختلف نرم‌افزار را انجام داد.
۲. Tool Bar: زیر Menu Bar قرار داشته و شامل برخی کلیدهای میان‌بر برای انجام عملیات اصلی نرم‌افزار است.
۳. Tree View: در سمت چپ صفحه نرم‌افزار قرار داشته و شامل بخش‌های اصلی نرم‌افزار است.
۴. List View: در سمت راست صفحه نرم‌افزار قرار داشته و شامل فهرست داده‌های لازم برای بخش‌های اصلی نرم‌افزار است.

اگر چه اغلب بخش‌های Menu Bar و Tool Bar مشابه سایر نرم‌افزارهای تحت ویندوز است، اما در کنار آنها توجه به نکات زیر ضروری می‌باشد:

۱. فایل‌های ذخیره شده بوسیله نرم‌افزار HAP تنها روی سیستم اولیه قابل دسترسی بوده و قابل انتقال به سایر سیستم‌ها نیست. برای انتقال فایل به سایر سیستم‌ها می‌بایست فایل مورد نظر را بایگانی نمود. این کار با استفاده از Project/Archive قابل انجام است. چنین فایلی با پسوند E3A. ذخیره شده و سپس می‌توان آن را با استفاده از Project/Retrieve (برای فایل‌های بایگانی نسخه مشابه) یا Project/Convert (برای فایل‌های بایگانی نسخه‌های پایین‌تر) روی سایر سیستم‌ها باز یافت نمود.
۲. در بسیاری از موارد محورهای ساختمان در جهات اصلی جغرافیایی قرار ندارد. در این‌گونه موارد جهت شمال واقعی نسبت به شمال نقشه به صورت علامتی در سمت راست و بالای نقشه مشخص می‌گردد. برای سادگی مدلسازی چنین ساختمان‌هایی در نرم‌افزار HAP می‌توان ابتدا ساختمان را نسبت به جهت شمال نقشه در نرم‌افزار مدل کرده و سپس کل ساختمان را با استفاده از Edit/Rotate به میزان دلخواه چرخاند.
۳. سیستم آحاد مورد استفاده بوسیله نرم‌افزار را می‌توان با استفاده از View/Options.../General/Measurement Units تنظیم نمود.
۴. با استفاده از View/Options.../Other Options/Operating Mode می‌توان بخش مربوط به محاسبه مصرف سالانه انرژی ساختمان و هزینه آن را فعال نمود.

قسمت‌های مختلف Tree View عبارت است از:

۱. Weather: داده‌های مربوط به آب و هوای محیط
۲. Spaces: داده‌های مربوط به هندسه فضاها، مشخصات جدارها، بام، کف، پنجره‌ها، هوای نفوذ و بارهای داخلی
۳. Systems: داده‌های مربوط به سیستم تهویه مطبوع (برای طراحی سیستم تهویه مطبوع)
۴. Plants: داده‌های مربوط به موتورخانه تهویه مطبوع (برای طراحی سیستم تهویه مطبوع)
۴. Building: داده‌های مربوط به هزینه انرژی (برای محاسبه مصرف انرژی ساختمان و هزینه آن)
۵. Project Libraries: برخی از داده‌های لازم برای قسمت‌های مختلف نرم‌افزار را می‌توان پیش از شروع مدلسازی به صورت کتابخانه ذخیره نمود، این موارد عبارت است از:

- مشخصات برنامه‌های زمان‌بندی (Schedule): مانند زمان‌بندی روشن و خاموش شدن سیستم روشنایی یا سیستم تهویه
- مشخصات دیوارها (Walls)
- مشخصات بام (Roofs)
- مشخصات پنجره‌ها (Windows)
- مشخصات درها (Doors)
- مشخصات سایه‌بان‌ها (Shades)
- سایر مشخصات (برای محاسبه مصرف انرژی ساختمان و هزینه آن)

## ۱۷-۲. داده‌های مربوطه به آب و هوا (Weather)

مطابق شکل ۱۷-۲، بخش‌های مختلف این قسمت از نرم‌افزار عبارت است از:

۱. Design Parameters: ورود داده‌های طراحی مربوط به آب و هوا
  ۲. Design Temperatures: محاسبه دمای طرح در ساعات مختلف برای ماه‌های مختلف سال
  ۳. Design Solar: محاسبه کسب حرارت خورشیدی در ساعات مختلف برای ماه‌های مختلف سال
  ۴. Simulation: ورود داده‌های طراحی مربوط به آب و هوا (برای محاسبه مصرف انرژی ساختمان و هزینه آن)
- از میان بخش‌های ۱ تا ۳ تنها باید در بخش Design Parameters داده‌های طراحی وارد شده و دمای طرح و کسب حرارت خورشیدی در ساعات مختلف برای ماه‌های مختلف سال بوسیله نرم‌افزار محاسبه و در بخش‌های Design Temperatures و Design Solar ارائه می‌شود.

شکل ۱۷-۲. بخش‌های مختلف پنجره Weather/Design Parameters

مطابق شکل ۱۷-۲، داده‌های طراحی مربوط به آب و هوا را می‌توان مستقیماً وارد کرده یا از کتابخانه موجود در نرم‌افزار استخراج نمود. برای شهرهای ایران تنها داده‌های آب و هوایی مربوط به شهر تهران در کتابخانه نرم‌افزار موجود است. در این رابطه نکات زیر حائز اهمیت است:

۱. دمای حباب مرطوب طراحی زمستانی تنها در صورت استفاده از سیستم‌های رطوبت‌زنی (برای طراحی سیستم تهویه مطبوع) مورد استفاده قرار گرفته و در چنین حالتی طبق توصیه نرم‌افزار بهتر است دمای حباب مرطوب طراحی زمستانی را با استفاده از دمای حباب خشک طراحی زمستانی و رطوبت نسبی ۵۰٪ محاسبه نمود.
۲. در اغلب موارد نیازی به تغییر مقادیر مربوط به میزان صافی هوا (Atmospheric Cleanness Number)، ضریب بازتابش زمین (Average Ground Reflectance) و ضریب هدایت خاک (Soil Conductivity) نیست.
۳. بهتر است محاسبات بار برای تمام ماه‌های سال انجام شود.
۴. در صورت نیاز می‌توان گزینه مربوط به Daylight Saving Time را فعال نمود. در این صورت برای ایران تاریخ شروع و پایان برنامه تغییر ساعت به ترتیب اول فروردین (۲۰ مارس) و اول مهر (۲۳ سپتامبر) است.

### ۱۷-۳. داده‌های مربوط به فضاها (Spaces)

مطابق شکل ۱۷-۳، بخش‌های مختلف این قسمت از نرم‌افزار عبارت است از:

۱. General: ورود داده‌های کلی مربوط به فضای مورد نظر
۲. Internals: ورود داده‌های مربوط به بارهای داخلی
۳. Walls, Windows, Doors: ورود داده‌های مربوط به دیوارهای خارجی، پنجره‌ها و درها
۴. Roofs, Skylights: ورود داده‌های مربوط به بام و نورگیرها
۵. Infiltration: ورود داده‌های مربوط به نفوذ هوای خارج
۶. Floors: ورود داده‌های مربوط به کف
۷. Partitions: ورود داده‌های مربوط به پارتیشن‌ها

شکل ۱۷-۳ بخش‌های مختلف پنجره Space/General

### ۱۷-۳-۱. داده‌های کلی ساختمان (General)

مطابق شکل ۱۷-۳، در این بخش نام، مساحت و ارتفاع متوسط فضا، وزن ساختمان و میزان هوای تازه مورد نیاز مشخص می‌گردد. در این رابطه موارد زیر می‌بایست مورد توجه قرار گیرد:

۱. از آنجا که وزن غالب سازه‌های مورد استفاده در ساختمان‌های ایران سنگین است، در غیاب داده‌های طراحی مورد نظر، می‌توان وزن ساختمان را سنگین در نظر گرفت.
۲. میزان هوای تازه مورد نیاز را می‌توان مستقیماً وارد کرده یا بر اساس نوع کاربری از کتابخانه موجود در نرم‌افزار استخراج نمود.

### ۱۷-۳-۲. داده‌های بارهای داخلی (Internals)

مطابق شکل ۱۷-۴، در این بخش داده‌های مربوط به سیستم روشنایی عمومی، سیستم روشنایی کاری، وسایل الکتریکی، افراد و بارهای متفرقه تعیین می‌شود. در این رابطه موارد زیر حائز اهمیت است:

۱. نوع سیستم روشنایی می‌تواند آویزان (Free Hanging)، توکار بدون تهویه (Recessed, unvented) یا توکار با تهویه (Recessed, vented) باشد.
۲. میزان روشنایی قابل قبول برای کاربری‌های مختلف توسط ASHRAE ارائه شده و برای اماکن اداری برابر  $2 \text{ W/ft}^2$  است.
۳. برای لامپ‌های فلوروسنت ضریب بالاست برابر  $1/25$  می‌باشد.

۴. کسب حرارت افراد را می‌توان مستقیماً وارد کرده و یا با توجه به نوع فعالیت افراد از کتابخانه موجود در نرم‌افزار انتخاب نمود.
۵. مشخص کردن برنامه زمان‌بندی برای هر یک بارهای داخلی ضروری است. برنامه زمان‌بندی بارهای مختلف ممکن است یکسان بوده یا با یکدیگر متفاوت باشد. برای تعیین برنامه زمان‌بندی می‌توان از <create new schedule> استفاده کرده یا گزینه مورد نظر را از موارد ذخیره شده در کتابخانه انتخاب نمود.

شکل ۱۷-۴ بخش‌های مختلف پنجره Space/Internals

#### ۱۷-۳-۱. برنامه‌های زمان‌بندی

برنامه‌های زمان‌بندی برای تعیین برنامه کاری سیستم‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته و مطابق شکل ۱۷-۵، نوع و جزئیات آن در قسمت Schedule Properties مشخص می‌شود. بخش‌های مختلف این قسمت از نرم‌افزار عبارت است از:

۱. Schedule Type: تعیین نوع برنامه زمان‌بندی
۲. Hourly Profile: تعیین برنامه زمان‌بندی روزانه
۳. Assignments: تعیین برنامه زمان‌بندی هفتگی و ماهانه (برای محاسبه مصرف سالانه انرژی ساختمان و هزینه آن)

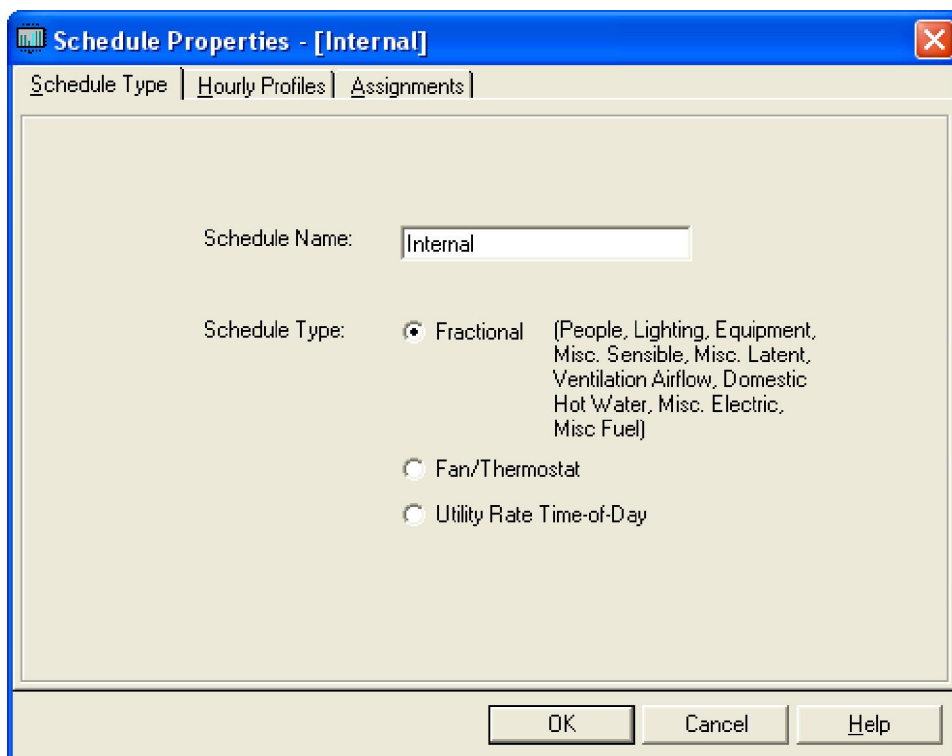
انواع مختلف برنامه زمان‌بندی، مطابق شکل ۱۷-۵، عبارت است از:

۱. Fractional: برنامه کاری بارهای داخلی
  ۲. Fan/Thermostat: برنامه کاری سیستم تهویه مطبوع
  ۳. Utility Rate Time-of-Day: برنامه کاری محاسبه هزینه انرژی (برای محاسبه مصرف سالانه انرژی ساختمان و هزینه آن)
- مطابق شکل ۱۷-۶، در برنامه‌های زمان‌بندی Fractional میزان بار داخلی در ساعات مختلف روز به صورت درصدی از بار داخلی داده شده به نرم‌افزار محاسبه می‌شود. امکان دسترسی به ۸ برنامه مختلف تنها جهت استفاده در بخش Assignments بوده و در محاسبه بار حرارتی و برودتی فضا نقشی ندارد. برنامه‌های زمان‌بندی Fan/Thermostat در بخش ۱۷-۴ معرفی می‌گردد.

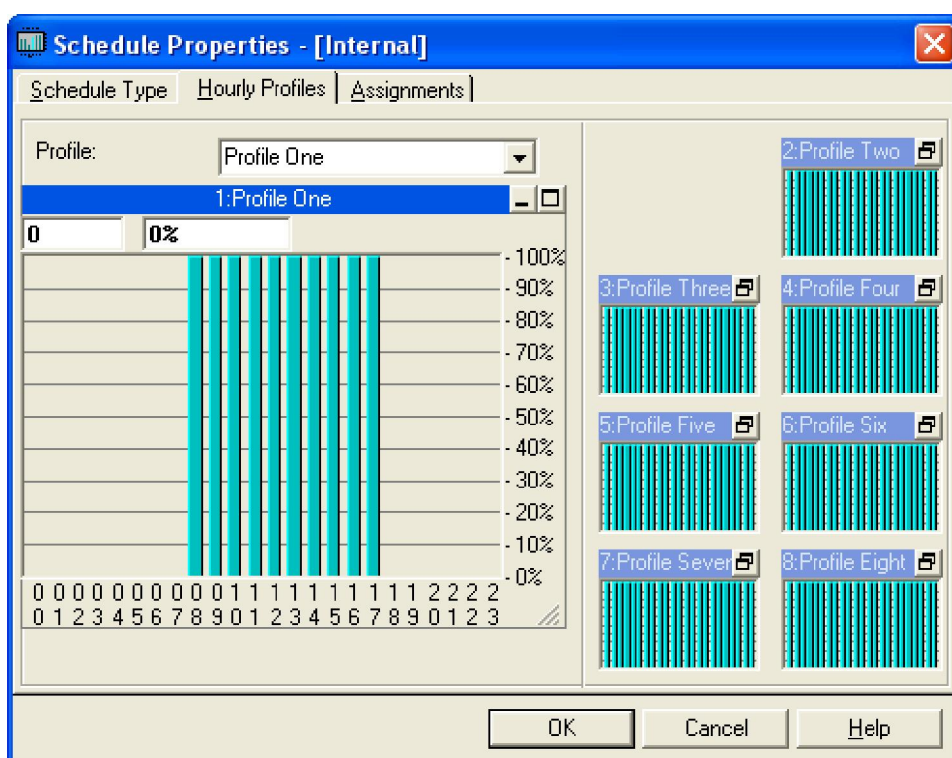
#### ۱۷-۳-۳. داده‌های دیوارهای خارجی، پنجره‌ها و درها (Walls, Windows, Doors)

مطابق شکل ۱۷-۷، در این بخش مساحت، جهت و جنس دیوارهای خارجی، مساحت، جهت و جنس پنجره‌ها و نیز نوع سایبان‌ها تعیین می‌گردد. در این رابطه توجه به نکات زیر ضروری می‌باشد:

۱. برای هر فضا می‌توان ۸ دیوار خارجی و برای هر دیوار خارجی ۲ پنجره، ۲ سایه‌بان و ۱ در معرفی نمود.
۲. مساحت دیوارهای خارجی به صورت ناخالص بوده و مساحت پنجره‌ها و در را نیز شامل می‌شود.
۳. برای تعیین مشخصات دیوارهای خارجی، پنجره‌ها، سایه‌بان‌ها و در می‌توان از <create new schedule> استفاده کرده یا گزینه مورد نظر را از موارد ذخیره شده در کتابخانه انتخاب نمود.



شکل ۱۷-۵ بخش‌های مختلف پنجره Schedule Properties/Schedule Type



شکل ۱۷-۶ مشخصات برنامه زمان‌بندی نوع Fractional



**Space Properties - [Example]**

General | Internals | **Walls, Windows, Doors** | Roofs, Skylights | Infiltration | Floors | Partitions

| Exposure   | Wall Gross Area ft² | Window 1 Quantity | Window 2 Quantity | Door Quantity |
|------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| 1 N        | 135.0               | 1                 | 0                 | 0             |
| 2 W        | 90.0                | 1                 | 0                 | 0             |
| 3 not used |                     |                   |                   |               |
| 4 not used |                     |                   |                   |               |
| 5 not used |                     |                   |                   |               |
| 6 not used |                     |                   |                   |               |
| 7 not used |                     |                   |                   |               |
| 8 not used |                     |                   |                   |               |

Construction Types for Exposure: **1 (N)**

Wall: External Wall

Window 1: North Window

Shade 1: (none)

Window 2: (none)

Shade 2: (none)

Door: (none)

OK Cancel Help

شکل ۱۷-۷ بخش‌های مختلف پنجره Space/Walls, Windows, Doors

#### ۱۷-۳-۱. مشخصات دیوارهای خارجی

مطابق شکل ۱۷-۸، مشخصات لایه‌های مختلف دیوارهای خارجی را می‌توان مستقیماً وارد کرده و یا از کتابخانه موجود در نرم‌افزار استخراج نمود. از آنجا که عموماً مصالح مورد استفاده در ایران با مصالح موجود در کتابخانه نرم‌افزار متفاوت است، بهتر است مشخصات دیوارهای خارجی به صورت دستی محاسبه شده و وارد نرم‌افزار گردد. در این رابطه موارد زیر حائز اهمیت است:

۱. با کلیک راست روی قسمتی از شکل ۱۷-۸ که با فلش مشخص شده و انتخاب گزینه مناسب می‌توان لایه‌های دیوار را پاک کرده یا به آن لایه جدیدی اضافه نمود.

۱. از آنجا که دیوارهای روشن پس از مدتی در اثر آلودگی‌های محیطی تیره شده و ضریب جذب تشعشع آنها افزایش می‌یابد، بهتر است همواره رنگ دیوار را تیره در نظر گرفت.

۲. ظرفیت گرمایی ویژه اغلب مصالح ساختمانی در حدود  $0.2 \text{ Btu/lb.}^{\circ}\text{F}$  است.

#### ۱۷-۳-۲. مشخصات پنجره‌ها

مطابق شکل ۱۷-۹، مشخصات پنجره‌ها را می‌توان مستقیماً وارد کرده و یا از کتابخانه موجود در نرم‌افزار استخراج نمود. در این رابطه نکات زیر می‌بایست مورد توجه قرار گیرد:

۱. قاب فلزی پنجره‌ها می‌تواند به صورت پل حرارتی عمل کرده و اثر عایق بودن پنجره‌های دو جداره را از بین ببرد. در این موارد می‌توان با استفاده از موانع حرارتی (Thermal Breaks) مانع از ایجاد پل حرارتی بوسیله قاب‌های فلزی و افزایش ضریب انتقال حرارت پنجره گردید.

۲. معمولاً در جهت اطمینان سایه‌بان داخلی برای پنجره در نظر گرفته نمی‌شود.

۳. ضخامت شیشه‌های معمولی  $0.125$  اینچ و فاصله هوایی متداول برای شیشه‌های دو جداره  $0.25$  اینچ است.

#### ۱۷-۳-۳. مشخصات درها

مطابق شکل ۱۰، مشخصات درها شامل مساحت در، ضریب انتقال حرارت در، مساحت شیشه، ضریب انتقال حرارت شیشه و ضریب سایه شیشه در این بخش معرفی می‌گردد. نکات زیر در این رابطه حائز اهمیت است:

۱. مساحت در به صورت ناخالص بوده و مساحت شیشه در را نیز شامل می‌شود.

۲. چنانچه شیشه در سایه قرار داشته باشد باید گزینه Glass Shaded All Day انتخاب گردد.

**Wall Properties - [External Wall]**

Wall Assembly Name: **External Wall**

Outside Surface Color: **Dark** Absorptivity: **0.900**

| Layers: Inside to Outside  | Thickness<br>in | Density<br>lb/ft <sup>3</sup> | Specific Ht.<br>BTU/lb/F | R-Value<br>hr-ft <sup>2</sup> -F/BTU | Weight<br>lb/ft <sup>2</sup> |
|----------------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Inside surface resistance  | 0.000           | 0.0                           | 0.00                     | 0.68500                              | 0.0                          |
| <b>30 cm Wall</b>          | <b>11.000</b>   | <b>115.0</b>                  | <b>0.20</b>              | <b>2.55000</b>                       | <b>105.4</b>                 |
| Outside surface resistance | 0.000           | 0.0                           | 0.00                     | 0.33300                              | 0.0                          |
| <b>Totals</b>              | <b>11.000</b>   |                               |                          | <b>3.57</b>                          | <b>105.4</b>                 |

Overall U-Value: **0.280** BTU/hr/ft<sup>2</sup>/F

OK Cancel Help

شکل ۸-۱۷ بخش‌های مختلف پنجره Wall Properties

**Window Properties - [North Window]**

Window Details

Name: **North Window**

Detailed Input: ☒

Height: **3.00** ft Width: **6.00** ft

Frame Type: **Aluminum with thermal breaks**

Internal Shade Type: **None**

Overall U-Value: **0.652** BTU/hr/ft<sup>2</sup>/F

Overall Shade Coefficient: **0.792**

Glass Details

| Glazing       | Glass Type | Transmissivity | Reflectivity | Absorptivity |
|---------------|------------|----------------|--------------|--------------|
| Outer Glazing | 1/8" clear | 0.841          | 0.078        | 0.081        |
| Glazing #2    | 1/8" clear | 0.841          | 0.078        | 0.081        |
| Glazing #3    | not used   |                |              |              |

Gap Type: **1/4" Air Space**

OK Cancel Help

شکل ۹-۱۷ بخش‌های مختلف پنجره Window Properties

۱۷-۳-۴. مشخصات سایه‌بان‌ها

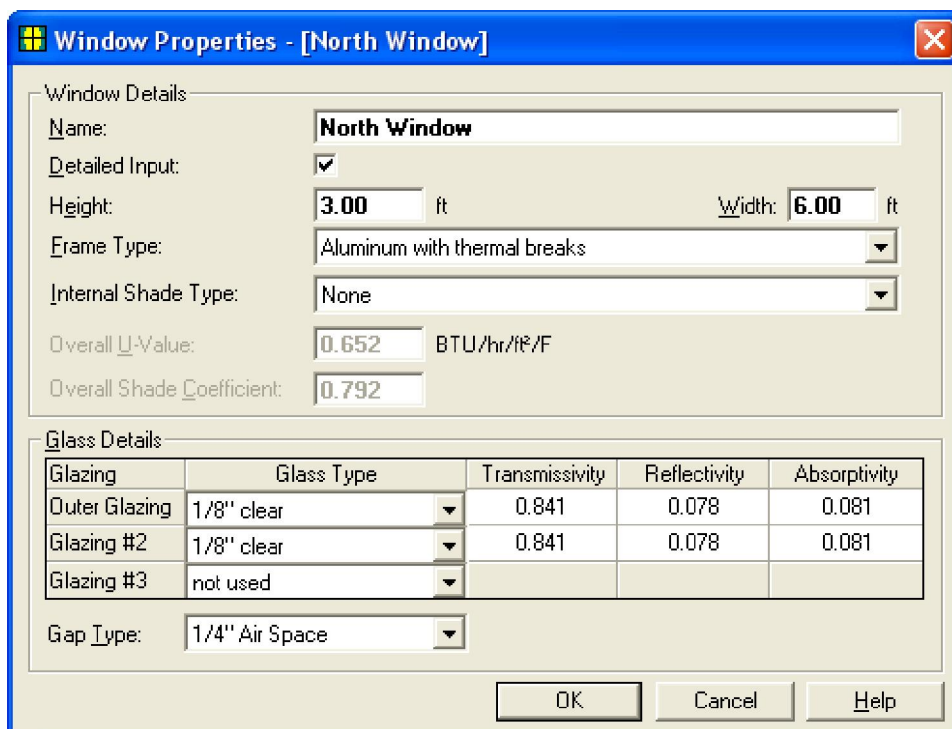
مطابق شکل ۱۱، انواع سایه‌بان عبارت است از:

۱. Reveal: تورفتگی پنجره نسبت به دیوار

۲. Overhang: سایه‌بان‌های بالای پنجره

۳. Fin: سایه‌بان‌های کناری پنجره

همان‌طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، در این بخش مشخصات هندسی سایه‌بان‌ها تعیین شده و بر اساس آن محاسبات میزان سایه در ساعات مختلف روز برای ماه‌های مختلف سال بوسیله نرم‌افزار انجام می‌شود.

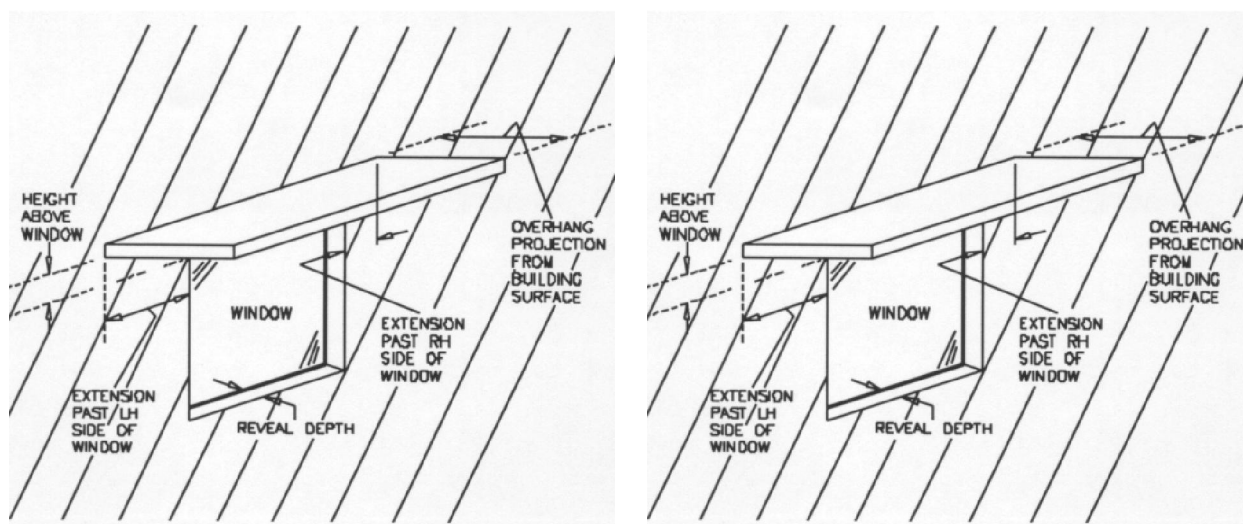


| Glazing       | Glass Type | Transmissivity | Reflectivity | Absorptivity |
|---------------|------------|----------------|--------------|--------------|
| Outer Glazing | 1/8" clear | 0.841          | 0.078        | 0.081        |
| Glazing #2    | 1/8" clear | 0.841          | 0.078        | 0.081        |
| Glazing #3    | not used   |                |              |              |

Gap Type: 1/4" Air Space

Buttons: OK, Cancel, Help

شکل ۱۷-۱۰ بخش‌های مختلف پنجره Wall Properties



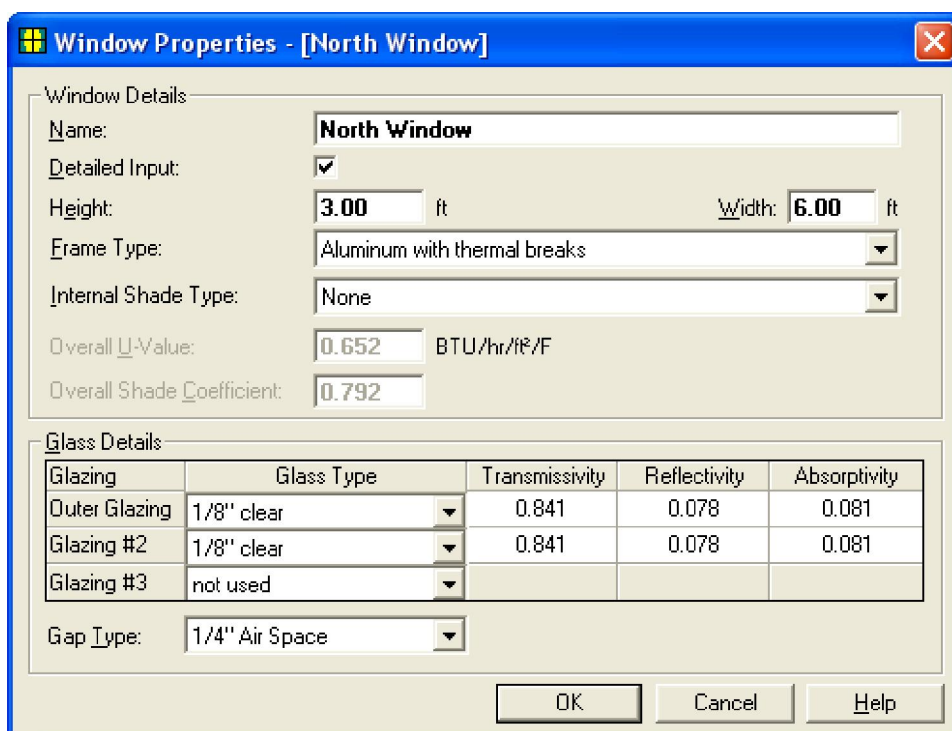
شکل ۱۷-۱۱ انواع مختلف سایه‌بان

۱۷-۳-۴. داده‌های بام و نورگیرها (Roofs, Skylights)

مطابق شکل ۱۷-۱۳، در این بخش مساحت، جهت و جنس بام و نیز مساحت، جهت و جنس نورگیرها تعیین می‌گردد. در این رابطه توجه به موارد زیر ضروری می‌باشد:

۱. برای هر فضا می‌توان ۴ بام و برای هر بام ۱ نورگیر معرفی نمود.

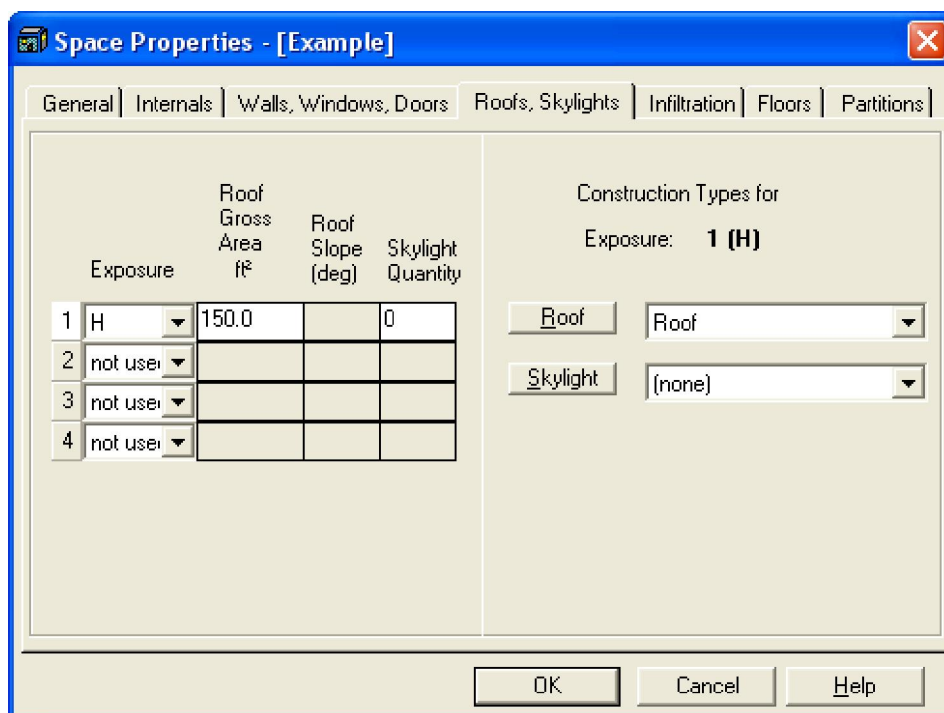
۲. مساحت بام به صورت ناخالص بوده و مساحت نورگیرها را نیز شامل می‌شود.
۳. برای تعیین مشخصات بام و نورگیرها می‌توان از <create new ...> استفاده کرده یا مورد دلخواه را از کتابخانه انتخاب نمود.
۴. تمامی نکات اشاره شده در بخش‌های ۱-۳-۳ و ۲-۳-۳ در مورد مشخصات بام و نورگیرها نیز صادق است.



| Glazing       | Glass Type | Transmissivity | Reflectivity | Absorptivity |
|---------------|------------|----------------|--------------|--------------|
| Outer Glazing | 1/8" clear | 0.841          | 0.078        | 0.081        |
| Glazing #2    | 1/8" clear | 0.841          | 0.078        | 0.081        |
| Glazing #3    | not used   |                |              |              |

Gap Type: 1/4" Air Space

شکل ۱۷-۱۲ بخش‌های مختلف پنجره Window Properties



|   | Exposure | Roof Gross Area (ft²) | Roof Slope (deg) | Skylight Quantity |
|---|----------|-----------------------|------------------|-------------------|
| 1 | H        | 150.0                 |                  | 0                 |
| 2 | not used |                       |                  |                   |
| 3 | not used |                       |                  |                   |
| 4 | not used |                       |                  |                   |

Construction Types for Exposure: 1 (H)

Roof: Roof

Skylight: (none)

شکل ۱۷-۱۳ بخش‌های مختلف پنجره Space/Roofs, Skylights

### ۱۷-۳-۵. داده‌های نفوذ (Infiltration)

مطابق شکل ۱۷-۱۴، نرخ نفوذ هوای خارج به داخل فضا باید به صورت دستی محاسبه شده و برحسب CFM،  $\text{CFM}/\text{ft}^2$  یا تعویض هوا بر ساعت (ACH) وارد نرم‌افزار گردد. با توجه به شرایط آب و هوا و نوع سیستم تهویه مطبوع، برای محاسبه بارهای حرارتی و برودتی می‌توان از مقادیر متفاوت نفوذ استفاده نمود. در این رابطه نکات زیر حائز اهمیت است:

۱. در قسمت Infiltration occurs می‌توان شرایط نفوذ هوا را مشخص نمود. برای سیستم‌های آبی و سیستم‌های DX عموماً از گزینه All Hours استفاده می‌شود.

۲. هر چند در مورد سیستم‌های هوایی می‌توان از گزینه Only When Fan Off استفاده نمود (در این حالت نفوذ هوا تنها در شرایطی که فن دستگاه هواساز خاموش باشد رخ می‌دهد) اما چنانچه هدف محاسبه بار حرارتی و برودتی بوده و جزئیات سیستم تهویه مورد نظر نباشد، می‌توان در چنین سیستم‌هایی نیز از گزینه All Hours استفاده کرده و در عوض میزان نفوذ هوا را برابر صفر در نظر گرفت.

Enter infiltration rate in any column:

|                 | CFM   | CFM/ft <sup>2</sup> | ACH  |
|-----------------|-------|---------------------|------|
| Design Cooling  | 0.00  | 0.00                | 0.00 |
| Design Heating  | 33.75 | 0.15                | 1.50 |
| Energy Analysis | 0.00  | 0.00                | 0.00 |

Infiltration occurs: ☐ Only When Fan Off ☒ All Hours

OK Cancel Help

شکل ۱۷-۱۴ بخش‌های مختلف پنجره Space/Infiltration

### ۱۷-۳-۶. داده‌های کف (Floors)

مطابق شکل ۱۷-۱۵، انواع کف عبارت است از:

۱. کف روی محیط تهویه شده: در این حالت بار حرارتی کف صفر است.
۲. کف روی محیط تهویه نشده: داده‌های مورد نیاز در این حالت مشابه داده‌های مورد نیاز برای پارتیشن‌ها در بخش ۳-۷ است.
۳. کف روی زمین: داده‌های مورد نیاز در این حالت شامل مساحت کف، ضریب انتقال حرارت کف، محیط خارجی و مقاومت حرارتی عایق حرارتی لبه کف است.
۴. کف پایین‌تر از زمین: داده‌های مورد نیاز در این حالت شامل مساحت کف، محیط خارجی، ضریب انتقال حرارت کف، عمق کف، ضریب انتقال حرارت دیوار زیر زمین، مقاومت حرارتی عایق دیوار و عمق عایق حرارتی دیوار است.

در این رابطه نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

۱. در صورت استفاده از مقادیر جدول ۳-۴ برای ضریب انتقال حرارت کف و دیوار زیر زمین، بار محاسبه شده بیش از اندازه کم خواهد بود. بنابراین در غیاب داده‌های بیشتر بهتر است از مقدار پیش فرض نرم افزار،  $0.1 \text{ Btu/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ ، استفاده نمود.

شکل ۱۷-۱۵ بخش‌های مختلف پنجره Space/Floor

#### ۱۷-۳-۷. داده‌های پارتیشن‌ها (Partitions)

در نرم‌افزار HAP دیوارهای داخلی که فضای تهویه شده را از فضای تهویه نشده (مانند موتورخانه یا انبار) جدا می‌کند پارتیشن نامیده می‌شود. وجه تمایز دیوارهای خارجی و پارتیشن‌ها وجود یا عدم وجود اثرات نور خورشید است. مطابق شکل ۱۷-۱۶، در این بخش نوع، مساحت، ضریب انتقال حرارت و دمای فضای تهویه نشده مشخص می‌گردد. نکات مهم در این رابطه عبارت است از:

۱. دماهای مختلف مورد نیاز برای محاسبه بار پارتیشن‌ها را معمولاً می‌توان برابر مقادیر زیر در نظر گرفت:

|                                                               |                                                     |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Unconditioned Space Max. Temp.<br>Ambient at Space Max. Temp. | $T_u = T_i + 0.667(T_i - T_o)$<br>دمای طرح تابستانی |
| Unconditioned Space Min. Temp.<br>Ambient at Space Min. Temp. | $T_u = T_i - 0.50(T_i - T_o)$<br>دمای طرح زمستانی   |

۲. برای محاسبه دمای فضای تهویه نشده مقادیر حداکثر دمای فضای تهویه نشده، دمای محیط خارج در زمان حداکثر دمای فضای تهویه نشده، حداقل دمای فضای تهویه نشده و همچنین دمای محیط خارج در زمان حداقل دمای فضای تهویه نشده توسط کاربر مشخص شده و دمای فضای تهویه نشده در زمان‌های مختلف با رابطه خطی مشابه شکل ۱۷ بوسیله نرم‌افزار تعیین می‌گردد.

#### ۱۷-۴. داده‌های مربوط به سیستم (Systems)

همان‌طور که در فصول مربوط به محاسبه بار حرارتی و برودتی ذکر گردید، تنها مشخصه سیستم تهویه مطبوع که در بار فضا موثر است، برنامه زمان‌بندی کار سیستم می‌باشد. بنابراین انتظار می‌رود که نوع و سایر مشخصات سیستم تأثیری در روند محاسبه بار نداشته باشد. در نرم‌افزار HAP داده‌های مورد نیاز سیستم برای محاسبه بار عبارت است از:

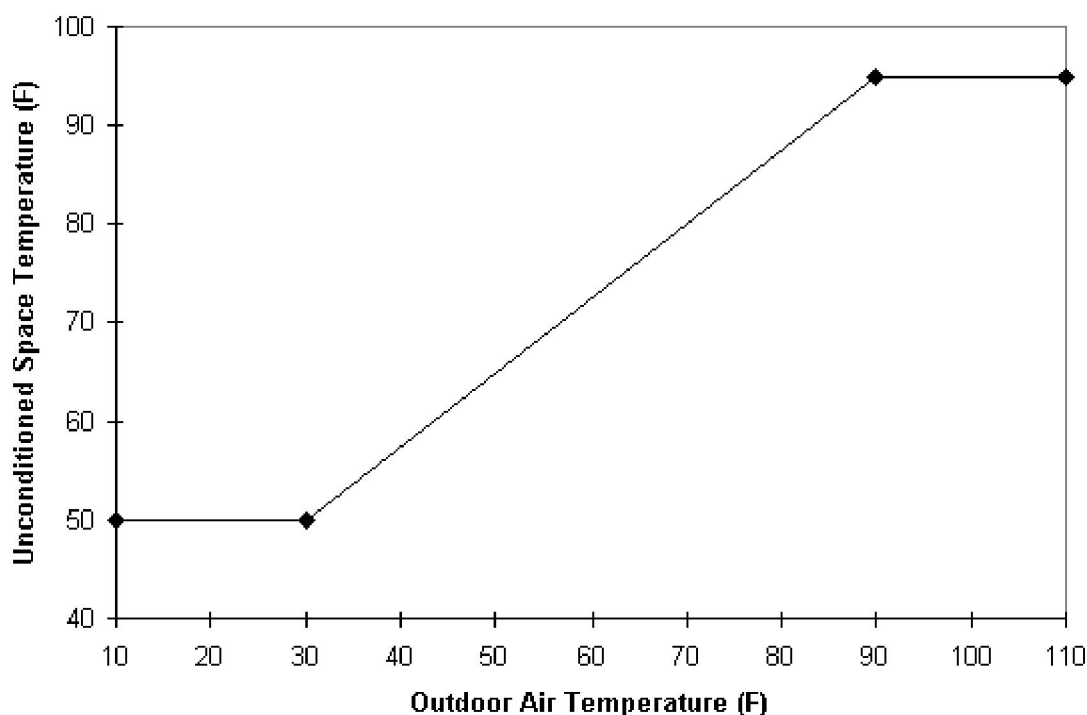
۱. تعیین نوع سیستم تهویه مطبوع در بخش General: هر چند نوع سیستم تأثیری در محاسبات بار ندارد، اما مشخص کردن آن جهت انجام محاسبات ضروری است. در حالت کلی نوع سیستم را می‌توان Undefined/CAV-Single Zone در نظر گرفت.
۱. تعیین فضاهای مربوط به هر زون در بخش Zone Components/Spaces

۲. تعیین برنامه زمان‌بندی سیستم تهویه مطبوع در بخش Zone Components/Thermostats: نوع برنامه زمان‌بندی جهت تعیین کار سیستم تهویه مطبوع Fan/Thermostat بوده و در آن، مطابق شکل ۱۷-۱۸، کارکرد سیستم به صورت خاموش یا روشن مشخص می‌گردد.

۳. تعیین ضرایب اطمینان در بخش Sizing Data: برای جبران خطاهای احتمالی ناشی از فرضیات و عدم قطعیت داده‌های ورودی معمولاً ضرایب اطمینانی برابر ۱۰ تا ۱۵٪ در نظر گرفته می‌شود.

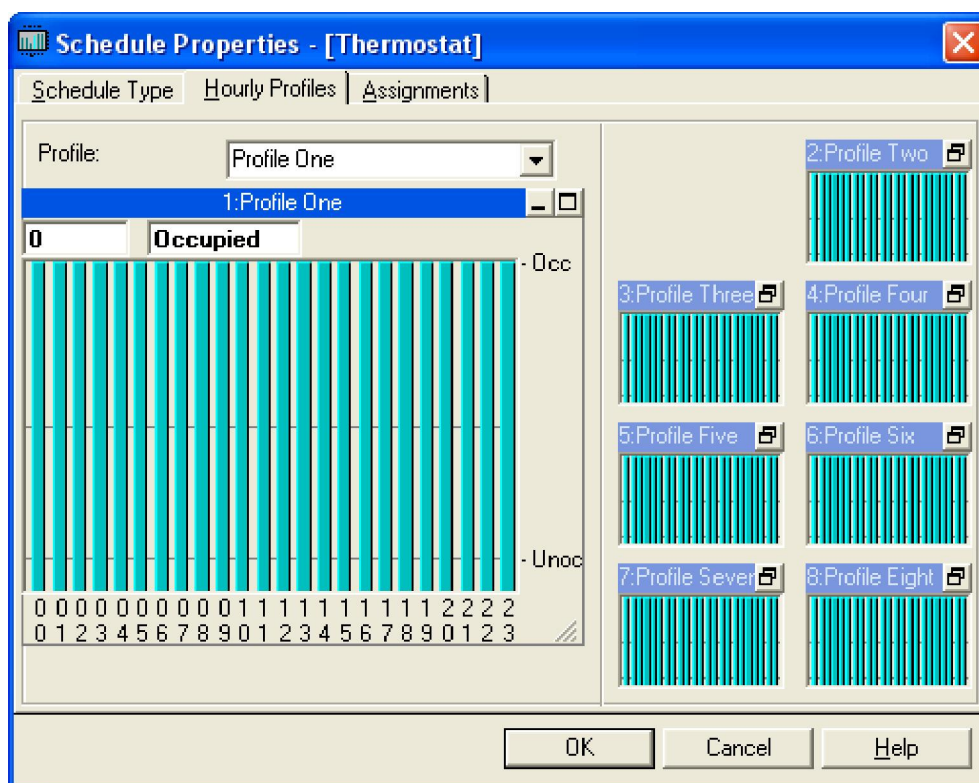
|                               | Partition 1                                                                                | Partition 2                                                                                |              |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|                               | <input type="radio"/> Ceiling Partition<br><input checked="" type="radio"/> Wall Partition | <input checked="" type="radio"/> Ceiling Partition<br><input type="radio"/> Wall Partition |              |
| Area                          | 90.0                                                                                       | 0.0                                                                                        | ft²          |
| U-Value                       | 0.291                                                                                      | 0.500                                                                                      | BTU/hr/ft²/F |
| Unconditioned Space Max Temp. | 88.5                                                                                       | 75.0                                                                                       | °F           |
| Ambient at Space Max Temp.    | 102.0                                                                                      | 95.0                                                                                       | °F           |
| Unconditioned Space Min Temp. | 45.0                                                                                       | 75.0                                                                                       | °F           |
| Ambient at Space Min Temp.    | 20.0                                                                                       | 55.0                                                                                       | °F           |

شکل ۱۷-۱۶ بخش‌های مختلف پنجره Space/Partitions



شکل ۱۷-۱۷ نحوه محاسبه دمای محیط تهویه نشده بوسیله نرم‌افزار HAP





شکل ۱۷-۱۸ مشخصات برنامه زمان‌بندی نوع Fan/Thermostat

#### ۱۷-۵. تهیه گزارش از نرم‌افزار

برای تهیه گزارش از نرم‌افزار می‌توان از بخش Report در قسمت Menu Bar یا کلیدهای میان‌بر آن در قسمت Tool Bar استفاده نمود. سه نوع گزارش قابل دسترسی در نرم‌افزار عبارت است از:

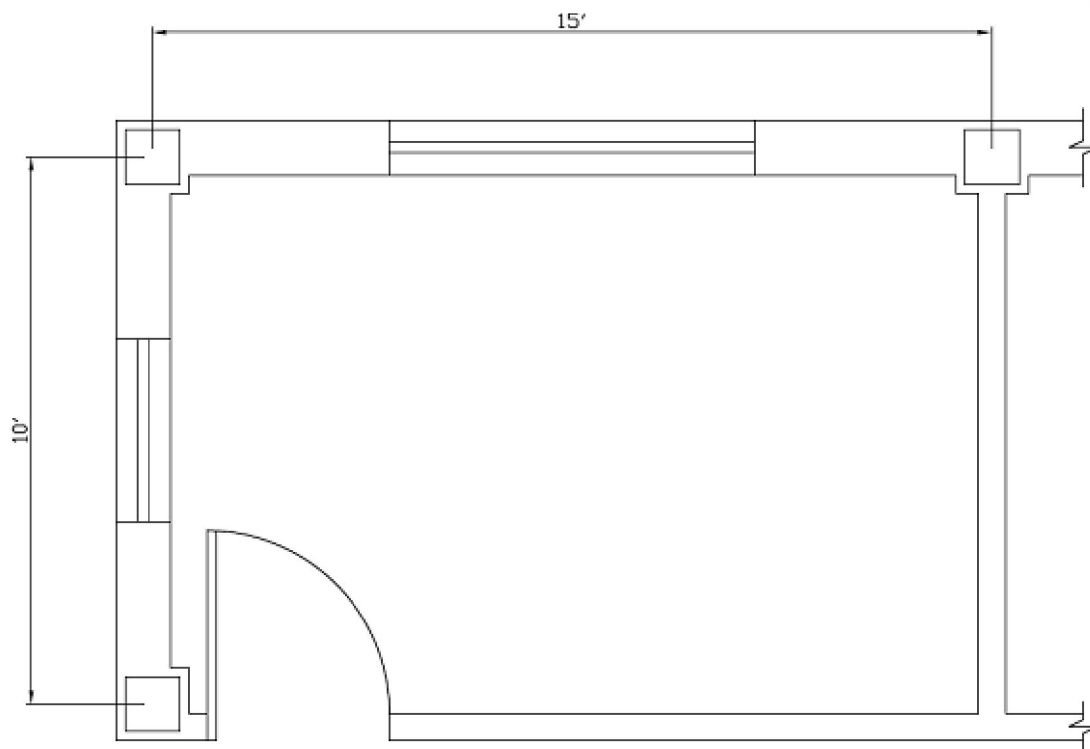
۱. گزارش داده‌های ورودی (Print/View Input Data)
  ۲. گزارش بار حرارتی و برودتی و طراحی سیستم تهویه مطبوع (Print/View Design Data)
  ۳. گزارش محاسبه مصرف سالانه انرژی ساختمان و هزینه آن (Print/View Simulation Data)
- با انتخاب هر قسمت از مدل (آب و هوا، فضاها، سیستم) و تعیین نوع گزارش از بخش Report می‌توان از داده‌های ورودی یا نتایج آن قسمت گزارش تهیه نمود. تهیه گزارش از بار حرارتی و برودتی و طراحی سیستم تهویه مطبوع تنها برای سیستم‌ها قابل دسترسی می‌باشد. جهت تهیه گزارش از بار حرارتی و برودتی فضا، انتخاب گزینه Space Load Summary از بخش Print/View Design Data کافی بوده و سایر موارد این بخش مربوط به طراحی سیستم تهویه مطبوع است.

#### ۱۷-۶. محاسبات نمونه بار حرارتی و برودتی با استفاده از نرم‌افزار HAP 4.20

مطلوبست پلان فضای مورد نظر مطابق شکل ۱۷-۱۹ بوده و مشخصات آن عبارت است از:

۱. مشخصات محل: تهران
۲. مشخصات دیوارهای خارجی و بام: مطابق جداول صفحه بعد
۳. مشخصات کف: روی سطح زمین
۳. مشخصات پنجره‌ها: دو جداره با قاب آلومینیومی و فاصله هوایی ۰/۲۵ اینچ
۴. مشخصات در: چوبی
۵. ارتفاع سقف اتاق ۹ فوت
۶. ابعاد پنجره شمالی ۳×۶ فوت، پنجره غربی ۳×۳ فوت و در ورودی ۷×۳ فوت
۷. دیوار شرقی اتاق مجاور انبار (فضای تهویه نشده) و دیوار جنوبی مجاور راهرو (فضای تهویه شده)





شکل ۱۷-۱۹ پلان فضای مورد نظر

#### ۱۷-۶-۱. داده‌های اولیه

داده‌های اولیه مورد نیاز برای محاسبه بارهای حرارتی و برودتی فضا شامل شرایط طرح خارج و مشخصات دیوار خارجی، دیوار داخلی، بام و پنجره‌ها عبارت است از:

| شرایط طرح زمستانی | شرایط طرح تابستانی |                   |            | ارتفاع [ft] | عرض جغرافیایی   |
|-------------------|--------------------|-------------------|------------|-------------|-----------------|
|                   | دمای حباب خشک [°F] | دمای حباب تر [°F] | دامنه [°F] |             |                 |
| ۲۰                | ۲۷                 | ۷۵                | ۱۰۲        | ۴۰۰         | $۳۷ \approx ۴۰$ |

| دیوار خارجی                                               |                   |            |                             |                           |                                              |
|-----------------------------------------------------------|-------------------|------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------------------|
| ردیف                                                      | جنس لایه          | ضخامت [in] | چگالی [lb/ft <sup>3</sup> ] | وزن [lb/ft <sup>2</sup> ] | مقاومت حرارتی [(ft <sup>2</sup> ·°F·hr)/Btu] |
| ۱                                                         | لایه هوای داخل    | -          | -                           | -                         | ۰/۶۸                                         |
| ۲                                                         | گچ با سنگدانه ریز | ۱          | ۴۵                          | ۴                         | ۰/۶۴                                         |
| ۳                                                         | آجر معمولی        | ۸          | ۱۲۰                         | ۸۰                        | ۱/۶۰                                         |
| ۴                                                         | ملاط ماسه سیمان   | ۱          | ۱۱۶                         | ۱۰                        | ۰/۲۰                                         |
| ۵                                                         | آجر نما           | ۱          | ۱۳۰                         | ۱۱                        | ۰/۱۱                                         |
| ۶                                                         | لایه هوای خارج    | -          | -                           | -                         | ۰/۳۳                                         |
|                                                           | کل دیوار خارجی    | ۱۱         | ۱۱۵                         | ۱۰۵                       | ۳/۵۶                                         |
| ضریب انتقال حرارت کل (۰/۲۸۱ Btu/(hr.ft <sup>2</sup> ·°F)) |                   |            |                             |                           |                                              |

| دیوار داخلی                                               |                   |            |                             |                           |                                              |
|-----------------------------------------------------------|-------------------|------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------------------|
| ردیف                                                      | جنس لایه          | ضخامت [in] | چگالی [lb/ft <sup>3</sup> ] | وزن [lb/ft <sup>2</sup> ] | مقاومت حرارتی [(ft <sup>2</sup> .°F.hr)/Btu] |
| ۱                                                         | لایه هوای داخل    | -          | -                           | -                         | ۰/۶۸                                         |
| ۲                                                         | گچ با سنگدانه ریز | ۱          | ۴۵                          | ۴                         | ۰/۶۴                                         |
| ۳                                                         | آجر معمولی        | ۴          | ۱۲۰                         | ۴۰                        | ۰/۸۰                                         |
| ۴                                                         | گچ با سنگدانه ریز | ۱          | ۴۵                          | ۴                         | ۰/۶۴                                         |
| ۵                                                         | لایه هوای داخل    | -          | -                           | -                         | ۰/۶۸                                         |
|                                                           | کل دیوار داخلی    | ۶          | ۹۶                          | ۴۸                        | ۳/۴۴                                         |
| ضریب انتقال حرارت کل (۰/۲۹۱ Btu/(hr.ft <sup>2</sup> .°F)) |                   |            |                             |                           |                                              |

| بام                                                       |                   |            |                             |                           |                                              |
|-----------------------------------------------------------|-------------------|------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------------------|
| ردیف                                                      | جنس لایه          | ضخامت [in] | چگالی [lb/ft <sup>3</sup> ] | وزن [lb/ft <sup>2</sup> ] | مقاومت حرارتی [(ft <sup>2</sup> .°F.hr)/Btu] |
| ۱                                                         | لایه هوای داخل    | -          | -                           | -                         | ۰/۶۸                                         |
| ۲                                                         | گچ با سنگدانه ریز | ۱          | ۴۵                          | ۴                         | ۰/۶۴                                         |
| ۳                                                         | تیرچه و بلوک      | ۱۰         | ۷۰                          | ۵۸                        | ۲/۰۰                                         |
| ۴                                                         | بتن سبک           | ۴          | ۱۲۰                         | ۴۰                        | ۰/۸۰                                         |
| ۵                                                         | دو لایه قیرگونی   | -          | ۷۰                          | -                         | ۰/۳۰                                         |
| ۶                                                         | لایه هوای خارج    | -          | -                           | -                         | ۰/۳۳                                         |
|                                                           | کل بام            | ۱۵         | ۸۰                          | ۱۰۲                       | ۴/۷۵                                         |
| ضریب انتقال حرارت کل (۰/۲۱۱ Btu/(hr.ft <sup>2</sup> .°F)) |                   |            |                             |                           |                                              |

ضریب انتقال حرارت پنجره‌ها از جدول ۲-۳ برابر (۰/۶۱ Btu/(hr.ft<sup>2</sup>.°F)) می‌باشد.

#### ۱۷-۶-۲. محاسبه بار حرارتی

با توجه به مطالب ارائه شده در فصل ۳ بار حرارتی فضا عبارت است از:

۱۷-۶-۲-۱. بار انتقال حرارت از دیوارهای خارجی

$$Q = UA(T_i - T_o) = 0.281 \times 198 \times (70 - 20) = 2782 \text{ Btu / hr}$$

۱۷-۶-۲-۲. بار انتقال حرارت از دیوارهای داخلی

$$Q = UA(T_i - T_u) = 0.291 \times 90 \times (70 - 45) = 655 \text{ Btu / hr}$$

۱۷-۶-۲-۳. بار انتقال حرارت از بام

$$Q = UA(T_i - T_o) = 0.211 \times 150 \times (70 - 20) = 1582 \text{ Btu / hr}$$

۱۷-۶-۲-۴. بار انتقال حرارت از کف

$$Q = F_p L_p (T_i - T_o) = 0.6 \times 25 \times (70 - 20) = 750 \text{ Btu / hr}$$

$$Q = UA(T_i - T_g) = 0.05 \times 150 \times (70 - 65) = 37 \text{ Btu / hr}$$

۱۷-۶-۵. بار انتقال حرارت از پنجره‌ها

$$Q = UA(T_i - T_o) = 0.61 \times 27 \times (70 - 20) = 823 \text{ Btu / hr}$$

۱۷-۶-۶. بار هوای نفوذی

$$Q = 1.08 F_c \dot{V}(T_i - T_o) = 1.08 \times 0.86 \times (1.5 \times 1350 \div 60) \times (70 - 20) = 1567 \text{ Btu / hr}$$

۱۷-۶-۷. بار حرارتی کل با احتساب ۱۰٪ ضریب اطمینان

$$Q = 1.1 \times (2782 + 655 + 1582 + 750 + 823 + 1567) = 8975 \text{ Btu / hr}$$

۱۷-۶-۳. محاسبه بار برودتی

با توجه به مطالب ارائه شده در فصل ۱۰، بار برودتی فضا عبارت است از:

۱۷-۶-۱. بار تشعشع خورشید

$$Q_N = SHG_N \times A \times SLF = (15 \times 1.17 \times 1.28 \times 0.8) \times 18 \times 0.69 = 223 \text{ Btu / hr}$$

$$Q_W = SHG_W \times A \times SLF = (164 \times 1.17 \times 1.28 \times 0.8) \times 9 \times 0.27 = 477 \text{ Btu / hr}$$

$$Q = Q_N + Q_W = 223 + 477 = 700 \text{ Btu / hr}$$

۱۷-۶-۲. بار انتقال حرارت از دیوارهای خارجی

$$Q_N = UA\Delta T_{e,N} = 0.281 \times 117 \times (3 + 8.5) = 378 \text{ Btu / hr}$$

$$Q_W = UA\Delta T_{e,W} = 0.281 \times 81 \times (10 + 8.5) = 421 \text{ Btu / hr}$$

$$Q = Q_N + Q_W = 378 + 421 = 799 \text{ Btu / hr}$$

۱۷-۶-۳. بار انتقال حرارت از دیوارهای داخلی

$$Q = UA(T_u - T_i) = 0.291 \times 90 \times (88.5 - 75) = 354 \text{ Btu / hr}$$

۱۷-۶-۴. بار انتقال حرارت از بام

$$Q = UA\Delta T_e = 0.211 \times 150 \times (28 + 8.5) = 1155 \text{ Btu / hr}$$

۱۷-۶-۵. بار انتقال حرارت از کف: بار انتقال حرارت از کف در محاسبه بار برودتی در نظر گرفته نمی‌شود.

۱۷-۶-۶. بار انتقال حرارت از پنجره‌ها

$$Q = UA(T_o - T_i) = 0.61 \times 27 \times (102 - 75) = 445 \text{ Btu / hr}$$

۱۷-۶-۷. بار هوای نفوذی: با توجه به نوع سیستم تهویه مطبوع بار هوای نفوذی برای محاسبه بار برودتی در نظر گرفته نمی‌شود.

۱۷-۶-۸. بار سیستم روشنایی

$$Q = HG \times SLF = (150 \times 2 \times 3.41 \times 1.25) \times 0.77 = 985 \text{ Btu / hr}$$

۱۷-۶-۹. بار افراد

$$Q_s = HG \times SLF = (2 \times 245) \times 0.83 = 407 \text{ Btu/hr}$$

$$Q_L = HG = 2 \times 205 = 410 \text{ Btu/hr}$$

۱۷-۳-۱۰. بار برودتی کل با احتساب ۱۰٪ ضریب اطمینان

$$Q_s = 1.1 \times (700 + 799 + 354 + 1155 + 445 + 985 + 407) = 5329 \text{ Btu/hr}$$

$$Q_L = 1.1 \times 410 = 451 \text{ Btu/hr}$$

#### ۱۷-۶-۴. مقایسه نتایج محاسبات دستی و نرم افزار HAP 4.20

در جدول ۱۷-۱ نتایج حاصل از محاسبات دستی با نتایج محاسبات نرم افزار HAP نسخه ۴/۲۰ مقایسه شده است.

جدول ۱۷-۱ مقایسه نتایج محاسبات دستی و نرم افزار HAP 4.20

| بار برودتی محسوس |           |          | بار حرارتی |           |          | نوع بار                            |
|------------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|------------------------------------|
| درصد خطا         | نرم افزار | روش دستی | درصد خطا   | نرم افزار | روش دستی |                                    |
| -۲۱              | ۸۸۲       | ۷۰۰      | -          | -         | -        | بار تشعشع خورشید                   |
| -۲۵              | ۱۰۶۱      | ۷۹۹      | ۰          | ۲۷۷۵      | ۲۷۸۲     | بار انتقال حرارت از دیوارهای خارجی |
| ۲۵               | ۲۸۴       | ۳۵۴      | ۰          | ۶۵۵       | ۶۵۵      | بار انتقال حرارت از دیوارهای داخلی |
| ۲۰               | ۹۶۶       | ۱۱۵۵     | ۰          | ۱۵۷۶      | ۱۵۸۲     | بار انتقال حرارت از بام            |
| -                | -         | -        | ۱۲۶        | ۳۴۹       | ۷۸۷      | بار انتقال حرارت از کف             |
| ۱۵               | ۳۸۸       | ۴۴۵      | -۷         | ۸۸۲       | ۸۲۳      | بار انتقال حرارت از پنجره‌ها       |
| -                | -         | -        | ۰          | ۱۵۷۴      | ۱۵۶۷     | بار هوای نفوذی                     |
| ۱                | ۹۷۵       | ۹۸۵      | -          | -         | -        | بار سیستم روشنایی                  |
| ۱۹               | ۳۴۳       | ۴۰۷      | -          | -         | -        | بار افراد                          |
| -۱               | ۵۳۹۰      | ۵۳۲۹     | ۵          | ۸۵۹۲      | ۹۰۱۶     | بار کل با احتساب ۱۰٪ ضریب اطمینان  |

بار برودتی نهان محاسبه شده به روش دستی و با نرم افزار یکسان و برابر ۴۵۰ Btu/hr است.