عایق کاری حرارتی ساختمان

عنوان و نام پدیدآور : عایق‌کاری حرارتی ساختمان: انواع عایق‌ها و نحوه اجرا/تالیف مرکز تحقیقات شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت.

مشخصات نشر : تهران: کلید آموزش، ۱۳۸۷.

مشخصات ظاهری : ۸۰ ص.: مصور، جدول.

شابک : 0-37-3552-469-879

وضعیت فهرست‌نویسی : فیپا

موضوع : عایق‌ها و عایق‌سازی حرارتی.

موضوع : ساختمان‌سازی -- مصرف انرژی.

موضوع : انرژی -- مصرف.

شناسه افزوده : شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت. مرکز تحقیقات.

رده‌بندی کنگره : ۱۶ ع / ۱۷۱۵ TH

رده‌بندی دیویی : ۸۳۲/۶۹۳

شماره کتاب‌شناسی ملی : ۱۰۶۲۶۵۵

فهرست مطالب **صفحه**

مقدمه ۷

فصل اول:

مصالح و فرآورده‌های مورد استفاده در بهینه‌سازی پوسته خارجی **۹**

۱ـ۱ـ عایق‌های حرارتی ۹

۱ـ۲ـ جدارهای نورگذر ساختمان ۳۹

۱ـ۳ـ قاب جدارهای نورگذر ۵۰

فصل دوم:

انواع شیوه‌های عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان و انتخاب شیوه‌های مطلوب برای ساختمان‌های موجود **۵۳**

۲ـ۱ـ عایق‌کاری حرارتی بام ۵٤

۲ـ۲ـ سقف مجاور فضای کنترل نشده ۵۸

۲ـ۳ـ کف مجاور فضاهای کنترل نشده و خارج ۵۸

۲ـ٤ـ کف روی خاک ٦۰

۲ـ۵ـ دیوار مجاور فضای خارج ٦۰

۲ـ٦ـ دیوار مجاور فضای کنترل‌نشده ٦۲

۲ـ۷ـ پنجره ٦۳

۲ـ۸ـ درها ٦۳

۲ـ۹ـ پل‌های حرارتی ٦٤

فصل سوم:

برآورد هزینهٔ اجرای شیوه‌های انتخاب شده برای عایق‌کاری حرارتی ساختمان‌های موجود **٦۵**

۳ـ۱ـ عایق‌کاری حرارتی بام از خارج، روی عایق رطوبتی، با عایق پلی‌استایرن ٦٦

۳ـ۲ـ عایق‌کاری کف روی پیلوت با عایق پشم‌معدنی ٦٧
۳ـ۳ـ عایق‌کاری حرارتی دیوار از خارج با عایق معدنی ٦٨
۳ـ٤ـ عایق‌کاری حرارتی دیوار از داخل با عایق معدنی ٦٩
۳ـ٥ـ هزینهٔ نهایی انواع شیوه‌های عایق‌کاری حرارتی ٧٠

مقدمه شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

شرکت بهینه سازی مصرف سوخت در راستای سیاست های استراتژیک کشور در بخش انرژی و بر اساس ماده ۱۲۱ قانون برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران به منور اعمال صرفه جویی و منطقی کردن مصرف انرژی، حفاظت از محیط زیست، همچنین اجرای اقدامات مرتبط با بهره برداری کارآمد و بهینه از نوع حاملهای انرژی، در سال ۱۳۷۹ توسط وزارت نفت جمهوری اسلامی ایران تأسیس گردید .

بطور کلی فعالیت شرکت بهینه سازی مصرف سوخت بر مطالعه، پژوهش، بستر سازی، ممیزی و تدوین استانداردهای مصرف انرژی و انجام اقدامات لازم برای بهینه سازی مصرف سوخت در تمامی فعالیتهایی که بنحوی در فرآیند تولید و یا بعنوان مصرف کننده نهایی، سوخت مصرف می نماید، متمرکز می باشد .

در همین ارتباط، این شرکت انتشار فعالیتها، یافته های پژوهشی، مطالعات و گزارشات علمی در زمینه بهینه سازی انرژی در بخشهای صنعت، ساختمان و حمل و نقل را از رسالت های مهم خود قلمداد نموده و تاکنون نیز با نشر دهها عنوان کتاب، سعی در گسترش فرهنگ تفکر، دانایی محوری و رویکرد کاوشگری و پژوهش با هدف توسعه دانش بهینه سازی انرژی در کشور نموده است .

کتاب حاضر از سری کتابهایی است که بصورت تخصصی در مدیریت محترم بخش ساختمان و مسکن و به همت واحد انتشارات روابط عمومی و فرهنگ سازی برای ارتقاء سطح آگاهی متخصصان از فناوری ها و روش های بهینه سازی مصرف انرژی تدوین و منتشر شده است .

شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

روابط عمومی و فرهنگ سازی

پاییز ۱۳۸۷

فصل اول:
مصالح و فرآورده‌های مورد استفاده در بهینه‌سازی پوسته خارجی

در این کتاب، مصالح متداول به عنوان عایق‌حرارتی و به طورکلی فرآورده‌هایی که در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند معرفی می‌گردند و اطلاعات موجود در مورد آن‌ها ارائه می‌گردد. هم‌چنین در مورد مصالحی که در دیگر کشورها کاربرد دارند و جا دارد که امکان تولید و استفاده از آنها در صنعت ساختمان مورد بررسی قرار گیرد توضیحاتی ارائه می‌شود. در ادامه، نکاتی در مورد سیستم‌های مورد استفاده در جدارهای نورگذر ساختمان ارائه می‌گردد.

۱ـ۱ـ عایق‌های حرارتی

مصالحی که در ساخت و ساز کاربرد دارند از نظر خصوصیات حرارتی تفاوت‌های چشمگیری با هم دارند. برخی از این مواد انتظارات متعددی را برآورده می‌کنند، ولی جوابگوی ضوابط تعیین شده در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان نیستند و در اغلب موارد لازم است با کاربرد عایق‌های حرارتی، مقاومت حرارتی مورد نیاز در جدارهای پوسته خارجی ساختمان تأمین گردد.

تنوع فراوانی در موادی که به عنوان عایق حرارتی به کار برده می‌شود وجود دارد. با توجه به این نکته که هوای خشک ساکن یکی از بهترین مشخصات حرارتی را داراست، در اغلب موارد سعی می‌گردد با استفاده از مواد متخلخل و سبک و محدود کردن جریان هوا در آن مقاومت حرارتی را تا حد ممکن افزایش داد. به‌طور کلی، عایق‌های حرارتی یا از الیاف ریزی تشکیل می‌شوند که باعث می‌گردند جریان هوا کاملاً محدود گردد، یا از انبساط مواد پلیمری و محبوس شدن حباب‌های هوا یا گازی دیگر به‌دست می‌آیند.

در دو سال اخیر ابرعایق‌ها نیز وارد صنعت ساختمان شدند و با مطرح شـدن یـک فن‌آوری جدید، یعنی امکان استفاده از فضاهای کوچک خلأ، دستیابی به مقاومت‌های بسیار بالا با ضخامت‌هایی اندک میسر گردیده است.

عایق‌های حرارتی متداول به‌طور کلی به سه دسته معدنی، پلیمری و گیاهی تقسیم می‌شوند. در ادامه این بخش به هر یک از این موارد پرداخته می‌شود و توضیحاتی در مورد انواع مختلف آن‌ها ارائه می‌گردد. امـا قبـل از آن، توضـیحاتی در مـورد مقـادیر فیزیکی مطرح در مورد عایق‌های حرارتی ارائه می‌گردد.

■ تعاریف

ـ عایق (عایق حرارت): مصالح یا سیستم مرکبی که انتقال گرما را از محیطی به محیطی دیگر به طور مؤثر کاهش دهد. در مواردی عایق حرارت می‌تواند عـلاوه بر کاهش انتقال حرارت، توانایی‌های دیگری نیـز ماننـد بـاربری، صـدابندی و ... داشته باشد.

عایق حرارت قابل استفاده در ساختمان به عایقی اطلاق می‌شود که دارای ضریب هدایت حرارتی کمتر یا مساوی ۰/۰٦۵ W/m.K و مقاومت حرارتی مساوی یا بیشتر از ۰/۵ m^2.K/W باشد (مقادیر ذکر شده مربوط به انـدازه‌گیـری در شـرایط حرارتـی استاندارد می‌باشند).

ـ ضریب هدایت حرارت: مقدار حرارتی که در یک ثانیه از یک متر مربـع عنصـری همگن به ضخامت یک متر، در حالت پایدار، عبور می‌کند و اختلاف دمایی برابر یک درجه کلوین بین دمای دو سطح طرفین عنصر ایجاد نماید. ضریب هـدایت حرارتـی با λ نشان داده می‌شود و واحد آن [W/m.K] است.

ـ مقاومت حرارتی: نسبت ضخامت لایه به ضریب هدایت حرارتی آن بدیهی اسـت مقاومت حرارتی یک پوسته تشکیل شده از چند لایه مساوی با مجموع مقاومت‌هـای هر یک از لایه‌ها خواهد بود.

مقاومت حرارتی قابلیت عایق بودن (از نظر حرارتی) یک یا چند لایه از پوسته و یا کل پوسته را مشخص می‌کند. مقاومت حرارتی با R نشان داده می‌شود و واحد آن $[m^2.K/W]$ است.

ـ **ضریب انتقال حرارت (سطحی):** ضریب انتقال حرارت سطحی قسمتی از پوسته 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 باشد. واحد مورد استفاده برای ضریب انتقال حرارت $[W/m^2.K]$ است.

■ عایق‌های معدنی

• پشم شیشه

بیش از سه دهه است که پشم‌شیشه در ایران تولید می‌شود. در کشور ما از فن‌آوری قدیمی تولید پشم شیشه استفاده می‌گردد و به موازات آن اقداماتی برای به‌روز کردن خطوط تولید و بهره‌گیری از تجارب شرکت‌های مطرح در زمینه تولید این نوع عایق حرارتی صورت می‌گیرد.

ـ فرآیند تولید

در فرآیند تولید پشم‌شیشه، مخلوط شیشه، کمک‌ذوب، تثبیت‌کننده‌ها و نمک‌ها در دمای ۱۴۰۰ درجه سلسیوس به حالت مذاب درمی‌آید و پس از گذشتن از مراحل مختلف بر روی دستگاه اسپینر[1] به صورت الیاف درآمده و پس از پاشیده شدن روغن‌های معدنی یا رزین‌های گرماسخت (فنلیک) به هم پیوند خورده و در ضخامت‌های تعیین‌شده تولید می‌گردد. محصول نهایی به صورت رول، پنل‌های نیمه‌سخت یا به صورت فله عرضه می‌گردد.

[1] Spinner

ـ مشخصات فنی

به طورکلی محصول نهایی پشم‌شیشه باید از استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۸٦ تبعیت نماید و به لحاظ قطر الیاف، ابعاد، جرم حجمی، مقاومت کششی، ضریب هدایت حرارتی، درصد رزین، پایداری ابعادی و ضخامت لایه‌ها مطابق این استاندارد باشد. لازم به توضیح است که این استاندارد قدیمی بوده و استاندارد ملی جدید با عنوان عایق‌های حرارتی مورد استفاده در ساختمان بر پایه پشم معدنی ـ ویژگی‌ها، در سال ۱۳۸۳ به تصویب کمیته ملی رسیده و دارای شماره استاندارد ۸۱۱٦ می‌باشد. دیگر استانداردهای ملی مربوط به این فرآورده، استانداردهای روش آزمون به شماره‌های استاندارد ملی زیر هستند: ۷۲۹۳ ـ ۷۲۹٤ ـ ۷۲۹۵ ـ ۷۲۹٦ ـ ۷۲۹۸ ـ ۷۲۹۹ ـ ۷۳۰۰ ـ ۷۳۰۱ ـ ۷۳۰۲ ـ ۷۳۰۳ ـ ۷۳۰٤ ـ ۸۰۸۱ ـ ۸۰۸۳ ـ ۸۰۸٤ ـ ۸۰۸٦ ـ ۷۱۱۳ ـ ۷۱۱٤ ـ ۷۱۱۵ ـ ۷۱۱٦ ـ ۷۱۱۷ ـ ۷۱۱۸ ـ ۷۱۱۹ ـ ۷۱۲۰. به طور کلی در مشخصات فنی پشم‌شیشه، پشم‌سنگ و پشم سرباره در استانداردهای بین‌المللی هر سه در قالب استاندارد واحدی مشخص شده است. برای مثال استاندارد EN 13162 با عنوان "فرآورده‌های پشم معدنی ساخته شده در کارخانه" عایق‌های حرارتی ساخته شده از مذاب شیشه، سرباره یا سنگ را دربر می‌گیرد. استاندارد اروپا (EN) الزامات عایق‌های الیاف معدنی را به دو دستهٔ عمومی و مصارف خاص تقسیم کرده است.

الزامات عمومی که برای همه کاربردها مشخص شده است عبارتند از: مقاومت حرارتی، طول و عرض، ضخامت، گونیا بودن، تخت بودن، پایداری ابعادی، مقاومت کششی موازی با سطوح و واکنش در برابر آتش.

الزامات مشخص شده برای مصارف خاص عبارتند از: پایداری ابعادی در شرایط مشخص شده، تنش فشاری یا مقاومت فشاری، مقاومت کششی عمود برسطح، بار نقطه‌ای، خزش فشاری، جذب آب، انتقال بخار آب، سختی دینامیکی، قابلیت فشردگی، جذب صدا، مقاومت جریان هوا و آزادسازی مواد خطرناک.

در مدارک خارجی، مشخصات کلی که برای این محصول مطرح می‌شود به شـرح زیر است:

جدول ۱ـ۱ـ ابعاد متداول عایق پشم شیشه

ابعاد متعارف	پنل سخت	رول
طول	۱/۲۰ تا ۲/۷۰ متر	٤/٥ تا ۲٥ متر
عرض	۰/٦۰ تا ۱/۲۰ متر	۰/۳٥ تا ۱/۲۰ متر
ضخامت	۲٥ تا ۱٥۰ میلیمتر	۲٥ تا ۱٦۰ میلیمتر

جدول ۱ـ۲ـ مشخصات فنی عایق‌های پشم شیشه متداول

وزن حجمی	۱۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب
مقاومت فشاری	وابسته به وزن حجمی
نفوذپذیری بخار آب	بیش از ۰/۰٦ g/m.h.mm Hg
جذب آب	بعضی انواع آن غیر جاذب آب هستند
رفتار در برابر آتش	غیر قابل احتراق یا غیر قابل اشتعال بسته به مورد

با توجه به این نکته که این عـایق حرارتـی دارای مشخصـات آکوسـتیکی خـوبی می‌باشد، کاربرد آن در ساختمان، در کشورهای صنعتی، بسیار زیاد است.

نقطه ضعف این خانواده از عایق‌ها جذب آب و ضریب نفوذپذیری بالا است. بـه همین علت، استفاده از این عایق در روش‌های عایق‌کاری از خـارج بایـد بـا رعایـت ملاحظاتی صورت گیرد. در ضمن، نفوذپذیری بالای آن خطر بـروز میعـان را مطـرح می‌سازد و لازم است تمهیدات لازم با استفاده از لایه‌های بخاربنـد یـا مصـالحی کـه خطر بروز میعان را برطرف می‌سازند صورت گیـرد (ر.ک. بـه راهنمـای مبحـث ۱۹ مقررات ملی ساختمان).

لازم به ذکر است تا چندی پیش از نظر خطر سـرطان، ایـن عـایق در گـروه II B قرار داشت، ولی با توجه به آخرین دستاوردهای آژانس بین‌المللی بهداشـت، اکنـون این عایق در گروه III قرار دارد.

ضرایب هدایت این محصول به دما، رطوبـت، میـزان رزیـن بـه‌کـار رفتـه و وزن حجمی آن بستگی دارد. در شرایط متعارف کاربردهای ساختمانی، می‌تـوان اثـر اکثـر این پارامترها را قابل اغماض تلقی نمود و تنها وابستگی به دانسیته را در نظر گرفـت. طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ضرایب هدایت پشم شیشه بر حسب دانسیته به شرح زیر است:

جدول ۱ـ۳

ضرایب هدایت پشم شیشه بر حسب دانسیته طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

وزن مخصوص خشک (ρ) بر حسب kg/m^3	ضریب هدایت حرارتی مفید (λ) بر حسب $W/m.^oC$
۹تا ۱۲	۰/۰۵٤
۱۲تا ۱۸	۰/۰٤۸
۱۸ تا ۲۵	۰/۰٤۳
۲۵ تا ۸۰	۰/۰۳۷
۸۰ تا ۱۳۰	۰/۰۳۹

بدیهی است این مقادیر تا زمانی معتبر می‌باشد که مقادیر ضرایب هدایت تولید یـا تولیداتی خاص مشخص نباشد. در صورتی که تولیدکننده ضرایب هـدایت محصـول تولیدی خود را به تأیید مراجع ذی‌صلاح رسانیده باشد، می‌توان از مقادیر مورد تأیید برای طراحی عایق‌کاری حرارتی ساختمان استفاده نمود.

ـ انواع محصولات تولیدی در کشور

محصولات عایق حرارتی که با استفاده از پشم شیشه تولید مـی‌شـود دارای تنـوع بالایی است. پارامترهایی که دلیل وجود این تنوع هستند عبارتند از:

ـ ضخامت
ـ شکل (رولی، پانلی، فله، ...) و ابعاد
ـ پوشش طرفین (بدون پوشش، کاغذ کرافت، فویل آلومینیوم ساده، فویل آلومینیوم مسلح، ...)
ـ فشردگی و میزان رزین به‌کار رفته

- **پشم سنگ**

پشم سنگ نیز از جمله عایق‌های حرارتی است که از سال‌ها پیش در کشور تولید می‌شد. استفاده از این محصول در ساختمان کمتر از پشم شیشه است. در حال حاضر، کاربرد آن در صنعت، به دلیل پایداری آن در دماهای نسبتاً بالا متداول می‌باشد.

ـ فرآیند تولید

ماده اولیه برای تولید پشم‌سنگ بازالت یا دیاباز است. بازالت سنگ نهان بلورین با منشاء آتشفشانی است که عمدتاً از کانی‌های فلدسپات پلاژیوکلاز و کانی‌های تیره مانند پیروکسن و الیوین تشکیل می‌شود. دیاباز سنگی نفوذی با اندازه دانه متوسط است که عمدتاً از کانی‌های لابرادوریت و پیروکسن تشکیل می‌شود. پشم‌سنگ پس از ذوب شدن به وسیله کک در حرارت زیاد و گذشتن از مراحل مختلف فرآیند تولید، که شباهت فراوانی با فرآیند تولید پشم‌شیشه دارد، به صورت الیاف در می‌آید. الیاف تولید شده پس از پاشیده شدن روغن‌های معدنی یا رزین‌های گرماسخت (فنلیک) به‌هم پیوند خورده و در ضخامت‌ها و اشکال مختلف تولید می‌شود. پشم‌سنگ در ساختمان‌های مسکونی، مجتمع‌های پتروشیمی، پالایشگاه‌های نفت، کارخانه‌های سیمان، نیروگاه‌ها و صنایع سنگین به عنوان عایق حرارتی و صوتی کاربرد دارد. الیاف پشم‌سنگ معدنی بوده و به منظور افزایش ثبات و مقاومت آنها در

دمای بالا، کمک ذوب اکسیدکلسیم به صورت سنگ آهک به داخل کوره اضافه می‌شود. تجزیه شیمیایی محصول ارائه شده توسط تولیدکننده به شرح زیر است:

جدول ۱ـ۴ـ آنالیز شیمیایی الیاف پشم‌سنگ

اکسید سیلیسیم	SiO_2	٪٤٦
اکسید آلومینیوم	Al_2O_3	٪١٤
اکسید تیتانیوم	TiO_2	٪١/٥
اکسیدهای آهن	Fe_2O_3+FeO	٪٧/٥ـ ٨
اکسید کلسیم	CaO	٪١٨
اکسید منیزیم	MgO	٪١٠

ـ مشخصات فنی

برای تعیین مشخصات فنی پشم‌سنگ به استاندارد ٨١١٦ و استانداردهای روش آزمون مربوطه که در بخش پیشین معرفی شد مراجعه گردد.

این عایق حرارتی نیز دارای مشخصات آکوستیکی خوبی می‌باشد. به همین علت، کاربرد آن در ساختمان، در کشورهای صنعتی، بسیار متداول است.

در مدارک خارجی، مشخصات کلی که برای این محصول مطرح می‌شود به شرح زیر است:

جدول ۱ـ۵ـ ابعاد متداول عایق پشم سنگ

ابعاد متعارف	پنل سخت	رول
طول	١/٢٠ تا ٢/٧٠ متر	٣/٥ تا ٢٥ متر
عرض	٠/٦٠ تا ٠/٩٠ متر	٠/٣٥ تا ١/٢٠ متر
ضخامت	٤٠ تا ٧٥ میلیمتر	٣٠ تا ١٠٠ میلیمتر

جدول۱ـ۶ـ مشخصات فنی عایق‌های پشم سنگ متداول

وزن حجمی	پنل سخت: ۸۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب رول: ۱۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب
مقاومت فشاری	وابسته به وزن حجمی
نفوذپذیری بخار آب	۰/۰۶ g/m.h.mm Hg تا ۰/۰۸
جذب آب	بعضی انواع آن غیر جاذب آب هستند
رفتار در برابر آتش	غیر قابل احتراق یا غیر قابل اشتعال بسته به مورد

نقطه ضعف اصلی عایق‌های پشم سنگ نیز (همانند پشم شیشه) جذب آب و ضریب نفوذپذیری بالا است. به همین علت، استفاده از این عایق در روش‌های عایق‌کاری از خارج باید با رعایت ملاحظاتی صورت گیرد. در ضمن، نفوذپذیری بالای آن خطر بروز میعان را مطرح می‌سازد و لازم است تمهیدات لازم با استفاده از لایه‌های بخاربند یا مصالحی که خطر بروز میعان را برطرف می‌سازند صورت گیرد (ر.ک. به راهنمای مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان).

ضرایب هدایت این محصول به دما، رطوبت، میزان رزین به‌کار رفته و وزن حجمی آن بستگی دارد. در شرایط متعارف کاربردهای ساختمانی، می‌توان اثر اکثر این پارامترها را قابل اغماض تلقی نمود و تنها وابستگی به دانسیته را در نظر گرفت. طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ضرایب هدایت پشم سنگ بر حسب دانسیته به شرح زیر است:

جدول ۱ـ۷

ضرایب هدایت پشم سنگ بر حسب دانسیته طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

وزن مخصوص خشک (ρ) بر حسب kg/m^3	ضریب هدایت حرارتی مفید (λ) بر حسب $W/m.^oC$
۱۸ تا ۲۵	۰/۰٤۷
۲۵تا ۳۵	۰/۰٤۱
۳۵تا ۸۰	۰/۰۳۹
۸۰ تا ۱۸۰	۰/۰٤۱
۸۰ تا ۱۳۰	۰/۰۳۹

بدیهی است این مقادیر تا زمانی معتبر می‌باشد که مقادیر ضرایب هدایت تولید یا تولیداتی خاص مشخص نباشد. در صورتی که تولیدکننده ضرایب هدایت محصول تولیدی خود را به تأیید مراجع ذی‌صلاح رسانیده باشد، می‌توان از مقادیر مورد تأیید برای طراحی عایق‌کاری حرارتی ساختمان استفاده نمود.

ـ انواع محصولات تولیدی در کشور

پارامترهای متعددی از جمله ضخامت، شکل (رولی، پانلی، فله، ...)، ابعاد، پوشش طرفین (بدون پوشش، کاغذ کرافت، فویل آلومینیوم ساده، فویل آلومینیوم مسلح، ...)، فشردگی و میزان رزین به‌کاررفته باعث گردیده محصولات عایق حرارتی که با استفاده از پشم سنگ تولید می‌شود دارای تنوع بالایی باشد.

- **پشم سرباره**

تولید و استفاده از این عایق در کشور نسبتاً جدید است. در بین عایق‌های معدنی، پشم سرباره بهترین مقاومت را در برابر حرارت و دماهای بالا دارد. به همین علت، بخش اعظم استفاده از این عایق در کاربردهای صنعتی است.

ـ فرآیند تولید

سرباره به صورت دانه‌ای از کوره بلند ذوب آهن بدست می‌آید و در فرآیندی مشابه پشم شیشه تولید می‌گردد. مصارف این عایق مشابه دیگر عایق‌های معدنی است و قابلیت استفاده در محدوده‌های دمای بالا در مورد این عایق بیش از پشم‌شیشه و پشم‌سنگ است. جدول تجزیه شیمیایی سرباره ارائه شده توسط تولیدکننده به شرح زیراست:

جدول ۱ـ۸ـ تجزیه شیمیایی سرباره (برحسب ٪)

$K_2O\%$	$Al_2O_3\%$	$TiO_2\%$	$MgO\%$	$SO_2\%$	$CaO\%$
۱/۲٤	۱۰/۲۸	۳/٥٦	۱۱/٥٤	۳٥/۱٤	۳٦/۲۲

به دلیل پایین بودن مقدار سیلیس، پشم سرباره خطر ایجاد بیماری ریوی و هیچ‌گونه حساسیتی ندارد. پشم سرباره در دماهای زیاد (در حد ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد) قابل استفاده بوده و نقطه ذوب آن ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است.

ـ مشخصات فنی

برای تعیین مشخصات فنی پشم‌سرباره به استاندارد ملی ۸۱۱٦ و استانداردهای روش آزمون مربوطه که در بخش های قبلی اشاره شد مراجعه گردد.

از نظر شکل ظاهری و مشخصات فیزیکی، مکانیکی، عایق‌های تولید شده با این مصالح تا حدی شبیه محصولات تولید شده با پشم سنگ هستند.

برای ضرایب هدایت حرارت این محصول در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان مقادیری مشخص نشده است.

ـ انواع محصولات تولیدی در کشور

تنوع عایق‌های حرارتی تولید شده از پشم سرباره نسبتاً بالا است. بیشترین کاربرد این محصول در صنعت و به صورت رولی، با میزان بسیار اندک رزین و توری فلزی در یک طرف می‌باشد.

- **ورمیکولیت**

ورمیکولیت طبیعی به صورت متورق یافت می‌گردد. در ایران به صورت محدود وجود دارد و تولید آن به عنوان عایق در داخل کشور در مراحل اولیه است.

ـ فرآیند تولید

در صورتی که هوای گرم با دمای نزدیک به ۱۰۰۰ درجه به ورمیکولیت دمیده شود، تکه‌های ورمیکولیت تا میزانی نزدیک به ۱۵ برابر حجم اولیه منبسط می‌شود. در سایر کشورهای دنیا ورمیکولیت را قیراندود می‌کنند و برای زیرسازی کف و کاربردهایی در شرایط رطوبت بالا مورد استفاده قرار می‌دهند که در این حالت وزن حجمی محصول کمتر از ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است.

ـ مشخصات فنی

در حال حاضر، در کشور استانداردی برای این محصول وجود ندارد. ورمیکولیت به شدت جاذب آب است و در صورتی که پوشش ضد آب برای دانه‌های منبسط ورمیکولیت در نظر گرفته نشده باشد، رطوبت جذب کرده و به کندی رطوبت را از دست می‌دهد.

طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ضرایب هدایت بعضی محصولات گچ اندود ساخته شده با استفاده از پرلیت (با دانه‌بندی ۱ تا ۲ میلیمتر) بر حسب دانسیته به شرح زیر است:

جدول ۱ـ۹

ضرایب هدایت ورمیکولیت بر حسب دانسیته طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

وزن مخصوص خشک (ρ) بر حسب kg/m^3		ضریب هدایت حرارتی مفید (λ) بر حسب $W/m.^oC$
۷۰۰ تا ۹۰۰	یک حجم برای یک حجم گچ	۰/۳۰
۵۰۰ تا ۷۰۰	دو حجم برای یک حجم گچ	۰/۲۵

- **پرلیت منبسط**

پرلیت نوعی شیشه آتشفشانی است که در آذربایجان و خراسان یافت می‌شود، و دارای ۲ تا ٦ درصد آب ترکیبی و به رنگ‌های سفید، خاکستری متمایل به سبز و سیاه روشن تا تیره و قهوه‌ای دیده می‌شود.

کاربرد این محصول در ساختمان به دلیل هزینه بالای آن محدود می‌باشد و بیشتر به عنوان صافی در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این عایق نیز در اکثر موارد به صورت فله عرضه می‌گردد و به عنوان پرکننده در دیوارهای دوجداره یا به عنوان سنگدانه سبک در قطعات و پانل‌های پیش‌ساخته گچی و بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مصارف خاص این محصول، عایق‌کاری حرارتی مخازن و فضاهایی با دماهای بسیار پایین است.

ـ فرآیند تولید

در صورتی که هوایی در دمایی مناسب به پرلیت دمیده شود، در اثر وجود آب ترکیبی ٤ تا ۲۰ برابر حجم اولیه منبسط می‌شود. در پروسه تولید، دانه‌های معدنی پرلیت در اثر شعله و هوای گرم منبسط شده و افزایش حجم می‌یابند. در این حالت آب ترکیبی تبخیر شده، ضمن خروج از سنگ ایجاد حباب‌های کوچک و بی‌شمار می‌نماید. در اثر بوجود آمدن این فضاهای تخلخلی، حجم جدید افزایش یافته و به همین نسبت سبک می‌شود. هوای دمنده، علاوه بر ایجاد انبساط، می‌تواند در جهت جداسازی و دانه‌بندی استفاده شود. عواملی که در انبساط پرلیت موثرند عبارتند از:

۱ـ ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی

۲ـ مقدار آب موجود به صورت ترکیبی

۳ـ مقدار آبی که هنگام رسیدن به نقطه نرم شدن درون پرلیت باقی می‌ماند (آب مؤثر)

٤ـ پیش گرمایش و حداکثر گرمایی که به آن داده شده است

۵ـ ساختمان ظاهری پرلیت و درزها و ترک‌های سطحی آن

٦ـ متناسب بودن خوراک کوره با مقدار انرژی حرارتی

۷ـ دمای لازم برای نرم و خمیری شدن پرلیت خام

طیف تغییرات ترکیبات شیمیایی تشکیل‌دهنده پرلیت مطابق تجزیه شیمیایی نمونه‌های مختلف در جدول زیر منعکس می‌باشد.

جدول ۱ـ۱۰ـ تجزیه شیمیایی پرلیت منبسط (برحسب ٪)

ترکیبات شیمیایی	درصد تغییرات
SiO_2	٦۸–۷٦
Al_2O_3	۱۱–۱٦
Fe_2O_3	۰/۲–۲/۵
CaO	۰/۵–۲
K_2O	٤–۵
Na_2O	۲/۹–٤
H_2O	۲–۵
عناصر فرعی	به مقدار جزئی

ـ مشخصات فنی

برای ارزیابی خصوصیات فنی پرلیت استاندارد ملی وجود ندارد، لیکن بر اساس استاندارد ASTM آزمایش‌های زیر برحسب نوع پرلیت مصرفی باید انجام شود: در مورد بلوک‌ها و عایق‌های حرارتی لوله از جنس پرلیت منبسط استاندارد ASTM شماره C-160 (شامل تعیین و اندازه‌گیری ابعاد، چگالی، مقاومت خمشی، مقاومت

فشاری در ۵ درصد تغییر شکل، افت وزنی در اثر غلتیدن، جذب آب، جمع‌شدگی خطی، ضریب هدایت حرارتی) و در مورد تخته عایق حرارتی پرلیت و پرلیت فلـه‌ای به ترتیب استاندارد شماره ASTM C-728 و ASTM C-549 (شامل آزمایشات تعیین چگالی انبوهی، دانه‌بندی، دفع آب، مکش، ضریب هدایت حرارتی، جذب رطوبت، اشتعال‌پذیری، گسترش شعله و دود و فرو نشاندن گرد) ملاک عمل می‌باشد.

پرلیت به شدت جاذب آب است. وزن مخصوص پرلیت ۰/۲ تا ۰/٤ گرم بر سانتی‌متر مکعب است و سختی آن بین ۵/۵ تا ۷ می‌باشد. آب ترکیبی و سرد شدن سریع ماگما باعث به‌وجود آمدن شکستگی‌های متعدد با ترکیب خاص در روی پوسته آن می‌شود.

ـ انواع محصولات تولیدی در کشور

یکی از متداول‌ترین و مطرح‌ترین عایق‌های حرارتی قابل تولید با استفاده از پرلیت، ملات گچ و پرلیت است. ملات سفیدکاری پرلیت از مخلوط پرلیت منبسط و گچ و سیمان حاصل می‌شود. این اندود را می‌توان بر روی سقف و دیوار اجرا نمود، تا انتقال حرارت ناشی از آتش به اجزای سازه‌ای، به‌خصوص در قسمت‌های فولادی، محدود گردد. به علت ضریب انبساط کم، این پوشش در مقابل حرارت کمتر طبله می‌کند و از این رو کمتر آتش را به سایر اعضای باربر ساختمان منتقل می‌نماید. به دلیل تأثیر منفی جذب آب روی دوام اندود گچ ـ پرلیت، از این اندودها در مکان‌هایی که دائماً در معرض آب و رطوبت قرار دارند نباید استفاده کرد.

مشخصات و خواص فیزیکی و مکانیکی اندود و قطعات گچ ـ پرلیت به شدت وابسته به نسبت اختلاط گچ و پرلیت است.

از مزایای اندود پرلیتی وزن کم، عایق حرارتی مناسب، غیرسمی بودن، مقاومت در برابر آتش و خواص آکوستیکی را می‌توان نام برد. از چسباننده‌های پلیمری (پلی‌یورتان، ...) نیز برای ساخت قطعات پیش‌ساخته یا جهت اجرای در محل استفاده می‌شود.

طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ضرایب هدایت بعضی محصولات گچ اندود ساخته شده با استفاده از پرلیت (با دانه‌بندی ۱ تا ۲ میلیمتر) بر حسب دانسیته به شرح زیر است:

جدول ۱ـ۱۱

ضرایب هدایت پرلیت منبسط بر حسب دانسیته طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

	وزن مخصوص خشک (ρ) بر حسب kg/m^3	ضریب هدایت حرارتی مفید (λ) بر حسب $W/m.^oC$
یک حجم برای یک حجم گچ	۷۰۰ تا ۹۰۰	۰/۳۰
دو حجم برای یک حجم گچ	۵۰۰ تا ۷۰۰	۰/۲۵

کاربرد پرلیت در ساختمان به دلیل هزینه بالای تولید تاکنون گسترش چندانی نداشته است و جا دارد در آینده مطالعات تکمیلی برای استفاده از آن در صنعت ساختمان صورت گیرد.

- **لیکا**

لیکا LECA[1] یکی از مطرح ترین مصالح مورد استفاده در سبک سازی قطعات و فرآورده‌های ساختمانی در کشور می‌باشد و از انبساط رس تحت حرارت به دست می‌آید.

ـ فرآیند تولید

با حرارت دادن انواع خاصی از رس‌ها و سنگ‌های رسی تا نزدیک نقطه نرم شدن، مقادیری گاز در داخل آنها ایجاد شده و در نتیجه منبسط می‌گردند و پس از سرد شدن، تخلخل فراوانی به جا می‌گذارند که باعث می‌شود دانه‌های بسیار سبکی به نام لیکا به دست آید. هوای موجود در داخل دانه‌ها برحسب دانه‌بندی بین ۷۳ تا ۸۸ درصد فضای کلی را اشغال می‌کند. دانه‌ها دارای شکل تقریباً مدور و سطحی زبر و ناهموار می‌باشند. سطح خارجی آنها در مقیاس میکروسکوپی دارای خلل و فرج ریز و داخل دانه‌ها به

[1] Light Expanded Clay Aggregate

شکل بافت سلولی و به رنگ سیاه است. دانه‌های لیکا در انـدازه‌هـای متفـاوت عرضـه می‌شود تا الزامات دانه‌بندی را برای کاربردهای گوناگون برآورده نماید.

جدول زیر تعدادی از این کاربردها و دانه‌بندی‌ها را نشان می‌دهد:

جدول ۱ـ۱۲ـ کاربردهای مختلف ساختمانی لیکا بر حسب دانه‌بندی

کاربرد	اندازه دانه‌ها (mm)
عایق‌کاری کف و پی، پرکننده سبک، تولید بلوک کـف، شیب‌بندی بام، زیرسازی ساختمان زهکشی ابنیه	لیکای دانه درشت ۱۰تا ۲۰
بتن سبک، بلوک، دال و اجـزای سـاختمانی، زیرسـازی ساختمان	لیکای دانه متوسط ۳ تا ۱۰
بلوک، دال و اجـزای سـاختمانی، تولیـد بـتن، انـدود و ملات سبک	لیکای دانه ریز و بسیار دانه‌ریز کمتر از ۳

ویژگی‌های عمومی و حتی ظاهر دانه‌هـای لیکـا برحسـب روش تولیـد متفـاوت است. فضای خالی بین دانه‌ها سبب ایجاد ویژگی‌هـای مهمـی چـون وزن حجمـی و هدایت حرارتی کم می‌شود. دانه‌های لیکا در برابر آتش و مواد شیمیایی مقاوم است.

جدول ۱ـ۱۳ـ ترکیب شیمیایی دانه لیکا (به درصد)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	LOI
٦٦/٠٥	١٦/٥٧	٧/١٠	٢/٢٦	١/٩٩	٠/٠٣	٠/٦٩	٢/٦٩	٠/٧٨	٠/٢١	٠/٠٩	٠/٨٤

میزان قابلیت هدایت حرارتی به تراکم توده بستگی دارد. هرچه چگالی دانـه‌هـای لیکا بیشتر باشد قابلیت هدایت حرارتی نیز افزایش می‌یابد.

لیکا به صورت پنل‌هایی که با مقوای قیراندود پوشیده می‌شوند نیز عرضه می‌شود. در حال حاضر در ایران نوع پنلی تولید نمی‌گردد و صـرفاً بـه عنـوان پرکننـده بـرای شیب‌بندی و سنگ‌دانه سبک در بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد و به‌طور کلی اسـتفاده از لیکا به عنوان عایق حرارتی در داخل کشور رایج نمی‌باشد.

در سایر کشورها، از این نوع محصول به عنوان پانل عایق حرارتی مـورد اسـتفادهٔ فراوان دارد و مشخصات متعارف آن به شرح زیر است:

جدول ۱ـ۱۴ـ مشخصات فنی پانل لیکای متداول در بعضی کشورهای صنعتی

جرم حجمی kg/m^3	مقاومت فشاری MPa	نفوذپذیری بخار آب	جذب آب	ضخامت (mm)	طول (m)	عرض (m)
۱۲۵–۱۳۵	۰/۶–۰/۸	صفر	صفر	۳۰–۱۳۰	۰/۴۵–۱/۲	۰/۳–۰/۶

طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ضرایب هدایت بعضـی محصـولات بتنـی ساخته شده با استفاده از لیکا بر حسب دانسیته به شرح زیر است:

جدول ۱ـ۱۵ـ ضرایب هدایت لیکا بر حسب دانسیته طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

وزن مخصوص خشک (ρ) بر حسب kg/m^3		ضریب هدایت حرارتی مفید (λ) بر حسب $W/m.^oC$
بتن با رس منبسط یا شیست منبسط		
وزن ظاهری سنگدانه بیش از ۳۵۰ و عیار سیمان بیش از ۳۰۰[1]		
با ماسه رودخانه بدون ماسه سبک	۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰	۱/۰۵
با ماسه رودخانه همراه با ماسه سبک	۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰	۰/۸۵
وزن ظاهری سنگدانه بین ۳۵۰ و ۵۵۰ و عیـار سـیمان بیش از ۱ ۳۰۰		
با ماسه سبک و حداکثر ۱۰٪ ماسه رودخانه	۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰	۰/۷۰
با ماسه سبک و بدون ماسه رودخانه	۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰	۰/۴۶
وزن ظاهری سـنگدانه کمتـر از ۳۵۰ و عیـار سـیمان کمتر از ۲۵۰ ۱		
با ماسه سبک و بدون ماسه رودخانه	۸۰۰ تا ۱۰۰۰	۰/۳۳
بدون ماسه و با عیار سیمان کم	۶۰۰ تا ۸۰۰	۰/۲۵

[1] واحد مورد استفاده براي وزن سنگدانه و عيار سيمان كيلوگرم بر مترمكعب مي‌باشد.

	کمتر از ۶۰۰	۰/۲۰

- **شیست منبسط**

دانه‌های گوشه‌گرد شیست منبسط به عنوان پرکننده در دیوارها و کف‌های توخالی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این عایق حرارتی در ایران تولید نمی‌گردد ولی در کشورهای دیگر کاربرد دارد.

ـ فرآیند تولید

این محصول با قراردادن نوع خاصی شیست در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و منبسط شدن آن به‌دست می‌آید.

ـ مشخصات فنی

برای ارزیابی خصوصیات فنی شیست منبسط استاندارد ملی وجود ندارد. در سایر کشورها، این نوع محصول به عنوان پانل عایق حرارتی مورد استفادهٔ فراوان دارد و مشخصات متعارف آن به شرح زیر است:

جدول ۱ـ۱۶ـ مشخصات فنی شیست منبسط متداول در بعضی کشورهای صنعتی

جرم حجمی(kg/m^3)	جذب آب (به درصد)	مقاومت فشاری (MPa)
۵۰۰–۷۲۰	۶–۹	۵–۷/۵

- **اسفنج شیشه (شیشه منبسط)**

این عایق کاربرد فراوانی در کشورهای صنعتی دارد و می‌تواند از تولیدات اصلی یا فرعی کارخانجات ساخت شیشه یا پشم شیشه باشد.

ـ فرآیند تولید

اسفنج شیشه از انبساط شیشه خالص به‌دست می‌آید. در اثر انبساط، سلول‌های بسته حاوی یک گاز خنثی عایق حرارتی در شیشه ایجاد می‌شود. معمولاً این محصول از دو طرف با یک پوشش مقوایی قیر اندود پوشیده می‌شود. در ضمن، تولید این نوع عایق می‌تواند به‌صورت دانه‌ای و به صورت فله باشد.

ـ مشخصات فنی

برای ارزیابی خصوصیات فنی اسفنج شیشه استاندارد ملی وجود نـدارد. در سـایر کشورها، این نوع محصول به عنوان بلوک یا پانل عایق حرارتی مورد استفادهٔ فـراوان دارد و مشخصات متعارف آن به شرح زیر است:

جدول ۱ـ۱۷

مشخصات فنی اسفنج شیشه (شیشه منبسط) متداول در بعضی کشورهای صنعتی

جرم حجمی(kg/m^3)	جذب آب (به درصد)	نفوذپذیری بخار آب	مقاومت فشاری (MPa)
۱۲۵–۱۳۵	صفر	صفر	۰/۶–۰/۸

شکل۱ـ۱ـ نمونه بلوک ساخته شده از اسفنج شیشه

خصوصیات حرارتی ایـن محصـول و مقاومـت فشـاری (و نسـبت آن بـه جـرم حجمی) این محصول قابل توجه است. در ضمن، ضرایب جـذب آب و نفوذپـذیری بخار آب این محصول تقریباً صـفر اسـت. ایـن محصـول غیرقابـل اشـتعال اسـت و عملکرد مناسبی در برابر آتش دارد.

■ عایق‌های پلیمری

• پلی‌استایرن منبسط

این عایق حرارتی با انبساط دانه‌های پلی‌استایرن و طی فرآیندهای مختلف تولید می‌گردد.

ـ فرآیند تولید

یکی از روش‌های تولید انبساط دانه‌های پلی‌استایرن پس از یک فاز پیش انبساط، در داخل قالب است. انبساط نهایی با بخار آب ایجاد می‌شود. قطعات در مرحله بعدی با اره یا سیم داغ بریده می‌شوند. در ایران، بخش اعظم تولیدات با استفاده از این روش صورت می‌گیرد.

شکل ۱ـ۲

پروسه تولید قطعات سوراخ‌دار پلی‌استایرن

در روش دیگر تولید پیوسته قالب با غلطک‌های مخصوصی جایگزین شده و محصول پس از خروج از غلطک‌ها بریده می‌شود.

در روش سوم، مشابه روش قبلی، انبساط نهایی با حرارت (و بدون بخار) صورت گرفته و محصولات پس از خروج از غلطک‌ها بریده می‌شوند.

شکل ۱ـ۳

پروسه تولید قطعات سوراخ‌دار پلی‌استایرن

در روش اکسترود کردن، مرحله‌ی پیش‌انبساط حذف شده و انبساط تحت حرارت و به صورت خشک صورت می‌گیرد. تولید محصول به صورت پیوسته و با غلطک‌های مخصوص صورت گرفته و شکل مقطع به طور دلخواه تعیین می‌شود. مزیت این روش، ساختار ریزتر سلولی محصول نهایی و جذب آب محدودتر محصول نهایی می‌باشد. این امتیازات باعث می‌شود که محصول تولیدی را بتوان در شرایط حاد آب و هوایی به کار گرفت.

جدول ۱ـ۱۸ـ ویژگی‌های فنی پلی‌استایرن حاصل از روش قالبی و اکسترود شده

نوع محصول	مقاومت فشاری [Mpa]	جذب آب	رفتار در برابر آتش	جرم حجمی [kg/m^3]	ضخامت [mm]	نفوذپذیری بخار آب [g/m.h.mm Hg]
قالبی	۰/۰۳–۰/۱۵	بسته‌به دانسیته	قابل اشتعال	۱۳–۳۵	۲۰–۲۰۰	$٤/٥ \times ١٠^{-٤}$
اکسترود شده	۰/۱۵–۰/۳	بسیار اندک	قابل‌اشتعال	۲۵–٤۰	۲۰–۲۰۰	بسیار اندک

این عایق به صورت فله نیز عرضه می‌شود و از آن برای پرکردن دیوارها و کف‌های توخالی استفاده می‌شود. در این حالت وزن حجمی محصول بین ۱۲ تا ۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب است.

ـ مشخصات فنی

در مورد مشخصات فنی پلی‌استایرن استاندارد ملی، شماره ۱۵۸٤ ملاک عمل است و بازبینی این استاندارد در حال انجام است. استانداردهای بین المللی همچون اروپا (EN) الزامات عایق‌های فوم پلی‌استایرن ساخته شده در کارخانه را به دو دستهٔ مصارف عمومی و مصارف خاص تقسیم کرده است.

الزامات مصارف عمومی عبارتند از: مقاومت حرارتی، طول و عرض، ضخامت، گونیا بودن، تخت بودن، پایداری ابعادی، مقاومت خمشی و مقاومت در برابر آتش.

الزامات مصارف خاص عبارتند از: پایداری ابعاد در شرایط رطوبت و دمای مشخص، تغییر شکل تحت بار فشاری و شرایط دمای مشخص، تنش فشاری در ۱۰ درصد تغییرشکل، مقاومت کششی عمود بر سطح، مقاومت خمشی، بار نقطه‌ای، خزش فشاری، جذب آب، مقاومت در برابر یخ‌زدن، آب شدن، انتقال بخارآب، سختی دینامیکی، قابلیت فشردگی، چگالی ظاهری و رهاسازی مواد خطرناک.

ـ انواع محصولات تولیدی در کشور

در سال‌های اخیر، تولید و کاربرد این عایق حرارتی با گسترش چشمگیری همراه بوده است. دلیل اصلی این پدیده، تولید داخلی توسط پتروشیمی تبریز و سایر مراکز است. با توجه به اهمیت مسئله رفتار در برابر آتش محصولات تولیدی، جوانب احتیاطی باید برای این محصولات در نظر گرفته شود و به همین دلیل گواهی فنی برای تولیدکنندگان محصولات ساختمانی با استفاده از این ماده در دستور کار قرار گرفته است.

در حال حاضر پلی‌استایرن در کارگاه‌های کوچک و بعضاً به روش غیراستاندارد و با فن‌آوری‌های قدیمی تولید می‌گردد.

- **پلی‌یورتان**

فوم‌های پلی‌یورتان صلب، در طی اوایل دهۀ ۱۹٤۰ توسط اتوبایر در آلمان توسعه یافت. کاربردهای اولیۀ آن شامل مسلح کردن اجزای هواپیما طی جنگ جهانی دوم بود. هم ترکیب و هم روش‌های فرآوری در طول ٦۰ سال اخیر تغییر یافته است. بزرگترین بازارهای فوم پلی‌یورتان صلب در ساختمان و عایق حرارتی است. فوم‌های متداول بر پایۀ پلی‌ال‌های پلی‌اتر شاخه‌دار قرار دارند که به گروه‌های هیدروکسیل منتهی می‌شوند. ترکیباتی نظیر $CFCl_3$ که در دماهای پایین می‌جوشد، سلول‌های بستۀ فوم را پر می‌کنند. این گاز دارای ضریب هدایت الکتریکی کمی است. تحقیقات نشان داده که $CFCl_3$ باعث تخریب لایۀ ازن می‌شود. این امر سبب آن شده که ترکیبات هیدروژنی مشابه مانند HCFC استفاده شودکه آسیب بسیار کمتری به لایۀ ازن می‌رساند.

فوم‌های پلی‌یورتان متداول دارای چگـالی درمحـدودهٔ ۱۶ تـا ۴۸ کیلـوگرم برمتـر مکعب است که مقاومت مکانیکی زیادی برای این محدودهٔ چگالی ارائه می‌کنند. مواد واکنش‌زا به لایه‌های دربرگیرنده یا زیرین به شدت می‌چسبد که در بسیاری کاربردها مزیت محسوب می‌شود. از آنجا که این فوم‌ها مـواد آلـی هسـتند در بعضـی شـرایط می‌سوزند.

تأخیر اندازهای مؤثر آتش نظیر ایزوسیانورات‌ها در دسترسند که ساختار مولکولی پایداری در برابر گرما دارند. فوم پلی‌یورتان صلب را باید با ورق‌های گچی، فلزی یا سایر مواد مقاوم در برابر آتش محافظت نمود.

بر خلاف جامدات همگن، فوم‌های پلیمری ترکیبات گاز- جامد هسـتند کـه فـاز جامد سبب خصوصیات ساختاری و محبوس کـردن فـاز گـازی مـی‌شـود. خـواص مکانیکی فوم‌های پلی‌یورتان عمدتاً از ساختار آنها ناشی می‌شود و ممکـن اسـت بـه سبب فاز جامد تفاوت زیادی داشته باشند. سایر خواص برای مثـال ضـریب هـدایت حرارتی به ترکیب فاز گازی بستگی دارد. اغلب خواص این فوم‌ها با جهت آن تغییر می‌کند. زیرا ساختمان سلولی ممکن است طویل یا جهت یافته باشد.

به‌طور کلی فوم پلی‌یورتان پلیمر سلولی ساخته شده از واکنش دو ترکیب پلی‌ال و ایزوسیانات است. ترکیب پلی‌ال ترکیب پلی‌هیدروکسیل مایعی است که حـاوی یـک ماده منبسط شونده، کاتالیزورها و سـایر مـواد افزودنـی اسـت کـه وقتـی بـا ترکیـب ایزوسیانات مخلوط می‌شود تشکیل فوم مـی‌دهـد. ویژگـی‌هـای فنـی پلـی‌یورتـان و مشخصات مکانیکی آن ارائه شده در مورد تولیدات خارجی به شرح زیراست:

جدول ۱-۱۹- ویژگی‌های فنی پلی‌یورتان

جرم حجمی kg/m^3	نفوذ بخار آب gr/m^2	جذب آب (به درصد)	درصد تغییر حجمی	ضریب هدایت حرارتی $W/m.k^\circ$
۳۵ (در ۱۰۰٪ رطوبت و ۷۰ درجه سلسیوس)	۲۵	۲	۵-۱۰	۰/۰۲۱-۰/۰۲۵

جدول ۱ـ۲۰ـ مشخصات مکانیکی پلی‌یورتان برحسب جرم حجمی

جرم حجمی kg/m^3	مقاومت فشاری kg/cm^2	مقاومت خمشی kg/cm^2
۳۰	۲	۳
٦۰	۵	۱۰
۹۰	۹	۱۸

عایق پلی‌یورتان در برابر آتش ایجاد خطر می‌کند و در ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه سلسیوس تجزیه شده و می‌سوزد. در برخی موارد می‌توان با استفاده از مواد افزودنی خاصیت آتش‌گیر بودن فوم را کمی تغییر داد.

پوشش دادن فوم با انواع ورق‌های فلزی نیز زمان آتشگیری را تا حدی به تأخیر می‌اندازد و عمر عایق در برابر نور خورشید و اشعه ماورای بنفش افزایش می‌یابد. از مواد معدنی نیز برای تأخیر در آتشگیری می‌توان استفاده نمود.

ـ فرآیند تولید

پلی‌یورتان می‌تواند در کارخانه یا در کارگاه ساختمانی تولید شود و روش‌های مطرح تولید به شرح زیر می‌باشد:

روش تزریقی یا اسپری

دو جزء فوم شامل ایزوسیانات و هیدروکسیل (رزین یا پلی‌ال) با هم مخلوط و به محل موردنظر اسپری می‌شوند که در آنجا به سطوح دربرگیرنده می‌چسبد. ضریب هدایت حرارتی این عایق‌ها ۰/۰۲۰ تا ۰/۰۳۵ W/m.K است که نشان‌دهندهٔ مقاومت حرارتی زیاد آنها است.

مخلوط به صورت مایع اسپری می‌شود و ظرف چند ثانیه از ۲۰ تا ۳۰ برابر حجم مایع اولیه منبسط شده تشکیل جسم بسیار سبک می‌دهد که چگالی آن کمتر

از ۵ درصد چگالی آب است. در فوم‌های با کیفیت بالا اندازه سلول‌ها کمتر از ۰/۱ میلی‌متر می‌باشد که چنین فوم‌هایی مقاومت حرارتی زیادی دارند.

روش پیش‌ساخته

تخته صلب فوم پلی‌یورتان در کارخانه، با روش شیمیایی شرح داده شده ساخته شده و به محل ساختمان حمل می‌شود. تخته‌ها بر روی عضوهای قاب‌بندی یا به صورت زیرکار بر روی قسمت خارجی ساختمان یا به صورت لایهٔ زیرین در پرداخت داخلی اجرا می‌شود. هدایت حرارتی نوع تخته صلب فوم پلی‌یورتان (نمونه‌وار) ۰/۰۲٦ W/m. k^{o} است که نشان‌گر مقاومت حرارتی بسیار زیاد آن است.

ویژگی‌های عایق پلی‌یورتان روکش‌دار ارائه شده توسط تولیدکننده به شرح زیر می‌باشد:

جدول ۱ـ۲۱ـ ویژگی‌های عایق پلی‌یورتان روکش‌دار

جرم حجمی kg/m^{۳}	مقاومت فشاری MPa	نفوذپذیری بخار آب gm.h.mmHg	جذب آب (٪)	طول m	عرض m	ضخامت mm
٦۰	۰/٤	۲ × ۱۰-۳	ناچیز	۱/۲-٦	۰/۲۵-۰/۵	۲۰-۱۵۰

ـ مشخصات فنی

مطابق با استاندارد EN 13165، فرآوردهٔ فوم پلی‌یورتان صلب پیش‌ساخته دارای دو دسته مشخصات فنی زیر است:

ـ الزامات برای کلیه مصارف: که شامل مقاومت حرارتی و ضریب هدایت حرارتی، طول و عرض، ضخامت، گونیا بودن، تخت بودن، پایداری ابعادی در دما و رطوبت مشخص، تنش فشاری یا مقاومت فشاری و واکنش در برابر آتش است.

ـ الزامات برای مصارف خاص: که شامل تغییر شکل تحت بار فشاری و دمای مشخص، مقاومت کششی عمود بر سطح، بار نقطه‌ای، خزش فشاری، جذب آب، انتقال بخار آب، جذب صدا و انتشار مواد خطرناک است.

ـ انواع محصولات تولیدی در کشور

در ایران پلی‌یورتان در ساختمان‌های پیش‌ساخته صنعتی، سردخانه، ... مورد استفاده فراوان دارد. با وجود اینکه این عایق ضریب هدایت حرارتی خوبی دارد، لیکن وارداتی بودن مواد اولیه و قیمت زیاد آن و هم‌چنین رفتار نامناسب در برابر آتش باعث شده که در ساختمان‌سازی به صورت محدود استفاده گردد.

تولیدات این محصول بیشتر به صورت پانل است و برای عایق‌کاری حرارتی دیوارهای خارجی استفاده می‌شود. در ضمن، تولیدات خاصی برای کانال‌ها و لوله‌های تأسیساتی نیز وجود دارد.

- **اسفنج (فوم) فنولیک**

ـ فرآیند تولید

فوم سلولی صلبی است که ساختار پلیمری آن عمدتاً از پلیمریزاسیون تراکمی فنل، مشتقات و متشابهات آن با آلدئیدها یا کتن‌ها ساخته می‌شود. تاکنون این نوع عایق‌ها در ایران تولید و مصرف نشده است.

جدول ۱ـ۲۲

ویژگی‌های فنی فوم فنولیک پنلی ارائه شده توسط یک تولیدکننده خارجی

جرم حجمی kg/m^3	نفوذپذیری بخار آب g/m.h.mmHg	رفتار در برابر آتش	طول m	عرض m	ضخامت mm
۳۰–۸۵	$(۱–۳) \times ۱۰^{-۳}$	قابل سوختن ولی غیرقابل اشتعال	۲/۵–۶	۰/۶	۵۰–۱۰۰

این عایق به صورت فله برای عایق‌کاری کف زیر شیروانی‌های غیرقابل دسترس مصرف می‌شود. در این صورت جرم حجمی آن بین ۳۰ تا ۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب است.

ـ مشخصات فنی

برای این محصول استاندارد ملی وجود ندارد. لیکن در استاندارد اروپا (EN) الزامات عایق‌های فوم فنلیک ساخته شده در کارخانه را به دو دستهٔ مصارف عمومی و مصارف خاص تقسیم کرده است:

الزامات برای مصارف عمومی عبارتند از: مقاومت حرارتی، طول و عرض، ضخامت، گونیا بودن، تخت بودن، پایداری ابعادی، رفتار خمشی و مقاومت در برابر آتش.

الزامات برای مصارف خاص عبارتند از: پایداری ابعادی در شرایط مشخص شده، مقاومت فشاری، مقاومت کششی عمود بر سطح، بار نقطه‌ای، خزش فشاری، جذب آب، انتقال بخارآب، چگالی ظاهری، مقدار سلول بسته، آزادسازی مواد خطرناک.

- **فوم سخت پی وی سی**

ـ فرآیند تولید

این محصول در چهار مرحله تولید می‌گردد:

ـ ترکیب مواد اولیه در همزن مارپیچی و به دست آوردن یک ماده خمیری

ـ ژلیفیکاسیون در ۱۷۵ درجه سلسیوس تحت فشاری برابر ۲۰۰ تا ۳۰۰ بار در قالب‌های هوابند، برای دستیابی به قطعه‌ای با ساختار سلولی ریز با ابعاد ٦۰ در ٤۰ سانتی‌متر

ـ پیش‌انبساط قطعات در آب ۷۰ درجه سانتی‌گراد

ـ انبساط نهایی در آب ۹۰ درجه سانتی‌گراد

محصول نهایی حجمی بین ۱۵ تا ۳۰ برابر قطعه اولیه دارد. این نوع مصالح به صورت صفحات با رویه چوبی یا به صورت فله عرضه می‌شود. این محصول در ایران تولید نمی‌شود.

ـ مشخصات فنی

دربارهٔ این محصول نیز مشخصات کلی مشابه موارد مربوط به فوم فنلیک است.

جدول ۱ـ۲۳ـ ویژگی‌های فنی فوم سخت پی وی سی پنلی

جرم حجمی kg/m^3	مقاومت فشاری MPa	نفوذپذیری بخار آب g/m.h.mmHg	رفتار در برابر آتش	طول m	عرض m	ضخامت mm
۲۸–۹۰	۰/۲–۱/۲	$(۱–۳) \times ۱۰^{-۳}$	قابل سوختن ولی غیرقابل اشتعال	۲/۵–۳/۶	۰/۸–۱/۲	۲۰–۱۰۰

■ عایق‌های گیاهی

• تراشه‌های چوب فشرده

در ساخت پانل‌های عایق حرارتی، در کشورهایی که دارای منابع اولیه غنی چوب یا نی هستند، از الیاف بلند چوب یا نی که با چسباننده‌های هیدرولیک (سیمان، سیمان و گچ و...) به هم متصل می‌شوند استفاده می‌شود.

در ایران کارخانه کانتکس محصولاتی با استفاده از الیاف نی تولید می‌نمود که به علت عدم وجود فرهنگ استفاده از آن و عدم حمایت از تولیدات آن، فعالیت کارخانه متوقف شد. این محصول کاربردهای متنوعی دارد و از لحاظ زیست محیطی و استفاده از ضایعات نیز قابل توصیه است.

در برخی کشورها تراشه‌های چوب به صورت فله به عنوان پرکننده دیوارهای توخالی و کف زیرشیروانی‌های غیرقابل دسترس استفاده می‌گردد. وزن حجمی این مواد حدود ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است و آن را با عملیات تیمار در برابر آتش مقاوم می‌کنند.

جدول ۱ـ۲٤ مشخصات فنی محصولات متداول در کشورهای اروپایی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ـ۲۴ـ مشخصات فنی پانل با تراشه‌های چوب فشرده

مقاومت فشاری [MPa]	جرم حجمی [kg/m^3]	نفوذپذیری بخار آب	طول [m]	عرض [m]	ضخامت [mm]	جذب آب	رفتار در برابر آتش
متغیر (وابسته به جرم حجمی)	۳٦۰–٥٦۰	متغیر (وابسته به جرم حجمی)	۲/۰	۰/٥	۱٥–۱۰۰	بسیار اندک	غیرقابل اشتعال

- **الیاف سلولزی**

این الیاف طی یک فرآیند در برابر آتش مقاوم می‌شوند و برای عایق‌کاری حرارتی کف زیر شیروانی‌های غیرقابل دسترس بکار می‌روند. الیاف سلولزی تیمارشده و محافظت شده پوسیده نمی‌شوند و وزن حجمی آنها حدود ۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب است.

روش دیگر استفاده از الیاف سلولزی، آغشته کردن آن با چسباننده‌های مخصوص و پاشیدن آن تحت فشار برای دستیابی به سطحی بدون درز و پل حرارتی است. در این حالت، وزن حجمی محصول ٥٥ تا ٦۰ کیلوگرم بر مترمکعب است و غیرقابل اشتعال تلقی می‌گردد.

این محصول نیز مشابه تراشه‌های چوب فشرده در ایران تولید نشده و لذا استاندارد خاصی برای بررسی ندارند.

- **دانه‌های چوب‌پنبه**

دانه‌های چوب‌پنبه به عنوان پرکننده برای دیوارها و کف‌های توخالی به کار می‌رود. وزن حجمی آن حدود ۱۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. این محصول نیز در ایران تولید نمی‌شود و در حال حاضر درعایق‌کاری ساختمان کاربردی ندارد.

۱ـ۲ـ جدارهای نورگذر ساختمان

جدارهای نورگذر یکی از مهمترین نقاط ضعف ساختمان‌ها از نظر انتقال حرارت می‌باشند. دلیل این امر ضخامت کم و ضریب هدایت حرارت بالای قسمت‌های نورگذر می‌باشد. علاوه بر بالا بودن میزان انتقال حرارت در اثر هدایت، تشعشع از طریق این جدارها نیز عامل مهمی است که در بسیاری موارد نقشی تعیین‌کننده در زمینه انرژی ایفا می‌کند. روشن است جدارهای شفاف باید به گونه‌ای طراحی شوند که امکان کنترل میزان ورود نور و انرژی خورشیدی را در ماه‌های مختلف سال تأمین نمایند و در عین حال، میزان انتقال حرارت و صدابندی تأمین‌شده توسط این جدارها باید منطبق با ضوابط و مقررات لازم‌الاجرا در این زمینه باشد. تمامی این عوامل لزوم بهینه‌سازی مشخصات حرارتی این جدارها را به خوبی نمایان می‌سازند.

مؤثرترین روش کنترل میزان انتقال حرارت از جدارهای نورگذر ساختمانی استفاده از شیشه‌های دوجداره ساختمانی است. البته روش‌های دیگری نیز وجود دارد؛ نظیر دو پنجره‌ای کردن جدارهای نورگذر یا استفاده از فیلم‌های شیشه‌ای و جدارهای نورگذر پلیمری. قبل از پرداختن به سیستم‌های مختلف مورد استفاده در جدارهای نورگذر ساختمانی، مقادیر فیزیکی که برای تعیین مشخصات حرارتی جدارهای نورگذر مطرح می‌باشد معرفی می‌گردد:

- **مقاومت حرارتی:** ر.ک. به بخش تعاریف.
- **ضریب انتقال حرارت:** ر.ک. به بخش تعاریف.
- **ضریب سایه**[1]: نسبت میزان حرارت اکتسابی از تشعشع خورشید از طریق یک جدار شفاف، به میزان انرژی اکتسابی از یک شیشه شفاف و بی‌رنگ به ضخامت ۳ میلیمتر. لازم به توضیح است حرارت به دست آمده هم شامل قسمتی است که مستقیماً از شیشه عبور می‌کند و هم شامل بخشی که توسط شیشه جذب شده و سپس به داخل تابیده می‌شود. ضریب سایه بین صفر و یک است.

[1] Shading Coefficient (SC)

ـ **حرارت خورشیدی اکتسابی**[1]: این شاخص قابلیت جذب و انعکاس حرارت خورشیدی را نشان می‌دهد. کم بودن میزان این شاخص قابلیت کاهش و کنترل میزان انرژی توسط جدار نورگذر را نشان می‌دهد.

ـ **ضریب گذر نور مرئی**[2]: درصد نور در طیف مرئی که از جدار نورگذر می‌گذرد.

ـ **ضریب گذر انرژی خورشیدی**[3]: درصد اشعه‌های فرابنفش، مرئی و فروسرخ نزدیک که از جدار نورگذر می‌گذرد.

در ادامه توضیحاتی در مورد هر کدام از سیستم‌های یاد شده داده می‌شود.

■ شیشه‌های دو یا چندجداره

یکی از روش‌هایی که از سال‌ها پیش برای افزایش مقاومت حرارتی جدارهای شفاف و هم‌چنین بهبود صدابندی آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد دوجداره کردن شیشه‌ها می‌باشد. استفاده از این نوع جدارها نه‌تنها صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف انرژی با خود به دنبال دارد، بلکه باعث می‌گردد آسایش حرارتی ساکنین نیز بهبود چشمگیری پیدا کند و افراد در اوقات سرد سال در مجاورت این جدارها احساس سرما نکنند. در اینجا باید اضافه کرد شیشه‌های دوجداره در روزهای گرم نیز در حالتی که از سیستم‌های تهویه مطبوع مدار بسته استفاده می‌شود باعث تقلیل بار برودتی ساختمان و صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌گردند.

دوجداره کردن سیستم شیشه‌های ساختمانی هدایت حرارت را در حد ۵۰٪ کاهش می‌دهد. لازم به توضیح است که نوع گاز تزریق‌شده در فاصله بین دو شیشه از اهمیت خاصی برخوردار است و می‌تواند مشخصات حرارتی یا صوتی و یا هر دو را بهبود بخشد.

---

[1] Solar Heat Gain
[2] Visible Light Transmittance
[3] Solar Energy Transmittance

در سیستم‌های جدید، از شیشه‌های دوجداره‌ای استفاده می‌گردد که دارای پوشش‌هایی برای کنترل کردن میزان انرژی تشعشعی منتقل شده از خارج به داخل (خورشیدی) و از داخل به خارج هستند. باید اضافه کرد پوشش‌های فلزی (نقره‌ای[1]، ...) نیز در بعضی موارد برای محدود کردن انرژی منتقل شده (با افزایش میزان انعکاس نور خورشید) استفاده می‌شود، ولی این امر باعث تیره‌شدن شیشه، تاریک‌شدن فضای داخل ساختمان و افزایش میزان بهره‌گیری از روشنایی مصنوعی می‌شود. برای رفع این نقطه‌ضعف، در ساخت شیشه عایق از پوشش‌های خاصی استفاده می‌شود که گذر نور[2] شیشه با استفاده از آنها به ۷۸٪ می‌رسد که در مقایسه با میزان انتقال نور شیشه‌های رفلکتیو که در حدود ۲۰٪ است بسیار چشم‌گیر می‌باشد. به طور کلی پوشش‌های شیشه‌ها به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱ـ پوشش‌های کم‌گسیل[3] برای تقلیل بیش از ۵۰٪ انتقال حرارت در اثر تشعشع از داخل به خارج. این پوشش برای مناطق سردسیر توصیه می‌شود و روی سطح سوم شیشه دوجداره قرار می‌گیرد. پوشش‌های کم‌گسیل به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند:

- **نوع سخت**[4]: این پوشش، زمانی که شیشه روی حمام قلع است روی آن پاشیده می‌شود. بدین ترتیب، با توجه به نفوذ پوشش در شیشه مذاب، دوام پوشش قابل توجه می‌باشد.
- **نوع نرم**[5]: این نوع پوشش اکثراً بر روی فیلم‌های پلیمری که در مراحل بعدی به شیشه چسبیده می‌شوند کارگذاشته می‌شوند. این نوع پوشش پرهزینه‌تر و در عین حال کارآمدتر از نوع سخت است.

---

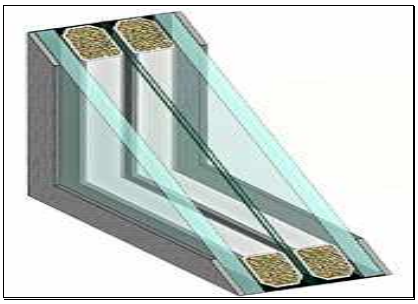
[1] Silver coating
[2] Light transmission
[3] Low Emissivity Coatings : Low-E
[4] HardCoat
[5] SoftCoat

۲ـ پوشش‌های کنترل نور خورشید[1] برای محدود کردن انتقال انرژی خورشید به داخل ساختمان. این پوشش برای مناطق گرمسیر توصیه می‌شود و روی سطح دوم شیشه دوجداره قرار می‌گیرد.

۳ـ پوشش‌هایی که ترکیبی از دو نوع قبلی است [2]، برای استفاده در مناطق سردسیر و گرمسیر مناسب می‌باشد. و روی سطح دوم شیشه دوجداره قرار می‌گیرد.

با استفاده از سیستم‌های دوجداره، می‌توان ضریب انتقال حرارت جدار شفاف را از ۵/۸ (وات بر مترمربع بر درجه کلوین) به ۳ رسانید. در شیشه‌های دوجداره با پوشش‌های یادشده، ضریب انتقال را می‌توان تا ۱/۱ کاهش داد.

به کارگیری فاصل‌های[3] آلومینیومی، که در گوشه خم‌کاری شده‌اند، یکنواختی فاصله بین دو شیشه را تضمین می‌کند. قطعات شیشه‌ای با استفاده از بوتیل به یکدیگر پیوند می‌خورند. بهره‌گیری از ماده جاذب‌الرطوبه مخصوص که در داخل فاصل‌ها پر شده‌اند، باعث می‌گردد هوا یا گاز محبوس شده بین شیشه‌ها عاری از رطوبت گردد. در آخرین مرحله تولید، پیرامون مجموعه با یک ماده آب‌بند و هوابند که دارای خاصیت الاستیکی است پوشیده می‌شود. در سال‌های اخیر، استفاده از گاز تزریقی کریپتون و فاصل‌های استیل امکان بهبود هر چه بیشتر ضرایب انتقال حرارت سیستم‌های شیشه دوجداره را فراهم ساخته است.



یکی از تازه‌ترین تکنولوژی‌های روز در زمینه شیشه‌های چندجداره با اضافه کردن لایه‌های پلیمری آیینه حرارت[4] در بین لایه‌های شیشه حاصل شده است و امکان کاهش ضریب انتقال حرارت را به زیر ۰/۳ $[W/m^2.K]$ می‌رساند.

---

[1] Solar Control Coatings
[2] Low-E-Sun Coatings
[3] spacer
[4] Heat Mirror

ـ فرآیند تولید

اولین مرحلـه در تولیـد سیسـتم‌هـای شیشـه دو یـا چندجـداره بـرش قطعـات بزرگ شیشه به اندازه‌های مورد نیاز است.

در مرحله بعدی، شیشه‌های آماده‌شـده در صورت نیاز بـه سـکوریت شـدن بـه دستگاه پیش‌بینی شده بـرای ایـن منظـور منتقل می‌گردد تا پـس از گـرم شـدن تـا ۸۰۰ درجه به طور ناگهـانی سـرد شـوند. سپس شیشه‌هـا بـه خـط دیگـری منتقـل می‌شوند تا پـس از شسـته شـدن بـا آب دوبار تقطیر خشک شوند.

در خط دیگری، به صورت مـوازی جداکننده‌ها با ضخامت‌های تعیین‌شـده (۱۰ تا ۱٤ میلیمتر) به صورت خودکار بریده‌شده و خم می‌شوند.

در ادامه، جداکننده‌ها که به صورت قاب در می‌آیند، از یک یا دو نقطه (بنا به نیاز) سوراخ گردیده و سیلیکاژل یـا مولکولار سیو در آن تزریـق مـی‌گـردد تا عمل رطوبت‌گیری هـوای محبـوس در شیشه دو یا چندجداره انجام‌شود.

شکل ۱ـ۴

سیستم اتوماتیک برش شیشه‌های فلوت مورد استفاده در ساخت شیشه‌های چندجداره ساختمانی

شکل ۱ـ۵

دستگاه خم اتوماتیک فاصل‌های آلومینیومی

سپس فریم‌ها با یک دستگاه مخصوص در دو طرف به چسباننده (بوتیـل) آغشـته می‌شوند و به یکی از شیشه‌های آماده چسبیده می‌شوند.

شکل ۱ـ۶
دستگاه تزریق اتوماتیک رطوبت‌گیر (سیلیکاژل) در فاصل‌های آلومینیومی

شکل ۱ـ۷
مرحله اعمال چسب به دوطرف فاصل

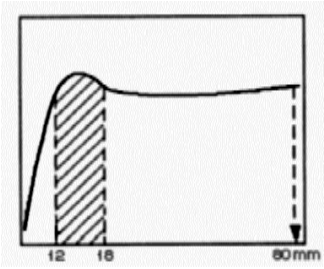
در قسمت بعدی خط تولید، فاصل از یک طرف به شیشه اول چسبیده می‌شود. در ادامه، شیشه دوم به صورت خودکار بر روی شیشـه اول و جداکننـده نصـب شـده و پرس می‌شود.

در پایان، عملیات آب‌بندی نهایی محصول با استفاده از چسباننده‌های مختلف (بنا به طراحی و نیاز) صورت می‌گیرد.

ـ مشخصات فنی (حرارتی)

همان‌گونه که در قسمت‌های قبلی گزارش نیز مطرح شد، مقاومت حرارتی شیشـه به دلیل ضریب هدایت بالا و ضخامت ناچیز لایه‌های شیشه به‌کـار رفتـه بسـیار کـم است. به همین علت، در این جدارهای نورگذر، سعی می‌گردد ضریب انتقال حرارت

جدار با دو یا چند لایه کردن شیشه و پیش‌بینی هوای خشک یا گازی مخصوص بین جام‌های شیشه تا حد امکان کاهش یابد.



شکل ۱ـ۸
تغییرات مقاومت حرارتی لایه هوا بر حسب ضخامت

البته استفاده از گازهای خاص (معمولاً گازهای خنثی) بین لایه‌های شیشه و افزایش ضخامت لایه بین شیشه‌ها تأثیر محدودی بر روی ضریب انتقال حرارت مجموعه دارد. برای نمونه، در مورد شیشه‌های دوجداره ساده، امکان دستیابی به ضرایب انتقال حرارتی کمتر از ۲/۹ $[W/K.m^2]$ وجود ندارد.

در ضمن، مطالعات نشان داده است که ضخامت‌های بهینه برای دستیابی به حداکثر مقاومت برای لایه هوا در سیستم‌های شیشه‌های چندجداره بین ۱۲ و ۱۸ میلیمتر است.

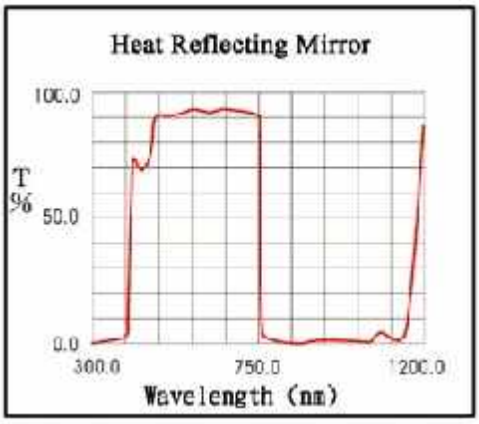
در نتیجه، با توجه به محدود بودن اثر ضخامت و نوع گاز مورد استفاده در ساخت شیشه‌های دوجداره، در فناوری‌های جدید، از شیشه‌هایی با پوشش‌های کم‌گسیل[1] استفاده می‌شود تا عملکرد جدار، با کنترل میزان انتقال و انعکاس انرژی در فرکانس‌های مختلف، بهبود یابد. این پوشش‌های نازک فلزی نامرئی به وسیله یک فرآیند الکترومغناطیسی در محفظه خلاء بر روی سطح شیشه اعمال می‌شود. لازم به توضیح است به‌طور طبیعی و کلی، پرتوهای حرارتی با طول موج بالا در زمان انتقال به داخل، به‌وسیله لایه سطح شیشه منعکس می‌شوند و لایه فلزی به کار رفته در سیستم‌های کم‌گسیل تغییر قابل ملاحظه‌ای در نرخ انتقال نور مرئی شیشه ایجاد نمی‌کند. در اینجا باید به این نکته اشاره کرد که نرخ انتقال نور به میزان بالا[2] در شیشه‌های کم‌گسیل (۷۹٪) بهره جستن از حداکثر میزان نور روز را تضمین می‌کند.

---

[1] Low Emissivity یا Low – E
[2] High Light Transmission

این نوع شیشه‌ها، به دلیل ظاهر بی‌رنگ، به راحتی با سایر شیشه‌های مورد استفاده در نمای ساختمان‌ها قابل ترکیب می‌باشد و باعث می‌گردد ضریب انتقال حرارت برای سیستم‌های دوجداره تا ۱/۱ [$W/K.m^2$] کاهش یابد.

همانگونه که در قسمت‌های قبلی گزارش نیز مطرح گردید، نوآوری‌های دیگری نیز جدیداً مطرح شده‌اند که با قراردادن یک یا چند لایه آیینه حرارتی به صورت فیلم تنیده پلیمیری در لایه هوا و یا با به کارگیری فاصل‌هایی همراه با انقطاع حرارتی، برای به حداقل رسانیدن پل حرارتی فاصل‌ها، عملکرد حرارتی شیشه‌های چندجداره را بیش از پیش بهبود می‌بخشند.



شکل۱ـ۹

درصد انتقال نور خورشید بر حسب طول موج

به‌طور خلاصه، خصوصیات سیستم‌های شیشه‌ای چندجداره به شرح زیر می‌باشد:

۱- انتقال حرارت از جدارهای شفاف در دوره‌های سرد و گرم سال به حداقل می‌رسد.

۲- از روشنایی و انرژی خورشید استفاده بهینه می‌شود.

۳- ظاهر و جلوه جدار، نامرئی و بی‌رنگ می‌باشد.

در جدول زیر، ضرایب انتقال حرارت نمونه‌های مختلف شیشه دو یا چند جداره برای مقایسه ارائه می‌گردد:

جدول ۱ـ۲۵ـ مشخصات حرارتی انواع مختلف شیشه‌های چندجداره ساختمانی

نوع شیشه یا مصالح	ضخامت لایه‌های شیشه‌ای (میلیمتر)	ضخامت لایه‌های هوا (میلیمتر)	نوع لایه هوا	ضریب انتقال حرارت U [w/m2k]
تک‌جداره	٤	–	–	٥/٩
تک‌جداره	٦	–	–	٥/٨
تک‌جداره	٥٠	–	–	٤/٧
دوجداره	٤ و ٦	١٢	هوای خشک	٣/٠
دوجداره	٤ و ٦	١٢	گاز بی‌اثر	٢/٩
دوجداره کم‌گسیل	٤ و ٦	١٢	گاز بی‌اثر	١/٣
دوجداره کم‌گسیل	٤ و ٦	١٦	گاز بی‌اثر	١/١
دوجداره کم‌گسیل	٤ و ٦	١٢	گاز کریپتون[1]	١/٠
سه جداره	٤ و ٦ و ٤	٩ و ٩	هوای خشک	٢/٢
سه جداره	٤ و ٦ و ٤	٩ و ٩	گاز بی‌اثر	١/٩
سه جداره کم‌گسیل	٤ و ٦ و ٤	١٢ و ١٢	گاز بی‌اثر	١/٠
سه جداره کم‌گسیل	٤ و ٦ و ٤	٨ و ٨	گاز کریپتون	٠/٧
سه جداره کم‌گسیل	٤ و ٦ و ٤	١٠ و ١٠	گاز کریپتون	٠/٦
سه جداره کم‌گسیل	٤ و ٦ و ٤	١٢ و ١٢	گاز کریپتون	٠/٥
دوجداره با آیینه حرارتی	٦ و ١ و ٦	١٠ و ١٠	گاز کریپتون	٠/٣ تا ٠/٥
دیوار ٣٥ سانتی آجری	–	–	–	حدوداً ٢/٠

[1] Krypton

■ فیلم‌های شیشه‌ای

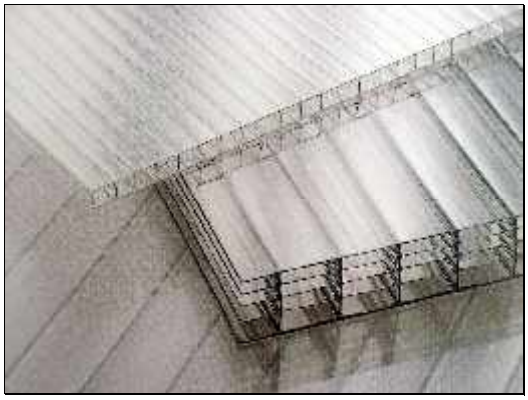
این محصول از یک فیلم نرم پلیمری شفاف تشکیل می‌شود که دارای یک رویه چسب‌دار است. با اضافه کردن این فیلمِ حاوی یک پوشش کم‌گسیل بر روی شیشه‌های موجود ساختمان، نور مرئی قادر به عبور از جدار شفاف خواهد بود ولی به‌طور قابل ملاحظه‌ای از عبور اشعه فروسرخ و فرابنفش جلوگیری به عمل می‌آید. بدین ترتیب، انتقال حرارت در اثر هدایت و همرفت تغییر محسوسی نخواهد کرد، ولی انتقال حرارت به صورت تشعشع در تابستان و زمستان کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، میزان عبور نور مرئی تغییر چندانی نخواهد داشت، ولی بخشی از تشعشع که در طیف غیر مرئی واقع است به‌طور قابل ملاحظه‌ای سد می‌گردد.

کاربرد این فیلم‌ها در ساختمان‌های موجود، که تعویض قسمت‌های نورگذر (دوجداره کردن شیشه‌ها و تعویض قاب‌های موجود با قاب‌های مخصوص شیشه‌های دو جداره) فاقد توجیه اقتصادی است، مطرح می‌گردد. بیشترین کارآیی این محصول در مناطق گرمسیر است و باعث کاهش ورود حرارت از خارج به داخل ساختمان می‌شود.

■ جدارهای نورگذر پلیمری

با توجه به فن‌آوری‌های جدیدی که در صنعت پلیمر ظاهر شده است، اقدامات گسترده‌ای در جهت کاربرد جدارهای نورگذر پلیمری در حال انجام است. یکی از مطرح‌ترین مواد پلیمری که در این زمینه استفاده می‌شود پلی‌کربنات است.

در ایران نیز اخیراً تولیداتی با استفاده از این پلیمر به بازار عرضه شده است. این تولیدات جدارهای نورگذر یک یا چند لایه را شامل می‌شود.



شکل ۱ـ۱۰ـ جدارهای نورگذر چندلایه از پلی‌کربنات

این جدارهای پلیمری دارای نقاط قوتی هستند که در ادامه به مهمترین آنها اشاره‌ای کوتاه خواهد شد:

ـ مقاومت ضربه‌ای مناسب

ـ مقاومت و پایداری در برابر تشعشع فرابنفش

ـ انتقال مناسب نور (ضریب انتقال نور بین ۸۲ و ۸۹ درصد)

ـ جلوگیری از عبور اشعه‌های فرابنفش و فروسرخ

ـ ضریب انتقال حرارت مناسب

ـ عدم مشارکت در گسترش حریق

ـ سبکی، ایمنی

محصولات نورگذر دوجداره شفاف تولیدشده با این ماده ضریب انتقال حرارتی در حد ۳ دارند. محصولات سه تا ٦ لایه نیز می‌توانند ضرایبی به ترتیب در حد ۲/۷، ۲/۲ ، ۱/۸ و ۱/۵ داشته باشند.

مشکل اساسی که محصولات تولیدشده با این پلیمر با آن روبرو هستند، خط افتادن، کدر شدن و عدم امکان کنترل و جلوگیری از میعان در شرایط اقلیمی حاد است که باعث می‌گردد کاربردهای آن در بخش قابل توجهی از کاربری‌های ساختمانی محدود باشد.

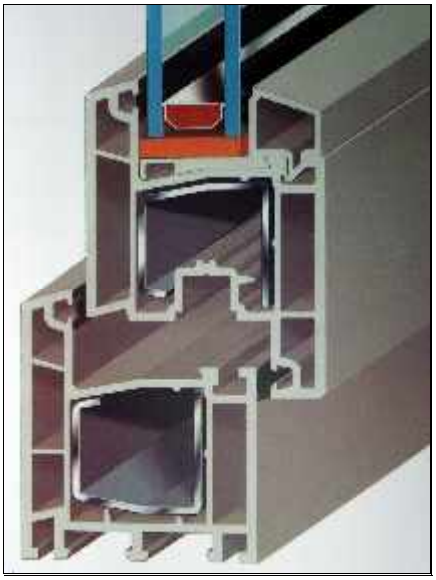
۱ـ۳ـ قاب جدارهای نورگذر

قاب‌های متداول فلزی دارای ضریب انتقال حرارت بالایی هستند و در صورتی کـه از شیشه‌های دوجداره در قاب‌های فلزی موجود استفاده شود، پل‌های حرارتی قابل توجهی باقی خواهد ماند و باعث کاهش کارآیی قسمت‌های نورگذر خواهد گردید.

برای رفع این نقطه ضعف، از قاب‌های چوبی یا پلیمری اسـتفاده مـی‌شـود یـا در پروفیل‌های فلزی فاصلی پلیمری کارگذاشته می‌شود تا انقطـاعی حرارتـی[1] در مسـیر جریان حرارت ایجاد شود.

متأسفانه، به دلیل کمبـود چـوب در کشـور، اسـتفاده از قـاب‌هـای چـوبی بـرای جدارهای نورگذر در ساختمان‌ها راه‌حل قابل طرحی نیست.

ولـی کـاربرد پروفیـل‌هـای پلیمـری (خصوصاً پی‌وی‌سی) می‌تواند به‌صورتی جـدی بـرای بهینـه‌سـازی قـاب‌هـای جدارهای نورگذر در نظر گرفتـه شـود. البته، باید گوشزد کرد کـه در سـال‌هـای اخیر، تولید محصولاتی با کیفیـت نـازل که در اثر اشعه فروسـرخ و سـیکل‌هـای حرارتی فاقد پایداری و دوام لازم هستند باعث گردیده عدم اعتمادی در مورد این محصول به وجـود آیـد. در نتیجـه، لازم اسـت در آینـده اجبـاری کـردن کنتـرل کیفیت این محصـولات بـه‌طـور جـدی برنامه‌ریزی گردد.

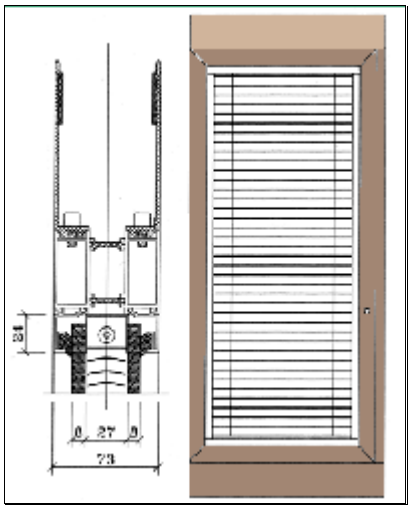


شکل ۱ـ۱۱

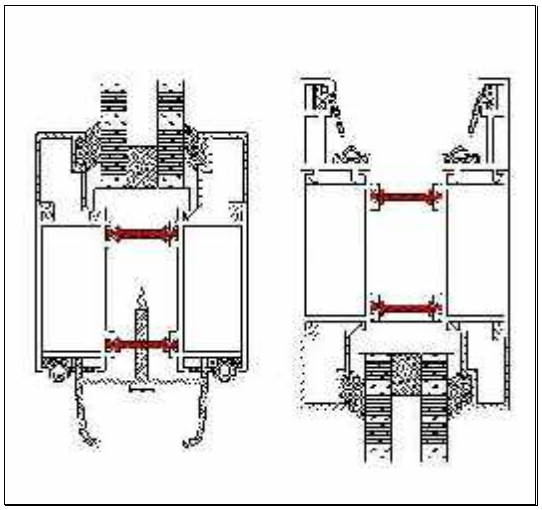
مقطع یک قاب پنجره پی‌وی‌سی

[1] Thermal Break

استفاده از پروفیل‌های آلومینیومی با انقطاع حرارتی نیز از سال‌های پیش در کشـور آغـاز شده و به دلیل عدم استقبال عمومی (هزینه بـالا در مقایسـه بـا دیگـر محصـولات) و عـدم پشتیبانی از این نوع محصول، به صورتی بسیار محدود مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۱ـ۱۳ـ مقطع یک فریم آلومینیومی با انقطاع حرارتی و شیشه دوجداره با کرکره داخلی



شکل ۱ـ۱۲ـ مقطع یک فریم آلومینیومی با انقطاع حرارتی

فصل دوم:

انواع شیوه‌های عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان و انتخاب شیوه‌های مطلوب برای ساختمان‌های موجود

پوسته خارجی ساختمان، که در مصرف انرژی نقش عمده‌ای دارد، شامل بخش‌های مختلفی به ترتیب زیر می‌باشد:

۱- بام
۲- سقف مجاور فضای کنترل‌نشده
۳- کف مجاور فضای خارج
٤- کف مجاور فضای کنترل‌نشده
۵- کف روی خاک
٦- دیوار مجاور فضای خارج
۷- دیوار مجاور فضای کنترل‌نشده
۸- پنجره
۹- در
۱۰- پل‌های حرارتی

در این بخش، ابتدا به شیوه‌های عایق‌کاری حرارتی هر قسمت اشاره می‌شود و سپس روش عایق‌کاری مطلوب برای ساختمان‌های موجود، تعیین می‌گردد. در انتخاب شیوهٔ مطلوب عایق‌کاری حرارتی ساختمان‌های موجود عوامل زیر مورد توجه قرار می‌گیرند:

- انتخاب شیوه‌هایی که مراحل اجرایی عایق‌کاری حرارتی ساختمان کم‌ترین اختلال را در عملکرد ساختمان و زندگی ساکنین ایجاد کند.
- انتخاب شیوه‌هایی که پیش از این بدون ایجاد مشکل مورد استفاده قرار گرفته‌اند و مشکلات احتمالی آنها به تدریج برطرف شده است.
- سادگی اجرای عایق حرارتی با تحمیل هزینهٔ کمتر به کاربران و ساکنین

- توجه به استفاده از اینرسی حرارتی ساختمان، به منظور کاهش نوسان روزانهٔ دما در ساختمان‌های با استفاده مداوم
- کاهش انتقال حرارت از پل‌های حرارتی تا حد ممکن
- جلوگیری از بروز پدیده میعان در جدارهای ساختمانی

۲ـ۱ـ عایق‌کاری حرارتی بام

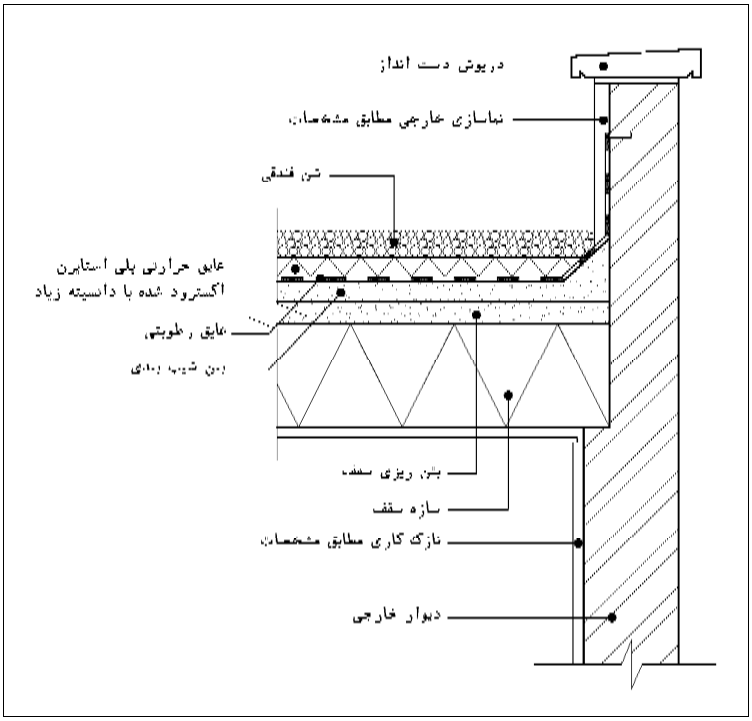
بام ساختمان‌ها به دو شکل اصلی مسطح و شیب‌دار هستند. در ساختمان‌های بررسی شده در شهرهای تهران، یزد، بندرعباس و اردبیل، بام‌ها مسطح می‌باشند و تنها در ساختمان‌های شهر رشت از بام شیب‌دار استفاده شده است.

بام مسطح به عنوان سقف نهایی ساختمان که مجاور فضای خارج است به سه روش عایق‌کاری از داخل، عایق‌کاری از خارج و عایق‌کاری همگن می‌تواند اجرا شود. از آنجا که عایق حرارتی همگن برای ساختمان‌های در حال طراحی و ساخت و یا ساختمان‌های صنعتی قابل اجرا است در این جا به تشریح آن نمی‌پردازیم. بنابراین در بام‌های موجود، می‌توان به دو روش از داخل یا از خارج عایق‌کاری حرارتی را اجرا نمود.

عایق‌کاری حرارتی بام مسطح از خارج

برای عایق‌کاری حرارتی بام از خارج می‌توان به دو روش عمل نمود. عایق حرارتی روی لایه عایق رطوبتی یا عایق حرارتی زیر لایه عایق رطوبتی. در شکل۲ــ۱ نحوه اجرای عایق حرارتی روی لایه عایق رطوبتی نشان داده شده است. در این حالت باید روی لایه عایق رطوبتی، که بهتر است از نوع ایزوگام یا محصولات مشابه باشد، یک لایه نایلون پهن کرد تا عایق حرارتی به آن نچسبد. سپس عایق حرارتی را که می‌تواند از پلی‌استایرن غیرجاذب آب (معمولاً از انواع اکسترود شده) باشد روی آن قرار داد. برای محافظت این عایق حرارتی در مقابل اشعه فرابنفش (ماوراء بنفش)، شوک‌های حرارتی و جلوگیری از بلند شدن عایق در اثر باد باید حداکثر به ضخامت ۵ سانتی‌متر

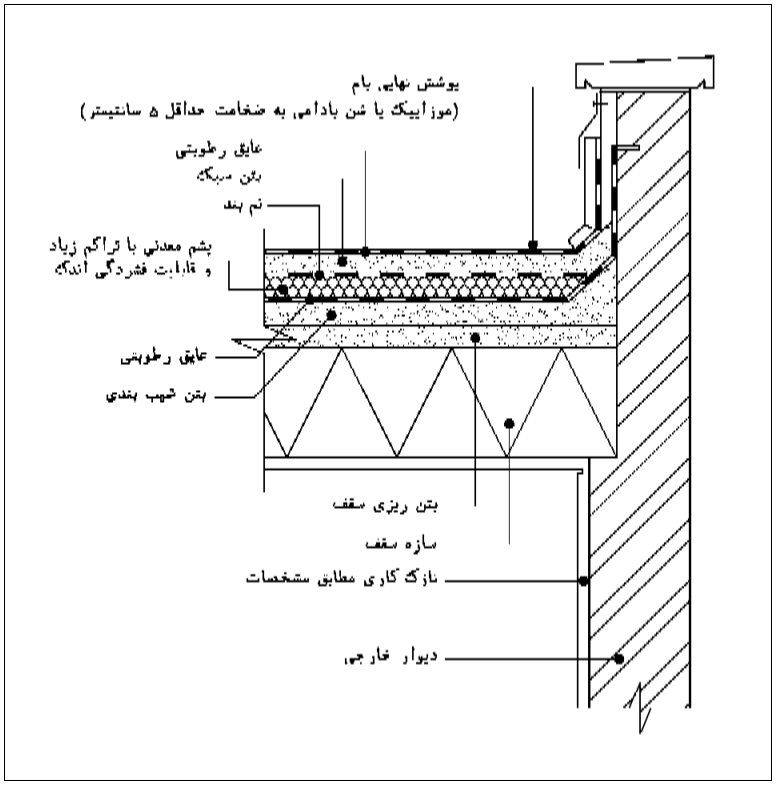
روی آن شن بادامی یا فندقی ریخت، یا قطعات موزائیک یـا سـیمانی را بـدون مـلات روی آن چید. برای چیدن قطعات موزائیک می‌توان از پایه‌هـای پلاسـتیکی مخصـوص استفاده کرد یا از روش ارائه شده در راهنمای جزئیات اجرایی مبحث ۱۹ پیروی نمـود. از مزایای این روش عدم نیاز به هرگونه تغییر در ساختار موجـود بـام مـی‌باشـد و بـه عنوان مخاطرات این روش می‌توان به بار اضافی ناشی از لایـهٔ شـن بـادامی یـا فنـدقی اشاره کرد.



شکل ۲ـ۱ـ اجرای عایق حرارتی پلی‌استایرن در بام روی عایق رطوبتی

اگر لایه عایق حرارتی زیر عایق رطوبتی اجرا شـود، ابتـدا شـیب‌بنـدی بـام اجـرا می‌شود و سپس قطعات پلی‌استایرن یا عایق معدنی فشـرده بـر سـطح بـام قـرار داده می‌شوند. روی عایق حرارتی یک لایه نایلون به عنوان نم‌بند قرار داده می‌شود. سـپس روی آن یک لایه سیمان لیسه‌ای اجرا می‌گـردد و روی بسـتر سـیمان لیسـه‌ای عـایق

رطوبتی اجرا خواهد شد. باید توجه داشت که اگـر اجـرای عـایق رطـوبتی تـوأم بـا حرارت باشد، حرارت مزبور به عایق حرارتی صدمه‌ای وارد نیاورد. لازم است اشاره شود که در صورت استفاده از عایق‌های معدنی باید در زیر آنها یک لایه بخاربند قرار گیرد. پس از اجرای عایق رطوبتی کف‌سازی بام به طور معمول انجام خواهد گرفـت که می‌تواند یک لایه ملات ماسه سیمان و یک لایه موزائیک باشد. شکل ۲ـ۲ اجـرای عایق حرارتی پشم شیشه را در بام و در زیر عایق‌رطوبتی نشان می‌دهد.



شکل ۲ـ۲ـ اجرای عایق حرارتی پشم معدنی در بام زیر لایه عایق رطوبتی

همان‌گونه که پیش از این ذکر شد، خطر بروز میعان در عایق‌هـای معـدنی بسـیار جدی است و برای محافظت آن‌ها، و حتی عایق‌های پلیمری، تعبیه یک لایهٔ بخاربنـد در زیـر عـایق حرارتـی الزامـی اسـت. امـا در اجـرای ایـن روش عـایق‌کـاری در

ساختمان‌های موجود، به سبب وجود لایه عایق رطوبتی قبلی نیازی به قرار دادن لایه بخاربند نمی‌باشد. نکته دیگر در مورد پشم‌های معدنی استفاده از نوع با دانسیته زیاد است تا فشردگی آن در حد قابل قبول باشد.

اما این شیوه عایق‌کاری حرارتی مشکلاتی را به همراه دارد. به علت اینکه عایق حرارت زیر لایه عایق رطوبت است، در اثر تابش آفتاب یا اختلاف زیاد دمای شب و روز در مناطق گرم و خشک دمای عایق رطوبتی با نوسانات بسیار شدید روبرو است، و این امر سبب بروز انبساط و انقباض شدید در عایق رطوبتی و ایجاد خطر پارگی آن می‌شود. برای کاهش این خطر، توصیه می‌شود عایق رطوبت به لایه‌های بام نچسبد و نیز باید با لایه‌ای ضخیم مثل فرش موزائیک پوشانده شود. بالا بودن قیمت عایق‌های با دانسیته بالا و همچنین محدودیت‌های موجود در خصوص ضخامت عایق حرارتی که از خطر فشردگی عایق ناشی می‌شود از مهمترین نقاط ضعف این سیستم است.

با توجه به موارد ذکر شده، پیشنهاد می‌شود از میان این دو شیوه عایق‌کاری حرارتی، از روش اجرای عایق حرارتی روی عایق رطوبتی استفاده شود، زیرا اجرای آن ساده‌تر و میزان عملیات تخریب و بازسازی آن کمتر است، ضمن اینکه مجموعه بام شرایط حرارتی بهتری دارد.

عایق‌کاری حرارتی بام مسطح از داخل

برای عایق‌کاری حرارتی بام از داخل دو روش وجود دارد. در روش اول صفحات عایق حرارت با پیچ‌های بلند به سقف پیچ می‌شوند و در حالت دوم سقف کاذب کوتاهی اجرا شده و صفحات عایق حرارت روی سقف کاذب قرار می‌گیرند. در هر دو حالت نیاز به کار در فضای داخل است که این مسأله زندگی ساکنین را تا پایان اجرا مختل می‌سازد. ضمن اینکه در روش دوم از ارتفاع داخلی حداقل به مقدار ۱۵ cmکاسته خواهد شد و برای نصب چراغ‌های سقفی می‌بایست

از تجهیزات خاص استفاده کرد. در صورت استفاده از انواع پشم‌های معدنی به عنوان عایق حرارتی وجود یک لایه بخاربند به سمت داخل لازم است. با توجه به این نکات توصیه می‌شود از این روش عایق‌کاری حرارتی بام‌های تخت در ساختمان‌های موجود صرف‌نظر شود.

۲ـ۲ـ سقف مجاور فضای کنترل‌نشده

این حالت تنها در شرایطی دیده می‌شود که در بالای قسمتی از بام فضایی به شکل انبار وجود داشته باشد یا در بالای سقف نهایی زیر شیروانی کنترل‌نشده قرار گرفته باشد. در حالت اول می‌توان از عایق‌کاری حرارتی این بخش سقف خودداری کرد و در مقابل به مقدار عایق حرارتی در جدارهای دیگر افزود. در حالت دوم اگر زیر شیروانی غیرقابل استفاده است می‌توان لایه عایق حرارتی معدنی را به صورت توپی روی سطح آن گستراند یا عایق فله‌ای را روی آن پاشید. در صورت استفاده از انواع پشم‌های معدنی به کار بردن یک لایه بخاربند در طرف گرم عایق حرارتی الزامی است.

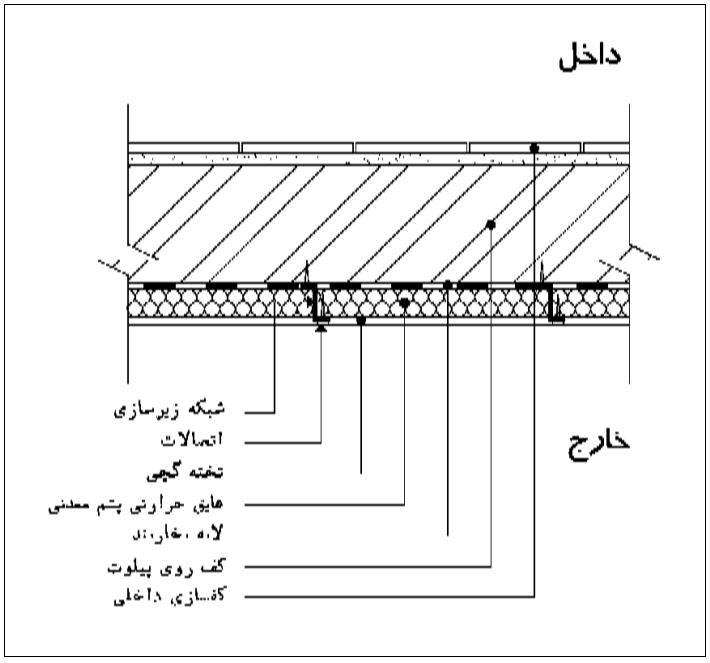
۲ـ۳ـ کف مجاور فضاهای کنترل‌نشده و خارج

فضاهای زیر کف غالباً انبارها یا پارکینگ‌هایی هستند که می‌توانند بسته یا باز باشند. کف‌های مجاور این فضاها را می‌توان به دو طریق عایق حرارتی نمود. روش اول کف شناور و روش دوم نصب عایق‌کاری حرارتی از زیر است. در روش اول، پس از مسطح کردن روی سازهٔ سقف با سیمان لیسه‌ای، قطعات عایق حرارتی که می‌تواند پلی‌استایرن یا انواع پشم‌های معدنی با دانسیته زیاد باشد قرار داده می‌شود. در صورت استفاده از پشم‌های معدنی باید طرف رو به داخل عایق حرارتی دارای لایه بخاربند باشد. سپس روی عایق حرارتی یک لایه نایلون کشیده می‌شود و روی آن کف‌سازی نهایی انجام می‌گیرد. استفاده از عایق‌های معدنی معمولاً نتایج

آکوستیکی خوبی را (از نظر انتقال صدای کوبه‌ای) با خود به همراه دارد ولی باید از اتصال کف تمام شده به دیوار با استفاده از مواد انعطاف‌پذیر جلوگیری کرد (کف شناور) و در نتیجه از هرگونه اتصال سازه‌ای کف تمام شده به دیوار پرهیز کرد.

در روش دوم، می‌توان از نصب عایق با پیچ‌های بلند یا لایه عایق حرارتی روی سقف کاذب استفاده کرد. در اینجا نیز در صورت استفاده از انواع پشم‌های معدنی به عنوان عایق حرارتی، لازم است در طرف گرم عایق، یعنی روی آن، از یک لایه بخاربند استفاده نمود.

در اینجا باید اضافه کرد که چون اجرای روش اول مستلزم کار در داخل فضای زندگی و تخریب کف‌سازی موجود و اجرای مجدد آن است، لذا روش دوم که ساده‌تر است برای ساختمان‌های موجود پیشنهاد می‌گردد. شکل ۲ـ۳ نصب عایق‌حرارتی پشم‌شیشه با پیچ‌های بلند به کف روی پیلوت را نشان می‌دهد.



شکل ۲ـ۳ـ اجرای عایق حرارتی پشم شیشه در زیر کف روی پیلوت

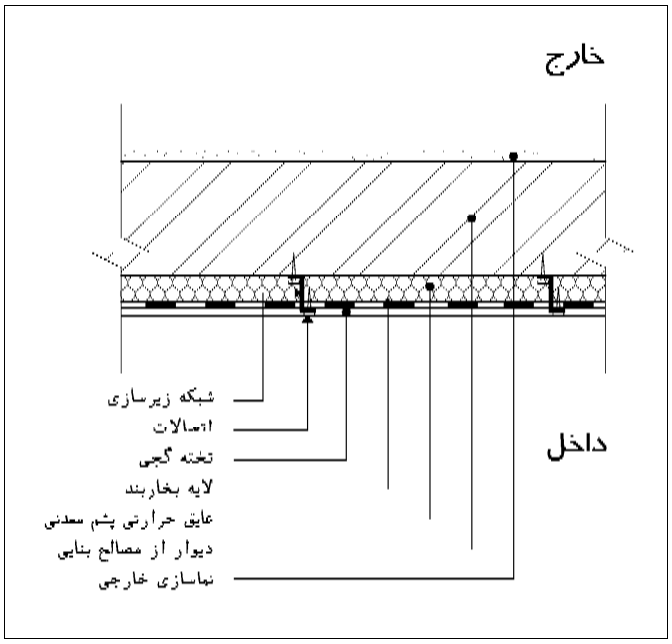
۲ـ٤ـ کف روی خاک

بخش‌هایی از فضاهای طبقات همکف یا تمام طبقه زیرزمین، که ممکن است فضای کنترل شده نیز باشد، در ساختمان‌های موجود دارای کف روی خاک هستند. برای کاهش اتلاف حرارتی در فضاهای کنترل شده می‌توان اقدام به نصب یک لایه عایق حرارتی به عرض ۱ متر پیرامون کف این فضاها نمود. اما چون این امر مستلزم تخریب کف‌سازی موجود است توصیه نمی‌شود. برای جبران انتقال حرارت از کف روی خاک می‌توان به ضخامت عایق حرارتی در سایر جدارها افزود یا عایق دیوارهای خارجی را تا روی پی ادامه داد. روش دیگر ادامه عایق‌کاری از خارج تا نزدیکی عمق پی‌ها است، ولی این اقدام نیز در بخش اعظم ساختمان‌های موجود در شهرها غیر عملی است.

۲ـ٥ـ دیوار مجاور فضای خارج

دیوارهای موجود در فضای خارج را به سه طریق می‌توان عایق‌کاری حرارتی نمود. عایق از داخل، عایق از خارج و عایق در لایه میانی دیوار. از آنجا که حالت سوم در ساختمان‌های در حال ساخت قابل اجرا است لذا در این قسمت از آن صرف‌نظر می‌کنیم. برای عایق‌بندی از داخل دو روش اصلی وجود دارد. در روش اول صفحات عایق حرارتی با چسب مخصوص به دیوارها چسبانده می‌شود. در این روش درز بین صفحات با لبه‌هایی که روی آنها تعبیه شده است پوشانده می‌شود و پس از نصب صفحات نازک‌کاری اجرا می‌شود. در صورتی که از انواع پشم‌های معدنی استفاده شود، باید به‌صورت تخته‌ای باشند و در طرف گرم دارای لایه بخاربند باشند. استفاده از پلی‌استایرن یا عایق‌های پلیمری به علت خطر آتش‌سوزی و آزاد کردن گازهای سمی در فضای داخل توصیه نمی‌شود.

در روش دوم یک زیرسازی چوبی یا فلزی روی دیوار انجام می‌گیرد. صفحات عایق حرارت بین قطعات چوب یا فلز قرار می‌گیرند و بعد روی آنها نازک‌کاری انجام می‌شود. شکل ۲ـ٤ جزییات این شیوهٔ عایق‌کاری حرارتی دیوار را نشان می‌دهد.



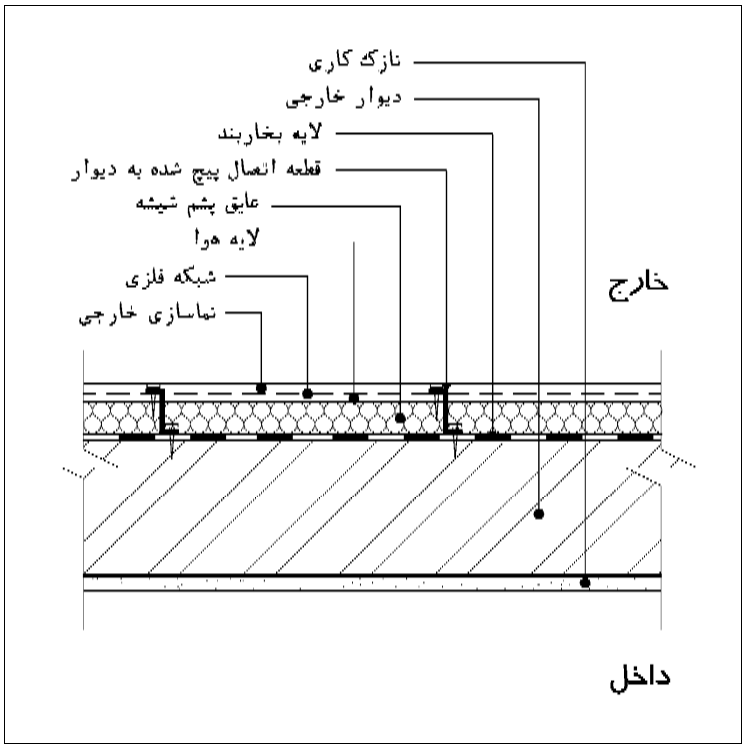
شکل ۲ـ۴

اجرای عایق حرارتی پشم شیشه در داخل دیوار با شبکه زیرسازی (مقطع افقی)

از آنجا که اجرای عایق حرارتی از داخل مستلزم توقف زندگی روزمره در فضای داخل است و نیز تا حدی از ابعاد فضاهای داخلی می‌کاهد، لذا در ساختمان‌های مسکونی موجود عایق‌کاری حرارتی از خارج بیشتر توصیه می‌شود. اما در ساختمان‌های آموزشی، با توجه به اینکه دست کم دو ماه از سال غیرفعال می‌باشند، اجرای این شیوه عایق‌کاری ممکن می‌باشد. علاوه بر این با توجه به استفاده غیرمداوم ساختمان‌های آموزشی، کم کردن جرم حرارتی ساختمان با این شیوه مطلوب می‌باشد.

در عایق‌کاری حرارتی از خارج توصیه می‌شود روی نمای موجود اجرای عایق صورت گیرد تا هزینه‌ای جهت تخریب نما به صاحب‌کار تحمیل شود. صفحات عایق حرارتی که می‌توانند معدنی یا پلیمری باشند، با پیچ‌های مخصوص به بدنهٔ نما اتصال می‌یابند. روی عایق حرارتی یک لایه تور فایبرگلاس قرار می‌گیرد و نمای سبکی روی آن اجرا می‌شود. بلندی پیچ‌های نصب عایق باید چنان باشد که تا داخل سفت‌کاری

دیوار ادامه پیدا کند. به این ترتیب نمای اجرا شده استحکام بیشتری می‌یابد. شکل ۲ــ۵ عایق‌کاری حرارتی دیوار از خارج با عایق پشم‌شیشه را نشان می‌دهد.



شکل ۲ــ۵

اجرای عایق حرارتی پشم شیشه در خارج دیوار با شبکه زیرسازی (مقطع افقی)

۲ـ۶ـ دیوار مجاور فضای کنترل‌نشده

دیوارهای مجاور فضای کنترل‌نشده در ساختمان‌های بررسی شده عموماً دیوار بین فضای زندگی و سرویس بهداشتی و انبار یا راه‌پله هستند. در بسیاری از موارد، به علت ابعاد اندک و همچنین وجود ضریب تقلیل دما در این حالت، این دیوارها عایق حرارتی نمی‌شوند و برای جبران انتقال حرارت از آنها به عایق حرارتی دیوارهای خارجی یا بام افزوده می‌گردد.

۲ـ۷ـ پنجره

یکی از ضعیف‌ترین نقاط در پوسته خارجی ساختمان، از نظر انتقال حرارت، پنجره‌ها هستند. بهترین راه‌حل برای بهبود وضعیت پنجره‌ها از نظر انتقال حرارت تعویض پنجره‌های موجود و جایگزین نمودن آنها با پنجره‌های دارای شیشه دوجداره و قاب PVC یا آلومینیومی با انقطاع حرارتی است. اما این امر مستلزم صرف هزینه زیاد است.

در جایی که ضخامت دیوارها اجازه می‌دهد، می‌توان اقدام به نصب پنجره دومی در سمت داخل یا خارج پنجره اصلی، با توجه به نحوه بازشوی آن کرد. برای نصب پنجره دوم، در صورتی که ضخامت دیوار اجازه دهد، می‌توان با شاخک‌هایی این پنجره را به دیوار اتصال داد. اگر پنجره اول قابلیت اتصال پنجره دیگری را داشته باشد و بتواند بار آن را تحمل کند می‌توان پنجره دوم را به پنجره اول متصل نمود. مثلاً می‌توان در قاب موجود یک پنجره PVC دوجداره کار گذاشت. با نصب پنجره دوم، نه تنها ضریب انتقال حرارت دو پنجره بهبود می‌یابد، بلکه از میزان نشت و نفوذ هوا کاسته شده و نیز از نظر آکوستیکی شرایط بهتری ایجاد می‌شود. چون وجود پنجره دوم مانع بروز میعان نمی‌شود. لذا باید برای تمیز کردن شیشه‌ها بازشوهایی تعبیه شود و هنگام اجرا به مسألهٔ چگونگی تمیز کردن شیشه‌ها دقت گردد.

روش دیگر، نصب پروفیل شیشه دوجداره، بر روی پروفیل اصلی پنجره موجود است. به این ترتیب با صرف هزینه کمی بیشتر، مشکلات مربوط به انطباق بازشوهای دو پنجره، محدودیت ابعاد کف پنجره و تمیز نمودن شیشه‌ها مرتفع می‌شود.

۲ـ۸ـ درها

درهای ساختمان‌های بررسی شده بدون تغییر باقی‌مانده و بر روی آنها اقدامات بهینه‌سازی صورت نخواهد گرفت. زیرا از یک سو سطح آنها اندک است و از سویی دیگر درهای ورودی عموماً به فضاهای کنترل‌نشده باز می‌شوند که ضریب تقلیل دما

داشته و انتقال حرارت کمتری از آنها صورت می‌گیرد و دیگر اینکه این درها غالباً چوبی هستند که از نظر انتقال حرارت وضعیت بهتری نسبت به سایر جدارها دارند.

۲ـ۹ـ پل‌های حرارتی

پل‌های حرارتی در محل تقاطع عناصر ساختمانی، آنجا که عایق حرارتی انقطاع می‌یابد، ایجاد می‌شوند. هنگامی که در ساختمان‌های موجود عایق‌کاری از داخل صورت می‌گیرد در محل تقاطع تیغه‌های داخلی با دیوار خارجی، در محل تقاطع دیوار خارجی و کف طبقات پل حرارتی وجود خواهد داشت.

در صورتی که عایق‌کاری حرارتی از خارج صورت گیرد، پل‌های حرارتی مزبور حذف خواهند شد. مگر در محل تقاطع دیوار خارجی و بام. پل حرارتی دیگری نیز در اطراف قاب پنجره‌ها و درها و دیوار خارجی نیز وجود دارد. به طور کلی برای حذف تمامی پل‌های حرارتی راه‌حلی پیشنهاد نمی‌شود و با توجه به مسائل اجرایی توصیه می‌شود که ضرایب انتقال حرارت پل‌های مزبور با افزایش عایق حرارتی دیوارهای خارجی و بام جبران شود.

فصل سوم:
برآورد هزینهٔ اجرای شیوه‌های انتخاب شده برای عایق‌کاری حرارتی ساختمان‌های موجود

پس از انتخاب شیوه‌های مطلوب برای عایق‌کاری حرارتی جدارهای مختلف ساختمان‌های موجود، لازم است هزینه اجرای این شیوه‌های برآورد گردد. در این بخش، هزینهٔ اجرای جزییات مختلف از ۳ بعد تأمین مصالح، اجرا و سایر هزینه‌ها یا تبعات عایق‌کاری برآورد گردیده‌اند.

در بررسی این هزینه‌ها لازم است نکات زیر مورد توجه قرار گیرند:

۱ـ این هزینه‌ها برای اجرای عایق‌کاری در ساختمان‌های ساخته شده موجود برآورد گردیده و اجرای عایق‌کاری در ساختمان‌های در حال ساخت را شامل نمی‌شود.

۲ـ هزینه‌های خاصی نظیر هزینهٔ حمل در مناطق دورافتاده و یا هزینهٔ انتقال نیروی متخصص به این گونه مناطق در نظر گرفته نشده است.

۳ـ برای دستیابی به هزینهٔ جزییات از منابع متفاوتی استفاده شده که مهمترین آنها به شرح زیر است:

ـ تجزیه بهای کاربردی کارهای ساختمانی، سندیکای شرکت‌های ساختمانی، ۱۳۷۱

ـ آنالیز مصالح یک متر مربع جزییات مختلف اجرای محصولات کناف‌ایران، ۱۳۸۲

ـ استعلام قیمت از تعدادی از اجراکنندگان و پیمانکاران ساختمانی

ـ استفاده از تجربیات برخی از مجریان طرح‌های انبوه‌سازی

٤ـ در جمع نهایی ۲۰٪ سود پیمانکاری در نظر گرفته شده است که عملاً در کارهای امانی ممکن است کاهش یابد.

۵ـ در مجموعهٔ هزینه‌های ارائه شده قیمت عایق حرارتی و هزینه پرداخت نهایی سطح (نماسازی نهایی یا رنگ دیوارها) منظور نشده است. هزینهٔ عایق‌های استفاده شده در طراحی عایق‌کاری ساختمان‌ها، بر حسب دانسیته و ضخامت، در جداول ۳ـ۱ تا ۳ـ٦ ارائه شده و با اضافه کردن هزینه عایق مورد استفاده در هر حالت به هزینه‌های قبلی، هزینه کل عایق‌کاری حرارتی در جدول ۳ـ۷ تعیین شده است.

۳ـ۱ـ عایق‌کاری حرارتی بام از خارج، روی عایق رطوبتی، با عایق پلی‌استایرن

در عایق‌کاری حرارتی بام ساختمان‌های ممیزی شده، شیوهٔ اجرای عایق پلی‌استایرن خشک همراه شن فندقی انتخاب شده است. در جدول ۳ـ۱ تجزیه بهای اجرای این شیوهٔ عایق‌کاری و هزینهٔ نهایی آن، بدون در نظر گرفتن هزینهٔ عایق حرارتی، درج شده است.

جدول ۳ـ۱

برآورد هزینهٔ اجرای عایق‌کاری حرارتی روی بام به صورت خشکه با عایق پلی استایرن و شن فندقی

شرح کار:	عایق‌کاری حرارتی روی بام به صورت خشکه با عایق پلی‌استایرن و شن فندقی		
واحد کار:	متر مربع بام	**کد جزییات:**	

	هزینه هر واحد کار (ریال)	توضیحات
الف ـ مصالح (با احتساب افت)	٤٢٠٠	
شن فندقی یا موزائیک به ضخامت حداقل ۵ سانتیمتر		
ب ـ اجرا (ماشین‌آلات، نیروی انسانی، ابزار و . . .)	۲۸۰۰	
چیدن عایق حرارتی		
ریختن شن فندقی		
ج ـ متفرقه (نیازهای غیر مستقیم یا تبعات و . . .)	۱۱۰۰	
افزودن عایق حرارتی قائم دیوارها		
تمهیدات لازم در محل آبروها و ترمیم اندود دیوارها و عایق رطوبتی		

جمع هزینه‌های تمام شده با احتساب ۲۰ درصد سود پیمانکاری	۹۷۲۰	**بدون موزاییک و زیرسازی**

۳ـ۲ـ عایق‌کاری کف روی پیلوت با عایق پشم‌معدنی

در برخی از ساختمان‌های ممیزی شده که کف طبقهٔ همکف روی پارکینگ و یا پیلوت باز (گرم نشده) قرار گرفته است، با در نظر گرفتن ارتفاع مورد نیاز برای رفت و آمد، شیوهٔ اجرای عایق حرارتی معدنی در زیر سقف با تخته گچی انتخاب شده است. در جدول ۳ـ۲ تجزیه بهای اجرای این شیوهٔ عایق‌کاری و هزینهٔ نهایی آن، بدون در نظر گرفتن هزینهٔ عایق حرارتی، درج شده است.

جدول ۳ـ۲

برآورد هزینهٔ اجرای عایق‌کاری حرارتی کف روی پیلوت با عایق پشم‌معدنی و تخته‌گچی

شرح کار:	عایق‌کاری حرارتی زیر سقف فضاهای گرم‌نشده با عایق پشم‌معدنی و تخته گچی	
واحد کار:	متر مربع سقف	**کد جزییات:**

	هزینه هر واحد کار (ریال)	**توضیحات**
الف ـ مصالح (با احتساب افت)	**۲۸٤۰۰**	
تخته گچی ۱۲/۵ میلیمتری	۱۷٦۰۰	
نگهدارنده سقف کاذب با پیچ و میخ	۹۰۰۰	
بتونه درزگیر و ...	۱۸۰۰	
ب ـ اجرا (ماشین‌آلات، نیروی انسانی، ابزار و . . .)	**۱۸۰۰۰**	
نصب عایق حرارتی با نگهدارنده به سقف		
نصب تخته گچی بر روی عایق حرارتی با میخ یا پیچ		
ماستیک و درزبندی تخته گچی		
ج ـ متفرقه (نیازهای غیر مستقیم یا تبعات و . . .)	**ـ**	

جمع هزینه‌های تمام شده با احتساب ۲۰ درصد سود پیمانکاری	**۵۵٦۸۰**	**بدون پرداخت نهایی**

۳ـ۳ـ عایق‌کاری حرارتی دیوار از خارج با عایق معدنی

در ساختمان‌های ممیزی شده با کاربری مسکونی، که به صورت مداوم استفاده می‌شوند، عایق‌کاری حرارتی دیوارها از خارج با عایق پشم معدنی، نمای توری و اندود سیمان و تخته ماله صورت گرفته است. در جدول ۳-۳ تجزیه بهای اجرای این شیوهٔ عایق‌کاری و هزینهٔ نهایی آن، بدون در نظر گرفتن هزینهٔ عایق حرارتی، درج شده است.

جدول ۳ـ۳ـ برآورد هزینهٔ اجرای عایق‌کاری حرارتی دیوار از خارج با عایق معدنی، نمای توری و اندود سیمان و تخته ماله

شرح کار:	عایق‌کاری حرارتی دیوار از خارج با عایق معدنی، نمای توری و اندود سیمان	
واحد کار:	متر مربع دیوار	**کد جزییات:**

	هزینه هر واحد کار (ریال)	**توضیحات**
الف ـ مصالح (با احتساب افت)	**۳۰۶۰۰**	
پروفیل سرد نورد شده برای نگهداری عایق و توری همراه میخ یا	۱۷۵۰۰	
توری مرغی مرغوب سنگین	۳۹۰۰	
سیمان و ماسه و خاک سنگ و ...	۹۲۰۰	
ب ـ اجرا (ماشین‌آلات، نیروی انسانی، ابزار و . . .)	**۳۵۰۰۰**	
نصب عایق حرارتی با نگهدارنده به سقف	۲۲۰۰۰	
نصب تخته گچی بر روی عایق حرارتی با میخ یا پیچ		
ماستیک و درزبندی تخته گچی	۱۳۰۰۰	
ج ـ متفرقه (نیازهای غیر مستقیم یا تبعات و . . .)	**۷۵۰۰**	
تسطیح نمای پیشین	۷۵۰۰	

جمع هزینه‌های تمام شده با احتساب ۲۰ درصد سود پیمانکاری	**۸۷۷۲۰**	**بدون نماسازی نهایی**

۳ـ٤ـ عایق‌کاری حرارتی دیوار از داخل با عایق معدنی

در ساختمان‌های ممیزی شده با کاربری آموزشی، که به صورت منقطع استفاده می‌شوند، عایق‌کاری حرارتی دیوارها از داخل با عایق پشم معدنی و تخته‌گچی با پروفیل سرد نورد شده صورت گرفته است. در جدول ۳ـ٤ تجزیه بهای اجرای این شیوهٔ عایق‌کاری و هزینهٔ نهایی آن، بدون در نظر گرفتن هزینهٔ عایق حرارتی، درج شده است.

جدول ۳ـ۴ـ برآورد هزینهٔ اجرای عایق‌کاری حرارتی دیوار از داخل با عایق معدنی و تخته‌گچی با پروفیل سرد نوردشده

شرح کار:	عایق‌کاری حرارتی دیوار از داخل با عایق معدنی و تخته گچی با پروفیل سرد نورد شده	
واحد کار:	متر مربع دیوار	**کد جزییات:**

	هزینه هر واحد کار (ریال)	**توضیحات**
الف ـ مصالح (با احتساب افت)	**۳۸۵۰۰**	
پروفیل سرد نوردشده برای نگهداری عایق و تخته‌گچی با میخ یا پیچ		
تخته گچی ۱۲/۵ میلیمتری		
بتونه درزگیر و ...		
ب ـ اجرا (ماشین‌آلات، نیروی انسانی، ابزار و . . .)	**۲٤۰۰۰**	
نصب شبکه زیرسازی		
نصب تخته گچی ۱۲/۵ میلیمتری (همراه عایق)		
ماستیک یا درزبندی تخته گچی		
ج ـ متفرقه (نیازهای غیر مستقیم یا تبعات و . . .)	**۱٦۰۰**	
تقویت‌های چهارچوب‌ها، کلید و پریزها و سرویس‌های بهداشتی		
جمع هزینه‌های تمام شده با احتساب ۲۰ درصد سود پیمانکاری	**۷۷۱۲۰**	**بدون رنگ نهایی**

۳ـ۵ـ هزینهٔ نهایی انواع شیوه‌های عایق‌کاری حرارتی

برای به دست آوردن هزینهٔ نهایی انواع شیوه‌های عایق‌کاری حرارتی لازم است قیمت عایق مورد استفاده استعلام گردد. قیمت عایق‌های حرارتی مورد استفاده در ممیزی ساختمان‌های مسکونی، که با استعلام از شرکت‌های تولیدکننده عایق‌حرارتی و افزودن عوارض مربوط به هر شرکت و هزینه حمل و نقل بدست آمده، مطابق جداول ۳ـ۵ و ۳ـ۶ می‌باشد.

جدول ۳ـ۵ـ قیمت عایق حرارتی پشم‌شیشه، استعلام شده از شرکت پشم‌شیشه ایران

نوع عایق حرارتی	وزن مخصوص (kg/m^3)	ضخامت (mm)	قیمت ($Rial/m^2$)
پشم‌شیشه بدون روکش D36/25 با لایهٔ بخاربند	۳۶	۲۵	۱۷۵۸۰
پشم‌شیشه بدون روکش D36/50 با لایهٔ بخاربند	۳۶	۵۰	۲۸۲۰۰
پشم‌شیشه D36/AR/50	۳۶	۵۰	۲۸۶۶۰

جدول ۳ـ۶

قیمت متوسط عایق حرارتی پلی‌استایرن، استعلام شده از تعدادی از تولیدکنندگان

نوع عایق	قیمت (ریال بر مترمربع) برای ضخامت‌های مختلف (سانتی‌متر)							
	٤	٥	٦	٨	١٠	١٢	١٥	١٨
پلی استایرن P30	١٦٠٠٠	٢٠٠٠٠	٢٤٠٠٠	٣٢٠٠٠	٤٠٠٠٠	٤٨٠٠٠	٦٠٠٠٠	٧٢٠٠٠

هزینهٔ نهایی شیوه‌های عایق‌کاری استفاده شده در ممیزی ساختمان‌ها، با توجه به نوع و ضخامت عایق حرارتی مورد استفاده، و با در نظر گرفتن تجزیه بهای ارائه شده برای شیوه‌های مختلف مطابق جدول ۳ـ۷ می‌باشد.

جدول ۳ـ۷

هزینهٔ نهایی انواع شیوه‌های عایق‌کاری با توجه به عایق حرارتی استفاده شده

ردیف	نوع عایق‌کاری حرارتی	ضخامت عایق (cm)	هزینهٔ اجرا بدون عایق (Rial/m^2)	قیمت عایق حرارتی (Rial/m^2)	هزینهٔ نهایی (Rial/m^2)
۱	عایق‌کاری روی بام با پلی‌استایرن P30	٤	۹۷۲۰	۱٦۰۰۰	۲٥۷۲۰
۲	عایق‌کاری روی بام با پلی‌استایرن P30	٥	۹۷۲۰	۲۰۰۰۰	۲۹۷۲۰
۳	عایق‌کاری روی بام با پلی‌استایرن P30	٦	۹۷۲۰	۲٤۰۰۰	۳۳۷۲۰
۴	عایق‌کاری روی بام با پلی‌استایرن P30	۸	۹۷۲۰	۳۲۰۰۰	٤۱۷۲۰
۵	عایق‌کاری روی بام با پلی‌استایرن P30	۱۰	۹۷۲۰	٤۰۰۰۰	٤۹۷۲۰
۶	عایق‌کاری روی بام با پلی‌استایرن P30	۱۲	۹۷۲۰	٤۸۰۰۰	٥۷۷۲۰
۷	عایق‌کاری روی بام با پلی‌استایرن P30	۱٥	۹۷۲۰	٦۰۰۰۰	٦۹۷۲۰
۸	عایق‌کاری روی بام با پلی‌استایرن P30	۱۸	۹۷۲۰	۷۲۰۰۰	۸۱۷۲۰
۹	عایق‌کاری سقف روی پیلوت با عایق پشم‌شیشه D36/AR/50	٥	٥٥٦۸۰	۲۸٦٦۰	۸٤۳٤۰
۱۰	عایق‌کاری دیوار از خارج با عایق پشم‌شیشه D36/25 و لایهٔ بخاربند	۲.٥	۸۷۷۲۰	۱۷٥۸۰	۱۰٥۳۰۰
۱۱	عایق‌کاری دیوار از خارج با عایق پشم‌شیشه D36/50 و لایهٔ بخاربند	٥	۸۷۷۲۰	۲۸۲۰۰	۱۱٥۹۲۰
۱۲	عایق‌کاری دیوار از داخل با عایق پشم‌شیشه D36/25 و لایهٔ بخاربند	۲.٥	۷۷۱۲۰	۱۷٥۸۰	۹٤۷۰۰
۱۳	عایق‌کاری دیوار از داخل با عایق پشم‌شیشه D36/50 و لایهٔ بخاربند	٥	۷۷۱۲۰	۲۸۲۰۰	۱۰٥۳۲۰