بسم الله الرحمن الرحيم

١٣٧٤٩٤

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش سازه

# مقاوم‌سازی بناهای تاریخی با استفاده از شبکه فولادی
# (مطالعه موردی مناره‌های بنای شاه نعمت‌الله ولی ماهان)

استاد راهنما:
دکتر محمد جواد فدایی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک
۱۳۸۹/۳/۱۷

مؤلف:
سید روح الله محمدی

شهریور ماه ۱۳۸۸



۱۳۷۳۹۳

دانشگاه شهید باهنر کرمان

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

**گروه مهندسی عمران**

**دانشکده فنی و مهندسی**

**دانشگاه شهید باهنر کرمان**

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

دانشجو: سید روح‌الله محمدی

استاد راهنما: دکتر محمدجواد فدایی

داور۱: دکتر حامد صفاری

داور۲: دکتر حسین ابراهیمی

معاونت پژوهشی ونماینده تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: دکتر غلامرضا پورابراهیم

مرکز اطلاعات مدارک علمی ایران
تهیه مدارک
۱۳۸۶/۳/۱۷

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

دانشگاه شهید باهنر کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

## تقدیم به:

تمامی عزیزانی که دوستشان دارم،

و برگ سبزی به

برترین استادان زندگیم:

آنان که مرا صادقانه زیستن آموختند،

صبورانه بودن را فدایم کردند،

سوختند تا بسازم،

ساختند تا برافرازم و به پرواز درآیم،

و تمام هستیشان را به هستیم هدیه کردند.

## تشکر و قدردانی:

شکر ذات مقدس پروردگار را سزاست که شاکرترین بندگانش از حق شکر او عاجز و عابدترین آنان در عبادتش قاصر، شکر را تعلیم داده و بر آن ثواب عظیم مقرر فرمود. اقیانوس رحمتش را ساحلی و نعمتهایش را شماره‌ای نباشد. اوکه در هنگام رحمت ارحم الراحمین و در غوغای عقوبت، اشد المعاقبین است.

حال که به لطف پروردگار این کار به انجام رسیده، بایسته می‌دانم از عزیزانی که مرا در این راه یاری نموده‌اند سپاسگزاری نمایم. از زحمات بی‌شائبه پدر و مادر عزیزم، که با مرارت و از خود گذشتگی مرا با یاری خداوند به این مسیر هدایت کردند و همسرم که با صبر و دلگرمی‌هایش امیدبخش راهم بود و خانواده‌ام که چتر حمایتشان همواره بر سرم بوده است، قدردانی می‌نمایم. همچنین از کلیه اساتید گران‌سنگم از آغاز آموزشم، بخصوص استاد راهنمای محترم، آقای دکتر محمد جواد فدایی کمال تشکر را دارم و نیز از دوستـــــان عزیزم، بویژه مهندس سعید علیزاده تقی‌آباد،که با یاری خویش مراحل دشوار را برایم سهل نمودند بسیار ممنونم. یاری خداوند با ایشان باد.

**سید روح الله محمدی**

## چکیده:

کشور ما از جمله کشورهایی است که دارای آثار تاریخی فراوان می باشد. این آثار پرارزش در دوره‌های گذشته مورد تهدید پدیده‌های طبیعی به ویژه زلزله قرارگرفته بعضا آسیب دیده و یا از بین رفته‌اند. برای حفظ میراث فرهنگی، ضرورت دارد این آثار در مقابل پدیده‌های طبیعی مانند زلزله مقاوم‌سازی شوند. از جمله این آثار تاریخی، بنای آرامگاه شاه نعمت الله ولی می‌باشد که در شهر ماهان در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی کرمان واقع شده است و یکی از آثار باشکوه و زیبای تاریخی و فرهنگی ایران محسوب می‌شود. این بنا از گنبد و دو مناره زیبا تشکیل شده است.

در این تحقیق ابتدا آسیب‌پذیری سازه مناره بنای شاه نعمت الله ولی مورد بررسی قرار گرفته است و سپس با توجه به نقاط آسیب پذیر آن بوسیله شبکه فولادی مقاوم‌سازی شده است. در این روش شبکه فولادی در جداره داخلی مناره قرار داده می‌شود و سپس با پاشیدن بتن بر روی آن پیوستگی بین جداره و شبکه فولادی ایجاد می‌شود و باعث افزایش مقاومت سازه می گردد.

در این تحقیق برای مدل‌سازی، المانهای حجمی بتن و فولاد به مدل اصلی مناره که شامل المانهای حجمی آجر و ملات است افزوده شده و سپس با انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی به کمک نرم‌افزار تحلیلگر ANSYS میزان افزایش مقاومت سازه در برابر زمین لرزه ارزیابی شده است. در نهایت مناسب‌ترین نحوه مقاوم‌سازی با استفاده از این روش پیشنهاد شده است.

**کلید واژه‌ها:** مناره، ساختمان بنایی، شبکه فولادی، تحلیل دینامیکی.

## فهرست مطالب:

صفحه


**فصل اول** ۱

۱ـ۱ـ مقدمه ۲

۱ـ۲ـ تاریخچه ساخت ساختمانهای بنایی ۲

۱ـ۳ـ دسته بندی ساختمانهای بنایی ۴

۱-۳-۱- ساختمانهای بنایی غیر مسلح ۴

۱-۳-۲- ساختمانهای بنایی کلافدار ۵

۱-۳-۳- ساختمانهای بنایی مسلح ۵

۱-۴- انگیزه تحقیق ۵

۱-۵- اهداف و حدود پروژه ۶

۱-۶- بخشهای مختلف پایان نامه ۶

**فصل دوم** ۷

۲ـ۱ـ مقدمه ۸

۲ـ۲ـ تاریخچه شاتکریت ۸

۲ـ۳ـ تعریف شاتکریت و انواع آن ۸

۲ـ۳ـ۱ـ شاتکریت مخلوط خشک ۹

۲ـ۳ـ۲ـ شاتکریت مخلوط تر ۹

۲-۳-۳- مزایای اجرای شاتگریت تر نسبت به شاتکریت خشک ۹

۲-۳-۴- نکات مهم در هنگام استفاده از شاتکریت ۱۱

۲-۴- مشخصات فیزیکی مصالح بنایی ۱۲

۲-۴-۱- کلیات ۱۲

۲-۴-۲- خشت ۱۳

۲-۴-۳- سنگ ۱۴

۲-۴-۴- آجر و بلوک ۱۵

۲-۴-۵- ملاتها ۱۶

۲-۴-۶- فولاد تسلیح ۱۶

۲-۴-۷- بتن ۱۶

۲-۵- خواص مکانیکی مصالح بنایی ۱۷

۲-۵-۱- مقاومت فشاری و کششی دیوارهای بنایی ۱۸
۲-۵-۲- مدول ارتجاعی وبرشی ۲۱
۲-۵-۳- شکل پذیری ۲۲
**فصل سوم** ۲۳
۳ـ۱ـ مقدمه ۲۴
۳ـ۲ـ عوامل تهدید کننده بناهای تاریخی ۲۴
۳ـ۳- بررسی خطرپذیری ابنیه تاریخی ایران در برابر زلزله ۲۵
۳ـ۴- عناصر تشکیل دهنده معماری در بناهای تاریخی ۲۶
۳ـ۵ـ ساختمان تاریخی شاه نعمت ا... ولی ۲۸
۳ـ۵-۱- مشخصات بنای تاریخی شاه نعمت ا... ولی ۲۸
۳ـ۵-۲- جزئیات معماری بنای تاریخی شاه نعمت ا... ولی ۳۰
۳ـ۵-۳- معضلات اجرایی ساختمان بنایی شاه نعمت ا... ولی ۳۱
۳ـ۵-۴- اثر زمین‌لرزه بر ساختمان بنایی شاه نعمت ا... ولی ۳۲
**فصل چهارم** ۳۳
۴-۱- نرم‌افزار ANSYS ۳۴
۴-۲- کاربری نرم افزار المان محدود ۳۴
۴ـ۳ـ دستگاههای مختصات در نرم‌افزار ANSYS ۳۵
۴-۳-۱- انواع دستگاه‌های مختصات ۳۵
۴-۴- بارگذاری در نرم افزار ANSYS ۳۵
۴-۴-۱- گامهای بار و معادلات تکراری ۳۵
۴-۵- بررسی انواع مسائل غیرخطی در نرم‌افزار ANSYS ۳۶
۴-۵-۱- بررسی رفتار غیرخطی سازه‌ای ناشی از خصوصیات غیرخطی مصالح ۳۷
۴-۵-۲- بررسی رفتار غیرخطی سازه‌ای ناشی از خصوصیات غیرخطی هندسی ۳۸
۴-۵-۳- بررسی رفتار غیرخطی سازه‌ای ناشی از خصوصیت تغییر وضعیت ۳۸
۴-۶- روش حل معادلات غیرخطی در نرم‌افزار ANSYS ۳۸
۴-۷- روش‌های حل در برنامه ANSYS ۴۰
۴-۸- معیار همگرایی ۴۱
۴-۹- مفهوم تحلیل دینامیکی ۴۱

۴-۱۰- تحلیل مودال ۴۲
۴-۱۱- تحلیل طیفی ۴۲
۴-۱۱- ۱- تحلیل طیف پاسخ تک نقطه‌ای (SPRS) ۴۳
۴-۱۲- تحلیل تاریخچه زمانی ۴۴
**فصل پنجم ۴۵**
۵-۱- مقدمه ۴۶
۵-۲- المان SOLID65 ۴۶
۵-۳- مشخصات غیرخطی در نظرگرفته شده برای مصالح در نرم افزار ۴۷
۵-۳-۱- معیار گسیختگی بتن ۴۷
۵-۳-۲- مدل سازی ترک ۴۹
۵-۳-۳- مدل سازی خرد شدگی ۴۹
۵-۴- روند مدل سازی و مقاوم سازی مناره با استفاده از نرم افزار ANSYS ۴۹
۵-۴-۱- انتخاب سیستم آحاد مناسب ۴۹
۵-۴-۲- تعیین نوع المان ۴۹
۵-۴-۳ — تعیین ثوابت هندسی ۴۹
۵-۴-۴- تعیین خواص مواد ۵۰
۵-۴-۵- تشکیل مدل هندسی ۵۱
۵-۴-۶- مش بندی ۵۱
۵-۴-۷- آنالیز(تحلیل) ۵۲
۵-۴-۷-۱- آنالیز تاریخچه زمانی ۵۳
**فصل ششم ۵۶**
۶-۱- نتایج آنالیز تاریخچه زمانی ۵۷
۶-۱- ۱- نتایج آنالیز زلزله بم ۵۷
۶-۱- ۲- نتایج آنالیز زلزله طبس ۶۲
۶-۱- ۳- نتایج آنالیز زلزله زرند ۶۹
۶-۱- ۴- نتایج پایداری برای زلزله طبس ۷۴
**فصل هفتم ۷۶**
۷-۱- نتیجه گیری ۷۷

۷-۱- پیشنهادها ۷۷
**منابع** ۷۹

## فهرست اشکال:

صفحه

**فصل دوم** ۷
شکل(۲-۱): استفاده از شاتکریت تر با قالب بندی بسیار کم ۹
شکل(۲-۲): استفاده از شاتکریت تر در یک استخر منحنی ۱۰
شکل(۲-۳): استفاده از شاتکریت تر برای تثبیت صخره ها ۱۰
شکل(۲-۴): استفاده از شاتکریت تر برای روکش کردن پایه پلها ۱۰
**فصل سوم** ۲۳
شکل (۳ ـ ۱) نمای مناره‌های بنای شاه نعمت‌الله ولی ۲۹
شکل (۳ ـ ۲) نمای مناره های بنای شاه نعمت‌الله ولی ماهان ۳۰
**فصل چهارم** ۳۳
شکل (۴ ـ ۱) مفاهیم گام بار، زیرگام و زمان ۳۶
شکل (۴ ـ ۲) روش تقریب طول کمان ۴۰
شکل (۴ ـ ۳) روش نیوتن-رافسون ۴۰
شکل (۴ ـ ۴) روش‌های تحلیل طیفی؛ ۱- تک نقطه‌ای ۲- چند نقطه‌ای ۴۳
**فصل پنجم** ۴۵
شکل(۵-۱): المانSolid65 ۴۶
شکل(۵-۲): سطح گسیختگی سه‌بعدی در فضای تنشهای اصلی ۴۸
شکل (۵-۳): قسمت گلدسته مناره مدل سازی شده با نرم افزار ANSYS ۵۱
شکل(۵-۴): مش بندی مدل ساخته شده قبل از مقاوم سازی ۵۲
شکل(۵-۵): مش بندی مدل مقاوم سازی شده ۵۲
شکل(۵-۶): منحنی زلزله بم بر حسب تغییرمکان-زمان ۵۴
شکل(۵-۷): منحنی زلزله طبس بر حسب تغییرمکان-زمان ۵۴
شکل(۵-۸): منحنی زلزله زرند بر حسب تغییرمکان-زمان ۵۵
**فصل ششم** ۵۶
شکل(۶-۱): زلزله بم اعمالی به پای سازه برحسب تغییرمکان-زمان ۵۷
شکل(۶-۲): ترک خوردگی مناره در ثانیه۱۱/۵قبل از مقاوم سازی ۵۸
شکل(۶-۳): ترک خوردگی مناره در ثانیه۱۱/۵بعد از مقاوم سازی ۵۸
شکل(۶-۴): تنش اصلی جهت ۱ در ثانیه ۱۱/۵ قبل از مقاوم سازی ۵۹

شکل(۶-۵): تنش اصلی جهت ۱ در ثانیه ۱۱/۵ بعد از مقاوم سازی ۵۹
شکل(۶-۶): تنش قائم در ثانیه ۱۱/۵ قبل از مقاوم سازی ۶۰
شکل(۶-۷): تنش قائم در ثانیه ۱۱/۵ بعد از مقاوم سازی ۶۰
شکل(۶-۸): تنش برشی در ثانیه ۱۱/۵ قبل از مقاوم سازی ۶۱
شکل(۶-۹): تنش برشی در ثانیه ۱۱/۵ بعد از مقاوم سازی ۶۱
شکل (۶-۱۰): زلزله طبس اعمالی به پای سازه برحسب تغییرمکان-زمان ۶۲
شکل (۶-۱۱): ترک خوردگی مناره در ثانیه۴/۸ قبل از مقاوم سازی ۶۳
شکل (۶-۱۲): ترک خوردگی مناره در ثانیه۴/۸ بعد از مقاوم سازی۰/۳درصد ۶۳
شکل(۶-۱۳): ترک خوردگی مناره در ثانیه۴/۸ بعد از مقاوم سازی۰/۵ درصد ۶۴
شکل (۶-۱۴): تنش اصلی جهت ۱ در ثانیه ۴/۸ قبل از مقاوم سازی ۶۴
شکل (۶-۱۵): تنش اصلی جهت ۱ در ثانیه ۴/۸ بعد از مقاوم سازی ۰/۳ درصد ۶۵
شکل (۶-۱۶): تنش اصلی جهت ۱ در ثانیه ۴/۸ بعد از مقاوم سازی ۰/۵ درصد ۶۵
شکل (۶-۱۷): تنش قائم در ثانیه ۴/۸ قبل از مقاوم سازی ۶۶
شکل (۶-۱۸): تنش قائم در ثانیه ۴/۸ بعد از مقاوم سازی با آرماتور ۰/۳ درصد ۶۶
شکل (۶-۱۹): تنش قائم در ثانیه ۴/۸ بعد از مقاوم سازی با آرماتور ۰/۵ درصد ۶۷
شکل (۶-۲۰): تنش برشی در ثانیه ۴/۸ قبل از مقاوم سازی ۶۷
شکل (۶-۲۱): تنش برشی در ثانیه ۴/۸ بعد از مقاوم سازی با آرماتور ۰/۳ درصد ۶۸
شکل (۶-۲۲): تنش برشی در ثانیه ۴/۸ بعد از مقاوم سازی با آرماتور ۰/۵ درصد ۶۸
شکل(۶-۲۳): زلزله زرند اعمالی به پای سازه برحسب تغییرمکان-زمان ۶۹
شکل(۶-۲۴): ترک خوردگی مناره در ثانیه۱ قبل از مقاوم سازی ۷۰
شکل(۶-۲۵): ترک خوردگی مناره در ثانیه۱ بعد از مقاوم سازی ۷۰
شکل(۶-۲۶): تنش اصلی جهت ۱ در ثانیه ۱ قبل از مقاوم سازی ۷۱
شکل(۶-۲۷): تنش اصلی جهت ۱ در ثانیه ۱ بعد از مقاوم سازی ۷۱
شکل(۶-۲۸): تنش قائم در ثانیه ۱ قبل از مقاوم سازی ۷۲
شکل(۶-۲۹): تنش قائم در ثانیه ۱ بعد از مقاوم سازی ۷۲
شکل(۶-۳۰): تنش برشی در ثانیه ۱ قبل از مقاوم سازی ۷۳
شکل(۶-۳۱): تنش برشی در ثانیه ۱ بعد از مقاوم سازی ۷۳
شکل(۶-۳۲): نمودار جابجایی مناره تا لحظه واگرایی (ثانیه ۴/۸) قبل از مقاوم سازی ۷۴

شکل(۶-۳۳): نمودار جابجایی مناره تا لحظه واگرایی (ثانیه ۱۰) بعد از مقاوم سازی ۷۵

## فهرست جداول:

صفحه

**فصل دوم** ۹

جدول (۲-۱): مقاومت فشارهای مجاز سنگهای مصرفی در دیواره های سنگی ۱۵

جدول (۲-۲): نسبت توصیه شده برای اجزای ملات ۱۶

جدول (۲-۳): مقادیر مقاومت فشاری دیوارهای بنایی، $f_{wc,k}$ (به مگا پاسکال) ۱۷

جدول (۲-۴): مقادیر مقاومت کششی دیوارهای بنایی، $f_{wt,k}$ ( به مگا پاسکال ۱۸

جدول (۲-۵): ضریب'm جهت محاسبه مقاومت فشاری مجاز دیوار آجری ۱۹

جدول (۲-۶): مقادیر مقاومت فشاری مجاز دیوار آجری برای لاغری های بزرگتر از۱۰ ۱۹

جدول (۲-۷): مقاومت مجاز برای دیوارهای سنگی ۲۰

جدول (۲-۸): مقادیر مقاومت فشاری مجاز دیوار سنگی برای لاغری های بزرگتر از ۱۰ ۲۱

**فصل پنجم** ۴۵

جدول(۵-۱): مشخصات المان SOLID65 برای مدل سازی مناره ۵۰

جدول(۵-۲): مشخصات المان SOLID65 برای مدل سازی قسمت مقاوم سازی ۵۰

جدول (۵-۳): پارامترهای ضریب زلزله ۵۳

**فصل ششم** ۵۶

جدول(۶-۱): مقایسه تنشها قبل و بعد از مقاوم سازی بر اثر زلزله بم(Pa) ۶۲

جدول(۶-۲): مقایسه تنشها قبل و بعد از مقاوم سازی بر اثر زلزله طبس(Pa) ۶۹

جدول(۶-۳): مقایسه تنشها قبل و بعد از مقاوم سازی بر اثر زلزله زرند(Pa) ۷۴

# فصل اول:

# مقدمه و معرفی اهداف پایان نامه

## ۱- ۱- مقدمه

فلات ایران بر روی یکی از کمربندهای زلزله واقع شده و از این رهگذر گاه گاه نقطه‌ای از پهنه میهن اسلامی دستخوش لرزشهای مرگبار می گردد. از نمونه های بارز می توان به زلزله بم در سال ۱۳۸۲ و زرند در سال۱۳۸۳ منجیل در سال ۱۳۶۹ و زلزله طبس در سال ۱۳۵۷ و یا زلزله ناغان در سال ۱۳۵۶ و بوئین زهرا در سال ۱۳۴۱ اشاره کرد، [۳].

گرچه دلایل بروز زلزله و یا زمان و مکان آن به روشنی مشخص نیست ولی در هر حال تا آنجا که مشخص شده است، تغییر شکلهای ناشی از حرکتهای قاره ها نسبت به یکدیگر باعث افزایش انرژی ذخیره شده در پوسته جامد زمین گردیده و وقتی به حد گسیختگی رسید، به ناچار این پوسته گسیخته شده و بخشی از انرژی ذخیره شده آزاد می گردد و در این زمان پدیده زلزله اتفاق می افتد. چون انرژی ذخیره شده بسیار زیاد و ناگهانی است، باعث ارتعاش شدید زمین گردیده و ساختمانهایی که برای مقاومت در برابر این ارتعاشها طرح نشده اند دچار گسیختگی و انهدام می گردند، [۳].

در زلزله هایی که در ایران اتفاق افتاده، اکثر ساختمانهای آسیب‌دیده، ساختمانهـای با مصالح بنایی بوده اند. ساختمان‌های ساخته شده با مصالح بنایی (بخصوص ساختمان‌های آجری)، درصد بالایی از ساختمان‌های موجود یا در حال احداث در کشور ما را تشکیل می‌دهند. مهم‌ترین عامل مقبولیت ساختمان‌های بنایی در ایران، بویژه در شهرستان‌ها در دسترس بودن مصالح، ساده بودن تکنولوژی تولیـد آجر و بلوک بنایی، آشنایی سازندگان با نحوه ساخت و ساز با مصالح بنایی و سرانجام ارزان‌تر بودن قیمـت تمام شده این قبیل ساختـمان‌ها نسبت به ساختـمان‌های با اسکلت فولادی و بتـن مسلـح می باشد، [۱].

## ۱-۲- تاریخچه ساخت ساختمانهای بنایی[۱]

مصالح بنایی از زمانهای بسیار قدیم در ساخت وساز ساختمانها به کار می رفته است. با وجود توسعه استفاده از مصالح پیشرفته تری چون بتن مسلح و فولاد، ساختمانهای با مصالح بنایی هنوز شمار بسیاری از ساختمانهای مسکونی و عمومی را در جهان شامل می شوند.

مقررات اجرایی، مصالح مختلف، تکنولوژی و فنون عملی متفاوت در کشورهای مختلف و در دورانهای مختلف ساختمان سازی، محدوده وسیعی از انواع ساختمانهای بنایی را در جهان بوجود آورده است. این اختلاف به دلایل متفاوتی از قبیل مصالحی که در ساختمان سازی به کار می‌رود (سنگ، خشت، آجر، بلوکهای سفالی)، محل ساختمان‌سازی (شهری، روستایی)، زمان ساختمان‌سازی

(زمان قبل از جنگ جهانی اول در اروپا، زمان بین دو جنگ، زمان بعد از جنگ دوم و زمان بعد از تحقیقات طراحی لرزه‌ای)، کاربری ساختمانها (مسکونی، عمومی) و سیستم سازه‌ای، می‌باشد.

سنگ و خشت هنوز هم بطور گسترده ای به عنوان مصالح اصلی در ساختمانهای مسکونی در بعضی مناطق به کار می‌رود. این نوع ساختمانها معمولا شکل سازه‌ای خاصی دارند. شکل اصلی این ساختمانها متشکل از دیوارهای ضخیم متحد الشکلی می باشد که در دو جهت متعامد توزیع شده‌اند. با این وجود همه این دیوارها قادر به تحمل بار افقی نیستند و کلافی نیز در آنها دیده نمی‌شود. در اجرای این ساختمانها هنوز از ملات گل یا ماسه رسی با کیفیت پایین استفاده می‌شود.

سقفها از تیرچه های چوبی تشکیل شده است که به دیوارها متصل نشده‌اند. گاهی سقفهای چوبی به وسیله طاق ضربی از آجر یا سنگ جایگزین می شود.

آجر از نیمه دوم قرن نوزدهم میلادی به عنوان مصالحی برای ساختمانهای مسکونی و عمومی در نواحی شهری مورد استفاده قرار گرفت. شکل اینگونه سازه ها، خصوصا در ساختمانهای عمومی، با وجود خروج از مرکزیت، جلوآمدگی و عقب رفتگی ها نا متقارن است. اغلب در اجـرا از ملات ماسه- آهک با کیفیت پایین استفاده می شود. سقفها معمولا از الوارهای چوبی است. گاهی طاق ضربی آجری با تیرهای فولادی اجرا می شود، و به ندرت دالهایی از بتن مسلح در آنها می توان یافت. بعد از جنگ جهانی اول در اروپا، کلاف و تیرهای بتنی مسلح معمول گردید و تعداد طبقات به ۶ تا ۷ طبقه افزایش یافت. ارتفاع هر طبقه به ۳ تا ۴ طبقه می رسید. سیستمهای سازه‌ای مختلط با اجرای ستونهای بتنی مسلح به عنوان اجزای باربر احداث شدند. با این سیستمها تعداد طبقـات نسبتا کم باقی می ماند (۲ تا ۴ طبقه)، ولی ارتفاع طبقات به ۵ تا ۷ متر می‌رسد.

پیدایش ساختمانهای آجری در ایران را می توان از اواسط هزاره اول قبل از میلاد در بنای چغازنبیل دانست. صنعت آجرپزی در ایران پیش از دوران هخامنشی تکامل یافته و در دوران اشکانیان و ساسانیان از آجر برای بناها بویژه پوشش سقفها استفاده می گردید. از آن پس مصالح بنایی به ویژه آجر به عنوان مصالحی ملی و بومی کشور رواج داشته است و تا اوایل قرن حاضر نیز در ساخت بناهای مهم به کار رفته است. سی و سه پل، پل خواجو و مجموعه تاریخی میدان نقش جهان اصفهان به یادگار مانده از دوران صفویه، مساجد و آب انبـارهای قدیـمی در اکثر شهر های ایران، عمـارت ارگ، بازار و حمام وکیل و دروازه قرآن شیراز در دوران زندیه، بنای تاریخی شاه نعمت الله ولی ماهان، شمس العماره، کاخ گلستان، صاحبقرانیه و باغ ملی تهران در دوران قاجار، کاخ مرمر و

مجموعه سعدآباد تهران در اوایل دوران پهلوی، نمونه هایی از ساخت و ساز ابنیه مهم با مصالح بنایی در قرون اخیر می باشند.

در دوران بعد از جنگ جهانی، در اروپا ساخت آپارتمانهای تا ۶ طبقه با دیوارهای باربر در جهت عرضی و اجزای پیش ساخته سقف افزایش یافت. دیوارهای طولی با باز شوهای فراوان که منجر به ضعیف شدن آنها می شد رواج یافتند که نمی توانستند در سیستم دیوارهای باربر انجام وظیفه نمایند. همچنین به کیفیت مصالح و اجرا توجه زیادی صورت نمی گرفت.

مقررات جلوگیری از خطرات ناشی از زمین لرزه که طی سالهای ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ میلادی در اروپا تحقق پیدا کرد، ضوابط متعددی برای توسعه ساختمانهای بنایی مقاوم در برابر زمین لرزه ارائه داد. این مقررات استفاده از کلافهای افقی از بتن مسلح و توزیع یکنواخت دیوارها را در دو جهت لازم می‌دید.

با توجه به ارتفاع ساختمانها و شدت لرزه خیزی منطقه، این مقررات استفاده از کلافهای قائم بتنی مسلح را لازم دانسته و همچنین به نظارت بر کیفیت مصالح و اجرا تاکید می نمود.

## ۱-۳- دسته بندی ساختمانهای بنایی[۱]

طبق آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ساختمان با مصالح بنایی به ساختمانی اطلاق می گردد که با آجر، بلوک سیمانی و یا سنگ ساخته شده و در آن تمام و یا قسمتی از بارهای قائم توسط دیوارهای با مصالح بنایی تحمل گردد. بنابراین ساختمانی که درآن، قسمتی از بارهای قائم توسط دیوارهای با مصالح بنایی و قسمتی دیگر توسط عناصر فلزی یا بتن مسلح تحمل شود نیز، از ساختمانهای با مصالح بنایی محسوب می گردد.

عموما ساختمانهای بنایی بسته به نوع مصالحی که در آنها به کار رفته است انواع مختلفی دارند. سنگی، خشتی، آجری و ساخته شده از بلوکهای سفالی یا بتنی. این تقسیم‌بندی تا حدی تابع محل ساختمان‌سازی است. همچنین می‌توان آن ها را با سیستم های سازه‌ای زیر دسته‌بندی نمود.

### ۱-۳-۱- ساختمانهای بنایی غیر مسلح

این نوع معمول ترین و قدیمی ترین نوع ساختمان در کشور و نیز سایر نقاط جهان است که با توجه به کیفیت مصالح و اجرا، خود به دو دسته شهری و روستایی تقسیم می گردد. مصالح عمده ای که در ساختمانهای بنایی غیرمسلح در روستا مصرف می شود خشت خام یا سنگهای رودخانه‌ای یا شکسته شده از معادن می باشد که با ملات گل در ساخت دیوارها به کار می رود.

در ساختمانهای شهری دیوارها از آجر فشاری یا بلوکهای سفالی یا بتنی همراه با ملات ماسه سیمان و سقفها از تیرآهن و طاق ضربی یا تیرچه بلوک و گاهی نیز چوب بنا می شود.

### ۱-۳-۲- ساختمانهای بنایی کلاف دار

در این دسته از ساختمانهای بنایی برای بهبود رفتار در مقابل زمین لرزه از اجزای بتنی، فولادی و یا چوبی به صورت کلافهای افقی یا قائم در میان دیوار استفاده می شود که موجب افزایش نسبی مقاومت دیوار می گردد. استفاده از این نوع ساختمان در آیین نامه های طرح لرزه‌ای برای مناطق لرزه خیز مورد تاکید است.

### ۱-۳-۳- ساختمانهای بنایی مسلح

در این ساختمانها برای مقابله با حالتهای محتمل شکست (خمشی و برشی) در دیوارها از عناصر تسلیح استفاده می شود. تعبیه کلافهای فوقانی و تحتانی به تنهایی برای جلوگیری از شکست خمشی و برشی کافی نمی باشد. میلگردهای قائم برای تحمل تنشهای خمشی و میلگردهای افقی برای تحمل تنشهای برشی مورد استفاده قرار می گیرد.

### ۱-٤- انگیزه تحقیق

پاسداری از میراث فرهنگی گذشتگان در قالب حفظ مصالح و ظاهر معماری بناهای تاریخی در یک پروژه مقاوم‌سازی عامل اصلی ارزیابی روش بکارگرفته شده می‌باشد. در کنار این عوامل توانایی روش مقاوم‌سازی مربوطه در حفظ بنا برای آیندگان نیز عامل ارزشی عمده‌ای به حساب می‌آید.

در زمینه مقاوم‌سازی بناهای تاریخی در برابر زلزله در سطح کشور کار انسجام یافته و تصمیمات سازماندهی شده‌ای صورت نگرفته است و طرح‌های حفظ بناهای تاریخی بیشتر جنبه مرمت داشته است. این روند به جهت حفظ بناهای تاریخی چندان منطقی و معقول بنظر نمی‌رسد چرا که مرمت یک بنای تاریخی زمانی معنا پیدا می‌کند که از تمامی عوامل موثر در حفظ بنای مزبور در آینده مد نظر قرارگرفته باشند. نمونه‌های زیادی وجود دارد که با وجود مرمت‌هایی که روی بنا صورت گرفته بود آسیب‌های جبران ناپذیری را محتمل گردید.

با توجه به مطالب فوق، نگرشی منطبق با اصول علمی و مهندسی در زمینه حفظ بناهای تاریخی ایران در برابر زلزله ضروری به نظر می‌رسد.

## ۱-۵- اهداف و حدود پروژه

هدف از انجام این پروژه ارزیابی مقاوم‌سازی مناره‌های بنای تاریخی مقبره شاه نعمت الله ولی در شهر ماهان در استان کرمان با استفاده از شبکه فولادی می‌باشد که برای انجام آن سازه مناره قبل و بعد از مقاوم‌سازی با استفاده از مدل‌سازی اجزاء محدود به کمک نرم‌افزار ANSYS انجام می‌شود، با توجه به نتایج مقاوم سازی، نسبت به ارائه و اجرای طرح مذکور اقدام شود.

## ۱-٦- بخش‌های مختلف پایان نامه

پایان نامه پیش رو از ۷ فصل تشکیل شده است که در هر فصل مطالب زیرآورده شده است:

فصل اول- شامل مقدمه‌ای بر کار پایان نامه می‌باشد؛

فصل دوم- شامل معرفی مصالحی می‌باشد که در این تحقیق مورد استفاده قرارگرفته است؛

فصل سوم- شامل مطالبی در اهمیت آثار تاریخی و نیز معرفی بنای شاه نعمت الله ولی می‌باشد؛

فصل چهارم- شامل مقدمه ای بر روش اجزاء محدود و تحلیل‌های دینامیکی نرم‌افزار ANSYS می‌باشد؛

فصل پنجم- شامل نحوه مدل‌سازی و مقاوم‌سازی مناره‌های بنای شاه نعمت الله ولی می‌باشد؛

فصل ششم- شامل نتایج حاصل از مقاوم‌سازی می‌باشد؛

فصل هفتم- شامل نتیجه گیری و پیشنهادهایی جهت تحقیقات آتی در ادامه تحقیق حاضر می‌باشد.