

بسم الرحمن الرحيم



مركز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

بررسی خواص حرارتی و مکانیکی
عایق حرارتی فوم سبک‌دانه رس منبسط
و ارائه راهکارهای کاربردی

دکتر سهراب ویسه
مهناز مظلومی

گزارش تحقیقاتی

شماره نشریه: گ-۷۱۴

چاپ اول: ۱۳۹۳

سرشناسه	: ویسه، سهراب، ۱۳۳۹ -
عنوان و نام پدیدآور	: بررسی خواص حرارتی و مکانیکی عایق حرارتی فله‌ای سبکدانه رس منبسط و ارائه رهنمودهای کاربردی / سهراب ویسه، مهناز مظلومی: [به سفارش] شرکت لیکا، شرکت عمران پارس.
مشخصات نشر	: تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ی. ۱۲۲ ص.؛ مصور، جدول، نمودار.
فروست	: گزارش تحقیقاتی: شماره نشر گ-۷۱۴.
شابک	: ۹۷۸ ۶۰۰-۱۱۳-۱۲۷-۱
وضعیت فهرست نویسی: فیا	
یادداشت	: کتابنامه: ص ۹۹.
موضوع	: عایق‌ها و عایق‌سازی حرارتی
موضوع	: خاک رس
موضوع	: مصالح ساختمانی
شناسه افزوده	: مظلومی، مهناز، ۱۳۵۱-
شناسه افزوده	: شرکت لیکا
شناسه افزوده	: شرکت عمران پارس
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۳ ز ۴ ب ۱۷۱۵/۹ TH
رده‌بندی	: ۶۳۹/۸۳۲
سما	: ۳۶۳۳۱۱۶



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

بررسی خواص حرارتی و مکانیکی عایق حرارتی فله‌ای سبکدانه رس منبسط و

ارائه رهنمودی کاربردی

دکتر سهراب ویسه، مهناز مظلومی

بخش پژوهشی: مصالح

شماره نشریه: گ-۷۱۴ چاپ اول: ۱۳۹۳

ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

شمارگان: ۲۵۰۰ نسخه

بها: ۵۵۰۰ تومان

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است

نشانی: تهران - بزرگراه شهید شیخ فضل‌الله نوری، روبروی فاز ۳ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی،

خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶۰۰ دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

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

پست الکترونیک: president@bhrc.ac.ir

ISBN:978-600-113-127-1

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۱۲۷-۱

پیشگفتار

عایق کاری حرارتی و صرفه جویی در مصرف انرژی به دلیل کاهش هزینه ها و نیز حفظ محیط زیست بسیار با اهمیت است. در کشور ما بیش از نیمی از انرژی مصرف شده در ساختمان ها برای گرمایش و سرمایش به هدر می رود بنابراین عایق کاری حرارتی جدارهای ساختمان ضرورتی اجتناب ناپذیر است.

عایق کاری حرارتی نقش بسیار مهمی در گرم نگه داشتن ساختمان در فصل زمستان و خنک نگه داشتن آن در فصل تابستان دارد و به میزان چشمگیری مانع از اتلاف حرارتی ساختمان می شود. از این رو مزایای عایق کاری می توان محافظت و آسایش حرارتی ساکنان، کاهش تغییرات و نوسانات دما، جلوگیری از میعان و یخبندان در جدار خارجی و کاهش آلودگی محیط زیست و کاستن از مصرف منابع انرژی را نام برد.

یکی از وظایف مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، پژوهش و تحقیق در زمینه صرفه جویی در مصرف انرژی در ساختمان است. در این گزارش نتایج به دست آمده از پروژه «بررسی خواص حرارتی و مکانیکی عایق حرارتی پلی یورتان تک دانه رس منبسط و ارائه رهنمودهای کاربردی» ارائه می شود. هدف آن است که با شناسایی موثری در آگاه سازی عمومی و گسترش صرفه جویی در مصرف انرژی در ساختمان ها، برداشت

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
م	چک
۱	فصل اول: خواص و مشخصات سبکدانه رس منبسط
۱	۱-۱. مقدمه
۲	۲-۱. مواد اولیه سبکدانه رس منبسط
۳	۳-۱. خواص سبکدانه رس منبسط
۳	۱-۳-۱. سبکی
۳	۲-۳-۱. عایق حرارتی
۳	۳-۳-۱. عایق صوتی
۳	۴-۳-۱. مقاومت در برابر آتش
۴	۵-۳-۱. تجربه ناپذیری
۴	۶-۳-۱. جذب آب
۵	۷-۳-۱. توزیع اندازه دانه‌ها
۷	۸-۳-۱. سطح ویژه
۷	۹-۳-۱. ضریب هدایت حرارتی
۸	۱۰-۳-۱. زاویه اصطکاک داخلی و مدول ارتجاعی
۸	۱۱-۳-۱. چگالی در ارتباط با سطح آب زیرزمینی
۹	۱۲-۳-۱. خواص غیر موئینه
۱۰	۱۳-۳-۱. نفوذپذیری هوا



- ۱-۳-۱۴. پرکننده سبک ۱۱
- ۱-۳-۱۴. ۱. پایداری ۱۱
- ۲-۳-۱۴. ۲. جلوگیری از نشست ۱۲
- ۳-۳-۱۴. ۳. مقابله با بار ۱۲
- ۴-۳-۱۴. ۴. بام سبز ۱۳
۵. کاربرد لیکا ۱۵
- ۱-۶. ۱. اظهارنامه محصول ۱۶
- ۲-۶. ۲. تحقیقات اولیه در مورد خواص سبک‌دانه رس منبسط در کشور ترکیه ۱۷
- ۱-۱-۱. ۱. آماده‌سازی نمونه‌ها ۲۱
- ۲-۶-۱. ۲. آماده‌سازی نمونه برای انجام شده بر روی سنگدانه تولید شده ۲۲
- ۷-۱. ۷. پیشرفت سبک‌ها ۳۱
- ۱-۷-۱. ۱. مشخصات فیزیکی ۳۳
- ۲-۷-۱. ۲. حدود خمیری ۳۳
- ۳-۷-۱. ۳. خواص شیمیایی ۳۴
- ۴-۷-۱. ۴. خواص شیمیایی برای متورم شدن ۳۵
- ۵-۷-۱. ۵. تعیین ترکیب کانی‌شناسی ۳۶
- ۶-۷-۱. ۶. برنامه آزمایشگاهی ۳۷
- ۷-۷-۱. ۷. پخت ناگهانی ۳۸
- ۸-۷-۱. ۸. پخت همدمای آهسته ۳۹
- ۹-۷-۱. ۹. دمای پخت در مقابل وزن مخصوص ۴۱
- ۱۰-۷-۱. ۱۰. افزودن خاک اره به خاک رس بهرا ۴۲
- ۱۱-۷-۱. ۱۱. افزودن روغن ضایعاتی به خاک رس بهرا ۴۳
- ۱۲-۷-۱. ۱۲. ساز و کار تورم ۴۳
- ۱۳-۷-۱. ۱۳. جمع‌بندی بررسی‌ها ۴۴



فصل دوم: استانداردهای سبک‌دانه رس منبسط ۴۵

۱-۲. استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۱۰۵۹ ۴۵

۲-۲. استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۴۸۷۵ سال ۱۳۹۱ ۴۷

۳-۲. استاندارد ملی ایران شماره ۱۰-۱۴۸۷۴ ۵۰

فصل سوم: تولید سبک‌دانه رس منبسط در ایران ۵۵

فصل چهارم: نتایج آزمون‌های انجام شده بر روی سبک‌دانه رس منبسط ۶۳

۱-۴. آزمون تعیین ضریب هدایت حرارتی و ضریب هدایت حرارتی ۶۳

۲-۴. آزمون اثر رطوبت بر ضریب هدایت حرارتی ۶۶

۳-۴. آزمون تعیین چگالی اولیه فله ۶۷

۴-۴. آزمون تعیین توزیع اندازه دانه ها ۶۹

۵-۴. آزمون تعیین مقاومت در برابر خردشدگی ۷۱

۶-۴. آزمون تعیین ارتفاع مکش آب ۷۳

۷-۴. آزمون تعیین مقدار جذب آب ۷۵

۸-۴. آنالیز شیمیایی ماده اولیه تولید سبک‌دانه رس منبسط ۷۷

فصل پنجم: ارائه رهنمودهای کاربردی و تحلیل فنی - اقتصادی ۸۱

۱-۵. توصیه‌های اجرایی در عایق‌کاری با سبک‌دانه رس منبسط شده ۸۱

۱-۱-۵. فرآورده عایق ۸۱

۲-۱-۵. مناسب بودن ساختمان برای پذیرش فرآورده‌های عایق قبل از نصب ۸۲

۳-۱-۵. کف‌سازی و عایق‌کاری با سبک‌دانه رس منبسط ۸۴

۱-۳-۱-۵. عایق‌کاری کف صلب ۸۵

۲-۳-۱-۵. روش کف‌سازی شناور ۸۶



- ۵-۳-۴. روش بتن سبک ۸۸
- ۵-۳-۵. عایق‌کاری بام با سبک‌دانه رس منبسط ۸۹
- ۵-۱-۴. روش‌های اجرای عایق قله‌ای سبک‌دانه رس منبسط ۹۰
- ۵-۲. تحلیل فنی - اقتصادی استفاده از فرآورده سبک‌دانه رس منبسط ۹۱

- ۹۵ فصل ششم: نتیجه‌گیری
- ۹۹ مراجع

www.ketab.ir

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

۵	شکل ۱-۱. نمودار جذب آب
۶	شکل ۱-۲. منحنی‌های توزیع اندازه
۹	شکل ۱-۳. دستگاه اندازه‌گیری جذب آب لیکا
۱۱	شکل ۱-۴. نمودار جذب آب
۱۲	شکل ۱-۵. استفاده از پرکننده لیکا در راه
۱۳	شکل ۱-۶. استفاده از پرکننده لیکا در شیب‌دار
۱۳	شکل ۱-۷. استفاده از پرکننده لیکا در بام
۱۴	شکل ۱-۸. بام سبز
۱۵	شکل ۱-۹. استفاده از پرکننده لیکا در راه‌سازی
۱۵	شکل ۱-۱۰. استفاده از پرکننده لیکا در پی‌سازی
۱۶	شکل ۱-۱۱. استفاده از پرکننده لیکا در بنادر
۱۶	شکل ۱-۱۲. استفاده از پرکننده لیکا در راه آهن
۲۱	شکل ۱-۱۳. الگوی XRD ضایعات فلوتاسیون آلبیت
۲۲	شکل ۱-۱۴. انواع دانه‌های لیکای تولید شده
	شکل ۱-۱۵. مقادیر جذب آب دانه‌های لیکای تولید شده از خاک رس نوع A
۲۴	و ضایعات فلوتاسیون
	شکل ۱-۱۶. مقادیر جذب آب دانه‌های لیکای تولید شده از خاک رس نوع B
۲۵	و ضایعات فلوتاسیون
	شکل ۱-۱۷. مقادیر جذب آب دانه‌های لیکای تولید شده از خاک رس نوع B

- و زغال سنگ ۲۵
- شکل ۱-۱۸ مقادیر وزن مخصوص دانه‌های لیکای تولید شده از خاک رس A ۲۷
- و ضایعات فلوتاسیون ۲۷
- شکل ۱-۱۹ مقادیر وزن مخصوص دانه‌های لیکای تولید شده از خاک رس B ۲۷
- و ضایعات فلوتاسیون ۲۷
- شکل ۱-۲۰ مقادیر وزن مخصوص دانه‌های لیکای تولید شده از خاک رس B ۲۷
- و زغال سنگ ۲۷
- شکل ۱-۲۱ ساختار منافذ سنگدانه ۲۹
- شکل ۱-۲۰ بافت‌های سطحی سنگدانه‌ها ۲۹
- شکل ۱-۲۳ وزن دانه خاک رس بهرا ۳۳
- شکل ۱-۲۴ دیاگرام ترکیبی لیلی که وضعیت خاک بهرا را نشان می‌دهد ۳۵
- شکل ۱-۲۵ الگوی دیفرانسیل بر یکس بخش درشت دانه خاک بهرا ۳۷
- شکل ۱-۲۶ منحنی DTA خاک رس بهرا ۳۷
- شکل ۱-۲۷ سنگدانه‌های ساخته شده از مخلوط‌های مختلف خاک رس ۴۰
- شکل ۱-۲۸ اثر دمای پخت بر وزن مخصوص خاک رس ۴۲
- شکل ۱-۲۹ سنگدانه‌های تولید شده با افزودنی روغنی ضایعاتی ۴۳
- شکل ۳-۱ افزودن آب و مازوت به نمونه آزمایشگاهی خاک ۵۶
- شکل ۳-۲ مرحله ورز دادن نمونه ۵۶
- شکل ۳-۳ گرانول‌های آزمایشگاهی ۵۶
- شکل ۳-۴ پخت گرانول‌های آزمایشگاهی در کوره ۵۶
- شکل ۳-۵ دپوی ماده اولیه ۵۷
- شکل ۳-۶ مخلوط‌کن - کلوخ شکنی و آسیاب اولیه ۵۷
- شکل ۳-۷ آسیاب غلتکی - افزودن آب به خاک ۵۷
- شکل ۳-۸ افزودن مازوت به خاک مرطوب ۵۸



- شکل ۳-۹. آسیاب والس-ورز دادن گل..... ۵۸
- شکل ۳-۱۰. خروج ماکارونی از اکسترودر..... ۵۸
- شکل ۳-۱۱. سرند گرانول‌ها بعد از مرحله خشک شدن..... ۵۹
- شکل ۳-۱۲. کوره..... ۵۹
- شکل ۳-۱۳. دانه‌بندی محصول نهایی..... ۶۰
- شکل ۳-۱۴. دپر سبک‌دانه تولید شده..... ۶۰
- شکل ۳-۱۵. مونیتورهای اتاق کنترل..... ۶۰
- شکل ۳-۱۶. لوش..... ۶۰
- شکل ۴-۱. تعیین ضریب هدایت حرارتی..... ۶۴
- شکل ۴-۲. نمودار ضریب هدایت حرارتی سبک‌دانه‌های رس منبسط..... ۶۵
- شکل ۴-۳. نمودار مقاومت حرارتی سبک‌دانه‌های رس منبسط..... ۶۵
- شکل ۴-۴. نمودار ضریب هدایت حرارتی سبک‌دانه رس منبسط در برابر رطوبت..... ۶۶
- شکل ۴-۵. اندازه‌گیری چگالی انبوهی سبک‌دانه..... ۶۷
- شکل ۴-۶. نمودار چگالی انبوهی سبک‌دانه رس منبسط..... ۶۸
- شکل ۴-۷. رابطه مقاومت حرارتی و چگالی انبوهی سبک‌دانه رس منبسط..... ۶۸
- شکل ۴-۸. دستگاه شیکر و دانه‌بندی سبک‌دانه‌ها..... ۶۹
- شکل ۴-۹. نمودار دانه‌بندی سبک‌دانه‌های رس منبسط در چهار گروه نمونه الف..... ۷۰
- شکل ۴-۱۰. نمودار دانه‌بندی سبک‌دانه‌های رس منبسط در چهار گروه نمونه ب..... ۷۱
- شکل ۴-۱۱. دستگاه تعیین مقاومت در برابر خردشدگی سبک‌دانه..... ۷۲
- شکل ۴-۱۲. نمودار مقاومت خردشدگی اندازه‌دانه‌های مختلف سبک‌دانه رس منبسط..... ۷۲
- شکل ۴-۱۳. نمودار رابطه مقاومت خردشدگی و چگالی انبوهی سبک‌دانه رس منبسط..... ۷۳
- شکل ۴-۱۴. تعیین ارتفاع مکش آب..... ۷۴
- شکل ۴-۱۵. نمودار نتایج آزمون تعیین ارتفاع مکش سبک‌دانه رس منبسط نمونه الف..... ۷۴
- شکل ۴-۱۶. نمودار نتایج آزمون تعیین ارتفاع مکش سبک‌دانه رس منبسط نمونه ب..... ۷۵



- شکل ۴-۱۷. تعیین مقدار جذب آب سبک‌دانه رس منبسط ۷۶
- شکل ۴-۱۸. نمودار مقایسه جذب آب سبک‌دانه رس منبسط ۷۷
- شکل ۴-۱۹. نمودار آنالیز شیمیایی ۷۹
- شکل ۵-۲. تسطیح کف با دانه‌های لیکا ۸۶
- شکل ۵-۱. پر کردن سطح با کیسه‌های لیکا ۸۶
- شکل ۵-۴. برشی از لایه‌های عایق کاری با سبک‌دانه ۸۶
- شکل ۵-۳. پوشش با عایق رطوبتی ۸۶
- شکل ۵-۵. خش کردن سبک‌دانه در کف ۸۷
- شکل ۵. تسطیح سبک‌دانه در کف ۸۷
- شکل ۵-۷. استفاده از یک لایه مش پلاستیکی ۸۷
- شکل ۵-۸. اجرای ماسفت ۸۷
- شکل ۵-۹. کاشی کاری و عایق سبک‌دانه ای همزمان ۸۸
- شکل ۵-۱۰. کف‌سازی خش ۸۸
- شکل ۵-۱۱. عایق کاری بام شیب‌دار با سبک‌دانه ۹۰
- شکل ۵-۱۲. استفاده از شبکه فلزی بر روی سبک‌دانه در بام ۹۰
- شکل ۵-۱۳. پوشش بام با سبک‌دانه رس منبسط ۹۰
- شکل ۵-۱۴. دمیدن سبک‌دانه رس منبسط اتاقک زیر سیرول در کف صلب ۹۰
- شکل ۵-۱۵. دمیدن سبک‌دانه رس منبسط داخل دیوار دوجداره ۹۱
- شکل ۵-۱۶. عایق کاری به روش دستی در کف صلب ۹۱

فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

۷.....	جدول ۱-۱. مقادیر سطح ویژه لیکا و لیکا- سبک
۷.....	جدول ۲-۱. مقادیر ضریب هدایت حرارتی لیکا و لیکا- سبک
۸.....	جدول ۳-۱. مقادیر ضریب انبساطی و زاویه اصطکاک در کف
۹.....	جدول ۴-۱. مقادیر ضریب انبساط لیکا- سبک
۱۰.....	جدول ۵-۱. مقدار رطوبت در صد
۱۴.....	جدول ۶-۱. کاربردهای اصلی رس منبسط
۱۶.....	جدول ۷-۱. چگالی انبوهی و چگالی دانه‌ها در حالت خشک و مقاومت خردشدگی
۱۷.....	جدول ۸-۱. مقادیر کلرید و سولفات دانه‌های لیکا- سبک
۲۰.....	جدول ۹-۱. ترکیب شیمیایی مواد خام
۲۰.....	جدول ۱۰-۱. ترکیب شیمیایی ضایعات فلوئاسیون البیت
۲۲.....	جدول ۱۱-۱. ترکیب و دمای پخت سنگدانه
۳۴.....	جدول ۱۲-۱. حدود خمیری نمونه‌های خاک رس بهرا
۳۵.....	جدول ۱۳-۱. آنالیز شیمیایی خاک رس بهرا
۳.....	جدول ۱۴-۱. ترکیب مخلوط‌های رس مورد استفاده در تولید سبک‌دانه‌های رس منبسط
.....	جدول ۱۵-۱. اثر دمای پخت بر وزن مخصوص ظاهری مخلوط‌های مختلف
۴۰.....	خاک رس بهرا و سنگدانه لیکای تولید شده در مصر
۴۰.....	جدول ۱۶-۱. اثر دمای پخت بر جذب آب مخلوط‌های مختلف خاک رس بهرا
۶۴.....	جدول ۴-۱. نتایج آزمون تعیین مقاومت حرارتی و ضریب هدایت حرارتی سبک‌دانه رس منبسط
۶۷.....	جدول ۴-۲. نتایج آزمون تعیین چگالی انبوهی سبک‌دانه رس منبسط



- جدول ۴-۳. نتایج آزمون دانه‌بندی سبک‌دانه رس منبسط نمونه الف..... ۶۹
- جدول ۴-۴. نتایج آزمون دانه‌بندی سبک‌دانه رس منبسط نمونه ب..... ۷۰
- جدول ۴-۵. نتایج آزمون مقاومت در برابر خردشدگی سبک‌دانه رس منبسط..... ۷۲
- جدول ۴-۶. نتایج آزمون تعیین جذب آب سبک‌دانه رس منبسط..... ۷۶
- جدول ۴-۷. نتایج آزمون تجزیه شیمیایی ماده اولیه سبک‌دانه رس منبسط..... ۷۹

www.ketab.ir

چکیده

یکی از راه‌های مهم صرفه‌جویی در مصرف انرژی، استفاده از عایق‌های حرارتی در ساختمان‌ها است. این فرآورده‌ها در اجزای مختلف ساختمان (دیوارهای خارجی، بام و کف پایین‌ترین طبقه) به کار برده می‌شوند تا موجب کاهش مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش بناهای داخلی ساختمان شوند. برای انتخاب عایق مناسب، آگاهی از خواص انواع عایق‌های حرارتی و شیوه کاربرد آنها ضرورت دارد. با توجه به خواص ویژه سبک‌دانه رس منبسط استفاده از این مصالح در عایق‌کاری ساختمان مفید و مقرون به صرفه است. مزایای مهم سبک‌دانه رس منبسط شامل موارد زیر است:

وزن کم (به دلیل حذف فضاهای خالی داخل دانه‌ها)، قابلیت رسانایی حرارتی ناچیز، مقاومت مکانیکی مناسب، میراث جزئیات کم دانه‌ها (در صورت وجود لایه روکش بر روی دانه‌ها)، خنثی بودن به لحاظ شیمیایی (در پست خوردگی و پوسیدگی نمی‌شود)، تحمل چرخه‌های متوالی یخبندان و عمر مفید زیاد. در این گزارش پروژه‌ای با عنوان «بررسی خواص حرارتی و مکانیکی عایق حرارتی فله‌ای سبک‌دانه رس منبسط و ارائه رهنمودهای کاربردی» انجام شد که نتایج آن در این گزارش ارائه می‌شود. در این پژوهش مطالعات انجام شده در سایر کشورها بر روی خواص و تولید سبک‌دانه رس منبسط بررسی شد. دو استاندارد روش آزمون بر روی سبک‌دانه‌ها تدوین گردید.

در ادامه مراحل تولید این فرآورده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین بر روی کلیه محصولات داخل کشور آزمون‌های تعیین خواص انجام شد. در نهایت تأثیر دانه‌ها، چگالی و رطوبت دانه‌های رس منبسط در مقدار ضریب هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. در این گزارش علاوه بر موارد یاد شده برای اجرای عایق‌کاری حرارتی و کف‌سازی با این محصولات روش‌های مناسب ارائه شد. همچنین با توجه به خواص این فرآورده‌ها تحلیل اقتصادی استفاده از آنها به عنوان عایق حرارتی در دیوار دوجداره، بام تخت و شیب‌دار و کف ساختمان بیان شده است.