

وزارت علوم ، تحقیقات و فن آوری



دانشکده : هنر های کاربردی

پایان نامه تحصیلی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته : مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی

عنوان

بررسی استحکام بخشی و حفاظت از سنگ آهک سیاه در محوطه میراث
جهانی پاسارگاد با استفاده از پلیمرها، امکان سنجی استفاده از نانوذرات

استاد راهنما

دکتر محمد حسن طالبیان

استاد راهنمای بخش تجربی

دکتر گیتی میرمحمدصادقی

استاد مشاور

رضا وحیدزاده

نگارش و تمقیق

مهشید عطاری

شهریور ۱۳۸۸

به نام هنرمند هستی

تقدیم به

بهترین های زندگی،

مادر نازنین و پدر عزیزمی.....

که هر چه می دانم از روشنایی وجود آنان است

سپاس از:

- جناب آقای **دکتر محمد حسن طالبیان** استاد راهنما و مدیر محترم پروژه پارسه و پاسارگاد که با سعه صدر پاسخگو و راهنمای اینجانب بوده اند و نهایت همکاری را در تمام مراحل این پژوهش از جمله ارائه امکانات مورد نیاز در مراحل انجام بررسی های میدانی و همچنین جمع آوری مدارک و اسناد داشته اند.
- سرکار خانم **دکتر گیتی میرمحمد صادقی** راهنمای بخش عملی که بی شک آغاز و به سرانجام رساندن این پایان نامه مرهون راهنمایی و تلاش علمی و همچنین بذل توجه ایشان در فراهم آوردن امکانات آزمایشگاهی، مواد و شرایط لازم برای پژوهش های بخش تجربی است.
- جناب آقای **رضا وحیدزاده** استاد محترم مشاور پایان نامه که از ابتدا و در تمام مراحل تحقیق، تنظیم و تدوین مطالب پایان نامه از مشاوره و کمک ایشان بهره مند گردیدم .
- جناب آقای **دکتر سامانیان** ریاست محترم دانشکده تحصیلات تکمیلی، جناب آقای **محمد حسن اثباتی** مدیر محترم گروه مرمت دانشگاه هنر، **سرکار خانم اشراقی و سرکار خانم ممقانی** که همواره سعی در حل مشکلات فراوان دانشجویان این رشته داشتند و در تمام طول دوران کارشناسی ارشد، به ویژه در مراحل تصویب پایان نامه و برگزاری جلسه دفاع مساعدت و همکاری فراوان نمودند.

- جناب آقای **حمید فدایی** مسئول محترم بخش تزئینات وابسته به معماری پژوهشکده مرمت که از ابتدای این پژوهش با سعه صدر پاسخگوی سوالات اینجانب بوده اند و از هیچ گونه همکاری دریغ نکرده اند.
- جناب **استاد راهساز** مدیر اجرایی اقدامات مرمت سنگ پروژه پارسه و پاسارگاد، که با بذل توجه فراوان در محوطه پارسه و پاسارگاد پاسخگوی سئوالات اینجانب بودند.
- جناب آقایان **مهندس زمانی و مهندس گنجی** کارشناسان محترم آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک که در رابطه با آزمایشات مربوطه و اطلاعات لازم نهایت همکاری را با اینجانب نمودند.
- سرکار خانم **مهندس طاهری** که با بزرگواری اطلاعات و تجربیات خود در زمینه پژوهش را در اختیارم نهادند.
- **تمامی کارکنان محترم پایگاه پاسارگاد** به ویژه سرکار خانم **گرامی**، سرکار خانم **صمیمی**، جناب آقای **کرمی** و جناب آقای **زارع** که در زمینه ارائه اطلاعات و امکانات مورد نیاز، نهایت همکاری را داشتند.
- سرکار خانم **مهندس زهرا سعیدی** که در چندین نوبت در بررسی های میدانی محوطه پاسارگاد، با لطف فراوان، راهنمای اینجانب بوده اند و همین طور نتایج مطالعات زمین شناسی و سنگ شناسی خود در این محوطه را در اختیارم گذاردند.
- خانم ها **زهرا خضری**، **زهرا ساریخانی** و **افسون خواجه پور** که در طول دوران کارشناسی ارشد و تمامی مراحل تدوین پایان نامه به ویژه در بررسی های میدانی در پاسارگاد با همراهی و همدلی، مرا یاری کردند.

و سپاس فراوان

از **خانواده ام**، همراهان همیشگی ای که در دوران تحصیل و مراحل مختلف تدوین پایان نامه یاور و پشتیبانم بودند.

چکیده:

در برخی بازمانده های معماری محوطه میراث جهانی پاسارگاد، همچون پایه ستون ها و نقش برجسته های ورودی کاخ های بارعام، اختصاصی و دروازه، سنگ آهکی سیاه رنگی به کار رفته است. در مطالعات میدانی و آزمایشگاهی مشخص شد که این سنگ از نوع سنگ آهک ریزبلور بوده و در طول سال های گذشته به دلایل ساختاری همچون ترک ها و ریزترک های موجود در آن تحت تاثیر عوامل مختلف محیطی مخصوصا رطوبت به شدت فرسوده گشته است. در این تحقیق در مرحله نخست و با استفاده از مطالعات کتابخانه ای و بررسی منابع موجود و مرتبط مشخص شد که پلیمرهای آکرلیکی و ترکیبات آلکوکسی سیلانی و کامپوزیت های این دو می توانند در بهبود وضعیت این سنگ و استحکام بخشی آن کمک کنند. فناوری های نوظهوری همچون نانوفناوری نیز با امکانات خود قادرند ویژگی های این استحکام بخش ها را با توجه به نیازهای درمانی سنگ بهبود بخشند.

در بخش عملی پس از تهیه و سنتز محلول های ۵٪ پارالوئید بی ۷۲، محلول ۵٪ لعاب آکرلیکی لاسکو، کامپوزیت ۳۰/۷۰ پارالوئید بی ۷۲ / آلکوکسی سیلان واکر، کامپوزیت ۳۰/۷۰ لعاب آکرلیکی لاسکو / آلکوکسی سیلان واکر، نانو کامپوزیت رس پارالوئید بی ۷۲ / آلکوکسی سیلان واکر و نانو کامپوزیت رس لعاب آکرلیکی لاسکو / آلکوکسی سیلان واکر، این مواد بر نمونه های سنگ آهک سیاه رنگ اعمال شده و نقش آن ها در بهبود خواص استحکام بخشی سنگ از طریق آزمون های مقاومت فشاری، زاویه تماس و میکروسکوپ الکترونی، در مقایسه با یکدیگر و همچنین با نمونه سنگ درمان نشده بررسی شد.

مشخص شد که در مجموع کلیه این مواد به غیر از پارالوئید بی ۷۲ خواص آبرانی سنگ را بهبود می بخشند. حضور نانو ذرات رس نقش چشمگیری در بهبود مقاومت سنگ ها دارد. تمام ترکیبات به جز ترکیب آلکوکسی سیلانی باعث تغییر در مورفولوژی سطح سنگ می شوند.

واژه های کلیدی: میراث جهانی، پاسارگاد، حفاظت و مرمت، استحکام بخش، سنگ آهک سیاه، پلیمر، نانو مواد

✓ فهرست مطالب:

شماره صفحه

۱

مقدمه

فصل ۱- مطالعات تاریخی و ساختاری محوطه میراث جهانی پاسارگاد

۱-۱- موقعیت جغرافیایی.....	۲
۲-۱- اقلیم پاسارگاد.....	۳
۱-۲-۱- مشخصات اقلیم سردو خشک.....	۴
۲-۲-۱- بررسی مستندات مربوط به اقلیم پاسارگاد.....	۴
۳-۱- پاسارگاد در گذر تاریخ.....	۴
۱-۳-۱- کوروش و تاسیس حکومت هخامنش.....	۵
۲-۳-۱- وجه تسمیه نام پاسارگاد.....	۶
۳-۳-۱- آثار معماری هخامنشی پاسارگاد در نگاهی کلی.....	۷
۴-۳-۱- سیر تحول آثار در دوره های بعد از هخامنشی.....	۱۳
۵-۳-۱- دوره های مرمتی در پاسارگاد.....	۱۴

✓ براینده فصل ۱

فصل ۲: شناخت و آسیب شناسی سنگ های آهکی سیاه پاسارگاد

۲-۱- شناخت سنگ ها و طبقه بندی آن ها.....	۲۰
۱-۱-۲- سنگ های رسوبی.....	۲۰
۲-۲-۲- سنگ آهک.....	۲۱
۲-۲-۲- ویژگیهای سنگ های تاریخی آهک سیاه رنگ در بازمانده های معماری پاسارگاد (کاخ اختصاصی و بارعام).....	۲۳
۱-۲-۲- ویژگیهای میکروسکوپی نمونه سنگ آهک سیاه رنگ.....	۲۴
۲-۲-۲- بررسی ساختار میکروسکوپی نمونه سنگ آهک سیاه رنگ.....	۲۹
۳-۲-۲- نتایج آزمون XRD.....	۳۰
۴-۲-۲- نتایج آزمون XRF.....	۳۰
۵-۲-۲- نتایج SEM.....	۳۱
۶-۲-۲- بررسی سنگ های مجموعه براساس آزمایش های فیزیکی و مکانیکی.....	۳۱
۳-۲-۲- آسیب شناسی و آسیب نگاری سنگ آهک سیاه رنگ.....	۳۸
۱-۳-۲- عوامل موثر در هوازدگی و بروز آسیب سنگ.....	۳۹
۳-۳-۲- بررسی انواع هوازدگی در سنگ آهک سیاه رنگ.....	۳۹
۳-۳-۲- تحلیل و نتیجه گیری آسیب شناسی سنگ آهک سیاه.....	۴۰

✓ براینده فصل ۲

فصل ۳- رزین ها و استحکام بخشی و حفاظت سنگ

۱-۳- رزین ها و پلیمرها.....	۴۶
۱-۱-۳- ویژگی های عمومی پلیمرها.....	۴۶
۲-۱-۳- فرایندهای تخریب پلیمری.....	۴۶
۲-۳- رزین های مورد استفاده در حفاظت و استحکام بخشی سنگ.....	۵۰
۱-۲-۳- رزین های آکرلیک.....	۵۲
۲-۲-۳- کو پلیمرهای آکرلیکی فلورینه شده.....	۵۴
۳-۲-۳- آکوکی سیلان ها.....	۵۵
۴-۲-۳- نقش سیلیکون ها در حفاظت از آثار تاریخی سنگی.....	۶۳

۳-۲-۵- مخلوط آکرلیک و آلکوکسی سیلان..... ۶۵
✓ برابند فصل ۳

فصل ۴- گزینش استحکام بخش مناسب برای انجام آزمون بر سنگ سیاه آهکی پاسارگاد

۴-۱-۱- بحثی پیرامون ماهیت استحکام بخشی یک ماده..... ۶۹
۴-۲- ویژگیهای یک استحکام بخش..... ۷۰
۴-۳- اولویت های استحکام بخشی سنگ آهک سیاه پاسارگاد..... ۷۳
۴-۴- روشهای سنجش و ارزیابی یک استحکام بخش..... ۷۴
۴-۱-۴- افزایش مقاومت و استحکام سنگ..... ۷۴
۴-۲-۴- درمان های آبران..... ۷۵
۴-۳-۴- عمق نفوذ مناسب..... ۷۹
۴-۴-۴- ویژگی های مورفولوژی سطح در بررسی با میکروسکوپ الکترونی..... ۸۶
✓ برابند فصل ۴

فصل ۵: فن آوری نانو و نقش آن در حفاظت از آثار تاریخی

۵-۱-۱- فن آوری نانو ۸۹
۵-۱-۱- پیشینه فن آوری نانو..... ۸۹
۵-۲-۱-۱- آجرینای فناوری نانو..... ۹۱
۵-۳-۱-۱- حوزه ها و کاربرد نانو فناوری..... ۹۲
۵-۴-۱-۱- انواع مواد نانو ساختار و کاربرد آن ها..... ۹۲
۵-۵-۱-۱- روش های شناسایی و آنالیز..... ۹۴
۵-۶-۱-۱- روش های فرآوری نانوذرات..... ۹۵
۵-۲-۱-۱- نانو کامپوزیت ها..... ۹۶
۵-۱-۲-۱-۱- نانو کامپوزیت های پایه پلیمری..... ۹۷
۵-۲-۲-۱-۱- نانو کامپوزیت های پایه پلیمری، روش های تولید..... ۹۷
۵-۳-۱-۱- نقش نانو فناوری در علم حفاظت از آثار تاریخی و میراث فرهنگی..... ۹۹
۵-۴-۱-۱- امکان سنجی استفاده از نانو فناوری در حفاظت سنگ آهک سیاه پاسارگاد..... ۱۰۶
۵-۱-۴-۱-۱- نانو ذرات خاک رس..... ۱۰۷
✓ برابند فصل ۵

فصل ۶: بخش عملی

۶-۱-۱- مشخصات و تجهیزات دستگاههای مورد استفاده..... ۱۱۴
۶-۲-۱- مشخصات مواد اولیه و نمونه سنگ های مورد استفاده در آزمون ها..... ۱۱۶
۶-۳-۱- بررسی دلایل انتخاب مواد، ترکیب درصدها، روشها و آزمایشها..... ۱۱۸
۶-۴-۱- نحوه تهیه و اعمال مواد مورد استفاده در آزمون..... ۱۲۰
۶-۴-۱-۱- نحوه تهیه ماده برای آزمون مقاومت چسبندگی..... ۱۲۰
۶-۴-۲- نحوه تهیه ماده برای سایر آزمون ها..... ۱۲۰
۶-۵-۱- آزمون ها..... ۱۲۲
۶-۱-۵- نحوه انجام آزمون ها..... ۱۲۲
۶-۲-۵- تحلیل نتایج آزمون ها..... ۱۲۲
۶-۳-۵- تحلیل نهایی نقش نانو ذرات رس..... ۱۳۶
۶-۴-۵- جمع بندی تحلیل نتایج آزمون ها..... ۱۳۷
✓ برابند فصل ۶

نتیجه گیری و ارائه رهنمودها و پیشنهادات حفاظتی.....	۱۳۹
کتابنامه	۱۴۴

فهرست پیوست ها :

پیوست ۱-۱- موقعیت قرارگیری بازمانده های معماری در محوطه میراث جهانی پاسارگاد.....	۱۵۱
پیوست ۱-۲- سند ثبت جهانی محوطه میراث جهانی پاسارگاد.....	۱۵۲
پیوست ۱-۳- طیف IR نمونه رزین برداشت شده از پایه ستون کاخ بارعام که معرف رزین اپوکسی است.....	۱۵۳
پیوست ۱-۲: طیف XRD نمونه سنگ آهک سیاه پاسارگاد	
- دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۷).....	۱۵۴
پیوست ۲-۲: نتایج آزمون XRF نمونه سنگ آهک سیاه پاسارگاد	
(دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۷)	۱۵۵
پیوست ۲-۳: نمای شماتیک از یک ستون کاخ بارعام و نحوه محاسبه	
فشار وارد به زیر ستون آن (سعیدی ۱۳۸۳).....	۱۵۶
پیوست ۲-۴: عوامل موثر در هوازدگی و بروز آسیب سنگ.....	۱۵۷
پیوست ۲-۵: طبقه بندی تظاهرات هوازدگی و آسیب سنگ آهک سیاه پاسارگاد	
در بازمانده های کاخهای اختصاصی، بارعام و دروازه بر اساس اطلس آسیب سنگ فیتزجر(۲۰۰۲).....	۱۵۸
پیوست ۱-۳: طبقه بندی انواع استحکام بخش های مورد استفاده در درمان سنگ.....	۱۶۴
پیوست ۲-۳: طبقه بندی انواع محصولات سیلیکونی (مایر، ۱۹۹۶).....	۱۶۵
پیوست ۱-۴: روشهای آزمایش و سنجش انتخاب/ ارزیابی محصولات مورد استفاده	
در حفاظت مواد ساختمانی متخلخل (تاباسو و سیمون، ۲۰۰۶).....	۱۶۶
پیوست ۲-۴: ویژگیهای آزمایشهای ارزیابی استحکام بخش ها(تاباسو و سیمون، ۲۰۰۶).....	۱۶۸
پیوست ۱-۵: نمودار درختی طبقه بندی زمینه های مختلف فناوری نانو.....	۱۷۰
پیوست ۲-۵: نمودار طبقه بندی نانومواد که گستردگی حیطه های آن ها را نشان می دهد.....	۱۷۱
پیوست ۳-۵: دسته بندی روشهای مختلف شناسایی و آنالیز مواد بر اساس ماهیت عملکرد آنها.....	۱۷۲
پیوست ۱-۶: کد نمونه های آزمون های مقاومت فشاری، یخبندان، زاویه تماس و میکروسکوپ الکترونی.....	۱۷۳
پیوست ۲-۶: نتایج سیکل چهارم آزمون یخبندان، آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، شهریور ۱۳۸۸.....	۱۷۵
پیوست ۳-۶: نتایج آزمون مقاومت فشاری، آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، شهریور ۱۳۸۸.....	۱۷۶
پیوست ۴-۶: نتایج آزمون زاویه تماس، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی، مرداد ۱۳۸۸.....	۱۷۷
پیوست ۵-۶: آزمون تعیین درصد جذب آب و دانسیته به روش اشباع و غوطه وری،	
آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک.....	۱۷۹
پیوست ۶-۶: آنالیز EDX بر روی سنگ حاوی نمونه پارالوئید/ سیلان.....	۱۸۰

✓ فهرست تصویرها:

عنوان

شماره صفحه

- تصویر ۱-۱- کاخ اختصاصی در تصویر هوایی گروه ژئوفیزیک فرانسوی - پاییز ۱۳۸۲..... ۲
- تصویر ۲-۱- نخستین منشور جهانی حقوق بشر که به فرمان کوروش هخامنشی بر روی لوحی گلین حک شده است . محل نگهداری: موزه انگلستان..... ۵
- تصویر ۳-۱- آزادسازی یهودیان دربند و اجازه بازگشت و بازسازی اورشلیم توسط کوروش کبیر..... ۵
- تصویر ۴-۱- موقعیت کاخ دروازه (قرمز)، کاخ بارعام (آبی) و کاخ اختصاصی (سبز) در محوطه پاسارگاد عکس هوایی سازمان نقشه برداری..... ۷
- تصویر ۵-۱- آرامگاه کوروش در سال ۱۳۱۴ با استفاده از کتاب پاسارگاد یا قدیمی ترین پایتخت کشور ایران..... ۸
- تصویر ۶-۱- آرامگاه کوروش وضع موجود با استفاده از آرشیو مرکز پژوهشی پاسارگاد..... ۸
- تصویر ۷-۱: نمای عمومی کاخ اختصاصی، عکس از نگارنده مرداد ۸۷..... ۸
- تصویر ۸-۱- طرح فرضی از کاخ اختصاصی ، برگرفته از کتاب پاسارگاد نوشته دیوید استروناخ..... ۹
- تصاویر ۹-۱ - منظر عمومی کاخ بارعام - وضع موجود، عکس از نگارنده ۹..... ۹
- تصویر ۱۰-۱- جرز با نقش انسان بالدار، ، بهار ۱۳۸۷، عکس موجود در پایگاه میراث جهانی پاسارگاد..... ۱۱
- تصویر ۱۱-۱- طرحی از نقش انسان بالدار برگرفته از کتاب سفر به ایران..... ۱۱
- تصویر ۱۲-۱ - آرامگاه کمبوجیه، بهار ۱۳۸۷، عکس موجود در پایگاه میراث جهانی پاسارگاد..... ۱۱
- تصویر ۱۳-۱ - منظر عمومی تل تخت، مرداد ۸۶، عکس از نگارنده..... ۱۲
- تصویر ۱۴-۱- بخشی از آبنماهای بوستان پاسارگاد پس از بارندگی، آذر ۸۶، عکس از نگارنده..... ۱۲
- تصویر ۱۵-۱- آبنماهای پیرامون کاخ اختصاصی در عکس هوایی گروه ژئوفیزیک فرانسوی..... ۱۲
- تصاویر ۱۶-۱ و ۱۷-۱ - وضعیت سکوهای برجای مانده از نیایشگاه موسوم به تخت کوهک، عکس موجود در پایگاه میراث جهانی پاسارگاد..... ۱۳
- تصویر ۱۸-۱: نمای عمومی کارونسرای مظفری، مرداد ۸۶، عکس از نگارنده..... ۱۴
- تصویر ۱۹-۱- نقش برجسته درگاه جنوب شرقی کاخ بار عام قبل از مرمت برگرفته از: کتاب گزارشهای باستانشناسی ، علی سامی..... ۱۵

- تصویر ۱، ۲۰- نقش برجسته درگاه جنوب شرقی کاخ بارعام بعد از مرمت، عکس از نگارنده..... ۱۵
- تصویر ۱، ۲۱- نقش برجسته درگاه شمال غربی کاخ بارعام قبل از مرمت برگرفته از: کتاب گزارشهای باستانشناسی، علی سامی..... ۱۵
- تصویر ۱، ۲۲- نقش برجسته درگاه شمال غربی کاخ بارعام پس از مرمت با سیمان، تیر ۸۷، عکس از نگارنده..... ۱۵
- تصویر ۱، ۲۳- آرامگاه کوروش - محل رویش درخت در سقف آرامگاه برگرفته از: پارسه - سالنامه بنیاد پژوهشی پاسارگاد..... ۱۶
- تصویر ۱، ۲۴- پایه ستون های پوشانده شده با کاهگل، کاخ دروازه، آذر ۸۷، عکس از نگارنده..... ۱۶
- تصویر ۱، ۲۵- آثار رزین های استفاده شده در مرمت های پایه ستون کاخ بارعام، آذر ۸۷، عکس از نگارنده..... ۱۸
- تصویر ۱، ۲۶: رزین اپوکسی استفاده شده در مرمت پایه ستون کاخ بارعام که به مرور زمان زرد رنگ شده است، آذر ۸۷، عکس از نگارنده..... ۱۹
- تصویر ۱، ۲۱- سنگهای به کار رفته در پاسارگاد(کاخ اختصاصی)، سنگ آهک سفید (سبز)، سنگ آهک ماسه ای (قرمز)، سنگ آهک سیاه (آبی)..... ۲۳
- تصویر ۲، ۲- باغچه سنگ کاخ اختصاصی..... ۲۴
- تصویر ۳، ۲- کاربرد سنگ سیاه در پایه ستون کاخ بارعام..... ۲۴
- تصویر ۴، ۲- کاربرد سنگ سیاه در درگاه ورودی کاخ بارعام..... ۲۴
- تصویر ۵، ۲- پایه ستون سیاه به دست آمده از کاوشهای دره سیوند - میراث خبر..... ۲۸
- تصویر ۲، ۶- کاوش در دره سیوند و بقایای احتمالی کوشک داریوش. میراث خبر..... ۲۸
- تصویر ۲، ۷- بقایای کاخ سنگ سیاه در نزدیکی برازجان استان بوشهر. میراث خبر..... ۲۸
- تصویر ۲، ۸- مقطع میکروسکوپی نمونه سنگ آهک سیاه پاسارگاد، سعیدی..... ۲۹
- تصاویر ۲، ۹ و ۲، ۱۰- تصاویر SEM سنگ در بزرگنمایی ۵۰۰ (سمت راست) و ۵۰۰۰ (سمت چپ)..... ۳۱
- تصویر ۲، ۱۲ و ۱۱، ۲- نمونه هایی از ورقه شدن سنگ های آهکی سیاه در زیرستون های کاخ اختصاصی..... ۴۰
- تصاویر ۲، ۱۵ و ۱۴، ۲ و ۱۳، ۲ - جزئیات الگوی متحد المركز تخریب و همچنین تورق عمودی در حجاری های سنگ سیاه یکی از درگاه های کاخ بارعام..... ۴۱
- تصویر ۱۶، ۲- کاخ اختصاصی، فلشها نشان دهنده مکان پایه ستون هایی هستند که کاملا تخریب شده اند..... ۴۲
- تصاویر ۲، ۱۷ و ۱۸، ۲- بروز شکاف و درزه در جهت های افقی (پایین) و عمودی (بالا راست) در پایه ستون ها..... ۴۲

- تصاویر ۲، ۱۹ و ۲۰- فرسایش متفاوت در دو نمونه از سنگ های آهکی سیاه زیر ستون در فضای داخلی و خارجی کاخ اختصاصی.....۴۲
- تصاویر ۲۰، ۲۱ و ۲۲- جذب رطوبت توسط سیمان های مرمتی و بروز آسیب در ساختار سنگ های آهکی سیاه درگاه های کاخ بارعام، آذر ۸۶.....۴۳
- تصاویر ۲۳، ۲ و ۲۴ - ایجاد آسیب فیزیکی در اثر تردد بازدیدکنندگان بر روی ساختار های سنگی کاخ اختصاصی، عکس از زهره خضری.....۴۳
- تصویر ۲، ۲۵ - ایجاد لایه رسوبات خاکی بر روی حجاری های سنگ آهک سیاه درگاه کاخ بارعام.....۴۴
- تصویر ۲۶، ۲- : قراردادن ستون بر روی زیرستون آسیب دیده کاخ اختصاصی، عکس از زهره خضری.....۴۴
- تصویر ۲۷، ۲- جذب و باقی ماندن آب در شبکه درزه ها و شکاف های سنگ دو ساعت پس از بارندگی و مقایسه آن با همان سنگ در حالت خشک (آذر ۸۶).....۴۵
- تصویر ۱-۳: (a) تصویر مقدار اندکی از یک فیلم آلی، (b) تصویر پاتین صورتی-بژ بر روی کریستال های کلسیت ($500 \mu m$)، کاپیتلی و سورلنی، ۲۰۰۷.....۴۹
- تصویر ۲، ۳: کاربرد رنگ در کاخ بارعام، آذر ۸۷، عکس از نگارنده.....۵۱
- تصویر ۳، ۳: مقایسه ساختار کوارتز (چپ) و ساختار رزین متیل سیلیکونی.....۵۶
- تصویر ۳، ۴: تفاوت استفاده از رزین سیلیکونی (راست) و لاستیک سیلیکونی (چپ).....۵۶
- تصویر ۳، ۵: فرم های مختلف عملکردی واحد متیل.....۵۷
- شکل ۳، ۶: رزین سیلیکونی با اتصالات عرضی به بستر مورد نظر متصل شده.....۵۷
- تصویر ۳، ۷: تبدیل رزین های سیلیکونی در شرایط قلبایی به متیل سیلیکونات محلول در آب.....۵۸
- تصویر ۳-۸: فرمول شیمیایی آلکیل تری آلکوکسی سیلان و آلکیل آلکوکسی سیلوکسان.....۵۹
- تصویر ۳، ۹: مقایسه اندازه ذرات در امولسیون سیلیکونی (چپ) و میکروامولسیون (راست).....۶۲
- تصویر ۳-۱۰: نمودار مقایسه ای جذب موئینگی اتیل سیلیکات ۴۰ پنجاه درصد وزنی در مخلوط حلال ● ، مخلوط پارالوئید ۷/۵٪ وزنی و اتیل سیلیکات ۴۰ ■ ، و پارالوئید ۷/۵٪ وزنی در مخلوط حلال × ، بروس و کوتلیک، ۱۹۹۶.....۶۷

- تصویر ۴، ۱: طرحی شماتیک از سطح یک ماده معدنی که با یک فیلم آب بند (راست)، ماده پرکننده روزن ها (وسط) و ماده اشباع کننده
آب ران (چپ) پوشانده شده..... ۷۷
- تصویر ۴، ۲: تر شدگی در سطح یک ماده متخلل آبدوست (راست)، تر شدگی در سطح یک ماده متخلل آب گریز (چپ)..... ۷۷
- تصویر ۴، ۳: طرح شماتیکی از تاثیر پدیده یخبندان در سنگ ها..... ۷۹
- تصویر ۴، ۴: طرح شماتیک آماده سازی نمونه های سنگ درمان شده به مقاطع مناسب برای آنالیز..... ۸۰
- تصویر ۴، ۵، ۴: ترک در فیلم سیلیکونی موجود در روزن یک سنگ، فیلم سیلیکونی در حال پاره شدن در اثر رشد بلور (داخل نقطه چین)..... ۸۸
- تصویر ۴-۷: تصاویر میکروگراف SEM از کریستال های Ca(OH)_2 (a) ، کریستال های بزرگ پورتلندی درست پس از هیدراته شدن، (b) کریستال های بزرگ پورتلندی و اثر خوردگی در سطوح منشور مانند آن ها پس از دو ماه بودن در معرض فرسودگی تسریعی..... ۸۸
- تصاویر ۵، ۲، ۱ - مقایسه موی انسان با شبکه نانولوله های تک کربنی..... ۹۳
- تصویر ۵، ۳ - تصویر میکروسکوپی نانوسیم..... ۹۳
- تصاویر ۵، ۵، ۴: تصویر شماتیک نانو کپسول (سمت راست) و مقایسه آن با تصویر میکروسکوپی..... ۹۴
- تصویر ۵، ۶: تصویر SEM (راست) و TEM (چپ) نانوذرات هیدروکسید کلسیم سنتز شده به روش واکنش فاز همگن در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد (با استفاده از www.rsc.org)..... ۹۶
- تصویر ۵، ۷: نقاشی " بر صلیب " کار از بیتو آنجلیکو (قرن ۱۵ فلورانس) سمت راست وضعیت پس از درمان و سولفات زدایی و استحکام بخشی به روش فرونی - دینی (Ferroni- Dini) (با استفاده از www.rsc.org)..... ۱۰۰
- تصویر ۵، ۸، ۹: تصویر SEM بخشی از یک کاغذ اسیدی متعلق به قرن ۱۹. با اعمال دیسپرش نانو ذرات هیدروکسید منیزیم بر روی این اثر و اسیدزدایی آن pH به اندازه سه واحد تغییر کرده است (راست) اسیدزدایی از کاغذ به وسیله اسپری کردن دیسپرش نانوذرات آهک (چپ) (با استفاده از www.csgi.unifi.it)..... ۱۰۲
- تصاویر ۵، ۱۰ و ۱۱ - تصاویر TEM از نانوذرات سیلیکای سنتز شده (زندری و همکاران، ۲۰۰۸)..... ۱۰۳
- تصاویر ۵، ۱۲ و ۱۳ - طیف Si-NMR مخلوط کربنات کلسیم و کلوئید سیلیکایی (سمت راست)..... ۱۰۴
- تصاویر ۵، ۱۴ و ۱۵، ۱۶ - تصاویر SEM نشان می دهد که دیسپرش سیلیکایی در سطح تشکیل فیلم یکنواخت و پر ترکی را داده

- که ضخامت متوسط آن ۱۰ میکرومتر است و نتوانسته در داخل سنگ نفوذ کند (تصاویر بالا) اما محصول اتیل سیلیکاتی تا عمق ۱۰۰ میکرومتری در داخل سنگ نفوذ کرده (تصویر پائین) (زندری و همکاران، ۲۰۰۸)..... ۱۰۴
- تصاویر ۵، ۱۷ و ۱۸: نقاشی های مایایی تازه کشف شده که زینت بخش قسمتهای داخلی اهرام های "La Antigua Ciudad Maya de Calakmul" در یکی از سایتهای میراث جهانی یونسکو هستند (مکزیک، کامپچه)، در آن ها از دیسپرش نانوذرات دی هیدروکسید کلسیم برای بهبود چسبندگی لایه ها استفاده شد. با استفاده از
www.nanowerk.com..... ۱۰۵
- تصویر ۵، ۱۹- ساختمان یک کانی
۱:۲..... ۱۰۸
- تصویر ۵، ۲۰ - واکنش تبادل یونی در سیلیکات ها لایه
ای..... ۱۰۹
- تصویر ۵، ۲۱- ساختار لایه ای مونت موریلونیت ۳ (خوئینی و همکاران، ۱۳۸۶)..... ۱۰۹
- تصویر ۵، ۲۲ - نحوه قرار گرفتن زنجیر پلیمری در میان لایه های رس اصلاح شده..... ۱۱۰
- تصویر شماره ۵، ۲۳- انواع ساختارهای ممکن در نانوکامپوزیت های رس..... ۱۱۱
- تصویر ۵، ۲۴- فرایند میان افزایی رس (زمانی، ۱۳۸۶)..... ۱۱۲
- تصویر ۵، ۲۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه رس خالص، (خوئینی و همکاران، ۱۳۸۶) بزرگنمایی ۱۰۰۰۰..... ۱۱۳
- تصویر ۵، ۲۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی ذرات رس قبل از خالص سازی، (خوئینی و همکاران، ۱۳۸۶) بزرگنمایی ۱۰۰..... ۱۱۳
- تصویر ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷: دستگاههای برش سنگ ۲- Unitom و ۳۵- RoioPol دانشکده معدن امیرکبیر..... ۱۱۴
- تصویر ۳، ۶: دستگاه SEM دانشکده هنر تربیت مدرس..... ۱۱۴
- تصویر ۴، ۵، ۶ و ۷: دستگاه لایه نشان طلا (چپ) و نمونه های سنگ پس از نشانیدن لایه های طلا (راست)..... ۱۱۵
- تصویر ۶، ۷ و ۸: دستگاه سنجش مقاومت فشاری آزمایشگاه مکانیک خاک (راست)، دستگاه مقاومت کششی دانشگاه تربیت مدرس (چپ)..... ۱۱۵
- تصویر ۹، ۸، ۶ و ۷: دستگاه سنجش زاویه تماس پژوهشگاه پلیمر (چپ) و دستگاه هموژنایزر (راست)..... ۱۱۶
- تصویر ۶، ۱۰: انواع نمونه سنگ های به کار رفته در بخش عملی..... ۱۱۶
- تصویر ۶، ۱۱ نمونه سنگی که در ابتدا سالم به نظر می رسید اما پس از برش اولیه مشخص شد که به دلیل تخریب شدید و وجود شبکه درزه ها قابل استفاده برای نمونه برداری نیست و زیر تیغه دستگاه برش به قطعات ریزی خورد می شود..... ۱۱۸

- تصویر ۶ ۱۲: نمونه های آماده شده برای آزمون مقاومت چسبندگی..... ۱۲۰
- تصویر ۶ ۱۳: اضافه کردن کاتالیزور به مخلوط Pa/Si روی همزن برقی..... ۱۲۱
- تصویر ۶ ۱۴ و ۶ ۱۵: نانوذرات رس (راست) و نانو کامپوزیت Ac/Si/Nc (چپ)..... ۱۲۱
- تصویر ۶ ۱۶: نانو کامپوزیت Pa/Si/Nc در حال اختلاط high shear..... ۱۲۲
- تصویر ۶ ۱۷: نمونه های سنگ یک هفته پس از آغشته شدن با نانو کامپوزیت Ac/Si/Nc..... ۱۲۲
- تصویر ۶ ۱۸: دستگاه یخ ساز، و نمونه های آماده شده برای سیکل های یخبندان..... ۱۲۳
- تصویر ۶ ۱۹: نمونه Pa/Si، سمت راست سطح آغشته به نمونه که کاملاً آبران شده و با آب تر نمی شود، سمت چپ سطح برش خورده که آب کاملاً آن را تر کرده و نشانه عدم حضور ماده پلیمری است..... ۱۲۴
- تصاویر ۶ ۲۱ و ۶ ۲۰ و ۶ ۲۲: قرار دادن نمونه در میان فک های دستگاه سنجش مقاومت چسبندگی (راست)، برش ورقه پلی امید برای حفاظت از نمونه در برابر فشار فک دستگاه (چپ)، نمونه ۹% Pa در حال کشش..... ۱۲۵
- تصویر ۶ ۲۳: نمونه Pa/Si/Nc پس از انجام آزمون مقاومت فشاری..... ۱۲۶
- تصاویر ۶ ۲۴-۶ ۲۵ و ۶ ۲۶-۶ ۲۷: تصویر قطرات آب در حال اندازه گیری زاویه تماس نمونه سیلانی (بالا و راست)، سنگ (بالا و چپ)، نمونه Ac/Si/Nc (پایین و راست)، ۵% Ac (پایین و چپ)..... ۱۲۷
- تصاویر ۶ ۲۸ و ۶ ۲۹: تصاویر سطوح نمونه های آغشته به Pa و Ac با بزرگنمایی یکسان (۵۰۰ برابر)..... ۱۳۱
- تصویر ۶ ۳۰-: فلش ها نشان دهنده ترک ها در نمونه Pa در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰۰ هستند..... ۱۳۲
- تصویر ۶ ۳۱: فلش ها نشان دهنده منافذ در فیلم Ac هستند. بزرگنمایی ۵۰۰..... ۱۳۲
- تصاویر ۶ ۳۲ و ۶ ۳۳: نمونه Ac/Si در بزرگنمایی ۲۵۰ برابر (راست) و Pa/Si در بزرگنمایی ۱۰۰ برابر (چپ)، فلشها نشانه فاز آکرلیکی هستند..... ۱۳۳
- تصویر ۶ ۳۴: فلش ها نشان دهنده حفره های فاز آکرلیکی نمونه Ac/Si در بزرگنمایی ۱۰۰۰..... ۱۳۳
- تصویر ۶ ۳۵ و ۶ ۳۶: تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه Pa/Si/Nc در بزرگنمایی ۵۰۰۰ (راست)، نمونه Ac/Si/Nc

در بزرگنمایی

.....(چپ)۵۰۰۰.....
۱۳۳

تصویر ۶ ۳۷: تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه رس خالص در بزرگنمایی

.....۱۰۰۰۰.....۱۳۴

تصویر ۶ ۳۸: عناصر کروی در نمونه

.....Pa/Si/Nc.....۱۳۴

تصویر ۶ ۳۹ و ۶ ۴۰: تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه سنگ (سمت راست) و نمونه سیلان (سمت چپ) هر

دو در

.....۵۰۰.....
۱۳۴.....

تصاویر ۶ ۴۱ و ۶ ۴۲ و ۶ ۴۳: تصویر SEM نمونه سنگ (راست بالا)، نمونه سیلان (چپ بالا) و

نمونه لعلاب آکریلیکی (پایین)، همه در بزرگنمایی ۲۰۰۰ فلشها نشان دهنده محل تشکیل فیلم آکریلیکی

هستند.....۱۳۵

▪ فهرست جدول ها

عنوان

شماره صفحه

جدول شماره ۲، ۱ - نتایج آزمون فلورسانس اشعه ایکس سنگ معدن مجد آباد برگرفته از مقاله بررسی تاثیرات ملات ماسه سیمان در

مرمت

آثار سنگی محوطه میراث جهانی تخت جمشید عابد اصفهانی، هراتی اردستانی،

.....۱۳۸۷.....۲۷

جدول ۲، ۲ - نتایج آزمون XRF سنگ آهک سیاه کاخ اختصاصی،

.....۱۳۸۷.....۳۱

جدول ۳، ۲ - نتایج آزمایش بررسی ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی در نمونه سنگ های کاخ اختصاصی و

بارعام.....۳۲

جدول ۴، ۲ - ویژگی های فیزیکی (وزن مخصوص) سنگ آهک ساختمانی برگرفته از استاندارد ملی ایران شماره ۵۶۹۵ -

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی

ایران.....۳۳

جدول ۵، ۲ - ویژگی های فیزیکی (میزان جذب آب) سنگ آهک ساختمانی برگرفته از استاندارد ملی ایران شماره ۵۶۹۵ -

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی

ایران.....۳۴

جدول ۶، ۲ - نتایج حاصل از آزمون مقاومت فشاری یک محوره برگرفته از «گزارش زمین شناسی مجموعه میراث جهانی

پاسارگاد».....

.....۳۶

جدول ۷، ۲ - نتایج حاصل از آزمون مقاومت فشاری یک محوره انجام شده در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک،

.....۱۳۸۸

.....۳۶

جدول ۸،۲_ ویژگی های فیزیکی (مقاومت فشاری) سنگ آهک ساختمانی برگرفته از استاندارد ملی ایران شماره ۵۶۹۵ - مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی	۳۶.....
جدول ۹،۲- طبقه بندی سنگ ها بر اساس مقاومت فشاری تک محوری برگرفته از کتاب آزمایش های مکانیک سنگ، مبانی نظری و استاندارد ها (احمد فهیمی فر - حامد سروش	۳۶.....
جدول ۴،۱ : کمیت محصول مورد استفاده در اسپکتروسکوپی میکرو ATR بر حسب (g/m ²)	۸۰.....
جدول ۱۶: مشخصات مواد مورد استفاده در آزمون های مختلف	۱۱۷.....
جدول ۶-۲ : نتایج آزمون استحکام چسبندگی	۱۲۵.....
جدول ۶-۳ : علائم اختصاری نمونه های سه آزمون مقاومت فشاری، زاویه تماس و میکروسکوپ الکترونی	۱۲۵.....
جدول ۶-۴- نتایج آزمون مقاومت فشاری بر اساس استاندارد ASTM-C	۱۷۰.....
جدول ۶-۵: نتایج آزمون زاویه تماس	۱۲۸.....
جدول ۶-۶:رتبه نمونه های پلیمری در هر آزمون	۱۳۷.....

✓ فهرست نمودارها

عنوان	
شماره صفحه	
نمودار ۱،۱ - تغییرات دما و بارندگی سالانه در پاسارگاد برگرفته از گزارش شناخت اقلیم پاسارگاد، زهرا سعیدی	۳.....
نمودار شماره ۱،۲ - نمایش مکانیسم های مؤثر در هوازدگی	۳۸.....
نمودار ۱،۳: نمودار مقایسه ای جذب موئینگی اتیل سیلیکات ۴۰ پنجاه درصد وزنی در مخلوط حلال ● ، مخلوط پارالوئید ۷/۵٪ وزنی و اتیل سیلیکات ۴۰ ■ ، و پارالوئید ۷/۵٪ وزنی در مخلوط حلال × ، بروس و کوتلیک،	۱۹۹۶.....
نمودار ۱،۴: مقایسه طیف مرجع پارالوئید بی ۷۲ (بالا) با طیف گرفته شده از باقیمانده نمونه سنگ نوتو درمان شده با پارالوئید بی ۷۲ در عمق ۰-۲ میلی متری پس از حمله اسیدی	۸۱.....
(پایین).....	
نمودار ۲،۴: مقایسه طیف مرجع واکر ۲۹۰ (بالا) با طیف گرفته شده از باقیمانده نمونه در عمق ۱۴-۱۲ میلی متری سنگ نوتو درمان شده	
با واکر ۲۹۰ پس از حمله اسیدی (پایین) (پیک های ستاره دار نماینده $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	
هستند).....	۸۲.....
نمودار ۳،۴: منحنی های TG و DTG بالاترین مقطع برش خورده از سنگ نوتو درمان شده	

با پارالوئید بی ۷۲ (چپ)؛ طیف FTIR گازهای متصاعد شده در زمان کاهش وزن در ۳۸۵ درجه سانتی گراد (که نشان دهنده ویژگیهای جذبی اتیل متاکریلات و دی اکسید کربن است)..... ۸۳

نمودار ۴،۴: مقایسه محاسبه زاویه تماس استاتیک برای مقاطع عرضی سنگ آنگرای درمان شده با پارالوئید بی ۷۲ و واکر ۸۴..... ۲۹۰

نمودار ۶-۱: نمودار نسبت کشش به نیروی وارده، نمونه ۹۰% Ac، شکست در زمینه سنگ اتفاق افتاده..... ۱۲۹

نمودار ۶-۲: نمودار نسبت کشش به نیروی وارده، نمونه ۹% Pa شکست در زمینه سنگ اتفاق افتاده است ۱۲۹.....

نمودار ۶-۳: نتایج آزمون مقاومت فشاری در مورد نمونه های مختلف مقایسه شده اند. ۱۳۰.....

نمودار ۶،۴: مقایسه اندازه زاویه تماس در نمونه های مختلف..... ۱۳۶

نمودار ۶،۵: مقایسه نتایج سه آزمون مقاومت فشاری، زاویه تماس و میکروسکوپ الکترونی بین نمونه های پلیمری و نمونه سنگ درمان نشده..... ۱۳۸

مقدمه:

هدف این پایان نامه بررسی روش های حفاظت و استحکام بخشی یکی از سنگ های موجود در بازمانده های معماری مجموعه میراث جهانی پاسارگاد؛ که به دلیل رنگ خاص آن به سنگ آهک سیاه رنگ معروف است؛ با استفاده از پلیمرهای سنتزی و سنجش امکان بهینه سازی این مواد با نانو ذرات است. سوالی که این پایان نامه درصدد پاسخ به آن است، این است که چه مواد پلیمری و با چه ویژگی هایی برای استحکام بخشی این سنگ مناسب ترند و آیا با امکاناتی که امروزه فن آوری نانو در اختیار ما گذاشته است می توان خواص این مواد را با توجه به نیازهای سنگ مورد درمان بهبود بخشید. در جمع آوری و طبقه بندی اطلاعات لازم از روش های کتابخانه ای و بازدید های میدانی استفاده شد و در مرحله بعد بر اساس این داده ها بخش تجربی و آزمایشگاهی طراحی و اجرا شد. در تحلیل نهایی نتایج آزمایشات بررسی و مقایسه شدند.

بر این اساس مطالب ارائه شده در این پایان نامه در شش فصل تنظیم و ارائه شده اند. در فصل نخست ضمن آشنایی با پیشینه تاریخی پاسارگاد تمامی بازمانده های معماری این محوطه ارزشمند معرفی شده اند. بخش دیگری از این فصل به بررسی مرمت های صورت گرفته در دوره های تاریخی مختلف پاسارگاد و نقش مواد شیمیایی در این مرمت ها اختصاص یافته است.

فصل دوم به مطالعات ساختاری و بررسی ویژگیهای ماکروسکوپی و میکروسکوپی سنگ آهک سیاه پاسارگاد و بررسی و تحلیل روند فرسودگی آن پرداخته است.

در فصل سوم ابتدا مقدمه ای بر معرفی پلیمرها و مفاهیم کلی مرتبط با شناخت آن ها از جمله روند تخریب و پایدارسازی آمده است و در بخش بعدی آن با نگاهی به تاریخ استفاده از پلیمرها و رزین ها در مرمت و استحکام بخشی سنگ با مطالعه و بررسی منابع موجود ساختار شیمیایی و ویژگیهای مثبت و منفی پلیمرهای آکریلیکی، آکریلیک های فلورینه شده، رزین های سلیکونی و مخلوط آکریلیک/ آلکوکسی سیلان به عنوان بخشی از مهمترین و متداول ترین استحکام بخش های سنگ بررسی شده اند.

نظر به اهمیت شناخت ویژگیهای مورد انتظار از یک استحکام بخش مناسب، موضوع فصل چهارم به این امر اختصاص یافت. در این فصل علاوه بر بیان خصوصیات استحکام بخش های سنگ به زبان متخصصان و صاحب نظران بخشی نیز به بررسی دقیق تر و جامع تر برخی از این ویژگی ها از جمله افزایش مقاومت، آبرانی و عمق نفوذ که با توجه به مطالب ارائه شده در فصل دوم از مهمترین ویژگیهای لازم برای بهبود وضعیت حفاظتی سنگ آهک سیاه پاسارگاد است، اختصاص یافته است.

با در نظر گرفتن موضوع دوم این پایان نامه که امکان سنجی استفاده از نانوذرات در بهینه سازی استحکام بخش های سنگ است در فصل پنجم به این موضوع پرداخته ایم. با توجه به نو بودن موضوع در بخش ابتدایی این فصل کلیات مربوط به این فن آوری نوظهور و مفاهیم، اصطلاحات و ابزار مورد استفاده آن را بیان کرده ایم.

و در بخش دوم به بیان تجربیات اندک استفاده از این فن آوری در حوزه حفاظت و مرمت آثار تاریخی پرداخته ایم. بخش سوم این فصل به معرفی نانو ذره رس و ویژگیهایی از آن که می تواند در ترکیب با استحکام بخش های معمول سنگ به بهبود خواص آن ها کمک کند اختصاص یافته است.

فصل ششم که بخش عملی و آزمایش هاست در سه بخش سازمان یافته است. در بخش اول ابزار و دستگاه های مورد استفاده در این پژوهش معرفی شده اند. در بخش دوم به تفصیل در مورد روش تهیه و ترکیب مواد موردنظر و اعمال آن ها بر نمونه ها و همین طور آزمایش های صورت گرفته برای بررسی نتایج استفاده از این مواد صحبت شده است. بخش سوم این فصل که به نوعی مهمترین بخش آن نیز هست به بررسی و تحلیل نتایج این آزمایشات اختصاص یافته است.

در انتها با بررسی مجموعه دیدگاه های مطرح شده و نتایج به دست آمده در فصل های مختلف این پژوهش نتیجه گیری نهایی صورت گرفته و رهنمودها و پیشنهاداتی نیز با هدف کمک به بهبود وضعیت حفاظتی آثاری در پاسارگاد که در آن ها از سنگ آهک سیاه استفاده شده ارائه شده است.