



11.9.1

۸۷/۱۱۰۹۹۰۱
۸۸ - ۱۱۷



دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد عمران - سازه

بررسی رفتار و استقامت بنای تاریخی گنبد سبز مشهد
در برابر زلزله

استاد راهنما: دکتر رضا رهگذر

۱۳۸۷ / ۱۲ / ۲۷

مؤلف: مهدی مقدس

۱۱۰۹۰۱



دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی عمران

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

امضاء

نام و نام خانوادگی

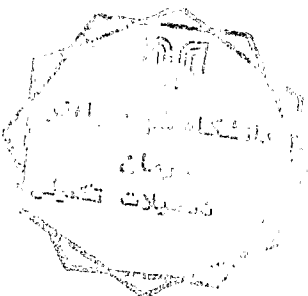
دانشجو: مهدی مقدس

استاد راهنما: جناب دکتر رضا رهگذر

داور اول: جناب دکتر جواد سلاجقه

داور دوم: جناب دکتر سید مرتضی مرنندی

نماینده تحصیلات تکمیلی: جناب دکتر محمدحسین باقری پور



حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به عزیزانم

به همسر، به پاس بهرایی، محبت و صبرزیبایش

به پدرم، به پاس محبت و تلاش بی وقفه اش

به مادرم، سرچشمه جوشان مهر و فداکاری، که زندگی ام برایش همه نچ است و وجودش برایم همه مهر

و

به خواهر و برادرانم، بهترین پشتیبان و یاوران من در زندگی

تقدیر و تشکر:

سپاس بی‌کران داوریکتار که، هستیم بخشد و مرابہ طریق علم و دانش، نمون شد و به ہم نشینی رھروان علم و دانش مفتخرم ساخت. اکنون کہ به یاری پروردگار مہربان مراحل انجام این تحقیق بہ پایان رسیدہ است، پاسکدار ہمہ اساتید و بزرگوارانی ہستم کہ از رہنمائی ایشان بہرہ جستم. مراتب سپاس صمیمانہ خود را از استاد عزیز و کراتقدر جناب آقای دکتر رضا رھگذر کہ با لطف و صبر فراوان در تمام مراحل انجام و تنظیم پایان نامہ، اینجانب را ارشاد نمودہ و اندوختہ های علمی خود را در اختیار بندہ قرار دادند، ابراز می‌نمایم و موفقیت روز افزون ایشان را از خداوند سبحان مسألت می‌نمایم.

چکیده:

در این پایان‌نامه رفتار و استقامت بنای گنبد سبز در برابر زلزله مورد بررسی قرار گرفته است. بنای آجری "گنبد سبز" یکی از آثار تاریخی شهر مشهد مقدس می‌باشد که در خیابان آخوند خراسانی معروف به خیابان خاکی و در نزدیکی بارگاه ملکوتی ثامن الحجج علی بن موسی الرضا (ع) واقع گردیده است. وجه تسمیه بنای گنبد سبز مزین به کاشیکاری فیروزه‌ای متمایل به سبز آن می‌باشد. گفته می‌شود این بنا مدفن شیخ محمد مؤمن عارف استرآبادی از عرفای سلسله ذهبیه است. قدمت بنای گنبد سبز به دوران سلطنت شاه عباس اول صفوی باز می‌گردد.

از آنجایی که این اثر از جمله بناهای مهم و با ارزش از نظر تاریخی، فرهنگی و معماری کشور محسوب می‌شود، حفظ و نگهداری آن را می‌توان ارج نهادن به میراث تاریخی و بنیان فرهنگ ملی به شمار آورد. در نتیجه لازم است که پیش‌بینی‌های لازم در باب آسیب دیدگی آن در برابر عوامل طبیعی و انسانی صورت گیرد. در حال حاضر متولی بنای گنبد سبز، سازمان میراث فرهنگی و گردشگری کشور بوده که احتمال کامل در حفظ، مرمت و نگهداری این بنای تاریخی دارد.

این پژوهش مشتمل بر شش فصل می‌باشد. در فصل اول یا کلیات، به بیان ضرورت انجام این پژوهش و اهداف آن و همچنین کارهای مشابه انجام شده می‌پردازد. در فصل دوم ویژگی‌های جغرافیایی، تاریخی و معماری آرامگاه و یا به عبارت دیگر به معرفی بنا پرداخته می‌شود. مطالب این فصل در بررسی‌های اولیه از بنای گنبد سبز استخراج و جمع‌آوری گردیده است. اطلاعات به دست آمده مشتمل بر مطالب، نقشه‌ها و مأخذهایی است که از مرکز اسناد سازمان میراث فرهنگی و گردشگری برداشت شده و همچنین برداشت‌ها، تصاویر و نقشه‌هایی است که در بازدیدها و اندازه‌گیری‌های محلی از گنبد سبز تهیه گردیده است. در فصل سوم مشخصات زلزله‌های تاریخی و جدید منطقه و همچنین تعیین مشخصات لرزه‌ای محل قرارگیری سازه بیان شده است. در پایان این فصل نیز طیف طراحی که در تحلیل سازه جهت کنترل لرزه‌ای آن به کار برده شده، ارائه گردیده است. در فصل چهارم به نحوه مدل‌سازی هندسی بنای گنبد سبز در نرم‌افزار Solid Works، تعیین مشخصات دینامیکی و مقاومت مصالح و لرزه‌ای سازه و انواع و مشخصات تحلیل‌های انجام گرفته بر روی سازه توسط نرم‌افزار Ansys پرداخته می‌شود. در ادامه‌ی فصل نیز خروجی‌ها و نتایج حاصل از تحلیل‌های انجام گرفته در نرم‌افزار Ansys از جمله نتایج تحلیل ثقلی، مودهای نوسان، تغییر شکل‌ها و ... نوشته شده است. در فصل پنجم با توجه به نتایج به دست آمده

از فصل قبل، انواع روش‌های مقاوم‌سازی بناهای تاریخی و امکان استفاده از این روش‌ها برای سازه‌ی گنبد سبز بررسی گردیده است. در پایان یا فصل ششم نیز نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات آورده شده است.

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- بناهای خشتی و زلزله
۴	۳-۱- بنای تاریخی گنبد سبز
۵	۴-۱- بررسی تحقیقات انجام شده
۱۰	۵-۱- اهداف تحقیق
	فصل دوم: معرفی بنای گنبد سبز
۱۳	۱-۲- گنبد سبز
۱۴	۲-۲- موقعیت جغرافیایی
۱۶	۳-۲- زمین شناسی منطقه
۱۶	۱-۳-۲- وضعیت کلی منطقه
۱۷	۲-۳-۲- نواحی پست دشت مشهد
۱۷	۳-۳-۲- نواحی مرتفع دشت مشهد
۱۸	۴-۳-۲- نقشه خطر لرزه‌ای ایران
۲۱	۴-۲- پیشینه تاریخی منطقه
۲۳	۵-۲- بررسی کالبدی بنای گنبد سبز
۳۱	۶-۲- کاوش‌های باستان شناسی بنای گنبد سبز
۳۳	۷-۲- خصوصیات معماری

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۳۳	۱-۷-۲- استفاده بهینه از طبیعت و زمین
۳۴	۲-۷-۲- سازش با محیط و منطقه
۳۴	۳-۷-۲- مقیاس انسانی
۳۵	۴-۷-۲- زیبا سازی توأم با حفاظت
۳۵	۵-۷-۲- ریتم، تنوع و حرکت حجمی
۳۶	۶-۷-۲- تزئینات بنا
۳۷	۸-۲- مصالح به کار رفته
۳۷	۹-۲- عناصر سازه‌ای بنا
۳۷	۱-۹-۲- بارگزاری و انتقال نیروهای رانشی
۳۸	۲-۹-۲- پی‌سازی
۳۹	۳-۹-۲- دیوارها
۴۱	۴-۹-۲- پوشش سقف گنبد خانه
۴۲	۵-۹-۲- طاق‌ها
۴۲	۶-۹-۲- نعل درگاه‌ها
۴۲	۱۰-۲- مرمت
۴۲	۱-۱۰-۲- مرمت‌های انجام شده بر روی بنا
۴۴	۲-۱۰-۲- نقد و بررسی مرمت‌های انجام شده بر روی بنا
۴۴	۱۱-۲- آسیب شناسی
۴۴	۱-۱۱-۲- عوامل جوی

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۴۴	۲-۱۱-۲- آسیب‌های محیطی و شهری
	فصل سوم: لرزه خیزی منطقه
۴۷	۱-۳- مقدمه
۴۷	۲-۳- زمین ساخت پهنه دشت مشهد
۴۸	۳-۳- گسل‌های اصلی گستره شهر مشهد
۴۹	۱-۳-۳- گسل بینالود
۵۰	۲-۳-۳- گسل فشاری نیشابور
۵۱	۳-۳-۳- گسل فشاری شمال نیشابور
۵۱	۴-۳-۳- گسل فشاری کشف‌رود
۵۳	۵-۳-۳- گسل جنوب چناران
۵۳	۶-۳-۳- گسل جنوب مشهد
۵۴	۷-۳-۳- پهنه گسل سنگ‌بست- شانديز
۵۴	۸-۳-۳- راندگی بوژان
۵۴	۹-۳-۳- گسل کوه تخت شاه
۵۵	۱۰-۳-۳- گسل امرودک
۵۵	۱۱-۳-۳- گسل توس
۵۶	۱۲-۳-۳- گسل سرخ‌ده
۵۶	۱۳-۳-۳- گسل گوجگی
۵۶	۱۴-۳-۳- گسل فریمان

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۵۷	۴-۳- لرزه خیزی گستره دشت مشهد
۵۸	۳-۴-۱- زمین لرزه‌های دوره پیش دستگاهی یا تاریخی (پیش از سده بیستم)
۵۹	۳-۴-۱-۱- زمین لرزه ۱۱۴۵ میلادی، نیشابور (IO=VII+ MS ۵/۳)
۶۰	۳-۴-۱-۲- زمین لرزه ۱۲۰۹ میلادی، نیشابور (IO=X MS ۷/۶)
۶۱	۳-۴-۱-۳- زمین لرزه ۱۲۵۱ میلادی، نیشابور (IO>VII+ MS ۵/۳)
۶۲	۳-۴-۱-۴- زمین لرزه ۱۷ اکتبر ۱۲۷۰ میلادی نیشابور (IO=IX MS ۷/۱)
۶۲	۳-۴-۱-۵- زمین لرزه فوریه ۱۳۸۹ میلادی، نیشابور (IO=X MS ۷/۳)
۶۳	۳-۴-۱-۶- زمین لرزه ۲۳ نوامبر ۱۴۰۵ میلادی، نیشابور (IO=X MS ۷/۴)
۶۴	۳-۴-۱-۷- زمین لرزه سال ۱۵۹۸ میلادی مشهد
۶۴	۳-۴-۱-۸- زمین لرزه ۳۰- ژوئیه ۱۶۷۳ میلادی، مشهد
۶۵	۳-۴-۱-۹- زمین لرزه ژوئن ۱۸۵۱ میلادی قوچان- معدن
۶۵	۳-۴-۱-۱۰- زمین لرزه ۲۳ دسامبر ۱۸۷۱ میلادی شمال قوچان
۶۶	۳-۴-۱-۱۱- زمین لرزه ۱۷ نوامبر ۱۸۹۳ میلادی جنوب قوچان
۶۷	۳-۴-۱-۱۲- زمین لرزه ۱۷ ژانویه ۱۸۹۵ قوچان
۶۸	۳-۴-۲- نتیجه‌گیری از بررسی زمین لرزه‌های تاریخی
۶۸	۳-۴-۳- زمین لرزه‌های دستگاهی (قرن بیستم)
۶۹	۳-۴-۱- زمین لرزه ۲۵ مه ۱۹۲۳ میلادی، کاج درخت
۷۰	۳-۴-۲- زمین لرزه ۲۱ اوت ۱۹۲۸ (IO=VIII MS ۵/۲)
۷۰	۳-۴-۳- زمین لرزه ۱۳ ژوئیه ۱۹۲۹ میلادی

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۷۰	۳-۴-۳-۴- زمین لرزه ۴ آوریل ۱۹۷۰ میلادی (MS ۵/۳، IO=VI+)
۷۰	۳-۵-۵- ویژگی‌های لرزه زمین ساختی
۷۱	۳-۵-۱- پهنه لرزه زمین ساخت ایران مرکزی
۷۱	۳-۵-۲- پهنه لرزه زمین ساخت کپه‌داغ
۷۱	۳-۵-۳- ژرفای کانونی زمین لرزه‌ها
۷۲	۳-۵-۴- بیشینه بزرگای منتسب به گسل‌های موجود در گستره دشت مشهد
۷۳	۳-۵-۵- مقادیر پارامترهای لرزه خیزی
۷۶	۳-۵-۶- طیف شتاب مؤلفه افقی و قائم

فصل چهارم: مدل‌سازی و تحلیل

۷۹	۴-۱- مدل‌سازی هندسه مدل
۸۶	۴-۲- آماده‌سازی مدل در نرم‌افزار ANSYS
۸۷	۴-۳- مفهوم تحلیل دینامیکی
۸۸	۴-۴- هدف تحلیل
۸۸	۴-۵- تحلیل مودی
۸۹	۴-۶- تحلیل طیفی
۹۰	۴-۶-۱- تحلیل طیف پاسخ تک نقطه‌ای SPRS
۹۱	۴-۶-۲- اعمال بار در تحلیل دینامیکی
۹۲	۴-۷- نکات و ضوابط آیین‌نامه‌ای در مدل‌سازی و تحلیل سازه

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۹۷	۸-۴- فرضیات تحلیل
۹۸	۹-۴- نتایج تحلیل
۹۸	۱-۹-۴- نتایج تحلیل استاتیکی ثقلی
۱۰۰	۲-۹-۴- نتایج تحلیل مودال
۱۰۰	۱-۲-۹-۴- بررسی مودهای سازه
۱۰۸	۲-۲-۹-۴- حساسیت به ابعاد المان
۱۰۹	۳-۲-۹-۴- تغییرات میرایی بر حسب فرکانس
۱۱۰	۳-۹-۲- تحلیل بنا در برابر زلزله با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله
۱۱۳	۴-۹-۲- تحلیل بنا در برابر زلزله با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله
۱۱۵	۵-۹-۲- تحلیل بنا در برابر زلزله با دوره بازگشت ۲۵۰۰ ساله

فصل پنجم: روش‌های مقاوم‌سازی

۱۱۸	۱-۵- مقدمه
۱۱۹	۲-۵- روابط محاسباتی
۱۲۰	۳-۵- روش‌های تقویت و مقاوم‌سازی بناهای تاریخی
۱۲۲	۴-۵- استفاده از کابل‌های فولادی
۱۲۳	۵-۵- نمونه‌های اجرا شده با کابل فولادی
۱۲۶	۶-۵- تقویت دیواره‌ها و تیرهای درون گنبد خارجی
۱۲۸	۷-۵- پایداری ساقه‌ی گنبد خارجی

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۱۲۹	۵-۸- کاهش نیروی برش پایه با استفاده از ایزولاتورها
۱۲۹	۵-۹- تقویت مصالح (تزریق بتن یا سیمان، استفاده از مواد چسبنده)
۱۳۱	۵-۱۰- دیواره‌های ایوان‌ها
۱۳۲	۵-۱۱- نفوذ رطوبت به پای سازه
۱۳۲	۵-۱۲- مقایسه شکل و فرم گنبدها
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات	
۱۳۸	۶-۱- جمع بندی و نتیجه‌گیری
۱۴۰	۶-۲- پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده
۱۴۱	مراجع
۱۴۳	پیوست‌ها

فهرست اشکال

شماره صفحه	عنوان
۴	شکل (۱-۱): نمای آرامگاه شیخ محمد مؤمن (گنبد سبز)
۱۳	شکل (۱-۲): نمای جنوب غربی بنا
۱۵	شکل (۲-۲): موقعیت قرار گیری میدان گنبد سبز نسبت به مجموعه حرم
۱۵	شکل (۳-۲): تصویر ماهواره‌ای از میدان گنبد سبز
۱۹	شکل (۴-۲): نقشه زمین شناسی چهار گوش شماره ک-۴ ایران (برگه مشهد)
۲۰	شکل (۵-۲): نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله به تفکیک شهرستان‌های کشور
۲۰	شکل (۶-۲): نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زمین لرزه در ایران
۲۲	شکل (۷-۲): آرامگاه خواجه ربیع - مشهد
۲۳	شکل (۸-۲): قدمگاه امام رضا (ع) - نیشابور
۲۴	شکل (۹-۲): الف - نمای خارجی، ب - فضای داخلی با پلان "چلیپایی"
۲۴	شکل (۱۰-۲): نمای خارجی از وجه بزرگ‌تر بنا
۲۵	شکل (۱۱-۲): نمای خارجی از وجه کوچک‌تر بنا
۲۵	شکل (۱۲-۲): راه دسترسی به طبقه دوم توسط پلکان در مجاورت هر ایوان در هر ضلع
۲۶	شکل (۱۳-۲): چهار ایوان در چهار ضلع بنا با ابعاد ۲/۶ در ۴ متر و ورودی گنبدخانه
۲۶	شکل (۱۴-۲): پنجره و نورگیر با مشبک چوبی
۲۷	شکل (۱۵-۲): مقطع گنبد دو پوسته‌ای
۲۸	شکل (۱۶-۲): بخش‌های گنبد دو پوسته‌ای
۲۸	شکل (۱۷-۲): طاق نماهای کم عمق واقع در نیم هشت‌های نمای خارجی
۲۹	شکل (۱۸-۲): طاق نمای تزئینی که با تیغه آجری مسدود شده و کاشی‌کاری شده
۳۰	شکل (۱۹-۲): پلان اندازه‌گذاری طبقه همکف بنای گنبد سبز

فهرست اشکال

شماره صفحه	عنوان
۳۱	شکل (۲-۲۰): لوح سنگی یافت شده در گنبد سبز
۳۲	شکل (۲-۲۱): پلان و جانمایی سردابه‌ها (دیوارهای سردابه‌ها با هاشور مشخص شده‌اند)
۳۳	شکل (۲-۲۲): رعایت مقیاس انسانی
۳۸	شکل (۲-۲۴): عناصر باربر و سازه‌ای ساختمان
۴۰	شکل (۱-۲۵): عناصر باربر اصلی گنبد
۴۰	شکل (۱-۲۶): عناصر تکیه‌گاه و مهار کننده نیروهای رانشی
۴۱	شکل (۲-۲۷): ساقه‌ی گنبد خارجی به ارتفاع ۲/۲۰ متر
۴۳	شکل (۲-۲۸): مرمت کاشی‌های گنبد سبز در مرداد ماه سال ۱۳۵۱ ه.ش.
۴۳	شکل (۲-۵): مرمت کاشی‌ها و نمای گنبد سبز در سال ۱۳۵۱ ه.ش.
۵۰	شکل (۳-۱): اثر گسل بینالود بر روی تصویر ماهواره‌ای
۵۲	شکل (۳-۲): تصویر سه بعدی دشت مشهد
۵۳	شکل (۳-۳): اثر سامانه‌های گسلی اطراف مشهد
۵۵	شکل (۳-۴): نمایی از پرتگاه گسل توس
۶۱	شکل (۳-۵): پهنه آسیب دیده در زمین لرزه ۱۲۰۹ میلادی نیشابور
۶۶	شکل (۳-۶): پهنه زمین لرزه ۱۸۷۱ م. (۲۳ دسامبر)، شمال قوچان
۶۷	شکل (۳-۷): پهنه زمین لرزه ۱۸۹۳ م. (۱۷ نوامبر) جنوب قوچان
۶۹	شکل (۳-۸): پهنه کلان لرزه‌ای زمین لرزه ۲۵ مه ۱۹۲۳ میلادی کاج درخت
۷۲	شکل (۳-۹): نمودار ژرفای کانونی زمین لرزه‌های دشت مشهد تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری
۷۳	شکل (۳-۱۰): رابطه خطی بین بزرگای mb و MS در گستره مطالعاتی
۷۷	شکل (۳-۱۱): منحنی طیف شتاب مشهد، مؤلفه افقی برای دوره بازگشت‌های مختلف

فهرست اشکال

شماره صفحه	عنوان
۷۷	شکل (۱۲-۳): منحنی طیف شتاب مشهد، مؤلفه قائم برای دوره بازگشت‌های مختلف
۸۰	شکل (۱-۴): محیط کاری نرم‌افزار solid works
۸۰	شکل (۲-۴): محیط کاری نرم‌افزار solid works
۸۱	شکل (۳-۴): نمای‌های مختلف از مدل‌سازی هندسی گنبد سبز در نرم‌افزار
۸۲	شکل (۴-۴): نمای سه بعدی مدل در نرم‌افزار solid works
۸۲	شکل (۵-۴): برش طولی از مدل سه بعدی
۸۳	شکل (۶-۴): برش طولی از مدل گنبد سبز
۸۴	شکل (۷-۴): برش عرضی در تراز میانی طبقه اول
۸۴	شکل (۸-۴): برش عرضی در تراز میانی طبقه دوم
۸۵	شکل (۹-۴): روند و مراحل تحلیل سازه‌ی گنبد سبز
۸۶	شکل (۱۰-۴): نمای سه بعدی از مدل مش‌بندی شده
۸۶	شکل (۱۱-۴): نمای دو بعدی از مدل مش‌بندی شده
۸۷	شکل (۱۲-۴): برش طولی از مدل مش‌بندی شده
۹۰	شکل (۱۳-۴): طیف پاسخ تک نقطه‌ای (S = Spectral Value, f = frequency)
۹۰	شکل (۱۴-۴): طیف پاسخ چند نقطه‌ای (S = Spectral Value, f = frequency)
۹۳	شکل (۱۵-۴): نمونه معیار شکست مصالح
۹۹	شکل (۱۶-۴): توزیع تغییر شکل قائم (بر حسب متر)
۹۹	شکل (۱۷-۴): برش طولی از توزیع تغییر شکل قائم (بر حسب متر)
۱۰۱	شکل (۱۸-۴): مود اول سازه گنبد سبز (بر حسب متر)
۱۰۲	شکل (۱۹-۴): مود دوم سازه گنبد سبز (بر حسب متر)

فهرست اشکال

شماره صفحه	عنوان
۱۰۳	شکل (۴-۲۰): مود سوم سازه گنبد سبز (بر حسب متر)
۱۰۴	شکل (۴-۲۱): مود چهارم سازه گنبد سبز (بر حسب متر)
۱۰۵	شکل (۴-۲۲): مود پنجم سازه گنبد سبز (بر حسب متر)
۱۰۶	شکل (۴-۲۳): مود ششم سازه گنبد سبز (بر حسب متر)
۱۰۷	شکل (۴-۲۴): تغییر شکل مود هفتم (بر حسب متر)
۱۰۹	شکل (۴-۲۵): تغییرات فرکانس مود اول بر حسب ابعاد المان
۱۱۰	شکل (۴-۲۶): تغییرات میرایی بر حسب فرکانس سازه
۱۱۱	شکل (۴-۲۷): تغییرات شکل سازه بر اثر زلزله با دوره‌ی بازگشت ۲۰۰ سال
۱۱۱	شکل (۴-۲۸): تنش‌های S_3 ایجاد شده بر اثر زلزله با دوره‌ی بازگشت ۲۰۰ سال
۱۱۲	شکل (۴-۲۹): تنش‌های S_1 ایجاد شده بر اثر زلزله با دوره‌ی بازگشت ۲۰۰ سال
۱۱۳	شکل (۴-۳۰): تغییر شکل سازه بر اثر زلزله با دوره‌ی بازگشت ۵۰۰ سال
۱۱۴	شکل (۴-۳۱): تنش‌های S_3 ایجاد شده بر اثر زلزله با دوره‌ی بازگشت ۵۰۰ سال
۱۱۴	شکل (۴-۳۲): تغییر شکل U_x سازه بر اثر زلزله با دوره‌ی بازگشت ۵۰۰ سال
۱۲۳	شکل (۵-۱): مقطع مسجد جامع زنجان
۱۲۴	شکل (۵-۲): مقطع ستون بندی و کابل کشی مسجد جامع
۱۲۴	شکل (۵-۳): پلان مسجد جامع زنجان
۱۲۴	شکل (۵-۴): مقطع بنای تاریخی رخت شوی خانه زنجان
۱۲۵	شکل (۵-۵): پلان رخت شوی خانه زنجان
۱۲۵	شکل (۵-۶): مقطع کابل کشی رخت‌شوی خانه زنجان
۱۲۶	شکل (۵-۷): مقطع کابل‌های به کار رفته در مقاوم‌سازی بناهای تاریخی زنجان

فهرست اشکال

شماره صفحه	عنوان
۱۲۶	شکل (۵-۸): موقعیت دیواره‌های درون گنبد
۱۲۷	شکل (۵-۹): برش عمودی از دیواره‌ها و تیغه‌های درون گنبد
۱۲۸	شکل (۵-۱۰): موقعیت نصب نوار FRP
۱۳۰	شکل (۵-۱۱): نمونه‌ای از میراگر نیروی برش پایه
۱۳۰	شکل (۵-۱۲): میراگر برش پایه
۱۳۱	شکل (۵-۱۳): تغییر شکل خارج از صفحه‌ی دیواره‌های ایوان‌ها
۱۳۳	شکل (۵-۱۴): نمودار مقایسه وزن گنبد سبز با گنبدهایی با فرم‌های مختلف
۱۳۴	شکل (۵-۱۵): نمودار فرکانس مود اول گنبد سبز با گنبدهایی با فرم‌های مختلف
۱۳۴	شکل (۵-۱۶): نمودار فرکانس مود دوم گنبد سبز با گنبدهایی با فرم‌های مختلف
۱۳۵	شکل (۵-۱۷): نمودار فرکانس مود سوم گنبد سبز با گنبدهایی با فرم‌های مختلف
۱۳۵	شکل (۵-۱۸): نمودار حداکثر جابجایی گنبد سبز با گنبدهایی با فرم‌های مختلف
۱۳۶	شکل (۵-۱۹): نمودار مقایسه مودهای نوسان گنبد سبز با گنبدهایی با فرم‌های مختلف
۱۳۸	شکل (۶-۱): تغییرات فرکانس مود اول بر حسب ابعاد المان
۱۳۹	شکل (۶-۲): تغییرات میرایی بر حسب فرکانس سازه گنبد سبز

فهرست جداول

شماره صفحه	عنوان
۴۹	جدول (۱-۳): مشخصات برخی از گسل‌های مهم محدوده دشت مشهد
۵۹	جدول (۲-۳): مشخصات مهم‌ترین رویدادهای لرزه‌ای تاریخی منطقه
۷۴	جدول (۳-۳): برآورد توان لرزه زایی گسل‌های تأثیرگذار بر گستره دشت مشهد
۷۵	جدول (۴-۳): پارامترهای لرزه خیزی منطقه تا شعاع‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلومتری
۷۵	جدول (۵-۳): بیشینه شتاب افقی و قائم دشت مشهد (ساختمان گنبد سبز)
۹۳	جدول (۱-۴): مشخصات مصالح به کار رفته در تحلیل
۹۴	جدول (۲-۴): مشخصات مصالح به کار رفته در تحلیل
۱۰۰	جدول (۳-۴): مقادیر فرکانس و پریود ۷ مود اول سازه
۱۰۸	جدول (۴-۴): حساسیت نتیجه تحلیل مودال به ابعاد المان
۱۱۰	جدول (۵-۴): محاسبه مقادیر α و β
۱۳۳	جدول (۱-۵): مقایسه پارامترهای گنبدها با فرم‌های مختلف
۱۳۸	جدول (۱-۶): مقادیر فرکانس و پریود ۷ مود اول سازه