



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

اثر شرایط اقلیمی بر خواص عایق‌های حرارتی پشم‌های معدنی و فوم پلی‌استایرن و توصیه‌های لازم در مورد انتخاب آنها

دکتر سهراب ویسه

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)

ناهید خداینده

علی حکاکی‌فرد

حمیدرضا حکاکی‌فرد

گزارش تحقیقاتی

شماره نشر: گ - ۶۱۱

چاپ اول: ۱۳۹۰

عنوان و نام پدیدآور	اثر شرایط اقلیمی بر خواص عایق‌های حرارتی پشم‌های معدنی و فوم پلی‌استایرن و توصیه‌های لازم در مورد انتخاب آنها/سهراب ویسه ... [و دیگران]
مشخصات نشر	تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	۱۴۴ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. گزارش تحقیقاتی: شماره نشر گ-۶۱۱
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۰۹۱-۵
وضعیت فهرست‌نویسی	فیبا
یادداشت	[نویسندگان]: سهراب ویسه، ناهید خداپنجه، علی حکاکي فرد، حمیدرضا حکاکي فرد.
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۱۲۳.
موضوع	: عایق‌ها و عایق‌سازی حرارتی
موضوع	: ساختمان‌سازی - - مصرف انرژی
شناسه افزوده	: ویسه، سهراب. ۱۳۳۹-
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۰ الف/۱۷۱۵ TH
رده‌بندی دیویی	: ۶۹۳/۸۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۴۵۴۷۰۷

مصوبه شماره ۹۰/۶۸ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

اثر شرایط اقلیمی بر خواص عایق‌های حرارتی پشم‌های معدنی و فوم پلی‌استایرن و توصیه‌های لازم در مورد انتخاب آنها

دکتر سهراب ویسه، ناهید خداپنجه، علی حکاکي فرد، حمیدرضا حکاکي فرد

شماره نشر: گ - ۶۱۱ چاپ اول: ۱۳۹۰

ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

تنظیم برای چاپ: نسرين مقدس

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

بها: ۲۰۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.

کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.

نشانی: تهران، بزرگراه شیخ فضل‌آه نوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل،

خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۲۲-۶ دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

پست الکترونیکی: president@bhrc.ac.ir صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>

پیشگفتار

صرفه‌جویی در مصرف انرژی به دلیل کاهش منابع متداول انرژی و هزینه‌ها و همچنین حفظ محیط زیست اهمیت زیادی دارد و سالیان مدیدی است که در دنیا برای عایق‌کاری ساختمان‌ها، تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است و فراورده‌های عایق‌کاری حرارتی متعددی در بازار عرضه شده است. در ایران نیز تاکنون تلاش‌های فراوانی برای ملزم ساختن سازندگان به ساخت ساختمان‌های با عایق‌کاری حرارتی صورت گرفته است.

تجربیات جهانی و نتایج پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد عملکرد عایق‌های حرارتی ممکن است در پهنه‌های اقلیمی مختلف متفاوت باشد. به عبارت دقیق‌تر کارآمدی حرارتی دیوارها، کف‌ها و بام‌ها در کنترل رطوبت و همزمان توجه به شرایط دمایی نهفته است. اگر رطوبت به خوبی کنترل نشود، عایق‌کاری حرارتی تأثیری نخواهد داشت. ضمن این که ممکن است خرابی‌هایی را نیز در ساختمان ایجاد کند. این موضوع در ایران با پهنه‌های اقلیمی مختلف بسیار حائز اهمیت است و باید در اجرا مورد توجه قرار گیرد.

با توجه به اهمیت موضوع، پروژه تحقیقاتی در زمینه «بررسی اثر شرایط آب و هوایی مختلف بر خواص حرارتی عایق‌های الیاف معدنی و پلی‌استایرن و ارائه رهنمودهای کاربردی و توصیه‌های لازم در مورد مصرف عایق مناسب در اقلیم‌های مختلف کشور» در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن به اجرا درآمده است. نتایج بررسی‌های به عمل آمده در این تحقیق نشان می‌دهد انتخاب محل لایه بخاربند به شرایط اقلیمی محل بستگی دارد و برای این منظور در گزارش تحقیقاتی، توصیه‌های لازم ارائه شده است.

امید است نتایج این تحقیق کاربردی توسط مهندسان اجرا شود و بر اساس یافته‌های عملی، زمینه اعمال آن در ضوابط و مقررات کشور فراهم گردد.

سید محمود فاطمی عقدا

رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: کلیات.....
۱	۱-۱ مقدمه.....
۲	۲-۱ انتقال حرارت در عایق‌های حرارتی جرمی.....
۹	۲-۱ ادبیات فنی.....
۱۳	فصل دوم: بررسی تجلیلی و معادلات حاکم بر عایق‌های حرارتی.....
۱۳	۱-۲ اثر دما بر ضریب هدایت حرارتی.....
۲۰	۲-۲ اثر رطوبت بر ضریب هدایت حرارتی.....
۲۰	۲-۲-۱ افزایش ضریب هدایت حرارتی بر اثر تجمع رطوبت.....
۳۷	۲-۲-۲ پیش‌بینی تئوریک ضریب هدایت حرارتی معادل.....
۴۹	۳-۲ منشاء رطوبت در ساختمان.....
۵۰	۳-۲-۱ آب به عنوان منشاء رطوبت در ساختمان.....
۵۸	۴-۲ اثر دما و رطوبت بر دوام عایق حرارتی.....
۶۰	فصل سوم: دستگاه‌ها و روش‌های آزمون.....
۶۱	۱-۳ مقدمه.....
۶۱	۲-۳ ابعاد خطی آزمونه‌ها.....
۶۱	۳-۳ ضخامت.....
۶۲	۴-۳ ضریب هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی.....
۶۴	۵-۳ چگالی ظاهری.....
۶۵	۶-۳ خواص انتقال بخار آب.....
۶۸	۷-۳ جذب آب درازمدت از طریق غوطه‌ورسازی.....
۷۰	۸-۳ جذب آب درازمدت از طریق نفوذ.....
۹۳	۹-۳ نمونه برداری از محصولات کارخانه‌های پشم شیشه (شیراز)، پشم سنگ (تهران)، پشم سرپاره (اصفهان) و فوم پلی‌استایرن (مشهد).....
۷۱	پلی‌استایرن (مشهد).....



فصل چهارم: بررسی نتایج تجربی.....	۷۳
۱-۴ بررسی‌های تجربی اثرات دما.....	۷۳
۱-۱-۴ بحث و نتیجه‌گیری.....	۷۶
۲-۴ بررسی‌های تجربی اثرات رطوبت.....	۷۷
۱-۲-۴ روش قرارگیری نمونه‌ها در مقادیر مختلف رطوبت نسبی.....	۷۷
۲-۲-۴ روش اسپری کردن آب بر روی سطح عایق.....	۸۸
۳-۲-۴ بحث و نتیجه‌گیری.....	۹۳
فصل پنجم: تولید عایق‌های حرارتی در کشور.....	۹۵
فصل ششم: ارائه رهنمودهای کاربردی برای انتخاب فراورده‌های عایق حرارتی تولیدی کشور	
جهت مصرف در اقلیم‌های مختلف کشور.....	۹۷
۱-۶ مقدمه.....	۹۷
۲-۶ معیار در اجزاء مختلف ساختمان.....	۱۰۰
۳-۶ گروه‌بندی اقلیمی کشور از نظر عایق‌کاری حرارتی ساختمان.....	۱۰۵
فصل هفتم: جمع‌بندی و نتیجه‌گیری.....	۱۱۷
منابع.....	۱۲۳

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان شکل
۳	شکل ۱-۱ روش‌های انتقال حرارت در عایق‌های جرمی
۴	شکل ۲-۱ جریان حرارت از میان عایق جرمی الیافی مانند پشم معدنی
۴	شکل ۳-۱ جریان حرارت از میان عایق جرمی سلولی مانند فوم‌های پلاستیکی
۶	شکل ۴-۱ مکانیزم انتقال حرارت در منافذ مواد مرطوب
۸	شکل ۵-۱ تعدادی مثال که در آن تأثیرات رطوبت ممکن است قابل توجه باشد
۱۴	شکل ۱-۲ ضریب هدایت حرارتی هوا تابعی از دما
۱۶	شکل ۲-۲ ضریب خاموشی در دماهای مختلف در مورد نمونه پشم شیشه
۱۷	شکل ۳-۲ نمودار ضریب هدایت حرارتی - چگالی در دو دمای متوسط مختلف
۱۸	شکل ۴-۲ نمودار ضریب هدایت حرارتی مؤثر نسبت به چگالی در دماهای متوسط برای عایق‌های الیافی
۱۸	شکل ۵-۲ اثر چگالی و افزایش دما بر ضریب هدایت حرارتی عایق‌های الیافی
۱۹	شکل ۶-۲ اثر چگالی بر ضریب هدایت حرارتی برای دو مقدار اختلاف دما (ΔT)
۲۳	شکل ۷-۲ جذب آب در برابر زمان برای مواد با ضخامت ۵ cm در مقابل گرادیان‌های حرارتی و فشار بخار آب در آزمون نفوذ بخار آب
۲۵	شکل ۸-۲ اثر رطوبت ناشی از میعان بر ضریب هدایت حرارتی عایق
۲۷	شکل ۹-۲ آب مایع چگالیده در عایق در برابر مقاومت حرارتی در ضخامت‌های مختلف
۲۸	شکل ۱۰-۲ نمودار تغییرات ضریب هدایت حرارتی نسبت به میزان رطوبت در عایق‌های حرارتی مختلف
۳۰	شکل ۱۱-۲ اثر مقدار رطوبت بر ضریب هدایت حرارتی، نتایج جوی و جسیرسون
۳۱	شکل ۱۲-۲ اثر مقدار رطوبت بر هدایت حرارتی، نتایج کناب و همکاران
۳۲	شکل ۱۲-۲ اثر مقدار رطوبت بر ضریب هدایت حرارتی، نتایج لانگلا و همکاران
۳۳	شکل ۱۴-۲ مقایسه نتایج اندازه‌گیری‌های جوی
۳۴	شکل ۱۵-۲ تغییرات ضریب هدایت حرارتی به عنوان تابعی از زمان
۳۵	شکل ۱۶-۲ مقایسه نتایج آزمایشگاهی لانگلا و همکاران
۳۶	شکل ۱۷-۲ تعیین چگالی جریان بخار (مقدار رطوبت که از ۰/۸ تا ۸/۵ درصد حجمی متغیر است)، لانگلا و همکاران
۳۹	شکل ۱۸-۲ تغییرات ضریب b به عنوان تابعی از رطوبت
۴۰	شکل ۱۹-۲ مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی (▲ و Δ) و منحنی‌های محاسبه شده

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول	صفحه
جدول ۱-۲ مقادیر ضریب هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی برای کاربردهای حرارتی مختلف.....	۲۰
جدول ۲-۲ اثر آب مایع چگالنده در عایق بر مقاومت حرارتی (Rm) آن.....	۲۶
جدول ۳-۲ روش‌های مختلف مدل‌سازی ضریب هدایت حرارتی عایق‌های حرارتی.....	۴۵
جدول ۴-۲ میزان رطوبت ناشی از آشپزی.....	۵۲
جدول ۵-۲ میزان رطوبت ناشی از فعالیت‌های مختلف.....	۵۲
جدول ۶-۲ مقاومت کششی پشم معدنی بعد از قرارگیری در شرایط آزمایشگاهی مختلف آزمون‌های شمالی و حمام آب و آزمون‌های میدانی مختلف.....	۵۸
جدول ۱-۳ نتایج آزمون تعیین چگالی عایق تخته‌ای پشم شیشه.....	۶۴
جدول ۲-۳ نتایج آزمون تعیین چگالی عایق تخته‌ای پشم سنگ.....	۶۴
جدول ۳-۳ نتایج آزمون تعیین چگالی عایق تخته‌ای پشم سرباره.....	۶۵
جدول ۴-۳ نتایج آزمون تعیین چگالی عایق تخته‌ای پلی‌استایرن منبسط.....	۶۵
جدول ۵-۳ نتایج آزمون تعیین خواص انتقال بخار آب عایق تخته‌ای پشم شیشه.....	۶۷
جدول ۶-۳ نتایج آزمایش خواص انتقال بخار آب عایق تخته‌ای پشم سنگ.....	۶۷
جدول ۷-۳ نتایج خواص انتقال بخار آب پشم سرباره تخته‌ای.....	۶۸
جدول ۸-۳ نتایج خواص انتقال بخار آب فوم پلی‌استایرن منبسط تخته‌ای.....	۶۸
جدول ۱-۴ ضریب همبستگی به دست آمده در آزمایش‌ها برای رابطه دما - ضریب هدایت حرارتی در عایق‌های مختلف.....	۷۷
جدول ۱-۵ فهرست بهای عایق پشم شیشه.....	۹۵
جدول ۱-۶ اثر مقدار آب بر ضریب هدایت حرارتی عایق.....	۱۰۱
جدول ۲-۶ نفوذپذیری بخار آب نمونه‌وار مصالح ساختمانی متداول.....	۱۰۲
جدول ۳-۶ ترتیب شهرهای کشور بر حسب میزان فشار بخار هوا در ماه ژوئیه.....	۱۰۸
جدول ۱-۷ مقاومت در برابر بخار آب بخارندها.....	۱۱۸

چکیده

با توجه به تنوع گسترده شرایط آب و هوایی کشور و تاثیر دما و رطوبت بر ضریب هدایت حرارتی، نیاز به تحقیق در مورد رفتار عایق‌ها در شرایط گوناگون وجود دارد. در نتیجه با استفاده از این نتایج و با توجه به شرایط محیطی و کاربرد مورد نظر و لزوم استفاده از لایه بخاربند می‌توان عایق مناسب را انتخاب نمود.

روژه ضریب هدایت حرارتی عایق‌های پشم معدنی و پلی‌استایرن منبسط به عنوان رطوبت و دما در چگالی بهینه فراورده مورد نظر، مورد تحقیق قرار گرفت تا به بتوان عایق‌کاری را متناسب با اقلیم انجام داد. با توجه به موارد یاد شده ای لازم در مورد انتخاب عایق مناسب و در صورت ضرورت بخاربند، ارائه شده

هنگامی که خطر میعان بین منفی که باعث آسیب به سازه یا به عایق حرارتی می‌شود وجود دارد، نصب بخاربند لازم است. لایه بخاربند باید در طرف گرم عایق حرارتی قرار گیرد. در صورتی که خطر میعان در لایه‌ای از پوسته ساختمان وجود داشته باشد، با یکی از دو روش زیر از بروز آن می‌توان جلوگیری کرد:

الف) قرار دادن یک لایه بخار بند در طرف گرم لایه مرطوب
ب) ایجاد یک لایه هوا در قسمتی که از نظر خطر میعان بحرانی تشخیص داده شده و هدایت آب احتمالی ناشی از میعان به فضای خارج

دو پارامتر دما و رطوبت در مناطق اقلیمی ایران بسیار متفاوت است. در اکثر مناطق ایران در زمستان‌ها هوای بیرون ساختمان سرد بوده و خطر میعان در داخل جدار و در نتیجه در عایق حرارتی پشم معدنی وجود دارد. در این موارد برای رفع این خطر لازم است لایه بخاربند عایق حرارتی در طرف داخل ساختمان قرار گیرد. در اقلیم‌های مرطوب در تابستان‌ها رطوبت هوای بیرون ساختمان بیش از داخل بوده و جهت انتقال رطوبت بر عکس است. در این مناطق بهتر است از عایق‌های پلیمری و از جمله پلی‌استایرن با چگالی زیاد استفاده کرد.

در این گزارش پهنه‌بندی اقلیمی از نظر کاربرد عایق حرارتی در ساختمان‌ها به تفکیک سه پهنه اقلیمی مرطوب، نیمه مرطوب و خشک ارائه شده است که به کمک آن می‌توان عایق مناسب در هر منطقه را انتخاب کرد.