



دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۰۴/۰۱

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۲۲

## پژوهشی در ملات‌های آهکی تاریخی (ساروج)

### نمونه موردی: حمام شاهزاده‌ها در اصفهان

داریوش حیدری\* حامدیونسی\*\* غلامرضا وطن‌خواه\*\*\*

#### چکیده

آثار برجای‌مانده از دوره‌های مختلف معماری ایرانی، افزون‌بر بیان تغییر و تحول آنها بیانگر تکامل و گسترش‌دانش ایستایی، سازه، شناخت و تولید مصالح گوناگون است. در پایداری معماری ایرانی عوامل مختلفی تأثیرگذار هستند که از میان آنها، مصالح یکی از بخش‌های مهم و اساسی بقای آثار معماری است. ایرانیان در طراحی ملات‌های مختلف و مطابق با شرایط هر بنا، از هوش و استعداد سرشاری برخوردار بوده‌اند. آنچنان‌که، بسیاری از این ملات‌ها پس از گذشت قرن‌ها هم‌چنان، پابرجا باقی‌مانده و ویژگی‌های خود را از دست نداده‌اند. همین اهمیت ملات‌ها موجب گردید که نگارندگان مقاله پیش‌رو بر آن شوند تا تحقیق گسترده‌ای را درباره آنها به انجام‌رسانند. چراکه، شناخت و آشنایی با ساختار و ترکیبات مورد استفاده در این ملات‌ها، سبب‌گزینهش روشی مناسب در حفاظت و مرمت می‌شود. مقاله حاضر، گزیده بخشی از پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه بررسی ملات‌های آهکی به‌کاررفته در حمام تاریخی شاهزاده‌های اصفهان است. همچنین در این مقاله، درباره روش‌های تهیه ملات‌های تاریخی با هدف رسیدن به ترکیبات موجود طرح اختلاط و شیوه اجرای ملات‌های جدید برای مرمت نیز، مطالعه‌شده‌است. آزمایش‌های گوناگونی روی ملات‌های ساروجی تهیه‌شده از این بنای تاریخی، صورت‌گرفت. پس از بررسی‌های نتایج این آزمایش‌ها و انجام مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای، نمونه‌های جدید ملات ساروج با نسبت‌های متفاوت ساخته‌شد. در مرحله نهایی، با انجام آزمایش‌های مکانیکی مختلف روی نمونه‌های ساخته‌شده، ملات بهینه با داشتن ویژگی‌های مشابه با ملات‌های تاریخی مورد مطالعه، برای استفاده در امر مرمت‌گزینهش‌شد.

کلیدواژگان: ملات تاریخی، ملات آهکی، ساروج، آنالیز XRD، آنالیز TG/DTG.

d.heydari@aui.ac.ir

\* عضو هیأت علمی دانشگاه هنر اصفهان، دانشکده مرمت (نویسنده مسئول).

\*\* کارشناس ارشد، رشته مرمت اشیاء و آثار تاریخی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

\*\*\* استادیار، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

## مقدمه

از نظر ترکیب شیمیایی، آهک‌های آبی دامنه گسترده‌ای دارند که بین آهک و سیمان پرتلند متغیر است. این آهک‌ها، پس از پختن درصد زیادی سیلیکات کلسیم دارند لیکن برخلاف سیمان پرتلند داری آهک آزاد (CaO) و یا (CaO+MgO) هستند. ازین‌رو، آهک‌های آبی روش گرم، در آب شکفته می‌شوند (گروه مؤلفان، ۱۳۸۵: ۲۶۶). درجه آبی بودن یا هیدرولیسیتته<sup>۱</sup> این نوع آهک‌ها، به مقدار قابل توجهی متغیر است. این آهک‌ها به سه درجه تقسیم می‌شوند؛ آهک‌های آبی کم‌مایه، آهک‌های آبی متوسط یا نیمه‌آبی و آهک‌های پرمایه که برخی آنها را آهک رومی<sup>۲</sup> می‌نامند (همان: ۲۶۷).

آنچه در این مقاله آمده، تحقیق روی ملات آهکی ساروج است که جزء دسته ملات‌های آبی سرد است. ملات ساروج، مهم‌ترین ملات آهکی در ایران است. این ملات در مکان‌هایی که رطوبت بسیار وجود داشته و یا در تماس مستقیم با آب بوده، کاربرد داشته‌است. آهک، ماده اصلی به‌کاررفته در ملات ساروج است.

آنالیز و تحقیق روی ملات ساروج بیشتر براساس روش آنالیز دستگاهی (XRD)<sup>۳</sup>، انجام شده‌است. در پایان، برای اهمیت ملات ساروج و مزایای استفاده از آن در مرمت بناهای تاریخی به سبب رفتار مشابه و همخوان با بقیه مواد و مصالح، شیوه‌های گوناگون ساخت ملات بررسی گردیده و چهار روش برای ساخت آن پیشنهاد شده‌است.

## روش تحقیق

در پژوهش حاضر، بنابر شکوفایی معماری و تکنولوژی ساخت در دوره صفویه، حمام شاهزاده‌ها در شهر اصفهان برای مطالعه و بررسی انتخاب و از ملات‌های قسمت‌های مختلف آن، نمونه برداری شد. برای شناسایی روی نمونه‌ها، آزمایش‌های مختلفی همچون تعیین دانه‌بندی، آنالیز (XRD و TG/DTG)<sup>۴</sup> صورت گرفت. پس از شناسایی ملات ساروج تاریخی حمام، اقدام به ساخت ساروج شد.

آزمایش (XRD)، دانه‌بندی، میزان فرسودگی الیاف و تعیین حدود اتربرگ<sup>۵</sup> خاک روی مواد تشکیل دهنده ملات صورت گرفت. سپس، براساس روش‌های گوناگون ملات ساروج ساخته شد و انواع آزمایش‌ها جهت تعیین مشخصات فیزیکی ملات‌های ساخته شده انجام شد. در پایان، ملات‌های ساخته شده با نمونه تاریخی مقایسه شده و از بین روش‌های ساخت ملات ساروج دو روش که با نمونه تاریخی مطابقت بیشتری داشتند، برای استفاده در عملیات حفاظت و مرمت پیشنهاد شده‌است.

در طول تاریخ، ملات‌های آهکی در سازه‌های آبی و بخش‌هایی از ساختمان‌ها که در معرض رطوبت بوده کاربرد گسترده‌ای داشته‌اند. اگرچه، با وجود کاربرد مشابه آنها در هر منطقه‌ای با ترکیبات متنوعی ساخته می‌شده‌اند. اکنون، بنابر وجود بناهای تاریخی فراوانی که در آنها این مجموعه ملات‌ها به‌کاررفته و لزوم حفظ و مرمت علمی و بهینه آنها که بیشتر هم در حال تخریب هستند، ضرورت دارد نسبت به شناخت فناوری ساخت و طرح اختلاط ملات‌های یادشده اقدامی مناسب صورت گیرد. این امر افزون بر دستیابی به ترکیب و روش‌های عمل‌آوری و ساخت ملات‌ها منجر به مرمت اصولی و تطابق ظاهری و ذاتی بخش‌های جدید با اجزای اصلی بنا نیز می‌گردد.

اگرچه این ملات‌ها انواع گوناگونی دارند لیکن به‌طور کلی به دو دسته ملات‌های هوازی و بی‌هوازی بخش‌بندی می‌شوند. ملات‌های هوازی برای گیرش و به مقاومت رسیدن نیاز به حضور هوا و (CO<sub>2</sub>) موجود در آن دارند اما ملات‌های بی‌هوازی نیازی به حضور هوا ندارند (حامی، ۱۳۷۸: ۸۱). ملات ماسه آهک، نمونه‌ای از ملات‌های دسته نخست است که از مخلوط کردن آهک شکفته، (Ca(OH)<sub>2</sub>)، ماسه و آب به‌دست می‌آید. ملات ماسه آهک نیز، برای گیرش و به مقاومت رسیدن نیاز به حضور هوا و جذب (CO<sub>2</sub>) هوا دارد که نهایت، سنگ آهک اولیه (CaCO<sub>3</sub>) می‌شود (همان: ۸۲). دسته دوم خود شامل دو دسته عمده زیر است:

۱- ملات شفته آهک (ملات‌های آهکی معمولی) که از ترکیب کردن خاک رس آهک شکفته و آب به‌دست می‌آید و نیازی هم به حضور هوا و جذب (CO<sub>2</sub>) ندارد. بلکه، آهک شکفته (Ca(OH)<sub>2</sub>) با آلومینات‌ها و سیلیکات‌های خاک ترکیب شده و آلومینات کلسیم (CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) و سیلیکات کلسیم (CaO.SiO<sub>2</sub>) را تشکیل می‌دهد (همان: ۱۰۹).

۲- ملات آهک آبی: این آهک‌ها همانند سیمان کنار آب، قادر به انجام واکنش‌های گیرش بوده و مقاومت کسب می‌کنند. آهک‌های آبی به دو روش سرد و گرم تولید می‌شوند. در روش گرم، از پختن سنگ‌های آهکی رسی که ۶۵ تا ۷۵ درصد آهک دارند یا پختن خاک رس و سنگ آهک با یکدیگر، حاصل می‌شوند (گروه مؤلفان، ۱۳۸۵: ۲۵۲). پس از پختن، آنها را آسیاب می‌کنند و به‌صورت ملات استفاده می‌کنند. سرعت شکفته شدن و افزایش حجم آنها کم است (حامی، ۱۳۷۸: ۱۱۵). در روش سرد، از مخلوط کردن آهک شکفته، خاک رس، خاکستر، ماسه و برخی افزودنی‌های دیگر، آهک آبی ایجاد می‌شود (همان: ۸۲).



## پیشینه تحقیق

حمام شاهزاده‌ها، مربوط به دوران صفویه است که در بافت تاریخی اطراف میدان نقش جهان و بازار اصفهان قرار گرفته است. این حمام، نمونه‌ای ارزنده از به‌کارگیری انواع ملات‌های آهکی با کاربردهای ویژه خود است. با توجه به همین آگاهی از اصالت آن، نمونه‌ها به‌عنوان مرجع مطالعات و آنالیزهای کیفی و کمی انتخاب شد. در ایران، تاکنون مطالعات مختصر و ناقصی برای معرفی ملات‌های آهکی در کتاب‌های شناخت مواد و مصالح معماری صورت گرفته است. از میان این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعات استاد فقید/حمد حامی (۱۳۷۸) اشاره نمود. آقای حسینی‌سیر (۱۳۸۱) هم در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به بررسی ملات‌های تاریخی پرداخته لیکن این مطالعه به‌صورت طرح جامعی بوده و ملات آهکی به‌طور ویژه بررسی نشده است. البته، به‌سبب اهمیت کاربرد این ملات در اروپا، مطالعات مفیدی در شناسایی و مرمت آن انجام شده که از آن جمله می‌توان به کتاب‌های زیر اشاره نمود:

- Chemistry and technology of lime and Lime-stone (1966) و Lime an Lime mortas (1998).

## ملات ساروج

ملات ساروج، ملات آهکی آبی سنتی ایران است که به دو روش سرد و گرم تولید می‌شده است. در روش گرم، کلوخه‌های سنگ آهک رس‌دار را می‌کوبیدند تا نرم شود سپس، خاک به‌دست آمده را با کاه و پهن و آب مخلوط می‌کردند. پس از آن، گل به‌دست آمده را روی زمین با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر پهن کرده و بعد از خشک شدن، قطعه‌های خشک شده را می‌پختند. نهایتاً، هنگامی که قطعه‌ها پخته شد آنها را آسیاب می‌کردند. محصول به‌دست آمده رنگ لیمویی یا قهوه‌ای روشن داشت که ساروج گرم نامیده می‌شد (همان: ۲۶۷).

در روش سرد، ساروج از مخلوط کردن آهک شکفته، خاکستر، ماسه بادی، خاک رس ولویی یا مغز نی ساخته می‌شد (حامی، ۱۳۷۸: ۸۲). بنابر موارد کاربرد مختلف، ممکن بود افزودنی‌های دیگری همچون موی بز یا گوساله یا انسان، سفیده تخم مرغ، چربی گوساله و... به آن ترکیب افزوده شود (الکرجی، ۱۳۴۵: ۶۳). آهک، ماده اصلی این ملات است که ضمن ایجاد چسبندگی بین اجزا و قطعات آجری یا سنگی، موجب سمته شدن ملات هم می‌گردد. مقدار کمی خاک رس در ملات افزون بر ایجاد چسبندگی در ملات به‌سبب داشتن سیلیس برای سمته شدن آهک نیز، بسیار مفید است. ماسه هم به دلیل

دار بودن سیلیس همان کاربرد خاک رس را برای آهک دارد. ضمن اینکه، ماسه خاصیت پرکنندگی هم دارد. خاکستر افزون بر داشتن میکروسیلیس، مقدار قابل توجهی هم کربن دارد. کربن خاکستر با آهک شکفته ترکیب شده و با دریافت اکسیژن از محیط به کربناتیزاسیون آهک سرعت می‌بخشد (Cowper, 1998:56). از مخلوط کردن خاکستر با ملات، به میزان کافی کربن در اختیار آهک گذاشته می‌شود تا سریع‌تر به مقاومت نهایی برسد. لویی یا لوخ یا گل نی، دارای رشته‌های پنبه‌مانند بسیار نازک و به هم فشرده‌ای است که کنار رودخانه‌ها و نواحی باتلاقی می‌روید. این رشته‌های نازک که در برخی موارد جای خود را به موی حیوانات و انسان می‌دهند، همانند آرماتور آفت و حرارت در بتن، موجب کاهش جمع‌شدگی ملات و جلوگیری از ترک‌های انقباضی هنگام گیرش می‌شوند (حامی، ۱۳۷۸: ۸۲).

از دیگر سو، لویی به سبب ساختار سلولزی، مقادیر فراوانی کربن و اکسیژن در خود دارد که بسیار مورد نیاز آهک در فرایند کربنیزه شدن است. ملات، ساروج سرد رنگ خاکستری یا کبود دارد و علاوه بر مقاومت مکانیکی بالا در برابر نفوذ آب نیز، مقاومت به‌نسبت خوبی نشان داده به‌گونه‌ای که، از نفوذ و نشست آب جلوگیری می‌کند (گروه مؤلفان، ۱۳۸۵: ۲۶۸).

گونه‌های دیگری از ساروج‌ها نیز هستند که چون از ساروج‌های فرعی به‌شمار می‌روند و چندان هم، رایج و متداول نیستند، در این مقاله از سخن و بررسی درباره آنها خودداری شده است.

در مطالعه و بررسی ساروج سرد، ملات‌های ساروجی حمام شاهزاده‌ها در اصفهان با پیشینه‌ای حدود ۳۵۰ سال انتخاب شدند. برای جلوگیری از افزایش حجم مقاله از معرفی بخش‌ها و فضاهای مختلف حمام و معرفی قسمت‌هایی که نمونه برداری شده جلوگیری شده است.

## نمونه برداری

برای مطالعه و بررسی، از دوازده نمونه از ملات قسمت‌های مختلف حمام نمونه برداری شد. روش نمونه برداری مطابق استاندارد (ASTM 1988) ASTM - C5 - 86 بود که در بخش زیر معرفی شده است.

- A2: ملات اطراف تنبوشه‌ها و لوله‌های سفالی است که برای آب‌بندی اتصالات لوله‌های سفالین انتقال آب استفاده می‌شده است. از این ملات انتظار مقاومت در برابر نفوذ آب می‌رفته به‌گونه‌ای که، چسبندگی آن حین کار باید زیاد باشد.

برای ملات ماسه آهک به کار می‌رود، دانه‌های درشت‌تر از الک ۱۶ و ریزتر از الک ۱۰۰ دارد. این گستردگی دامنه اندازه دانه‌ها طبیعتاً سبب دستیابی به تراکم بیشتر در ملات می‌شود.

### آنالیز (XRD) ملات‌ها

برای مطالعه بیشتر و شناسایی فازهای تشکیل‌دهنده ملات‌های ساروج تاریخی، روی ۱۲ نمونه مورد نظر، آنالیز XRD انجام گرفت. درصد فازهای مختلف شناسایی شده، به صورت نمودارهای دایره‌ای نشان داده شده‌اند (نمودارهای ۱-۲). مشخصات این دستگاه به قرار زیر است:

X-ray Tube Anode : Cu

Wavelength: 1.5406 A(CuKa)

Filter : Ni

تنها، یک نمونه با نمودار و نتایج آمده و در بقیه نمونه‌ها ارائه نتایج صرفاً به صورت درصد وزنی بیان شده است (Ropp, 2004: 145). آن گونه که در نتایج حاصل از آنالیز (XRD) مشاهده می‌شود، بیشترین درصد مواد تشکیل‌دهنده ملات‌ها کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) است. این مطلب، بیانگر روند مناسب کربناتیزاسیون ملات‌ها است که با تشکیل درصد بالایی از ( $\text{CaCO}_3$ ) ملات، به مقاومت و سختی بالایی دست خواهد یافت. درصد ( $\text{CaCO}_3$ ) در ملات G مربوط به اندود درون حوضچه توالیت با ۷۸٫۶ درصد است که بیشترین مقدار را دارد.

در ملات‌هایی که کربنات کلسیم آنها نسبت به بقیه ملات‌ها کمتر است، مقاومت و سختی ملات با تشکیل سیلیکات کلسیم ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) و دیگر محصولات حاصل از واکنش‌های گیرش و سخت‌شدگی ملات که در نمودارها دیده می‌شود، فراهم شده است. همانند ملات E2 که درصد کربنات کلسیم به کمترین مقدار خود ۳۷٫۹ درصد می‌رسد، درصد سیلیکات کلسیم هم ۹٫۵ درصد است.

در مجموع، این گونه می‌توان گفت که در ملات ساروج سرد، هم از تشکیل کربنات کلسیم و هم از تشکیل سیلیکات کلسیم و دیگر محصولات واکنش که موجب سخت‌شدگی و افزایش مقاومت ملات می‌گردند، بهره‌گیری شده است.

نکته دیگر اینکه، ملات G مربوط به اندود درون حوضچه توالیت است و به آسانی با  $\text{CO}_2$  هوا در ارتباط بوده و مسیر تشکیل ( $\text{CaCO}_3$ ) را بیشتر سپری کرده در حالی که، ملات E2 مربوط به سنگ کاری‌ها است و طبیعتاً کمتر می‌توانسته از هوا ( $\text{CO}_2$ ) بگیرد. از این رو، نسبت به ملات‌های دیگر بیشتر مسیر تشکیل سیلیکات کلسیم را سپری کرده است.

- B1: ملات مربوط به کف‌سازی بوده که درصد آهک کمتری داشته و در آن بیشتر خاک و ماسه کاربرد داشته است. همچنین، اغلب حالت شفته آهک پیدامی کرده است.
- B2: کاربردی شبیه B1 داشته است.
- C: ملاتی برای بندکشی بین آجرچینی‌ها و اندود حوض‌ها است.
- D: ملات پشت کاشی کاری‌ها است.
- E2: ملات اطراف سنگ کاری‌ها بوده که به نسبت در معرض رطوبت کمتری قرار داشته و برای اتصالات قطعه‌های سنگی به کار می‌رفته که احتمالاً برای چسبندگی بیشتر به آن گچ هم افزوده می‌شده است.
- E3: مانند E2 است.
- G: اندود درون حوضچه توالیت بوده که جهت آب‌بندی و پرداخت نهایی در سطح جداره داخلی حوضچه به کار می‌رفته است.
- H1: اندود پشت کاشی کاری‌های حوضچه گرم‌خانه بوده است.
- I1: ملات زیر سنگ که برای چسبندگی بیشتر احتمالاً به آن گچ هم افزوده می‌شده است.
- I3: شبیه I1 است.
- J: اندود جداره استخر حمام که هم لازم بوده استحکام و هم آب‌بندی خوبی داشته باشد.

### آنالیز دانه‌بندی ماسه ملات‌های ساروج حمام شاهزاده‌ها

برای آنالیز دانه‌بندی ماسه، سه مورد کلی از نمونه‌ها به شرح زیر برگزیده شدند:

۱. نمونه‌های G و J ،
۲. نمونه‌های D و A2 ،
۳. نمونه‌های A1 و B1 .

سپس، نمونه‌ها جداگانه در اسید کلریدریک ۱:۳ ، چهارنرمال حل شده و با کاغذ صافی ذرات ماسه جدا شدند. ماسه‌ها، پس از خشک‌شدن از الک‌های شماره (۸، ۱۸ و ۲۵)، عبور داده شدند.

درصد ماسه‌های مانده روی هر الک در زیر آورده شده است (جدول ۱).

در (جدول ۲)، درصد تجمعی عبور کرده از هر الک برای مقایسه با درصد تجمعی عبور کرده از الک‌های شماره‌های (۱۶، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰) که برای ساخت ملات ماسه آهک استفاده می‌شود، آورده شده است.

آن گونه که از مقایسه (جدول‌های ۱-۳) به دست می‌آید، ماسه‌های استفاده شده در ساروج حمام نسبت به آنچه هم‌اکنون



### آنالیز (TG/DTG)

آزمایش وزن‌سنجی حرارتی در مورد نمونه A2 که احتمال وجود ماده آلی در آن بیشتر بود، انجام شد (Ellis, 2002:46). این نمونه، مربوط به ملات تنبوشه، لوله سفالی، بوده که برای دستیابی به اتصالات بادوام و مستحکم از موادی همچون سفیده تخم‌مرغ در آن استفاده می‌شده است (حامی، ۱۳۷۸: ۸۱). براساس نمودارهای ترسیم شده با دستگاه (نمودار ۳) این چنین دریافت شد که تغییرات اصلی با توجه به پیک اصلی، حدود ۷۵۰ درجه است که این دما مربوط به تجزیه کربنات‌ها است.

این چنین می‌توان نتیجه گرفت که مواد آلی که در این نمونه ملات تاریخی کاربرد داشته، تقریباً به‌طور کامل از بین رفته و استفاده از آنها بیشتر جنبه موقتی تارسیدن به گیرش نهایی ملات را داشته است.

### تهیه ساروج سرد

در تهیه ساروج سرد، برای شناسایی کیفیت مواد و مصالح مورد استفاده و تاحدودی تطبیق ویژگی‌های آنها با مواد تشکیل‌دهنده ساروج سنتی، برخی آزمایش‌های شناسایی روی آنها انجام شد که ضرورت دارد نخست، به آنها اشاره نمود.

#### ۱. انجام آنالیز (XRD) روی نمونه آهک

برای بررسی دقیق نمونه آهک مصرفی در نمونه‌سازی ملات ساروج، آهک مورد نظر تحت آنالیز (XRD)، قرار گرفت (جدول ۴).

جدول ۱. درصد ماسه‌های مانده روی هر الک.

شماره الک	شماره نمونه	۱	۲	۳
درصد مانده روی الک ۸	۰	۴/۴۷	۲۰	
درصد مانده روی الک ۱۶	۲۰/۸۵	۱۳/۴۳	۱۰	
درصد مانده روی الک ۲۰	۱۲/۸۸	۸/۹۵	۵/۵۵	
درصد مانده روی الک ۵۰	۳۹/۸۷	۳۵/۸۲	۳۱/۱۱	
درصد مانده روی الک ۱۰۰	۱۶/۵۶	۲۰/۸۹	۲۰	
درصد گذشته از الک ۱۰۰	۹/۸۴	۱۶/۴۴	۱۳/۳۳	

(نگارندگان)

جدول ۲. درصد تجمعی ماسه‌های عبور کرده از هر الک.

شماره الک	شماره نمونه	۱	۲	۳
درصد تجمعی مانده روی الک ۸	۰	۴/۴۷	۲۰	
درصد تجمعی مانده روی الک ۱۶	۲۰/۸۵	۱۷/۹	۳۰	
درصد تجمعی مانده روی الک ۲۰	۳۳/۷۳	۲۶/۸۵	۳۵/۵۵	
درصد تجمعی مانده روی الک ۵۰	۷۳/۶	۶۲/۶۷	۶۶/۶۶	
درصد تجمعی مانده روی الک ۱۰۰	۹۰/۱۶	۸۳/۵۶	۸۶/۶۶	

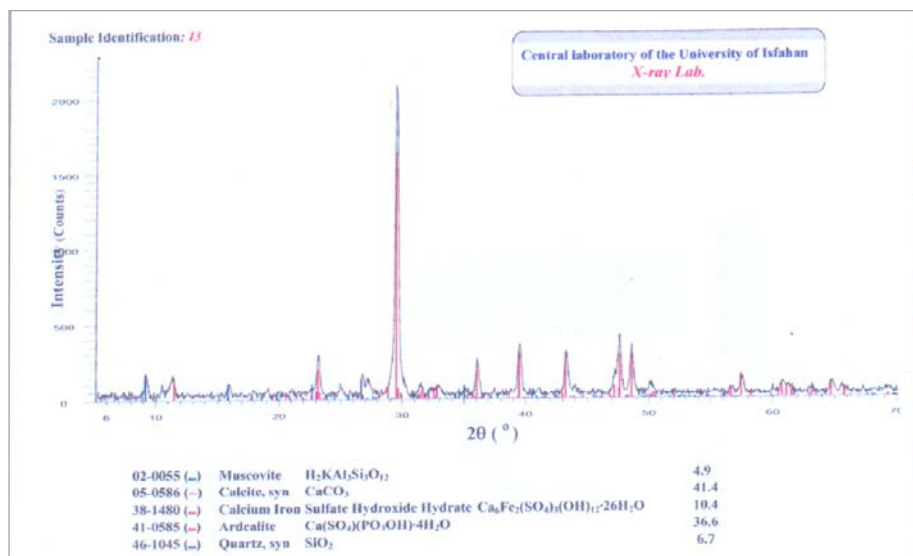
(نگارندگان)

جدول ۳. درصد تجمعی دانه‌های ماسه برای ملات مورد استفاده در نمونه‌سازی.

شماره الک	درصد تجمعی مانده %
۱۶	۰
۲۰	۲
۵۰	۷۴
۱۰۰	۱۰۰

(نگارندگان)










نمودار ۱. آنالیز XRD نمونه ملات‌های آهکی تاریخی

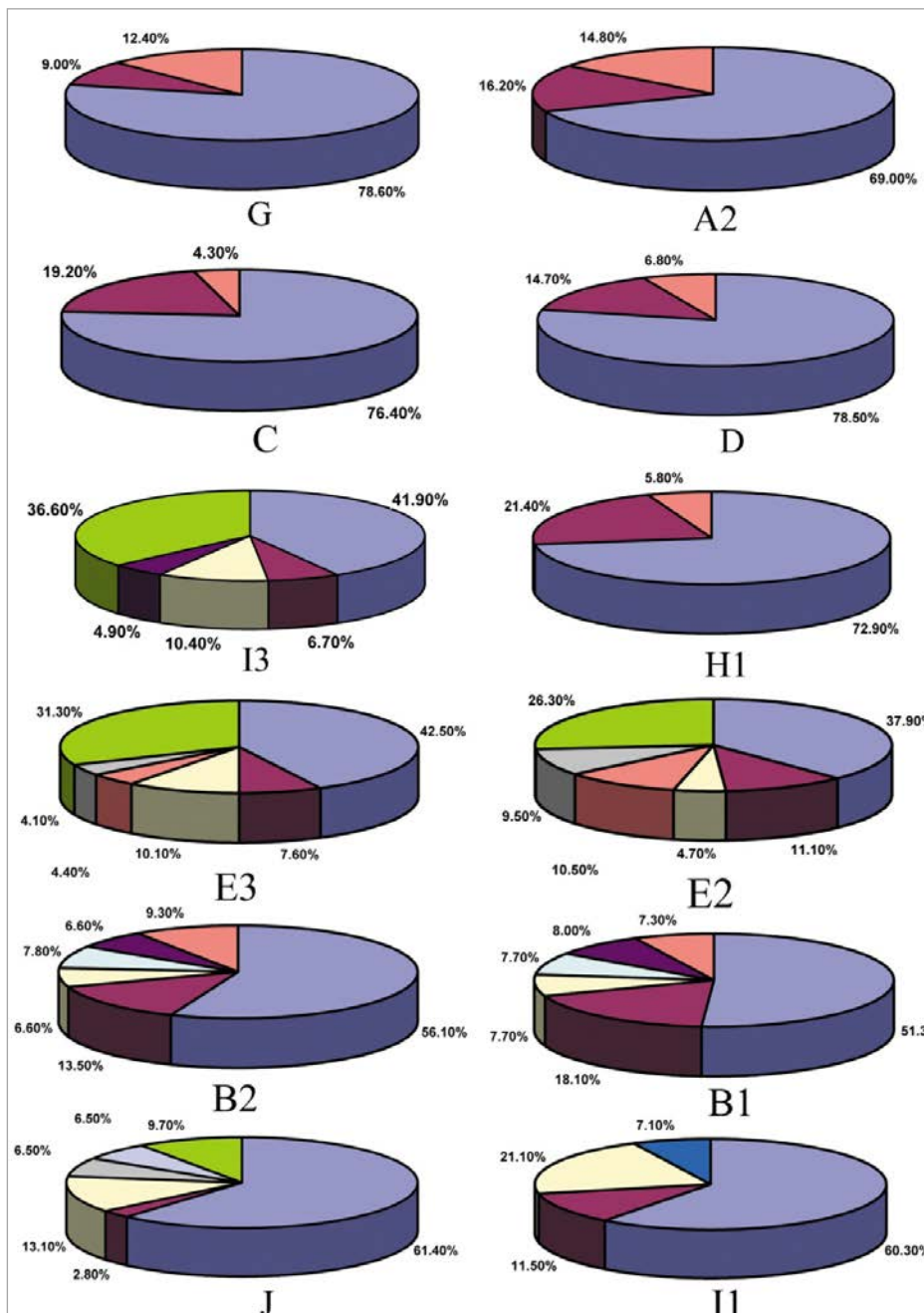


(نگارندگان)



نمودار ۲. درصد وزنی نمونه‌های تاریخی.

Calcit, Syn	$CaCO_3$	
Quartz, Syn	$SiO_2$	
Calcium Iron Sulfate hydroxide hydrate	$Ca_6Fe_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$	
Clinchlore..., ferroan	$Mg, Fe)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$	
Muscovite	$KAl_2Si_3Al_1(OH)_2$	
Albite, Calcian, Ordered	$Na, Ca) Al(Si, Al)_3 OH$	
Calcium Silicate	Gamma - $Ca_2SiO_4$	
Ardealite	$Ca(SO_4)(PO_3OH)_4 H_2O$	
Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	



(نگارندگان)

۲. ماسه

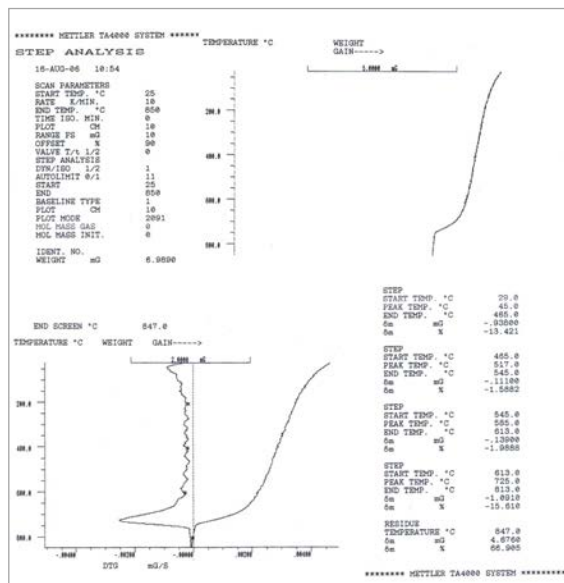
آنچنان که گفته شد، دامنه اندازه دانه‌های ماسه در ساروج تاریخی، نسبت به اندازه دانه‌های مورد استفاده در ساخت ملات ماسه آهک که فعلاً رایج است، گستردگی بیشتری دارد. لیکن، چونکه این اختلاف بسیار آشکار نیست برای ساخت نمونه ساروج از دانه‌بندی ملات ماسه آهک مطابق، آن استفاده شد.

همچنین در ترکیب ماسه مورد استفاده، ۳۰٪ ماسه سیلیسی استفاده شد. به گونه‌ای که از ماسه بادی معمولی جهت ذرات درشت و از ماسه سیلیسی برای ذرات ریز استفاده گردید. ماسه سیلیسی، گذشته از الک ۵۰ و مانده روی الک ۱۰۰ می‌باشد. دانه‌بندی هم براساس جدول بالا بدین گونه است که هم تغییر اندازه دانه‌های ماسه پیوسته و بدون گسستگی است و هم اینکه، دانه‌های درشت‌تر از ۱/۲ میلی‌متر در آن وجود ندارد چراکه، دانه‌های درشت‌تر موجب خشن شدن ملات می‌شود.

۱-۲. آنالیز (XRD) روی نمونه ماسه

برای مطالعه و شناخت بیشتر نمونه ماسه مورد استفاده، ماسه تحت آنالیز (XRD)، قرار گرفت (جدول ۵). براساس نتایج آنالیز، ماسه مورد استفاده را می‌توان با درصد سیلیس بالا قلمداد کرد. گرچه، حضور کلسیت در آن نشانگر داشتن ماسه آهکی در ترکیب دانه‌بندی است. حضور آلبيت کلينوکلر<sup>۲</sup> به‌عنوان دوفاز مرتبط با کانی‌های رسی نیز به‌دلیل ناخالصی‌های همراه با ذرات ماسه و یا ترکیب آلبيت همراه با کلسیت به‌شمار می‌رود.

نمودار ۳. آنالیز TG/DTG



(نگارندگان)

باتوجه به داده‌های آنالیز، این آهک را به واسطه داشتن میزان قابل توجهی (MgO)، می‌توان حاوی ناخالصی‌هایی از نوع سنگ آهک دولومیتی دانست. این نمونه، با داشتن فازهای مرتبط با کلسیم (کلسیت  $CaCO_3$ ، آهک  $CaO$ ، آهک شکفته  $Ca(OH)_2$ ) از درجه خلوص بالایی برخوردار است. ضمن اینکه، مقداری از آهک پخته شده ( $CaO$ ) نزدیک رطوبت هوا به  $Ca(OH)_2$  یا آهک شکفته تبدیل شده است (شرایط قبل از انجام XRD). نکته دیگر اینکه، میزان ناچیزی از آهک شکفته هم تبدیل به کلسیت شده است. نهایت، باید توجه داشت که پس از پختن سنگ آهک پیش از شکفته کردن، از قرارگیری آن در معرض رطوبت هوا باید خودداری کرد.

جدول ۴. نتایج XRD مربوط به نمونه آهک

Compound Name	Formula	Concentration(% W/W)
Portlandite,syn	Ca (OH)2	49.5
Periclase,syn	MgO	31.8
Lime,syn	CaO	17.3
Calcite,syn	CaCO3	1.4

(نگارندگان)

جدول ۵. آنالیز XRD نمونه ماسه

Compound Name	Formula	Concentration(% W/W)
Quartz,syn	SiO2	52.3
Albit, calcian,ordered	Na,Ca)Al(Si,Al)3O8)	15.3
Clinocllore	MgFe,Al)6(Si,Cr)4O10(OH)8)	4
Calcite,syn	CaCO3	28.4

(نگارندگان)

### ۳. لویی

لویی مورد مصرف در ساخت نمونه‌ها، نخست به قطعه‌های حداکثر ۳ سانتی‌متری خرد شد و ذرات درشت و چوبی آن جدا شدند. سپس، مدت ۴۸ ساعت در آب خیسانده شد و بعد استفاده شدند (وزن هر پیمان لویی ۱۰۰ گرم محاسبه گردید).

#### ۳-۱. آزمایش میزان فرسودگی الیاف

مطالعه بیشتر برای نوع رفتار و واکنش مواد آلی به کاررفته در ساخت ملات آهکی، به انتخاب درست و نحوه به کارگیری بهتر این مواد کمک می‌کند. بنابر استفاده لویی به عنوان عاملی مهم در جلوگیری از ترک خوردن ملات به سبب انقباض حین گیرش، دوام آن با دیگر مواد مشابه که در ملات‌های تاریخی استفاده می‌شدند، مقایسه گردید. این بررسی بین نمونه‌های لویی، موی بز، ساقه گندم، ساقه برنج و سبوس برنج صورت گرفت. این آزمایش و کنترل کیفیت الیاف برای بررسی فرسودگی آنها، در محیط کاملاً قلیایی جهت مطابقت با شرایط ملات آهکی صورت پذیرفت.

بدین منظور، در پنج ظرف شیره آهک دوغاب آهک شکفته ریخته شد. سپس، الیاف یادشده در هریک از ظرف‌ها قرار داده شدند. نهایت، پس از گذشت ۸۰ روز، میزان فرسودگی الیاف بررسی شدند. در نگاه اول، تجزیه تقریباً کامل الیاف غیر گیاهی (موی بز)، قابل توجه بود. بین الیاف گیاهی نیز، میزان فرسودگی ساقه گندم بیشتر از همه، سپس ساقه برنج، لویی و در آخر سبوس برنج بود.

بنابراین، می‌توان بیان کرد که سبوس برنج دارای مقاومت بسیار خوبی در برابر آهک است. در موارد دیگری، سبوس برنج در ملات‌های آهکی تاریخی دیده شده است. با این همه، در ملات‌های تاریخی لویی بسیار به کاررفته است. دلیل استفاده از آن را می‌توان با توجه به شکل، فرم و ساختار فیزیکی آن توجیه کرد. همان گونه که گفته شد، عملکرد الیاف در ملات جلوگیری از ترک خوردگی ملات بر اثر انقباض حاصل از گیرش ملات است. لویی، به دلیل سطح زبر و پرزدار خود، در مقایسه با ساختار دوکی شکل سبوس برنج، قدرت درگیر شدن بیشتری را با ملات اطراف خود دارد. همچنین، حالت صیقلی بافت ساقه گندم و برنج از حرکت جزئی ملات حین گیرش جلوگیری نمی‌کند (باتوجه به اینکه، گیرش ملات‌های آهکی نسبت به گل و گچ بسیار کندتر است و حرکت‌های آن بسیار آرام و جزئی است). از دیگر سو، به دلیل نداشتن قابلیت ارتجاعی این الیاف، در سطح‌های صاف بیشتر از آنها استفاده می‌شد چونکه، انعطاف مورد نیاز برای سطح‌های منحنی را ندارند. در حالی که، لویی از انعطاف کافی برخوردار است.

در بررسی رفتار فرسودگی الیاف در محیط قلیایی، فرسودگی سریع و شدید موی بز دیده شد. بنابر استفاده از موی بز و دیگر الیاف حیوانی، احتمالاً علت استفاده از آنها به دلایل زیر بوده است:

- امکان دسترسی بیشتر به این الیاف در برخی مناطق،
- الیاف حیوانی بیشتر در مواردی استفاده می‌شد که حضور این مواد در مدت زمان ساخت تا گیرش نسبی ملات مورد نیاز بوده است. سپس، با تجزیه شدن الیاف، موجب به وجود آمدن لوله‌های موئینه در ملات می‌شده که از طریق این منافذ و لوله‌ها، رطوبت و (CO<sub>2</sub>) هوا به درون جسم ملات نفوذ کرده و واکنش‌های ملات تکمیل می‌شده است.
- به سبب ظرافت الیاف حیوانی، از آنها در مواردی استفاده می‌شده که ظرافت و پرداخت ملات مدنظر بوده است.

#### ۴. خاک رس

انتخاب خاک رس، بر اساس دامنه خمیری<sup>۷</sup> و حد مایع<sup>۸</sup> صورت گرفت. خاک انتخاب شده، از الک شماره ۱۰۰ گذر داده شد که حد مایع آن ۴۱ و دامنه خمیری آن ۱۵ بود.

$$PI=15 \quad LL=41$$

#### ۴-۱. آنالیز (XRD) روی خاک رس

برای بررسی دقیق تر خاک رس مورد استفاده در نمونه‌سازی ساروج، آنالیز (XRD)، روی آن انجام شد (جدول ۶). همان گونه که در نمودار نیز دیده می‌شود، علاوه بر فازهای مشخص و اختصاصی خاک رس، کلسیت هم در خاک مورد آزمایش مشاهده می‌گردد.

#### ۵. خاکستر

برای گزینش خاکستر مناسب نخست ساقه گندم، ساقه برنج و چوب درون کوره با دمای ۸۵۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده شدند. چراکه، تمام مواد آلی در دمای بالاتر از ۸۵۰ درجه از بین رفته و مواد معدنی آنها از جمله، سیلیس برجای می‌ماند. بین سه خاکستر تولید شده، آنکه بیش از همه حاوی سیلیس باشد برای نمونه‌سازی مناسب تر است. از این رو، از هر سه مورد آنالیز (XRD) تهیه شد.

#### ۵-۱. آنالیز (XRD) خاکستر

برای شناسایی بهتر خاکستر مناسب جهت نمونه‌سازی، سه گونه خاکستر تهیه شده تحت آنالیز (XRD)، قرار گرفتند. با توجه به آنالیزهای انجام شده، خاکستر ساقه برنج از بقیه مناسب تر بوده و حاوی درصد بیشتری سیلیس بود (جدول ۷).





جدول ۶. آنالیز XRD نمونه خاک رس

Compound Name	Formula	Concentration(% W/W)
Quartz,syn	SiO <sub>2</sub>	13.5
Calcite,syn	CaCO <sub>3</sub>	18.2
Pyrophyllite-2ITM RG		
Clinochlore-1ITMIIB RG,ferroan	MgFe,Al)6(Si,Cr)4O10(OH)8	11.5
Albit, calcian,ordered	Na,Ca)Al(Si,Al)3O8	12.7
Muscovite-2ITM RG ,ammonian	K,NH <sub>4</sub> ,Na)Al <sub>2</sub> (Si.)Al)4O10(OH) <sub>2</sub>	19.2

(نگارندگان)

جدول ۷. آنالیز XRD خاکستر ساقه برنج

Compound Name	Formula	Concentration(% W/W)
Sylvite,syn	KCl	59.9
Silicon chloride	SiCl <sub>4</sub>	20
Calcite,syn	CaCO <sub>3</sub>	11.8
Quartz,syn	SiO <sub>2</sub>	3.7
Aphthitalite,syn	K <sub>3</sub> Na(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	4.7

(نگارندگان)

۷. آزمایش‌های فیزیکی روی نمونه‌ها

۷-۱. توزین نمونه‌ها

نمونه‌ها به شکل مکعب در ابعاد (۵×۵×۵) سانتی‌متر، ساخته شدند. بعد از ساخت نمونه‌های هر گروه، کلیه نمونه‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شده و در فاصله‌های زمانی ۵ روزه تا روز بیستم وزن شدند (جدول ۹).

بنابر نتایج این آنالیز، حضور سیلیس را به صورت فاز کوارتز<sup>۹</sup> در ترکیب با کلر می‌توان دید. براساس منشاء آلی این ماده، حضور قابل توجه پتاسیم، کلر و کلسیم در آن توجیه پذیر است.

۶. نمونه‌سازی

نمونه‌سازی با توجه به مصاحبه با استادکاران معماری سنتی، مطالعه تاریخی روی ملات ساروج و مطالعه‌های کتابخانه‌ای با ۱۰ طرح اختلاط گوناگون، انجام شد (جدول ۸).

جدول ۸. میزان درصد حجمی ترکیبات نمونه‌های مختلف ملات ساروج ساخته شده

شماره نمونه	تاریخ ساخت	درصد آهک	درصد خاکستر	درصد لویی	درصد ماسه	درصد خاک رس
۱	۸۵/۷/۱۹	۳۳،۷۹	۹،۶۲	۷،۲۳	۳۸،۵۶	۱۰،۸۵
۲	۸۵/۷/۲۲	۴۴،۴۴	۳۱،۱۱	۸،۸۸	۸،۸۸	۶،۶۶
۳	۸۵/۷/۲۴	۳۱	۲۱،۵	۸،۶۲	۳۸،۷۹	-
۴	۸۵/۷/۲۵	۳۱،۷	۲۰،۳۲	۸،۱۳	۳۴،۱۵	۴،۸۷
۵	۷۵/۷/۲۶	۵۱،۴۲	۸،۵۷	۶	-	۳۴
۶	۸۵/۷/۲۹	۳۶	-	۸،۵	۳۰	۲۵
۷	۸۵/۷/۳۰	۳۲	۴۰	۸	۲۰	-
۸	۸۵/۸/۱	۳۲	۲۰	۸	۲۰	۲۰
۹	۸۵/۸/۶	۲۷،۹۲	۲۲،۵۲	۹	۲۷،۰۲	۱۳،۵۱
۱۰	۸۵/۸/۷	۲۸،۵۷	۲۸،۵۷	۹،۵۲	۲۸،۵۷	۴،۷۶

(نگارندگان)



وزن نمونه پس از ۲۰ روز (برحسب گرم)	وزن نمونه پس از ۱۵ روز (برحسب گرم)	وزن نمونه پس از ۱۰ روز (برحسب گرم)	وزن نمونه پس از ۵ روز (برحسب گرم)	کد نمونه	نمونه
۱۸۱,۶	۱۹۲,۵	۲۰۱,۳	۲۱۳,۵	۱	۱
۱۷۹,۸	۱۸۹,۳	۲۰۰,۲	۲۱۱,۸	۲	۱
۱۶۲,۳	۱۸۴,۷	۱۹۵,۵	۲۰۶,۵	۳	۱
۱۸۴,۴	۱۹۴,۴	۲۰۵,۲	۲۱۴,۲	۴	۱
۱۶۴,۴	۱۷۵,۳	۱۸۶,۲	۱۹۷,۶	۵	۱
۱۶۸,۷	۱۷۸,۲	۱۹۰,۱	۲۰۰,۸	۶	۱
۱۳۵,۹	۱۴۰,۱	۱۴۳	۱۴۵,۶	۱	۲
۱۳۹,۸	۱۴۳,۳	۱۴۶,۵	۱۴۸,۴	۲	۲
۱۴۹,۱	۱۵۱,۱	۱۵۳,۲	۱۵۵,۵	۳	۲
۱۴۲,۳	۱۴۶,۴	۱۴۸,۳	۱۵۰,۷	۴	۲
۱۴۵,۵	۱۴۹,۶	۱۵۱,۲	۱۵۳,۵	۵	۲
۱۳۱,۷	۱۳۶,۲	۱۳۷,۴	۱۴۱,۱	۶	۲
۱۶۲,۳	۱۶۹,۳	۱۷۶,۴	۱۸۳,۴	۱	۳
۱۶۰	۱۶۸,۹	۱۷۵,۲	۱۸۲,۳	۲	۳
۱۸۳,۲	۱۸۷,۳	۱۹۲,۵	۱۸۶,۳	۳	۳
۱۷۶	۱۸۱,۱	۱۸۶,۲	۱۹۰	۴	۳
۱۸۳,۵	۱۸۶,۲	۱۹۱,۳	۱۸۶,۵	۵	۳
۱۶۴,۵	۱۷۱,۲	۱۷۸,۶	۱۸۵	۶	۳
۱۷۶,۳	۱۸۴,۱	۱۹۲,۳	۲۰۲,۳	۱	۴
۱۶۷	۱۷۷,۹	۱۸۷,۳	۱۹۸,۲	۲	۴
۱۴۲,۶	۱۵۴,۳	۱۶۶,۳	۱۷۸,۹	۳	۴
۱۶۴,۲	۱۷۴,۶	۱۸۴,۷	۱۹۵,۵	۴	۴
۱۴۰,۲	۱۵۲,۱	۱۶۵,۲	۱۷۷,۲	۵	۴
۱۵۵,۳	۱۶۴,۱	۱۷۵,۳	۱۸۸,۹	۶	۴
۱۴۴,۷	۱۵۵,۳	۱۶۶,۵	۱۷۶,۶	۱	۵
۱۴۰	۱۵۱,۲	۱۶۲,۳	۱۷۲,۴	۲	۵
۱۴۳,۵	۱۵۴,۲	۱۶۵,۱	۱۷۴,۷	۳	۵
۱۵۰,۲	۱۶۲,۳	۱۷۰,۲	۱۷۹,۳	۴	۵
۱۵۱,۶	۱۶۰,۹	۱۷۳,۴	۱۸۲,۵	۵	۵
۱۴۶,۲	۱۵۸,۱	۱۶۸,۸	۱۷۸	۶	۵
۱۷۶,۴	۱۸۷,۳	۱۹۶,۵	۲۰۷,۶	۱	۶
۱۷۹,۱	۱۹۱,۲	۱۹۸,۹	۲۰۹,۷	۲	۶
۱۷۸,۳	۱۸۹,۱	۱۹۷,۱	۲۰۸,۸	۳	۶
۱۸۱,۶	۱۹۲,۳	۲۰۴,۷	۲۱۴	۴	۶
۱۸۰,۷	۱۹۳,۱	۲۰۱,۴	۲۱۱,۶	۵	۶
۱۷۵,۳	۱۸۶,۱	۱۹۴,۳	۲۰۶,۷	۶	۶
۱۹۶,۶	۲۰۶,۳	۲۱۱,۳	۲۱۹,۷	۱	۷
۱۹۰,۵	۱۹۶,۴	۲۰۵,۳	۲۱۱,۳	۲	۷
۱۹۵,۳	۲۰۱,۲	۲۰۸,۸	۲۱۶,۴	۳	۷
۱۹۷,۴	۲۰۳,۳	۲۰۹,۴	۲۱۷,۷	۴	۷
۱۹۷,۱	۲۰۴,۴	۲۱۱,۵	۲۱۸,۴	۵	۷
۱۹۶,۶	۲۰۴,۵	۲۱۰,۴	۲۱۸	۶	۷
۱۸۹,۴	۲۰۶,۶	۲۰۲,۴	۲۰۷,۶	۱	۸



ادامه جدول ۹. توزین نمونه‌ها

نمونه	کد نمونه	وزن نمونه پس از ۵روز(برحسب گرم)	وزن نمونه پس از ۱۰روز(برحسب گرم)	وزن نمونه پس از ۱۵روز(برحسب گرم)	وزن نمونه پس از ۲۰روز(برحسب گرم)
۸	۲	۲۰۰,۷	۱۹۵,۴	۱۹۱,۲	۱۸۳,۲
۸	۳	۲۱۱	۲۰۶,۳	۲۰۰,۳	۱۹۴,۸
۸	۴	۱۹۳,۱	۱۸۸,۴	۱۸۵,۴	۱۷۶,۴
۸	۵	۲۱۲,۹	۲۰۷,۴	۲۰۱,۳	۱۹۵,۵
۸	۶	۱۹۷,۶	۱۹۲,۵	۱۸۹,۷	۱۸۰,۵
۹	۱	۲۰۲,۲	۱۹۶	۱۹۱,۳	۱۸۵,۵
۹	۲	۲۱۷,۱	۲۱۲,۷	۲۰۵,۲	۲۰۱,۸
۹	۳	۲۰۶,۳	۲۰۱,۴	۱۹۶,۵	۱۹۰,۶
۹	۴	۲۰۸	۲۰۳,۴	۱۹۸,۴	۱۹۲,۳
۹	۵	۲۱۴	۲۰۹,۹	۲۰۶,۵	۲۰۲,۴
۹	۶	۲۱۱,۳	۲۰۶,۷	۲۰۱,۲	۱۹۵,۴
۱۰	۱	۲۱۲,۶	۲۰۴,۵	۱۹۶,۳	۱۸۹,۹
۱۰	۲	۲۰۶,۶	۱۹۹,۴	۱۹۰,۲	۱۸۲,۳
۱۰	۳	۲۰۵,۲	۱۹۸,۳	۱۸۸,۳	۱۸۱,۲
۱۰	۴	۲۰۷,۴	۲۰۱,۴	۱۹۰,۳	۱۸۲,۳
۱۰	۵	۲۱۳,۵	۱۹۱,۷	۱۸۴,۵	۱۷۶,۲
۱۰	۶	۲۰۶,۱	۱۹۸,۸	۱۹۱,۳	۱۸۳

(نگارندگان)

#### ۲-۷. محاسبه جرم حجمی، تخلخل و جذب آب

مقادیر وزن خشک، جرم حجمی، وزن نمونه اشباع از آب، حجم ظاهری و تخلخل درصد جذب آب در مورد ۲۰، نمونه تصادفی از ۱۰ گروه ساروج ساخته شده که مطابق با (جدول ۱۰) است.

#### ۳-۷. اندازه‌گیری ارتفاع موئینگی

مصالح متخلخل از طریق عامل موئینگی، می‌توانند منافذ خود را با مایع مرطوب کننده پر کنند. خیزش رطوبت آب و یا هر مایع دیگری در این گونه مصالح با نیروهای کشش سطحی که در فصل مشترک دو فازها جامد و مایع عمل می‌کنند، صورت می‌پذیرد (گروه مؤلفان، ۱۳۸۵: ۳۴). از هر گروه، دو نمونه مکعبی گزینش شد و روی اسفنج مرطوب قرار گرفت و میزان صعود آب طی ۲ ساعت، ثبت گردید (جدول ۱۱).

#### ۴-۷. مقاومت فشاری

برای تعیین مقاومت فشاری گروه‌های ساروج، ابتدا نمونه‌های هر گروه به دودسته تقسیم شدند. نمونه‌های دسته اول برای تعیین مقاومت فشاری در حالت خشک ۸۰ روز در محفظه‌هایی دردمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا به تدریج خشک شوند. نمونه‌های دسته دوم برای آگاهی از شرایط گیرش در آب و تعیین مقاومت فشاری در این حالت، از روز دوم به مدت ۷۹ روز داخل آب مقطر قرار گرفتند و نهایتاً، برای انجام آزمایش

خشک شدند. در هر گروه آزمایش روی سه نمونه‌ها انجام شده، سپس، میانگین مقاومت فشاری سه نمونه به عنوان مقاومت فشاری آن گروه محاسبه گردید. شرایط آزمایش نمونه‌ها به صورت کنترل شده طبق استاندارد (ASTM C270-64T) و نیز دستورالعمل شماره ۷۰۶ چاپ ۶ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران صورت گرفت. سرعت بارگذاری روی نمونه‌ها با ابعاد مکعبی (۵×۵×۵) سانتی متر ۵۰ kg/s در نظر گرفته شد. (۵۰ کیلوگرم در ثانیه). واحد مقاومت فشاری نمونه‌ها نیز  $kg/cm^2$  (کیلوگرم بر سانتی متر مربع) است. با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان گفت که نمونه‌های (۵ و ۶ و ۷) از مقاومت فشاری در حالت خشک بهتر و نمونه‌های (۷ و ۸ و ۱۰) از مقاومت فشاری در حالت گیرش در آب بهتر برخوردار بودند (جدول ۱۲).

#### ۵-۷. مقاومت در مقابل یخبندان

مقاومت در برابر یخبندان، خاصیتی از مصالح است که موجب می‌شود مصالح اشباع از آب و یا مرطوب، ضمن تحمل چرخه‌های متوالی یخ‌زدن-ذوب شدن، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، به ویژه مقاومت خود را از دست ندهند. مقاومت در برابر یخبندان به چگالی، نم‌پذیری (جذب رطوبت)، تخلخل و به ویژه کیفیت و نحوه خلل و فرج مصالح بستگی دارد.

جدول ۱۰. جرم حجمی، تخلخل و جذب آب نمونه‌ها

نمونه	A وزن خشک (gr)	B پس از ۲۴ ساعت وزن نمونه اشباع (gr)	C ظاهری حجم نمونه (mlit)	تخلخل درصد $\frac{B-A}{C} \times 100$	درصد جذب آب $\frac{B-A}{A}$	جرم حجمی $\frac{B}{C}$
۱	۱۸۱/۶	۲۱۲/۳	۱۲۷	۲۴/۱۷	۱۶/۹۰	۱/۶۷
۱x	۱۸۴/۴	۲۱۳/۴	۱۲۵	۲۳/۲	۱۵/۷۲	۱/۷۰
۲	۱۴۲/۳	۱۵۱/۵	۱۱۰	۸/۳۶	۶/۴۶	۱/۳۷
۲x	۱۴۹/۱	۱۵۵/۴	۱۱۴	۵/۵۲	۴/۲۲	۱/۳۶
۳	۱۶۴/۵	۱۸۹/۶	۱۱۵	۲۱/۸۲	۱۵/۲۵	۱/۶۴
۳x	۱۷۶	۱۹۱/۲	۱۳۵	۱۱/۲۵	۸/۶۳	۱/۴۱
۴	۱۶۷/۷	۲۰۵	۱۱۵	۳۲/۴۳	۲۲/۳۴	۱/۷۸
۴x	۱۷۶/۳	۲۰۴/۷	۱۲۶	۲۲/۵۳	۱۶/۱۰	۱/۶۲
۵	۱۵۰/۲	۱۷۳	۱۱۶	۱۹/۶۵	۱۵/۱۷	۱/۴۹
۵x	۱۵۱/۶	۱۷۲/۸	۱۰۰	۲/۱۲	۱۳/۹۸	۱/۷۲
۶	۱۸۱/۶	۱۹۹/۴	۱۲۰	۱۴/۸۳	۹/۸۰	۱/۶۶
۶x	۱۸۰/۷	۱۹۹/۵	۱۲۵	۱۵/۰۴	۱۰/۴۰	۱/۵۹
۷	۱۹۷/۱	۲۱۶/۷	۱۳۱	۱۴/۹۶	۹/۹۴	۱/۶۵
۷x	۲۰۰/۴	۲۲۳/۴	۱۳۵	۱۷/۰۳	۱۱/۴۷	۱/۶۵
۸	۱۹۵/۵	۲۱۰/۷	۱۲۶	۱۲/۰۶	۷/۷۷	۱/۶۷
۸x	۱۹۴/۸	۲۱۲/۹	۱۲۵	۱۴/۴۸	۹/۲۹	۱/۷۰
۹	۱۹۹/۴	۲۰۸/۹	۱۲۸	۷/۴۲	۴/۷۶	۱/۶۳
۹x	۲۰۲/۴	۲۱۲/۳	۱۲۸	۷/۷۳	۴/۸۹	۱/۶۵
۱۰	۱۸۹/۹	۲۰۷/۳	۱۲۸	۱۳/۵۹	۹/۱۶	۱/۶۱
۱۰x	۱۸۳	۲۰۵/۳	۱۳۳	۱۶/۷۶	۱۲/۱۸	۱/۵۴

(نگارندگان)

جدول ۱۱. موئینگی آب در نمونه‌ها (حرکت آب روبه بالا در واحد زمان برحسب سانتی‌متر)

زمان / کد نمونه	۱x	۱	۲x	۲	۳x	۳	۴x	۴	۵x	۵	۶x	۶	۷x	۷	۸x	۸	۹x	۹	۱۰x	۱۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲min	۱,۲	۱,۵	۰,۵	۰,۵	۱	۱,۲	۱,۱	۰,۷۵	۰,۷۵	۱	۰,۷۵	۱,۵	۱,۲	۱,۵	۱,۲	۱,۵	۱,۵	۱,۵	۲	۱,۵
۱۰	۱,۵	۱,۵	۰,۷۵	۰,۷۵	۱,۲	۱,۲	۱,۵	۱,۷	۱,۵	۱	۰,۷۵	۱,۵	۱,۷	۲	۱,۷	۱,۸	۱,۶	۱,۷	۳	۲,۷
۱۶	۱,۷	۱,۸	۱,۱	۱,۲	۱,۵	۱,۸	۲	۱,۷	۱,۵	۱	۰,۷۵	۱,۵	۱,۷	۲	۲,۷	۲,۷	۲	۲,۷	۴	۳,۵
۲۱	۲,۱	۲,۳	۱,۷	۱,۷	۲	۲,۵	۲,۲	۲	۱	۱	۱	۱,۳	۱,۷	۳	۳	۲,۱	۲,۲	۲,۵	۴,۲	۴
۲۷	۲,۲	۲,۵	۲	۲	۲,۱	۲,۶	۲,۵	۲,۲	۱,۱	۱,۱	۲	۱,۵	۲,۲	۳,۲	۲,۲	۲,۱	۲,۷	۳	۴,۳	۴,۲
۳۴	۲,۵	۲,۷	۲,۲	۲,۲	۲,۵	۲,۴	۲,۳	۲,۴	۱,۵	۱,۲	۲,۲	۲,۲	۲,۲	۴	۲,۷	۲,۸	۳,۲	۳,۳	۴,۵	۴,۵
۴۰	۳	۳,۱	۲,۵	۲,۵	۳,۱	۳,۲	۳,۱	۳,۲	۲	۲	۳,۶	۲,۵	۳,۱	۴	۳,۲	۴,۱	۳,۸	۳,۷	۴,۷	۴,۸
۴۶	۳,۱	۳,۲	۲,۷	۲,۷	۳,۲	۳,۲	۳,۵	۳,۲	۱,۶	۱,۶	۲,۲	۲,۷	۳,۲	۴,۲	۴,۳	۳,۱	۳,۹	۴	۵	۵
۵۳	۳,۵	۴	۳,۹	۳	۳,۷	۴	۳,۷	۴	۲,۵	۲	۳	۳,۵	۴,۷	۴,۵	۳,۵	۳,۴	۴,۲	۴,۵		
۶۰	۴	۴,۲	۳,۲	۳,۳	۴	۴,۵	۴	۴,۵	۲,۲	۲,۲	۳,۲	۳,۵	۴,۷	۵	۴	۴,۷	۴,۳	۴,۷		
۷۰	۴,۲	۴,۵	۳,۶	۳,۵	۴,۱	۴,۲	۴,۵	۴,۲	۲,۴	۲,۴	۳,۴	۳,۷	۴,۱	۴,۲	۴,۲	۴,۵	۴,۵	۴,۸		
۷۷	۴,۵	۴,۸	۳,۸	۳,۷	۴,۵	۴,۴	۴,۹	۴,۴	۲,۷	۲,۷	۴,۶	۴,۱	۴,۶	۴,۶	۴,۶	۴,۵	۴,۶	۵	۵	۵
۸۳	۵	۵	۴,۳	۴,۲	۵	۵	۴,۳	۴,۶	۴,۱	۴,۱	۴,۶	۴,۵	۴,۸	۴,۸	۴,۸	۴,۵	۴,۶	۴,۷		
۸۹		۴,۶	۴,۸	۴,۶	۴,۱	۴,۱	۴,۱	۴,۳	۳,۷	۴,۱	۴,۱	۴,۲	۴,۱	۴,۲	۴,۷	۴,۶	۴,۷	۴,۷		
۹۵		۵	۵	۵	۴,۱	۴,۱	۴,۳	۴,۳	۴,۱	۴,۱	۴,۳	۴,۲	۴,۱	۴,۲	۴,۷	۴,۸	۴,۷	۴,۷		
۱۰۵					۴,۴	۴,۴	۴,۵	۴,۵	۴,۴	۴,۴	۴,۴	۴,۵	۴,۳	۴,۳	۴,۸	۴,۸	۴,۸	۴,۸		
۱۱۲					۴,۸	۴,۸	۴,۸	۴,۸	۴,۶	۴,۶	۴,۶	۴,۶	۴,۵	۴,۵	۵	۵	۵	۵		
۱۲۰					۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵						
۱۳۰																				

(نگارندگان)



جدول ۱۲. میزان مقاومت فشاری نمونه‌ها در حالت خشک و اشباع

شماره نمونه	مقاومت فشاری در نمونه های خشک (KGR/CM <sup>2</sup> )			مقاومت فشاری نمونه ی آبی (۸۰روز در آب)			میانگین مقاومت نمونه خشک	میانگین مقاومت نمونه خیس
	۶	۶	۷	۴	۵	۴		
۱	۶	۶	۷	۴	۵	۴	۶,۳	۴,۳
۲	۷	۶	۷	-	-	-	۶,۶	مقاومت بسیار کم
۳	۱۲	۱۰	۱۳	۶	۶	۵	۱۱,۶	۵,۶
۴	۱۲	۸	۱۰	-	-	-	۱۰	-
۵	۱۷	۱۶	۱۵	۷	۸	۷	۱۶	۷,۳
۶	۱۴	۱۱	۱۲	۹	۱۰	۸	۱۲,۳	۹
۷	۱۲	۱۲	۱۶	۱۸	۱۸	۱۶	۱۳,۳	۱۷,۳
۸	۸	۱۰	۷	۱۶	۱۴	۱۵	۸,۳	۱۵
۹	۹	۹	۱۰	۱۲	۱۲	۱۲	۱۰,۳	۱۱,۳
۱۰	۸	۸	۹	۱۴	۱۴	۱۳	۹	۱۳,۷

(نگارندگان)

جدول ۱۳. ضریب یخبندان

شماره نمونه	R <sub>ws</sub>	R <sub>fr</sub>	K <sub>f</sub>
۱	۶	۵	۰,۸۳
۲	۳	۲	۰,۶۶
۳	۶,۵	۳	۰,۴۶
۴	۴	۳,۱	۰,۷۷
۵	۸	۱,۶	۰,۲
۶	۱۰	۲,۵	۰,۲۵
۷	۱۷	۱۴,۴۵	۰,۸۵
۸	۱۷	۱۵,۴	۰,۹۰
۹	۱۳	۶	۰,۴۶
۱۰	۱۵	۵	۰,۳۳

(نگارندگان)

مصالح متراکم و دارای حفره‌های ریزبسته، مقاومت خوبی در برابر یخبندان دارند. درحالی‌که، مقاومت مصالح متخلخل در برابر یخبندان کمتر است. البته، این مقاومت بستگی به آن دارد که آب، بیش از ۸۵ درصد نفوذ آنها را پر نکرده باشد که این تاحدودی، می‌تواند (ممکن است) قابل قبول باشد. به‌طور کمی مقاومت به یخبندان مصالح، در آزمایشگاه با تعداد سیکل‌های ذوب-انجماد که نمونه‌ای از مصالح در شرایط اشباع از آب را می‌تواند تحمل کند، مشخص می‌شود. البته به شرط اینکه، افت مقاومت فشاری و وزن نمونه به ترتیب از ۲۵ درصد و ۵ درصد بیشتر نباشد. دمای یخبندان برای ملات معمولاً پایین‌تر از ۱۷ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته نمی‌شود. اگرچه، آزمایش‌هایی نیز گزارش شده که دمای یخ‌زدگی مصالح را در آنها تا ۶۴ درجه سانتی‌گراد رسانیده‌اند.

از نظر تعداد سیکل‌های ذوب-انجماد، معمولاً برای آزمایش مصالح تشکیل‌دهنده دیوارهای پیرامونی ساختمان‌ها ۱۵ تا ۳۵ سیکل در نظر گرفته می‌شود که در این آزمایش، ۲۵ سیکل ذوب-انجماد انجام شد. آزمایش‌های یخ‌زدگی مصالح در نهایت، منجر به محاسبه ضریبی موسوم به ضریب مقاومت به یخبندان می‌شود.

$$K_f = R_{fr} / R_{ws}$$

R<sub>fr</sub> = مقاومت فشاری نمونه پس از تحمل سیکل‌های ذوب-انجماد.

R<sub>ws</sub> = مقاومت فشاری نمونه در حالت اشباع از آب و قبل از یخ‌زدن.

مصالحی که K<sub>f</sub> آنها بیشتر از ۰/۷۵ باشد، در برابر یخبندان پایدار، شناخته می‌شوند (همان: ۳۸)، (جدول ۱۳). براساس نتایج مندرج در (جدول ۹)، نمونه‌های (۸ و ۷، ۱، ۴) نسبت به یخبندان مقاومت خوبی داشته‌اند.





## نتیجه‌گیری

با مقایسه تمامی نمونه‌ها (جدول ۱۴) و نتایج آزمایش‌های مختلف روی آنها، می‌توان کاربردهای متفاوتی برای این ملات‌ها در نظر گرفت. برای نمونه، ملات‌هایی با میزان خاکستر بالا برای کاربرد در شرایط مرطوب، مناسب هستند (نمونه ۷). ملات‌هایی با میزان خاک رس بالا برای استفاده در شرایط خشک مفید هستند (نمونه ۵). نمونه‌هایی با مقاومت فشاری بالا در حالت اشباع و مقاوم در برابر یخبندان برای استفاده در محیط‌های سرد و مرطوب مناسب هستند (نمونه‌های ۷ و ۸).

در مجموع، این چنین می‌توان بیان داشت که از لحاظ مقاومت فشاری، (نمونه‌های ۵، ۶ و ۷) از بهترین نمونه‌ها برای محیط‌های خشک و (نمونه‌های ۷، ۸ و ۱۰) از بهترین نمونه‌ها برای محیط‌های مرطوب هستند. از میان آنها، (نمونه‌های ۷ و ۸) برای محیط‌های سرد و مرطوب از همه بهتر هستند. باید یادآور شد که نحوه و کیفیت ساخت ملات، عمل‌آوری و نگهداری آن تا پایان واکنش‌های شیمیایی، تأثیر بسیار مهمی روی کیفیت ملات خواهد داشت. برای بررسی جزئیات نمونه‌ها از نظر خصوصیات فازهای تشکیل‌دهنده و مقایسه آنها با نمونه‌های تاریخی روی (نمونه‌های ۲ و ۶)، آنالیز (XRD) صورت گرفت.

(نمونه ۲)، جزء ضعیف‌ترین نمونه‌ها و (نمونه ۶)، جزء نمونه‌های خوب برای محیط‌های خشک است. مقاومت (نمونه ۶) برای محیط‌های مرطوب نیز به نسبت خوب است. مقاومت نمونه خیس آن  $9 \text{ kg/cm}^2$  است. از مقایسه نتایج آنالیز (XRD) دو نمونه بالا نیز نتایج جالبی به دست آمد؛ وجود میزان قابل توجهی از  $\text{Ca(OH)}_2$  یا همان آهک شکفته به دلیل کامل نشدن واکنش‌های آهک با  $\text{CO}_2$  برای تشکیل کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) و واکنش‌های آهک با  $\text{SiO}_2$  برای تشکیل سیلیکات کلسیم ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) است که آن هم به علت عمر کوتاه نمونه است.

(نمونه ۲)، با میزان کربنات کلسیم بیشتر مقاومت کمتری دارد حال آنکه، در (نمونه ۶)، میزان سیلیس و ترکیبات آن بیشتر است. از این رو، مقاومت بهتری دارد. مقدار کوارتز در (نمونه ۶)، به دلیل استفاده بیشتر از ماسه، بالاتر است. در این نمونه به سبب استفاده از خاک رس بیشتر، درصد آلبیت نیز بالاتر است. حضور موسکویت در این دو نمونه هم، بیانگر به کارگیری خاک رس در ساخت آنها است که همراه آلبیت آشکار می‌شود. در مقایسه با ملات‌های مشابه تاریخی در این دو نمونه، میزان کلینوکلر ناچیز است که دلیل آن، عمر کوتاه نمونه‌ها است چراکه، ایجاد این فاز به زمان بیشتری نیاز دارد (جدول ۱۵).

جدول ۱۴. مقایسه تمامی نمونه‌های ساخته شده

شماره نمونه	میانگین درصد تخلخل	میانگین درصد جذب آب	میانگین جرم حجمی	میانگین مقاومت فشاری نمونه خشک	میانگین مقاومت فشاری نمونه تر	ضریب مقاومت یخبندان	درصد آهک	درصد خاکستر	درصد لویی	درصد ماسه	درصد خاک رس	درصد انقباض درحین گیرش
۱	۲۳٫۶۸	۱۶٫۳۱	۱٫۶۸	۶٫۴	۵٫۵	۰٫۸۳	۳۳٫۷۹	۹٫۶۲	۷٫۲۳	۳۸٫۵۶	۱۰٫۸۵	۱٫۸
۲	۶٫۹۴	۵٫۳۴	۱٫۳۶	۶٫۲	بسیار کم	۰٫۶۶	۴۴٫۴۴	۳۱٫۱۱	۸٫۸۸	۸٫۸۸	۶٫۶۶	۲٫۵
۳	۱۶٫۵۳	۱۱٫۹۴	۱٫۵۲	۱۱٫۶	۶٫۱	۰٫۴۶	۳۱	۲۱٫۵	۸٫۶۲	۳۸٫۷۹	-	۰٫۸
۴	۲۷٫۴۸	۱۹٫۱۷	۱٫۷	۱۰	-	۰٫۷۷	۳۱٫۷	۲۰٫۳۲	۸٫۱۳	۳۴٫۱۵	۴٫۸۷	۱
۵	۲۰٫۴۲	۱۴٫۵۷	۱٫۶	۱۶٫۲	۷٫۸	۰٫۲۰	۵۱٫۴۲	۸٫۵۷	۶	-	۳۴	۲٫۸
۶	۱۵٫۱۱	۱۰٫۱	۱٫۶۲	۱۲٫۴	۹٫۸	۰٫۲۵	۳۶	-	۸٫۵	۳۰	۲۵	۲٫۱
۷	۱۵٫۹۹	۱۰٫۷۰	۱٫۶۵	۱۳٫۶	۱۷٫۳	۰٫۸۵	۳۲	۴۰	۸	۲۰	-	۱٫۵
۸	۱۳٫۲۷	۸٫۵۳	۱٫۶۸	۸٫۲	۱۶٫۱	۰٫۹۰	۳۲	۲۰	۸	۲۰	۲۰	۱٫۳
۹	۷٫۵۷	۴٫۸۲	۱٫۶۴	۱۰٫۴	۱۲٫۵	۰٫۴۶	۲۷٫۹۲	۲۲٫۵۲	۹	۲۷٫۰۲	۱۳٫۵۱	۰٫۳
۱۰	۱۵٫۱۷	۱۰٫۶۷	۱٫۵۷	۸٫۴	۱۴٫۳	۰٫۳۳	۲۸٫۵۷	۲۸٫۵۷	۹٫۵۲	۲۸٫۵۷	۴٫۲۶	۰٫۵

(نگارندگان)

Compound Name	Formula	Concentration 2 (% W/W)	Concentration 6 (% W/W)
Portlandite,syn	Ca (OH)2	39.3	29.8
Quartz,syn	SiO2	16.1	31
Calcite,syn	CaCO3	34.7	26.4
Muscovite	H2KA13(SiO4)3	4.3	4.4
Clinochlore	Mg-Fe-Fe-,Al-Si-O-OH	1.4	2.2
Albit, calcian,ordered	Na,Ca)Al(Si,Al)3O8)	4.1	6.2

(نگارندگان)

### سپاس‌گزاری

در پایان، بر خود لازم می‌دانیم که از کارمندان دانشگاه هنر اصفهان به‌ویژه دانشکده مرمت که امکان این مطالعه را با در اختیار گذاشتن امکانات آزمایشگاهی برای ما فراهم آوردند، مراتب تشکر و امتنان خود را بیان کنیم.

### پی‌نوشت

1- Hydraulicity

2- Roman lime

۳- **آنالیز (X-ray Diffraction) XRD**: از آنالیزهای دستگاهی است که برای شناسایی کیفی انواع کانی‌ها (دارای ساختار بلوری) و فازهای موجود در مواد، استفاده می‌شود. از جمله مواد قابل شناسایی با این دستگاه انواع سنگ‌ها، سرامیک‌ها (سفال و آجر و...)، ملات‌ها، خاک‌ها و محصولات خوردگی آثار فلزی است (هادیان، ۱۳۸۶: ۱۸۴).

۴- **آنالیز (Thermal Methods) TG/DTG**: این نوع آنالیز، جزء آزمایش‌های حرارتی به‌شمار می‌رود. آنالیز TG/DTG در مورد نمونه‌هایی قابل اجزاست که امکان وجود مواد آلی به‌صورت قابل توجه در آن نمونه موجود باشد (همان: ۱۷۵).

۵- **حدود آتربرگ** (atterberg) به‌عنوان درصد رطوبت متناظر با شرایط رفتاری متفاوت سیلیت‌ها و رس‌ها تعریف شده‌است. اگرچه در اصل، آلبرت آتربرگ (۱۹۱۱) شش محدوده را تعریف کرده‌است لیکن در مهندسی ژئوتکنیک اصطلاح حدود آتربرگ تنها به حد روانی (LL)، حد خمیری (PL) و حد انقباض (SL)، اطلاق می‌گردد.

6- Clinochlore

7- (Plastic Index) PI

8- (Liquid Limit) LL

9- Quartz

### منابع

- الکرچی، ابوبکر محمد بن الحاسب (۱۳۴۵). استخراج آبهای پنهانی، ترجمه حسین خدیو جم، تهران: بنیاد فرهنگ ایران.
- حامی، احمد (۱۳۷۸). **مصالح ساختمانی**، تهران: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- حسینی سیر، حسین (۱۳۸۱). (بررسی ملات‌های به‌کاربرده شده در ذیقورات چغازنبیل، بهینه‌سازی و ساخت ملات حفاظتی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.
- رحیمی، حسن (۱۳۸۵). **مصالح ساختمانی**، تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- گروه مؤلفان (۱۳۸۵). **مصالح ساختمانی**، یادنامه احمد حامی، ویراستار جواد فرید، تهران: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- هادیان، منیژه (۱۳۸۶). کاربری پژوهش‌های آزمایشگاهی در حفاظت و مرمت بناهای تاریخی، تهران: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.



- ASTM. Annual Book of ASTM Standard. Standard specification for building. (1988).
- Bognton, R.S. (1966). **Chemistry and Technology of Lime and Limestone**. New York: Interscience.
- Cowper, A.D. (1998). **Lime and Lime Mortars**. London: Donhead.
- Ellis, P. (2002). The analysis of mortars: The past 20years. *www.building conservation.com* (accessed 13 September 2006).
- Ropp (Rip), D. (2004). Characterization of Mortars and Pozzolanic Materials from Umm al-Jimal. **Studies in Conservation**, Vol 49.N 3: 145.



Received:2011/06/22

Accepted:2013/05/12



## **An Investigation of Historical Lime Mortars (Saruj) Case study: Shahzadeha public bath in Isfahan**

**Dariush Heidari\* Hamed Younesi\*\* Gholamreza Vatankhah\*\*\***

### **Abstract**

Having an old civilization, Persia is among important countries in the world with rich architecture. The remains of different historical periods show not only the evolution and transformation of Persian architecture but also the evolution and development of knowledge of static, structure and production of different kinds of building materials.

Sustainability of Persian architecture is due to different parameters among which building materials is one of the main principles of monuments' survival.

Persians have used their talents to devise a variety of mortars suitable for the conditions of each building. Due to the smart considerations in mortar production, these mortars are still very well preserved and have not lost their qualities after centuries. This paper investigates the structure and composition of a special kind of mortar which is very important in choosing the suitable method of conservation and restoration. This mortar is a kind of historical lime one – Saruj – which has been identified and accordingly a method for its preparation has been proposed which is suitable for conservation and restoration purposes.

**Keywords:** historical mortar, lime mortar, Saruj, XRD, TG/DTG

---

Lecturer, Faculty of Restoration, Art University of Isfahan, Iran.

M.Sc, Faculty of Restoration, Art University of Isfahan, Iran.

Assistant Professor, Faculty of Restoration, Art University of Isfahan, Iran.