

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده هنر و معماری گروه مرمت

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.A)

گرایش: حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی

عنوان:

بررسی روند تخریبی ناشی از نمکهای محلول و پیشنهاد راه کار حفاظتی برای  
آجرهای موجود در ساختار کاخ آرامگاه‌های ایلامی چغازنبیل و هفت تپه.

استاد راهنما:

خانم مهناز عبدالله خان گرجی

استاد مشاور:

آقای وحید زاده

پژوهشگر:

مهدی پیرک

زمستان ۱۳۹۱

بسمه تعالی

در تاریخ: ۹۱/۱۱/۲۳

دانشجوی کارشناسی ارشد آقای مهدی پیرک از پایان نامه خود دفاع نموده و با نمره ۱۸ به حروف  
هجده تمام و با درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت .

امضاء استاد راهنما

## تهدنامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب مهدی پیرکدانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته به شماره دانشجویی ۸۸۰۶۵۱۶۳۳۰۰ در رشته حفاظت و مرمت اشیاء از پایان نامه خود

تحت عنوان: بررسی روند تخریبی ناشی از نمکهای محلول و پیشنهاد راهکار حفاظتی برای آجرهای موجود در ساختار کاخ آرامگاه‌های ایلامی چغازنبیل و هفت تپه

بدینوسیله متعهد می‌شوم:

۱- این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و ...) استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و رویه‌های موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست ذکر و درج کرده‌ام.

۲- این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی هم سطح، پایین تر یا بالاتر در سایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

۴- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدارک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی: مهدی پیرک

تاریخ و امضا:

## مشور اخلاق پژوهش

بیامیزی از خداوند سبحان و اعتقاد به این که عالم محضر خداست و به‌عبارت دیگر بر افعال انسان و به‌مطور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت جایگاه دانشگاه در امتلای فرهنگ و تمدن بشری، مادیانجویان و اصحاب هیات علمی واحد های دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می‌گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخلفی نکنیم:

- ۱- اصل برانست: التزام به برانست جویی از هرگونه رفتار غیر حرفه‌ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به مثابه های غیر علمی می‌آلایند.
- ۲- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هرگونه جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.
- ۳- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اسانه‌سازی نتایج تحقیقات و انتقال آن به بهکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.
- ۴- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب تقد و خودداری از هرگونه حرمت شکنی.
- ۵- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهشگران (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.
- ۶- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشور و کلیه افراد و نهاد های مرتبط با تحقیق.
- ۷- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هرگونه پنهان سازی حقیقت.
- ۸- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه بهکاران پژوهش.
- ۹- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.

تقدیم بہ پدر و مادر عزیزم و کسانی کہ صمیمانہ دوستشان دارم.

## پاسکداری

ایجناب بر خود لازم می‌دانم از کلمه عزیزانی که در پیمان رساندن این پروژه باینده بکار می‌نموده اند تشکر و قدردانی به عمل آورم.

ایجناب در انجام این پروژه با اساتید عزیز نظیر: خانم دکتر مهناز عبدسه خان کرجی، آقای دکتر وحیدزاده و مهندس حمید فدایی مشورت کرده و از راهنمایی‌های این عزیزان بهره‌مند گردیدم؛ جا دارد از بهت آن بزرگواران کمال تشکر را داشته باشم.

بجین از ریاست محترم پایگاه میراث جهانی حفاز نیل و بهت تپه و تابی کاکلان این پایگاه، به خاطر بکار می‌سمازای که باینده داشته‌اند پاسکداری می‌کنم.

شایسته است در بهین جا از اپراتورهای پژوهشگاه مواد و انرژی کرج و کارشناسان بخش مرمت موزه ملی که در زمینه آمانیز نمونه‌ها اطلاعات ارزشمندی را در اختیار بنده قرار دادند و بجین از بکار می‌سمازای دوستان عزیزم، مهندس سیاوش السیاری و مهندس رضا سراج المانی کمال تشکر و قدردانی را اعلام نمایم.

بسمه تعالی  
دانشکده هنر و معماری

\*\*\*\*\*

( این چکیده به منظور چاپ در پژوهش نامه دانشگاه تهیه شده است )

نام واحد دانشگاهی : تهران مرکزی	کد واحد: ۱۰۱	کد شناسایی پایان نامه : ۱۰۱۶۰۱۱۸۹۰۲۰۱۲
عنوان پایان نامه : بررسی روند تخریبی ناشی از نمکهای محلول و پیشنهاد راه کار حفاظتی برای آجرهای موجود در ساختار کاخ آرامگاه‌های ایلامی چغازنبیل و هفت تپه		
نام و نام خانوادگی دانشجو : مهدی پیرک	تاریخ شروع پایان نامه : ۸۹/۱۱/۰۱	تاریخ اتمام پایان نامه : ۹۰/۱۰/۱۲
شماره دانشجو: ۸۸۰۶۵۱۶۳۳۰۰		
رشته تحصیلی : حفاظت و مرمت اشیا		
استاد / استادان راهنما: مهناز عبدالله خان گرجی	استاد / استادان مشاور: رضا وحیدزاده	

چکیده پایان نامه (شامل خلاصه، اهداف، روش های اجرا و نتایج به دست آمده):

حضور نمکهای محلول، در خلل و فرج مصالح ساختمانی یکی از مشکلات اصلی و عمده حفاظت است. حملات نمک و افزایش رطوبت تهدیدی جدی برای مصالح ساختمانی و بناهای تاریخی، بخصوص دیوارهایی که باربر بوده و از جنس آجر، خشت، سنگ و ملات ساخته شده‌اند به حساب می‌آید که در وهله اول باعث بدمنظر شدن فضای داخلی و خارجی بناها می‌گردد و در صورتی که بدون درمان رها شود ممکن است ساختار آنها را تخریب نماید.

کاخ آرامگاه‌های زیرزمینی چغازنبیل و هفت تپه نیز مانند دیگر بناهای تاریخی از این امر مستثنی نبوده و حضور نمکها بر روی این بناها یکی از عوامل آسیب‌رسانی است که در بسیاری از موارد باعث متلاشی شدن بافت یکپارچه آجرها شده و تضعیف ساختار مواد و مصالح را به همراه داشته است.

بحث حفاظت از آثار و بناهای تاریخی بدون دخالت در ماهیت و تمامیت اثر، نخستین تفکری بود که باعث گردید تا این پروژه در مسیری قرار گیرد که به صورت تخصصی به موضوع شوره‌زنی و نمک‌زدایی از ساختارهای آجری پرداخته و اقدامات و راه‌کارهای مناسبی را در مقابله با این عامل فرساینده پیشنهاد نماید. برای همین منظور محوطه میراث جهانی چغازنبیل که بنابه موقعیت و ساختار خاص خود دائماً با این معضل مواجه است، می‌تواند انتخاب مناسب و به‌جایی باشد.

نظر استاد راهنما برای چاپ در پژوهش نامه دانشگاه  مناسب است تاریخ و امضای

مناسب نیست



## فهرست مطالب

### عنوانصفحه

#### فصل اول: کلیات طرح

پیشگفتار

مقدمه

۱-۱ تاریخچه	.....	۴
۲-۱ بیان مسأله تحقیق	.....	۷
۳-۱ اهمیت موضوع تحقیق و دلایل انتخاب آن	.....	۸
۴-۱ هدفهای تحقیق	.....	۹
۵-۱ سوالات یا فرضیه‌های تحقیق	.....	۱۰
۶-۱ چهارچوب نظری تحقیق	.....	۱۱
۷-۱ روش تحقیق	.....	۱۳
۸-۱ پیشینه پژوهش	.....	۱۴
۹-۱ روش گردآوری اطلاعات	.....	۱۵
۱۰-۱ روش تجزیه و تحلیل اطلاعات	.....	۱۶
۱۱-۱ واژه‌های کلیدی	.....	۱۶

#### فصل دوم: روند شکل‌گیری نمکها در بناهای آجری و فرآیند آسب‌رسانی آنها

مقدمه

۱-۲ تشکیل شوره ناشی از فرآیندهای شیمیایی	.....	۱۸
۱-۱-۲ شوره‌زدگی در آجر	.....	۱۸
۲-۱-۲ عوامل داخلی	.....	۲۱

- ۲۱-۱-۲-۱ نمکهای اصلی موجود در مصالح..... ۲۱
- ۲۱-۱-۲-۲ نقش آجرهای رسیدر ایجاد شوره..... ۲۱
- ۲۱-۱-۲-۳ عوامل خارجی ..... ۲۱
- ۲۱-۱-۲-۴ نمکهای ناشی از منابع خارجی ..... ۲۱
- ۲۲-۱-۲-۱ نقش ملات در تشکیل شوره ..... ۲۲
- ۲۲-۱-۲-۳ نقش آب اختلاط در تشکیل شوره ..... ۲۲
- ۲۳-۱-۲-۴ خاک و آبهای زیرزمینی ..... ۲۳
- ۲۳-۱-۲-۵ نقش عوامل رطوبتی و نقل و انتقال نمکها ..... ۲۳
- ۲۳-۱-۲-۶ آلودگیهای جویو نمکهای ناشی از تجزیه ماده ..... ۲۳
- ۲۵-۱-۲-۷ ریزگردها و مواد ذره‌ای ..... ۲۵
- ۲۶-۱-۲-۸ عوامل بیولوژیکی ..... ۲۶
- ۲۷-۲-۲ تشکیل شوره ناشی از فرآیندهای فیزیکی ..... ۲۷
- ۲۷-۱-۲-۲ حلالیت نمکها ..... ۲۷
- ۲۸-۲-۲ تخلخل یک جسم ..... ۲۸
- ۲۹-۲-۲ انتشار بخار آب در درون مصالح متخلخل ..... ۲۹
- ۳۰-۲-۲ تراکم میان روزنه‌ای ..... ۳۰
- ۳۱-۲-۲ نقل و انتقال آب مایع در مصالح متخلخل ..... ۳۱
- ۳۱-۲-۲ نقش تخلخل در انتقال رطوبت ..... ۳۱
- ۳۵-۲-۲ انتقال رطوبت به درون مصالح آجری ..... ۳۵
- ۳۷-۲-۳ عوامل مؤثر بر روند تبلور نمکهای محلول و آسیبهای ناشی از آن ..... ۳۷
- ۳۷-۱-۳-۲ تبخیر ..... ۳۷
- ۳۸-۲-۳ نقش نمکها بر رفتار خشک شدن آجر ..... ۳۸
- ۳۹-۳-۲ تبلور نمکهای محلول و تأثیر آن بر آجر ..... ۳۹
- ۴۳-۳-۲ فشار تبلور نمکها در آجر ..... ۴۳
- ۴۵-۳-۲ نقش تبلور در مقاومت آجر ..... ۴۵
- ۴۵-۳-۲ فشار آب‌گیری نمکها ..... ۴۵

۴۶.....	۲-۳-۸ تأثیر شکل کریستالی نمکها.....
۴۶.....	۲-۳-۹ مکانیزم تخریب.....
۴۹.....	۲-۴-۱ شایع ترین نمکهای موجود در بناهای آجری و آسپه‌های ناشی از آنها.....
۴۹.....	۲-۴-۱ کربناتها ( $\text{CO}_3^{2-}$ ).....
۵۳.....	۲-۴-۲ سولفاتها ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).....
۶۱.....	۲-۴-۳ کلریدها ( $\text{Cl}^-$ ).....
۶۴.....	۲-۴-۴ نیتریتها ( $\text{NO}_2^-$ ) و نیتراتها ( $\text{NO}_3^-$ ).....
۶۷.....	۲-۴-۵ فسفاتها ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).....
۶۸.....	جمع‌بندی.....

## فصل سوم: ساختارشناسی و آسیب‌شناسی نمکها در کاخ آرامگاه‌های زیرزمینی چغازنبیل

### و هفت‌تپه

#### مقدمه

۷۳.....	۳-۱ موقعیت جغرافیایی استان خوزستان.....
۷۳.....	۳-۱-۱ جغرافیای طبیعی.....
۷۴.....	۳-۱-۲ جغرافیای اقلیمی (آب و هوا).....
۷۶.....	۳-۴ موقعیت جغرافیایی چغازنبیل.....
۷۷.....	۳-۵ موقعیت جغرافیایی هفت‌تپه.....
۷۸.....	۳-۶ مطالعات تاریخی مجموعه چغازنبیل با نگاهی ویژه به کاخ آرامگاه‌ها.....
۸۱.....	۳-۷ مقابر موجود در کاخ آرامگاه‌ها.....
۸۵.....	۳-۸ مطالعات تاریخی مجموعه هفت‌تپه با نگاهی ویژه به آرامگاه‌ها و قبور هفت‌تپه.....
۹۷.....	۳-۹ مصالح‌شناسی.....
۹۷.....	۳-۹-۱ مواد و مصالح به‌کار رفته برای ساخت آرامگاه‌های چغازنبیل.....
۹۹.....	۳-۹-۲ مواد و مصالح به‌کار رفته برای ساخت آرامگاه‌های هفت‌تپه.....

- ۱۰-۳ شناخت وضع موجود و عملکرد فعلی سوژه ..... ۱۰۱
- ۱۱-۳ عوامل مخل داخلی (با نگاهی ویژه به حضور نمکها) ..... ۱۰۳
- ۱-۱۱-۳ آسیبهای درون‌ساختاری ناشی از مواد اولیه ..... ۱۰۳
- ۱۲-۳ عوامل مخل خارجی (با نگاهی ویژه به حضور نمکها) ..... ۱۰۶
- ۱-۱۲-۳ عوامل طبیعی ..... ۱۰۶
- ۲-۱۲-۳ عوامل شیمیایی و الکتروشیمیایی طبیعت ..... ۱۰۸
- ۳-۱۲-۳ عوامل گیاهی ..... ۱۱۰
- ۴-۱۲-۳ عوامل بیولوژیکی و میکروبیولوژیکی ..... ۱۱۰
- ۵-۱۲-۳ عوامل مرکب ..... ۱۱۲
- ۱۳-۳ شناخت و ثبت عوارض ناشی از عملکردهای مخل (آسیب‌رسان) خارجی ..... ۱۱۳
- ۱-۱۳-۳ نوع ملات مورد استفاده جهت آجرچینی ..... ۱۱۴
- ۲-۱۳-۳ آب اختلاط ملات و گل آجر ..... ۱۱۶
- ۳-۱۳-۳ زمینها و خاک اطراف ..... ۱۱۶
- ۴-۱۳-۳ آبهای سطحی و زیرزمینی ..... ۱۱۷
- ۵-۱۳-۳ مواد و مصالح همجوار با مصالح اصلی ..... ۱۱۹
- ۶-۱۳-۳ مواد و مصالح حفاظتی و مرمتی ..... ۱۲۰
- ۷-۱۳-۳ آلودگیهای موجود در جو و ترکیبات اتمسفر حاکم بر منطقه ..... ۱۲۱
- ۸-۱۳-۳ نمکهای حاصل از آلاینده‌های صنعتی و ترافیکی ..... ۱۲۴
- ۹-۱۳-۳ نمکهای حاصل از فعالیتهای کشاورزی ..... ۱۲۵
- ۱۰-۱۳-۳ عدم حفاظت و مدیریت مناسب ..... ۱۲۶
- ۱۴-۳ تشخیص عوامل عدم تعادل در بنا ..... ۱۲۹
- ۱-۱۴-۳ نظارت بر ریز اقلیم ..... ۱۲۹
- ۲-۱۴-۳ نمونه‌برداری ..... ۱۲۹
- ۱-۲-۱۴-۳ آنالیز کیفی نمکها ..... ۱۳۰
- ۲-۲-۱۴-۳ نتیجه حاصل از آنالیز کیفی ..... ۱۴۰
- ۳-۲-۱۴-۳ آنالیز کمی نمکها ..... ۱۴۱

۱۵۰	..... ۴-۲-۱۴-۳ تحلیل آنالیزها
۱۵۳	..... ۱۵-۳ اتخاذ روش درمان (تشخیص)
۱۵۳	..... ۱-۱۵-۳ آسیب شناسی آرامگاه تپتی آهار (بانگاهی ویژه به حضور نمکها)
۱۶۰	..... ۲-۱۵-۳ منشاء یابی رطوبت و نمکهای موجود در آرامگاه تپتی آهار

## فصل چهارم: طرح حفاظت و نمکزدایی از آرامگاه تپتی آهار هفت تپه

مقدمه

۱۶۸	..... ۱-۴ طرح حفاظتی و پیشگیری از فرسایش ناشی از حضور نمکها در آرامگاه تپتی آهار هفت تپه
۱۶۹	..... ۱-۱-۴ روش درمان و کاهش رطوبت از آرامگاه تپتی آهار هفت تپه
۱۷۵	..... ۲-۱-۴ مداخله پیشگیرانه و کاهش مکانیکی شوره‌ها
۱۷۶	..... ۳-۱-۴ نمکزدایی آرامگاه تپتی آهار هفت تپه
۱۷۹	..... ۲-۴ تشریح مراحل مختلف نمکزدایی از آرامگاه تپتی آهار هفت تپه
۱۷۹	..... ۱-۲-۴ عکاسی اولیه
۱۷۹	..... ۲-۲-۴ انتخاب محل مناسب جهت نمکزدایی
۱۸۰	..... ۳-۲-۴ پاکسازی
۱۸۱	..... ۴-۲-۴ حذف مکانیکی نمکها
۱۸۳	..... ۵-۲-۴ شستشوی دیواره‌ها
۱۸۵	..... ۶-۲-۴ شناخت خصوصیات و ویژگیهای رسوبات سخت و حذف تدریجی آنها
۱۹۳	..... ۷-۲-۴ خارج ساختن نمکهای محلول
۱۹۶	..... ۸-۲-۴ تهیه خمیر کاغذ
۲۰۱	..... ۹-۲-۴ عکاسی حین کار
۲۰۱	..... ۱۰-۲-۴ پاکسازی نهایی
۲۰۳	..... جمع‌بندی و ارائه نتایج

## فصل پنجم: نتایج‌گیری و پیشنهادات

جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات ..... ۲۰۴

فهرست منابع و مأخذ

چکیده انگلیسی

## فهرست تصاویر

### عنوانصفحه

- تصویر ۱-۱: موقعیت کاخ آرامگاه‌ها در محوطه میراث جهانی چغازنبیل..... ۶
- تصویر ۲-۱: عکس هوایی هفت تپه و موقعیت آرامگاه تپتی آهار و آرامگاه دسته جمعی در حین حفاری..... ۶
- تصویر ۳-۱: شوره‌زنی و آسیبهای ناشی از تبلور نمکها در آرامگاه تپتی آهار هفت تپه..... ۹
- تصویر ۱-۲: تراکم میان روزنه‌ای در یک دیوار..... ۳۱
- تصویر ۲-۲: کشندگی آب توسط سطوح آب‌گیر دارای اتمهای اکسیژن و گروه‌های هیدروکسیل..... ۳۳
- تصویر ۳-۲: شکل مقعر سطح آب موجود در داخل منافذ ریز..... ۳۳
- تصویر ۴-۲: صعود موئینه، میزان صعود با شعاع منفذ نسبت عکس دارد..... ۳۴
- تصویر ۵-۲: فاز خیس شدن دیواره‌ها که منجر به ایجاد بلورهای نمکی در سطح آجر می‌شود..... ۳۶
- تصویر ۶-۲: پدیده شوره‌زنی و نهان شکفتگی دو عواملی که منجر به ایجاد بلورهای نمکی در سطح و زیر لایه‌های سطحی آجرها می‌شوند..... ۴۳
- تصویر ۷-۲: مدل جدا شدن حفرات در اثر تبلور نمونه‌ای از نمکهای نترات سدیم..... ۴۶
- تصویر ۱-۳: نقشه ایران و موقعیت استان خوزستان..... ۷۳
- تصویر ۲-۳: موقعیت جغرافیایی محوطه چغازنبیل..... ۷۶
- تصویر ۳-۳: عکس هوایی محوطه میراث جهانی چغازنبیل..... ۷۷
- تصویر ۴-۳: موقعیت جغرافیایی هفت تپه..... ۷۷
- تصویر ۵-۳: تصویر هوایی محوطه و معبد چغازنبیل..... ۷۸
- تصویر ۶-۳: سمت راست: موقعیت مکانی کاخ آرامگاه‌ها در محوطه تاریخی چغازنبیل. تصویر سمت چپ: محله شاهی و موقعیت کاخ آرامگاه‌ها..... ۷۹
- تصویر ۷-۳: نقشه کاخ آرامگاه‌های زیرزمینی محوطه تاریخی چغازنبیل..... ۸۰
- تصویر ۸-۳: نقشه آرامگاه شماره ۱..... ۸۲
- تصویر ۹-۳: نقشه آرامگاه شماره ۲..... ۸۲

تصویر ۳-۱۰: نقشه آرامگاه شماره ۳.....	۸۳
تصویر ۳-۱۱: نقشه آرامگاه شماره ۴.....	۸۳
تصویر ۳-۱۲: نقشه آرامگاه شماره ۵.....	۸۴
تصویر ۳-۱۳: محوطه باستانی هفت تپه و پایگاه میراث جهانی چغازنبیل و هفت تپه.....	۸۶
تصویر ۳-۱۴: محل قرار گیری آثار باستانی و موقعیت آرامگاه‌های هفت تپه.....	۸۷
تصویر ۳-۱۵: موقعیت مکانی آرامگاه تپتی آهار در محوطه باستانی هفت تپه.....	۸۹
تصویر ۳-۱۶: وضعیت آرامگاه تپتی آهار در زمان کاوش و شرایط فعلی ایجاد شده.....	۹۰
تصویر ۳-۱۷: طاق تخریب شده آرامگاه تپتی آهار در زمان کاوش و شرایط فعلی آن.....	۹۱
تصویر ۳-۱۸: مقطع عمودی از دیواره جنوبی آرامگاه تپتی آهار.....	۹۲
تصویر ۳-۱۹: مقطع افقی از اتاقک آرامگاه تپتی آهار.....	۹۲
تصویر ۳-۲۰: محل ساختمان آرامگاه و موقعیت سالن مجاور آرامگاه تپتی آهار.....	۹۳
تصویر ۳-۲۱: خاکبرداری زیر سالن شماره (۱) جهت رسیدن به زیرزمین آرامگاه.....	۹۴
تصویر ۳-۲۲: ساختمان تشریفاتی و مدخل آرامگاه تپتی آهار.....	۹۴
تصویر ۳-۲۳: موقعیت مکانی آرامگاه دسته‌جمعی در محوطه باستانی هفت تپه.....	۹۵
تصویر ۳-۲۴: محل ساختمان آرامگاه و موقعیت آرامگاه دسته‌جمعی.....	۹۶
تصویر ۳-۲۵: گور دسته‌جمعی و نحوه تدفین اجساد در آن.....	۹۷
تصویر ۳-۲۶: آجرهای سبز رنگ دیواره شمال غربی آرامگاه تپتی آهار هفت تپه.....	۱۰۰
تصویر ۳-۲۷: آجرهای کرمی رنگ دیواره شمال شرقی آرامگاه تپتی آهار هفت تپه.....	۱۰۰
تصویر ۳-۲۸: آجرهای سرخ رنگ با مغز تیره دیواره جنوبی آرامگاه تپتی آهار هفت تپه.....	۱۰۱
تصویر ۳-۲۹: ورودی آرامگاه شماره ۱.....	۱۰۱
تصویر ۳-۳۰: طاق تخریب شده سالن اول آرامگاه شماره ۵ (دید از بیرون و داخل آرامگاه).....	۱۰۲
تصویر ۳-۳۱: طاق تخریب شده آرامگاه تپتی آهار و ارتفاع رطوبت صعودی بر روی دیواره‌های آرامگاه.....	۱۰۳
تصویر ۳-۳۲: طیف رنگی مختلف و آسیب دیدن آجرها به دلیل پخت ناقص (آرامگاه تپتی آهار هفت تپه).....	۱۰۴
تصویر ۳-۳۳: عدم پخت کافی و تنوع طیف رنگی در مقطع آجرها (آرامگاه تپتی آهار هفت تپه).....	۱۰۵
تصویر ۳-۳۴: پوسته شدن و حذف تدریجی آجرها در اثر تبلور نمکها و دیگر عوامل آسیب‌رسان.....	۱۰۵
تصویر ۳-۳۵: ارتفاع رطوبت صعودی در داخل آرامگاه تپتی آهار هفت تپه.....	۱۰۸



- تصویر ۳-۳۶: لکه‌های حاصل از فضله و ادرار خفاشها بر روی آجرهای طاق سالن دوم آرامگاه شماره ۵..... ۱۱۱
- تصویر ۳-۳۷: فرسایش ملات گچ بین رجهای آجر در اثر تماس طولانی مدت با آب و رطوبت (آرامگاه تپتی آهار).. ۱۱۴
- تصویر ۳-۳۸: حضور نمکهای سولفات بر روی آجرهای دیواره جنوبی آرامگاه تپتی آهار هفت‌تپه..... ۱۱۵
- تصویر ۳-۳۹: تجمع خاک و رطوبت در داخل فضای خالی زیر کف حیاط پشت آرامگاه تپتی آهار هفت‌تپه..... ۱۱۷
- تصویر ۳-۴۰: تجمع آب ناشی از بارندگی در حیاط پشتی و در پای دیوارهای داخل مقبره..... ۱۱۸
- تصویر ۳-۴۱: داخل فضای خالی پشت آرامگاه و شرایط وخیم مواد و مصالح همجوار با دیواره جنوبی آرامگاه..... ۱۱۹
- تصویر ۳-۴۲: بخشهای مرمت شده دیواره شمالی آرامگاه تپتی آهار..... ۱۲۰
- تصویر ۳-۴۳: کاهش حفاظتی اجرا شده بر روی طاق و دیوارهای منتهی به آرامگاه..... ۱۲۱
- تصویر ۳-۴۴: شوره‌های سولفات تشکیل شده در سطح آجرها ناشی از مواد و مصالح همجوار..... ۱۲۳
- تصویر ۳-۴۵: غلظت بالای گرد و غبار حاصل از حرکت ریز ذرات خاک از کشورهای همسایه (محوطه چغازنبیل)... ۱۲۴
- تصویر ۳-۴۶: دود ناشی از آتش‌سوزی مزارع نیشکر در محوطه میراث جهانی چغازنبیل و هفت‌تپه..... ۱۲۴
- تصویر ۳-۴۷: عملکرد نامناسب پوشش حفاظتی و سرازیر شدن آب ناشی از بارندگی در پای دیواره شمالی آرامگاه... ۱۲۷
- تصویر ۳-۴۸: سرازیر شدن آب حاصل از بارندگی در داخل فضای خالی از طریق دریچه ایجاد شده..... ۱۲۷
- تصویر ۳-۴۹: نمونه‌برداری از شوره‌ها و نمکهای سطحی و عمقی دیواره‌های آرامگاهها..... ۱۳۰
- تصویر ۳-۵۰: پلان کاخ آرامگاهها و موقعیت مکانی آرامگاه شماره ۱ و نمونه‌برداری از سطح و عمق آجرها..... ۱۳۲
- تصویر ۳-۵۱: پلان کاخ آرامگاهها و موقعیت مکانی سالن اول آرامگاه شماره ۲ و نمونه‌برداری از سالن اول..... ۱۳۳
- تصویر ۳-۵۲: پلان کاخ آرامگاهها و موقعیت مکانی سالن دوم آرامگاه شماره ۲ و نمونه‌برداری از سالن دوم..... ۱۳۴
- تصویر ۳-۵۳: پلان کاخ آرامگاهها و موقعیت مکانی سالن دوم آرامگاه شماره ۳ و نمونه‌برداری از سالن دوم..... ۱۳۶
- تصویر ۳-۵۴: پلان کاخ آرامگاهها و موقعیت مکانی سالن اول آرامگاه شماره ۵ و نمونه‌برداری از سالن اول..... ۱۳۸
- تصویر ۳-۵۵: پلان کاخ آرامگاهها و موقعیت مکانی سالن دوم آرامگاه شماره ۵ و نمونه‌برداری از سالن دوم..... ۱۳۹
- تصویر ۳-۵۶: فضله خفاشها و لکه‌های حاصل از ادرار این پستانداران (طاق سالن دوم آرامگاه شماره ۵)..... ۱۴۰
- تصویر ۳-۵۷: شوره‌زدگی آجرها و تیرگی ناشی از سیر رطوبت صعودی در دیواره‌های آرامگاه تپتی آهار..... ۱۵۴
- تصویر ۳-۵۸: رطوبت دائمی دیواره‌های آرامگاه و شرایط نامناسب مصالح..... ۱۵۴
- تصویر ۳-۵۹: عدم پخت مناسب خشتهها در اثر حرارت پایین کوره یا توقف کوتاه مدت آجرها در دمای بالا..... ۱۵۴
- تصویر ۳-۶۰: فرسایش شدید آجرها و حذف تدریجی تعداد زیادی از آنها به دلیل پخت ناقص..... ۱۵۵
- تصویر ۳-۶۱: پودری شدن آجرها در اثر پخت ناقص و تشدید فرسایش به واسطه عوامل محیطی..... ۱۵۶

- تصویر ۳-۶۲: پولکی شدن و خورد شدن آجرهای یکپارچه به دلیل عوامل درون‌ساختاری و عوامل خارجی..... ۱۵۶
- تصویر ۳-۶۳: پوسته شدن و لایه‌لایه شدن آجرها در اثر تبلور نمکها در زیر لایه‌های سطحی و عوامل انبساط و انقباض..... ۱۵۷
- تصویر ۳-۶۴: پوسته ضخیم شوره‌های سولفات‌ها بر روی آجرهای دیواره جنوبی آرامگاه تپتی آهار..... ۱۵۸
- تصویر ۳-۶۵: محدوده تجمع سولفات‌ها (رنگ زرد) و محدوده تجمع سولفات‌ها، کلریدها و نترات‌ها (رنگ سبز)..... ۱۵۹
- تصویر ۳-۶۶: ارتفاع آرامگاه تپتی آهار از کف زمین تا هلال طاق و ضخامت طاق آجری. چپ: ارتفاع قسمت بالا آمده طاق از کف حیاط پشت آرامگاه..... ۱۶۰
- تصویر ۳-۶۷: محدوده رطوبت تا ارتفاع ۲۳۰ سانتیمتری دیواره جنوبی آرامگاه که در زیرکف حیاط پشتی قرار گرفته و ۱۹۰ سانتیمتر آن که بیرون است کاملاً خشک می‌باشد..... ۱۶۱
- تصویر ۴-۱: شرایط آشفته و نامناسب فضای خالی زیر کف حیاط آرامگاه..... ۱۶۸
- تصویر ۴-۲: پلان و محدوده تقریبی مشخص شده، ساختار متفاوت آرامگاه در زیر کف حیاط را نشان می‌دهد..... ۱۶۹
- تصویر ۴-۳: قسمت تخریب شده کف حیاط پشت آرامگاه دید از داخل و خارج فضای خالی..... ۱۶۹
- تصویر ۴-۴: اندود گچی کار شده بر روی دیواره داخلی فضای خالی زیر کف حیاط..... ۱۷۰
- تصویر ۴-۵: کف‌سازی حیاط پشت آرامگاه با استفاده از چهار رج آجر همراه با یک لایه ضخیم از ملات گچ..... ۱۷۰
- تصویر ۴-۶: رانش خاک اطراف دیواره‌ها و انباشت نخاله در داخل فضای خالی زیر کف حیاط..... ۱۷۱
- تصویر ۴-۷: طرح قبل و بعد از پاکسازی و ساماندهی فضای خالی زیر کف حیاط..... ۱۷۲
- تصویر ۴-۸: مسدود کردن دریچه و تعبیه هواکش جهت ایجاد کوران دائمی هوا در داخل فضای خالی..... ۱۷۳
- تصویر ۴-۹: لزوم ایجاد پوشش حفاظتی بر روی ورودی اصلی آرامگاه به منظور جلوگیری از نفوذ آبهای سطحی ناشی از بارندگی به درون این دریچه..... ۱۷۴
- تصویر ۴-۱۰: طرح ساماندهی و خشت چینی داخل فضای خالی به منظور پیشگیری از رانش مجدد خاک اطراف و ایجاد پوشش حفاظتی بر روی ورودی اصلی آرامگاه..... ۱۷۴
- تصویر ۴-۱۱: تجمع شوره‌ها و رسوب سخت سولفات کلسیم در رجهای پایینی دیواره جنوبی آرامگاه..... ۱۷۵
- تصویر ۴-۱۲: شرایط حاکم بر دیواره جنوبی آرامگاه تپتی آهار..... ۱۷۹
- تصویر ۴-۱۳: انتخاب و ریسمان کشی محل مورد نظر جهت انجام عملیات نمک‌زدایی..... ۱۸۰
- تصویر ۴-۱۴: موقعیت محل انتخاب شده جهت نمک‌زدایی (دیواره جنوبی آرامگاه تپتی آهار)..... ۱۸۰
- تصویر ۴-۱۵: پاکسازی آجرها با استفاده از پمپ باد و قلمو به منظور سرعت بخشیدن به روند کار پاکسازی..... ۱۸۱

- تصویر ۴-۱۶: پاکسازی شوره‌ها و نمکهای سطحی و حذف رسوبات سخت..... ۱۸۲
- تصویر ۴-۱۷: پاکسازی سطوح آجرکاری از هرگونه شوره و گرد و خاک با استفاده از پمپ باد و دستگاه دمنده هوا... ۱۸۲
- تصویر ۴-۱۸: شستشوی سطوح شوره زده آجرکاری با اسپری آب مقطر، قلمو و مسواک نرم..... ۱۸۳
- تصویر ۴-۱۹: شستشوی دیواره با فرچه پلاستیکی نرم، در مواردی که آجرها از استحکام بالایی برخوردار می‌باشند.... ۱۸۳
- تصویر ۴-۲۰: آبکشی نهایی سطح دیواره جنوبی آرامگاه با آب مقطر..... ۱۸۴
- تصویر ۴-۲۱: غبار رویی و پاکسازی نهایی سطوح آجرکاری با استفاده از دستگاه دمنده هوا..... ۱۸۴
- تصویر ۴-۲۲: پاکسازی نهایی سطوح تمیز شده با اسپری آب الکل ۱:۱..... ۱۸۵
- تصویر ۴-۲۳: دیواره جنوبی آرامگاه تپتی آهار قبل و بعد از عملیات پاکسازی و حذف مکانیکی شوره‌ها..... ۱۸۵
- تصویر ۴-۲۴: تجمع رسوبات سخت و نمکهای نامحلول در رجهای پایینی دیواره‌های آرامگاه تپتی آهار هفت تپه..... ۱۸۶
- تصویر ۴-۲۵: رسوبات سخت سولفات کلسیم بر روی آجرکارهای آرامگاه تپتی آهار..... ۱۸۷
- تصویر ۴-۲۶: دستگاه‌های پورتابل دمنده هوای گرما قابلیت تنظیم درجه حرارت..... ۱۸۸
- تصویر ۴-۲۷: انواع سشوآرهای صنعتی با قابلیت تولید هوای گرم و تنظیم درجه حرارت..... ۱۸۸
- تصویر ۴-۲۸: تصویر پشت و روی بخشی از یک تابوت سفالی قبل از نم‌زدایی..... ۱۸۹
- تصویر ۴-۲۹: مراحل مختلف حذف مکانیکی رسوبات سولفات کلسیم از سطح نمونه مطالعاتی..... ۱۹۰
- تصویر ۴-۳۰: نمونه سفال مطالعاتی قبل از حذف رسوبات و نم‌زدایی..... ۱۹۰
- تصویر ۴-۳۱: نمونه سفال مطالعاتی بعد از حذف رسوبات و نم‌زدایی..... ۱۹۰
- تصویر ۴-۳۲: ایجاد حرارت با استفاده از فندک اتمی جهت تغییر در ساختار رسوبات..... ۱۹۱
- تصویر ۴-۳۳: اسپری آب مقطر جهت نرم کردن و حذف تدریجی رسوبات از سطح آجرها..... ۱۹۲
- تصویر ۴-۳۴: تراشیدن رسوبات نرم شده از سطح آجرها با استفاده از تیغ بیستوری..... ۱۹۲
- تصویر ۴-۳۵: تفاوت بین بخشهای رسوب‌زدایی شده و قسمتهای دست نخورده..... ۱۹۲
- تصویر ۴-۳۶: خشک کردن و غبارروبی از سطح آجرهای رسوب‌زدایی شده با استفاده از قلمو و دستگاه دمنده هوا.... ۱۹۳
- تصویر ۴-۳۷: تصویر قبل و بعد از نم‌زدایی و حذف رسوبات..... ۱۹۳
- تصویر ۴-۳۸: آماده‌سازی خمیر کاغذ جهت خارج نمودن نمکهای محلول از ساختار آجرها..... ۱۹۷
- تصویر ۴-۳۹: مراحل مختلف قرار دادن خمیر کاغذ بر روی بخشی از دیواره جنوبی آرامگاه تپتی آهار هفت تپه..... ۱۹۷
- تصویر ۴-۴۰: جدا کردن خمیر کاغذ خشک شده از سطح دیواره جنوبی آرامگاه..... ۲۰۰
- تصویر ۴-۴۱: بازگشت مجدد شوره‌های سولفات بر روی آجرهای رسوب‌زدایی شده بعد از گذشت ۵۰ روز..... ۲۰۳

## فهرست جداول

### عنوانصفحه

جدول ۲-۱: ترکیبات نم‌گذار.....	۲۶
جدول ۲-۲: شایع‌ترین سولفاتهای رسوبی.....	۵۴
جدول ۲-۳: واکنش دی‌اکسید سولفور در هوا و روی دیوار.....	۵۷
جدول ۲-۴: شایع‌ترین کلریدهای رسوبی.....	۶۱
جدول ۳-۱: میزان آنیونهای موجود در شوره‌های آرامگاه شماره ۱.....	۱۳۲
جدول ۳-۲: میزان آنیونهای موجود در شوره‌های ضلع غربی سالن اول آرامگاه شماره ۲.....	۱۳۳
جدول ۳-۳: میزان آنیونهای موجود در شوره‌های ضلع جنوب‌شرقی سالن اول آرامگاه شماره ۲.....	۱۳۳
جدول ۳-۴: میزان آنیونهای موجود در شوره‌های ضلع غربی سالن دوم آرامگاه شماره ۲.....	۱۳۴
جدول ۳-۵: میزان آنیونهای موجود در شوره‌های ضلع جنوب‌غربی سالن دوم آرامگاه شماره ۲.....	۱۳۴
جدول ۳-۶: میزان آنیونهای موجود در شوره‌های ضلع شمالی سالن دوم آرامگاه شماره ۳.....	۱۳۶
جدول ۳-۷: میزان آنیونهای موجود در شوره‌های ضلع شمال‌شرقی سالن دوم آرامگاه شماره ۳.....	۱۳۶
جدول ۳-۸: میزان آنیونهای موجود در شوره‌های ضلع جنوبی سالن اول آرامگاه شماره ۵.....	۱۳۸
جدول ۳-۹: میزان آنیونهای موجود در شوره‌های ضلع شمال‌شرقی سالن دوم آرامگاه شماره ۵.....	۱۳۹
جدول ۳-۱۰: میزان آنیونهای موجود در شوره‌های ضلع شمال‌شرقی سالن دوم آرامگاه شماره ۵.....	۱۳۹
جدول ۳-۱۱: نتایج یون کروماتوگرافی نمونه (I) سطحی و عمقی آرامگاه تپتی آهار هفت‌تپه (درصد آنیونها).....	۱۴۴
جدول ۳-۱۲: نتایج یون کروماتوگرافی نمونه (I) سطحی و عمقی آرامگاه تپتی آهار هفت‌تپه (درصد کاتیونها).....	۱۴۴
جدول ۳-۱۳: نتایج XRD نمونه (I) سطحی آرامگاه تپتی آهار هفت‌تپه.....	۱۴۵
جدول ۳-۱۴: نتایج XRD نمونه (I) عمقی آرامگاه تپتی آهار هفت‌تپه.....	۱۴۵
جدول ۳-۱۵: نتایج یون کروماتوگرافی نمونه (II) سطحی و عمقی آرامگاه تپتی آهار هفت‌تپه (درصد آنیونها).....	۱۴۶
جدول ۳-۱۶: نتایج یون کروماتوگرافی نمونه (II) سطحی و عمقی آرامگاه تپتی آهار هفت‌تپه (درصد کاتیونها).....	۱۴۶
جدول ۳-۱۷: نتایج XRD نمونه (II) سطحی آرامگاه تپتی آهار هفت‌تپه.....	۱۴۷