

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



دانشکده هنرهای کاربردی

پایان نامه تحصیلی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی

عنوان

فن شناسی ، آسیب شناسی و طرح مرمت
کاشی های پوسته خارجی گنبد سلطانیه

استاد راهنما

دکتر علیرضا رازقی

استاد مشاور

مهندس فرانک بحرالعلومی

نگارش و تمقیق

پریچهر مرادی

شهریور ۱۳۹۱

Ministry of Science, Research & Technology



University of Art

Faculty name

Faculty of Applied Art

Thesis Title

**The Technology, Diagnostic and Restoration design of external tiles
of soltaniyeh dome**

Supervisor

Ali Reza Razeghi (PH.D)

Adviser

Faranak Bahrololoumi

A Thesis Submitted to Graduate Studies Office in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of Master of Arts in Conservation and Restoration of
Historic and Art Objects

By : Parichehr Moradi

September 2012

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تعهد نامه

اینجانب اعلام می‌دارم که تمام فصل‌های این پایان نامه و اجزاء مربوط به آن برای اولین بار (توسط اینجانب) انجام شده است. برداشت از نوشته‌ها، کتب، پایان‌نامه‌ها، اسناد، مدارک و تصاویر پژوهشگران حقیقی یا حقوقی (فارسی و غیر فارسی) با ذکر مأخذ کامل و به شیوه تحقیق علمی صورت گرفته است.

بدیهی است در صورتی که خلاف موارد فوق اثبات شود مسئولیت آن مستقیماً به عهده اینجانب خواهد بود.

تاریخ

امضاء

چکیده

گنبد سلطانیه شاهکار هنر معماری ایران و جهان، بزرگ‌ترین گنبد آجری و سومین گنبد بزرگ جهان پس از گنبدهای سانتا ماریا دلفیوره و ایاصوفیه است که طی مدت زمان ده سال و در بین سال‌های ۷۱۳-۷۰۴ (ه.ق) توسط سلطان محمد خدا بنده (اولجایتو) در سلطانیه احداث شده است.

این گنبد با تزئینات کاشی‌کاری آراسته شده که طی قرون متمادی و بر اثر شرایط اقلیمی بسیار سخت حاکم بر آن آسیب دیده‌اند. مرمت و بازسازی کاشی‌های گنبد در بین سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۸۷ از جمله اقداماتی است که برای حفظ این بنای ارزشمند از سوی مسئولان وقت میراث فرهنگی انجام یافت اما پس از مدت زمان کوتاهی قریب یک سال از اتمام این پروژه، لعاب کاشی‌های گنبد شروع به ریختن کرده و به لحاظ بصری و ساختاری در شرایط بسیار بدی قرار گرفته‌اند.

محور اصلی این پایان‌نامه شناخت شدت و علل تخریب‌هایی است که در لعاب‌های کاشی‌ها به وجود آمده است. بر این اساس انجام مطالعات فن‌شناسی و آسیب‌شناسی برای شناخت ساختار لعاب‌ها و همچنین آشنایی با عوامل آسیب‌رسان به آن‌ها لازم می‌بود. اطلاعات به دست آمده در این پژوهش با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی، آزمایشگاهی و آنالیز دستگامی حاصل شده است. ترکیبات لعاب‌ها با استفاده از روش‌های SEM و ICP شناخته شد. همچنین برای شناسایی نوع ملات و شوره از روش FT-IR استفاده گردید. نتایج حاصل از این یافته‌ها نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل تخریب شدید لعاب‌ها در ارتباط با عدم آگاهی و دانش کافی مسئولین مربوطه نسبت به فرآیند تولید لعاب‌ها، نحوه اجرا و نصب کاشی‌ها و همچنین فشار مسئولان برای به پایان رساندن سریع‌تر مرمت گنبد بوده است. دو عامل فوق‌سبب گشته تا لعاب‌ها از همان آغاز دچار تخریب‌هایی چون ترک، حفره، پریدگی لعاب و ... شوند.

کلید واژه: فن‌شناسی، آسیب‌شناسی، کاشی، لعاب، گنبد سلطانیه.

فهرست مطالب

مقدمه ۱

فصل اول: «ساختار نظری تحقیق»

- ۱-۱-۱ دیباچه ۲
- ۲-۱-۱ بیان مسأله ۲
- ۳-۱-۱ پیشینه تحقیق ۳
- ۴-۱-۱ اهمیت و ضرورت موضوع مسأله تحقیق ۶
- ۵-۱-۱ اهداف تحقیق ۶
- ۶-۱-۱ ساختار تحقیق ۷
- ۷-۱-۱ سوالات تحقیق ۸
- ۸-۱-۱ فرضیه تحقیق ۸
- ۹-۱-۱ روش تحقیق ۸
- ۱۰-۱-۱ روش نمونه گیری و تعیین حجم نمونه ۹
- ۱۱-۱-۱ قلمرو مکانی تحقیق ۱۰
- ۱۲-۱-۱ قلمرو زمانی تحقیق ۱۰
- ۱۳-۱-۱ ابزارهای گردآوری داده‌ها ۱۰

فصل دوم: «فن شناسی و آسیب شناسی کاشی و لعاب»

- ۱-۲-۱ فن شناسی کاشی و لعاب ۱۱
- ۱-۲-۱-۱-۱ انواع کاشی ۱۳
- ۱-۲-۱-۱-۲ کاشی زرین فام ۱۳
- ۱-۲-۱-۱-۲ کاشی معرق ۱۳
- ۱-۲-۱-۱-۲ کاشی هفت رنگ ۱۴
- ۱-۲-۱-۱-۲ کاشی معقلی ۱۵
- ۱-۲-۱-۲ بدنه کاشی ۱۸
- ۱-۲-۱-۲ بدنه گلی ۱۸
- ۱-۲-۱-۲ بدنه جسمی ۱۹

- ۱۹-۳-۱-۲ کوره‌های کاشی پزی.....
- ۲۲-۴-۱-۲ لعاب و ساختار آن.....
- ۲۷-۱-۴-۱-۲ مواد اولیه شبکه ساز (شبکه سازها).....
- ۲۸-۲-۴-۱-۲ مواد اولیه شبکه واسطه.....
- ۳۰-۳-۴-۱-۲ مواد اولیه دگرگون ساز شبکه.....
- ۳۷-۴-۴-۱-۲ مواد اولیه مات کننده.....
- ۳۸-۵-۴-۱-۲ مواد اولیه رنگ کننده.....
- ۴۳-۵-۱-۲ مهم‌ترین خواص لعاب‌ها.....
- ۴۳-۱-۵-۱-۲ ذوب.....
- ۴۴-۲-۵-۱-۲ ویسکوزیته.....
- ۴۵-۳-۵-۱-۲ کشش سطحی.....
- ۴۶-۴-۵-۱-۲ تطابق و تناسب بین بدنه و لعاب.....
- ۴۹-۵-۵-۱-۲ مقاومت شیمیایی.....
- ۵۰-۶-۵-۱-۲ فراریت.....
- ۵۱-۷-۵-۱-۲ سختی.....
- ۵۱-۸-۵-۱-۲ خواص الکتریکی لعاب.....
- ۵۲-۲-۲ آسیب شناسی کاشی و لعاب.....
- ۵۲-۱-۲-۲ آسیب‌های ساختاری.....
- ۵۲-۱-۱-۲-۲ ترک خوردگی.....
- ۵۴-۲-۱-۲-۲ پریدگی لعاب.....
- ۵۵-۳-۱-۲-۲ سوراخ‌های نیش سوزنی.....
- ۵۵-۴-۱-۲-۲ تورم و تولید حباب هوا در لعاب.....
- ۵۶-۵-۱-۲-۲ شره کردن لعاب.....
- ۵۶-۶-۱-۲-۲ لعاب خزیدگی.....
- ۵۷-۷-۱-۲-۲ تبخیر و مات شدن لعاب.....
- ۵۷-۸-۱-۲-۲ سطح ناهموار لعاب.....
- ۵۸-۹-۱-۲-۲ جدایش لعاب.....
- ۵۸-۱۰-۱-۲-۲ سفیدک زدن لعاب.....
- ۵۹-۱۱-۱-۲-۲ ایجاد لکه‌های رنگی بر سطح لعاب.....
- ۵۹-۱۲-۱-۲-۲ گرد و خاک گرفتن لعاب.....

۵۹	..... آسیب‌های محیطی..... ۲-۲-۲
۵۹	..... آسیب‌های فیزیکی..... ۱-۲-۲-۲
۶۲	..... آسیب‌های شیمیایی..... ۲-۲-۲-۲

فصل سوم: « معرفی شهر و بنای سلطانیه»

۶۸	..... موقعیت جغرافیایی منطقه سلطانیه..... ۱-۳
۶۹	..... ویژگی‌های اقلیمی منطقه سلطانیه..... ۲-۳
۷۱	..... پیشینه تاریخی شهر سلطانیه..... ۳-۳
۷۲	..... ساخت شهر سلطانیه..... ۱-۳-۳
۷۳	..... سلطانیه پس از روزگار اولجایتو..... ۲-۳-۳
۷۴	..... سلطانیه در سال‌های اخیر..... ۴-۳
۷۸	..... معرفی بنای گنبد سلطانیه..... ۵-۳

فصل چهارم: «فن شناسی و مطالعات آزمایشگاهی کاشی‌های گنبد سلطانیه»

۸۳	..... فن شناسی کاشی‌های گنبد سلطانیه..... ۱-۴
۸۸	..... کوره‌های کاشی‌پزی سلطانیه..... ۲-۴
۹۰	..... بررسی درصد تخلخل کاشی‌های مرمتی..... ۳-۴
۹۱	..... آنالیز ملات کاشی‌کاری..... ۴-۴
۹۲	..... آنالیز لعاب..... ۵-۴
۹۳	..... آنالیز لعاب فیروزه‌ای..... ۱-۵-۴
۹۷	..... آنالیز لعاب لاجوردی..... ۲-۵-۴
۱۰۰	..... آنالیز لعاب مشکی..... ۳-۵-۴
۱۰۴	..... جمع بندی نتایج آزمایشگاهی لعاب..... ۶-۴
۱۰۵	..... نصب و اجرای کاشی‌کاری گنبد..... ۷-۴

فصل پنجم: «آسیب شناسی کاشی‌های گنبد سلطانیه»

۱۰۹	..... آسیب شناسی کاشی‌های گنبد سلطانیه..... ۱-۵
۱۱۰	..... آسیب‌های ناشی از فرایند تولید (ساختاری)..... ۱-۱-۵

- ۱۱۰-۱-۱-۵- معایب به وجود آمده در اثر چیدمان شیب دار کاشی‌ها در کوره.....
- ۱۱۳-۲-۱-۱-۵- شوک حرارتی و انبساط رطوبتی.....
- ۱۱۶-۳-۱-۱-۵- اختلالات رنگی.....
- ۱۱۷-۲-۱-۵- مشکلات اجرایی.....
- ۱۱۷-۱-۲-۱-۵- بستر سازی و ملات نامناسب.....
- ۱۲۰-۲-۲-۱-۵- بیرون زدگی پارچه‌های معقلی.....
- ۱۲۰-۳-۲-۱-۵- ابعاد متفاوت کاشی و آجر.....
- ۱۲۱-۴-۲-۱-۵- اجرای متفاوت رأس پنجره‌ها.....
- ۱۲۲-۵-۲-۱-۵- تفاوت در نحوه اجرای نقوش کلیل‌ها.....
- ۱۲۴-۶-۲-۱-۵- نصب کاشی لاجوردی در میان کاشی‌های مشکی.....
- ۱۲۵-۷-۲-۱-۵- پوشیده شدن سطح بسیاری از کاشی‌ها و آجرها از ملات سیمان و گچ.....
- ۱۲۶-۸-۲-۱-۵- وجود میخ در بین کاشی‌ها.....
- ۱۲۶-۹-۲-۱-۵- فقدان کاشی و آجر و نفوذ رطوبت به گنبد.....
- ۱۲۷-۳-۱-۵- آسیب‌های محیطی.....
- ۱۲۷-۱-۳-۱-۵- یخ بر شدن.....
- ۱۲۷-۲-۳-۱-۵- سفیدک زدن لعاب.....
- ۱۲۸-۳-۳-۱-۵- چرکی و کثیفی سطح کاشی‌ها.....
- ۱۲۸-۴-۳-۱-۵- تفاوت رنگ در کاشی‌ها.....
- ۱۲۹-۵-۳-۱-۵- رنگ باختگی لعاب مشکی.....
- ۱۳۲-۴-۱-۵- آسیب‌های انسانی.....
- ۱۳۲-۲-۵- میزان تخریب و آسیب کاشی‌های گنبد.....

فصل ششم: «ارائه طرح مرمتی کاشی‌های گنبد سلطانیه»

- ۱۴۱-۱-۶- تغییر شکل نحوه‌ی بهره‌گیری از کوره‌ها.....
- ۱۴۲-۲-۶- بهبود کیفیت بدنه.....
- ۱۴۴-۳-۶- ملات کاشی‌کاری.....
- ۱۴۴-۴-۶- نقوش کلیل‌ها.....
- ۱۴۶-۵-۶- زدودن کثیفی سطوح لعاب و کاشی.....
- ۱۵۱-۶-۶- ترکیبات لعاب.....

نتیجه گیری..... ۱۵۳

فهرست منابع..... ۱۵۵

پیوست

پیوست شماره ۱: واژه نامه ۱۶۲

پیوست شماره ۲: نتایج تجزیه عنصری با روش SEM-EDX ۱۶۵

پیوست شماره ۳: نتایج تجزیه عنصری با روش ICP ۱۷۲

پیوست شماره ۴: نتایج حاصل از آزمایشات به روش FT-IR ۱۷۴

فهرست جدول‌ها

- جدول شماره ۱: عدد کوردیناسیون و استحکام پیوند اکسیدهای مختلف..... ۲۶
- جدول شماره ۲: اثر و وظیفه‌ی مهم سایر اکسیدهای گروه میانی..... ۲۹
- جدول شماره ۳: پارامترهای دمایی در ایستگاه خیر آباد (سلطانیه)..... ۶۹
- جدول شماره ۴: میزان بارش در ایستگاه خیر آباد (سلطانیه)..... ۶۹
- جدول شماره ۵: سرعت و جهت باد در ایستگاه خیر آباد (سلطانیه)..... ۷۰
- جدول شماره ۶: درصد رطوبت در ایستگاه خیر آباد (سلطانیه)..... ۷۰
- جدول شماره ۷: روزهای یخبندان در ایستگاه خیر آباد (سلطانیه)..... ۷۰
- جدول شماره ۸: میزان ساعات آفتابی در ایستگاه خیر آباد (سلطانیه)..... ۷۱
- جدول شماره ۹: درصد جذب آب بدنه کاشی نمونه جدید..... ۹۰
- جدول شماره ۱۰: نتایج آنالیز عناصر تشکیل دهنده لعاب فیروزه‌ای به روش SEM-EDX..... ۹۷
- جدول شماره ۱۱: نتایج آنالیز اکسید مس در لعاب کاشی‌های مرمتی به روش ICP..... ۹۷
- جدول شماره ۱۲: نتایج آنالیز عناصر تشکیل دهنده لعاب لاجوردی به روش SEM-EDX..... ۹۹
- جدول شماره ۱۳: نتایج آنالیز اکسید کبالت در لعاب لاجوردی به روش ICP..... ۱۰۰
- جدول شماره ۱۴: نتایج آنالیز عناصر تشکیل دهنده لعاب مشکی به روش SEM-EDX..... ۱۰۴
- جدول شماره ۱۵: نتایج آنالیز اکسید منگنز در مشکی مات به روش ICP..... ۱۰۴
- جدول شماره ۱۶: جمع بندی نتایج آزمایشگاهی..... ۱۰۵
- جدول شماره ۱۷: آسیب شناسی کاشی کاری پوسته خارجی گنبد سلطانیه..... ۱۳۸
- جدول شماره ۱۸: آسیب شناسی کاشی کاری پوسته خارجی گنبد سلطانیه..... ۱۳۹
- جدول شماره ۱۹: آسیب شناسی کاشی کاری پوسته خارجی گنبد سلطانیه..... ۱۴۰
- جدول شماره ۲۰: مواد پاک کننده در سرامیک‌ها..... ۱۵۰

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱: کاشی زرین فام ۱۵
- شکل ۲: کاشی معرق ۱۵
- شکل ۳: کاشی هفت رنگ ۱۵
- شکل ۴: اندازه اجزاء قطعات در معقلی سازی ۱۶
- شکل ۵: چند نمونه از کوره‌های ابتدایی ۲۰
- شکل ۶: کوره‌ای متعلق به دوران بنی‌امیه ۲۰
- شکل ۷ (الف، ب): کوره‌های پخت کاشی ۲۲
- شکل ۸: چهاروجهی $(SiO_4)^{4-}$ ۲۳
- شکل ۹ (الف، ب): ساختمان سیلیس شیشه‌ای و متبلور ۲۳
- شکل ۱۰: ساختمان شیشه‌ی SiO_2-Na_2O ۲۵
- شکل ۱۱: محدوده‌ی فعالیت گدازآورها ۳۰
- شکل ۱۲: اثر SiO_2 بر روی حلالیت سرب ۳۱
- شکل ۱۳: اثر اکسید آلومینیم بر روی حلالیت سرب ۳۲
- شکل ۱۴ (الف، ب، ج): لعاب تحت کشش ۴۷
- شکل ۱۵ (الف، ب، ج): لعاب تحت فشار ۴۷
- شکل ۱۶: نمایی از واکنش انجام یافته بین مولکول‌های آب و سطح شیشه ۶۳
- شکل ۱۷: آب شویی بلند مدت شیشه‌ی $15Na_2O.85SiO_2$ ۶۵
- شکل ۱۸: آب شویی کوتاه مدت شیشه‌ی $15Na_2O.85SiO_2$ ۶۶
- شکل ۱۹: دیاگرام پایداری سیلیکای شیشه‌ای و کوارتز در محلول‌های آبی در $25^\circ C$ و PH های متفاوت ۶۷
- شکل ۲۰: موقعیت جغرافیایی منطقه سلطانیه ۶۸
- شکل ۲۱: بنای سلطانیه در زمان صفویه ۷۴
- شکل ۲۲: بنای سلطانیه در زمان قاجار ۷۴
- شکل ۲۳: گنبد سلطانیه پس از مرمت مرمت گران ایتالیایی ۷۷
- شکل ۲۴ (الف، ب): موقعیت بنای سلطانیه ۷۸
- شکل ۲۵: پلان هشت وجهی گنبد سلطانیه ۷۹
- شکل ۲۶: بنای سلطانیه، مقطع عرضی روی محور جرز گوشه شرقی- غربی ۷۹
- شکل ۲۷: گنبد دو پوسته پیوسته سلطانیه ۸۱

- شکل ۲۸: ارتفاع قوس گنبد سلطانیه..... ۸۱
- شکل ۲۹: چگونگی اجرای گنبد سلطانیه..... ۸۱
- شکل ۳۰: پلان بنای گنبد سلطانیه..... ۸۲
- شکل ۳۱ (الف، ب، ج): اسماء متبرک الله، محمد، علی..... ۸۳
- شکل ۳۲: طرح کلیل با نوشته البقا..... ۸۴
- شکل ۳۳: گنبد سلطانیه پیش از مرمت مرمت گران ایتالیایی..... ۸۴
- شکل ۳۴: طرح کاشی نره جدید..... ۸۵
- شکل ۳۵: طرح کاشی نره قدیمی..... ۸۵
- شکل ۳۶: نمایی از کارگاه تهیه گل در گنبد سلطانیه..... ۸۶
- شکل ۳۷: قالب زنی کاشی‌های گنبد سلطانیه..... ۸۶
- شکل ۳۸: نمایی از کوره‌های موجود در پایگاه سلطانیه..... ۸۸
- شکل ۳۹: نمایی از درون کوره..... ۸۸
- شکل ۴۰: طرح شماتیکی از کوره‌های موجود در پایگاه سلطانیه..... ۸۹
- شکل ۴۱: تخلخل بالا در بدنه کاشی‌ها..... ۹۰
- شکل ۴۲ (الف، ب): ذرات درشت مواد تشکیل دهنده بدنه..... ۹۱
- شکل ۴۳: ذرات شکفته آهک در بدنه کاشی‌های گنبد سلطانیه..... ۹۱
- شکل ۴۴ (الف، ب، ج): لعاب فیروزه‌ای قدیمی..... ۹۴
- شکل ۴۵: لعاب فیروزه‌ای قدیمی..... ۹۴
- شکل ۴۶ (الف، ب، ج): لعاب فیروزه‌ای کاشی‌های مرمتی..... ۹۵
- شکل ۴۷: سطح مقطع لعاب فیروزه‌ای کاشی‌های مرمتی..... ۹۵
- شکل ۴۸ (الف، ب): لعاب لاجوردی قدیمی..... ۹۸
- شکل ۴۹: سطح مقطع لعاب لاجوردی قدیمی..... ۹۸
- شکل ۵۰: لعاب لاجوردی کاشی‌های مرمتی..... ۹۹
- شکل ۵۱: سطح مقطع لعاب لاجوردی کاشی‌های مرمتی..... ۹۹
- شکل ۵۲: لعاب مشکی قدیمی..... ۱۰۱
- شکل ۵۳: سطح مقطع لعاب مشکی قدیمی..... ۱۰۱
- شکل ۵۴ (الف، ب): لعاب مشکی کاشی‌های مرمتی..... ۱۰۱
- شکل ۵۵: لعاب مشکی کاشی‌های مرمتی..... ۱۰۲
- شکل ۵۶ (الف، ب): لعاب مشکی مات شده..... ۱۰۲

- شکل ۵۷: تشکیل لایه زلی بر سطح لعاب ۱۰۳
- شکل ۵۸: حباب‌های محبوس در لایه لعاب ۱۰۳
- شکل ۵۹: طرح یک کلیل به همراه حاشیه دور گنبد ۱۰۶
- شکل ۶۰ (الف، ب): اجرای نقش و پیاده کردن کاشی‌ها بر روی تخمیر ۱۰۶
- شکل ۶۱ (الف، ب): پارچه بندی و دوغاب ریزی کلیل‌ها ۱۰۷
- شکل ۶۲: شماره‌گذاری پارچه‌ها ۱۰۷
- شکل ۶۳: جدا سازی پارچه‌های معقلی از یکدیگر ۱۰۷
- شکل ۶۴: نصب و اجرای کلیل‌ها بر روی گنبد ۱۰۸
- شکل ۶۵: مرمت کلیل‌های آسیب دیده ۱۰۸
- شکل ۶۶: پلان راهنمای موقعیت تصاویر ۱۰۹
- شکل ۶۷: نحوه‌ی چیدن کاشی‌ها در کوره ۱۱۰
- شکل ۶۸: سطح ناهموار کاشی‌ها ۱۱۱
- شکل ۶۹ (الف، ب): حضور حفره‌ها بر سطح لعاب ۱۱۲
- شکل ۷۰: شره کردن لعاب بر روی کاشی‌ها ۱۱۳
- شکل ۷۱: سطح ناهموار به وجود آمده در اثر شره کردن لعاب ۱۱۳
- شکل ۷۲ (الف، ب، ج): معایب ایجاد شده در سطح در اثر انجماد سریع لعاب ۱۱۴
- شکل ۷۳: پیرامون ناهموار کاشی‌ها ۱۱۵
- شکل ۷۴: سابیدن اطراف کاشی‌ها برای از بین بردن لعاب ۱۱۵
- شکل ۷۵ (الف، ب): پریدگی لعاب اطراف کاشی بر اثر سایش ۱۱۵
- شکل ۷۶: تشدید پریدگی لعاب اطراف کاشی‌ها پس از قرارگیری در محیط ۱۱۵
- شکل ۷۷: حضور حباب‌ها در لایه‌های زیرین لعاب ۱۱۶
- شکل ۷۸: تفاوت شیدهای رنگ در کاشی‌ها ۱۱۶
- شکل ۷۹: پلان مقطع گنبد سلطانیه ۱۱۸
- شکل ۸۰: بیرون زدگی کاشی‌ها در اثر تخریب و سست شدن ملات و بستر کاشی‌ها ۱۱۸
- شکل ۸۱ (الف، ب): تورفتگی و بیرون زدگی در اثر بستر سازی نامناسب گنبد ۱۱۹
- شکل ۸۲: نرسیدن پارچه‌های معقلی به یکدیگر ۱۱۹
- شکل ۸۳: بیرون زدگی پارچه‌های معقلی ۱۲۰
- شکل ۸۴ (الف و ب): مشکلات ایجاد شده در اجرای معقلی در اثر ابعاد متفاوت کاشی‌ها ۱۲۱
- شکل ۸۵: اجرای متفاوت در رأس پنجره‌ها ۱۲۲
- شکل ۸۶: کلیل قدیمی به عنوان شاهد ۱۲۳

- شکل ۸۷: طرح اجرا شده بر اساس کلیل شاهد ۱۲۳
- شکل ۸۸: کلیل جدید ۱۲۳
- شکل ۸۹: قرینه‌ی شکل ۸۷ پس از اجرا بر روی گنبد ۱۲۳
- شکل ۹۰ (الف، ب، ج، د): اجرای متفاوت کلیل‌ها ۱۲۳
- شکل ۹۱: بازسازی اشتباه کلیل قدیمی ۱۲۴
- شکل ۹۲: نصب کاشی با رنگ متفاوت ۱۲۴
- شکل ۹۳: پوشیده شدن سطح کاشی و آجرها از ملات ۱۲۵
- شکل ۹۴: وجود میخ در لابه لای کاشی‌ها ۱۲۶
- شکل ۹۵: فقدان کاشی و آجر و نفوذ رطوبت ۱۲۶
- شکل ۹۶: یخ بر شدن لعاب و کاشی ۱۲۷
- شکل ۹۷: سفیدک زدن لعاب ۱۲۸
- شکل ۹۸: چرکی و کثیفی سطح کاشی‌ها ۱۲۸
- شکل ۹۹ (الف، ب): نمایی از گنبد قبل و پس از کاشی کاری ۱۲۹
- شکل ۱۰۰: محدوده‌ی تفاوت رنگی در کاشی‌های گنبد سلطانیه ۱۲۹
- شکل ۱۰۱ (الف، ب): رنگ باختگی لعاب مشکی ۱۳۰
- شکل ۱۰۲: برخورد پرتوهای نور بر سطوح متفاوت ۱۳۱
- شکل ۱۰۳: حضور ترک و حفره بر سطح لعاب مشکی ۱۳۱
- شکل ۱۰۴: تخریب کاشی توسط بازدیدکنندگان ۱۳۲
- شکل ۱۰۵: مقایسه تطبیقی میزان آسیب و تخریب کاشی‌های گنبد بین سال‌های ۸۹-۹۱ ۱۳۳
- شکل ۱۰۶: مقایسه تطبیقی میزان آسیب و تخریب کاشی‌های گنبد بین سال‌های ۸۹-۹۱ ۱۳۴
- شکل ۱۰۷: مقایسه تطبیقی میزان آسیب و تخریب کاشی‌های گنبد بین سال‌های ۸۹-۹۱ ۱۳۵
- شکل ۱۰۸: مقایسه تطبیقی میزان آسیب و تخریب کاشی‌های گنبد بین سال‌های ۸۹-۹۱ ۱۳۶
- شکل ۱۰۹: مقایسه تطبیقی میزان آسیب و تخریب کاشی‌های گنبد بین سال‌های ۸۹-۹۱ ۱۳۷
- شکل ۱۱۰: نمایی از درون یک کوره مطبق پخت کاشی ۱۴۲
- شکل ۱۱۱: کاشی نره به کار رفته در مرمت گنبد ۱۴۲
- شکل ۱۱۲: نمونه‌ای از کاشی‌های تولید شده به روش پرس خشک ۱۴۳
- شکل ۱۱۳: نمونه‌ای از کاشی نره قدیمی ۱۴۳
- شکل ۱۱۴: نقش کلیل بر اساس کلیل‌های قدیمی ۱۴۵
- شکل ۱۱۵: کلیل قدیمی منسوب به دوره ایلخانی ۱۴۵
- شکل ۱۱۶: بیرون زدگی قالب‌های معقلی ۱۴۵

فصل اول: «ساختار نظری تحقیق»

فصل دوم: «فن شناسی و آسیب شناسی کاشی و لعاب»

فصل سوم: «معرفی شهر و بنای گنبد سلطانیه»

فصل چهارم: «فن شناسی و مطالعات آزمایشگاهی کاشی‌های گنبد سلطانیه»

فصل پنجم: «آسیب شناسی کاشی‌های گنبد سلطانیه»