



بررسی آجر نمای انعطاف پذیر

سهراب ویسه^{۱*}، علی اکبر یوسفی^۲، شروین احمدی^۳

۱. عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

۲. عضو هیأت علمی پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

۳. عضو هیأت علمی پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

* تهران، بزرگراه شیخ فضل الله نوری، فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت، صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵

E-mail: veiseh@bhrc.ac.ir

چکیده

ضرورت صرفه جویی در مصرف انرژی و سبک سازی ساختمان با استفاده از روش های تولید صنعتی سبب شده است که مصالح جدید نماسازی در دنیا متداول شود. برخی از این سامانه های نمای جدید علاوه بر نماسازی به منظور عایق کاری حرارتی سطوح بیرونی دیوارها نیز به کار برده می شوند. برای نماسازی و عایق کاری حرارتی همزمان ساختمان سامانه نمای عایق حرارتی بیرونی (ETICS) گزینه مناسبی است. این سامانه متشکل از یک لایه عایق حرارتی، یک لایه اندود زیرکار تقویت شده با مش الیاف شیشه و یک لایه اندود نمای نهایی است. در این پژوهش، جایگزینی اندود نهایی ETICS با آجر نمای انعطاف پذیر بررسی شد. نمونه های آجر یاد شده مشابه محصول تولید شده در جمهوری چک در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شدند. در تهیه نمونه ها، از ماسه سیلیسی و پلیمرهایی بر پایه آکرلیک استر همراه با مواد افزودنی لازم استفاده شد و با آن مخلوط گردید. آزمایش های مختلف استاندارد بر روی نمونه های ساخته شده انجام شد. نتایج آزمایش ها رضایت بخش بودند و خواص برخی از نمونه های آجر نمای انعطاف پذیر آزمایشگاهی حتی از خواص آجر تجاری بهتر بود. نتایج به دست آمده حاکی از خواص مناسب یکی از آمیزه هاست، با این تفاوت که در نمونه بومی از الیاف شیشه برای تقویت و افزایش خواص کششی استفاده شد که مقاومت کششی را تا دو برابر افزایش داد. جذب آب، مقاومت فرورفتگی و مقاومت در برابر ضربه نیز در حد قابل قبول و مشابه نمونه خارجی بود. بررسی ها نشان داد که تولید این آجرها در ایران امکان پذیر است.

کلید واژگان

آجر، انعطاف پذیر، نما، عایق حرارتی

An Investigation on Flexible Facing Bricks

Sohrab Veiseh^{1*}, Ali Akbar Yousefi², Shervin Ahmadi³

1. Road, Housing and Urban Development Research Center

2. Iran Polymer and Petrochemical Institute

3. Iran Polymer and Petrochemical Institute

* P.O. Box 13145-1696, Tehran, Iran, veiseh@bhrc.ac.ir

Abstract

The need to save energy and lighten the building using industrial production methods has led to the emergence of new cladding materials in the world. Some of these new materials, in addition to facing, are used for thermal insulation of the external walls. External Thermal Insulation Composite System (ETICS) is a suitable option for the cladding and at the same time thermal insulation of the buildings. It consists of thermal insulation, the base coat reinforced by glass fiber mesh and a layer of top coat. In this study, the replacement of ETICS final coat with the flexible bricks was investigated. Flexible brick specimens similar to those produced in the Czech Republic were designed and manufactured on a laboratory scale. In the preparation of samples, silica sand and polymers based on acrylic Ester with the necessary additives were used. The ingredients were mixed well and placed inside the molds. After drying, the samples were taken out of the molds. The standard tests were performed on the samples. The results of the experiments were promising, and the properties of some flexible laboratory brick samples were even better than those of commercial bricks. The obtained results indicate the suitable properties of one of the compounds, with the difference that in the native sample, glass fibers were used to strengthen and increase the tensile properties, which increased the tensile strength up to twice. Other characteristics of this mixture such as water absorption, density, resistance to penetration and impact resistance were acceptable and similar to the foreign samples. Studies have shown that the production of these bricks in Iran is possible.

Keywords

Brick, Flexible, Facing, Thermal Insulation

۱- مقدمه

استفاده از این سامانه‌های نما، می‌توان تا بیش از ۵۰ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد. به دلیل محافظت از دیوارهای بیرونی ساختمان و جلوگیری از نفوذ نم، عمر مفید ساختمان‌ها نیز افزایش می‌یابد. این سامانه سبک است و وزن آن تنها حدود ۲۹ کیلوگرم بر مترمربع است. بنابراین، نیاز به زیرسازی اضافی و دستگاه‌های نصب سنگین را کاهش می‌دهد [7-9].

آجر انعطاف‌پذیر عملی‌ترین آجر نازک موجود در بازار کشورهای اروپایی است و برای مقاصد تزئینی، تغییر دکوراسیون بیرونی ساختمان و غیره به کار می‌رود. این آجرها معمولاً از درصد بالایی ماسه کوارتزی با دانه‌بندی خاص با یک چسب پلی‌اکریلیک تشکیل می‌شوند. این آجرها مانند اکثر آجرهای نازک، شکننده نیستند و آنها را می‌توان با دست خم کرد. این امر امکان استفاده از آنها را برای سطوح منحنی و ناهموار فراهم می‌کند [10].

آجرهای انعطاف‌پذیر شامل مواد زیر است: رزین مصنوعی پراکنده در آب، ماسه کوارتزی، رنگ‌ها، افزودنی‌های اصلاح‌کننده. ترکیب این مواد با یک لایه تقویت‌کننده مش الیاف شیشه که در قسمت زیرین آجر انعطاف‌پذیر قرار می‌گیرد، خاصیت انعطاف‌پذیری را به آجر می‌دهد. رنگ‌های آجر نما و بافت آن قابل تغییر بر حسب سلیقه خریدار است [11-12].

محصولات سرامیکی از جمله آجر پلاک معایبی از جمله جرم زیاد و تردی دارند. در مقابل آن محصول نوین آجر انعطاف‌پذیر مزایایی شامل سبکی و قابلیت تغییر شکل ارتجاعی (ناشی از خاصیت کشسانی آن) دارند. به دلیل این مزایا عملکرد آجر انعطاف‌پذیر در برابر نیروهای زمین‌لرزه و دریافت طبقات (ناشی از آن) بهبود می‌یابد.

در این پژوهش، نمونه‌های آجر انعطاف‌پذیر مشابه محصول تولیدکننده‌ای در جمهوری چک در مقیاس آزمایشگاهی فرموله و ساخته شد. آزمایش‌های استاندارد مختلف مرتبط بر روی نمونه‌های ساخته شده با این نوع آجر انجام گردید. در تهیه این آجرها از پلیمرهای بر پایه آکرلیک استر استفاده شد و مواد افزودنی لازم با آنها مخلوط شد. نتایج حاصل حاکی از خواص مناسب فرمولاسیون بومی است. در نمونه بومی از الیاف شیشه برای تقویت و بهبود خواص کششی استفاده شد که استحکام کششی را تا دو برابر افزایش داد، ولی تغییر شکل ناشی از کشش را کم کرد. در نمونه بومی از الیاف شیشه برای تقویت و بهبود خواص کششی استفاده شد که استحکام کششی را تا دو برابر افزایش داد، اما تغییر شکل ناشی از کشش را کم کرد.

مراحل مختلف اجرای این پژوهش شامل مطالعات اولیه و کتابخانه‌ای، تهیه مواد اولیه و طراحی ساخت نمونه‌های آجر نمای انعطاف‌پذیر، ساخت نمونه‌ها شامل آمیزه‌های ماسه و پلیمر و فیلم‌های مربوط، انجام دادن آزمون‌های خواص مکانیکی بر روی نمونه‌ها شامل مقاومت کششی و مقاومت در برابر ضربه و سایر آزمون‌های لازم، بررسی و تحلیل نتایج آزمون‌ها و تهیه گزارش نهایی بود.

۲- مشخصات و اجرای آجر سبک قابل انعطاف

آجر نمای انعطاف‌پذیر بسیار سبک است و وزن هر یک تنها حدود ۶۰ گرم (با ابعاد ۲۴۰ در ۵۰ در ۳ میلی‌متر) است. بنابراین، نیاز به زیرسازی اضافی ندارد. این آجرها مانند اکثر آجرهای نازک، شکننده نیستند و آنها را می‌توان با دست خم کرد. این امر امکان استفاده از آن را برای سطوح منحنی و ناهموار فراهم می‌کند. این آجر در برابر پرتو ماورای بنفش مقاوم است. هنگامی که بر روی یک زیرکار صلب استفاده می‌شود، مقاومت در برابر ضربه را تأمین می‌کند. در محدوده دماهای 38°C تا 100°C یکپارچگی و سلامت خود را از دست نمی‌دهد [2-4].

آجر دارای ظاهر زیبایی ویژه‌ای است. برای هزاران سال آجر برای تعیین سبک معماری مؤثر بوده است. در جهان امروز نیز از آجر در طراحی‌ها به عنوان مصالحی با مشخصات ظاهری عالی و کیفیت برتر استفاده می‌کنند. آجر هماهنگی کاملی با رنگ‌های طبیعی دارد و دارای شکل و بافت جذابی است. بنابراین، همیشه جای ثابتی را در بحث طراحی ساختمان‌ها دارد. این نه تنها به دلیل خصوصیات فنی آن، بلکه همچنین به عنوان عنصری زیبا در طراحی محیط است. در ساختمان‌سازی صنعتی و جدید با قاب‌های فولادی یا بتنی و دیوارهای جداکننده، نمای خارجی آجری که عنصری آشنا برای محیط ساخت‌وساز است به دو هدف کمک می‌کند:

۱- زیبایی: نمای آجری بسیار زیباست و به همین دلیل، تعداد ساختمان‌های با نمای آجری در جهان زیاد است.

۲- محافظت دیوار خارجی در برابر باران و نفوذ آب به داخل ساختمان: که با استفاده از خاصیت مویبندی اکثر آجرهای پلاک سنتی انجام می‌گیرد.

۳- دوام زیاد

در مقابل مشخصات فنی خوب، آجرهای سنتی معایب خود را نیز دارد. آنها سنگین‌اند و نصبشان به کارگران ماهر نیاز دارد. اجرای آنها وقت‌گیر است. جایگزینی برای نمای آجر رسی سنتی، سامانه نمای آجر انعطاف‌پذیر با عایق کاری حرارتی بیرونی است. این سامانه راه حل مبتکرانه و خلاقانه‌ای به منظور ساختمان‌سازی صنعتی برای ساختمان‌های جدید، بازسازی و پیش‌سازی است. نمای ساختمان در این روش، سریع نصب می‌شود و باعث صرفه‌جویی در نیروی کار و کارهای بنایی (در محل کارگاه ساختمانی) می‌شوند. آجرهای انعطاف‌پذیر (فلکسی) با ضخامت کم برای کاربردهای داخلی و خارجی طراحی می‌شوند. آجر انعطاف‌پذیر بیش از ۳۰ سال است که توسعه یافته و در اروپا در کاربردهای درونی و بیرونی ساختمان استفاده شده است. نمای عایق حرارتی بیرونی با آجر انعطاف‌پذیر منحصر به فرد است، دوام بالایی دارد و حداقل نگهداری را نسبت به نمای آجری سنتی ارائه می‌دهد. اما هیچ‌یک از معایب آن را ندارد. در این سامانه، از آجرهایی به ضخامت ۳ میلی‌متر به جای آجرهای پلاک سنتی به ضخامت ۲۰ میلی‌متر استفاده می‌شود [1-4].

سامانه نمای مرکب عایق حرارتی بیرونی (ETICS)^۱ برای سطوح دیوارهای خارجی و یا زیرطاق‌های موجود با جدید به منظور بهبود عایق کاری حرارتی به کار برده می‌شود. نوع مبتکرانه‌ای از آن، سامانه نمای عایق حرارتی با آجر انعطاف‌پذیر است. این سامانه از قسمت‌های زیر تشکیل می‌شود: چسب، پتل عایق حرارتی (معمولاً تخته EPS)، زیرلایه شامل ملات خشک آماده مسلح شده با مش الیاف شیشه، بست‌های پتل، چسب و آجر نمای انعطاف‌پذیر. این آجرها به عنوان لایه نهایی ETICS به کار می‌رود. با استفاده از این سامانه نما شامل EPS، می‌توان تا بیش از ۵۰ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد [5-6].

این ناماسازی عایق حرارتی بیرونی منحصر به فرد، دوام بالایی دارد و حداقل نگهداری را نیاز دارد. اما هیچ‌یک از معایب آجرهای سنتی از جمله وزن زیاد را ندارد. آجر نمای انعطاف‌پذیر از پرکننده معدنی سیلیکاتی و چسب‌بندنده آکرلیکی ساخته می‌شود. این آجرها ناماسازی آجری رسی را شبیه‌سازی می‌کنند. در صورت استفاده از این نوع آجرها می‌توان عایق کاری حرارتی دیوار بیرونی را بر روی ساختمان‌های جدید یا موجود انجام داد. با

^۱ External Thermal Insulation Composite System

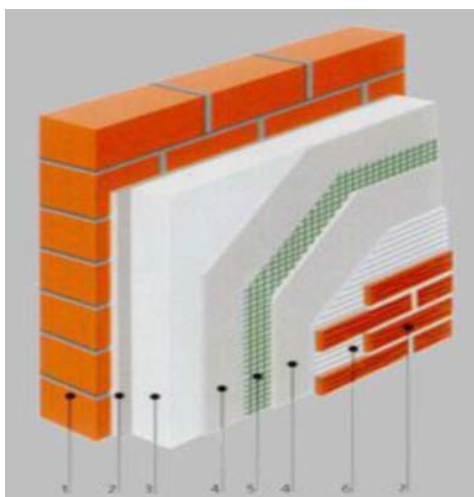
آجرهای نمای انعطاف‌پذیر باید در دماهای بیش از ۵°C اجرا شوند. اجرای این نما نیاز به تخصص ویژه‌ای ندارد و با آموزش مختصری قابل انجام است. وسایل مورد نیاز برای نصب آجر انعطاف‌پذیر تنها یک ماله دندانه‌دار، چاقو و برس کوچک است. این آجرها را با شیلنگ آبیاری می‌توان شست. چون آجر انعطاف‌پذیر همراه با سایر اجزا مخلوطی از ترکیبات رزینی اکریلیکی است، نه تنها سبک‌اند بلکه قابلیت انطباق با سطوح منحنی را دارند. پشت باریکه‌ها، اندود زیرین پایه سیمانی مسلح بر روی عایق حرارتی اجرا می‌شود که درجه بالایی از مقاومت در برابر ضربه، مقاومت در برابر عوامل جوی و نفوذپذیری بخار آب را تأمین می‌کند. در جدول ۱ خواص آجر انعطاف‌پذیر و آجر پلاکی متداول با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول ۱ خواص آجر انعطاف‌پذیر و آجر پلاکی متداول

خواص	آجر انعطاف‌پذیر	آجر پلاکی متداول
انعطاف‌پذیری	✓	×
سبکی [*]	✓	×
اجرای سریع و آسان	✓	×
قابل بریدن با قیچی	✓	×
عدم نیاز به بندکشی	✓	×
✓ دارد	×	ندارد

* آجر انعطاف‌پذیر به طور نوعی ۵۰ تا ۶۰ گرم وزن دارد در حالی که وزن آجر نمای رسی ۱ سانتی‌متری بیش از ۲۰۰ گرم و آجر نمای ۲ سانتی‌متری بیش از ۴۰۰ گرم است.

هنگام اجرای سامانه ETICS با آجر نمای انعطاف‌پذیر، زیرکار باید تخت باشد و می‌تواند شامل بنایی آجری، بلوک سفالی، بلوک سیمانی یا مصالح بنایی دیگر باشد. سامانه نمای آجر انعطاف‌پذیر با عایق حرارتی از زیرکار به سطح خارجی شامل اجزای زیر است: دیوار اصلی، چسب سیمانی، عایق حرارتی پلی استایرن منبسط، اندود زیرین سیمانی تقویت‌شده با مش الیاف شیشه، چسب پلیمری و آجر انعطاف‌پذیر. مراحل اجرای سامانه نمای آجر انعطاف‌پذیر با عایق حرارتی به قرار شکل ۲ است.



راهنما: ۱- دیوار اصلی آجری، ۲- چسب سیمانی، ۳- عایق حرارتی پلی استایرن منبسط، ۴- اندود زیرین سیمانی، ۵- مش الیاف شیشه، ۶- چسب پلیمری، ۷- آجر انعطاف‌پذیر

شکل ۲ سامانه نمای عایق حرارتی بیرونی با آجر نمای انعطاف‌پذیر [4]

قدم اول در اجرای آجر نمای انعطاف‌پذیر، تقسیم دقیق سطح به مناطقی است که قرار است آجر روی آن اجرا شود. مقدار کمی از ملات ویژه این نماسازی بر روی سطح خشک و صلب اجرا می‌شود. سپس آجر انعطاف‌پذیر را به داخل چسب می‌فشارند. عرض درزها باید حدود ۱۰ mm باشد (شکل ۱- الف). آجر انعطاف‌پذیر را می‌توان در دور کنج‌ها و سطوح منحنی به کار برد. پس از تنظیم تقسیم‌ها، کار از بالا شروع می‌شود. چسب و ملات بندکشی به طور افقی با ماله دندانه‌دار (با دندانه‌های ۶×۶ میلی‌متری) در کنج‌های بیرونی اجرا می‌شود. قطعات کنج را به طور محکم درون ملات قرار می‌دهند. اطمینان حاصل می‌شود که این قطعات دو خم شده‌اند (شکل ۱- ب). چسب و ملات بندکشی را در ارتفاع قطعات کنج در مساحتی حدود یک مترمربع اعمال می‌کنند. آجر نمای انعطاف‌پذیر را می‌توان با قیچی یا چاقوی تیز به سادگی برید (شکل ۱- پ). درزها را با قلم موی نقاشی مرطوب صاف می‌کنند. باید اطمینان حاصل شود که آجر به طور کامل در همه وجوه با ملات دربرگرفته شده است (شکل ۱- ت) [6].



ب



الف



ت



پ

شکل ۱ روش نصب آجر انعطاف‌پذیر، الف- نصب بر روی ملات زیرکار، ب- به کار بردن آجر انعطاف‌پذیر به دور کنج‌ها، پ- بریدن آجر انعطاف‌پذیر با قیچی، ت- مسطح کردن درزها با قلم‌موی نقاشی [6]

وزن مجموعه، کمتر از ۱۰ kg/m² است. این سامانه در برابر تنش مکانیکی و ضربه مقاومت دارد و تا حدی حرکت سازه‌ای را بدون ترک‌خوردگی امکان‌پذیر می‌سازد. رنگ‌های متداول عبارت‌اند از: قرمز تیره، قرمز، خاکستری، زرد و غیره [6].

با استفاده از سه رزین مختلف، سنگدانه و مواد افزودنی، نمونه‌ها ساخته شد. در جدول ۲ ترکیب نمونه‌های ۱ تا ۵ داده شده است. در همه نمونه‌ها، نسبت اختلاط ۷۱ درصد وزنی ماسه سیلیسی و ۲۹ درصد وزنی چسب بود.

جدول ۲ ترکیب نمونه‌های ۱ تا ۶

کد نمونه	مواد اولیه ملات
S1	رزین پلی اکریلیک و پلی استر و ماسه سیلیسی ریزدانه
S2	رزین پلی اکریلیک و مش الیاف شیشه و ماسه سیلیسی ریزدانه
S3	رزین پلی اکریلیک و تیشو و ماسه سیلیسی ریزدانه
S4	رزین پلی اکریلیک و پلی استر و ماسه سیلیسی ریزدانه
S5	رزین پلی اکریلیک و مش الیاف شیشه و ماسه سیلیسی ریزدانه
S6	رزین اکریلیکی NA58، رزین استایرن بوتادین رابر SBR، رزین اکریلیکی TH110، نفت، ماسه سیلیسی دانه‌بندی شده

در جدول ۲ نمونه شماره S6 شامل مواد زیر بود:

الف) NA58 رزینی اکریلیکی است که سلف کراس لینک (خود شبکه‌ای شونده) است. جذب آب آن کم است، مقاومت خوبی در برابر عوامل جوی دارد، اما انعطاف پذیری آن کافی نیست. ب) SBR رزین استایرن بوتادین رابر (لاتکس) برای افزایش انعطاف پذیری به مجموعه اضافه شد. مقدار رزین SBR به میزان ۱۰ درصد رزین NA58 به آن اضافه شد. پ) TH110 رزین اکریلیکی است و برای ایجاد حباب هوای ریز از آن استفاده شد. این رزین شکل و قوام بیشتری به قطعه می‌دهد و کمک می‌کند که بعد از شکل‌دهی قطعه تغییر شکل ندهد. ت) نفت به عنوان عامل مانع فوم شدن معمولاً یک دیفومر در محیط فوم‌شدگی، نامحلول است و دارای خواص سطحی فعال است. ث) ماده شوینده به عنوان ماده پراکنده‌ساز استفاده شد. ج) ماسه سیلیسی دانه‌بندی شده. در این نمونه NA58، SBR و TH10 جمعاً ۱۸/۸ درصد، ماسه عبور داده شده از الک با چشمه ۱ mm و مانده روی الک ۲۰۰ برابر ۸۰/۲ درصد، نفت ۰/۳ درصد و مایع شوینده ۰/۷ درصد بود. در این روش ابتدا NA58 و SBR و بعد ماسه سیلیسی در مخلوط‌کن به مدت ۳ دقیقه مخلوط شدند. سپس، TH10 به آن اضافه شد. بعد از آن مقدار نیم درصد وزنی نفت و سپس ۱ درصد وزنی مایع شوینده به مخلوط اضافه گردید. آمیزه آماده شده در مخلوط‌کن به همان روش قبلی در قالب ریخته شده و بعد از خشک شدن نمونه‌ها در آن آزمون‌های مربوط بر روی آنها انجام گرفت. برای کاهش میزان جذب آب و افزایش نفوذناپذیری از محلول سیلان با نسبت‌های مختلف استفاده شد.

۳-۳-۳ آزمون‌ها

۳-۳-۳-۱- طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ: که به آنالیز FTIR یا اسپکتروسکوپی FTIR نیز شناخته می‌شود، روش تجزیه‌ای است که عموماً برای شناسایی مواد پلیمری استفاده می‌شود. در این روش از نور فروسرخ برای اسکن کردن نمونه و بررسی خواص شیمیایی استفاده می‌شود. هر

به دلیل قابلیت انعطاف و سبکی، نماسازی آجری ساخته شده با آجرهای انعطاف پذیر ترک نمی‌خورد، بار ساختمان را تقریباً افزایش نمی‌دهد و کاربرد آن آسان است. آجر انعطاف پذیر را می‌توان با تنوعی از رنگ و طرح ساخت. ترکیب آجر انعطاف پذیر شامل مواد زیر است: رزین مصنوعی پراکنده در آب، ماسه کوارتزی، رنگ‌ها، افزودنی‌های اصلاح‌کننده. ترکیب این مواد با یک لایه تقویت‌کننده که در قسمت زیرین آجر قرار می‌گیرد، خاصیت انعطاف پذیری را به آجر می‌دهد [13].

در تولید آجر نمای انعطاف پذیر می‌توان از طرح روستیک یا از ظاهری مشابه آجرهای قدیمی استفاده کرد. از سوی دیگر می‌توان با تغییرات رنگ در بعضی قسمت‌ها از روشن‌تر به تیره‌تر استفاده کرد تا آجر حالت طبیعی بیشتری داشته باشد. در بخش‌هایی از سامانه مرکب عایق حرارتی بیرونی می‌توان از این آجر استفاده کرد و در بقیه بخش‌ها مصالح دیگری مانند سنگ، چوب، سرامیک و غیره به کار برد. به این ترتیب زیبایی کل نما بسیار بیشتر خواهد بود [13].

۳- بررسی‌های آزمایشگاهی

۳-۱- مواد اولیه

برای ساخت نمونه‌ها از مواد اولیه شامل دو نوع چسب اکریلی، مش الیاف شیشه، ورق تیشو، ورق پلی استر، ماسه سیلیسی ریزدانه، گل اخرا و تخته پلی استایرن منبسط استفاده شد. پلی‌استایرن منبسط (چگالی 20 kg/m^3 الی 24 kg/m^3) از کارخانه آذر برفین واقع در تبریز مورد استفاده قرار گرفت. مواد اکریلیک کلسیت و رزین اکریلی استایرن پایه آبی از شرکت رزین فام تهیه شد. افزودنی‌های مورد استفاده عبارت بودند از: Next coat که استر الکلی است، منو اتیلین الکل یا ضدخچ، بیوپل یا ضدقارچ، دنسی پل یا ضدکف و تیلوز که برای جمع کردن و یکنواختی مواد ملات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۲- ساخت نمونه‌ها

ابتدا رزین‌ها و افزودنی‌های مربوط به جز بهبود دهنده‌های ریولوژی در ظرف قرار گرفتند و به کمک همزن پره‌ای با سرعت 120 rpm به مدت ۳ دقیقه مخلوط شدند. در مرحله بعد، پرکننده‌ها به صورت پیمانه‌های حاوی ۲۵ درصد پرکننده کلی به تدریج به رزین اضافه شد و تا یکنواخت شدن کامل مخلوط شدند. در انتها، بهبود دهنده ریولوژی به سیستم اضافه و پس از ۲ دقیقه با سرعت 80 rpm فرایند اختلاط خاتمه پیدا کرد.

مراحل تهیه نمونه‌ها با فرمول‌های متفاوت و مواد اولیه مختلف به شرح زیر است: ۱- توزین مواد و مخلوط کردن آنها و تهیه آمیزه، ۲- برش الیاف مش متناسب با ابعاد قالب و آماده‌سازی قالب (استفاده از روغن و ورق سلفون برای جلوگیری از چسبیدن مواد به قالب)، ۳- پوشاندن کف قالب با بخشی از آمیزه، ۴- قرار دادن مش در قالب و پوشاندن روی آن توسط بخش دیگر آمیزه، ۵- صاف کردن سطح نمونه با استفاده از دمپر و قراردادن سمبه درون قالب، ۶- تحت فشار قراردادن مجموعه قالب و نمونه برای اطمینان از یکنواختی و استحکام بیشتر نمونه‌ها، ۷- خارج کردن نمونه‌ها از قالب، ۸- خشک کردن نمونه‌ها، ۹- ساختن نمونه‌های سامانه مرکب عایق حرارتی بیرونی با نمای آجری جهت انجام دادن آزمون‌های مربوط، و ۱۰- آماده‌سازی و تثبیت شرایط نمونه‌های ETICS.



شکل ۳ آزمون مقاومت کششی نمونه‌های آجر انعطاف پذیر ساخته شده در آزمایشگاه

مولکول یا ساختار شیمیایی یک رد پای طیفی منحصر به فرد دارد که تجزیه FTIR را ابزار مناسبی برای شناسایی ترکیب شیمیایی پلیمرها می‌سازد.

۳-۳-۲- آزمون تعیین جذب آب: این آزمون مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۷۱۲۰ با عنوان "مصالح ساختمانی- فراورده‌های عایق کاری حرارتی- تعیین جذب آب کوتاه مدت با غوطه‌ورسازی جزئی - روش آزمون" انجام شد. این آزمون، جذب آب ایجاد شده با یک دوره بارندگی ۲۴ ساعته در طی اجرای ساختمان را شبیه‌سازی می‌کند. بخش پائین تر یک آزمون برای یک دوره ۲۴ ساعته در آب قرار داده می‌شود و تغییر جرم اندازه‌گیری می‌گردد آزمون‌ها برای حداقل ۶ ساعت در دمای $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ قرار گرفتند. سپس با تقریب ۰/۱ گرم برای تعیین جرم اولیه آن، m_0 ، توزین شدند. آزمون‌ها در حوضچه در زیر آب قرار داده شدند. برای تعیین جرم آزمون‌ها، m_{24} ، توزین شدند. آب اضافی که به سطح چسبیده ولی جذب آزمون نشده باید قبل از توزین جدا شود. جذب آب، W_a ، بر حسب kg/m^2 با به کار بردن معادله زیر محاسبه شد.

$$W_a = \frac{m_{24} - m_0}{A_p} \quad (1)$$

که در آن:

m_0 = جرم اولیه آزمون، به kg

m_{24} = جرم آزمون بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری، به kg

A_p = مساحت سطح زیرین آزمون، به m^2

۳-۳-۵- آزمون مقاومت در برابر فرورفتگی: این آزمون مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۴۲۵ با عنوان "فراورده‌های عایق کاری حرارتی- تعیین مقاومت در برابر فرورفتگی سامانه‌های مرکب عایق حرارتی خارجی- روش آزمون" انجام شد. هدف از آزمون تعیین مقاومت در برابر فرورفتگی سامانه‌های مرکب عایق حرارتی خارجی است. مقاومت در برابر فرورفتگی توسط دستگاه آزمون فشاری استاندارد که سرعت ثابت فک بالایی آن در $(10 \pm 1) \text{ mm/min}$ تنظیم شده است و اندازه پیوسته نیرو با قابلیت قرائت ۱٪ نشان می‌دهد اندازه‌گیری شده است. فک‌های مورد نیاز برای این دستگاه فشاری مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۴۲۵ طراحی و ساخته شده است.

۳-۳-۶- آزمون مقاومت در برابر ضربه: این آزمون مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۴۲۶ "تعیین مقاومت در برابر ضربه سامانه‌های مرکب عایق حرارتی خارجی- روش آزمون" انجام شد. در این آزمون به نمونه با انرژی معادل ۲ ژول و ۵ ژول ضربه زده می‌شود.

۴- نتایج و بحث

جهت شناسایی آجر انعطاف پذیر خارجی، آزمون FT-IR مطابق استاندارد ASTM E1252-07 [14] تحت عنوان "آیین کار برای روش‌های کلی به دست آوردن طیف فرورسرخ برای آنالیز کیفی" بر روی آن انجام شد. در این آزمون مشخص شد که این نمونه دارای (87 ± 2) درصد مواد پرکننده معدنی سیلیکاتی و یک نوع چسباندنده آکریلاتی است. در شکل ۴ رفتار تنش- کرنش نمونه‌های آجر نمای انعطاف پذیر تجاری خارجی به رنگ‌های زرد و قرمز نشان داده شده است.

۳-۳-۳- آزمون چگالی: ابعاد خطی نمونه‌ها مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۷۱۱۳ با عنوان "فراورده‌های عایق کاری حرارتی برای ساختمان- تعیین طول و عرض- روش آزمون" با دقت ۰/۵ درصد اندازه‌گیری شد. حجم آزمون‌ها با استفاده از این اندازه‌گیری‌ها محاسبه شد. هر آزمون با دقت ۰/۵ درصد توزین و جرم آن به کیلوگرم یادداشت می‌گردد. چگالی ظاهری، به کیلوگرم بر مترمکعب با تقسیم وزن بر حجم نمونه محاسبه شد.

۳-۳-۴- آزمون مقاومت کششی: آزمون اندازه‌گیری میزان مقاومت کششی آجر انعطاف پذیر، مطابق استاندارد ASTM D638 انجام شد [14]. دستگاه آزمون کشش قابلیت تنظیم سرعت ثابت فک متحرک به میزان 50 mm/min را داشت. آزمون‌ها به گونه‌ای به فک‌های کششی اتصال داده شد تا از پاره شدن و لغزش آنها جلوگیری شود. تنها نتیجه آزمون‌هایی مورد قبول واقع شدند که عمل پاره شدن از قسمت میانی آزمون‌ها رخ داد. فک‌های دستگاه کشش با ورق لاستیکی پوشش داده شد تا به نمونه‌ها آسیب نرسد. مقادیر مقاومت کششی، TS، به N/mm از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$TS = F/W \quad (3)$$

که در آن:

F نیرو در شکست به N است؛

W عرض آزمون به mm است؛

است که طولیل شدگی در شکست آن نیز بسیار بیش از بقیه آمیزه‌ها بود (۲/۵ درصد). بقیه مشخصات آمیزه ۶ مانند جذب آب، چگالی، مقاومت فرورفتگی و مقاومت در برابر ضربه نیز در حد قابل قبول و مشابه نمونه خارجی بود. وجود الیاف شیشه در این آمیزه باعث بهبود رفتار مکانیکی نمونه‌ها شد. وجود عامل سیلان باعث کاهش جذب آب نمونه‌های مربوط شد. به‌طور کلی، در بین ۶ ترکیب مختلف مورد بررسی فرمولاسیون آمیزه شماره ۶ بهترین نتیجه را به دست داد.

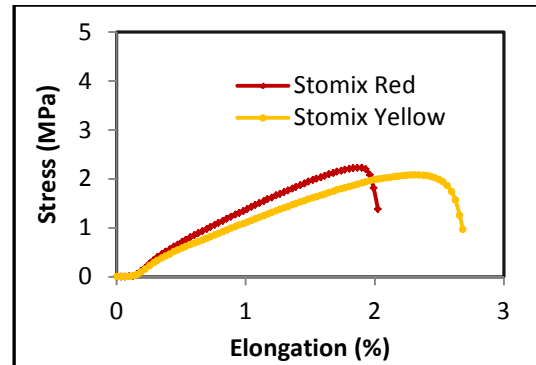
۵- نتیجه‌گیری

آجر نمای انعطاف‌پذیر نسبت به آجر معمولی دارای مزایایی شامل انعطاف‌پذیری، سبکی، اجرای سریع و آسان از جمله قابلیت برش با قیچی است. آزمون FTIR نمونه خارجی آجر انعطاف‌پذیر نشان داد که این نمونه دارای حدود ۹۰ درصد مواد پرکننده ماسه سیلیسی و نوعی چسباننده از جنس آکریلات است. با توجه به این مسأله، نتایج نمونه‌های داخلی آجر انعطاف‌پذیر طراحی و ساخته شدند. با آمیزه‌های مختلف چسباننده پلیمری نمونه‌هایی ساخته شدند. با تغییر مواد افزودنی روند مناسبی در بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها ایجاد گردید. در تهیه این آجرها از پلیمرهای بر پایه آکریلیک استر استفاده شد و مواد افزودنی لازم با آن مخلوط گردید. نتایج به دست آمده حاکی از خواص مناسب فرمولاسیون بومی است، با این تفاوت که در نمونه بومی از الیاف شیشه برای تقویت و افزایش خواص کششی استفاده شد که مقاومت کششی را تا دو برابر افزایش داد. وجود الیاف شیشه در فرمولاسیون داخلی باعث تفاوت زیاد در رفتار مکانیکی نمونه‌ها شد. وجود عامل سیلان باعث کاهش جذب آب نمونه‌ها شد.

فناوری تولید آجر نمای انعطاف‌پذیر در این مقاله شرح داده شد. مواد اولیه آجر نمای انعطاف‌پذیر یعنی ماسه سیلیسی و چسباننده آکریلاتی در کشور وجود دارد. بنابر این امکان تولید چنین آجرهایی با استفاده از یافته‌های این پژوهش در کشور وجود دارد. افزودنی‌های مورد نیاز در این مقاله معرفی شده‌اند.

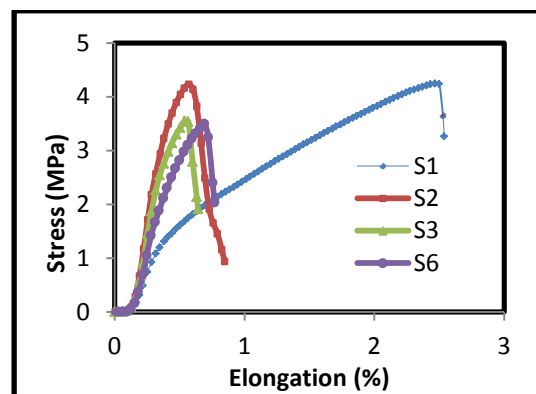
۶- مراجع

- [1] www.spsenviowall.co.uk/products-technical/products/finishes/brick-finish-range/speedyslip
- [2] www.specifiedby.com/sto/stomix-systems-for-social-housing
- [3] www.jub.org.uk/new-bba-flexible-brick-slip
- [4] www.spsenviowall.co.uk/products-technical/products/finishes/brick-finish-range/speedyslip
- [5] www.bimobject.com/en/alsecco/product/collection-eps-acrylic-brick-slips
- [6] www.polantis.com/alsecco/product/collection-eps-acrylic-brick-slips
- [7] www.flexibricksources.com
- [8] www.fischer.uarnolda.cz
- [9] www.structerm.co.uk
- [10] www.jubrenders.co.uk/jubizol-ewi-flexible-brick-slips-to-masonry
- [11] www.lowes.com/pd/Flexi-Brick-Wheat-2-625-in-x-9-375-in-Individual-Piece-Brick-Veneer/1000347105
- [12] www.stocorp.com
- [13] British Board of Agrément, Agrément Certificate 13/4993, STOMIX EXTERNAL WALL INSULATION SYSTEMS, 2018.
- [14] ASTM D638 – 14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.



شکل ۴ رفتار تنش- کرنش نمونه‌های آجر انعطاف‌پذیر تجاری خارجی به رنگ‌های زرد و قرمز

در شکل ۵ رفتار تنش- کرنش نمونه‌های آجر انعطاف‌پذیر ساخته شده در آزمایشگاه آمده است. مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که نمونه‌های ساخته شده در آزمایشگاه از مقاومت‌های کششی بالاتری در مقایسه با آجر انعطاف‌پذیر تجاری خارجی برخوردار هستند.



شکل ۵ رفتار تنش- کرنش نمونه‌های آجر انعطاف‌پذیر ساخته شده در آزمایشگاه مطابق با جدول ۲

چنانچه ملاحظه می‌شود نمونه‌های خارجی مقاومت کششی نسبتاً پایینی دارند و تا ۲/۷٪ افزایش طول نشان می‌دهند. این در حالی است که نمونه‌های تهیه شده آزمایشگاهی همگی دارای مقاومت کششی تقریباً دو برابر نمونه‌های خارجی هستند، ولی به‌جز یک مورد که به اندازه نمونه‌های خارجی درصد تغییرشکل در پارگی را تحمل کرده است، بقیه در زیر ۱٪ تغییرشکل شکسته شده‌اند.

نتایج رفتار کششی نمونه‌های ساخته شده و نمونه‌های خارجی نیز مطالعه شد. چنان‌که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود کلیه نمونه‌های ساخته شده فقط در آزمون ضربه ۲ ژول مورد پذیرش قرار گرفتند. تنها نمونه S1 که یک نمونه بسیار لاستیکی و نرم است، در آزمون ۱۰ ژول مورد قبول بود. حتی نمونه خارجی نیز فقط در آزمون ۲ ژول موفق شد که حاکی از در محدوده قابل قبول بودن نمونه‌ها و فرمولاسیون‌های ساخته شده از نظر آزمون ضربه است. آمیزه ۶ (S6) بالاترین مقاومت کششی را نشان داد. این در حالی