

## ساخت یک اندود بر پایه گچ و بررسی خواص عایق‌بندی حرارتی آن

احسان مؤذن<sup>۱</sup>، رسول شادنیا<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مدیریت ساخت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار  
<sup>۲</sup> دانشیار مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار

دریافت: ۱۴۰۱/۱۶/۱۶، بازنگری: ۱۴۰۲/۲/۷، پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۲۰، نشر آنلاین: ۱۴۰۲/۲/۲۰

### چکیده

تحقیق حاضر تلاش کرده است ضمن معرفی یک اندود بر اساس تلفیقی از مصالح نوین و کهن، گامی هرچند کوچک در پیشرفت صنعت عایق‌های حرارتی چه از نظر کیفیت و چه از بابت هزینه بردارد. در تولید این اندود که بر پایه گچ می‌باشد در مرحله اول، بررسی‌ها و آزمایش‌هایی بر روی مصالح متفاوتی از جمله انواع مخلوط کاهگل سنتی صورت گرفت. سپس محصول نهایی با ترکیب مصالح در دسترس مانند گچ، خاک رس، پودر چوب، پشم شیشه و برخی مواد نانو با هدف تولید یک اندود با ضریب هدایت حرارتی کمتر از اندودهای موجود حاصل گردید. این اندود مانند اندود گچ برای اندودکاری داخل ساختمان استفاده می‌شود و دارای محاسنی از جمله عدم داشتن پل حرارتی در کل سطح، نداشتن درز و شکاف و همچنین نداشتن تخریب و ریزش به مرور زمان به دلیل چسبندگی بالا می‌باشد. قابل ذکر است نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ضریب هدایت حرارتی اندود ساخته شده با ضخامت ۵۰ میلی‌متر برابر با  $0.21 W/m.k$  می‌باشد که در مقایسه با ملات‌های دیگر از جمله گچ، ماسه سیمان، کاهگل و ملات گچ و ماسه (در حالت نمونه با ابعاد برابر) دارای ضریب هدایتی پایین‌تر و همچنین قابلیت ماندگاری بیشتر انرژی در فضای اتاق می‌باشد. شایان ذکر است میزان کاهش ضریب هدایت حرارتی اندود معرفی شده در مقایسه با اندودهای گچ، ماسه سیمان، کاهگل و ملات گچ و ماسه به ترتیب برابر با ۵۳، ۸۷، ۳۸ و ۷۶ درصد می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** تعداد اندود، کاهگل، گچ، عایق حرارتی، ضریب هدایت حرارتی.

### ۱- مقدمه

عایق‌های حرارتی در ابتدای انقلاب صنعتی و در اواخر قرن نوزدهم با اهداف تجاری شکل گرفتند و تولید شدند (Bozsaky, ۲۰۱۰).

امروزه با توجه به افزایش مصرف و نیز کاهش هرچه بیشتر منابع انرژی بر روی کره زمین، خلق روش‌هایی نوین جهت کاهش مصرف انرژی توسط انسان از جمله اولویت‌های لازم جهت ادامه و بقاء می‌باشد. در مهندسی عمران نیز محققین زیادی با انجام تحقیقات آزمایشگاهی و تئوری بر روی مصالح ساختمانی (Ajouguim و همکاران، ۲۰۲۱؛ M'ghari و همکاران، ۲۰۲۱؛ Cardinale و همکاران، ۲۰۱۷؛ Fiore و همکاران، ۲۰۲۰؛ Valenza و همکاران، ۲۰۱۵؛ Shadnia و همکاران، ۲۰۱۵؛ Li و Singh، ۲۰۲۱؛ Khabbazi و همکاران، ۲۰۱۷) و به صورت ویژه اندودها (Maaloufa و همکاران، ۲۰۱۷؛ Maaloufa و همکاران، ۲۰۱۷؛ Touil و همکاران، ۲۰۲۲) و به صورت ویژه‌تر اندودهای گچی (Iucolano و همکاران، ۲۰۱۸).

ایرانیان از زمان‌های قدیم از کاه و خاک رس برای ساخت خانه‌های خود استفاده می‌کردند و دیوارها و سقف‌های با ضخامت بالا می‌ساختند تا خانه‌هایشان در تابستان خنک و در زمستان گرم باشد (Maheri و همکاران، ۲۰۱۱). ساکنان مناطق جنوبی آمریکا، کلبه‌هایشان را به وسیله جلبک‌های دریایی خشک شده می‌ساختند؛ فیبرهای توخالی این جلبک‌ها به عنوان عایق حرارتی عمل می‌کردند (Dillehay و همکاران، ۲۰۰۸).

بومیان ساکن جزایر هاوایی برای اولین بار از فیبرهای معدنی برای عایق‌کاری کلبه‌هایشان استفاده کردند. این فیبرها از پسماندهای آتشفشانی به وجود می‌آمدند. گازهای فرار موجود در گدازه‌های آتش فشانی باعث به وجود آمدن این فیبرها می‌شد (Smith، ۲۰۰۷).



پشم‌شیشه و برخی مواد نانو و انجام آزمایش‌های تعیین ضریب هدایت حرارتی و نیز آزمایش ماندگاری حرارتی بر روی اندود حاصل، به‌دنبال تولید یک اندود با عملکرد حرارتی بهتر از اندودهای موجود می‌باشد.

## ۲- روش‌ها

اندود معرفی شده در این تحقیق با ترکیب مصالح در دسترس مانند گچ، خاک رس، پودر چوب، پشم شیشه و برخی مواد نانو با هدف تولید یک اندود با ضریب هدایت حرارتی کمتر از اندودهای موجود حاصل گردید. ابتدا هر یک از مواد تشکیل‌دهنده اندود به دفعات، کم یا زیاد شده و اندود حاصل بر روی یک بلوک استاندارد (هبلکس رضوی)<sup>۲</sup> اجرا و پس از گذشت ۲۴ ساعت (خشک شدن سطح)، اثرات ایجاد شده از جمله چسبندگی، ترک، ماندگاری روی سطح دیوار و رنگ نهایی پس از خشک شدن بررسی شدند. سپس برای اطمینان از برتری حرارتی اندود ارائه شده در این تحقیق، دو دسته آزمایش (آزمایش تعیین ضریب هدایت حرارتی و آزمایش تعیین ماندگاری حرارتی، بر روی نمونه‌ها انجام پذیرفت.

### ۲-۱- آزمایش تعیین ضریب هدایت حرارتی

ضریب هدایت حرارتی عبارت است از مقدار انرژی که از ماده در واحد ضخامت و در واحد زمان، در دمای مشخص عبور می‌کند. این آزمایش با استفاده از دستگاه KD2 Probe (شکل (۱)) و براساس آیین‌نامه ASTM D5334 انجام گردید. این دستگاه شامل چهار سوزن یا سنسور جهت انجام آزمایش می‌باشد.



شکل ۱- دستگاه تعیین ضریب هدایت حرارتی

Bicer و Kar، ۲۰۱۷؛ Fatma و همکاران، ۲۰۱۹؛ de Oliveira و همکاران، ۲۰۲۱) سعی در کاهش مصرف انرژی دارند.

مهرآبادی و فاطمی (۱۳۹۸) با انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی اثر عایق‌کاری حرارتی بر میزان اتلاف انرژی از یک ساختمان نمونه را بررسی کردند. آن‌ها در تحقیق خود، به‌کمک ماکت یک ساختمان مسکونی با سقف شیب‌دار، دو نوع عایق (پشم سنگ و پشم‌شیشه) با ضخامت‌های مختلف و در شرایط محیطی متفاوت را مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش ضخامت عایق (در دامنه آزمایش)، اتلاف حرارت کاهش می‌یابد. آن‌ها همچنین بر اهمیت اجرای صحیح عایق‌کاری بر پوسته ساختمان تأکید و اظهار داشتند که در صورت عدم رعایت، ممکن است تأثیر مثبت عایق‌کاری تا حد زیادی کاهش یابد.

کاکایی و همکاران (۱۳۹۶) با هدف بررسی عایق‌بندی حرارتی در ساختمان‌ها، راهکاری در صرفه‌جویی در مصرف انرژی ارائه نمودند. کاظمی‌پوران بدر و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی تأثیر سیستم مدیریت ساختمان و عایق‌سازی در کاهش مصرف انرژی با استفاده از تحلیل انرژی ساختمان‌های مسکونی پرداخته‌اند.

Durgun (۲۰۲۱) به بررسی مشخصات اندودهای پایه گچ شامل پودر کاشی بازیافتی در دمای اتاق و در دماهای بالاتر تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد پرداخت. وی بر روی نمونه‌های خود قبل و بعد از قرارگیری در دمای بالا، کاهش وزن مخصوص، سرعت‌های پالس آلتراسونیک، مقاومت‌های خمشی و فشاری، تغییرات حجم، تخلخل ظاهری، جذب آب و نیز هدایت گرمایی را بررسی کرد. نتایج وی نشان داد اضافه کردن پودر کاشی بازیافتی باعث کاهش مقاومت اندود و افزایش تخلخل ظاهری و جذب آب می‌گردد. از طرف دیگر حضور پودر کاشی بازیافتی باعث بهبود هدایت گرمایی و مقاومت در دمای بالا گردید.

Cherki و همکاران (۲۰۱۴) با هدف بهبود مشخصات گرمایی و برای سبک‌تر کردن اندود گچ، به آن چوب‌پنبه دانه‌ای جمع‌آوری شده از جنگل مامورا<sup>۱</sup> در مراکش اضافه کردند. ایشان در تحقیق خود تأثیر اندازه چوب‌پنبه دانه‌ای بر روی مشخصات گرمایی اندود گچ را نیز به‌صورت آزمایشگاهی بررسی کردند.

تحقیق حاضر سعی در تلفیق روش‌های کهن و امروزی با هدف ساخت یک اندود نو به امید برداشتن گامی نو در جهت ذخیره و استفاده بهینه از منابع با ارزش انرژی دارد. این تحقیق تلاش کرده است در راستای افزایش کیفیت عایق‌های حرارتی در صنعت ساختمان و با ایده گرفتن از رفتار کاهگل، اندودی به مراتب بهینه‌تر چه از بابت کارایی و در دسترس بودن و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و چه از بابت هزینه‌های تمام شده تولید کند. لذا این تحقیق با ترکیب مصالح در دسترس مانند گچ، خاک رس، پودر چوب،

۲. نوعی بلوک سبک

1. Maâmora Forest, Morocco



شکل ۲- نمونه‌های ۵ سانتی‌متری اندود برای انجام آزمایش تعیین ضریب هدایت حرارتی

لازم به ذکر است پس از تهیه هر نمونه مکعبی و انجام آزمایش تعیین ضریب هدایت حرارتی، این نمونه‌ها به جهت اجرایی نیز مورد آزمایش قرار گرفتند تا به لحاظ چسبندگی، ترک، ماندگاری روی سطح دیوار و رنگ نهایی پس از خشک شدن مورد بررسی قرار گیرند. بدین صورت که هر بار اندود ساخته شده روی یک بلوک استاندارد (هیلکس رضوی) اجرا و پس از ۲۴ ساعت نتیجه مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است هر یک از ترکیبات به دفعات کاهش یا افزایش داده شده و مورد آزمایش و بررسی قرار گرفتند.

## ۲-۲- آزمایش تعیین ماندگاری حرارتی

در این تحقیق برای تعیین ماندگاری حرارتی از آزمایش مکعب شیشه‌ای استفاده شده است که روشی ساده برای تعیین عملکرد حرارتی انواع مصالح می‌باشد. این آزمایش از پروژه شبیه‌سازی انتقال حرارت ترکیبی جابه‌جایی و تابش در محفظه بسته مربعی در نرم‌افزار انسیس-فلوئنت<sup>۳</sup> ایده‌برداری شده است. در این نرم افزار دمای داخل محفظه مربعی با توجه به مقدار گرمایش ورودی در نرم‌افزار ثبت می‌شود، اما در آزمایش تعیین ماندگاری حرارتی در این تحقیق، با توجه به متغیر بودن دما در طول روز از دستگاه‌های رطوبت سنج و دماسنج در داخل دستگاه استفاده شده است. برای انجام این آزمایش از یک مکعب شیشه‌ای به ابعاد یک متر استفاده شده است که تنها در قسمت بالایی آن حفره‌ای به ابعاد  $10 \times 4$  سانتی‌متر طبق شکل (۳) جهت عبور دماسنج و رطوبت‌سنج دیجیتال ایجاد شده است. شایان ذکر است دماسنج و رطوبت‌سنج توسط سیم حدود ۲۵ سانتی‌متری به صورت معلق در مرکز مکعب شیشه‌ای آویزان شده تا نزدیک دیواره‌های مکعب قرار نگیرد. نحوه انجام آزمایش به این صورت می‌باشد که ابتدا مکعب را در دمای معمولی محیط و زیر سایه گذاشته و تمام سطوح مکعب پس از پوشیده شدن از توری پلاستیکی جهت ایستادگی اندود، از اندودهای مورد نظر با ضخامت یک سانتی‌متر پوشیده می‌شود. بعد از آن دماسنج و رطوبت‌سنج دیجیتال در داخل مکعب قرار داده شده و فضای باقی‌مانده در سوراخ نیز با اندود پر می‌شود.

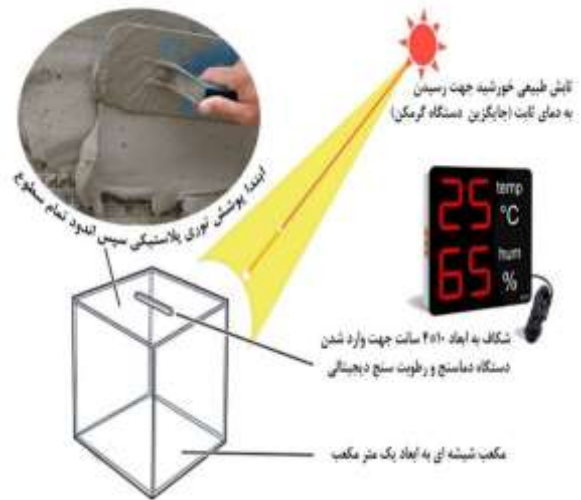
روش کار بسیار ساده است. ابتدا سوراخی با عمق و قطر حدود ۴ میلی‌متر با مته‌ای که در دستگاه موجود می‌باشد ایجاد می‌شود و داخل این سوراخ را با گریس حرارتی مخصوص جهت ایجاد تماس بهینه بین سنسور و نمونه پر می‌گردد. سپس سنسورها در طرفین نمونه و در شکاف‌های ایجاد شده نصب می‌شوند. پس از استارت دستگاه، سنسورها از خود پالس گرمایی ساطع کرده و مقدار ضریب هدایت حرارتی به صورت اتومات بر روی مانیتور دستگاه نمایش داده می‌شود. شایان ذکر است برای هر مقدار ضریب هدایت حرارتی، دستگاه باید ۵ مرتبه استارت شود تا نتیجه نهایی به صورت میانگین یا بهترین نتیجه در صفحه نمایش اعلام گردد. باید به این نکته توجه نمود که برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر، باید سنسورها در دو طرف نمونه به صورت کاملاً موازی نصب شوند. نکته مهم دیگر این است که در صورتی که فاصله سنسورها از هم از  $1/5$  سانتی‌متر کمتر شود امکان بروز خطا افزایش می‌یابد که خوشبختانه با توجه به ابعاد نمونه‌های مکعبی استفاده شده در این تحقیق (۵ سانتی‌متر)، از بروز این خطا جلوگیری شد. یادآوری می‌شود دستگاه KD2 Probe قابلیت اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی مایعات را نیز دارد که در صورت انجام این آزمایش می‌بایست تجهیزات مکمل آن مانند مایع مخصوص جهت انجام کاتالیز استفاده شود که به دلیل خشک بودن نمونه‌ها در تحقیق حاضر، نیازی به استفاده از این مواد مکمل نبود. پس از ساخت نمونه و خشک شدن آن ابتدا ضریب هدایت حرارتی، با هدف دستیابی به مصالحی با ضریب هدایت حرارتی کمتر از اندود کاهگل (با ملاک قراردادن ضریب هدایت حرارتی اندود کاهگل  $0.134 \text{ w/m.k}$ ) مورد آزمایش قرار گرفت.

واضح است آن دسته از نمونه‌هایی که نتوانستند حداقل ضریب هدایت حرارتی اندود کاهگل را کسب نمایند، نتوانستند به عنوان نمونه ثبت شوند. شایان ذکر است در روند انجام آزمایش‌ها، تنها پایین‌ترین مقدار به دست آمده با در نظر گرفتن بهترین حالت اندود پس از اجرا ثبت گردید. همچنین برای انجام آزمایش‌های تعیین ضریب هدایت حرارتی نمونه‌های مکعبی (به ابعاد ۵ سانتی‌متر) از انواع ملات‌های متداول شامل ملات گچ، ملات ماسه سیمان، ملات کاهگل، ملات گچ و ماسه ساخته شد و آزمایش ضریب هدایت حرارتی بر روی آن‌ها انجام و نتایج ثبت گردید. سپس برای پیدا کردن اندودی با بهترین ضریب هدایت حرارتی، با تغییر درصد هر یک از مواد تشکیل‌دهنده اندود (شامل آب، گچ، کاه، خاک رس، سیمان، مواد نانو، پشم سنگ و عایق رنگ نانو پلیمر)، نمونه‌های مکعبی ۵ سانتی‌متری دیگری تهیه گردید. در این مرحله ۳۲ نمونه مکعبی ۵ سانتی‌متری از اندود مورد نظر (مشابه شکل (۲)) ساخته شد.

هم بود به طوری که از اختلاف ناچیز دمای محیط صرف نظر گردید.

### ۳- مصالح تشکیل دهنده اندود

جدول (۱) مصالح تشکیل دهنده اندود (برای یک کیلوگرم اندود) را نشان می دهد. برای تهیه نمونه های آزمایشگاهی، استفاده از مصالح در دسترس اولویت اول را دارا می باشد. شایان ذکر است که هر یک از مواد تشکیل دهنده، بر مبنای ویژگی خاصی که در جدول (۱) ذیل ستون "علت استفاده در ترکیب اندود" به آن اشاره شده، در ترکیب اندود قرار گرفته است. در خصوص "اثرات کاهش و افزایش مصرف بیش از حد" مندرج در جدول، توضیح این مطلب ضروری به نظر می رسد که هر یک از مواد تشکیل دهنده اندود به دفعات، کم یا زیاد شده و اندود حاصل بر روی یک بلوک استاندارد (هبلکس رضوی) اجرا و پس از گذشت ۲۴ ساعت (خشک شدن سطح)، اثرات ایجاد شده مورد بررسی و در جدول قرار گرفتند. همچنین بر مبنای کاهش و افزایش میزان مصرف هر یک از مواد تشکیل دهنده اندود، تعداد آزمایش های انجام شده جهت رسیدن به بهترین مقدار مصرف در داخل جدول ثبت گردیده است. شکل (۴) نیز اجزای تشکیل دهنده اندود به صورت درصد را نشان می دهد.



شکل ۳- جزئیات مربوط به آزمایش های تعیین ماندگاری حرارتی



شکل ۴- درصد اجزای تشکیل دهنده اندود

### ۴- نتایج و بحث

نتایج آزمایش های انجام شده بر روی اندود از دو منظر می بایست مورد توجه قرار گیرد. اول بررسی نتایج آزمایشگاهی با هدف ارزیابی کارآمدی و رسیدن به هدف تحقیق و دوم برآورد و مقایسه قیمت با هدف اطمینان از صرفه اقتصادی آن که در کنار کارآمدی بسیار مهم و ضروری می باشد. پس از انجام آزمایش های لازم با هدف ارزیابی کارآمدی و برآوردهای مالی، نتایج حاصل

پس از خشک شدن سطح اندود و ثابت شدن دما و رطوبت در دماسنج و رطوبت سنج در داخل مکعب پوشیده شده از اندود و شنیده شدن آلامر ثابت شدن آن ها، مکعب به یک محل آفتاب گیر منتقل شده به طوری که ۱۲ ساعت تمام مکعب زیر آفتاب بماند. بعد از آن دمای دماسنج مجدد ثبت شده تا اختلاف دمای ایجاد شده بر اثر عبور گرمای خورشید به داخل مکعب و گرمای حاصل شده در مدت ۱۲ ساعت سنجیده شود. شایان ذکر است ماندگاری حرارتی در واقع همان مدت زمانی است که دمای اتاقک شیشه ای با قطع شدن منبع گرما دچار تغییر دما و سرد شدن شود. این آزمایش برای تمام اندودهای مورد آزمایش انجام می گیرد شایان ذکر است دمای روزهای مختلف انجام آزمایش بسیار نزدیک به

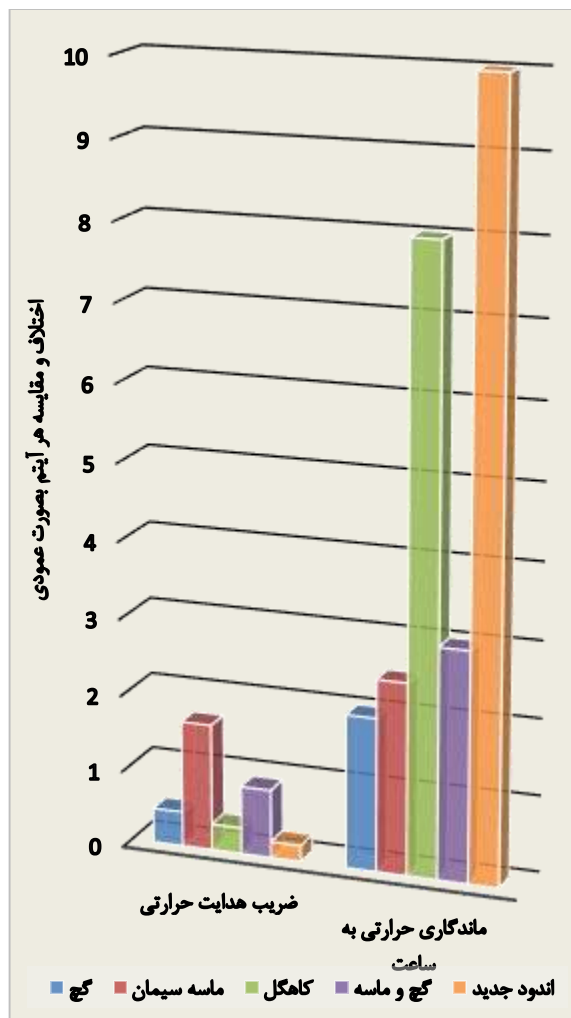
گردید که منجر به تعیین مقدار مناسب هریک از مواد موجود در آزمایشگاهی به لحاظ خاصیت عایق هدایت حرارتی و هم از بابت آندود و نیز خواص آندود گردید. در نتیجه آندود نهایی هم از بابت اجرایی دارای بهترین نتیجه می باشد.

### جدول ۱- اجزای تشکیل دهنده آندود

نام ماده	وزن (kg)	علت استفاده در ترکیب آندود	اثرات کاهش مصرف بیش از حد	اثرات افزایش مصرف بیش از حد	تعداد آزمایش‌های انجام شده
گچ	۰/۲۰	جهت افزایش گیرش آندود و ایجاد ملاتی نرم تر و صاف پس از اجرا	کاهش گیرایی آندود- تغییر رنگ آندود- ایجاد ترک در سطح پس از اجرا	زودگیر شدن و کاهش خواص باقی مصالح	۶
کاه	۰/۰۴	جهت ذخیره رطوبت و دما در داخل آندود برای رسیدن به خاصیت ماندگاری حرارتی (جذب سریع سرما و گرما و نیز خارج شدن آن به کندی از کاه) افزایش مقاومت در برابر ترک	کاهش خواص ماندگاری سرما و گرما در آندود- خوردن رنگ‌های صورت گرفته بر روی آندود دیوار و نیاز به رنگ شدن مجدد دیوار	اشتعال پذیری بیشتر آندود- کاهش چسبندگی آندود بر روی سطوح- تغییر رنگ و بافت آندود	۶
آب	۰/۵۰	جهت ترکیب شدن مصالح و آزاد شدن خواص هر یک از مواد موجود در آندود	عدم ترکیب اجزای تشکیل دهنده آندود	ناکارآمدی آندود و عدم ایستادگی بر روی سطح	۲
خاک رس	۰/۰۸	کمک به ترکیب پذیری بهتر مصالح و تنظیم دما و گیرش بهتر آندود	زودگیر شدن به علت قالب شدن گچ در آندود و نیز کاهش خاصیت مخلوط پذیری	تغییر رنگ آندود و نیز ترک خوردن آندود پس از استفاده بر روی دیوار- فرسایش سریع تر سطح آندود بر اثر اصطکاک	۳
مواد نانو (نانوسلولز- نانوفیبر)	۰/۰۲	افزایش تجزیه پذیری آندود در محیط زیست پس از تخریب، افزایش مقاومت اصطکاک و میکروتُرک‌ها و نیز افزایش استحکام آندود- کمک بسیار زیاد به خواص کاه جهت ذخیره گرما و سرما	کاهش دوام و کارایی	سرعت در زمان گیرش- تغییر رنگ پس از خشک شدن- دانه‌ای شدن سطح آندود پس از استفاده و خشک شدن روی سطح دیوار	۴
سیمان	۰/۰۵	جهت افزایش مقاومت در برابر ترک، کاهش انتقال حرارت و نیز رنگ پذیرتر شدن آندود به علت ترکیب پذیری بهتر با پیگمنت	کاهش رنگ پذیری آندود با پیگمنت- کاهش مقاومت حرارتی- خشن تر شدن آندود	حرارت بیشتر ملات- رنگ پذیری کمتر در صورت انجام رنگ پس از خشک شدن سطوح- ایجاد برخی ترک‌های عمقی- پوسته شدن برخی از سطوح آندود پس از اجرا و خشک شدن	۵
پیگمنت (رنگ بتن) حتماً جداگانه با آب مخلوط شود	۰/۰۸	با قطری حدود یک دهم قطر سیمان جهت چسبندگی بهتر با ملات و نیز استحکام بیشتر- کاهش هزینه‌های مربوط به رنگ و رنگ کاری (نتیجه: زیبایی و جلوه این رنگ بسیار بالاتر از گرانترین رنگ‌ها حتی رنگ اکرولیک با دوام بیشتر)، قابل شستشو با دستمال مرطوب و نیز صاف تر شدن سطح پس از رنگ کاری	میزان مصرف ۰/۰۰۲ کیلوگرم باعث کاهش جزئی استحکام ملات- مرده شدن رنگ ملات	میزان مصرف ۰/۱۵ کیلوگرم باعث کاهش مقاومت چسبندگی آندود و در نتیجه ایجاد ترک و ریختن آندود از سطح پس از خشک شدن	۲
پشم سنگ (ماده اولیه بازالت از گروه سنگ‌های آذرین)	۰/۰۳	جهت همبستگی بیشتر آندود و نیز فیلتر شدن آندود جهت تبدیل بهتر و سریع تر سرمای شدید به گرما	تغییر در ضریب حرارتی و نیز کاهش خواص گرم تر نمودن محیط	ایجاد سطوحی ناصاف و پرزهای بیرون زده در سطح آندود- کاهش خواص کاه و گچ جهت ذخیره حرارت و گیرش	۴
جمع کل	۱				۳۲

جدول ۲- مقایسه ضریب هدایت حرارتی اندوهای مختلف با اندود

نوع اندود	ضریب هدایت حرارتی (w/m <sup>2</sup> k)	کاربرد	ماندگاری حرارتی جهت انتقال هوای داخل و بیرون (ساعت)
گچ	۰/۴۵	به عنوان اندود و سطح نهایی، بدون نیاز به رنگ، با خاصیت عایق حرارتی	۲
ماسه سیمان	۱/۶۵	به عنوان لایه آستر جهت استحکام دیوار، نیاز به سطح نهایی و رنگ، بدون خاصیت عایق حرارتی	۲/۵
کاهگل	۰/۳۴	به عنوان لایه آستر جهت پر کردن سوراخ‌های دیوار نیاز به سطح نهایی و رنگ، با خاصیت عایق حرارتی	۸
گچ و ماسه	۰/۸۹	به عنوان لایه آستر جهت استحکام دیوار، نیاز به سطح نهایی و رنگ، بدون خاصیت عایق حرارتی	۳
اندود معرفی شده در این تحقیق	۰/۲۱	به عنوان اندود و سطح نهایی، بدون نیاز به رنگ و سطح نهایی، با خاصیت عایق حرارتی	۱۰



پس از انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی، نتایج به دست آمده از اندودها و ملات‌های مختلف با هم مقایسه گردیدند. لازم به ذکر است شاخص‌ترین خواص اندود ساخته شده در این تحقیق شامل رنگ‌پذیری، عملکرد بهتر از نظر عایق حرارتی و به صرفه بودن از جهت اقتصادی می‌باشد.

#### ۴-۱- نتایج آزمایشگاهی

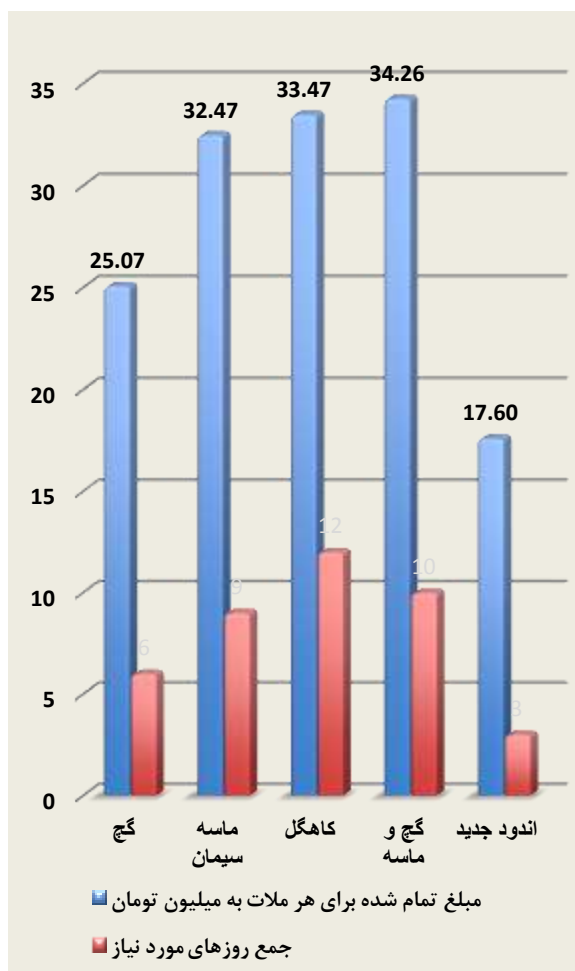
جدول (۲) مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب هدایت حرارتی اندود ساخته شده در این تحقیق را با اندودهای دیگر شامل گچ، ملات ماسه سیمان، کاهگل و ملات گچ و ماسه مقایسه می‌کند. ستون موسوم به "کاربرد" در جدول، نوع و محل استفاده اجرایی هر یک از ملات‌های مورد آزمایش را نشان می‌دهد. مطالب مندرج در این بخش از جدول گویای این است که چگونه اندود معرفی شده در این تحقیق می‌تواند جایگزینی مناسب برای تمام موارد این جدول باشد.

همان‌طور که در جدول (۲) مشخص است اندود ارائه شده در این تحقیق در مقایسه با ملات‌های دیگر (در حالت نمونه با ابعاد برابر) دارای ضریب هدایتی پایین‌تر و همچنین قابلیت ماندگاری بیشتر انرژی در فضای اتاق می‌باشد که این مورد بر روی شکل (۵) نیز مورد مقایسه قرار گرفته است. لازم به ذکر است در ضریب انتقال هدایتی کم بودن عدد و در ماندگاری حرارتی بیشتر بودن عدد مزیت محسوب می‌شود. علت کمتر بودن ضریب انتقال حرارتی و بیشتر بودن ماندگاری حرارتی اندود معرفی شده در این تحقیق را می‌توان به حضور مصالح عایق حرارتی در ساخت این اندود مرتبط کرد.

شکل ۵- مقایسه ضریب هدایت حرارتی و ماندگاری حرارتی کل نمونه‌ها با اندود معرفی شده در این تحقیق



جمله در دسترس بودن، ارزان تر بودن و سرعت اجرای بیشتر ارزش خود را نمایان سازد.



شکل ۶- مقایسه قیمت تمام شده (میلیون ریال) و تعداد روزهای مورد نیاز اندودهای مختلف با اندود معرفی شده در این تحقیق

برآوردهای صورت گرفته طبق نرخ نامه‌های موجود در ۲۵ مرداد ماه ۱۴۰۰ در جدول (۳) صورت گرفته است.

شایان ذکر است قیمت‌های نهایی مندرج در جدول، برای ۲۰ مترمربع اندود و با توجه به انجام ۸ ساعت کار در یک روز کاری محاسبه شده‌اند. تعداد روزها بر اساس اتمام یک مرحله به‌طور کامل و خشک شدن آن به جهت اجرای لایه بعدی می‌باشد.

شکل (۶) قیمت تمام شده اندودهای مختلف شامل اندود معرفی شده در این تحقیق را به‌همراه تعداد روز مورد نیاز برای اجرای آن اندودها را مقایسه می‌کند. همان‌طور که در نمودار به-راحتی مشاهده می‌شود قیمت تمام شده و نیز تعداد روزهای مورد نیاز برای اجرای اندود معرفی شده در این تحقیق از همه اندودهای متداول دیگر کمتر می‌باشد.

به‌طور مثال کاه موجود در کاهگل که در روستاها جهت خنک شدن اتاق در تابستان و گرم ماندن در زمستان استفاده می‌شود جزو مصالحی است که به تنهایی تا حد زیادی ضریب انتقال حرارتی را کاهش و ماندگاری حرارتی را افزایش می‌دهد و باعث عایق شدن اندود می‌گردد؛ از طرف دیگر وجود مواد نانو و پشم سنگ که خود به تنهایی باعث کاهش انتقال حرارتی می‌شوند، در ترکیب اندود معرفی شده در این تحقیق به‌همراه کاه و مصالح دیگر با ایجاد همبستگی مناسب باعث تولید اندودی با ضریب هدایت حرارت کمتر و ماندگاری حرارتی بیشتر می‌شوند.

#### ۲-۴- برآورد و مقایسه قیمت

یکی دیگر از اهداف مهم ساخت این اندود، صرفه اقتصادی آن می‌باشد. شایان ذکر است که در اینجا، صرفه اقتصادی در پایان کار مدنظر می‌باشد. همان‌طور که در سال‌های گذشته، در زمان تولید هیلکس‌های ساختمانی برآورد قیمت آن به نسبت مترمربع موردنظر در مقایسه با آجر و بلوک سفالی بیشتر به‌نظر می‌رسید، اما بعد از محاسبه هزینه‌های مربوط به عدم نیاز به لایه گچ و خاک و نیز افزایش سرعت کار، توجیهی مناسب جهت جایگزینی آن حاصل شد، این اندود نیز راهی مشابه با هیلکس را در پیش خواهد داشت. به بیان دیگر هر چند ممکن است در ابتدا به‌نظر قیمتی بالا را نشان دهد، اما در انتها شاهد حذف مواردی چون هزینه‌های رنگ، آستر گچ و انجام عایق‌کاری خواهیم بود. از طرف دیگر افزایش چشمگیر سرعت اجرا و ماندگاری بیشتر نیز در راستای کاهش هزینه‌ها باید مد نظر قرار گیرد. نکته قابل توجه در کنار اولویت‌های مذکور، تلاش برای ساختن اندودی پرکاربرد نسبت به اندودهای مشابه می‌باشد. این اندود می‌تواند در بسیاری از موارد حسن عملکرد خود را نمایان سازد. از جمله این موارد کمک بسیار زیاد در زمان اجرا می‌باشد که چندین مرحله در یک مرحله خلاصه می‌شود و چند محصول در یک محصول جای داده شده است. به‌طور مثال در اندودکاری متداول، بعد از اتمام مرحله سفت‌کاری ساختمان مرحله اجرای اندودها شروع خواهد شد که اول شامل انجام گچ و خاک و بعد اجرای گچ و نیز اجرای رنگ‌کاری می‌باشد. البته هریک از این مراحل شامل زمان تهیه، جابه‌جایی، ساخت، اجرا و مهم‌تر زمان لازم جهت اتمام و خشک شدن هر مرحله و شروع مرحله بعد می‌باشد که در انتها و در اکثر مواقع تنها سطحی صاف و تمیز اما بدون عایق مناسب حاصل خواهد شد. شایان ذکر است که خود عمل عایق‌کاری شامل زمان و هزینه‌های اضافی می‌باشد. اما اندود معرفی شده در این تحقیق، می‌تواند به‌جای انجام تمام موارد گفته شده به‌صورت یکباره انجام و تمام خواص خواسته شده را برآورده نماید. شایان ذکر است که این اندود با بهره بردن از مصالح جدید و قدیمی توانسته است از جهات مختلف از

## ۵- نتیجه گیری

اندود معرفی شده در این تحقیق برگرفته از بناهای کاهگلی ساخته شده در زمان‌های قدیم، اما با ترکیب و شکلی نوین و متناسب با شرایط فعلی می‌باشد. برای تهیه این اندود ابتدا اطلاعاتی از بناهای کاهگلی شامل روش ساخت این‌گونه بناها با کاربری‌های مختلف از جمله مسکونی، سردخانه و اتاق نگهداری حیوانات جمع‌آوری شد. اما به علت عدم امکان استفاده از ترکیب کاهگل در بناهای جدید می‌بایست تغییراتی در آن ایجاد می‌شد؛ پس اطلاعاتی نیز در مورد انواع مصالح و ترکیبات نوین که می‌توانستند تعادل حرارتی کاهگل را ایجاد نمایند به دست آمد. در ادامه این ترکیبات از جهت مختلف از جمله داشتن ضریب هدایت حرارتی مناسب، حفظ ماندگاری در سطح دیوار و صرفه اقتصادی مورد بررسی قرار گرفتند. خلاصه نتایج آزمایش‌ها و بررسی‌های انجام شده بر روی اندود معرفی شده در این تحقیق به شرح ذیل می‌باشد:

- ۱) اندود ارائه شده در این تحقیق در مقایسه با ملات‌های دیگر (در حالت نمونه با ابعاد برابر) دارای ضریب هدایت حرارتی پایین‌تر ( $0.21 \text{ W/m.k}$ ) می‌باشد.
- ۲) قابلیت ماندگاری حرارتی این اندود در مقایسه با ملات‌های دیگر بررسی شده در این تحقیق بیشتر (۱۰ ساعت) می‌باشد.
- ۳) مقایسه قیمت تمام شده این اندود با اندودهای مختلف بررسی شده در این تحقیق نشان می‌دهد که قیمت تمام شده و نیز تعداد روزهای مورد نیاز برای اجرای اندود مذکور از همه اندودهای متداول دیگر کمتر می‌باشد.
- ۴) اندود معرفی شده در این تحقیق علاوه بر داشتن ویژگی‌های فوق، می‌تواند پیشنهادی مناسب جهت افزایش سرعت در اجرا، قیمت مناسب و کارآمدی بهتر نسبت به اندودهای متداول در صنعت ساختمان و قدمی نو برای کاهش مصرف انرژی باشد. شایان ذکر است که تولید این اندود به صورت انبوه، می‌تواند در کنار ارائه تمام مزایای مذکور، به لحاظ اقتصادی نیز توجیه‌پذیرتر باشد.

## ۶- تقدیر و تشکر

از آزمایشگاه مرکز تحقیقات بتن گروه مهندسی عمران دانشگاه حکیم سبزواری و نیز آزمایشگاه ترمودینامیک و انتقال حرارت گروه مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد و همچنین مسئولین محترم هر دو دانشگاه بابت فراهم نمودن تجهیزات و امکان استفاده از آن کمال تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۷- مراجع

کازمی پوران بدر س، دانشجو ف، معصومی حقیقی ع، شایانفر م ع، "بررسی تأثیر سیستم مدیریت ساختمان و عایق‌سازی در کاهش مصرف انرژی با استفاده از تحلیل انرژی ساختمان‌های مسکونی"، نشریه علمی- پژوهشی سازه و ساخت، ۱۳۹۹، ۷ (۲)، ۵-۲۳.

<https://doi.org/10.22065/JSC.2018.117885.1452>  
کاکایی و، اقتداری ع، اسدی نیک م، "بررسی عایق‌بندی حرارتی در ساختمان‌ها راهکاری در صرفه‌جویی در مصرف انرژی"، دومین همایش ملی- مهندسی عمران و توسعه پایدار، استهبان، ۱۳۹۶. ESTAHBANCCE02\_129

مهرآبادی ع، فاطمی م، "مطالعه آزمایشگاهی عایق‌های مرسوم در صنعت ساختمان جهت به حداقل رساندن اتلاف انرژی"، دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی مکانیک، مواد و متالوژی، تفلیس- گرجستان، سازمان بین‌المللی مطالعات دانشگاهی، با همکاری دانشگاه جورجیا در شهر تفلیس، ۱۳۹۸. MEMCONF02\_009

Ajouguim S, Talibi S, Djelal-Dantec C, Hajjou H, Waqif M, Stefanidou M, Saadi L, "Effect of Alfa fibers on the mechanical and thermal properties of compacted earth bricks", *Materials Today: Proceedings*, 2021, 37, 4049-4057.

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.539>

Bicer A, Kar F, "Thermal and mechanical properties of gypsum plaster mixed with expanded polystyrene and tragacanth", *Thermal Science and Engineering Progress*, 2017, 1, 59-65.

<https://doi.org/10.1016/j.tsep.2017.02.008>

Bozsaky D, "The historical development of thermal insulation materials", *Periodica Polytechnica Architecture*, 2010, 41 (2), 49-56.

<https://doi.org/10.3311/pp.ar.2010-2.02>

Cardinale T, Arleo G, Bernardo F, Feo A, De Fazio P, "Investigations on thermal and mechanical properties of cement mortar with reed and straw fibers", *International Journal of Heat and Technology*, 2017, 35 (S1), 375-382.

<https://doi.org/10.18280/ijht.35Sp0151>

Chen L, Li Y, "Research on feature of thermal performance of integrated composite system", *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 2021, 16 (3), 894-909.

<https://doi.org/10.1093/ijlct/ctab016>

Cherki AB, Remy B, Khabbazi A, Jannot Y, Baillis D, "Experimental thermal properties characterization of insulating cork-gypsum composite", *Construction and Building Materials*, 2014, 54, 202-209. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.076>

Smith C, "This cold house: the simple science of energy efficiency", Johns Hopkins University Press, 2007, ISBN-13:9780801886225.

De Oliveira KA, Oliveira CAB, Molina, JC, "Lightweight recycled gypsum with residues of expanded polystyrene and cellulose fiber to improve thermal



- Maaloufa Y, Mounir S, Khabbazi A, Kettar J, "Thermal and mechanical behavior of the plaster reinforced by fiber alpha or granular cork", *International Journal of Civil Engineering*, 2017, 8 (7), 1026-1040.
- Maheri MR, Maheri A, Pourfallah S, Azarm R, Hadjipour A, "Improving the durability of straw-reinforced clay plaster cladding for earthen buildings", *International Journal of Architectural Heritage*, 2011, 5 (3), 349-366.  
<https://doi.org/10.1080/15583051003663859>
- M'ghari O, Hassani FZSA, Mekhzoum MEM, Zari N, Bouhfid R, "Elaboration of a composite material based on plaster reinforced with phase change material/Oakum Fiber: physical, thermal and mechanical properties", *Journal of Energy Storage*, 2021, 35, 102321.  
<https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102321>
- Shadnia R, Zhang L, Li P, "Experimental study of geopolymer mortar with incorporated PCM", *Construction and building materials*, 2015, 84, 95-102.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.066>
- Singh S, Maiti S, Bisht RS, Balam NB, Solanki R, Chourasia A, Panigrahi SK, "Performance behaviour of agro-waste based gypsum hollow blocks for partition walls", *Scientific Reports*, 2022, 12 (1), 1-16.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-07057-y>
- Touil M, Lachheb A, Saadani R, Kabiri MR, Rahmoune M, "A new experimental strategy assessing the optimal thermo-mechanical properties of plaster composites containing Alfa fibers", *Energy and Buildings*, 2022, 111984.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111984>
- Valenza A, Fiore V, Nicolosi A, Rizzo G, Scaccianocce G, Di Bella G, "Effect of sheep wool fibres on thermal-insulation and mechanical properties of cement matrix", *Academic Journal of Civil Engineering*, 2015, 33 (2), 40-45.  
<https://doi.org/10.26168/icbbm2015.5>
- properties of gypsum", *Materiales de Construcción*, 2021, 71 (341), e242-e242.  
<https://doi.org/10.3989/mc.2021.07520>
- Dillehay TD, Ramirez C, Pino M, Collins MB, Rossen J, Pino-Navarro JD, "Monte Verde: seaweed, food, medicine, and the peopling of South America", *science*, 2008, 320 (5877), 784-786.  
<https://doi.org/10.1126/science.1156533>
- Durgun MY, "Experimental research on gypsum-based mixtures containing recycled roofing tile powder at ambient and high temperatures", *Construction and Building Materials*, 2021, 285, 122956.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122956>
- Fatma N, Allègue L, Salem M, Zitoune R, Zidi M, "The effect of doum palm fibers on the mechanical and thermal properties of gypsum mortar", *Journal of Composite Materials*, 2019, 53 (19), 2641-2659.  
<https://doi.org/10.1177/0021998319838319>
- Fiore V, Di Bella G, Valenza A, "Effect of sheep wool fibers on thermal insulation and mechanical properties of cement-based composites", *Journal of Natural Fibers*, 2020, 17 (10), 1532-1543.  
<https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1584075>
- Iucolano F, Liguori B, Aprea P, Caputo D, "Thermo-mechanical behaviour of hemp fibers-reinforced gypsum plasters", *Construction and Building Materials*, 2018, 185, 256-263.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.036>
- Khabbazi A, Bencheikh C, Ennaceri H, Khaldoun A, "Insulation Material for a Model House in Zaouiat Sidi Abdessalam", *International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, 2017, 1-6. IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/IRSEC.2017.8477582>
- Maaloufa Y, Mounir S, Khabbazi A, Elhamdounia Y, "Effect of ecological insulating fiber on the thermal and mechanical properties of plaster", *International Journal of Applied Engineering Research*, 2017, 12 (15), 5078-5088.



جدول ۳- مقایسه قیمت (تومان) تمام شده اندوهای مختلف با اندود معرفی شده در این تحقیق تاریخ ۱۴۰۰/۵/۲۵

ردیف	نوع اندود	قیمت برای ۲۰ متر مربع سطح به تومان (ساخت و اجرای یک نفره) (صرف نظر از قیمت آب)	مصالح مکمل جهت رسیدن به سطح بهره‌برداری	اجرای رنگ جهت رسیدن به سطح بهره‌برداری به‌ازای هر متر ۴۸۰۰۰ تومان و برای ۲۰ متر مربع	اجرای عایق جهت رسیدن به سطح بهره‌برداری به‌ازای هر متر ۵۲۰۰۰ تومان و برای ۲۰ متر مربع	اجرت بر اساس تعداد دفعات اجرا جهت رسیدن به سطح بهره‌برداری با ورودی ۱۵۰۰۰۰ تومان و برای ۲۰ متر مربع	تعداد روزهای مورد نیاز جهت اتمام و رسیدن به سطح بهره‌برداری	قیمت نهایی تمام شده یا مصالح و اجرت به تومان
۱	گچ	(۴ روز) $۳۷۰۰۰ = ۲۰ \times ۱۸۵۰$	ندارد	دارد- (۱ روز) ۹۶۰۰۰	دارد- (۱ روز) ۱۰۶۰۰۰	تعداد ۳ مرحله ۴۵۰۰۰	۶ روز	۲۵۰۷۰۰۰
۲	ماسه سیمان	(۳ روز) $۵۹۰۰۰۰ = ۲۰ \times ۲۹۵۰۰$	(۴ روز) ۳۷۰۰۰	دارد- (۱ روز) ۹۶۰۰۰	دارد- (۱ روز) ۱۰۶۰۰۰	تعداد ۴ مرحله ۶۰۰۰۰	۹ روز	۳۲۴۷۰۰۰
۳	کاهگل	(۶ روز) $۶۹۰۰۰۰ = ۲۰ \times ۳۴۵۰۰$	(۴ روز) ۳۷۰۰۰	دارد- (۱ روز) ۹۶۰۰۰	دارد- (۱ روز) ۱۰۶۰۰۰	تعداد ۴ مرحله ۶۰۰۰۰	۱۲ روز	۳۳۴۷۰۰۰
۴	گچ ماسه	(۴ روز) $۷۶۹۰۰۰ = ۲۰ \times ۳۸۴۵۰$	(۴ روز) ۳۷۰۰۰	دارد- (۱ روز) ۹۶۰۰۰	دارد- (۱ روز) ۱۰۶۰۰۰	تعداد ۴ مرحله ۶۰۰۰۰	۱۰ روز	۳۴۲۶۰۰۰
۵	اندود معرفی شده در این تحقیق	(۳ روز) $۱۶۱۰۴۰۰ = ۲۰ \times ۸۰۵۲۰$	ندارد	ندارد	ندارد	تعداد ۱ مرحله ۱۵۰۰۰۰	۳ روز	۱۷۶۰۴۰۰





## EXTENDED ABSTRACT

# A Plaster Based on Gypsum and Investigation of Its Thermal Insulation Properties

Ehsan Moazzen, Rasoul Shadnia \*

Department of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar 9617976487, Iran

Received: 07 September 2022; Review: 27 April 2023; Accepted: 10 May 2023

### Keywords:

Plaster, Thatch, Gypsum, Thermal insulation, Thermal conductivity.

## 1. Introduction

Considering the increasing consumption and decreasing of energy on the planet, creating new methods to reduce energy consumption by humans is one of the necessary priorities for continuation and survival. In civil engineering, many researchers are trying to reduce energy consumption by conducting laboratory and theoretical research on building materials (Ajouguim et al., 2021; Singh et al., 2022) especially linings and plaster trodes (Touil et al., 2022). In the present paper, an attempt has been made to present a plaster based on a combination of new and old materials, which can be a step in the development of the thermal insulation industry, both in terms of quality and cost. The purpose of this research is to reach a plaster with characteristics similar to thatch, but with the elimination of defects such as cracking due to continuous cold and heat, erosion due to rain and moisture, and continuous drying. In the production of this plaster, which is based on gypsum, in the first step, some investigations and tests were carried out on different materials, including traditional thatch mixtures. In the end, the final product was obtained by adding materials such as gypsum, clay, wood powder, glass wool and some nano materials with the aim of producing a plaster with a thermal conductivity coefficient lower than the existing ones. This plaster will be used for plastering inside the building like gypsum plaster and has advantages such as not having a thermal bridge on the entire surface, not having seams and cracks, as well as not destroying and falling over time due to its high adhesion. This research has tried to increase the quality of thermal insulation in the construction industry and by taking the idea from the behavior of straw, to produce a much more optimal coating, both in terms of efficiency, availability and saving energy consumption, as well as in terms of costs.

## 2. Methods

The plaster introduced in this research was obtained by combining available materials such as gypsum, clay, wood powder, glass wool and some nano materials with the aim of producing a coating with a lower thermal conductivity than existing coatings. First, each of the components of the coating has been increased or decreased several times and the resulting coating has been applied on a standard block (Razavi Hablex) and after 24 hours (drying of the surface), the effects created such as adhesion, cracks, durability on the surface of the wall and the final color after drying have been examined. Then, to ensure the thermal superiority of the coating presented in this research, two types of tests have been performed on the samples: the test to determine the thermal conductivity coefficient and the test to determine the thermal durability.



### *2.1. Thermal conductivity test*

The coefficient of thermal conductivity is the amount of energy that passes through the material per unit of thickness and per unit of time at a certain temperature. This test was performed using the KD2 Probe device and based on ASTM D5334 regulations. After making the sample and drying it, the thermal conductivity coefficient was first tested, with the aim of obtaining a material with a thermal conductivity coefficient lower than that of straw coating.

### *2.2. Thermal durability test*

In this research, the glass cube test was used to determine the thermal durability, which is a simple method to determine the thermal performance of various materials. This experiment was taken from the simulation project of combined convection and radiation heat transfer in a closed square enclosure in Ansys-Fluent software. To perform this test, a glass cube with dimensions of one meter was used, only in its upper part, a hole with dimensions of 4 x 10 cm was created for the passage of digital thermometer and hygrometer.

### *2.3. Constituent materials of plaster*

To prepare laboratory samples, the use of available materials has the first priority. It is worth noting that each of the ingredients is included in the coated composition based on a specific feature. Each of the components of the coating was repeatedly increased or decreased, and the resulting coating was applied on a standard block (Hablex Razavi) and after 24 hours (drying of the surface), the created effects such as adhesion, cracks, durability on the surface of the wall and the final color after drying were investigated.

## **3. Results and discussion**

The results of the tests performed on the plaster should be considered from two perspectives; First, checking the laboratory results with the aim of evaluating the efficiency and achieving the research goal, and secondly, estimating and comparing the price with the aim of ensuring its economic efficiency, which is very important and necessary in addition to the efficiency. After conducting the necessary tests with the aim of evaluating the efficiency and financial estimates, the results were obtained that led to the determination of the appropriate amount of each material in the plaster as well as the properties of the plaster.

As a result, the final plaster has the best results both in terms of the laboratory in terms of thermal conductivity insulation properties and in terms of performance. After conducting laboratory tests, the results obtained from different coatings and mortars were compared. It should be noted that the most significant properties of the plaster made in this research include colorability, better performance in terms of thermal insulation, and economic efficiency.

### *3.1. Experimental Results*

The laboratory results show that the plaster presented in this research compared to other mortars (in the case of samples with equal dimensions) has a lower thermal conductivity coefficient and also the ability to retain more energy in the room. The reason for the lower thermal conductivity coefficient and higher thermal durability of the plaster introduced in this research can be related to the presence of thermal insulation materials in the construction of this plaster. For example, the straw in the thatch, which is used in the villages to cool the room in the summer and stay warm in the winter, is one of the materials that alone greatly reduces the thermal conductivity coefficient and increases the thermal durability and causes the plaster to be insulated; On the other hand, the presence of nano materials and stone wool, which alone reduce thermal conductivity, in the combination of the plaster introduced in this research with straw and other materials, by creating a suitable correlation, produces a coating with a lower thermal conductivity coefficient and greater thermal durability.

### *3.2. Price estimation and comparison*

Another important goal of making this plaster is its economic efficiency. It is worth mentioning that here, economic efficiency is considered at the end of the work. On the other hand, a significant increase in execution speed and longer durability should be considered in order to reduce costs. The noteworthy point besides the mentioned priorities is the effort to make a widely used plaster compared to similar coatings. This plaster can show its good performance in many cases. Among these things, there is a lot of help during execution, which summarizes several steps in one step and several products are placed in one product. It is worth mentioning

that this plaster, by using new and old materials, has been able to show its value in various ways, including availability, cheaper and faster implementation.

#### 4. Conclusions

The summary of the results of the tests and investigations carried out on the plaster introduced in this research is as follows:

1) The plaster presented in this research has a lower thermal conductivity coefficient (0.21 w/m.k) compared to other mortars (in the case of samples with equal dimensions).

2) The thermal durability of this plaster is higher (10 hours) compared to other mortars investigated in this research.

3) The comparison of the finished price of this plaster with the different coatings examined in this research shows that the finished price and the number of days required for the implementation of mentioned plaster are lower than all other common coatings.

4) The plaster introduced in this research, in addition to having the above characteristics, can be a suitable proposal to increase the speed of implementation, reasonable price and better efficiency than the conventional coatings in the construction industry and a new step to reduce energy consumption. It is worth noting that mass production of this plaster can be economically justified in addition to providing all the mentioned benefits.

#### 5. References

- Ajouguim S, Talibi S, Djelal-Dantec C, Hajjou H, Waqif M, Stefanidou M, Saadi L, "Effect of Alfa fibers on the mechanical and thermal properties of compacted earth bricks", *Materials Today: Proceedings*, 2021, 37, 4049-4057. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.539>
- Singh S, Maiti S, Bisht RS, Balam NB, Solanki R, Chourasia A, Panigrahi SK, "Performance behaviour of agro-waste based gypsum hollow blocks for partition walls", *Scientific Reports*, 2022, 12 (1), 1-16. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07057-y>
- Touil M, Lachheb A, Saadani R, Kabiri MR, Rahmoune M, "A new experimental strategy assessing the optimal thermo-mechanical properties of plaster composites containing Alfa fibers", *Energy and Buildings*, 2022, 111984. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111984>