فصلنامه علمی مرمت و معماری ایران
سال نهم، شماره هفدهم، بهار ۱۳۹۸

دریافت مقاله: ۹۶/۰۵/۰۴
پذیرش مقاله: ۹۷/۰۴/۲۴

ارزیابی مقایسه‌ای طرح اختلاط‌های ملات ساروج بر اساس منابع مختلف و تعیین بهترین طرح اختلاط ساروج*

کریم موسی‌زاده مهربانی** یوسف زندی***

چکیده

ساروج، یکی از مصالح قدیمی مصرف‌شده در ایران و کشورهایی بوده که دارای پیشینه معماری قوی هستند؛ تاریخ دقیقی از زمان آغاز استفاده از این ملات در دسترس نیست، اما در بسیاری از بناهای باستانی می‌توان استفاده از ساروج را مشاهده کرد. یکی از مهم‌ترین خواص ساروج، نفوذپذیری پایین آن است. در این پژوهش، طرح اختلاط ملات ساروج، از ۱۳ منبع مکتوب جمع‌آوری شد و پس از تجمیع طرح‌های مشابه، ۵ طرح اختلاط جهت آزمایش، بررسی و مطالعه، تعیین شدند. هر یک از طرح‌ها، یک‌بار با موی بز ۲ سانتی‌متری و یک‌بار با الیاف پلی پروپیلن ۲ میلی‌متری ساخته شد. خاکستر مورد استفاده در این تحقیق، خاکستر بادی‌هایی بوده که از اصفهان خریداری شده است. هم‌چنین، طرح اختلاط با دوده سیلیسی با درصد سیلیس ٪ ۹۹ که از شرکت پژوهش قم خریداری شده، ساخته شد. از هر طرح اختلاط، چهار نمونه مکعبی ۵ سانتی‌متری ساخته و هم‌چنین، چهار نمونه در ابعاد ۱۰×۵۰×۵۰ میلی‌متر و چهار نمونه در ابعاد ۵×۵۰×۵۰ میلی‌متر تهیه شدند. یک نمونه مکعب ۵ سانتی‌متری با سفیده تخم‌مرغ و آهک هیدراته، یک نمونه مکعب ۵ سانتی‌متری با زرده تخم‌مرغ و آهک هیدراته، یک نمونه مکعب ۵ سانتی‌متری با سفیده تخم‌مرغ و آهک زنده میکرونیزه و یک نمونه مکعب ۵ سانتی‌متری با زرده تخم‌مرغ و آهک زنده میکرونیزه ساخته شدند. در یک جمع‌بندی، یافته‌های این تحقیق ۷ ساله نشان می‌دهند که این ملات بین ملات‌های رایج زمان خود، بهترین عایق رطوبتی بود؛ هر چند دیرگیر بودن این ملات از عمده معایب آن به‌شمار می‌آمد، اما این ویژگی (دیرگیر بودن)، فرصت ماله‌کشی (مهره‌زنی) چندروزه به سازنده می‌داد. مهره‌زنی پی در پی، سبب از بین رفتن خلل و فرج سطحی شده و سطحی شیشه‌وار ایجاد می‌کرد.

کلیدواژه‌ها: ملات ساروج، طرح اختلاط، جذب آب، نسبت ترکیب

---

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد کریم موسی‌زاده مهربانی با عنوان «ارزیابی مقایسه‌ای طرح اختلاط‌های ملات ساروج بر اساس منابع مختلف و تعیین بهترین طرح اختلاط» به‌راهنمایی دکتر یوسف زندی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز می‌باشد.

** گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران Karimcivil2010@yahoo.com
*** استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز (نویسنده مسئول).
zandi@iaut.ac.ir , zandi_engineere@yahoo.com

مقدمه

در ساخت ملات ساروج، مسائل متعددی نظیر توجه به منطقه ساخت بنا و کاربری آن و این‌که آب‌وهوا و رطوبت و شرایط جوی منطقه چگونه است و هم‌چنین بسته به این‌که ملات در کدام قسمت از سازه استفاده می‌شود، ترکیبات گوناگونی ذکر شده‌اند.

اساس سازنده ساروج، ترکیب آهک، خاکستر و آب است و سایر ترکیبات در منابع مختلف به‌صورت متفاوت هستند؛ به‌همین دلیل، رفتار فیزیکی این ماده، پیچیده بوده و ماهیت آن، بر اساس ساختار مواد ترکیبی تعیین می‌شود. از عوامل مؤثر در کیفیت ساروج، می‌توان نسبت آهک به خاکستر، نسبت آب به آهک، تغییر افزودنی (خاک رس- ماسه بادی)، نوع آهک و فرآیند آماده‌سازی را نام برد.

ساروج، ملاتی جمع‌شونده بوده و پس از خشک شدن، ترک‌های زیادی در سطح آن به‌وجود می‌آیند. از آنجایی که این ملات جهت عایق‌کاری رطوبتی و یا نازک‌کاری تزئیناتی (ساروج بُری) به‌کار برده می‌شود، ضروری است از ایجاد ترک‌ها جلوگیری شود؛ بدین منظور در گذشته، از الیاف طبیعی (موی بز، موی شتر، موی انسان، لوئی (الیاف نِی)، پوسته برنج و ...) استفاده می‌شد که در حال حاضر به‌جای این الیاف، می‌توان از الیاف مصنوعی نظیر پلی پروپیلن، الیاف پلاستیکی یا پلیمری بهره برد (زمرشیدی، ۱۳۹۰: ۹۳).

ساروج به سه صورت مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ ۱. آژند که به‌صورت مخلوط درشت‌دانه و ریزدانه بوده و جهت سفت‌کاری و زیرکاری استفاده شده و نقش پیونددهنده دارد، ۲. اندود که بسیار ریزدانه بوده و به‌صورت خمیری‌شکل مورد استفاده قرار گرفته و با دست یا ماله بر روی سفت‌کاری بنا کشیده می‌شود، ۳. آمود[1] که بسیار بسیار ریزدانه و روکار (خارجی‌ترین سطح سازه) بوده و جهت عایق‌کاری، حفاظت و آرایش بنا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بر اساس اصل ۲.۴ منشور مرمت شورای بین‌المللی ابنیه و محوطه‌ها (ICOMOS - International Council on Monuments and Sites)، حفظ صحت و اصالت مکان‌های میراث و مجموعه‌ها، از اهمیت فراوانی برخوردار است. اصالت که بازتاب آن در مصالح فیزیکی، حافظه جمعی و سنت‌های غیرمادی به‌جای‌مانده از گذشته عیان می‌شود، از عناصر اصلی مفهوم فرهنگی میراث است. بهره‌گیری از مصالح محلی و ملاحظه سبک‌های معماری محلی یا سنت‌های بومی، باید در اولویت قرار گیرد (INTERNATIONAL CULTURAL TOURISM CHARTER, 1999: Principle 2 paragraph 4 (2.4)). طبق ماده ۹ منشور مرمت ونیز، فرآیند مرمت عملی بسیار تخصصی است و هدف از انجام آن، مراقبت و آشکار ساختن ارزش زیبایی و تاریخی بوده و بنای آن، بر حفظ مواد و مصالح اصلی و مستندات اصیل است (THE VENICE CHARTER, 1964: Article 9)؛ لذا مطالعه و بازیابی بهترین طرح اختلاط ساروج جهت ترمیم سازه‌های قدیمی، ضرورت می‌یابد.

پیشینه پژوهش

پیشینه قابل‌توجهی در خصوص این موضوع، ملاحظه نشده و سوابق علمی پیرامون آن بسیار اندک است؛ سؤالات مبنایی در خصوص بهترین طرح اختلاط ملات ساروج، بی‌پاسخ مانده‌اند. کمبود سوابق علمی در این خصوص در کتب، مقالات و مجلات، حاکی از آن است که موضوع ساروج، موضوع بکری بوده و در حال حاضر کمتر بدان پرداخته شده است. با این حال، از جمله منابعی که برای تحقیق در دسترس است عبارت هستند از:

۱. بر اساس مطالعات زمرشیدی، طرح اختلاط با ترکیب ٪ ۴۰ آهک، ٪ ۲۰ خاکستر، ٪ ۴۰ ماسه بادی و به‌مقدار لازم لوئی پیشنهاد شده و کوبیدن ملات توسط چوب دستی، سبب ورز کامل ملات دانسته شده است. وی، استفاده از خاک رس چرب را تا ٪ ۵ سبب افزایش چسبندگی ملات و وجود خاک رس بیش از اندازه را، سبب فاسد شدن ملات ساروج معرفی کرده است (زمرشیدی، ۱۳۹۰: ۱۳۷).

۲. فرازمان و عطارنژاد، چند نوع طرح اختلاط را از منابع مختلف جمع‌آوری نموده و در تحقیقات خود به این نتایج دست یافتند که ملات ساروج، جایگزین مناسبی برای موارد استفاده سیمان که مقاومت پایین مد نظر بوده؛ مانند کانال‌های انتقال آب، روسازی راه‌ها و پایداری شیروانی‌ها، است. هم‌چنین استفاده از افزودنی در ملات ساروج، مقاومت اولیه ملات را تا چند برابر بالا می‌برد (فرازمان و عطارنژاد، ۱۳۸۵: ۸).

۳. در بررسی‌های صورت‌گرفته توسط محسن‌زاده، ساروج، سبب کاهش مقاومت مکانیکی بتن شده و این کاهش، با افزایش مقدار جانشینی آن بیشتر می‌شود. حضور میکروسیلیس و نانوسیلیس نیز تأثیر مثبتی در بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بتن داشته و با ترکیب درصدهای مناسب ساروج با این دو، می‌توان به مقاومت بیشتر این طرح‌ها در مقایسه با نمونه شاهد دست پیدا کرد. بهترین مقاومت مکانیکی در بین طرح‌های ترکیبی را،

طرح حاوی ۲۵ درصد ساروج و ۱۰ درصد میکروسیلیس داشته و در بین طرح‌های حاوی نانوسیلیس، طرح حاوی ۲۵ درصد ساروج، ۱۰ درصد میکروسیلیس و ۵ درصد نانوسیلیس بیشترین مقاومت را از خود نشان دادند. با بررسی میکروساختار نمونه‌ها، مشاهده شد که طرح‌های حاوی ساروج دارای تخلخل و نفوذپذیری بیشتری هستند (محسن‌زاده، ۱۳۹۳: ۹۴).

۴. بر اساس گزارش‌ها و مطالعات هاشمی، استفاده از بتن در ساخت سازه‌های عمرانی کاربرد گسترده‌ای دارد که همواره در جهت بهبود کیفیت آن، تلاش‌های بسیاری از جمله جایگزینی سیمان با مصالح دیگر صورت می‌گیرند. هم‌چنین، بتن در طی زمان در اثر عوامل محیطی مختلف دچار تخریب شده و دوام خود را از دست می‌دهد؛ از جمله این عوامل، محیط‌های مخرب اسیدی و قلیایی بوده که با نفوذ در بافت بتن، باعث کاهش مقاومت آن می‌شوند. از این‌رو، محققان با استفاده از مواد و پوزولان‌های مختلف، در پی افزایش بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بتن هستند. جهت بررسی تأثیر جایگزینی ساروج و میکروسیلیس و نانوسیلیس با سیمان بر روی مقاومت بتن در محیط‌های عمل‌آوری‌شده معمولی، اسیدی و قلیایی، بتن سبک با جایگزینی ۱۰۰ درصد شن با لیکا ساخته شد و ساروج در مقادیر ۰ و ۲۵ و ۵۰ درصد وزن سیمان و میکروسیلیس در مقادیر ۵ و ۱۰ و ۱۵ درصد وزن سیمان، به‌صورت تکی و ترکیبی جایگزین وزنی سیمان شدند، سپس هر یک از دو طرح که شامل ۲۵ درصد ساروج و ۱۰ و ۱۵ درصد میکروسیلیس بوده، ۵ درصد نانوسیلیس با آنها ترکیب شد. برای عمل‌آوری نمونه‌های بتنی در محیط معمولی (آب)، آزمایش‌های مقاومت فشاری، خمشی، کششی، انبساط، انقباض و جذب آب انجام شدند. برای نمونه‌های بتنی عمل‌آوری‌شده در محیط‌های اسیدی و قلیایی که برای ایجاد این محیط از اسید سولفوریک و نمک طعام استفاده شده، آزمایش‌های مقاومت فشاری، خمشی و کششی انجام شدند. نتایج حاصله، نشان‌دهنده تأثیر مثبت میکروسیلیس و نانوسیلیس بر روی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بتن سبک در هر سه محیط معمولی، اسیدی و قلیایی هستند. در بین طرح‌های تکی حاوی میکروسیلیس، طرح حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس، بهترین مقاومت را از خود نشان داده است. هم‌چنین با توجه به آزمایش‌های صورت‌گرفته، ساروج به‌تنهایی تأثیر مثبتی بر روی مقاومت و دوام بتن نداشته، ولی با افزودن درصدهای ترکیبی پوزولان‌های میکروسیلیس و نانوسیلیس، مقاومت آنها در هر سه محیط عمل‌آوری افزایش یافته است (هاشمی، ۱۳۹۳: ۱۰۲).

منابع فرعی دیگری نیز وجود داشته که به‌دلیل اختصار در اینجا از ذکر آنها خودداری نموده و در متن پژوهش گهگاه مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

به‌هر تقدیر، تا کنون هیچ مطالعه مؤثر و کاربردی در خصوص انواع طرح‌های اختلاط ساروج جهت مرمت و تعمیر سازه‌های قدیمی، انجام نیافته است. در این کار تحقیقی، با ارزیابی مقایسه‌ای طرح‌های اختلاط، بهترین طرح به‌لحاظ کیفی ارزیابی و ارائه خواهد شد؛ طرح اختلاط معرفی‌شده، در پایان تحقیق می‌تواند مورد استفاده سازمان میراث فرهنگی و گردشگری قرار گیرد که استقبال بسیار خوبی هم از ایده این طرح از طرف کارشناسان سازمان مذکور شده است؛ هم‌چنین، می‌تواند در بسترسازی و عایق‌کاری کانال‌های آب و ... به‌کار برده شود. نسبت آهک، خاکستر، ماسه بادی، خاک رس و آب در طرح اختلاط ساروج، جزء متغیرهای تحقیق هستند.

روش پژوهش

این پژوهش، از نوع تحقیقات کاربردی بر پایه آزمایش‌های عملی بوده که از طریق مطالعات کامل میدانی، به بررسی دقیق‌تر ملات ساروج برای دست یافتن به بهترین طرح اختلاط برای این ملات و هم‌چنین، بررسی تأثیر هر یک از اجزای آن و خواص نهایی ساروج می‌پردازد؛ لذا، طرح اختلاط‌های مکتوب در ۱۳ منبع جمع‌آوری شد و با تجمیع طرح‌های مشابه، نهایتاً ۵ طرح استخراج شده و هر یک از ۵ طرح، یک‌بار با الیاف پلی پروپیلن و یک‌بار با الیاف بز، ساخته و آزمایش شدند.

ساروج و مواد سازنده آن

مواد اولیه به‌کار رفته در همه ترکیبات ساروج که در منابع ذکر شده، عبارت هستند از:

آهک شکفته، خاک رس، ماسه بادی، خاکستر (از کود حیوانی مانند کود اسب یا از کود گیاهی مانند پوسته شلتوک برنج)، الیاف (حیوانی مانند پشم گوسفند، گیاهی مانند گل نی)، آب، سفیده تخم‌مرغ و شیر؛ البته استفاده از دو مورد آخر بسیار نادر و برای سازه‌های دارای اهمیت خاص بوده است (یارشاطر، ۱۳۷۰: ۶۱).

اسکلت اصلی ساروج، از ترکیب آهک با سیلیس فعال (سیلیس آمورف یا بی‌شکل) شکل می‌گیرد و در جهت ارتقای کارایی این ملات و رفع نواقص موجود در آن، افزودنی‌هایی به آن می‌افزایند. با بررسی ۱۳ منبع مکتوب و تجمیع طرح اختلاط‌ها، جدول طرح اختلاط ۱ طراحی شد.

تمامی طرح اختلاط‌هایی که به‌صورت درصد و یا نسبت ارائه شده، به‌صورت درصد وزنی ساخته شده‌اند و طرح اختلاط‌هایی که به‌صورت پیمانه معرفی شده، با تعیین وزن مخصوص، به‌صورت وزنی تبدیل و ساخته شدند.

خصوصیات مصالح به‌کار رفته در ساخت ساروج

ماسه بادی[۲]

در ابتدا، ماسه مصرفی از شهر چاوان استان آذربایجان شرقی تهیه و هم‌چنین، ماسه مورد استفاده به‌منظور زدودن ذرات رس و لای شسته شد. رس و ذرات بسیار ریز معمولاً به‌صورت پوششی، سطح دانه‌ها را پوشانده و روی پیوستگی دانه‌ها و خمیر سیمان تأثیر عمده می‌گذارند. دانه‌بندی ماسه مورد استفاده در ساخت ملات، مطابق استاندارد ASTMC778 انجام شد. در خصوص ماسه، با توجه به بررسی‌های به‌عمل آمده، دلیل استفاده از ماسه در ملات ساروج احتمالاً افزایش کارایی ملات بوده؛ چون هم خاک رس و هم خاکستر و آهک چسبنده هستند. ماسه مورد استفاده در ساروج، ماسه بادی موجود در محل ساخت ساروج بوده است.

آهک[۳]

عمده‌ترین دلیل قرارگیری ملات ساروج در دسته ملات‌های آبی، به‌کارگیری آهک در ساختمان آن بوده؛ زیرا دی اکسید کربن (CO_2)خشک میل ترکیبی با آهک ندارد و ترکیب، از طریق رطوبت امکان‌پذیر است. برای تهیه آهک، سنگ آهک؛ یعنی کربنات کلسیم ($CaCO_3$)را می‌پزند تا CO_2 آن بپرد و آهک یا اکسید کلسیم (CaO) به‌جا بماند. اگر گرد بلور آهک را در آب بریزند، پس از چند دقیقه با حالت انفجار مانندی با آب ترکیب می‌شود و اگر سنگ آهک بیش از ۹۰ درصد وزن آن کربنات کلسیم داشته باشد، آهکی که از آن پخته شود، آهک پرمایه است (حامی، ۱۳۹۳: ۹۴).

آهک استفاده‌شده در این کار پژوهشی، آهک معدن اسپندار از مجتمع آهک کارخانجات آهک آذرشهر است. آهک زنده میکرونیزه و آهک هیدراته تهیه شده است. آهک یا اکسید کلسیم یا کلسیم اکسید Cao (calcium oxide)، جسمی سفیدرنگ و جذب‌کننده رطوبت است که از پخته شدن سنگ آهک به‌دست می‌آید (همان).

پودر خاکستر بادی[۴]

خاکستر بادی، یکی از محصولات فرعی نیروگاه‌های حرارتی با سوخت زغال سنگ است و طبق استاندارد ASTM C494، در رده F قرار داده می‌شود. این محصول، دارای سطح ویژه ۱۲ الی ۱۸ میلی‌متر مربع بر گرم و ذراتی به‌اندازه ٪ ۳ الی ۰/۱۲ میکرون است (محمدی، ۱۳۹۵: ۶۲). خاکستر بادی مورد استفاده در این کار پژوهشی، از طریق شرکت شهرک بتن اصفهان تهیه شد.

میکروسیلیس[۵]

دوده سیلیسی، پودری به‌رنگ خاکستری روشن یا تیره که حاوی حدود ٪ ۹۸ – ٪ ۹۲ سیلیس است که ٪ ۸۸ آن سیلیس فعال (SiO_2) بوده و تقریباً ۱۰۰ برابر نرم‌تر از سیمان است که از فرآیند تولید فروسیلیسیوم در کوره‌های قوس الکتریکی به‌دست آمده و برای ارتقای بعضی از خواص بتن مطابق استاندارد ASTM C 1240 و ISIRI 13278، به بتن اضافه می‌شود (زندی، ۱۳۸۸: ۱۸). دوده سیلیسی مورد استفاده در این پژوهش، از شرکت پژوهش قم تهیه شده است(URL: 1).

جدول ۱. الگوهای مناسب طرح اختلاط در مراجع مختلف

شماره طرح	مصالح منبع	آهک	خاکستر	خاک رس	ماسه بادی	لویی	آب
۱	معماری ایران: مصالح‌شناسی سنتی (زمرشیدی، ۱۳۹۰)	۴۰ درصد	۲۰ درصد	-	۴۰ درصد	میزان لازم	میزان لازم
۲	مصالح ساختمانی آژند، اندود، آمود در بناهای کهن ایران (بزرگمهری و پیرنیا، ۱۳۸۱)	۷ بخش	۳ بخش	-	-	میزان لازم	میزان لازم
۳	راهنمای بتن‌ساز (حامی، ۱۳۸۴)	۱۰ پیمانه	۷ پیمانه	۱ پیمانه	۱ پیمانه	۵ کیلوگرم	میزان لازم
۴	دانشنامه ایران و اسلام (یارشاطر، ۱۳۷۰)	۴ واحد	۱ واحد	۶ واحد		میزان لازم	میزان لازم
۵	مصالح ساختمانی (حامی، ۱۳۹۳)؛ مصالح مهندسی عمران (گنجیان و همکار، ۱۳۸۴)	۱۰ پیمانه	۷ پیمانه	-	۱ پیمانه	۳ تا ۵ کیلوگرم	میزان لازم

(نگارندگان)

الیاف[۶]

الیاف پلی پروپیلن، جهت مسلح کردن بتن و ملات برای غلبه بر نیروی کششی حاصل از جمع‌شدگی و نیروهای حاصل از تنش‌های خمشی، برشی و سایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این الیاف، معمولاً در سایزهای ۱۲ و ۱۸ میلی‌متر برای بتن و سایز ۶ میلی‌متر برای ملات مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌جهت جذب آب قریب به صفر، مقاومت بسیار بالا در برابر اسیدها، قلیاها و نمک‌ها و مقاومت کششی بالا و فراهم آوردن امکان شکل‌دهی بالا به ملات، در این تحقیق یک‌بار از الیاف ۶ میلی‌متری استفاده شد.

موی بز[۷]

از دیرباز، معماران سنتی می‌دانستند برای مقابله با ترک ملات بر اثر جمع‌شدگی، باید از الیاف نظیر کاه، پشم شتر، موی بز و شلتوک برنج استفاده کرده تا مقاومت کششی را افزایش دهند. در ملات ساروج نیز از پشم شتر و موی بز و شلتوک برنج استفاده شده که با توجه به این‌که بز در تمامی نقاط ایران پرورش داده می‌شد و موی آن در دسترس بود، در این تحقیق نمونه‌ها یک‌بار هم با موی بز ۲ سانتی‌متری مورد آزمایش قرار گرفتند.

آب[۸]

در اکثر استانداردها، آب مناسب برای ملات و ساروج، آبی است که برای آشامیدن مناسب باشد. آب مورد استفاده در این پژوهش، آب شرب شهر تبریز است که به‌هنگام استفاده، بیست دقیقه آب در مخزن رو باز قرار داده شده تا کلر موجود در آن خارج شود.

دی اکسید کربن[۹]

برای بررسی تأثیر غلظت دی اکسید کربن محیط بر روی گیرش ملات، گاز دی اکسید کربن به‌صورت کپسول ۶ کیلویی از شرکت کیهان خریداری شد و با تزریق دی اکسید کربن به آب، نمونه‌ها در داخل آب حاوی دی اکسید کربن قرار گرفته و هم‌چنین در محفظه در بسته به‌صورت خشک CO_2دهی شدند.

لازم به توضیح است که شکل ۱، محفظه CO_2دهی، شکل ۲، استفاده از ماسک و دستکش و لباس مناسب جهت کار با مواد شیمیایی و شکل ۳، نمونه‌های ۳ روزه در آب هستند.

خاک رس[۱۰]

برخی کارشناسان امر معتقد هستند نباید به ساروج، خاک رس اضافه شود؛ چرا که خاک رس، ملات ساروج را به‌مرور زمان خراب و فاسد کرده و یا ملاتی که به آن خاک رس اضافه می‌شود، ساروج نیست؛ اما با توجه به این‌که خاک رس در طرح اختلاط شماره‌های ۳ و ۴ جدول ۱ مورد استفاده در این کار تحقیقی، به‌عنوان یکی از مصالح طرح اختلاط ساروج ذکر شده است، در ساخت ملات این دو منبع (منبع ۳ و ۴)، از خاک رس موجود در محل (تبریز) استفاده شد.

طرح اختلاط ساروج‌های نمونه

در این پژوهش، طرح اختلاط ملات ساروج، از ۱۳ منبع مکتوب جمع‌آوری شد و پس از تجمیع طرح‌های مشابه، ۵ طرح اختلاط جهت آزمایش، بررسی و مطالعه، تعیین شدند. هر یک از طرح‌ها یک‌بار با موی بز ۲ سانتی‌متری و یک‌بار با الیاف پلی پروپیلن ۲ میلی‌متری ساخته شد (جدول ۲). خاکستر مورد استفاده در این تحقیق، خاکستر بادی‌هایی بوده که از اصفهان خریداری شده است. هم‌چنین، طرح اختلاط با دوده سیلیسی با درصد سیلیس ٪ ۹۸ که از شرکت پژوهش قم خریداری شده، ساخته شد. از هر طرح اختلاط، چهار نمونه مکعبی ۵ سانتی‌متری ساخته شد (شکل ۴)؛ هم‌چنین، چهار نمونه در ابعاد ۱۰×۵۰×۵۰ میلی‌متر و چهار نمونه در

شکل ۱. محفظه CO_2دهی (نگارندگان)

شکل ۲. استفاده از ماسک و دستکش و لباس مناسب (همان)

شکل ۳. نمونه‌های ۳ روزه در آب (همان)

ابعاد ۵×۵۰×۵۰ میلی‌متر ساخته و مشاهده شد با کاهش ضخامت ملات، جمع‌شدگی کاهش می‌یابد. یک نمونه مکعب ۵ سانتی‌متری با سفیده تخم‌مرغ و آهک هیدراته، یک نمونه مکعب ۵ سانتی‌متری با زرده تخم‌مرغ و آهک هیدراته، یک نمونه مکعب ۵ سانتی‌متری با سفیده تخم‌مرغ و آهک زنده میکرونیزه و یک نمونه مکعب ۵ سانتی‌متری با زرده تخم‌مرغ و آهک زنده میکرونیزه ساخته شدند.

نمونه‌های ۱۳ و ۱۴ در ابعاد ۵*۵*۱ سانتی‌متر و نمونه‌های ۱۵ و ۱۶ در ابعاد ۵*۵*۰۵.، از طرح اختلاط شماره یک جدول ۱ ساخته شد . در نمونه‌های ۱۳ و ۱۵، از الیاف پلی

جدول ۲. طرح اختلاط ساروج‌های نمونه

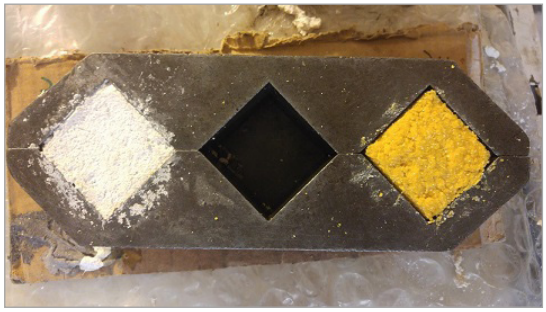
شماره منبع	مصالح شماره طرح	آهک	میکروسیلیس	خاکستر بادی	خاک رس	ماسه بادی	الیاف پلی پروپیلن	موی بز	آب	سفیده تخم‌مرغ	زرده تخم‌مرغ
۱	۱	۴۰		۲۰	-	۴۰		۴ کیلوگرم	میزان لازم		
۱	۲	۴۰		۲۰	-	۴۰	۴ کیلوگرم		میزان لازم		
۲	۳	۷		۳	-	-		۴ کیلوگرم	میزان لازم		
۲	۴	۷		۳	-	-	۴ کیلوگرم		میزان لازم		
۳	۵	۱۰		۷	۱	۱		۴ کیلوگرم	میزان لازم		
۳	۶	۱۰		۷	۱	۱	۴ کیلوگرم		میزان لازم		
۳	۷	۱۰ شیره آهک		۷	۱	۱	۴ کیلوگرم		میزان لازم		
۳	۸	۱۰	۷		۱	۱	۴ کیلوگرم		میزان لازم		
۴	۹	۴		۱	۶	-		۴ کیلوگرم	میزان لازم		
۴	۱۰	۴		۱	۶	-	۴ کیلوگرم		میزان لازم		
۵	۱۱	۱۰		۷	-	۱	۴ کیلوگرم		میزان لازم		
۵	۱۲	۱۰		۷	-	۱	-	۴ کیلوگرم	میزان لازم		
	۱۷	آهک زنده				-		۴ کیلوگرم	میزان لازم	*	
	۱۸	آهک زنده				-	۴ کیلوگرم		میزان لازم		*
	۱۹	آهک هیدراته				۱	۴ کیلوگرم		میزان لازم	*	
	۲۰	آهک هیدراته				۱	-	۴ کیلوگرم	میزان لازم		*

(نگارندگان)

پروپیلن و در نمونه‌های ۱۴ و ۱۶، از موی بز استفاده شد.

با توجه به ایجاد بخارات در زمان اختلاط ملات و هم‌چنین انتشار ذرات هنگام توزین مصالح، ضروری است اصول ارگونومی مورد توجه قرار گرفته و از دستکش و ماسک مناسب استفاده شود (شکل ۲).

نمونه‌های ساخته‌شده پس از ۲۴ ساعت از قالب باز شده و تا عمر ۵ روزگی توسط افشانه تأمین رطوبت، هیدراتاسیون شده و پس از آن در حوضچه آب مستغرق شدند. شایان ذکر بوده که در برخی منابع، به استفاده از تخم‌مرغ در ملات سازه‌های تاریخی اشاره شده است (حامی، ۱۳۹۳: ۸۰). برای بررسی دقیق و کامل موضوع، اقدام به ساخت ساروج با ترکیب آهک و تخم‌مرغ شد؛ با این توضیح که زرده و سفیده تخم‌مرغ از همدیگر جدا شده و به‌صورت جداگانه اندکی هم زده شدند، سپس هر یک از آنها یک‌بار با آهک مرده و یک‌بار با آهک زنده ترکیب شده و در هنگامی که حالت خمیری به خود گرفت، در قالب‌های نمونه ریخته شد و برای آزمایش میزان چسبندگی آن، به‌صورت ملات چسباننده بین دو آجر پخته مورد بررسی قرار گرفت که ترکیب سفیده تخم‌مرغ با آهک زنده، بهترین گیرش و چسبندگی را داشت؛ لیکن در مجاورت با آب، خاصیت چسبانندگی و مقاومت خود را از دست داده و به‌حالت خمیری در آمد و عملاً دوام این نوع ملات در محیط‌های رطوبتی، به‌شدت پایین است.



شکل ۴. نمونه‌های ساخته‌شده با زرده و سفیده تخم‌مرغ در قالب نمونه (نگارندگان)

توزین نمونه‌ها

نمونه‌ها یک‌بار به‌صورت خشک توزین شده، سپس به‌مدت ۱ ساعت در آب قرار گرفتند و جذب آب سطحی وزنی، مورد اندازه قرار گرفت. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۷ روز در حوضچه آب بودند و جذب آب کلی وزنی مورد آزمایش قرار گرفت. برای توزین نمونه‌ها، از ترازوی دیجیتال با دقت تشخیص ۱ گرم استفاده شد.

ارزیابی و بحث

با توجه به این‌که در اکثر منابع، سرعت کند جذب CO_2 از هوا برای کسب مقاومت ساروج، از عوامل دیرگیر بودن این ملات معرفی شده است (همان: ۸۱)، تعدادی از نمونه‌ها تحت دی اکسید کربن‌دهی دستی قرار گرفتند، اما تأثیر چندانی مشاهده نشد. در بررسی مقایسه‌ای حجم حقیقی (شکل ۵)، مشاهده شد که طرح اختلاط شماره یک جدول ۱ (زمرشیدی، ۱۳۹۰)، دارای بیشترین تراکم حجمی است.

در بررسی مقایسه‌ای میانگین درصد آب جذب‌شده، رابطه عکس بین حجم حقیقی و میزان جذب آب اثبات شد و مشخص شد طرح شماره یک که بیشترین حجم حقیقی را دارا است، کمترین میزان درصد جذب آب را دارد (شکل ۶). هم‌چنین، معین شد علی‌رغم این‌که طرح اختلاط شماره ۴ جدول ۱ (یارشاطر، ۱۳۷۰) پایداری ظاهری مناسبی در مجاورت با آب ندارد، اما مصرف خاک رس بیشتر در این ملات، سبب کاهش تخلخل و در پی آن سبب کاهش جذب آب شده است. فلذا استفاده از این ملات در ساروج بری مکان‌هایی که با رطوبت شدید و مداوم ارتباط ندارند، می‌تواند مناسب باشد.

در بررسی سطح ویژه مشاهده شد، نمونه‌هایی که سطح

شکل ۵. نمودار میانگین حجم حقیقی (نگارندگان)

ویژه کمتری داشته، جذب آب کمتری هم داشتند و در نمونه‌های مکعب مربع ۵ سانتی‌متری، طرح اختلاط شماره یک دارای کمترین سطح ویژه بود (شکل ۷).

با انطباق نمودار سطح ویژه و نمودار جذب آب، مشاهده شد رابطه مستقیمی بین سطح ویژه و جذب آب وجود دارد.

آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها، در آزمایشگاه مکانیک خاک استان (آذربایجان شرقی) انجام شد و از دستگاه Auto Test ELE International با سرعت بارگذاری ۱۳۵ Kg/s استفاده شد که نتایج آن در شکل ۸ ارائه شده‌اند.

طرح اختلاط شماره ۱، بیشترین مقاومت را دارا بوده و طرح اختلاط شماره ۸، دارای کمترین مقاومت فشاری است که نشان می‌دهد استفاده از دوده سیلیسی به‌جای خاکستر بادی، سبب کاهش چشمگیر مقاومت فشاری شده است (شکل ۸).

کارایی ملات: ملات کارا یکپارچه و چسبنده بوده و از قوام و غلظت مطلوب برخوردار است. ملات، زمانی کارا و کامل است که اجزای مخلوط از یکدیگر جدا نشده، وزن قطعه را به‌خوبی تحمل نموده، به‌راحتی تراز شده و حالت خود را حفظ کند.

فاکتور کارایی ملات مطابق استاندارد ASTM C-1437 (ASTM Annual book 2010)، آزمایش جریان است. الیاف به‌کار برده‌شده در ملات ساروج و عوامل اصلی ملات (عوامل چسبنده شامل آهک و خاکستر و وجود خاک رس در برخی نمونه‌ها) هنگام تماس با آب، ملاتی کاملاً چسبناک ایجاد می‌کنند. عدم وجود یا وجود بسیار اندک ماسه بادی به‌عنوان فیلر که آن هم بسیار ریزدانه است، سبب کاهش جریان شده و مطابق استاندارد ASTM C-1437، سیلان نمونه‌ها بین ۸۵ تا ۹۷ درصد به‌دست آمده است.

در این تحقیق، هم‌چنین دو نمونه از طرح اختلاط شماره یک جدول ۱ ساخته شد که یکی به‌صورت شاهد در هوای آزاد نگهداری شده و نمونه دیگر در محفظه دی اکسید کربن‌دهی با فشار ۱ بار قرار گرفت. با توجه به این‌که در اکثر منابع، علت دیرگیر بودن ملات ساروج را کم بودن غلظت دی اکسید کربن هوا ذکر کرده‌اند، نمونه‌های قرارگرفته در محفظه دی اکسید

شکل ۶. نمودار درصد آب جذب‌شده حجمی (نگارندگان)

شکل ۷. نمودار میانگین سطح ویژه (نگارندگان)

کربن مورد مقایسه قرار گرفت، اما تغییر محسوسی از لحاظ مقاومت فشاری و یا درصد تخلخل مشاهده نشد؛ که بررسی علت آن در تحقیقات آتی، مورد توصیه است.

طی قریب به هفت سال تحقیق در خصوص ملات ساروج، نگارندگان به این نتایج دست یافتند:

با توجه به این‌که ملات ساروج تقریباً آخرین ملات از ملات‌های باستانی است که از عرصه ساخت‌وساز کشور حذف شده و با توجه به این‌که استفاده از این ملات تا زمان پهلوی اول مورد استفاده قرار می‌گرفت، نام ساروج برای اکثر کهنسالان نامی آشنا است. بدین جهت، هر سازه مستحکم و قدیمی که دیده، می‌گفتند این ملات ساروج است. حتی این بسط نام تا جایی رواج دارد که بعضی از کارشناسان میراث فرهنگی کشور، به ملات‌های ماسه آهکی هم ساروج می‌گویند.

با توجه به نمونه‌برداری‌هایی که از آب‌انبار عمارت صدقیانی تبریز، حمام چهارسوق آذرشهر و زیرزمین مسجد سید ابراهیم تبریز انجام و مطالعه شد، دریافتیم که ملات ساروج، ملاتی ضعیف، ترد و شکننده بوده و تخلخل و جذب آب کلّی ملات، بالا است. علت ضعف ملات ساروج، عدم استفاده از مصالح سنگی بوده که توان باربری و مقاومت فشاری ساروج را می‌کاهد.

فلذا، استفاده سازه‌ای از این ملات و استفاده به‌عنوان آژند به‌لحاظ مهندسی قابل‌تأیید نیست و استفاده از آن به‌صورت اندود و آمود توصیه می‌شود.

دیرگیر بودن ملات ساروج شاید به‌لحاظ ارزش زمان‌بندی پروژه، از ایرادات این ملات باشد، اما دیرگیر بودن این ملات مهلت کافی را جهت ماله‌زنی (مهره‌زنی) به‌مدت چند روز در اختیار می‌گذارد که با آب‌افشانی و ماله‌زنی پی در پی، سطح بسیار صاف و شیشه‌ای و متراکم در آمود به‌وجود آورده و تمام خلل و فرج و منفذهای موئین را از بین برده و سطحی تقریباً بسیار کم‌نفوذ را می‌سازد که به‌مرور زمان و با سبزینه بستن سطح آمود یا با افشاندن شیر گاومیش در قدیم و یا امروزه و استفاده از پلیمرهای ضد آب، ریزترین منفذها نیز بسته شده و عایق رطوبتی مناسبی جهت ترمیم سازه‌های تاریخی خواهد بود. توضیح این‌که امروزه در تهیه سیمان‌های ضد آب، از اسیدهای چرب اولئیک و اسید استئاریک استفاده می‌شود که در قدیم نیز شیر گاومیش به‌علت دارا بودن اسیدهای چرب، نسبتاً زیاد مورد استفاده قرار می‌گرفته است.

در بین مواد آلی در دسترس، روغن زیتون دارای بیشترین اسید اولئیک است، اما به‌لحاظ هزینه بالا، استفاده از آن صرفه اقتصادی نداشته و استفاده از پلیمرهای ضد آب توصیه می‌شود.

استفاده از روش افشانه جهت تأمین رطوبت هیدراتاسیون در این مورد خیلی مناسب نیست؛ چون در صورت عدم زمان‌بندی دقیق و مناسب و خشک شدن سطح و مرطوب شدن مجدد سطح توسط افشانه کردن آب، سطح نمونه پوسته پوسته می‌شود. با توجه به این‌که ملات ساروج دیرگیر است، پیشنهاد می‌شود تا عمر ۵ روزگی، نمونه‌ها به‌صورت افشانه کردن، تأمین هیدراتاسیون شده و پس از ۵ روزگی، نمونه‌ها در حوضچه آب غرق‌آب شوند.

در این تحقیق، ابتدا بعضی نمونه‌ها پس از ۲ روز در حوضچه آب غرق‌آب شده که به‌جز طرح اختلاط شماره چهار منبع ۱، بقیه نمونه‌ها متلاشی شدند. باقی نمونه‌ها به‌صورت افشانه کردن و پوشش رطوبتی، تأمین آب هیدراتاسیون شده، اما با توجه به نیاز زیاد ملات آهک به آب جهت خودگیری رویه، نمونه‌ها هیدراته شدند؛ اما هیدراتاسیون در عمق نمونه‌ها متوقف شد.

شکل ۸. نمودار مقاومت فشاری (نگارندگان)

در مرتبه سوم، نمونه‌ها تا ۵ روزگی به‌صورت افشانه کردن و کاور محافظ رطوبتی تأمین آب شده، پس از روز پنجم در حوضچه آب غرق‌آب شدند که بهترین نتیجه حاصل شد.

در تحقیقات مشخص شد، زمان گیرش اولیه نمونه حاوی خاک رسِ زیاد؛ یعنی طرح اختلاط شماره چهار جدول ۱، کمتر است. نمونه‌های ساخته‌شده، ۴۸ ساعت پس از قالب‌گیری، از قالب خارج شده و در حوضچه آب مستغرق شدند. هم‌چنان که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بعد از قرارگیری در آب، سایر نمونه‌ها متلاشی شدند؛ لیکن نمونه حاوی خاک رس زیاد (طرح اختلاط شماره چهار جدول ۱) در این شرایط متلاشی نشد. با این حال، نمونه حاوی خاک رس جهت استفاده در محیط‌هایی که رطوبت بالا (خصوصاً تماس مستقیم با آب) و طولانی مدتی دارند، مناسب نیست و برای استفاده در محیط‌های گرم و خشک توصیه می‌شود (شکل ۳).

در بعضی از مقالات و یا منابع، استفاده از تخم‌مرغ در ملات سازه‌های تاریخی اشاره شده است؛ اما در این تحقیق، ترکیب آهک با تخم‌مرغ در حالت‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد این ترکیب به‌هیچ عنوان مقاومت افسانه‌ای نداشته و به‌راحتی با نیروی دست می‌شکند و صرفاً به‌عنوان چسب و عایق (درزبندی) مورد استفاده بوده است. حتی ترکیب سفیده تخم‌مرغ و آهک که جهت بندزنی چینی‌های شکسته مورد استفاده قرار می‌گرفت، صرفاً جهت جلوگیری از نشت آب و پر کردن منافذ بوده و وظیفه تحمل نیرو و نگه داشتن ظرف، بر عهده سیم‌های اتصال است و در لغت‌نامه دهخدا نیز بند زدن؛ آوند شکسته را با پاره‌های آهن یا روی پیوند کردن (۱۳۷۷: ۵۱۸) و در لغت‌نامه معین؛ دو پاره شکسته سفال یا ظرف چوبین یا چینی را با آهن باریک به یکدیگر پیوستن (۱۳۸۴: ۲۱۵) تعریف شده است. در تصاویر ظروف قدیمی بند زده‌شده نیز این امر به‌صورت کاملاً روشن و مشهود است.

استفاده از موی بز علی‌رغم این‌که در اکثر منابع به آن اشاره شده، به‌هیچ عنوان توصیه نمی‌شود؛ چرا که در این تحقیق، آشکارا مشخص شد خاصیت خورندگی آب آهک، موی بز را کاملاً تخریب و فرسوده کرده و از بین می‌برد، اما الیاف پلی پروپیلن کاملاً به‌صورت سالم حفظ شده‌اند. لذا در الیاف مصنوعی، استفاده از پلی پروپیلن و در الیاف طبیعی، استفاده از شلتوک توصیه می‌شود؛ زیرا در نمونه اخذشده از آب‌انبار عمارت صدقیانی، شلتوک استفاده‌شده به‌عنوان الیاف، علی‌رغم گذشت سالیان دراز سالم مانده بود.

گفتنی است ساروج، قابل‌کندن و تخریب با ابتدایی‌ترین ابزار کارگاهی بوده و هم‌چنین، برای تخریب ساروج می‌توان از مواد منبسط‌شونده مانند کتراک استفاده نمود. این مواد هنگامی که با آب سرد مخلوط شده و به‌شکل ملاتی درون چال‌هایی که به‌همین منظور در سنگ ایجاد شده ریخته می‌شوند، با گذشت زمان اندک منبسط شده و موجب شکستن سنگ می‌شوند. قابلیت انبساط این‌گونه مواد به‌حدی است که می‌توانند فشاری معادل $۵۰۰\ kg/cm^2$ و یا ۵ Mpa بر دیواره‌های چال وارد نمایند. این میزان فشار می‌تواند بلوک سنگ و یا بلوک سیمان را بدون ایجاد آلودگی زیست‌محیطی و بدون آموزش نیروی متخصص، از توده آن جدا نماید(URL: 2).

نتیجه‌گیری

از بررسی اطلاعات مربوط به آزمایش‌های گوناگونی که صورت پذیرفته، نتایج زیر به‌دست آمدند:

- در الیاف مصنوعی، الیاف پلی پروپیلن و در الیاف طبیعی، پوسته برنج مقاومت بهتری در برابر خورندگی شیرهٔ آهک ملات ساروج دارند.
- الیاف پلی پروپیلن، مانع از جمع‌شدگی و ترک‌خوردگی ملات شده و باعث افزایش مقاومت کششی در مقایسه با طرح‌های بدون الیاف می‌شوند.
- به‌طور کلی می‌توان گفت که ساروج، از مقاومت سازه‌ای خوبی برخوردار نیست و می‌توان از آن در جاهایی که مقاومت بالایی نیاز نیست استفاده کرد؛ برای مثال، می‌توان از آن در اندود کردن و نازک‌کاری‌ها استفاده نمود.
- وزن مخصوص ساروج پایین بوده و تقریباً ۴۰ درصد کمتر از بتن است (جدول ۳).
- با کاهش ضخامت ملات، میزان جمع‌شدگی به‌صورت محسوسی کاهش می‌یابد.
- استفاده از میکروسیلیس، سبب افزایش نیاز ملات به آب شده که با خشک شدن ملات و تبخیر آب، انقباض بیشتری در ملات شاهد بوده و ترک‌های عمیقی در ملات ایجاد می‌شوند؛ فلذا در صورت استفاده از میکروسیلیس، باید از روان‌کننده مناسب استفاده شود تا نسبت مصرف آب به پوزولان کنترل شده و کاهش یابد.

- بخشی از ملات ساخته‌شده در اشل آزمایشگاهی، جهت اندودکاری آجری مورد استفاده قرار گرفت و با توجه به جذب آب ملات توسط آجر، در سطح ملات ترک‌هایی مشاهده شده که با افشاندن آب و ماله‌کشی مجدد، مشکل حل و سطح، صاف و یکدست شد؛ لذا در صورت استفاده در اشل کارگاهی، ضرورت دارد حداقل به‌مدت سه روز اندود استفاده‌شده توسط افشانه، تأمین آب شده و در صورت نیاز، چندین روز (تا زمانی که ترک ایجاد نشود) ماله‌کشی شود.

جدول ۳. جمع‌بندی مطالعات

بهترین الیاف سازگار با ساروج	تأثیر الیاف بر ساروج	مقاومت برای استفاده سازه‌ای	مناسب برای عایق‌کاری مدرن	مناسب برای مرمت ابنیه	تأثیر میکروسیلیس بر ساروج	حداقل زمان مهره‌زنی ساروج	وزن مخصوص (کیلوگرم بر متر مکعب)
مصنوعی: پلی پروپیلن طبیعی: شلتوک	کاهش جمع‌شدگی و ترک‌خوردگی	امکان‌پذیر نیست	امکان‌پذیر نیست	مناسب است	افت مقاومت فشاری	۳ روز	۱۳۵۰-۱۵۵۰

(نگارندگان)

در یک جمع‌بندی، تحقیقات ۷ ساله نگارندگان (مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته‌شده و شکستن بسیار آسان نمونه‌های برداشته‌شده از اماکن تاریخی) نشان داده بر خلاف اکثر مقالات و یا نوشته‌هایی که وجود دارند، ساروج دارای مقاومت افسانه‌ای نبوده و صرفاً برای عایق رطوبتی و یا آمود مورد استفاده قرار می‌گرفته و با ابزارآلات ابتدایی کارگاهی، قابل‌کندن و شکستن است. در نمونه‌برداری از کانال آب و آب‌انبار عمارت تاریخی صدقیانی و حمام چهارسوق، نمونه‌ها با ضربه آرام چکش کنده و شکسته شدند.

می‌توان اظهار نمود که علت اصلی استفاده از ساروج برای عایق‌کاری رطوبتی، دیرگیر بودن آن بود که به‌دلیل دیرگیر بودن و ریزدانه بودن ملات، اندود به‌صورت مرتب به‌مدت چند روز ماله‌کشی (مهره‌زنی) می‌شد؛ مهره‌زنی، سبب از بین رفتن خلل و فرج سطحی شده و سطحی شیشه‌وار ایجاد می‌کرد.

در نهایت برای تحقیقات آتی، پیشنهاداتی از این قبیل ارائه می‌شوند: ۱. بررسی تأثیر محفظه CO_2 با غلظت‌های متغیر در تسریع گیرش و افزایش مقاومت ساروج، ۲. بررسی تأثیر افزودن تخم‌مرغ در ملات ساروج و ملات آهک زنده، برای یافتن بهترین روش ساخت ساروج با تخم‌مرغ.

پی‌نوشت

1. Revetment
2. Fly sand
3. Lime
4. Fly ash
5. Microsilica
6. Fibers
7. Goat hair
8. Water
9. Carbon dioxide
10. Clay

منابع و مآخذ

- بزرگمهری، زهره و پیرنیا، محمد کریم (۱۳۸۱). **مصالح ساختمانی آژند، اندود، آمود در بناهای کهن ایران**. چاپ اول، تهران: تعاون سازمان میراث فرهنگی کشور.
- حامی، احمد (۱۳۸۴). **راهنمای بتن‌ساز**. چاپ نهم، تهران: دانشگاه تهران.
- _____ (۱۳۹۳). **مصالح ساختمانی**. چاپ بیست و سوم، تهران: دانشگاه تهران.
- دهخدا، علی‌اکبر (۱۳۷۷). **لغت‌نامه دهخدا**. چاپ دوم، تهران: دانشگاه تهران.
- زمرشیدی، حسین (۱۳۹۰). **معماری ایران: مصالح‌شناسی سنتی**. چاپ پنجم، تهران: زمرد.
- زندی، یوسف (۱۳۸۸). **تکنولوژی پیشرفته بتن**. چاپ دوم، تبریز: فروزش.
- فرازمان، سیاوش و عطارنژاد، رضا (۱۳۸۵). معرفی ساروج و بررسی آن به‌عنوان ملات سازگار با محیط زیست. **اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست**. تهران: دانشگاه تهران.
- گنجیان، اسماعیل و ماجدی اردکانی، محمد حسین (۱۳۸۴). **مصالح مهندسی عمران**. تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- محسن‌زاده، سجاد (۱۳۹۳). **"بررسی خواص مکانیکی بتن سبک شامل لیکا حاوی ساروج، میکروسیلیس و نانوسیلیس"**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، عمران. گیلان: دانشگاه گیلان.
- محمدی، مرتضی (۱۳۹۵). **"بررسی تأثیر میکروسیلیس و خاکستر بادی بر روند رشد مقاومت فشاری بتن‌های معمولی و بتن‌های سبک سازه‌ای"**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، عمران. تبریز: دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز.
- معین، محمد (۱۳۸۴). **فرهنگ فارسی معین**. گردآوری عزیزالله علیزاده، چاپ سوم، تهران: ادنا.
- هاشمی، کامران (۱۳۹۳). **"بررسی رفتار بتن سبک حاوی ساروج شامل میکروسیلیس و نانوسیلیس در محیط‌های اسیدی"**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، عمران. گیلان: دانشگاه گیلان.
- یارشاطر، احسان (۱۳۷۰). **دانشنامه ایران و اسلام**. تهران: علمی و فرهنگی.

- ASTM Annual book 2010.
- International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (1965). The Venice Charter 1964, IInd International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Venice, Adopted by ICOMOS (International Council on Monuments and Sites).
- International Cultural Tourism Charter Managing Tourism at Places of Heritage Significance (1999). Adopted by ICOMOS (International Council on Monuments and Sites).
- URL 1: www. Pazhooheshco.com (access date: 2016/07/02).
- URL 2: www.katrock.ir (access date: 2016/04/10).

Received: 2017/07/26
Accepted: 2018/07/17

Comparative Evaluation of Sarooj Mortar Mix Design according to Various Sources and Best Mix Design Determination

Karim Moosazadeh Mehrabani* Yusef Zandi**

Abstract

Sarooj is one of the oldest materials consumed in Iran and countries that have a history of strong architecture; a detailed history since the beginning of the use of this mortar is not available but in many ancient constructions can be found using the Sarooj. One of the most important properties of Sarooj is the low permeability of this mortar. In this research, Sarooj mortar mix was collected in 13 written sources and it was determined after collecting 5 similar mixing designs to test, review and study. Each of the designs made once with the goat hair with 2 cm and once with 2 mm polypropylene. Ash used in this research is the wind ash from Isfahan, other mix designs with microsilica with 99 percent silica. Four cubic samples from each mix design were built in 5 centimeters district. Then four samples were made in dimensions 10 × 50 × 50 mm and four sales in dimensions 5 × 50 × 50 mm. It is observed that by reducing the thickness of the mortar, the rate of shrinkage is appreciably reduced. One cube sample with 5 centimeters dimension made with egg whites and Hydrated lime, another sample with egg whites and Hydrated lime, one cube sample made with egg whites and micronized lime. The last cubic sample made with egg yolks and micronized lime. In a summary of the findings of this 2-year study, the main reason for the use of a Sarooj for moisture was the fact that it was too late due to the lateness and fine grain content of the mortar, it was regularly peeled for several days, and Vertebral column causes the surface of the pores and surfaces to disappear and a glassy surface.

Keywords : Sarooj mortar , Mix designe , Water absorption, The proportion of lime, Fly ash, Wind Stone, Clay.

* Department of Civil Engineering, East Azerbaijan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

** Member of Academic Staff, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.