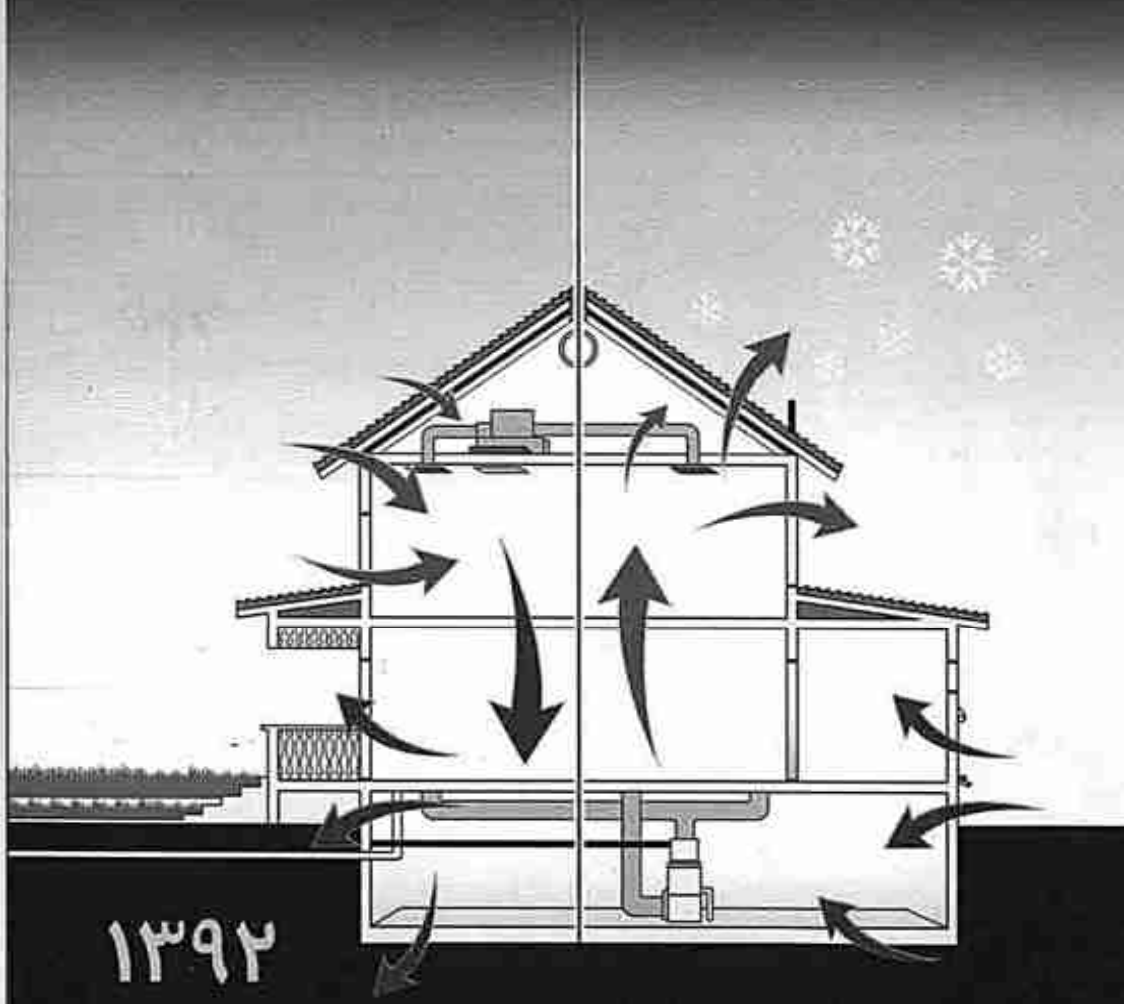
وزارت راه و شهرسازی
معاونت مسکن و ساختمان
دفتر مقررات ملّی ساختمان

راهنمای مبحث نوزدهم
صرفه جویی در مصرف انرژی



۱۳۹۲

وزارت راه و شهرسازی
معاونت مسکن و ساختمان

مقررات ملّی ساختمان ایران
راهنمای مبحث نوزدهم
صرفه‌جویی در مصرف انرژی

دفتر مقررات ملّی ساختمان
۱۳۹۲

عنوان و نام پدیدآور:	راهنمای مبحث نوزدهم مقررات ملّی ساختمان (صرفه جویی در مصرف انرژی)/دفتر مقررات ملّی ساختمان.
وضعیت ویراست:	ویراست ۳.
مشخصات نشر:	تهران: نشر توسعه‌ایران، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری:	ز، ۳۵۶ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول (بخشی رنگی).
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۳۰۱-۰۰۴-۸
وضعیت فهرست نویسی:	فیپا
یادداشت:	کتابنامه
موضوع:	ساختمان سازی - - مصرف انرژی
موضوع:	ساختمان سازی - - قوانین و مقررات - - ایران
شناسه افزوده:	ایران. وزارت راه و شهرسازی. دفتر امور مقررات ملّی ساختمان
رده بندی کنگره:	KMH۳۴۰۲/۲۶ ۱۳۹۲
رده بندی دیویی:	۳۴۳
شماره کتابشناسی ملّی:	۳۱۷۰۴۲۹

نام کتاب: راهنمای مبحث نوزدهم صرفه جویی در مصرف انرژی

تهیه کننده:	دفتر مقررات ملّی ساختمان
ناشر:	نشر توسعه ایران
شمارگان:	۳۰۰۰ جلد
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۳۰۱-۰۰۴-۸
نوبت چاپ:	سوم
تاریخ چاپ:	۱۳۹۲
چاپ و صحافی:	کانون
قیمت:	۱۶۰،۰۰۰ ریال

حق چاپ برای تهیه کننده محفوظ است.

پیش‌گفتار

وزارت راه و شهرسازی بر اساس ماده ۳۳ قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان، تدوین و ترویج مقررات ملّی ساختمان را که بخشی از مدارک فنی ساختمانی لازم الاجرا محسوب می‌شوند و شامل ضوابط حداقل برای طراحی، اجرا و نگهداری ساختمانهاست را بر عهده دارد.

از آنجائیکه ضوابط مندرج در مقررات ملّی ساختمان با رعایت ایجاز و اختصار تدوین می‌شود، بمنظور درک صحیح‌تر "مقررات ملّی ساختمان" استفاده از راهنماها و مدارک توضیحی، به شفاف‌سازی مقررات کمک خواهد کرد.

دفتر مقررات ملّی ساختمان ضمن تدوین مباحث بیست‌ویک‌گانه مقررات ملّی ساختمان، تهیه راهنماهای مباحث را نیز در دستور کار خود قرار داده است. از این رو راهنمای مبحث نوزدهم مقررات ملّی ساختمان (ویرایش ۸۹)، که اختصاص به صرفه‌جویی در مصرف انرژی دارد، با هدف کمک به مهندسین در طراحی و اجرای ساختمان و همچنین استفاده دانشجویان و سایر علاقه‌مندان، تهیه شده است.

با توجه به تغییرات صورت گرفته در ویرایش سوم مبحث نوزدهم، لازم بود که یک بازبینی اساسی برای انطباق راهنمای این مبحث با ویرایش جدید و مطرح کردن روش‌ها و فناوری‌های روز جهان در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی صورت گیرد. امید است با رفع ابهامات موجود در ویرایش قبلی و ارائه اطلاعات تکمیلی موردنیاز، زمینه هر چه بهتر اجرایی شدن این مبحث در ساخت و ساز کشور، بیش از پیش فراهم گردد.

درکتاب پیش رو برای سهولت استفاده کاربران محترم شماره‌گذاری بندهای مختلف این راهنما مطابق شماره گذاری مبحث نوزدهم تنظیم شده است.

یادآوری این نکته ضروری است این راهنما اعتبار و مرجعیت قانونی نداشته و جایگزین مقررات ملّی ساختمان نمی‌باشد.

فرصت را مغتنم شمرده از زحمات و تلاشهای جناب آقای دکتر غلامرضا هوائی، مدیرکل محترم مقررات ملّی ساختمان و سرکار خانم مهندس سهیلا باکروان (معاون مدیرکل) و جناب آقای دکتر بهنام مهرپرور و همچنین از تهیه کننده متن نهایی، جناب آقای دکتر بهروز محمدکاری و همکاران ارجمندشان که مسئولیت مطالب فنی مندرج در این مجلد نیز بر عهده ایشان است و نیز از داوران محترم این راهنما و سایر افرادی که به نحوی در تدوین این کتاب همکاری نموده‌اند، سپاسگزاری می‌نمایم.

از استفاده‌کنندگان، صاحبنظران و مطالعه‌کنندگان محترم تقاضا دارد ضمن ارائه نظرات و پیشنهادات ارزشمند خود، این دفتر را در تکمیل هر چه بیشتر این راهنما یاری نمایند.

ابوالفضل صومعلو
معاون وزیر راه و شهرسازی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱۹-۱ کلیات	۱
۱۹-۱-۱ دامنه کاربرد	۱
۱۹-۱-۲ تعاریف	۳
۱۹-۲ مقررات کلی طراحی و اجرا	۱۷
۱۹-۲-۱ مدارک موردنیاز برای اخذ پروانهٔ ساختمان	۱۷
۱۹-۲-۱-۱ گواهی صلاحیت مهندس یا شرکت طراح	۱۷
۱۹-۲-۱-۲ چک لیست انرژی	۱۷
۱۹-۲-۱-۳ نقشه‌های ساختمان	۱۸
۱۹-۲-۱-۴ مشخصات فیزیکی مصالح و سیستمهای عایق حرارت	۱۸
۱۹-۲-۱-۵ مشخصات فنی سیستمهای مکانیکی و روشنایی	۱۹
۱۹-۲-۲ عوامل ویژهٔ اصلی و گروه‌بندی ساختمان‌ها	۱۹
۱۹-۲-۲-۱ گونه‌بندی کاربری (یا نحوهٔ تصرف) ساختمان	۲۰
۱۹-۲-۲-۲ گونه‌بندی نیاز سالانهٔ انرژی محل استقرار ساختمان	۲۰
۱۹-۲-۲-۳ گونه‌بندی سطح زیربنای مفید ساختمان	۲۱
۱۹-۲-۲-۴ گونه‌بندی شهر محل استقرار ساختمان	۲۱
۱۹-۲-۲-۵ گروه‌بندی ساختمان‌ها از نظر میزان صرفه جویی در مصرف انرژی	۲۱

۱۹-۲-۳ عوامل ویژهٔ فرعی ۲۱
۱۹-۲-۳-۱ گونه‌بندی از نظر شرایط بهره‌گیری از انرژی خورشیدی ۲۲
۱۹-۲-۳-۲ گونه‌بندی نحوهٔ استفاده از ساختمان‌های غیرمسکونی ۲۴
۱۹-۲-۴ روش‌های طراحی پوستهٔ خارجی ساختمان ۲۶
۱۹-۲-۵ طراحی سیستم‌های مکانیکی ۲۷
۱۹-۲-۶ طراحی سیستم روشنایی ۲۷

۱۹-۳ پوستهٔ خارجی ساختمان ۲۹
۱۹-۳-۱ روش الف — روش کارکردی ۲۹
۱۹-۳-۱-۱ محاسبه ضریب انتقال حرارت مرجع ۳۲
۱۹-۳-۱-۲ ضرایب انتقال حرارت مرجع عناصر ساختمانی پوستهٔ خارجی ۳۶
۱۹-۳-۱-۳ محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت طرح و کنترل مشخصات پوسته ۳۷
۱۹-۳-۲ روش ب — روش تجویزی ۴۲
۱۹-۳-۲-۱ الزامات در راه‌حل‌های فنی روش تجویزی ۴۴
۱۹-۳-۲-۲ اثر بهره‌گیری مناسب از نور خورشید ۴۴
۱۹-۳-۲-۳ اثر بهره‌گیری از سایه‌بان مناسب ۴۴
۱۹-۳-۲-۴ نکاتی دربارهٔ مجموعه راه‌حل‌های فنی روش تجویزی ۴۵
۱۹-۳-۲-۵ مجموعه راه‌حل‌های فنی تجویزی ب-۱ (با پنجرهٔ برتر) ۴۶
۱۹-۳-۲-۶ مجموعه راه‌حل‌های فنی تجویزی ب-۲ (با پنجرهٔ ساده) ۵۴
۱۹-۳-۳ اصول کلی و توصیه‌ها در زمینه طراحی ساختمان ۶۰
۱۹-۳-۳-۱ جهت گیری ساختمان ۶۰
۱۹-۳-۳-۲ حجم و فرم کلی ساختمان ۶۰
۱۹-۳-۳-۳ جانمایی فضاهای داخلی ۶۱
۱۹-۳-۳-۴ جدارهای نورگذر ۶۱
۱۹-۳-۳-۵ سایبان‌ها ۶۲
۱۹-۳-۳-۶ اینرسی حرارتی ۶۴
۱۹-۳-۳-۷ تهویه طبیعی ۶۴

۱۹-۴ تأسیسات مکانیکی ۶۵
۱۹-۴-۱ مقررات کلی ۶۸
۱۹-۴-۲ تأسیسات سرمایش و گرمایش ۷۶
۱۹-۴-۲-۱ تأمین سرمایش و گرمایش ۷۶
۱۹-۴-۲-۲ مدارهای توزیع ۸۱
۱۹-۴-۲-۳ پایانه‌های سرمایش و گرمایش ۸۴
۱۹-۴-۳ سیستم‌های تهویه ۸۴
۱۹-۴-۳-۱ تأمین هوای تازه ۸۴
۱۹-۴-۳-۲ کیفیت درزبندی بازشوها ۸۵
۱۹-۴-۴ تأسیسات آب گرم مصرفی ۸۶
۱۹-۴-۴-۱ ملاحظات کلی ۸۶
۱۹-۴-۴-۲ عایق کاری لوله و مخزن ۸۸

۱۹-۵ سیستم روشنایی و انرژی الکتریکی ۹۱
۱۹-۵-۱ سیستم‌ها و تجهیزات روشنایی ۹۱
۱۹-۵-۲ سیستم‌های کنترل روشنایی ۹۲
۱۹-۵-۲-۱ روشنایی فضاها ۹۲
۱۹-۵-۲-۲ سیستم‌های کاهش میزان و یا مدت روشنایی ۹۲
۱۹-۵-۲-۳ کنترل خاموش کردن روشنایی ۹۳
۱۹-۵-۳ شدت روشنایی فضاها ۹۴
۱۹-۵-۴ روشنایی محوطه و بیرون ساختمان ۹۴
۱۹-۵-۴-۱ لامپ‌ها ۹۴
۱۹-۵-۴-۲ کنترل روشنایی محوطه و خارج ساختمان ۹۴
۱۹-۵-۵ کنتور ۹۴
۱۹-۵-۶ موتورها ۹۵

پیوست ۱ روش تعیین گروه اینرسی حرارتی ساختمان ۹۷

پ۱-۱ تعیین جرم سطحی مؤثر جدار ۹۷

پ۱-۱-۱ جدار در تماس با خارج ۹۷

پ۱-۱-۲ جدار مجاور خاک ۹۸

پ۱-۱-۳ جدار در تماس با ساختمان مجاور یا فضای کنترل نشده ۹۹

پ۱-۱-۴ جدارهای داخل فضای کنترل شده ساختمان ۹۹

پ۱-۲ جرم سطحی موثر ساختمان در واحد سطح زیربنای مفید ۱۰۰

پیوست ۲ روش محاسبهٔ شاخص خورشیدی ۱۰۵

پیوست ۳ گونه‌بندی نیاز سالانهٔ انرژی شهرهای ایران ۱۰۹

پیوست ۴ گونه‌بندی کاربری ساختمان‌ها ۱۲۱

پیوست ۵ تعیین گروه ساختمان از نظر میزان صرفه جویی در مصرف انرژی ۱۲۳

پیوست ۶ مقادیر فیزیکی اصلی، تعاریف، علایم ۱۲۵

پیوست ۷ ضرایب هدایت حرارت مصالح متداول ۱۲۹

پیوست ۸ مقاومت حرارتی لایه‌های هوا و قطعات ساختمانی ۱۳۹

پ۸-۱ مقاومت حرارتی لایهٔ هوای مجاور سطوح داخلی و خارجی ۱۳۹

پ۸-۲ مقاومت حرارتی لایه‌های هوای محبوس ۱۴۰

پ۸-۳ مقاومت حرارتی برخی لایه‌های عناصر ساختمانی متداول ۱۴۱

پ۸-۳-۱ آجر پلاک (نما) ۱۴۱

پ۸-۳-۲ آجر توپر (دیوار) ۱۴۱

پ۸-۳-۳ آجر سوراخ دار (دیوار) ۱۴۲

پ۸-۳-۴ بلوک سفالی (دیوار) ۱۴۲

پ۸-۳-۵ بلوک سیمانی (دیوار) ۱۴۳

پ۸-۳-۶ تیرچه و بلوک سفالی (سقف) ۱۴۳

پ۸-۳-۷ تیرچه و بلوک سیمانی (سقف) ۱۴۴

پ۸-۳-۸ تیرچه و بلوک پلی استایرن منبسط (سقف) ۱۴۴

پیوست ۹ ضرایب انتقال حرارت جدارهای نورگذر و بازشوها ۱۴۹

پ ۹-۱ ضریب انتقال حرارت شیشه‌ها ۱۴۹

پ۹-۱-۱ شیشه‌های ساده ۱۵۰

پ۹-۱-۲ شیشه‌های دو جدارهٔ عمودی ۱۵۱

پ۹-۱-۳ شیشه‌های دو جدارهٔ افقی (سقفی) ۱۵۲

پ۹-۲ ضرایب انتقال حرارت جدارهای نورگذر ۱۵۴

پ۹-۲-۱ جدارهای نورگذر دارای شیشهٔ تک جدارهٔ ساده ۱۵۴

پ۹-۲-۲ جدارهای نورگذر دارای انواع شیشهٔ دوجداره ۱۵۴

پ۹-۳ مثال‌های تعیین ضریب انتقال حرارت جدارهای نورگذر ۱۶۲

پ۹-۴ ضرایب انتقال حرارت درها ۱۶۴

پیوست ۱۰ سایه‌بان‌ها ۱۶۵

پیوست ۱۱ روش‌های محاسبهٔ پل‌های حرارتی ۱۸۱

پ۱۱-۱ گونه‌های مختلف پل‌های حرارتی ۱۸۳

پ۱۱-۲ روند محاسبات عددی ۱۸۳

پ۱۱-۳ ضرایب انتقال حرارت پل‌های حرارتی متداول ۱۸۳
پ۱۱-۳-۱ کف های زیرین مجاور خاک ۱۸۳
پ۱۱-۳-۱-۱ کف روی خاک بدون عایق حرارتی ۱۸۳
پ۱۱-۳-۱-۲ کف روی خاک با عایق حرارتی ۱۸۴
پ۱۱-۳-۲ دیوارهای مجاور خاک ۱۸۸
پ۱۱-۳-۳ اتصالات متداول کفهای مجاور خارج یا فضای کنترل نشده ۱۸۹
پ۱۱-۳-۴ اتصالات متداول سقف‌های میانی ۱۹۱
پ۱۱-۳-۵ اتصالات متداول بام‌ها و دیوار ۱۹۱
پ۱۱-۳-۶ اتصال دیوارهای داخلی و خارجی ۱۹۲
پ۱۱-۳-۷ اتصالات بین بازشوها و جدارهای غیرنورگذر ۱۹۲

پیوست ۱۲ مثال محاسبه و طراحی پوسته خارجی ساختمان طبق روش کارکردی ۱۹۵
پ۱۲-۱ اطلاعات موردنیاز ۱۹۵
پ۱۲-۲ مراحل انجام محاسبات به روش کارکردی ۱۹۷
پ۱۲-۲-۱ مرحله اول: تعیین گروه‌بندی ساختمان ۱۹۷
پ۱۲-۲-۲ مرحله دوم: محاسبه مساحت اجزای مختلف جدارهای ساختمانی ۱۹۸
پ۱۲-۲-۲-۱ دیوارهای خارجی ۱۹۸
پ۱۲-۲-۲-۲ دیوارهای مجاور فضای کنترل نشده ۲۰۰
پ۱۲-۲-۲-۳ پنجره‌ها ۲۰۱
پ۱۲-۲-۲-۴ درها ۲۰۲
پ۱۲-۲-۲-۵ سقف ۲۰۲
پ۱۲-۲-۲-۶ کف‌ها ۲۰۳
پ۱۲-۲-۳ مرحله سوم: محاسبه طول پل‌های حرارتی پوسته خارجی ۲۰۳
پ۱۲-۲-۳-۱ کف مجاور خاک ۲۰۴
پ۱۲-۲-۳-۲ دیوار مجاور خاک ۲۰۴
پ۱۲-۲-۴ مرحله چهارم: محاسبه ضرایب انتقال حرارت اجزای پوسته ۲۰۴
پ۱۲-۲-۵ مرحله پنجم: استخراج ضرایب انتقال حرارت خطی پل های حرارتی ۲۰۸
پ۱۲-۲-۶ مرحله ششم: تعیین ضرایب کاهش فضاهای کنترل نشده ۲۰۸
پ۱۲-۲-۷ مرحله هفتم: محاسبه ضریب انتقال حرارت طرح و مقایسه با ضریب انتقال حرارت مرجع ۲۰۹
پ۱۲-۲-۸ مرحله هشتم: انتخاب روشهای بهینه سازی پوسته ساختمان به منظور دستیابی به ضوابط مبحث نوزدهم ۲۱۲
پ۱۲-۲-۸-۱ روش اول بهینه سازی ساختمان نمونه ۲۱۳
پ۱۲-۲-۸-۲ روش دوم بهینه سازی ۲۲۲

پیوست ۱۳ راهکارهای کاهش نیاز انرژی ساختمان ۲۲۹
پ۱۳-۱ روش‌های مطرح بهینه سازی مصرف انرژی ۲۲۹
پ۱۳-۲ سیستم‌های فعال و غیرفعال خورشیدی ۲۳۰
پ۱۳-۲-۱ حالت‌های مختلف دریافت انرژی خورشیدی ۲۳۱
پ۱۳-۲-۲ انواع مختلف سیستم‌های فعال و غیرفعال خورشیدی ۲۳۶
پ۱۳-۲-۲-۱ دیوار ترومب ۲۳۶
پ۱۳-۲-۲-۲ دیوار آبی ۲۳۷
پ۱۳-۲-۲-۳ دیوار یارا – کنستانتینی ۲۳۸
پ۱۳-۲-۲-۴ بام آبی ۲۳۸
پ۱۳-۲-۲-۵ فضای خورشیدی (گلخانه) ۲۳۹
پ۱۳-۲-۲-۶ کلکتور (جمع کننده) هوایی خورشیدی ۲۴۴
پ۱۳-۲-۲-۷ پنجره با جریان هوا ۲۴۷
پ۱۳-۲-۲-۸ نمای دوپوسته ۲۴۸

پ۱۳-۲-۲-۹ دیوارهای خورشیدی صلب مجوف ۲۵۰
پ۱۳-۲-۲-۱۰ دودکش خورشیدی ۲۵۱
پ۱۳-۲-۲-۱۱ سلول فتوولتائیک ۲۵۲
پ۳-۲-۲-۱۲ کلکتور (جمع کننده) خورشیدی با سیال مایع ۲۶۱
پ۱۳-۲-۲-۱۳ سیستم ترکیبی فتوولتائیک و کلکتور خورشیدی ۲۶۹
پ۱۳-۲-۲-۱۴ پمپ گرمایی با انرژی خورشیدی ۲۷۰
پ۱۳-۲-۲-۱۵ چیلر جذبی با انرژی خورشیدی ۲۷۴
پ۱۳-۳ تولید انرژی با استفاده از دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر ۲۷۵
پ۱۳-۳-۱ توربین بادی ۲۷۵
پ۱۳-۴ سیستم نوین تهویه ۲۷۶
۱۳-۴-۱ فن خروج هوا با حسگر رطوبت نسبی هوا ۲۷۶
پ۱۳-۴-۲ دریچه ورود هوا با حسگر رطوبت نسبی هوا ۲۷۷
پ۱۳-۵ سیستم‌های بازیافت انرژی ۲۷۷
پ۱۳-۵-۱ بویلر بازیافت حرارت ۲۷۸
پ۱۳-۵-۲ سیستم بازیافت گرمایی برای پیش گرمایش هوای احتراق ۲۷۹
پ۱۳-۵-۳ اوله حرارتی ۲۸۰
پ۱۳-۵-۴ مبدل اوله حرارتی ۲۸۰
پ۱۳-۵-۵ مبدل حرارتی ترموسیفونی ۲۸۲
پ۱۳-۵-۶ رکوپراتور ۲۸۴
پ۱۳-۵-۷ کونومایزر ۲۸۵
پ۱۳-۵-۸ سیستم بازیافت متناوب حرارت ۲۸۵
پ۱۳-۵-۹ سیستم بازیافت انرژی از هوای خروجی ۲۸۶
پ۱۳-۵-۱۰ مبدل حرارتی هوا به هوا ۲۸۷
پ۱۳-۵-۱۱ مبدل حرارتی صفحه‌ای ۲۸۹
پ۱۳-۵-۱۲ مبدل گردان هوا به هوا – چرخ آنتالپی ۲۹۰
پ۱۳-۵-۱۳ سیکل بازیافت همراه با کویل ۲۹۲
پ۱۳-۵-۱۴ سیکل بازیافت آنتالپی دو برجی ۲۹۳
پ۱۳-۶ سیستم‌های ذخیره سازی ۲۹۳
پ۱۳-۶-۱ سیستم ذخیره کن سنگین ۲۹۳
پ ۱۳-۶-۲ جدار ذخیره کننده تغییر فازی ۲۹۴
پ۱۳-۶-۳ سیستم تهویه شبانه ۲۹۵
پ۱۳-۶-۴ سیستم‌های پیش گرمایش یا پیش سرمایش با بهره گیری از ذخیره سازی خاک ۲۹۵
پ۱۳-۷ تجهیزات مکانیکی و الکتریکی با بازدهی انرژی بالا ۲۹۶
پ۱۳-۷-۱ پمپ‌های حرارتی متصل به زمین ۲۹۶
پ۱۳-۷-۲ سیستم‌های تولید همزمان گرما / سرما و برق ۳۰۰
پ۱۳-۸ سیستم‌های هوشمند برای انطباق هر چه بیشتر تولید انرژی با نیازهای مقطعی ۳۰۲
پ۱۳-۸-۱ اجزای اصلی یک سیستم هوشمند ۳۰۲
پ۱۳-۸-۱-۱ ورودی‌ها ۳۰۳
پ۱۳-۸-۱-۲ نرم افزار پردازش و تحلیل اطلاعات ۳۰۴
پ۱۳-۸-۱-۳ خروجی‌ها ۳۰۵
پ۱۳-۸-۱-۴ ملاحظات زمانی ۳۰۵
پ۱۳-۸-۱-۵ ویژگی تجربه آموزی یا توانایی یادگیری ۳۰۶
پ۱۳-۸-۲ سیستم‌های کنترل هوشمند تأسیسات گرمایی و سرمایی ۳۰۶
پ۱۳-۸-۳ پوسته هوشمند ۳۰۸
پ۱۳-۸-۳-۱ سیستم‌ها و عناصر تأثیرگذار بر طراحی یک پوسته هوشمند ۳۱۰

پیوست ۱۴ تشریح برخی سیستم‌های تأسیساتی مطرح ۳۱۵

پ۱۴-۱ اصول سیستم سرمایش تبخیری مستقیم ۳۱۵

پ۱۴-۲ تشریح برخی سیستم‌های سرمایی تبخیری بهبود یافته ۳۱۸

پ۱۴-۲-۱ سیستم‌های سرمایی جذبی جامد (چرخ دسیکنت) ۳۱۸

پیوست ۱۵ اصول بهره گیری بهینه از روشنایی طبیعی و مصنوعی ۳۲۱

پ ۱۵-۱ سیستم‌های نورپردازی با نور طبیعی ۳۲۱

پ۱۵-۱-۱ روشنایی طبیعی و مزایای آن ۳۲۱

پ۱۵-۱-۲ طاقچه نوری ۳۲۲

پ۱۵-۱-۳ لوله نوری ۳۲۳

پ۱۵-۱-۴ سیستم متمرکزکننده سهموی ۳۲۴

پ۱۵-۱-۵ لوور آینه‌ای ۳۲۶

پ۱۵-۱-۶ پانل با برش لیزری ۳۲۶

پ۱۵-۱-۷ پانل منشوری ۳۲۸

پ۱۵-۱-۸ ابزارهای طراحی روشنایی طبیعی در ساختمان ۳۲۸

پ۱۵-۲ سیستم‌های نورپردازی با نور مصنوعی ۳۳۰

پ۱۵-۲-۱ انواع مختلف لامپ‌ها ۳۳۰

پ۱۵-۲-۱-۱ لامپ‌های التهابی ۳۳۰

پ۱۵-۲-۱-۲ لامپ‌های تخلیه در گاز ۳۳۲

پ۱۵-۲-۱-۳ لامپ‌های دیودی ساطع کننده نور (ال‌ای‌دی) ۳۳۴

پ۱۵-۲-۲ روش‌های کاهش میزان روشنایی ۳۳۵

پ۱۵-۲-۲-۱ کاهش دهنده‌های نور لامپ‌ها ۳۳۵

پ۱۵-۲-۲-۲ کلیدهای مستقل روشن و خاموش کردن لامپ ۳۳۶

پ۱۵-۲-۳ روش‌های کاهش مدت روشنایی ۳۳۷

فهرست منابع ۳۳۹

۱۹-۱ کلیات

راهنمای حاضر از مقررات ملّی ساختمان با هدف ارائه توضیحات و اطلاعات تکمیلی لازم در خصوص ضوابط طرح، محاسبه و اجرای عایق‌کاری حرارتی پوستهٔ خارجی، سیستم‌های تأسیسات گرمایی، سرمایی، تهویه، تهویهٔ مطبوع، تأمین آب گرم مصرفی، و الزامات طراحی سیستم روشنایی در ساختمان‌ها تهیه شده است.

در بخش اول راهنما، توضیحات تکمیلی در باره کلیات و تعاریف مبحث و در بخش دوم مقررات کلی طرح و اجرا تشریح شده است. در بخش سوم، توضیحات تفصیلی، به‌همراه نمونه مثال‌های عددی، در خصوص روش‌های طراحی عایق‌کاری حرارتی پوستهٔ خارجی ساختمان و توصیه‌های طراحی معماری ارائه شده است. در بخش چهارم و پنجم، توضیحات تکمیلی در مورد ضوابط مربوط به تأسیسات مکانیکی، سیستم روشنایی و تأسیسات الکتریکی بیان شده است.

شایان ذکر است که در کنار رعایت الزامات تعیین‌شده در مبحث ۱۹، باید همواره تأمین حداقل تهویهٔ مورد نیاز برای سلامت ساکنان ساختمان‌ها منظور شود، و پیش‌بینی‌های لازم برای جلوگیری از بروز میعان در جدارهای ساختمانی صورت گیرد [۱].

۱۹-۱-۱ دامنه کاربرد

راهنمایی‌های ارائه شده در مورد پوستهٔ خارجی (بخش ۱۹-۳) برای تمام ساختمان‌های جدیدالاحداث، به جز ساختمان‌های گروه چهار، از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی (ر. ک. به بخش ۱۹-۲-۲-۵)، قابل استفاده است. دو روش مطرح برای طراحی پوسته خارجی ساختمان

روش الف (کارکردی[1]) و روش ب (تجویزی[2]) می‌باشد. از روش کارکردی می‌توان در مورد تمام ساختمان‌ها استفاده کرد، اما کاربرد روش تجویزی به ساختمان‌های مسکونی ۱ تا ۹ طبقه، با زیربنای مفید زیر ۲۰۰۰ مترمربع، و ساختمان‌های گروه سه از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی محدود می‌شود.

به‌عبارت دیگر، مواردی که می‌توان از روش تجویزی استفاده کرد مطابق جدول ۱ تعریف می‌گردد:

جدول ۱ مواردی که می‌توان از روش تجویزی استفاده کرد

	تعداد طبقات	زیربنای مفید (متر مربع)	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳
مسکونی	۱ تا ۹	کمتر از ۲۰۰۰	✓	✓	✓
		بیش از ۲۰۰۰	x	x	✓
	۱۰ یا بیشتر	کمتر از ۲۰۰۰	x	x	✓
		بیش از ۲۰۰۰	x	x	✓
غیر مسکونی			x	x	✓

همچنین، رعایت ضوابط مربوط به سیستم‌ها و تجهیزات مکانیکی (بخش ۱۹-۴) و سیستم روشنایی (بخش ۱۹-۵) در مورد تمامی ساختمان‌ها، با کاربری‌های مندرج در پیوست ۴ این مبحث، الزامی است.

در اینجا لازم است به این نکته اشاره نماییم که برخی انتظارات کلی در خصوص سیستم‌ها و تجهیزات مکانیکی و سیستم‌های روشنایی برای تمامی ساختمان‌ها تعریف شده‌اند، و بعضی دیگر، تنها برای گروه‌های خاصی از ساختمان‌ها الزامی هستند.

کلیه ضوابط این مبحث می‌تواند، با رعایت سایر مباحث مقررات و ضوابط فنی، برای ساختمان‌های موجود نیز استفاده شود.

البته در اینجا باید به این نکته اشاره کرد که اجرای بعضی انتظارات تعیین‌شده برای ساختمان‌های جدیدالاحداث در ساختمان‌های موجود نیز به سادگی قابل اجراست. ولی اجرای

۱. System Performance Method

۲. Prescriptive Method

برخی دیگر از انتظارات تعریف شده برای ساختمان‌های جدیدالاحداث در مبحث ۱۹، در ساختمان‌های موجود، می‌تواند غیر عملی یا بسیار هزینه‌بر باشد.

۱۹-۱-۲ تعاریف

تعاریف این بخش فقط برای این مبحث ارائه شده است.

آسایش حرارتی **Thermal comfort**

رضایت بخش قابل توجهی از افراد (بیش از ۸۰ درصد) از احساس حرارتی در محیط داخل، که از دما، رطوبت نسبی و سرعت هوا، و همچنین دمای سطوح داخلی جدارها ناشی می‌شود، و به نوع و میزان پوشش و همچنین نوع فعالیت افراد بستگی دارد [۲].

احداث **Construction**

بنا کردن ساختمان بر زمین خالی.

انرژی‌های تجدیدپذیر **Renewable energy**

انرژی‌هایی که توسط مجموعه فرآیندها، مکانیزم‌ها و سیستم‌هایی تولید می‌شوند که به‌صورت دائمی قابل تکرار و بازسازی هستند. این انرژی‌ها توسط طبیعت به‌وجود می‌آیند و در جهت جایگزینی تمام و یا بخشی از انرژی موردنیاز برای تأمین آسایش (گرمایش، سرمایش، تهویه و آب‌گرم مصرفی)، ایمنی، بهداشت، پخت و پز و نظایر اینها (که معمولاً توسط سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شوند)، در انواع ساختمان‌ها (با کاربری‌های مختلف) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

بخش اعظم انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی خورشید، باد، باران، جزر و مد، امواج، زمین گرمایی، و هیدروژن (سوخت) باعث تولید انواع آلاینده‌های زیست محیطی نمی‌شوند.

انرژی‌های حاصل از موادی همچون چوب و گیاهان نیز تجدیدپذیر محسوب می‌شود.

اینرسی حرارتی **Thermal inertia**

قابلیت کلی پوستهٔ خارجی و جدارهای داخلی در ذخیرهٔ انرژی، باز پس دادن آن و تأثیرگذاری بر نوسان‌های دما و بار گرمایی و سرمایی فضاهای کنترل‌شده ساختمان. اینرسی حرارتی ساختمان با استفاده از جرم سطحی مفید ساختمان گروه‌بندی می‌شود (ر.ک. به پیوست ۱).

بازده نوری **Luminous Efficacy**

سنجه‌ای برای تعیین میزان کارآیی نوری منابع روشنایی مصنوعی. بازده نوری با محاسبه نسبت میزان توان نوری (مرئی) به توان الکتریکی دریافت شده توسط لامپ (منبع نوری) به‌دست می‌آید.

بازسازی **Renovation**

دوباره‌سازی بخش‌های عمده‌ای از ساختمان که در اثر سانحه یا فرسودگی آسیب دیده است.

بازشو **Opening**

همهٔ سطوح قابل باز شدن در پوستهٔ ساختمان، که برای دسترسی، تأمین روشنایی، دید به خارج، خروج گاز حاصل از سوخت، تهویه و تعویض هوا ایجاد می‌گردند؛ مانند درها، پنجره‌ها و تورگیرها.

بام تخت **Flat roof**

پوشش نهایی ساختمان که شیبی کمتر از ۱۰ درجه یا مساوی آن، نسبت به افق دارد.

بام شیب‌دار **Pitched roof**

پوشش نهایی ساختمان که شیبی بیشتر از ۱۰ درجه و کمتر از ۶۰ درجه نسبت به سطح افقی دارد. بر روی سقف شیب‌دار، فضای خارج و در زیر آن، فضای کنترل‌شده یا کنترل‌نشده قرار دارد. اگر شیب جدار بیش از ۶۰ درجه باشد، از دید این مبحث دیوار تلقی می‌شود.

برچسب انرژی **Energy label**

برچسب تعیین‌شده توسط مقامات ذیصلاح، به منظور نصب بر روی تولیدات صنعتی مورد استفاده در ساختمان، برای مشخص کردن حد کیفیت محصولات از نظر مصرف انرژی.

پایانهٔ حرارتی **Thermal terminal**

بخشی از یک سیستم مرکزی سرمایی یا گرمایی که در آخر مدار قرار دارد و انرژی منتقل‌شده توسط مدار توزیع را به فضا یا فضاهای کنترل شده انتقال می‌دهد (مانند رادیاتور).

پل حرارتی **Thermal bridge**

نقاطی از ساختمان که، به علت ناپیوستگی عایق حرارتی پوستهٔ خارجی، مقاومت حرارتی در آنها کاهش می‌یابد و باعث افزایش موضعی میزان انتقال حرارت می‌گردد.

پوستهٔ خارجی **Building envelope**

تمام سطوح پیرامونی ساختمان، اعم از دیوارها، سقف‌ها، کف‌ها، بازشوها، سطوح نورگذر و مانند آنها، که از یک طرف با فضای خارج یا فضای کنترل نشده، و از طرف دیگر با فضای کنترل‌شده داخل ساختمان در ارتباط هستند.

پوستهٔ خارجی در تمام موارد الزاماً با پوسته کالبدی ساختمان یکی نیست، زیرا پوستهٔ کالبدی ممکن است دربرگیرندهٔ فضاهای کنترل‌نشده نیز باشد. پوستهٔ خارجی ساختمان همچنین شامل عناصری است که، در وجه خارجی خود، مجاور خاک و زمین هستند.

پوستهٔ کالبدی **Physical envelope**

تمام سطوح پیرامونی ساختمان، اعم از دیوار، سقف، کف، بازشو و مانند آنها، که از یک طرف با فضای خارج و از طرف دیگر با فضای کنترل‌شده یا فضای کنترل‌نشده در ارتباط هستند.

تعویض هوا **Air exchange (air change)**

تأمین شرایط بهداشتی هوای داخل فضای کنترل‌شده، با عوض کردن میزان مشخصی از آن هوا با هوای تازه، در یک دورهٔ زمانی.

تغییر کاربری **Change of occupancy**

تغییر نوع بهره‌برداری از ساختمان موجود.

توسعه **Development**

گسترش ساختمان موجود در سطح، یا افزودن به طبقات آن.

تهویه **Ventilation**

روند دمیدن یا مکیدن هوا، از طریق طبیعی یا مکانیکی، به هر فضایی یا از هر فضایی، برای تأمین شرایط بهداشت و آسایش (از قبیل کنترل دما و میزان رطوبت هوا، جلوگیری از بروز میعان، جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها و مانند آنها). چنین هوایی ممکن است مطبوع شده باشد.

تهویهٔ مطبوع **Air conditioning**

نوعی از تهویه همراه با تنظیم عواملی همچون دما و رطوبت، همراه با حذف آلاینده‌های مختلف (مانند بو، گرد و غبار، میکروارگانیسم‌ها) برای تأمین شرایط تعیین‌شده.

جدار نورگذر (شفاف یا نیمه شفاف) **Translucent or Transparent layer**

جداری که ضریب عبور نور مرئی آن بزرگ‌تر از ۰٫۰۵ است. جدار نورگذر بر دو نوع شفاف و مات است و شامل پنجره‌ها، نماها و درهای خارجی نورگذر، نورگیرها و مشابه آنهاست.

جرم سطحی **Surface mass**

جرم متوسط یک متر مربع از سطح پوستهٔ داخلی یا خارجی ساختمان.

جرم سطحی مؤثر جدار (m_i) **Effective surface mass of partitions**

جرم سطحی بخش رو به داخل جدار تشکیل دهندهٔ پوستهٔ خارجی یا جدارهای داخلی ساختمان، که در محاسبهٔ جرم مؤثر و اینرسی حرارتی ساختمان در نظر گرفته می‌شود (ر.ک. به پیوست ۱).

جرم مؤثر جدار **Effective mass of partitions**

حاصل‌ضرب جرم سطحی مؤثر در سطح جدار.

جرم مؤثر ساختمان (M) **Building effective mass**

مجموع جرم مؤثر جدارهای تشکیل‌دهنده پوستهٔ خارجی یا جدارهای داخلی ساختمان که در محاسبهٔ اینرسی حرارتی ساختمان درنظر گرفته می‌شود (ر.ک. به پیوست ۱).

جرم مؤثر ساختمان در واحد سطح زیربنا (m_a) **Building effective surface mass**

نسبت جرم مؤثر ساختمان به سطح زیربنای مفید (ر.ک. به پیوست ۱).

دیوار **Wall**

بخشی از پوستهٔ خارجی یا داخلی غیرنورگذر ساختمان که عمودی است، یا با زاویهٔ بیش از ۶۰ درجه نسبت به سطح افقی قرار گرفته است.

روز- درجهٔ سرمایش **Cooling degree day**

واحدی براساس دما و زمان، که برای برآورد مصرف انرژی و تعیین بار سرمایشی یک ساختمان در اوقات گرم سال به کار می‌رود. روز درجه سرمایش برابر است با مجموع اختلاف دمای متوسط روزانه نسبت به ۲۱ درجهٔ سلسیوس، در اوقاتی از سال که دمای متوسط روزانه از ۲۱ درجه سلسیوس بالاتر است.

روز- درجهٔ گرمایش **Heating degree day**

واحدی براساس دما و زمان، که برای برآورد مصرف انرژی و تعیین بار گرمایشی یک ساختمان در اوقات سرد سال به کار می‌رود. روز درجه گرمایش برابر است با مجموع اختلاف دمای متوسط روزانه نسبت به ۱۸ درجهٔ سلسیوس، در اوقاتی از سال که دمای متوسط روزانه از ۱۸ درجه سلسیوس پایین‌تر است.

زیربنای فضای کنترل‌شده (A_h) **Conditioned space area**

مجموع سطح زیربنای فضاهای کنترل شده در یک ساختمان.

ساختمان مستقل کم‌ارتفاع **Individual (detached or semi-detached) dwelling**

ساختمانی حداکثر دو طبقه که از چهار طرف با ساختمان‌های مجاور فاصله دارد، یا دارای فصل مشترکی با مساحت کم‌تر از ۱۵ متر مربع با آنهاست. در این مبحث، هر جا به اختصار عبارت «ساختمان مستقل» ذکر شود، منظور «ساختمان مستقل کم‌ارتفاع» است.

ساختمان غیرمستقل **Attached Building**

در این مبحث، هر ساختمانی که در قالب تعریف «ساختمان مستقل کم‌ارتفاع» نگنجد، ساختمان غیرمستقل شناخته می‌شود.

سیستم خورشیدی **Solar (energy) system**

سیستم خورشیدی (فعال و غیرفعال) با هدف تأمین تمامی یا بخشی از نیاز گرمایی، سرمایی، تهویه، تأمین آب گرم مصرفی و روشنایی ساختمان، با بهره‌گیری از انرژی خورشیدی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سیستم فعال خورشیدی **Actice solar (energy) system**

سیستم خورشیدی که بر خلاف سیستم غیرفعال خورشیدی نیازمند به تجهیزات مکانیکی و یا الکتریکی انرژی‌بر، برای تبدیل، ذخیره‌سازی، انتقال، تغییر وضعیت سیستم، و یا کنترل و تنظیم میزان انرژی با نیاز است. سیستم‌های پیش گرمایش با حرارت خاک، سیستم‌های سرمایش یا پیش‌سرمایش با برودت خاک، آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی (غیر ترموسیفونی)، سلول‌های خورشیدی، پمپ‌های گرمایی با ابرگرمایش خورشیدی، سیستم‌های جزیی خورشیدی، چرخ‌های رطوبت‌گیر خورشیدی، سیستم‌های ذخیره‌سازی حرارت یا برودت در زمین از جمله سیستم‌های فعال خورشیدی هستند.

سیستم غیر فعال خورشیدی **Passive solar (energy) system**

سیستم خورشیدی که بی‌نیاز به تجهیزات انرژی‌بر یا سیستم‌های تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته است. گلخانه خورشیدی، دیوار ترومب، نمای دو پوسته، پنجره با جریان هوا، جدارهای ذخیره‌کننده (از نوع سنگین و تغییر فازی)، سایبان‌های منعکس‌کننده، و آب‌گرم‌کن خورشیدی از نوع ترموسیفونی از جمله سیستم‌های خورشیدی غیر فعال هستند.

سیستم قطع و کنترل اتوماتیک **Automatic control (& cut out) system**

سیستمی که، با روشن و خاموش کردن تأسیسات گرمایی یا سرمایی، دمای رفت سیال یا دمای فضاها را، در محدودهٔ تعیین‌شده، به صورت خودکار تنظیم می‌کند.

شاخص نمود رنگ (CRI) **Color rendering index**

شاخصی که نشان می‌دهد منبع نوری تا چه حد قابلیت بازتولید رنگ‌های مختلف را، در مقایسه با یک منبع نوری ایدئال، دارد. عناوین دیگری که در بعضی منابع برای این مقدار فیزیکی استفاده شده است عبارتند از: شاخص رنگ‌نمایی، شاخص رنگ‌دهی و شاخص تبیین رنگ.

شاخص خورشیدی (I_s) **Solar index**

شاخصی که، براساس آن، مقدار بهره‌گیری ساختمان از انرژی تابشی خورشید تعیین می‌شود.

شیشهٔ کم‌گسیل **Low-E (Emissivity) glass**

شیشه‌ای که، به علت وجود پوشش‌های پایه فلزی میکروسکوپی خاص بر روی یک یا دو سطح آن، تابش فروسرخ سطح گرم شیشه به سطوح سرد پیرامون، و در نتیجه ضریب انتقال حرارت آن، نسبت به شیشه‌های شفاف، کاهش یافته است. شیشه‌های شفاف به‌طور معمول گسیلندگی (ضریب گسیل) حدود ۰٫۸۵ دارند، اما گسیلندگی شیشهٔ کم‌گسیل، در سطحی که پوشش کم‌گسیل بر آن نشانده شده است، می‌تواند تا میزان ۰٫۰۵ کاهش یابد.

ضریب انتقال حرارت طرح (H) **Building heat loss (transfer) coefficient**

ضریب انتقال حرارت طرح ساختمان، یا بخشی از آن، برابر است با مجموع انتقال حرارت از جدارهای فضاهای کنترل‌شده، در صورتی که اختلاف دمای داخل و خارج برابر یک درجه کلوین باشد. واحد مورد استفاده برای ضریب انتقال حرارت [W/K] است. در روش کارکردی، این ضریب با ضریب انتقال حرارت مرجع مقایسه می‌گردد.

ضریب انتقال حرارت خطی (Ψ) **Linear thermal transmittance**

ضریب انتقال حرارت خطی بخشی یک بعدی از پوستهٔ خارجی ساختمان برابر است با توان حرارتی منتقل شده از یک متر طول آن عنصر، در صورتی که اختلاف دمای داخل و خارج برابر یک درجه کلوین باشد. واحد مورد استفاده برای ضریب انتقال حرارت خطی [W/m.K] است.

ضریب انتقال حرارت سطحی (U) **Thermal transmittance**

ضریب انتقال حرارت سطحی بخشی از پوستهٔ خارجی ساختمان برابر است با توان حرارتی منتقل شده از سطحی از آن با مساحت یک مترمربع، در صورتی که اختلاف دمای داخل و خارج برابر یک درجه کلوین باشد. واحد مورد استفاده برای ضریب انتقال حرارت [$W/m^2.K$] است.

ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع ($\hat{U}$) **Required thermal transmittance**

ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع، ضریب انتقال حرارت سطحی انواع مختلف جدارهای تشکیل‌دهنده پوستهٔ خارجی ساختمان (مانند دیوار، سقف، کف، جدار نورگذر، در) است، که در این مبحث برای محاسبه ضریب انتقال حرارت مرجع به کار می‌رود. واحد ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع [$W/m^2.K$] است.

ضریب انتقال حرارت مرجع ($\hat{H}$) **Required heat loss (transfer) coefficient**

ضریب انتقال حرارت مرجع، حداکثر ضریب انتقال حرارت مجاز ساختمان یا بخشی از آن است، و با استفاده از روابط ارائه‌شده در این مبحث محاسبه می‌گردد. واحد مورد استفاده برای ضریب انتقال حرارت [W/K] است.

ضریب تبادل حرارت در سطح جدار (h) **Surface heat transfer coefficient**

نسبت شدت جریان حرارت سطحی به اختلاف دمای سطح جدار و هوای محیط مجاور، در حالت پایدار (ر.ک. به پیوست ۸).

ضریب تصحیح انتقال حرارت مرجع (γ) **Required heat transfer correction factor**

ضریبی که، در صورت طراحی مناسب و بهره‌گیری بهینه از انرژی خورشیدی در مناطق سردسیر، برای تصحیح مقادیر انتقال حرارت مرجع محاسبه می‌گردد.

ضریب کاهش انتقال حرارت (τ) **Thermal transmittance reduction factor**

از آنجا که اختلاف دمای فضای داخل و فضایی کنترل‌نشده کمتر از اختلاف دمای میان فضاهای داخل و خارج است، در محاسبه انتقال حرارت از سطوح مجاور فضاهای کنترل‌نشده، ضریبی به عنوان ضریب کاهش انتقال حرارت در نظر گرفته می‌شود (ر.ک. به ۱۹-۳-۱-۳-۵).

ضریب عبور (گذر) خورشیدی سطح نورگذر (S) **Solar transmittance**

نسبت انرژی خورشیدی عبور کرده از سطح نورگذر به انرژی خورشیدی تابیده‌شده به آن.

ضریب هدایت حرارت (λ) **Thermal conductivity**

مقدار حرارتی که در یک ثانیه از یک متر مربع عنصری همگن به ضخامت یک متر، در حالت پایدار، می‌گذرد، در زمانی که اختلاف دمای دو سطح طرفین عنصر برابر یک درجه کلوین است. واحد ضریب هدایت حرارت [W/m.K] است.

عایق (عایق حرارت) **Thermal insulation (Insulating material)**

مصالح یا سیستم مرکبی که انتقال گرما را از محیطی به محیطی دیگر به طور مؤثر کاهش دهد. در مواردی، عایق حرارت می‌تواند، علاوه بر کاهش انتقال حرارت، کاربردهای دیگری نیز مانند باربری، صدابندی داشته باشد. در این مبحث، کلمه «عایق» معادل عایق حرارت به کار می‌رود. تحت شرایط ویژه، هوا نیز می‌تواند عایق حرارت محسوب شود.

عایق حرارت قابل استفاده در ساختمان به عایقی اطلاق می‌شود که دارای ضریب هدایت حرارت کمتر یا مساوی ۰٫۰۶۵ W/m.K و مقاومت حرارتی مساوی یا بیشتر از ۰٫۵ $m^2.K/W$ باشد.

عایق‌کاری حرارتی (گرمابندی) **Thermal insulation**

استفاده از عایق‌های حرارتی برای محدود کردن میزان انتقال حرارت در اجزای ساختمانی. سیستم عایق‌کاری حرارتی باید دو شرط زیر را دارا باشد:

- مقاومت حرارتی کل پوستهٔ خارجی به همراه عایق حرارتی از حد مشخص‌شده‌ای بیشتر باشد؛
- ضریب هدایت حرارتی عایق مصرفی از حد مشخص‌شده‌ای بیشتر نباشد.

در برخی موارد، با انتخاب مناسب مصالح مورد نیاز در پوستهٔ خارجی، می‌توان مقاومت حرارتی یادشده در مقررات را بدون استفاده از عایق حرارتی تأمین کرد.

در صورت عایق‌کاری حرارتی مناسب عناصر ساختمان، تأمین و حفظ آسایش حرارتی در فضاهای کنترل‌شده به آسانی و با صرفه‌جویی در مصرف انرژی امکان‌پذیر می‌گردد.

عایق‌کاری حرارتی به وسیلهٔ یک ماده یا مصالح خاص یا با سیستمی با چندین کارآیی صورت می‌گیرد. برای مثال، یک دیوار باربر می‌تواند در عین حال نقش عایق حرارتی را نیز داشته باشد. ولی در بیشتر موارد، لازم است لایه‌ای ویژه، صرفاً به‌عنوان عایق حرارت، به جدار اضافه شود.

عایق‌کاری حرارتی از داخل **Internal thermal insulation**

عایق‌کاری حرارتی اجزای ساختمانی، که با افزودن یک لایه عایق حرارت در سمت داخل صورت می‌گیرد.

عایق‌کاری حرارتی از خارج **External thermal insulation**

عایق‌کاری حرارتی اجزای ساختمانی، که با افزودن یک لایه عایق حرارت در سمت خارج صورت می‌گیرد.

عایق‌کاری حرارتی پیرامونی **Peripheral thermal insulation**

عایق‌کاری حرارتی با عرضی محدود در کف روی خاک، در مجاورت و امتداد دیوارهای پوستهٔ خارجی ساختمان.

عایق‌کاری حرارتی همگن **Distributed thermal insulation**

نوعی عایق‌کاری حرارتی که در آن مصالح ساختمانی مصرف شده، اعم از سازه‌ای و غیر سازه‌ای، در بخش اعظم ضخامت پوستهٔ خارجی (دیوار، سقف، کف)، مقاومت حرارتی زیادی داشته‌باشد.

عناصر ساختمانی **Building elements**

بخش‌هایی از ساختمان که برای تأمین نیازهای سازه‌ای یا غیر سازه‌ای طراحی و ساخته شده است و در پیوند با یکدیگر، یکپارچگی ساختمان را تأمین می‌کند (مانند بام، سقف، دیوار و بازشو).

عوامل ویژه **Specific factors**

عواملی که وضعیت ساختمان را، از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی، تعیین می‌کنند. این عوامل شامل دو نوع اصلی و فرعی است (ر.ک. به ۱۹-۲-۲ و ۱۹-۲-۳).

فضای زیستی **Living space**

فضای مورد استفاده روزمرهٔ افراد، اعم از فضای مسکونی، فضای کار و مانند آن‌ها.

فضای کنترل‌شده **Conditioned space**

بخش‌هایی از فضای داخل ساختمان، از فضای زیستی و غیر آن، که به علت عملکرد خاص، به طور مداوم تا دمایی برابر، بالاتر یا پایین‌تر از دمای زیست‌گاه گرم یا سرد می‌شوند.

فضای کنترل‌نشده **Unconditioned space**

بخش‌هایی از فضای ساختمان که تعریف فضای کنترل شده در بر گیرنده آنها نیست (همانند درز انقطاع هوابندشده بین دو ساختمان، راه پله‌ها، دالان‌ها و پارکینگ‌هایی که فاقد پایانه‌های گرمایشی و سرمایشی‌اند).

کاربری ساختمان **Building occupancy**

نوع کاربرد ساختمان طبق گروه‌بندی ارائه‌شده از سوی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی (ر.ک. به پیوست ۴). شایان ذکر است که در برخی مباحث مقررات ملّی ساختمان، به‌جای واژه «کاربری» عبارت «نحوهٔ تصرف» به کار رفته است.

کف **Floor**

عنصر ساختمانی افقی که در بالا با فضایی کنترل‌شده، و در پایین با خاک، فضای کنترل‌نشده یا فضای خارجی در تماس است. کف بخشی از پوستهٔ خارجی ساختمان محسوب می‌شود.

گرمایش پایه **Background heating**

گرمایش اصلی ساختمان که با دمای خارج تنظیم می‌گردد.

گرمایش تکمیلی **Complementary heating**

گرمایش فرعی ساختمان که برای جواب‌گویی به نیازهای گرمایی کوتاه مدت، در مواقعی که گرمایش پایه به‌تنهایی کافی نیست، پیش‌بینی می‌گردد.

گرمایش مرکب **Composite heating**

گرمایش تشکیل‌شده از دو مؤلفهٔ پایه و تکمیلی.

لامپ کم‌مصرف (پر بازده) **Low consumption (high efficiency) lamp**

لامپ با بازده بیش از ۵۵ لومن بر وات.

محدودهٔ آسایش (حرارتی) **Thermal comfort zone**

شرایط حرارتی و رطوبتی که حدود ۸۰٪ ساکنان یا استفاده‌کنندگان در آن احساس آسایش دارند.

محدودهٔ دمای متعارف **Normal tempereture interval**

محدودهٔ دمایی که در فضاهای دارای عملکرد خاص باید حفظ گردد.

مراجع ذی‌صلاح **Competent authorities**

مراجعی که صلاحیت آنها در زمینه‌های تعیین‌شده در این مبحث مورد تأیید رسمی است، مانند مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

مقاومت حرارتی **Thermal resistance**

نسبت ضخامت لایه به ضریب هدایت حرارتی آن. مقاومت حرارتی جدار متشکل از چند لایه مساوی با مجموع مقاومت‌های هر یک از لایه‌هاست.

مقاومت حرارتی مشخص‌کننده قابلیت عایق بودن یک یا چند لایه از پوسته یا کل پوسته از نظر حرارتی است. مقاومت حرارتی با R نمایانده می‌شود و واحد آن $[m^2K/W]$ است.

نشت هوا **Air leakage**

ورود یا خروج هوا در ساختمان، از منافذ و مجراهایی غیر از محل‌هایی که برای تعویض هوا پیش‌بینی شده است.

واحد مسکونی **Residential unit**

یک واحد خانه، متشکل از یک اتاق یا بیشتر، که امکانات کامل و مستقل (خواب، خوراک، پخت و پز و بهداشت) برای زندگی یک نفر یا بیشتر در آن فراهم باشد.

هوابندی **Air tightening**

جلوگیری از ورود و خروج هوا، از طریق پوسته یا درزهای عناصر تشکیل‌دهندهٔ آن.

۱۹-۲ مقررات کلی طراحی و اجرا

۱۹-۲-۱ مدارک مورد نیاز برای اخذ پروانهٔ ساختمان

در زمان اخذ پروانه ساختمان، لازم است مدارک زیر، برای تأیید ساختمان از نظر ضوابط صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ارائه گردد:

۱۹-۲-۱-۱ گواهی صلاحیت مهندس یا شرکت طراح

۱۹-۲-۱-۲ چک لیست انرژی

چک‌لیست انرژی باید حاوی خلاصهٔ اطلاعات زیر باشد:

۱- مشخصات پروندهٔ ساختمانی و مهندس طراح؛

۲- عوامل ویژهٔ اصلی:

- گونه‌بندی کاربری ساختمان (مطابق ۱۹-۲-۲-۱)؛
- گونه‌بندی نیاز انرژی سالانهٔ محل استقرار ساختمان (مطابق ۱۹-۲-۲-۲)؛
- گونه‌بندی سطح زیربنای مفید ساختمان (مطابق ۱۹-۲-۲-۳)؛
- گونه‌بندی شهر محل استقرار ساختمان (مطابق ۱۹-۲-۲-۴)؛

۳- گروه ساختمان از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی (که بر اساس عوامل ویژه اصلی یاد شده و مطابق بند ۱۹-۲-۲-۵ تعیین می‌شود)؛

۴- گونه‌بندی نحوهٔ استفاده از ساختمان (منقطع یا غیرمنقطع، مطابق ۱۹-۲-۳-۲)؛

۵- روش مورد استفاده برای طراحی عایق‌کاری حرارتی پوسته ساختمان؛

۶- مشخصات حرارتی مصالح و عایق‌های حرارتی مصرفی در ساختمان؛

۷- مشخصات حرارتی انواع جدارهای تشکیل‌دهندهٔ پوستهٔ خارجی ساختمان؛

۸- ضرایب انتقال حرارت طرح و مرجع ساختمان (در صورت استفاده از روش کارکردی)؛

۹- مجموعه راه‌حل‌های فنی مورد استفاده و الزامات تعیین‌شده در آن با توجه به موقعیت جدارها و نحوهٔ عایق‌کاری حرارتی آن‌ها (در صورت استفاده از روش تجویزی)؛

۱۰- مشخصات فنی مرتبط با مصرف انرژی سیستم مکانیکی گرمایی و سرمایی، تهویه و تهویهٔ مطبوع و تأمین آب گرم؛

۱۱- شدت روشنایی فضاها و نحوهٔ کنترل آن.

۱۹-۲-۱-۳ نقشه‌های ساختمان

نقشه‌های ساختمان، شامل پلان طبقات، پلان بام، نماها، مقاطع و جزئیات اجرایی پوستهٔ خارجی ساختمان هستند. در نقشه‌های پلان طبقات، پلان بام، نماها و مقاطع، باید محل عایق‌کاری حرارتی مشخص شده باشد (ر.ک. به پیوست ۱۲).

در صورت احداث ساختمان، نقشه‌های مربوط به تمامی طبقات آن باید ارائه گردد؛ و در موارد بهسازی، بازسازی، تغییر کاربری، یا توسعه ساختمان، تنها ارائهٔ اطلاعات مربوط به واحد یا واحدهای مستقل که تغییر در آنها صورت خواهد گرفت کافی است. تمامی نقشه‌های نام‌برده و مشخصات فنی مربوط باید به تأیید و امضای مهندس یا شرکت طراح برسد.

جزئیات اجرایی پوستهٔ خارجی ساختمان باید با مقیاس‌هایی از قبیل ۱:۱، ۱:۲، ۱:۵ یا ۱:۱۰ (بر حسب نیاز) تهیه شوند؛ و در آنها نحوهٔ اجرای عایق‌کاری حرارتی و مشخصات فنی مصالح تشکیل‌دهندهٔ پوستهٔ خارجی مشخص شده باشد.

۱۹-۲-۱-۴ مشخصات فیزیکی مصالح و سیستم‌های عایق حرارت

در طراحی و اجرای ساختمان اگر از مصالح و سیستم‌های عایق حرارت سنتی و متعارف استفاده شود، لازم است مشخصات فنی مورد نیاز، مانند چگالی و پوشش محافظ احتمالی، به همراه نقشه‌ها و دیگر مدارک، برای تعیین ضرایب انتقال حرارت و مقاومت‌های حرارتی این نوع مصالح و سیستم‌های مورد استفاده در پوستهٔ خارجی ساختمان، مطابق دستورالعمل‌های داده شده در مراجع معتبر و یا جداول پیوست‌های ۷ و ۸ این مبحث، ارائه شود.

در صورتی که مقادیر مربوط به مصالح یا اجزای ساختمانی به‌خصوصی در مراجع ذی‌صلاح یافت نشود، یا سازنده‌ای مدعی باشد که تولیداتی با مقادیر و مشخصات حرارتی بهتر از مقادیر تعیین‌شده در مراجع معتبر عرضه کرده است، لازم است گواهی فنی معتبر آن محصولات ضمیمهٔ مدارک گردد. این گواهی فنی باید حاوی ضرایب هدایت حرارت، یا مقاومت‌های حرارتی محصول، با ضخامت‌های مورد استفاده در طراحی ساختمان، و دیگر مشخصات فنی مورد نیاز برای ارزیابی همه‌جانبهٔ محصول و آیین‌نامهٔ اجرای آن باشد.

در این صورت، مقادیر ذکرشده در گواهی فنی، تا زمان اعتبار آن، در طراحی و محاسبات ملاک عمل خواهد بود. از طرف دیگر، باید به این نکته توجه شود که بهره‌گیری از محصولات دارای برچسب انرژی، مانند عایق‌های حرارتی یا در و پنجره‌های عایق، تا حد امکان در اولویت قرار گیرد، و در زمان انتخاب، حتی‌الامکان مصالح، فراورده‌ها و سیستم‌هایی در نظر گرفته شود که دارای برچسب انرژی هستند.

۱۹-۲-۱-۵ مشخصات فنی سیستم‌های مکانیکی و روشنایی

مشخصات فنی مرتبط با مصرف انرژی سیستم‌های مکانیکی مورد استفاده در ساختمان‌ها، اعم از سیستم‌های گرمایی، سرمایی، تهویه، تهویه مطبوع و تامین آب گرم مصرفی، و همچنین سیستم روشنایی، باید توسط مراجع معتبر تعیین شده باشد، تا در محاسبات و طراحی مورد استفاده قرار گیرد. در صورت فقدان گواهی مشخصات فنی، ضروری است پیش از بهره‌برداری از این تجهیزات، اقدامات لازم برای تعیین مشخصات فنی مورد نیاز صورت گیرد.

۱۹-۲-۲ عوامل ویژهٔ اصلی و گروه‌بندی ساختمان‌ها

حداقل میزان صرفه‌جویی الزامی در مصرف انرژی، که در این مبحث برای پوستهٔ خارجی ساختمان‌ها مشخص شده است، به چهار عامل ویژهٔ اصلی وابسته است. براساس این عوامل ساختمان‌ها از نظر میزان صرفه‌جویی الزامی در مصرف انرژی گروه‌بندی می‌شوند. عوامل ویژهٔ اصلی تعیین‌کنندهٔ گروه ساختمان، از نظر میزان صرفه‌جویی الزامی در مصرف انرژی، به قرار زیر است:

- گونه‌بندی کاربری ساختمان؛
- گونه‌بندی نیاز سالانهٔ انرژی گرمایی- سرمایی محل استقرار ساختمان؛

- گونه‌بندی سطح زیربنای مفید ساختمان؛
- گونه‌بندی شهر محل استقرار ساختمان.

در این بخش، ابتدا به گونه‌بندی هر یک از عوامل فوق و سپس به گروه‌بندی ساختمان‌ها، از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی، پرداخته می‌شود.

۱۹-۲-۲-۱ گونه‌بندی کاربری (یا نحوهٔ تصرف) ساختمان

ساختمان‌ها از نظر نوع کاربری یا نحوهٔ تصرف به چهار گروه الف، ب، ج، د تقسیم می‌شوند. برای تعیین گونه‌بندی ساختمان از نظر نوع کاربری به پیوست ۴ رجوع شود.

در صورتی که بخش یا بخش‌هایی از ساختمان، با مساحت بیش از ۱۵۰ مترمربع، و با نحوهٔ تصرف متفاوت با کاربری عمومی ساختمان (کاربری بخش اصلی ساختمان) جزو فضاهای داخلی ساختمان محسوب شود، باید برای هر بخش گروه‌بندی جداگانه منظور شود و مقررات مربوط به آن گروه‌بندی رعایت شود، و در صورت لزوم عایق‌کاری حرارتی بین قسمت‌های با استفاده مداوم و منقطع صورت گیرد.

۱۹-۲-۲-۲ گونه‌بندی نیاز سالانهٔ انرژی محل استقرار ساختمان

در این مبحث، مناطق مختلف کشور، از نظر سطح نیاز انرژی گرمایی- سرمایی سالانه، سه گونه‌اند:
- مناطق دارای نیاز سالانه انرژی کم؛
- مناطق دارای نیاز سالانه انرژی متوسط؛
- مناطق دارای نیاز سالانه انرژی زیاد.

لازم به توضیح است نیاز سالانه انرژی زیاد در مناطقی مطرح می‌شود که یا سردسیر هستند و نیاز گرمایی بالایی دارد، یا بسیار گرم یا گرم و مرطوب هستند و نیاز سرمایی بالایی دارند.

در پیوست سوم، گونه‌بندی نیاز سالانه انرژی ۲۴۵ شهر کشور، که دارای ایستگاه هواشناسی‌اند، درج شده است. در صورتی که شهر محل استقرار ساختمان در این پیوست ذکر نشده باشد، باید داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی مندرج در این پیوست ملاک عمل قرار گیرد.

۱۹-۲-۲-۳ گونه‌بندی سطح زیربنای مفید ساختمان

در این مبحث، ساختمان‌ها، از نظر سطح زیربنای مفید، دو گونه‌اند:
- ساختمان‌های دارای زیربنای مفید کمتر یا مساوی ۱۰۰۰ مترمربع؛
- ساختمان‌های دارای زیربنای مفید بیش از ۱۰۰۰ مترمربع.

۱۹-۲-۲-۴ گونه‌بندی شهر محل استقرار ساختمان

شهرها، در این مبحث، به دو گونه‌اند:
- شهرهای بزرگ: مراکز استان‌ها و شهرهای دارای بیش از یک میلیون نفر جمعیت؛
- شهرهای کوچک: شهرهایی با جمعیت کمتر از یک میلیون نفر که مرکز استان نیستند.

۱۹-۲-۲-۵ گروه‌بندی ساختمان‌ها از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی

برای طراحی ساختمان، طبق ضوابط مندرج در این مبحث، لازم است ابتدا گروه ساختمان، از نظر میزان صرفه‌جویی الزامی در مصرف انرژی تعیین گردد. در این مبحث گروه‌های چهارگانهٔ ساختمان‌ها به قرار زیر است:
- گروه ۱: ساختمان‌های ملزم به صرفه‌جویی زیاد در مصرف انرژی؛
- گروه ۲: ساختمان‌های ملزم به صرفه‌جویی متوسط در مصرف انرژی؛
- گروه ۳: ساختمان‌های ملزم به صرفه‌جویی کم در مصرف انرژی؛
- گروه ۴: ساختمان‌های بدون نیاز به صرفه‌جویی در مصرف انرژی.

گروه ساختمان‌ها، از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی، پس از تعیین عوامل ویژهٔ اصلی و براساس جدول مندرج در پیوست پنجم این مبحث، تعیین می‌شود. در این مبحث، مراد از «ساختمان گروه ۱، ۲، ۳ یا ۴» گروه‌بندی فوق است.

۱۹-۲-۳ عوامل ویژهٔ فرعی

حداقل میزان صرفه‌جویی الزامی در مصرف انرژی مشخص شده در این مبحث، به عوامل ویژهٔ دیگری نیز وابسته است، که عوامل ویژه فرعی نامیده می‌شوند. عوامل ویژهٔ فرعی عبارتند از:

- شرایط بهره‌گیری از انرژی خورشیدی؛
- نحوهٔ استفاده از ساختمان با کاربری غیرمسکونی.

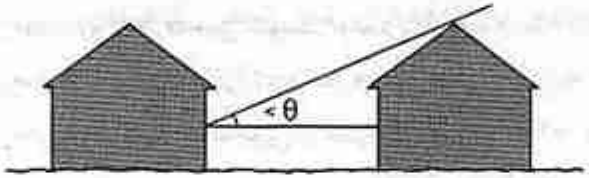
۱-۳-۲-۱۹ گونه‌بندی از نظر شرایط بهره‌گیری از انرژی خورشیدی

ساختمان‌ها، از نظر شرایط بهره‌گیری از انرژی خورشیدی، به دو گونه تقسیم می‌شوند:

- ساختمان‌های دارای امکان بهره‌گیری مناسب از انرژی خورشیدی؛
- ساختمان‌های دارای محدودیت در بهره‌گیری از انرژی خورشیدی.

ساختمانی دارای امکان بهره‌گیری مناسب از انرژی خورشیدی شناخته می‌شود که، مطابق پیوست ۳، دارای نیاز غالب سرمایی نباشد، مساحت جدارهای نورگذر آن در جهت جنوب شرقی تا جنوب غربی بیش از یک‌نهم زیربنای مفید ساختمان باشد، و همچنین موانع تابش نور خورشید به ساختمان با زاویه‌ای کمتر از ۲۵ درجه نسبت به افق دیده شود (ر. ک. به پیوست ۲).

ساختمانی که فاقد یکی از شرایط فوق باشد، ساختمان دارای محدودیت در *بهره‌گیری از انرژی* خورشیدی تلقی می‌شود.



شکل ۱ تعیین زاویه موانع تابش نور خورشید

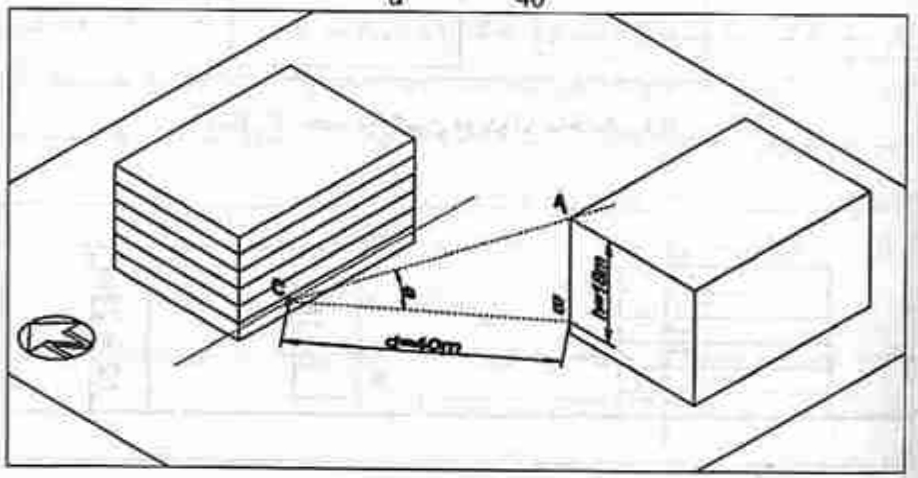
در ادامه، به کمک یک مثال ساده، نحوه محاسبه زاویه دید ساختمان موردنظر نسبت به سطح افق تشریح می‌گردد. همان‌طور که توضیح داده شد، در صورتی‌که این زاویه کمتر از ۲۵ درجه باشد، ساختمان موردنظر به عنوان ساختمانی شناخته می‌شود که دارای امکان بهره‌گیری مناسب از انرژی خورشیدی می‌باشد.

مثال ۱: در شکل ۲ تا شکل ۴، محل قرارگیری دو بلوک ساختمانی هر یک به ارتفاع ۲۰ متر نشان داده شده است. در این مثال، زاویه دید در نقطه C مدنظر است. این نقطه در طبقه همکف یکی از بلوک‌ها به فاصله ۱۰ متر از لبه ساختمان و در ارتفاع ۲ متری از کف زمین واقع شده است.
در این مثال، فاصله افقی دو نقطه برابر با ۴۰ متر و فاصله عمودی برابر است با:

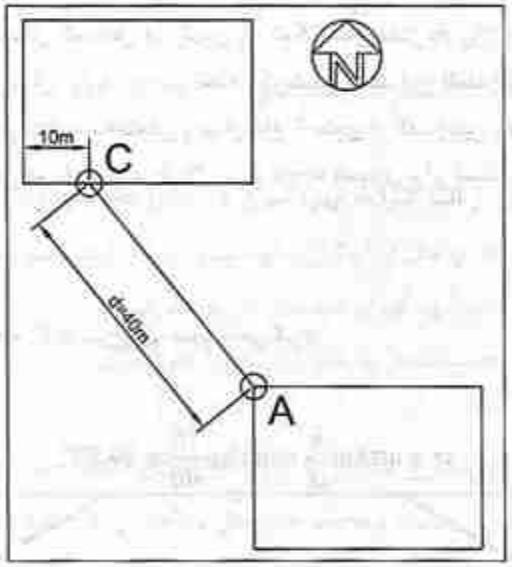
$$20-2=18m$$

تعیین زاویه دید در نقطه C به شرح زیر صورت می‌گیرد:

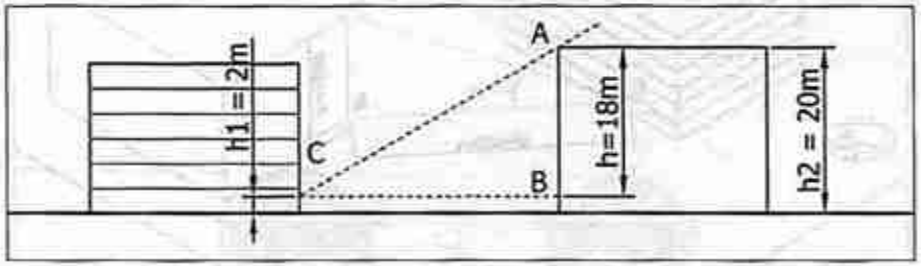
$$\alpha=\arctan\frac{h}{d}=\arctan\frac{18}{40}=24.23°$$



شکل ۲ نحوه قرارگیری دو بلوک ساختمانی (سه‌بعدی)



شکل ۳ نحوه قرارگیری دو بلوک ساختمانی (پلان)



شکل ۴ نحوه قرارگیری دو بلوک ساختمانی (مقطع)

۱۹-۲-۳-۲ گونه‌بندی نحوهٔ استفاده از ساختمان‌های غیرمسکونی

ساختمان‌های غیر مسکونی، از نظر نحوهٔ استفاده، به دو گونه تقسیم می‌گردد:

- **استفادهٔ منقطع:** استفاده از ساختمان (یا بخشی از آن)، به گونه‌ای که در هر شبانه‌روز، دست‌کم ده ساعت در روند استفاده وقفه بیفتد و بتوان کنترل دما در محدودهٔ متعارف زمان اشغال فضاها را متوقف کرد.

- **استفادهٔ مداوم:** استفاده از ساختمان (یا بخشی از آن) به گونه‌ای که تعریف استفاده منقطع بر آن صادق نباشد.

مثال ۲: تعیین نوع استفاده از ساختمان

ساختمان اداری که ساعات کار رسمی آن از ۸ صبح تا ۴ بعد است، حتی اگر فرض نماییم که از ساعت ۶ تا ۸ صبح و از ساعت ۴ تا ۶ بعد از ظهر نیز بخشی از کارمندان در ساختمان حضور دارند، وقفه استفاده از ساختمان ۱۲ ساعت خواهد بود، و می‌توان ساختمان را با استفاده منقطع محسوب نمود.

بدیهی است در اوقات سرد سال، کاهش میزان گرمایش فضاها در زمان‌های عدم بهره‌برداری (برای مثال ساعات تعطیلی یک ساختمان اداری) باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود. انجام این کار، با در نظر گرفتن سیستم‌های برنامه‌ریزی امکان‌پذیر می‌گردد (ر.ک. به ۱۹-۴-۲-۱-۱). البته، کاهش میزان گرمایش در هیچ شرایطی نباید باعث ایجاد خطر یخ‌زدگی در جدارها یا سیستم‌های تأسیسات مکانیکی ساختمان گردد. در اوقات گرم سال نیز، کاهش میزان سرمایش در اوقات عدم حضور بهره‌برداران کاهش مصرف انرژی را به دنبال دارد.

اگر از برخی فضاهای ساختمان به صورت مداوم و از برخی دیگر به صورت منقطع استفاده شود، نوع استفاده از بخش بزرگ‌تر ملاک تصمیم‌گیری در مورد کل ساختمان است، مگر آنکه مساحت بخش یا بخش‌های کوچک‌تر بیش از ۱۵۰ مترمربع باشد. در این صورت لازم است محاسبات حرارتی هر بخش به صورت مستقل صورت پذیرد.

در اینجا باید به این نکته اشاره کرد که در زمان‌هایی که به دلیل عدم حضور بهره‌برداران، میزان گرمایش یا سرمایش بخشی از فضاها کاهش می‌یابد، انتقال حرارت از جدارهای مابین فضاهای با استفاده مداوم و منقطع افزایش می‌یابد. در نتیجه، برای جلوگیری از افزایش مصرف انرژی در فضاهای با استفاده مداوم، لازم است عایق‌کاری حرارتی جدارهای بین فضاهای با استفاده مداوم و منقطع صورت گیرد.

در حالت‌های زیر، فضاهای با استفادهٔ منقطع، با استفادهٔ مداوم تلقی می‌شوند:

- اینرسی حرارتی زیاد جدارهای فضاهای مربوط (ر.ک. به پیوست ۱)؛
- عدم امکان کاهش (در اوقات سرد) یا افزایش (در اوقات گرم) دمای هوای فضا، بیش از ۷ درجهٔ سلسیوس، فراتر از محدودهٔ دمای تعیین‌شده برای زمان‌های بهره‌برداری از ساختمان.

لازم به توضیح است اینرسی حرارتی زیاد برای فضاهای با استفاده منقطع توصیه نمی‌شود، زیرا برای رسانیدن جدارهای سنگین این فضاها به دمای مورد نظر، باید انرژی قابل توجهی مصرف شود، و این امر اثر کاهش میزان گرمایش یا سرمایش در زمان‌های عدم بهره‌برداری را بسیار کم‌رنگ می‌کند.

این گونه‌بندی در تعیین ضرایب انتقال حرارت مرجع (روش کارکردی، بند ۱۹-۳-۱-۲) تأثیرگذار است.

۱۹-۲-۴ روش‌های طراحی پوستهٔ خارجی ساختمان

ضوابط طراحی پوستهٔ خارجی ساختمان‌ها، برای کاهش انتقال حرارت، در بخش ۱۹-۳ بیان شده است. طراحی و تعیین میزان عایق‌کاری حرارتی اجزای پوستهٔ ساختمان‌ها، به جز ساختمان‌های گروه چهار، از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی (ر.ک به بخش ۱۹-۲-۲-۵)، باید با یکی از دو روش زیر صورت گیرد:

- روش الف (کارکردی) که در مورد همهٔ ساختمان‌ها کاربرد دارد و مبنای آن میزان کل نیاز انرژی سالانه است (بخش ۱۹-۳-۱).
- روش ب (تجویزی) که تنها در مورد ساختمان‌های مسکونی ۱ تا ۹ طبقه، به صورت منفرد یا مجتمع و با زیربنای کمتر از ۲۰۰۰ مترمربع، و ساختمان‌های گروه ۳ از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی به کار می‌رود. در این روش، دو مجموعه راه حل فنی ب-۱ و ب-۲ ارائه شده است (بخش ۱۹-۳-۲).

لازم به توضیح است روش ب (تجویزی) تنها در مورد ساختمان‌های کوچک (با حجم سرمایه‌گذاری اندک) دارای توجیه است، و در صورتی که طراح اقتصادی‌ترین راه‌حل‌ها را مد نظر داشته باشد، لازم است طراحی را با استفاده از روش کارکردی انجام دهد.

۱۹-۲-۵ طراحی سیستم‌های مکانیکی

ضوابط طراحی و انتخاب تجهیزات برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستم‌های مکانیکی و آب گرم مصرفی ساختمان‌ها در بخش ۱۹-۴ ارائه شده است. رعایت این ضوابط در مورد تمامی ساختمان‌های دارای کاربری‌های اعلام‌شده در پیوست ۴ الزامی است.

۱۹-۲-۶ طراحی سیستم روشنایی

در روشنایی با استفاده از انرژی الکتریکی، در ساختمان‌های دارای کاربری‌های اعلام‌شده در پیوست ۴، لازم است، علاوه بر الزامات مبحث ۱۳ مقررات ملّی ساختمان، موارد مندرج در بخش ۱۹-۵ این مبحث نیز مد نظر قرار گیرد.

لازم به توضیح است اینرسی حرارتی زیاد برای فضاهای با استفاده منقطع توصیه نمی‌شود، زیرا برای رسانیدن جدارهای سنگین این فضاها به دمای مورد نظر، باید انرژی قابل توجهی مصرف شود، و این امر اثر کاهش میزان گرمایش یا سرمایش در زمان‌های عدم بهره‌برداری را بسیار کم‌رنگ می‌کند.

این گونه‌بندی در تعیین ضرایب انتقال حرارت مرجع (روش کارکردی، بند ۱۹-۳-۱-۲) تأثیرگذار است.

۱۹-۲-۴ روش‌های طراحی پوستهٔ خارجی ساختمان

ضوابط طراحی پوستهٔ خارجی ساختمان‌ها، برای کاهش انتقال حرارت، در بخش ۱۹-۳ بیان شده است. طراحی و تعیین میزان عایق‌کاری حرارتی اجزای پوستهٔ ساختمان‌ها، به جز ساختمان‌های گروه چهار، از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی (ر.ک به بخش ۱۹-۲-۲-۵)، باید با یکی از دو روش زیر صورت گیرد:

- روش الف (کارکردی) که در مورد همهٔ ساختمان‌ها کاربرد دارد و مبنای آن میزان کل نیاز انرژی سالانه است (بخش ۱۹-۳-۱).
- روش ب (تجویزی) که تنها در مورد ساختمان‌های مسکونی ۱ تا ۹ طبقه، به صورت منفرد یا مجتمع و با زیربنای کمتر از ۲۰۰۰ مترمربع، و ساختمان‌های گروه ۳ از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی به کار می‌رود. در این روش، دو مجموعه راه حل فنی ب-۱ و ب-۲ ارائه شده است (بخش ۱۹-۳-۲).

لازم به توضیح است روش ب (تجویزی) تنها در مورد ساختمان‌های کوچک (با حجم سرمایه‌گذاری اندک) دارای توجیه است، و در صورتی که طراح اقتصادی‌ترین راه‌حل‌ها را مد نظر داشته باشد، لازم است طراحی را با استفاده از روش کارکردی انجام دهد.

۱۹-۲-۵ طراحی سیستم‌های مکانیکی

ضوابط طراحی و انتخاب تجهیزات برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستم‌های مکانیکی و آب گرم مصرفی ساختمان‌ها در بخش ۱۹-۴ ارائه شده است. رعایت این ضوابط در مورد تمامی ساختمان‌های دارای کاربری‌های اعلام‌شده در پیوست ۴ الزامی است.

۱۹-۲-۶ طراحی سیستم روشنایی

در روشنایی با استفاده از انرژی الکتریکی، در ساختمان‌های دارای کاربری‌های اعلام‌شده در پیوست ۴، لازم است، علاوه بر الزامات مبحث ۱۳ مقررات ملّی ساختمان، موارد مندرج در بخش ۱۹-۵ این مبحث نیز مد نظر قرار گیرد.

۱۹-۳ پوستهٔ خارجی ساختمان

پخش قابل توجهی از تبادل حرارت ساختمان از طریق پوستهٔ خارجی آن صورت می‌گیرد. میزان انتقال حرارت از جدارهای پوسته خارجی ساختمان به ضریب هدایت حرارت مصالح به‌کار رفته و ضخامت لایه‌های مختلف آن بستگی دارد.

در این قسمت، ضوابط طراحی پوستهٔ خارجی ساختمان‌ها، برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، توضیح داده می‌شود. این ضوابط در قالب دو روش الف (کارکردی) و روش ب (تجویزی)، در بندهای ۱۹-۳-۱ و ۱۹-۳-۲، ارائه می‌گردد.

در محاسبه و طراحی عایق‌کاری حرارتی پوستهٔ انواع ساختمان‌ها می‌توان از روش کارکردی بهره گرفت، اما روش تجویزی تنها در موارد مطرح شده در جدول ۱ (صفحه ۲) به کار برده می‌شود (برای محاسبه عایق کاری حرارتی پوستهٔ ساختمان‌های مسکونی ۱ تا ۹ طبقه، به صورت منفرد یا مجتمع و با زیربنای کمتر از ۲۰۰۰ متر مربع، و ساختمان‌های گروه ۳، از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی).

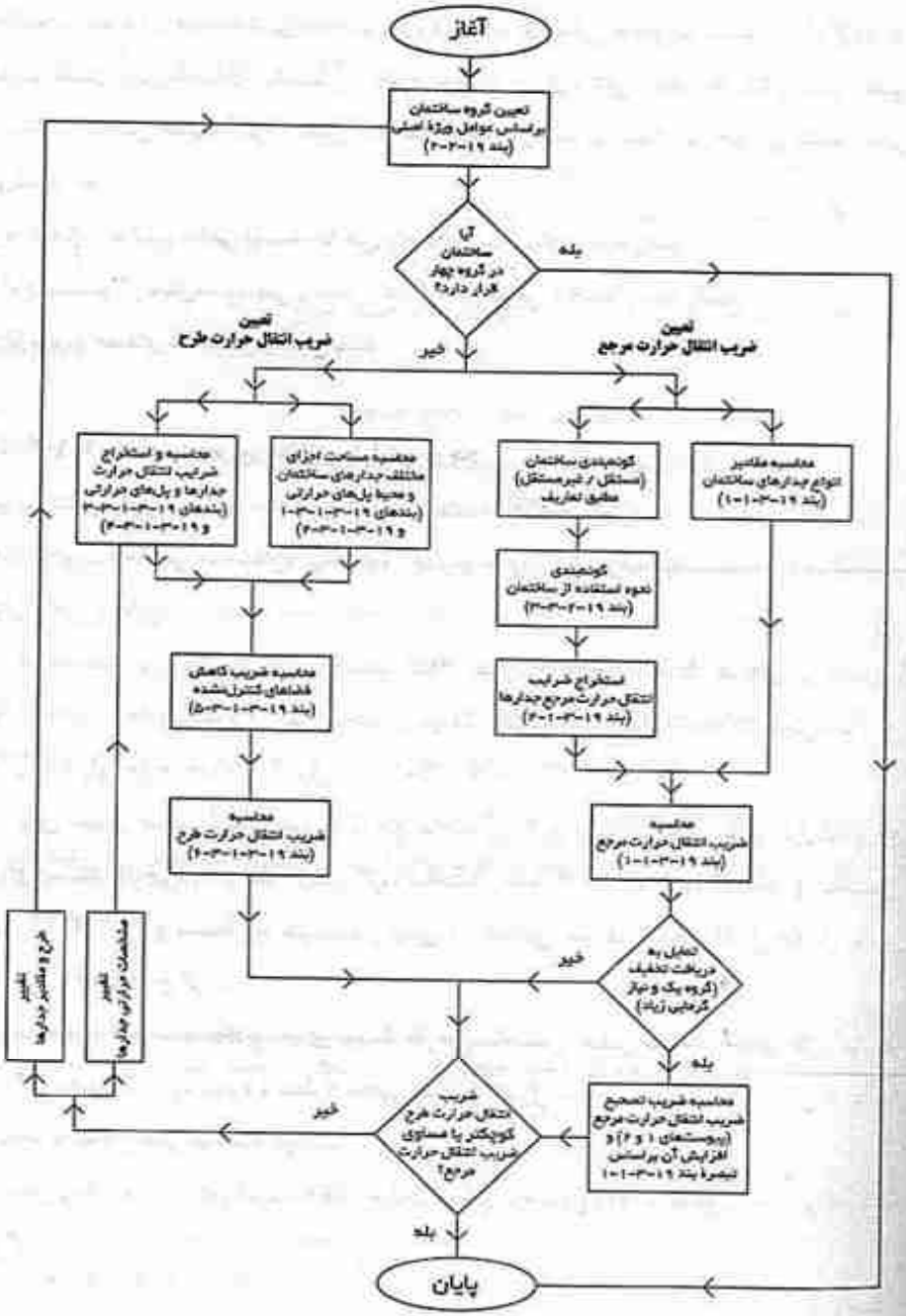
۱۹-۳-۱ روش الف - روش کارکردی

روش کارکردی را می‌توان برای تمام ساختمان‌ها به کار برد، اما طراحی با آن نیازمند محاسبات انتقال حرارت پوستهٔ خارجی ساختمان است. در مواردی که در جدول ۱ (صفحه ۲) مشخص شده است، می‌توان از روش تجویزی (بند ۱۹-۳-۲) استفاده کرد.

برای محاسبه عایق‌کاری حرارتی ساختمان‌ها به روش کارکردی، ابتدا باید گروه ساختمان، از لحاظ میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی، تعیین گردد. گروه ساختمان با توجه به عوامل ویژه اصلی (بند ۱۹-۲-۲) و براساس جدول مندرج در پیوست ۵ این مبحث تعیین می‌گردد. پس از آن، باید

میزان عایق‌کاری حرارتی ساختمان‌ها، با محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت طرح، و مقایسه آن با حداکثر مقدار مجاز (ضریب انتقال حرارت مرجع) تعیین شود.

روش محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت مرجع و ضریب انتقال حرارت طرح به ترتیب در بندهای ۱۹-۳-۱-۱ و ۱۹-۳-۱-۳ توضیح داده شده است. در شکل ۵ نیز نمودار گردشی مراحل محاسبات عایق‌کاری حرارتی پوستهٔ ساختمان در روش کارکردی نشان داده شده است.



شکل ۵ نمودار گردشی مراحل محاسبه عایق‌کاری حرارتی پوسته ساختمان مطابق روش کارکردی

محاسبات باید برای هر ساختمان منفرد و برای هر واحد آپارتمانی به صورت مستقل انجام گردد. در صورت یکسان بودن واحدهای ساختمان از نظر مشخصات حرارتی، کافی است محاسبات براساس بعضی واحدهای شاخص صورت گیرد. شایان ذکر است واحدهای یک ساختمان در صورتی یکسان تلقی می‌شوند که:

- مشخصات حرارتی تمامی پوستهٔ خارجی واحدهای ساختمان مشابه باشد؛
- نوع سیستم گرمایش، سرمایش و تأمین آب گرم در تمامی واحدها مشابه باشد؛
- کاربری واحدهای ساختمان یکسان باشد.

۱-۱-۳-۱۹ محاسبه ضریب انتقال حرارت مرجع

ضریب انتقال حرارت مرجع ساختمان ($\hat{H}$) بر حسب [W/K] برابر است با حداکثر انتقال حرارت مجاز از پوستهٔ خارجی ساختمان، در شرایط پایدار و به ازای یک درجه سلسیوس اختلاف دما بین هوای داخل و خارج.

در محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت مرجع، انتقال حرارت از بام‌ها، دیوارها، کف‌های در تماس با هوا یا خاک، درها و سطوح نورگذر ساختمان در نظر گرفته می‌شود. این جدارها ممکن است در تماس با فضای خارج، فضاهای کنترل‌نشده یا خاک باشند.

برای تعیین ضریب انتقال حرارت مرجع ساختمان، لازم است ضرایب انتقال حرارت مرجع اجزای پوستهٔ خارجی، با در نظر گرفتن گروه ساختمان (بند ۱۹-۲-۲)، نحوهٔ استفاده از ساختمان (بند ۱۹-۲-۳-۲) و مستقل یا غیرمستقل بودن آن (مطابق تعاریف صفحه ۸)، از جداول بخش ۱۹-۳-۱-۲ استخراج گردد.

در ضمن، لازم است مقادیر اجزای پوستهٔ خارجی ساختمان (شامل مساحت خالص کل دیوارها، بام، کف مجاور هوا، در، پنجره و سطوح مجاور فضاهای کنترل‌نشده و محیط کف در تماس با خاک) با توجه به ابعاد داخلی محاسبه گردد.[1]

پس از طی مراحل بالا، ضریب انتقال حرارت مرجع ساختمان ($\hat{H}$) از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

۱. در محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت مرجع، تنها پل حرارتی کف در تماس با خاک در نظر گرفته می‌شود.

$$\hat{H} = (A_W \times \hat{U}_W) + (A_R \times \hat{U}_R) + (A_F \times \hat{U}_F) + (P \times \hat{U}_P) + (A_G \times \hat{U}_G) + (A_D \times \hat{U}_D) + (A_{WB} \times \hat{U}_{WB})$$

در این رابطه تعاریف مقادیر فیزیکی به شرح زیر است:

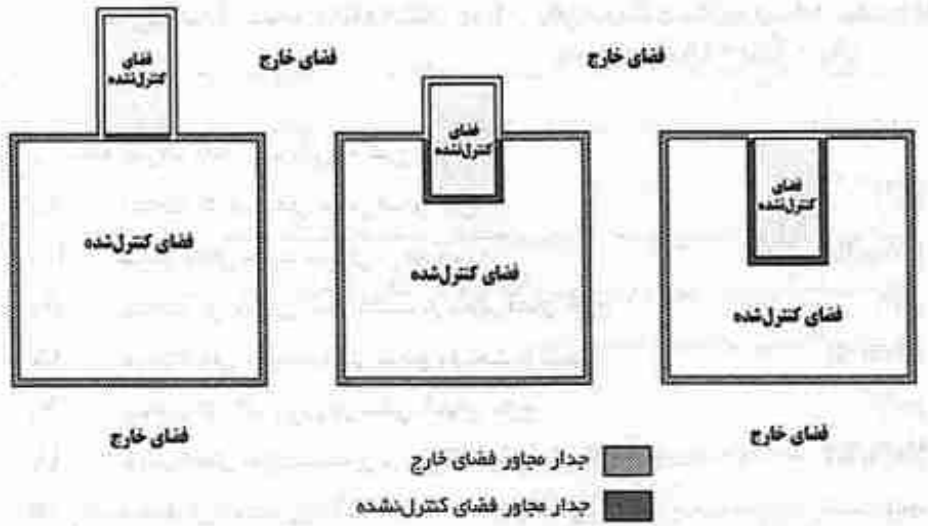
A_W -	مساحت کل دیوارهای مجاور فضای خارج	[m^2]
$\hat{U}_W$ -	ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع دیوارها	[W/m^2K]
A_R -	مساحت کل بام‌های تخت یا شیب‌دار مجاور فضای خارج	[m^2]
$\hat{U}_R$ -	ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع بام تخت یا شیب‌دار	[W/m^2K]
A_F -	مساحت کل کف زیرین در تماس با هوای خارج	[m^2]
$\hat{U}_F$ -	ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع کف زیرین در تماس با هوا	[W/m^2K]
P -	محیط کل کف زیرین در تماس با خاک، مجاور فضای خارج	[m]
$\hat{U}_P$ -	ضریب انتقال حرارت خطی مرجع کف زیرین در تماس با خاک	[W/mK]
A_G -	مساحت کل جدارهای نورگذر مجاور خارج (سطوح شیشه و قاب)	[m^2]
$\hat{U}_G$ -	ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع جدارهای نورگذر با قاب‌های آنها	[W/m^2K]
A_D -	مساحت کل درهای مجاور فضای خارج	[m^2]
$\hat{U}_D$ -	ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع درها	[W/m^2K]
A_{WB} -	مساحت کل سطوح در تماس با فضای کنترل‌نشده	[m^2]
$\hat{U}_{WB}$ -	ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع جدارهای در تماس با فضای کنترل‌نشده	[W/m^2K]

توضیحات:

۱- سطوح تمام جدارهای ساختمانی (A_{WB} ، A_D ، A_F ، A_R ، A_W) و محیط کف زیرین در تماس با خاک (P) از طرف داخل ساختمان محاسبه می‌شوند.

۲- تمام ضرایب انتقال حرارت مرجع عناصر ساختمانی در بخش ۱۹-۳-۱-۲ ارائه شده است.

۳- منظور از «جدار مجاور فضای خارج» جداری است که بین یک فضای کنترل‌شده و فضای خارج قرار گرفته است. همچنین، منظور از «جدار مجاور فضای کنترل‌نشده» جداری است که بین یک فضای کنترل‌شده و یک فضای کنترل‌نشده قرار گرفته است (شکل ۶). در محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت مرجع، سطوح جدارهای بین فضای کنترل‌نشده و فضای خارج در نظر گرفته نمی‌شود.



شکل ۶ موقعیت جدارهای مجاور خارج و مجاور فضای کنترل‌نشده در پلان شماتیک سه نمونه ساختمان

تبصره ۱: در مناطق دارای نیاز گرمایی زیاد (مطابق پیوست ۳)، می‌توان ضریب انتقال حرارت مرجع محاسبه‌شده را به میزان ۰٫۷V (بر حسب وات بر کلوین) افزایش داد. در این رابطه، V حجم فضای مفید ساختمان و γ ضریب تصحیح انتقال حرارت مرجع است.

مقادیر ضریب γ براساس اینرسی حرارتی ساختمان و شاخص خورشیدی تعیین می‌گردد. برای ساختمان‌های غیرمستقل با فضاهای مورد استفادهٔ مداوم، ضریب γ از جدول ۲، و برای ساختمان‌های غیرمستقل با فضاهای مورد استفادهٔ منقطع، ضریب γ از جدول ۳ استخراج می‌شود. روش تعیین اینرسی حرارتی ساختمان و شاخص خورشیدی به ترتیب در پیوست ۱ و پیوست ۲ ارائه گردیده است. در این پیوست‌ها، مثال‌هایی نیز برای تعیین جرم موثر جدارها و رده اینرسی حرارتی ساختمان ارائه شده است.

جدول ۲ محاسبهٔ ضریب γ برای ساختمان‌های غیرمستقل- فضاهای با استفادهٔ مداوم بر حسب اینرسی حرارتی ساختمان و شاخص خورشیدی

اینرسی حرارتی	شاخص خورشیدی I_S		
	$I_S < ۰٫۰۱$	$۰٫۰۱ \leq I_S < ۰٫۰۲$	$I_S \geq ۰٫۰۲$
کم	۰	۰٫۰۳	۰٫۰۶
متوسط	۰	۰٫۰۵	۰٫۱۰
زیاد	۰	۰٫۰۶	۰٫۱۲

جدول ۳ محاسبهٔ ضریب γ ساختمان‌های غیرمستقل- فضاهای با استفادهٔ منقطع بر حسب اینرسی حرارتی ساختمان و شاخص خورشیدی

اینرسی حرارتی	شاخص خورشیدی I_S		
	$I_S < ۰٫۰۱$	$۰٫۰۱ \leq I_S < ۰٫۰۲$	$I_S \geq ۰٫۰۲$
اختیاری	۰	۰٫۰۴	۰٫۰۸

جدول ۴ ضرایب انتقال حرارت مرجع عناصر ساختمانی* برای ساختمان‌های گروه یک (ساختمان‌های ملزم به صرفه‌جویی زیاد در مصرف انرژی)

عناصر ساختمانی / نوع ساختمان و نحوه استفاده		ساختمان مستقل	ساختمان غیرمستقل با استفادهٔ مداوم	ساختمان غیرمستقل با استفادهٔ منقطع
دیوار	$\hat{U}_W$	۰٫۷۰	۰٫۸۰	۱٫۱۰
بام تخت یا شیب‌دار	$\hat{U}_R$	۰٫۳۰	۰٫۵۰	۰٫۵۵
کف در تماس با هوا	$\hat{U}_F$	۰٫۴۵	۰٫۵۰	۰٫۵۵
کف در تماس با خاک	$\hat{U}_P$	۱٫۴۵	۱٫۴۵	۱٫۶۰
جدار نورگذر	$\hat{U}_G$	۲٫۷۰	۲٫۷۰	۳٫۴۰
در	$\hat{U}_D$	۳٫۵۰	۳٫۵۰	۳٫۵۰
جدارهای مجاور فضای کنترل‌نشده	$\hat{U}_{WB}$	۰٫۵۵	۰٫۵۵	۰٫۷۰

* ضرایب بر حسب $W/m^2.K$ داده شده است، غیر از $\hat{U}_P$ که برحسب W/m.K است.

۱۹-۳-۱-۲ ضرایب انتقال حرارت مرجع عناصر ساختمانی پوستهٔ خارجی

ضرایب انتقال حرارت مرجع عناصر پوستهٔ خارجی، براساس گروه ساختمان، نحوه استفاده از آن، و مستقل یا غیرمستقل بودن ساختمان، در جدول ۴ تا جدول ۶ درج شده است.

برای محاسبه ضریب انتقال حرارت مرجع ساختمان ($\hat{H}$)، لازم است ضرایب انتقال حرارت اجزای پوسته ساختمان از جداول مذکور استخراج و در رابطهٔ بخش ۱۹-۳-۱-۱ قرار داده شوند.

جدول ۵ ضرایب انتقال حرارت مرجع عناصر ساختمانی* برای ساختمان‌های گروه دو
(ساختمان‌های ملزم به صرفه‌جویی متوسط در مصرف انرژی)

نوع ساختمان و نحوه استفاده / عناصر ساختمانی		ساختمان مستقل	ساختمان غیرمستقل با استفادهٔ مداوم	ساختمان غیرمستقل با استفادهٔ منقطع
دیوار	$\hat{U}_w$	۰٫۸۸	۱٫۰۱	۱٫۳۹
بام تخت یا شیب‌دار	$\hat{U}_R$	۰٫۳۸	۰٫۶۳	۰٫۶۹
کف در تماس با هوا	$\hat{U}_F$	۰٫۵۷	۰٫۶۳	۰٫۶۹
کف در تماس با خاک	$\hat{U}_P$	۱٫۸۳	۱٫۸۳	۲٫۰۲
جدار نورگذر	$\hat{U}_G$	۳٫۴	۳٫۴	۴٫۲۸
در	$\hat{U}_D$	۴٫۴۱	۴٫۴۱	۴٫۴۱
جدارهای مجاور فضای کنترل‌نشده	$\hat{U}_{WB}$	۰٫۶۹	۰٫۶۹	۰٫۸۸

* ضرایب بر حسب $W/m^2.K$ داده شده است، غیر از $\hat{U}_P$ که برحسب W/m.K است.

تبصره ۲: چنانچه ساختمانی، مطابق پیوست ۳، دارای نیاز غالب *سرمایی* باشد و تمام جدارهای نورگذر پوستهٔ خارجی آن از سایه‌بان‌های معین‌شده در پیوست ۱۰ برخوردار باشند، می‌توان ضرایب انتقال حرارت مرجع عناصر ساختمانی را با ضریب ۱٫۱ افزایش داد.

جدول ۶ ضرایب انتقال حرارت مرجع عناصر ساختمانی* برای ساختمان‌های گروه سه
(ساختمان‌های ملزم به صرفه‌جویی کم در مصرف انرژی)

نوع ساختمان و نحوه استفاده / عناصر ساختمانی		ساختمان مستقل	ساختمان غیرمستقل با استفادهٔ مداوم	ساختمان غیرمستقل با استفادهٔ منقطع
دیوار	$\hat{U}_w$	۱٫۰۲	۱٫۱۷	۱٫۶۱
بام تخت یا شیب‌دار	$\hat{U}_R$	۰٫۴۴	۰٫۷۳	۰٫۸۰
کف در تماس با هوا	$\hat{U}_F$	۰٫۶۶	۰٫۷۳	۰٫۸۰
کف در تماس با خاک	$\hat{U}_P$	۲٫۱۲	۲٫۱۲	۲٫۳۴
جدار نورگذر	$\hat{U}_G$	۳٫۹۴	۳٫۹۴	۴٫۹۶
در	$\hat{U}_D$	۵٫۱۱	۵٫۱۱	۵٫۱۱
جدارهای مجاور فضای کنترل‌نشده	$\hat{U}_{WB}$	۰٫۸۰	۰٫۸۰	۱٫۰۲

* ضرایب بر حسب $W/m^2.K$ داده شده است، غیر از $\hat{U}_P$ که برحسب W/m.K است.

۱۹-۳-۱-۳ محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت طرح و کنترل مشخصات پوسته

پس از تعیین ضریب انتقال حرارت مرجع ساختمان، لازم است ضریب انتقال حرارت طرح محاسبه و با مقدار مرجع مقایسه گردد. ضریب انتقال حرارت طرح باید با طی مراحل مندرج در بندهای ۱۹-۳-۱-۳-۱ تا ۱۹-۳-۱-۳-۶ تعیین و مطابق توضیحات بند ۱۹-۳-۱-۳-۷ با ضریب انتقال حرارت مرجع مقایسه شود.

۱۹-۳-۱-۳-۱ محاسبهٔ مساحت اجزای پوستهٔ خارجی

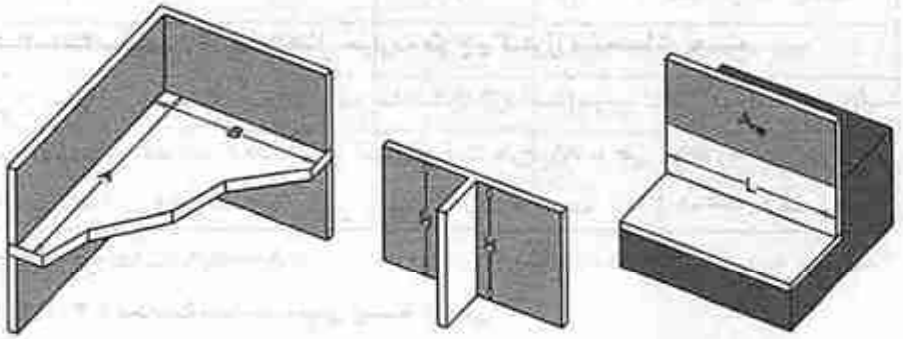
برای محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت طرح، باید مقادیر تمام اجزای پوستهٔ خارجی، که دارای مشخصات حرارتی متفاوتی هستند یا در مجاورت فضاهای متفاوتی از نظر کنترل دما قرار گرفته‌اند، به صورت جداگانه محاسبه گردد. این مقادیر شامل مساحت خالص انواع دیوارها، بام‌ها، کف‌های مجاور هوا، درها و پنجره‌هاست، که در مجاورت فضای خارج، یا فضاهای کنترل‌نشده، قرار گرفته‌اند. در محاسبه این سطوح، باید ابعاد داخلی فضاها ملاک قرار گیرد.

۱۹-۳-۱-۳-۲ محاسبهٔ محیط پل‌های حرارتی پوستهٔ خارجی

همراه با محاسبهٔ مساحت اجزای مختلف پوستهٔ خارجی، لازم است طول پل‌های حرارتی پوستهٔ خارجی ساختمان محاسبه گردد [۳]. مقادیر پل‌های حرارتی شامل موارد زیر است:

- محیط کف و دیوار مجاور خاک؛
- محیط کف‌های زیرین؛
- محیط سقف‌های میانی (که باید در عدد ۲ ضرب شود)؛
- محیط سقف‌های نهایی؛
- طول اتصالات دیوارهای داخلی و خارجی (که باید در عدد ۲ ضرب گردد)؛
- طول اتصالات بازشوها و جدارهای غیرنورگذر.

باید متذکر شد که چنانچه، برای تسریع و ساده‌سازی عملیات، حذف محاسبات دقیق و تفکیکی پل‌های حرارتی مد نظر باشد، می‌توان از محاسبه طول پل‌های حرارتی صرف‌نظر کرد؛ اما در این صورت، لازم است ضریب انتقال حرارت اجزای ساختمانی دارای پل حرارتی، براساس مقادیر داده‌شده در جدول ۷۹ پیوست ۱۱، افزایش یابد.



پل حرارتی دیوار مجاور خاک: L

پل حرارتی تقاطع دیوارهای داخلی و خارجی: ۲ × H

پل حرارتی کف بین طبقات: ۲ × (A+B)

شکل ۷ طرح برخی از پل‌های حرارتی در پوستهٔ خارجی ساختمان

۱۹-۳-۱-۳-۳ محاسبه و استخراج ضرایب انتقال حرارت اجزای پوسته

اقدام دیگر در تعیین ضریب انتقال حرارت طرح، محاسبه یا استخراج ضرایب انتقال حرارت سطحی تمامی اجزای پوستهٔ خارجی است.

ضریب انتقال حرارت جدارهای کدر ساختمان باید با استفاده از ضرایب هدایت حرارت مصالح متداول (پیوست ۷) و مقاومت‌های حرارتی قطعات ساختمانی، لایه‌های هوا و سطوح داخلی و خارجی پوستهٔ خارجی (پیوست ۸) محاسبه گردد.

لازم است ضریب انتقال حرارت بازشوها و جدارهای نورگذر پوستهٔ خارجی ساختمان نیز براساس جداول پیوست ۹ این مبحث تعیین گردد.

در صورتی که مقادیر مربوط به مصالح، یا اجزایی، در پیوست‌های مذکور نیامده باشد و یا سازنده‌ای مدعی باشد که محصولاتی با مشخصات حرارتی بهتر از مقادیر مندرج در منابع معتبر عرضه کرده است، لازم است گواهی فنی معتبر محصول مورد نظر ضمیمه مدارک گردد.

این گواهی فنی باید مشتمل بر ضرایب هدایت حرارت یا مقاومت‌های حرارتی محصول، با ضخامت‌های مورد استفاده در طراحی ساختمان، و همچنین دیگر مشخصات فنی مورد نیاز برای ارزیابی همه‌جانبه محصول و آیین اجرای آن باشد. در این حالت، مقادیر مذکور در گواهی فنی، تا زمان اعتبار آن، ملاک طراحی و محاسبات خواهد بود.

در بخش پ ۱۲-۲-۴ (ص ۲۰۴) مثال‌های محاسبه ضرایب انتقال حرارت سطحی جدارهای مختلف ارائه شده است.

۱۹-۳-۱-۳-۴ استخراج ضرایب انتقال حرارت خطی پل‌های حرارتی

علاوه بر محاسبهٔ ضرایب انتقال حرارت سطحی اجزای پوسته، ضروری است ضرایب انتقال حرارت خطی پل‌های حرارتی ساختمان نیز، با استفاده از پیوست ۱۱ این مبحث، تعیین گردد.

در صورتی که، به منظور تسریع و ساده‌سازی عملیات، تمایلی به انجام محاسبات دقیق و تفکیکی پل‌های حرارتی وجود نداشته باشد، می‌توان با صرف‌نظر از استخراج ضرایب انتقال حرارت خطی پل‌های حرارتی، ضریب انتقال حرارت سطحی اجزای ساختمانی دارای پل حرارتی را، با استفاده از مقادیر تعیین‌شده در جدول ۷۹ پیوست ۱۱، افزایش داد.

۱۹-۳-۱-۳-۵ محاسبهٔ ضریب کاهش انتقال حرارت فضاهای کنترل‌نشده

علاوه بر موارد یادشده در فوق، آنچه باید در محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت طرح انجام گیرد، تعیین ضریب کاهش انتقال حرارت تمام فضاهای کنترل‌نشدهٔ ساختمان است.

با توجه به آنکه اختلاف دمای فضای داخل با فضاهای کنترل‌نشده کمتر از اختلاف دمای فضاهای داخل و خارج است و در نتیجه مقدار انتقال حرارت از جدارهای مجاور فضای کنترل‌نشده کمتر از مقدار انتقال حرارت از جدارهای مجاور خارج است، لازم است این موضوع، با استفاده از یک ضریب کاهش، در محاسبات لحاظ شود.

به این ترتیب، تعیین ضریب کاهش انتقال حرارت هر یک از فضاهای کنترل‌نشدهٔ ساختمان و منظور کردن آن در محاسبهٔ انتقال حرارت اجزای مجاور این فضاها، ضرورت می‌یابد. از رابطه زیر، ضریب کاهش یک فضای کنترل‌نشده به دست می‌آید:

$$\tau = \frac{\sum A_e U_e}{\sum A_e U_e + \sum A_i U_i}$$

τ : ضریب کاهش انتقال حرارت فضای کنترل‌نشده

A_e : مساحت خالص جدار بین فضای کنترل‌نشده و خارج $[m^2]$

U_e : ضریب انتقال حرارت سطحی جدار بین فضای کنترل‌نشده و خارج $[W/m^2K]$

A_i : مساحت خالص جدار بین فضای کنترل‌نشده و فضای کنترل‌شده $[m^2]$

U_i : ضریب انتقال حرارت سطحی جدار بین فضای کنترل‌نشده و فضای کنترل‌شده $[W/m^2K]$

توضیحات:

۱- منظور از جدار مجاور فضای خارج جداری است که بین یک فضای کنترل‌شده و فضای خارج قرار گرفته باشد. همچنین منظور از جدار مجاور فضای کنترل‌نشده جداری است که بین فضای کنترل‌شده و فضای کنترل‌نشده قرار می‌گیرد (شکل ۶). در رابطهٔ بالا، سطوح جدارها و پل‌های حرارتی بین فضاهای کنترل‌نشده و فضای خارج در نظر گرفته نمی‌شود.

۲- ضریب کاهش انتقال حرارت جدارهای مجاور فضای خارج برابر یک است.

۳- ضریب کاهش انتقال حرارت هر یک از جدارهای مجاور فضای کنترل‌نشده برابر ضریب کاهش انتقال حرارت محاسبه‌شده برای آن فضای کنترل‌نشده است (بند ۱۹-۳-۱-۳-۵). در صورت عدم تمایل به انجام محاسبهٔ فوق، ضریب کاهش انتقال حرارت جدارهای مجاور آن فضا باید برابر یک در نظر گرفته شود.

۴- اگر طراح بخواهد جدارهای میان فضایی کنترل‌نشده و فضای خارج را عایق‌کاری حرارتی نماید (شکل ۸ب)، باید در محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت طرح، به جای جدارهای میان آن فضای کنترل‌نشده و فضاهای کنترل‌شده، تمام جدارهای میان فضای کنترل‌نشده مذکور و فضای خارج را در رابطهٔ فوق قرار

دهد. در این حالت، در مورد جدارهای میان آن فضای کنترل‌نشده و خارج، باید به جای ضریب کاهش انتقال حرارت τ_i، ضریب $1-\tau_i$ در محاسبه وارد گردد. اگر ضریب کاهش انتقال حرارت فضای کنترل‌نشده محاسبه نشده باشد، لازم است عدد یک، به عنوان ضریب کاهش انتقال حرارت این اجزا، مفروض و در رابطه بالا قرار داده شود.

چنانچه، به ملاحظهٔ ساده‌سازی عملیات، از محاسبهٔ دقیق ضریب کاهش انتقال حرارت فضایی کنترل‌نشده صرف‌نظر شود، ضریب کاهش انتقال حرارت آن فضا برابر یک فرض می‌شود.

در بخش پ ۱۲-۲-۶ (ص ۲۰۸) نمونه محاسبه ضرایب کاهش انتقال حرارت فضاهای کنترل‌نشده ارائه شده است.

۱۹-۳-۱-۳-۶ محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت طرح

پس از مراحل فوق، باید ضریب انتقال حرارت طرح (H) با محاسبهٔ مجموع حاصل‌ضرب‌های مساحت اجزای مختلف پوسته در ضریب انتقال حرارت و ضریب کاهش انتقال حرارت متناظر هر کدام از آنها، و همچنین مجموع حاصل‌ضرب‌های محیط پل‌های حرارتی در ضریب انتقال حرارت خطی و ضریب کاهش انتقال حرارت متناظر با آنها تعیین گردد، که در رابطه زیر بیان شده است:

$$H = \sum_{i=1}^{n}(A_{wi} \times U_{wi} \times \tau_i) + \sum_{i=1}^{n}(A_{Ri} \times U_{Ri} \times \tau_i) + \sum_{i=1}^{n}(A_{Fi} \times U_{Fi} \times \tau_i) + \sum_{i=1}^{n}(A_{Gi} \times U_{Gi} \times \tau_i) + \sum_{i=1}^{n}(A_{Di} \times U_{Di} \times \tau_i) + \sum_{i=1}^{n}(P_i \times \Psi_i \times \tau_i)$$

در این رابطه تعاریف مقادیر فیزیکی به شرح زیر است:

A_{wi} - مساحت خالص هر یک از انواع دیوارهای مجاور خارج یا فضای کنترل‌نشده $[m^2]$

U_{wi} - ضریب انتقال حرارت سطحی متناظر با هر کدام از انواع دیوارها $[W/m^2K]$

A_{Ri} - مساحت خالص هرکدام از انواع بام تخت یا شیب‌دار مجاور خارج یا فضای کنترل‌نشده $[m^2]$

U_{Ri} - ضریب انتقال سطحی حرارت متناظر با انواع بام تخت یا شیب‌دار $[W/m^2K]$

A_{Fi} - مساحت خالص هر کدام از انواع کف زیرین در تماس با هوای خارج یا کنترل‌نشده $[m^2]$

U_{Fi} - ضریب انتقال حرارت سطحی متناظر با انواع کف زیرین در تماس با هوا $[W/m^2K]$

A_{Gi} - مساحت خالص انواع جدارهای نورگذر و قاب آنها، مجاور خارج یا کنترل‌نشده $[m^2]$

U_{Gi} - ضریب انتقال حرارت سطحی متناظر با انواع جدارهای نورگذر $[W/m^2K]$

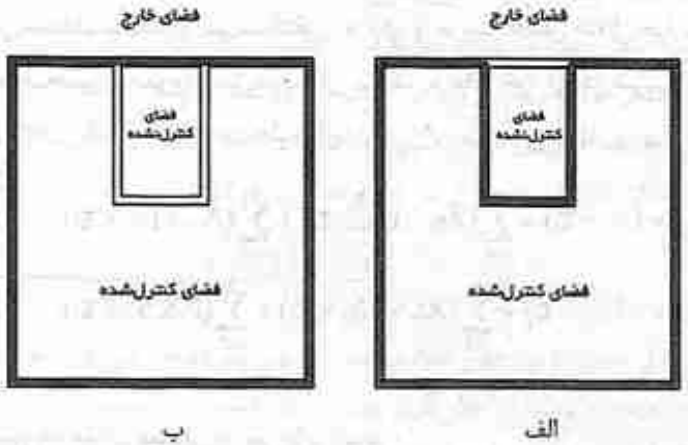
A_{Di} - مساحت خالص هر کدام از انواع درهای خارجی یا مجاور فضای کنترل‌نشده $[m^2]$

U_{Di} - ضریب انتقال حرارت سطحی متناظر با انواع درهای خارجی $[W/m^2K]$

- P_i محیط انواع کف در تماس با خاک و پل‌های حرارتی [m]
- Ψ_i ضریب انتقال حرارت خطی متناظر با انواع کف در تماس با خاک و پل‌های حرارتی [W/mK]
- τ_i ضریب کاهش انتقال حرارت هر جدار

۱۹-۳-۱-۳-۱-۷ مقایسهٔ ضریب انتقال حرارت طرح و مرجع

پس از محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت طرح، این ضریب با ضریب انتقال حرارت مرجع مقایسه می‌شود. در روش کارکردی، عایق‌کاری حرارتی ساختمان باید به گونه‌ای طراحی شود که ضریب انتقال حرارت طرح (H) کوچکتر از یا مساوی ضریب انتقال حرارت مرجع ($\hat{H}$) باشد. در صورت بیشتر بودن ضریب انتقال حرارت طرح از ضریب انتقال حرارت مرجع، باید با اصلاح مشخصات حرارتی و یا مقادیر اجزای پوستهٔ خارجی، ضریب انتقال حرارت طرح را، تا مقداری کمتر از یا مساوی ضریب انتقال حرارت مرجع، کاهش داد.



الف ب

شکل ۸ الف: عایق‌کاری حرارتی دیوارهای مجاور خارج و دیوارهای مجاور فضاهای کنترل‌نشده
ب: عایق‌کاری حرارتی دیوارهای مجاور خارج و دیوارهای بین فضای کنترل‌نشده و خارج

۱۹-۳-۲ روش ب - روش تجویزی

طراحی با روش تجویزی، در مقایسه با روش کارکردی، به مراتب ساده‌تر است. این روش در مورد ساختمان‌های مسکونی ۱ تا ۹ طبقه، به صورت منفرد یا مجتمع و با زیربنای کمتر از ۲۰۰۰ مترمربع، و ساختمان‌های گروه ۳، از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، قابل استفاده است.

در این روش، حداقل مشخصات حرارتی قابل قبول جدارهای پوستهٔ خارجی، براساس گروه ساختمان از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی (ر. ک. به بخش ۱۹-۲-۳-۵)، در دو مجموعه راه‌حل فنی زیر ارائه می‌شود و لازم‌الاجراست:

ب-۱) مجموعه راه‌حل‌های فنی، با بهره‌گیری از *پنجره‌های برتر* (ص ۴۶ تا ۵۳)؛ که برای ساختمان‌های دارای شرایط استفاده از روش تجویزی و واقع در گروه‌های ۱، ۲ یا ۳ از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، در نظر گرفته شده است.

ب-۲) مجموعه راه‌حل‌های فنی، با بهره‌گیری از *پنجره‌های ساده* (ص ۵۴ تا ۵۹)؛ که برای ساختمان‌های دارای شرایط استفاده از روش تجویزی و واقع در گروه‌های ۲ یا ۳ از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، در نظر گرفته شده است.

جدول ۷ رده‌بندی کیفی پنجره‌ها در عایق‌کاری حرارتی ساختمان مطابق روش تجویزی*

رده		جنس پنجره	نوع شیشه	کیفیت پنجره
برتر	۱	یوپی‌وی‌سی	دوجدارهٔ ساده یا کم‌گسیل	با گواهی‌نامهٔ فنی
		آلومینیومی حرارت‌شکن	دوجدارهٔ کم‌گسیل	با گواهی‌نامهٔ فنی
	۲	یوپی‌وی‌سی	دوجدارهٔ ساده یا کم‌گسیل	-
		آلومینیومی حرارت‌شکن	دوجدارهٔ ساده	با گواهی‌نامهٔ فنی
		چوبی	دوجدارهٔ ساده یا کم‌گسیل	با گواهی‌نامهٔ فنی
ساده	۳	تمام انواع	تمام انواع تک‌جداره	-

* لازم است توضیح داده شود که دسته‌بندی فوق تنها از لحاظ انتقال حرارت است و میزان نشت هوا ملاک نبوده است.

مطابق مجموعه راه‌حل‌های فنی ب-۱، جدارهای نورگذر ساختمان باید به لحاظ مشخصات حرارتی از انواع برتر این جدارها باشند؛ در حالی که براساس مجموعه راه‌حل‌های فنی ب-۲، استفاده از پنجره‌های ساده نیز مجاز است، ولی دیوارهای ساختمان باید مقاومت حرارتی بیشتری نسبت به

مجموعه راه‌حل‌های فنی ب-۱ داشته باشند. در جدول ۷، رده‌بندی کیفی پنجره‌ها در عایق‌کاری حرارتی ساختمان مطابق روش تجویزی درج شده است.

۱۹-۳-۲-۱ الزامات در راه‌حل‌های فنی روش تجویزی

در هر یک از مجموعه راه‌حل‌های فنی، الزامات زیر در مورد مشخصات حرارتی جدارهای ساختمان تعیین شده است:

- حداقل مقاومت حرارتی دیوارها، در دو حالت مجاورت دیوار با فضای خارج یا فضای کنترل‌نشده، و براساس نحوهٔ عایق‌کاری حرارتی (خارجی، داخلی، میانی، همگن)؛
- حداقل مقاومت حرارتی بام، در دو حالت مجاورت بام با فضای خارج یا فضای کنترل‌نشده، و براساس نحوهٔ عایق‌کاری حرارتی بام و دیوارهای ساختمان؛
- رده‌بندی کیفی جدارهای نورگذر ساختمان؛
- حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور هوا، در دو حالت مجاورت کف با فضای خارج یا فضای کنترل‌نشده، و براساس نحوهٔ عایق‌کاری حرارتی کف مجاور هوا و دیوارهای ساختمان؛
- روش قابل قبول عایق‌کاری حرارتی کف روی خاک (سراسری یا پیرامونی) و حداقل مقاومت حرارتی عایق حرارتی مورد استفاده.

۱۹-۳-۲-۲ اثر بهره‌گیری مناسب از نور خورشید

در صورتی که ساختمانِ دارای شرایط استفاده از روش تجویزی، مطابق پیوست ۳ دارای نیاز غالب *گرمایی* باشد و مطابق توضیحات بند ۱۹-۲-۳-۱ امکان بهره‌گیری مناسب از انرژی خورشیدی وجود داشته باشد، می‌توان حداقل مقاومت‌های حرارتی ارائه‌شده در راه‌حل‌های فنی را با ضریب ۰.۹۵ کاهش داد.

۱۹-۳-۲-۳ اثر بهره‌گیری از سایه‌بان مناسب

در صورتی که ساختمانِ دارای شرایط استفاده از روش تجویزی، مطابق پیوست ۳ دارای نیاز غالب *سرمایی* باشد و تمامی جدارهای نورگذر پوستهٔ خارجی ساختمان نیز سایه‌بان‌های معین‌شده در پیوست ۱۰ را داشته باشند، می‌توان حداقل مقاومت‌های حرارتی ارائه‌شده در راه‌حل‌های فنی را با ضریب ۰.۹ کاهش داد.

۱۹-۳-۲-۴ نکاتی دربارهٔ مجموعه راه‌حل‌های فنی روش تجویزی

در مورد مجموعه راه‌حل‌های فنی تجویزی، که در بخش‌های ۱۹-۳-۲-۵ و ۱۹-۳-۲-۶ آمده است، در نظر گرفتن موارد زیر لازم است:

- در عایق‌کاری حرارتی جدارهای خارجی ساختمان‌های غیرمسکونی گروه ۳، از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، که به صورت منقطع استفاده می‌شوند (ر. ک. به ۱۹-۲-۳-۲)، تنها می‌توان از روش‌های عایق‌کاری حرارتی از داخل و مقادیر متناظر با آنها استفاده نمود.
- مقادیر مقاومت حرارتی داده‌شده در مورد دیوار، بام و کف مجاور هوا مربوط به تمامی ضخامت جدارها است. بنابراین، لازم است مقاومت حرارتی عایق، با استفاده از مقادیر بیان‌شده در راه‌حل فنی و با در نظر گرفتن مقاومت حرارتی دیگر لایه‌های جدار، تعیین شود.
- مقادیر مقاومت حرارتی داده‌شده در مورد کف روی خاک تنها مربوط به لایهٔ عایق حرارتی است.
- در مورد فضاهای کنترل‌نشده، طراح می‌تواند، به جای عایق‌کاری حرارتی جدارهای مجاور فضای کنترل‌نشدهٔ ساختمان (شکل ۸ الف، ص ۴۲)، به عایق‌کاری حرارتی تمام جدارهای میان آن فضای کنترل‌نشده و فضای خارج (شکل ۸ ب، ص ۴۲)، با استفاده از مقادیر و مشخصات تعیین‌شده برای جدارهای مجاور خارج، بپردازد.
- در مورد آن بخش از جدارهای جانبی ساختمان که، با درز انقطاع از ساختمان قطعه مجاور جدا شده است، لازم است نکات زیر مد نظر قرار گیرد:

الف- در صورت پوشیده بودن کامل فضای درز انقطاع، و نیز یقین داشتن به کنترل‌شده بودن فضاهای ساختمان مجاور، نیازی به عایق‌کاری حرارتی آن جدارها نیست، اما در صورتی که اطلاعی در مورد نحوهٔ کنترل دمایی ساختمان مجاور در دست نباشد، جدار مجاور آن ساختمان مانند جدار مجاور فضای کنترل‌نشده در نظر گرفته می‌شود.

ب- در صورت پوشیده نشدن درز میان دو ساختمان، جدار مجاور آن مانند جدار مجاور فضای خارج در نظر گرفته می‌شود.

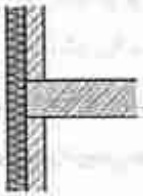
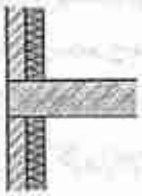
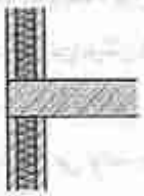
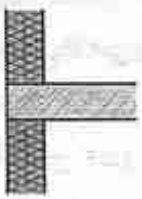
- در مورد آن بخش از جدارهای جانبی ساختمان که بدون درز انقطاع به بنای قطعه مجاور چسبیده‌اند، اگر فضاهای بنای مجاور کنترل‌شده باشند، نیاز به عایق‌کاری حرارتی این جدارها نیست. اما اگر نحوهٔ کنترل دمایی ساختمان مجاور معلوم نباشد، جدار مجاور آن ساختمان مانند جدار مجاور فضای کنترل‌نشده در نظر گرفته می‌شود.

۱۹-۳-۲-۵ مجموعه راه‌حل‌های فنی تجویزی ب-۱ (با پنجرهٔ برتر)

۱۹-۳-۲-۵-۱ ساختمان‌های گروه ۱ از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی

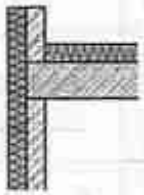
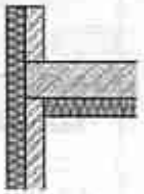
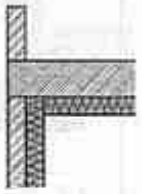
الف- حداقل مقاومت حرارتی دیوارها [$m^2.K/W$]

جدول ۸ حداقل مقاومت حرارتی دیوارها در ساختمان‌های گروه ۱ با پنجرهٔ برتر در روش تجویزی

دیوار مجاور فضای کنترل‌نشده	دیوار مجاور فضای خارج			
	عایق حرارتی خارجی	عایق حرارتی داخلی	عایق حرارتی میانی	عایق حرارتی همگن
				
۱٫۰	۱٫۲	۲٫۳	۲٫۳	۲٫۱

ب- حداقل مقاومت حرارتی بام یا سقف [$m^2.K/W$]

جدول ۹ حداقل مقاومت حرارتی بام یا سقف در ساختمان‌های گروه ۱ با پنجرهٔ برتر در روش تجویزی

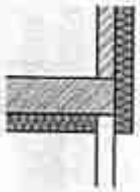
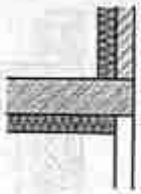
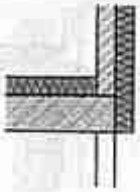
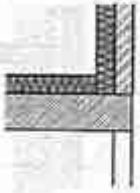
بام یا سقف مجاور فضای کنترل‌نشده	بام یا سقف مجاور فضای خارج			
	عایق حرارتی خارجی بام یا سقف		عایق حرارتی داخلی بام یا سقف	
	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار
				
۱٫۰	۳٫۰	۳٫۰	۳٫۰	۲٫۱

ج- حداقل مشخصات جدارهای نورگذر

همهٔ جدارهای نورگذر مجاور خارج باید، مطابق جدول ۷، دارای ردهٔ کیفی یک باشند. جدارهای نورگذر مجاور فضاهای کنترل‌نشده را می‌توان از هر کدام از رده‌های کیفی ۱، ۲ یا ۳ انتخاب کرد.

د- حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور هوا [$m^2.K/W$]

جدول ۱۰ حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور هوا در ساختمان‌های گروه ۱ با پنجرهٔ برتر در روش تجویزی

کف مجاور فضای کنترل‌نشده	کف مجاور فضای خارج			
	عایق حرارتی خارجی کف		عایق حرارتی داخلی کف	
	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار
				
۰٫۹	۳٫۲	۳٫۲	۳٫۲	۲٫۱

هـ - حداقل مقاومت حرارتی عایق کف مجاور خاک فضاهای کنترل‌شده [$m^2.K/W$]

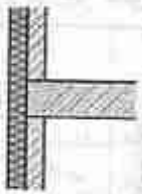
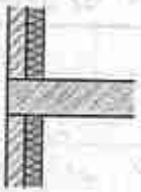
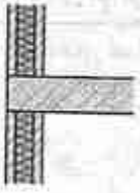
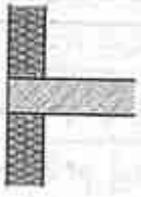
جدول ۱۱ حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور خاک فضاهای کنترل‌شده در ساختمان‌های گروه ۱ با پنجرهٔ برتر در روش تجویزی

موقعیت کف ساختمان		
بیش از ۴۰ سانتی‌متر بالاتر از محوطه	کمتر از ۴۰ سانتی‌متر بالاتر از محوطه، یا هم‌تراز با محوطه، یا پایین‌تر از محوطه	
عایق‌کاری سراسری	عایق‌کاری سراسری	عایق‌کاری پیرامونی با عرض حداقل ۷۰ سانتی‌متر
۰٫۹	۰٫۷	۱٫۱

۱۹-۳-۲-۵-۲ ساختمان‌های گروه ۲ از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی

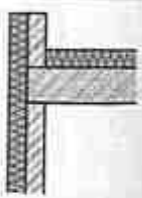
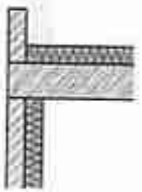
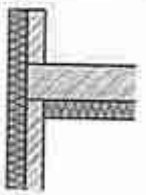
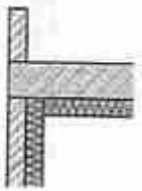
الف- حداقل مقاومت حرارتی دیوارها [$m^2.K/W$]

جدول ۱۲ حداقل مقاومت حرارتی دیوارها در ساختمان‌های گروه ۲ با پنجرهٔ برتر در روش تجویزی

دیوار مجاور فضای کنترل‌نشده	دیوار مجاور فضای خارج			
	عایق حرارتی خارجی	عایق حرارتی داخلی	عایق حرارتی میانی	عایق حرارتی همگن
				
۰٫۸	۰٫۹	۱٫۵	۱٫۵	۱٫۴

پ- حداقل مقاومت حرارتی بام یا سقف [$m^2.K/W$]

جدول ۱۳ حداقل مقاومت حرارتی بام یا سقف در ساختمان‌های گروه ۲ با پنجرهٔ برتر در روش تجویزی

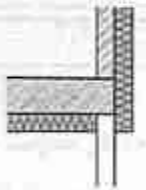
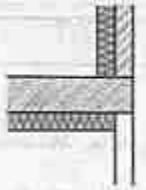
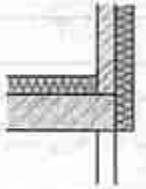
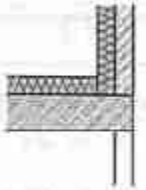
بام یا سقف مجاور فضای کنترل‌نشده	بام یا سقف مجاور فضای خارج			
	عایق حرارتی خارجی بام یا سقف		عایق حرارتی داخلی بام یا سقف	
	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار
				
۰٫۸	۲٫۱	۲٫۱	۲٫۱	۱٫۶

ج- حداقل مشخصات جدارهای نورگذر

جدارهای نورگذر مجاور خارج باید، مطابق جدول ۷، دارای ردهٔ کیفی ۲ یا ۱ باشند. جدارهای نورگذر مجاور فضاهای کنترل‌نشده را می‌توان از رده‌های کیفی ۱، ۲ یا ۳ انتخاب کرد.

د- حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور هوا [$m^2.K/W$]

جدول ۱۴ حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور هوا در ساختمان‌های گروه ۲ با پنجرهٔ برتر در روش تجویزی

کف مجاور فضای کنترل‌نشده	کف مجاور فضای خارج			
	عایق حرارتی خارجی کف		عایق حرارتی داخلی کف	
	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار
				
۰/۷	۲/۲	۲/۲	۲/۲	۱/۵

هـ- حداقل مقاومت حرارتی عایق کف مجاور خاک فضاهای کنترل‌شده [$m^2.K/W$]

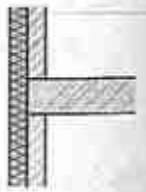
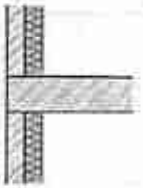
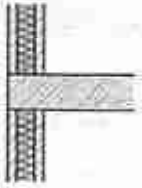
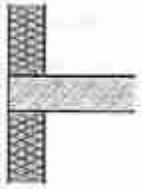
جدول ۱۵ حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور خاک فضاهای کنترل‌شده در ساختمان‌های گروه ۲ با پنجرهٔ برتر در روش تجویزی

موقعیت کف ساختمان					
بیش از ۱۰۰ سانتی‌متر بالاتر از محوطه		به میزان ۴۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر بالاتر از محوطه		پایین‌تر از محوطه، هم‌تراز با محوطه، یا کمتر از ۴۰ سانتی‌متر بالاتر از محوطه	
عایق‌کاری سراسری	عایق‌کاری پیرامونی با عرض حداقل ۱۰۰ سانتی‌متر	عایق‌کاری سراسری	عایق‌کاری پیرامونی با عرض حداقل ۷۰ سانتی‌متر	عایق‌کاری سراسری	عایق‌کاری پیرامونی با عرض حداقل ۵۰ سانتی‌متر
۰/۷	۰/۹	۰/۵	۰/۷	۰/۳	۰/۵

۱۹-۳-۲-۵-۳ ساختمان‌های گروه ۳ از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی

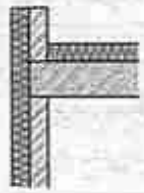
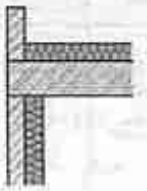
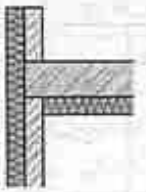
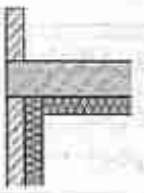
الف- حداقل مقاومت حرارتی دیوارها [$m^2.K/W$]

جدول ۱۶ حداقل مقاومت حرارتی دیوارها در ساختمان‌های گروه ۳ با پنجرهٔ برتر در روش تجویزی

دیوار مجاور فضای کنترل‌نشده	دیوار مجاور فضای خارج			
	عایق حرارتی خارجی	عایق حرارتی داخلی	عایق حرارتی میانی	عایق حرارتی همگن
				
۰/۷	۰/۸	۱/۲	۱/۲	۱/۱

ب- حداقل مقاومت حرارتی بام یا سقف [$m^2.K/W$]

جدول ۱۷ حداقل مقاومت حرارتی بام یا سقف در ساختمان‌های گروه ۳ با پنجرهٔ برتر در روش تجویزی

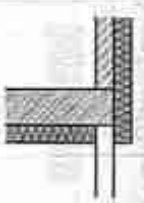
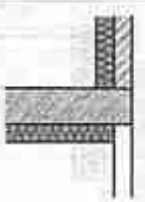
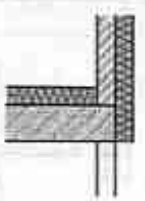
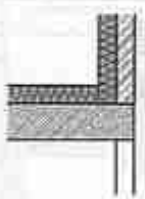
بام یا سقف مجاور فضای خارج				بام یا سقف مجاور فضای کنترل‌نشده
عایق حرارتی خارجی بام یا سقف		عایق حرارتی داخلی بام یا سقف		
با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	
				
۱٫۷	۱٫۷	۱٫۷	۱٫۴	۰٫۷

ج- حداقل مشخصات جدارهای نورگذر

تمام جدارهای نورگذر مجاور خارج باید، مطابق جدول ۷، دارای رده کیفی ۲ یا ۱ باشند. جدارهای نورگذر مجاور فضاهای کنترل‌نشده را می‌توان از هر کدام از رده‌های کیفی ۱، ۲ یا ۳ انتخاب کرد.

د- حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور هوا [$m^2.K/W$]

جدول ۱۸ حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور هوا در ساختمان‌های گروه ۳ با پنجرهٔ برتر در روش تجویزی

کف مجاور فضای خارج				کف مجاور فضای کنترل‌نشده
عایق حرارتی خارجی کف		عایق حرارتی داخلی کف		
با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	
				
۱٫۷	۱٫۷	۱٫۷	۱٫۳	۰٫۶

ه- حداقل مقاومت حرارتی عایق کف مجاور خاک فضاهای کنترل‌شده [$m^2.K/W$]

جدول ۱۹ حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور خاک فضاهای کنترل‌شده در ساختمان‌های گروه ۳ با پنجرهٔ برتر در روش تجویزی

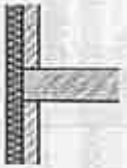
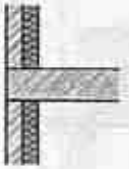
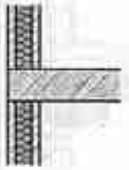
موقعیت کف ساختمان				
بیش از ۱۰۰ سانتی‌متر بالاتر از محوطه		کف ساختمان به میزان ۴۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر بالاتر از محوطه		کف ساختمان پایین‌تر از محوطه، هم‌تراز با محوطه، یا کمتر از ۴۰ سانتی‌متر بالاتر از محوطه
عایق‌کاری سراسری	عایق‌کاری پیرامونی با عرض حداقل ۷۰ سانتی‌متر	عایق‌کاری سراسری	عایق‌کاری پیرامونی با عرض حداقل ۵۰ سانتی‌متر	عایق‌کاری حرارتی کف روی خاک فضاهای کنترل‌شده ضرورت ندارد.
۰٫۲	۰٫۵	۰٫۲	۰٫۳	

۱۹-۳-۲-۶ مجموعه راه‌حل‌های فنی تجویزی ب-۲ (با پنجرهٔ ساده)

۱۹-۳-۲-۶-۱ ساختمان‌های گروه ۲ از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی

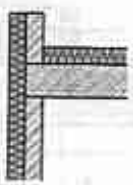
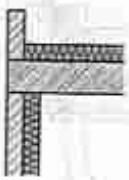
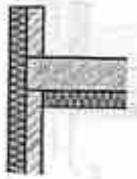
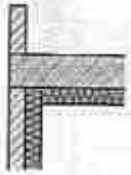
الف- حداقل مقاومت حرارتی دیوارها [$m^2.K/W$]

جدول ۲۰ حداقل مقاومت حرارتی دیوارها در ساختمان‌های گروه ۲ با پنجرهٔ ساده در روش تجویزی

درصد سطح جدارهای نورگذر نسبت به دیوارهای خارجی	دیوار مجاور فضای خارج				دیوار مجاور فضای کنترل‌نشده
	عایق حرارتی خارجی	عایق حرارتی داخلی	عایق حرارتی میانی	عایق حرارتی همگن	
					
۱۶-۲۰	۲٫۵	غیرمجاز	غیرمجاز	غیرمجاز	۰٫۸
۱۱-۱۵	۱٫۷	۴٫۹	۴٫۹	۴٫۱	۰٫۸
۱۰ و کمتر	۱٫۴	۳٫۲	۳٫۲	۲٫۸	۰٫۸

ب- حداقل مقاومت حرارتی بام یا سقف [$m^2.K/W$]

جدول ۲۱ حداقل مقاومت حرارتی بام یا سقف در ساختمان‌های گروه ۲ با پنجرهٔ ساده در روش تجویزی

توضیح: مقادیر مقاومت حرارتی بام مستقل از نسبت سطح جدارهای نورگذر به دیوارهای خارجی است.	بام یا سقف مجاور فضای خارج				بام یا سقف مجاور فضای کنترل‌نشده
	عایق حرارتی خارجی بام یا سقف		عایق حرارتی داخلی بام یا سقف		
	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	
					
۲٫۱	۲٫۱	۲٫۱	۱٫۶	۰٫۸

ج- حداقل مشخصات جدارهای نورگذر

چنانچه سطح جدارهای نورگذر فضاهای کنترل‌شده مساوی یا کمتر از ۲۰ درصد سطح کل دیوارهای خارجی ساختمان باشد، می‌توان، با رعایت الزامات تعیین‌شده در این بخش، از پنجره‌های ردهٔ کیفی ۳ (مطابق جدول ۷) استفاده کرد. در غیر این صورت، لازم است از مجموعه راه‌حل‌های فنی ب-۱ مربوط به این گروه (بند ۱۹-۳-۲-۵-۲) بهره جست.

د- حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور هوا [$m^2.K/W$]

جدول ۲۲ حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور هوا در ساختمان‌های گروه ۲ با پنجرهٔ ساده در روش تجویزی

سطح جدارهای نورگذر به دیوارهای خارجی است.	توضیح مقادیر مقاومت حرارتی کف مستقل از نسبت	کف مجاور فضای خارج				کف مجاور فضای کنترل‌نشده
		عایق حرارتی خارجی کف		عایق حرارتی داخلی کف		
		با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	
		۲٫۲	۲٫۲	۲٫۲	۱٫۵	۰٫۷

هـ - حداقل مقاومت حرارتی عایق کف مجاور خاک فضاهای کنترل‌شده [$m^2.K/W$]

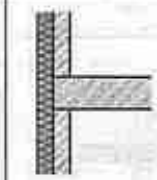
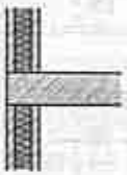
جدول ۲۳ حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور خاک فضاهای کنترل‌شده در ساختمان‌های گروه ۲ با پنجرهٔ ساده در روش تجویزی

موقعیت کف ساختمان					
بیش از ۱۰۰ سانتی‌متر بالاتر از محوطه		تا ارتفاع ۴۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر بالاتر از محوطه		پایین‌تر از محوطه، هم‌تراز با آن، یا کمتر از ۴۰ سانتی‌متر	
عایق‌کاری سراسری	عایق‌کاری پیرامونی با عرض حداقل ۱۰۰ سانتی‌متر	عایق‌کاری سراسری	عایق‌کاری پیرامونی با عرض حداقل ۷۰ سانتی‌متر	عایق‌کاری سراسری	عایق‌کاری پیرامونی با عرض حداقل ۵۰ سانتی‌متر
۰٫۷	۰٫۹	۰٫۵	۰٫۷	۰٫۳	۰٫۵

۱۹-۳-۲-۶-۲ ساختمان‌های گروه ۳ از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی

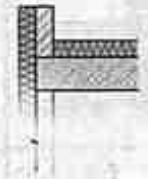
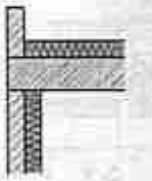
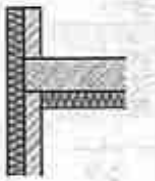
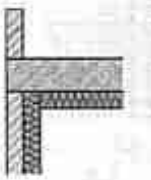
الف- حداقل مقاومت حرارتی دیوارها [$m^2.K/W$]

جدول ۲۴ حداقل مقاومت حرارتی دیوارها در ساختمان‌های گروه ۳ با پنجرهٔ ساده در روش تجویزی

درصد سطح جدارهای نورگذر نسبت به دیوارهای خارجی	دیوار مجاور فضای خارج				دیوار مجاور فضای کنترل‌نشده
	عایق حرارتی خارجی	عایق حرارتی داخلی	عایق حرارتی میانی	عایق حرارتی همگن	
					
۲۱-۲۵	۱٫۸	۵٫۷	۵٫۷	۴٫۶	۰٫۷
۱۶-۲۰	۱٫۴	۳٫۲	۳٫۲	۲٫۸	۰٫۷
۱۱-۱۵	۱٫۲	۲٫۴	۲٫۴	۲٫۱	۰٫۷
۱۰ و کمتر	۱٫۱	۲٫۰	۲٫۰	۱٫۹	۰٫۷

ب- حداقل مقاومت حرارتی بام یا سقف [$m^2.K/W$]

جدول ۲۵ حداقل مقاومت حرارتی بام یا سقف در ساختمان‌های گروه ۳ با پنجرهٔ ساده در روش تجویزی

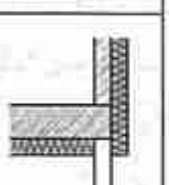
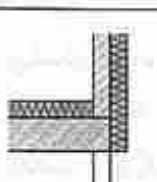
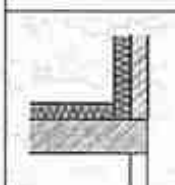
توضیح: مقادیر مقاومت حرارتی بام مستقل از نسبت سطح جدارهای نورگذر به دیوارهای خارجی است.	بام یا سقف مجاور فضای خارج				بام یا سقف مجاور فضای کنترل‌نشده
	عایق حرارتی خارجی		عایق حرارتی داخلی		
	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	
					
۱٫۷	۱٫۷	۱٫۷	۱٫۷	۱٫۷	۰٫۷

ج- جدارهای نورگذر

چنانچه سطح جدارهای نورگذر فضاهای کنترل‌شده مساوی یا کمتر از ۲۵ درصد سطح کل دیوارهای خارجی ساختمان باشد، می‌توان، با رعایت الزامات تعیین‌شده در این بخش، از پنجره‌های رده کیفی ۳ (مطابق جدول ۷) استفاده کرد. در غیر این صورت، لازم است از مجموعه راه‌حل‌های فنی ب-۱ مربوط به این گروه (بند ۱۹-۳-۲-۵-۳) استفاده گردد.

د- حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور هوا [$m^2.K/W$]

جدول ۲۶ حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور هوا در ساختمان‌های گروه ۳ با پنجرهٔ ساده در روش تجویزی

توضیح: مقادیر مقاومت حرارتی کف مستقل از نسبت سطح جدارهای نورگذر به دیوارهای خارجی است.	کف مجاور فضای خارج				کف مجاور فضای کنترل‌نشده
	عایق حرارتی خارجی		عایق حرارتی داخلی		
	همراه با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	همراه با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	همراه با عایق‌کاری خارجی یا میانی دیوار	همراه با عایق‌کاری داخلی یا همگن دیوار	
					
۱٫۷	۱٫۷	۱٫۷	۱٫۷	۱٫۷	۰٫۶

ه- حداقل مقاومت حرارتی عایق کف مجاور خاک فضاهای کنترل‌شده [$m^2.K/W$]

جدول ۲۷ حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور خاک فضاهای کنترل‌شده در ساختمان‌های گروه ۳ با پنجرهٔ ساده در روش تجویزی

موقعیت کف ساختمان				
بیش از ۱۰۰ سانتی‌متر بالاتر از محوطه		تا ارتفاع ۴۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر بالاتر از محوطه		پایین‌تر از محوطه، هم‌تراز با آن، یا کمتر از ۴۰ سانتی‌متر
عایق‌کاری سراسری	عایق‌کاری پیرامونی با عرض حداقل ۷۰ سانتی‌متر	عایق‌کاری سراسری	عایق‌کاری پیرامونی با عرض حداقل ۵۰ سانتی‌متر	عایق‌کاری حرارتی کف روی خاک فضاهای کنترل‌شده ضرورت ندارد.
۰٫۲	۰٫۵	۰٫۲	۰٫۳	

۱۹-۳-۳ اصول کلی و توصیه‌ها در زمینه طراحی ساختمان

طراحی معماری ساختمان باید حتی‌الامکان سازگار با اقلیم باشد، تا ساختمان از شرایط و امکان‌های مطلوب طبیعی بهره‌گیری نماید و در برابر شرایط نامطلوب اقلیمی محافظت گردد. این رویکرد در طراحی معماری ساختمان موجب می‌شود تا مقدار انرژی مورد نیاز برای تأمین شرایط آسایش حرارتی به حداقل برسد و بخشی از آن، از طریق طبیعی و در اکثر موارد با استفاده از سیستم‌های غیرفعال، تأمین شود. علاوه بر عایق‌کاری حرارتی، برخی از تدابیر مؤثر در بهره‌گیری از انرژی‌های طبیعی در ساختمان عبارتند از:

- جهت‌گیری ساختمان
- حجم و فرم کلی ساختمان
- جانمایی فضاهای داخلی
- جدارهای نورگذر
- سایبان‌ها
- اینرسی حرارتی جدارها
- تهویهٔ طبیعی

۱۹-۳-۳-۱ جهت‌گیری ساختمان

جهت‌گیری ساختمان به سمت جنوب در بهره‌گیری ساختمان از انرژی خورشیدی بسیار مؤثر است. جهت‌گیری مناسب به این معنی است که جدارهای نورگذر جنوبی، برای بهره‌برداری بیشتر از انرژی تابشی خورشید در کوتاه‌ترین روز سال، از ۹ صبح تا ۳ بعدازظهر، در معرض تابش خورشید قرار گیرند. به‌علاوه، ساختمان به نحوی قرار گیرد، که در طول سال از بادهای نامطلوب محفوظ باشد و ضمناً، در فصل گرم سال، بتوان از نسیم‌ها و بادهای مطلوب برای تهویهٔ طبیعی و حفظ شرایط آسایش حرارتی استفاده کرد.

۱۹-۳-۳-۲ حجم و فرم کلی ساختمان

حجم و فرم کلی ساختمان در انتقال انرژی حرارتی بسیار مؤثر است. هر قدر نسبت سطح پوستهٔ خارجی ساختمان به زیربنای آن کمتر باشد، انتقال حرارت ساختمان نیز کمتر خواهد بود. توصیه

می‌شود در مناطق با نیاز انرژی زیاد (مطابق پیوست ۳)، ساختمان به صورت متراکم طراحی شود و از مقدار سطح پوستهٔ خارجی نسبت به سطح زیربنای آن کاسته گردد. در اقلیم‌های گرم و مرطوب و یا با نیاز سرمایی زیاد (مطابق پیوست ۳) ساختمان باید به شکلی طراحی شود که امکان استفاده از تهویهٔ طبیعی برای تمام فضاهای داخلی فراهم گردد.

۱۹-۳-۳-۳ جانمایی فضاهای داخلی

فضاهای داخلی ساختمان به دو دستهٔ فضاهای اصلی و فضاهای حایل تقسیم می‌شوند. فضاهای اصلی فضاهایی هستند که در بیشتر اوقات شبانه‌روز مورد استفاده قرار می‌گیرند و افراد در آن سکونت دارند. فضاهای حایل ساکن ندارند و به طور مستمر مورد استفاده قرار نمی‌گیرند.

بهتر است فضاهای اصلی و فضاهای حایل به نحوی جانمایی شوند که فضاهای حایل بین فضاهای اصلی و جبهه‌های نامطلوب ساختمان (از نظر حرارتی) قرار گیرند، تا انتقال حرارت از فضاهای اصلی به خارج در اوقات سرد سال (یا از خارج به فضاهای اصلی در اوقات گرم سال) به حداقل برسد.

فضاهای اصلی باید حتی‌الامکان رو به جبهه‌های مطلوب ساختمان قرار داشته باشند. جبهه‌های مطلوب ساختمان به ترتیب اهمیت عبارتند از: جنوبی، شرقی، شمالی. با استقرار فضاهای اصلی رو به جنوب، در اوقات سرد بخشی از گرمای مورد نیاز ساختمان از طریق تابش آفتاب به داخل تأمین می‌شود.

۱۹-۳-۳-۴ جدارهای نورگذر

جدارهای نورگذر، شامل پنجره‌ها، نورگیرها و مانند آنها، باید از قاب‌های مرغوب و بدون درز مستقیم و دارای حداقل نشت هوا باشند. از طرف دیگر، این جدارها باید جوابگوی انتظارات تعریف‌شده در دیگر مباحث مقررات ملّی، نظیر مقاومت در برابر باد و ایمنی در مقابل حریق نیز باشند. استفاده از شیشه‌های معمول، یا با مشخصات حرارتی برتر (کم‌گسیل، ...)، به صورت چندجداره و یا با دو قاب موازی برای این سطوح، به‌ویژه در مورد پنجره‌ها، توصیه می‌شود.

قاب‌های این جدارها باید از جنس مناسب، مانند چوب، پلیمرهای مرغوب و یا فلز، با حداقل پل‌های حرارتی، باشد.

در صورت مناسب نبودن درزبندی دور قاب‌ها، باید با استفاده از نوارهای انعطاف‌پذیر از نشت هوا جلوگیری شود. قبل از انجام عملیات درزبندی، باید اطمینان حاصل شود که دریچه‌های مخصوص ورود هوای تازه، به تعداد و اندازه مناسب، در تمامی فضاهای اصلی وجود دارد، و اقدامات درزبندی شرایط بهداشت فضاهای داخل ساختمان را تحت‌الشعاع قرار نمی‌دهد.

در مورد پنجره‌های کشویی ساده، که فاقد یراق‌آلات مخصوص درزبندی هستند، امکان بهبود درزبندی منتفی است. استفاده از این نوع بازشوها در ساختمان‌های واقع در مناطق بادخیز و همچنین در ساختمان‌های بلند به‌هیچ وجه توصیه نمی‌شود.

مقدار سطوح نورگذر از نظر انتقال حرارت در ساختمان بسیار مؤثر است. به علت مقاومت حرارتی اندک سطوح نورگذر نسبت به دیگر اجزای پوستهٔ خارجی، هر قدر مقدار سطوح نورگذر نسبت به سطح پوستهٔ خارجی کمتر باشد، اتلاف حرارت از ساختمان کاهش خواهد یافت. در نتیجه، در نظر گرفتن مقدار کافی و مناسب سطوح نورگذر، ضمن تأمین نور مناسب برای فضاهای داخل، موجب کاهش انتقال حرارت به خارج خواهد شد.

البته در بین نماهای مختلف یک ساختمان، سطوح نورگذر جنوبی عملکرد حرارتی بهتری دارند و به جذب انرژی تابشی خورشید، برای تأمین بخشی از گرمای مورد نیاز در اوقات سرد کمک می‌کنند. بهتر است در جبهه‌های نامطلوب و سرد ساختمان، مقدار سطوح نورگذر، به حداقل میزان مورد نیاز برای تأمین روشنایی طبیعی کاهش یابد. مشخصات حرارتی برخی از انواع جدارهای نورگذر در پیوست ۹ آمده است.

۱۹-۳-۳-۵ سایبان‌ها

سایبان‌ها برای کنترل میزان تابش آفتاب به سطوح نورگذر ساختمان به کار می‌روند. در همه مناطق اقلیمی لزوماً به سایبان نیاز نیست. برای معلوم ساختن این نیاز، باید اقلیم منطقه به‌طور دقیق مطالعه شود. زاویهٔ سایبان افقی یا عمودی[1] باید با توجه به اوقات گرم سال و زوایای تابش خورشید در این اوقات تعیین شود. به این ترتیب، در اوقات گرم تمامی سطح پنجره در سایه قرار

۱. با توجه به این نکته که در اکثر متون فنی واژهٔ «عمودی» به جای واژهٔ «قائم» به کار رفته است، در این مبحث نیز از واژهٔ «عمودی» استفاده شده است.

می‌گیرد و سایبان مانع از ورود تابش مستقیم خورشید به داخل و افزایش دما و ایجاد شرایط نامطلوب حرارتی در فضای داخل می‌شود.

ابعاد سایبان باید به اندازه‌ای باشد که، در اوقات گرم سال، از تابش خورشید به داخل جلوگیری کند و در اوقات سرد، برای استفاده از گرمای تابشی خورشید، امکان ورود تشعشع خورشید را به داخل فراهم کند.

در پیوست ۱۰ این مبحث، زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، برای ۲۱۶ شهر کشور، ارائه شده است. در جدول‌های مندرج در این پیوست، برای هر شهر، زاویهٔ سایه‌بان افقی و زاویهٔ سایه‌بان عمودی، برای حالت‌های مختلف جهت‌گیری پنجره، تعیین شده است. با استخراج این زوایا و آگاهی از ابعاد پنجره، عمق سایه‌بان‌های افقی و عمودی مشخص می‌گردد.

روش‌های دیگری نیز برای ایجاد سایه بر روی جدارهای مختلف وجود دارد. یکی از روش‌های مطرح استفاده از دیوارها و بام‌های سبز است.

دیوار سبز

دیوار سبز به دیواری گفته می‌شود که به صورت سازه مستقل و یا بخشی از یک ساختمان با پوشش گیاهی پوشانده شده باشد. دو گروه اصلی دیوار سبز عبارتند از: نماهای سبز و دیوار زنده.

کارایی دیوارهای سبز در اوقات گرم سال، در شهرهای واقع در مناطق گرم و خشک، در اثر سایه‌اندازی و تبخیر آب خاک و گیاهان بسیار بالاست. نوع گیاهانی که در این نوع دیوارها استفاده می‌شود، از نقطه‌نظر انطباق با شرایط اقلیمی محل، سایه‌اندازی و مصرف آب حائز اهمیت است.

بدیهی است هر چند کاربرد دیوارهای سبز باعث بهبود عملکرد حرارتی دیوارها، در اکثر موارد می‌شود، ولی این امر تأثیری بر مقاومت حرارتی یا ضریب انتقال حرارت تعیین‌شده برای دیوار ندارد.

بام سبز

کاربرد بام سبز نیز با هدفی مشابه کاربرد دیوارهای سبز صورت می‌گیرد. بدیهی است در صورت به‌کارگیری این عناصر، باید با در نظر گرفتن بار مرده مضاعف ناشی از آن و همچنین مشکلات عایق‌کاری رطوبتی و زه‌کشی متناسب با آن صورت گیرد.

۱۹-۳-۳-۶ اینرسی حرارتی

برخی عناصر ساختمان، مانند کف، سقف یا دیوارها، که دارای اینرسی حرارتی یا ظرفیت حرارتی زیاد (جرم زیاد) هستند، توانایی ذخیره‌سازی حرارت را دارند. گرما یا سرمای موجود در فضا بر اثر وجود ظرفیت حرارتی، به آن عناصر منتقل می‌گردد و در ساعاتی که گرما یا سرما مورد نیاز است به محیط بازگردانده می‌شود. در نتیجه، به کمک ظرفیت حرارتی عناصر ساختمان، از نوسان شدید دما در فضای داخل کاسته می‌شود. میزان نیاز به عناصر حرارتی با ظرفیت حرارت زیاد بستگی به نوع استفاده از فضا دارد. در فضاهایی که در طول شبانه‌روز به‌طور مداوم از آنها استفاده می‌شود اینرسی حرارتی زیاد مطلوب است و عایق‌کاری حرارتی در سمت خارجی پوستهٔ ساختمان توصیه می‌گردد. اما در فضاهای با استفادهٔ منقطع در طول شبانه‌روز، اینرسی حرارتی بهتر است تا حد ممکن کم باشد و عایق‌کاری حرارتی در سمت داخلی پوستهٔ ساختمان صورت گیرد. جزییات مربوط به محاسبه اینرسی حرارتی در پیوست ۱ آمده است.

۱۹-۳-۳-۷ تهویه طبیعی

فراهم ساختن امکان تهویهٔ طبیعی در ساختمان‌ها موجب تأمین بهتر آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی سیستم‌های مکانیکی می‌شود. این موضوع، به‌خصوص در اقلیم‌های مرطوب، اهمیت زیادی دارد.

در طراحی ساختمان در اقلیم‌های مرطوب، توصیه می‌شود که با تعبیهٔ بازشوهای روبه‌رو و مسدود نکردن مسیر جریان هوا با عناصر داخلی، امکان ایجاد کوران در فضاها فراهم شود. در اقلیم گرم و مرطوب، بهتر است با تمهیداتی، مانند ایجاد سایه، دمای هوا، پیش از ورود به فضاهای داخلی ساختمان، کاهش یابد.

در اقلیم گرم و خشک، در اوقات گرم، تهویهٔ طبیعی شبانهٔ ساختمان موجب خنک‌سازی توده مصالح می‌شود. در طول روز نیز، تهویهٔ فضاهای داخلی، با هوای خنک‌شده از طریق سیستم‌های ساده تبخیری، بخش قابل توجهی از نیازهای سرمایی ساختمان را تأمین می‌کند.

۱۹-۴ تأسیسات مکانیکی

علاوه بر رعایت احکام مبحث چهاردهم مقررات ملّی ساختمان، برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در تأسیسات مکانیکی، الزامات مندرج در این فصل نیز باید در همهٔ گونه‌های کاربری ساختمان‌ها (مطابق پیوست ۴) رعایت شود.

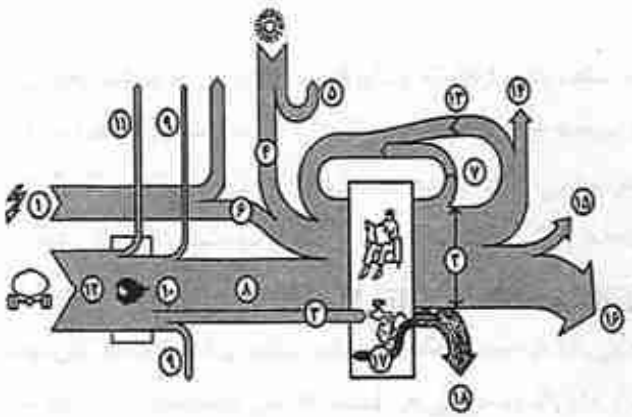
طراحی دقیق سیستم تأسیسات مکانیکی و انتخاب اصولی تجهیزات مورد نیاز برای گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع و همچنین سیستم‌های کنترل و برنامه‌ریزی، نه تنها عملکرد را بهبود، دوام تجهیزات را افزایش و هزینه‌های اولیه را کاهش می‌دهد، بلکه شرایط آسایش حرارتی را نیز بهبود می‌دهد، و با بالا بردن بازده، مصرف انرژی را می‌کاهد.

در شکل ۹ شمای کلی از تولید تا مصرف انرژی گرمایشی و اندرکنش انرژی تولید شده و نحوه مصرف آن برای رسیدن به شرایط آسایش در ساختمان‌ها نشان داده شده است.

انرژی لازم برای سرمایش و گرمایش ساختمان توسط سیستم‌های تهویه مطبوع تولید و توسط سیال حامل (آب یا هوا)، از طریق لوله یا کانال، به داخل ساختمان منتقل می‌شود.

انرژی مذکور باید علاوه بر غلبه بر اتلاف انرژی از جدار ساختمان (انتقال حرارت از نوع هدایت و نفوذ هوا) بر بارهای حاصل از تشعشع خورشید و بارهای داخلی (در تابستان) نیز غلبه نماید تا شرایط داخل ساختمان در محدودهٔ آسایش باقی بماند.

از این رو، مقدار قابل ملاحظه‌ای از انرژی به گرمایش و سرمایش و تأمین آب‌گرم مصرفی داخل ساختمان اختصاص دارد.



شکل ۹ روند کلی تولید تا مصرف انرژی گرمایی در ساختمان

در راستای بهبود بازده سیستم و کاهش هزینه‌ها، اقدامات مهمی که در فاز طراحی سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع باید صورت گیرد به شرح زیر است:

- محاسبه دقیق بارهای گرمایی و سرمایی بر اساس روشی استاندارد شده و با استفاده از نرم‌افزارهای معتبر، با در نظر گرفتن مشخصات حرارتی پوسته خارجی ساختمان و بر پایه شرایط استانداردسازی شده محیط بیرون (شامل دمای خشک، دمای مرطوب، سرعت و جهت باد، تابش خورشیدی مستقیم و پخش، دمای خاک) [۴] و داخل ساختمان (با در نظر گرفتن شرایط آسایش مطرح).
- تعیین اندازه صحیح تجهیزات سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌ها
- استفاده از سیستم‌های غیر فعال و فعال برای بهره‌گیری حداکثر از انرژی‌های تجدیدپذیر

محاسبه دقیق بارهای گرمایی و سرمایی

بدیهی است در صورتی که محاسبات و تحلیل‌ها با استفاده از داده‌های غیر دقیق آب و هوایی و مشخصات حرارتی تقریبی عناصر پوسته خارجی ساختمان، و بدون در نظر گرفتن اثر تابش خورشیدی صورت گیرد، بارهای تعیین‌شده دست‌پایین یا دست‌بالا خواهند بود.

تعیین اندازه صحیح تجهیزات سرمایشی و گرمایشی

عدم انتخاب اندازه مناسب تجهیزات سرمایشی و گرمایشی نیز مشکلات متعددی را به‌دنبال خواهد داشت.

در صورت دست‌پایین بودن بارهای محاسبه‌شده و یا اندازه تجهیزات سرمایشی و گرمایشی، میزان گرمایش و سرمایش ساختمان ناکافی و تأمین شرایط آسایش در بخش قابل توجهی از سال غیرممکن خواهد بود. در این موارد، برای رفع این مشکل ساختاری، معمولاً اقدام به تهیه سیستمی مکمل و یا بزرگ‌تر می‌شود، که در تمامی حالت‌ها، علاوه بر صرف هزینه‌های بی‌رویه تجهیزات غیر هماهنگ با یکدیگر و ناسازگار با مدار توزیع و پایانه‌ها، افزایش هزینه‌های انرژی را نیز به‌دنبال خواهد داشت.

در صورت دست‌بالا بودن بار حرارتی تعیین‌شده و یا اندازه تجهیزات سرمایشی و گرمایشی، هزینه‌های خرید و نگهداری از تجهیزات افزایش خواهد یافت و کارکرد تجهیزات در محدوده پایین‌تر از ظرفیت توصیه‌شده به بازدهی پایین‌آنها منجر می‌شود.

در شرایط آب و هوایی مرطوب، تعیین دقیق ظرفیت دستگاه‌ها اهمیت بیشتری دارد، زیرا انتخاب دستگاه‌های با توان بیش از حد مورد نیاز، کاهش فاصله زمانی بین روشن و خاموش شدن دستگاه‌ها و سلب امکان کنترل مناسب میزان رطوبت‌نسبی هوا را در پی خواهد داشت. از طرف دیگر، روشن و خاموش شدن مکرر تجهیزات باعث کاهش بازده کل سیستم (نظیر دستگاه‌های تهویه مطبوع، بویلر، پمپ) و افزایش خطر خرابی این گونه دستگاه‌ها خواهد گردید.

در سیستم‌های هوایی، استفاده از تجهیزات با ظرفیت‌های بالاتر از حدود مورد نیاز، به‌کارگیری فن‌های بزرگ‌تر و افزایش نشت هوا از کانال‌ها (به‌دلیل افزایش فشار داخل آنها) را به‌دنبال خواهد داشت. بدیهی است که این امر، علاوه بر افزایش هزینه‌های خرید و نگهداری از تجهیزات، باعث کاهش بازدهی سیستم و به‌تبع آن افزایش مصرف انرژی سالیانه نیز می‌شود.

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر

گام مهم دیگر در صرفه جویی در مصرف انرژی، استفاده از سیستم‌های غیرفعال و فعال خورشیدی، توربین‌های بادی، بایومس، زمین‌گرمایی و دیگر سیستم‌های کارآمد، برای بهره‌گیری حداکثر از

البته در اینجا باید به این نکته اشاره کرد که برگشت سرمایه برخی از سیستم‌های مصرف‌کننده انرژی‌های تجدیدپذیر در میان مدت (کمتر از ۵ سال) و برخی دیگر در دراز مدت (تا ۱۵ سال) محقق می‌شود. بدیهی است این اطلاعات فنی باید در زمان طراحی و برآورد هزینه‌های ساخت به کارفرما منعکس شود، تا با اشراف کامل به مسائل مطرح، انتخاب مناسب را انجام دهد.

ب) تجهیزات تأمین نیازهای سرمایی و گرمایی، تهویه و آب گرم مصرفی، مانند انواع بخاری‌ها، کولرها، پمپ‌های حرارتی، پمپ‌ها، آب‌گرم‌کن‌ها، دمنده‌ها (فن‌ها)، و اجزای مختلف موتورخانه‌ها، باید دارای برچسب انرژی باشند.

همانطور که قبلا بیان گردید پس از تخمین دقیق نیاز گرمایی و سرمایی ساختمان، لازم است سیستم‌ها، دستگاه‌ها و اجزای تاسیساتی بصورت دقیق انتخاب شوند. این امر زمانی امکان‌پذیر خواهد بود که تجهیزاتی در نظر گرفته شود که دارای مشخصات فنی و بازده انرژی تعیین‌شده بر مبنای استانداردهای ملّی و مورد تأیید مراجع ذیصلاح و برچسب انرژی با ردهٔ بالا هستند.

در صورت محقق شدن این انتظارات کلیدی، تخمین واقعی مصرف انرژی تجهیزات و کل ساختمان امکان‌پذیر خواهد بود.

ج) فضاهای کنترل‌شده ساختمان نباید به طور مستقیم با فضاهای کنترل‌نشده یا فضای خارج در ارتباط باشند و باید، به شکل مناسبی، با استفاده از در، جداکننده و مانند آنها، از این فضاها جدا شوند. در فضاهای کنترل‌شده پرتردد، لازم است در به صورت خودکار بسته شود.

روشن است که عدم پیش‌بینی جداکننده‌های مناسب بین فضاهای کنترل‌شده و دیگر فضاها، میزان نشت و تعویض ناخواسته هوا را،به‌صورت بی‌رویه‌ای افزایش، و بهینه‌سازی مصرف انرژی را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد.

د) در هتل‌ها، بیمارستان‌ها، ادارات، مجتمع‌های تجاری و ساختمان‌های با کاربری مشابه، لازم است سیستمی برای توقف خودکار سرمایش و گرمایش، در صورت باز ماندن طولانی‌مدت بازشوهای خارجی، پیش‌بینی شود. در این نوع ساختمان‌ها، کاربرد سیستم‌های هوشمند توصیه می‌شود.

همانند وضعیت تشریح شده در بند ج، بازماندن طولانی‌مدت بازشوهای خارجی بار گرمایی یا سرمایی را به‌شدت افزایش می‌دهد. در نتیجه، لازم است با توقف خودکار سیستم سرمایی یا گرمایی، از مصرف بی‌رویه انرژی اجتناب شود.

در بسیاری از موارد، بازکردن بازشوها نتیجه الگوی بسیار غلط مصرف انرژی است، و با قطع شدن سیستم گرمایی یا سرمایی، بهره‌بردار به تبعات اقدام غیر اصولی خود پی می‌برد.

انرژی‌های تجدیدپذیر است. توضیحات تکمیلی در خصوص مهم‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در پیوست ۱۲ ارائه شده است.

استفاده از سیستم‌های تاسیساتی با راندمان بالا

یکی از مهم‌ترین اقدامات در راستای بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های تأسیسات گرمایی و سرمایی ساختمان، استفاده از تجهیزات و سیستم‌های با راندمان بالاست. به همین منظور، لازم است تجهیزاتی در نظر گرفته شود که دارای مشخصات فنی معتبر و تأییدشده و حتی‌الامکان برچسب انرژی با ردهٔ بالا باشند.

استفاده از سیستم‌های کنترل و برنامه‌ریزی گرمایش وسرمایش

علاوه بر این، استفاده از تجهیزات کنترلی و همچنین هوشمندسازی ساختمان‌ها، به‌منظور منطقی کردن مصارف انرژی و انطباق تقاضای بار گرمایی و سرمایی با نیازهای متغیر کاربران، از دیگر اقداماتی است که نقشی تعیین‌کننده در بهینه‌سازی عملکرد حرارتی سیستم‌های گرمایی و سرمایی ایفا می‌کند. توضیحات تکمیلی در این خصوص، در بخش‌های بعدی (این فصل) ارائه خواهد شد.

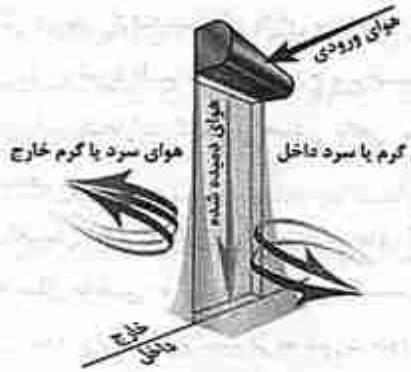
۱۹-۴-۱ مقررات کلی

در این بخش ملاحظات و تدابیر کلی، برای کاهش نیاز انرژی تأسیسات مکانیکی ساختمان‌ها، بیان شده است.

الف) به کارگیری سیستم‌ها و تجهیزات فعال، یا غیرفعال که از منابع انرژی تجدیدپذیر، مانند خورشید و زمین‌گرمایی، و باد بهره می‌برند، به‌خصوص در ساختمان‌های با زیربنای بیش از ۲۰۰۰ متر مربع، توصیه می‌شود.

با توجه به این نکته که در ساختمان‌های بزرگ، مصرف انرژی قابل توجه است، در این مبحث تأکید بیشتری بر روی این ساختمان‌ها مطرح شده‌است، زیرا هر چه ساختمان بزرگ‌تر باشد، توجیه فنی و اقتصادی کابرد سیستم‌های مصرف‌کننده انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی قوی‌تر می‌گردد.

نکته مهم آن‌که ساختمان برای مطلوب نگه داشتن کیفیت هوای داخل نیازمند ورود مقداری هوا از بیرون است. این بدان معنی است که در فضاهای پرتردد میزان نفوذ هوا را نباید بیش از حد مناسبی کاهش داد و در صورتی‌که باز بودن طولانی مدت درب اجتناب ناپذیر است، با استفاده از درب‌های جداکننده خودکار و یا استفاده از سیستم پرده هوا (شکل ۱۰) تبادل هوا به‌طور چشمگیری محدود می‌گردد. البته در صورتی‌که مدت زمانی طولانی درب‌های ورودی و خروجی باز باشند و این معبرها مجهز به هیچگونه سیستم بسته شدن خودکار و یا پرده هوا نباشد باید پایانه‌های سیستم گرمایش و یا سرمایش فضای داخل به گونه ای باشد که به‌صورت خودکار خاموش شوند.



شکل ۱۰ شمایی از عملکرد پرده هوا

ه) در واحدهای مستقل ساختمانی که گرمایش، سرمایش یا آب گرم مصرفی آنها با یک سیستم مشترک تأمین می‌شود، توصیه می‌شود که برای هر یک از واحدها کنتور اندازه‌گیری مصرف انرژی نصب گردد، تا اثر تدابیر به کار برده شده برای کاهش مصرف انرژی در هر واحد، جداگانه محاسبه و عاید همان واحد گردد.

بدیهی است در ساختمان‌های بزرگ، با توجه به تأثیر اندک رعایت الگوی مصرف توسط تک‌تک واحدها بر روی مصرف کل انرژی ساختمان، انگیزه‌های اصلاح الگوی مصرف توسط ساکنین و بهره‌برداران بسیار کم‌رنگ می‌شود، و در چنین شرایطی، مسئولیت‌پذیری واحدهای مختلف بی‌معنا و غیر قابل ارزیابی خواهد بود.

به همین علت، لازم است سعی شود تفکیک مصرف واحدها یا فضاهای مستقل ساختمان تا حد امکان صورت گیرد. یکی از راه‌های مطرح، در نظر گرفتن سیستم‌های مستقل گرمایی و سرمایی، یا سیستم‌های مرکزی با مدار گرمایی- سرمایی مستقل و کنتوردار برای هر واحد است. در مواردی که مدارهای سیستم‌های گرمایی- سرمایی ساختمان به‌صورت رایزری و مستقل از یکدیگر، برای اتاق‌های مختلف واحدها، طراحی شده باشند، تفکیک مصارف انرژی بسیار دشوار و هزینه‌بر خواهد بود.

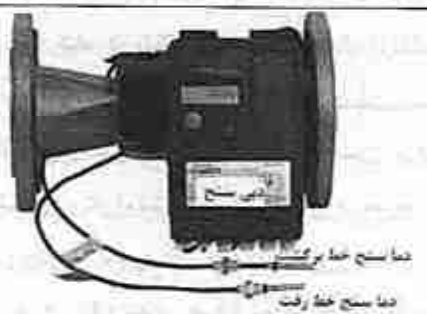
و) در ساختمان‌های گروه یک، چنانچه نیاز انرژی بخشی از ساختمان، یا بخشی از سیستم‌های آن، زیاد باشد، نصب کنتور اندازه‌گیری جداگانه برای آن الزامی است.

با توجه به مصرف بالای انرژی در ساختمان‌های گروه یک، اهمیت تفکیک مصارف و اصلاح الگوی مصرف دوچندان است. در نتیجه، در مورد بخش‌هایی از ساختمان یا سیستم‌های گرمایی و سرمایی آن که مصرف انرژی بالایی دارند، نصب کنتورهای مستقل الزامی است.

این کنتورهای اندازه‌گیری مصرف انرژی شامل تجهیزات زیر می‌باشند:

- یک دبی‌سنج همراه با دو دماسنج یا یک سیستم دماسنج تفاضلی برای مدار گرمایی یا سرمایی (شکل ۱۱).
- دو دبی‌سنج همراه با دو دماسنج برای مدار آب گرم مصرفی

کنتورهای انرژی ساده تنها مصرف انرژی از زمان صفر شدن را نشان می‌دهند، در حالی‌که کنتورهای پیشرفته مجهز به یک سیستم ثبت داده‌ها در زمان‌های مختلف شبانه‌روز هستند، و به بهره‌بردار امکان تحلیل تغییرات مصرف در روزهای مختلف دوره گرمایش یا سرمایش را می‌دهند.



شکل ۱۱ نمونه‌ای از سیستم سنجش انرژی مدار گرمایی یا سرمایی

کلیه اطلاعات مربوط به هر واحد، اعم از انرژی گرمایی و سرمایی پایانه‌های هر واحد و همچنین آب‌گرم مصرفی، از طریق کنتورهای هر واحد، به یک نمایشگر مستقل مرکزی قابل ارسال و ثبت است.

لازم به ذکر است که در ساختمان‌هایی که ملزم به صرفه جویی زیاد هستند (گروه یک)، لازم است بخش‌هایی از ساختمان که مصرف زیادی انرژی دارند، به‌صورت مستقل، مجهز به کنتورهای اندازه‌گیر انرژی باشند، تا بتواند با حساسیت بالا و به شکل پیوسته میزان مصرف انرژی را مورد پایش قرار دهند.

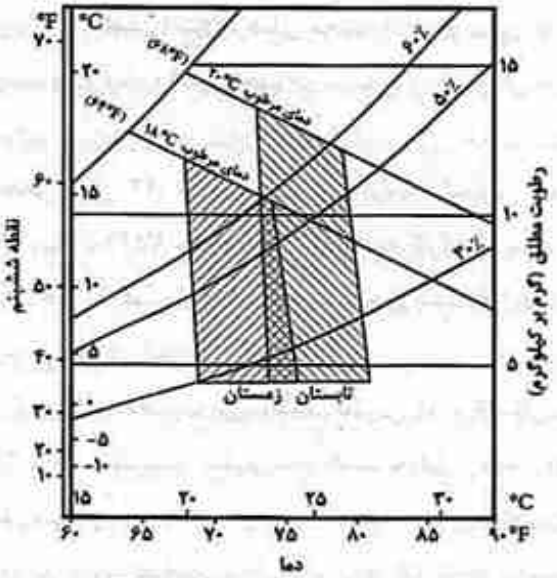
ز) دمای هوای داخل فضاها، در محل حضور افراد، باید در اوقات سرد سال حداکثر ۲۰ درجهٔ سلسیوس و در اوقات گرم سال حداقل ۲۸ درجهٔ سلسیوس تنظیم شود. در مناطق مرطوب، دمای هوای فضاها در اوقات گرم سال باید بسته به مورد تعیین شود، و در هیچ حالتی نباید کمتر از ۲۵ درجهٔ سلسیوس باشد. برای فضاهای دارای شرایط خاص، رعایت مقادیر فوق لازم نیست و دماهای تنظیم گرمایش و سرمایش آنها را باید بسته به مورد تعیین کرد.

تبصره: در مورد کولرهای آبی نیاز به رعایت مقررات دمای مبنا نیست.

همان‌گونه که قبلاً مطرح گردید، یکی از نکاتی که باید در طراحی و تخمین بارهای گرمایی و سرمایی مورد توجه قرار گیرد، شرایط آسایشی فضای داخل است. انسان، در شرایط ثابت، از نقطه نظر میزان و نوع لباس و فعالیت، در محدوده دمایی و رطوبتی مشخصی احساس آسایش می‌کند، و خارج شدن از این محدوده به منزله سلب آسایش حرارتی در فضاهای داخل ساختمان است. در شکل ۱۲ نمونه موردی ناحیه آسایش حرارتی تابستانی و زمستانی نشان داده شده است. لازم به توضیح است که این محدوده بسته به میزان لباس، فعالیت، سرعت هوا و دمای تابشی سطوح تغییر می‌کند، و در نمونه موردی ارائه شده در شکل ۱۲ میزان فعالیت افراد در حدود ۱٫۲ met (انسان در حالت نشسته)، میزان عایق پوشش در تابستان۰٫۵ clo (لباس سبک و نازک)، میزان عایق پوشش زمستانی ۰٫۹ clo (لباس آستین بلند و ژاکت) و همچنین سرعت وزش باد کمتر از ۰٫۱۵ m/s است [۵]. در چنین شرایطی، در زمستان، در بازه دمایی در حدود ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس (۶۸ تا ۷۶ درجه فارنهایت) و رطوبت نسبی ۳۰٪ تا ۷۰٪، انسان احساس آسایش می‌کند.

بدیهی است در زمستان در این بازه دمایی هرچه دمای داخل ساختمان بالاتر فرض شود، قطعا میزان بار گرمایی بالاتر محاسبه شده و در نتیجه سیستم‌های گرمایی بزرگتری انتخاب می‌شود و

مصرف انرژی بیشتر خواهد بود. به‌عنوان مثال، در شهر تهران که دمای زمستانی محیط بیرون در حدود ۱٫۵- درجه سلسیوس است، با در نظر گرفتن دمای داخلی ۱ درجه سلسیوس بالاتر از کمینه استاندارد آسایشی، مصرف انرژی ۴٫۷٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۱۲ محدوده دمایی و رطوبتی آسایشی تابستانی و زمستانی

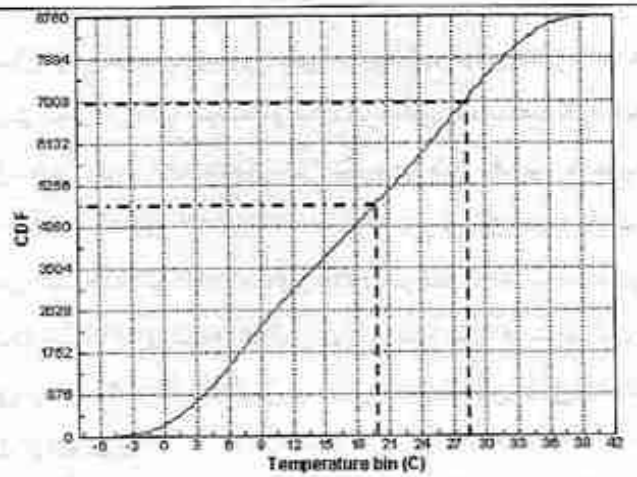
در شکل ۱۳، میزان توزیع تجمعی بازه‌های دمایی سالیانه شهر تهران نشان داده شده است. در این نمودار، مشخص می‌شود که به‌طور متوسط در سال، هر دمایی چند ساعت را به خود اختصاص داده است. برای مثال، طبق مقادیر ارائه شده در این شکل، در طول یک سال، دمای خشک در شهر تهران، به‌مدت ۴۸۰۰ ساعت زیر ۲۰ درجه سلسیوس است و در این مدت، نیاز به کارکرد سیستم گرمایی مطرح می‌باشد. طبعاً اگر دمای آسایشی بالاتری در نظر گرفته شود، میزان کارکرد سیستم گرمایی و در نتیجه مصرف انرژی سالیانه افزایش می‌یابد. لذا منطقی است که کمترین دما در ناحیه آسایش زمستانی، یعنی ۲۰ درجه سلسیوس، به‌عنوان دمای آسایش داخل ساختمان، برای اوقات سرد سال در نظر گرفته شود.

به همین ترتیب، در خصوص شرایط آسایشی در اوقات گرم سال، با توجه به محدوده تعیین‌شده آسایش تابستانی، دمای خشک باید بین ۲۳ تا ۲۸ درجه سلسیوس (۷۴ تا ۸۲ درجه فارنهایت) و رطوبت نسبی بین ۲۰٪ تا ۷۰٪ باشد.

در اوقات گرم سال نیز، به‌منظور کاهش بار سرمایی، میزان دمای آسایش ۲۸ درجه سلسیوس در نظر گرفته می‌شود، تا با کاهش اختلاف دمای محیط داخل و بیرون به کمترین میزان، بار سرمایی به حداقل برسد، و در نهایت اندازه تجهیزات سرمایی و به تبع آن میزان مصرف انرژی تا حد امکان کاهش یابد.

از سوی دیگر، مطابق شکل ۱۳، چنانچه دمای ۲۸ درجه سلسیوس به‌عنوان مرجع در نظر گرفته شود، تنها ۱۷۵۲ ساعت (۱۷۵۲=۷۰۰۸-۸۷۶۰) نیاز به کارکرد سیستم سرمایی خواهد بود. کاهش دمای آسایش داخل به کمتر از ۲۸ درجه سلسیوس باعث افزایش بار سرمایی و تعداد ساعات کارکرد سیستم سرمایی می‌شود.

البته، در مناطقی که مرطوب محسوب می‌شوند، در صورتی که در تابستان دمای داخل فضاهای ساختمان بر روی ۲۸ درجه سلسیوس تنظیم شده باشد، به‌دلیل رطوبت محیطی زیاد، شرایط آسایش حرارتی حاصل نمی‌شود. در چنین شرایطی، با توجه به ضوابط تعیین‌شده در مبحث ۱۹، می‌توان به‌جای ۲۸ درجه، دمای فضاهای داخل را بر روی ۲۵ درجه سلسیوس تنظیم نمود، تا شرایط آسایش حرارتی مجدداً برقرار گردد.

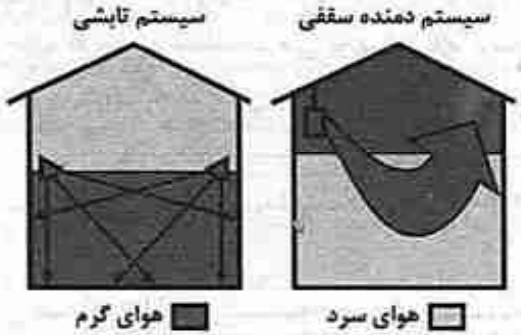


شکل ۱۳ توزیع تجمعی داده‌های دمایی (دمای خشک) سالانه شهر تهران

البته باید دقت نمود که در خصوص سیستم‌های تبخیری، نظیر کولر آبی، تنظیم دمای محیط داخل امری بی‌معنی است، چرا که اساس کار کولر آبی آن است که با تبخیر آب توسط هوای تازه ورودی، در دمای مرطوب ثابت، باعث کاهش دمای خشک هوای ورودی به ساختمان می‌شود. در چنین فرایندی، هر چه هوا خشک‌تر باشد، به‌دلیل گرفتن رطوبت بیشتر، دمای خشک هوای ورودی کاهش بیشتری خواهد داشت. بالعکس، در شرایطی که دما و رطوبت نسبی هوای خارج بالاست، کاهش دمای خشک کمتری صورت می‌گیرد. به‌این ترتیب، دمای خشک هوایی که توسط کولر آبی به داخل فضا دمیده می‌شود وابسته به شرایط دما و رطوبت هوای بیرون، و غیرقابل کنترل است.

ح) در ساختمان‌هایی، مانند ساختمان‌های صنعتی، که کنترل دمای کل هوای داخل ضرورت ندارد، نیازهای آسایش حرارتی باید به صورت موضعی تأمین گردد.

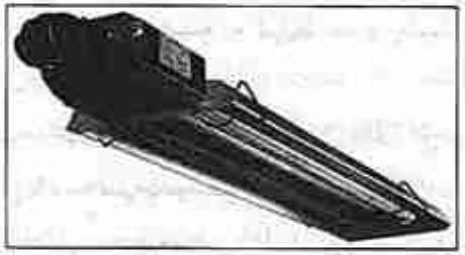
در ساختمان‌های صنعتی، به‌دلیل نوع بهره‌برداری از آنها، نیازی به گرمایش یا سرمایش کل فضای داخل ساختمان نیست، و کافی است محدوده‌های فعالیت افراد به‌صورت موضعی، با استفاده از سیستم‌های تابشی، گرم یا سرد شوند. در چنین شرایطی، همان‌گونه که در شکل ۱۴ نشان داده شده است، استفاده از سیستم‌های گرمایی دمنده، به هیچ وجه توصیه نمی‌شود، زیرا در فضاهای با سقف بلند، هوای گرم به طرف بالا حرکت می‌کند، در زیر سقف می‌ماند، و باعث می‌شود اثربخشی سیستم گرمایی دمنده به حداقل ممکن کاهش یابد.



شکل ۱۴ مقایسه عملکرد سیستم گرمایی هوایی و سیستم گرمایی تابشی در یک سوله صنعتی

سیستم‌های تابشی هوا را گرم نمی‌کنند. و به‌جای آن، اجسام و کاربرانی که در معرض امواج فروسرخ سیستم‌های گرمایی هستند، انرژی تابشی را دریافت می‌نمایند و احساس آسایش می‌کنند.

نمونه‌ای از انواع گازسوز این‌گونه سیستم‌ها در شکل ۱۵ ارائه شده‌است. در این نوع دستگاه‌ها، احتراق گاز در مشعل شعله‌ای بلندی را در لوله جلوی آن ایجاد می‌کند. این شعله موجب گرم شدن لوله و به تبع آن تابش طیف فروسرخ از لوله به سمت محیط زیر دستگاه می‌شود.



شکل ۱۵ نمونه‌ای از یک سیستم تابشی گاز سوز

۱۹-۴-۲ تأسیسات سرمایش و گرمایش

۱۹-۴-۲-۱ تأمین سرمایش و گرمایش

سرمایش و گرمایش ساختمان ممکن است به دو صورت مرکزی یا مستقل تأمین شود. موتورخانه‌ها و پکیج‌ها از سیستم‌های مرکزی به شمار می‌روند. بخاری‌ها و کولرهای پنجره‌ای از نوع سیستم‌های مستقل است. در هر حال، ظرفیت و مشخصات فنی تجهیزات باید براساس محاسبات بارهای گرمایشی و سرمایشی تعیین شود و تا حد امکان از به‌کارگیری تجهیزاتی با ظرفیت بالاتر از نیاز خودداری گردد.

الزامات هر یک از سیستم‌های مرکزی و مستقل، به ترتیب، در بندهای ۱۹-۴-۲-۱-۱ و ۱۹-۴-۲-۱-۲ ارائه شده است.

سوالی قابل طرح این است که کدام‌یک از سیستم‌های مستقل یا سیستم‌های موتورخانه مرکزی نسبت به دیگری ارجح است؟ آیا در یک مجتمع یا یک بلوک ساختمانی بهتر است از یک سیستم موتورخانه مرکزی گرمایی یا سرمایی استفاده شود یا در نظر گرفتن سیستم‌های مستقل گرمایی و سرمایی برای تک تک واحدها؟ با توجه به این نکته که در اکثر موارد، بازده سیستم‌های مستقل، در

بازه طول عمرشان، از سیستم‌های مرکزی کمتر است، به‌کارگیری سیستم‌های مستقل گرمایی مصرف انرژی را به‌طور محسوسی افزایش می‌دهد.

۱۹-۴-۲-۱-۱ سیستم مرکزی

الف) در سیستم‌های مرکزی گرمایشی یا سرمایشی باید کنترل دمای هوا و یا آب خروجی هر یک از سیستم‌ها با استفاده از تجهیزات کنترل ترموستاتی انجام گیرد.

ب) کنترل دما باید از طریق تنظیم زمان‌های روشن و خاموشی تجهیزات گرمایشی، سرمایشی (مشعل، کمپرسور)، یا کنترل ظرفیت آنها و یا تنظیم جریان سیال فعال (توسط پمپ و شیر برقی) انجام گیرد.

ج) لازم است پمپ مربوط به سیال فعال، براساس دمای هوا و یا آب برگشتی، کنترل و روشن یا خاموش شود.

ترموستات‌ها، بر حسب دمای محیط داخل، و/یا خارج (اندازه‌گیری‌شده توسط حسگرها)، وضعیت کارکرد تجهیزات گرمایشی، سرمایشی و در بعضی موارد تنظیم شیرهای تعبیه شده روی پایانه‌های گرمایی یا سرمایی را تعیین می‌کنند، و با کم یا زیاد کردن جریان هوا یا آب داخل پایانه‌ها میزان گرما یا سرمای دریافتی را تغییر می‌دهند.

به‌عنوان مثال، در سیستم تاسیساتی آبی(فن کویل) وجود شیر ترموستاتیک روی مسیر برگشت آب در فن کویل باعث می‌شود بر اساس دمای محیط داخل میزان سیال عبوری گرم یا سرد از داخل فن کویل کم یا زیاد شود، و در نتیجه، میزان انرژی عبوری از فن‌کویل کنترل گردد. کاهش دبی عبوری فن‌کویل موجب می‌شود دستوری به پمپ سیرکولاسیون موتورخانه، بویلر یا چیلر داده شود تا ازطریق خاموش و روشن کردن این تجهیزات، یا تغییر ظرفیت آنها (کارکرد پاره بار) عملکرد سیستم تأسیساتی کنترل گردد.

به‌عنوان مثالی دیگر، در سیستم هوایی (از نوع حجم هوا ثابت) معمولاً ترموستات بر روی کانال برگشت اصلی قرار می‌گیرد، تا بر اساس نیاز انرژی داخل ساختمان، دستوری به کویل سرد یا گرم هواساز داده شود و با تغییر میزان دبی عبوری از کویل سرد یا گرم و یا تغییر دمای آب کویل، میزان انرژی مبادله شده تغییر کند. تغییر دبی با تغییر دور پمپ سیرکولاسیون و تغییر دمای کویل با افزایش و یا کاهش بار بویلر یا چیلر موتورخانه مرکزی رخ می‌دهد.

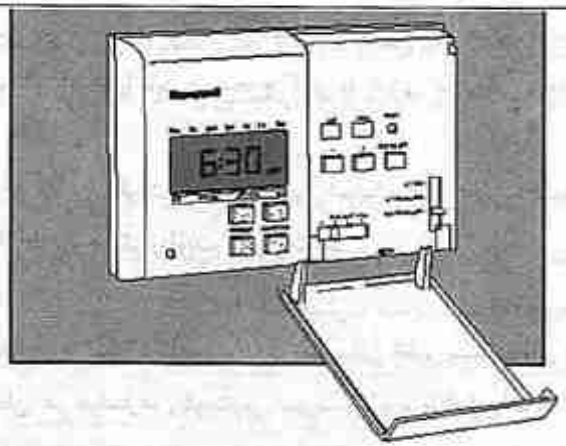
توضیحات تکمیلی در این زمینه در بخش‌های پ ۱۳-۸-۲ (ص ۳۰۶) و پ ۱۳-۸-۳-۱ ارائه شده است.

د) درجهٔ تنظیم دما برای کنترل سیستم باید در ارتباط با دمای هوای بیرون ساختمان به صورت خودکار قابل تنظیم باشد.

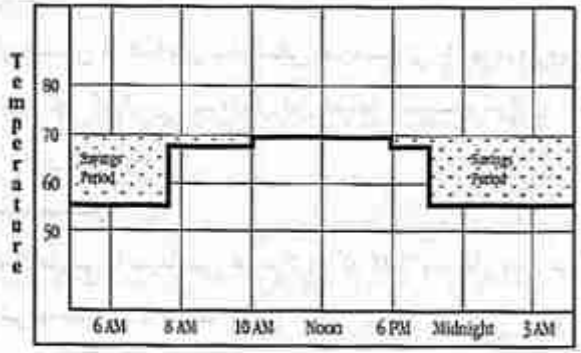
ه) برای همهٔ ساختمان‌های گروه ۱ و ساختمان‌های گروه ۲ با زیربنای مفید بالای ۱۰۰۰ مترمربع (ر. ک. به پیوست ۵)، در نظر گرفتن سیستم برنامه‌ریزی کارکرد تجهیزات در ساعات شبانه روز، با در نظر گرفتن ساعات بهره‌برداری، الزامی است. برای دیگر گروه‌های ساختمانی نیز این اقدام توصیه می‌شود.

علاوه بر آنکه لازم است نیاز انرژی محیط داخل توسط سیستم‌های ترموستاتی تنظیم شود، با توجه به این نکته که در بسیاری از ساعات سرد سال و یا ساعات گرم سال شرایط محیط بیرون از بدترین شرایطی که در طراحی، به‌عنوان شرایط طرح محیط بیرون در زمستان و تابستان در نظر گرفته شده‌است فاصله دارد، لازم است سیستم تأسیساتی، بر اساس کاهش نیاز، از حالت تمام بار به کارکرد پاره بار تغییر وضعیت دهد. این امر با قرار دادن حسگر دما در محیط خارج ساختمان محقق می‌شود. در چنین شرایطی، سیستم کنترل دستوری به تجهیزاتی نظیر بویلر یا چیلر می‌دهد، تا با کاهش فشار یا دمای آنها میزان توان گرمایی یا سرمایی کاهش یابد.

همچنین، در برخی ساختمان‌ها با نیاز به صرفه جویی انرژی و زیربنای زیاد، لازم است بر روی پایانه‌های سرمایی یا گرمایی شیرهای ترموستاتی تایمردار نصب شود تا در برخی ساختمان‌ها با استفاده منقطع (نحوه تصرف (کاربری) اداری، تجاری، ...) نیاز گرمایی و سرمایی در ساعات عدم حضور کابران کاهش یابد. در شکل ۱۶، نمونه‌ای از یک سیستم کنترل ترموستاتی تایمردار بر روی پایانه‌های گرمایی یا سرمایی نشان داده شده است. در شکل ۱۷ نیز تأثیر سیستم کنترلی تایمردار کاملاً مشهود است.



شکل ۱۶ نمونه‌ای از ترموستات تایمردار در ساختمان



شکل ۱۷ نمودار مصرف انرژی در پایانه گرمایی مجهز به سیستم ترموستات تایمردار

و) در تمام سیستم‌های سرمایشی، ضریب انرژی مورد نیاز برای جابه‌جایی هوا، که مقدار آن با رابطه زیر محاسبه می‌شود، نباید هیچ‌گاه کمتر از ۵ باشد.

$$\text{ضریب انرژی جابه‌جایی هوا} = \frac{\text{بار سرمایشی محسوس جابه‌جا شدهٔ سیستم (W)}}{\text{انرژی الکتریکی ورودی به دمنده‌های سیستم (W)}}$$

رابطه بالا در تمام سیستم‌های تمام هوا و آب- هوا و فن کویل صادق است. انرژی الکتریکی پمپ‌ها برای سیستم‌های آب-هوا باید در مخرج کسر به انرژی الکتریکی ورودی به دمنده های سیستم اضافه شود.

ز) تجهیزاتی که، برای تامین رطوبت و حفظ شرایط آسایش در داخل ساختمان، نیاز به مصرف انرژی دارند باید از طریق حسگر رطوبت کنترل شوند.

در برخی از کاربری‌ها، لازم است در سیستم‌های تأسیساتی نظیر سیستم‌های هوایی، با توجه به شرایط کاری ساختمان، در هواسازها رطوبت‌زنی صورت گیرد و یا از ایرواشرها استفاده گردد. این امر، برای مثال در کارگاه‌ها و کارخانجات صنعتی نظیر صنعت نساجی و یا فضاهای بیمارستانی یا آزمایشگاهی بسیار حیاتی و مهم است، و بر اساس میزان رطوبت اندازه‌گیری شده در این فضاها، عملکرد رطوبت‌زن یا ایرواشر کنترل می‌شود.

ح) در صورتی که از قسمتی از فضاهای ساختمانی غیرمسکونی با بهره‌برداری منقطع، به صورت مداوم استفاده شود، باید گرمایش و سرمایش این فضاها از سیستم مرکزی تفکیک گردیده و به صورت مستقل در نظر گرفته شود.

۱۹-۴-۲-۱-۲ سیستم مستقل

الف) هر نوع سیستم گرمایشی یا سرمایشی غیرمرکزی که کاملاً مستقل عمل می‌کند باید با کنترل ترموستاتیک روشن و خاموش یا تنظیم شود.

تبصره: در مورد بخاری‌های نفتی و گازی نیاز به رعایت بند فوق نیست.

همانند سیستم‌های موتورخانه مرکزی، در سیستم‌های مستقل گرمایی و سرمایی (نظیر انواع یکپچ، آب‌گرم‌کن‌ها، انواع پمپ‌های گرمایی و کولرهای گازی و اسپلیت‌ها) نیز نیاز به سیستم کنترل ترموستاتی است، تا بر اساس شرایط محیط داخل ساختمان و نیاز انرژی، در فضای مذکور دستور لازم برای کارکرد تمام بار یا پاره‌بار سیستم مستقل گرمایی یا سرمایی صادر شود. معمولاً در این‌گونه سیستم‌ها، اساس کارکرد به‌صورت پاره‌بار، بر مبنای خاموش و روشن کردن متوالی دستگاه، به‌منظور کنترل نیاز انرژی محیط داخل می‌باشد.

البته در تجهیزاتی نظیر بخاری‌های گازی یا نفتی، معمولاً چنین سیستم‌های کنترلی در نظر گرفته نمی‌شود، چرا که علاوه بر هزینه بر بودن، ایمنی و عملکرد صحیح بخاری‌ها تحت‌الشعاع قرار می‌گیرد.

ب) نصب شومینه در مجاورت دیوارهای داخلی مجاز است؛ و شومینه باید کاملاً جدا از دیوار خارجی ساختمان باشد. نصب سیستم کنترل اتوماتیک، برای بسته نگه‌داشتن دمپر در زمان‌خاموش بودن شومینه، توصیه می‌شود.

در خصوص نصب شومینه‌ها، لازم است اصول پایه که در دستورالعمل‌های مربوط آمده است رعایت گردد [۶].

بدیهی است در صورتی که، به غلط، شومینه متصل به دیوار پوسته خارجی ساختمان باشد، بخش اعظم حرارت تولید شده از طریق بدنه شومینه و دودکش آن به خارج منتقل می‌شود.

۱۹-۴-۲-۲ مدارهای توزیع

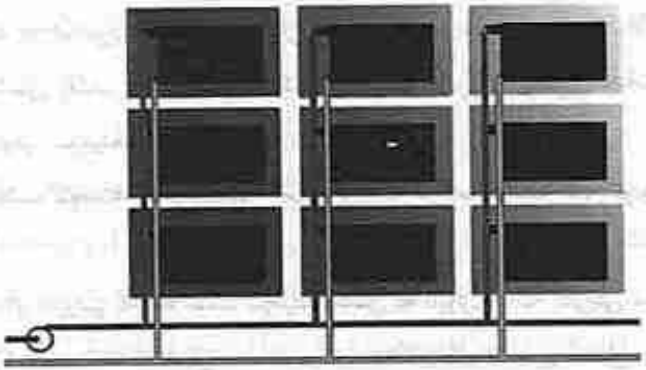
مدارهای توزیع کار انتقال و توزیع سرما و گرمای تولید شده به پایانه‌ها را انجام می‌دهند. بالانس کردن مدارهای سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی الزامی است. برای بالانس کردن، باید از تجهیزات مورد نیاز، اعم از دمپرها، دما سنج ها، فشارسنج‌ها و شیرهای بالانس، استفاده گردد.

برای تجهیزات سرمایش و گرمایش، عایق‌کاری حرارتی سیستم‌های توزیع بخار، آب و هوا الزامی است و بر اساس مقررات این بند انجام می‌گیرد.

در شکل ۱۸ یک سیستم آبی با لوله کشی از نوع مستقیم به صورت شماتیک نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود اولین پایانه طبقه اول نزدیک به موتورخانه، به‌دلیل داشتن کوتاه‌ترین مسیر رفت و برگشت، کمترین افت فشار، و به تبع آن، بیشترین دبی و بهره حرارتی را داراست. در چنین شرایطی، به دورترین پایانه عملاً کمترین سهم انرژی تعلق می‌گیرد. به همین دلیل، متعادل (بالانس) نمودن مدارهای گرمایی و سرمایی، به‌صورت منظم، الزامی است.

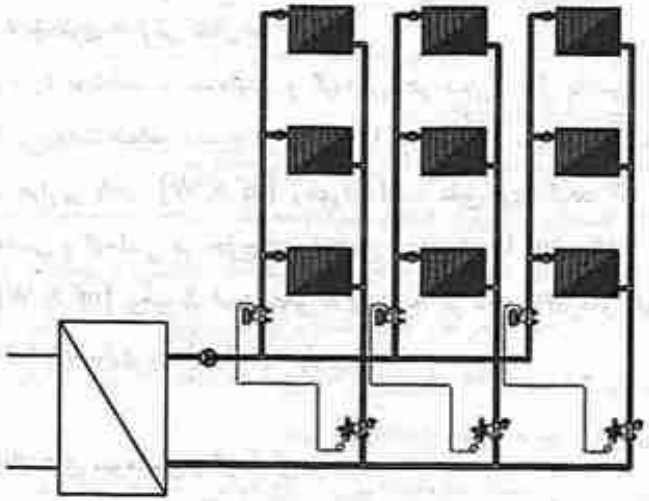
برای رفع این مشکل، یکی از راه‌ها استفاده از سیستم برگشت معکوس است، که این امر استفاده از یک خط لوله بیشتر را می‌طلبد. همچنین نکته منفی دیگر آن است که اگر از شیرهای ترموستاتی بر روی پایانه‌ها استفاده شود، ممکن است برخی از پایانه‌ها دارای افت بیشتری شوند (به‌دلیل بسته‌شدن مسیر آن پایانه در اثر نیاز انرژی کمتر). این نکته باز هم بالانس مسیر پایانه‌ها را

از بین می‌برد و توزیع انرژی نامناسب را موجب می‌شود. راه حل بهتر، نصب شیرهای بالانس روی رایزها می‌باشد.



شکل ۱۸ عملکرد یک سیستم گرمایشی بالانس نشده از نقطه نظر توزیع نامناسب انرژی در پایانه‌های گرمایی آن

همانطور که در شکل ۱۹ مشخص است. این شیرها بر روی رایز قرار می‌گیرد و در اولین رایزر که بیشترین دبی را دارد، شیر بالانس، به دلیل فشار بالای اندازه‌گیری شده توسط حسگر، در مسیر برگشت افت فشاری بوجود می‌آوردهٔ به‌نحوی که بر روی هر سه رایزر میزان افت‌ها و در نتیجه دبی سیال گرم برابر گردد.



شکل ۱۹ روش نصب و نحوه عملکرد شیرهای بالانس در سیستم گرمایی آبی

۱۹-۴-۲-۲-۱ عایق‌کاری حرارتی لوله‌ها

تمام لوله‌های مورد استفاده در سیستم‌های سرمایش و گرمایش باید براساس بیشترین مقدار مشخص شده در مبحث ۱۴ مقررات ملّی و جدول ۲۸ این مبحث عایق‌کاری حرارتی گردد. برای تضمین حداقل ضخامت مفید عایق حرارتی، استفاده از عایق‌های حرارتی پیش‌ساخته توصیه می‌شود. در زمان نصب، باید از فشرده کردن عایق و کاهش مقاومت حرارتی اسمی آن اجتناب شود.

جدول ۲۸ حداقل مقاومت حرارتی عایق لوله در سیستم‌های سرمایش و گرمایش [$m^2.K/W$]

نوع سیال	قطر لوله تا ۳۸ میلی‌متر	قطر لوله بیش از ۳۸ میلی‌متر
آب گرم	۰٫۸۸	۱٫۳۲
بخار	۱٫۰۰	۲٫۰۰
آب سرد، مبرد و برائن	۰٫۸۸	۱٫۰۰

۱۹-۴-۲-۲-۲ عایق‌کاری حرارتی کانال‌ها

تمام کانال‌های مورد استفاده در سرمایش و گرمایش، در صورت قرار داشتن در فضای داخل ساختمان، علاوه بر رعایت ضوابط مندرج در مبحث ۱۴ مقررات ملّی ساختمان، باید با عایقی که از حداقل مقاومت حرارتی ۰٫۸۸ [$m^2.K/W$] برخوردار است عایق‌کاری گردد. اگر کانال‌های مورد استفاده در سرمایش و گرمایش در خارج از ساختمان است، باید با عایقی که از حداقل مقاومت حرارتی ۱٫۴۴ [$m^2.K/W$] برخوردار است عایق‌کاری شوند. در مورد کانال‌های کولر آبی واقع در فضای داخلی ساختمان، نیازی به عایق‌کاری حرارتی نیست.

۱۹-۴-۲-۳ پایانه‌های سرمایش و گرمایش

الف) توصیه می‌شود که برای تمام پایانه‌های سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی مانند شوفاژ، فن کویل، و دمپر (در سیستم‌های هوا)، کنترل ترموستاتیک نصب گردد.

ب) دستگاه‌های پایانه‌های حرارتی و برودتی باید قابلیت روشن و خاموش شدن توسط یک سیستم کنترل ترموستاتیک، با امکان تنظیم دماهای مختلف در شبانه‌روز، را داشته باشند.

ج) در ساختمان‌های غیرمسکونی، در نظر گرفتن سیستم کنترل مرکزی کارکرد دستگاه‌ها در طی ساعات شبانه‌روز الزامی است.

۱۹-۴-۳ سیستم‌های تهویه

۱۹-۴-۳-۱ تأمین هوای تازه

تمام سیستم‌های تأمین هوای تازه، که با استفاده از دستگاه یا فن کار می‌کنند، باید به کلید روشن-خاموش تجهیز شوند، تا در شرایط غیر کاری و هنگامی که به هوای تازه نیازی نیست خاموش شوند، مگر آنکه مجهز به کنترل خودکار باشند.

در تمام نقاط ورود و خروج هوا در ساختمان، در نظر گرفتن سیستم‌های خودکار، که دمپر آنها فقط در زمان کار کردن باز می‌شود، الزامی است. در مواردی که درجهٔ آلودگی هوای داخل تغییر می‌کند، تنظیم خودکار میزان هوای تازه الزامی است.

حداکثر میزان تهویهٔ مکانیکی نباید بیش از ۲۰ درصد از حداقل تهویهٔ تعیین‌شده از نظر سلامت و بهداشت بالاتر باشد. در صورتی که از سیستم‌های بازیافت انرژی از هوای خروجی استفاده شود، این محدودیت برطرف می‌گردد.

لازم به توضیح است که در مبحث ۱۴ مقررات ملّی ساختمان، حداقل میزان هوای دریافتی از فضای خارج، برای فضاهای با کاربری (نحوه تصرف) مختلف مشخص شده است. میزان تعیین شده در مبحث ۱۴ مقررات ملّی ساختمان برای تأمین شرایط سلامتی و بهداشت در داخل فضاها می‌باشد. بدیهی است اگر میزان در نظر گرفته شده برای دبی تهویه از حداقل‌های تعیین‌شده فاصله گیرد، مصرف انرژی افزایش خواهد یافت و به همین علت، سقف افزایش ۲۰ درصد برای محدود کردن بازه تغییرات دبی تهویه در نظر گرفته شده است.

البته، در صورتی که از سیستم بازیافت انرژی از نوع هوایی استفاده شود، این محدودیت برطرف می‌شود، زیرا در این نوع مبدل‌های هوا به هوا[1] (ر.ک. به پیوست ۱۳ ص ۲۸۷) بخش اعظم انرژی هوای خروجی به هوای ورودی به فضاهای ساختمان منتقل می‌شود.

در ساختمان‌هایی که فاقد سیستم مرکزی تهویه هستند، می‌توان با بهره‌گیری از سیستم‌های تهویه بهبود یافته، نظیر دریچه‌های ورود هوا و فن‌های خروج هوای حساس به رطوبت، میزان تهویه را در زمان‌هایی که ساکنین یا بهره‌برداران حضور ندارند، و سیستم‌های احتراقی و تولید رطوبت غیر فعال هستند، کاهش داد (ر.ک. به پ ۱۳-۴-۱ و پ ۱۳-۴-۲ ص ۲۷۶).

۱۹-۴-۳-۲ کیفیت درزبندی بازشوها

در هر واحد مستقل، چنانچه میزان تهویهٔ ناخواستهٔ هوا، که از طریق بازشوهایی مانند درها و پنجره‌ها صورت می‌گیرد، در شرایط عادی، از یک سوم حجم تعویض هوا در ساعت تجاوز نکند، ضریب انتقال حرارت مرجع $\hat{H}$، در بند ۱۹-۳-۱-۱، را می‌توان تا ۱۰٪ افزایش داد. میزان تهویهٔ ناخواستهٔ هوا از طریق مراجع مربوطه تعیین می‌گردد.

۱. Air to Air

توجه: در صورتی که با استفاده از تمهیدات مختلف (مانند بهره‌گیری از پنجره‌های نوین و انواع درزبندها) میزان تهویهٔ هوای ناخواسته از بازشوها کاهش یابد، باید هوای تازهٔ مورد نیاز برای تأمین سلامتی و بهداشت، به صورت طبیعی یا مکانیکی، فراهم گردد.

بدیهی است کاربرد بازشوهای هوابند (با درزبندی بهبود یافته) بدون در نظر گرفتن دریچه‌های مناسب ورود هوا، خصوصاً در فضاهایی که دارای تجهیزات احتراقی (بخاری گازی، آب‌گرم‌کن گازی، ...) هستند، خطرات جانی جدی را به دنبال دارد.

۱۹-۴-۴ تأسیسات آب گرم مصرفی

۱۹-۴-۴-۱ ملاحظات کلی

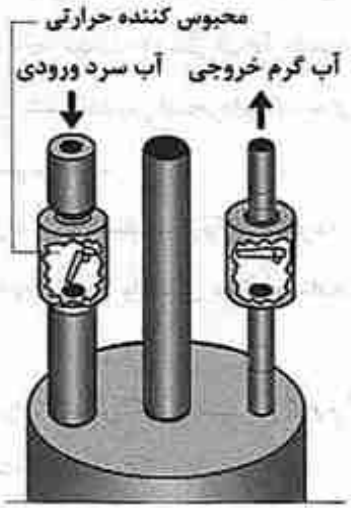
الف) در سیستم مرکزی گرمایش، طراحی و اجرای تأسیسات آب گرم مصرفی باید به‌طور مجزا انجام شود، یا عملکرد مجزای آن توسط شیرهای برقی با کنترل اتوماتیک امکان‌پذیر گردد.

ب) کاربرد سیستم‌های خورشیدی برای پیش گرم کردن آب و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی توصیه می‌گردد (ر.ک. به بخش پ ۱۳-۲-۲-۱۲ص ۲۶۱).

ج) در ساختمان‌های عمومی با زیربنای بیش از ۲۰۰۰ مترمربع، در آب‌گرم‌کن‌های مخزن‌دار بدون پمپ، استفاده از محبوس‌کننده حرارت[1] الزامی است. کاربرد محبوس‌کننده در دیگر ساختمان‌ها نیز توصیه می‌شود.

در آب‌گرم‌کن‌های مخزن‌دار بدون پمپ، در زمان عدم استفاده از آب‌گرم، از آنجا که ورودی آب سرد و خروجی آب گرم در قسمت بالایی مخزن بزرگ آب‌گرم‌کن قرار دارد، در اثر پدیده ترموسیفون، آب گرم وارد لوله آب سرد می‌شود و با از دست رفتن تدریجی آب‌گرم ذخیره‌شده در مخزن، بازده آب‌گرم‌کن به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. برای جلوگیری از این جابجایی نامطلوب، از شیرهای یک‌طرفه در مسیر آب سرد ورودی و آب گرم خروجی استفاده می‌شود، که در واقع از حرکت ترموسیفون آب داخل مخزن جلوگیری می‌کند (شکل ۲۰). این امر موجب ثابت ماندن آب داخل مخزن، و در نتیجه کاهش تلفات گرما می‌شود.

۱. Heat trap



شکل ۲۰ شیرهای محبوس‌کننده حرارت

در صورتی که شیرهای محبوس‌کننده حرارت در دسترس نباشد، می‌توان از روش دیگری، مطابق شکل ۲۱، به‌عنوان جایگزین استفاده نمود. در این روش، خم‌های مضاعفی در مسیر آب سرد ورودی و آب گرم خروجی در نظر گرفته می‌شود تا اثر محرک ترموسیفون خنثی شود. ارتفاع خم رو به پایین لوله باید حداقل ۱۵ سانتی‌متر باشد.

شکل ۲۱ نحوه نصب حلقه‌های محبوس‌کننده حرارت

د) تجهیزات سیستم آب گرم مصرفی باید مجهز به سیستم کنترل دما باشد. طراحی سیستم آب گرم مصرفی باید براساس ضوابط مبحث ۱۴ مقررات ملی انجام شود و دمای آب گرم مصرفی نباید از ۶۰ درجه سلسیوس بیشتر باشد. در استخرهایی که دمای آب کنترل می‌شود، دمای آب نباید بیش از ۲۷ درجه سلسیوس باشد.

ه) آب گرم‌کن‌های خاص مصارف ویژه، مانند آب‌گرم‌کن استخرها، برای آسانی و سهولت کار، باید مجهز به کلید روشن و خاموشِ بدون وابستگی به ترموستات، جهت راه‌اندازی و خاتمه کار، باشند.

و) استفاده از کنترلر خودکار برای خاموش کردن پمپ آب گرم برگشتی، در زمانی که پیش‌بینی شده به آب گرم نیازی نیست، الزامی است.

ز) برای به کارگیری پمپ تصفیهٔ آب، استفاده از کنترلر ساعتی الزامی است. توصیه می‌شود، در ساعات حداکثر بار شبکه، از پمپ استفاده نشود.

ح) آب‌دهی دستشویی و سردوشی‌های حمام در فشار ۵۵۰ kPa (حدود ۵٫۵ بار یا آتمسفر) نباید بیش از ۰٫۱۶ لیتر بر ثانیه باشد.

ط) در حد امکان از شیرهای مشترک آب گرم و سرد استفاده شود.

ی) در ساختمان‌هایی با کاربری عمومی، استفاده از شیرهای فنری یا شیرهای دارای چشم الکترونیکی الزامی است.

۱۹-۴-۴-۲ عایق‌کاری حرارتی لوله و مخزن

الف) در سیستم‌های آب گرم مصرفی، لوله‌ها باید دارای عایق حرارتی با مقاومت حرارتی بیش از ۰٫۸۸ $[m^2.K/W]$ باشند.

ب) مخزن‌های آب‌گرم باید دارای عایق حرارتی با مقاومت حرارتی بیش از ۱٫۰۰ $[m^2.K/W]$ باشند.

ج) در استخرهای عمومی، که از آب گرم استفاده می‌کنند، استفاده از پوشش الزامی است. در مورد استخرهای شخصی ساختمان‌های مسکونی، که از آب گرم استفاده می‌کنند، بهره‌گیری از این پوشش توصیه می‌شود.

۱۹-۵ سیستم روشنایی و انرژی الکتریکی

در تأمین روشنایی با استفاده از انرژی الکتریکی، لازم است علاوه بر الزامات مبحث ۱۳ مقررات ملّی ساختمان، موارد مندرج در این بخش نیز منظور شود. همچنین، علاوه بر الزامات این بخش، می‌توان، برای تأمین بخشی از انرژی الکتریکی ساختمان، از سلول‌های خورشیدی یا دیگر سیستم‌های فعال تولیدکننده انرژی الکتریکی، به صورت مستقل یا موازی با شبکه سراسری برق، بهره گرفت.

البته، روشن است که در اولویت اول، باید با طراحی مناسب، بهره‌برداری از روشنایی طبیعی تا حد امکان افزایش یابد، تا نیاز به انرژی الکتریکی برای تأمین روشنایی فضاهای داخل ساختمان به حداقل برسد. در اولویت دوم، لازم است از سیستم‌ها و تجهیزات روشنایی با بهره‌نوری بالا استفاده گردد. در پیوست ۱۵، توضیحات تکمیلی در خصوص سیستم‌های نورپردازی با نور طبیعی و مصنوعی ارائه شده است.

۱۹-۵-۱ سیستم‌ها و تجهیزات روشنایی

در فضاهای عمومی کلیه ساختمان‌ها که از روشنایی الکتریکی به صورت ممتد استفاده می‌شود، به‌کارگیری لامپ‌های کم‌مصرف (پر بازده)، با حداقل بازده نوری ۵۵ لومن بر وات، الزامی است. بهره‌گیری از لامپ‌های کم‌مصرف در کلیه فضاهای داخلی ساختمان‌های مسکونی که از روشنایی الکتریکی به صورت ممتد استفاده می‌شود، به ویژه در فضاهای نشیمن و آشپزخانه، توصیه می‌شود. تمامی سیستم‌های روشنایی نصب‌شدهٔ درون یا روی سقف باید دارای بازتابنده‌هایی باشند، تا بیشترین روشنایی به فضا برسد.

سیستم‌ها و تجهیزات روشنایی متداول و نوین که در نورپردازی مصنوعی فضاهای داخل ساختمان‌ها مطرح هستند عبارتند از:

- لامپ‌های التهابی
- لامپ تخلیه در گاز
- لامپ‌های دیودی (ال.ای.دی)[1]

آنچه در انتخاب منابع روشنایی مصنوعی حائز اهمیت است، بالا بودن بازده نوری و شاخص نمود رنگ[2] است، و در هیچ شرایطی، افزایش بازدهی سیستم‌های نورپردازی نباید باعث تحت‌الشعاع قرار گرفتن آسایش بصری بهره‌برداران گردد. در پیوست ۱۵، توضیحات تکمیلی در خصوص سیستم‌ها و تجهیزات روشنایی متداول و نوین مورد استفاده در نورپردازی مصنوعی ارائه شده است.

۱۹-۵-۲ سیستم‌های کنترل روشنایی

۱۹-۵-۲-۱ روشنایی فضاها

هر فضای مستقل باید یک کلید یا سیستم کنترل جداگانه داشته باشد که:

۱- در محل ورودی- خروجی فضاها قرار گیرد، رؤیت‌پذیر و در دسترس باشد.

۲- به‌گونه‌ای طراحی شده باشد که با رویت آن، خاموش یا روشن بودن چراغ‌ها معلوم شود.

این الزامات در مورد لامپ‌هایی که صرفاً برای تزیین مورد استفاده قرار می‌گیرند و نقشی در تأمین روشنایی مورد نیاز ندارند صادق نیست.

۱۹-۵-۲-۲ سیستم‌های کاهش میزان و یا مدت روشنایی

روشنایی فضاهای محصوری که مساحتی برابر ۱۰ متر مربع یا بیشتر دارد و بار الکتریکی روشنایی آن بیش از ۱۲ وات بر متر مربع است و یا بیش از یک منبع تأمین می‌گردد، باید به نحوی کنترل شود که بار الکتریکی روشنایی چراغ‌ها تا نصف قابل کاهش باشد، ضمن این‌که همچنان سطح

۱. LED Lamp

۲. CRI : Color Rendering Index

روشنایی با یکنواختی قابل قبول در تمام فضا و با جوابگویی به انتظارات تعیین‌شده در خصوص روشنایی موضعی محل‌های فعالیت، تأمین گردد. در پیوست ۱۵، توضیحات تکمیلی در خصوص روش‌های کاهش اصولی میزان روشنایی ارائه شده است.

کاهش روشنایی به صورت یکنواخت می‌تواند به یکی از روش‌های زیر تأمین گردد:

۱- استفاده از کاهش‌دهنده‌های نور[1] برای کنترل تمام سیستم‌های روشنایی؛

۲- کنترل ردیف‌های زوج و فرد با دو کلید؛

۳- نصب کلید مستقل برای لامپ وسط سیستم‌های سه‌لامپی؛

۴- نصب کلید مستقل برای هر لامپ یا هر مجموعهٔ لامپ؛

۵- استفاده از سیستم‌های تشخیص حضور و یا حرکت؛

۶- استفاده از سیستم‌های زمان‌دار قابل تنظیم و یا سیستم‌هایی که به صورت خودکار خاموش می‌شوند.

در مورد فضاهای محصور که در طول روز از نور طبیعی کافی بهره‌مند می‌شوند، علاوه بر موارد فوق، توصیه می‌گردد در صورت امکان حداقل یک سیستم کنترل نور مصنوعی داشته باشند که سیستم روشنایی را، در بخشی که از نور طبیعی بهره می‌گیرد، کنترل کند.

۱۹-۵-۲-۳ کنترل خاموش کردن روشنایی

در هر منطقه روشنایی ساختمان، سیستم‌های روشنایی باید توسط یک یا چند کلید مرکزی دستی نصب شده در محل قابل کنترل باشد. همچنین استفاده از کلید اتوماتیک (حسگر تشخیص حضور یا حرکت یا کنترل زمانی) توصیه می‌شود. در موارد زیر، رعایت این ضابطه لازم نیست:

الف) روشنایی راهروها، سرسراها (لابی‌ها) و فضاهای ورودی که فاقد روشنایی ایمنی باشند. در مورد سیستم‌های روشنایی ایمنی باید مطابق الزامات مبحث ۱۳ مقررات ملّی ساختمان عمل شود.

ب) فضاهای با کاربری خاص مانند فروشگاه‌ها و مجتمع‌های تجاری، رستوران‌ها، مساجد، تئاترها، سینماها و ساختمان‌های مشابه.

۱. Dimmer

اگر یک سیستم کلیدی زمان‌دار پیش‌بینی شده باشد، باید شرایط زیر برقرار باشد:

- به راحتی قابل رؤیت و در دسترس باشد؛
- در جایی باشد که بتوان به آسانی دانست که کلید مربوط به کدام فضا است؛
- به صورت دستی نیز کار کند.

در صورتی که از سیستم برنامه‌ریزی زمانی استفاده می‌شود، سیستم باید قابلیت دریافت برنامه‌های خاص بر اساس تقویم سالانه را داشته باشد.

۱۹-۵-۳ شدت روشنایی فضاها

شدت روشنایی فضاها و کاربری‌های مختلف در ساختمان‌ها باید براساس مبحث ۱۳ مقررات ملّی ساختمان تعیین گردد. برای تأمین این شدت روشنایی، باید توجه شود که از چراغ‌های با ضریب بهرهٔ بالا، لامپ‌های با راندمان بالا و امکانات متناسب دیگر به نحوی استفاده شود که چگالی انرژی الکتریکی (بر حسب وات بر مترمربع) برای تأمین روشنایی مورد نظر بهینه باشد.

۱۹-۵-۴ روشنایی محوطه و بیرون ساختمان

۱۹-۵-۴-۱ لامپ‌ها

لامپ‌های مورد استفاده برای روشنایی محوطه و بیرون ساختمان باید حداقل دارای راندمان ۵۰ لومن بر وات باشند.

۱۹-۵-۴-۲ کنترل روشنایی محوطه و خارج ساختمان

برای محوطه ساختمان‌هایی که در ۲۴ ساعت یا تمام هفته مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، بهره‌گیری از کنترل‌کننده اتوماتیک یا سلول نوری برای روشن و خاموش کردن لامپ‌ها الزامی است.

۱۹-۵-۵ کنتور

در مجتمع‌ها، تجهیز هر واحد مستقل به کنتور جداگانه، جهت تعیین میزان تفکیکی مصرف برق، الزامی است.

۱۹-۵-۶ موتورها

هرگونه موتور الکتریکی باید مطابق با مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران باشد. استفاده از موتورهای دور متغیر در تجهیزاتی مانند پمپ‌ها و دمنده‌ها و ابزار الکترونیک قدرت، و تنظیم فرکانس متناسب با بار متغیر و کاهش مصرف انرژی الکتریکی موتورها، توصیه می‌گردد.

پیوست ۱ روش تعیین گروه اینرسی حرارتی ساختمان

برای تعیین گروه اینرسی حرارتی ساختمان، یا بخشی از آن، در وهلهٔ اول لازم است جرم سطحی مؤثر جدارهای مختلف آن محاسبه گردد. میزان جرم جدار، که در تعیین گروه اینرسی حرارتی در نظر گرفته می‌شود، به موقعیت جدار و لایه‌های مختلف تشکیل‌دهندهٔ آن بستگی دارد. در این پیوست، روش محاسبه جرم سطحی مؤثر جدار در حالت‌ها و موقعیت‌های مختلف ارائه می‌گردد.

پس از تعیین جرم سطحی مؤثر جدارهای مختلف، جرم مؤثر کل ساختمان یا بخشی از آن (M) محاسبه می‌گردد و، در پایان، مقدار جرم سطحی مؤثر ساختمان در واحد سطح زیربنا (m_s) تعیین می‌شود.

پ۱-۱ تعیین جرم سطحی مؤثر جدار

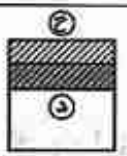
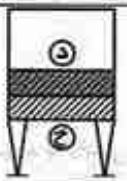
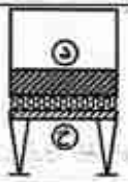
پ۱-۱-۱ جدار در تماس با خارج

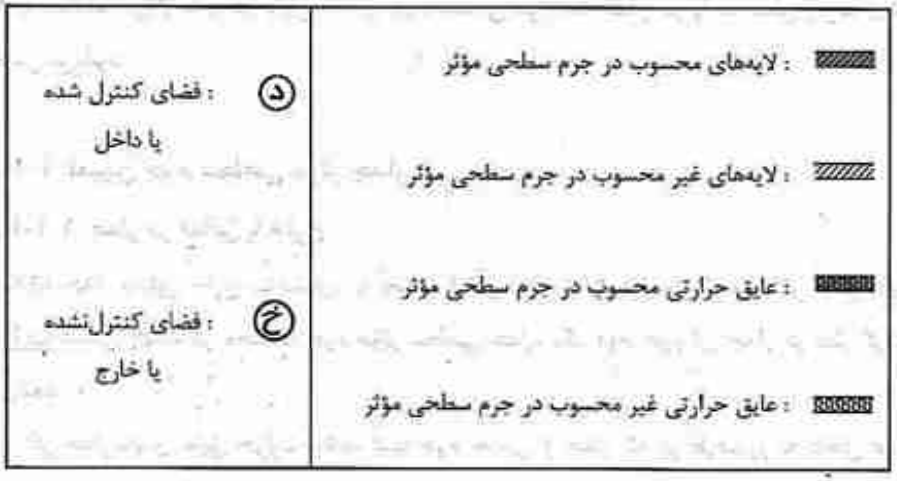
چنانچه جدار مجاور خارج ساختمان، یا بخشی از آن، فاقد عایق‌حرارت باشد، یا اگر جدار عایق حرارتِ همگن باشد، در محاسبهٔ جرم مؤثر سطحی جدار، یک دوم جرم آن جدار در نظر گرفته می‌شود.

اگر جدار دارای عایق حرارت باشد، تنها جرم بخشی از جدار که در طرف رو به داخل عایق حرارتی است در محاسبهٔ جرم مؤثر جدار منظور می‌شود.

در تمام حالات، اگر جرم سطحی مؤثر محاسبه‌شدهٔ یک جدار بیش از ۱۵۰ کیلوگرم در متر مربع باشد، به همین مقدار اکتفا می‌شود.

جدول ۲۹ نحوه محاسبه جرم سطحی مؤثر جدارهای پوسته خارجی

	بدون عایق حرارتی یا با عایق همگن	دارای عایق حرارتی
بام		
کف روی هوا		
دیوار خارجی		
روش محاسبه m_i	$15۰ \geq m_i = m/۲$	$15۰ \geq m_i = m_{int}$



پ ۱-۱-۲ جدار مجاور خاک

جرم سطحی مؤثر بخش مجاور خاک دیوار، کف روی خاک یا گربه‌رو یا فضای بستهٔ مجاور خاک، در صورتی که فاقد عایق حرارت باشد، برابر ۱۵۰ کیلوگرم در متر مربع در نظر گرفته می‌شود. در

صورتی که جدار دارای عایق حرارت باشد، تنها جرم سطحی بخشی از جدار که در طرف رو به داخل عایق‌حرارت است در محاسبهٔ جرم سطحی مؤثر جدار منظور می‌شود. اگر جرم سطحی مؤثر محاسبه شدهٔ آن جدار بیش از ۱۵۰ کیلوگرم در متر مربع باشد، به همین مقدار بسنده می‌شود.

جدول ۳۰ نحوه محاسبه جرم سطحی مؤثر کف روی خاک

	بدون عایق حرارتی یا با عایق همگن	دارای عایق حرارتی
کف روی خاک		
	$m_i = 15۰$	$15۰ \geq m_i = m_{int}$

پ ۱-۱-۳ جدار در تماس با ساختمان مجاور یا فضای کنترل‌نشده

جرم سطحی مؤثر جدارهای در تماس با ساختمان مستقل دیگر، یا فضایی کنترل‌نشده (راه‌پله، پارکینگ، انبار، ...)، اگر فاقد عایق حرارت باشد، برابر نصف جرم سطحی جدار، و در غیر این صورت، برابر با جرم سطحی بخشی از لایه‌های جدار که در طرف رو به داخل عایق حرارتی است، در نظر گرفته می‌شود.

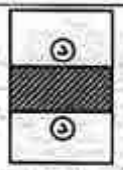
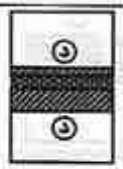
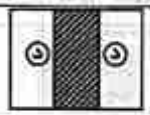
به‌عبارت دیگر، در خصوص جدارهایی که بین فضای کنترل‌شده و کنترل‌نشده هستند، روش محاسبه مشابه روش محاسبه جرم مؤثر جدارهای بین فضاهای کنترل‌شده و خارج است.

پ ۱-۱-۴ جدارهای داخل فضای کنترل‌شده ساختمان

در صورتی که جرم سطحی جداری که داخل فضای کنترل‌شده ساختمان (یا بخشی از آن) واقع شده است کمتر از ۳۰۰ کیلوگرم در مترمربع باشد، جرم سطحی مؤثر مساوی با جرم سطحی جدار است؛ در غیر این صورت، جرم سطحی مؤثر مساوی با ۳۰۰ کیلوگرم در مترمربع در نظر گرفته می‌شود.

به عبارت دیگر، در صورتی‌که جدار داخل فضای کنترل‌شده قرار داشته باشد، تمام جرم سطحی به عنوان جرم سطحی مؤثر در نظر گرفته می‌شود، ولی مقدار محاسبه‌شده نباید از ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مربع بیشتر باشد.

جدول ۳۱ نحوه محاسبه جرم سطحی مؤثر جدارهای داخلی

	بدون عایق حرارتی یا با عایق همگن	دارای عایق حرارتی
سقف بین طبقات		
دیوار داخلی		
	$m_i = m \geq ۳۰۰$	$m_i = m \geq ۳۰۰$

پ۱-۲ جرم سطحی مؤثر ساختمان در واحد سطح زیربنای مفید

اگر m_i جرم سطحی مؤثر قسمت i از پوستهٔ خارجی و عناصر داخلی ساختمان و A_i مساحت مربوط به آن باشد، جرم مؤثر ساختمان برابر است با:

$$M = \Sigma (m_i \, . \, A_i)$$

بدین ترتیب، جرم سطحی مؤثر ساختمان (یا بخشی از آن) m_a، بر مبنای واحد سطح زیربنای مفید ساختمان (یا بخشی از آن) A_b، براساس رابطهٔ زیر محاسبه می‌گردد:

$$m_a = M / A_b$$

گروه‌بندی اینرسی حرارتی ساختمان یا بخشی از آن

پس از تعیین جرم سطحی مؤثر ساختمان در واحد سطح زیربنای مفید (m_a)، گروه اینرسی حرارتی ساختمان، یا بخشی از آن، مطابق جدول ۳۲ تعیین می‌گردد:

جدول ۳۲ گروه اینرسی حرارتی ساختمان، بر حسب جرم سطحی مؤثر ساختمان در واحد سطح زیربنای مفید

گروه اینرسی	جرم سطحی مؤثر ساختمان، بر مبنای واحد سطح زیربنای مفید m_a (kg/m^۲)
کم	کمتر از ۱۵۰
متوسط	مساوی یا بیش از ۱۵۰ و کمتر از ۴۰۰
زیاد	مساوی یا بیش از ۴۰۰

مثال۳: تعیین جرم سطحی مؤثر یک دیوار با عایق‌کاری حرارتی از خارج

در صورتی که دیواری دارای لایه‌هایی با مشخصات زیر (از خارج به داخل) باشد، محاسبه جرم سطحی و جرم سطحی مؤثر جدار به شرح زیر خواهد بود:

جدول ۳۳ نمونهٔ محاسبه جرم سطحی و جرم سطحی مؤثر یک دیوار خارجی با عایق حرارتی از خارج

مصالح / فراورده	ضخامت (میلی‌متر)	چگالی ظاهری خشک (کیلوگرم بر متر مکعب)	جرم سطحی (کیلوگرم بر متر مربع)
اندود نازک پایه‌سیمانی	۵	۱۷۰۰	۸.۵
عایق پشم‌معدنی	۵۰	۴۰	۲.۰
بخاربند	۱	۹۸۰	۱.۰
بلوک سفالی	۱۵۰	۸۵۰	۱۲۷.۵
اندود گچ	۲۰	۱۳۰۰	۲۶.۰

جرم سطحی جدار :	۱۶۵.۰

جرم سطحی مؤثر جدار :	~~۱۶۴.۵~~ (×) ۱۵۰.۰

(×): طبق بند پ-۱-۱-۱ مبحث ۱۹ جرم سطحی مؤثر جدار مجاور خارج نمی‌تواند بیش از ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع باشد.

مثال ۴: تعیین جرم سطحی مؤثر یک دیوار با عایق‌کاری حرارتی از داخل

در صورتی که به‌جای نصب عایق حرارتی از خارج، آنرا در طرف رو به داخل لایه بلوک سفالی متصل کنیم، تغییرات جرم سطحی مؤثر به شرح زیر خواهد بود:

جدول ۳۴ نمونهٔ محاسبه جرم سطحی و جرم سطحی مؤثر یک دیوار خارجی با عایق حرارتی از داخل

مصالح / فراورده	ضخامت (میلی‌متر)	چگالی ظاهری خشک (کیلوگرم بر متر مکعب)	جرم سطحی (کیلوگرم بر متر مربع)
اندود نازک پایه‌سیمانی	۵	۱۷۰۰	۸.۵
بلوک سفالی	۱۵۰	۸۵۰	۱۲۷.۵
عایق پشم‌معدنی	۵۰	۴۰	۲.۰
بخاربند	۱	۹۸۰	۱.۰
اندود گچ / رابیتس	۲۰	۱۴۰۰	۲۸.۰

جرم سطحی جدار :	۱۶۷.۰

جرم سطحی مؤثر جدار :	۲۹.۰

مثال ۵: تعیین جرم سطحی مؤثر یک سقف با عایق‌کاری حرارتی از خارج

اگر بام (سقف نهایی) دارای لایه‌هایی با مشخصات زیر (از خارج به داخل) باشد، محاسبه جرم سطحی و جرم سطحی مؤثر جدار به شرح زیر خواهد بود:

جدول ۳۵ نمونهٔ محاسبه جرم سطحی و جرم سطحی مؤثر یک بام با عایق حرارتی از خارج

مصالح / فراورده	ضخامت (میلی‌متر)	چگالی ظاهری خشک (کیلوگرم بر متر مکعب)	جرم سطحی (کیلوگرم بر متر مربع)
شن بادامی	۵۰	۱۷۰۰	۸۵.۰
عایق حرارتی	۵۰	۴۰	۲.۰
عایق رطوبتی	۵	۱۰۰۰	۵.۰
بتن سبک شیب‌بندی	۱۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰
بتن مسلح	۱۵۰	۲۳۰۰	۳۴۵.۰

جرم سطحی جدار :	۵۳۷.۰

جرم سطحی مؤثر جدار :	~~۴۵۰.۰~~ ۱۵۰.۰ (×)

(×): طبق بند پ-۱-۱-۱ مبحث ۱۹ جرم سطحی مؤثر جدار مجاور خارج نمی‌تواند بیش از ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع باشد.

مثال۶: تعیین جرم سطحی مؤثر یک سقف بین طبقات

در صورتی که سقف بین طبقات دارای جرم سطحی برابر با ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مربع باشد، با توجه به این نکته که طبق بند پ-۱-۱-۴ مبحث ۱۹ جرم سطحی مؤثر جدار داخل فضای کنترل شده نمی‌تواند بیش از ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مربع باشد، در محاسبات جرم مؤثر سقف برابر با ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته خواهد شد.

مثال۷: تعیین جرم مؤثر ساختمان

در صورتی که جرم سطحی و مساحت جدارها به شرح جدول ۳۶ باشد، جرم سطحی ساختمان مطابق روش ارائه شده در همین جدول تعیین می‌گردد:

جدول ۳۶ نمونهٔ محاسبه جرم سطحی مؤثر ساختمان

نام جدار	جرم سطحی مؤثر جدار (m_i) (کیلوگرم بر متر مربع)	مساحت جدار (متر مربع)	$m_i . A_i$ (کیلوگرم)
دیوارهای خارجی	۲۹	۲۲۵	۶۵۲۵
بام	۱۵۰	۱۵۰	۲۲۵۰۰
سقف‌های بین طبقات	۳۰۰	۱۵۰	۴۵۰۰۰
تیغه‌های داخلی	۲۱۰	۸۰	۱۶۸۰۰
پنجره‌ها و درها	۷۵	۴۰	۳۰۰۰
کف روی خاک	۱۵۰	۱۵۰	۲۲۵۰۰

جرم مؤثر ساختمان :	۱۱۶۳۲۵

زیربنای مفید ساختمان :	۲۷۰ مترمربع	جرم سطحی مؤثر ساختمان :	۴۳۱.۰

با توجه به این نکته که **جرم سطحی مؤثر ساختمان** بیش از ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مربع است، طبق بند پ۱-۳ این ساختمان با اینرسی زیاد تلقی می‌شود.

پیوست ۲ روش محاسبهٔ شاخص خورشیدی

طراح، در صورت تمایل، می‌تواند از این ضریب برای ساختمان‌های گروه ۱، از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی، و در مناطق با نیاز گرمایی زیاد کشور (مطابق پیوست ۳) استفاده کند.

شاخص خورشیدی ساختمان، یا بخشی از آن، با علامت I_s نشان داده شده است، و بر مبنای رابطهٔ زیر محاسبه می‌گردد:

$$I_s = \Sigma (A_i . S_i . \sigma_i) / V$$

A_i : مساحت بخش نورگذر i پوستهٔ خارجی ساختمان به مترمربع

S_i : ضریب عبور (گذر) خورشیدی برای بخش نورگذر i، مطابق جدول ۳۷

σ_i : ضریب کاهش مربوط به موقعیت سطح نورگذر، مطابق جدول ۳۸

V : حجم کل فضای کنترل‌شدهٔ ساختمان، یا بخش مورد نظر

جدول ۳۷ مقادیر ضریب انتقال خورشیدی برای انواع مختلف شیشه‌های ساختمانی متعارف

نوع شیشه	ساده		ساده رنگی			انعکاسی رنگی			مشجر	دوجداره
رنگ	بی‌رنگ		سبز	برنزی	آبی	آبی	برنز	جیوه‌ای	بی‌رنگ	بی‌رنگ
ضخامت (میلی‌متر)	۴	۶	۶	۴	۶	۶	۶	۶	۴	۶-۴
S_i	۰٫۸۶	۰٫۸۳	۰٫۶۳	۰٫۷۰	۰٫۶۲	۰٫۳۳	۰٫۲۴	۰٫۲۳	۰٫۳۳	۰٫۵۲

جدول ۳۸ مقادیر ضریب کاهش σ_i مربوط به موقعیت سطح نورگذر

زاویهٔ متوسط رؤیت موانع روبروی پوسته (θ) (مطابق شکل ۱)	موقعیت و جهت[1] سطح نورگذر				
	جنوب	شرق	غرب		شمال
			فضاهای با استفاده مداوم	فضاهای با استفاده منقطع	
کمتر از ۱۵ درجه	۱٫۰	۰٫۶	۰٫۶	۰٫۴	۰٫۳
بزرگ‌تر از یا مساوی ۱۵ درجه و کمتر از ۲۵ درجه	۰٫۶	۰٫۴	۰٫۴	۰٫۳	۰٫۲
بزرگ‌تر از یا مساوی ۲۵ درجه	۰	۰	۰	۰	۰

مثال۸: تعیین شاخص خورشیدی ساختمان و ضریب اصلاح انتقال حرارت

اگر در ساختمانی غیر مستقل با اینرسی زیاد و استفاده مداوم، دارای حجم کل فضای کنترل شده برابر با ۷۵۰ متر مکعب، و ۱۰۰ متر مربع جدار نورگذر (پنجره) با شیشه‌های ساده (بی‌رنگ) در هر یک از نماهای جنوبی، شرقی و غربی و ۱۰۰ متر مربع جدار نورگذر با شیشه‌های دوجداره بی‌رنگ در نمای شمالی باشد، شاخص خورشیدی I_s به‌روش ارائه شده در جدول زیر محاسبه می‌شود:

۱. جهت‌ها به روش زیر تعیین می‌گردد:
جنوب : جهت‌های بین جنوب شرقی و جنوب غربی
شرق : جهت‌ها بین شمال شرقی و جنوب شرقی
غرب : جهت‌های بین شمال غربی و جنوب غربی
شمال : جهت‌های بین شمال شرقی و شمال غربی

جدول ۳۹ نمونهٔ محاسبه شاخص خورشیدی ساختمان و ضریب اصلاح انتقال حرارت

	A_i	S_i	σ_i	$A_i \cdot S_i \cdot \sigma_i$
پنجره‌های جنوبی	۱۰۰	۰.۸۶	۱.۰	۸۶.۰
پنجره‌های شرقی	۱۰۰	۰.۸۶	۰.۶	۵۱.۶
پنجره‌های غربی	۱۰۰	۰.۸۶	۰.۴	۳۴.۴
پنجره‌های شمالی	۱۰۰	۰.۵۲	۰.۳	۱۵.۶
			$= A_i \cdot S_i \cdot \sigma_i$	۱۸۷.۶

$$\sum A_i \cdot S_i \cdot \sigma_i / V = ۱۸.۷۶ / ۷۵ = ۰.۲۵$$

در صورتی‌که ضریب I_s ، جرم مؤثر ساختمان، مطابق مثال ۷ راهنما (صفحهٔ ۱۰۴) محاسبه‌شده، و مقداری بیش از ۰.۰۲ به‌دست آمده باشد، طبق جدول ۱ مبحث ۱۹ مقررات ملّی ساختمان، ضریب γ مساوی با ۰.۱۲ خواهد بود.

پیوست ۳ گونه‌بندی نیاز سالانهٔ انرژی شهرهای ایران

در این پیوست، گونه‌بندی نیاز انرژی ۲۴۵ شهر، که دارای ایستگاه هواشناسی‌اند، درج شده است. در صورتی‌که نام شهر محل استقرار ساختمان در این پیوست نیامده باشد، لازم است مشخصات نزدیک‌ترین شهر به آن، با آب و هوای مشابه، ملاک عمل قرار گیرد.

جدول ۴۰ رده‌بندی نیاز سالانهٔ انرژی شهرهای ایران

شماره	نام شهر	نیاز انرژی	نیاز غالب حرارتی	
			گرمایش	سرمایش
۱	آبادان	زیاد		●
۲	آبادچی- فریدن	زیاد	●	
۳	آباده	متوسط	●	
۴	آبعلی	زیاد	●	
۵	آجی چای	زیاد	●	
۶	آزاد شهر	کم	●	
۷	آستارا	متوسط	●	
۸	آغاجاری	زیاد		●
۹	آمل	کم	●	
۱۰	آوج	زیاد	●	
۱۱	احمدآباد - درودزن	متوسط	●	
۱۲	احمدوند	متوسط	●	
۱۳	اختحوان گلپایگان	متوسط	●	

شماره	نام شهر	نیاز انرژی	نیاز غالب حرارتی	
			گرمایش	سرمایش
۱۴	اراک	متوسط	•	
۱۵	اردبیل	زیاد	•	
۱۶	اردستان	متوسط	•	
۱۷	اردکان	متوسط	•	
۱۸	ارومیه	زیاد	•	
۱۹	استور	متوسط	•	
۲۰	اسدآباد بیرجند	متوسط	•	
۲۱	اسکو	زیاد	•	
۲۲	اسلام آباد غرب	متوسط	•	
۲۳	اصفهان	متوسط	•	
۲۴	افراچال	کم	•	
۲۵	الیگودرز	زیاد	•	
۲۶	امام قیس	زیاد	•	
۲۷	امیدیه	زیاد		•
۲۸	امین آباد	متوسط	•	
۲۹	انار	کم	•	
۳۰	انارک	متوسط	•	
۳۱	اندیمشک	زیاد		•
۳۲	اهر	زیاد	•	
۳۳	اهواز	زیاد		•
۳۴	اهواز (ملاثانی)	متوسط		•
۳۵	ایرانشهر	زیاد		•
۳۶	ایلام	متوسط	•	
۳۷	ایوانکی	متوسط	•	

شماره	نام شهر	نیاز انرژی	نیاز غالب حرارتی	
			گرمایش	سرمایش
۳۸	بابل	کم	•	
۳۹	بابلسر	کم	•	
۴۰	باراندوزچای	زیاد	•	
۴۱	بارنیشابور	متوسط	•	
۴۲	باغ ملک	کم		•
۴۳	بافت	متوسط	•	
۴۴	بجستان	کم	•	
۴۵	بجنورد	متوسط	•	
۴۶	بروجرد	متوسط	•	
۴۷	بستان	زیاد		•
۴۸	بستان آباد	زیاد	•	
۴۹	بم	متوسط		•
۵۰	بمپور	متوسط		•
۵۱	بن سیدان	متوسط		•
۵۲	بندر انزلی	کم	•	
۵۳	بندر بوشهر	زیاد		•
۵۴	بندر دیر	زیاد		•
۵۵	بندر عباس	زیاد		•
۵۶	بندر لنگه	زیاد		•
۵۷	بندر ماهشهر	زیاد		•
۵۸	بنکوه	متوسط	•	
۵۹	بوئین زهرا	متوسط	•	
۶۰	بی بالان	کم	•	
۶۱	بیاضه بیابانک	متوسط	•	

شماره	نام شهر	نیاز انرژی	نیاز غالب حرارتی	
			گرمایش	سرمایش
۶۲	بیجار	زیاد	•	
۶۳	بیرجند	متوسط	•	
۶۴	پارس آباد مغان	متوسط	•	
۶۵	پل زمانخان	کم	•	
۶۶	پل کله	متوسط	•	
۶۷	پیرانشهر	زیاد	•	
۶۸	پیله سرا	کم	•	
۶۹	تازه کند	زیاد	•	
۷۰	تاشکویه کله گاه	م‌توسط		•
۷۱	تاکستان	متوسط	•	
۷۲	تبریز	زیاد	•	
۷۳	تربت حیدریه	متوسط	•	
۷۴	تفرش	متوسط	•	
۷۵	تکاب	زیاد	•	
۷۶	تنگ پنج	زیاد		•
۷۷	تهران	متوسط	•	
۷۸	جاسک	زیاد		•
۷۹	جزیرهٔ ابوموسی	زیاد		•
۸۰	جزیرهٔ خارک	متوسط		•
۸۱	جزیرهٔ سیری	زیاد		•
۸۲	جزیره قشم	متوسط		•
۸۳	جزیرهٔ کیش	زیاد		•
۸۴	جلفا	زیاد	•	
۸۵	جیرفت	متوسط		•

شماره	نام شهر	نیاز انرژی	نیاز غالب حرارتی	
			گرمایش	سرمایش
۸۶	چابهار	زیاد		•
۸۷	چغارت	متوسط		•
۸۸	چناران	متوسط	•	
۸۹	حاجی آباد (بندرعباس)	متوسط		•
۹۰	حجت آباد (پیشکوه)	متوسط	•	
۹۱	حمیدیه	متوسط		•
۹۲	حنا	متوسط	•	
۹۳	خاش	کم		•
۹۴	خرم آباد	متوسط	•	
۹۵	خرم آباد تنکابن	کم	•	
۹۶	خرم دره	زیاد	•	
۹۷	خرمشهر	زیاد		•
۹۸	خشکه داران تنکابن	کم	•	
۹۹	خفر	متوسط	•	
۱۰۰	خلخال	زیاد	•	
۱۰۱	خوانسار	زیاد	•	
۱۰۲	خوربیابانک	متوسط		•
۱۰۳	خوی	زیاد	•	
۱۰۴	داراب	متوسط		•
۱۰۵	داران	زیاد	•	
۱۰۶	داشبند بوکان	زیاد	•	
۱۰۷	دامغان	متوسط	•	
۱۰۸	دامنه فریدن	زیاد	•	
۱۰۹	درگز	متوسط	•	

شماره	نام شهر	نیاز انرژی	نیاز غالب حرارتی	
			گرمایش	سرمایش
۱۱۰	درود	متوسط	●	
۱۱۱	دره تخت	زیاد	●	
۱۱۲	دزفول	زیاد		●
۱۱۳	دشت ناز	کم	●	
۱۱۴	دوگنبدان	متوسط		●
۱۱۵	ده صومعه	متوسط	●	
۱۱۶	دهلران	زیاد		●
۱۱۷	دیهوک	کم	●	
۱۱۸	راسر	کم	●	
۱۱۹	رامهرمز	زیاد		●
۱۲۰	رشت	کم	●	
۱۲۱	روانسر	متوسط	●	
۱۲۲	رودبار گیلان	کم	●	
۱۲۳	زابل	متوسط		●
۱۲۴	زاهدان	کم	●	
۱۲۵	زردگل سرخ آباد	متوسط	●	
۱۲۶	زرقان	متوسط	●	
۱۲۷	زرینه اوباتو	زیاد	●	
۱۲۸	زنجان	زیاد	●	
۱۲۹	ساوه	متوسط	●	●
۱۳۰	سبزوار	متوسط	●	
۱۳۱	سپید دشت	متوسط	●	●
۱۳۲	سد درودزن	متوسط	●	
۱۳۳	سر پل ذهاب	متوسط	●	●

شماره	نام شهر	نیاز انرژی	نیاز غالب حرارتی	
			گرمایش	سرمایش
۱۳۴	سراب	زیاد	●	
۱۳۵	سراوان	متوسط		●
۱۳۶	سرخس	متوسط	●	
۱۳۷	سرکت تجن	کم	●	
۱۳۸	سقز	زیاد	●	
۱۳۹	سمنان	متوسط	●	
۱۴۰	سنگ ترش	متوسط	●	
۱۴۱	سنگ سوراخ	متوسط	●	
۱۴۲	سنندج	متوسط	●	
۱۴۳	سوباشی	زیاد	●	
۱۴۴	سیرجان	متوسط	●	
۱۴۵	شاهرود	متوسط	●	
۱۴۶	شبانکاره	متوسط		●
۱۴۷	شمس آباد اراک	زیاد	●	
۱۴۸	شمعون	متوسط		●
۱۴۹	شوش	متوسط		●
۱۵۰	شوشتر	زیاد		●
۱۵۱	شهربابک	متوسط	●	
۱۵۲	شهرکرد	متوسط	●	
۱۵۳	شیراز	متوسط	●	
۱۵۴	شیرگاه	کم	●	
۱۵۵	شیروان بروجرد	متوسط	●	
۱۵۶	صفی آباد دزفول	زیاد		●
۱۵۷	طبس	متوسط		●

شماره	نام شهر	نیاز انرژی	نیاز غالب حرارتی	
			گرمایش	سرمایش
۱۵۸	طرق کرتیان	متوسط	•	
۱۵۹	عباس آباد قم	متوسط	•	
۱۶۰	عدل	زیاد	•	
۱۶۱	فردوس	متوسط	•	
۱۶۲	فسا	متوسط	•	
۱۶۳	فومن	کم	•	
۱۶۴	فیروزآباد خلخال	زیاد	•	
۱۶۵	قائمشهر	کم	•	
۱۶۶	قائن	متوسط	•	
۱۶۷	قرآن تالار	کم	•	
۱۶۸	قراخیل قائمشهر	کم	•	
۱۶۹	قروه	زیاد	•	
۱۷۰	قره آغاج	متوسط	•	
۱۷۱	قزوین	متوسط	•	
۱۷۲	قصر شیرین	کم	•	•
۱۷۳	قطورچای	زیاد	•	
۱۷۴	قم	متوسط	•	
۱۷۵	قمشه (شهرضا)	متوسط	•	
۱۷۶	قوچان	متوسط	•	
۱۷۷	کازرون	متوسط		•
۱۷۸	کاشان	متوسط	•	•
۱۷۹	کاشمر	متوسط	•	
۱۸۰	کبوترآباد	متوسط	•	
۱۸۱	کرج	متوسط	•	

شماره	نام شهر	نیاز انرژی	نیاز غالب حرارتی	
			گرمایش	سرمایش
۱۸۲	کرمان	کم	•	
۱۸۳	کرمانشاه	متوسط	•	
۱۸۴	کرند	متوسط	•	
۱۸۵	کره سنگ	کم	•	
۱۸۶	کشف رود	متوسط	•	
۱۸۷	کنارک چابهار	زیاد		•
۱۸۸	کنگاور	متوسط	•	
۱۸۹	کوتیان صفی آباد	متوسط		•
۱۹۰	کوهرنگ	زیاد	•	
۱۹۱	کهنوج	زیاد		•
۱۹۲	گتوند	زیاد		•
۱۹۳	گچساران	متوسط		•
۱۹۴	گرکان آشتیان	متوسط	•	
۱۹۵	گرگان	متوسط	•	
۱۹۶	گرمسار	متوسط	•	
۱۹۷	گرمسار (داور آباد)	متوسط	•	
۱۹۸	گلمکان	متوسط	•	
۱۹۹	گناباد	متوسط	•	
۲۰۰	گنبد قابوس	کم	•	
۲۰۱	گورگین - خبر	کم	•	
۲۰۲	گوشه نهاوند	متوسط	•	
۲۰۳	لار	زیاد		•
۲۰۴	لار - پلور	زیاد	•	
۲۰۵	لاهیجان	کم	•	

شماره	نام شهر	نیاز انرژی	نیاز غالب حرارتی	
			گرمایش	سرمایش
۲۰۶	لتیان	متوسط	•	
۲۰۷	لردگان	متوسط	•	
۲۰۸	لیقوان	زیاد	•	
۲۰۹	ماکو	زیاد	•	
۲۱۰	مراغه	زیاد	•	
۲۱۱	مرند	زیاد	•	
۲۱۲	مرودشت	متوسط	•	
۲۱۳	مسجد سلیمان	زیاد		•
۲۱۴	مشهد	متوسط	•	
۲۱۵	مشیران	متوسط	•	
۲۱۶	ملایر	متوسط	•	
۲۱۷	موچان	زیاد	•	
۲۱۸	مهاباد	متوسط	•	
۲۱۹	مهرگرد	زیاد	•	
۲۲۰	میاندوآب	متوسط	•	
۲۲۱	میانده جیرفت	متوسط		•
۲۲۲	میانه	زیاد	•	
۲۲۳	میرجاوه	متوسط		•
۲۲۴	میمه	زیاد	•	
۲۲۵	میناب	زیاد		•
۲۲۶	نایین	متوسط	•	
۲۲۷	نجف آباد	متوسط	•	
۲۲۸	نطنز	متوسط	•	
۲۲۹	نورآباد ممسنی	متوسط		•

شماره	نام شهر	نیاز انرژی	نیاز غالب حرارتی	
			گرمایش	سرمایش
۲۳۰	نوژیان	زیاد	•	
۲۳۱	نوشهر	کم	•	
۲۳۲	نهبندان	متوسط	•	•
۲۳۳	نی ریز	کم	•	
۲۳۴	نیشابور	متوسط	•	
۲۳۵	ورامین	متوسط	•	
۲۳۶	ورزنه	متوسط	•	
۲۳۷	ولد آباد	متوسط	•	
۲۳۸	هفت تپه	متوسط		•
۲۳۹	همدان	زیاد	•	
۲۴۰	همگین	متوسط	•	
۲۴۱	همند آبسرد	زیاد	•	
۲۴۲	هوتن (چات)	متوسط	•	
۲۴۳	هویزه	متوسط		•
۲۴۴	یاسوج	متوسط	•	
۲۴۵	یزد	متوسط	•	•

پیوست ۴ گونه‌بندی کاربری ساختمان‌ها

در این مبحث، ساختمان‌ها از لحاظ نوع کاربری، مطابق جدول زیر، به چهار گونه تقسیم شده‌اند. این گونه‌بندی براساس سه عامل زیر تعیین شده است:

۱- تداوم استفاده از ساختمان در طول سال و در طول شبانه‌روز؛

۲- شدت اختلاف دمای احتمالی بین داخل و خارج ساختمان؛

۳- اهمیت تثبیت دمای فضاهای داخل ساختمان.

جدول ۴۱ رده‌بندی انواع کاربری (نحوه تصرف) ساختمان‌ها

نوع کاربری الف	مسکونی، بیمارستان، هتل، مهمانسرا، آسایشگاه، آزمایشگاه، مرکز تحقیقاتی، خوابگاه، زایشگاه، سردخانه
نوع کاربری ب	ایستگاه رادیو و تلویزیون، مرکز اصلی یا فرعی مخابرات، مرکز اصلی یا شعبهٔ بانک، ایستگاه اصلی و مرکز کنترل مترو، بخش اداری ساختمان صنعتی، ساختمان آموزشی، خانهٔ بهداشت، ساختمان پست و پلیس و آتش‌نشانی، مجتمع فنی – حرفه‌ای، سالن غذاخوری، دانشسرا و مرکز تربیت معلم، ساختمان آموزشی دانشگاهی، ساختمان اداری یا تجاری بزرگ، کتابخانه
نوع کاربری ج	مسجد و تکیه، اردوگاه جهانگردی، بنای یادبود، ترمینال فرودگاه بین‌المللی یا داخلی، استادیوم ورزشی سرپوشیده، فروشگاه، تعمیرگاه بزرگ، کارخانه صنعتی (غیر از موارد ذکر شده در کاربری د)، نمایشگاه، باشگاه، تئاتر، سینما، سالن اجتماع و کنفرانس
نوع کاربری د	انبار، تعمیرگاه کوچک، کارگاه کوچک، کارخانهٔ صنعتی اتومبیل‌سازی، نورد و ذوب فلزات، سیلو و مشابه آنها، پارکینگ در طبقات، آشیانهٔ حفاظتی هواپیما، ساختمان ایستگاه وسایل نقلیهٔ زمینی، ساختمان میدان‌های میوه و تره‌بار، ایستگاه فرعی مترو، ترمینال راه‌آهن، پناهگاه، ساختمان کشتارگاه

پیوست ۵ تعیین گروه ساختمان از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی

تعیین گروه ساختمان از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی

جدول ۴۲ تعیین گروه ساختمان‌ها از نظر مصرف انرژی بر حسب عوامل ویژه اصلی

گونه‌بندی کاربری ساختمان (از پیوست ۴)	نیاز انرژی محل استقرار ساختمان (از پیوست ۳)	شهرهای بزرگ (براساس بند ۱۹-۲-۲-۴)		شهرهای کوچک (براساس بند ۱۹-۲-۲-۴)	
		زیربنای بیش از ۱۰۰۰ متر مربع	زیربنای کمتر از ۱۰۰۰ متر مربع	زیربنای بیش از ۱۰۰۰ متر مربع	زیربنای کمتر از ۱۰۰۰ متر مربع
نوع الف	زیاد	گروه ۱		گروه ۲	
	متوسط	گروه ۲		گروه ۳	
	کم	گروه ۳		گروه ۴	
نوع ب	زیاد	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۲	
	متوسط	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۳	
	کم	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۴	
نوع ج	زیاد	گروه ۲		گروه ۲	
	متوسط	گروه ۳		گروه ۳	
	کم	گروه ۴		گروه ۴	
نوع د	زیاد	گروه ۴		گروه ۴	
	متوسط	گروه ۴		گروه ۴	
	کم	گروه ۴		گروه ۴	

مثال۹: تعیین گروه ساختمان

در صورتی که ساختمانی مسکونی در شهر تهران، با سطح زیربنای مفید ۹۹۹ متر مربع مد نظر باشد، تعیین گروه ساختمان به شرح زیر صورت می‌گیرد:

- نوع کاربری یا نحوهٔ تصرف : الف (طبق جدول پیوست ۴)
- سطح نیاز انرژی گرمایی- سرمایی سالانه : متوسط (طبق جدول پیوست ۳)
- سطح زیربنای مفید: کمتر یا مساوی ۱۰۰۰ مترمربع
- شهر محل استقرار ساختمان: شهر بزرگ (تهران هم مرکز استان است و هم جمعیتی بیش از یک میلیون نفر دارد).

با توجه به موارد فوق، طبق جدول پیوست ۵، ساختمان مورد نظر جزو گروه ۲ محسوب می‌شود.

حال اگر ساختمانی اداری در شهر میانه، با سطح زیربنای ۱۲۰۰ متر مربع مد نظر باشد، تعیین گروه ساختمان به شرح زیر صورت می‌گیرد:

- نوع کاربری یا نحوهٔ تصرف: ب (طبق جدول پیوست ۴)
- سطح نیاز انرژی گرمایی- سرمایی سالانه : زیاد (طبق جدول پیوست ۳)
- سطح زیربنای مفید: بیش از ۱۰۰۰ مترمربع
- شهر محل استقرار ساختمان: شهر کوچک (میانه نه مرکز استان است و نه جمعیتی بیش از یک میلیون نفر دارد).

با توجه به موارد فوق، طبق جدول پیوست ۵، ساختمان مورد نظر جزو گروه ۲ محسوب می‌شود.

پیوست ۶ مقادیر فیزیکی اصلی، تعاریف، علایم

مقادیر فیزیکی اصلی، تعاریف، علایم

جدول ۴۳ مقادیر فیزیکی اصلی، تعاریف، علایم

ردیف	مقادیر فیزیکی و تعاریف	معادل انگلیسی	علامت	واحد
۱	**حرارت، مقدار حرارت**	Heat, quantity of heat	Q	J
۲	**توان حرارتی** مقدار حرارتی که در واحد زمان منتقل می‌شود: $\Phi = dQ/dt$	Heat flow rate	Φ	W
۳	**ضریب هدایت حرارتی** توان حرارتی که از لایه‌ای به ضخامت یک متر می‌گذرد اگر اختلاف دما (در حالت پایدار) بین دو طرف لایه برابر یک درجه باشد: $q = -\lambda . \text{grad } T$	Thermal conductivity	λ	W/(m.K)

ردیف	مقادیر فیزیکی و تعاریف	معادل انگلیسی	علامت	واحد
۴	**مقاومت حرارتی سطحی** قابلیت عایق حرارت بودن یک یا چند لایه از جدار و یا کل جدار. مقدار اختلاف دمای لازم، بین دو طرف یک متر مربع از یک لایه یا جدار (در حالت پایدار) تا توان حرارتی برابر با واحد از آن عبور کند: $R = (T_i - T_e)/q$ در مورد لایه‌ای با ضخامت **d** که در آن مقدار **R** ثابت است و یا رابطهٔ خطی با دما دارد: $R = d / \lambda$	Thermal resistance	R	$m^2.K/W$
۵	**ضریب تبادل حرارت در سطح جدار** نسبت شدت جریان حرارت سطحی به اختلاف دما بین سطح جدار و هوای محیط مجاور در حالت پایدار.	Surface coefficient of heat transfer	h	$W/(m^2.K)$
۶	**ضریب انتقال حرارت سطحی** نسبت توان حرارتی به اختلاف دما بین محیط‌های واقع در دو طرف جداری به سطح یک مترمربع، در حالت پایدار: $U = \Phi / ((T_i - T_e) . A)$	Thermal transmittance	U	$W/(m^2.K)$

ردیف	مقادیر فیزیکی و تعاریف	معادل انگلیسی	علامت	واحد
۷	**ضریب انتقال حرارت خطی** نسبت توان حرارتی به اختلاف دما بین محیط‌های واقع در دو طرف جدارهایی دارای یک پل حرارتی به طول یک متر، در حالت پایدار: $\Psi = \Phi / ((T_i - T_e) . L)$	Linear thermal transmittance	Ψ	W/(m.K)
۸	**ضریب انتقال حرارت ساختمان** مقدار انتقال حرارت از ساختمان (یا بخشی از آن) در واحد زمان، اگر اختلاف دمای داخل و خارج آن برابر یک درجه باشد: $H = \Phi / \Delta T$	Coefficient of heat loss	H	W/K
۹	**شاخص خورشیدی**	Solar Index	I_S	m^{-1}

پیوست ۷ ضرایب هدایت حرارت مصالح متداول

مقادیر مندرج در این پیوست در محاسبات هر دو روش طراحی عایق‌کاری حرارتی (الف و ب) به کار می‌رود، مگر آنکه مراجع ذی‌صلاح، با رعایت استانداردهای ملّی، ضرایب حرارتی دیگری برای مصالح، تعیین کرده باشد.

جدول ۴۴ ضرایب هدایت حرارت مصالح متداول

مصالح	وزن مخصوص خشک [kg/m^3]	ضریب هدایت حرارت مؤثر [W/m.K]
۱. اندود و ملات آهکی یا سیمانی	بیش از ۲۰۰۰	۱٫۸۰
	۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰	۱٫۳۰
	۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰	۱٫۰۰
	۱۴۵۰ تا ۱۶۰۰	۰٫۸۰
	۱۲۵۰ تا ۱۴۵۰	۰٫۷۰
	۱۰۰۰ تا ۱۲۵۰	۰٫۵۵
	۷۵۰ تا ۱۰۰۰	۰٫۴۰
	۵۰۰ تا ۷۵۰	۰٫۳۰

مصالح	وزن مخصوص خشک [kg/m³]	ضریب هدایت حرارت مؤثر [W/m.K]
۲. بتن و فرآورده‌های بتنی		
بتن‌های با سنگدانه متداول (سیلیسی، سیلیسی- آهکی و آهکی):		
- متراکم	۲۳۰۰ تا ۲۶۰۰	۲٫۰۰
- متخلخل	۲۰۰۰ تا ۲۳۰۰	۱٫۶۵
	۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰	۱٫۳۵
	۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰	۱٫۱۵
- سبک[1]		
درصد میل‌گرد: بین ۱ تا ۲ درصد	۲۳۰۰ تا ۲۴۰۰	۲٫۳۰
درصد میل‌گرد: بیش از ۲ درصد	بیش از ۲۴۰۰	۲٫۵۰
بتن با سنگدانه سربازه کوره آهن‌گدازی:		
- متراکم:		
- با ماسهٔ رودخانه‌ای یا معدنی	۲۰۰۰ تا ۲۴۰۰	۱٫۴
- با سرباره دانه‌دان	۲۱۰۰ تا ۲۳۰۰	۰٫۸
- متخلخل:		
با کمتر از ۱۰ درصد ماسهٔ رودخانه	۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰	۰٫۷
بتن سبک‌دانه:		
- با پوکهٔ طبیعی یا سرباره متبسط متخلخل (چگالی ظاهری سنگدانه حدود ۷۵۰)[1]:		
- با ذرات ریز یا با ماسه	۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰	۰٫۵۲
	۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰	۰٫۴۴
- بدون ذرات ریز و بدون ماسه	۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰	۰٫۳۵
- با خاکستر بادی سینترشده (چگالی ظاهری سنگدانه حدود ۶۵۰)[1]	۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰	۰٫۳۵
- با سنگدانهٔ سبک پومیس (چگالی ظاهری سنگدانه حدود ۶۰۰)[1]	۹۵۰ تا ۱۱۵۰	۰/۴۶
- با رس منبسط یا شیست منبسط:		
- چگالی ظاهری سنگدانه بیش از ۳۵۰ و عیار سیمان بیش از ۳۰۰[2]		
- با ماسهٔ رودخانه بدون ماسهٔ سبک	۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰	۱٫۰۵
- با ماسهٔ رودخانه و ماسهٔ سبک	۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰	۰٫۸۵
- چگالی ظاهری سنگدانه بین ۳۵۰ و ۵۵۰ و عیار سیمان بیش از ۳۰۰[2]		
- با ماسهٔ سبک و حداکثر ۱۰٪ ماسه رودخانه	۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰	۰٫۷۰

۱. در صورتی که حداقل نیمی از میل‌گردها موازی شار حرارت باشد

۲. واحد اندازه‌گیری چگالی سنگدانه و عیار سیمان کیلوگرم بر مترمکعب است.

مصالح	وزن مخصوص خشک [kg/m³]	ضریب هدایت حرارت مؤثر [W/m.K]
- با ماسهٔ سبک و بدون ماسه رودخانه	۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰	۰٫۴۶
- چگالی ظاهری سنگدانه کمتر از ۳۵۰ و عیار سیمان کمتر از ۲۵۰[2]:		
- با ماسهٔ سبک و بدون ماسهٔ رودخانه	۸۰۰ تا ۱۰۰۰	۰٫۳۳
- بدون ماسه و با عیار سیمان کم	۶۰۰ تا ۸۰۰	۰٫۲۵
	کمتر از ۶۰۰	۰٫۲۰
بتن با سنگدانهٔ بسیار سبک:		
- متشکل از پرلیت یا ورمیکولیت (از ۳ تا ۶ میلیمتر) اجرای درجا:		
- نسبت: ۱ به ۳	۶۰۰ تا ۸۰۰	۰٫۳۱
- نسبت: ۱ به ۶	۴۰۰ تا ۶۰۰	۰٫۲۴
- لایه‌های بتن متشکل از ورمیکولیت ساخته شده در کارخانه	۴۰۰ تا ۴۵۰	۰٫۱۹
بتن هوادار اتوکلاو شده[1]:		
- چگالی اسمی: ۸۰۰	۷۷۵ تا ۸۲۵	۰٫۲۹
- چگالی اسمی: ۷۵۰	۷۲۵ تا ۷۷۵	۰٫۲۷
- چگالی اسمی: ۷۰۰	۶۷۵ تا ۷۲۵	۰٫۲۵
- چگالی اسمی: ۶۵۰	۶۲۵ تا ۶۷۵	۰٫۲۳
- چگالی اسمی: ۶۰۰	۵۷۵ تا ۶۲۵	۰٫۲۱
- چگالی اسمی: ۵۵۰	۵۲۵ تا ۵۷۵	۰٫۱۹
- چگالی اسمی: ۵۰۰	۴۷۵ تا ۵۲۵	۰٫۱۸
- چگالی اسمی: ۴۵۰	۴۲۵ تا ۴۷۵	۰٫۱۶
- چگالی اسمی: ۴۰۰	۳۷۵ تا ۴۲۵	۰٫۱۵
بتن با خرده چوب:		
- ساخته شده با تراشه‌های چوب و سیمان	۴۵۰ تا ۶۵۰	۰٫۱۶
موزاییک	۲۰۰۰ تا ۲۳۰۰	۱٫۶۵
	۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰	۱٫۳۵
۳. بتونهٔ درزها، مواد آب‌بندی و گرماشکنی[2]		
سیلیکون خالص	۱۲۰۰	۰٫۳۵
سیلیکون خمیری	۱۴۵۰	۰٫۵۰
سیلیکون اسفنجی	۷۵۰	۰٫۱۲
پلی‌یورتان	۱۳۰۰	۰٫۲۱
پی‌وی‌سی قابل انعطاف با ۴۰ درصد روان‌ساز	۱۲۰۰	۰٫۱۴
پلی‌یورتان اسفنجی	۷۰	۰٫۰۵
پلی‌اتیلن اسفنجی	۷۰	۰٫۰۵

۱. AAC

۲. Thermal break

مصالح	وزن مخصوص خشک [kg/m³]	ضریب هدایت حرارت مؤثر [W/m.K]
۴. پلیمرهای متراکم متداول در ساختمان		
کائوچو طبیعی	۹۱۰	۰٫۱۳
کائوچو اسفنجی	۷۰	۰٫۰۶
کائوچو سخت	۱۲۰۰	۰٫۱۷
پلی‌ایزو بوتیلن	۹۳۰	۰٫۲۰
پلی‌سولفور	۱۷۰۰	۰٫۴۰
بوتادی‌ان	۹۸۰	۰٫۲۵
آکریلیک	۱۰۵۰	۰٫۲۰
پلی‌آمید (نایلون)	۱۱۵۰	۰٫۲۵
رزین فنلی	۱۳۰۰	۰٫۳۰
رزین پلی‌استر	۱۴۰۰	۰٫۱۹
پلی‌اتیلن چگالی زیاد (HD)	۹۸۰	۰٫۵۰
پلی‌اتیلن چگالی کم (LD)	۹۲۰	۰٫۳۳
پلی‌پروپیلن	۹۱۰	۰٫۲۲
پلی‌پروپیلن با ۲۰ درصد الیاف شیشه	۱۲۰۰	۰٫۲۵
پلی‌استایرن	۱۰۵۰	۰٫۱۶
پلی متیل متاکریلات (آلتوگلاس، پلکسی گلاس) (PMMA)	۱۱۸۰	۰٫۱۸
پلی وینیل کلراید (PVC)	۱۳۹۰	۰٫۱۷
پلی‌کلروپرن (نئوپرن)	۱۲۴۰	۰٫۲۳
بوتیل (ایزو بوتن) سخت با اجرای گرم	۱۲۰۰	۰٫۲۴
اتیلن پروپیلن دین منومر (EPDM)	۱۱۵۰	۰٫۲۵
پلی‌تترا فلوئورو اتیلن (PTFE)	۲۲۰۰	۰٫۲۵
رزین اپوکسی	۱۲۰۰	۰٫۲۰
پلی‌یورتان	۱۲۰۰	۰٫۲۵
پلی‌استات	۱۴۱۰	۰٫۳۰
پلی‌کربنات	۱۲۰۰	۰٫۲۰

مصالح	وزن مخصوص خشک [kg/m³]	ضریب هدایت حرارت مؤثر [W/m.K]
۵. چوب و فراورده‌های گیاهی		
چوب‌های طبیعی:		
- بلوط، الش، زبان گنجشک، زیزفون، فان یاغوشه، درختان میوه‌دار:		
- چگالی نرمال متوسط ۶۵۰ kg/m³ تا ۸۰۰ و رطوبت ۱۵ درصد	۶۰۰ تا ۷۵۰	۰٫۲۳
- چگالی نرمال متوسط ۵۰۰ kg/m³ تا ۶۵۰ و رطوبت ۱۵ درصد	۴۵۰ تا ۶۰۰	۰٫۱۵
- چوب درخت‌های صمغی بسیار سنگین (برگ ریز)		
چگالی طبیعی بیش از ۷۰۰ kg/m³	۶۰۰ تا ۷۵۰	۰٫۲۳
- کاج نقره‌ای، کاج سواحل دریا		
چگالی طبیعی ۵۰۰ kg/m³ تا ۶۰۰	۴۵۰ تا ۶۰۰	۰٫۱۵
- کاج یا صنوبر، ایسه‌آ		
چگالی طبیعی ۳۵۰ kg/m³ تا ۵۰۰	۳۰۰ تا ۴۵۰	۰٫۱۲
- تبریزی، اکومه		
چگالی طبیعی ۳۵۰ kg/m³ تا ۵۰۰	۳۰۰ تا ۴۵۰	۰٫۱۲
چوب‌های طبیعی خاص:		
- بالزا	۶۰ تا ۱۲۰	۰٫۰۵۴
- چوب‌های سنگین	۸۰۰ تا ۱۰۰۰	۰٫۲۹
	۲۵۰ تا ۳۰۰	۰٫۰۶۷
صفحات پایه چوبی:		
- صفحات تخته چندلا	۷۵۰ تا ۹۰۰	۰٫۲۴
	۶۰۰ تا ۷۰۰	۰٫۲۱
	۵۰۰ تا ۶۰۰	۰٫۱۷
	۴۵۰ تا ۵۰۰	۰٫۱۵
	۳۵۰ تا ۴۵۰	۰٫۱۳
	۲۵۰ تا ۳۵۰	۰٫۱۱
	کمتر از ۲۵۰	۰٫۰۹
- صفحات با تراشه‌های پولکی جهت‌یافته (OSB)	کمتر از ۶۵۰	۰٫۱۳
- صفحات با تراشه‌های چسبیده با سیمان	کمتر از ۱۲۰۰	۰٫۲۳
- صفحات با ذرات چوب (نئوپان)	۶۴۰ تا ۸۲۰	۰٫۱۸
	۴۵۰ تا ۶۴۰	۰٫۱۵
	۲۷۰ تا ۴۵۰	۰٫۱۳
	۱۸۰ تا ۴۵۰	۰٫۱۰

مصالح	وزن مخصوص خشک [kg/m³]	ضریب هدایت حرارت مؤثر [W/m.K]
- پانل‌های ساخته‌شده از الیاف چوب	۴۵۰ تا ۵۵۰	۰٫۱۱
	۳۵۰ تا ۴۵۰	۰٫۱۰
	۲۵۰ تا ۳۵۰	۰٫۰۸
چوب پنبه:		
- متراکم	کمتر از ۵۰۰	۰٫۱۰
- انبساط یافتهٔ خالص	۱۰۰ تا ۱۵۰	۰٫۰۴۹
- انبساط یافتهٔ به هم چسبیده با قیر یا با صمغ‌های مصنوعی	۱۵۰ تا ۲۵۰	۰٫۰۵۵
کاه فشرده	۳۰۰ تا ۴۰۰	۰٫۱۲
۶. خاک و خشت		
شن و ماسه	۱۷۰۰ تا ۲۲۰۰	۲٫۰
رس یا لای (سیلت)	۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰	۱٫۵
خشت، گل، خاک تثبیت‌شده، بلوک‌های رسی متراکم	۱۷۷۰ تا ۲۰۰۰	۱٫۱
۷. سفال، کاشی		
چگالی اسمی: ۲۴۰۰	۲۳۰۰ تا ۲۴۰۰	۱٫۰۴
چگالی اسمی: ۲۳۰۰	۲۲۰۰ تا ۲۳۰۰	۰٫۹۸
چگالی اسمی: ۲۲۰۰	۲۱۰۰ تا ۲۲۰۰	۰٫۹۲
چگالی اسمی: ۲۱۰۰	۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰	۰٫۸۵
چگالی اسمی: ۲۰۰۰	۱۹۰۰ تا ۲۰۰۰	۰٫۷۹
چگالی اسمی: ۱۹۰۰	۱۸۰۰ تا ۱۹۰۰	۰٫۷۴
چگالی اسمی: ۱۸۰۰	۱۷۰۰ تا ۱۸۰۰	۰٫۶۹
چگالی اسمی: ۱۷۰۰	۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰	۰٫۶۴
چگالی اسمی: ۱۶۰۰	۱۵۰۰ تا ۱۶۰۰	۰٫۶۰
چگالی اسمی: ۱۵۰۰	۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰	۰٫۵۵
چگالی اسمی: ۱۴۰۰	۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰	۰٫۵۰
چگالی اسمی: ۱۳۰۰	۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰	۰٫۴۶
چگالی اسمی: ۱۲۰۰	۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰	۰٫۴۱
چگالی اسمی: ۱۱۰۰	۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰	۰٫۳۸
چگالی اسمی: ۱۰۰۰	کمتر از ۱۰۰۰	۰٫۳۴

مصالح	وزن مخصوص خشک [kg/m³]	ضریب هدایت حرارت مؤثر [W/m.K]
۸. سنگ‌ها		
سنگ‌های آذرین درونی و دگرگونی:		
- گنایس، پرفیر	۲۳۰۰ تا ۲۹۰۰	۳٫۵
- گرانیت	۲۵۰۰ تا ۲۷۰۰	۲٫۸
- شیست، اسلیت (سنگ لوح)	۲۰۰۰ تا ۲۸۰۰	۲٫۲
سنگ‌های آتشفشانی:		
- بازالت	۲۷۰۰ تا ۳۰۰۰	۱٫۶
- تراکیت، آندزیت	۲۰۰۰ تا ۲۷۰۰	۱٫۱
- سنگ‌های طبیعی متخلخل (گدازه)	کمتر از ۱۶۰۰	۰٫۵۵
سنگ‌های آهکی:		
- مرمر	۲۶۰۰ تا ۲۸۰۰	۳٫۵
- خیلی سخت	۲۲۰۰ تا ۲۵۹۰	۲٫۳
- سخت	۲۰۰۰ تا ۲۱۹۰	۱٫۷
- نیمه سخت	۱۸۰۰ تا ۱۹۹۰	۱٫۴
- نرم با سختی ۲ و ۳	۱۶۰۰ تا ۱۷۹۰	۱٫۱
- خیلی نرم	کمتر از ۱۵۹۰	۰٫۸۵
ماسه سنگ‌ها:		
- کوارتزی	۲۶۰۰ تا ۲۸۰۰	۲٫۶
- سیلیسی	۲۲۰۰ تا ۲۵۹۰	۲٫۳
- آهکی	۲۰۰۰ تا ۲۷۰۰	۱٫۹
سنگ‌های چخماق (فلینت) و سنگ‌های ساینده و پومیس:		
- فلینت	۲۶۰۰ تا ۲۸۰۰	۲٫۶
- سنگ ساینده	۱۹۰۰ تا ۲۵۰۰	۱٫۸
	۱۳۰۰ تا ۱۹۰۰	۰٫۹
- پومیس	کمتر از ۴۰۰	۰٫۱۲
سنگ مصنوعی	۱۷۵۰	۱٫۳

مصالح	وزن مخصوص خشک [kg/m³]	ضریب هدایت حرارت مؤثر [W/m.K]
۹. شیشه و اسفنج شیشه		
شیشه	۲۷۰۰	۱٫۱
اسفنج شیشه (شیشه منخلخل)	۱۲۰ تا ۱۳۰	۰٫۰۵
	۱۳۰ تا ۱۴۰	۰٫۰۵۵
	۱۴۰ تا ۱۸۰	۰٫۰۶۳
۱۰. صفحات سیمانی		
الیافی	۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰	۰٫۹۵
	۱۴۰۰ تا ۱۸۰۰	۰٫۶۵
سلولزی	۱۴۰۰ تا ۱۸۰۰	۰٫۴۶
	۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰	۰٫۳۵
۱۱. عایق‌های حرارتی پلیمری		
پلی‌استایرن منبسط (اصطلاحاً یونولیت یا پلاستوفوم):		
- پلی‌استایرن برش خورده در بلوک‌های قالبی تولید شده به‌صورت منقطع، یا قالب‌گیری شدهٔ ممتد بدون پوستهٔ سطحی	۷ تا ۱۰	۰٫۰۵۶
	۱۰ تا ۱۳	۰٫۰۵۰
	۱۳ تا ۱۵	۰٫۰۴۷
	۱۵ تا ۱۹	۰٫۰۴۴
	۱۹ تا ۲۴	۰٫۰۴۲
	۲۴ تا ۲۹	۰٫۰۴۰
	۲۹ تا ۴۰	۰٫۰۳۹
	بیش از ۴۰	۰٫۰۳۸
- پلی‌استایرن اکسترود شده با حفره‌های پر از:		
- هوا یا گاز کربنیک:		
- ضخامت کمتر یا مساوی ۶۰ میلی‌متر	۲۸ تا ۴۰	۰٫۰۴۱
- ضخامت بیش از ۶۰ میلی‌متر	۲۸ تا ۴۰	۰٫۰۴۶
HCFC -	۲۵ تا ۴۰	۰٫۰۳۵
CFC -		
- بدون پوسته سطحی	۲۵ تا ۴۰	۰٫۰۳۳
- با پوسته سطحی	۲۵ تا ۴۰	۰٫۰۳۱

مصالح	وزن مخصوص خشک [kg/m³]	ضریب هدایت حرارت مؤثر [W/m.K]
پلی‌وینیل کلراید (PVC) منبسط‌شده	۲۵ تا ۳۵	۰٫۰۳۱
	۳۵ تا ۴۸	۰٫۰۳۴
اسفنج پلی‌یورتان یا پلی‌ایزوسیانورات مطابق استاندارد ملّی ایران:		
- صفحات ممتد منبسط شده با گاز HCFC و / یا پنتان:		
- بین پوشش انعطاف‌پذیر نفوذپذیر	۳۷ تا ۴۰	۰٫۰۳۵
- بین پوشش انعطاف‌پذیر آلومینیومی با ضخامت بیش از ۵۰ میکرون یا نفوذ ناپذیر در برابر گاز	۳۷ تا ۴۰	۰٫۰۳۰
- صفحات ممتد برش‌خورده از بلوک‌های منبسط‌شده با گاز HCFC یا پنتان	۳۷ تا ۶۵	۰٫۰۴۱
- صفحات با عایق تزریق‌شده به‌صورت ممتد بین دو ورق فلزی:		
- منبسط شده با گاز HCFC و / یا پنتان	۳۷ تا ۶۰	۰٫۰۳۲
- منبسط شده با حفره‌های پر شده از هوا یا گاز کربنیک	۳۷ تا ۶۰	۰٫۰۳۵
۱۲. عایق‌های حرارتی معدنی		
پشم‌سنگ	۱۵ تا ۲۵	۰٫۰۵۰
	۲۵ تا ۴۰	۰٫۰۴۴
	۴۰ تا ۱۰۰	۰٫۰۴۲
	۱۰۰ تا ۱۲۵	۰٫۰۴۴
	۱۲۵ تا ۱۵۰	۰٫۰۴۶
	۱۵۰ تا ۱۷۵	۰٫۰۴۷
	۱۷۵ تا ۲۰۰	۰٫۰۴۸
پشم‌شیشه	۷ تا ۱۰	۰٫۰۵۵
	۱۰ تا ۱۵	۰٫۰۴۷
	۱۵ تا ۲۰	۰٫۰۴۴
	۲۰ تا ۳۰	۰٫۰۴۱
	۳۰ تا ۴۰	۰٫۰۳۹
	۴۰ تا ۸۰	۰٫۰۳۸
	۸۰ تا ۱۲۰	۰٫۰۳۹
	۱۲۰ تا ۱۵۰	۰٫۰۴۰

مصالح	وزن مخصوص خشک [kg/m۳]	ضریب هدایت حرارت مؤثر [W/m.K]
۱۳. عایق‌های رطوبتی		
قیر خالص	کمتر از ۲۱۰۰	۰٫۷۰
آسفالت (قیر ماسه‌دار)	کمتر از ۲۱۰۰	۱٫۱۵
ورق پیش‌ساخته قیر اصلاح‌شده با مصالح‌کننده	۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰	۰٫۲۳
۱۴. فلزات و آلیاژها		
آهن خالص	۷۸۷۰	۷۲
فولاد	۷۷۸۰	۵۲
چدن	۷۵۰۰	۵۶
آلومینیوم	۲۷۰۰	۲۳۰
آلومینیوم آلیاژی سخت	۲۸۰۰	۱۶۰
مس	۸۹۳۰	۳۸۰
برنج	۸۴۰۰	۱۲۰
سرب	۱۱۳۴۰	۳۵
روی	۷۲۰۰	۱۱۰
۱۵. گچ		
گچ سخت با حداقل میزان آب لازم	۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰	۰٫۵۶
	۹۰۰ تا ۱۲۰۰	۰٫۴۳
گچ اندود داخلی (زنده یا کشته)	۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰	۰٫۵۷
	کمتر از ۱۰۰۰	۰٫۴۰
گچ و خاک	۱۳۰۰ تا ۱۷۰۰	۱٫۱۰
گچ قطعات پیش‌ساختهٔ گچی با روکش مقوایی	۷۵۰ تا ۹۰۰	۰٫۲۵
گچ با سبک‌دانه یا با الیاف معدنی		
گچ با روکش مقوایی ضدآتش و لایه‌های گچ تقویت‌شده با الیاف معدنی	۸۰۰ تا ۱۰۰۰	۰٫۲۵
گچ اندود با پرلیت یا ورمیکولیت (از ۱ تا ۲ میلی‌متر):		
- یک حجم پرلیت یا ورمیکولیت برای یک حجم گچ	۶۰۰ تا ۹۰۰	۰٫۳۰
- دو حجم پرلیت یا ورمیکولیت برای یک حجم گچ	۵۰۰ تا ۶۰۰	۰٫۱۸

پیوست ۸ مقاومت حرارتی لایه‌های هوا و قطعات ساختمانی

مقادیر ارائه‌شده در این پیوست در هر دو روش طراحی عایق‌کاری حرارتی (الف و ب) مبنای محاسبه قرار می‌گیرد، مگر آنکه مراجع ذی‌صلاح، با رعایت استانداردهای ملّی، ضرایب حرارتی دیگری تعیین کرده باشند.

پ۸-۱ مقاومت حرارتی لایهٔ هوای مجاور سطوح داخلی و خارجی

در این قسمت، مقادیر مقاومت حرارتی بین سطوح داخلی و خارجی پوستهٔ خارجی و هوای محیط داخلی یا خارجی (R_o، R_i) به دست داده می‌شود. مقادیر مقاومت حرارتی لایهٔ هوای مجاور سطوح، بسته به زاویهٔ جدار نسبت به سطح افقی، جهت جریان حرارت و نوع فضایی که جدار با آن در تماس است، در جدول ۴۵ آمده است. این مقادیر بر حسب [$m^2.K/W$] هستند.

چنانچه دیوار خارجی دارای لایه یا لایه‌های هوای تهویه‌شده باشد، در محاسبات ضریب انتقال حرارت، تنها لایه‌های بین فضای داخل و لایهٔ هوای تهویه‌شده در نظر گرفته می‌شود. از سوی دیگر، لایهٔ هوا مانند فضای خارج تلقی می‌شود، با این تفاوت که مقاومت حرارتی R_o بین سطح خارجی پوستهٔ خارجی و لایهٔ هوای تهویه‌شده برابر با R_i در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۴۵ مقاومت حرارتی لایهٔ هوای مجاور سطح داخلی (R_i) و لایهٔ هوای مجاور سطح خارجی (R_o) انواع جدارها

زاویهٔ جدار نسبت به سطح افقی	جهت جریان حرارت	جدار در تماس با فضای خارج			جدار در تماس با فضای کنترل‌نشده		
		لایهٔ هوای داخلی	لایهٔ هوای خارجی	جمع لایه‌ها	لایهٔ هوای داخلی	لایهٔ هوای خارجی	جمع لایه‌ها
عمودی یا با زاویهٔ بیش از ۶۰ درجه	افقی	۰٫۱۱	۰٫۰۶	۰٫۱۷	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۲۲
افقی یا با زاویهٔ کمتر از ۶۰ درجه	رو به بالا	۰٫۰۹	۰٫۰۵	۰٫۱۴	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۱۸
	رو به پایین	۰٫۱۷	۰٫۰۵	۰٫۲۲	۰٫۱۷	۰٫۱۷	۰٫۳۴

پ۸-۲ مقاومت حرارتی لایه‌های هوای محبوس

در جدول ۴۶، مقاومت‌های حرارتی لایه‌های هوای محبوس بین دو لایهٔ جامد جدار پوستهٔ خارجی، بسته به زاویه جدار و ضخامت لایهٔ هوا، آمده است.

جدول ۴۶ مقاومت حرارتی انواع لایه‌های هوای محبوس بین دو لایه جامد جدار پوستهٔ خارجی

زاویهٔ لایهٔ هوا نسبت به سطح افقی	جهت جریان حرارت	ضخامت لایهٔ هوا (میلی‌متر)					
		۵ تا ۷	۷٫۱ تا ۹	۹٫۱ تا ۱۱	۱۱٫۱ تا ۱۳	۱۴ تا ۲۴	۲۵ تا ۵۰	۵۱ تا ۱۰۰
عمودی یا با زاویهٔ بیش از ۶۰ درجه	افقی	۰٫۱۱	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۱۶
افقی یا با زاویهٔ کمتر از ۶۰ درجه	رو به بالا	۰٫۱۱	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۱۴
	رو به پایین	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۱۶	۰٫۱۸	۰٫۲۰

پ۸-۳ مقاومت حرارتی برخی لایه‌های عناصر ساختمانی متداول

در این بخش، مقادیر مقاومت‌های حرارتی برخی لایه‌های غیرهمگن عناصر ساختمانی متداول بر حسب [$m^2.K/W$] آمده است.

پ۸-۳-۱ آجر پلاک (تما)

جدول ۴۷ مقاومت حرارتی آجر پلاک در تما

لایهٔ ساختمانی	ضخامت (سانتی‌متر)	مقاومت حرارتی
آجر پلاک در تما	۳ تا ۴	۰٫۰۳

پ۸-۳-۲ آجر توپر (دیوار)

ابعاد متداول هر آجر: ضخامت: ۵٫۵ سانتی‌متر
عرض: ۱۰ تا ۱۱ سانتی‌متر
طول: ۲۰ تا ۲۲ سانتی‌متر

وزن مخصوص مادهٔ آجر: ۱۷۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

جدول ۴۸ مقادیر مقاومت حرارتی لایهٔ ساختمانی آجر توپر در دیوار

شکل آجرچینی مقطع افقی	ضخامت جدار (سانتی‌متر)			
	۵٫۵	۱۰٫۵	۲۲	۳۵
	۰٫۰۵	۰٫۰۹		
			۰٫۲۰	
				۰٫۳۰

پ۸-۳-۳ آجر سوراخ‌دار (دیوار)

ابعاد متداول هر آجر: ضخامت: ۵٫۵ سانتی‌متر

عرض: ۱۰ تا ۱۱ سانتی‌متر

طول: ۲۰ تا ۲۲ سانتی‌متر

وزن مخصوص مادهٔ سفالی: ۱۷۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

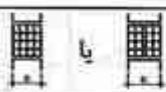
درصد روزنه‌ها: ۲۵ تا ۴۰ درصد

جدول ۴۹ مقادیر مقاومت حرارتی لایهٔ ساختمانی آجر سوراخ‌دار در دیوار

شکل آجرچینی مقطع افقی	ضخامت جدار (سانتی‌متر) ۱۰٫۵	۲۲	۳۵
	۰٫۱۳		
		۰٫۲۸	
			۰٫۴۲

پ۸-۳-۴ بلوک سفالی (دیوار)

جدول ۵۰ مقادیر مقاومت حرارتی بلوک سفالی در دیوار

شکل بلوک مقطع افقی	ضخامت جدار (سانتی‌متر) ۷٫۵	۱۰٫۵	۱۲٫۵	۱۵	۲۰	۴۰
	۰٫۱۶	۰٫۲۰				
			۰٫۲۷	۰٫۳۰		
 یا					۰٫۳۹	۰٫۷۸

پ۸-۳-۵ بلوک سیمانی (دیوار)

جدول ۵۱ مقادیر مقاومت حرارتی بلوک سیمانی در دیوار

شکل بلوک مقطع افقی	ضخامت جدار (سانتی‌متر) ۷٫۵	۱۰٫۵	۱۵	۲۰	۴۰
	۰٫۰۷	۰٫۰۹			
			۰٫۱۴	۰٫۱۹	
					۰٫۳۲

پ۸-۳-۶ تیرچه و بلوک سفالی (سقف)

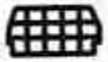
فاصلهٔ محور تا محور تیرچه‌ها: ۵۰ سانتیمتر

ضخامت بدنهٔ سفالی بلوک: ۸ تا ۱۰ میلیمتر

وزن مخصوص خشک مادهٔ سفالی بلوک: ۱۷۰۰ تا ۲۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب

پوشش بتنی روی تیرچه: ۵ سانتی‌متر بتن یا سنگدانهٔ معمولی (سنگین)

جدول ۵۲ مقادیر مقاومت حرارتی سقف تیرچهٔ بلوک سفالی

شکل بلوک مقطع افقی	ارتفاع بلوک (سانتی‌متر) ۲۰	۲۵
	۰٫۲۶	
		۰٫۳۵

پ۸-۳-۷ تیرچه و بلوک سیمانی (سقف)

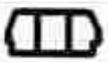
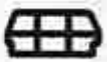
فاصلهٔ محور تا محور تیرچه‌ها: ۵۰ سانتیمتر

ضخامت بدنهٔ سفالی بلوک: ۱۵ تا ۳۰ میلیمتر

وزن مخصوص خشک مادهٔ سیمانی بلوک: ۱۹۵۰ تا ۲۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب

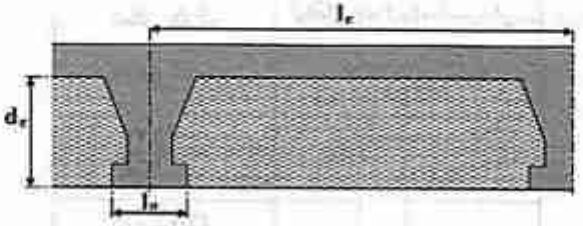
پوشش بتنی روی تیرچه: ۵ سانتی‌متر بتن با سنگدانهٔ معمولی (سنگین)

جدول ۵۳ مقادیر مقاومت حرارتی سقف تیرچه بلوک سیمانی

شکل بلوک مقطع افقی	ارتفاع بلوک (سانتی‌متر) ۲۰	۲۵
	۰٫۱۵	
		۰٫۲۵

پ۸-۳-۸ تیرچه و بلوک پلی‌استایرن منبسط (سقف)

با توجه کم بودن ضریب هدایت حرارت پلی‌استایرن منبسط، شکل بلوک دارای اهمیت خاصی است. برای تیرچه بلوک‌های ساده، با مقطعی مشابه شکل ۲۲، مقاومت‌های حرارتی سقف تیرچه و بلوک با استفاده از جدول ۵۴ تعیین می‌شود.

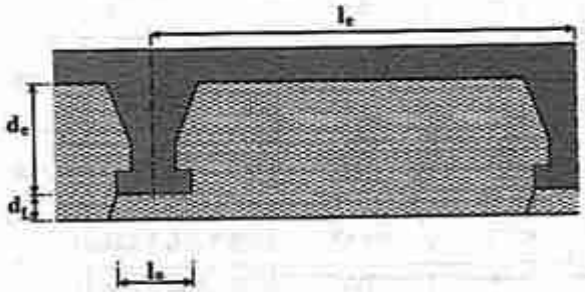


شکل ۲۲ تیرچه و بلوک پلی‌استایرن ساده

جدول ۵۴ مقادیر مقاومت حرارتی R_t سقف تیرچه و بلوک پلی‌استایرن ساده

ارتفاع بلوک d_e (cm)	عرض پاشنهٔ تیرچه l_w (mm)	فاصلهٔ محور به محور تیرچه‌ها l_e (cm)		
		$۶۰ > l_e > ۵۵$	$۶۳ > l_e > ۶۱$	$l_e > ۶۴$
۲۰	$۱۲۴ > l_e > ۹۵$	۰٫۶۸	۰٫۷۴	۰٫۷۷
	$۱۴۰ > l_e > ۱۲۵$	۰٫۵۹	۰٫۶۵	۰٫۶۸
۲۵	$۱۲۴ > l_e > ۹۵$	۰٫۷۹	۰٫۸۶	۰٫۹۰
	$۱۴۰ > l_e > ۱۲۵$	۰٫۶۹	۰٫۷۶	۰٫۷۹
۳۰	$۱۲۴ > l_e > ۹۵$	۰٫۹۱	۰٫۹۹	۱٫۰۳
	$۱۴۰ > l_e > ۱۲۵$	۰٫۷۹	۰٫۸۷	۰٫۹۱

در صورت وجود زبانه‌ای برای پوشش زیر تیرچه، در بخش تحتانی بلوک (شکل ۲۳)، مقاومت حرارتی سقف با استفاده از جدول ۵۵ تعیین می‌گردد.



شکل ۲۳ نمونهٔ سقف تیرچه و بلوک پلی‌استایرن با پاشنه

جدول ۵۵ مقادیر مقاومت حرارتی سقف تیرچه و بلوک پلی‌استایرن با پاشنه

ارتفاع پاشنه d_L (mm)	ارتفاع بلوک از روی پاشنه d_c (cm)	عرض پاشنهٔ تیرچه l (mm)	فاصلهٔ محور به محور تیرچه‌ها l_e (cm)		
			$۵۵ < l_e < ۶۰$	$۶۱ < l_e < ۶۳$	$۶۴ < l_e$
۳۰	۱۲	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۱٫۸۲	۱٫۹۰	۱٫۹۴
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۱٫۷۲	۱٫۸۰	۱٫۸۴
	۱۵	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۱٫۹۴	۲٫۰۳	۲٫۰۸
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۱٫۸۲	۱٫۸۹	۱٫۹۳
	۱۷	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۰۰	۲٫۱۱	۲٫۱۶
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۱٫۸۸	۱٫۹۸	۲٫۰۴
	۲۰	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۰۸	۲٫۱۹	۲٫۲۶
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۱٫۹۵	۱٫۰۶	۲٫۱۲
	۲۵	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۲۵	۲٫۳۷	۲٫۴۵
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۱۱	۱٫۱۵	۲٫۳۰
	۳۰	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۴۱	۲٫۵۴	۲٫۶۲
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۲۷	۱٫۲۳	۲٫۴۶
۴۰	۱۲	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۰۷	۲٫۱۵	۲٫۱۹
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۱٫۹۷	۲٫۰۵	۲٫۰۹
	۱۵	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۳۰	۲٫۲۹	۲٫۳۴
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۰۸	۲٫۱۷	۲٫۲۱
	۱۷	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۲۶	۲٫۳۷	۲٫۴۳
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۱۴	۲٫۲۴	۲٫۳۰
	۲۰	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۳۵	۲٫۴۶	۲٫۵۳
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۲۱	۲٫۳۳	۲٫۳۹
	۲۵	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۵۴	۲٫۶۶	۲٫۷۴
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۴	۲٫۵۲	۲٫۵۹
	۳۰	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۷۳	۲٫۸۵	۲٫۹۳
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۵۸	۲٫۷۰	۲٫۷۷

ادامهٔ جدول ۵۵ مقادیر مقاومت حرارتی سقف تیرچه و بلوک پلی‌استایرن با پاشنه

ارتفاع پاشنه d_L (mm)	ارتفاع بلوک از روی پاشنه d_c (cm)	عرض پاشنهٔ تیرچه l (mm)	فاصلهٔ محور به محور تیرچه‌ها l_e (cm)		
			$۵۵ < l_e < ۶۰$	$۶۱ < l_e < ۶۳$	$۶۴ < l_e$
۵۰	۱۲	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۳۲	۲٫۴۰	۲٫۴۴
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۲۲	۲٫۳۰	۲٫۳۵
	۱۵	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۴۵	۲٫۵۵	۲٫۶۰
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۳۳	۲٫۴۳	۲٫۴۹
	۱۷	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۵۱	۲٫۶۲	۲٫۶۹
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۳۹	۲٫۵۰	۲٫۵۷
	۲۰	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۶۰	۲٫۷۳	۲٫۸۰
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۴۷	۲٫۵۹	۲٫۶۶
	۲۵	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۸۱	۲٫۹۶	۳٫۰۳
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۶۸	۲٫۸۰	۲٫۸۸
	۳۰	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۳٫۰۲	۳٫۱۷	۳٫۲۵
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۸۸	۳٫۰۱	۳٫۰۹
۶۰	۱۲	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۵۵	۲٫۶۳	۲٫۶۷
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۴۵	۲٫۵۳	۲٫۵۸
	۱۵	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۶۹	۲٫۷۸	۲٫۸۳
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۵۷	۲٫۶۷	۲٫۷۳
	۱۷	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۷۵	۲٫۸۶	۲٫۹۲
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۶۳	۲٫۷۴	۲٫۸۰
	۲۰	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۲٫۸۵	۲٫۹۷	۳٫۰۴
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۷۱	۲٫۸۴	۲٫۹۱
	۲۵	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۳٫۰۹	۳٫۲۱	۳٫۲۹
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۲٫۹۴	۳٫۰۸	۳٫۱۵
	۳۰	$۹۵ < l_e < ۱۲۴$	۳٫۳۱	۳٫۴۴	۳٫۵۲
		$۱۲۵ < l_e < ۱۴۰$	۳٫۱۶	۳٫۳۰	۳٫۳۸

پیوست ۹ ضرایب انتقال حرارت جدارهای نورگذر و بازشوها

در این پیوست، به ترتیب، ضرایب انتقال حرارت شیشه‌ها، جدارهای نورگذر و درها درج می‌گردد. برای تعیین ضرایب انتقال حرارت جدارهای نورگذر، باید به بخش‌های پ۹-۱ و پ۹-۲ که به ترتیب مربوط به شیشه‌ها و جدارهای نورگذر هستند، رجوع شود. نحوهٔ تعیین ضرایب انتقال حرارت جدارهای نورگذر، در بخش پ۹-۳، در قالب دو مثال، توضیح داده شده است. ضرایب انتقال حرارت درها نیز در بخش پ۹-۴ آمده است.

مقادیر درج‌شده در این پیوست برای هر دو روش طراحی عایق‌کاری حرارتی (الف و ب) مبنای محاسبه است، مگر آنکه ضرایب انتقال حرارت دیگری، توسط مراجع ذی‌صلاح، با رعایت استانداردهای ملّی، تعیین شده باشد. همهٔ مقادیر بر حسب $W/m^2.K$ هستند.

پ۹-۱ ضریب انتقال حرارت شیشه‌ها

ضرایب انتقال حرارت شیشه‌ها (U_{gl})، که در جدول ۵۶ تا جدول ۶۱ این بخش آمده است، مربوط به شیشه‌های با ضخامت ۴ میلی‌متر، در دو حالت عمودی و افقی، است. مقادیر ضرایب انتقال حرارت مربوط به گسیلندگی‌های بینابینی را می‌توان با درون‌یابی مقادیر داده‌شده در جدول محاسبه کرد.

برای مجموعه شیشه‌های چندجداره، با گازی غیر از هوا در فضای بین دو شیشه، تنها غلظت ۸۵ درصد[1] در نظر گرفته شده است. بدیهی است مقادیر مربوط تنها در صورتی ملاک عمل است

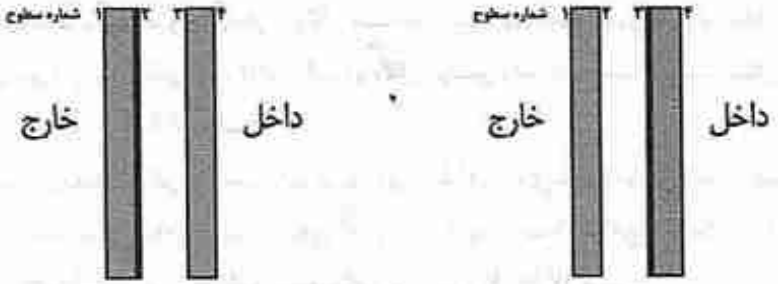
۱. ۸۵ درصد گاز خنثی و ۱۵ درصد هوای خشک

که تولیدات مربوط دارای گواهی‌نامهٔ مؤید وجود گاز و حفظ آن در طول دورهٔ بهره‌برداری باشد. در غیر این صورت، لازم است مقادیر مربوط به هوا ملاک قرار گیرد.

همچنین ضرایب گسیلندگی عمود مفید شیشه‌ها، که توسط تولیدکننده اعلام می‌شود، باید به تأیید مرجعی معتبر رسیده باشد. در غیر این صورت، نباید گسیلندگی کم برای شیشه منظور شود.

لازم است توضیح داده شود که پوشش کم‌گسیل را می‌توان، در مراحل تولید، مستقیماً روی شیشه، یا بر فیلمی که روی شیشه چسبانده می‌شود، نشاند.

برای آنکه مجموعه شیشه‌های کم‌گسیل اثربخشی لازم را دارا باشد، ضروری است پوشش کم‌گسیل، در مناطق با نیاز گرمایی زیاد روی سطح ۳ (شکل ۲۴، سمت راست) و در مناطق با نیاز سرمایی زیاد روی سطح ۲ قرار گیرد (شکل ۲۴، سمت چپ).



شکل ۲۴ محل قرارگیری پوشش کم‌گسیل در مناطق سردسیر (سمت راست) و گرمسیر (سمت چپ)

پ۹-۱-۱ شیشه‌های ساده

در مورد شیشه‌های ساده (تک‌جداره)، برای هر ضخامت، ضریب انتقال حرارت برابر است با:

در حالتی که جدار عمودی است $U_{gl} = ۵٫۸ \ [W/(m^۲.K)]$

در حالتی که جدار افقی است $U_{gl} = ۶٫۹ \ [W/(m^۲.K)]$

پ۹-۱-۲ شیشه‌های دوجدارهٔ عمودی

جدول ۵۶ مقادیر ضریب انتقال حرارت شیشه‌های دوجدارهٔ عمودی پرشده با هوا (۱۰۰ درصد)

ضخامت لایهٔ هوا [mm]	ضریب انتقال حرارت U_{gl} [W/(m².K)]							
	شیشه‌های عادی	شیشه‌های کم‌گسیل با گسیلندگی عمود مفید ε_n						
		۰٫۰۵	۰٫۱۰	۰٫۱۵	۰٫۲۰	۰٫۲۵	۰٫۳۰	۰٫۳۵	۰٫۴۰
۶	۳٫۳	۳٫۵	۳٫۶	۳٫۶	۳٫۷	۳٫۸	۳٫۸	۳٫۹	۳٫۹
۸	۳٫۱	۳٫۱	۳٫۲	۳٫۳	۳٫۴	۳٫۵	۳٫۵	۳٫۶	۳٫۷
۱۰	۲٫۹	۱٫۹	۲٫۰	۳٫۱	۳٫۲	۳٫۳	۳٫۳	۳٫۴	۳٫۵
۱۲	۲٫۸	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴
۱۴	۲٫۷	۱٫۵	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۳	۲٫۳
۱۶	۲٫۷	۱٫۴	۱٫۶	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲
۱۸	۲٫۷	۱٫۴	۱٫۶	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲
۲۰	۲٫۷	۱٫۵	۱٫۶	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲

جدول ۵۷ مقادیر ضریب انتقال حرارت شیشه‌های دوجدارهٔ عمودی پرشده با آرگون (۸۵ درصد)

ضخامت لایهٔ هوا [mm]	ضریب انتقال حرارت U_{gl} [W/(m².K)]							
	شیشه‌های عادی	شیشه‌های کم‌گسیل با گسیلندگی عمود مفید ε_n						
		۰٫۰۵	۰٫۱۰	۰٫۱۵	۰٫۲۰	۰٫۲۵	۰٫۳۰	۰٫۳۵	۰٫۴۰
۶	۳٫۱	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۶
۸	۲٫۹	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۳	۲٫۴
۱۰	۲٫۸	۱٫۵	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳
۱۲	۲٫۷	۱٫۴	۱٫۵	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۱
۱۴	۲٫۶	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۵	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱
۱۶	۲٫۶	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۵	۱٫۶	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۰
۱۸	۲٫۶	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۵	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۰
۲۰	۲٫۶	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۵	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱

جدول ۵۸ مقادیر ضریب انتقال حرارت شیشه‌های دوجدارهٔ عمودی پرشده با کریپتون (۸۵ درصد)

ضخامت لایهٔ هوا [mm]	ضریب انتقال حرارت U_{gl} [W/(m².K)]							
	شیشه‌های عادی	شیشه‌های کم‌گسیل با گسیلندگی عمود مفید ε_n						
		۰٫۰۵	۰٫۱۰	۰٫۱۵	۰٫۲۰	۰٫۲۵	۰٫۳۰	۰٫۳۵	۰٫۴۰
۶	۲٫۸	۱٫۶	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳
۸	۲٫۷	۱٫۳	۱٫۵	۱٫۶	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱
۱۰	۲٫۶	۱٫۲	۱٫۳	۱٫۵	۱٫۶	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰
۱۲	۲٫۶	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۵	۱٫۶	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰
۱۴	۲٫۶	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۵	۱٫۶	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۰
۱۶	۲٫۶	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۵	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۰
۱۸	۲٫۶	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۵	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱
۲۰	۲٫۶	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۵	۱٫۷	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱

پ۹-۱-۳ شیشه‌های دوجدارهٔ افقی (سقفی)

جدول ۵۹ مقادیر ضریب انتقال حرارت شیشه‌های دوجدارهٔ افقی (سقفی) پرشده با هوا (۱۰۰ درصد)

ضخامت لایهٔ هوا [mm]	ضریب انتقال حرارت U_{gl} [W/(m².K)]							
	شیشه‌های عادی	شیشه‌های کم‌گسیل با گسیلندگی عمود مفید ε_n						
		۰٫۰۵	۰٫۱۰	۰٫۱۵	۰٫۲۰	۰٫۲۵	۰٫۳۰	۰٫۳۵	۰٫۴۰
۶	۳٫۶	۲٫۷	۲٫۸	۲٫۹	۳٫۰	۳٫۰	۳٫۱	۳٫۲	۳٫۲
۸	۳٫۵	۳٫۴	۳٫۵	۳٫۶	۲٫۷	۲٫۸	۲٫۸	۲٫۹	۳٫۰
۱۰	۳٫۴	۲٫۳	۳٫۴	۳٫۶	۳٫۶	۲٫۷	۲٫۸	۲٫۹	۲٫۹
۱۲	۳٫۴	۲٫۳	۳٫۴	۲٫۵	۳٫۶	۲٫۷	۲٫۸	۲٫۸	۲٫۹
۱۴	۳٫۴	۲٫۳	۳٫۴	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۷	۲٫۷	۲٫۸	۲٫۹
۱۶	۳٫۴	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۶	۲٫۷	۲٫۸	۲٫۹
۱۸	۳٫۴	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۷	۲٫۸	۲٫۹
۲۰	۳٫۳	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۷	۲٫۸	۲٫۹

جدول ۶۰ مقادیر ضریب انتقال حرارت شیشه‌های دوجدارهٔ افقی (سقفی) پرشده با آرگون (۸۵ درصد)

ضخامت لایهٔ هوا [mm]	ضریب انتقال حرارت U_{gl} [W/(m².K)]							
	شیشه‌های عادی	شیشه‌های کم‌گسیل با گسیلندگی عمود مفید ε_n						
		۰٫۰۵	۰٫۱۰	۰٫۱۵	۰٫۲۰	۰٫۲۵	۰٫۳۰	۰٫۳۵	۰٫۴۰
۶	۳٫۴	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۵	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۷	۲٫۸	۲٫۹
۸	۳٫۳	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۶	۲٫۷
۱۰	۳٫۲	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۷
۱۲	۳٫۲	۱٫۹	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۷
۱۴	۳٫۲	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۶
۱۶	۳٫۲	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶
۱۸	۳٫۲	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶
۲۰	۳٫۲	۱٫۸	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶

جدول ۶۱ مقادیر ضریب انتقال حرارت شیشه‌های دوجدارهٔ افقی (سقفی) پرشده با کریپتون (۸۵ درصد)

ضخامت لایهٔ هوا [mm]	ضریب انتقال حرارت U_{gl} [W/(m².K)]							
	شیشه‌های عادی	شیشه‌های کم‌گسیل با گسیلندگی عمود مفید ε_n						
		۰٫۰۵	۰٫۱۰	۰٫۱۵	۰٫۲۰	۰٫۲۵	۰٫۳۰	۰٫۳۵	۰٫۴۰
۶	۳٫۲	۱٫۹	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۶
۸	۳٫۲	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۴	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶
۱۰	۳٫۲	۱٫۸	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶
۱۲	۳٫۱	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶
۱۴	۳٫۱	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۵
۱۶	۳٫۱	۱٫۷	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵
۱۸	۳٫۱	۱٫۷	۱٫۹	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵
۲۰	۳٫۱	۱٫۷	۱٫۸	۲٫۰	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵

پ۹-۲ ضرایب انتقال حرارت جدارهای نورگذر

پ۹-۲-۱ جدارهای نورگذر دارای شیشهٔ تک‌جدارهٔ ساده

اگر جدار نورگذر با شیشهٔ تک‌جدارهٔ ساده و با قاب فولادی یا آلومینیومی معمولی ساخته شده باشد، ضریب انتقال حرارت متوسط بازشو برابر است با:

در حالتی که جدار عمودی است $U_G = ۵٫۸$ [W/(m^۲.K)]

در حالتی که جدار افقـی است $U_G = ۶٫۹$ [W/(m^۲.K)]

در پنجره‌های چوبی، اثر قاب تنها با شیشه‌های چندجداره در نظر گرفته می‌شود؛ و در صورت کاربرد آن با شیشهٔ تک‌جداره، ضرایب همانند قاب‌های فولادی و آلومینیومی ساده به کار برده می‌شود.

پ۹-۲-۲ جدارهای نورگذر دارای انواع شیشهٔ دوجداره

برای محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت یک جدار نورگذر دارای شیشهٔ دوجداره (U_G)، لازم است، علاوه بر مقدار ضریب انتقال حرارت متوسط بخش شیشه‌ای (U_{gl})، ضریب انتقال حرارت قاب بازشو (U_{fr}) نیز مشخص شود. در تعیین ضرایب انتقال حرارت جدارهای نورگذر، نکات زیر باید در نظر قرار گیرد:

- برای ضریب انتقال حرارت متوسط قاب بازشو فلزی با حرارت‌شکن، سه مقدار ۳٫۰، ۴٫۰ و ۵٫۰ [W/(m^۲.K)] در نظر گرفته شده است. در صورتی که مشخصات حرارتی قاب‌ها در گواهی‌نامه فنی ارائه نشده باشد، ضریب انتقال حرارت متوسط قاب فلزی با قطع حرارتی، برابر ۵٫۰ [W/(m^۲.K)] در نظر گرفته می‌شود.
- برای ضریب انتقال حرارت متوسط قاب بازشو پی‌وی‌سی، سه مقدار ۱٫۵، ۱٫۸ و ۲٫۵ [W/(m^۲.K)] در نظر گرفته شده است. در صورتی که مشخصات حرارتی قاب‌ها در گواهی‌نامه فنی ارائه نشده باشد، ضریب انتقال حرارت متوسط قاب پی‌وی‌سی، برابر ۲٫۵ [W/(m^۲.K)] در نظر گرفته می‌شود.

- برای ضریب هدایت حرارت متوسط قاب بازشو چوبی، دو مقدار ۰٫۱۳ و ۰٫۱۸ [W/(m.K)] در نظر گرفته شده است. در صورتی که مشخصات حرارتی قاب‌ها در گواهی‌نامه فنی ارائه نشده باشد، ضریب هدایت حرارت متوسط قاب چوبی، برابر ۰٫۱۸ [W/(m.K)] در نظر گرفته می‌شود.
- در جدول‌های تعیین ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر (جدول ۶۲ تا جدول ۶۴)، ضریب انتقال حرارت متوسط بخش شیشه‌ای (ساده یا کم‌گسیل) بین ۱٫۲ و ۲٫۹ [W/(m^۲.K)] در نظر گرفته شده‌است. در صورتی که ضریب انتقال حرارت متوسط شیشه‌ای بیش از ۲٫۹ باشد، در جدول مربوط به قاب مورد استفاده، ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر با برون‌یابی اعداد ارائه‌شده تعیین می‌شود.

در جدول ۶۲ تا جدول ۶۴، ضرایب انتقال حرارت جدارهای نورگذر (U_G)، بر حسب نوع بازشو، ضریب انتقال حرارت شیشه (U_{gl}) و نوع و ضریب انتقال حرارت قاب (U_{fr})، درج شده است.

جدول ۶۲ (ص ۱۵۶) مربوط به پنجره‌های با قاب فلزی حرارت شکن، جدول ۶۳ (ص ۱۵۸) مربوط به پنجره‌های با قاب پی‌وی‌سی و جدول ۶۴ (ص ۱۶۱) مربوط به پنجره‌های با قاب چوبی است.

جدول ۶۲ ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر با قاب فلزی حرارت‌شکن U_G بر حسب U_{gl} و U_{fr}

نوع جدار نورگذر	U_{gl} بخش نورگذر [W/m².K]	U_G جدار نورگذر بر حسب U_{fr} قاب [W/m².K]		
		$U_{fr}=۳,۰$	$U_{fr}=۴,۰$	$U_{fr}=۵,۰$
پنجرهٔ لولایی	۱,۲	۲,۲	۲,۵	۲,۹
	۱,۳	۲,۳	۲,۶	۲,۹
	۱,۴	۲,۳	۲,۷	۳
	۱,۵	۲,۴	۲,۷	۳,۱
	۱,۶	۲,۵	۲,۸	۳,۱
	۱,۷	۲,۵	۲,۹	۳,۲
	۱,۸	۲,۶	۲,۹	۳,۳
	۱,۹	۲,۷	۳	۳,۳
	۲	۲,۷	۳	۳,۴
	۲,۱	۲,۷	۳	۳,۴
	۲,۲	۲,۸	۳,۱	۳,۴
	۲,۳	۲,۸	۳,۲	۳,۵
	۲,۴	۲,۹	۳,۲	۳,۶
	۲,۵	۳	۳,۳	۳,۶
	۲,۶	۳	۳,۴	۳,۷
	۲,۷	۳,۱	۳,۴	۳,۸
	۲,۸	۳,۱	۳,۵	۳,۸
	۲,۹	۳,۲	۳,۶	۳,۹
در پنجره‌ای لولایی	۱,۲	۲,۱	۲,۴	۲,۷
	۱,۳	۲,۲	۲,۵	۲,۸
	۱,۴	۲,۲	۲,۵	۲,۸
	۱,۵	۲,۳	۲,۶	۲,۹
	۱,۶	۲,۴	۲,۷	۳
	۱,۷	۲,۵	۲,۷	۳
	۱,۸	۲,۵	۲,۸	۳,۱
	۱,۹	۲,۶	۲,۹	۳,۲
	۲	۲,۶	۲,۹	۳,۲
	۲,۱	۲,۶	۲,۹	۳,۲
	۲,۲	۲,۷	۳	۳,۳
	۲,۳	۲,۸	۳,۱	۳,۴
	۲,۴	۲,۹	۳,۱	۳,۴
	۲,۵	۲,۹	۳,۲	۳,۵
	۲,۶	۳	۳,۳	۳,۶
	۲,۷	۳,۱	۳,۴	۳,۶
	۲,۸	۳,۱	۳,۴	۳,۷
	۲,۹	۳,۲	۳,۵	۳,۸

ادامهٔ جدول ۶۲ ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر با قاب فلزی حرارت‌شکن U_G بر حسب U_{gl} و U_{fr}

نوع جدار نورگذر	U_{gl} بخش نورگذر [W/m².K]	U_G جدار نورگذر بر حسب U_{fr} قاب [W/m².K]		
		$U_{fr}=۳,۰$	$U_{fr}=۴,۰$	$U_{fr}=۵,۰$
پنجرهٔ کشویی	۱,۲	-	۲,۳	۲,۶
	۱,۳	-	۲,۴	۲,۶
	۱,۴	-	۲,۵	۲,۷
	۱,۵	-	۲,۵	۲,۸
	۱,۶	-	۲,۶	۲,۹
	۱,۷	-	۲,۷	۲,۹
	۱,۸	-	۲,۸	۳
	۱,۹	-	۲,۸	۳,۱
	۲	-	۲,۹	۳,۱
	۲,۱	-	۲,۹	۳,۱
	۲,۲	-	۲,۹	۳,۲
	۲,۳	-	۳	۳,۳
	۲,۴	-	۳,۱	۳,۴
	۲,۵	-	۳,۲	۳,۴
	۲,۶	-	۳,۲	۳,۵
	۲,۷	-	۳,۳	۳,۶
	۲,۸	-	۳,۴	۳,۷
	۲,۹	-	۳,۵	۳,۷
در پنجره‌ای کشویی	۱,۲	-	۳,۱	۳,۳
	۱,۳	-	۳,۲	۳,۴
	۱,۴	-	۳,۳	۳,۵
	۱,۵	-	۳,۴	۳,۶
	۱,۶	-	۳,۵	۳,۷
	۱,۷	-	۳,۵	۳,۷
	۱,۸	-	۳,۶	۳,۸
	۱,۹	-	۳,۷	۳,۹
	۲	-	۳,۸	۳
	۲,۱	-	۳,۸	۳
	۲,۲	-	۳,۸	۳
	۲,۳	-	۳,۹	۳,۱
	۲,۴	-	۳	۳,۲
	۲,۵	-	۳,۱	۳,۳
	۲,۶	-	۳,۲	۳,۴
	۲,۷	-	۳,۲	۳,۴
	۲,۸	-	۳,۳	۳,۵
	۲,۹	-	۳,۴	۳,۶

جدول ۶۳ ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر با قاب پی‌وی‌سی U_G بر حسب U_{gl} و U_{fr}

نوع جدار نورگذر	U_{gl} بخش نورگذر [W/m².K]	U_G جدار نورگذر بر حسب U_{fr} قاب [W/m².K]		
		$U_{fr}=۱٫۵$	$U_{fr}=۱٫۸$	$U_{fr}=۲٫۵$
پنجرهٔ کشویی	۱٫۲	۱٫۶	۱٫۷	۲
	۱٫۳	۱٫۷	۱٫۸	۲٫۱
	۱٫۴	۱٫۷	۱٫۹	۲٫۱
	۱٫۵	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۲
	۱٫۶	۱٫۹	۲	۲٫۳
	۱٫۷	۲	۲	۲٫۳
	۱٫۸	۲	۲٫۱	۲٫۴
	۱٫۹	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۴
	۲	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۵
	۲٫۱	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۵
	۲٫۲	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۵
	۲٫۳	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۶
	۲٫۴	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۶
	۲٫۵	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۷
	۲٫۶	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۸
	۲٫۷	۲٫۶	۲٫۶	۲٫۹
	۲٫۸	۲٫۶	۲٫۷	۲٫۹
	۲٫۹	۲٫۷	۲٫۸	۳
در پنجره‌ای لولایی	۱٫۲	۱٫۶	۱٫۷	۲
	۱٫۳	۱٫۷	۱٫۸	۲
	۱٫۴	۱٫۷	۱٫۹	۲٫۱
	۱٫۵	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۲
	۱٫۶	۱٫۹	۲	۲٫۲
	۱٫۷	۲	۲	۲٫۳
	۱٫۸	۲	۲٫۱	۲٫۴
	۱٫۹	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۴
	۲	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۵
	۲٫۱	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۵
	۲٫۲	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۵
	۲٫۳	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۶
	۲٫۴	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۶
	۲٫۵	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۷
	۲٫۶	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۸
	۲٫۷	۲٫۶	۲٫۶	۲٫۹
	۲٫۸	۲٫۶	۲٫۷	۲٫۹
	۲٫۹	۲٫۷	۲٫۸	۳

ادامهٔ جدول ۶۳ ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر با قاب پی‌وی‌سی U_G بر حسب U_{gl} و U_{fr}

نوع جدار نورگذر	U_{gl} بخش نورگذر [W/m².K]	U_G جدار نورگذر بر حسب U_{fr} قاب [W/m².K]		
		$U_{fr}=۱٫۵$	$U_{fr}=۱٫۸$	$U_{fr}=۲٫۵$
پنجرهٔ کشویی	۱٫۲	-	-	۱٫۹
	۱٫۳	-	-	۳
	۱٫۴	-	-	۳٫۱
	۱٫۵	-	-	۳٫۱
	۱٫۶	-	-	۳٫۲
	۱٫۷	-	-	۳٫۳
	۱٫۸	-	-	۳٫۳
	۱٫۹	-	-	۳٫۴
	۲	-	-	۳٫۴
	۲٫۱	-	-	۳٫۴
	۲٫۲	-	-	۳٫۵
	۲٫۳	-	-	۳٫۶
	۲٫۴	-	-	۳٫۶
	۲٫۵	-	-	۳٫۷
	۲٫۶	-	-	۳٫۸
	۲٫۷	-	-	۳٫۹
	۲٫۸	-	-	۳٫۹
	۲٫۹	-	-	۳
در پنجره‌ای کشویی	۱٫۲	-	-	۱٫۸
	۱٫۳	-	-	۱٫۹
	۱٫۴	-	-	۲
	۱٫۵	-	-	۲٫۱
	۱٫۶	-	-	۲٫۱
	۱٫۷	-	-	۲٫۲
	۱٫۸	-	-	۲٫۳
	۱٫۹	-	-	۲٫۴
	۲	-	-	۲٫۴
	۲٫۱	-	-	۲٫۴
بدون آستانه	۲٫۲	-	-	۲٫۵
	۲٫۳	-	-	۲٫۶
	۲٫۴	-	-	۲٫۶
	۲٫۵	-	-	۲٫۷
	۲٫۶	-	-	۲٫۸
	۲٫۷	-	-	۲٫۹
	۲٫۸	-	-	۳
	۲٫۹	-	-	۳

ادامهٔ جدول ۶۳ ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر با قاب پی‌وی‌سی U_W بر حسب U_g و U_f

نوع جدار نورگذر	U_g بخش نورگذر [W/m².K]	U_G جدار نورگذر بر حسب U_{fr} قاب [W/m².K]		
		$U_{fr}=۱٫۵$	$U_{fr}=۱٫۸$	$U_{fr}=۲٫۵$
در پنجره‌ای کشویی با آستانه	۱٫۲	۱٫۶	۱٫۸	۲٫۱
	۱٫۳	۱٫۷	۱٫۸	۲٫۱
	۱٫۴	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۲
	۱٫۵	۱٫۸	۱٫۹	۲٫۲
	۱٫۶	۱٫۹	۲	۲٫۳
	۱٫۷	۱٫۹	۲٫۱	۲٫۴
	۱٫۸	۲	۲٫۱	۲٫۴
	۱٫۹	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۵
	۲	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۵
	۲٫۱	۲٫۱	۲٫۲	۲٫۵
	۲٫۲	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۵
	۲٫۳	۲٫۲	۲٫۳	۲٫۶
	۲٫۴	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۷
	۲٫۵	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۷
	۲٫۶	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۸
	۲٫۷	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۸
	۲٫۸	۲٫۶	۲٫۷	۲٫۹
	۲٫۹	۲٫۶	۲٫۷	۳

جدول ۶۴ ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر با قاب چوبی U_G بر حسب U_{gl} و λ_{fr}

نوع جدار نورگذر	U_{gl} بخش نورگذر [W/m².K]	U_G جدار نورگذر بر حسب λ_{fr} قاب [W/m².K]	
		$\lambda_{fr}=۰٫۱۳$	$\lambda_{fr}=۰٫۱۸$
پنجرهٔ لولایی	۱٫۲	۱٫۸	۱٫۹
	۱٫۳	۱٫۸	۲
	۱٫۴	۱٫۹	۲٫۱
	۱٫۵	۲	۲٫۱
	۱٫۶	۲	۲٫۲
	۱٫۷	۲٫۱	۲٫۲
	۱٫۸	۲٫۲	۲٫۳
	۱٫۹	۲٫۲	۲٫۴
	۲	۲٫۳	۲٫۴
	۲٫۱	۲٫۳	۲٫۴
	۲٫۲	۲٫۴	۲٫۵
	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵
	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶
	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۷
	۲٫۶	۲٫۶	۲٫۸
	۲٫۷	۲٫۷	۲٫۸
	۲٫۸	۲٫۸	۲٫۹
	۲٫۹	۲٫۸	۳
در پنجره‌ای لولایی بدون آستانه یا کشویی	۱٫۲	۱٫۷	۱٫۹
	۱٫۳	۱٫۸	۱٫۹
	۱٫۴	۱٫۹	۲
	۱٫۵	۲	۲٫۱
	۱٫۶	۲	۲٫۱
	۱٫۷	۲٫۱	۲٫۲
	۱٫۸	۲٫۲	۲٫۳
	۱٫۹	۲٫۲	۲٫۴
	۲	۲٫۳	۲٫۴
	۲٫۱	۲٫۳	۲٫۴
	۲٫۲	۲٫۴	۲٫۵
	۲٫۳	۲٫۴	۲٫۵
	۲٫۴	۲٫۵	۲٫۶
	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۷
	۲٫۶	۲٫۷	۲٫۸
	۲٫۷	۲٫۷	۲٫۸
	۲٫۸	۲٫۸	۲٫۹
	۲٫۹	۲٫۹	۳

ادامهٔ جدول ۶۴ ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر با قاب چوبی U_G بر حسب U_g و λ_{fr}

نوع جدار نورگذر	U_g بخش نورگذر [W/m².K]	U_G جدار نورگذر بر حسب λ_{fr} قاب [W/m².K]	
		$\lambda_{fr}=۰,۱۳$	$\lambda_{fr}=۰,۱۸$
در پنجره‌ای لولایی با آستانه	۱,۲	۱,۸	۲
	۱,۳	۱,۹	۲,۱
	۱,۴	۲	۲,۱
	۱,۵	۲	۲,۲
	۱,۶	۲,۱	۲,۲
	۱,۷	۲,۱	۲,۳
	۱,۸	۲,۲	۲,۴
	۱,۹	۲,۳	۲,۴
	۲	۲,۳	۲,۴
	۲,۱	۲,۳	۲,۴
	۲,۲	۲,۳	۲,۵
	۲,۳	۲,۴	۲,۶
	۲,۴	۲,۵	۲,۶
	۲,۵	۲,۵	۲,۷
	۲,۶	۲,۶	۲,۷
	۲,۷	۲,۷	۲,۸
	۲,۸	۲,۷	۲,۹
	۲,۹	۲,۸	۲,۹

پ۹-۳ مثال‌های تعیین ضریب انتقال حرارت جدارهای نورگذر

مثال ۱۰: تعیین ضریب انتقال حرارت یک پنجره با مشخصات زیر:

- نوع قاب: پی‌وی‌سی، لولایی
- ضریب انتقال حرارت قاب مطابق گواهی‌نامهٔ فنی: $U_f = ۱,۸$ [W/(m².K)]
- نوع شیشه: دوجداره
- گاز موجود میان دو شیشه: ۸۵ درصد آرگون
- فاصلهٔ داخلی بین دو شیشه: ۱۰ میلی‌متر
- وضعیت گسیلندگی شیشه: بدون لایه‌های کم‌گسیل

ابتدا باید ضریب انتقال حرارت شیشه تعیین شود (بخش پ۹-۱). به این منظور، از بخش پ۹-۱-۲، با عنوان شیشه‌های دوجدارهٔ عمودی، جدول ۵۷ مربوط به شیشه‌های دو جدارهٔ عمودی پرشده با ۸۵ درصد آرگون استفاده می‌شود. مطابق این جدول، و با توجه به فاصله ۱۰ میلی‌متری بین دو شیشه و عدم استفاده از پوشش کم‌گسیل، ضریب انتقال حرارت شیشه از ستون دوم جدول، ۲٫۸ [W/(m².K)] تعیین می‌گردد.

این توضیح را باید افزود که اگر پنجره مورد استفاده فاقد گواهی‌نامهٔ تأییدکنندهٔ وجود گاز و حفظ آن در طول دورهٔ بهره‌برداری باشد، باید مقادیر مربوط به هوا ملاک محاسبه قرار گیرد (جدول ۵۶).

در مرحلهٔ بعد، باید به تعیین ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر پرداخت (بخش پ۹-۲). در این مثال، قاب پنجره از جنس پی‌وی‌سی است، بنابراین برای آن از جدول ۶۳ استفاده می‌شود. در بخش مربوط به پنجره‌های لولایی این جدول، ردیف مربوط به شیشهٔ دارای ضریب انتقال حرارت ۲٫۸ [W/(m².K)] را در نظر می‌گیریم. در این ردیف، سه ضریب انتقال حرارت متفاوت برای پنجره داده شده است، که مربوط به سه ضریب انتقال حرارت متفاوت قاب پی‌وی‌سی است. با توجه به آنکه، مطابق گواهی‌نامهٔ فنی، ضریب انتقال حرارت قاب پی‌وی‌سی ۱٫۸ [W/(m².K)] است، ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر، از ستون چهارم جدول، برابر ۲٫۷ [W/(m².K)] تعیین می‌شود.

مثال ۱۱: تعیین ضریب انتقال حرارت پنجره‌ای با مشخصات زیر:

- نوع قاب: آلومینیومی حرارت‌شکن، لولایی
- ضریب انتقال حرارت قاب مطابق گواهی‌نامه فنی: نامشخص
- نوع شیشه: دوجداره
- گاز موجود در فاصله میان دو شیشه: ۱۰۰ درصد هوا
- فاصله داخلی بین دو شیشه: ۱۲ میلی‌متر
- وضعیت گسیلندگی شیشه: گسیلندگی عمود مفید ۰٫۲، مورد تأیید یک مرجع معتبر

برای تعیین ضریب انتقال حرارت شیشه، ابتدا از جدول ۵۶ بخش پ۹-۱-۲، که مربوط به شیشه‌های دوجدارهٔ پرشده با هوا است، استفاده می‌شود. سپس با توجه به ضخامت ۱۲ میلی‌متری لایهٔ هوا و گسیلندگی عمود مفید ۰٫۲، ضریب انتقال حرارت شیشه برابر ۲٫۰ [W/(m².K)] تعیین می‌گردد.

در مرحلهٔ بعد، به تعیین ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر، با استفاده از جدول ۶۲ بخش پ۹-۳، که مربوط به قاب‌های فلزی حرارت‌شکن است، پرداخته می‌شود. در بخش پنجره‌های لولایی این جدول، به ردیف مربوط به شیشهٔ دارای ضریب انتقال حرارت ۲٫۰ [W/(m^2.K)] توجه می‌شود. در این ردیف، سه ضریب انتقال حرارت متفاوت درج شده برای پنجره مربوط به سه ضریب انتقال حرارت متفاوت قاب فلزی با حرارت‌شکن است. اگر فرض کنیم قاب پنجره فاقد گواهی‌نامهٔ فنی است، ضریب انتقال حرارت متوسط قاب را باید برابر ۵ در نظر بگیریم و به این ترتیب، ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر، از ستون آخر جدول ۶۲، برابر ۳٫۴ [W/(m^2.K)] تعیین می‌گردد.

پ۹-۴ ضرایب انتقال حرارت درها

مقادیر داده شده در این بخش مربوط به درهای متداول است. در صورتی که برای درها از عایق‌های حرارتی خاصی استفاده شود و در گواهی‌نامهٔ فنی معتبر نیز ضرایب انتقال حرارت ارائه شده باشد، آن ضرایب می‌تواند ملاک محاسبه قرار گیرد. در غیر این صورت، لازم است مقادیر داده شده در جدول ۶۵ مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۶۵ ضرایب انتقال حرارت درها

جنس در	نوع در	ضریب انتقال حرارت در U_D [W/m^2.K]
در چوبی معمولی	توپر	۳٫۵
	با شیشهٔ تک‌جداره، سطح شیشه کمتر از ۳۰ درصد	۴٫۰
	با شیشهٔ تک‌جداره، سطح شیشه بین ۳۰ و ۶۰ درصد	۴٫۵
	با شیشهٔ دوجداره با لایهٔ هوای ۶ میلی‌متر یا بیشتر	۳٫۳
در فلزی معمولی	تمام فلز	۵٫۸
	با شیشهٔ تک‌جداره	۵٫۸
	با شیشهٔ دوجداره، سطح شیشه کمتر از ۳۰ درصد	۵٫۸
	با شیشهٔ دوجداره، سطح شیشه بین ۳۰ و ۶۰ درصد	۴٫۸
در تمام‌شیشه‌ای	با شیشهٔ تک‌جداره	۵٫۸

پیوست ۱۰ سایه‌بان‌ها

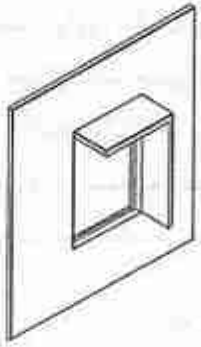
در این پیوست، زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهات مختلف ساختمان، در ۲۱۶ شهر کشور، ارائه می‌گردد. در جدول‌های مندرج در این پیوست، برای هر شهر، *زاویهٔ سایه‌بان افقی* و *زاویهٔ سایه‌بان* عمودی، برای حالت‌های مختلف جهت‌گیری پنجره، بیان شده است. با استخراج این زوایا و آگاهی از ابعاد پنجره، عمق سایه‌بان‌های افقی و عمودی به سادگی مشخص می‌گردد. در شکل ۲۵، جهت‌گیری پنجره، نمای سایه‌بان‌ها، زاویهٔ سایه‌بان عمودی و زاویهٔ سایه‌بان افقی نشان داده شده است.

برای استفاده از جدول‌های مندرج در این پیوست، باید موارد زیر در نظر گرفته شود:

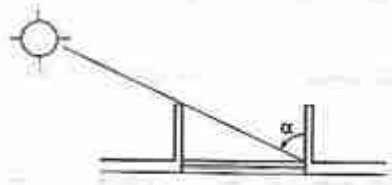
- «ش» مخفف «شرقی» است و بیانگر آن است که سایه‌بان عمودی باید فقط در سمت شرق پنجره قرار گیرد.
- «غ» مخفف «غربی» است و بیانگر آن است که سایه‌بان عمودی باید فقط در سمت غرب پنجره قرار گیرد.
- «ل» مخفف «شمالی» است و بیانگر آن است که سایه‌بان عمودی باید فقط در سمت شمال پنجره قرار گیرد.
- «ج» مخفف «جنوبی» است و بیانگر آن است که سایه‌بان عمودی باید فقط در سمت جنوب پنجره قرار گیرد.
- «ط» مخفف «طرفین» است و بیانگر آن است که سایه‌بان عمودی باید در دو سمت پنجره قرار گیرد.
- «ع.م» جانشین عبارت «سایه‌بان عمودی متحرک مقابل تمام پنجره» است.

- چنانچه برای یک پنجره هر دو زاویهٔ سایه‌بان افقی و عمودی توصیه شده باشد، باید از هر دو نوع سایه‌بان استفاده گردد.
- در صورتی که محل استقرار ساختمانی در این پیوست درج نشده باشد، می‌توان سایه‌بان‌های مربوط به نزدیک‌ترین شهر را ملاک گرفت.
- در صورت ذکر نشدن زاویهٔ جهت‌گیری پنجره در جدول‌ها، مقادیر زوایای سایه‌بان آن باید مطابق با مقادیر نزدیک‌ترین جهت‌گیری پنجره، یا از طریق درون‌یابی مقادیر، تعیین گردد.
- در شهرهایی که با علامت * مشخص شده‌اند، با توجه به عمق زیاد سایه‌بان‌ها، توصیه می‌شود ضمن رعایت زوایای سایه‌بان ارائه‌شده، روی تمام نمای ساختمان سایه ایجاد شود.

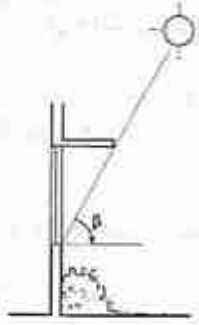
جهت‌گیری پنجره



نمای پنجره و سایه‌بان‌های افقی و عمودی



مقطع افقی - زاویهٔ سایه‌بان عمودی



مقطع عمودی - زاویهٔ سایه‌بان افقی

شکل ۲۵ زوایای جهت پنجره و زاویهٔ سایه‌بان افقی و عمودی

جدول ۶۶ زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهت‌های مختلف

ردیف	جهت پنجره / زاویهٔ سایه‌بان / نام شهر	شمال		۳۰ درجه شمال شرقی		۶۰ درجه شمال شرقی		شرق		۱۲۰ درجه جنوب شرقی		۱۵۰ درجه جنوب شرقی		جنوب		۲۱۰ درجه جنوب غربی		۲۴۰ درجه جنوب غربی		غرب		۳۰۰ درجه شمال غربی		۳۳۰ درجه شمال غربی	
		افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی
۱	ابهر	-	۴۲	-	۳۶	-	۲۴	-	۰	-	۲۴	-	۳۶	-	۴۲	-	۳۶	-	۲۴	-	۰	-	۲۴	-	۳۶	-	۴۲
۲	اردبیل	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲
۳	اراک	-	۴۲	-	۳۶	-	۲۴	-	۰	-	۲۴	-	۳۶	-	۴۲	-	۳۶	-	۲۴	-	۰	-	۲۴	-	۳۶	-	۴۲
۴	ارومیه	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲
۵	اردکان فارس	-	۴۲	-	۳۶	-	۲۴	-	۰	-	۲۴	-	۳۶	-	۴۲	-	۳۶	-	۲۴	-	۰	-	۲۴	-	۳۶	-	۴۲
۶	اردستان	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲
۷	استرآباد	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲
۸	آغاجاری	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲
۹	اصفهان	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲
۱۰	اهر	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲
۱۱	ایرانشهر	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲
۱۲	بابلسر	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲
۱۳	بافق	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲
۱۴	بجنورد	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲
۱۵	بندرعباس	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲
۱۶	بندرلنگه	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲
۱۷	بوشهر	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲	۵۰	۳۶	۴۵	۲۴	۵۵	۰	۴۵	۲۴	۵۰	۳۶	۱۰	۴۲

جدول ۶۷ زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهت‌های مختلف (ادامه)

ردیف	جهت پنجره / زاویه سایه‌بان با بام شیب‌دار	شمالی		۴۰ درجه شمال‌غربی		۳۰ درجه غربی		۲۰ درجه جنوب‌غربی		۱۵۰ درجه جنوب‌غربی		جنوبی		۱۵۰ درجه جنوب‌شرقی		۱۲۰ درجه جنوب‌شرقی		۶۰ درجه شمال‌شرقی		۳۰ درجه شمال‌شرقی		شمالی	
		افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی
۱۸	اروميه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۵۰	-	۸۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۹	استور	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۷۲	-	۸۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۰	استهبان، صومعه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۸۰	-	۷۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۱	اسکو	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۶۵	-	۷۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۲	اصفهان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۶۲	-	۷۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۳	اورمیه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۵۰	-	۷۶	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۴	امام قیس	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۵۵	-	۷۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۵	امین آباد	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۵۰	-	۷۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۶	انارک	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۴۵	-	۷۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۷	انديمشک *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۵۰	-	۷۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۸	اهر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۴۲	-	۶۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۹	ايذه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۵۰	-	۷۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۳۰	ايرانشهر *	۶۵	۶۵	۶۰	۶۰	۵۵	۵۵	۴۰	۴۰	۳۰	۳۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
۳۱	ايلام	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-
۳۲	بابل	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-
۳۳	بابلسر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-
۳۴	بافت	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-
۳۵	بجنورد	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-
۳۶	بم	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-
۳۷	بندر انزلی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-
۳۸	بندر بوشهر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-
۳۹	بندر دیلم *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-
۴۰	بندر ریگ *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-
۴۱	بندر لنگه *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-
۴۲	بندر ماهشهر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-
۴۳	بن سیران *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-	۲۰	-

جدول ۶۸ زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهت‌های مختلف (ادامه)

ردیف	جهت پنجره / زاویه سایه‌بان با بام شیب‌دار	شمالی		۴۰ درجه شمال‌غربی		۳۰ درجه غربی		۱۲۰ درجه جنوب‌غربی		۱۵۰ درجه جنوب‌غربی		جنوبی		۱۵۰ درجه جنوب‌شرقی		۱۲۰ درجه جنوب‌شرقی		۶۰ درجه شمال‌شرقی		۳۰ درجه شمال‌شرقی		شمالی	
		افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی
۴۴	بندرعباس *	۴۵	۴۵	۴۰	۴۰	۳۵	۳۵	۳۰	۳۰	۲۵	۲۵	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
۴۵	بندر گز *	۴۰	۴۰	۳۵	۳۵	۳۰	۳۰	۲۵	۲۵	۲۰	۲۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
۴۶	بندر لنگه *	۴۰	۴۰	۳۵	۳۵	۳۰	۳۰	۲۵	۲۵	۲۰	۲۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
۴۷	بندر ماهشهر	۴۰	۴۰	۳۵	۳۵	۳۰	۳۰	۲۵	۲۵	۲۰	۲۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
۴۸	بندر ماهشهر *	۴۰	۴۰	۳۵	۳۵	۳۰	۳۰	۲۵	۲۵	۲۰	۲۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
۴۹	بندر ریگ *	۴۰	۴۰	۳۵	۳۵	۳۰	۳۰	۲۵	۲۵	۲۰	۲۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
۵۰	بندر ماهشهر	۴۰	۴۰	۳۵	۳۵	۳۰	۳۰	۲۵	۲۵	۲۰	۲۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
۵۱	بن سیران *	۴۰	۴۰	۳۵	۳۵	۳۰	۳۰	۲۵	۲۵	۲۰	۲۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵

جدول ۶۹ زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهت‌های مختلف (ادامه)

ردیف	جهت پنجره / زاویه سایه‌بان / نام شهر	شمال		شمال‌شرقی		شرق		جنوب‌شرقی		جنوب		جنوب‌غربی		غرب		شمال‌غربی	
		عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی
۵۲	بنکوه	۴۵ درجه	-	۸۰ درجه	-	۶۰ درجه	-	۶۰ درجه	-	۶۰ درجه	-	۶۰ درجه	-	۶۰ درجه	-	۴۵ درجه	-
۵۳	بوشهر*	۴۵ درجه	-	۳۳ درجه	-	۲۸ درجه	-	۳۵ درجه	۳۰	۴۵ درجه	۴۰	۳۵ درجه	۳۰	۳۳ درجه	-	۲۴ درجه	-
۵۴	بوئین زهرا	۴۷ درجه	-	-	-	۱۰ درجه	-	-	-	۴۷ درجه	۷۵	-	-	۴۷ درجه	-	۳۲ درجه	۳۰
۵۵	بیاضه بیابانک	۴۳ درجه	-	۷۵	-	۶۰	-	۶۰	-	۴۳ درجه	۸۱	۱۰ درجه	-	۴۳ درجه	-	۴۳ درجه	-
۵۶	پی بلاق	۴۷ درجه	-	۶۷	-	۷۷	-	۷۰	-	۷۰	۷۵	۷۰	-	۱۷	-	۴۷ درجه	-
۵۷	پیرجند	۴۷ درجه	-	۷۷	-	۸۰	-	۷۵	-	۷۵	۸۰	۷۵	-	۲۰	-	۳۰	-
۵۸	پیشوا	۴۷ درجه	-	۷۸	-	۸۲	-	۷۶	-	۶۵	۸۲	۶۵	-	۲۰	-	۳۰	-
۵۹	پارس آباد مغان	۴۵ درجه	-	۳۲	-	۶۵	-	۶۰	-	۵۳	-	۵۹	-	۲۰	-	۲۵ درجه	-
۶۰	تل رامشان	۴۵ درجه	-	-	-	۶۴	-	۸۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۶	-	۲۵	-
۶۱	تل کله	۴۵ درجه	-	-	-	۶۴	-	۸۰	-	۷۵	-	۷۵	-	۲۶	-	۲۵	-
۶۲	تلخاب	۴۵ درجه	-	-	-	۶۸	-	۷۲	-	۷۰	-	۷۰	-	۱۹	-	۵۰	-
۶۳	تازه کند	۴۵ درجه	-	-	-	۶۸	-	۶۰	-	۵۸	-	۶۰	-	۱۸	-	۴۵ درجه	-
۶۴	تنگ‌چوبه کله قاضی*	۴۳ درجه	-	۵۲	-	۶۵	-	۲۶	-	۲۲	-	۵۰	-	۲۶	-	۴۳ درجه	-
۶۵	تکستان	۴۷ درجه	-	-	-	۸۰	-	۷۲	-	۶۵	-	۷۰	-	۱۸	-	۴۷	-
۶۶	تهران	-	-	-	-	۸۲	-	۷۲	-	۶۰	-	۷۰	-	۱۸	-	۵۰	-
۶۷	تجریش	۴۵ درجه	-	۸۵	-	۸۳	-	۶۲	-	۶۰	-	۶۵	-	۲۰	-	۳۲	-
۶۸	ثبت هجرویه	۴۵ درجه	-	-	-	۸۵	-	۸۵	-	۷۰	-	۸۰	-	۲۷	-	۴۰	-

جدول ۷۰ زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهت‌های مختلف (ادامه)

ردیف	جهت پنجره / زاویه سایه‌بان / نام شهر	شمال		شمال‌شرقی		شرق		جنوب‌شرقی		جنوب		جنوب‌غربی		غرب		شمال‌غربی	
		عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی
۶۹	تفرش	۴۷ درجه	-	۶۰ درجه	-	۸۱	-	۷۶	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۰	-	۴۳ درجه	-
۷۰	تنگ پنج*	۴۳ درجه	-	-	-	۴۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۵۰	-	۲۲	-	۴۳ درجه	-
۷۱	تهران- پارک شهر	۴۷ درجه	-	۷۵	-	۷۰	-	۶۷	-	۶۰	-	۶۸	-	۲۰	-	۴۵ درجه	-
۷۲	تهران- دوشان تپه	۴۳ درجه	-	۷۵	-	۶۰	-	۶۰	-	۶۰	-	۶۲	-	۲۰	-	۴۵ درجه	-
۷۳	تهران- سعادت‌آباد	-	-	-	-	-	-	-	-	۷۳	-	۸۵	-	۲۲	-	۵۲	-
۷۴	تهران- نیاوران	۴۵ درجه	-	۶۰ درجه	-	۷۰	-	۶۷	-	۶۰	-	۷۰	-	۲۴	-	۵۲	-
۷۵	تهران- نارمک	۴۰ درجه	-	-	-	۸۳	-	۸۰	-	۷۰	-	۸۰	-	۲۰	-	۲۰	-
۷۶	تهران- نصایشگاه	۴۲ درجه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	-	۳۰	-
۷۷	جاسک*	۶۷۰	-	۶۰ درجه	-	۴۴	-	۴۴	-	۷۰	-	۴۴	-	۲۰	-	۴۴	-
۷۸	جزیره نازک*	۴۳ درجه	-	۳۸ درجه	۴۰	۴۴	-	۴۴	۲۵	۵۰ درجه	۴۰	۴۴	۲۵	۱۰	۴۴	۴۳ درجه	-
۷۹	جزیره قشم	۴۵ درجه	-	۴۰ درجه	۴۰	۴۴	-	۴۴	۲۵	۴۷ درجه	۴۰	۴۵ درجه	۳۷	۲۰	۴۴	۴۰ درجه	-
۸۰	جلفا	۴۲ درجه	-	-	-	۸۲	-	۷۱	-	۷۰	-	۶۰	-	۲۰	-	۴۲ درجه	-
۸۱	جیرفت*	۴۳ درجه	-	۵۳	-	۸۲	-	۵۰	-	۵۵	-	۵۰	-	۲۵	-	۴۵ درجه	-
۸۲	چابهار*	۶۷۰	-	۴۰ درجه	-	۴۴	-	۵۰	-	۵۰	-	۵۰	-	۲۰	-	۴۴	-
۸۳	چغارت	۴۳ درجه	-	۷۰	-	۵۲	-	۵۲	-	۵۵	-	۵۵	-	۲۰	-	۴۴	-
۸۴	چغارن	۴۳ درجه	-	۴۰ درجه	-	۴۴	-	۴۴	-	۴۵	-	۴۵	-	۲۰	-	۴۴	-
۸۵	خاوی‌آباد-سیدرضایی*	-	-	۵۲	-	۴۵	-	۴۲	-	۴۵	-	۵۰	-	۲۰	-	۴۴	-

جدول ۷۱ زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهت‌های مختلف (ادامه)

ردیف	جهت پنجره / زاویه سایه‌بان / نام شهر	شمال		۳۰ درجه شمال شرقی		۶۰ درجه شمال شرقی		۹۰ درجه شرقی		۱۲۰ درجه جنوب شرقی		۱۵۰ درجه جنوب شرقی		جنوب		۱۵۰ درجه جنوب غربی		۱۲۰ درجه جنوب غربی		۹۰ درجه غربی		۶۰ درجه شمال غربی		۳۰ درجه شمال غربی	
		افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی
۸۶	جهت آباد- پشتکوه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۸۷	جمبیه	-	۵۶ درجه	-	۴۱	-	۴۱	-	۳۷	-	۵۰	-	۴۵ درجه	۵۰	۱۵	۴۵ درجه	۱۵	۴۵ درجه	۱۰ درجه	-	۲۴	-	۳۵	-	۲۴
۸۸	حنا	۸۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۸۰	۵۵	-	۴۰	-	۲۰	-	۲۴	-	۳۵	-	۵۰
۸۹	خلفی	-	۵۳ درجه	-	۸۲	-	۸۲	-	۷۵	-	۷۵	-	۷۰	-	۴۰	-	۴۰	-	۲۰	-	۲۴	-	۱۴	-	۲۰
۹۰	خرم آباد																								
۹۱	خرم آباد تنکابن	-	۶۲ درجه	-	۷۷	-	۷۷	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۵	۴۵	۲۲	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۱۷
۹۲	خرمشهر	-	۶۲ درجه	-	۶۲	-	۴۱	-	۴۰	-	۵۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۵	۴۵	۱۵	۴۵	۱۷	-	۲۴	-	۲۴
۹۳	خشک داران	-	۶۲ درجه	-	۶۲	-	۷۷	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۵	۴۵	۲۲	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۲۴
۹۴	خضر	-	۶۲ درجه	-	۶۵	۵۶ درجه	۶۵	-	۶۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۷	-	۲۴	-	۲۴
۹۵	خوانسار	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۷۳	-	-	-	۵۵	-	۲۴	-	۶۰	-	۷۵
۹۶	خور بیابانک	-	۶۲ درجه	-	۶۰	-	۵۵	-	۴۵	-	۶۰	-	۵۵	-	۵۵	-	۴۰	-	۲۵	-	۲۴	-	۲۴	-	۲۴
۹۷	خوی	-	۵۲ درجه	-	۸۲	-	۷۱	-	۶۰	-	۶۰	-	۵۰	-	۵۰	-	۲۵	-	۲۰	-	۲۴	-	۲۰	-	۲۴
۹۸	داراب	-	۶۲ درجه	-	۵۲	-	۵۲	-	۵۰	-	۶۰	-	۵۰	-	۴۵	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۴	-	۲۴	-	۲۴
۹۹	داشبند بوکان	-	۵۲ درجه	-	۷۱	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۰	-	۱۰	-	۲۴
۱۰۰	داشلان	-	۵۲ درجه	-	۸۲	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۰	۴۵	۱۱	-	۱۱	-	۲۴
۱۰۱	دامنه فریدن	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۰۲	دره تخت	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

جدول ۷۲ زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهت‌های مختلف (ادامه)

ردیف	جهت پنجره / زاویه سایه‌بان / نام شهر	شمال		۳۰ درجه شمال شرقی		۶۰ درجه شمال شرقی		۹۰ درجه شرقی		۱۲۰ درجه جنوب شرقی		۱۵۰ درجه جنوب شرقی		جنوب		۱۵۰ درجه جنوب غربی		۱۲۰ درجه جنوب غربی		۹۰ درجه غربی		۶۰ درجه شمال غربی		۳۰ درجه شمال غربی	
		افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی
۱۰۳	درگز	-	۶۲ درجه	-	۶۲	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۵	۴۵	۲۲	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۲۴
۱۰۴	درود	-	۶۲ درجه	-	۶۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۷	-	۲۴	-	۲۴
۱۰۵	دزفول*	-	۶۲ درجه	-	۶۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۲۴
۱۰۶	دشت تاز	-	۶۲ درجه	-	۶۲	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۲۴
۱۰۷	ده سرسه	-	۶۲ درجه	-	۶۲	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۲۴
۱۰۸	ابهوک	-	۶۲ درجه	-	۶۲	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۲۴
۱۰۹	ذوب آهن اصفهان	-	۶۲ درجه	-	۶۲	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۲۴
۱۱۰	رامسر	-	۶۲ درجه	-	۶۲	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۲۴
۱۱۱	رامهرمز	-	۶۲ درجه	-	۶۲	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۲۴
۱۱۲	رشت	-	۶۲ درجه	-	۶۲	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۲۴
۱۱۳	رودبار	-	۶۲ درجه	-	۶۲	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۲۴
۱۱۴	زابل	-	۶۲ درجه	-	۶۲	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۲۴
۱۱۵	زاهدان	-	۶۲ درجه	-	۶۲	-	۷۰	-	۷۰	-	۷۰	-	۶۰	-	۶۰	۴۵	۲۰	۴۵	۲۰	۴۵	۱۷	-	۱۷	-	۲۴
۱۱۶	زرند کل سرخ ایران	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۱۷	زنجان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۱۸	ساوه	-	۱۵ درجه	-	۱۵	-	۱۵	-	۱۵	-	۱۵	-	۱۵	-	۱۵	۱۵	۱۰	۱۵	۱۰	۱۵	۱۰	-	۱۰	-	۱۵
۱۱۹	سبزوار	-	۶۵ درجه	-	۶۵	-	۶۵	-	۶۵	-	۶۵	-	۶۰	-	۶۰	۵۵	۴۰	۵۵	۴۰	۵۵	۲۰	-	۲۴	-	۳۱

جدول ۷۳ زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهت‌های مختلف (ادامه)

ردیف	جهت پنجره / زاویه سایه‌بان / نام شهر	شمالی		۳۰ درجه شمالی شرقی		۶۰ درجه شمالی شرقی		۱۲۰ درجه جنوبی شرقی		۱۵۰ درجه جنوبی شرقی		شرقی		۱۲۰ درجه جنوبی شرقی		۱۵۰ درجه جنوبی شرقی		جنوبی		۱۲۰ درجه جنوبی غربی		۱۵۰ درجه جنوبی غربی		غربی		۳۰ درجه شمالی غربی		۶۰ درجه شمالی غربی		۱۲۰ درجه جنوبی غربی		۱۵۰ درجه جنوبی غربی		۳۰ درجه شمالی غربی	
		عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی
۱۲۰	سپیدشت	-	-	۶۲	-	۷۶	-	۵۵	-	۶۰	-	۵۵	-	۷۱	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۲۱	سراب	-	-	۶۲	-	۶۲	-	۶۵	-	۶۰	-	۵۵	-	۷۱	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۲۲	سرآوان	-	-	۶۲	-	۶۲	-	۶۵	-	۵۰	-	۵۵	-	۷۱	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۲۳	سرخس	-	-	۶۲	-	۶۰	-	۶۰	-	۵۵	-	۶۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۲۴	سرکت لجن	-	-	۶۲	-	۶۰	-	۶۵	-	۶۰	-	۶۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۲۵	سقز	-	-	۶۲	-	۶۲	-	۶۵	-	۶۰	-	۶۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۲۶	سمنان	-	-	۶۵	-	۶۰	-	۶۰	-	۶۰	-	۶۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۲۷	سنگ تراش	-	-	۶۳	-	۸۱	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۲۸	سنگ سوراخ	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۵	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۲۹	سنندج	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۰	سوادکوه	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۵	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۱	شاهرود	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۲	شلمزار	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۳	شمس آباد	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۴	شهرکرد	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۵	شیراز	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۶	شیرگاه	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۰	شیروان - چرداول	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۱	طبس	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۲	طرق کردان	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۳	عباس آباد - قم	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۴	عدل	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۵	فردوس	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۶	فسا	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۷	فومن	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۸	فیروزآباد - ملخان	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۹	قائم شهر	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۵۰	کاش	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۵۱	قرآن تکلار	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۵۲	قره آغاج	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۵۳	قزوین	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-

جدول ۷۴ زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهت‌های مختلف (ادامه)

ردیف	جهت پنجره / زاویه سایه‌بان / نام شهر	شمالی		۳۰ درجه شمالی شرقی		۶۰ درجه شمالی شرقی		۱۲۰ درجه جنوبی شرقی		۱۵۰ درجه جنوبی شرقی		شرقی		۱۲۰ درجه جنوبی شرقی		۱۵۰ درجه جنوبی شرقی		جنوبی		۱۲۰ درجه جنوبی غربی		۱۵۰ درجه جنوبی غربی		غربی		۳۰ درجه شمالی غربی		۶۰ درجه شمالی غربی		۱۲۰ درجه جنوبی غربی		۱۵۰ درجه جنوبی غربی		۳۰ درجه شمالی غربی	
		عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی
۱۲۷	شهرکرد	۶۸۰	-	۶۲	-	۸۲	-	۸۰	-	۷۵	-	۶۵	-	۸۴	-	۷۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۲۸	شیراز	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۲۹	شیرگاه	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۰	شیروان - چرداول	-	-	۶۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۳	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۱	طبس	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۲	طرق کردان	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۳	عباس آباد - قم	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۴	عدل	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۵	فردوس	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۶	فسا	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۷	فومن	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۸	فیروزآباد - ملخان	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۳۹	قائم شهر	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۵۰	کاش	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۵۱	قرآن تکلار	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۵۲	قره آغاج	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-
۱۵۳	قزوین	۶۲۲	-	۶۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۷۲	-	۸۲	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-	۲۵	-

جدول ۷۵ زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهت‌های مختلف (ادامه)

ردیف	جهت پنجره / زاویه سایه‌بان / نام شهر	شمال		۲۰ درجه شمال شرقی		۴۰ درجه شمال شرقی		۶۰ درجه شمال شرقی		شرق		۱۲۰ درجه جنوب شرقی		جنوب		۱۵۰ درجه جنوب شرقی		۱۶۰ درجه جنوب شرقی		۱۸۰ درجه جنوب غربی		۲۰ درجه شمال غربی		۴۰ درجه شمال غربی		۶۰ درجه غرب		۱۲۰ درجه جنوب غربی		۱۵۰ درجه جنوب غربی		۱۶۰ درجه جنوب غربی		۱۸۰ درجه جنوب غربی		۲۰ درجه شمال غربی	
		افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی
۱۵۴	قصر شیرین	-	۴۶	-	۸۰	۴۶	-	۸۵	-	۶۰	-	۵۵	-	۵۰	-	۴۰	۴۶	۴۰	۴۶	۴۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۵۵	فیلورجانی	-	۴۶	-	۸۲	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۱	-	۶۰	-	۵۵	۴۶	۴۵	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۵۶	قم	-	۴۶	-	۸۱	۴۶	-	۸۴	-	۶۰	-	۷۱	-	۶۱	-	۶۵	۴۶	۳۰	۴۶	۲۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۵۷	قمشه	-	۴۶	-	۸۰	۴۶	-	۸۴	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۵۰	۴۶	۳۵	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۵۸	فردوس	-	۴۶	-	۸۳	۴۶	-	۸۰	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۵۹	کاوزرین	-	۴۶	-	۸۳	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۶۰	کاشان	-	۴۶	-	۸۳	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۶۱	کاشمر	-	۴۶	-	۸۳	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۶۲	کرمان	-	۴۶	-	۸۱	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۶۳	کرمانشاه	-	۴۶	-	۸۱	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۶۴	کرمانشاه	-	۴۶	-	۸۱	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۶۵	کلاته خیج	-	۴۶	-	۸۱	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۶۶	گلپایگان صفی‌آباد*	-	۴۶	-	۸۱	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۶۷	گنبد*	-	۴۶	-	۸۱	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۶۸	گچساران	-	۴۶	-	۸۱	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۶۹	گرگان	-	۴۶	-	۸۱	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۷۰	گرگان، آشیانلو	-	۴۶	-	۸۱	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-

جدول ۷۶ زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهت‌های مختلف (ادامه)

ردیف	جهت پنجره / زاویه سایه‌بان / نام شهر	شمال		۲۰ درجه شمال شرقی		۴۰ درجه شمال شرقی		۶۰ درجه شمال شرقی		شرق		۱۲۰ درجه جنوب شرقی		جنوب		۱۵۰ درجه جنوب شرقی		۱۶۰ درجه جنوب شرقی		۱۸۰ درجه جنوب غربی		۲۰ درجه شمال غربی		۴۰ درجه شمال غربی		۶۰ درجه غرب		۱۲۰ درجه جنوب غربی		۱۵۰ درجه جنوب غربی		۱۶۰ درجه جنوب غربی		۱۸۰ درجه جنوب غربی		۲۰ درجه شمال غربی	
		افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی
۱۷۱	گرمسار- دلورانلو	-	۶۵ع	-	۸۲ع	۴۶	-	۸۰	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۷۲	گلپایگان	-	۸۲ع	-	۸۲ع	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۷۳	گلپایگان	-	۸۲ع	-	۸۲ع	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۷۴	گنبد قابوس	-	۸۲ع	-	۸۰ع	۴۶	-	۷۳	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۷۵	گناباد- سلمان	-	۸۲ع	-	۸۲ع	۴۶	-	۸۰	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۷۶	گنبد- نهاوند	-	۶۰	-	۸۲	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۷۷	لار- پاوار	-	۴۶	-	۸۲	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۷۸	لار- لطیس	-	۶۵ع	-	۸۵	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۷۹	لاهیجان	-	۸۲ع	-	۸۶	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۸۰	لنجان	-	۶۰	-	۸۲	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۸۱	لرد گان	-	۵۵	-	۸۲	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۸۲	نیلوان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۸۳	ماکو	-	۸۲ع	-	۸۲ع	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۸۴	مرزنه	-	۶۵ع	-	۸۲ع	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۸۵	مراغه	-	۸۲ع	-	۸۲ع	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۸۶	مرودشت	-	۸۲ع	-	۸۲ع	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-
۱۸۷	مسجدسلیمان	-	۶۵ع	-	۸۲ع	۴۶	-	۸۲	-	۶۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۶۵	۴۶	۴۰	۴۶	۳۰	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-	۴۶	-

جدول ۷۷ زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهت‌های مختلف (ادامه)

ردیف	جهت پنجره / زاویه سایه‌بان / نام شهر	شمال		۳۰ درجه شمال شرقی		۶۰ درجه شمال شرقی		شرق		۱۲۰ درجه جنوب شرقی		۱۵۰ درجه جنوب شرقی		جنوب		۱۲۰ درجه جنوب غربی		۱۵۰ درجه جنوب غربی		غرب		۶۰ درجه شمال غربی		۳۰ درجه شمال غربی	
		افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی
۱۸۸	مشهد	-	۴۸ع	-	۸۱ع	-	۷۰	-	۸۰ع	-	۸۰	-	۷۵	-	۶۵	-	۵۰	-	۴۰	-	۳۰	-	۳۰	-	۴۸ع
۱۸۹	مشهدرزن	-	۶۰	-	۸۱ع	-	۸۰	-	۷۰	-	۸۰	-	۸۰	-	۶۵	-	۵۵	-	۴۳ع	-	۳۰	-	۴۶	-	۴۰ع
۱۹۰	ملایر	-	۶۰	-	۸۱ع	-	۸۰	-	۷۱	-	۸۰	-	۸۰	-	۶۵	-	۷۰	-	۴۳ع	-	۳۰	-	۳۶	-	۴۳ع
۱۹۱	موچش	-	۶۰	-	۸۱ع	-	۸۰	-	۷۱	-	۸۰	-	۷۵	-	۶۵	-	۷۰	-	۴۳ع	-	۳۰	-	۳۶	-	۴۳ع
۱۹۲	مهاباد	-	۶۰ع	-	۸۱ع	-	۸۰	-	۷۱	-	۷۰	-	۷۵	-	۶۵	-	۷۰	-	۴۳ع	-	۳۰	-	۳۶	-	۴۳ع
۱۹۳	مهرگرد	-	۸۰	-	۸۱ع	-	۸۰	-	۷۱	-	۷۰	-	۷۵	-	۶۵	-	۸۰	-	۴۵ع	-	۳۰	-	۳۶	-	۴۵ع
۱۹۴	میاندوآب	-	۶۰ع	-	۸۱ع	-	۸۰	-	۷۱	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۰	-	۸۰	-	۴۵ع	-	۳۰	-	۳۶	-	۴۵ع
۱۹۵	میانه	-	۶۰ع	-	۸۱ع	-	۸۰	-	۷۱	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۰	-	۸۰	-	۴۵ع	-	۳۰	-	۳۶	-	۴۵ع
۱۹۶	میرجاوه	-	۶۰ع	-	۸۱ع	-	۸۰	-	۷۵	-	۸۰	-	۷۵	-	۶۵	-	۷۰	-	۴۵ع	-	۲۰	-	۱۶	-	۴۵ع
۱۹۷	مینه	-	۶۰ع	-	۸۱ع	-	۸۰	-	۸۴	-	۸۰	-	۷۵	-	۶۵	-	۵۰	-	۴۵ع	-	۲۰	-	۲۶	-	۴۵ع
۱۹۸	میناب*	-	۶۵ع	-	۸۱ع	-	۸۰	-	۸۴	-	۸۵	-	۸۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۴۸ع	-	۲۰	-	۲۶	-	۴۸ع
۱۹۹	نائین	-	۶۰ع	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۸۴	-	۸۵	-	۸۰	-	۶۵	-	۶۵	-	۴۸ع	-	۲۰	-	۲۶	-	۴۸ع
۲۰۰	نجف‌آباد	-	۶۰ع	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۸۵	-	۸۰	-	۷۵	-	۶۵	-	۶۵	-	۴۸ع	-	۲۰	-	۲۶	-	۴۸ع
۲۰۱	نطنز	۷	۸۲ع	۷	۸۲ع	۷	۸۰	۷	۸۵	۷	۸۰	۷	۷۵	۷	۶۵	۷	۶۵	۷	۴۸ع	۷	۲۰	۷	۲۷	۷	۵۲
۲۰۲	نورآباد ممسنی	-	۸۲ع	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۸۵	-	۸۰	-	۷۵	-	۶۵	-	۶۵	-	۴۸ع	-	۲۰	-	۲۷	-	۵۲
۲۰۳	نوران	-	۷۰ع	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۸۵	-	۸۰	-	۷۵	-	۶۵	-	۶۵	-	۴۸ع	-	۲۰	-	۲۷	-	۵۲
۲۰۴	نوشهر	-	۷۰ع	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۸۵	-	۸۰	-	۷۵	-	۶۵	-	۶۵	-	۴۸ع	-	۲۰	-	۲۷	-	۵۲

جدول ۷۸ زوایای مناسب برای سایه‌بان پنجره‌ها، در جهت‌های مختلف (ادامه)

ردیف	جهت پنجره / زاویه سایه‌بان / نام شهر	شمال		۳۰ درجه شمال شرقی		۶۰ درجه شمال شرقی		شرق		۱۲۰ درجه جنوب شرقی		۱۵۰ درجه جنوب شرقی		جنوب		۱۲۰ درجه جنوب غربی		۱۵۰ درجه جنوب غربی		غرب		۶۰ درجه شمال غربی		۳۰ درجه شمال غربی	
		افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی
۲۰۵	لامرد	-	۸۳ع	-	۸۳ع	-	۸۰	-	۷۴	-	۷۱	-	۷۵	-	۶۰	-	۶۵	-	۴۰	-	۱۰	-	۱۰	-	۲۰ع
۲۰۶	لیشتر	-	۸۳ع	-	۸۳ع	-	۸۰	-	۷۴	-	۸۰	-	۷۵	-	۶۵	-	۶۵	-	۴۰	-	۱۰	-	۱۰	-	۲۰ع
۲۰۷	ورامین	-	۸۱ع	-	۸۱ع	-	۸۰	-	۸۲	-	۸۱	-	۸۵	-	۶۵	-	۶۵	-	۴۰	-	۱۰	-	۱۰	-	۲۰ع
۲۰۸	ورزانه	-	۸۲ع	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۷۰	-	۶۵	-	۶۸	-	۶۰	-	۶۵	-	۴۰	-	۱۰	-	۱۰	-	۲۰ع
۲۰۹	ولیان‌آباد	-	۸۲ع	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۸۱	-	۷۶	-	۷۲	-	۶۵	-	۶۵	-	۴۰	-	۱۰	-	۱۰	-	۲۰ع
۲۱۰	هفت تپه*	-	۸۲ع	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۸۱	-	۷۶	-	۷۲	-	۶۵	-	۶۵	-	۴۰	-	۱۰	-	۱۰	-	۲۰ع
۲۱۱	همدان-فرودگاه	-	۶۰	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۸۲	-	۸۵	-	۸۰	-	۷۰	-	۶۵	-	۴۰	-	۱۰	-	۱۰	-	۲۰ع
۲۱۲	هنگام	-	۸۰	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۸۴	-	۸۵	-	۸۰	-	۷۰	-	۶۵	-	۴۰	-	۱۰	-	۱۰	-	۲۰ع
۲۱۳	هفت‌چشمه	۶۰	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۸۴	-	۸۵	-	۸۰	-	۷۰	-	۶۵	-	۴۰	-	۱۰	-	۱۰	-	۲۰ع	-
۲۱۴	هوتن	۸۰	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۸۴	-	۸۵	-	۸۰	-	۷۰	-	۶۵	-	۴۰	-	۱۰	-	۱۰	-	۲۰ع	-
۲۱۵	هویزه	۸۲ع	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۸۴	-	۸۵	-	۸۰	-	۷۰	-	۶۵	-	۴۰	-	۱۰	-	۱۰	-	۲۰ع	-
۲۱۶	یزد	۸۲ع	-	۸۲ع	-	۸۰	-	۸۴	-	۸۵	-	۸۰	-	۷۰	-	۶۵	-	۴۰	-	۱۰	-	۱۰	-	۲۰ع	-

پیوست ۱۱ روش‌های محاسبهٔ پل‌های حرارتی

ایجاد پل‌های حرارتی در ساختمان دلایل مختلفی دارد، که مهم‌ترین آنها عبارت است از:

- وجود قطعات یا اجزایی، با ضریب هدایت حرارت زیاد، در پوستهٔ خارجی ساختمان که به صورت موضعی یا گسترده از داخل به خارج جدار ادامه می‌یابند، مانند پروفیل‌های فولادی در دیوارها و سقف‌ها؛
- تغییر ضخامت موضعی مصالح، خصوصاً عایق‌های حرارتی، که در بخش‌هایی از پوستهٔ خارجی سبب کاهش مقاومت حرارتی می‌گردد؛
- تداوم نداشتن بعضی لایه‌ها، خصوصاً عایق‌های حرارتی، در محل‌های اتصال پوستهٔ خارجی به جدارهای داخلی (کف طبقات، تیغه‌های داخلی، ...).

پل‌های حرارتی موجب می‌گردند انتقال حرارت از پوستهٔ خارجی به میزان قابل توجهی افزایش یابد. در برخی ساختمان‌ها، این افزایش می‌تواند حدود ۴۰ درصد از کل انتقال حرارت ساختمان را شامل شود. از دیگر تبعات پل‌های حرارتی، ایجاد یا تشدید میعان سطحی در اوقات سرد سال است. محاسبهٔ پل‌های حرارتی را می‌توان با استفاده از استاندارد EN ISO ۱۰۲۱۱-۱ انجام داد.

در این پیوست، مقادیر مربوط به ضرایب انتقال حرارت پل‌های حرارتی متداول، که در طراحی عایق‌کاری حرارتی ساختمان به روش کارکردی استفاده می‌شود، آمده است.[1] در صورت طراحی به روش تجویزی، نیاز به محاسبهٔ پل‌های حرارتی نیست، زیرا اثر پل‌ها در مقادیر مقاومت حرارتی ارائه‌شده منظور شده است.

۱. در روش کارکردی، برای محاسبه ضریب انتقال حرارت مرجع، تنها انتقال حرارت از پل حرارتی کف روی خاک منظور می‌شود. اما در محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت طرح باید اثر پل‌های حرارتی با استفاده از مقادیر این پیوست محاسبه گردد.

در محاسبه ضریب انتقال حرارت طرح، در روش کارکردی، دو امکان برای در نظر گرفتن انتقال حرارت ناشی از پل‌های حرارتی وجود دارد:

- **عایق‌کاری حرارتی یکپارچه و بدون انقطاع در محل تقاطع جدارها**: در این حالت اگر مقادیر اجزای پوستهٔ خارجی ساختمان با توجه به ابعاد خارجی محاسبه گردد، پل‌های حرارتی قابل چشم‌پوشی خواهند بود. اما اگر در محاسبهٔ مقادیر اجزای پوستهٔ خارجی ابعاد داخلی ساختمان ملاک بوده باشد، فقط لازم است ضریب انتقال حرارت سطحی جدارهای متقاطع ایجادکنندهٔ پل حرارتی به میزان ۱۰ درصد افزایش یابد.
- **عایق‌کاری حرارتی غیریکپارچه در محل اتصال برخی جدارها**: در این حالت لازم است پل‌های حرارتی، بسته به مورد، با استفاده از روش‌ها و مقادیر ارائه شده در این پیوست محاسبه شوند. البته در این حالت نیز، برای تسریع و ساده‌سازی محاسبات، می‌توان به جای محاسبهٔ پل‌های حرارتی، ضرایب انتقال حرارت سطحی اجزای مورد نظر پوستهٔ خارجی را در مقادیر تعیین‌شده در یک ردیف از جدول ۷۹ ضرب کرد.

جدول ۷۹ ضرایب افزایشی معادل اثر پل‌های حرارتی، براساس ضریب انتقال حرارت سطحی جدارهای پوستهٔ خارجی

ضریب انتقال حرارت $[W/m^2.K]$	ضریب افزایش
کمتر از ۰٫۲۹	۳٫۵۰
بین ۰٫۳۰ و ۰٫۳۹	۲٫۹۳
بین ۰٫۴۰ و ۰٫۴۹	۲٫۴۵
بین ۰٫۵۰ و ۰٫۶۹	۲٫۱۶
بین ۰٫۷۰ و ۰٫۹۹	۱٫۸۳
بین ۱٫۰۰ و ۱٫۴۹	۱٫۵۸
بین ۱٫۵۰ و ۱٫۹۹	۱٫۳۹
بین ۲٫۰۰ و ۲٫۴۹	۱٫۲۹
بیش از ۲٫۵۰	۱٫۲۳

پ۱۱-۱ گونه‌های مختلف پل‌های حرارتی

پل حرارتی، به‌طور کلی، دو گونه است:

۱- پل حرارتی خطی، یا دو بعدی، که با ضریب انتقال حرارت خطی Ψ به واحد $[W/m.K]$ تعریف می‌شود. برای مثال، اتصال یک دیوار خارجی با عایق از داخل به کف طبقات. در این حالت، انتقال حرارت از این پل‌ها برابر حاصل ضرب ضریب انتقال حرارت خطی و طول پل حرارتی است.

۲- پل حرارتی موضعی، یا سه بعدی، که با ضریب انتقال حرارت نقطه‌ای χ به واحد $[W/K]$ تعریف می‌شود. برای مثال، اتصال کف طبقه به دو دیوار متعامد پوستهٔ خارجی.

پ۱۱-۲ روند محاسبات عددی

محاسبات را می‌توان با مدل‌سازی پل‌های حرارتی به روش عناصر محدود، یا تفاضل محدود، انجام داد. لازم است انطباق نرم‌افزار مورد استفاده با انتظارات تعیین‌شده مطابق با پیوست A استاندارد EN ISO ۱۰۲۱۱-۱ کنترل شود.

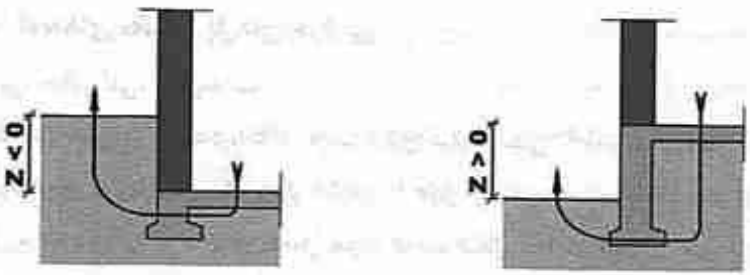
پ۱۱-۳ ضرایب انتقال حرارت پل‌های حرارتی متداول

در این بخش، ضرایب انتقال حرارت پل‌های حرارتی متداول آمده است. چنانچه پل‌های حرارتی مورد نظر با شرایط تعیین‌شده در این بخش انطباق کامل نداشته باشند، ضروری است محاسبات عددی طبق بند پ ۱۱-۲ صورت پذیرد.

پ۱۱-۳-۱ کف‌های زیرین مجاور خاک

پ۱۱-۳-۱-۱ کف روی خاک بدون عایق حرارتی

در مواردی که دیوار و کف ساختمان فاقد هر گونه عایق حرارتی است، ضرایب انتقال حرارت خطی، در محل اتصال دیوار به کف روی خاک، برحسب اختلاف ارتفاع بین کف‌سازی داخل و محوطه‌سازی خارج از ساختمان (Z)، با استفاده از جدول ۸۰ تعیین می‌گردد.



شکل ۲۶ حالات مختلف اختلاف تراز کف داخلی و محوطهٔ ساختمان

جدول ۸۰ ضرایب انتقال حرارت خطی در محل اتصال دیوار به کف روی خاک

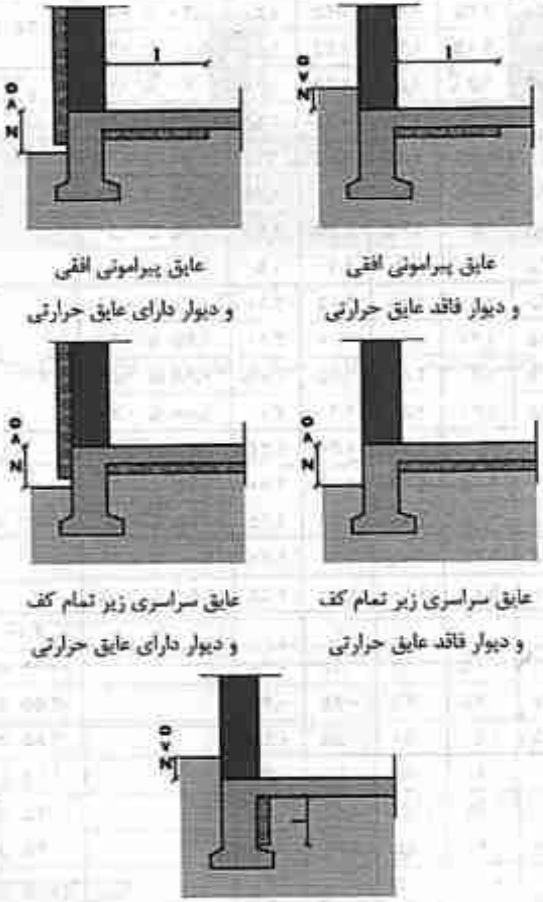
Z به متر	Ψ به [W/m.K]
کمتر از -۶٫۰۰	۰
از -۶٫۰۰ تا -۴٫۰۵	۰٫۲۰
از -۴٫۰۰ تا -۲٫۵۵	۰٫۴۰
از -۳٫۵۰ تا -۱٫۸۵	۰٫۶۰
از -۱٫۸۰ تا -۱٫۲۵	۰٫۸۰
از -۱٫۲۰ تا -۰٫۷۵	۱٫۰۰
از -۰٫۷۰ تا -۰٫۴۵	۱٫۲۰
از -۰٫۴۰ تا -۰٫۲۵	۱٫۴۰
از -۰٫۲۰ تا +۰٫۲۰	۱٫۷۵
از +۰٫۲۵ تا +۰٫۴۰	۲٫۱۰
از +۰٫۴۵ تا +۱٫۰۰	۲٫۳۵
از +۱٫۰۵ تا +۱٫۵۰	۲٫۵۵

پ۱۱-۳-۱-۲ کف روی خاک با عایق حرارتی

برای کاهش انتقال حرارت از کف روی خاک، می‌توان در زیر تمام سطح کف، یا به‌صورت پیرامونی زیر کف، یا به‌صورت ادامه عایق حرارتی دیوار، عایق‌کاری حرارتی را اجرا کرد. در هر کدام از این حالات، بسته به نحوهٔ عایق‌کاری در محل تلاقی کف و دیوار، سه حالت در نظر گرفته می‌شود: قطع‌شده، کاهش‌یافته و یکسره.

عایق حرارتی قطع‌شده

در مواردی که، در محل تلاقی کف و دیوار، عایق‌کاری حرارتی به صورت منقطع اجرا می‌گردد (مانند نمونه‌های شکل ۲۷)، جدول ۸۱ ضریب انتقال حرارت خطی مربوط به اتصال کف را، با توجه به پارامترهایی، از جمله اختلاف ارتفاع کف‌سازی داخل و محوطه z، عرض عایق حرارتی l، و مقاومت حرارتی آن R، داده است.



عایق پیرامونی افقی و دیوار فاقد عایق حرارتی

عایق پیرامونی افقی و دیوار دارای عایق حرارتی

عایق سراسری زیر تمام کف و دیوار فاقد عایق حرارتی

عایق سراسری زیر تمام کف و دیوار دارای عایق حرارتی

عایق پیرامونی عمودی و دیوار فاقد عایق حرارتی

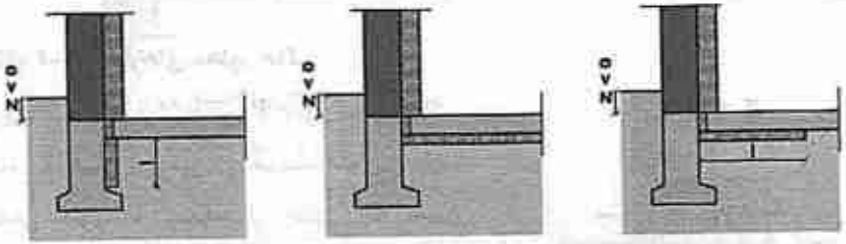
شکل ۲۷ حالت‌های مختلف عایق‌کاری حرارتی کف روی خاک به صورت قطع‌شده در محل تلاقی دیوار و کف

جدول ۸۱ ضریب انتقال حرارت خطی Ψ بر حسب [W/m.K] در عایق‌کاری قطع‌شده

	Z (متر)	عرض عایق (متر)	مقاومت حرارتی عایق ($m^2.K/W$)						
			۰٫۲۰ تا ۰٫۳۵	۰٫۴۰ تا ۰٫۵۵	۰٫۶۰ تا ۰٫۷۵	۰٫۸۰ تا ۱٫۰۰	۱٫۰۵ تا ۱٫۵۰	۱٫۵۵ تا ۲٫۰۰	۲٫۰۵ تا ۳٫۰۰
عایق حرارتی پیرامونی (عمودی یا افقی)	از ۱٫۲۰- تا ۰٫۷۵-	۰٫۲۵ تا ۱٫۰۰	۰٫۹۵	۰٫۹۵	۰٫۹۰	۰٫۹۰	۰٫۹۰	۰٫۹۰	۰٫۸۵
	از ۰٫۷۰- تا ۰٫۴۵-	۰٫۲۵ تا ۱٫۰۰	۱٫۱۵	۱٫۱۰	۱٫۱۰	۱٫۱۰	۱٫۰۵	۱٫۰۵	۱٫۰۵
	از ۰٫۴۰- تا ۰٫۲۵-	۰٫۲۵ تا ۰٫۴۰	۱٫۳۰	۱٫۲۵	۱٫۲۵	۱٫۲۵	۱٫۲۰	۱٫۲۰	۱٫۱۵
		۰٫۴۵ تا ۱٫۰۰	۱٫۲۵	۱٫۲۵	۱٫۲۰	۱٫۱۵	۱٫۱۵	۱٫۱۰	۱٫۰۵
	از ۰٫۳۰- تا ۰٫۲۰+	۰٫۲۵ تا ۰٫۴۰	۱٫۶۰	۱٫۵۵	۱٫۵۰	۱٫۵۰	۱٫۴۵	۱٫۴۵	۱٫۴۰
		۰٫۴۵ تا ۱٫۰۰	۱٫۵۵	۱٫۵۰	۱٫۴۵	۱٫۴۰	۱٫۳۵	۱٫۳۰	۱٫۳۰
	از ۰٫۲۵+ تا ۰٫۴۰+	۰٫۲۵ تا ۰٫۳۰	۱٫۹۰	۱٫۸۵	۱٫۸۰	۱٫۷۵	۱٫۷۰	۱٫۷۰	۱٫۶۵
		۰٫۳۵ تا ۰٫۴۵	۱٫۸۵	۱٫۸۰	۱٫۷۵	۱٫۷۰	۱٫۶۵	۱٫۶۰	۱٫۵۵
		۰٫۵۰ تا ۰٫۶۵	۱٫۸۵	۱٫۷۵	۱٫۶۵	۱٫۶۰	۱٫۵۵	۱٫۵۰	۱٫۴۵
		۰٫۷۰ تا ۱٫۰۰	۱٫۸۰	۱٫۷۰	۱٫۶۰	۱٫۵۵	۱٫۴۵	۱٫۴۰	۱٫۳۵
	از ۰٫۴۵+ تا ۱٫۰۰+	۰٫۲۵ تا ۰٫۳۰	۲٫۱۰	۲٫۰۵	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۱٫۹۵	۱٫۹۰	۱٫۹۰
		۰٫۳۵ تا ۰٫۴۵	۲٫۱۰	۲٫۰۰	۱٫۹۵	۱٫۹۰	۱٫۸۵	۱٫۸۰	۱٫۸۰
		۰٫۵۰ تا ۰٫۶۵	۲٫۰۵	۱٫۹۵	۱٫۸۵	۱٫۸۰	۱٫۷۵	۱٫۷۰	۱٫۶۵
		۰٫۷۰ تا ۱٫۰۰	۲٫۰۰	۱٫۹۰	۱٫۸۰	۱٫۷۰	۱٫۶۵	۱٫۵۵	۱٫۵۰
	از ۱٫۰۵+ تا ۱٫۵۰+	۰٫۲۵ تا ۰٫۳۰	۲٫۳۵	۲٫۳۰	۲٫۲۵	۲٫۲۰	۲٫۲۰	۲٫۱۵	۲٫۱۰
		۰٫۳۵ تا ۰٫۴۵	۲٫۳۰	۲٫۲۵	۲٫۱۵	۲٫۱۵	۲٫۱۰	۲٫۰۵	۲٫۰۰
		۰٫۵۰ تا ۰٫۶۵	۲٫۲۵	۲٫۱۵	۲٫۱۰	۲٫۰۵	۱٫۹۵	۱٫۹۰	۱٫۸۵
		۰٫۷۰ تا ۱٫۰۰	۲٫۲۰	۲٫۱۰	۲٫۰۰	۱٫۹۵	۱٫۸۵	۱٫۸۰	۱٫۷۰
		۱٫۰۵ تا ۱٫۵۰	۲٫۱۵	۲٫۰۰	۱٫۹۰	۱٫۸۰	۱٫۷۰	۱٫۶۰	۱٫۵۰
عایق حرارتی سرتاسری زیر تمام سطح کف	کمتر از ۶٫۰۰-		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	از ۶٫۰۰- تا ۴٫۰۵-		۰٫۲۰	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵
	از ۴٫۰۰- تا ۳٫۵۵-		۰٫۴۰	۰٫۳۵	۰٫۳۵	۰٫۳۵	۰٫۳۵	۰٫۳۰	۰٫۳۰
	از ۳٫۵۰- تا ۱٫۸۵-		۰٫۵۵	۰٫۵۵	۰٫۵۰	۰٫۵۰	۰٫۴۵	۰٫۴۵	۰٫۴۰
	از ۱٫۸۰- تا ۱٫۳۵-		۰٫۷۰	۰٫۷۰	۰٫۶۵	۰٫۶۰	۰٫۶۰	۰٫۵۵	۰٫۴۵
	از ۱٫۲۰- تا ۰٫۷۵-		۰٫۹۰	۰٫۸۵	۰٫۸۰	۰٫۷۵	۰٫۷۰	۰٫۶۵	۰٫۵۵
	از ۰٫۷۰- تا ۰٫۴۵-		۱٫۰۵	۱٫۰۰	۰٫۹۵	۰٫۹۰	۰٫۸۰	۰٫۷۵	۰٫۶۵
	از ۰٫۴۰- تا ۰٫۲۵-		۱٫۲۰	۱٫۱۰	۱٫۰۵	۱٫۰۰	۰٫۹۰	۰٫۸۰	۰٫۷۰
	از ۰٫۲۰- تا ۰٫۲۰+		۱٫۴۵	۱٫۳۵	۱٫۲۵	۱٫۱۵	۱٫۰۵	۰٫۹۵	۰٫۸۵
	از ۰٫۲۵+ تا ۰٫۴۰+		۱٫۷۰	۱٫۵۵	۱٫۴۵	۱٫۳۰	۱٫۲۰	۱٫۰۵	۰٫۹۵
	از ۰٫۴۵+ تا ۱٫۰۰+		۱٫۹۰	۱٫۷۰	۱٫۵۵	۱٫۴۵	۱٫۳۰	۱٫۱۵	۱٫۰۰
	از ۱٫۰۵+ تا ۱٫۵۰+		۲٫۰۵	۱٫۸۵	۱٫۷۰	۱٫۵۵	۱٫۴۰	۱٫۲۵	۱٫۱۰

عایق حرارتی کاهش‌یافته

در برخی موارد، عایق‌کاری دیوار در محل تلاقی با کف، با ضخامت کمتر و با حفظ ضخامت اصلی دیوار، در بخش زیر کف اجرا می‌شود. البته در هیچ نقطه‌ای مقاومت حرارتی عایق حرارتی نباید کمتر از ۰٫۲۰ [$m^2.K/W$] باشد. در این شرایط، ضریب انتقال حرارت خطی با استفاده از مقادیر جدول ۸۱ و با کسر مقادیر جدول ۸۲ به‌دست می‌آید.



عایق پیرامونی عمودی　　عایق سراسری　　عایق پیرامونی افقی

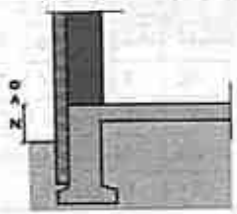
شکل ۲۸ حالات مختلف عایق‌کاری حرارتی کف روی خاک به صورت کاهش‌یافته

جدول ۸۲ مقادیر کاهش Ψ در حالت عایق حرارتی کاهش یافته

کاهش Ψ [W/m.K]	Z (متر)		
۰٫۰۰	کمتر از یا	مساوی با	۰٫۴۵-
۰٫۰۵	بین ۰٫۴۰-	و	۰٫۲۵-
۰٫۱۰	بیشتر از یا	مساوی با	۰٫۲۰-

عایق حرارتی یکسره

در صورت ادامه یافتن عایق حرارتی از خارج، تا روی شالوده، ضریب انتقال حرارت خطی، بسته به مقاومت عایق حرارتی و اختلاف تراز داخل و خارج، با استفاده از مقادیر جدول ۸۱ و کسر مقادیر ارائه‌شده در جدول ۸۳، به‌دست می‌آید.



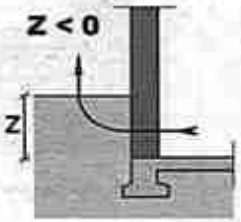
شکل ۲۹ اتصال دیوار با عایق از خارج (تا روی پی) به کف روی خاک

جدول ۸۳ مقادیر کاهش Ψ در حالت عایق حرارتی یک‌سره [W/m.K]

R [m².K/W] / Z [m]	۰٫۳۰ تا ۰٫۵۵	۰٫۶۰ تا ۱٫۰۰	۱٫۰۵ تا ۳٫۰۰
کمتر از یا مساوی با ۰٫۴۵-	۰	۰	۰
بین ۰٫۴۰- و ۰٫۲۵-	۰٫۰۵	۰٫۱۰	۰٫۱۰
بیشتر از یا مساوی با ۰٫۲۰-	۰٫۱۵	۰٫۲۰	۰٫۲۵

پ۱۱-۳-۲ دیوارهای مجاور خاک

ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ دیوار مجاور خاک، بسته به عمق زیرزمین و ضریب انتقال حرارت سطحی دیوار، با استفاده از جدول ۸۴ تعیین می‌گردد.



شکل ۳۰ انتقال حرارت از دیوار مجاور خاک

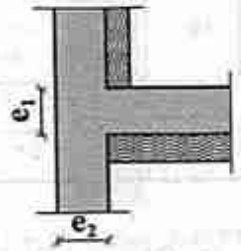
جدول ۸۴ ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ دیوارهای مجاور خاک [W/(m.K)]

Z [m]	ضریب انتقال حرارت سطحی دیوار [W/(m².K)]										
	۰٫۴۰ تا ۰٫۴۹	۰٫۵۰ تا ۰٫۶۴	۰٫۶۵ تا ۰٫۷۹	۰٫۸۰ تا ۰٫۹۹	۱٫۰۰ تا ۱٫۱۹	۱٫۲۰ تا ۱٫۴۹	۱٫۵۰ تا ۱٫۷۹	۱٫۸۰ تا ۲٫۱۹	۲٫۲۰ تا ۲٫۵۹	۲٫۶۰ تا ۳٫۰۹	۳٫۱۰ تا ۳٫۷۰
کمتر از ۶٫۰۰-	۱٫۴۰	۱٫۶۵	۱٫۸۵	۲٫۰۵	۲٫۲۵	۲٫۴۵	۲٫۶۵	۲٫۸۰	۳٫۰۰	۳٫۲۰	۳٫۴۰
از ۶٫۰۰- تا ۵٫۰۵-	۱٫۳۰	۱٫۵۰	۱٫۷۰	۱٫۹۰	۲٫۰۵	۲٫۲۵	۲٫۴۵	۲٫۶۵	۲٫۸۵	۳٫۰۰	۳٫۲۰
از ۵٫۰۰- تا ۴٫۰۵-	۱٫۱۵	۱٫۳۵	۱٫۵۰	۱٫۶۵	۱٫۹۰	۲٫۰۵	۲٫۲۵	۲٫۴۵	۲٫۶۵	۲٫۸۰	۳٫۰۰
از ۴٫۰۰- تا ۳٫۰۵-	۱٫۰۰	۱٫۱۵	۱٫۳۰	۱٫۴۵	۱٫۶۵	۱٫۸۵	۲٫۰۰	۲٫۲۰	۲٫۳۵	۲٫۵۵	۲٫۷۰
از ۳٫۰۰- تا ۲٫۵۵-	۱٫۸۵	۱٫۰۰	۱٫۱۵	۱٫۳۰	۱٫۴۵	۱٫۶۵	۱٫۸۰	۲٫۰۰	۲٫۱۵	۲٫۳۰	۲٫۵۰
از ۲٫۵۰- تا ۲٫۰۵-	۰٫۷۰	۰٫۸۵	۱٫۰۰	۱٫۱۵	۱٫۳۰	۱٫۴۵	۱٫۶۵	۱٫۸۰	۱٫۹۵	۲٫۱۰	۲٫۳۰
از ۲٫۰۰- تا ۱٫۵-	۰٫۶۰	۰٫۷۰	۰٫۸۵	۱٫۰۰	۱٫۱۰	۱٫۲۵	۱٫۴۰	۱٫۵۵	۱٫۷۵	۱٫۹۰	۲٫۰۵
از ۱٫۵۰- تا ۱٫۰۵-	۰٫۴۵	۰٫۵۵	۰٫۶۵	۰٫۷۵	۰٫۹۰	۱٫۰۰	۱٫۱۵	۱٫۳۰	۱٫۴۵	۱٫۶۰	۱٫۷۵
از ۱٫۰۰- تا ۰٫۷۵-	۰٫۳۵	۰٫۴۰	۰٫۵۰	۰٫۶۰	۰٫۶۵	۰٫۸۰	۰٫۹۰	۱٫۰۵	۱٫۱۵	۱٫۳۰	۱٫۴۰
از ۰٫۷۰- تا ۰٫۴۵-	۰٫۲۰	۰٫۳۰	۰٫۳۵	۰٫۴۰	۰٫۵۰	۰٫۵۵	۰٫۶۵	۰٫۷۵	۰٫۸۵	۰٫۹۵	۱٫۱۰
از ۰٫۴۰- تا ۰٫۲۵-	۰٫۱۰	۰٫۱۵	۰٫۲۰	۰٫۲۵	۰٫۳۰	۰٫۳۵	۰٫۴۰	۰٫۴۵	۰٫۵۵	۰٫۶۰	۰٫۷۰
از ۰٫۲۰- تا ۰٫۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

پ۱۱-۳-۳ اتصالات متداول کف‌های مجاور خارج یا فضای کنترل‌نشده

اتصال کف با عایق از خارج با دیوار بتنی دارای عایق از داخل

ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال دیوار بتنی با عایق از داخل به کف با عایق از خارج بستگی به ضخامت کف e_1 و ضخامت دیوار e_2 دارد و با مقادیر جدول ۸۵ تعیین می‌گردد.



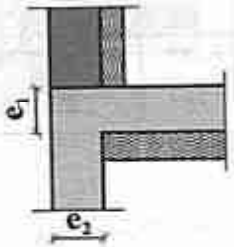
شکل ۳۱ اتصال دیوار بتنی با عایق از داخل به کف با عایق از خارج

جدول ۸۵ ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال دیوار بتنی با عایق از داخل به کف زیرین با عایق از خارج [W/(m.K)]

e_1 (cm) / e_2 (cm)	۱۵٫۰	۱۷٫۵	۲۰٫۰	۲۲٫۵	۲۵٫۰	۲۷٫۵	۳۰٫۰
۱۵ تا ۱۹	۰٫۲۴	۰٫۲۶	۰٫۲۸	۰٫۳۱	۰٫۳۴	۰٫۳۶	۰٫۳۹
۲۰ تا ۲۵	۰٫۲۲	۰٫۲۵	۰٫۲۷	۰٫۲۹	۰٫۳۱	۰٫۳۴	۰٫۳۶

اتصال کف با عایق از خارج با دیوار بنایی دارای عایق از داخل

ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال دیوار بتنی با عایق از داخل به کف با عایق از خارج به ضخامت کف e_1 و ضخامت دیوار e_2 بستگی دارد و با مقادیر جدول ۸۶ تعیین می‌گردد.



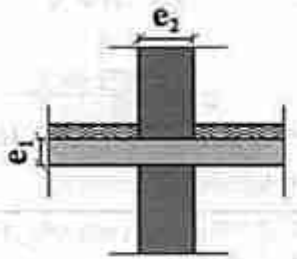
شکل ۳۲ اتصال دیوار بنایی با عایق از داخل به کف با عایق از خارج

جدول ۸۶ ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال دیوار بنایی با عایق از داخل به کف زیرین با عایق از خارج [W/(m.K)]

e_1 (cm) / e_2 (cm)	۱۵٫۰	۱۷٫۵	۲۰٫۰	۲۲٫۵	۲۵٫۰	۲۷٫۵	۳۰٫۰
۱۵ تا ۱۹	۰٫۳۱	۰٫۲۳	۰٫۲۵	۰٫۲۸	۰٫۳۱	۰٫۳۳	۰٫۳۶
۲۰ تا ۲۵	۰٫۱۹	۰٫۲۲	۰٫۲۴	۰٫۲۶	۰٫۲۸	۰٫۳۱	۰٫۳۳

اتصال کف با عایق از داخل با دیوار داخلی

ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال دیوار بتنی داخلی به کف با عایق از داخل به ضخامت کف e_1 و ضخامت دیوار e_2 بستگی دارد و با مقادیر جدول ۸۷ تعیین می‌گردد.



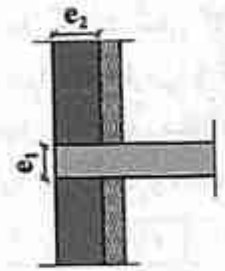
شکل ۳۳ اتصال دیوار داخلی به کف با عایق از داخل

جدول ۸۷ ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال دیوار داخلی به کف زیرین با عایق از داخل [W/(m.K)]

e_1 (cm) / e_2 (cm)	۱۵٫۰	۱۷٫۵	۲۰٫۰	۲۲٫۵	۲۵٫۰	۲۷٫۵	۳۰٫۰
۱۵ تا ۱۹	۰٫۲۴	۰٫۲۸	۰٫۳۲	۰٫۳۵	۰٫۳۸	۰٫۴۲	۰٫۴۵
۲۰ تا ۲۵	۰٫۲۲	۰٫۲۶	۰٫۳۰	۰٫۲۶	۰٫۲۸	۰٫۳۱	۰٫۳۳

پ۱۱-۳-۴ اتصالات متداول سقف‌های میانی

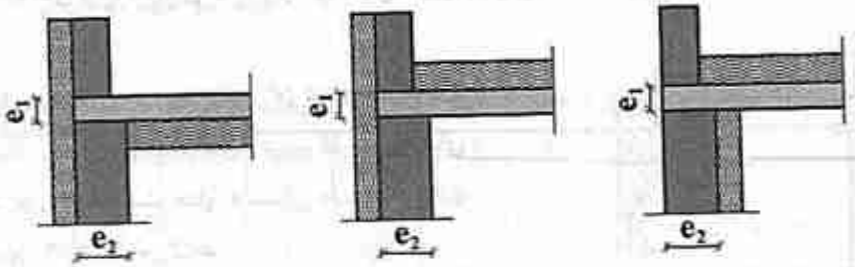
ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال سقف‌های بین طبقات به دیوارهای خارجی با عایق از داخل به ضخامت سقف e_1 و ضخامت دیوار e_2 بستگی دارد و با مقادیر جدول ۸۷ تعیین می‌گردد.



شکل ۳۴ اتصال دیوار با عایق حرارتی از داخل به سقف بین طبقات

پ۱۱-۳-۵ اتصالات متداول بام‌ها و دیوار

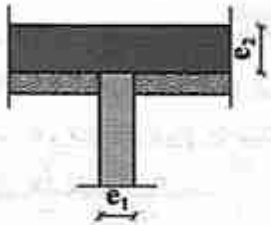
ضرایب انتقال حرارت خطی اتصال بام‌های تخت و دیوار، چنانچه عایق حرارتی دیوار و بام به یکدیگر متصل نگردد (مانند حالات مشخص‌شده در شکل ۳۵)، بسته به ضخامت سقف e_1 و ضخامت دیوار e_2، با مقادیر جدول ۸۷ تعیین می‌گردد. در صورتی که دیوار و سقف از داخل و به صورت یکپارچه عایق‌کاری حرارتی گردد، در محل اتصال بام و دیوار، پل حرارتی وجود نخواهد داشت.



شکل ۳۵ برخی حالت‌های عایق‌کاری حرارتی دیوار و بام که موجب ایجاد پل حرارتی می‌شوند

پ۱۱-۳-۶ اتصال دیوارهای داخلی و خارجی

ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال دیوارهای داخلی و دیوارهای خارجی با عایق از داخل به ضخامت دیوار داخلی e_1 و ضخامت دیوار خارجی e_2 بستگی دارد. این ضرایب با مقادیر جدول ۸۸ تعیین می‌گردد.



شکل ۳۶ اتصال دیوار خارجی با عایق حرارتی از داخل به دیوار (تیغه) داخلی

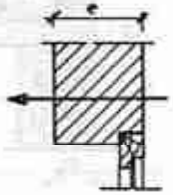
جدول ۸۸ ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال دیوار داخلی به دیوار خارجی با عایق از داخل [W/(m.K)]

e_1 (cm) / e_2 (cm)	۱۰٫۰	۱۲٫۵	۱۵٫۰	۱۷٫۵	۲۰٫۰	۲۲٫۵	۲۵٫۰
۱۵ تا ۱۹	۰٫۳۰	۰٫۲۴	۰٫۲۸	۰٫۳۲	۰٫۳۶	۰٫۳۹	۰٫۴۲
۲۰ تا ۲۵	۰٫۱۹	۰٫۲۳	۰٫۲۷	۰٫۳۰	۰٫۳۴	۰٫۳۷	۰٫۴۰

پ۱۱-۳-۷ اتصالات بین بازشوها و جدارهای غیر نورگذر

بازشوهای هماد داخل در دیوارهای بدون عایق حرارتی یا با عایق همگن

ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال بازشوهای هماد داخل به جدارهای غیرنورگذر (دیوارهای خارجی) به ضخامت جدار e بستگی دارد و با مقادیر جدول ۸۹ تعیین می‌گردد.



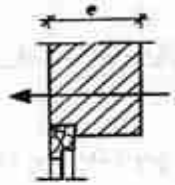
شکل ۳۷ اتصال بازشو هماد داخل به جدار غیرنورگذر (دیوار خارجی)

جدول ۸۹ ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال بازشوها به جدارهای خارجی غیرنورگذر [W/(m.K)]

ضریب انتقال حرارت دیوار / e (cm)	۰٫۴۰ تا ۰٫۶۰	۰٫۶۵ تا ۰٫۸۵	۰٫۹۰ تا ۱٫۱۰	۱٫۱۵ تا ۱٫۳۵	۱٫۴۰ تا ۱٫۶۰	۱٫۶۵ تا ۱٫۸۵	۱٫۹۰ تا ۲٫۱۰
۲۰ تا ۲۴	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۱۰	۰٫۱۱	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۱۳
۲۵ تا ۲۹	۰٫۰۸	۰٫۱۰	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۱۶
۳۰ تا ۳۴	۰٫۰۹	۰٫۱۲	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۱۹
۳۵ تا ۴۰	۰٫۱۰	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۱۸	۰٫۱۹	۰٫۲۰	۰٫۲۱

بازشوهای هماد خارج در دیوارهای بدون عایق یا با عایق همگن

ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال بازشوهای هماد خارج به جدارهای غیرنورگذر (دیوارهای خارجی) به ضخامت جدار e بستگی دارد و با مقادیر جدول ۹۰ تعیین می‌گردد.



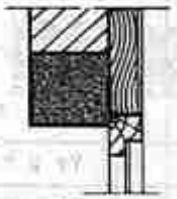
شکل ۳۸ اتصال بازشو هماد با عایق حرارتی (از داخل) دیوار خارجی به جدار غیرنورگذر (دیوار خارجی)

جدول ۹۰ ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال بازشوها به جدارهای خارجی غیرنورگذر [W/(m.K)]

ضریب انتقال حرارت دیوار / e (cm)	۰٫۴۰ تا ۰٫۶۰	۰٫۶۵ تا ۰٫۸۵	۰٫۹۰ تا ۱٫۱۰	۱٫۱۵ تا ۱٫۳۵	۱٫۴۰ تا ۱٫۶۰	۱٫۶۵ تا ۱٫۸۵	۱٫۹۰ تا ۲٫۱۰
۲۰ تا ۲۴	۰٫۱۰	۰٫۱۳	۰٫۱۵	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۱۹	۰٫۲۰
۲۵ تا ۲۹	۰٫۱۳	۰٫۱۶	۰٫۱۹	۰٫۲۰	۰٫۲۲	۰٫۲۳	۰٫۲۴
۳۰ تا ۳۴	۰٫۱۵	۰٫۱۹	۰٫۲۲	۰٫۲۴	۰٫۲۶	۰٫۲۸	۰٫۲۹
۳۵ تا ۴۰	۰٫۱۷	۰٫۲۲	۰٫۲۵	۰٫۲۸	۰٫۳۰	۰٫۳۲	۰٫۳۳

بازشوهای همباد با عایق حرارتی دیوار

ضرایب انتقال حرارت خطی Ψ اتصال بازشوهای همباد با عایق حرارتی دیوار خارجی (به ضخامت جدار t) برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳۹ اتصال بازشو همباد با عایق حرارتی (از داخل) دیوار خارجی به جدار غیرنورگذر (دیوار خارجی)

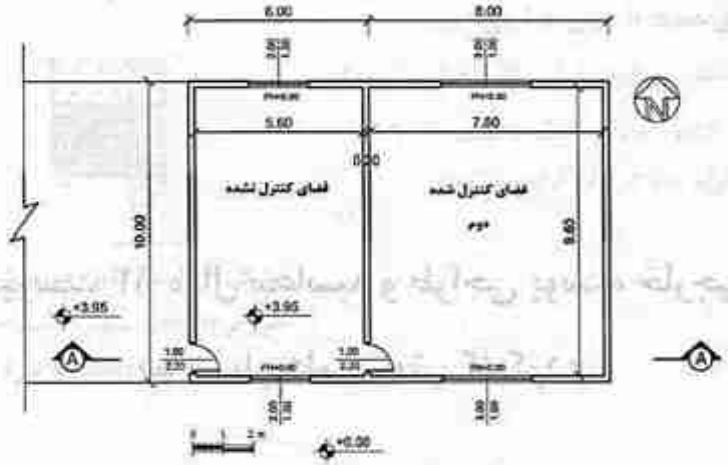
پیوست ۱۲ مثال محاسبه و طراحی پوسته خارجی ساختمان طبق روش کارکردی

پ۱۲-۱ اطلاعات مورد نیاز

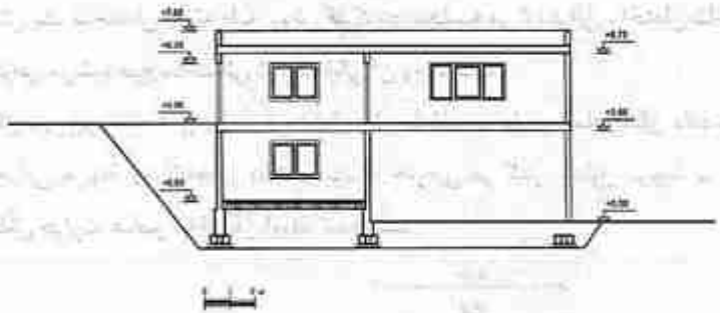
در این بخش یک ساختمان نمونه طبق روش کارکردی محاسبه می‌گردد. این ساختمان شامل ۲ طبقه می‌باشد و فرض می‌شود هیچ ساختمانی در همسایگی آن وجود ندارد.

در شکل‌های زیر، نقشه‌های ساختمان شامل پلان طبقات، مقطع، و نماها نشان داده شده است. جزئیات اجرایی مربوط به لایه‌های مختلف پوسته خارجی در کنار جداول مربوط به محاسبات ضرایب انتقال حرارت عناصر ساختمان آورده شده است.

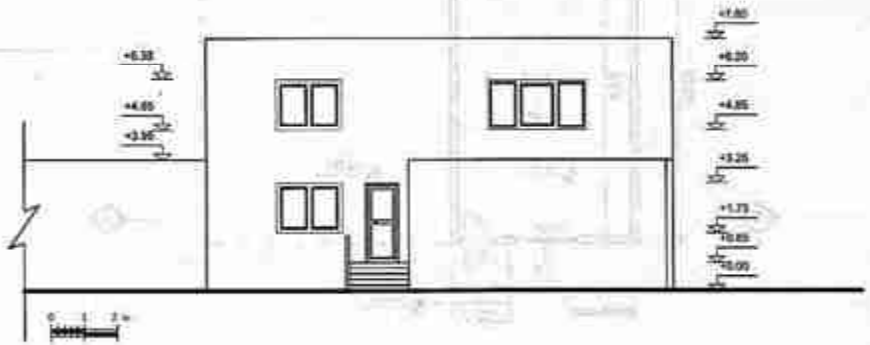
شکل ۴۰ نقشه طبقه همکف



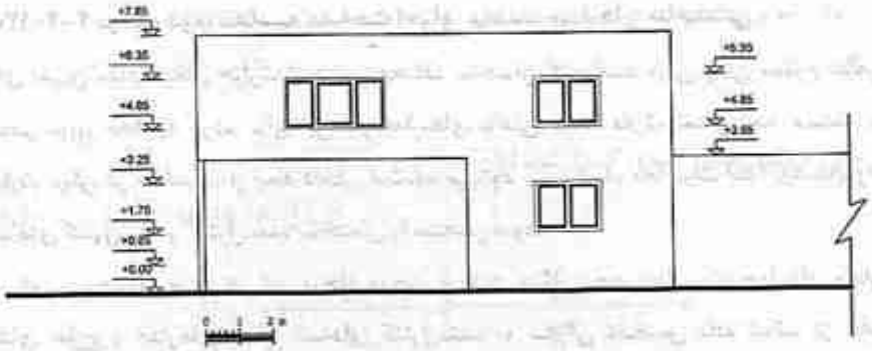
شکل ۴۱ نقشه طبقه اول



شکل ۴۲ مقطع A-A



شکل ۴۳ نمای جنوبی



شکل ۴۴ نمای شمالی

پ۱۲-۲ مراحل انجام محاسبات به روش کارکردی

برای انجام محاسبات به روش کارکردی، مراحل زیر باید به ترتیب انجام شود.

پ۱۲-۲-۱ مرحله اول: تعیین گروه‌بندی ساختمان

مطابق بند ۱۹-۳-۱ اولین قدم در محاسبه حرارتی یک ساختمان به منظور تطبیق آن با مبحث ۱۹ مقررات ملّی، تعیین گروه‌بندی آن است. برای این کار با استفاده از پیوست ۳ مبحث ۱۹ ابتدا نیاز حرارتی منطقه استقرار ساختمان مشخص می‌شود. چون ساختمان موردنظر در تهران واقع شده است، لذا نیاز انرژی آن **متوسط** است. طبق پیوست ۴ مبحث ۱۹ چون ساختمان مسکونی است، کاربری آن در **گروه الف** قرار دارد. براساس پیوست ۵ مبحث ۱۹، و با توجه به کاربری نوع الف، نیاز انرژی متوسط، استقرار در شهر بزرگ، و بالاخره زیربنای کمتر از ۱۰۰۰ مترمربع، ساختمان جزو **گروه ۲** خواهد بود.

از آن‌جایی‌که ساختمان موردنظر با کاربری مسکونی و زیربنای کمتر از ۱۰۰۰ مترمربع در تهران واقع شده است:

مطابق پیوست ۳ مبحث ۱۹ ← نیاز انرژی متوسط

مطابق پیوست ۴ مبحث ۱۹ ← گروه الف

مطابق پیوست ۵ مبحث ۱۹ ← گروه ۲

پ۱۲-۲-۲ مرحله دوم: محاسبه مساحت اجزای مختلف جدارهای ساختمانی

برای تعیین مقدار انتقال حرارت از عناصر مختلف ساختمان لازم است پیش از آن سطوح خالص عناصر مزبور محاسبه گردد. برای این کار اندازه‌های داخلی فضاها ملاک تعیین ابعاد هستند. به عبارت دیگر، در محاسبات از ابعاد داخلی استفاده می‌شود. برای انجام محاسبات ابتدا باید محدوده فضاهای کنترل‌شده و کنترل‌نشده ساختمان را مشخص نمود.

تعیین محدوده مزبور در این مرحله موجب می‌شود هنگام انجام محاسبات، جدارهای مجاور فضای خارج و جدارهای مجاور فضاهای کنترل‌نشده به سادگی تشخیص داده شوند. در ادامه سطوح خالص عناصر مختلف ساختمان نمونه محاسبه شده‌است.

پ۱۲-۲-۲-۱ دیوارهای خارجی

در ساختمان نمونه، برای انجام محاسبات، ضخامت تمامی دیوارها ۲۰ سانتی‌متر و ضخامت سقف و بام نهایی، ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.

شکل ۴۵ دیوارهای مجاور فضای خارج در طبقه همکف

- دیوار شمالی مجاور فضای کنترل‌شده اول:

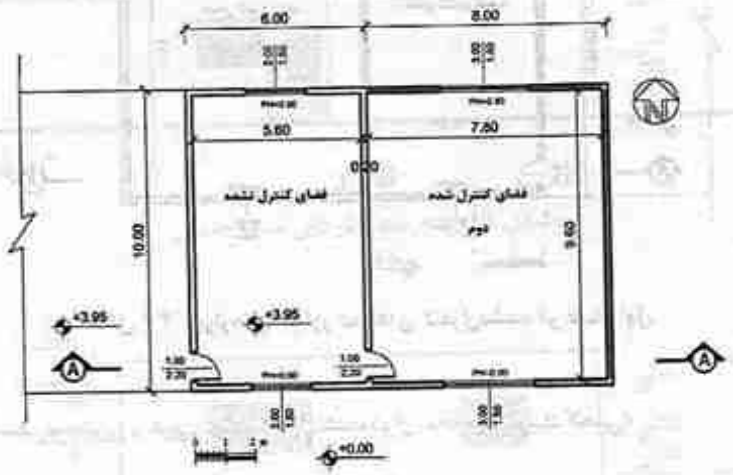
$$(۵.۶۰ \times ۲.۸۰) - (۲.۰۰ \times ۱.۵۰) = ۱۲.۶۸ \ [m^۲]$$

- دیوار جنوبی، مجاور فضای کنترل‌شده اول:

$$[(۵.۶۰ \times ۲.۸۰) - [(۱.۰۰ \times ۲.۲۰) + (۲.۰۰ \times ۱.۵۰)] = ۱۰.۴۸ \ [m^۲]$$

- دیوار شرقی، مجاور فضای کنترل‌شده اول:

$$(۹.۶۰ \times ۲.۸۰) = ۲۶.۸۸ \ [m^۲]$$



شکل ۴۶ دیوارهای مجاور فضای خارج در طبقه اول

- دیوار شمالی، مجاور فضای کنترل‌شده دوم:

$$(۷.۸۰ \times ۲.۸۰) - (۳.۰۰ \times ۱.۵۰) = ۱۷.۳۴ \ [m^۲]$$

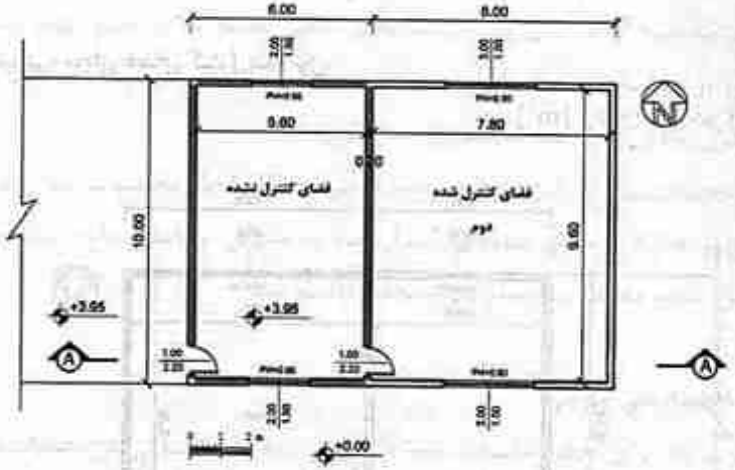
- دیوار جنوبی، مجاور فضای کنترل‌شده دوم:

$$(۷.۸۰ \times ۲.۸۰) - (۳.۰۰ \times ۱.۵۰) = ۱۷.۳۴ \ [m^۲]$$

- دیوار شرقی، مجاور فضای کنترل‌شده دوم:

$$(۹.۶۰ \times ۲.۸۰) = ۲۶.۸۸ \ [m^۲]$$

پ۱۲-۲-۲-۲ دیوارهای مجاور فضای کنترل‌نشده



شکل ۴۷ دیوارهای مجاور فضاهای کنترل‌نشده در طبقه اول

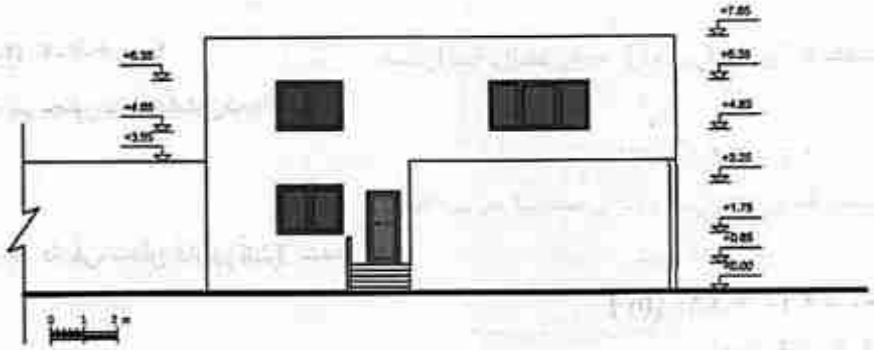
- دیوار شمالی و جنوبی و غربی فضای کنترل‌نشده، (برای محاسبه ضریب کاهش):

$$۲\times[(۵.۶۰\times۲.۸۰)-(۲.۰۰\times۱.۵۰)]+[(۹.۶۰\times۲.۸۰)-(۱.۰۰\times۲.۲۰)]=۵۰.۰۴\ [m^۲]$$

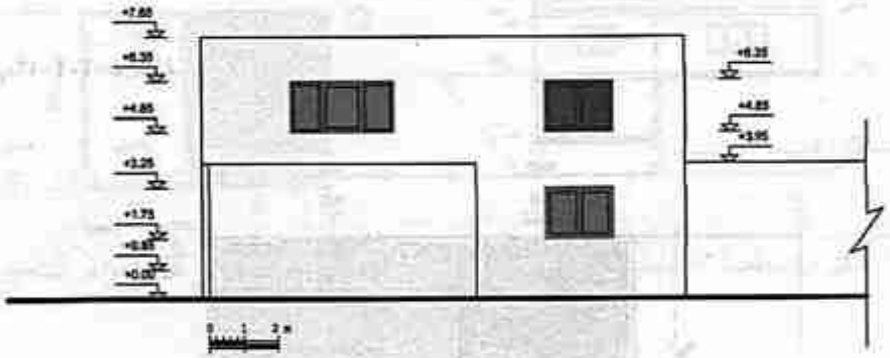
- دیوار داخلی مجاور فضای کنترل‌شده دوم و فضای کنترل‌نشده:

$$[(۹.۶۰\times۲.۸۰)-(۱.۰۰\times۲.۲۰)]=۲۴.۶۸\ [m^۲]$$

پ۱۲-۲-۲-۳ پنجره‌ها



شکل ۴۸ پنجره‌ها و درهای نمای جنوبی



شکل ۴۹ پنجره‌ها و درهای نمای شمالی

- پنجره‌های شمالی، مجاور فضای کنترل‌شده اول و دوم:

$$(۳.۰۰\times۱.۵۰)+(۳.۰۰\times۱.۵۰)=۷.۵۰\ [m^۲]$$

- پنجره‌های جنوبی، مجاور فضای کنترل‌شده اول و دوم:

$$(۳.۰۰\times۱.۵۰)+(۳.۰۰\times۱.۵۰)=۷.۵۰\ [m^۲]$$

- پنجره شمالی و جنوبی، مجاور فضای کنترل‌نشده (برای محاسبهٔ ضریب کاهش):

$(۲.۰۰ \times ۱.۵۰) \times ۲ = ۶.۰۰ \ [m^۲]$

پ۱۲-۲-۲-۴ درها

- در مجاور فضای کنترل‌شده اول:

$۱.۰۰ \times ۲.۲۰ = ۲.۲۰ \ [m^۲]$

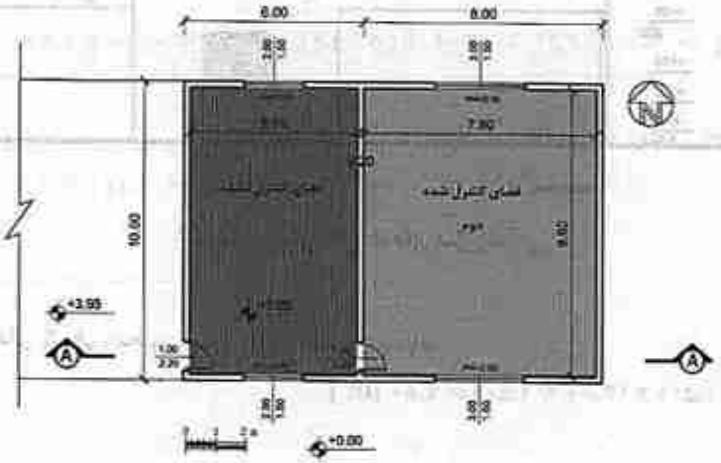
- در داخلی، مجاور فضای کنترل‌نشده:

$۱.۰۰ \times ۲.۲۰ = ۲.۲۰ \ [m^۲]$

- در مجاور فضای کنترل‌نشده (برای محاسبه ضریب کاهش):

$۱.۰۰ \times ۲.۲۰ = ۲.۲۰ \ [m^۲]$

پ۱۲-۲-۲-۵ سقف



شکل ۵۰ سطح بام فضاهای کنترل‌شده دوم و فضای کنترل‌نشده

- سقف فضای کنترل‌شده دوم مجاور خارج:

$۷.۸۰ \times ۹.۶۰ = ۷۴.۸۸ \ [m^۲]$

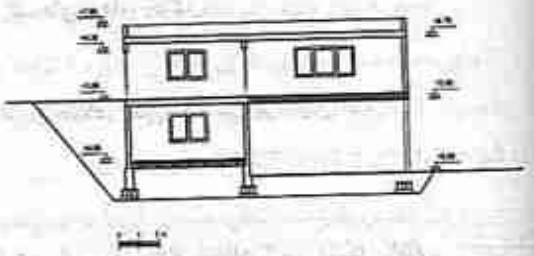
- سقف فضای کنترل‌شده اول مجاور فضای کنترل‌نشده

$۵.۶۰ \times ۹.۶۰ = ۵۳.۷۶ \ [m^۲]$

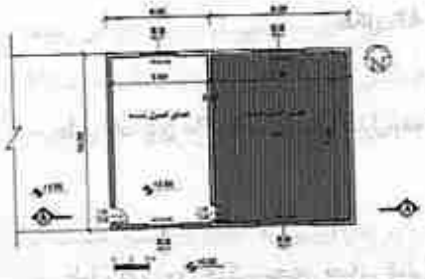
- سقف فضای کنترل‌نشده (برای محاسبهٔ ضریب کاهش):

$۵.۶۰ \times ۹.۶۰ = ۵۳.۷۶ \ [m^۲]$

پ۱۲-۲-۲-۶ کف‌ها



شکل ۵۱ موقعیت کف مجاور هوا در مقطع



شکل ۵۲ موقعیت کف مجاور هوا در طبقه اول

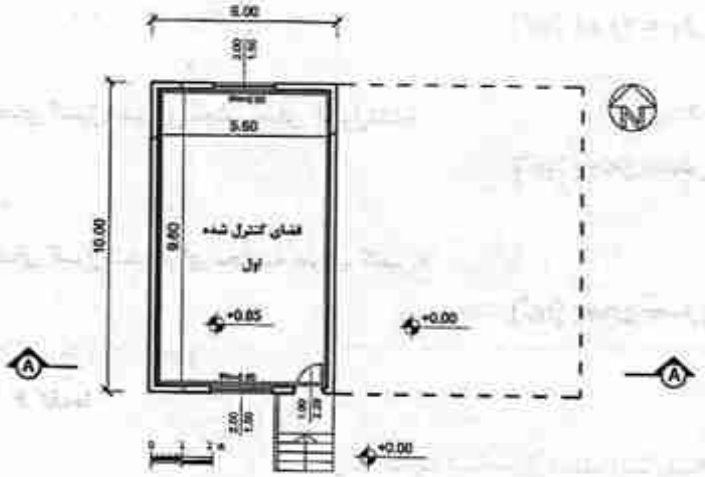
- کف فضای کنترل‌شده دوم مجاور هوای خارج:

$۷.۸۰ \times ۹.۶۰ = ۷۴.۸۸ \ [m^۲]$

پ۱۲-۲-۳ مرحله سوم: محاسبه طول پل‌های حرارتی پوسته خارجی

مقادیر پل‌های حرارتی شامل موارد زیر است که برای ساختمان نمونه مورد محاسبه قرار می‌گیرد:

پ۱۲-۲-۳-۱ کف مجاور خاک



شکل ۵۳ کف‌های مجاور خاک

- طول کف روی خاک، مجاور فضای کنترل‌شده اول، با اختلاف ارتفاع ۸۵ سانتی‌متر (شکل ۵۳):

$$۵.۶۰ + ۹.۶۰ + ۵.۶۰ = ۲۰.۸۰ \text{ [m]}$$

- طول کف روی خاک، مجاور فضای کنترل‌شده اول، با اختلاف ارتفاع ۳ متر (شکل ۵۳):

$$۹.۶۰ \text{[m]}$$

پ۱۲-۲-۳-۲ دیوار مجاور خاک

- طول دیوار مجاور خاک

$$۹.۶۰ \text{[m]}$$

پ۱۲-۲-۴ مرحله چهارم: محاسبه ضرایب انتقال حرارت اجزای پوسته

در این مرحله، ضرایب انتقال حرارت عناصر ساختمان که در انتقال حرارت نقش دارند محاسبه می‌شوند. برای محاسبه ضرایب مزبور، لازم است جزئیات اجرایی هر عنصر ساختمان، شامل ضخامت و ضریب هدایت حرارت هر لایه، مشخص گردد. سپس، مقاومت حرارتی هر لایه از عنصر

حساب می‌شود، و در انتها، ضریب انتقال حرارت عنصر تعیین می‌گردد. محاسبات ضرایب انتقال حرارت اجزای ساختمان نمونه در ادامه آمده است.

هر جدول دارای ۴ ستون است. در ستون اول لایه‌های تشکیل دهنده عنصر ساختمانی ذکر شده‌اند. بهتر است نام لایه‌ها به ترتیب از داخل به خارج، یا از خارج به داخل نوشته شوند. در ستون دوم ضخامت لایه مربوطه بر حسب متر ذکر می‌شود. در ستون سوم ضریب هدایت حرارت ماده ساختمانی نشان داده شده‌است. مقادیر مربوط به ضریب هدایت حرارتی از پیوست ۷ مبحث ۱۹ استخراج گردیده‌است. مقاومت حرارتی هر لایه در ستون چهارم نوشته می‌شود، که برای محاسبه آن مقدار d بر مقدار λ تقسیم می‌شود. همان‌طور که در جدول ۹۱ تا جدول ۹۳ ملاحظه می‌شود، برای سقف تیرچه‌بلوک یا بلوک سفالی، مقدار مقاومت حرارتی مستقیماً نوشته شده‌است. این مقدار از پیوست ۸ مبحث ۱۹، با توجه به مشخصات سقف مورد نظر از نظر فاصله تیرچه‌ها، ابعاد بلوک‌ها، و مقدار بتن روی آنها تعیین می‌شود.

با توجه به این نکته که هدف نهایی تعیین ضریب انتقال حرارت یعنی U است، لذا در ردیف انتهایی، مقاومت لایه‌های هوای طرفین جدار، با توجه به شکل استقرار آن، از پیوست ۸ مبحث ۱۹ (جدول ۴۵ این راهنما) استخراج می‌شود. در پایان، با معکوس نمودن حاصل‌جمع کلیه اعداد ستون آخر جدول، ضریب انتقال حرارت عنصر به‌دست می‌آید.

برای تعیین ضرایب انتقال حرارت درها و جدارهای نورگذر نیازی به انجام محاسبه نیست، و این ضرایب با استفاده از جداول مندرج در پیوست ۹ مبحث نوزدهم مقررات ملّی ساختمان تعیین می‌گردند. هم‌چنین، ضرایب انتقال حرارت خطی کف روی خاک و پل‌های حرارتی، با استفاده از پیوست ۱۱ مبحث ۱۹ تعیین می‌گردند.

جدول ۹۱ محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت سقف تیرچه بلوک سفالی، مجاور فضای خارج

نام لایه	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
آسفالت	۰.۰۰۳	۱.۱۵	۰.۰۰۲۶
عایق رطوبتی	۰.۰۰۱	۰.۲۳	۰.۰۰۴۳
ملات ماسه و سیمان	۰.۰۰۲	۱.۰۰	۰.۰۰۲۰
پوکه‌ریزی	۰.۰۰۵	۰.۲۵	۰.۰۲۰۰
سقف تیرچه و بلوک سفالی	۰.۲۰	___	۰.۲۶۰
اندود گچ	۰.۰۰۲	۰.۵۷	۰.۰۰۳۵
لایه‌های هوا	___	___	۰.۱۴۰
$R_T = ۰.۷۲۴$			
U = ۱.۳۸			

جدول ۹۲ محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت سقف تیرچه بلوک سفالی، مجاور فضای کنترل‌نشده

نام لایه	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
موزاییک	۰.۰۰۲	۱.۶۵	۰.۰۰۱۲
ملات ماسه و سیمان	۰.۰۰۲	۱.۰۰	۰.۰۰۲۰
سقف تیرچه و بلوک سفالی	۰.۲۰	___	۰.۲۶۰
اندود سیمان	۰.۰۰۳	۱.۰۰	۰.۰۰۳۰
لایه‌های هوا	___	___	۰.۱۸۰
$R_T = ۰.۵۰۲$			
U = ۱.۹۹			

جدول ۹۳ محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت کف تیرچه و بلوک سفالی، مجاور فضای خارج

نام لایه	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
موزاییک	۰.۰۰۲	۱.۶۵	۰.۰۰۱۲
ملات ماسه و سیمان	۰.۰۰۲	۱.۰۰	۰.۰۰۲۰
سقف تیرچه و بلوک سفالی	۰.۲۰	___	۰.۲۶۰
اندود سیمان	۰.۰۰۳	۱.۰۰	۰.۰۰۳۰
لایه‌های هوا	___	___	۰.۳۲۰
$R_T = ۰.۵۴۲$			
U = ۱.۸۵			

جدول ۹۴ محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت دیوار بلوک سفالی ۱۵ سانتی‌متری، پوشش اندود سیمان و گچ، مجاور خارج

نام لایه	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
اندود گچ	۰.۰۰۳۰	۰.۵۷	۰.۰۰۵۳
بلوک سفالی	۰.۱۵۰	___	۰.۳۰۰
اندود سیمان	۰.۰۰۲۰	۱.۰۰	۰.۰۰۲۰
لایه‌های هوا	___	___	۰.۱۷۰
$R_T = ۰.۵۴۳$			
U = ۱.۸۴			

جدول ۹۵ محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت دیوار بلوک سفالی ۱۵ سانتی‌متری، اندود گچ در طرفین، مجاور فضای کنترل‌نشده

نام لایه	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
اندود گچ	۰.۰۰۳۰	۰.۵۷	۰.۰۰۵۳
بلوک سفالی	۰.۱۵۰	___	۰.۳۰۰
اندود گچ	۰.۰۰۳۰	۰.۵۷	۰.۰۰۵۳
لایه‌های هوا	___	___	۰.۲۲۰
$R_T = ۰.۶۲۶$			
U = ۱.۶۰			

پ۱۲-۲-۵ مرحله پنجم: استخراج ضرایب انتقال حرارت خطی پل‌های حرارتی

در این مرحله، ضرایب انتقال حرارت خطی پل‌های حرارتی مطابق پیوست ۱۱ مبحث ۱۹ از جداول مربوطه استخراج می‌گردد. در حالتی که هیچ‌گونه عایق‌کاری حرارتی انجام نشده باشد، پل‌های حرارتی ساختمان نمونه به شرح زیر می‌باشد.

محل پل حرارتی	ضریب انتقال حرارت خطی
محل اتصال کف روی خاک مجاور فضای کنترل‌شده اول (با اختلاف ارتفاع ۸۵ سانتی‌متر)	۲/۳۵ (مطابق پیوست ۱۱، جدول ۳۳)
محل اتصال کف روی خاک مجاور فضای کنترل‌شده اول (با اختلاف ارتفاع ۳ متر)	۰/۴۰ (مطابق پیوست ۱۱، جدول ۳۳)
محل اتصال دیوار مجاور خاک (فضای کنترل‌شده اول)	۲/۰۰ (مطابق پیوست ۱۱، جدول ۳۷)

پ۱۲-۲-۶ مرحله ششم: تعیین ضرایب کاهش فضاهای کنترل‌نشده

برای محاسبه توان حرارتی جدارهای مجاور فضاهای کنترل‌نشده باید ضریب کاهش این فضاها طبق رابطهٔ زیر محاسبه شود. برای تعیین ضرایب کاهش طبق رابطه مندرج در بند ۱۹-۳-۱-۳-۵ مبحث ۱۹ لازم است علاوه بر مقادیر و ضرایب انتقال حرارت سطوح مابین فضاهای کنترل‌شده و کنترل‌نشده، مقادیر مربوط به سطوح فضاهای کنترل‌نشده که مجاور خارج قرار گرفته‌اند نیز محاسبه شود. در این بخش ضرایب کاهش فضای کنترل‌نشده محاسبه می‌شوند.

$$\tau = \frac{\sum A_e U_e}{\sum A_e U_e + \sum A_i U_i}$$

لازم به توضیح است، به‌منظور انسجام مراحل کار مساحت اجزای این سطوح نیز در مرحله دوم محاسبه شده است.

محاسبه $\sum A_e U_e$:

در پنجره دیوارهای خارجی بام

$$(۵۳.۷۶\times۱.۳۸) + (۵۰.۰۴\times۱.۸۴) + (۶.۰۰\times۵.۸۰) + (۲.۲۰\times۳.۵۰) = ۲۰۸.۷۶\ [W/K]$$

محاسبه $\sum A_i U_i$:

در دیوار داخلی

$$(۲۴.۶۸\times۱.۶۰) + (۲.۲۰\times۳.۵۰) = ۴۷.۱۹\ [W/K]$$

بنابراین، خواهیم داشت:

$$\tau = 208.76 / (208.76 + 47.19) = 0.81$$

پ۱۲-۲-۷ مرحله هفتم: محاسبه ضریب انتقال حرارت طرح و مقایسه با ضریب انتقال حرارت مرجع

در این مرحله با استفاده از سطوح خالص، ضرایب انتقال حرارت و ضرایب کاهش به‌دست آمده، ضریب انتقال حرارت ساختمان محاسبه می‌گردد. همچنین، براساس همان سطوح به‌دست آمده و ضرایب انتقال حرارت مرجع، که با توجه به گروه ساختمان و عوامل ویژه فرعی از جداول مبحث نوزدهم مقررات ملّی ساختمان استخراج می‌گردد، ضریب انتقال حرارت مرجع ساختمان محاسبه می‌گردد. در صورتی که ضریب انتقال حرارت ساختمان بزرگ‌تر از ضریب انتقال حرارت مرجع ساختمان باشد، باید با انجام اقدامات بهینه‌سازی پوسته، ضریب انتقال حرارت ساختمان کمتر یا مساوی ضریب انتقال حرارت مرجع گردد. در ادامه، ضریب انتقال حرارت ساختمان نمونه و ضریب انتقال حرارت مرجع آن محاسبه گردیده است. جدول ۹۶ به منظور مقایسه وضع موجود ساختمان با ضوابط مبحث ۱۹ تنظیم می‌شود. توضیح ستون‌های جدول ۹۶ به شرح زیر است:

ستون اول (نام عنصر): در ستون اول جدول، نام عناصر ساختمان ذکر می‌شود.

ستون دوم (موقعیت): در ستون دوم، موقعیت عنصر در ساختمان و نیز محل قرارگیری عنصر مربوطه مشخص می‌شود. مثلاً *شمالی* در ردیف مربوط به دیوار، مشخص می‌کند کلیه

اطلاعات این ردیف مربوط به دیوار شمالی است. آنجا که از کلمه *داخلی* استفاده شده‌است، منظور جدار مجاور یکی از فضاهای کنترل‌نشده است.

ستون سوم (مشخصات جدار): در ستون سوم، مشخصات اجرایی عنصر به طور خلاصه ذکر گردیده است. مثلاً در ردیف دیوار، عبارت *گچ-بلوک سفالی- اندود* بیان‌گر این است که این ردیف مربوط به دیواری است با اندود گچ و اندود سیمان در طرفین آن، و جنس خود دیوار از بلوک سفالی ۱۵ سانتیمتری است.

ستون چهارم (مساحت): در این ستون مساحت سطح خالص محاسبه شده در بخش‌های قبل نوشته می‌شود. در مورد کف روی خاک و پل‌های حرارتی مقدار طول عنصر درج می‌شود.

ستون پنجم (ضریب کاهش): در این ستون ضریب کاهش هر عنصر نوشته می‌شود. اگر عنصر مورد نظر مجاور فضای خارج باشد، ضریب کاهش مساوی با یک است. در غیر این‌صورت، ضریب کاهش براساس محاسبات صورت گرفته در مورد هر کدام از فضاهای کنترل‌نشده وارد می‌شود.

ستون ششم (ضریب انتقال حرارت): این ستون مربوط به مقادیر ضریب انتقال حرارت هر عنصر است، و خود به دو ستون تقسیم شده است. ستون سمت راست مربوط به مقدار وضع موجود ضریب انتقال حرارت است، و در ستون سمت چپ ضرایب انتقال حرارت مرجع مبحث ۱۹ نوشته می‌شود. مقادیر ضریب انتقال حرارت مرجع از ستون اول جدول ۴ بند ۱۹-۳-۱-۲ مبحث ۱۹، یعنی جدول مربوط به ساختمان‌های گروه دو استخراج شده است.

ستون هفتم (توان حرارتی): این ستون نیز به دو ستون دیگر تقسیم می‌شود. در جدول، ستون سمت راست به توان حرارتی هر عنصر اختصاص دارد و در ستون سمت چپ توان حرارتی هر عنصر براساس ضرایب مبحث ۱۹ نوشته می‌شود. مقدار توان حرارتی طرح، حاصل‌ضرب **مساحت**× **ضریب کاهش**× **ضریب انتقال حرارت** و مقدار توان حرارتی مرجع حاصل‌ضرب **مساحت**× **ضریب انتقال حرارت مرجع مبحث ۱۹** می‌باشد. پس از محاسبه توان حرارتی هر عنصر در هر ردیف، مقادیر ستون سمت راست با یکدیگر، و مقادیر ستون سمت چپ نیز با یکدیگر جمع می‌شود و ضریب انتقال حرارت کل و ضریب انتقال حرارت مرجع ساختمان به‌دست می‌آید.

جدول ۹۶ محاسبه ضریب انتقال حرارت کل ساختمان، قبل از بهینه‌سازی، و ضریب انتقال حرارت مرجع

نام عنصر	موقعیت	مشخصات جدار	مساحت / محیط [m^2/m]	ضریب کاهش	ضریب انتقال حرارت [W/m^2K]		توان حرارتی [W/K]	
					طرح	مرجع	طرح	مرجع
سقف	طبقه اول/ کنترل‌شده دوم	تیرچه‌بلوک سفالی	۷۴.۸۸	۱.۰۰	۱.۳۸	۰.۳۸	۱۰۳.۳۳	۲۸.۴۵
	طبقه همکف/ کنترل‌شده اول (مجاور کنترل‌نشده)	تیرچه‌بلوک سفالی	۵۳.۷۶	۰.۸۱	۱.۹۹	۰.۶۹	۸۶.۶۶	۳۷.۰۹
کف	طبقه اول	تیرچه‌بلوک سفالی	۷۴.۸۸	۱.۰۰	۱.۸۵	۰.۵۷	۱۳۸.۵۳	۴۲.۶۸
دیوار	شمالی/ کنترل‌شده اول	گچ-بلوک سفالی- اندود	۱۲.۶۸	۱.۰۰	۱.۸۴	۰.۸۸	۲۳.۳۳	۱۱.۱۶
	جنوبی/ کنترل‌شده اول	گچ-بلوک سفالی- اندود	۱۰.۴۸	۱.۰۰	۱.۸۴	۰.۸۸	۱۹.۳۸	۹.۲۲
	شرقی/ کنترل‌شده اول	گچ-بلوک سفالی- اندود	۲۶.۸۸	۱.۰۰	۱.۸۴	۰.۸۸	۴۹.۴۶	۲۳.۶۵
	شمالی/ کنترل‌شده دوم	گچ-بلوک سفالی- اندود	۱۷.۳۴	۱.۰۰	۱.۸۴	۰.۸۸	۳۱.۹۱	۱۵.۲۶
	جنوبی/ کنترل‌شده دوم	گچ-بلوک سفالی- اندود	۱۷.۳۴	۱.۰۰	۱.۸۴	۰.۸۸	۳۱.۹۱	۱۵.۲۶
	شرقی/ کنترل‌شده دوم	گچ-بلوک سفالی- اندود	۲۶.۸۸	۱.۰۰	۱.۸۴	۰.۸۸	۴۹.۴۶	۲۳.۶۵
	داخلی	گچ-بلوک سفالی- گچ	۲۴.۶۸	۰.۸۱	۱.۶۰	۰.۶۹	۳۱.۹۱	۱۷.۰۳
در	در خارجی/ کنترل‌شده اول	چوبی	۲.۲۰	۱.۰۰	۳.۵۰	۴.۴۱	۷.۷۰	۹.۷۰
	در داخلی/ کنترل شده دوم	چوبی	۲.۲۰	۰.۸۱	۳.۵۰	۰.۶۹	۶.۲۴	۱.۵۲
پنجره	شمالی	شیشه ساده با قاب فولادی	۷.۵۰	۱.۰۰	۵.۸۰	۳.۴۰	۴۳.۵۰	۲۵.۵۰
	جنوبی	شیشه ساده با قاب فولادی	۷.۵۰	۱.۰۰	۵.۸۰	۳.۴۰	۴۳.۵۰	۲۵.۵۰
پل حرارتی	همکف	اختلاف ارتفاع ۸۵ سانتی‌متر	۲۰.۸۰	۱.۰۰	۲.۳۵	۱.۸۳	۴۸.۸۸	۳۸.۰۶
	همکف	اختلاف ارتفاع ۳ متر	۹.۶۰	۱.۰۰	۰.۴۰	۱.۸۳	۳.۸۴	۱۷.۵۷
	دیوار مجاور خاک (غربی)		۹.۶۰	۱.۰۰	۲.۰۰	-	۱۹.۲۰	-
جمع							۷۳۸.۷۰	۲۴۱.۳۲

مقایسه دو عدد نهایی (توان حرارتی طرح و توان حرارتی مرجع) نشان می‌دهد که ضریب انتقال حرارت کل ساختمان نمونه، قبل از بهینه‌سازی، به چه میزان با ضوابط مبحث ۱۹ فاصله دارد.

همان‌طور که در جدول ۹۶ مشاهده می‌گردد، توان حرارتی ساختمان قبل از بهینه‌سازی W/K ۷۳۸.۷۰ است که به منظور دست‌یابی به ضوابط مبحث نوزدهم باید تا W/K ۳۴۱.۳۲ کاهش یابد.

پ۱۲-۲-۸ مرحله هشتم: انتخاب روش‌های بهینه‌سازی پوسته ساختمان به منظور دست‌یابی به ضوابط مبحث نوزدهم

در این مرحله با توجه به شرایط کالبدی ساختمان مورد بررسی، روش‌های ممکن به منظور بهینه‌سازی پوستهٔ ساختمان، از نظر انتقال حرارت، تعیین می‌گردند. این روش‌ها شامل عایق‌کاری حرارتی بام (از داخل یا وارونه)، عایق‌کاری حرارتی دیوارها (از داخل یا خارج)، عایق‌کاری حرارتی کف روی پیلوت، عایق‌کاری پیرامونی کف روی خاک و نیز استفاده از جدارهای نورگذر با ضریب انتقال حرارت کمتر (مانند پنجره‌های با قاب پی‌وی‌سی یا ترمال‌بریک با شیشهٔ دوجداره) و ... می‌باشد.

در این مرحله، به منظور دست‌یابی به ضریب انتقال حرارت مرجع جدولی مشابه جدول ۹۶ تهیه می‌گردد. با این تفاوت که ضرایب انتقال حرارت و توان حرارتی پس از بهینه‌سازی در آن درج می‌گردد. پس طراح باید ضرایب انتقال حرارت پس از بهینه‌سازی جدارها را براساس گزینه‌های مختلف طراحی خود محاسبه کند.

پس از آن طراح، با روش سعی و خطا، و نیز با در نظر گرفتن مزایا و معایب هر اقدام، ضرایب انتقال حرارت پس از بهینه‌سازی مورد نظر خود را در جدارهای انتخابی وارد می‌کند، و ترکیبی از مناسب‌ترین اقدامات را، برای رساندن ضریب انتقال حرارت ساختمان به ضریب انتقال حرارت مرجع، انتخاب می‌کند. لازم به ذکر است که استفاده از نرم‌افزارهایی نظیر Microsoft Excel فرایند سعی و خطای انتخاب اقدامات بهینه‌سازی را بسیار آسان می‌کند.

در واقع، روش و میزان عایق‌کاری هر جدار در روش کارکردی بستگی به انتخاب طراح دارد. هنگام تصمیم‌گیری در خصوص روش و میزان عایق‌کاری جدارها، باید به مساحت و ضریب انتقال حرارت آن‌ها، و نیز هزینه انجام عایق‌کاری توجه نمود. هر چه سطح عنصر و ضریب انتقال حرارت آن بیشتر باشد، نقش مهم‌تری در انتقال حرارت کل ساختمان ایفا می‌کند. بنابراین، با عایق‌کاری این سطوح، می‌توان به کاهش قابل توجه در توان حرارتی دست یافت. بنابراین، عموماً در اولین قدم

می‌توان نسبت به عایق‌کاری بام و دیوارها اقدام نمود. در مرحله بعد، پنجره‌های مجاور خارج به علت ضریب انتقال حرارت زیاد، اگر دارای سطوح وسیع باشند، می‌توانند بهینه‌سازی شوند.

در مورد ساختمان نمونه، اقدامات بهینه‌سازی به دو روش مختلف انجام می‌گیرد:

روش اول بهینه‌سازی (عایق‌کاری حرارتی جدارهای ساختمان از خارج):

- عایق‌کاری حرارتی بام ساختمان از خارج با عایق پلی‌استایرن منبسط به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و با چگالی بیش از ۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب، به روش بام وارونه
- عایق‌کاری حرارتی دیوارهای خارجی ساختمان با عایق پشم‌شیشه به ضخامت ۷ سانتی‌متر و با چگالی بالا، از خارج
- استفاده از پنجره‌های پی‌وی‌سی با شیشه دوجداره در جدارهای نورگذر فضاهای کنترل‌شده شمالی و جنوبی

روش دوم بهینه‌سازی (عایق‌کاری حرارتی جدارهای ساختمان از داخل):

- عایق‌کاری حرارتی بام ساختمان از داخل با عایق پشم‌معدنی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر
- عایق‌کاری حرارتی دیوارهای خارجی ساختمان با عایق پشم‌سنگ به ضخامت ۷ سانتی‌متر و با چگالی بالا، از داخل
- استفاده از پنجره‌های پی‌وی‌سی با شیشه دوجداره در جدارهای نورگذر فضاهای کنترل‌شده شمالی و جنوبی

پ۱۲-۲-۸-۱ روش اول بهینه‌سازی ساختمان نمونه

در این روش، عایق‌کاری حرارتی جدارهای ساختمانی از خارج انجام می‌شود. در مورد ساختمان نمونه، به دو حالت الف و ب می‌توان عایق‌کاری را انجام داد.

حالت الف: عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان

حالت ب: عایق‌کاری حرارتی جدارهای خارجی فضاهای کنترل‌شده ساختمان

محل عایق‌کاری و پل‌های حرارتی دو حالت الف و ب مربوط به روش اول بهینه‌سازی در شکل ۵۴ و شکل ۵۵ نشان داده شده است.

جدول ۱۰۲ ضریب انتقال حرارت ساختمان را پس از انجام اقدامات بهینه‌سازی فوق در مقایسه با ضریب انتقال حرارت مرجع ساختمان نشان می‌دهد. در این جدول، ردیف‌هایی که اقدامات بهینه‌سازی بر روی آن‌ها صورت گرفته است خاکستری‌رنگ شده‌اند. لازم به ذکر است که ضریب انتقال حرارت مربوط به پنجرهٔ پیشنهاد شده با استفاده از جدول مندرج در پیوست ۹ مبحث نوزدهم و ضریب انتقال حرارت دیوارها و بام عایق‌کاری‌شده نیز، براساس مطالب بیان شده مطابق جدول ۹۷ تا جدول ۹۹ به دست آمده است.

جدول ۹۷ محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت سقف تیرچه بلوک سفالی مجاور فضای خارج با عایق حرارتی

نام لایه	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
عایق پلی استایرن	۰.۱۰	۰.۰۳۹	۲.۵۶۴
آسفالت	۰.۰۳	۱.۱۵	۰.۰۲۶
عایق رطوبتی	۰.۰۱	۰.۲۳	۰.۰۴۳
ملات ماسه و سیمان	۰.۰۲	۱.۰۰	۰.۰۲۰
پوکه‌ریزی	۰.۰۵	۰.۲۵	۰.۲۰۰
سقف تیرچه و بلوک سفالی	۰.۲۰	ـــ	۰.۲۶۰
اندود گچ	۰.۰۲	۰.۵۷	۰.۰۳۵
لایه‌های هوا	ـــ	ـــ	۰.۱۴۰
$R_T = ۳.۲۸۸$			
$U = ۰.۳۰$			

جدول ۹۸ ضریب انتقال حرارت دیوار بلوک سفالی ۱۵ سانتی‌متری خارجی با عایق حرارتی

نام لایه	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
اندود گچ	۰.۰۳۰	۰.۵۷	۰.۰۵۳
بلوک سفالی	۰.۱۵۰	ـــ	۰.۳۰۰
عایق پشم شیشه	۰.۰۷	۰.۰۳۷	۱.۸۹۱
اندود سیمان	۰.۰۲۰	۱.۰۰	۰.۰۲۰
لایه‌های هوا	ـــ	ـــ	۰.۱۷۰
$R_T = ۲.۴۳۴$			
$U = ۰.۴۱$			

جدول ۹۹ ضریب انتقال حرارت کف تیرچه و بلوک سفالی، مجاور فضای خارج با عایق حرارتی

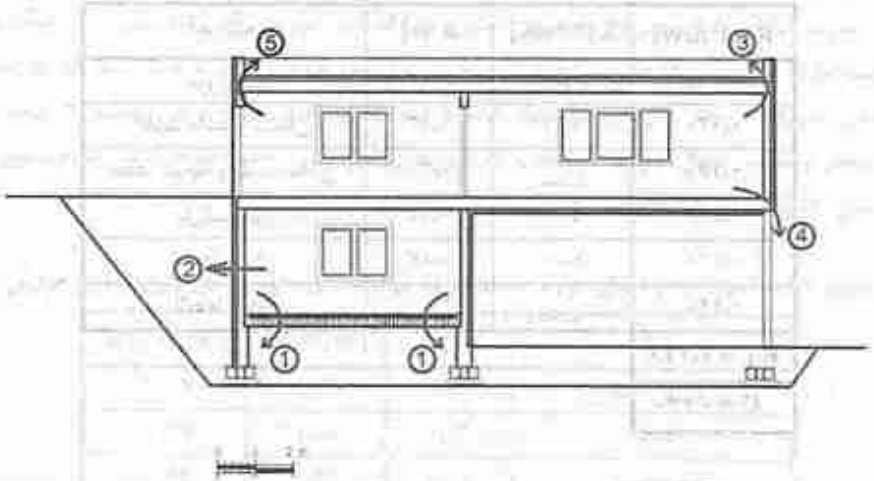
نام لایه	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
موزاییک	۰.۰۲	۱.۶۵	۰.۰۱۲
ملات ماسه و سیمان	۰.۰۲	۱.۰۰	۰.۰۲۰
سقف تیرچه و بلوک سفالی	۰.۲۰	ـــ	۰.۲۶۰
پلی‌استایرن	۰.۰۷	۰.۰۳۹	۱.۷۹۴
اندود سیمان	۰.۰۳	۱.۰۰	۰.۰۳۰
لایه‌های هوا	ـــ	ـــ	۰.۲۲۰
$R_T = ۲.۳۳۶$			
$U = ۰.۴۳$			

در اینجا، توجه به یک نکته دیگر ضروری است، و آن این‌که توجه به پل‌های حرارتی در حالتی که از عایق حرارتی در جدارهای ساختمان استفاده شده باشد، از اهمیت بیشتری نسبت به حالت قبل از بهینه‌سازی برخوردار است. زیرا در حالت قبل، قسمت قابل ملاحظه انتقال حرارت از طریق سایر عناصر ساختمان نظیر بام، و دیوارها، و غیره صورت می‌گیرد، و نقش پل‌های حرارتی در این حالت ناچیز است. در واقع، پس از عایق‌کاری ساختمان، در محل انقطاع عایق حرارتی، که عموماً محل تقاطع عناصر ساختمان با یکدیگر است، پل‌های حرارتی شکل می‌گیرند.

برای تعیین پل حرارتی هر قسمت، طول پل حرارتی محاسبه شده و ضریب انتقال حرارت خطی مربوط به آن از پیوست ۱۱ مبحث نوزدهم استخراج می‌گردد.

در ادامه، پل‌های حرارتی هر قسمت از ساختمان نمونه، با توجه به نوع عایق‌کاری و محل آن محاسبه شده است.

حالت الف: عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان



شکل ۵۴ حالت الف: عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان

جدول ۱۰۰ پل‌های حرارتی فضاهای کنترل‌شده در حالت الف (روش اول بهینه‌سازی)

شماره	نوع پل حرارتی	طول پل حرارتی	ضریب انتقال حرارت خطی
۱	کف مجاور خاک	(اختلاف ارتفاع ۰.۸۵ متر) ۵.۶۰ + ۹.۶۰ + ۵.۶۰ = ۲۰.۸۰ [m]	۲.۳۵
		(اختلاف ارتفاع ۳متر) ۹.۶۰ [m]	۰.۴۰
۲	دیوار مجاور خاک	۹.۶۰ [m]	۱.۱۵
۳	بام	۷.۸۰ + ۹.۶۰ + ۷.۸۰ = ۲۵.۲۰ [m]	۰.۳۳
۴	کف مجاور هوا	۷.۸۰ + ۹.۶۰ + ۷.۸۰ = ۲۵.۲۰ [m]	۰.۳۳

جدول ۱۰۱ پل‌های حرارتی فضاهای کنترل‌نشده در حالت الف (روش اول بهینه‌سازی) برای محاسبه ضریب کاهش

شماره	نوع پل حرارتی	طول پل حرارتی	ضریب انتقال حرارت خطی
۵	بام	۵.۶۰ + ۹.۶۰ + ۵.۶۰ = ۲۰.۸۰ [m]	۰.۳۳

حال، ضریب کاهش فضای کنترل‌نشده به صورت زیر خواهد بود:

محاسبه $\sum A_e U_e$:

بام دیوارهای خارجی پنجره در

$(۵۳.۷۶\times۰.۳۰) + (۵۰.۰۴\times۰.۴۱) + (۶.۰۰\times۵.۸۰) + (۲.۲۰\times۳.۵۰) +$

پل حرارتی

$(۲۰.۸۰\times۰.۳۳) = ۸۶.۰۱$ [W/K]

محاسبه $\sum A_i U_i$:

دیوار داخلی در

$(۲۴.۶۸\times۱.۶۰) + (۲.۲۰\times۳.۵۰) = ۴۷.۱۹$ [W/K]

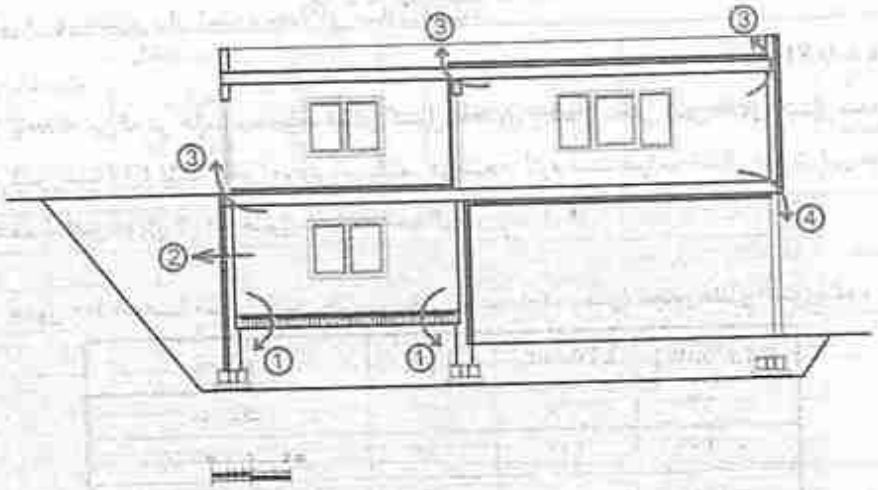
بنابراین، خواهیم داشت:

$\tau = 86.01 / (86.01 + 47.19) = 0.65$

جدول ۱۰۲ محاسبه ضریب انتقال حرارت کل ساختمان، روش اول بهینه‌سازی (حالت الف)، و ضریب انتقال حرارت مرجع

نام عنصر	موقعیت	مشخصات جدار	مساحت/محیط [m^2/m]	ضریب کاهش	ضریب انتقال حرارت [W/m^2K]		توان حرارتی [W/K]	
					طرح	مرجع	طرح	مرجع
سقف	طبقه اول/کنترل‌شده دوم	تیرچه‌بلوک سفالی- عایق	۷۲.۸۸	۱.۰۰	۰.۳۰	۰.۳۸	۲۲.۴۶	۲۸.۲۵
	طبقه همکف/ کنترل‌شده اول (مجاور کنترل‌نشده)	تیرچه بلوک سفالی	۵۳.۷۶	۰.۶۵	۱.۹۹	۰.۶۹	۶۹.۵۴	۳۷.۰۹
کف	طبقه اول	تیرچه‌بلوک سفالی- عایق	۷۲.۸۸	۱.۰۰	۰.۴۳	۰.۵۷	۳۲.۲۰	۴۲.۶۸
دیوار	شمالی/ کنترل‌شده اول	گچ- بلوک سفالی- عایق اندود	۱۳.۶۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۵.۶۰	۱۱.۱۶
	جنوبی/ کنترل‌شده اول	گچ- بلوک سفالی- عایق اندود	۱۰.۴۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۴.۳۰	۹.۲۲
	شرقی/ کنترل‌شده اول	گچ- بلوک سفالی- عایق اندود	۲۶.۸۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۱۱.۰۲	۲۳.۶۵
	شمالی/ کنترل‌شده دوم	گچ- بلوک سفالی- عایق اندود	۱۷.۲۴	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۷.۱۱	۱۵.۲۶
	جنوبی/ کنترل‌شده دوم	گچ- بلوک سفالی- عایق اندود	۱۷.۲۴	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۷.۱۱	۱۵.۲۶
	شرقی/ کنترل‌شده دوم	گچ- بلوک سفالی- عایق اندود	۲۶.۸۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۱۱.۰۲	۲۳.۶۵
	داخلی	گچ- بلوک سفالی- گچ	۲۴.۶۸	۰.۶۵	۱.۴۴	۰.۶۹	۲۲.۷۵	۱۷.۰۳
در	در خارجی/ کنترل‌شده اول	چوبی	۲.۲۰	۱.۰۰	۳.۵۰	۴.۴۱	۷.۷۰	۹.۷۰
	در داخلی/ کنترل‌شده دوم	چوبی	۲.۲۰	۰.۶۵	۳.۵۰	۰.۶۹	۴.۹۳	۱.۵۲
پنجره	شمالی	شیشه دوجداره	۷.۵۰	۱.۰۰	۲.۸۰	۳.۴۰	۲۱.۰۰	۲۵.۵۰
	جنوبی	شیشه دوجداره	۷.۵۰	۱.۰۰	۲.۸۰	۳.۴۰	۲۱.۰۰	۲۵.۵۰
پل حرارتی	همکف	اختلاف ارتفاع ۸۵ سانتی‌متر	۲۰.۸۰	۱.۰۰	۲.۳۵	۱.۸۳	۴۸.۸۸	۳۸.۰۶
	همکف	اختلاف ارتفاع ۳ متر	۹.۶۰	۱.۰۰	۰.۴۰	۱.۸۳	۳.۸۴	۱۷.۵۷
	دیوار مجاور خاک (غربی)		۹.۶۰	۱.۰۰	۱.۱۵	-	۱۱.۰۲	-
	بام		۲۵.۲۰	۱.۰۰	۰.۳۳	-	۸.۳۲	-
	کف مجاور هوا		۲۵.۲۰	۱.۰۰	۰.۳۳	-	۸.۳۲	-
		جمع					۳۲۸.۱۵	۳۴۱.۳۲

حالت ب: عایق‌کاری حرارتی جدارهای خارجی فضاهای کنترل‌شده ساختمان



شکل ۵۵ حالت ب: عایق‌کاری حرارتی جدارهای خارجی فضاهای کنترل‌شده ساختمان

جدول ۱۰۳ پل‌های حرارتی فضاهای کنترل‌شده در حالت ب (روش اول بهینه‌سازی)

شماره	نوع پل حرارتی	طول پل حرارتی	ضریب انتقال حرارت خطی
۱	کف مجاور خاک	(اختلاف ارتفاع ۸۵ سانتی‌متر) ۵.۶۰ + ۹.۶۰ + ۵.۶۰ = ۲۰.۸۰ [m]	۲.۳۵
		(اختلاف ارتفاع ۳ متر) ۹.۶۰ [m]	۰.۴۰
۲	دیوار مجاور خاک	۹.۶۰ [m]	۱.۱۵
۳	بام	۷.۸۰ + ۹.۶۰ + ۷.۸۰ + ۹.۶۰ + ۵.۶۰ + ۵.۶۰ + ۹.۶۰ = ۵۵.۶۰ [m]	۰.۳۳
۴	کف مجاور هوا	۷.۸۰ + ۹.۶۰ + ۷.۸۰ = ۲۵.۲۰ [m]	۰.۳۳

از آن‌جا که فضای کنترل‌نشده فاقد پل حرارتی می‌باشد، ضریب کاهش فضای کنترل‌نشده با حالت قبل از بهینه‌سازی برابر است و مقدار آن مساوی است با

$\tau = 0.81$

با توجه به این‌که در حالت ب، سقف فضای کنترل‌شده اول و دیوار داخلی (بین فضای کنترل‌نشده و کنترل‌شده اول) دارای عایق حرارتی می‌باشد، در نتیجه، لازم است ضرایب انتقال حرارت این دو عنصر مطابق جدول ۱۰۴ و جدول ۱۰۵ محاسبه گردد.

جدول ۱۰۴ محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت سقف تیرچه بلوک سفالی، مجاور فضای کنترل‌نشده

نام لایه	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
موزاییک	۰.۰۲	۱.۶۵	۰.۰۱۲
ملات ماسه و سیمان	۰.۰۲	۱.۰۰	۰.۰۲۰
سقف تیرچه و بلوک سفالی	۰.۲۰	ـــــ	۰.۲۶۰
پلی‌استایرن	۰.۱۰	۰.۰۳۹	۲.۵۶۴
اندود سیمان	۰.۰۳	۱.۰۰	۰.۰۳۰
لایه‌های هوا	ـــــ	ـــــ	۰.۱۸۰
$R_T = 3.066$			
$U = 0.33$			

جدول ۱۰۵ محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت دیوار بلوک سفالی ۱۵ سانتی‌متری، اندود گچ در طرفین، مجاور فضای کنترل‌نشده

نام لایه	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
اندود گچ	۰.۰۳۰	۰.۵۷	۰.۰۵۳
پشم‌شیشه	۰.۰۵	۰.۰۳۷	۱.۳۵۱
بلوک سفالی	۰.۱۵۰	ـــــ	۰.۳۰۰
اندود گچ	۰.۰۳۰	۰.۵۷	۰.۰۵۳
لایه‌های هوا	ـــــ	ـــــ	۰.۲۲۰
$R_T = 1.977$			
$U = 0.50$			

جدول ۱۰۶ محاسبه ضریب انتقال حرارت کل ساختمان، روش اول بهینه‌سازی (حالت ب)، و ضریب انتقال حرارت مرجع

نام عنصر	موقعیت	مشخصات جدار	مساحت/محیط [m²/m]	ضریب کاهش	ضریب انتقال حرارت [W/m²K]		توان حرارتی [W/K]	
					طرح	مرجع	طرح	مرجع
سقف	طبقه اول/ کنترل‌شده دوم	تیرچه‌بلوک سفالی- عایق	۷۴.۸۸	۱.۰۰	۰.۳۰	۰.۳۸	۲۲.۴۶	۲۸.۴۵
	طبقه همکف/ کنترل‌شده اول (مجاور کنترل‌نشده)	تیرچه‌بلوک سفالی- عایق	۵۳.۷۴	۰.۸۱	۰.۳۳	۰.۴۹	۱۴.۳۷	۳۷.۰۹
کف	طبقه اول	تیرچه‌بلوک سفالی- عایق	۷۴.۸۸	۱.۰۰	۰.۴۳	۰.۵۷	۳۲.۲۰	۴۲.۶۸
دیوار	شمالی/ کنترل‌شده اول	گچ- بلوک سفالی- عایق- اندود	۱۲.۶۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۵.۲۰	۱۱.۱۶
	جنوبی/ کنترل‌شده اول	گچ- بلوک سفالی- عایق- اندود	۱۰.۴۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۴.۳۰	۹.۲۲
	شرقی/ کنترل‌شده اول	گچ- بلوک سفالی- عایق- اندود	۲۶.۸۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۱۱.۰۲	۲۳.۶۵
	شمالی/ کنترل‌شده دوم	گچ- بلوک سفالی- عایق- اندود	۱۷.۲۲	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۷.۱۱	۱۵.۲۴
	جنوبی/ کنترل‌شده دوم	گچ- بلوک سفالی- عایق- اندود	۱۷.۲۲	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۷.۱۱	۱۵.۲۴
	شرقی/ کنترل‌شده دوم	گچ- بلوک سفالی- عایق- اندود	۲۶.۸۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۱۱.۰۲	۲۳.۶۵
	داخلی	گچ- بلوک سفالی- عایق- گچ	۲۴.۶۸	۰.۸۱	۰.۵۰	۰.۶۹	۱۰.۰۰	۱۷.۰۳
در	درخارجی/ کنترل‌شده اول	چوبی	۲.۲۰	۱.۰۰	۳.۵۰	۴.۴۱	۷.۷۰	۹.۷۰
	درداخلی/کنترل‌شده دوم	چوبی	۲.۲۰	۰.۸۱	۳.۵۰	۰.۶۹	۶.۲۴	۱.۵۲
پنجره	شمالی	شیشه‌دوجداره	۷.۵۰	۱.۰۰	۲.۸۰	۳.۴۰	۲۱.۰۰	۲۵.۵۰
	جنوبی	شیشه‌دوجداره	۷.۵۰	۱.۰۰	۲.۸۰	۳.۴۰	۲۱.۰۰	۲۵.۵۰
پل حرارتی	همکف	اختلاف ارتفاع ۸۵ سانتی‌متر	۲۰.۸۰	۱.۰۰	۲.۳۵	۱.۸۳	۴۸.۸۸	۳۸.۰۶
	همکف	اختلاف ارتفاع ۳ متر	۹.۶۰	۱.۰۰	۰.۴۰	۱.۸۳	۳.۸۴	۱۷.۵۷
		دیوار مجاور خاک (غربی)	۹.۶۰	۱.۰۰	۱.۱۵	-	۱۱.۰۴	-
		بام	۵۵.۶۰	۱.۰۰	۰.۳۳	-	۱۸.۳۵	-
		کف مجاور هوا	۲۵.۲۰	۱.۰۰	۰.۳۳	-	۸.۳۳	-
					جمع		۲۷۱.۱۲	۳۲۱.۳۲

پ۱۲-۲-۸-۲ روش دوم بهینه‌سازی

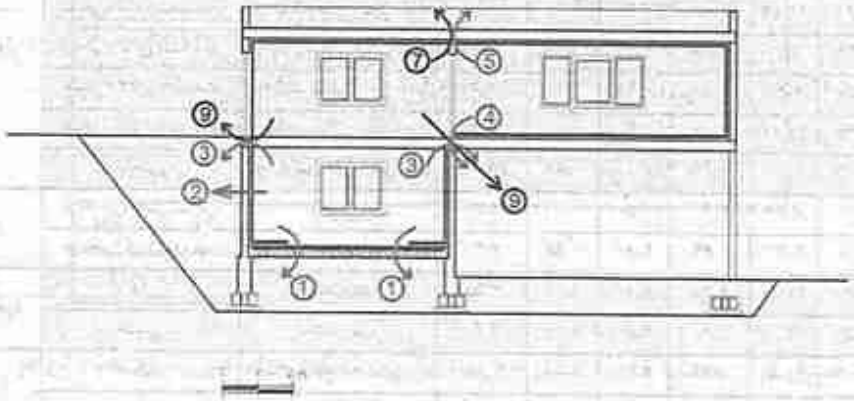
در این روش، عایق‌کاری حرارتی جدارهای ساختمانی از داخل انجام می‌شود. در مورد ساختمان نمونه، مانند روش قبل می‌توان به دو حالت الف و ب عایق‌کاری را انجام داد.

حالت الف: عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان

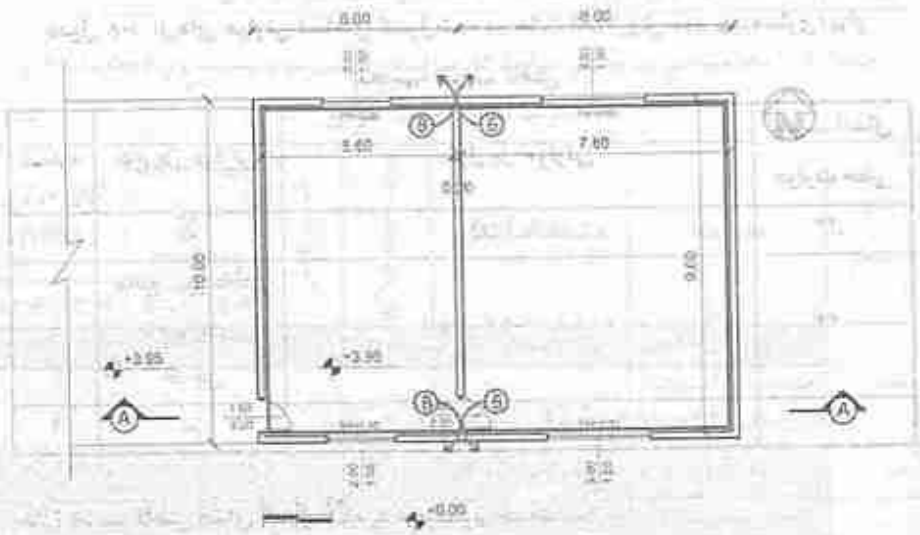
حالت ب: عایق‌کاری حرارتی جدارهای خارجی فضاهای کنترل‌شده ساختمان

محل عایق‌کاری و پل‌های حرارتی دو حالت الف و ب مربوط به روش دوم بهینه‌سازی در شکل ۵۶، شکل ۵۷ و شکل ۵۸ نشان داده شده است.

حالت الف: عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان



شکل ۵۶ حالت الف: عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان



شکل ۵۷ حالت الف: عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان (پلان طبقه اول)

جدول ۱۰۷ پل‌های حرارتی فضاهای کنترل‌شده در حالت الف (روش دوم بهینه‌سازی)

شماره	نوع پل حرارتی	طول پل حرارتی	ضریب انتقال حرارت خطی
۱	کف مجاور خاک	(اختلاف ارتفاع ۰.۸۵ متر) = ۵.۶۰ + ۹.۶۰ + ۵.۶۰ + ۲۰.۸۰ [m]	۱.۷۵
		(اختلاف ارتفاع ۲ متر) ۹.۶۰ [m]	۰.۳۵
۲	دیوار مجاور خاک	۹.۶۰ [m]	۱.۱۵
۳	سقف (کنترل‌شده اول)	۹.۶۰ + ۵.۶۰ + ۵.۶۰ + ۹.۶۰ = ۳۰.۴۰ [m]	۰.۳۳
۴	کف مجاور هوا (کنترل‌شده دوم)	۹.۶۰ [m]	۰.۳۳
۵	سقف (کنترل‌شده دوم)	۹.۶۰ [m]	۰.۳۳
۶	تقاطع دیوار داخلی با دیوارهای خارجی	۲×۲.۸۰ = ۵.۶۰	۰.۳۴

جدول ۱۰۸ پل‌های حرارتی فضاهای کنترل‌شده در حالت الف (روش دوم بهینه‌سازی) برای محاسبه ضریب کاهش

شماره	نوع پل حرارتی	طول پل حرارتی	ضریب انتقال حرارت خطی
۷	بام	۹.۶۰ [m]	۰.۳۳
۸	تقاطع دیوار داخلی با دیوارهای خارجی	۲×۲.۸۰ = ۵.۶۰ [m]	۰.۳۴
۹	کف	۹.۶۰ + ۵.۶۰ + ۵.۶۰ + ۹.۶۰ = ۳۰.۴۰ [m]	۰.۳۳

حال، ضریب کاهش فضای کنترل‌نشده به صورت زیر خواهد بود:

محاسبه $\sum A_e U_e$:

$$(53.76\times0.30) + (50.04\times0.41) + (6.00\times5.80) + (2.20\times3.50) + [(9.60\times0.33) + (5.60\times0.34) + (30.40\times0.33)] = 94.25\ [W/K]$$

بام — دیوارهای خارجی — پنجره — در — پل حرارتی — پل حرارتی — پل حرارتی

محاسبه $\sum A_i U_i$:

$$(24.68\times1.60) + (2.20\times3.50) = 47.19\ [W/K]$$

در — دیوار داخلی

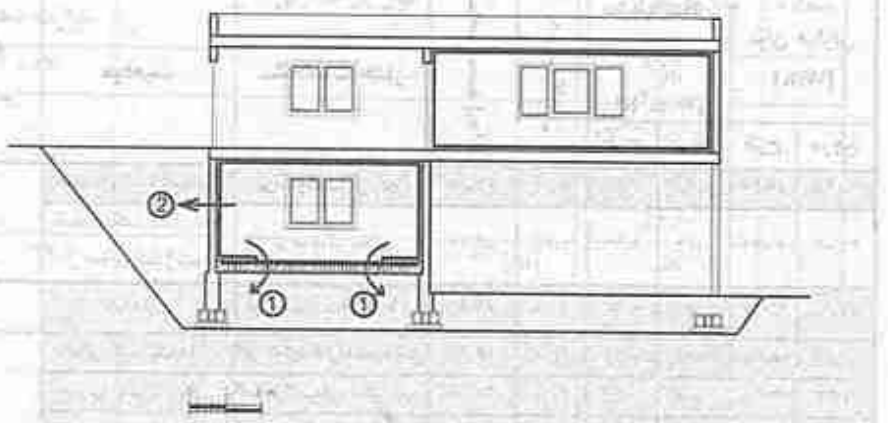
بنابراین، خواهیم داشت:

$$\tau = 94.25 / (94.25 + 47.19) = 0.66$$

جدول ۱۰۹ محاسبه ضریب انتقال حرارت کل ساختمان، روش دوم بهینه‌سازی (حالت الف)، و ضریب انتقال حرارت مرجع

نام عنصر	موقعیت	مشخصات جدار	مساحت / محیط [m^2/m]	ضریب کاهش	ضریب انتقال حرارت [W/m^2K] طرح	ضریب انتقال حرارت [W/m^2K] مرجع	توان حرارتی [W/K] طرح	توان حرارتی [W/K] مرجع
سقف	طبقه اول/ کنترل‌شده دوم	تیرچه‌بلوک سفالی- عایق	۷۴.۸۸	۱.۰۰	۰.۳۰	۰.۳۸	۲۲.۴۶	۲۸.۴۵
	طبقه همکف/ کنترل‌شده اول (مجاور کنترل‌نشده)	تیرچه‌بلوک سفالی	۵۳.۷۶	۰.۶۶	۱.۹۹	۰.۶۹	۷۰.۶۱	۳۷.۰۹
کف	طبقه اول	تیرچه‌بلوک سفالی- عایق	۷۴.۸۸	۱.۰۰	۰.۴۳	۰.۵۷	۳۲.۲۰	۴۲.۶۸
دیوار	شمالی/ کنترل‌شده اول	گچ- بلوک سفالی- عایق- اندود	۱۳.۶۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۵.۶۰	۱۱.۱۴
	جنوبی/ کنترل‌شده اول	گچ- بلوک سفالی- عایق- اندود	۱۰.۴۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۴.۳۰	۹.۲۲
	شرقی/ کنترل‌شده اول	گچ- بلوک سفالی- عایق- اندود	۲۶.۸۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۱۱.۰۲	۲۳.۶۵
	شمالی/ کنترل‌شده دوم	گچ- بلوک سفالی- عایق- اندود	۱۷.۳۴	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۷.۱۱	۱۵.۲۶
	جنوبی/ کنترل‌شده دوم	گچ- بلوک سفالی- عایق- اندود	۱۷.۳۴	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۷.۱۱	۱۵.۲۶
	شرقی/ کنترل‌شده دوم	گچ- بلوک سفالی- عایق- اندود	۲۶.۸۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۱۱.۰۲	۲۳.۶۵
	داخلی	گچ- بلوک سفالی- گچ	۲۴.۶۸	۰.۶۶	۱.۶۰	۰.۶۹	۲۶.۰۶	۱۷.۰۳
در	در خارجی/ کنترل‌شده اول	چوبی	۲.۲۰	۱.۰۰	۳.۵۰	۴.۴۱	۷.۷۰	۹.۷۰
	در داخلی/ کنترل شده دوم	چوبی	۲.۲۰	۰.۶۶	۳.۵۰	۰.۶۹	۵.۰۸	۱.۵۲
پنجره	شمالی	شیشه دوجداره	۷.۵۰	۱.۰۰	۲.۸۰	۳.۴۰	۲۱.۰۰	۲۵.۵۰
	جنوبی	شیشه دوجداره	۷.۵۰	۱.۰۰	۲.۸۰	۳.۴۰	۲۱.۰۰	۲۵.۵۰
	همکف	اختلاف ارتفاع ۸۵ سانتی‌متر	۲۰.۸۰	۱.۰۰	۱.۷۵	۱.۸۳	۳۶.۴۰	۳۸.۰۶
پل حرارتی	همکف	اختلاف ارتفاع ۳ متر	۹.۶۰	۱.۰۰	۰.۳۵	۱.۸۳	۳.۳۶	۱۷.۵۷
	دیوار مجاور خاک (فرض)		۹.۶۰	۱.۰۰	۱.۱۵	-	۱۱.۰۴	-
	سقف (کنترل‌شده اول)		۳۰.۴۰	۱.۰۰	۰.۳۳	-	۱۰.۰۳	-
	کف دره‌ای‌ها (کنترل‌شده دوم)		۹.۶۰	۱.۰۰	۰.۳۳	-	۳.۱۷	-
	سقف (کنترل‌شده دوم)		۹.۶۰	۱.۰۰	۰.۳۳	-	۳.۱۷	-
	تقاطع دیوار داخلی با دیوارهای خارجی		۲۵.۲۰	۱.۰۰	۰.۳۴	-	۸.۵۷	-
					جمع		۲۲۷.۶۱	۲۴۱.۲۲

حالت ب: عایق‌کاری حرارتی جدارهای خارجی فضاهای کنترل‌شده ساختمان



شکل ۵۸ حالت ب: عایق‌کاری حرارتی جدارهای خارجی فضاهای کنترل‌شده ساختمان

جدول ۱۱۰ پل‌های حرارتی فضاهای کنترل‌شده در حالت ب (روش دوم بهینه‌سازی)

شماره	نوع پل حرارتی	طول پل حرارتی	ضریب انتقال حرارت خطی
۱	کف مجاور خاک	(اختلاف ارتفاع ۰.۸۵ متر) = ۵.۶۰ + ۹.۶۰ + ۵.۶۰ = ۲۰.۸۰ [m]	۱.۷۵
		(اختلاف ارتفاع ۳متر) ۹.۶۰ [m]	۰.۳۵
۲	دیوار مجاور خاک	۹.۶۰ [m]	۱.۱۵

از آن‌جا که فضای کنترل‌نشده فاقد پل حرارتی می‌باشد، ضریب کاهش فضای کنترل‌نشده با حالت قبل از بهینه‌سازی برابر است و مقدار آن مساوی است با

$\tau = 0.81$

جدول ۱۱۱ محاسبه ضریب انتقال حرارت کل ساختمان، روش دوم بهینه‌سازی (حالت ب)، و ضریب انتقال حرارت مرجع

نام عنصر	موقعیت	مشخصات جدار	مساحت / محیط [m²/m]	ضریب کاهش	ضریب انتقال حرارت [W/m²K] طرح	ضریب انتقال حرارت [W/m²K] مرجع	توان حرارتی [W/K] طرح	توان حرارتی [W/K] مرجع
سقف	طبقه اول/ کنترل‌شده دوم	تیرچه‌بلوک سفالی - عایق	۷۴.۸۸	۱.۰۰	۰.۳۰	۰.۳۸	۲۲.۴۶	۲۸.۴۵
	طبقه همکف/ کنترل‌شده اول (مجاور کنترل‌شده)	تیرچه‌بلوک سفالی - عایق	۵۳.۷۶	۰.۸۱	۰.۳۳	۰.۶۹	۱۴.۳۷	۳۷.۰۹
کف	طبقه اول	تیرچه‌بلوک سفالی - عایق	۷۴.۸۸	۱.۰۰	۰.۴۳	۰.۵۷	۳۲.۲۰	۴۲.۶۸
دیوار	شمالی/ کنترل‌شده اول	گچ - بلوک سفالی - عایق - اندود	۱۳.۴۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۵.۲۰	۱۱.۹۴
	جنوبی/ کنترل‌شده اول	گچ - بلوک سفالی - عایق - اندود	۱۰.۲۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۴.۳۰	۹.۲۲
	شرقی/ کنترل‌شده اول	گچ - بلوک سفالی - عایق - اندود	۲۶.۸۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۱۱.۰۲	۲۳.۶۵
	شمالی/ کنترل‌شده دوم	گچ - بلوک سفالی - عایق - اندود	۱۷.۳۲	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۷.۱۱	۱۵.۲۶
	جنوبی/ کنترل‌شده دوم	گچ - بلوک سفالی - عایق - اندود	۱۷.۳۲	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۷.۱۱	۱۵.۲۶
	شرقی/ کنترل‌شده دوم	گچ - بلوک سفالی - عایق - اندود	۲۶.۸۸	۱.۰۰	۰.۴۱	۰.۸۸	۱۱.۰۲	۲۳.۶۵
	داخلی	گچ - بلوک سفالی - عایق - گچ	۲۲.۶۸	۰.۸۱	۰.۵۰	۰.۶۹	۱۰.۰۰	۱۷.۰۳
در	در خارجی/ کنترل‌شده اول	چوبی	۲.۲۰	۱.۰۰	۳.۵۰	۴.۴۱	۷.۷۰	۹.۷۰
	در داخلی/ کنترل‌شده دوم	چوبی	۲.۲۰	۰.۸۱	۳.۵۰	۰.۶۹	۶.۲۴	۱.۵۲
پنجره	شمالی	شیشه دوجداره	۷.۵۰	۱.۰۰	۲.۸۰	۳.۴۰	۲۱.۰۰	۲۵.۵۰
	جنوبی	شیشه دوجداره	۷.۵۰	۱.۰۰	۲.۸۰	۳.۴۰	۲۱.۰۰	۲۵.۵۰
پل حرارتی	همکف	اختلاف ارتفاع ۸۵ سانتی‌متر	۲۰.۸۰	۱.۰۰	۱.۷۵	۱.۸۳	۳۶.۴۰	۳۸.۰۶
	همکف	اختلاف ارتفاع ۳ متر	۹.۶۰	۱.۰۰	۰.۳۵	۱.۸۳	۳.۳۶	۱۷.۵۷
	دیوار مجاور خاک (اویی)		۹.۶۰	۱.۰۰	۱.۱۵	-	۱۱.۰۴	-
جمع							۲۳۱.۵۲	۲۴۱.۳۲

همان‌طور که در جدول ۱۱۲ مشاهده می‌گردد، هر چه میزان پل حرارتی کمتر باشد، توان حرارتی طرح کاهش می‌یابد. به همین دلیل، در هر دو روش بهینه‌سازی، توان حرارتی، در حالت ب کمتر می‌باشد و می‌توان از عایق‌حرارتی با ضخامت کمتر استفاده نمود. اما، باید به این نکته توجه نمود

که اجرای برخی روش‌ها، دشوار است و منطقی به نظر نمی‌رسد، به عنوان مثال، حالت ب در روش اول بهینه‌سازی از لحاظ اجرایی، با پیچیدگی‌هایی همراه است.

جدول ۱۱۲ مقایسه توان حرارتی طرح با توان حرارتی مرجع در حالت‌های گوناگون

حالت‌های گوناگون	توان حرارتی طرح	توان حرارتی مرجع
قبل از بهینه‌سازی	۷۳۸.۷۰	۳۴۱.۳۲
روش اول بهینه‌سازی (حالت الف)	۳۲۸.۱۵	
روش اول بهینه‌سازی (حالت ب)	۲۷۱.۱۴	
روش دوم بهینه‌سازی (حالت الف)	۳۲۷.۶۱	
روش دوم بهینه‌سازی (حالت ب)	۲۳۱.۵۲	

پیوست ۱۳ راهکارهای کاهش نیاز انرژی ساختمان

پ۱۳-۱ روش‌های مطرح بهینه‌سازی مصرف انرژی

در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان، علاوه بر اقدامات لازم برای کاهش انتقال حرارت از پوسته خارجی ساختمان، و تمهیدات توصیه شده در بخش ۱۹-۳-۳، می‌توان از سیستم‌ها و تجهیزاتی نیز بهره جست تا نیاز انرژی ساختمان تا حد امکان کاهش یابد. در حال حاضر، فناوری‌های مطرح در سطح جهانی امکان طراحی و ساخت ساختمان‌هایی را فراهم می‌نمایند که دارای نیاز انرژی کمی هستند. ساختمان‌هایی نیز طراحی و ساخته می‌شود که نه‌تنها تمامی نیاز انرژی سالانه را به‌صورت مستقل تأمین می‌نمایند، بلکه قادر هستند انرژی اضافی تولید شده را به شبکه برق سراسری منتقل کنند.

آنچه در این پیوست مدنظر می‌باشد، معرفی برخی فناوری‌های مطرح و قابل استفاده در ساختمان است، و به سیستم‌های مطرح برای تولید انرژی به‌صورت منطقه‌ای، با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر پرداخته نمی‌شود.

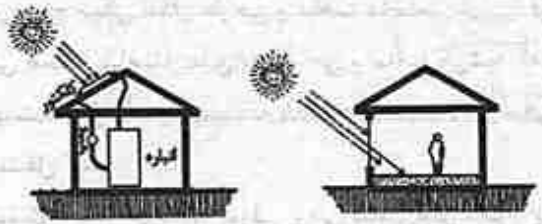
مهم‌ترین اقداماتی که باید در جهت دستیابی به اهداف تعیین‌شده در این زمینه مد نظر قرار گیرد عبارتند از:

- بهره‌گیری حداکثر از انرژی خورشیدی با استفاده از سیستم‌های فعال و غیر فعال
- بهره‌گیری حداکثر از دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر
- بازیافت انرژی
- ذخیره‌سازی
- کاربرد تجهیزات مکانیکی و الکتریکی با بازدهی انرژی بالا
- بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند برای انطباق هر چه بیشتر تولید انرژی با نیازهای واقعی و مقطعی

پ۱۳-۲ سیستم‌های فعال و غیرفعال خورشیدی

سیستم‌های فعال خورشیدی، به سیستم‌هایی گفته می‌شود که انرژی خورشیدی را به کمک تجهیزات مکانیکی و انرژی‌های دیگر (معمولاً الکتریکی) جمع‌آوری و ذخیره می‌کنند، تا در زمان مناسب به فضای داخلی ساختمان انتقال دهند.

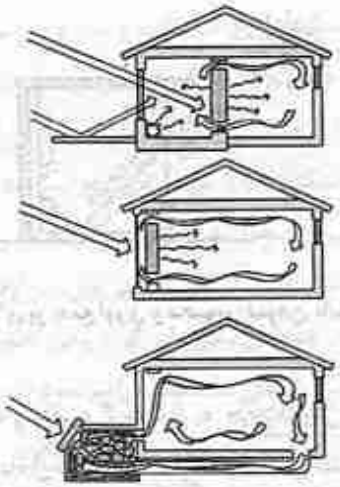
سیستم‌های غیرفعال خورشیدی به سیستم‌هایی گفته می‌شود که انرژی خورشیدی را بدون استفاده از سیستم‌های مصرف‌کننده انرژی نظیر دمنده، پمپ یا کنترل‌کننده‌های پیچیده، جمع‌آوری، ذخیره و توزیع می‌کنند. با این شیوه، اجزای مختلف یک ساختمان به‌طور همزمان انتظارات مختلف مطرح در زمینه‌های معماری، سازه و انرژی را برآورده می‌سازند. در واقع زمانی که گردآوری انرژی[۱] و هزینه‌های ابتدایی دغدغهٔ اصلی طراح می‌باشند، این سیستم‌ها در میان دیگر سیستم‌های خورشیدی کارآمدترین سیستم‌ها خواهند بود [۷]. نمونه‌ای از سیستم غیرفعال و فعال خورشیدی در شکل ۵۹ نشان داده شده است.



شکل ۵۹ نمونه‌ای از سیستم غیرفعال خورشیدی (سمت راست) و سیستم فعال خورشیدی (سمت چپ)

سیستم‌های غیرفعال را می‌توان در انواع «دریافت مستقیم»[۲]، «دریافت غیرمستقیم»[۳] و «دریافت مجزا»[۴] تقسیم نمود (شکل ۶۰) [۸].

۱. energy collection
۲. direct gain
۳. indirect gain
۴. isolated gain



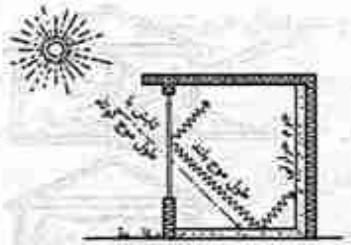
شکل ۶۰ سیستم‌های دریافت مستقیم، غیرمستقیم و مجزا (از بالا به پایین)

پ۱۳-۲-۱ حالت‌های مختلف دریافت انرژی خورشیدی

سیستم‌های دریافت مستقیم

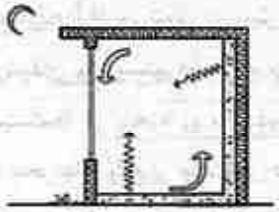
نخستین و ساده‌ترین روش دستیابی به گرمایش خورشیدی، استفاده از سیستم‌های دریافت مستقیم می‌باشد [۹].

در این سیستم‌ها، تابش خورشید از طریق پنجره‌ها وارد فضای داخل می‌شود و توسط مصالح سنگین ساختمان جذب شده و به‌تدریج آزاد می‌شود. در روش دریافت مستقیم، از این فضا به عنوان فضای زندگی، گردآور خورشیدی و سیستم ذخیره و توزیع گرما به طور یکجا استفاده می‌شود. به این ترتیب، در این سیستم‌ها هر پنجرهٔ رو به جنوب به عنوان یک سیستم دریافت مستقیم عمل می‌کند، در حالی که پنجره‌های واقع بر جهت‌های دیگر، در اکثر موارد، دریافت انرژی خورشیدی بیش از اتلاف حرارت است. در این سیستم‌ها، اثر گلخانه‌ای به‌صورت یک جریان یک طرفهٔ گرمای تابشی عمل می‌کند. این اثر، امکان ورود انرژی خورشیدی با طول موج کوتاه را فراهم می‌سازد، ولی مانع از خروج گرمای تابشی با طول موج بلند می‌شود (شکل ۶۱).



شکل ۶۱ تأثیر اثر گلخانه‌ای بر جمع‌آوری و محبوس نمودن تابش خورشید در طول روز

در این سیستم، به‌منظور جذب و ذخیره گرما، نیاز به جرم حرارتی کافی در داخل فضا می‌باشد. جرم حرارتی موجود در فضای داخل ساختمان گرما را جذب می‌کند، تا هم مانع از گرمایش بیش از حد فضا در هنگام روز شود و هم بهره‌گیری از آن در ساعات خنک شب را فراهم سازد (شکل ۶۲). به‌این ترتیب، جرم حرارتی موجب می‌شود نوسان‌های دما در اوقات مختلف سال، در طول شبانه‌روز، کاهش یابد. همچنین، یک تأخیر زمانی[1] بین انرژی جذب‌شده در دیوار و انرژی ورودی در ساختمان ایجاد می‌کند، و باعث می‌شود حداکثر دمای سطوح داخل ساختمان چند ساعت بعد از حداکثر دمای سطوح خارجی مشاهده می‌شود. این امر باعث می‌شود نیاز گرمایی و سرمایی ساختمان به‌طور محسوسی کاهش یابد. البته افزایش بی‌رویه ضخامت و جرم سطحی دیوار (بیش از ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مربع) می‌تواند اثربخشی ذخیره‌سازی در جدارها را کاهش دهد.

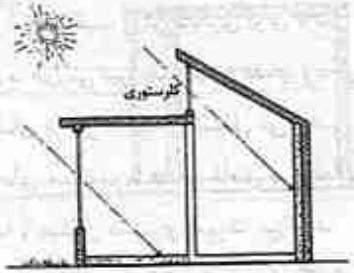


شکل ۶۲ ذخیرهٔ گرما در جرم حرارتی برای استفاده در هنگام شب

۱. time lag

اگر ساختمان از مصالح سبک‌وزن ساخته شده باشد، لازم است که جرم حرارتی به فضای داخلی ساختمان اضافه شود تا ظرفیت ذخیرهٔ گرما در آن افزایش یابد.

در سیستم‌های دریافت مستقیم، برای ورود مستقیم تابش خورشید می‌توان از پنجره‌ها، کلرستوری[1]های رو به جنوب (شکل ۶۳) و نورگیرهای بام استفاده نمود. نحوه استقرار کلرستوری، عمودی است و نسبت به نورگیرهای سقفی نور کمتری را دریافت می‌کنند. با مناسب‌سازی جانمایی نورگیرها و یا با در نظر گرفتن سایه‌بان در جلوی آنها می‌توان، در اوقات گرم سال، از تابش مستقیم آفتاب به داخل جلوگیری کرد. همچنین، می‌توان گرما و نور خورشید را، با جابجایی بخشی از سقف، برای اتاق‌های واقع در جبههٔ شمالی ساختمان فراهم نمود.



شکل ۶۳ استفاده از پنجره‌های کلرستوری برای ورود تابش مستقیم خورشید به فضاهای جبههٔ شمالی

یک جرم حرارتی که به‌طور مستقیم تابش خورشید را دریافت می‌کند، برای ذخیرهٔ انرژی دارای بیشترین بازدهی است. جرم‌های حرارتی که به‌طور مستقیم تابش خورشید را دریافت نمی‌کنند، از طریق تابش با طول موج بلند و جریان همرفت، توسط فضاهایی که با تابش خورشید گرم شده‌اند، می‌توانند در ذخیره‌سازی انرژی مشارکت نمایند. البته، در یک سیستم غیرفعال، جرم‌های حرارتی که به‌صورت مستقیم و یا انعکاسی در معرض تابش خورشید نیستند، غالباً اثربخشی ناچیزی دارند [۷].

به‌طور کلی، میزان تأثیر جرم حرارتی در ساختمان‌های با دریافت مستقیم، به ضخامت، مساحت و مشخصات حرارتی (ظرفیت گرمایی و ضریب هدایت حرارتی) لایه‌های تشکیل‌دهنده آن بستگی دارد.

۱. clerstory

بهترین مصالح، برای این نوع کاربرد، دارای ظرفیت گرمایی و ضریب نفوذ (پخش) گرمایی بالایی هستند و می‌توانند به‌سهولت میزان زیادی گرما را از سطح به عمق لایه منتقل کنند، تا بیشترین میزان ذخیره‌سازی صورت گیرد. در زمان‌هایی که نیاز به گرمایش وجود دارد، تمامی یا بخشی از بار گرمایی ساختمان توسط حرارت ذخیره‌سازی در جدارها تأمین می‌گردد.

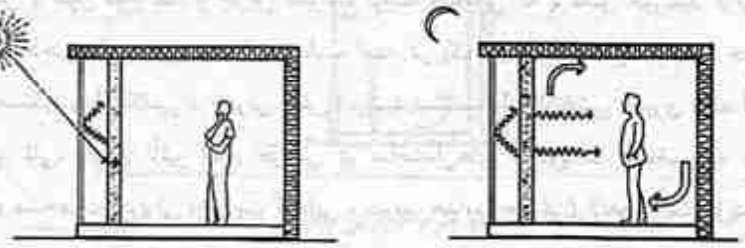
فرایندی مشابه باعث خنک‌سازی ساختمان و کاهش بار سرمایی ساختمان در اوقات گرم سال می‌شود.

سیستم‌های دریافت غیرمستقیم

استفاده از سیستم‌های دریافت غیرمستقیم، روش دیگری برای تأمین گرمایش غیرفعال خورشیدی است. در این سیستم‌ها، یک جرم حرارتی بین خورشید و فضای زندگی تعبیه می‌شود. جرم حرارتی انرژی خورشید را جذب و به فضای داخل ساختمان منتقل می‌کند.

در این سیستم‌ها، انباره به‌طور مستقیم با فضای داخل در ارتباط است. به این ترتیب، کنترل دمای فضای داخل و توزیع گرما با سادگی بیشتری صورت می‌گیرد.

در این سیستم‌ها، همانند سیستم دریافت مستقیم، اثر گلخانه‌ای امواج تابشی خورشید را محبوس می‌سازد. در طول روز، سطح خارجی دیوار رو به خورشید، با داشتن یک پوشش انتخابگر[1] جاذب (ورقهٔ سیاه یا تیره‌رنگ)، گرم می‌شود و حرارت را به سمت داخلی دیوار منتقل می‌کند. ضخامت دیوار باید متناسب با مصالح به‌کار رفته تعیین گردد، تا ورود گرما به داخل عصرهنگام آغاز گردد و تا حد امکان ادامه یابد (شکل ۶۴).



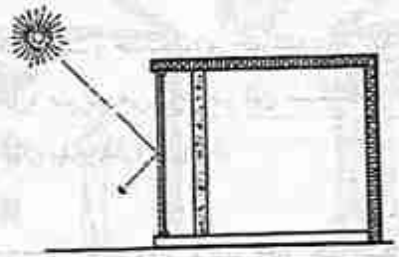
شکل ۶۴ عملکرد حرارتی سیستم‌های دریافت غیرمستقیم در طول روز و شب

۱. سطوحی که در طول موج‌های مختلف، ضرایب تابشی کاملاً متفاوتی دارند و عملاً یک رفتار گزینشی در طول موج‌های مختلف از خود نشان می‌دهند.

در این سیستم‌ها، یک عنصر ساختمانی می‌تواند با جذب گرمای تابیده‌شده از عناصر گرم‌تر (دیوارها و کف‌ها) یا از طریق همرفت هوای اطراف گرم شود.

در سیستم‌های دریافت غیرمستقیم، یک لایه شیشه در سطح خارجی دیوار یا دیگر عناصر ساختمانی که دارای ظرفیت حرارتی بالا و رو به جنوب هستند، قرار داده می‌شود. در صورتی که از دیوار به‌عنوان انبارهٔ گرمایی استفاده شود، به آن دیوار خورشیدی یا دیوار جرمی[1] گفته می‌شود [۷].

در تابستان، باید با در نظر گرفتن تمهیدات لازم (نظیر یک صفحهٔ شیشه‌ای)، بر روی این دیوارها سایه‌اندازی شود و انعکاس نور خورشید بر دیوار نیز تا حد امکان کاهش یابد (شکل ۶۵).

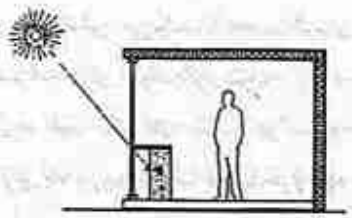


شکل ۶۵ لزوم سایه‌اندازی بر روی سیستم دریافت غیرمستقیم در تابستان در اقلیم‌های گرم

در برخی از نمونه‌های اولیه این نوع سیستم، منافذی در جدار رو به داخل برای انتقال گرمای دریافت‌شده در روزهای دوره سرد سال و منافذی در جدار رو به خارج، برای جلوگیری از بیش‌گرمایش در اوقات گرم سال در نظر گرفته می‌شد. اکنون آشکار شده که این منافذ، چه در تابستان و چه در زمستان، به‌خوبی عمل نمی‌کنند، و لازم است به‌جای آن از سامانهٔ جذب مستقیم، برای کسب گرمای تابش زمستانی خورشید، و از سایه‌انداز خارجی برای جلوگیری از جذب بی‌رویهٔ گرما در تابستان بهره‌گیری شود.

با توجه به این نکته که سیستم دریافت غیر مستقیم به تنهایی قادر به تأمین روشنایی طبیعی نیست، معمولاً در ترکیب با سیستم‌های دریافت مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مثال، می‌توان این سیستم را به‌عنوان دیوار کوتاه زیر پنجره طراحی نمود [۷] (شکل ۶۶).

۱. solar wall or mass wall



شکل ۶۶ ترکیب سیستم دریافت مستقیم و غیرمستقیم

سیستم‌های دریافت مجزا

در سیستم‌های دریافت مجزا، دریافت و جذب انرژی خورشیدی در یک فضا یا یک عنصر معماری حائل، مستقل از فضای داخل، صورت می‌گیرد. در این سیستم‌ها، از گرمای ذخیره‌سازی‌شده، به‌صورت کنترل‌شده و بنا به نیاز، بهره‌برداری می‌شود.

پ۱۳-۲-۲ انواع مختلف سیستم‌های فعال و غیر فعال خورشیدی

در این بخش، تنها به سیستم‌هایی پرداخته می‌شود که برای گرمایش، سرمایش، تهویه، و تأمین آب گرم مصرفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سیستم‌های خورشیدی که برای تأمین روشنایی طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند در پیوست ۱۵ تشریح شده‌اند. مطرح‌ترین سیستم‌های خورشیدی عبارتند از: دیوار ترومب، دیوار آبی، دیوار بارا-کنستانتینی، بام آبی، فضای خورشیدی (گلخانه)، جمع‌کننده (کلکتور) خورشیدی، پنجره با جریان هوا، نمای دو پوسته، دیوار خورشیدی صلب مجوف، دودکش خورشیدی، سلول فتوولتائیک، پمپ گرمایی خورشیدی و چیلر جذبی خورشیدی.

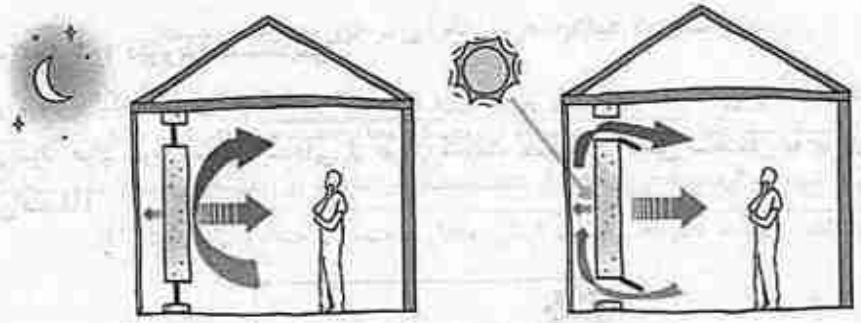
پ۱۳-۲-۲-۱ دیوار ترومب

دیوار ترومب[1] پس از آن‌که فلیکس ترومب[2] آن را در سال ۱۹۶۶ در فرانسه ابداع نمود، به این نام نامگذاری شد [۷]. این دیوار، نوعی سیستم غیرفعال خورشیدی که در پنجره‌های رو به جنوب اجرا می‌شود. در این سیستم، جرم حرارتی پشت شیشه ضلع جنوبی قرار داده می‌شود.

۱. Trombe wall (Trombe-Michel wall)

۲. Felix Trombe

این دیوار نوعی دیوار خورشیدی است که در بالا و پایین آن، دریچه‌های تهویهٔ قابل کنترل در نظر گرفته می‌شود، تا انتقال گرما از طریق همرفت امکان‌پذیر گردد. با تابش خورشید به دیوار، گرما در فضای بین جدار و شیشه محبوس می‌شود و باعث افزایش جذب گرما توسط دیوار می‌گردد. شب‌هنگام، دریچه‌ها بسته می‌شوند، و در اثر تأخیر زمانی، تابش گرما از دیوار به فضای داخل صورت می‌گیرد (شکل ۶۷).



شکل ۶۷ نحوه عملکرد دیوار ترومب هنگام روز (سمت راست) و هنگام شب (سمت چپ)

پ۱۳-۲-۲-۲ دیوار آبی

در دیوار آبی[1] به‌جای بتن یا مصالح بنایی، از آب استفاده می‌شود (شکل ۶۸). ظرفیت گرمایی آب از ظرفیت گرمایی اکثر مصالح ساختمانی بیشتر است. در نتیجه، این دیوار قابلیت ذخیره‌سازی بسیار بالایی دارد [۸]. البته در اینجا باید به این نکته اشاره کرد که از طرفی ساخت دیوارهای آبی با مشکلات اجرایی همراه است، و از طرف دیگر، جریان آب در دیوار انتقال گرما به عمق جدار را سرعت می‌بخشد، و تأخیر زمانی دیوار به حداقل می‌رسد.

در دهه‌های اخیر، با مطرح شدن و گسترش کاربرد «مصالح تغییر فاز دهنده»[2] (ر.ک. به پ۱۳-۶-۲)، با جرمی اندک و قابلیت ذخیره‌سازی بسیار بالا، کاربرد دیوارهای آبی به حداقل رسیده است.

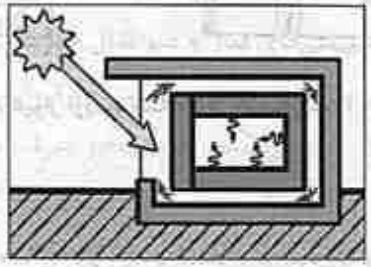
۱. water wall

۲. phase-change material (PCM)

شکل ۶۸ نحوه عملکرد دیوار آبی

پ۱۳-۲-۲-۳ دیوار باراـکنستانتینی

در دیوار باراـکنستانتینی[1] از کلکتورهای سبک وزن، که بر روی دیوار نصب می‌شوند، استفاده می‌شود. هوای گرم توسط داکت‌هایی از طریق همرفت طبیعی در داخل ساختمان به جریان می‌افتد [۸].

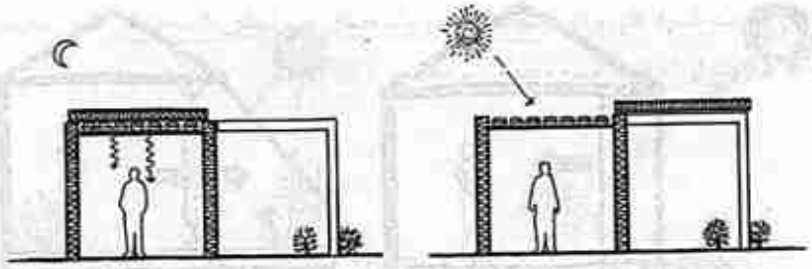


شکل ۶۹ نحوه عملکرد دیوار باراکنستانتی

پ۱۳-۲-۲-۴ بام آبی

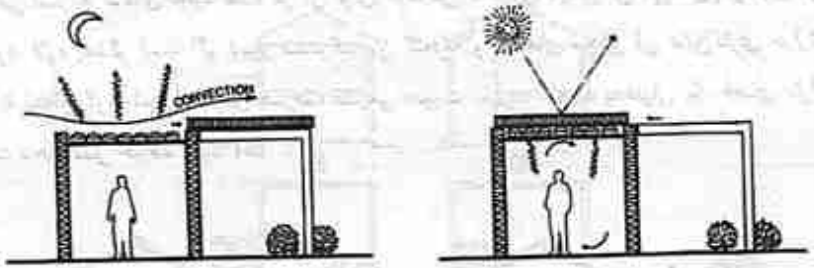
این سیستم دارای مشابهت‌هایی با دیوار ترومب است، و در آن آب در کیسه‌های پلاستیکی سیاه‌رنگ بر روی یک بام تخت فلزی ذخیره می‌شود. در طول روز زمستان، خورشید کیسه‌های آب را گرم می‌کند. گرما به‌سرعت به پایین جریان می‌یابد و از سقف به‌سمت داخل تابیده می‌شود. در شب، عایق متحرک کیسه‌های آب را می‌پوشاند تا مانع از دفع گرما به سمت آسمان شب گردد (شکل ۷۰).

۱. Barra-Constantini Wall



شکل ۷۰ عملکرد حرارتی بام آبی در طول روز و شب زمستانی

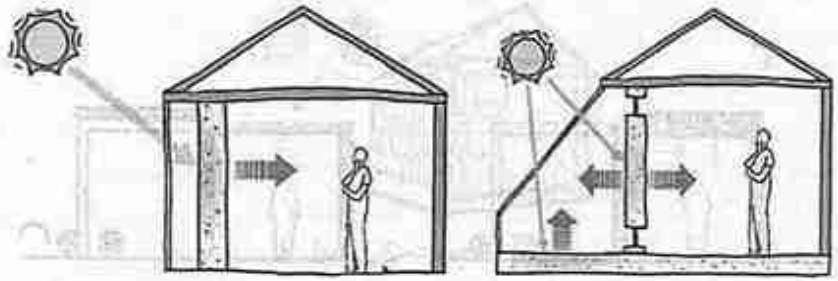
در تابستان، در طول شب عایق متحرک از روی کیسه‌ها برداشته می‌شود، تا در مقابل آسمان شب قرار گیرند، و گرمای ذخیره‌شده را از دست بدهند. در ساعات روز، کیسه‌های آب با عایق متحرک پوشانده می‌شوند، تا در نقش جاذب گرمایی داخل ساختمان را خنک سازند (شکل ۷۱).



شکل ۷۱ عملکرد حرارتی بام آبی در طول روز و شب تابستان

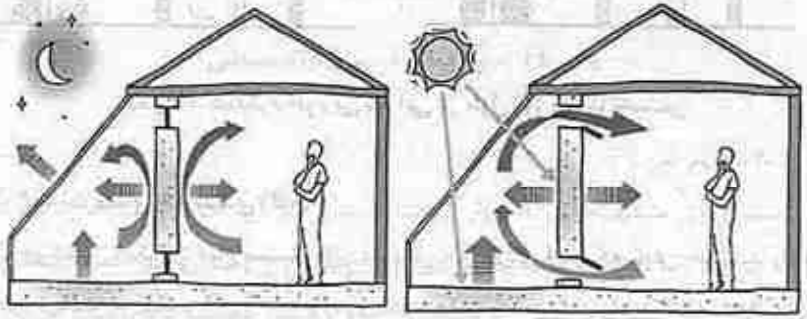
پ۱۳-۲-۲-۵ فضای خورشیدی (گلخانه)

فضای خورشیدی، یکی از انواع سیستم‌های غیرفعال خورشیدی است که تابش خورشید را به‌طور مستقیم دریافت می‌کند و آن را در دیوارهای خود جذب و ذخیره می‌نماید. سپس، در زمان‌های مناسب، گرمای جذب‌شده را به فضاهای مجاور خود انتقال می‌دهد. در واقع، این سیستم همان سیستم «دیوار حرارتی» است که جدار شیشه‌ای آن با فاصلهٔ بیشتری از جرم حرارتی قرار می‌گیرد.



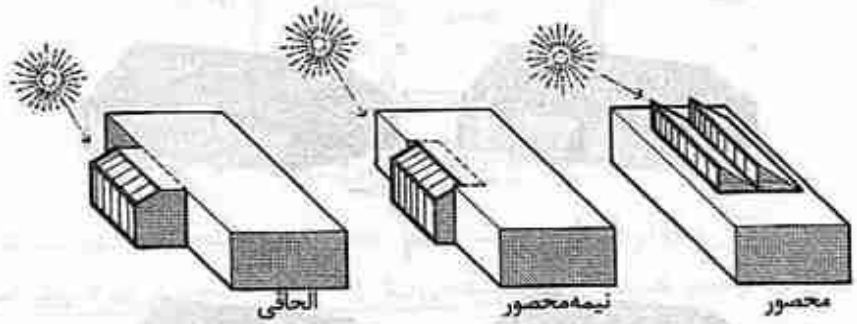
شکل ۷۳ سیستم گلخانه (سمت راست) و سیستم دیوار ترومب (سمت چپ)

در این سیستم، بخشی از گرما از طریق همرفت طبیعی به هوای گلخانه منتقل می‌شود و بخشی از آن به عناصری از گلخانه که دارای جرم حرارتی بالا هستند، منتقل می‌شود. از این‌رو، گلخانه به‌عنوان یک فضای دارای دریافت مستقیم عمل می‌کند، و گرمای تولید شده در آن در جهت حفظ دمای مطلوب استفاده می‌گردد. همچنین، گلخانه به‌عنوان یک فضای دارای دریافت غیرمستقیم رفتار می‌کند که گرمای تولید شده در آن برای گرمایش فضاهای مجاور آن مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. لازم به‌ذکر است اگر دیوار مشترک بین گلخانه و فضاهای مجاور آن عایق‌کاری حرارتی شود، تا انتقال گرما تنها از طریق همرفت طبیعی صورت بگیرد، گلخانه به‌عنوان یک فضای دارای دریافت مجزا عمل خواهد نمود [۸].

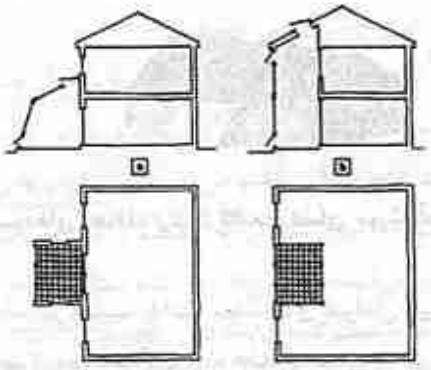


شکل ۷۳ نحوه عملکرد گلخانه در هنگام روز (سمت راست) و هنگام شب (سمت چپ)

در شکل ۷۴ سه شیوهٔ کلی برای ارتباط کالبدی یک فضای خورشیدی با ساختمان نشان داده شده است که عبارتند از الحاقی[۱]، نیمه محصور[۲] و محصور[۳] (۷).

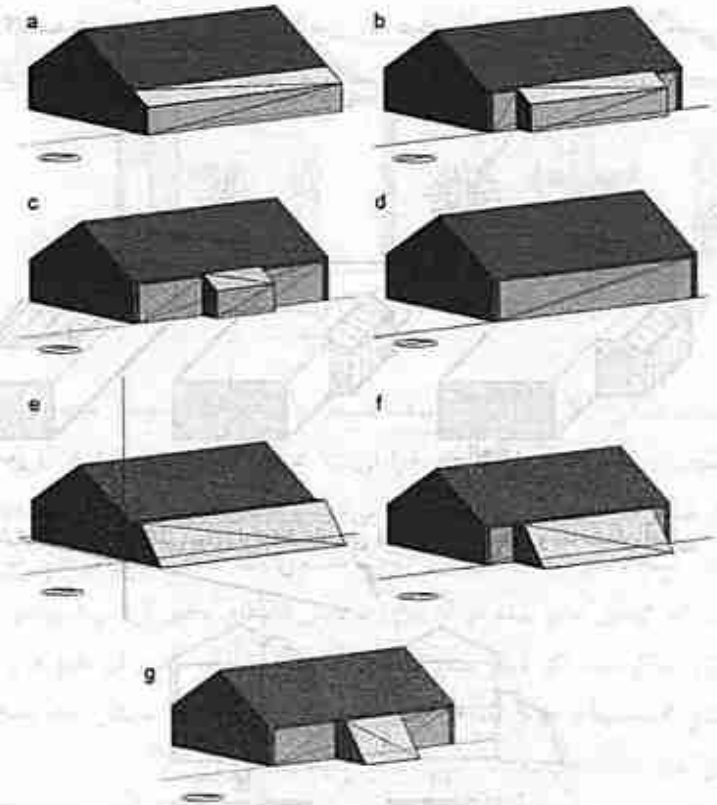


شکل ۷۴ شیوهٔ کلی برای ارتباط کالبدی فضای خورشیدی و ساختمان اصلی



شکل ۷۵ پلان و مقطع نمونه‌ای از فضای خورشیدی نیمه‌محصور (سمت راست) و الحاقی (سمت چپ)

۱. attatched
۲. Semi-enclosed
۳. enclosed

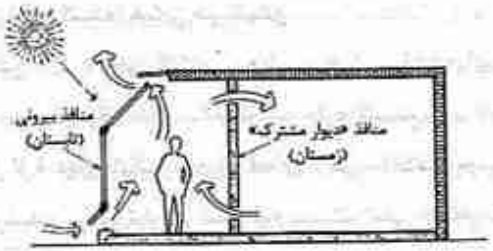


شکل ۷۶ نمونه‌هایی از شیوه‌های مختلف ارتباط کالبدی فضای خورشیدی با ساختمان اصلی

بازدهی گرمایشی گلخانه، در مقایسه با اکثر سیستم‌های غیرفعال خورشیدی، بیشتر است، زیرا در روزهای آفتابی انرژی خورشیدی جمع‌آوری و به فضاهای مجاور منتقل می‌شود، و در هنگام شب و روزهای سرد، به‌عنوان یک فضای کنترل‌نشده[1] عمل می‌کند و اتلاف گرما را کاهش می‌دهد.

برای جلوگیری از بیش‌گرمایش، به‌خصوص در تابستان و پاییز، ایجاد منفذ در فضای خورشیدی به سمت خارج از ساختمان، مطابق شکل ۷۷، ضروری است. سطح مقطع مناسب برای منفذ ورودی در پایین و منفذ خروجی در بالا حدود ۵ درصد مساحت شیشه‌های رو به جنوب است. اگر از یک دمندهٔ تخلیهٔ هوا استفاده شود، سطح مقطع بازشوها را می‌توان کاهش داد.

۱. buffer

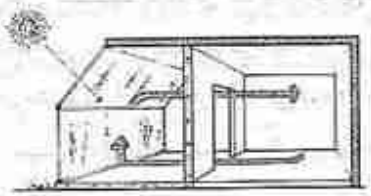


شکل ۷۷ ایجاد منافذ در دیوار داخلی و خارجی فضای خورشیدی

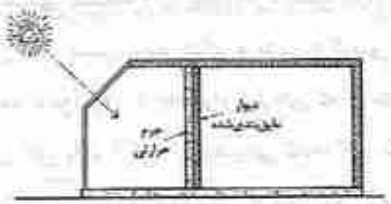
برای گرم کردن فضاهای داخلی در زمستان، درنظر گرفتن پنجره یا منافذی در دیوار مشترک بین فضای خانه و فضای خورشیدی، با سطح مقطعی بیش از ۱۰ درصد مساحت نورگیر ضروری است.

مقدار جرم حرارتی مورد نیاز به عملکرد فضای خورشیدی بستگی دارد. اگر این فضا، در اصل یک گردآور خورشیدی باشد، می‌بایست مقدار جرم حرارتی بسیار کم باشد، به‌طوری‌که بخش عمدهٔ گرما به فضای داخل راه یابد. از سوی دیگر، فضای خورشیدی، عنوان یک فضای زیستی، با دامنهٔ نوسانی متعادل، باید اینرسی حرارتی بالایی داشته باشد.

یک راه‌حل مناسب برای اقلیم معتدل، استفاده از یک دیوار مشترک ذخیره‌سازی حرارتی مطابق شکل ۷۸ می‌باشد. در اقلیم‌های بسیار گرم یا سرد ممکن است جدا نمودن کامل خانه از فضای خورشیدی مطلوب باشد. در این حالت می‌توان از یک دیوار عایق‌کاری حرارتی شده با جرم کمتر مطابق شکل ۷۹ استفاده نمود. هنگامی‌که استفاده از گرما موردنظر باشد، دربها، پنجره‌ها و یا منافذ دیوار مشترک باز می‌شوند. هنگامی‌که نیاز باشد فضای خورشیدی از ساختمان اصلی جدا شود، عایق‌کاری حرارتی دیوار مشترک و قرار گرفتن پنجره‌ها در حالت بسته، مانع از انتقال حرارت به دیگر فضاها می‌شود.



شکل ۷۸ استفاده از دیوار مشترک ذخیره‌سازی حرارتی بین فضای خورشیدی و فضای داخل

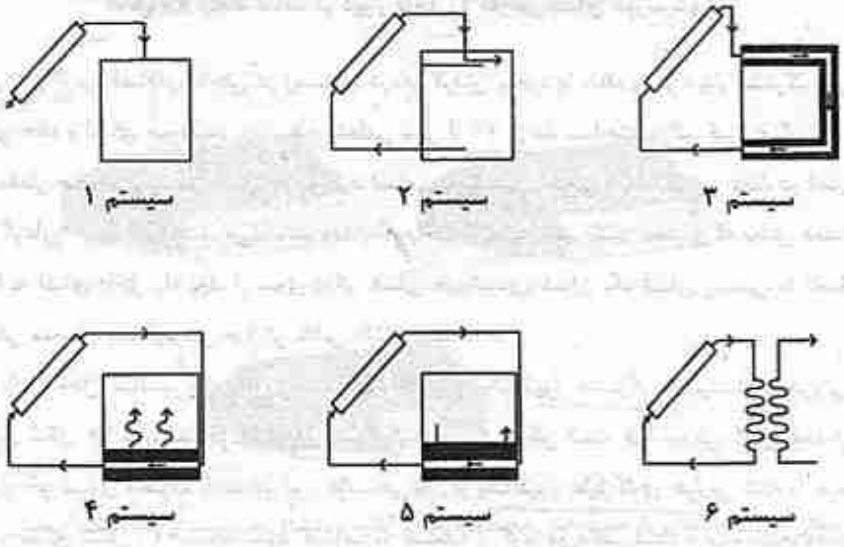


شکل ۷۹ استفاده از دیوار مشترک عایق‌کاری حرارتی شده بین فضای خورشیدی و فضای داخل

پ۱۳-۲-۲-۶ کلکتور (جمع‌کننده) هوایی خورشیدی

در تابستان، با گرم شدن لایهٔ خارجی کلکتور و هوای موجود در آن، هوای گرم‌شده به‌طرف بالا حرکت کرده و موجب می‌شود هوای داخل ساختمان به خارج کشیده شود. لازم به‌ذکر است در این سیستم، قسمت پایینی لایهٔ هوای کلکتور با هوای فضای داخل ساختمان مرتبط می‌گردد [۱۰].

کلکتورهای هوایی خورشیدی[1] را می‌توان در شش نوع سیستم اصلی دسته‌بندی نمود (شکل ۸۰).



شکل ۸۰ انواع کلکتورهای هوایی خورشیدی

«گرمایش خورشیدی هوای تهویه»[2]: در این سیستم، هوای خارج، پس از گذشتن از یک کلکتور خورشیدی نصب‌شده بر روی بام یا دیوار گرم می‌گردد و مستقیماً به داخل فضای وارد می‌گردد. پایین بودن نسبی دمای هوای ورودی به کلکتور باعث افزایش بازدهی سیستم می‌شود.

«حلقهٔ جمع‌آوری باز به‌همراه انباره‌ای که گرمای ذخیره‌شده در آن با تابش آزاد می‌شود»[1]: هوای درون اتاق وارد کلکتور خورشیدی شده، گرم شده و سپس، یا از طریق همرفت طبیعی (دودکش خورشیدی) یا به‌کمک یک فن به اتاق بازمی‌گردد.

۱. solar air collectors

۲. solar heating of ventilation air

«سیستم دوپوسته»[2]: هوای گرم‌شده توسط کلکتور خورشیدی در یک حلقهٔ بسته از میان شکافی در پوستهٔ ساختمان به گردش درمی‌آید. در این سیستم، استفاده از یک دیوار دوپوسته اتلاف گرما از دیوارها را به‌طور محسوسی می‌کاهد. در هنگام شب، به‌کمک دمپرهایی، جریان هوا مسدود می‌گردد. در تابستان، هوای گرم حاصل از کلکتور خورشیدی برای گرم کردن آب‌گرم مصرفی استفاده می‌شود.

این سیستم برای بهبود عملکرد ساختمان‌های آپارتمانی با عایق‌کاری حرارتی اندک بسیار مناسب است. این کار می‌تواند از طریق ساختن یک پوستهٔ دوم بر روی پوستهٔ اول صورت بگیرد.

«حلقهٔ جمع‌آوری بسته به‌همراه انباره‌ای که گرمای ذخیره‌شده در آن به طریق تابش آزاد می‌شود»[3]: هوای گرم‌شده توسط کلکتور خورشیدی، در یک حلقهٔ بسته، از طریق کانال‌ها به داخل دیوارها و یا کف‌های بتنی به گردش درمی‌آید. دیوارها یا کف‌ها، به‌خاطر جرم بالایشان، می‌توانند گرما را با حداقل افزایش دما (و در نتیجه حداقل اتلاف) جذب نمایند. این گرما، در طول شب بازتابیده می‌شود. در صورت استفاده از فن برای به گردش درآوردن هوا، بازدهی کلکتور خورشیدی بیشتر می‌شود، چراکه هوا با سرعت بیشتری از کلکتور عبور می‌کند و در نتیجه، افزایش دمای کلکتور و اتلاف گرما را از طریق تابش یا همرفت کاهش می‌دهد.

«حلقهٔ جمع‌آوری بسته به‌همراه حلقهٔ آزادکنندهٔ باز»[4]: هوای گرم‌شده توسط کلکتور خورشیدی در یک حلقهٔ بسته از طریق کانال‌ها به داخل جرم حرارتی به گردش درمی‌آید (مانند سیستم ۴)، اما هوای داخل اتاق از طریق کانال‌های مجزایی در داخل کف به گردش درمی‌آید. انباره می‌تواند در جای دیگری از اتاق قرار داده شود و عایق‌کاری حرارتی گردد و تا دماهای بالا، گرما در آن ذخیره شود، ولی به‌صورت کنترل‌شده و فعال گرما را به فضای داخل اتاق آزاد کند. می‌توان از یک بستر سنگی به‌جای جرم دیوار یا کف، به‌عنوان انباره استفاده نمود. در روزهای ابری که هوا به اندازهٔ کافی گرم نمی‌شود که انباره را تغذیه نماید، هوای گرم‌شده به داخل فضای اشغال‌شده دمیده می‌شود (یک سیستم با حلقهٔ باز را به‌وجود می‌آورد).

۱. open collection-loop with radiant discharge storage

۲. double-envelope system

۳. closed collection loop with radiant discharge storage

۴. closed collection loop with open discharge loop

«حلقهٔ جمع‌آوری بسته و حلقهٔ گرمایشی آبی»[1]: هوای گرم‌شده توسط کلکتور خورشیدی از روی یک مبدل گرمایی هوا به آب عبور داده می‌شود. سپس، آب گرم به داخل رادیاتورها یا کف‌ها/ دیوارهای تابشی به گردش درمی‌آید.

این سیستم هنگامی مفید و کارساز است که قرار است گرما به مسافت قابل ملاحظه‌ای فرستاده شود (به‌دلیل اتلاف کمتر گرما و انرژی کمتری که در سیستم‌های آبی برای پمپ کردن موردنیاز است). همچنین، در مواقعی که قرار می‌شود یک ساختمان با استفاده از سیستم آبی موجود، بهسازی گردد.

کلکتورهای هوایی خورشیدی را می‌توان بر روی بام یا دیوارها نصب نمود و آنها را با سازهٔ بام یا دیوار به‌عنوان بخشی از پوستهٔ ساختمان ترکیب نمود.

در تمام سیستم‌های معرفی‌شده، با افزایش نسبت مساحت کلکتور به مساحت کف (A_c/A_f) یا کاهش بار حرارتی ساختمان (به‌خاطر طراحی پوستهٔ بهتر برای ساختمان یا وجود هوای گرم‌تر) بخش بیشتری از بار حرارتی ساختمان تأمین می‌شود، اما:

- گرمای جمع‌آوری‌شده در هر واحد سطح کلکتور (Q/A_c) کاهش می‌یابد،
- بازدهی گرمای خورشیدی جمع‌آوری‌شده کاهش می‌یابد، و
- هزینهٔ یک واحد گرمای خورشیدی افزایش می‌یابد.

اگر بار گرمایشی ساختمان افزایش یابد، گرمای بیشتری می‌تواند توسط یک کلکتور مشخص جمع‌آوری شود، چرا که هوای واردشده به کلکتور خنک‌تر است (یا به گردش درآمدن هوا در فضای ساختمان، گرمای بیشتری از دست داده می‌شود) و در نتیجه آمادگی بیشتری برای جذب گرما هنگام عبور از کلکتور خواهد داشت.

سرعت بیشتر در جریان هوای عبوری از کلکتور نیز میزان گرمای جمع‌آوری‌شده را افزایش می‌دهد. زیرا هنگامی که سرعت عبور جریان هوا بیشتر است، افزایش دمای آن با عبور از کلکتور کمتر خواهد بود، در نتیجه میزان کمتری از گرمای جذب‌شده به محیط اطراف بازتابیده می‌شود.

بر اساس داده‌های ارائه شده در منابع موجود، بازدهی این سیستم‌ها ۳۰ تا ۷۰ درصد است و برای تأمین ۸۰ درصد یا درصد بیشتری از بار گرمایشی سالانهٔ ساختمان‌هایی که به‌خوبی

۱. closed collection loop and hydronic heating loop

عایق‌کاری حرارتی شده‌اند و مساحت کلکتور آنها ۱۶ درصد از مساحت کف آنها می‌باشد، کفایت می‌نماید [۱۰].

پ۱۳-۲-۲-۷ پنجره با جریان هوا

پنجره‌های با جریان هوا[1]، معمولاً شامل این بخش‌ها می‌باشند: یک شیشهٔ دو جداره در طرف رو به خارج، شیشهٔ یک یا دو جداره در طرف رو به داخل، شکاف‌هایی برای عبور هوا از فضای داخل ساختمان یا خارج آن به فضای بین شیشه‌ها از پایین پنجره، یک شکاف دیگر در بالا برای خارج شدن هوای ورودی بین شیشه‌ها و (در صورت لزوم) یک پردهٔ قابل تنظیم جاذب/ انعکاس‌دهنده در فضای هوا.

در زمستان، پردهٔ موجود در فضای بین دو مجموعه شیشه داخلی و خارجی بالا برده یا پایین آورده می‌شود و سمت جاذب آن به‌طرف خارج قرار داده می‌شود، در حالی که در تابستان این پرده ممکن است پایین آورده شود و سمت انعکاس‌دهندهٔ آن به‌طرف خارج قرار داده می‌شود.

می‌توان گفت دو گونه پنجره با قابلیت جریان هوا شناخته شده است (شکل ۸۱).

شکل ۸۱ انواع پنجره‌های با قابلیت جریان هوا

در یک نوع از این پنجره‌ها، که با عنوان پنجرهٔ «هوای ورودی»[2] شناخته شده، هوای خارج به فضای بین شیشه‌های پنجره کشیده می‌شود، سپس وارد فضای داخل ساختمان می‌شود تا بخشی از نیاز تهویهٔ آن را (در زمستان) تأمین کند یا به فضای خارج (در تابستان) برگردانده می‌شود.

در زمستان، هوای واردشده، بخشی از گرمایی را که از پنجره تلف می‌شود و به خارج می‌رود، و همچنین گرمای جذب‌شده بین شیشه‌های داخل و خارج را به‌طرف بالا حرکت می‌دهد. در

۱. airflow windows
۲. supply air

تابستان، پردهٔ بین شیشه‌ها در طول اوقاتی که خورشید به‌طور مستقیم می‌تابد، پایین آورده می‌شود و جریان هوای برقرارشده موجب می‌شود گرمای پنجره خارج شود.

در نوع دیگر این پنجره‌ها، که با عنوان پنجرهٔ «هوای خروجی»[1] شناخته شده، هوای داخل از شکاف لایهٔ داخلی پنجره و از پایین وارد شده و یکی از این حالت‌ها برای آن اتفاق می‌افتد:

- مستقیماً از شکاف لایهٔ خارجی پنجره و از بالا به بیرون خارج می‌شود؛
- مستقیماً در فضای داخل ساختمان دوباره به گردش درمی‌آید؛
- از دال‌های کف بتنی سوراخ‌دار یا دیگر انباره‌های حرارتی (مانند سنگ‌ها) عبور می‌کند پیش از آن‌که خارج شود؛
- به یک مبدل حرارتی هدایت می‌شود تا گرمای جمع‌آوری‌شده را به هوای ورودی تهویه منتقل کند پیش از آن‌که خارج شود.

در زمستان، یکی از سه حالت آخر بر حالت خروج مستقیم هوا (به خارج) ترجیح داده می‌شود، زیرا میزان اتلاف گرما از ساختمان به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. اما در تابستان، هوای خروجی مستقیماً به خارج هدایت می‌شود.

هم در زمستان و هم در تابستان، این نوع پنجره موجب می‌شود هوای تازهٔ خارج از دیگر بازشوهای ساختمان وارد شوند. هنگامی که هوای خارج برای تهویهٔ مستقیم خیلی گرم باشد، پنجره می‌تواند هوای خارجی ورودی از بازشوهای زیری را از طریق بازشوهای بالایی مجدداً به خارج هدایت کند.

پ۱۳-۲-۲-۸ نمای دوپوسته

یک نمای دوپوسته[2] مانند یک پنجرهٔ با جریان هوا عمل می‌کند، با این تفاوت که نیازی نیست که تمام نقاط هر دو پوسته کاملاً نورگذر باشد و لایهٔ هوای بین دو پوسته می‌تواند به‌اندازهٔ کافی عریض باشد تا امکان دسترسی افراد به آن فراهم گردد [۱۰].

با گرم شدن هوای بین دو پوسته، هوای گرم بالا می‌رود. به کمک این شیوه می‌توان ساختمان را تهویهٔ غیرفعال نمود. در ساختمان‌های چندطبقه، با استفاده از دریچه‌های تهویه کنترل هوشمند،

۱. exhaust air
۲. double-skin facades

هوای بالا رونده در هر یک تا دو طبقه به‌سمت خارج هدایت می‌شود. از این طریق می‌توان افزایش دمای هوای بین دو پوسته را محدود نمود. نمای دوپوسته ضریب انتقال حرارت کمتری نسبت به پوستهٔ داخلی به‌تنهایی دارد.

ابزار سایه‌اندازی بین نمای دوپوسته باید تا حدی از پوستهٔ خارجی فاصله داشته باشد تا از گرم شدن بیش از حد این لایه جلوگیری نماید. اما، در عین حال، نباید فاصله آن با پوستهٔ داخلی کمتر از این مقدار باشد و انتقال گرما را به فضای داخل در تابستان افزایش دهد. لازم به ذکر است گیاهان خزان‌پذیر، به‌عنوان یکی از گزینه‌های سایه‌اندازی قابل تنظیم بین دو نما، مورد توجه هستند.

در زمستان، این سیستم می‌تواند برای گرمایش مورد استفاده قرار گیرد، در صورتی که هوای تازه از پایین نمای جنوبی وارد شود و از طریق داکت بام، به داخل نمای شمالی و به‌سمت پایین جریان یابد و از سمت شمالی ساختمان از سطح سقف به هر طبقه وارد شود. لازم به ذکر این نکته است که هوای خروجی نباید دوباره وارد جریان هوای نمای جنوبی شود. به‌عبارت دیگر، هوای خروجی باید جمع‌آوری شود و بدون تماس با هوای بین دو پوسته به خارج هدایت شود. از این هوا می‌توان، به‌کمک یک مبدل حرارتی، برای پیش‌گرمایش هوایی که وارد نمای جنوبی می‌شود، استفاده نمود.

در شکل ۸۲ انواع نماهای دوپوسته از نظر هندسه نما نشان داده شده است که عبارتند از:

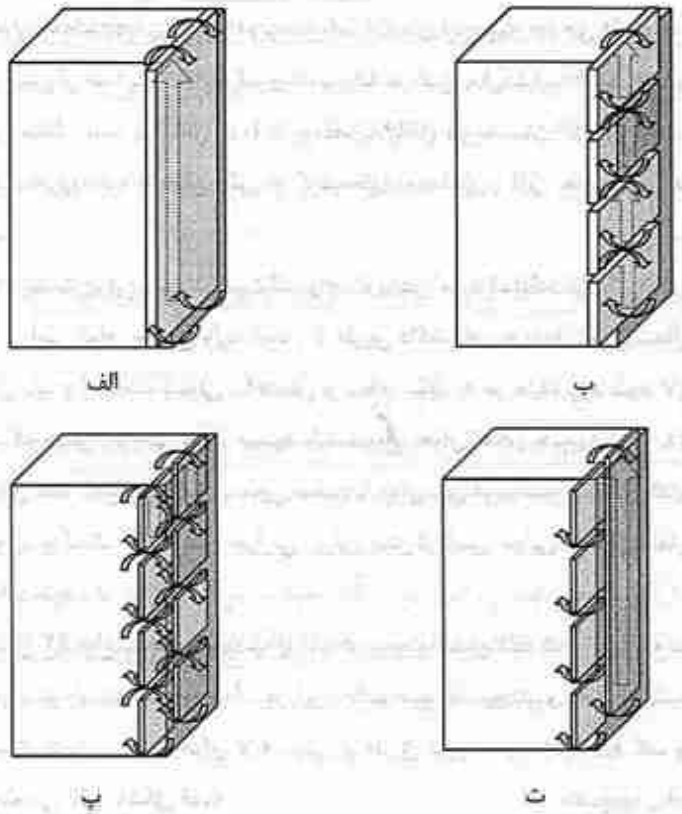
۱. نمای دو پوسته چند طبقه[1] : در این حالت هیچ تقسیم بندی افقی با عمودی بین دو پوسته نیست بنابراین تهویه هوای لایه میانی از طریق دریچه‌های نزدیک به کف و نزدیک به سقف انجام می شود. (شکل الف)

۲. نما با تقسیم‌بندی افقی[2] : تقسیمات افقی در نما ایجاد می شود. بخش‌های افقی برای اکوستیک، حفاظت در مقابل آتش یا برای تهویه ساخته شده است. (شکل ب)

۳. نما با تقسیم بندی افقی و عمودی[3] (جعبه‌ای). تقسیمات افقی و عمودی در نما وجود دارد و نما به قطعات کوچکتر و مستقل از هم تقسیم می‌شود. (شکل پ)

۱. Multi Story Double Skin Façade
۲. Corridor Façade
۳. Box window type

۴. نمای از نوع شفت جعبه‌ای[1] : ترکیبی از حالت ۱ و ۳ است. در این حالت محورهای نما اثر دودکش را افزایش میدهند. (شکل ت)



شکل ۸۲ انواع نماهای دوپوسته از نظر هندسه نما

پ۱۳-۲-۲-۹ دیوارهای خورشیدی صلب مجوف[2]

این دیوارها شامل یک پوشش فلزی در خارج می‌باشند که مانند یک پانل خورشیدی عمل می‌کنند. این پوشش، توسط میلیون‌ها سوراخ کوچک مجوف شده است. این سیستم‌ها، در حال

۱. Shaft Box Type
۲. perforated unglazed solar walls

حاضر از آلومینیوم ساخته می‌شوند. اما به دلیل گران بودن آلومینیوم و بالا بودن «انرژی دربر گرفته»[1] در آن (برای تولید)، از مقاطع فولادی گالوانیزه و بعضی از پلاستیک‌ها استفاده می‌شود که کاهش اندک بازدهی سیستم را به دنبال دارد، و در عوض به‌میزان قابل توجهی هزینه‌ها را کاهش می‌دهد [۱۰].

هوای خارج از طریق سوراخ‌های پوشش خارجی داخل می‌شود و پیش از ورود به فضاهای داخل ساختمان گرم می‌شود. افزایش دمای ۲۵ تا ۳۰ کلوین در یک روز آفتابی زمستانی مورد انتظار است.

این سیستم، با عنوان «کلکتور خورشیدی با جدار نفوذپذیر»[2] نیز شناخته شده است. این سیستم برای ساختمان‌هایی، مانند کارخانه‌ها، با دیوارهای وسیع بدون پنجره یا با کم‌پنجره خیلی مناسب است [۱۰].

پ۱۳-۲-۲-۱۰ دودکش خورشیدی

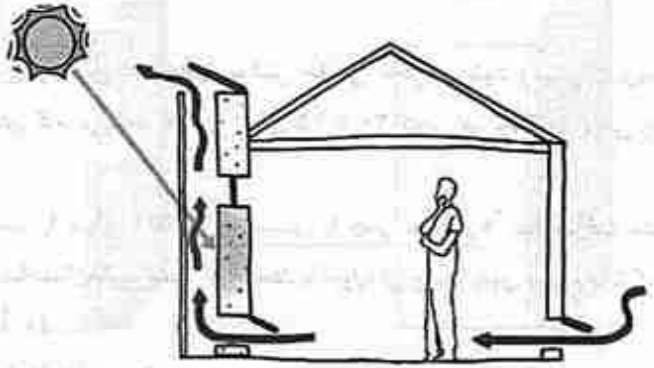
تهویهٔ طبیعی می‌تواند از طریق ایجاد اثر دودکش صورت بگیرد. در این حالت، هوای گرم‌شده که چگالی آن نیز کمتر می‌باشد، به طرف بالا و به سمت خارج ساختمان حرکت می‌کند و موجب می‌شود هوای خنک‌تر خارج وارد بخش‌های پایینی ساختمان شود (شکل ۸۳).

اختلاف فشار با بیرون را می‌توان به‌کمک زیاد کردن ارتفاع به سطحی بالاتر از سطح خنثی، افزایش داد. در نتیجه، اگر برج بلندی ساخته شود، تهویهٔ غیرفعال بیشتری حاصل می‌گردد. برجی که با این هدف ساخته می‌شود، با عنوان «دودکش خورشیدی»[3] نامیده می‌شود.

از گرمای هوایی که بالا می‌رود و خارج می‌شود، می‌توان برای گرم کردن هوای تازهٔ ورودی بهره‌گیری نمود. از این طریق، دودکش خورشیدی می‌تواند برای تهویه، در مواقعی که گرمایش فضا موردنیاز است، مورد استفاده قرار گیرد. در این سیستم، هرچه که سرعت جریان هوا پایین‌تر باشد، میزان بازدهی بازیافت گرما افزایش و افت فشار کاهش می‌یابد. بازیافت گرما توسط مبدل حرارتی مقاومت قابل توجهی در برابر جریان هوا ایجاد می‌کند و اکثراً منجر به کاهش دبی هوا می‌شود، که این موضوع باید در طراحی درنظر گرفته شود. این امر از طریق افزایش مقاومت در برابر جریان هوا

۱. embodied energy
۲. transpired solar collector
۳. solar chimneys

و خنک شدن هوایی که از دودکش خارج می‌شود، اتفاق می‌افتد. این مشکل را می‌توان با ساخت دودکش خورشیدی بزرگ‌تری برطرف نمود.



شکل ۸۳ نحوه عملکرد دودکش خورشیدی

اگر کلکتورهای خورشیدی با دیوار برج ترکیب شوند، در هنگام تابش خورشید، جریان هوای بیشتری به‌وجود می‌آید. همچنین، باکس‌های پله را می‌توان به‌گونه‌ای طراحی نمود که به‌عنوان دودکش خورشیدی عمل کنند؛ به‌خصوص اگر بخشی از آنها شیشه شود و در لبهٔ ساختمان و در برابر تابش خورشید قرار داده شوند. به‌علاوه، دودکش‌های خورشیدی را می‌توان به‌گونه‌ای طراحی نمود که نور طبیعی فضای داخل ساختمان را تأمین نمایند. در خانه‌های مجزا، نیمه‌مجزا یا خانه‌های ردیفی، اثر دودکش در ساختمان‌های بلندتر بیشتر خواهد بود. ازاین‌رو، خانه‌های سه‌طبقه به خانه‌های یک یا دوطبقه ترجیح داده می‌شوند [۱۰].

پ۱۳-۲-۲-۱۱ سلول فتوولتائیک

سلول‌های فتوولتائیک[1] که گاه نام سلول‌های خورشیدی نیز به آنها اطلاق می‌گردد، از پولک‌هایی ساخته می‌شوند که نور را مستقیماً به الکتریسیته تبدیل می‌کنند [۷]. با استفاده از این سلول‌ها، می‌توان انرژی خورشیدی را به جریان برق مستقیم تبدیل نمود.

۱. solar air collectors

به‌طور کلی، اهم مزایای به‌کارگیری سلول‌های فتوولتائیک به‌شرح زیر است:

- منبع انرژی پاک است. برای مثال، جریان برقی که توسط هر مترمربع سلول‌های فتوولتائیک تولید می‌شود، می‌تواند منجر به کاهش بیشتر از دو تن دی‌اکسیدکربن شود. استفادهٔ وسیع‌تر از برق فتوولتائیک می‌تواند به کاهش اثرات محیطی بخش ساختمان، که موجب انتشار بیش از ۵۰ درصد گازهای گلخانه‌ای می‌شود، کمک نماید.
- بازگشت سرمایه کوتاه می‌باشد (حدود دو تا پنج سال)، در حالی که طول عمر بهره‌برداری از پانل‌های فتوولتائیک بیشتر از ۲۰ سال است.
- انرژی در سایت تولید می‌شود، ازاین‌رو اتلاف بسیار ناچیزی در انتقال انرژی اتفاق می‌افتد.
- هزینهٔ نگهداری آن پایین است.
- این پانل‌ها می‌توانند برق را در مناطقی که دور از شبکهٔ برق‌رسانی می‌باشند، تولید کنند.
- قابل حمل و نقل می‌باشند [۸].

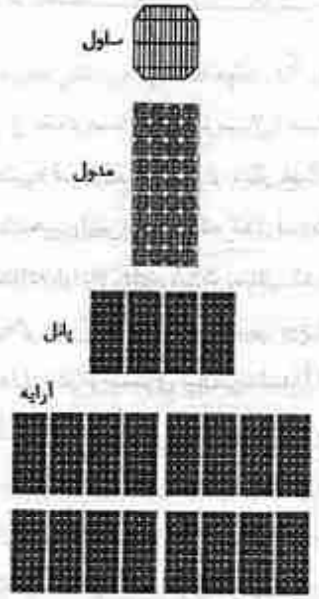
سلول‌های خورشیدی را می‌توان از تک‌کریستال (منوکریستال) سیلیکون[1]، کریستال‌های چندگانه (پلی‌کریستال‌ها)[2]، سیلیکون آمرفس (غیرکریستال)[3] یا از دیگر مصالح ساخت [۱۰]. در صورتی که از پانل‌های سیلیکونی آمرفس با بازدهی پایین‌تر و قیمت کم‌تر استفاده شود، نیاز به سطح بیشتری از آنها خواهد بود. در صورت استفاده از پانل‌های پلی‌کریستال که بازدهی بیشتری دارند، نیاز به مساحت کمتری خواهد بود. پانل‌های منوکریستال پربازده‌ترین نوع فتوولتائیک می‌باشند، و نه تنها به سطح کمتری نیاز دارند، بلکه دارای دوام بیشتری نیز می‌باشند [۸] (جدول ۱۱۳).

سلول‌های خورشیدی معمولاً در ابعاد کوچک تولید می‌شوند. به همین علت، باید تعداد زیادی سلول در کنار هم قرار گیرند و سری یا موازی شوند تا یک مدول با مساحت کافی (بین ۰/۴ تا ۱/۰ متر مربع) ساخته شود [۸]. مدول‌ها را نیز می‌توان با یکدیگر ترکیب کرد و صفحات خورشیدی را به‌وجود آورد که آنها نیز با یکدیگر ترکیب می‌شوند و آرایه‌ها را به‌وجود می‌آورند [۷] (شکل ۸۴).

۱. a single crystal of silicon (x-Si)
۲. multiple crystals (polycrystalline) (p-Si)
۳. amorphous (non-crystalline) silicon (a-Si)

جدول ۱۱۳ انواع مدول‌های فتوولتائیک

نوع مدول	شکل ظاهری	رنگ	بازدهی (درصد)	دوام (سال)
منوکریستال	ترکیبی از اشکال چند ضلعی و دایره‌ای	مشکی آبی	۱۶ـ۱۰	۳۰ـ۲۵
پلی‌کریستال	سطح بی‌نظم کریستالی درخشان	مشکی آبی	۱۲ـ۸	۲۵ـ۲۰
آمرفس	سطح مات	قرمز، سبز، نارنجی، مشکی آبی، زرد	۸ـ۴	۳۰ـ۱۵



شکل ۸۴ ترکیب سلول‌ها برای تشکیل مدول‌ها، ترکیب مدول‌ها برای تشکیل پانل‌ها و ترکیب پانل‌ها برای تشکیل آرایه‌ها

لازم بذکر است، سلول‌های فتوولتائیک را می‌توان از طریق پوشاندن مستقیم یک لایهٔ نازک (معمولاً شیشه) با نیمه‌هادی ساخت. این سلول‌ها، تحت عنوان «سلول‌های لایه‌نازک»[۱] نامیده می‌شوند. در این سلول‌ها، کمتر از ۱μm (میکرون) مصالح نیمه‌هادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدول‌ها را می‌توان با استفاده از سیلیکون آمرفس (غیرکریستال)، ترکیب سیلیکون آمرفس و تک‌کریستال سیلیکون یا با استفاده از پلی‌کریستال‌ها ساخت.

انواع دیگری از سلول‌های خورشیدی نیز ساخته شده‌اند. از جمله مصالح مورد استفاده می‌توان به این موارد اشاره نمود: کادمیوم[۲]، ایندیوم[۳]، تلوراید[۴]، سلنیوم[۵]، گالیوم[۶] و آرسنیک[۷].

«سلول‌های خورشیدی رنگی نانوکریستالین»[۸]، شامل یک ماتریس متخلخل از کریستال‌های اکسید تیتانیوم است که با یک لایهٔ ضخیم تک مدولی از رنگ اورگانومتالیکی روتنیوم[۹] پوشانده می‌شود. این سلول‌های خورشیدی را می‌توان بر روی ورق‌های فلزی چاپ کرد و آنها را با صرف هزینهٔ ناچیزی سبک و انعطاف‌پذیر ساخت و آنها را برای استفاده در اشکال و فرم‌های دلخواه در معماری مناسب نمود. این رنگ می‌تواند بخشی از انرژی فوتون‌ها را جذب نماید. با استفاده از این مسئله می‌توان پنجره‌هایی را طراحی نمود که اشعهٔ فروسرخ را به برق تبدیل می‌نمایند و در عین حال اجازه می‌دهند نور طبیعی وارد فضای داخل شود [۱۰].

برای استفاده از برق تولیدشده توسط پانل‌های فتوولتائیک، در ابتدا نیاز به اجرای ردیف‌های زیادی از این پانل‌ها در مکان‌های آفتابی و خشک بوده، یا می‌بایست در مکان‌های دورافتاده و برای تولید در مقیاس کوچک، این کار صورت می‌گرفت. همچنین، نیاز به سازه‌های نگهدارنده بود و حتی اگر قرار بود که برق تولیدشده به شبکهٔ برق وارد شود، تبدیل آن به جریان برق متناوب با فرکانس و ولتاژ مناسب نیز ضروری بود.

۱. thin-film cells
۲. cadmium (Cd)
۳. indium (In)
۴. telluride (Te)
۵. selenium (Se)
۶. gallium (Ga)
۷. arsenic (As)
۸. nanocrystalline dye cells
۹. ruthenium-based organometallic dye

اما، اکنون می‌توان مدول‌های خورشیدی را به‌عنوان بخشی از مصالح سازه‌ای ساختمان مانند مصالح بام، دیوار و پنجره ساخت. این مدول‌های فتوولتائیک که بخشی از سازهٔ ساختمان را تشکیل می‌دهند، با عنوان «پانل‌های فتوولتائیک ترکیب‌شده با ساختمان»[1] نامیده شده‌اند [۱۰]. استفاده از این پانل‌ها چندین مزیت مهم در بر دارد:

- حذف اتلاف انرژی در انتقال الکتریسیته
- عدم استفاده از فضای باز برای قرار دادن پانل‌های فتوولتائیک
- حذف بخشی از هزینهٔ جدارهٔ ساختمان با استفاده از مدول‌های فتوولتائیک به‌جای آن
- عدم نیاز به یک سازهٔ باربر به‌دلیل استفاده از سازهٔ ساختمان موجود
- پتانسیل زیباشناختی در استفاده از نوع جدیدی از مصالح نما [۷]

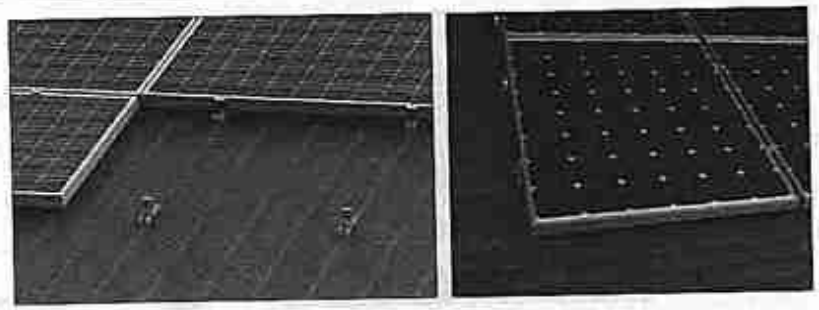
در صورتی که مدول‌های فتوولتائیک از نمای ساختمان با ایجاد یک لایه هوا جدا شوند، نفوذ گرما به نمای ساختمان و در نتیجه بار سرمایشی ساختمان کاهش می‌یابد. این امر، به‌کمک ایجاد سایه بر روی نمای داخلی و تهویهٔ غیرفعال لایهٔ هوا اتفاق می‌افتد.

البته لازم به‌ذکر است، در مورد این مدول‌ها، متوسط خروجی انرژی به‌دلیل محدود شدن جهت‌گیری مدول‌ها به جهت‌گیری ساختمان، کاهش پیدا می‌کند.

مدول‌های فتوولتائیک را می‌توان به مصالح معمول مورد استفاده برای بام یا نما متصل نمود، یا می‌توان آن‌ها را جایگزین مصالح متداول نمود. همچنین، می‌توان به‌عنوان نورگیر آتریوم، یا به‌عنوان ابزار ثابت یا قابل تنظیم برای ایجاد سایه از این مدول‌ها استفاده نمود [۱۰]. به‌طور کلی، در جدارهٔ ساختمان چهار بخش اصلی وجود دارد که پانل‌های فتوولتائیک می‌تواند با آن یکپارچه شود: دیوار، بام، نورگیر و سازه‌های کمکی نظیر پیشامدگی‌ها و سایبان‌ها [۷]. در ادامه، بعضی از این سیستم‌های ترکیب مدول‌های فتوولتائیک با ساختمان توضیح داده می‌شود.

«نصب مدول‌های فتوولتائیک بر روی بام شیبدار»، به‌دلیل سادگی اجرا (نیازی به سازهٔ غیرقابل نفوذ در برابر آب ندارد) اغلب به‌عنوان ارزان‌ترین شیوهٔ نصب مدول‌های فتوولتائیک می‌باشد. این مدول‌ها را می‌توان یا به بست‌هایی که به سفال‌های بام توسط پیچ متصل شده‌اند، متصل نمود یا به سفال‌های مخصوصی که دارای صفحاتی می‌باشند، متصل نمود. در این سیستم، یک لایه هوا در زیر مدول‌ها ایجاد می‌شود که باعث می‌شود از افزایش دمای مدول و اتلاف انرژی جلوگیری شود (شکل ۸۵).

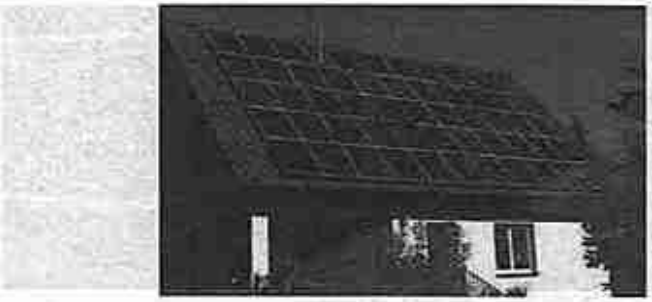
۱. building-integrated PV (BiPV)



شکل ۸۵ نصب مدول‌های فتوولتائیک بر روی بام شیبدار

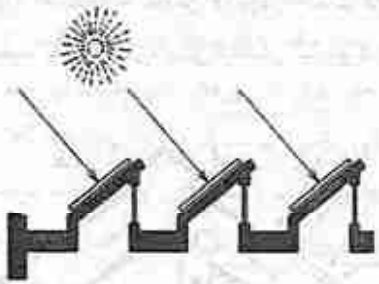
«ترکیب مدول‌های فتوولتائیک با بام شیبدار»، جایگزین مصالح معمول مورد استفاده برای پوشش بام می‌شود. در این حالت، نیاز به ایجاد لایه‌ای غیرقابل نفوذ در برابر آب می‌باشد. این سیستم نسبت به سیستمی که مدول‌های فتوولتائیک بر روی بام نصب می‌شوند، زیباتر است. پانل‌ها را می‌توان به‌گونه‌ای طراحی نمود که دارای همپوشانی باشند یا بدون همپوشانی باشند. در این سیستم، مدول‌ها گرم می‌شوند، مگر این‌که لایه‌ای در زیر مدول‌ها ایجاد شود و یک ورودی در پایین و یک خروجی در بالای بام طراحی شود تا تهویه صورت گیرد. ازاین‌رو، مدول‌های فتوولتائیک به‌عنوان لایهٔ خارجی یک بام دوپوسته عمل می‌کنند، که می‌تواند برای پیش‌گرمایش هوای ورودی یا ایجاد نیروی محرکی برای تهویهٔ داخل ساختمان (سرمایش فضا) مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۸۶). پانل‌های فتوولتائیک را می‌توان به‌کمک به گردش درآوردن آب در لوله‌هایی که به پشت پانل‌ها متصل می‌شوند، نیز خنک نمود. با این روش، پیش‌گرمایش آب موردنیاز برای مصارف خانگی نیز صورت می‌گیرد.

شکل ۸۶ تهویهٔ لایهٔ زیری مدول‌های فتوولتائیک در تابستان و استفاده از این گرما در زمستان برای گرمایش ساختمان



شکل ۸۷ ترکیب مدول‌های فتوولتائیک با بام شیبدار

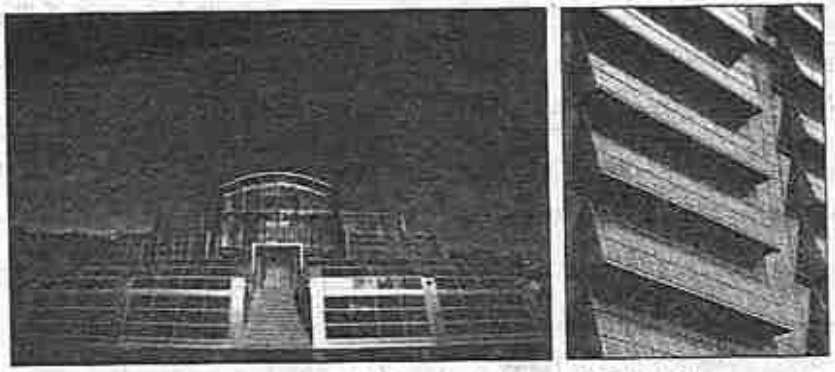
«مدول‌های فتوولتائیک شیبدار بر روی بام صاف»، نیاز به یک سازهٔ نگهدارنده دارند. در این سیستم، با جریان هوا از زیر مدول‌ها، امکان خنک‌سازی مدول‌ها و جلوگیری از کاهش بازده آنها فراهم می‌گردد. بار سرمایشی ساختمان نیز با ایجاد سایه بر روی بام کاهش پیدا می‌کند. شیبدار نمودن مدول‌ها به‌سمت نور خورشید، متوسط سالانهٔ تابش خورشید بر روی مدول‌ها را افزایش می‌دهد اما انرژی الکتریکی کل تولید شده کاهش می‌یابد، چراکه تنها از بخشی از مساحت بام بهره‌گیری می‌شود. در این شرایط، استفاده از پنجره‌های کلرستوری نیز پیشنهاد می‌شود، تا شیب رو به شمال برای روشنایی طبیعی مورد استفاده قرار گیرد [۷] (شکل ۸۸).



شکل ۸۸ استفاده از پنجره‌های کلرستوری هم برای بهره‌گیری از نور طبیعی و هم برای نصب پانل‌های فتوولتائیک

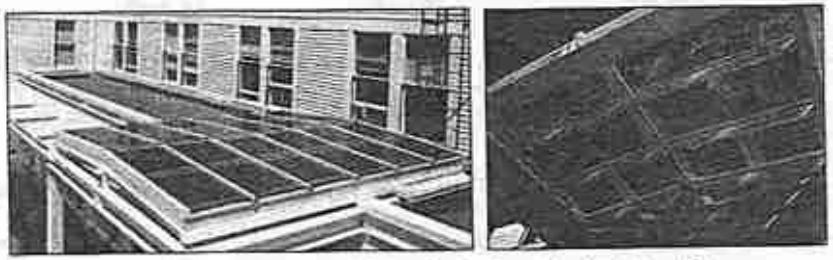
«مدول‌های فتوولتائیک افقی بر روی بام صاف»، می‌توانند به‌جای مصالح معمول مورد استفاده برای بام، مورد بهره‌برداری قرار گیرند. این مدول‌ها، می‌توانند دارای عایق حرارتی باشند که از داخل به یکدیگر چفت و بست می‌شوند. همچنین، می‌توان این مدول‌ها را با فاصله‌ای از بام نصب نمود تا امکان خنک‌سازی سلول‌ها از طریق تهویه فراهم گردد.

«مدول‌های فتوولتائیک بر روی نما»، می‌توانند به‌طور کالبدی یا تنها به‌طور بصری با نمای ساختمان ترکیب شوند (شکل ۸۹). هنگامی که از این مدول‌ها در نماهای پرده‌ای استفاده می‌شود، مدول‌های فتوولتائیک را می‌توان با سطوح شیشه‌ای پنجره‌ها ترکیب نمود. این مدول‌ها را می‌توان به‌عنوان سایه‌بان‌های ثابت یا قابل تنظیم در نمای ساختمان‌ها یا پوستهٔ بیرونی نمای دوپوسته مورد استفاده قرار داد.



شکل ۸۹ ترکیب مدول‌های فتوولتائیک با نما به‌صورت کالبدی

مدول‌های فتوولتائیک را در بخشی از نورگیر آتریوم نیز می‌توان به‌کار برد، ولی باید توجه داشت که این اقدام بهره‌گیری از روشنایی طبیعی را تحت‌الشعاع قرار ندهد (شکل ۹۰).



شکل ۹۰ استفاده از مدول‌های فتوولتائیک به‌عنوان نورگیر آتریوم

برای افزایش ولتاژ یک سیستم فتوولتائیک، مدول‌های منفرد فتوولتائیک به‌صورت سری به‌یکدیگر متصل می‌شوند. برای افزایش جریان تولیدشده توسط یک سیستم فتوولتائیک، مدول‌های منفرد فتوولتائیک به‌صورت موازی به‌یکدیگر متصل می‌شوند. یک ترکیب موردنظر از ولتاژ و جریان را می‌توان به‌کمک ترکیبی از اتصالات سری و موازی به‌دست آورد. اگر هر یک از سلول‌ها یا مدول‌ها در سایه قرار گیرند، جریان کمتری تولید می‌شود و خروجی تمام سلول‌های دیگری که به‌صورت سری با آنها قرار داده شده‌اند، محدود می‌شود. ازاین‌رو، بهتر است که میزان اتصالات سری محدود گردد و در صورتی که احتمال ایجاد سایه بر روی آنها وجود داشته باشد، سلول‌ها تا حد امکان به‌صورت موازی طراحی گردد [۱۰].

همچنین، حداکثر جمع‌آوری امواج تابشی خورشید زمانی اتفاق می‌افتد که پانل‌های فتوولتائیک عمود بر پرتوهای تابشی مستقیم باشد. بهترین زاویهٔ شیب اساساً تابع زمانی از سال است که بیشترین مقدار برق موردنیاز می‌باشد. اقلیم‌های گرم بیشترین الکتریسیته را در طول تابستان و برای تهویهٔ مطبوع نیاز دارند. ازاین‌رو، زاویهٔ شیب مساوی عرض جغرافیایی منهای ۱۵ درجه، زاویهٔ مناسبی برای این مناطق می‌باشد. در حالی که اقلیم‌های سرد بیشترین الکتریسیته را در زمستان و برای پمپ‌ها و پنکه‌های سامانه‌های گرمایشی و روشنایی نیاز دارند. ازاین‌رو، زاویهٔ شیب مناسب برای این مناطق مساوی عرض جغرافیایی به‌علاوهٔ ۱۵ درجه است (شکل ۹۱).

شکل ۹۱ زاویهٔ شیب مناسب برای نصب پانل‌های فتوولتائیک

به‌علاوه، جهت‌گیری مطلوب رو به جنوب می‌باشد. البته، انحراف تا ۲۰ درجه به سمت شرق یا غرب از جهت جنوب، افت بسیار ناچیزی در بازدهی سیستم به‌وجود می‌آورد. نماهای غربی و شرقی می‌توانند تا ۶۰ درصد بازدهی جدار جنوبی را تأمین کنند [۷].

لازم به توضیح است که سلول‌های فتوولتائیک علاوه بر مزایا، دارای معایبی نیز هستند که کاربرد آن‌ها را در برخی موارد دچار محدودیت می‌کند. هزینه اولیه بالا و غیرقابل پیش‌بینی بودن میزان انرژی الکتریکی خروجی سلول‌ها از جمله این معایب می‌باشند.

پ۱۳-۲-۲-۱۲ کلکتور (جمع‌کننده) خورشیدی با سیال مایع

رقیب اصلی سیستم فتوولتائیک برای استفاده در بام ساختمان، کلکتورهای فعال هستند که برای جذب انرژی خورشیدی، به‌منظور تولید هوا یا آب گرم، طراحی می‌شوند. کلکتورهای خورشیدی و پانل‌های فتوولتائیک، به‌دلیل شباهت ظاهری و نیاز به دسترسی به خورشید، می‌توانند در کنار یکدیگر، با ساختمان یکپارچه گردند [۷].

هوای گرم اصولاً برای گرمایش فضا مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حالی که آب گرم را می‌توان برای کاربردهای مختلفی استفاده نمود، مانند آب گرم مصرفی، گرمایش فضا، سرمایش فضا و گرمایش استخرهای شنا.

معایب اصلی هوا به‌عنوان سیال مورد استفاده در کلکتور آن است که این نوع کلکتور و کانال‌های آن حجیم می‌باشند، جلوگیری از نشت هوا در آنها دشوار است و این‌که گرم نمودن آب گرم مصرفی با هوای گرم مناسب نیست. محاسن آن نیز عبارت است از آن‌که هوا متجمد نشده و یا به‌جوش نمی‌آید، نشت آن موجب ایجاد خسارت نمی‌گردد و این‌که هوای گرم می‌تواند به‌صورت مستقیم برای گرم نمودن ساختمان به‌کار رود [۷].

لازم به ذکر است، از آنجا که آب گرم در طول سال مورد نیاز است، تجهیزات آن هیچ‌گاه بدون استفاده نخواهد ماند. در حالی که، سیستم‌های گرمایش فضا از نوع سیستم‌های خورشیدی فعال، نه تنها در بخش عمده‌ای از سال بدون فعالیت می‌باشند، بلکه زمانی که در زمستان به فعالیت می‌پردازند، تأمین انرژی خورشیدی از طریق آنها در کمترین مقدار خود می‌باشد [۷].

آب‌گرمکن‌های خورشیدی، می‌توانند برای تأمین حداقل بخشی از آب گرم موردنیاز در اکثر بخش‌های جهان مورد استفاده قرار گیرند. در کانادای جنوبی، کلکتورهای خورشیدی نصب‌شده بر روی بام می‌توانند نیمی از نیاز سالانهٔ آب گرم را تأمین می‌کنند؛ در قبرس، ۸۰ درصد و در داروین[۱]، استرالیا ۹۷ درصد نیاز سالانهٔ آب گرم را تأمین می‌نمایند [۱۰].

۱. Darwin, Australia

با ترکیب این سیستم‌های خورشیدی با یک سیستم توزیع گرما (معمولاً یک سیستم با دمای پایین، مانند گرمایش تابشی از کف)، می‌توان از این سیستم برای گرمایش فضاها و تأمین آب گرم مصرفی استفاده نمود. به این سیستم، «کامبای‌سیستم»[1] (سیستم تلفیقی) گفته می‌شود. این سیستم، نسبت به سیستمی که فقط برای تولید آب گرم مصرفی استفاده می‌شود، پیچیده‌تر می‌باشد. همچنین، بار گرمایشی در این سیستم، دستخوش تغییرات فصلی قابل توجهی می‌شود. به‌علاوه، بار گرمایشی سیستم در مواقعی که حداقل دسترسی به انرژی خورشیدی وجود دارد، در حداکثر مقدار خود می‌باشد.

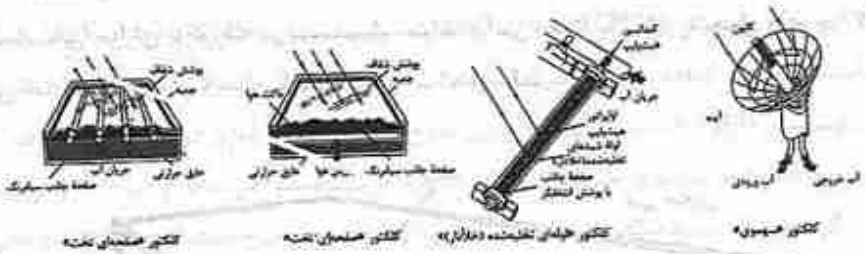
در سیستم «کامبای‌سیستم» می‌توان از پانل‌های مدولار کلکتور به‌جای مصالح معمول بام یا دیوار استفاده نمود. در این حالت، حتی در مواقعی که گرمای قابل ملاحظه‌ای را برای مخزن ذخیره تولید نمی‌نمایند، موجب کاهش اتلاف گرما از عناصر دیوار یا بام می‌گردند. ترکیب کلکتورهای خورشیدی با دیوارهای رو به خط استوا، به افزایش گرمای جذب‌شده در زمستان و کاهش گرمای جذب‌شده در تابستان، در مقایسه با کلکتورهای روی بام کمک می‌کنند [۱۰].

کلکتورها را می‌توان بر روی بام نصب نمود یا در صورتی که از کلکتورهای تخت استفاده شود، می‌توان آنها را به‌عنوان بخشی از کالبد ساختمان طراحی نمود. بعضی از نمونه‌های ترکیب کلکتورهای خورشیدی با بام و دیوارهای ساختمان در شکل ۹۲ نمایش داده شده است. به دلایل زیبایی‌شناسی و برای به حداقل رساندن امکان نفوذ آب در محل اتصال مصالح مختلف بام، معمولاً راه‌حل مطلوب، پوشش کل بام یا تقسیمات بام با ردیف‌هایی از کلکتورهای خورشیدی است. کلکتورهای خورشیدی ترکیب‌شده با دیوار نیز وجود دارد. یکی از نکات مثبت این کلکتورها در صورتی که رو به خط استوا نصب شوند، این است که تغییرات فصلی تابش خورشید موجب برخورداری از حداکثر تابش خورشید در زمستان و اوایل بهار/ اواخر پاییز و حداقل تابش خورشید در تابستان می‌شود. ازاین‌رو، نسبت به کلکتورهای افقی یا شیبدار، متناسب با تغییرات فصلی، به نیاز گرمایشی فضای داخل، بهتر پاسخ داده می‌شود [۱۰].

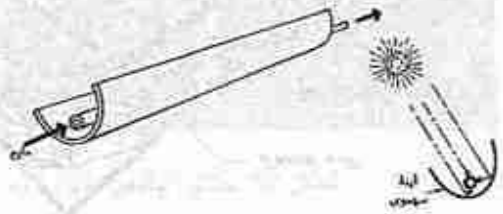
انواع کلکتورهای خورشیدی عبارتند از: کلکتورهای «صفحه‌ای تخت»[2]، کلکتورهای «لوله‌ای تخلیه‌شده (خلأدار)»[3] و کلکتورهای «ترکیبی سهموی»[4] (شکل ۹۲) در واقع، هنگامی‌که نیاز به آب

۱. combisystem
۲. flat-plate collector
۳. evacuated-tube collector
۴. compound parabolic collector (CPC)

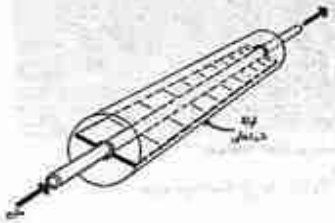
آب داغ وجود داشته باشد، از کلکتورهایی غیر از کلکتورهای صفحه‌ای تخت استفاده می‌شود. یعنی به‌کمک متمرکز ساختن نور خورشید (شکل ۹۳) یا با کاهش دفع گرما (شکل ۹۴) آب را می‌توان تا بالاتر از نقطهٔ جوش گرم نمود [۷].



شکل ۹۲ انواع کلکتورهای خورشیدی



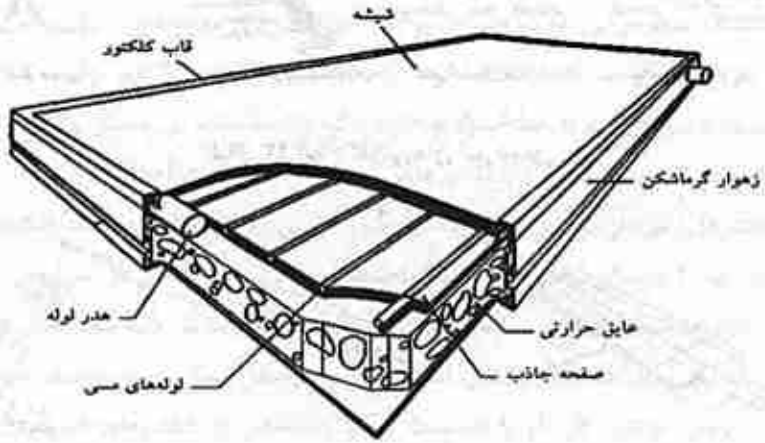
شکل ۹۳ استفاده از آینهٔ سهموی در کلکتورهای متمرکزکننده برای دستیابی به دماهای بالاتر



شکل ۹۴ دریافت دماهای بالاتر در کلکتورهای لوله‌ای تخلیه‌شده (خلأدار) از طریق کاهش اتلاف گرما

یک کلکتور صفحه‌ای تخت، شامل لوله‌هایی است که در آنها آب به جریان درمی‌آید. این لوله‌ها، در یک سطح جاذب سیاه‌رنگ کار گذاشته می‌شوند. در زیر این لوله‌ها، عایق حرارتی نصب می‌شود تا به نگه داشتن گرما کمک کنند. کلکتورهای صفحه‌ای تخت بدون شیشه، افزایش دما تا ۱۰K را موجب می‌شوند، در حالی که کلکتورهای صفحه‌ای تخت با پوشش شیشه‌ای تک‌لایه یا چند لایه، افزایش دما تا ۵۰K را ممکن می‌شوند و می‌توانند برای گرم کردن آب یا هوا مورد استفاده قرار گیرند [۷] (شکل ۹۵). لازم به توضیح است، پوشش شیشه‌ای با ایجاد اثر گلخانه‌ای، انرژی جذب‌شده را به‌حداکثر می‌رساند. لازم به‌ذکر است، صفحهٔ جاذب باید دارای ضریب جذب خیلی

بالایی باشد (تا ۰/۹۵، در مقایسه با ۰/۹ در مورد رنگ مشکی معمولی، که به‌معنای انعکاس ۱۰ درصد از اشعه تابیده به آن می‌باشد). همچنین، صفحهٔ جاذب باید دارای ضریب هدایت حرارت بالا باشد تا گرما را به‌خوبی به آب منتقل کند. به‌علاوه، باید ضریب گسیل[1] اشعهٔ فروسرخ صفحهٔ جاذب پایین باشد (کمتر از ۰/۱۵) تا اتلاف انرژی تابیده‌شده به آن، به حداقل رسانده شود. لازم به‌ذکر است، عایق حرارتی به‌کاررفته در سیستم باید بتواند افزایش دما تا ۱۵۰°C را تحمل کند، چرا که این دما ممکن است در تابستان با قطع جریان آب اتفاق بیفتد.



شکل ۹۵ کلکتور صفحه‌ای تخت

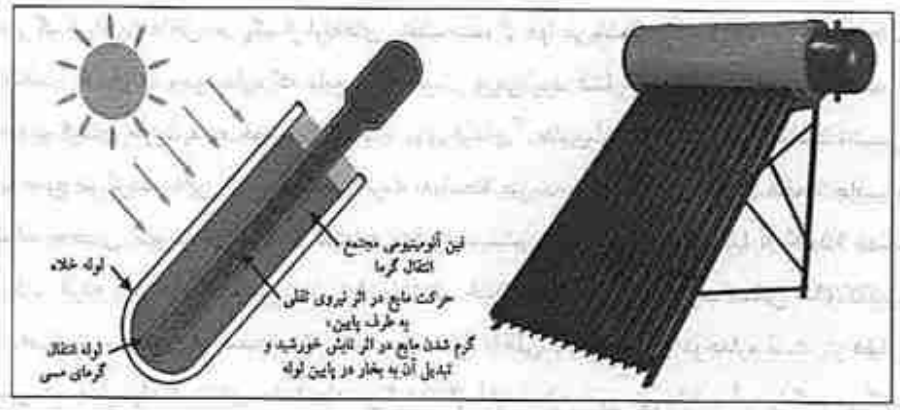
یک کلکتور لوله‌ای تخلیه‌شده (خلأدار)، شامل یک سری لوله است که هوای درون آنها تخلیه شده تا اتلاف گرما از طریق همرفت وجود نداشته باشد. این کلکتورها، انواع مختلفی دارند؛ اما دو نوع آن که از طول عمر بالایی در برابر شرایط متغیر هوای خارج برخوردار بوده‌اند، کلکتور هیت‌پایپ[2] (ر.ک. به صفحه ۲۷۹) و کلکتور تمام‌شیشه[3] می‌باشند. کلکتور هیت‌پایپ، دارای یک صفحهٔ جاذب

۱. emissivity
۲. heat pipe collector
۳. all-glass collector

به‌رنگ سیاه در داخل هر یک از لوله‌های[1] تخلیه‌شده از هوا می‌باشد. در داخل هر یک از صفحات جاذب، یک لوله[2] وجود دارد که مایع را به جریان درمی‌آورد. فشار این مایع در حدی است که با جذب گرمای خورشید به جوش می‌آید و بر روی لوله‌ای[3] حاوی آب که قرار است گرم شود، تبدیل به مایع می‌گردد. به‌این ترتیب، انتقال گرما، به‌واسطهٔ ضریب هدایت حرارت بالای صفحهٔ جاذب و لوله، به‌خوبی صورت می‌گیرد. با استفاده از این سیستم می‌توان به افزایش دما تا ۱۵۰K دست یافت. البته باید لوله‌ها به‌صورت شیبدار با شیب حداقل ۲۵° قرار داده شوند (شکل ۹۶) کلکتور تمام‌شیشه، دارای یک صفحهٔ جاذب بر روی سطح داخلی لولهٔ شیشه‌ای دوجداره است. در فضای بین دو جدار لوله شیشه‌ای خلأ ایجاد می‌گردد. گرما از شیشه عبور می‌نماید و آب را گرم می‌کند. آب گرم‌شده وارد منبع ذخیرهٔ استوانه‌ای شکل می‌شود. لازم به توضیح است که به منبع استوانه‌ای، لولهٔ شیشه‌ای که در فضای بین دو جدار آن خلأ ایجاد می‌گردد، متصل می‌شود (شکل ۹۷).

شکل ۹۶ کلکتور لوله‌ای تخلیه‌شده (خلأدار) ـ نوع هیت‌پایپ

۱. tube
۲. pipe
۳. pipe



شکل ۹۷ کلکتور لوله‌ای تخلیه‌شده (خلأدار) ـ نوع تمام‌شیشه

یک کلکتور سهموی، شامل یک سطح انعکاس‌دهندهٔ سهمی‌شکل است که اشعه‌های خورشید را بر روی یک لولهٔ جاذب خطی متمرکز می‌کند. در یک کلکتور ترکیبی سهموی، یک متمرکزکنندهٔ دیگر یا پوستهٔ شیشه‌ای احاطه‌کنندهٔ لولهٔ جاذب، ترکیب می‌شود. فاصلهٔ بین پوستهٔ شیشه‌ای و لولهٔ جاذب می‌تواند در صورت تمایل، از هوا تخلیه گردد [۱۰] علاوه بر انواع کلکتورهای خورشیدی که معرفی شد، می‌توان این کلکتورها را در دو دستهٔ حلقه‌باز[۱] (یا مستقیم[۲]) و حلقه‌بسته[۳] (یا غیرمستقیم[۴]) تقسیم‌بندی نمود.

در یک سیستم حلقه‌باز، آب شرب از یک مخزن آب گرم به داخل کلکتور جریان می‌یابد [۱۰]. در این سیستم، در صورت استفاده از آب‌های سخت، احتمال خوردگی عناصر سیستم وجود دارد. همچنین، در بسیاری از اقلیم‌ها نیاز به استفاده از روش‌های غیرشیمیایی برای جلوگیری از یخزدگی و خرابی‌های ناشی از آن می‌باشد. البته، این سیستم روش ارزان و ساده‌ای می‌باشد و در انتقال گرما اتلاف کمتری اتفاق می‌افتد [۸].

در یک سیستم حلقه‌بسته، یک سیال که حاوی ضدیخ می‌باشد (در آب و هواهای سرد)، بین کلکتور و یک مبدل حرارتی، که در داخل مخزن ذخیرهٔ آب گرم قرار داده می‌شود، به گردش

۱. open loop
۲. direct system
۳. closed loop
۴. indirect system

درمی‌آید. لازم به‌ذکر است، در این سیستم، این سیال با آب شرب مخلوط نمی‌شود [۱۰]. به‌علاوه، در این سیستم‌ها، هنگامی‌که تنظیم‌کننده احساس می‌کند که آب درون کلکتور، گرم‌تر از آب درون مخزن می‌باشد، پمپ فعال می‌شود و با غروب خورشید، هنگامی که آب درون کلکتور، خنک‌تر از آب درون مخزن می‌گردد، تنظیم‌کننده پمپ را خاموش می‌کند [۷]. لازم به‌ذکر است، معمولاً هزینهٔ اولیهٔ سیستم حلقه‌بسته نسبت به سیستم حلقه‌باز بالاتر می‌باشد. اما، احتمال خوردگی آن کمتر است و امکان بهره‌گیری از دماهای بالاتر در آن وجود دارد. به‌علاوه، در مواقعی که سیستم کار نمی‌کند، احتمال ته‌نشین شدن مواد جامد در آن کمتر می‌باشد [۸].

کلکتورهای خورشیدی را می‌توان به لحاظ نوع سیستم مورد استفاده برای چرخش (سیرکلاسیون) آب گرم، به انواع سیستم غیرفعال (ترموسیفونی[۱]) و سیستم فعال (پمپی) تقسیم نمود.

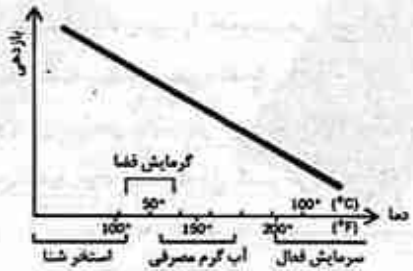
در یک سیستم غیرفعال یا ترموسیفون، مخزن آب گرم بالاتر از کلکتور خورشیدی قرار داده می‌شود. هنگامی که آب در کلکتور گرم می‌شود، به‌طور طبیعی بالا آمده و وارد مخزن ذخیره می‌شود. در عوض، آب سرد و سنگین از قسمت پایین کلکتور، وارد آن می‌شود [۱۰]. لازم به‌ذکر است، مخزن باید حداقل ۰/۵m بالاتر از کلکتور قرار گیرد. این سیستم، ساده و ارزان می‌باشد؛ اما در شرایط آب‌وهوایی نامناسب عملکرد آن مختل می‌شود و امکان کنترل آن در مواقعی که بیش از حد گرم می‌شود، بسیار محدود است [۸].

در سیستم‌های فعال (پمپی) برای جابجایی سیال بین کلکتور و مخزن ذخیره، از پمپ استفاده می‌شود. ازاین‌رو، مخزن ذخیره می‌تواند در هر جای مناسبی گذاشته شود و امکان کنترل آن در مواقعی که بیش از حد گرم می‌شود، وجود دارد؛ اما هزینه‌های آن بیشتر از سیستم ترموسیفون می‌باشد [۸].

تمامی کلکتورهای خورشیدی در کمترین دمای خود، بیشترین کارآیی را دارند. از آنجا که دمای آب استخر نسبتاً پایین می‌باشد، کارآیی کلکتورهای خورشیدی بسیار بالا خواهد بود [۷] (شکل ۹۸). در مناطقی که آب تا دمای ۳۵°C بیشتر از دمای هوا گرم می‌شود، اتلاف گرما از صفحهٔ جاذب بسیار زیاد است و باید شیشهٔ دوجداره برای کلکتور استفاده شود تا گرمای جذب شده در کلکتور حفظ شود. البته، در اینجا باید به این نکته اشاره کرد که در صورت کاربرد شیشه

۱. thermosyphon

دوجداره، همزمان با کاهش اتلاف حرارت از بدنه کلکتور، ضریب عبور کلی نیز تا حدود ۷۰ درصد کاهش می‌یابد [۸].



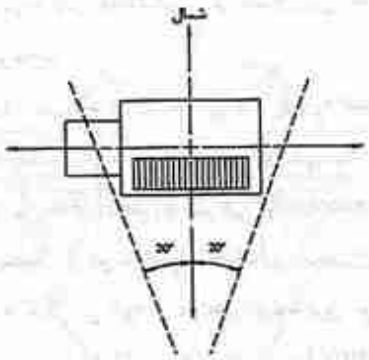
شکل ۹۸ کاهش بازدهی کلکتورهای خورشیدی صفحه‌تخت با افزایش دمای موردنیاز

هر چه میدل حرارتی برای انتقال گرما بین کلکتور و مخزن ذخیره بهتر باشد و مخزن ذخیرهٔ بزرگ‌تری برای سطح معینی از کلکتور استفاده شود، گرمای بیشتری می‌تواند به‌کمک سطح معینی از کلکتور جمع‌آوری شود.

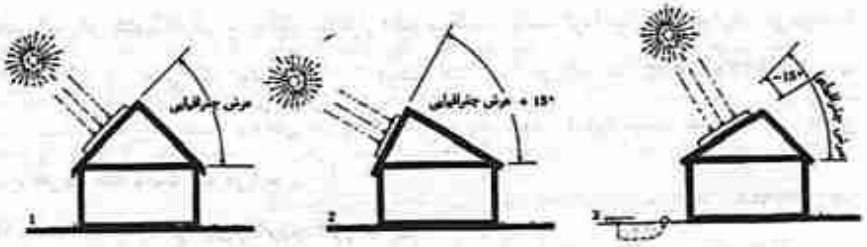
انتقال گرما در صورتی به‌خوبی می‌تواند صورت بگیرد که یک هیت‌پایپ به‌عنوان بخشی از کلکتور خورشیدی در نظر گرفته شود. کلکتور خورشیدی به‌عنوان اواپراتور، که در آن مبرد به جوش می‌آید، عمل می‌کند. بخار این مبرد، به‌سمت یک کندانسور جریان می‌یابد. این کندانسور، در داخل بخش پایینی مخزن ذخیره قرار داده می‌شود. میعان و آزاد کردن گرما در کندانسور اتفاق می‌افتد. به این ترتیب، به‌جای این‌که مانند سیستم‌های معمول گرما به شکل کاملاً محسوس انتقال یابد بخش اعظم گرما به مخزن ذخیره به شکل گرمای نهان منتقل می‌شود. به این ترتیب، بازدهی کلکتور افزایش محسوسی می‌یابد (تا ۶۰ درصد در مورد یک کلکتور صفحه‌ای تخت). این سیستم، حتی می‌تواند در حالت اختلاف دمای پایین بین کلکتور و مخزن، عملکرد مناسبی داشته باشد [۱۰].

لازم به‌ذکر است، برای برخورداری از بیشترین بازدهی بهتر است کلکتورهای خورشیدی را به‌سمت جنوب حقیقی قرار داد. البته، تغییر جهت تا ۲۰ درجه به‌سمت شرق یا غرب نیز قابل پذیرش می‌باشد (شکل ۹۹). زاویهٔ شیب بهینه برای کلکتور نیز تابعی از عرض جغرافیایی و کاربری در نظر گرفته شده برای کلکتورهای خورشیدی می‌باشد. در شکل ۱۰۰ زاویهٔ شیب برای کاربردهای گرمایشی مختلف به‌صورت تابعی از عرض جغرافیایی نمایش داده شده است. کلکتور

خورشیدی هنگامی‌که عمود بر پرتوهای خورشید قرار گیرد، از بیشترین کارآیی برخوردار خواهد بود [۷].



شکل ۹۹ زاویهٔ جهت‌گیری کلکتور خورشیدی



شکل ۱۰۰ زاویهٔ شیب کلکتور خورشیدی (۱) زاویهٔ شیب کلکتور برای آب گرم مصرفی؛
(۲) زاویهٔ شیب کلکتور برای گرمایش فضا و ترکیب گرمایش فضا و آب گرم مصرفی؛
(۳) زاویهٔ شیب کلکتور برای گرمایش آب استخر

انتخاب اندازهٔ کلکتور، بر حسب عرض جغرافیایی، سیستم گرمایش درنظر گرفته‌شده و متراژ ساختمان صورت می‌گیرد [۸].

پ۱۳-۲-۲-۱۳ سیستم ترکیبی فتوولتائیک و کلکتور خورشیدی

پانل‌های فتوولتائیک می‌توانند با یک سیستم هوایی خورشیدی ترکیب شوند. پانل‌های فتوولتائیک، بیشتر از آن‌که برق تولید کنند، گرما تولید می‌کنند. ازاین‌رو، استفاده از این گرمای تولیدشده از مطلوبیت خاصی برخوردار است.

در مطالعه‌ای که در مورد ترکیب پانل‌های فتوولتائیک و نماهای دوپوستهٔ تهویه‌شونده صورت گرفته، دو حالت مورد توجه قرار گرفته است. در یک حالت، پانل فتوولتائیک نمای خارجی را تشکیل می‌دهد و در حالت دوم، پانل فتوولتائیک در فضای بین نمای داخلی و خارجی (نمای خارجی شیشه‌ای) قرار داده می‌شود.

هوای خارج از پایین نما وارد می‌شود و این هوا می‌تواند یا وارد فضای داخل ساختمان شود (در نتیجه نمای تهویه‌شونده موجب پیش‌گرمایش هوای ورودی می‌شود) یا به خارج تخلیه شود (در نتیجه گرمایی را که در فضای بین نمای داخلی و خارجی انباشته شده است، به خارج می‌راند).

در حالت دوم، پانل فتوولتائیک از هر دو طرف خنک می‌شود، ازاین‌رو گرمای بیشتری حاصل می‌گردد و پانل فتوولتائیک خنک‌تر می‌شود و بازدهی تولید برق آن افزایش می‌یابد، اما شیشهٔ بیرونی موجب کاهش تولید برق می‌شود. اگر سرعت جریان هوا ۱m/s و لایهٔ بین دو نما به عرض ۰/۱m باشد، در صورت استفاده از یک پانل فتوولتائیک به ارتفاع ۱/۵m در خارج و در قسمت پایینی نما، تولید سالانهٔ گرما و برق به‌ترتیب ۳۳۱kWh و ۱۵۵kWh در هر متر پهنا خواهد بود. هنگامی‌که، پانل فتوولتائیک در داخل نما قرار داده می‌شود، تولید گرما بیشتر از دو برابر می‌شود، تا ۶۹۲kWh/m، در حالی که تولید برق ۳۰ درصد افت پیدا می‌کند (تا ۱۲۲kWh/m). لازم به توضیح است در صورت نصب پره‌های هادی ۱/۵ m به پشت پانل فتوولتائیک، تقریباً به یک میزان گرما از هر دو حالت به‌دست می‌آید [۱۰].

پ۱۳-۲-۳-۱۴ پمپ گرمایی با انرژی خورشیدی

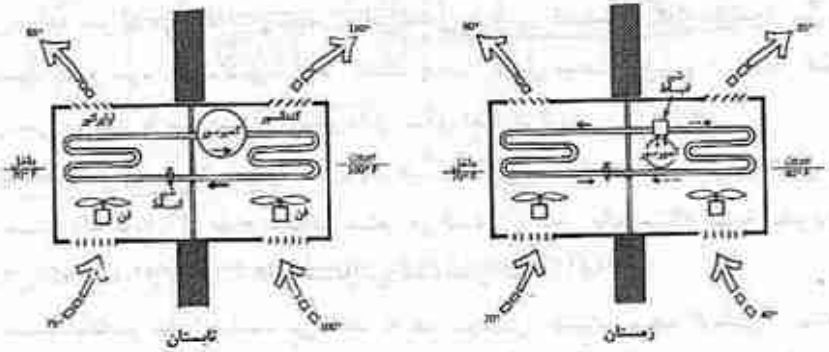
در پمپ‌های گرمایی [۱] از انرژی الکتریکی یا انرژی بر گرفته از سوخت‌های فسیلی برای جابجا کردن گرما از داخل به خارج (در اوقات گرم سال) یا برعکس (در اوقات سرد سال) استفاده می‌شود.

دو نوع اصلی پمپ گرمایی، بر مبنای این‌که از چرخهٔ تراکمی یا جذبی استفاده شود، وجود دارد. یک پمپ گرمایی تراکمی می‌تواند با نیروی برق یا مکانیکی کار کند. یک پمپ گرمایی جذبی به‌جای انرژی الکتریکی یا مکانیکی به یک منبع تولید گرما نیاز دارد.

چیلرهای جذبی (که فقط برای سرمایش استفاده می‌شوند) خیلی بیشتر از پمپ‌های گرمایی جذبی (که هم برای سرمایش و هم برای گرمایش استفاده می‌شوند) معمول می‌باشند. پمپ‌های

۱. heat pump

گرمایی تراکمی برقی به‌میزان فراوان در دسترس می‌باشند و چندین دهه است که به‌صورت انبوه در بازار عرضه می‌شوند.



شکل ۱۰۱ عملکرد پمپ گرمایی در تابستان و زمستان

چرخهٔ تبرید تراکمی به دو خصوصیت فیزیکی ماده بستگی دارد: (۱) مقدار زیادی گرمای تبخیر برای تبدیل مایع به گاز موردنیاز می‌باشد. البته، این گاز بار دیگر زمانی که گاز متراکم و تبدیل به مایع می‌گردد، آزاد می‌شود؛ (۲) دمای جوش/ میعان هر ماده تابعی از فشار می‌باشد و زمانی که فشار کاهش می‌یابد، نقطهٔ جوش نیز کاهش می‌یابد [۷].

در خارج ساختمان، مبرد باید تا دمایی پایین‌تر از دمای هوای خارج خنک شود تا بتواند گرما را از هوای خارج جذب نماید. این جذب، در یک مبدل حرارتی (کویل) صورت می‌گیرد که مبرد در آن جریان می‌یابد و هوای خارج از روی این کویل عبور داده می‌شود. با جذب گرما توسط مبرد، مبرد به‌جای این‌که دمایش بالا برود، تبخیر می‌شود. در نتیجه، به این مبدل حرارتی، اواپراتور [۱] گفته می‌شود. پس از اواپراتور، مبرد از یک کمپرسور گذشته و کمپرسور، فشار مبرد را افزایش داده و با افزایش فشار آن، دمای آن به میزانی بیشتر از دمای هوای داخل بالا برده می‌شود. در نتیجه، گرما به جریان هوای داخل منتقل شده و مبرد خنک می‌شود.

۱. evaporator

در داخل ساختمان باید مبرد تا دمایی بالاتر از دمای سیال واسطی که گرما به آن منتقل می‌شود (هوا یا آب)، گرم شود (از طریق متراکم نمودن آن توسط کمپرسور). در نتیجه این سیال می‌تواند گرما را به فضای داخل انتقال دهد. با آزاد شدن گرما از مبرد، مبرد به‌جای این‌که دمایش پایین بیاید، متراکم می‌شود. در نتیجه، به این مبدل حرارتی، کندانسور[1] گفته می‌شود. پس از کندانسور، مایع مبرد از یک شیر انبساط گذشته و فشار پایین، موجب تبخیر و در نتیجه خنک شدن مبرد می‌شود. با عبور مبرد از اواپراتور، این سیکل تکرار می‌شود.

با معکوس نمودن جهت جریان سیال، یک هیت‌پمپ می‌تواند یا به‌عنوان یک واحد گرمایشی در زمستان (که گرما را از خارج به داخل منتقل می‌کند) یا به‌عنوان یک دستگاه تهویهٔ مطبوع در تابستان (که گرما را از داخل به خارج منتقل می‌کند) عمل کند [۱۰].

هیت‌پمپ‌ها در جایی مناسب می‌باشند که هم سرمایش تابستانی و هم گرمایش زمستانی موردنیاز می‌باشد. از آنجا که بازدهی هیت‌پمپ‌ها برحسب دمای خارج افت می‌کند، استفاده از آنها در اقلیم‌های بسیار سرد مناسب نمی‌باشد.

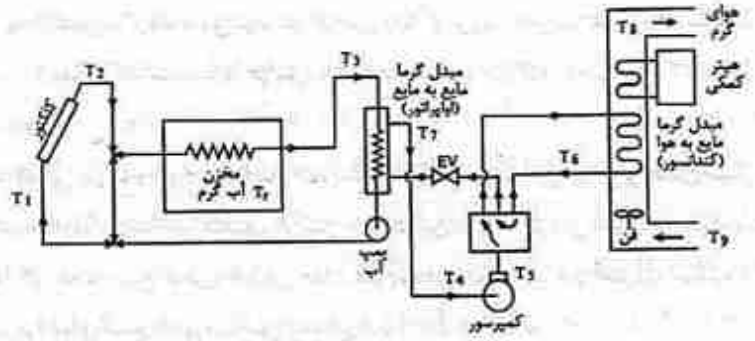
لازم به‌ذکر است، با اتصال هیت‌پمپ به آب زیرزمینی به‌جای هوای خارجی می‌توان به بازدهی بسیار بهتری دست یافت. چراکه زمین در زمستان بسیار گرم‌تر و در تابستان بسیار خنک‌تر می‌باشد [۷].

بهره‌گیری از انرژی خورشیدی: هیت‌پمپ‌های خورشیدی، برای گرمایش فضا و برای تولید آب گرم مصرفی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

برای استفاده از انرژی خورشیدی در هیت‌پمپ‌ها جهت گرمایش فضا، دو رویکرد اصلی وجود دارد. در رویکرد اول، پانل‌های خورشیدی به‌عنوان اواپراتور برای هیت‌پمپ‌های تراکمی عمل می‌کنند. این سیستم، تحت عنوان «هیت‌پمپ خورشیدی انبساط مستقیم»[2] نامیده می‌شود. در رویکرد دوم، آب در کلکتور به گردش در آمده، گرم شده و از یک منبع ذخیرهٔ آب گرم عبور می‌کند. مقداری از گرما به این منبع داده می‌شود و سپس از اواپراتور هیت‌پمپ می‌گذرد. هنگامی که دمای کلکتور کمتر از حد معینی است، آب بین منبع ذخیرهٔ آب گرم و اواپراتور چرخش می‌کند (شکل ۱۰۲).

۱. condenser

۲. direct expansion solar-assisted heat pump



شکل ۱۰۲ استفاده از انرژی خورشیدی در هیت‌پمپ

یکی از مزایای رویکرد اول این است که یک دستگاه واحد به‌عنوان هم کلکتور و هم اواپراتور عمل می‌کند و به مبدل حرارتی برای انتقال گرما بین سیال جریان‌یافته در کلکتور و سیال هیت‌پمپ نیاز نمی‌باشد. یکی از مزایای رویکرد دوم این است که انرژی خورشید می‌تواند ذخیره گردد تا بعداً مورد استفاده قرار گیرد. در حالی که در مورد هیت‌پمپ‌هایی که از رویکرد انبساط مستقیم استفاده می‌کنند، در مواقعی که تابش خورشید وجود ندارد، به یک هیت‌پمپ عادی تبدیل می‌شوند.

در هر دو رویکرد، ترکیب هیت‌پمپ و کلکتورهای خورشیدی باعث افزایش بازدهی هم کلکتور و هم هیت‌پمپ می‌شود. بازدهی کلکتور افزایش می‌یابد، چراکه آبی که در کلکتور جریان می‌یابد، نسبت به حالتی که گرمای خود را به هیت‌پمپ نمی‌دهد، خنک‌تر می‌باشد. در نتیجه، اتلاف گرما از طریق تابش و همرفت کاهش می‌یابد. بازدهی هیت‌پمپ افزایش می‌یابد، چراکه در میزان «تفاوت دما بین اواپراتور و کندانسور»[1] کاهش صورت می‌گیرد.

برای استفاده از انرژی خورشیدی در هیت‌پمپ‌ها جهت تولید آب گرم مصرفی، از کلکتور خورشیدی به‌عنوان اواپراتور استفاده می‌شود. در حالی که کندانسور به‌طور مستقیم در منبع ذخیرهٔ آب گرم قرار داده می‌شود.

سرعت کمپرسور هر چه که باشد، بازدهی کلکتور با گذشت زمان از هنگام طلوع خورشید کاهش می‌یابد. این مسئله، به‌خاطر افزایش دمای آب ذخیره‌شده می‌باشد، که موجب می‌شود دمای

۱. temperature lift

آبی که به کلکتور بازگردانده می‌شود نیز افزایش یابد. ازاین‌رو، «ضریب عملکرد»[1] سیستم کاهش می‌یابد، زیرا دمای کندانسور باید افزایش یابد تا به گرمای آب گرم ذخیره‌شده که دمای آن بالا می‌رود، بیفزاید.

یک کلکتور بزرگ‌تر موجب افزایش «ضریب عملکرد» سیستم می‌شود، زیرا دمای سیال موجود در کلکتور با افزایش مساحت کلکتور، افزایش می‌یابد. این تأثیر با افزایش تابش خورشید، بیشتر هم می‌شود. اگر حجم منبع ذخیره افزایش یابد، هم بازدهی کلکتور و هم «ضریب عملکرد» افزایش می‌یابد، زیرا دمای منبع ذخیره کاهش پیدا می‌کند [۱۰].

پ۱۳-۲-۲-۱۵ چیلر جذبی با انرژی خورشیدی

انرژی حرارتی خورشید را می‌توان به‌طور مستقیم برای سرمایش و رطوبت‌زدایی مورد استفاده قرار داد. چیلرهای جذبی[2]، به‌عنوان یکی از تکنولوژی‌هایی مطرح است که برای تولید سرمایش بسیار مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد [۱۰].

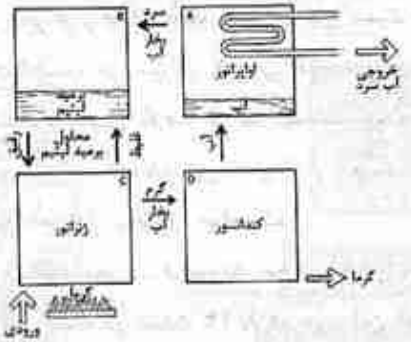
چرخهٔ تبرید جذبی به همان دو خصوصیت فیزیکی ماده که در چرخهٔ تراکمی به آنها اشاره شد، همراه با یک ویژگی سوم بستگی دارد: (۳) برخی از مایعات تمایل شدیدی به جذب بخارهای خاص دارند (مثلاً بخار آب توسط برمید لیتیم مایع و یا آمونیا جذب می‌شود) [۷].

چیلرهای جذبی، شامل یک مبرد[3] و یک جاذب[4] می‌باشند، که یا ترکیب آب و آمونیاک (آمونیاک به‌عنوان مبرد و آب به‌عنوان جاذب) است یا ترکیب برمید لیتیم و آب (آب به‌عنوان مبرد و برمید لیتیم به‌عنوان جاذب) است. لازم به‌ذکر است، بیشتر از ترکیب برمید لیتیم و آب استفاده می‌شود، زیرا دمای کارکرد این محلول پایین‌تر است و به‌همین خاطر می‌توان از انرژی خورشیدی، با استفاده از سیستم‌هایی نظیر کلکتورهای خورشیدی صفحه‌ای تخت، استفاده نمود. در حالی که برای محلول آب و آمونیاک باید از کلکتورهای لوله‌ای تخلیه‌شده (خلأدار) که هزینهٔ بیشتری می‌برند، استفاده نمود [۱۰].

ماشین‌های تبرید جذبی از چهار اتاقک متصل به هم تشکیل شده است. در اتاقک A آب تبخیر می‌گردد و در این فرایند، گرما را از کویل آب سرد (خروجی) می‌گیرد. بخار آب به اتاقک B وارد

۱. Coefficient of Performance (COP)
۲. absorption chillers
۳. refrigerant
۴. absorbent

می‌شود و در آنجا توسط برمید لیتیم جذب می‌گردد. جذب مبرد توسط جاذب، موجب کاهش فشار بخار مبرد باقی‌مانده می‌شود. در نتیجه، مبرد بیشتری در اواپراتور تبخیر می‌شود. در نهایت برمید لیتیم آنقدر رقیق می‌گردد که دیگر آب را جذب نمی‌کند. در اتاقک C (ژنراتور)، محلول مبرد و جاذب نیاز به گرما دارد تا مبرد جدا شود و جاذب احیاء گردد. ازاین‌رو، یک منبع خارجی گرما آب را به‌جوش آورده و از برمید لیتیم جدا می‌کند. برمید لیتیم خالص به اتاقک B بازمی‌گردد، در حالی که بخار آب در اتاقک D متراکم و تبدیل به آب می‌گردد. آخرین مرحله، بازگرداندن آب مایع به اتاقک A می‌باشد، به‌طوری‌که این چرخه می‌تواند بار دیگر ادامه یابد. به‌طور کلی، در جاذب، گرما آزاد می‌شود ولی در اواپراتور، گرما دریافت می‌شود و در نتیجه سرمایش اتفاق می‌افتد [۱۰] (شکل ۱۰۳).



شکل ۱۰۳ چرخهٔ تبرید جذبی

پ۱۳-۳ تولید انرژی با استفاده از دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر

پ۱۳-۳-۱ توربین بادی

توربین‌های بادی انواع مختلفی دارند. توربین‌هایی که برای ساختمان‌ها کاربرد دارند انرژی سینتیک باد را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. دو نوع طرح توربین بادی برای ساختمان توربین‌های پره‌دار با محور افقی و عمودی هستند. توربین‌های با محور عمودی دارای ساختاری ساده‌تر ولی با بازدهی کم، و توربین‌های با محور افقی دارای پیچیدگی‌هایی در ساخت هستند، ولی بازده‌هایی به مراتب بالاتر از بازده توربین‌های محور عمودی دارند.

کاربرد توربین‌های بادی در محیط‌های متراکم شهری به‌هیچ وجه توجیه فنی و اقتصادی ندارد، و صرفاً برای مناطق باز دارای بادهای مداوم توصیه می‌شود.

پ۱۳-۴ سیستم نوین تهویه

همان‌گونه که در مبحث ۱۴ مقررات ملّی ساختمان مشخص گردیده‌است، برای تأمین شرایط بهداشت و آسایش ساکنین و بهره‌برداران، لازم است حداقل میزان تهویه و تعویض هوا، در فضاهای مختلف ساختمان، متناسب با حجم فضا، تعداد افراد حاضر، نوع فعالیت و میزان تولید گازهای آلاینده در نظر گرفته شود.

در ضمن، با توجه به این نکته که در ساخت و سازهای جدید، با استفاده از پنجره‌های نوین با درزبندی مناسب، هوابندی پنجره‌ها و فضاها به‌طور قابل توجهی نسبت به پنجره‌های فولادی یا آلومینیومی ساده بهبود یافته است، در صورتی که دبی لازم تعویض هوا، با در نظر گرفتن دریچه‌های ورود و خروج متناسب تأمین نگردد، شرایط بهداشت، سلامتی و آسایش ساکنین و بهره‌برداران با خطرهای جدی روبرو خواهد شد. این خطرها، در صورت وجود سیستم‌های گرمایی با تأمین آب‌گرم مصرفی از نوع احتراقی دوچندان خواهد شد.

در نتیجه، لازم است در فضاهای مختلف، دریچه‌های مخصوص ورود هوا در نظر گرفته شود که قادر به تأمین دبی حداقل تعیین‌شده در مبحث ۱۴ باشد، بدون این که میزان دبی بیش از ۲۰ درصد از مقادیر تعیین‌شده فراتر رود. به همین علت، در صورتی که از سیستم‌های تهویه غیر مرکزی استفاده شود، لازم است فن‌های خروج هوا و دریچه‌های ورود هوا با دبی مناسب در نظر گرفته شود.

پ۱۳-۴-۱ فن خروج هوا با حسگر رطوبت نسبی هوا

در مواقعی که در فضاهایی از ساختمان، ساکنین یا بهره‌برداران حضور ندارند و میزان آلاینده‌های هوا کاهش می‌یابد، کاربرد فن‌های خروج هوا که دارای حسگر رطوبت نسبی هوا است می‌تواند امکان کاهش مقطعی دبی هوا را فراهم سازد. در ساختمان‌هایی که فاقد سیستم تهویه مرکزی هستند، و استفاده از سیستم‌های مبدل حرارتی برای بازیافت انرژی از هوای خروجی غیرعملی

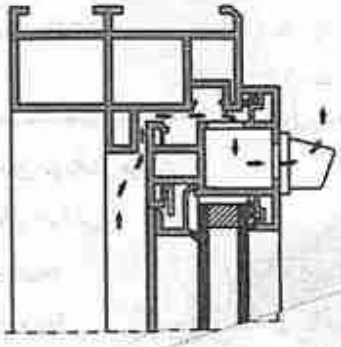
است، استفاده از این نوع فن‌ها کاهش سهم مصرف انرژی مربوط به تهویه و تعویض هوا و همچنین افزایش طول عمر فن‌های خروج هوا را به دنبال دارد.

پ۱۳-۴-۲ دریچه ورود هوا با حسگر رطوبت نسبی هوا

همانند فن‌های خروج هوا، دریچه‌های ورود هوا را نیز می‌توان مجهز به حسگر رطوبت نسبی هوا نمود. این امر باعث می‌شود که دبی هوای ورودی، در زمان‌هایی که ساکنان و بهره‌برداران در ساختمان حضور دارند یا از تجهیزات آلاینده هوا (نظیر تجهیزات آشپزی، پکیج، بخاری و آب‌گرم‌کن نفتی یا گازی، ...) استفاده می‌شود، افزایش یابد، و در اوقات دیگر روز، دبی حداقل لازم تأمین گردد.

دریچه‌های ورود هوا یا در داخل دیوارهای خارجی ساختمان نصب می‌شوند، یا به‌صورت پروفیل‌های خاص، در پنجره‌های نوین تعبیه می‌شوند.

شکل ۱۰۴ انواع دریچه ورود هوای قابل نصب در دیوار



شکل ۱۰۵ مقطع عمودی پنجره دارای دریچه ورود هوا در پروفیل لنگه بازشو

پ۱۳-۵ سیستم‌های بازیافت انرژی

از جمله کاربردهایی که برای سیستم‌های بازیافت حرارت وجود دارد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- گرمایش فضاهای بسته
- تولید آب‌گرم
- گرمایش فرآیند
- تولید بخار

- پیش‌گرم‌کردن هوای احتراق
- پیش‌گرم‌کردن آب تغذیه بویلر
- سرمایش فرآیند (با استفاده از سیستم‌های جذبی)

برای بازیافت حرارت، سیستم‌های متنوعی با کاربردهای مختلف وجود دارد. انتخاب سیستم مناسب در هر فرآیند با در نظر گرفتن عوامل متعددی صورت می‌گیرد، که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- دما و فشار حداکثر سیستم
- نوع و ویژگی‌های سیال
- محدودیت‌های ابعادی
- بازده مورد انتظار
- سقف سرمایه‌گذاری

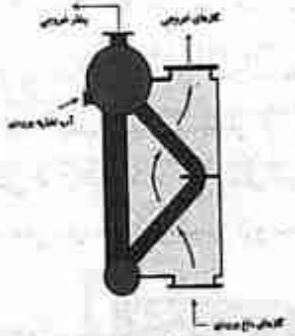
برخی سیستم‌های بازیافت حرارت متداول عبارتند از:

- بویلرهای بازیافت حرارت
- لوله‌های حرارتی
- رکوپراتورها
- اکونومایزرها
- سیستم‌های بازیافت متناوب حرارت

پ۱۳-۵-۱ بویلر بازیافت حرارت

در این بویلرها، گازهای داغ حاصل از احتراق پیش از این که وارد دودکش شوند، از میان تعداد زیادی لوله موازی دارای جریان آب می‌گذرد. در نتیجه این تبادل حرارت، آب تبخیر می‌گردد و درون مخزن بخار جمع آوری می‌شود. پس از آن، بخار تولید شده در فرآیند توزیع می‌گردد.

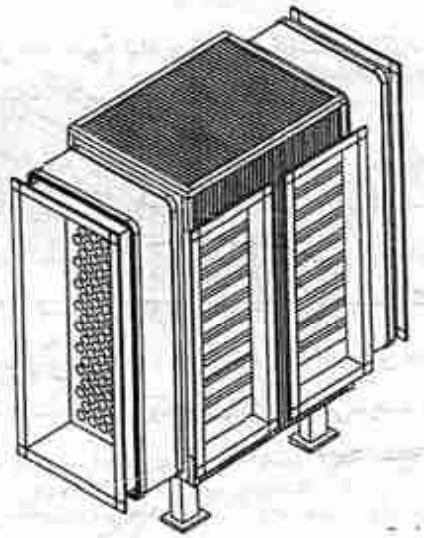
این بویلرها در اندازه‌ها و با ظرفیت متفاوت با توجه به حجم محصولات احتراق ساخته می‌شوند، و در مقایسه با بویلرهای متداول، نه تنها هزینه مصرف سوخت ندارند، بلکه هزینه ساخت آن‌ها نیز کمتر است. نقطه‌ضعف اصلی این بویلرها، حجم نسبتاً بزرگ آن‌ها می‌باشد.



شکل ۱۰۶ شماتیک یک بویلر بازیافت حرارت

پ۱۳-۵-۲ سیستم بازیافت گرمایی برای پیش گرمایش هوای احتراق

با توجه به این نکته که افزایش دمای هوای ورودی به مشعل بازده دیگ را به‌طور محسوسی افزایش می‌دهد، تجهیزاتی مانند مبدل‌های حرارتی گاز به گاز، چرخ گرمایی و یا مبدل‌های هیت پایپی[۱] برای بازیافت گرما و پیش‌گرم‌کردن هوای احتراق در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۰۷ نمونه‌ای از مبدل بازیافت حرارت

۱. Heat pipe heatexchangers

پ۱۳-۵-۳ لوله حرارتی

لوله‌های حرارتی[1] نوعی مبدل حرارتی هستند که در آن حرارت جذب شده از گازهای داغ خروجی، که از یک طرف لوله می‌گذرد، باعث تبخیر سیال و جریان آن به سوی طرف دیگر می‌شود. در طرف دیگر لوله، حرارت نهان ناشی از تبخیر به جریان سیال سرد منتقل می‌شود. در نتیجه، گاز داغ چگالش می‌یابد، و به‌صورت ثقلی، در جهت معکوس (رو به پایین)، به سوی طرف گرم لوله حرکت می‌کند.

این نوع مبدل‌ها راندمان بالا و اندازه مناسب، ولی قیمت بالایی دارند.

شکل ۱۰۸ نمونه لوله حرارتی و مکانیسم عملکرد آن

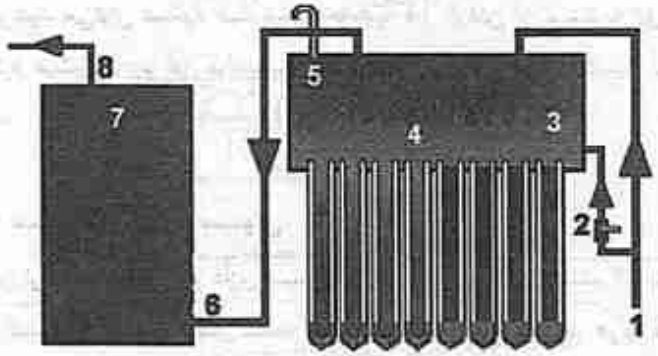
پ۱۳-۵-۴ مبدل لوله حرارتی

هوای گرم که از انتهای تبخیرکننده (هیت‌پایپ) می‌گذرد باعث تبخیر سیال عامل می‌شود. اختلاف فشار بخار باعث به‌حرکت در آمدن بخارات به سمت انتهای دیگر لوله که هوای سرد در اطراف آن جریان دارد می‌شود. در این قسمت، بخارات تقطیر شده و گرمای نهان خود را با هوای عبوری تبادل می‌کند. قطرات به‌دست آمده دوباره و به کمک نیروی مویینگی ایجاد شده توسط لایه نمدی (فیتیله‌ای)[2] به سمت دیگر هیت‌پایپ می‌روند و سیکل کامل می‌شود. با توجه به سیکل بسته بودن این سیستم، تا زمانی که اختلاف دما وجود داشته باشد، انتقال حرارت به این شیوه هم ادامه می‌یابد. انتقال حرارت این مکانیزیم می‌تواند تا ۱۰۰۰ برابر بهتر از یک میله مسی باشد.

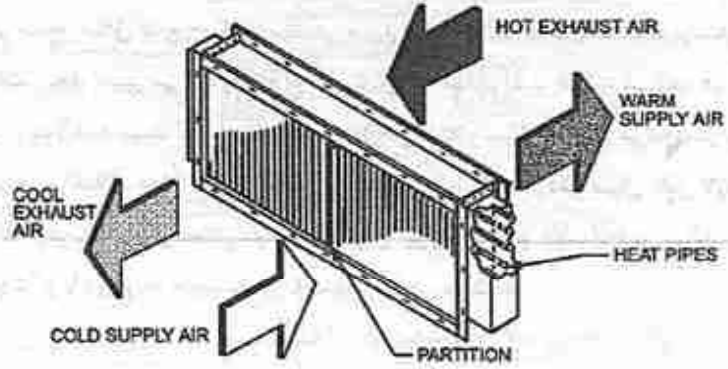
۱. Heat pipe Heat Exchangers

۲. wick

ظرفیت انتقال حرارت در هیت‌پایپ‌ها بسته به قطر لوله، سیال عامل و زاویه لوله نسبت به افق تغییر می‌کند. در مصارف خانگی (HVAC) لوله هیت‌پایپ از جنس مس یا آلومینیوم انتخاب می‌شود و فین روی لوله‌ها عموماً آلومینیومی است. در مصارف با دمای بالا، سعی بر استفاده از فین و لوله هم‌جنس می‌شود. در ضمن، طراحی بهینه آن تأثیر به‌سزایی در افت فشار خواهد داشت.



شکل ۱۰۹ عملکرد یک هیت‌پایپ



شکل ۱۱۰ مبدل مونتاژ شده هیت‌پایپ

انتخاب سیال عامل مناسب برای یک هیت‌پایپ در طولانی مدت بسیار مهم است. سیال عامل باید گرمای نهان تبخیر بالایی داشته باشد. کشش سطحی بالا و لزجت پایین در شرایط کارکرد از

اهمیت زیادی برخوردار است. در دماهای کم تا زیاد، به ترتیب موادی چون هلیم، آب، فلزات مذاب (مانند سدیم یا جیوه) قابل استفاده می‌باشند.

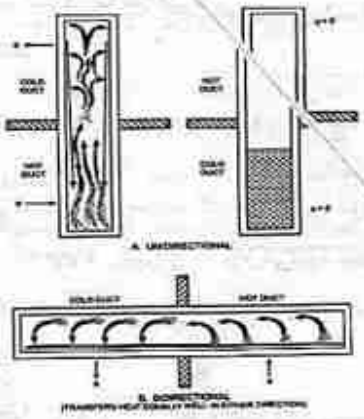
کارایی هیت‌پایپ بستگی زیادی به طول آن ندارد، مگر در طول‌های خیلی کوتاه. طراحی فین‌های روی لوله و فاصله بین آنها باید بر طبق مشخصات جریان هوا از جمله کثیفی و ناخالصی موجود در آن باشد. در طراحی تأسیساتی (HVAC) عموماً این فاصله بین ۱/۸ تا ۲/۳ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. می‌توان عملکرد هیت‌پایپ را با زاویه قرار گرفتن آن نسبت به افق کنترل کرد. اگر انتهای گرم هیت‌پایپ زیر افق قرار بگیرد عملکرد بالا می‌رود و در صورت نیاز می‌توان آن را معکوس نمود.

پ۱۳-۵-۵ مبدل حرارتی ترموسیفونی

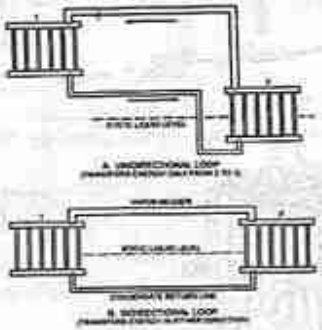
مبدل‌های حرارتی ترموسیفونی[1] دو فازی سیستم‌های درزبندی شده‌ای هستند که متشکل از یک قسمت تبخیرکننده، یک قسمت تقطیرکننده، لوله واسط و یک سیال عامل در هر دو فاز مایع و گاز می‌باشند. این سیستم‌ها شامل دو نوع لوله‌ای[2] و سیستم کویلی[3] می‌باشند، که اولی بسیار شبیه هیت‌پایپ، و دومی بسیار شبیه به سیکل بازیافت انرژی کویلی عمل می‌کند.

با توجه به این نکته که دو فاز مایع و گاز در سیستم موجود می‌باشند، فشار بخار تابع دمای مایع در سطح تبادل مایع – گاز است. در صورتی که دما در نقاط مختلف ترموسیفون متفاوت باشد، فشار بخار تغییر می‌کند و بخار از سمت گرم به سمت سرد حرکت می‌کند، در آنجا تقطیر می‌شود و دوباره به سمت گرم به صورت مایع باز می‌گردد و سیکل تکمیل می‌شود. در سیستم‌های ترموسیفونی، اختلاف دما و نیروی گرانش برای تکمیل سیکل و گردش سیال عامل لازم و ضروری است. لذا ترموسیفون‌های ممکن به صورت انتقال حرارت، در دو جهت به‌طور مساوی[4] یا تنها در یک جهت[5] و یا در هر دو جهت به‌طور نامساوی طراحی می‌شوند.

۱. Thermosiphon heat exchangers
۲. Sealed tube thermosiphon
۳. Coil-type thermosiphon
٤. bidirectional
٥. unidirectional



شکل ۱۱۱ مبدل حرارتی ترموسیفونی در حالت لوله‌ای



شکل ۱۱۲ مبدل حرارتی ترموسیفونی در حالت سیکلی

علی‌رغم شباهت زیاد به هیت‌پایپ‌ها، ترموسیفون‌ها دو اختلاف عمده با هیت‌پایپ‌ها دارند:

- ترموسیفون‌ها دارای لایه نمدی (فیتیله‌ای) نیستند و بازگشت قطرات تنها از طریق نیروی گرانش صورت می‌پذیرد، در صورتی‌که در هیت‌پایپ‌ها نیروی مویینگی مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- در ترموسیفون‌ها، تبخیر (لااقل در شرایط اولیه) بر اساس مکانیسم جوشش هسته‌ای صورت می‌پذیرد، در حالی‌که در هیت‌پایپ تبخیر از طریق سطح وسیع و تماس همیشگی مایع – گاز انجام می‌پذیرد، که این پدیده لزوم اختلاف دمای زیاد در ترموسیفون را روشن می‌کند.

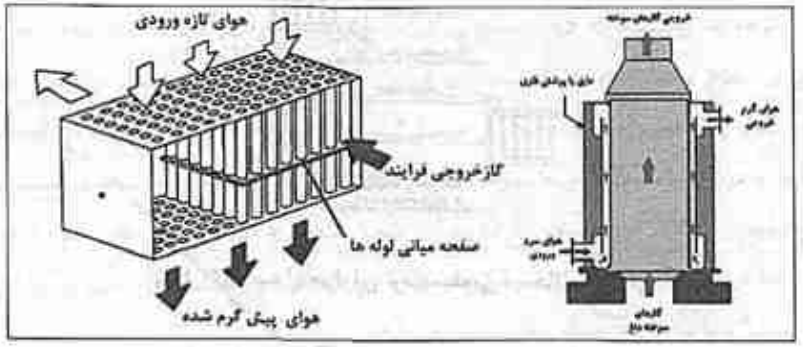
ترموسیفون‌ها نیازی به پمپ ندارند، اما طراحی باید گونه‌ای باشد که مایع همیشه در قسمت تبخیرکننده وجود داشته باشد.

پ۱۳-۵-۶ رکوپراتور

رکوپراتورها مبدل‌های حرارتی هستند که حرارت گازهای داغ حاصل از احتراق را به جریان هوای سرد منتقل می‌کنند. هوایی که توسط رکوپراتورها گرم می‌شود معمولاً به‌عنوان هوای مورد نیاز برای احتراق یا برای گرمایش محیط‌های بسته استفاده می‌شود. رکوپراتورها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

رکوپراتور تابشی (تشعشعی)

رکوپراتورهای تابشی از دو استوانه هم مرکز تشکیل می‌شوند، که در آن گازهای سوخته در استوانه داخلی و هوای سرد در استوانه بیرونی جریان می‌یابند. بدین ترتیب، گازهای سوخته از طریق دیواره استوانه داخلی به هوای سرد انتقال می‌یابد و باعث افزایش دمای آن می‌شود. بازده این رکوپراتورها در حدود ۳۰٪ می‌باشد.



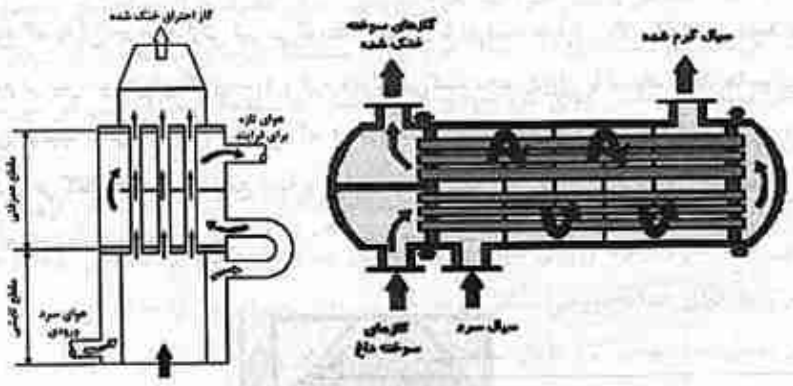
شکل ۱۱۳ شماتیک یک نوع رکوپراتور تابشی

رکوپراتورهای جابه‌جایی

در رکوپراتورهای جابجایی، گازهای سوخته و داغ از میان تعداد زیادی لوله با قطر کوچک قرار گرفته در درون یک پوسته بزرگ می‌گذرند. هوای سرد نیز درون پوسته و بر روی لوله‌ها جریان

می‌یابد. به‌این‌ترتیب، مقدار بیشتری از حرارت گازهای سوخته بازیابی می‌شود. بازده این رکوپراتورها بین ۵۰ تا ۶۰ درصد است.

رکوپراتورهای جابجایی نسبت به رکوپراتورهای تابشی قیمت بالاتری دارند، لیکن راندمان آن‌ها بالاتر و اندازه آن‌ها نیز کوچک‌تر است. در بعضی از انواع رکوپراتورها نیز از فرایند تابشی و جابه‌جایی به‌صورت همزمان بهره‌گیری می‌شود. بازده این نوع مبدل‌ها به ۷۰٪ می‌رسد.



شکل ۱۱۴ شماتیک یک نوع رکوپراتور جابه‌جایی

پ۱۳-۵-۷ اکونومایزر

اکو نومایزرها مبدل‌های حرارتی هستند که در آن‌ها هوا و آب با هم تبادل حرارت می‌کنند. کاربرد اصلی این تجهیزات برای پیش‌گرم کردن آب تغذیه بویلرهاست. البته برای گرمایش آب فرایندی و یا تولید آب گرم مورد نیاز برای گرمایش محیط نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در اکونومایزرها، حرارت محسوس از گازهای حاصل از احتراق به آب تغذیه بویلر، که درون مجموعه‌ای از لوله‌های واقع در دود کش خروجی جریان دارند، منتقل می‌شود.

هر چه دمای دود خروجی بیشتر باشد پتانسیل صرفه جویی سوخت بیشتر خواهد بود.

پ۱۳-۵-۸ سیستم بازیافت متناوب حرارت

سیستم‌های بازیافت متناوب حرارت نوعی مبدل حرارتی با بستر فشرده هستند که در آن‌ها تبادل حرارت بین جریان‌های گرم و سرد به صورت تناوبی انجام می‌شود.

این نوع سیستم‌های بازیافت به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

سیستم‌های با بستر ثابت

در این نوع ابتدا جریان گازهای داغ وارد بستر شده و به مدت مشخصی درون بستر جریان می‌یابند. در پریود بعدی جریان گازهای داغ قطع شده و جریان هوای سرد درون بستر برقرار می‌شود. بدین ترتیب حرارت ذخیره شده به جریان هوای سرد منتقل شده و دمای آن را افزایش می‌دهد.

سیستم‌های با بستر دورانی

در این نوع که به آن چرخ حرارتی نیز می‌گویند از موادی با ظرفیت حرارتی بالا ساخته می‌شوند به طور مداوم در بین دو جریان گازی سرد و گرم دوران می‌کند. محور دوران با امتداد جریان‌ها موازی است.بدین ترتیب نیمی از چرخ حرارتی که در پریود اول در کانال گازهای داغ قرار می‌گیرد در پریود بعدی در کانال هوای سرد واقع شده و حرارت جذب شده را به هوای سرد منتقل می‌کند. راندمان این نوع بازیاب‌های حرارتی ۷۰ تا ۹۰ درصد می‌باشد.

شکل ۱۱۵ شماتیک نمونه یک سیستم بازیافت متناوب حرارت

پ۱۳-۵-۹ سیستم بازیافت انرژی از هوای خروجی

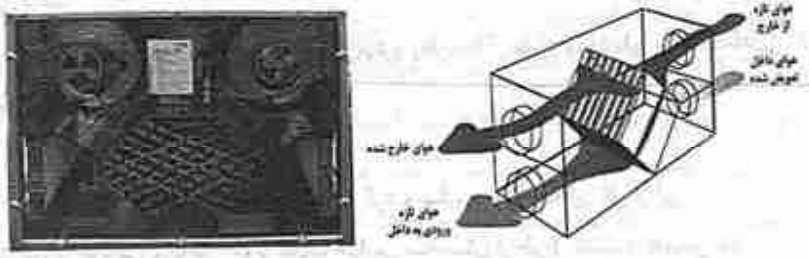
تعویض هوا برای تامین هوای تازه مورد نیاز، حتی از طریق سیستم تهویه مکانیکی، در زمستان باعث جایگزینی هوای گرم اتاق با هوای سرد بیرون شده و این خود باعث می‌گردد که برای افزایش دمای هوای سرد بیرون تا مرز دمای هوای اتاق (دمای آسایش)، انرژی مصرف شده و مصرف انرژی گرمایشی افزایش یابد. این امر همچنین برای فصل تابستان و افزایش انرژی سرمایشی صادق است، هرچند میزان انرژی سرمایشی مورد نیاز در مقایسه با انرژی گرمایشی به مراتب کمتر خواهد بود.

پ۱۳-۵-۱۰ مبدل حرارتی هوا به هوا

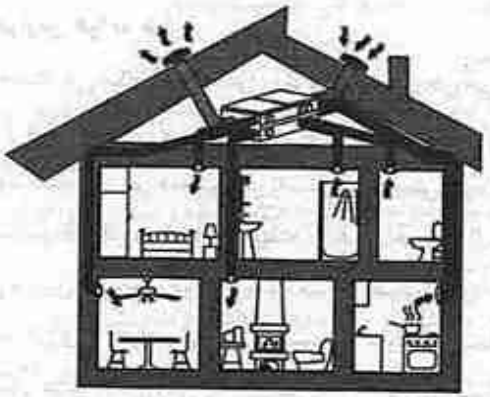
وجود یک سیستم تهویه مکانیکی امکان بازیافت انرژی گرمایشی هوای خروجی را نیز فراهم می‌نماید. از گرمای بازیافت شده از هوای خروجی از ساختمان می‌توان برای پیش گرمایش هوای سرد ورودی در زمستان استفاده نمود. انجام این امر همچنین در تابستان برای پیش سرمایش هوای گرم ورودی به ساختمان ممکن است. بازیافت انرژی گرمایشی نهفته در هوای خروجی از ساختمان و استفاده از آن برای پیش گرمایش و پیش سرمایش هوای ورودی، میزان مصرف انرژی ساختمان را بطور موثر کاهش می‌دهد. بازیافت انرژی از هوای خروجی از سیستم تهویه و استفاده از آن برای پیش گرمایش و پیش سرمایش هوای تازه ورودی به ساختمان، با استفاده از مبدل های حرارتی هوا به هوا امکان پذیر می باشد.

مبدل حرارتی هوا به هوایی که در مسیر سیستم تهویه قرار می گیرد، در زمستان گرمای هوای خروجی را به هوای سرد ورودی منتقل می‌کند. این مبدل همچنین در تابستان گرمای هوای ورودی را به هوای خنک خروجی منتقل کرده، هوای ورودی به ساختمان را خنک می‌نماید.

در فصول سرد، هوای گرم داخل ساختمان وارد مبدل حرارتی شده، گرمای خود را به صفحات فلزی داخل آن داده و با دمای پایین از سیستم خارج می‌گردد. در طرف دیگر هوای سرد خارج وارد کانال‌های دیگری شده، گرمای مذکور را جذب کرده و با دمای بالا از مبدل حرارتی وارد ساختمان می‌گردد.



شکل ۱۱۶ نحوه عملکرد یک مبدل حرارتی هوا به هوا



شکل ۱۱۷ نحوه عملکرد فرایند بازیافت انرژی از تهویه در یک ساختمان با سیستم تهویه مرکزی

امروزه مبدل‌های هوا به هوایی وجود دارد که بازدهی بین ۸۵ تا ۹۵٪ دارند. این مبدل‌ها که غالباً در خانه های غیرفعال استفاده می گردند، قابلیت بازیافت انرژی حرارتی هوای خروجی را تا حد ۹۵٪ دارند و استفاده از این‌گونه مبدل‌های حرارتی در سیستم تهویه مکانیکی ساختمان باعث می‌گردد، نه تنها میزان مصرف انرژی از طریق تعویض اجباری و عمدی هوا (از طریق درزها و سیستم تهویه مکانیکی) بشدت کاهش یابد، بلکه هوای تازه مورد نیاز ساکنین را نیز تأمین می‌نماید.

با استفاده از سیستم تهویه مکانیکی و مبدل حرارتی هوا به هوا برای بازیافت انرژی، اهداف زیر تامین می‌گردد:

- خروج آلودگی‌های هوا (دی اکسید کربن، بو، دود و رطوبت) از فضاهای داخلی بویژه فضاهایی که آلودگی بیشتری دارند
- تامین هوای تازه برای ساکنین
- کنترل هوای ورودی به فضا و حذف آلودگی‌ها، گرد و غبار، بو و گرده‌های گل از آن
- بازیافت انرژی گرمایی و کاهش موثر اتلاف حرارتی ساختمان از طریق نشت و تعویض هوا

اما نکته‌ای که بسیار حائز اهمیت است توانایی ویژه دستگاه بازیافت حرارت در حفظ انرژی صرف شده به منظور مطبوع نمودن فضای داخلی ساختمان است. هنگامی که در فصل زمستان (تابستان) نیاز به تعویض هوای داخلی ساختمان داشته باشیم، ناگزیریم که هوای گرم (سرد)آلوده را از

ساختمان خارج و با هوای سرد(گرم)تمیز خارج ساختمان جایگزین سازیم که ورود هوای سرد (گرم) ازبیرون ساختمان نیاز به صرف انرژی بالایی به منظور گرم (سرد) کردن آن خواهیم داشت که این موضوع همراه با هزینه هنگفت خواهد بود.

با به کارگیری سیستم بازیافت انرژی در ساختمان ضمن تعویض هوای آلوده با هوای تازه و فیلتر نمودن هوای ورودی به ساختمان ازهدر رفتن و خروج انرژی هنگام تعویض هوا جلوگیری می‌شود. این بدان معناست که با خروج هوای گرم از ساختمان در فصل زمستان هوای ورودی سرد، با گرفتن فقط گرما(انرژی)از هوای خروجی، گرم شده و وارد ساختمان می‌شود وبدین‌سان هوای خروجی با دادن گرما به هوای تمیز ورودی، سرد شده و خارج می‌شود.

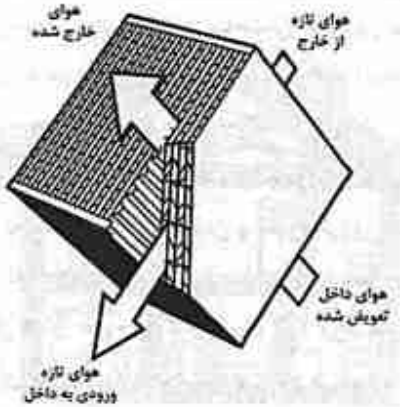
مقدار حرارت بازیافتی را می‌توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

پ۱۳-۵-۱۱ مبدل حرارتی صفحه‌ای

مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای[1] در ترکیب‌ها، سایزها و با مواد مختلف وجود دارند. صفحه‌ها توسط وسائلی که می‌تواند بخشی از صفحه باشد یا جدای از صفحه باشند از هم جدا می‌شوند. هوابندی با استفاده از خم کاری، خم کاری چند لایه، چسب کاری، جوشکاری و یا ترکیبی از این روش‌ها انجام می‌شوند.

مقاومت انتقال حرارت از صفحه در مقایسه با مقاومت لایه مرزی ایجاد شده در هر سمت صفحه‌ها ناچیز است. لذا بازده انتقال حرارت در این مبدل‌ها به‌طور اساسی تحت تأثیر ضریب انتقال حرارت صفحه‌ها نیست. آلومینیوم رایج‌ترین ماده برای ساخت این مبدل‌هاست زیرا اولاً آتش‌گیر نیست و ثانیاً از دوام خوبی برخوردار است. مبدل‌های صفحه‌ای پلیمری به علت ایجاد آشفتگی در جریان هوا سبب افزایش انتقال حرارت می‌شوند و به علت مقاومت در برابر خوردگی و به صرفه بودن به لحاظ اقتصادی مورد توجه مصرف کنندگان است. آلیاژهای فولادی در دمای بالای $^{\circ}C$ ۲۰۰ و در موارد خاصی که قیمت نقش تعیین‌کننده ندارد مورد استفاده قرار می‌گیرند. معمولاً مبدل‌های صفحه‌ای برای انتقال حرارت محسوس مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما با استفاده از صفحه‌های نافذ خاصی می‌توان برای انتقال رطوبت هم از آنها استفاده کرد.

۱. Fixed-Plate Heat Exchanger



شکل ۱۱۸ نمونه مبدل صفحه‌ای جریان متقاطع

در اغلب موارد، مبدل‌های صفحه‌ای به‌صورت واحدهای مدولار ساخته می‌شوند. هر واحد ظرفیتی بین m^3/s ۵ تا ۰/۰۱ دارد. این واحدها می‌توانند به‌گونه‌ای قرار گیرند که ظرفیت از حدود m^3/s ۵۰ نیز فراتر رود. فاصله صفحه‌ها بین ۲/۵ و ۱۲/۵ میلی‌متر، بسته به کاربرد و طراحی، متغیر است. مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای می‌توانند بازیافت انرژی بالایی داشته باشند، چرا که تنها سطح مبدل، دو جریان هوا را از هم جدا می‌کند و عوامل دیگری در این تبادل به عنوان مقاومت عمل نمی‌کنند.

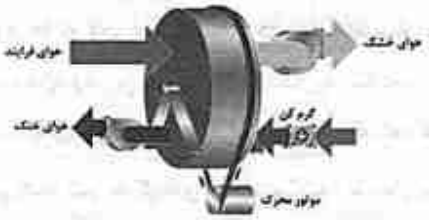
پ۱۳-۵-۱۲ مبدل گردان هوا به هوا- چرخ آنتالپی

مبدل گردان هوا به هوا[1] دارای یک استوانه گردان است که از مواد نفوذ پذیر در مقابل هوا که سطح زیادی را شکل می‌دهند پر شده است. جریان‌های هوای ورودی و خروجی، هر کدام از یک نیمه سطح این استوانه، به صورت جریان مخالف عبور می‌کنند. بستر انتقال حرارت می‌تواند جهت انتقال حرارت محسوس یا کلی (نهان و محسوس) انتخاب شود.

گرمای محسوس هنگامی که بستر مبدل بالا می‌آید (شکل ۱۱۹) از جریان هوای گرم جذب و سپس به جریان هوای سرد منتقل می‌شود. انتقال گرمای نهان هنگامی رخ می‌دهد که بستر مبدل رطوبت را از بخار موجود در جریان مرطوب‌تر جذب می‌کند و سپس به جریان هوای خشک‌تر تحت

۱. Rotary Air-to-Air Energy Exchanger

تأثیر فشار ناشی از اختلاف رطوبت منتقل می‌کند. در انتقال حرارت کلی، هر دوی این مکانیزم‌ها همزمان رخ می‌دهد.



شکل ۱۱۹ مبدل دیسک گردان

آلودگی هوا، نقطه شبنم، دمای هوای خروجی و مشخصات هوای ورودی روی انتخاب جنس بدنه بخش دوار و بستر انتقال حرارت مبدل تأثیر می‌گذارد. آلومینیوم، استیل و پلیمرها برای استفاده در بدنه و اجسام دوار مبدل در مصارف تهویه معمول هستند. جنس مواد مورد استفاده در بستر مبدل شامل فلزها، مواد معدنی یا مواد شیمیایی است و می‌تواند به شکل آرایش نظم یافته یا بی نظم قرار بگیرد.

سطح بستر انتقال حرارت که در معرض جریان هوا قرار دارد بین m^2/m^3 ۳۰۰ تا ۴۰۰۰، بسته به نوع بستر و شکل فیزیکی مبدل متغیر است. به علاوه، بسترها بسته به نوع انتقال حرارت محسوس یا نهان قابل طبقه‌بندی هستند. بسترهای مناسب بازیافت حرارت محسوس از آلومینیوم، مس، استیل و مونل[1] (آلیاژی از نیکل و کبالت) ساخته می‌شوند. بسترهای بازیافت انرژی یا حرارت نهان از مواد مختلفی شکل می‌یابند، که توسط یک جاذب رطوبت (معمولاً ژئولیت، سیلیکاژل، آمونیاک فعال شده، سیلیکات تیتانیوم و انواع پلیمرها، کلرید لیتیوم-) تکمیل می‌شوند.

برای کنترل چرخ آنتالپی، از دو شیوه، به تنهایی یا همزمان، استفاده می‌شود:

- کنترل میزان هوای ورودی، با گذاشتن یک دمپر در مسیر ورودی هوایی که وارد مبدل می‌شود.
- تنظیم سرعت دورانی چرخ دوار.

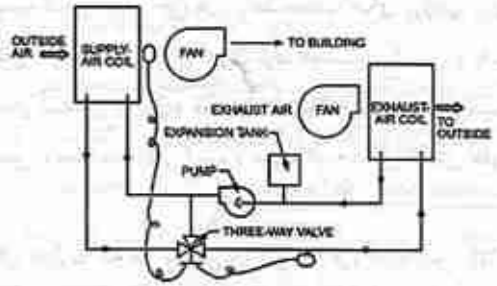
توضیحات تکمیلی در خصوص کاربرد این سیستم با سیستم سرمایش تبخیری در بخش پ۱۴-۲ ارائه شده است.

۱. monel

پ۱۳-۵-۱۳ سیکل بازیافت همراه با کویل

یک سیکل بازیافت انرژی کویلی در مسیر جریان هوای ورودی و خروجی دارای مبدل‌های فشرده فین‌دار لوله‌ای است. کویل‌ها در یک سیکل بسته جریان مخالف به هم وصل هستند که سیال حامل انرژی بین آنها پمپ می‌شود.

رطوبت نباید در مسیر هوای خروجی یخ بزند لذا یک شیر سه راهه کنترل دما کویل خروجی را از یخ زدگی محافظت می‌کند. شیر به گونه‌ای تنظیم می‌شود تا دمای ورودی به کویل بالای $5^{\circ C}$ باشد این شرایط، با انتقال بخشی از سیال گرمتر به اطراف کویل هوای ورودی انجام می‌شود. در ضمن، جهت اطمینان از عدم بیش‌گرمایش هوای ورودی نیز از این نوع شیر استفاده می‌شود.

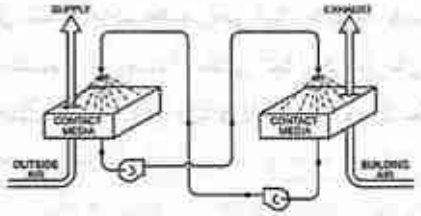


شکل ۱۲۰ سیکل بازیافت همراه با کویل

سیکل‌های بازیافت کویلی با قابلیت تطبیق بالا با شرایط مختلف هستند. با استفاده از این سیستم، نیاز به کانال کشی کمتر می‌شود و می‌توان به‌طور همزمان از منابع مختلف انرژی در مصارف مختلف استفاده کرد. استفاده از منبع انبساط برای مقابله با انبساط و انقباض سیال ضروری است. در شرایطی که از سیالاتی مانند اتیلن گلیکول استفاده می‌شود، منبع انبساط بسته توصیه می‌گردد. از مزایای این سیستم می‌توان به عدم وجود خطر نشت آلاینده‌ها، و نگهداری و تعمیرات آسان آن اشاره کرد.

پ۱۳-۵-۱۴ سیکل بازیافت آنتالپی دو برجی

در سیستم بازیافت آنتالپی دو برجی[1] هوا به مایع – مایع به هوا، یک مایع جاذب رطوبت بین دو برج ورودی و خروجی به جریان در می‌آید که با هر دو جریان هوا به‌طور مستقیم در تماس است، و رطوبت و انرژی را بین آن دو منتقل می‌کند. دمای هوای بیرون می‌تواند بین $46^{\circ C}$ تا $-40^{\circ C}$ تغییر کند. در این بین، می‌توان از چیدمان‌های مختلفی از این برج‌ها در مسیر استفاده کرد.



شکل ۱۲۱ سیکل‌های بازیافت آنتالپی دو برجی

هوای خارج شده را از یک پد رطوبت گیر عبور می‌دهند تا مایع جاذبی که در آن حل شده است را دوباره به سیکل برگردانند. هوایی که ممکن است دارای انواع اجسام خارجی باشد باید فیلتر هم بشود تا مایع جاذب و در نتیجه جریان دوم آلوده نشود. محلول جاذب (که غالباً متشکل از آب و نمک‌های هالوژنی مثل کلرید لیتیوم است) عموماً دارای افزودنی‌های ضد باکتری و ضد ویروس است. آزمایشات نشان می‌دهد که یک برج می‌تواند تا ۹۴٪ باکتری‌های موجود در هوا را از بین ببرد که بسیار مناسب مصارف بهداشتی و درمانی است.

پ۱۳-۶ سیستم‌های ذخیره‌سازی

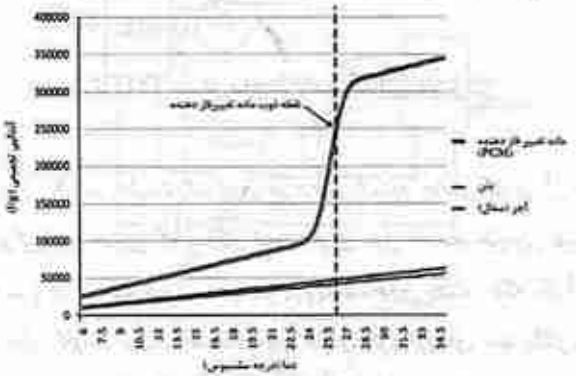
پ۱۳-۶-۱ سیستم ذخیره‌کننده سنگین

در این نوع سیستم‌ها، از جدارهای ضخیم (دیوارهای ضخیم داخلی و یا خارجی بتنی، سقف‌های بتنی حفره‌دار با جریان هوا، ...)، و یا انباره‌های سنگی یا آبی برای ذخیره‌سازی انرژی استفاده می‌شود. در این سیستم‌ها، فرایند ذخیره‌سازی می‌تواند فعال یا غیر فعال باشد.

۱. Twin-tower energy recovery loops

پ۱۳-۶-۲ جدار ذخیره‌کننده تغییر فازی

تغییر فاز دهنده‌ها[1] موادی هستند که در اثر تغییر فشار و یا تغییر دما دچار تغییر فاز می‌شوند و این تغییر فرایند در آن‌ها با جذب یا آزاد شدن انرژی همراه است (شکل ۱۲۲). تغییر فاز دهنده‌ها در حقیقت امکان ذخیره سازی انرژی حرارتی را فراهم می‌آورند. یکی از کاربردهای مطرح تغییرفاز دهنده‌ها، تلفیق آنها با مصالحی است که برای ساخت جدارها ساختمانی استفاده می‌شوند. در این نوع کاربردها، مواد تغییر فاز دهنده آلی (ترکیبات پارافین، گلیکول، ...) یا غیرآلی (نمک‌های هیدراته) باشند را در داخل کپسول‌هایی محبوس می‌کنند. با توجه به پایین بودن ضریب هدایت حرارت اکثر مواد تغییرفاز دهنده، برای بهبود اثربخشی آنها از کپسول‌های بسیار ریز (میکروکپسول یا نانوکپسول) حاوی مواد تغییر فاز دهنده در یک ماده با ضریب هدایت حرارت بالاتر (گچ، بتن، ...) استفاده می‌شود (شکل ۱۲۳).



شکل ۱۲۲ تغییرات آنتالپی نسبت به دما در محدوده نقطه ذوب ماده تغییر فاز دهنده

شکل ۱۲۳ نمونه کپسول‌های به کار رفته در صفحات گچی برای تنظیم دمای داخل

۱. PCM: Phase Changing Materials

پ۱۳-۶-۳ سیستم تهویه شبانه

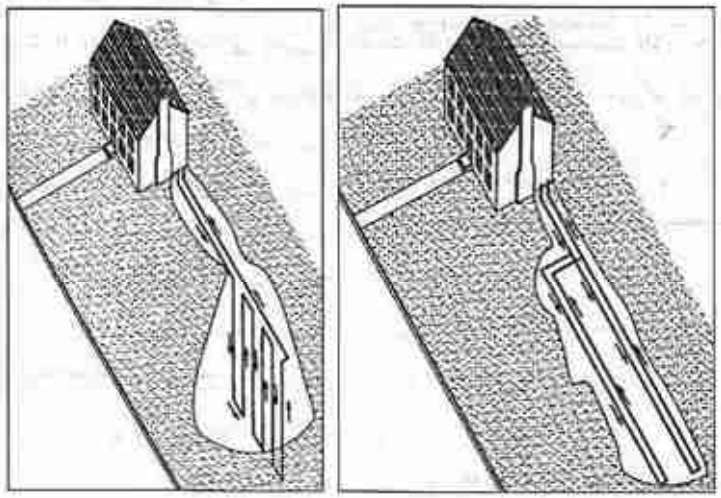
این سیستم‌ها بیشتر برای سرمایش در مناطق گرم و خشک کاربرد دارند، و امکان بهره‌گیری از کاهش دمای شبانه، برای تخلیه انرژی از جدارهای سنگین خارجی و داخلی ساختمان را فراهم می‌سازند.

برای افزایش اثربخشی این نوع سیستم‌ها، میزان تعویض هوای شبانه می‌تواند به بیش از ۱۰ حجم در ساعت نیز برسد. در نتیجه، کاربرد این نوع سیستم‌ها صرفاً در ساختمان‌هایی است که در آنها بهره‌برداری در طول روز صورت می‌گیرد (نظیر ساختمان‌های اداری یا آموزشی).

پ۱۳-۶-۴ سیستم‌های پیش گرمایش یا پیش‌سرمایش با بهره‌گیری از ذخیره‌سازی خاک

در زمان‌هایی که بار گرمایش یا سرمایش ساختمان اندک است، بسته به دمای خاک در عمق، تأمین شرایط آسایش می‌تواند بدون راه‌اندازی سیستم گرمایی یا سرمایی، با بهره‌گیری از جرم‌حرارتی خاک زیر یا اطراف ساختمان، در بخش قابل توجهی از سال صورت گیرد.

در دیگر اوقات نیز، در صورت بهره‌گیری از اینرسی حرارتی خاک، علاوه بر حذف پیک‌های گرمایش و سرمایش، توان مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش نیز به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد.



شکل ۱۲۴ روش‌های مختلف ذخیره‌سازی انرژی در زیر خاک

پ۱۳-۷ تجهیزات مکانیکی و الکتریکی با بازدهی انرژی بالا

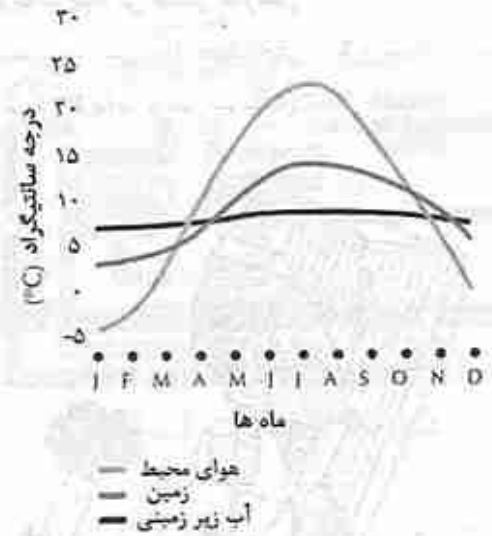
پ۱۳-۷-۱ پمپ‌های حرارتی متصل به زمین

طی چند دهه اخیر، استفاده از زمین به عنوان منبع[1] و یا چاه[2] حرارتی رشد چشمگیری داشته است. هزینه‌های پایین این نوع فرایند، آلایندگی کم، تعمیر و نگهداری ارزان و همچنین تجدیدپذیر محسوب شدن آن، از جمله ویژگی‌هایی پمپ‌های حرارتی است. امروزه، در کشورهای صنعتی، بخش قابل توجهی از سرمایش و گرمایش با بهره‌گیری از مبدل‌های متصل به زمین[3] صورت می‌پذیرد. رایج‌ترین نوع استفاده از انرژی زمین در تهویه مطبوع، اتصال این نوع مبدل‌ها به پمپ‌های حرارتی[4] است، که به پمپ‌های حرارتی متصل به زمین[5] معروف هستند. پمپ‌های حرارتی متصل به زمین، به دلیل کمتر بودن کار مکانیکی و نزدیک بودن دمای منبع (چاه) حرارتی به دمای مورد نیاز داخل ساختمان، از ضریب عملکرد[6] بالاتری نسبت به پمپ‌های حرارتی رایج برخوردارند.

حرارت جذب شده توسط زمین در طول تابستان می‌تواند به‌طور مؤثر در زمستان مورد استفاده قرار گیرد. لازم به توضیح است که به‌طور متوسط نزدیک به نیمی از انرژی خورشید توسط زمین جذب می‌گردد. این سیکل سالیانه پدید آمدن یک پتانسیل انرژی حرارتی قابل استفاده برای سرمایش و گرمایش ساختمان می‌شود.

یکی دیگر از ویژگی‌های حرارتی زمین این است که با توجه به ضخامت بالای خاک، دمای زمین و آب‌های زیرزمینی در عمق آن می‌تواند تقریباً ثابت تلقی شود، زیرا تغییرات دمای خاک را در مقایسه با دمای هوای بالای زمین به کمترین حد می‌رسد.

۱. Source
۲. Sink
۳. Ground Coupled Heat Exchanger (GHE)
۴. Heat pumps
۵. Ground Coupled Heat Pump (GCHP)
۶. Coefficient Of Performance (COP)



شکل ۱۲۵ نمونه نمودار دمای متوسط ماهیانه هوا، خاک و آب‌های زیرزمینی

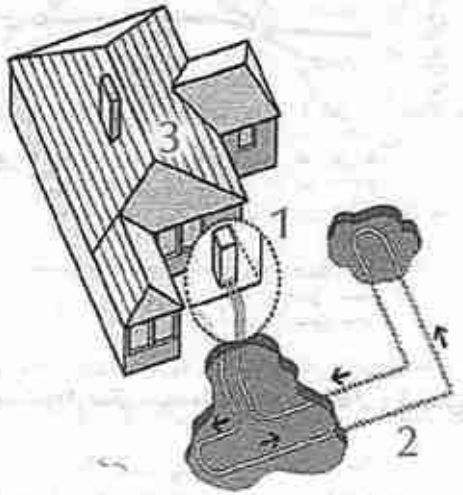
پمپ حرارتی متصل به زمین[1] انرژی ذخیره‌شده در زمین را به انرژی سودمند برای سرمایش و گرمایش، و تأمین آب‌گرم مصرفی ساختمان‌ها تبدیل می‌کند.

از آنجا که در پمپ حرارتی متصل به زمین احتراقی صورت نمی‌گیرد، و تنها انرژی از زمین به ساختمان، یا برعکس، منتقل می‌شود، پمپ حرارتی می‌تواند بیش از انرژی مصرفی خود سرمایش یا گرمایش ایجاد کند، و در نتیجه، بازدهی بین ۲۰۰٪ تا ۵۰۰٪ در طول یک فصل داشته‌باشد. پمپ حرارتی متصل به زمین، به دلیل دمای مناسب زمین، در اوقات گرم و سرد سال، از پمپ‌های حرارتی هوایی[2] پربازده‌تر است. همچنین، از فناوری‌های متعارف گرمایش و تهویه هوا نیز پربازده‌تر و با هزینه نگهداری کمتری است. فضای کمتری نیاز دارد، خصوصاً زمانی که حلقه گردش سیال ساختمان جایگزین کانال‌های هوا می‌شود. اوج مصرف برق در طول فصل سرما از تهویه هوای متعارف پائین‌تر و بنابراین هزینه استفاده پایین‌تر است. در نتیجه، انرژی ذخیره شده بسیاری می‌تواند از استفاده GSHPها بدست آید.

۱. Ground-Source Heat Pump (GSHP)
۲. Air-source heat pumps

نحوه کارکرد سیستم پمپ حرارتی متصل به زمین

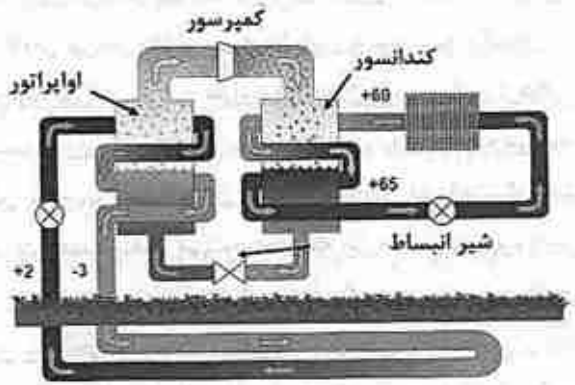
سیستم پمپ حرارتی متصل به زمین از سه بخش اصلی تشکیل می‌شود: پمپ حرارتی، مدار اتصال به زمین و مدار توزیع سرما یا گرما در داخلی ساختمان (شکل ۱۲۶).



شکل ۱۲۶ سه بخش اصلی سیستم پمپ حرارتی متصل به زمین.

رایج‌ترین مدل‌های پمپ حرارتی متصل به زمین نوع "آب به هوا[1]" با ظرفیت سرمایشی بین ۳/۵ تا ۳۵ کیلووات می‌باشند. معمولاً تمام اجزای این نوع از پمپ حرارتی شامل: کمپرسور، اتصال زمین به مبدل حرارتی مبرد، کنترل و سیستم توزیع هوا شامل گرداننده هوا[2]، فن کانال، فیلتر، مبدل هوا به مبرد و خشک‌کننده هوای تهویه[3] در یک پکیج قرار داده می‌شوند. طرحواره پکیج پمپ حرارتی در شکل ۱۲۷ نشان داده شده است.

۱. water-to-air
۲. air handler
۳. Condensate removal system for air conditioning



شکل ۱۲۷ طرحواره پکیج پمپ حرارتی

در اکثر موارد، برای کاربردهای خانگی و ساختمان‌های تجاری کوچک، یک پمپ حرارتی کافی‌است، ولی برای ساختمان‌های مسکونی و تجاری بزرگ‌تر، معمولاً چندین پمپ حرارتی با یک سیستم توزیع مشترک در نظر گرفته می‌شود.

در حالت گرمایش، پمپ حرارتی به صورت زیر عمل می‌کند: حرارت از اتصال زمین به مبدل زمین، به مبرد (تبخیرکننده[1]) می‌رسد (شکل ۱۲۷). در سوی دیگر مبدل حرارتی مبرد سرد در حالت مایع وجود دارد. مبرد از سیال ناقل حرارت از زمین خنک‌تر است، بنابراین حرارت به مبرد منتقل می‌شود. این حرارت باعث تبخیر مبرد می‌شود ولی دمای آن چندان افزایش نمی‌یابد. این حالت گازی، کم فشار و دما پایین مبرد، سپس از یک کمپرسور برقی می‌گذرد. این فرآیند فشار مبرد و متقابلا دمای آن را افزایش می‌دهد.

گاز با دما و فشار بالا از کمپرسور خارج شده و وارد مبدل حرارتی دوم (چگالنده[2]) می‌شود. در پمپ حرارتی هوا به آب، یک فن هوا را برای گرم شدن روی کویل می‌دمد. در پمپ حرارتی آب به آب، آبی که ساختمان را گرم می‌کند از داخل این مبدل عبور می‌کند. از آنجا که مبرد از آب یا هوا گرم‌تر است، حرارت را به آن منتقل می‌کند. هنگامی که دمای مبرد کاهش پیدا می‌کند، چگالیده می‌شود.

۱. Evaporator
۲. Condenser

این مبرد دما بالا سپس از داخل یک شیر البساط رد می‌شود. شیر، فشار مبرد را کاهش می‌دهد و در نتیجه دمای آن کاهش می‌یابد. حالا این مبرد دما پائین به سمت تبخیرکننده جریان پیدا می‌کند و سیکل دوباره ادامه پیدا می‌کند. از این طریق، حرارت از زمین به آب یا هوای داخل ساختمان منتقل می‌شود و پمپ حرارتی آب به هوا یا پمپ حرارتی آب به آب نامیده می‌شود.

یک تفاوت قابل توجه بین پمپ حرارتی زمینی و یخچال این است که پمپ حرارتی زمینی برای کار کردن در دو جهت منظور می‌شود. بطوریکه در حالت سرمایش، مبدل زمین به مبرد تبدیل به چگالنده و مبدل مبرد به هوا تبدیل به تبخیرکننده می‌شود. این کار از طریق یک شیر برعکس‌کننده داخل پمپ حرارتی صورت می‌گیرد.

همانطور که در شکل بالا نشان داده شده است، یک دیسوپرهیتر[1] آب گرم خانگی را وقتی کمپرسور کار می‌کند فراهم می‌کند. دیسوپرهیتر یک مبدل حرارتی کوچک بعد از کمپرسور است. دیسوپرهیتر حرارت اضافی را از گاز منبسط شده به آبی که به یک تانک آب گرم می‌رود منتقل می‌کند. در طول فصل سرمایش، وقتی که تهویه هوا مکررا کار می‌کند، دیسوپرهیتر ممکن است تمام آب گرم مورد نیاز کاربرد مسکونی را فراهم می‌کند. برخی از پمپ‌های حرارتی مسکونی بصورتی طراحی می‌شوند که آب گرم کافی برای مصارف خانگی را تامین کنند.

پ۱۳-۷-۲ سیستم‌های تولید همزمان گرما / سرما و برق

تولید همزمان حرارت و قدرت[2] تولید دو شکل از انرژی را از یک منبع سوختی از قبیل گازهای طبیعی، بیومس، بیوگاز، زغال سنگ و سوخت‌های نفتی ممکن می سازد. در اکثر برنامه های کاربردی CHP، انرژی از یک منبع سوختی مانند گاز طبیعی به دو شکل از انرژی مکانیکی و حرارتی تبدیل می‌شود. انرژی مکانیکی تولید شده به انرژی الکتریکی تبدیل می گردد، و حرارت به‌دست آمده به‌صورت بخار، آب داغ، و یا هوای گرم مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم‌های CHP دارای یک مزیت عمده در بین سیستم‌های یکپارچه انرژی هستند، و آن هم قابلیت اصلاح وتغییر نسبت به نوع انرژی و کاربرد آن است.

۱. Desuperheater

۲. CHP: Combined Heat & Power or Cogeneration

در این سیستم، انرژی شیمیایی سوخت به وسیلهٔ یک محرک اولیه (موتور یا توربین) به توان مکانیکی در محور خروجی تبدیل می‌شود. محور محرک انرژی مکانیکی را به یک ژنراتور منتقل می‌کند تا به انرژی الکتریکی تبدیل شود. حداکثر بازدهی موجود برای محرک اولیه دستگاه و مولد کمتر از ۵۰ درصد است، ولی در یک سیستم CHP، می‌توان نیروی مورد نیاز را با گاز، بنزین ، یا حتی نفت تأمین کرد. با شناسایی منابع اتلاف گرما، یعنی گازهای خروجی از محرک اولیه و روغن (مربوط به روغن کاری)، و با قراردادن مبدل‌های حرارتی مناسب، می‌توان گرمای اتلافی را به‌صورت حرارت با دمای بالا بازیافت و استفاده کرد.

در سیستم CHP، با استفاده از صافی‌هایی، از ازادشدن آلاینده‌های زیست محیطی نظیر NO، CO، CO_2 و هیدروکربورهای نسوخته جلوگیری می‌شود، و بازدهی سیستم نسبت به حالت عادی (مجزا) افزایش می‌یابد.

لازم به توضیح است که در حالت متداول، بخش اعظم گرمای گازهای داغ خروجی از دودکش‌ها به هدر می‌رود. همچنین، به دلیل بازده اندک نیروگاه‌ها و شبکه توزیع، در ایران بازده تولید برق کشور بین ۲۶ تا ۲۸ درصد برآورد می‌شود، در حالی که الکتریسیته تولید شده به صورت محلی (غیر متمرکز) و مستقل بازدهی بین ۲۷ تا ۵۵ درصد خواهد داشت، که با بیشترین بازده مربوط به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی برابری می‌کند. با بهره‌گیری از روش تولید همزمان برق و حرارت به‌صورت مستقل، بازده سیستم به ۹۰٪ نیز می‌رسد.

در سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت، از یکی از روش‌های زیر استفاده می‌شود:

۱- توربین گاز و بویلر بازیافت حرارت (معمولاً در ساختمان‌های مسکونی کاربرد ندارد)

۲- سیستم‌های مبتنی بر موتورهای رفت و برگشتی

۳- میکروتوربین‌ها

سیستم‌های CHP برای تولید برق و حرارت به‌صورت همزمان طراحی می‌شود. در یک سیستم محرک اولیه (موتور یا توربین)، انرژی شیمیایی سوخت به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود. در این موارد، محور محرک با یک ژنراتور کوپل می‌گردد، تا توان مکانیکی به الکتریکی تبدیل شود. حداکثر راندمان موجود برای محرک اولیه دستگاه و مولد برق کمتر از ۵۰٪ است، و این به معنی اتلاف بیش از نیمی از انرژی سوخت به‌صورت حرارت می‌باشد.

راه‌های اتلاف حرارت در مولدهای برق عبارتند از گازهای خروجی از محرک اولیه، سیکل خنک‌کن و سیستم روانکاری. در سیستم CHP این مبادی اتلاف حرارت شناسایی شده و با قرار دادن مبدل‌های حرارتی، حرارت تولید شده بازیافت می‌شود.

پ۱۳-۸ سیستم‌های هوشمند برای انطباق هر چه بیشتر تولید انرژی با نیازهای مقطعی

سیستم مدیریت هوشمند ساختمان به مجموعه سخت‌افزارها و نرم‌افزارهایی اطلاق می‌شود که به منظور مانیتورینگ و کنترل یکپارچه قسمت‌های مهم در ساختمان نصب می‌شوند.

وظیفه این مجموعه، پایش مداوم بخش‌های مختلف ساختمان و اعمال فرمان به آن‌ها به نحوی که عملکرد اجزای مختلف ساختمان متعادل با یکدیگر و در شرایط بهینه و با هدف کاهش مصارف ناخواسته و تخصیص منابع انرژی فقط به فضاهای در حین بهره‌برداری باشد.

هدف یک سامانه منفعل معمولی، کاهش تأثیر پدیده‌های ناخواسته به کمک ساده‌ترین وسایل واکنشی ممکن می‌باشد. در یک سامانه فعال وسایل کنترل پدیده‌های ناخواسته از طریق اعمال نیرو یا دیگر روش‌ها تأمین می‌شود. در روش‌های جاری، معمولاً از یک سامانه حس‌گر، یک سامانه فعال‌ساز و یک سامانه کنترل‌کننده استفاده می‌شود. سامانه کنترلی شامل یک ریزپردازنده است که داده‌های ورودی را تحلیل کرده و آن‌ها را به الگوی ریاضی رفتار سازه‌ای موردنظر نسبت می‌دهد و در نهایت سیگنال‌های خروجی مناسب را به سمت سامانه‌های فعال‌ساز بیرون می‌فرستد. فعال‌ساز نیز هماهنگی‌ها یا نیروهای واکنش‌دهنده لازم را ایجاد می‌کند. پیشرفت بی‌وقفه مواد هوشمند شاید در نهایت به این فعالیت‌ها اجازه دهد به جای آن‌که به‌صورت اجزاء مستقل در کنار هم قرار گیرند، همگی به صورت پیوسته در درون خود سازه عمل کنند.

پ۱۳-۸-۱ اجزای اصلی یک سیستم هوشمند

اجزای اصلی که یک سیستم در صورت دارا بودن به نام هوشمند خوانده می‌شود به قرار زیر هستند:

۱. ورودی سیستم که وظیفه دریافت اطلاعات را به وسیله ابزارهای دریافت‌کننده برعهده دارد.

۲. پردازش و تحلیل داده‌های اطلاعاتی

۳. خروجی سیستم که در مواجهه با اطلاعات دریافت شده توسط ورودی سیستم، پس از پردازش آن‌ها، اقدامات لازم را اتخاذ می‌کند

۴. ملاحظات زمانی که موجب می‌شود تا تصمیمات اتخاذ شده در زمان مقرر رخ دهند.

۵. توانایی یادگیری سیستم

پ۱۳-۸-۱-۱ ورودی‌ها

هر بخشی در یک ساختمان هوشمند باید دارای تجهیزاتی باشد که توسط آن‌ها اطلاعات دریافت شده و وارد سیستم کنترل شوند. سیستم می‌تواند اطلاعات موردنظر را از روش‌های مختلف بدست آورد. این روش‌ها عبارتند از:

حسگرها

حسگرها ابزارهایی هستند که اطلاعات داخلی و خارجی ساختمان را جمع‌آوری می‌کنند. در فضای داخلی، حسگرها این امکان را برای سیستم‌ها فراهم می‌کنند تا درک درستی از شرایط درونی ساختمان داشته باشد. در فضای خارجی، آنها اطلاعات را از محیط بیرونی، در زمان‌های معین دریافت و جمع‌آوری می‌کنند.

حسگرها به ۳ دسته تقسیم می‌شوند که حسگرهای درون ببرون بنا زیر مجموعه‌های این سه قسم هستند. حسگرهای پرتو خورشیدی، حسرگهای نظارتی و امنیتی، حسگرهای آلودگی صوتی، حسگرهای تغییر رنگ و نمای بصری از جمله حسگرهای بیرونی هستند. حسگرهای بخش‌هایی نظیر بخش انرژی، کنترل هوا، بخش نوردهی، تهویه مطبوع از انواع حسگرهای درون بنا هستند که به وسیله آن‌ها اهداف گوناگونی محقق می‌شوند.

۳ گروه یاد شده به قرار زیر هستند.

۱. حسگرهای امنیتی و مراقبتی که در خدمت محیط درون و برون ساختمان هستند.

۲. حسگرهای تشخیص کیفیت هوا

۳. حسگرهای نظارتی سیستم

حسگرها به منزله عصب‌های یک ساختمان هستند که می‌توانند شرایط خاص را حس کرده و تصمیم‌های موردنیاز در قبال شاریط درونی و برونی بنا را اتخاذ کنند.

بایگانی اطلاعات و رجوع مجدد

هر سیستم هوشمند باید توانایی بایگانی اطلاعات و رجوع مجدد به آن‌ها را داشته باشد. کلمه رجوع مجدد به این معناست که برای مثال سیستم باید بتواند سناریو مشخصی را در اتاق کنفرانس زمانبندی کند و اگر نیاز باشد که این اتاق به شبکه متصل شود و سیستم تهویه مطبوع خواستار

دمای ۷۵ درجه فارنهایت در زمان معینی باشد، سیستم باید بتواند به اطلاعات گذشته خود رجوع کرده و آنها را بازخوانی کند و شرایط موردنیاز را فراهم آورد. بایگانی اطلاعات نقش حافظه را در سیستم‌های هوشمند بر عهده دارد.

برنامه ریزی دستی

سیستم باید به گونه‌ای باشد که کاربران خودشان بتوانند آنرا برنامه‌ریزی کنند. یک کاربر باید بتواند در هر زمانی با توجه به شرایط و مقتضیات جدید، برنامه‌ای نو بر روی سیستم طرح کند.

اینترنت

اتصال بخش‌های مختلف سیستم به اینترنت این امکان را فراهم می‌آورد تا اجزاء مختلف به روز شوند و اطلاعاتی را که توسط شرکت مختلف کامپیوتری بر روی اینترنت قرار داده شده است، دریافت کنند. بیشتر سیستم‌های کامپیوتری و کنترلی دارای فایلهای به روزرسانی هستند و شرکت‌های فراهم کننده این فایل‌ها را بر روی اینترنت قرار می‌دهند. بنابراین اگر سیستمی بخواهد به روز باشد و عملکرد بهتری داشته باشد، ناگزیر است با ارتباط با شرکت‌های فراهم کننده فایلهای به روزرسانی از طریق اینترنت، سیستم‌های کنترلی‌اش را به روز نگه دارد. لازم به توضیح است که همه اطلاعات جمع آوری شده از اینترنت به نرم افزار پردازش داده‌ها تحویل می‌شود.

پ۱۳-۸-۱-۲ نرم افزار پردازش و تحلیل اطلاعات

پردازش اطلاعات در قسمت کنترل سیستم انجام می‌شود. مرکز کنترل، همه سیستم‌ها را به صورت یک سیستم واحد کنترل می‌کند. همچنین این توانایی را نیز دارد که هر سیستم را به صورت مجزا کنترل کند. مرکز کنترل ساختمان جایی است که در آن همه سیستم‌ها به صورت واحد در می‌آیند. لذا این محل به نام «یکپارچه کننده سیستم‌های ساختمان» نامیده می‌شود (BSI). برای اینکه بخش‌های گوناگون ساختمان یکپارچه شوند، آنها باید دارای آدرس‌هایی مشخص باشند تا دیگر اجزاء بتوانند بر مبنای آن آدرس‌ها اجزاء دیگر را بشناسند.

مهمترین عامل در هنگام طراحی زیرسیستم‌های هوشمند انتخاب صحیح پروتکل ارتباطی سیستم و نحوه اتصال و ارتباط آن با شبکه داخلی ساختمان است. پروتکل‌هایی از قبیل BACnet و Lonworks از جمله پروتکل‌هایی هستند که ارتباط بین تجهیزات اکتیو کنترل هوشمند را بر عهده دارند. در واقع هماهنگی عملکرد میان زیرسیستم‌های مختلف هوشمند به منظور کنترل بیشتر، مهمترین هدف سیستم هوشمند است.

نرم افزار انتخابی برای یکپارچه سازی باید دارای شرایط زیر باشد:

- محیط گرافیکی قوی جهت شبیه‌سازی زیر سیستم‌ها در داخل ساختمان
- امکان برنامه‌ریزی منطقی جهت همکاری با زیر سیستم‌ها
- امکان مدیریت زمان بندی شده جهت فعالیت زیر سیستم‌ها
- امکان گزارش‌گیری مناسب از وقایع و خرابی‌ها
- امکان ایجاد نمودار برای بسیاری از گزارشات سیستم از قبیل جداول تغییر دما
- امکان کنترل تحت شبکه اینترنت
- امکان کنترل بصورت لایه‌بندی شده برای دسترسی کاربردهای طبقه‌بندی شده

پ۱۳-۸-۱-۳ خروجی‌ها

خروجی‌های مرکز کنترل، دستورهایی هستند که بر مبنای تصمیمات اتخاذ شده توسط سیستم صادر می‌شوند. این تصمیمات پاسخ‌های سیستم کنترل‌کننده را شکل می‌دهند و می‌توان دست کم آنها را به ۲ دسته تقسیم کرد: پاسخهای داخلی و خارجی.

پاسخ‌ها و دستورات داخلی و خارجی مربوط به سیستم کنترل‌کننده می‌شوند. پاسخ‌های داخلی نوعی از دستورات هستند که همه اقدامات اتخاذ شده در ارتباط با داخل ساختمان را در بر می‌گیرند. دستورات محاسبه شده و برنامه‌ریزی شده در درون سیستم از جمله این پاسخ‌ها هستند. مثال دیگر برای پاسخ‌های داخلی سیستم، توانایی یک سازه هوشمند در تغییر امتداد سازهٔ خود است که به این وسیله می تواند در مقابل فشار باد مقاومت کند. پاسخ‌های خارجی پیامد پاسخ‌های داخلی هستند که بر مبنای پردازش اطلاعات داده شده شکل می‌گیرند.

یک پاسخ خارجی می‌تواند دو شکل داشته باشد: **ایستا یا حرکتی**. پاسخ‌های خارجی ایستا مانند تغییرات دما، تغییرات بصری تغییرات صوتی و یا تغییرات نور. از سوی دیگر پاسخ‌های حرکتی در قالب حرکت هستند. وقتی که سیستم تصمیم می‌گیرد یک در را باز یا بسته کند. این عمل از جمله پاسخ‌های حرکتی است که معماری پاسخگو برای کاربرانش فراهم می‌کند. در ادامه به بررسی معماری حرکتی و پاسخگو پرداخته شده است.

پ۱۳-۸-۱-۴ ملاحظات زمانی

زمان، به عنوان یکی از ویژگی‌های هوشمندی، یکی از مهمترین مسائل در سیستم‌های هوشمند است. زیرا همه کنش‌ها و تصمیمات باید در زمان مقرر و یا رأس زمان خاصی انجام شود. برای مثال، هشداردهنده‌های آتش باید در زمان مقرر هشدار دهند و سیستم نگهداری از تاسیسات باید

در زمان مقرر این مشکل را گزارش دهد تا بنا در موعد مقرر بچرخد تا از پرتو خورشید دور بماند. گاهی اوقات سیستم در تشخیص و پردازش اطلاعات داده شده دچار اشتباه می‌شود که این مسئله منجر به تأخیر در اقدامات سیستم می‌شود. برای نمونه، ممکن است که دود آتش در ابتدا برای سیستم به عنوان دود سیگار قلمداد شود. اما پس از آن و در مدت زمانی کوتاه سیستم قادر به تشخیص خواهد بود که دود متعلق به آتش است. در این مورد، سیستم باید این توانایی را داشته باشد تا حساسیت خود را اصلاح کند و روند پردازش خود را به گونه‌ای تغییر دهد که در نوبت بعد بتواند دود آتش را تشخیص دهد. از این روند می‌توان به عنوان توانایی یادگیری نیز یاد کرد.

پ۱۳-۸-۱-۵ ویژگی تجربه آموزی یا توانایی یادگیری

این ویژگی نوعی توانایی است که با استفاده از آن سیستم از تجربه‌های پیشین درس می‌آموزد. تنظیم زمان تصمیم‌گیری نمونه‌ای از برنامه‌نویسی مجدد سیستم با توجه به تجربه‌های گذشته است. لذا تنظیم سیستم بر مبنای اطلاعات جدید داده شده صورت می‌گیرد. این اطلاعات توسط حسگرها داده می‌شوند و یا توسط افراد. به عنوان مثال، در یک اتاق کنفرانس، سیستم می‌تواند افزایش تعداد افراد را دریابد، بنابراین دمای هوای اتاق را از ۷۵ درجه فارنهایت به ۶۵ درجه کاهش می‌دهد تا به گرمای حاصل از تجمع ۲۰ نفر در یک اتاق فائق آید. اما پس از این عمل که به صورت خودکار انجام می شود. فردی که وظیفه مدیریت کنترل را بر عهده دارد تشخیص می دهد که باید دما از ۶۵ تا ۵۸ کاهش یابد و تغییرات را به صورت دستی در سیستم اعمال می کند. بنابراین در طول این روند سیستم می‌آموزد که محاسبه‌اش در تقلیل ۱۰ درجه‌ای دمای هوا چندان دقیق نبوده است. لذا در نوبت بعد و با تجمع ۳۰ نفر، سیستم سعی می‌کند با توجه به تجربه قبلی گرمای حاصل از هر نفر را محاسبه کند. این توانایی مسئله‌ای بسیار مهم در موقعیت‌هایی نظیر آتش‌سوزی و نگهداری تاسیسات است.

پ۱۳-۸-۲ سیستم های کنترل هوشمند تأسیسات گرمایی و سرمایی

به علت عدم تغییر دمای آب گرم یا سرد ارسالی به ساختمان، متناسب با تغییرات دمای هوای محیط، در بسیاری از زمان‌ها، دمای داخل ساختمان از محدوده آسایش خارج می‌شود. در نتیجه، علاوه بر مصرف بی‌رویه انرژی در ساختمان، آسایش حرارتی ساکنین نیز تحت‌الشعاع قرار می‌گیرد. برای اصلاح این نقطه ضعف، امروزه از سیستم‌های کنترل هوشمند موتورخانه به طور فراگیر در کشورهای پیشرفته جهان استفاده می‌شود.

سیستم‌های کنترل هوشمند موتورخانه، با استفاده از حسگرهای دمایی، لحظه به لحظه اطلاعات ساختمان را دریافت و پردازش می‌کنند، و تجهیزات موتورخانه را در راستای کاهش مصرف انرژی و ارتقای سطح آسایش ساکنین، به نحو بهینه راهبری می‌نماید. برای دستیابی به این هدف، حسگرهایی در حداقل دو موقعیت از موارد زیر نصب و بهره برداری می‌گردند:

- حسگر دما در ضلع شمالی ساختمان (دمای هوا)
- حسگرهای دمای کلکتورهای رفت و برگشت آب گرم و سرد ارسالی به ساختمان
- حسگرهای دمای ورودی‌ها و خروجی‌های منابع آب گرم بهداشتی
- حسگرهای دمای مسیر رفت و برگشت برج‌های خنک‌کننده
- حسگرهای دمای داخل ساختمان (دمای هوا)
- حسگرهای رطوبت نسبی داخل و خارج ساختمان

با پردازش اطلاعات حرارتی فوق توسط سیستم کنترل هوشمند و اعمال فرمان‌های کنترلی لازم به تجهیزات موتورخانه، دمای آب چرخشی متناسب با تغییرات دمای هوای خارج ساختمان تنظیم و به ساختمان ارسال می گردد، تا شرایط آسایش فضاهای داخل ساختمان تأمین شود. به‌عبارت دیگر، با گرم شدن دمای هوای خارج در زمستان، آب گرم چرخشی با دمای پایین‌تری به پایانه‌های حرارتی ساختمان ارسال می‌گردد، و یا خنک شدن دمای هوای خارج در تابستان، آب سرد چرخشی با دمای بالاتری به سمت پایانه‌های برودتی ساختمان ارسال می‌شود.

در ساختمان‌های با نحوه تصرف (بهره‌برداری) منقطع، نظیر ادارات، مدارس و مجتمع‌های تجاری، سیستم کنترل هوشمند موتورخانه با دریافت ساعات‌کاری ساختمان، پس از ساعت کاری و تا زمان پیش‌راه‌اندازی موتورخانه در نوبت بعد، موتورخانه را در وضعیت غیر فعال قرار می‌دهد و کارکرد تجهیزات موتورخانه صرفا به اندازه‌ای است که در ساعت‌های کاری، گرمایش یا سرمایش ساختمان به نحو مطلوب صورت گیرد.

برای تامین دمای آب گرم بهداشتی توسط سیستم کنترل هوشمند نیز تجهیزات موتورخانه صرفا به اندازه ای کار می‌کنند که دمای آب گرم بهداشتی در ساعتهای مورد نظر، در حد مطلوب تثبیت گردد.

سیستم‌های کنترل هوشمند موتورخانه، علاوه بر ویژگی‌های فوق، دارای قابلیت‌های دیگری نیز، از جمله کنترل رادیویی برق هواسازها و فن کویل‌ها، کنترل شیرهای برقی تابستانی- زمستانی می‌باشند.

با داشتن این خصوصیات، سیستم کنترل هوشمند موتورخانه موجب کاهش چشمگیر مصرف سوخت، برق، استهلاک تجهیزات و همچنین کاهش تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌گردد.

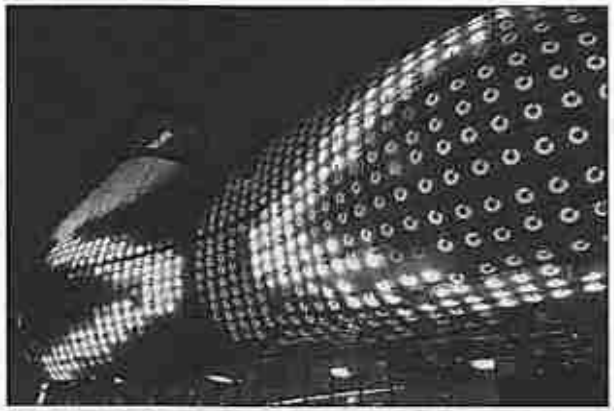
پ۱۳-۸-۳ پوسته هوشمند

به طور کلی، کالبد و فضای معماری از پوسته‌های داخلی و خارجی ساخته می‌شوند. پوسته ساختمان بنا بر موقعیت قرارگیری، زمان استفاده از آن در کوتاه‌مدت و بلندمدت، نوع کاربران آن و شرایط محیطی می‌تواند عملکردهای متفاوتی داشته باشد. انطباق هر پوسته با عملکردش سبب پاسخگویی بنا به نیازهای موردنظر و صرفه‌جویی در مصالح و انرژی می‌گردد. نمونه‌هایی از این پوسته‌ها، پوسته‌های چندعملکردی و هوشمند می‌باشند. به‌طور کلی، هدف اصلی اکثر رویکردهای رایج در زمینه پوسته‌های هوشمند، ایجاد توانایی حس کردن عوامل محرک خارجی و ارائه واکنش مناسب به آنها می‌باشد.

پوسته هوشمند به پوسته‌ای اطلاق می‌گردد که ضمن همسازی با محیط، در آن ترکیبی از روش‌های فعال[۱] و غیرفعال[۲] به منظور تأمین آسایش کاربران و کاهش مصرف انرژی به کار رفته است. در ادامه، سازه‌های هوشمند فعال و منفعل تشریح می‌گردد [۱۱].

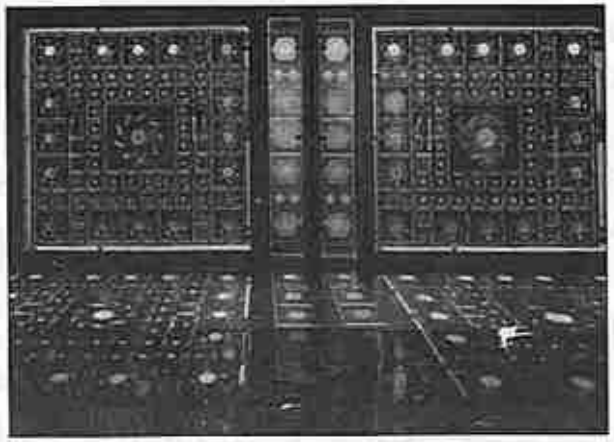
۱. Active, Moving

۲. Passive, Fixed



شکل ۱۲۸ نمونه‌ای از یک پوسته هوشمند BIX façade, Kunsthaus Graz

شکل ۱۲۹ نمونه‌ای از یک پوسته پویا Aegis Hyposurface



شکل ۱۳۰ پوسته ساختمان کنترل‌کننده میزان نور طبیعی ورودی Arab Institute Façade

پ۱۳-۸-۳-۱ سیستم‌ها و عناصر تأثیرگذار بر طراحی یک پوسته هوشمند

به طور کلی، تکنولوژی‌ها و زیر سیستم‌هایی که در یک ساختمان هوشمند به کار گرفته می‌شود شامل موارد زیر است:

- تأسیسات مکانیکی
- سیستم‌های روشنایی
- مصالح هوشمند
- کنترل سایبان‌ها و صفحات منعکس‌کننده
- سیستم‌های کنترل تردد و سیستم‌های امنیتی
- آسانسور و پله برقی
- سیستم اعلام و اطفاء حریق
- سیستم دوربین مدار بسته

در میان موارد ذکرشده، برای طراحی یک پوسته هوشمند، چهار مورد اول، یعنی تأسیسات مکانیکی، سیستم روشنایی، مصالح هوشمند و کنترل سایبان‌ها و صفحات منعکس‌کننده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در ادامه، به تشریح این موارد پرداخته شده است.

تأسیسات مکانیکی

در این سیستم‌ها که مبتنی بر بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان نیز کنترل صحیح تجهیزات مولد انرژی می‌باشد، عملیات کنترل در لایه‌های مختلف سیستم اعمال می‌شود.

در سیستم سنتی عملیات کنترل عملکرد تجهیزات به‌صورت کلی و کاملاً مستقل صورت می‌گیرد، اما در سیستم کنترل هوشمند تمام تجهیزات نصب شده در سطوح مختلف اعم از موتورخانه، اتاق هواساز و یا در بالاترین سطح شوفاژ یافتن کویل‌ها، اعضای یک پیکره کنترلی می‌باشند و فعالیت آن‌ها در راستای یکدیگر است. این سیستم توانایی آن را دارد تا در حالت پشتیبان، تمام تجهیزات را به‌صورت اتوماتیک در صورت خرابی جایگزین یکدیگر نماید. مزایای این سیستم عبارتند از:

۱ – صرفه‌جویی در مصرف انرژی
۲ – کاهش هزینه‌های نگهداری تجهیزات مکانیکی
۳ – کاهش ضریب استهلاک تجهیزات
۴ – کنترل آسان و مرکزی سیستم
۵ – ایجاد گرما و رطوبت مطلوب در تمامی فضاهای ساختمان، بنا به نیاز
۶ – برنامه‌ریزی متمرکز برای تجهیزات، مبتنی بر زمان مناسب عملکرد
۷ – امکان بهره‌گیری از دیگر سیستم‌های هوشمند، به‌صورت هماهنگ‌شده
۸ – امکان تغییر موردی عملکرد تجهیزات با توجه به تغییرات آب و هوا و نیز تغییرات فصول
۹ – امکان کنترل تجهیزات از راه دور توسط شبکه اینترنت
۱۰ – امکان اعلام خرابی به روش‌های مختلف اعم نظیر ارسال فکس، پیامک، آلارم
۱۱ – طراحی زیرساختاری بر مبنای تجهیزات مناسب به فراخور نیاز تأسیساتی ساختمان برای مثال انتخاب هواسازی با امکان کنترل و تأمین رطوبت، دما، دمپرهای هوای تازه، برگشتی و یا هوای مناسب تزریق شده به محیط
۱۲ – مشخص شدن محل و نوع کنترل فضا از جهت نصب ترموستات‌های دیواری

همچنین، چنانچه سیستم‌های مکانیکی توسط سیستم حریق هوشمند کنترل شوند می‌تواند مزایای زیر را دارا باشد:

۱ – اجازه دادن به افراد برای تنظیم دمای مناسب محل (با محدودیت‌های خاص)

۲ – تحت نظر داشتن دما و تنظیم کردن آن براساس شرایط استفاده

۳ – تنظیم کردن کیفیت هوای داخل بر مبنای ساکنین ساختمان و استانداردهای ساختمان

۴ – تنظیم کردن دما، رطوبت و سرعت جریان هوا و غیره

۵ – استفاده از سیستم‌های حجم هوای متغیر یا حجم هوای ثابت بر اساس طراحی، نوع اول کنترل فردی بیشتری را در اختیار می‌گذارد.

سیستم‌های روشنایی

بعضی از سیستم‌های روشنایی موجود شامل موارد زیر می‌شود :

- خاموش و روشن شدن اتوماتیک با استفاده از سلول‌های نوری یا نرم‌افزارهای رایانه‌ای
- تنظیم میزان نور از طریق استفاده از پنجره‌های فتوکروماتیک
- اجازه دادن به اشخاص برای تنظیم نور از طریق کامپیوتر یا با استفاده از تلفن
- قطع یا وصل کردن مدارات با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای
- مدیریت مصرف انرژی از طریق مشاهدهٔ ساکنین ساختمان و تنظیم روشنایی براساس آن.

استفاده از سیستم‌های هوشمند روشنایی مزایای متعددی است که بعضی از آن‌ها در ذیل آورده شده است:

۱- کنترل هوشمند روشنایی براساس شدت نور مورد نیاز و مناسب هرفضا تعریف می‌شود نه براساس تعداد و تنوع پمپ‌های روشنایی و این همان عامل اصلی کاهش انرژی مصرفی در ساختمان‌ها می‌باشد.

۲- تفاوت اساسی که بین سیستم‌های روشنایی سنتی و نوع هوشمند وجود دارد آن است که در ساختمان هوشمند، سیستم انتقال قدرت و سیستم کنترل کاملاً مجهز از یکدیگرند و این به معنی آن است که هیچ ارتباط فیزیکی بین وسایل کنترل (مثل کلیدها، حسگرها و.....) و مصرف‌کننده‌ها (مثل لامپ‌ها و...) وجود نخواهد داشت.

مسیر انتقال قدرت و انتقال سیگنال‌های کنترلی کاملاً مستقل در یکدیگرند در این سیستم وسایل کنترلی از طریق کابل کنترلی مخصوص و ترمینال‌های ویژه آن به هم متصل شده و

وارد تابلوی کنترل می‌شوند و از طرفی خطوط انتقال قدرت از لوپ‌های تعریف شده وسایل روشنایی مستقیماً به تابلو می‌روند.

۳- از دیگر مزایای سیستم هوشمند در ساختمان آن است که در هر شرایطی که منطق کنترل تغییر کند، می‌توان بدون کوچکترین تغییر فیزیکی (برای مثال تغییر در سیم کشی و.....) و صرفاً با اعمال تغییرات در برنامه‌ریزی و یا اصولاً برنامه‌ریزی مجدد تجهیزات کنترلی، منطق جدید را اعمال کرد.

۴- در سیستم روشنایی هوشمند، امکان تعریف منطق‌های روشنایی یکپارچه به راحتی میسر می‌گردد.

۵- برنامه‌ریزی متمرکز مبتنی بر زمان

۶- برنامه‌ریزی جهت ایجاد روشنایی در صورت حضور ساکنین و یا عبور افراد

۷- کنترل روشنایی بوسیله کاهنده‌های اتوماتیک ولتاژ

۸- کنترل کلیدها بوسیله ریموت کنترل

۹- ایجاد روشنایی مناسب با تلفیق نور طبیعی و مصنوعی به وسیله کنترل خودکار پرده‌ها

۱۰- کنترل روشنایی براساس شدت روشنایی محیط

۱۱- ایجاد نور مناسب و مطلوب و جلوگیری از اتلاف انرژی

مصالح هوشمند

مصالح هوشمند مصالحی هستند که رویدادهای محیطی را حس و اطلاعات بدست آمده را پردازش کرده و نسبت به محیط و شرایط واکنش مناسب را نشان می‌دهند. به عبارتی دارای توانایی ذاتی در جهت پاسخگویی سریع به محیط هستند. این مصالح را می‌توان به گروه‌های زیر تقسیم کرد:

- قابلیت تغییر خاصیت
- قابلیت مبادله انرژی
- موقعیت یا اندازهٔ گسسته
- قابلیت برگشت پذیری

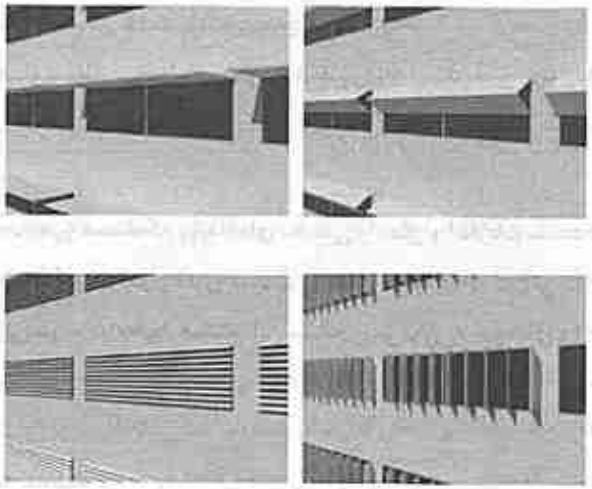
مصالح هوشمند ممکن است به عنوان یک جایگزین برای مصالح مرسوم در بسیاری از اجزاء و عملکردها مطرح شده باشد، اما اکثر مصالح هوشمند رفتارهای فعال را در ذات خود دارند و

همچنین به عنوان تکنولوژی قابلیت و پتانسیل اجرا دارند. به عنوان مثال شیشه الکتروکرمیک می‌توانند همزمان یک مصالح شیشه‌ای، یک پنجره، یک سیستم دیوار پرده‌ای، یک سیستم کنترل نور پردازی و یا یک سیستم سایه‌اندازی اتوماتیک باشد. این رفتارها موجب می‌شود محصول به گروه‌های جداگانه متعددی طبقه‌بندی شود که ارائه آن را به عنوان یک کارکتر چندبعدی با کاربردهای گوناگون برای معمار سخت می‌کند.

کنترل سایه‌بان‌ها و منعکس‌کننده‌ها

هدف اصلی از طراحی سایبان، کاهش گرمای ورودی ناشی از تابش مستقیم خورشید و در عین حال بیشینه کردن استفاده از نور طبیعی می‌باشد. سایبان‌ها به دو دسته سایبان‌های ثابت و متحرک تقسیم می‌شوند. سایبان‌های متحرک دارای دو گروه دستی و موتوردار می‌باشند.

در شکل ۱۳۱، گونه‌های مختلفی از پاسخگویی پوسته به تابش آفتاب و شیوه‌های کنترل آن توسط سایبان‌های خارجی و داخلی نشان داده شده است.



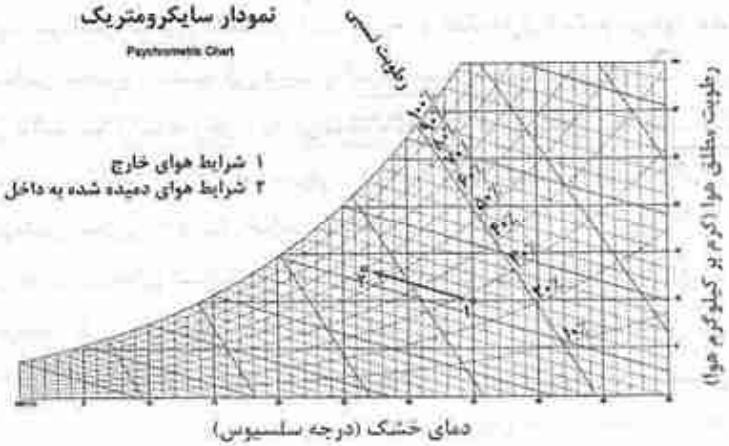
شکل ۱۳۱ گونه‌های مختلفی از پاسخگویی پوسته به تابش آفتاب و شیوه‌های کنترل آن توسط سایبان‌های خارجی

پیوست ۱۴ تشریح برخی سیستم‌های تأسیساتی مطرح

پ۱۴-۱ اصول سیستم سرمایش تبخیری مستقیم

اساساً عملکرد سیستم سرمایش تبخیری مستقیم بر تبدیل گرمای محسوس به گرمای نهان استوار است. هوای غیر اشباع هنگامی‌که در معرض آب آزاد و سردتر قرار می‌گیرد (در حالتی که تأثیر عوامل محیط خارج به حداقل رسیده باشد)، با تبخیر آب و با گرفتن گرمای نهان لازم از هوا، رطوبت هوا افزایش و دمای آن کاهش می‌یابد.

در این فرایند، هر چند دمای هوا کم می‌شود، ولی این تغییر به بهای افزایش رطوبت نسبی آن صورت می‌گیرد (شکل ۱۳۲).



شکل ۱۳۲ فرایند سرمایش تبخیری ایدئال در نمودار سایکرومتریک

تبادل گرمای محسوس به نهان می‌تواند تا دستیابی به هوای اشباع ادامه یابد. این فرایند را اشباع بی دررو می‌نامند، چرا که هیچ‌گونه حرارتی با محیط خارج تبادل نمی‌شود.

اکثر سیستم‌های سرمایش تبخیری مستقیم بر پایه فرایند اشباع بی دررو پایه‌گذاری شده‌اند. در نوعی از سرمایش تبخیری، در حالت استفاده از آب به صورت سیکل بسته، دمای آب تقریباً برابر با دمای مرطوب هوا در نظر گرفته می‌شود. در این حالت، آب مداوماً در سیستم می‌چرخد و مجدداً در معرض هوای ورودی قرار می‌گیرد.

به صورت تئوری، فرض می‌شود که دمای آب در این فرایند ثابت می‌ماند و هنگامی‌که در معرض هوا قرار می‌گیرد، نه کاهش و نه افزایش می‌یابد. در حالت بهینه، باید تمامی انرژی مبادله‌شده در اثر تبخیر، تنها برای سرمایش هوا صرف گردد و موجب سرد شدن آب نگردد. لذا در این حالت، برای دستیابی به میزان سرمایش مشخص، باید میزان آب مصرفی تنظیم گردد، تا از اضافه شدن بی‌رویه رطوبت به هوا جلوگیری شود.

در عمل، معمولاً آب مقداری از گرمای محسوس خارجی را از مخزن آب، پمپ، لوله‌های ورود آب جبرانی (برای جایگزینی آب تبخیر شده)، اصطکاک در مسیر چرخش آب، انتقال حرارت با محیط اطراف و گرمای تابشی خورشید دریافت می‌کند، و در نتیجه، فرایند اشباع بی دررو در سرمایش تبخیری یک فرض ایده ال و دست‌نیافتنی است.

هنگامی‌که آب در جریان دارای دمایی بالاتر از دمای مرطوب هوای ورودی باشد، این فرایند مشابه فرایند سرمایشی در برج خنک کن است و موجب خنک‌سازی آب‌گرم می‌شود. معمولاً، در مبحث سرمایش تبخیری مستقیم، این فرایند را گذر یک‌طرفه یا سیستم‌های بدون پمپ می‌نامند.

در این فرایند، هوا و آب همزمان سرد می‌شوند، و بخشی از انرژی تبادل شده صرف خنک‌سازی آب می‌گردد. بدیهی است گرم‌بودن آب مصرفی بالا رفتن دما و رطوبت موجود در هوای خروجی از سیستم سرمایش تبخیری را به‌دنبال خواهد داشت.

رسیدن به شرایط هوای اشباع با دستگاه‌های متداول دست‌نیافتنی است. گذر آسان هوا از میان پدهای[1] مرطوب، با در نظر گرفتن ضخامت‌هایی کمتر ۵۰ میلی‌متر (۲ اینچ) محقق می‌شود. در چنین شرایطی، قسمتهایی از پد خشک می‌ماند و بخشی از هوای عبوری از آن در معرض رطوبت

۱. پد بستری است که به منظور تماس بهتر آب و هوا از آن استفاده می‌شود و در تجهیزات مختلف، ممکن است از جنس پوشال، سلولز، فایبرگلاس، الیاف فلزی و غیره باشد (در ادامه بیشتر بحث می‌شود).

قرار نمی‌گیرد. از طرف دیگر، در اکثر موارد، به‌دلیل درزبندی ناکافی، هوای بیرون به داخل کولر نشت می‌کند و موجب کاهش بیشتر توان سرمایش می‌شود. باید عنوان نمود که در ایرواشرهای با کیفیت بالا نیز، به‌دلیل وجود فاصله بین افشانک‌ها، بخشی از هوای خشک ورودی به دستگاه در معرض پاشش قطرات آب قرار نمی‌گیرد و بدون هیچ‌گونه تغییری عبور می‌نماید.

در کولرهای تبخیری بسیار نادری، پدها به‌صورت یکنواخت‌تری خیس می‌شوند و رطوبت‌دهی به هوای ورودی در شرایط بهتری صورت می‌گیرد؛ ولی حتی در پدهای سلولزی و فایبرگلاس بزرگ با ضخامت ۶۰ سانتی‌متر (۲۴ اینچ) نیز رسیدن به شرایط هوای اشباع امکان‌پذیر نیست.

پدهای فشرده‌تر با سطوح مرطوب بیشتر، افشانک‌های نزدیک‌تر و همچنین سرعت هوای کمتر باعث تماس بیشتر هوا و آب و افزایش رطوبت هوای خروجی از دستگاه می‌شوند. البته در چنین شرایطی، لازم خواهد بود فن‌ها و پمپ‌های قوی‌تری مورد استفاده قرار گیرد، و این امر افزایش مصرف انرژی را به‌همراه خواهد داشت.

در انواع ارزان‌قیمت کولرهای تبخیری مستقیم از نوع قطره‌ای، رطوبت نسبی هوای خروجی از دستگاه معمولاً بین ۵۰ تا ۷۰٪ است، در حالی‌که در انواع دارای پدهای افشانک‌دار، پدهای دورانی، پدهای صلب و ایرواشرها، رسیدن به رطوبت نسبی ۹۰٪ امکان‌پذیر می‌باشد. کمیت بازده سرمایش یا اشباع[1] بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$E_s = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_3}$$

که:

E_s : بازده (راندمان) اشباع بر حسب درصد

t_1 : دمای خشک هوای ورودی به کولر تبخیری

t_2 : دمای خشک خروجی از کولر تبخیری

t_3 : دمای تر هوای ورودی به کولر تبخیری

بازده (راندمان) اشباع وابسته به طراحی تجهیزات، شرایط مختلف کارکردی و تنظیمات دستگاه است. بازده اشباع به شرایط آب و هوایی و رطوبت نسبی هوا بستگی ندارد.

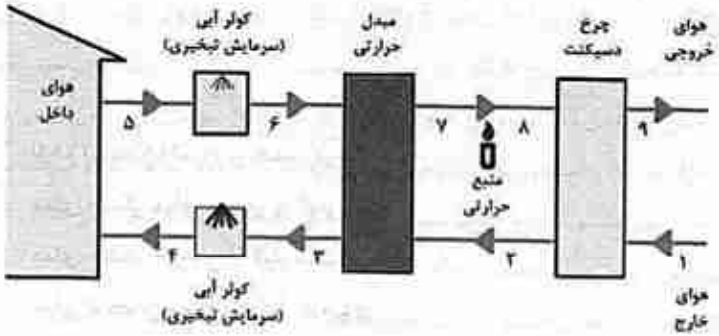
۱. Cooling or Saturation Efficiency

پ۱۴-۲ تشریح برخی سیستم‌های سرمایی تبخیری بهبود یافته

پ۱۴-۲-۱ سیستم‌های سرمایی جذبی جامد (چرخ دسیکنت[1])

در مناطق آب و هوایی مرطوب، در اوقات گرم سال، ایجاد شرایط آسایش و تأمین سرمایش مورد نیاز با استفاده از سیستم‌های تبخیری مستقیم غیر عملی است. در چنین شرایطی، به‌طور متداول از سیستم‌های سرمایشی تبریدی مکانیکی، که دارای مصرف انرژی زیادی هستند، استفاده می‌شود. یکی از راه‌حل‌های دیگر، استفاده از سیستم‌های طراحی‌شده بر پایه مواد رطوبت‌گیر، به‌منظور پیش‌آماده‌سازی هوای تهویه شده به داخل ساختمان می‌باشد. سیستم سرمایی دسیکنت، سیستمی است که در آن، در شرایط آب و هوایی مختلف، با تلفیق چرخ رطوبت‌گیر با کولرهای تبخیری مستقیم و غیر مستقیم، شرایط آسایش تأمین می‌گردد. کاهش هزینه انرژی الکتریکی، استفاده از صددرصد هوای تازه، عدم استفاده از مبرد CFC یا HCFC، کاهش هزینه نگهداری، بالابردن کیفیت هوای داخل از جمله مزایای این نوع سیستم‌هاست.

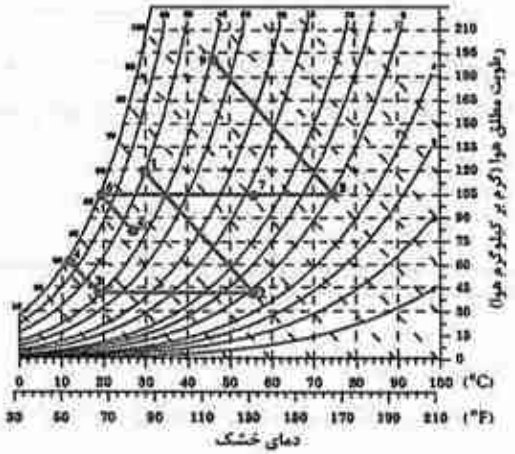
در شکل ۱۳۳ سیستم سرمایشی دسیکنت در حالت تهویه ای نشان داده شده است این سیستم در این حالت یک سیکل باز میباشد و فرایندهای مختلف هر یک از اجزاء این سیکل متناظرا در شکل ۱۳۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۳۳ شمای کلی سیستم سرمایشی دسیکنت در حالت تهویه‌ای

۱. Dessicant wheel

هوای بیرون با شرایط طرح خارج (نقطه۱) وارد چرخ دسیکنت (رطوبت‌گیر) می‌شود و با از دست دادن رطوبت خود به دمای محسوس بالاتری می‌رسد. این فرایند بر روی خط انتالپی ثابت صورت می‌گیرد (نقطه ۲). هوا پس از گذشتن از مبدل حرارتی هوا به هوا، بدون تغییر رطوبت مطلق، دچار کاهش دمای محسوس می‌شود (نقطه۳). در مرحله بعد، یک سیستم تبخیری مستقیم به هوا رطوبت‌زنی می‌کند (نقطه ۴). هوای عبور کرده از این مسیر وارد فضای داخل ساختمان می‌شود، تا شرایط آسایشی لازم در محیط داخل را تأمین کند. هوای داخل فضاهای کنترل‌شده (نقطه ۵)، در مسیر خروج، ابتدا رطوبت‌زنی می‌شود (نقطه ۶). سپس از مبدل حرارتی عبور می‌کند، و از این راه، حرارت هوای مسیر رفت را دریافت می‌کند (نقطه ۷). در ادامه، با عبور از یک منبع حرارتی، دمای خشک هوای خروجی افزایش و رطوبت نسبی آن کاهش می‌یابد (نقطه ۸). در این حالت هوای گرم می‌تواند رطوبت موجود در چرخ دسیکنت (رطوبت‌گیر) را جدا و آن را خشک نماید، تا چرخ دسیکنت (رطوبت‌گیر) برای جذب رطوبت از مسیر رفت آماده شود. پس از این مرحله، هوا از سیستم خارج می‌شود (نقطه ۹).



شکل ۱۳۴ فرایندهای سیستم سرمایشی دسیکنت درحالت تهویه‌ای بر روی نمودار سایکرومتریک

این سیستم، در حالت تهویه‌ای دارای یک سیکل کاملاً باز است و ۱۰۰ درصد هوای تازه به فضای داخل ساختمان وارد می‌شود. نکته دیگر آن‌که رطوبت‌زن و مبدل حرارتی در مسیر برگشت، و

سیستم تبخیری مستقیم موجود در مسیر رفت، به‌عنوان یک سیستم سرمایشی تبخیری غیرمستقیم عمل می‌کنند، و به صورت دو مرحله‌ای، هوا را به شرایط مورد نظر می‌رسانند.

پیوست ۱۵ اصول بهره‌گیری بهینه از روشنایی طبیعی و مصنوعی

پ۱۵-۱ سیستم‌های نورپردازی با نور طبیعی

پ۱۵-۱-۱ روشنایی طبیعی و مزایای آن

استفاده از نور طبیعی، یکی از کارآمدترین روش‌ها برای به کارگیری انرژی خورشیدی در بنا می‌باشد. عوامل مختلفی که بر میزان ورود نور طبیعی به داخل فضا تأثیر می‌گذارند عبارتند از: اقلیم، هندسه و کالبد ساختمان، ابعاد و نحوه قرارگیری جدارهای نورگذر در نماها، وضعیت و مشخصات محیط اطراف بنا، کاربری ساختمان، جهت‌گیری ساختمان، مصالح جدارهای شیشه‌ای، ابعاد و محل قرارگیری جدار نورگذر، نحوه اجرا و جزئیات اجرایی نصب سیستم نورگذر، سیستم‌های کنترلی نور روز و میزان ورود تابش آفتاب به داخل فضا و همچنین نوع و مشخصات سایبان‌های احتمالی داخلی و خارجی.

لازم به توضیح است، در صورتی‌که نور طبیعی واردشده به داخل فضا، کنترل شده نباشد می‌تواند باعث ایجاد پدیده خیرگی[1]، عمق نفوذ کم، ایجاد انعکاس آزاردهنده، عدم یکنواختی و غیر قابل کنترل بودن آن شود.

به طور کلی، روشنایی طبیعی در داخل ساختمان به دو طریق تأمین می‌گردد:

- منابع اصلی که شامل نور خورشید (تابش مستقیم) و نورپخشی آسمان (تابش پراکنده) می‌باشد.
- منابع فرعی که شامل نور حاصل از انعکاسات سطوح مختلف یا پخش‌کننده‌های بازتابنده یا نیمه شفافی است که خود به وسیله منابع اصلی یا دیگر منابع ثانوی روشن شده‌اند، می‌باشد.

۱. Glare

دو رویکرد متفاوت برای استفاده از نور طبیعی در ساختمان‌ها وجود دارد:

۱- جلوگیری از ورود نور بیش از حد به فضا توسط سایبان‌ها، پرده‌ها، مشبک‌ها و روش‌های مختلف دیگر

۲- بهره‌گیری حداکثر از نور طبیعی به کمک انعکاسات حاصل از سطوح مختلف و هدایت نور طبیعی به نقاط مورد نظر در داخل فضا

در این قسمت، به انواع سیستم‌های گوناگون نورپردازی با نور طبیعی به منظور بهره‌گیری حداکثر از نور طبیعی پرداخته می‌شود.

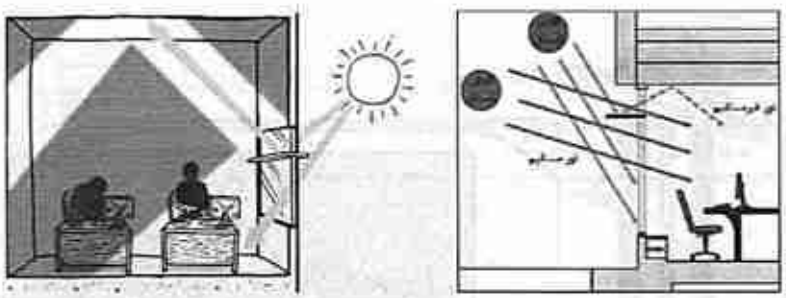
در ادامه، به تعدادی از این سیستم‌های نورپردازی با نور طبیعی اشاره شده است.

پ۱۵-۱-۲ طاقچه نوری

طاقچه نوری[1] به صورت یک سایبان افقی است که سطح فوقانی آن از جنس مصالح منعکس‌کننده می‌باشد. این سیستم می‌تواند در داخل یا خارج فضا یا هر دو طرف قرار گیرد. محل قرارگیری این سیستم، از لحاظ ارتفاعی باید به‌گونه‌ای باشد که ضمن عدم ایجاد اختلال در دید ساکنین، نور منعکس‌شده از سطح فوقانی طاقچه نوری را به سطح زیرین سقف انعکاس دهد و سپس آن را در فضا پراکنده نماید. با این کار، یک منبع نوری ثانویه روی سقف ایجاد می‌گردد که بسته به زاویه برخورد، زاویه ارتفاع، زاویه سمت و شدت روشنایی اشعه خورشید، میزان روشنایی و محل قرارگیری این منبع ثانویه ایجادشده روی سقف در طول سال متفاوت می‌باشد. به‌عنوان مثال، هر چه زاویه تابش کمتر باشد، این منبع ثانویه در فاصله دورتری نسبت به جدار نورگذر قرار می‌گیرد و عمق نفوذ نور افزایش می‌یابد (شکل ۱۳۵).

لازم به توضیح است، جنس سطح فوقانی طاقچه نوری، محل قرارگیری آن، ابعاد و زاویه قرارگیری آن نسبت به پنجره، از عوامل اصلی تعیین‌کننده میزان عمق نفوذ نور و شدت روشنایی فضای داخل می‌باشد.

۱. Light Shelf



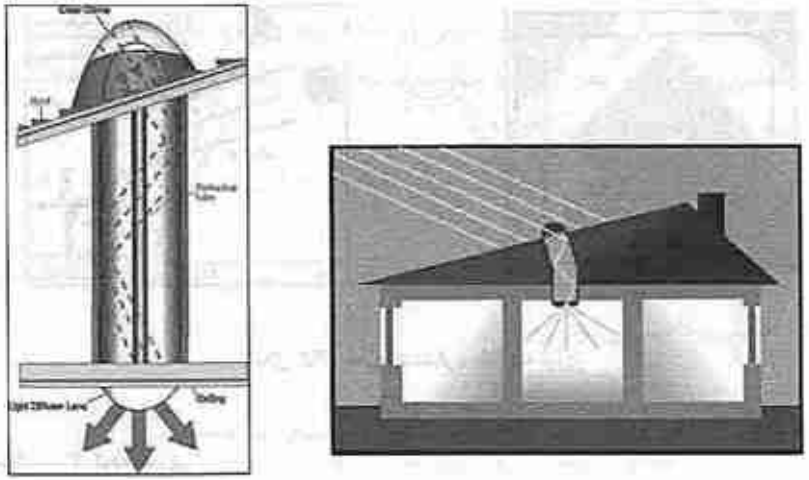
شکل ۱۳۵ نحوه عملکرد طاقچه نوری

پ۱۵-۱-۳ لوله نوری

لوله‌های نوری[1] به منظور انتقال و پخش نور طبیعی در داخل فضا به کار می‌رود. این سیستم بیشتر در سقف ساختمان‌ها به عنوان یک منبع نوری ثانویه نصب می‌گردد. جدار این لوله‌ها از مصالح منعکس‌کننده تشکیل شده است تا بتواند حداکثر نور روز را به داخل فضا هدایت نماید (شکل ۱۳۶). از این سیستم می‌توان در فضاهایی که فاقد پنجره می‌باشد، بهره جست. به طور کلی، لوله‌های نوری شامل اجزای زیر می‌باشد:

- گنبد مدور شیشه‌ای، این گنبد در بالاترین قسمت سیستم (معمولا روی بام ساختمان) قرار می‌گیرد و نور طبیعی را از تمامی جهات دریافت می‌کند، در حقیقت این جزء، به صورت کلکتور عمل می‌کند. نوع این شیشه را می‌توان به گونه‌ای انتخاب نمود که مانع از تابش اشعه زیان‌آور فرابنفش شود.
- لوله منعکس‌کننده، هر چه طول این لوله کمتر و ضریب انعکاس آن بیشتر باشد، انتقال نور به نحو بهتری انجام می‌شود.
- پخش‌کننده، که نور طبیعی دریافت‌شده را در داخل فضا پخش می‌کند و اجازه نمی‌دهد حرارت در آن نقطه، بیش از حد گردد. در حالی‌که هنگام استفاده از نورگیرهای سقفی، این مشکل (گرمایش بیش از حد در یک نقطه) مشاهده می‌گردد.

۱. Light Tube, Tubular Daylighting Device, Sun Pipe, Sun Scope, Daylight Pipe

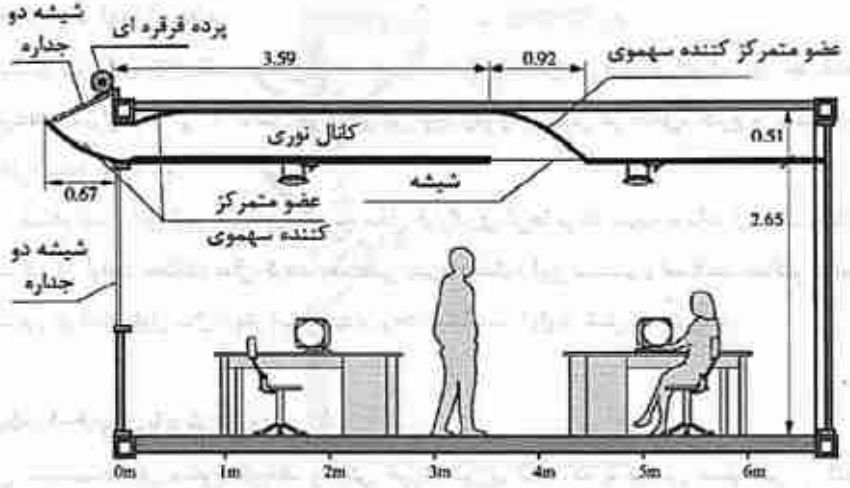


شکل ۱۳۶ نحوه عملکرد لوله نوری

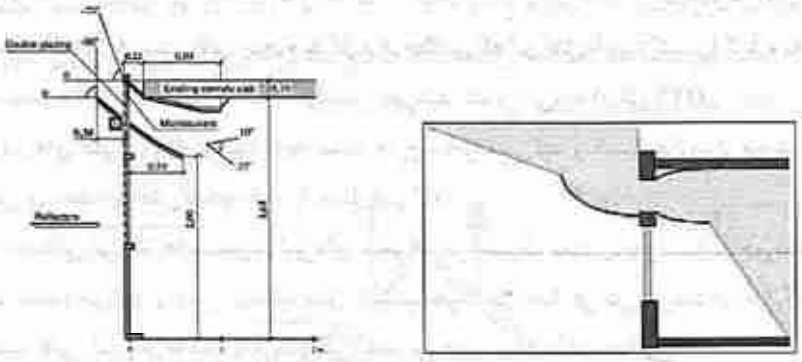
پ۱۵-۱-۴ سیستم متمرکزکننده سهموی

در سیستم متمرکزکننده سهموی[1]، به‌منظور هدایت نور از سطوح سهموی‌شکل استفاده می‌گردد. این سطوح، پس از دریافت نور پراکنده، آن‌را متمرکز می‌کنند، و سپس آن‌را به سطح موردنظر انعکاس می‌دهد. در نمونه‌ای از این سیستم، می‌توان از چند متمرکزکننده سهموی‌شکل در داخل سقف کاذب استفاده نمود، و سپس نور هدایت شده توسط این سیستم را، توسط لوله‌های نوری تعبیه‌شده در سقف کاذب، به داخل فضا هدایت نمود (شکل ۱۳۷). نوع دیگر این سیستم می‌تواند به‌صورت یکپارچه با سقف اجرا گردد. همچنین، می‌توان از این سیستم، به‌صورت کرکره‌هایی در مقابل پنجره استفاده نمود (شکل ۱۳۸).

۱. Anidolic Systems



شکل ۱۳۷ اجزای تشکیل‌دهنده سیستم متمرکزکننده سهموی



شکل ۱۳۸ نحوه عملکرد و نمونه مشخصات ابعادی سیستم متمرکزکننده سهموی

پ۱۵-۱-۵ لوور آیینه‌ای

سیستم لوور آیینه‌ای[1] ثابت، ضمن ایجاد تغییر مسیر در تابش پراکنده و انعکاس آن به نقاط موردنظر، میزان خیرگی را کاهش می‌دهد. این نوع لوور را می‌توان در داخل، خارج و یا بین دو جدار شیشه نصب نمود.

هنگام نصب این لوور آیینه‌ای، باید به محل قرارگیری آن‌ها توجه نمود، تا مانع از ایجاد پدیده خیرگی در اوقات مختلف سال گردد. بمنظور بهبود عملکرد این سیستم و استفاده حداکثر از نور طبیعی در تمام طول سال، بهتر است جهت پره‌ها، متناسب با زاویه تابش، تغییر کند.

پ۱۵-۱-۶ پانل با برش لیزری

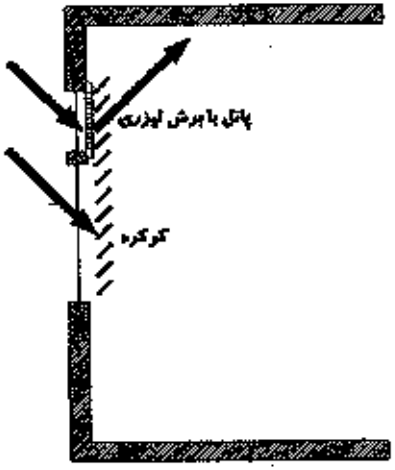
این سیستم، شامل سطوح کوچک و برش خورده لیزری است که با فواصل بسیار کم در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. با کاربرد این پانل‌ها، مقدار زیادی از نور ورودی با زاویه بیشتر از ۱۲۰ درجه منحرف می‌شوند. این پانل‌ها را می‌توان روی شیشه‌های موجود به کار برد یا به عنوان یکی از جدارهای شیشه دوجداره استفاده نمود.

پانل‌های عمودی، نور تابیده‌شده را به سمت سقف منحرف می‌کنند. در نتیجه، می‌توان این پانل‌ها را فقط در قسمت بالایی پنجره به کار برد. هنگامی که این پانل‌ها در ترکیب با کرکره به کار روند، ضمن تأمین نور طبیعی، کسب حرارت از خورشید کاهش می‌یابد (شکل ۱۳۹).

پانل‌های افقی، نور تابیده‌شده را به سمت خارج منحرف می‌کند و کسب حرارت از خورشید را کاهش می‌دهد، در حالی‌که دید افراد را مختل نمی‌کند.

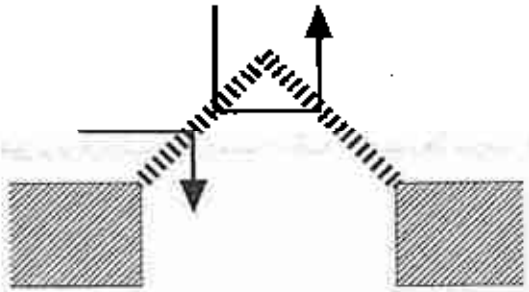
با طراحی این پانل‌ها به صورت لوورهای متحرک، در وضعیت عمودی، نور مستقیم خورشید به سقف تابنده می‌شود و بدین ترتیب، عمق نفوذ نور در داخل فضا افزایش می‌یابد در حال‌که در وضعیت افقی، این پانل‌ها مانع از ورود بخش اعظم نور خورشید به داخل فضا می‌گردند.

۱. Mirrored Louver



شکل ۱۳۹ نمونه‌ای از یک پانل با برش لیزری در ترکیب با کرکره

از این پانل‌ها می‌توان در نورگیرهای سقفی استفاده گردد. در حالتی که این پانل‌ها به‌گونه‌ای قرار گیرند که یک سقف شیب‌دار دوطرفه را ایجاد کنند (شکل ۱۴۰)، قسمت‌های بالایی سقف، مقدار زیادی از تابش خورشید را به سمت خارج فضا منحرف می‌کند، در حالی‌که بخش‌های پایینی، نور را به سمت داخل فضا هدایت می‌کنند.



شکل ۱۴۰ نمونه‌ای از یک پانل با برش لیزری در نورگیر سقفی

پ۱۵-۱-۷ پانل منشوری

پانل منشوری[1]، به منظور کاهش کسب حرارت خورشیدی در دوره گرم سال، کنترل پدیده خیرگی و افزایش توزیع نور در داخل فضا، به کار می‌رود.

این سیستم از قطعات دندانه‌ای مسطح از جنس آکرلیک شفاف ساخته شده است و شامل دو قسمت انسدادکننده نور۲ و انتقال‌دهنده نور۳ می‌باشد. عملکرد این سیستم به این ترتیب است که نور تابیده شده به آن یا بازتابانده می‌شود یا پس از تغییر جهت (انکسار) به فضای داخل هدایت می‌شود. قسمت انسدادکننده نور، مانع از ورود تابش دریافت‌شده از خورشید می‌شود و قسمت انتقال‌دهنده نور، حداکثر تابش پراکنده را به فضای داخل هدایت می‌کند. به منظور بهره‌گیری حداکثر از نور طبیعی در تمامی اوقات سال می‌توان از پانل‌های متحرک استفاده نمود. در این حالت، با تغییر پره‌های پانل به وضعیت افقی می‌توان ضمن ایجاد دید مناسب به فضای بیرون، نفوذ تابش پراکنده به داخل افزایش داد.

پ۱۵-۱-۸ ابزارهای طراحی روشنایی طبیعی در ساختمان

محاسبات دستی

یکی از ساده‌ترین روش‌ها، برای طراحی بهینه جهت بهره‌گیری حداکثر از روشنایی طبیعی در ساختمان، انجام محاسبات دستی با استفاده از معادلات ریاضی و نمودارها است. برای این منظور، لازم است میزان نور واردشده از طریق بازشوها (حاصل از منابع اصلی و فرعی و انعکاسات سطوح خارجی) که به مشخصات نوری شیشه و سیستم‌های نورپردازی بستگی دارد و میزان انعکاسات سطوح داخلی محاسبه گردد.

لازم به توضیح است، در محاسبات دستی در شرایط پایدار بسیاری از متغیرها نادیده گرفته می‌شود و تحلیل دقیق‌تر و نزدیک‌تر به واقعیت عملکرد ساختمان‌ها نیازمند انجام محاسبات در حالت ناپایدار است.

۱. Prismatic Panels
۲. Blocking Area
۳. Transmission Area

اندازه‌گیری‌های تجربی در مقیاس واقعی

در روش اندازه‌گیری تجربی در مقیاس واقعی، حس‌گرها و ابزارهای اندازه‌گیری موردنظر در داخل اتاق آزمون قرار داده می‌شود و شدت روشنایی و سایر فاکتورهای موردنیاز اندازه‌گیری می‌شود.

محاسبات حاصل از روش اندازه‌گیری تجربی علیرغم این‌که از دقت بالایی برخوردار است، هزینه‌بر بوده و سبب طولانی شدن زمان تحقیق می‌گردد.

استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز

با توجه به پیچیده بودن محاسبات و تعدد عوامل مداخله‌گر در طراحی روشنایی طبیعی، می‌توان از نرم‌افزارهای رایانه‌ای بهره جست.

به طور کلی، دو روش عمده برای شبیه‌سازی روشنایی که در نرم‌افزارهای گوناگون استفاده می‌شوند عبارتند از: روش ردیابی پرتو[1] و روش رادیوسیتی[2].

در روش ردیابی پرتو، نرم‌افزار، پرتوهایی را از نقطه‌ی دید ناظر ساطع می‌کند و بازخورد آن‌ها را پس از برخورد به نقاط مختلف داخل اتاق بر روی یک صفحه‌ی فرضی تصویر می‌کند. این روند تا تصویر شدن تمامی نقاط اتاق به همین روش ادامه می‌یابد.

در روش رادیوسیتی، نرم‌افزار تمامی صفحات را به تعداد زیادی از صفحات کوچکتر تبدیل می‌کند و میزان نوری را که در بین صفحات رد و بدل می‌شود، محاسبه می‌نماید. در این روش نورپردازی از منابع نور آغاز می‌شود و مسیرهای بازتاب نور در فضای داخلی دنبال می‌شود.

این نرم‌افزارها با انجام محاسبات متوالی، امکان آزمودن گزینه‌های مختلف و بازنگری چندباره آن‌ها را برای دستیابی به پاسخی صحیح فراهم می‌کنند.

۱. Ray Tracing
۲. Radiosity

پ۱۵-۳ سیستم‌های نورپردازی با نور مصنوعی

پ۱۵-۳-۱ انواع مختلف لامپ‌ها

پ۱۵-۳-۱-۱ لامپ‌های التهابی

لامپ‌های التهابی به‌واسطه گرم شدن یک سیم از جنس تنگستن، نوری با توزیع یکنواخت (نسبت به طول‌موج) تولید می‌کند.

لامپ‌های التهابی می‌توانند از نوع معمولی یا هالوژن باشند.

لامپ‌های التهابی معمولی

بهره نوری لامپ‌های التهابی ساده (نوع A) کم (بین ۱۱ تا ۱۵ لومن بر وات) و عمر مفید آنها کوتاه (حدود ۱۰۰۰ ساعت) است. لامپ‌های معمولی نوری زردرنگ (حدود ۲۷۰۰ کلوین) دارند، و در برخی موارد، با افزایش دمای سیم (تا حدود ۳۰۰۰ کلوین) رنگ مطلوب‌تر (سفیدتر) تولید می‌شود، ولی این امر باعث کاهش عمر مفید لامپ می‌شود. بخش قابل توجهی از تابش این نوع لامپ‌ها در محدوده فروسرخ می‌باشد، و حدود ۹۸ درصد انرژی الکتریکی به گرما تبدیل می‌شود.

در برخی از لامپ‌های التهابی بخش تحتانی شیشه لامپ با یک پوشش نقره‌ای منعکس‌کننده تکمیل می‌گردد (لامپ‌های نوع R و PAR)، تا بخش قابل توجهی از نور و حرارت تولید شده که در حالت عادی به پشت لامپ می‌تابد به طرف جلو منعکس شود. لامپ‌هایی نیز با یک منعکس‌کننده دیکروئیک تولید می‌شود که تنها بخش مرئی نور را منعکس می‌کنند، و در نتیجه، تابش بی‌رویه گرما تا حد قابل توجهی کاهش می‌یابد. پوشش‌های منعکس‌کننده بهره نوری لامپ را افزایش می‌دهند و این امکان را فراهم می‌سازند که تابش به‌صورت جهت‌دارتری صورت گیرد.

در کشورهای صنعتی، کاربرد این نوع لامپ‌ها به طور قابل توجهی کاهش یافته است.

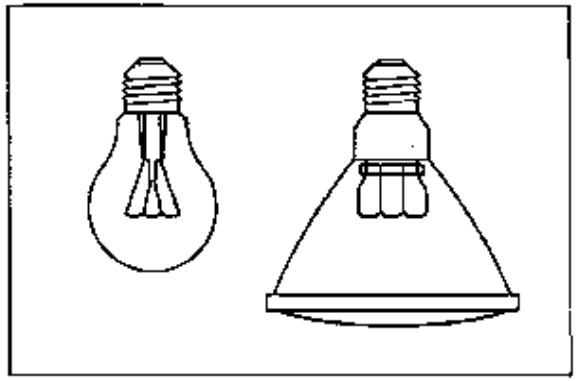
لامپ‌های التهابی هالوژن

در این نوع لامپ‌ها، با اضافه کردن گازهای هالوژن به ترکیب گازهای داخل محفظه لامپ، و کوچک کردن ابعاد لامپ، دمای رشته تنگستن به‌طور محسوسی افزایش می‌یابد (بین ۳۰۰۰ تا ۳۳۰۰ کلوین)، این امر سبب می‌شود که بخش قابل توجهی از نور تولید شده در محدوده مرئی باشد. به این ترتیب، نور سفیدتر، و با توزیع یکنواخت در محدوده نور مرئی خواهد بود.

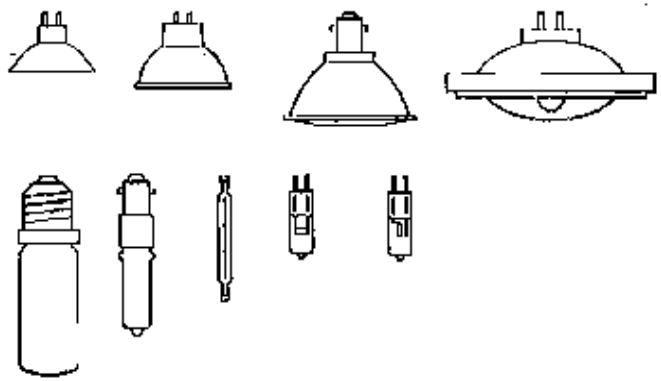
بهره نوری و شاخص نمود رنگ این نوع لامپ‌ها به‌طور چشمگیری بالاتر از مقادیر مربوط به لامپ‌های التهابی معمولی است. در هالوژن‌های معمولی، بهره نوری بین ۱۴ تا ۲۵ و در لامپ‌های با منعکس‌کننده دیکروئیک بین ۳۵ تا ۴۵ لومن بر وات است.

از نقطه نظر وفاداری رنگ، این لامپ‌ها بهترین کیفیت را در بین لامپ‌های متداول دارند، و برای نورپردازی بهترین گزینه محسوب می‌شوند.

با توجه به کاربرد گازهای خاص در لامپ‌های التهابی، در اکثر موارد، این نوع لامپ‌ها از نقطه‌نظر زیست‌محیطی دارای تبعات می‌باشند.



شکل ۱۴۱ نمونه لامپ‌های التهابی



شکل ۱۴۲ نمونه لامپ‌های التهابی هالوژن

پ۱۵-۲-۱-۲ لامپ‌های تخلیه در گاز

در این نوع لامپ‌ها، با اعمال ولتاژی بالا به دو انتهای یک محفظه شیشه‌ای پر شده با ترکیب گازی خاصی، جریانی از الکترون‌های پرانرژی تولید می‌شود و از داخل گاز می‌گذرد. این الکترون‌ها به اتم‌های درون گاز برخورد می‌کنند و سبب تحریکشان می‌شوند. به این حالت اصطلاحاً حالت گاز برانگیخته می‌گویند. برگشتن الکترون‌های تحریک‌شده باعث ساطع شدن تابش‌های با طول موج مشخص می‌گردد.

لامپ‌های تخلیه در گاز را از نظر روش تولید نور مرئی می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: یکی دسته لامپ‌هایی که مستقیماً نور مرئی تولید می‌کنند مانند لامپ بخار جیوه و لامپ بخار سدیم، و دسته دیگر لامپ‌هایی که تولید تابشی در محدوده غیرمرئی دارند، که در اثر برخورد با یک پوشش فلورسنت بر روی بدنه شیشه‌ای لامپ، تابش نوری در محدوده مرئی را به دنبال دارد. لازم به ذکر است با انتخاب نوع ماده فلورسنت مورد استفاده، می‌توان تا حد زیادی طیف نوری تولید شده را کنترل کرد.

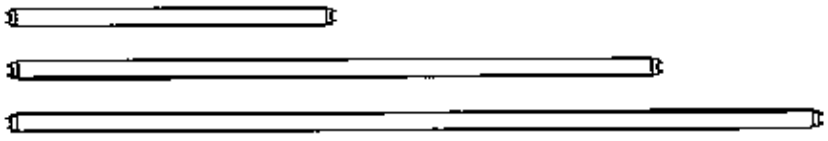
از سوی دیگر، با توجه به فشار گاز داخل لامپ، می‌توان این لامپ‌ها را به دو دسته کم‌فشار (شامل لامپ‌های فلورسنت، فلورسنت فشرده و سدیمی کم‌فشار) و پرفشار (شامل لامپ جیوه‌ای پرفشار، متال هالید و سدیمی پرفشار) تقسیم کرد.

لامپ تخلیه در گاز را نمی‌توان مستقیماً به منبع تغذیه الکتریکی متصل کرد، زیرا با افزایش یونیزاسیون گاز، مقاومت الکتریکی آن کاهش، و جریان الکتریکی و یونیزاسیون افزایش می‌یابد. اگر این چرخه به‌صورت کنترل‌نشده ادامه یابد، لامپ در کمتر از یک ثانیه می‌سوزد. برای محافظت لامپ، از یک مقاومت یا امپدانس سوازی (چوک یا بالاست) استفاده می‌شود.

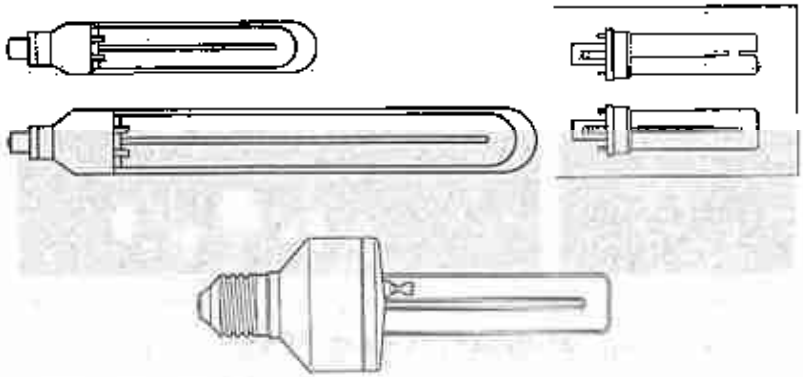
تغییر رنگ نور تولیدشده در این نوع لامپ‌ها با انتخاب نوع و فشار گاز، و همچنین ترکیب مواد فلورسنت صورت می‌گیرد. بهره نوری و عمر مفید این نوع لامپ‌ها زیاد است، ولی با توجه به این نکته که اتم‌های گاز یا ماده فلورسنت تحریک‌شده نوری با طول موج مشخص تولید می‌کنند، شاخص نمود رنگ در این نوع لامپ‌ها کم است. افزایش فشار گاز یکی از راه‌حل‌هایی که در اکثر موارد باعث افزایش محدوده طول‌موج می‌شود. راه‌حل دیگر افزایش انواع مواد فلورسنت مورد استفاده است که می‌تواند تا حد زیادی شاخص نمود رنگ را بهبود دهد، ولی این اقدام با کاهش بهره نوری لامپ همراه است. نوع سیستم کنترل جریان (بالاست) نیز می‌تواند به‌طور چشمگیری بر روی بهره نوری و عمر مفید این نوع لامپ‌ها تأثیر بگذارد.

در صورت استفاده از سیستم‌های کنترل جریان (بالاست) الکترونیکی، بهره نوری اکثر لامپ‌های تخلیه در گاز بیش از ۶۰ لومن بر وات، و عمر مفید آنها بیش از ۷۰۰۰ ساعت خواهد بود. با توجه به کاربرد گازهای خاص در این لامپ‌ها و مواد فلورسنت، این نوع لامپ‌ها نیز از نقطه‌نظر زیست‌محیطی دارای تبعات می‌باشند. از طرف دیگر، بخش قابل توجهی از طیف نور ساطع شده از این نوع لامپ‌ها در محدوده فرابنفش است، و می‌تواند برای سلامتی کاربرانی که به‌مدت طولانی در معرض تابش آنها قرار می‌گیرند مشکل‌ساز شود.

از طرف دیگر، با توجه به این نکته که افزایش دفعات روشن و خاموش شدن اکثر این نوع لامپ‌ها تأثیر منفی قابل ملاحظه‌ای بر روی عمر مفید آنها دارد، کاربرد آنها در فضاهایی که لامپ‌ها دائماً روشن و خاموش می‌شوند (نظیر راه‌پله‌های ساختمان‌های مسکونی) به هیچ وجه توصیه نمی‌شود.



شکل ۱۴۳ نمونه لامپ‌های تخلیه در گاز لوله‌ای (فلورسنت)



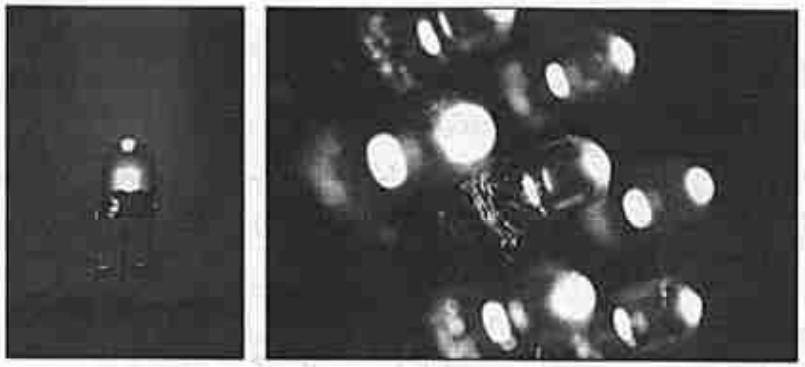
شکل ۱۴۴ نمونه لامپ‌های تخلیه در گاز فشرده

پ۱۵-۲-۱-۳ لامپ‌های دیودی ساطع‌کننده نور (ال.ای.دی)

در سال‌های اخیر، فناوری تولید لامپ‌های ال.ای.دی (با دیودهای ساطع‌کننده نور) با پیشرفت شگرفی همراه بوده است، و این امر افزایش توجیه فنی و اقتصادی کاربرد این نوع لامپ‌ها را به همراه داشته است. در حال حاضر، لامپ‌های ال.ای.دی با بهره نوری بیش از ۱۰۰ لومن بر وات تولید می‌شود، و جهت‌دار بودن تابش این نوع لامپ‌ها، اتربخشی نورپردازی را دو چندان کرده‌است.

البته باید در اینجا به این نکته اشاره کرد که همانند لامپ‌های تخلیه در گاز، طیف نور ساطع شده در محدوده‌های طول موج باریکی صورت می‌گیرد، و این امر باعث کاهش شاخص نمود رنگ این نوع لامپ‌ها (خصوصاً در محدوده رنگ نارنجی) شده است. به همین علت، برای رفع این نقطه ضعف در منابع نوری RGB با چند مؤلفه (سرخ، سبز و آبی)، اقدام به اضافه کردن یک دیود نارنجی می‌شود (ال.ای.دی RGBA با رنگ چهارم عقیقی[1]). روش دیگر، پوشانیدن سطوح لامپ‌های ال.ای.دی موج کوتاه (معمولاً آبی یا فرابنفش) با یک ماده فسفری فلورسنت[2] است. این نوع لامپ‌ها هزینه تولید کمتر و شاخص نمود رنگی بیش از ۷۰ دارند. دمای رنگ در این نوع لامپ‌ها از ۲۷۰۰ تا ۷۰۰۰ کلوین قابل تنظیم است.

این نوع لامپ‌ها بیشترین عمر مفید را دارند (حدود ۳۰۰۰ هزار ساعت)، و به سرعت جایگزین دیگر لامپ‌های مطرح در صنعت روشنایی می‌شوند.



شکل ۱۴۵ جزییات لامپ‌های ال.ای.دی.

۱. RGBA : Red Green Blue Amber

۲. pcLED : Phosphor Converted LED

شکل ۱۴۶ نمونه لامپ‌های ال.ای.دی.

پ۱۵-۲-۲ روش‌های کاهش میزان روشنایی

کاهش میزان روشنایی به روش‌های گوناگونی صورت می‌گیرد. یکی از روش‌های کاهش شدت نور لامپ، استفاده از تجهیزات کاهش‌دهنده نور لامپ است. روش دیگر، در مواردی که منبع نوری دارای چند لامپ است، خاموش کردن یک یا چند لامپ منبع نوری است.

پ۱۵-۲-۲-۱ کاهش‌دهنده‌های نور لامپ‌ها

کاهش انرژی الکتریکی داده‌شده به لامپ‌ها کاهش میزان روشنایی را به دنبال دارد. البته، این روش برای تمام انواع لامپ‌ها قابل استفاده نیست، و عمدتاً برای لامپ‌های التهابی استفاده می‌شود. با کاهش ولتاژ تغذیه این نوع لامپ‌ها می‌توان میزان روشنایی را تا ۱۰۰ درصد کاهش داد. البته، کم شدن ولتاژ، کاهش دمای سیم تنگستن و به تبع آن افزایش طول موج نور تولید شده، و تولید گرما در مدار کاهش‌دهنده ولتاژ را به دنبال دارد، و بیشتر در مورد لامپ‌های هالوژن کاربرد دارد.

کاهش نور لامپ‌های فلورسنت به‌صورت محدودتری (تا ۵۰ درصد) انجام‌پذیر است، و در مورد برخی از لامپ‌های تخلیه در گاز (نظیر لامپ‌های تخلیه گاز فشرده)، کاهش نور لامپ غیر ممکن است. در نتیجه، در صورتی که سیستم‌های کاهش‌دهنده برای بعضی از فضاها در نظر گرفته

فهرست منابع

۱. ریاضی، جمشید، و کاری، بهروز، و ماجدی اردکانی، حسین، "خطرهای میعان در اجزای ساختمانی"، صفه، ش. ۳۳، ۱۳۸۰.

۲. حیدری، شاهین، "دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران"، هنرهای زیبا، ش. ۳۸ ، تابستان ۱۳۸۸، ص‌ص۱۴-۵

۳. Les Ponts Thermiques dans le Batiment, CSTB, juillet (۱۹۹۶)

۴. حیدری‌نژاد، قاسم و دلفانی، شهرام، "دستورالعمل انتخاب شرایط محیط بیرون جهت استفاده در طراحی سیستم‌های حرارتی و تهویه مطبوع برای شهرهای ایران"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ض-۴۶۲، ۱۳۸۶

۵. حیدری‌نژاد، قاسم و همکاران، "آسایش حرارتی"، مرکز تحقیقات ساختمان ومسکن، ک-۵۲۲

۶. دلفانی، شهرام، "راهنمای طراحی و اجرای دودکش‌های ساختمانی"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ض-۵۴۱، ۱۳۹۰

۷. لکنر، نربرت (۱۳۸۵)، "گرمایش، سرمایش، روشنایی - رویکردهای طراحی برای معماران"، ترجمهٔ محمد علی کی‌نژاد و رحمان آذری، تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز

۸. Roaf, Sue, Fuentes, Manuel, and Thomas, Stephanie (۲۰۰۷), "Ecohouse: A Design Guide", Third Edition, Oxford, UK: Architectural Press.

۹. مازریا، ادوارد، "معماری خورشیدی غیرفعال"، ترجمه بیژن آقازاده، نشر پیک ادبیات، ۱۳۸۵

۱۰. Harvey, L.D. Danny (۲۰۰۶), "Handbook on Low-energy Buildings and District-energy Systems: Fundamentals, Techniques, and Examples", London: Earthscan.

۱۱. آدینگتون، میچل و اسکودک، دانیل، "مصالح هوشمند و فن‌آوری‌های جدید"، نشر خاک، ۱۳۸۹