

## تولید سنگ تراورتن مصنوعی

امین دوست محمدی<sup>۱</sup>، محمد دوست محمدی<sup>۲</sup>

۱- دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، amdm2t@gmail.com

۲- دانشکده فنی، دانشگاه تهران، pps.cementplast@gmail.com

### چکیده

از دیرباز بشر به دنبال راهی برای ایجاد زیباسازی محل زندگی خود بوده است. مصالح نمای ساختمانی طی سال‌های متمادی تغییرات بسیاری کرده و از مصالح ساده سنگی تا مواد مرکب تغییر یافته‌اند. هرچند مصالح سنگی دارای محاسن بسیاری هستند، با این وجود دارای برخی نواقص نیز هستند. از این جمله می‌توان به وجود درزه و حفره‌های طبیعی اشاره کرد. به همین خاطر بشر سعی بر آن داشته با ساخت مواد مرکب علاوه بر تامین نیازهای خود این نواقص را نیز برطرف سازد. در این میان یکی از زیباترین و پرمصرف‌ترین سنگ‌نماهای طبیعی، سنگ‌های تراورتن است. اما این سنگ‌ها به دلیل رگه‌های آهکی و حفرات ناشی از حباب گازهای چشمه‌های آب گرم، دارای استحکام کم‌تری نسبت به سایر سنگ‌های تزئینی هستند. به دلیل استحکام و عمر کم، مورد استفاده از این سنگ‌ها به نمای دیوار محدود می‌شود. در این تحقیق با استفاده از ماده مرکب اصلاح شده و نیز فرایند تولید خاص، سنگ‌های تراورتن برای اولین بار با استحکام بالا و هزینه کم به صورت مصنوعی تولید شدند. اساس روش تولید، قالب گیری تحت گرانش ماده مرکب ابتکاری است که ترکیبی از سیمان، رزین، میکرو سیلیس، مواد پودری ضدآب، رنگ دانه و آب است. در فرایند تولید پیشنهادی الگوی سنگ‌های تراورتن از طریق آشکارسازی خطوط جریان آرام سیال مرکب صورت می‌گیرد. نتایج بدست آمده گویای این مطلب است که استفاده از این ماده مرکب طی این فرایند، سبب می‌شود تا علی‌رغم حفظ زیبایی، سنگ با مقاومت خمشی ۱۵ MPa تولید شود که مناسب بودن این محصول برای کاربردهای گوناگون را تایید می‌کند. این افزایش استحکام محدودیت استفاده از آن‌ها را به‌عنوان کفپوش سالن‌ها، پیاده روها و سنگ پله از میان برداشته است.

### واژگان کلیدی

سنگ تراورتن، سنگ مصنوعی، سنگ‌نما، کفپوش

## مقدمه

از گذشته تا به امروز همواره زیباسازی محل زندگی یکی از دغدغه‌های بشر بوده و هست. یک مصداق بارز از این مساله استفاده از سنگ‌ها در نمای ساختمان‌ها می‌باشد که یک حوزه وسیع در صنعت ساختمان‌سازی را در بر می‌گیرد. از این‌رو سالانه در جهان هزینه‌های قابل توجهی جهت استخراج از معادن و فراوری آن‌ها می‌شود. در سال‌های اخیر مصالح نمای ساختمانی پیشرفت‌های قابل توجهی داشتند که از جمله آن استفاده از مواد مرکب برای این منظور است. اما هنوز هم مصالح سنگی پرمصرف‌ترین مصالح نما در بین سایر مواد هستند. دلیل این امر را در زیبایی، تنوع رنگ و الگوهای تصادفی آن‌ها می‌توان دانست که طیف وسیعی از سلاقی را در بر می‌گیرد. سلاقی مشتری‌ها را می‌توان با مطالعه بازار و تقاضای مردم بررسی کرد. تحقیقات میدانی در بین تولیدکننده‌ها و عرضه کنندندهای سنگ‌های ساختمانی نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر گرایش به سمت سنگ‌های نمای تراورتن بسیار زیاد بوده و این روند رو به افزایش است [۱].

دلیل تمایل مردم در استفاده از سنگ‌های تراورتن نقش بسیار زیبای آن‌ها است. این سنگ‌ها در اثر رسوب‌گذاری چشمه‌های آب گرم در طی میلیون‌ها سال به وجود می‌آیند. چون در هر دوره از رسوب‌گذاری چشمه، ترکیبات رسوب تغییر می‌کند رنگ لایه‌ی رسوب هم عوض می‌شود [۲]. این تغییر رنگ در لایه‌ها، مقطعی به شکل خطوط موج رنگی برای سنگ به همراه دارد که زیبایی کم نظیری برای سنگ ایجاد می‌کند. اما این سنگ‌ها به دلیل رگه‌های آهکی و حفرات ناشی از حباب گازهای چشمه‌های آب گرم و سوراخ‌های ناشی از رشد جبلک‌ها دارای استحکامی به مراتب کمتر از سایر سنگ‌های تزئینی متداول اند [۳]. به دلیل استحکام و عمر کم، موارد استفاده از این سنگ‌ها به نمای دیوار محدود می‌شود، در این تحقیق با استفاده از ماده‌ی مرکب اصلاح شده و نیز فرایند تولید خاص ارائه شده، سنگ‌های تراورتن با استحکام بالا و هزینه‌ی کم به صورت مصنوعی تولید

شدند. برای این منظور مطالعات بسیاری درمورد مواد مختلف صورت گرفت. این مطالعات به همراه آزمایش‌های بسیار که به صورت آزمون و خطا در آزمایشگاه شرکت قلوه‌سنگ آذرین صورت گرفتند، در نهایت سبب تولید سنگ مصنوعی تراورتن شد. شکل ۱ چند نمونه از سنگ‌های تراورتن طبیعی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- چند نمونه سنگ تراورتن طبیعی

## ارائه راه حل برای مشکل فنی موجود

هدف ارائه راه حلی برای تولید سنگ مصنوعی تراورتن می‌باشد که بدین منظور یک ماده مرکب جدید معرفی شده تا با به کارگیری آن طی فرایند تولید مخصوص ارائه شده سنگ تراورتن به صورت مصنوعی تولید شود.

اساس روش تولید سنگ مصنوعی تراورتن، قالب‌گیری تحت گرانش است، برای این منظور لازم است تا قالب‌های مورد استفاده از صافی سطح مناسب برخوردار باشند چرا که میزان صافی سطح قالب‌ها بر وضوح طرح سنگ‌ها به هنگام خروج از قالب‌ها اثر به سزایی دارد. نکته حائز اهمیت دیگر این است که این قالب‌ها باید به مقدار قابل توجهی انعطاف داشته باشند تا به هنگام تشکیل پیوندهای شیمیایی و جامد شدن سیال دچار تابیدگی نشوند. با توجه به نکات ذکر شده قالب‌های جنس ABS کارکرد خوبی را

درون سنگ از شوره زدن سنگ که مشکل اساسی سنگ‌های تراورتن است پیشگیری کند.

همانطور که ذکر آن رفت اساس تولید تراورتن مصنوعی قالب‌گیری تحت گرانش است، این قید تحت گرانش که لازمه ایجاد جریان آرام برای آشکارسازی خطوط جریان و ایجاد طرح تراورتن طبیعی بر روی سنگ است سبب می‌شود تا امر قالب‌گیری به‌کندی صورت گیرد. هرچند اضافه کردن آب یک راه حل برای کاهش ویسکوزیته سیال مرکب بوده اما زمان خشک شدن و ماندن سنگ درون قالب‌ها را افزایش داده که سبب بالا رفتن هزینه تولید با هدر رفت زمان و کاهش تولید می‌شود. راه عملی استفاده شده برای افزایش سهولت قالب‌گیری و کاهش مصرف آب استفاده از پودر کربنات کلسیم مش هشتصد است که با ایجاد پیوستگی مواد در هنگام پرکردن قالب‌ها، قالب‌گیری را راحت‌تر می‌کند. حال که اجزای ماده مرکب ابداعی تشریح شد لازم است تا درصد اختلاط مواد را هم محاسبه کرد تا نقطه بهینه‌ای از استحکام، چقرمگی و خواص سطح بدست آید که در ادامه و در بخش فرایند ابتکاری تولید بیان می‌شود.

### ب) فرایند تولید

آماده سازی مواد در دو مرحله انجام می‌شود، نخست زمینه با مواد افزودنی با نسبت مشخص زیر به صورت خشک مخلوط می‌شوند.

- ۱- ۲۵ درصد سیمان سفید
- ۲- ۵٪ واترپروف پودری
- ۳- ۲۰٪ پودر کربنات کلسیم مش هشتصد
- ۴- ۵۰٪ سیلیس با عیار بالای ۹۶٪ و با دانه‌بندی ۵۰ میکرون الی یک میلی‌متر

سپس در مرحله دوم فاز تقویت‌کننده و آب با درصد وزنی‌های زیر برای وزن کل مواد خشک، محاسبه شده و به مواد اضافه می‌شود.

- ۱- یک درصد وزنی رزین پلی‌کربوکسیلات اتر
- ۲- ۱۰/۵ درصد وزنی آب

دارند. در ادامه نحوه تولید سنگ مصنوعی تراورتن در دو بخش ماده مرکب ابداعی و فرایند تولیدی بیان شده‌است.

### الف) ماده مرکب اصلاح شده

ماده مرکب استفاده شده در تولید سنگ تراورتن مصنوعی از سه بخش زمینه، تقویت‌کننده و افزودنی-ها تشکیل می‌شود که با اضافه شدن آب و اختلاط کامل مواد به یک سیال مناسب برای عملیات قالب-گیری تبدیل می‌شود. این ماده مرکب ابداعی، یک ماده مرکب با زمینه سیمانی و فاز تقویت‌کننده رزین است که برای دستیابی به سایر خواص مورد انتظار، مواد افزودنی با درصد مشخص به آن اضافه می‌شوند. سیمان زمینه در واقع سیمان سفید با درصد نرمی بالا بوده که طی انجام واکنش هیدراتاسیون باعث یکپارچه شدن ماده مرکب می‌شود. به منظور افزایش استحکام هرچه بیشتر سنگ از رزین پلی‌کربوکسیلات اتر به عنوان فاز تقویت‌کننده در ترکیب با سیمان استفاده می‌شود تا با انجام دادن واکنش پلیمرایسیون علاوه بر افزایش استحکام سنگ، چقرمگی آن را هم افزایش دهد تا در اثر اعمال ضربه-های ناخواسته در عملیات ساختمان‌سازی دچار شکست نشود.

آنچه که در صنعت ساختمان سازی در مورد سنگ‌نماها از اهمیت زیادی برخوردار است، خواص سطح سنگ از جمله، صافی سطح، سختی سطح و نفوذ ناپذیری سطح است. این خواص سطح را می‌توان با اضافه کردن مقدار مشخص مواد افزودنی به هنگام ترکیب مواد به میزان مورد نیاز بدست آورد. یکی از نقاط ضعف سنگ تراورتن طبیعی سختی پایین آن به دلیل ترکیب کلسیتی آن است که در تراورتن مصنوعی تولید شده با اضافه کردن ماده افزودنی سیلیس با عیار بالای ۹۶ درصد و دانه بندی ۵۰ میکرون تا یک میلی‌متر، به کلی برطرف شده‌است. همچنین برای افزایش نفوذناپذیری سنگ تراورتن مصنوعی از ماده واترپروف پودری در ترکیب مواد استفاده شده‌است تا با کاهش چشمگیر نفوذ آب به

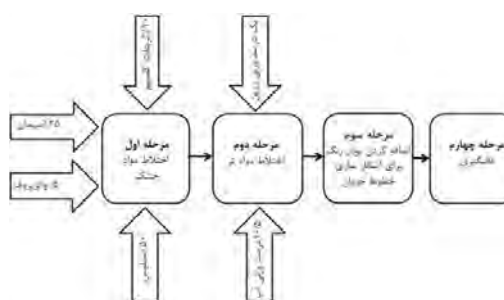
- ۴- تنوع نامحدود طرح و رنگ مطابق با نیاز مشتریان
  - ۵- کاهش میزان جذب آب به داخل سازه با کاهش میزان حفره‌ها و روزنه‌ها
  - ۶- قیمت پایین تر از محصولات طبیعی
  - ۷- جلوگیری از تخریب محیط زیست با کاهش استخراج معادن
  - ۸- حداقل پرت در تولید و بهره‌وری بسیار بالاتر نسبت به برش کپ‌های معدنی تراورتن
- شکل ۳ نیز نمونه‌ای از سنگ‌های تراورتن تولیدی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- چند نمونه سنگ تراورتن مصنوعی تولید شده به عنوان کف پوش

در این مرحله لازم است تا مواد به خوبی مخلوط شده تا از تجمع فاز تقویت‌کننده در نقاط مختلف که باعث کاهش چشمگیر استحکام می‌شود جلوگیری شود.

پس از آماده شدن مواد، رنگدانه مورد نظر را بر روی مواد ریخته و با کاردک و با لبه تیز آن مواد را می‌بریم تا پودر رنگ درون مواد قرار گیرد. باید دقت کرد که برش مواد با کاردک تنها در جهتی انجام شود که قرار است در آن جهت درون قالب ریخته شود. سپس با سرازیر کردن مواد به درون قالب به علت اختلاف نرخ کرنش برشی بین لایه‌های سیال و سیال و رنگ، لایه‌های مواد بر روی هم لغزیده و خطوط جریان به خوبی آشکار می‌شوند که در واقع همان طرح سنگ تراورتن بوده که بر روی ماده مرکب ایجاد می‌شود. در شکل ۲ بلوک دباگرام فرایند تولید آورده شده است.



شکل ۲- بلوک دباگرام فرایند تولید سنگ مصنوعی تراورتن

## نتایج و مزایای بدست آمده

به طور کلی مزایای بدست آمده را می‌توان به صورت زیر بیان کرد.

- ۱- انطباق طرح ایجاد شده با نمونه واقعی
- ۲- خواص مکانیکی بالاتر از بسیاری از نمونه‌های طبیعی، بطوریکه قابلیت استفاده به عنوان سنگ فرش، جدول خیابان و پله را دارند.
- ۳- کاهش چشمگیر نقاط ضعیف سنگ در مقایسه با نمونه طبیعی با کاهش میزان و اندازه حفره‌ها

مقاومت در برابر تابش نور خورشید	-----	مقاومت UV
مقاومت تا ۵۰۰ درجه سانتی گراد حرارت مستقیم، ۵۰۰ سیکل دمایی	-----	مقاومت حرارتی

جدول ۱ خواص مکانیکی و فیزیکی تراورتن مصنوعی را در قیاس با استاندارد نشان می دهد.

جدول ۱- مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی تراورتن

مصنوعی با حدود استاندارد

### نتیجه گیری

نتایج بدست آمده گویای این مطلب است که استفاده از این ماده مرکب طی این فرایند، سبب می شود تا علاوه بر حفظ زیبایی، سنگ با استحکام بالاتر از نمونه طبیعی ساخته شود. این افزایش استحکام محدودیت استفاده از آن ها را به عنوان کفپوش سالن ها، پیاده روها، جدول خیابان ها و سنگ پله از میان برداشته است.

### مراجع منتخب

[۱] نوروزی قالینی، ابراهیم، ۱۳۹۴. "طبقه بندی سنگ های تزئینی"، پایان نامه کارشناسی دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۲] فاروق حسینی، محمد، ۱۳۸۸. "درآمدی بر مکانیک سنگ"، انتشارات فروزش.

[۳] وفائیان، محمود، ۱۳۹۱. "خواص مهندسی سنگ ها- تئوری و کاربردهای اجرایی"، انتشارات ارکان دانش، چاپ چهارم.

موارد آزمون	حدود استاندارد ۷۷۵	نتایج آزمون
ابعاد (mm)	$\pm 0.3\%$ طول و عرض اسمی	$< 0.2$
گونیا بودن (mm)	$\pm 0.3\%$ طول اولیه	۰
تابیدگی (mm)	$\pm 0.3\%$ طول قطر	$< 0.1$
مقاومت خمشی (MPa)	$> 5$	$> 15$
مقاومت سر خوردن	دارای مقاوت طبیعی	مطابق با استاندارد
جذب آب سطحی $\frac{g}{cm^3}$	$< 0.4$	$< 0.1$
جذب آب مطلق	$< 8$	$< 2/5$
مقاومت در برابر یخ زدگی	عدم ترک خوردگی، پوسته شدن، آب پریدگی، ریزش دانه در دمای ۱۵- درجه	مطابق با استاندارد با تحمل دمای ۵۰- درجه