

رویکرد مهندسی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای در اعتاب مقدسه

(نمونه موردی: سردر ساعت و نقاره‌خانه)

مسعود علویان صدر *
بیان همای **

درآمد

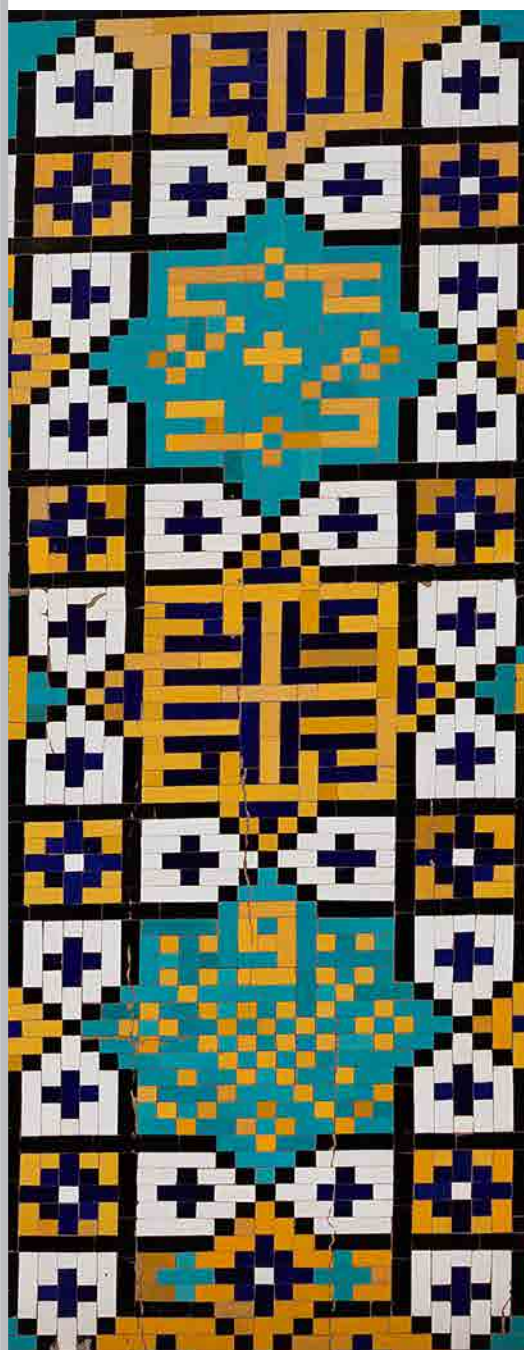
این نوشتار در ارتباط با بخشی از تجارب مهندسان مشاور معماری و شهرسازی آستان قدس رضوی در زمینه حفاظت و احیاء حرم مطهر رضوی است. در جریان توسعه، گاهی سرعت آن‌قدر زیاد است که فراموش می‌کنیم قلب تپنده و هسته اصلی فضاهای قدسی، نیاز به مراقبت و پایش دارد. این گونه اماکن، نیاز به حفاظت و مراقبت دارد. نیاز است در آنها، الگوی جامع حفاظتی مبتنی بر دستورالعمل‌های استاندارد پایه‌ریزی شده ساری و جاری باشد. این برخورد می‌تواند بر مبنای اقدامات موضعی باشد، بلکه باید به صورت دائمی و مستمر در تمامی اماکن قدسی ملاک عمل قرار گیرد.

در همین راستا، همکاران در مشاور قدس، اقدامات جامعی را آغاز کرده‌اند که در این مجال به بخشی از آنها پرداخته می‌شود که در قالب رویکرد مهندسی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای در حرم رضوی است. روند اجرایی این اقدام به این منوال بود که در گام اول، هسته اولیه گروه راهبردی این فعالیت با عنوان گروه حفاظت و ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای متشکل از متخصصین و افراد صاحب نام در این حوزه شکل گرفت. این گروه با همکاری سازمان حريم حرم که در پشتیبانی و تأمین تجهیزات و امکانات، همکاری بسیار ارزنده‌ای داشتند، این کار بزرگ را شروع کردند.

در این نوشتار، در بخش اول، مبانی نظری موضوع تبیین می‌شود. بخش دوم، به تبیین تجربه‌ای عملی از این نوع رویکرد که در سردر نقاره‌خانه انجام شده است، می‌پردازد.

تبیین مبانی نظری

رویکردی که ما در بحث بهسازی مد نظر داشتیم، مهندسی تحلیلی یا مهندسی بر اساس مایکروسکوپی بود. در این رویکرد، عملاً از عملیات ریاضی و داده‌های کمی استفاده می‌کنیم و تفسیر وقایع فیزیکی مانند قوانین طبیعت و اصول مهندسی و با طرح و اجرا، همراه با بهترین‌یابی‌ها در فرآیندهای ریاضی، تبیین، ارزیابی و انتخاب می‌شوند. به عبارت دیگر، در کنار شناخت تجربی که حاصل شده، با بهره‌گیری از داده‌های کمی، اطلاعات ارزشمندی از هر یک از بناها به دست می‌آوریم که از آنها در دست‌یابی به بهترین راه حل و بهترین



* مدیرعامل شرکت مهندسان مشاور معماری و شهرسازی آستان قدس رضوی

Masoud-alavian@yahoo.com

** مدیرگروه سازه شرکت مهندسان مشاور معماری و شهرسازی آستان قدس رضوی

Homami-P@yahoo.com

مهندسی تحلیلی فرصت شناخت کامل، جامع و مانع را از ابعاد و زوایای بنا فراهم نموده و با تحلیل آنها راهکارهای بهینه را ارائه می‌نماید. اگر فرآیند شناخت از ابعاد و زوایای بنا به‌درستی صورت نگیرد و به‌درستی تحلیل نشود، راهکارهای علاج‌بخشی و روش‌های پیشنهادی مرمت هم درست نخواهد بود. امکان دارد خطا داشته باشیم. بنابراین روش‌هایی که استفاده می‌شود، باید بر اساس ادله و شناخت کاملی باشد که از طریق ابزار دقیقی که به کار می‌بریم، به آن برسیم. دوم آنکه تحلیل‌های کلاسیک در این مرحله فایده ندارد. باید بناها به صورت سه‌بعدی تحلیل شوند. به این طریق، می‌توان ضعف‌هایی را که در بنا حاصل شده به صورت سه‌بعدی مشاهده و تحلیل کرد و آسیب‌پذیری بنا را در ابعاد و زوایا تشخیص داد.

نگته بعدی غیرخطی بودن مصالح است. همان‌طور که می‌دانید مصالح مورد استفاده در بناهای تاریخی طبیعی هستند. از این رو، رفتارها هم غیرخطی است و طبیعتاً نمی‌توان به صورت خطی به آن نگاه کرد. رفتار آنها کنترل‌شده نیست و همچنین در کنش اقلیم بنا و زمین در صورتی می‌تواند محاسبه شود که بتوانیم مهندسی تحلیلی را در آنها تجربه کنیم.

مبانی حفاظت و مرمت

بر این مبنا، برای مقاوم‌سازی در حرم رضوی، سه سطح مد نظر قرار گرفت. اولاً اینکه ابزارگذاری دقیق و پایش اولویت اصلی کار قرار گرفت. در گزارش دقیقاً اشاره می‌شود که چه روش‌هایی را به کار بردیم و برای شناخت، از چه ابزاری بهره جستیم. گام دوم مهندسی تحلیلی، تحلیل‌های کمی در قالب مدل‌سازی و تحلیل عددی است. گام سوم که مهم‌ترین گام است، نحوه انتخاب بهترین راهکار و گزینه مداخله است که از حساسیت بالایی برخوردار است. در این مرحله، به کارگیری استانداردهای برگرفته از منشور مرمت ملی یا استانداردهای تعیین‌شده برای فضاهای قدسی و همچنین تجارب معماران تجربی از اهمیت بالایی برخوردار است. در موضوع حفاظت و مرمت فضاهای قدسی، توجه به یک سری معیارهای اصلی ضروری است. اول، اینکه

گزینه بهره‌مند می‌شویم.

در این رویکرد، سه سطح کاربردی مورد استفاده قرار گرفته است:

سطح اول، مهندسی تجربی است که برگرفته از علم و دانش مهندسان تجربی کشور بوده و ادبیات شفاهی بسیار غنی را شامل می‌شود. معماران تجربی در حوزه حفاظت، احیا و مرمت بناهای تاریخی، تلاش‌های ارزنده‌ای داشتند و بهره‌گیری از سبک کار و نوع رویکرد آنها در این زمینه از ارزش خاصی برخوردار است. این اشخاص سرمایه بسیار ارزشمند و بی‌نظیری هستند که گاهی از آنها غفلت کردیم و نتوانستیم در تربیت نیروهای جدید از پشتیبانی آنها استفاده کنیم.

سطح دوم، مهندسی قیاسی یا آیین‌نامه‌ای است. این سطح ضرورت تدوین منشور مرمت ملی یا دستورالعمل جامع حفاظت اماکن قدسی را بیشتر نمایان می‌سازد و نوع و میزان مداخلات را تعیین می‌کند.

سطح سوم، مهندسی تحلیلی یا قدری است. این سطح با بالا بردن میزان شناخت از بناهای تاریخی، فرصت تحلیل، ارزیابی و رسیدن به راهبردهای بهینه را میسر می‌سازد.

این سطوح لازم و ملزوم هم هستند و کاربرد آنها در کنار هم معنا پیدا می‌کند.

در استراتژی‌ها، ارزیابی‌ها و حفاظت بناهای تاریخی، با پیشرفت‌های ابزاری که در زمینه‌های نرم افزاری، ابزارهای دقیق، مصالح و تکنولوژی‌های نانو و امکان کنترل رفتار مصالح به وجود آمده، مهندسی تحلیلی در کنار و برتر از مهندسی‌های تجربی و آیین‌نامه‌ای کاربری دارد. این به دلیل چهار موضوع زیر است که روش‌های تجربی و روش‌های آیین‌نامه‌ای در آنها توانایی تحلیل و ارزیابی ندارند.

از دلایل رجحان و برتری مهندسی تحلیلی در بررسی بناهای تاریخی به دو عامل می‌توان اشاره کرد. اول اینکه بناهای تاریخی تابع زمان هستند، بنابراین مهندسی تحلیلی تمامی عوامل آسیب‌رسان را در طول زمان به دقت مورد بررسی و تحلیل قرار داده و نقش آنها را در فرسودگی بنا تعیین و راهکارها را متناسب با عوامل آسیب‌رسان ارائه می‌نماید.

ماندگاری، تزئینات و عملکردی با هم متفاوت هستند. به همین طریق، مهندسی حفاظت و مرمت و مقاوم‌سازی آنها متفاوت خواهد بود.

روش‌های تحلیل

برای تحلیل داده‌ها، روش‌های مختلفی را مد نظر قرار دادیم. با بهره‌گیری از روش تحلیل تاریخی، سعی کردیم اطلاعات کاملی را از آنچه از گذشته وجود داشته، شامل تکنیک ساخت، زمان ساخت، موقعیت و شرایطی که این آثار و بنا شکل گرفتند، اندیشه و نوع فکر و تکنیک معماران تجربی که در این زمینه کار کردند و اندیشه حاکم بر آن زمان، بررسی کرده، از آن در تحلیل داده‌ها بهره‌مند شویم.

دومین روش مورد استفاده برای تحلیل، استفاده از تحلیل کیفی است. در این روش، شرایط حال سازه با دیگر سازه‌های مشابهی که رفتار آنها فهمیده شده است، مقایسه می‌گردد (مقایسه تحلیلی و تطبیقی). در نهایت، رویکرد تحلیلی است که از مدل‌های ریاضی و تحلیل‌های سازه‌ای برای تحلیل داده‌ها استفاده می‌گردد.

مهندسی بناهای تاریخی

پس از تحلیل داده‌ها، جریان مهندسی بناهای تاریخی در سه سطح مقاوم‌سازی، حفاظت و مرمت دنبال می‌شود. اولین سطح، موضوع مقاوم‌سازی است. مقاوم‌سازی مواجهه سازه‌ای نسبت به بنا دارد و مقاوم‌سازی بستر، کرسی‌چینی و پی و اصل بنا را در بر می‌گیرد.

سطح دوم، موضوع حفاظت مداوم و مستمر را دنبال می‌کند. با این رویکرد، پیشگیری بهتر از درمان است. با بهره‌گیری از روش‌های پیشگیری آسیب‌های بناها از اقلیم (انواع هوازدگی)، زمین (رطوبت و نشست)، بیولوژیکی و تغییر میکروسازه‌ها می‌تواند به حداقل رسیده و از صدمه دیدگی بنا با بهره‌گیری از مهندسی حفاظت، جلوگیری به عمل آید. سطح سوم، مرمت است. مرمت بیشتر به بخش معمارانه بنا و تزئینات تعلق می‌گیرد و تفسیر و تحلیل سازه‌ای کمتری دارد. پر کردن ترک‌ها بدون توجه به علت‌های سازه‌ای و اثر پر کردن و تعویض قسمت‌های آسیب‌دیده در استحکام‌بخشی

در بحث حفاظت و مرمت این امر باید در نظر گرفته شود که این علم و تکنیک، چنددانشی است و ما باید از دانش‌های مختلف بهره بگیریم. برای حفاظت، تنها متخصصین مرمت یا معماری کافی نیست و نیازمند بهره‌گیری از حوزه‌های علمی مختلف، تکنیک‌های گوناگون و تخصص‌های دیگر هستیم. دوم، اینکه درست است تمامی اجزا و عناصر هر بنای تاریخی از اهمیت خاصی برخوردار هستند، اما تمامیت، یکپارچگی و هم‌پوندی آنها بسیار بااهمیت است. برای نمونه، در کارهای مرمتی که در بازار تهران صورت گرفت، شاهد آن بودیم که به جای به کارگیری روش‌های اصیل حفاظت و مرمت، بیشتر پوسته‌سازی صورت گرفت و اصالت و یکپارچگی بنا را زیر سؤال برد. سوم، اینکه ارزش و اصالت بناهای تاریخی را نمی‌توان با معیارهای ثابت تعیین کرد. متناسب با فضا و مکانی که در آن هستیم، با مجموعه‌ای از معیارهای خاص سروکار داریم که باید شناسایی شده و از آنها بهره گرفت. در نهایت، باید در نظر داشته باشیم که ما در حرم هستیم و رعایت جوانب ایمنی و حفاظت از اهمیت بسیاری برخوردار است. باید ایمنی و حفاظت مورد توجه باشد، زیرا ما نسبت به زواری که برای زیارت مشرف می‌شوند، مسئولیم و وظیفه داریم نسبت به امنیت و حفاظت آنها به درستی فکر و برنامه‌ریزی کنیم.

در حفاظت و مرمت بناهای تاریخی، سه بخش اجرایی وجود دارد که باید شناخته شود و مورد توجه باشد. بخش اول سفت‌کاری سازه شامل مقاوم‌سازی بستر، مقاوم‌سازی پی و اجزای مختلف سازه‌ای بناست که باید با رویکردی درست به آنها نگاه کنیم. بخش بعدی، حفاظت از قسمت بیرونی یا مقطع است که ارتباط بین محیط و بنا را کنترل شده برقرار می‌نماید. این بخش به ماندگاری و ایمنی بنا کمک می‌کند. سومین بخش مربوط به تزئینات قسمت داخلی بناست که تکمیل‌کننده کیفیت و زیبایی آن بوده، برای حفاظت و مرمت آن به کارگیری ظرافت و دقت امری ضروری است. مهندسی ارتباط و پیوستگی این سه بخش بسیار مهم است. حفاظت می‌تواند در فرم‌ها، دتایل‌ها و انتخاب مواد و مصالح نقش داشته باشد. آسیب‌های پایداری،

داشتن انحراف بنا از ایده‌آل‌های آن می‌تواند سبب سنجش نقاط ضعف و امکان‌های مقاوم‌سازی و دخالت‌ها شود.

۷. ارائه طرح بهینه برای مقاوم‌سازی، با توجه به شرایط بنا و امکانات و محدودیت‌های بین‌المللی و منشورات میراث جهانی و ملی و استانداردهای مصوب برای امکان قدسی تهیه می‌شود. شرایط اجرای طرح، شامل حفاظت بنا در حین دخالت‌ها، مصالح و ایمنی‌های جمعی، رعایت پیوستگی‌ها و وابستگی جزئی از متن طرح است.

در این مرحله، تشکیل شورای نخبگی متشکل از متخصصان رشته‌های مختلف دخیل در حوزه مرمت و افراد آشنا با محیط، ضروری است. این شورا به اتکای منشورهای بین‌المللی، مقررات میراث جهانی و ضوابط ملی و استانداردهای محلی و موضعی نسبت به تعیین شیوه مداخله و میزان مداخله و درصد مداخله در حوزه‌های مختلف اقدام می‌نماید. حفاظت بر مبنای مهندسی تحلیلی می‌تواند یک اعتبار جهانی برای ما به ارمغان آورد. مهندسی تحلیلی فرصتی است برای اینکه بتوانیم ضوابط بین‌المللی را بر مبنای تفکر و اندیشه‌های بومی، با استفاده از تکنولوژی، فناوری‌ها، سخت‌افزارها و نرم‌افزارهایی که به آنها دست یافته‌ایم، در دست‌یابی بهترین الگو و روش به کار ببندیم. در ادامه، یک نمونه از فرایند اجرای این شیوه ارائه می‌شود.

نگاهی به سابقه لرزه‌خیزی مناطق اعتبار

ابتدا شایسته است نگاهی داشته باشیم به سابقه لرزه‌خیزی در مناطق محل احداث اعتبار مقدسه و ساختمان‌ها با مصالح و فرم‌های سازه‌ای مساجد و حرم‌هایی که در این نقاط وجود دارند. زلزله دشت بیاض، سال ۱۳۴۷ با بزرگی ۷٫۱۴ ریشتر با فاصله متوسطی حدود ۳۳ الی ۳۴ کیلومتر رخ داد. تصاویر ۱ و ۲، این سازه را قبل و بعد از وقوع زلزله نشان می‌دهند. خسارت‌ها شامل قاب‌ها، قوس‌ها، طاق‌ها و فروریختن آرایه‌های معماری است. اگر آرایه‌ای وجود داشته باشد، فرومی‌ریزد، اما گنبدها فرم‌های نسبتاً پایدارتری دارند و تنها دچار ترک و خسارت خواهند شد.

کل بنا و افزایش دوام و عمر بنا، اصلی‌ترین هدف بخش مرمت است. توجه به این نکته ضروری است که در هر بخش کار حفظ اصالت، یکپارچگی و حفظ شخصیت اصلی بنا از اهمیت بسزایی برخوردار است.

در مهندسی تحلیلی برای ارزیابی و مقاوم‌سازی بناهای تاریخی انجام مراحل زیر و استفاده از مدارک فنی، اندازه‌گیری‌ها، تشخیص کمی، تحلیل‌ها و قضاوت‌ها در تصمیم‌گیری‌ها مورد نیاز است:

۱. هندسه و آسیب‌ها (Damages & Geometry) یا مستندسازی هندسی: در این مرحله، فرم و هندسه اجزای سازه‌ای و سیستم بنا، اعم از لایه‌های زمین، کرسی‌چینی‌ها، پی و تمام اجزای بنا و قسمت‌های هوازده و فرسایش‌های ظاهری، عمیق و هندسه تغییرات و تعمیرهای گذشته و ترک‌ها، مسیر ترک‌ها به صورت رسم شبکه ترک بررسی می‌شود.

۲. خواص مکانیکی (فیزیکی) و شیمیایی مصالح (Materials Prespectives & Damages) یا مستندسازی مصالح: در این مرحله، مدل رفتاری مصالح و پارامترهای مربوطه و خواص مصالح فرسوده شده و هوازده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳. مدل‌سازی و تحلیل عددی کلی بنا اعم از زمین، کرسی‌چینی (پی) و اصل بنا: در این مرحله، آنالیزهای عددی و ترسیم تنش‌ها با استفاده از مدل‌سازی محاسباتی شکل سه بعدی به خود می‌گیرد (Computational modeling).

۴. داشتن تنش‌ها یا مستندسازی مهندسی بنا (Stress distributions): بررسی در هر مقطع و مقایسه این تنش‌ها با خواص و توان مصالح موجود به عنوان ارزیابی اول

۵. بارگذاری موجود (Loading) و تأثیر و بارگذاری‌های غیرعادی و بحرانی ممکن (زلزله)، با داشتن مدل تحلیلی (Computational modeling): با بارگذاری‌ها و مستندسازی وضع موجود بنا، می‌توان برای هر بارگذاری با شرایط ممکن، وضعیت ایمنی، تغییر شکل‌پذیری و رفتاری بنا را پیش‌بینی نمود. در این قسمت، ارزیابی دوم انجام می‌گیرد.

۶. ارائه طرح‌های مقاوم‌سازی در مرحله ششم با



تصویر ۲: امامزاده سلطان محمد عابد در کاخک گناباد (بعد زلزله)



تصویر ۱: امامزاده سلطان محمد عابد در کاخک گناباد (قبل زلزله)



تصویر ۴: مسجد جامع بروجرد (بعد زلزله)



تصویر ۳: مسجد جامع بروجرد (قبل زلزله)



تصویر ۶: مسجد سلطانیه بروجرد (قبل زلزله)



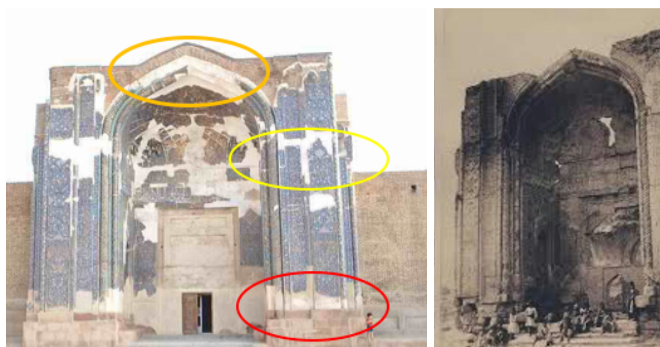
تصویر ۵: مسجد جامع بروجرد (بعد زلزله)



تصویر ۸ و ۹: مسجد سلطانیه بروجرد (قبل و بعد زلزله)



تصویر ۷: مسجد سلطانیه بروجرد (بعد زلزله)



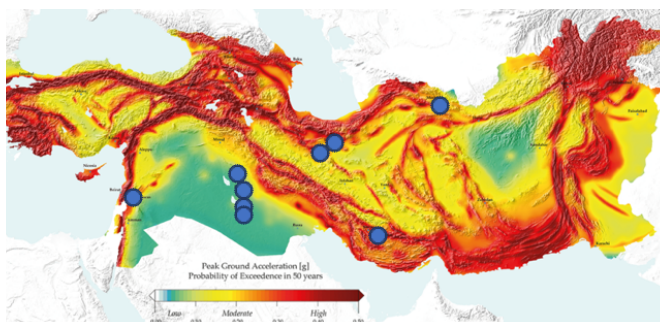
تصویر ۱۰: مسجد کبود تبریز در زلزله ۱۷۲۱ میلادی
تصویر ۱۱: سردر مرمت شده مسجد کبود تبریز



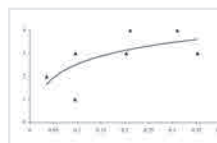
تصاویر ۱۲ و ۱۳: مسجد سر پل ذهاب



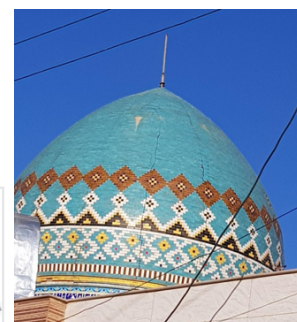
تصاویر ۱۴ و ۱۵: مسجد سر پل ذهاب



تصویر ۱۸



تصویر ۱۷



تصویر ۱۶: مسجد جامع قصر شیرین

نمونه بعدی، زلزله سیلاخور در سال ۱۳۸۵ با بزرگی ۶ ریشتر و فاصله ۳۴ کیلومتر است. تصاویر ۳ تا ۵، وضعیت سازه قبل و بعد از زلزله را نشان می‌دهند. در تصویر، ترک‌ها، خسارت‌ها و سقوط آرایه‌ها در سردر اصلی مشخص است. در همان زلزله، مسجد سلطانیه بروجرد نیز دچار خسارت شد و آواری از ریزش آرایه‌ها به جا ماند. (تصاویر ۶ تا ۹)

تصاویر ۱۰ و ۱۱، مربوط به مسجد کبود تبریز است. زلزله در اینجا ۷ ریشتر و در فاصله ۷۰ کیلومتری بود. عکس‌ها پیش از توسعه مساحت و شرایط فعلی بعد از مرمت را نشان می‌دهند. تصاویر ۱۲ تا ۱۵، مربوط به سال ۱۳۹۶ و زلزله سر پل ذهاب است. در مسجد شهر سر پل ذهاب، آرایه‌ها فرو ریخته، کناره‌های سردر ترک خورده، پشت‌بندها در آستانه ریزش است. این در حالی است که در این بنا، بخش مهمی از مصالح، از مواد نوین است، اما جزییات آرایه‌ها و اتصال آن، انعطاف‌پذیری ندارد. این مقدار تخریب در سازه‌هایی با این فرم، در زلزله مورد انتظار است.

تصویر ۱۶، مربوط به مسجد جامع قصر شیرین پس از زلزله است. این بنا ترک‌هایی خورده است. با آنکه محدود است، خسارت وجود دارد. اگر بخواهیم تیپ این سازه‌ها را با درصد خسارت‌های مختلف طبقه‌بندی کنیم، می‌توان رابطه‌ای پیدا کرد که چگونه اگر شتاب زلزله به تدریج افزایش پیدا کند، سطح خسارت‌ها افزایش می‌یابد. منحنی تصویر ۱۷ این امر را نشان می‌دهد. خط منحنی به ما می‌گوید در زلزله‌های نسبتاً خفیف، خسارت‌های نسبتاً بزرگی را تجربه خواهیم کرد.

تصویر ۱۸، محدوده ایران و کشورهای همسایه را نشان می‌دهد. اعتبار مقدسه بر روی عکس با ستاره آبی مشخص شده‌اند. در راهنمای نقشه، هر چه به رنگ قرمز پررنگ برویم، مناطق با شدت زلزله بزرگ‌تری مورد انتظار است. اعتبار مقدسه در عراق امکان لرزه‌خیزی کمتری نسبت به دیگر مناطق و کشورها دارد.

ارزیابی و مدل‌سازی حرم رضوی

بر اساس رویکرد مهندسی، فرآیند کاهش خطرپذیری در مجموعه حرم رضوی تدوین شد. بیش از ۱۰۰ فرآیند مرتب شدند و نقش بخش‌های مختلف جهت پیگیری کردن این فرآیندها، برای رسیدن به نتیجه مطلوب مشخص شد. سرفصل‌های فرآیند کاهش خطرپذیری عبارت‌اند از:

۱. تهیه دستورالعمل طراحی اختصاصی اماکن

۲. بهسازی لرزه‌ای

۳. مدیریت بحران

۴. ارزیابی شریان‌های حیاتی

۵. تحلیل مدیریت ریسک

۶. مستندسازی

برای این کار، استراتژی این بود که تجربیات جهانی را جمع‌آوری کردیم. با متخصصین داخلی و خارجی ارتباط برقرار شد. آزمایش‌های لازم برای شناخت و بررسی صورت پذیرفت. نیروهای مورد نظر را تربیت کردیم. برای انجام مراحل و وارد کردن تکنولوژی‌های مورد نیاز، جلسات متعددی با تعداد زیادی از دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها، شرکت‌های متخصص در زمینه بهسازی لرزه‌ای یا ارزیابی آسیب‌پذیری و تعدادی از متخصصین شناخته‌شده بین‌المللی در مشهد برگزار شد. تبادل نظر صورت گرفت. ریز فعالیت‌ها تدوین و زمان‌بندی متعاقب آن تعریف شد. برخی از فعالیت‌ها در درون انجام و برخی برون‌سپاری شد. همچنین گزارش‌های موردی و گزارش‌های پیشرفت کار تدوین شد. در ادامه، مطالعات میدانی در قالب موارد زیر به انجام رسید:

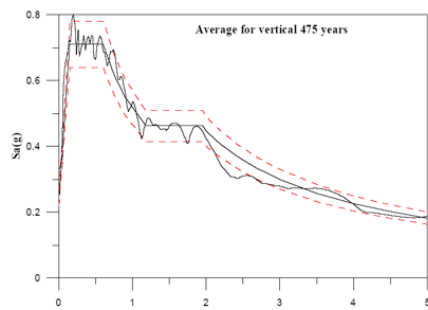
۱. شناسایی فوری نقاط آسیب‌پذیر، تهیه لیست کنترل و ارائه طرح

۲. انجام مطالعات ژئوتکنیک لرزه‌ای

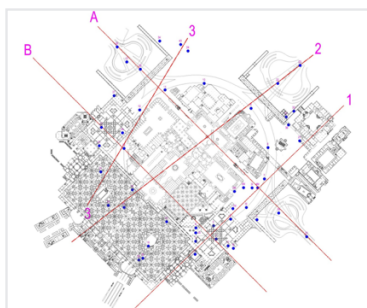
۳. تهیه شناسنامه‌های فنی و بهسازی لرزه‌ای پروژه‌ها
تصویر ۱۹، منطقه‌بندی حرم مطهر است. روضه منوره در مرکز قرار دارد و هر چه به سمت بیرون می‌آییم، به دوره متاخر می‌رسیم. قسمت تاریخی حرم عمدتاً در مرکز است. با برنامه زمان‌بندی، برای دنبال کردن فرآیند کاهش آسیب‌پذیری، دستورالعمل‌های نحوه بازدیدهای ادواری، تهیه شناسنامه فنی و انجام آزمایشات مدون به گروه‌های برداشت ابلاغ شد.

در تصویر ۲۰، اگر این نقشه کلی حرم باشد، نقاط آبی‌رنگ گمانه‌های ژئوتکنیکی است که برای شناسایی مشخصات ژئوتکنیکی سایت احداث و بهره‌برداری شده است. بخشی از این گمانه‌ها از قبل در زمان حفاری زیرگذر وجود داشت و بخشی اضافه شد. تصاویر ۲۱ و ۲۲، طیف طرح لرزه‌ای ساخت‌گاه و شتاب نگاشت‌های مصنوعی سازگار با این طیف است که برای حرم مطهر تهیه شده تا تحلیل‌های لرزه‌ای را با دقت بالاتری انجام دهیم. مطالعه تاریخی انجام شد و با مجموعه مطالعات تاریخی، سیر و روند تکوین کار حرم مطهر شناخته و تقدم و تأخر بناها، ناپوستگی بین بناها و تفاوت بین مصالح و تکنیک‌های ساخت بررسی شد.

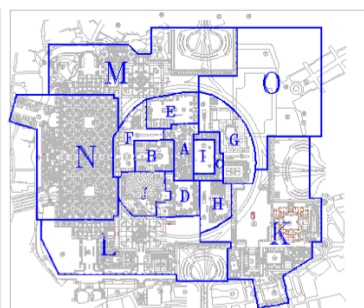
در تصویر ۲۳، بخش‌های هاشور خورده، قسمت‌های قدیمی‌تر است. بقیه قسمت‌ها بعد از انقلاب سامان‌دهی شده‌اند. سردر ساعت و سردر نقاره‌خانه که موضوع اصلی این نوشتار است، در دو نقطه از صحن عتیق با قدمتی حدود ۴۰۰ سال قرار دارند. (تصویر ۲۴) این فرآیند، با برداشت اطلاعات معماری آغاز شد. آسیب‌های موجود شناخته شد. حدود ۵۰ سال پیش، بخشی‌هایی از بام سردرها بتنی شده و بخش‌های بتنی مربوط به این مداخله است که خسارت‌های آنها را در مجموعه عکس‌های تصویر ۲۶ می‌بینید. خسارت‌های جرزهای آجری و پشت مقرنس‌ها نیز مشخص است. مجموعه عکس‌های تصویر ۲۷، مقرنس سردر ساعت را نشان می‌دهد. خسارتی که وارد شده، ترمیم انجام شده و ترک‌های پشت مقرنس مشخص است. در این فرآیند، رفتارسنجی به عنوان ابزاری برای به دست آوردن اطلاعات و راستی‌آزمایی طرح‌ها استفاده شد. تصاویر ۲۸ و ۲۹، ابزارهایی که استفاده شد را نشان می‌دهند. نتایج



تصویر ۱۹



تصویر ۲۰



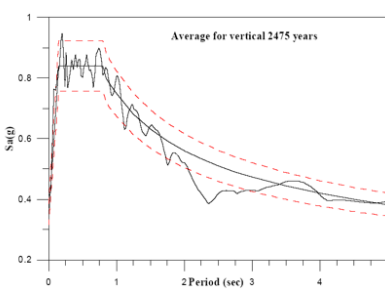
تصویر ۲۱



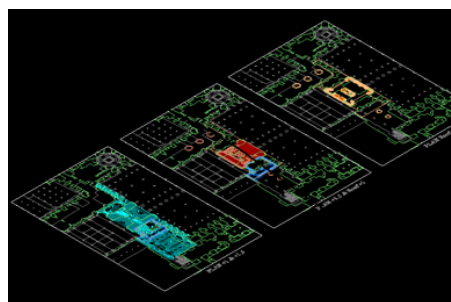
تصویر ۲۲



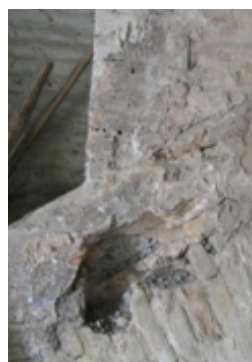
تصویر ۲۳



تصویر ۲۴



مجموعه تصاویر ۲۵: برداشت اطلاعات معماری



مجموعه تصاویر ۲۶

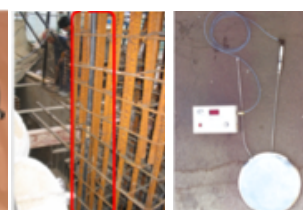
این ابزارها در قالب نمودارها روند تغییر رفتارها و تغییر پارامترها را متأثر از عوامل بیرونی نشان می‌دهد و به ما در مدل‌سازی تحلیلی اطلاعات کمک می‌کند. تجهیزات آزمایشگاهی تهیه شد و برای استخراج اطلاعات مصالح بنایی و کارگاه آزمایشگاه محلی تأسیس گردید. در این آزمایشگاه، تست‌های مربوط به مصالح بنایی، بر اساس استانداردهای به‌روز دنیا انجام شد. آزمایشات مجموعه حرم حرم امام رضا (ع)، اولین بار در ایران، حدود ۱۵ سال پیش بود.

در این فرآیند، از آزمایش‌های دبل فلت جک، برش ملات، آزمایش بتن با چکش اشمیت، دستگاه آلتراسونیک، برای مدل لاسیسته، گر گیری برای استخراج مقاومت، آزمایش ارتعاش محیطی، دستگاه ژئورادا برای شناسایی ناپیوستگی‌ها، آزمایش حد مجاز جابه‌جایی یک قوس و کاشت میلگرد در مصالح اجرایی و بنایی تاریخی با کمک تست پولاد استفاده شد. بر این اساس، مدل‌های تحلیلی آماده شدند و در نرم‌افزارهایی فایناتلمنت، با دقت حداکثری بررسی گردیدند.

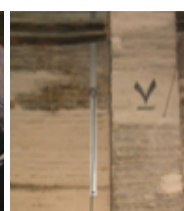
اگر ما رابطه‌ای بین بار و جابه‌جایی برای مسائل مهندسی مصالح اجرایی تعریف کنیم، تصویر ۳۱، نمودار آن با تفاوت قابل توجه نسبت به مصالح مدرن امروزی است. اگر به تدریج بار اضافه و جابه‌جایی ایجاد شود، اول نازک‌کاری‌ها ترک می‌خورند. در گام بعدی، اگر قدری کوچک بار افزایش پیدا کند، ترک‌ها عمق پیدا کرده و اندام‌های بارور خسارت می‌دهند. این مسئله، خسارت‌های سازه‌ای نام دارد. به محض وارد شدن خسارت‌های سازه‌ای، افت مقاومت شروع شده و تغییر شکل به صورت جهشی افزایش پیدا می‌کند. نازک‌کاری فرو ریخته، شکل ظاهری بنا ترک‌های بزرگ و انحراف از قائم یافته و فرم‌ها ریزش می‌کند. اگر همین روند ادامه پیدا کند، بخش بزرگی از سازه فرو می‌ریزد. کوچک بودن این محدوده در سازه‌های اجرایی، چالش اصلی است. تمام مشکل با سازه‌های تاریخی و بنایی این است که تغییر شکل‌ها و نیروهای بسیار جزیی، باعث ترک‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای می‌شود و متناسب با معیار پذیرش ما، ممکن است ایمنی جانی را به خطر بیندازد یا ایمنی و اصالت و ارزش تاریخی بنا را مخدوش



مجموعه تصاویر ۲۷



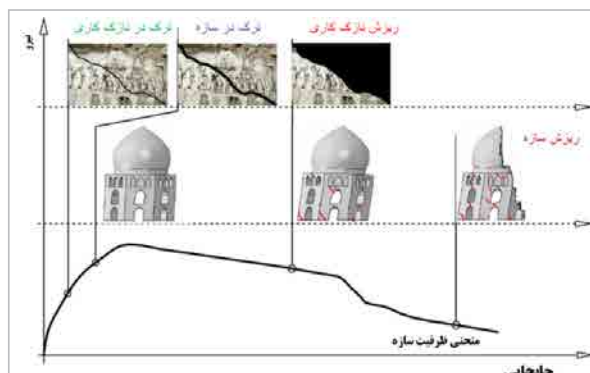
مجموعه تصاویر ۲۸: (به ترتیب) فشارسنج، کشیدگی سنج، ترک سنج، انحراف سنج



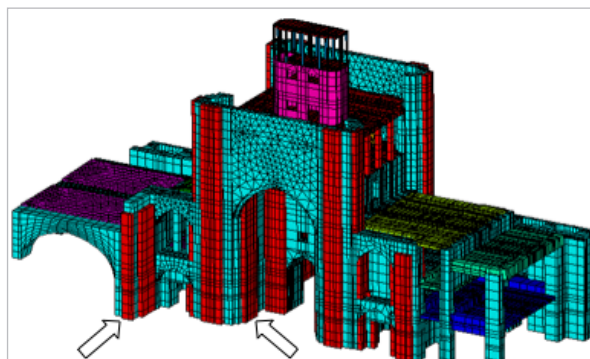
مجموعه تصاویر ۲۹: (به ترتیب) ترک سنج، انحراف سنج، فشار سنج، کشیدگی سنج



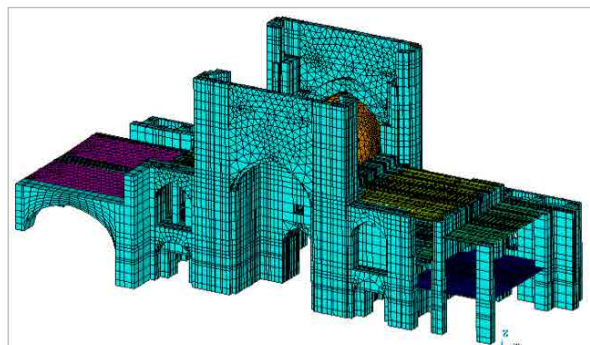
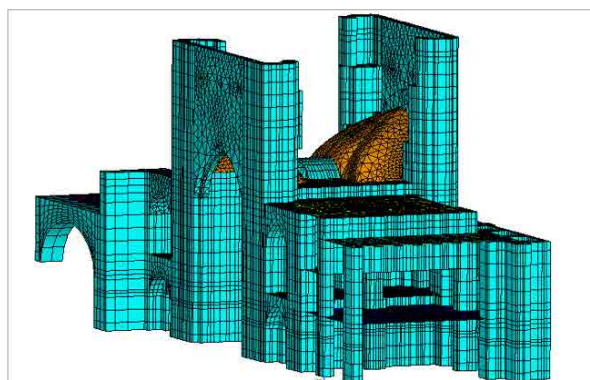
مجموعه تصاویر ۳۰: آزمایش دبل فلت جک



تصویر ۳۱: مراحل خسارت سازه بنایی و تاریخی



تصویر ۳۲: اضافه کردن دیوار برشی



تصویر ۳۳: سبک سازی

کند یا ارزش هنری را از بین ببرد. با آن مدل‌ها و معیارها در سطوح مختلف بار لرزه‌ای، با توجه به شناختی که از طیف ساخت‌گاه پیدا شد، آسیب‌پذیری بنا محرز است.

روش‌های بهسازی

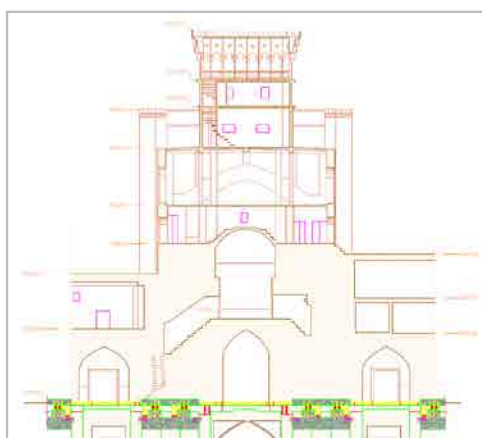
به طور عام، هر روشی که باعث کاهش خسارت شود، مد نظر است. برای نمونه، اضافه کردن دیوارهای برشی بتنی یک روش است. (تصویر ۳۲) این روش مورد توجه قرار گرفته و تحلیل شد. روش دیگر، سبک‌سازی است. (تصویر ۳۳) بخش‌هایی از سازه را سبک کنیم تا به کاهش بارهای لرزه‌ای کمک کند. روش دیگر، پس‌تنیده کردن جرزهای آجری با استفاده از کابل‌ها و استرندهایی است که با حفر گمانه در جرزها قابل تعبیه است. (تصویر ۳۴) همچنین جداسازی پایه که یک روش نسبتاً جدید است (تصویر ۳۵) و روش دیگر، تحت عنوان ابر قاب بتنی است (تصویر ۳۶) که دفن کردن یا کار گذاشتن یک قاب در پشت نما و جرزهای سردرهای که فضای زیادی برای استفاده و کار گذاشتن المان‌های سازه‌ای می‌دهد. روش‌ها با هم مقایسه شدند. (تصویر ۳۷) روش‌های جداسازی لرزه‌ای و ابر قاب ما را به سطح ایمنی جانی و کیفیت بهسازی مطلوب می‌رساند. بقیه روش‌ها کارساز نیستند.

مداخلات بالتبع همراه روش‌ها، بررسی شد تا تیم کارشناسی درباره روش بهسازی تصمیم‌گیری کند. هدف این بود که تعادل حد مداخلات در بهسازی انتخاب شود. گزارش‌های ارزیابی کیفی و کمی و طرح‌های مقدماتی در قالب چهارچوب‌های استاندارد، تدوین و به کارفرما ارائه شد.

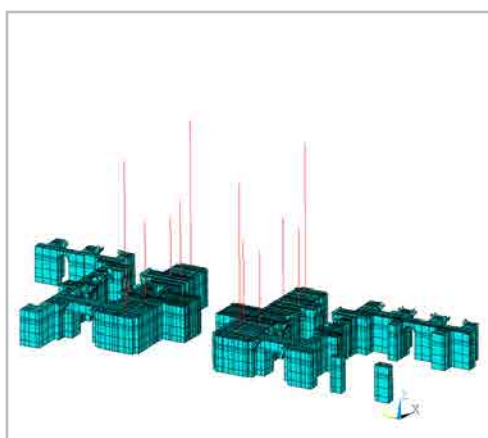
جمع‌بندی

این فرآیند درباره سردر ساعت، باب‌السلام، دارالسیاده و بخش‌های مجاور روضه منوره و گنبد طلا نیز صورت پذیرفت که در مراحل مختلفی قرار دارند. مطالعات مدل‌سازی تا حدی توسعه پیدا کرد و مدل‌های تحلیلی نتایج مقدماتی را نشان می‌دهد. شایسته است دو نکته پایانی در جمع‌بندی اشاره شود. نکته اول، یک تذکر است. اگر اعتبار مقدسه که سازه‌های تاریخی و

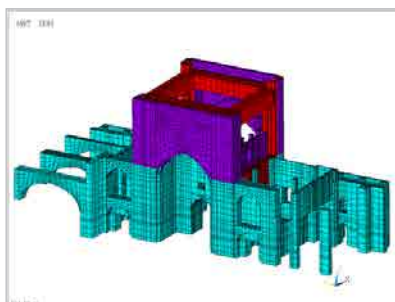
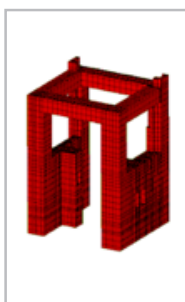
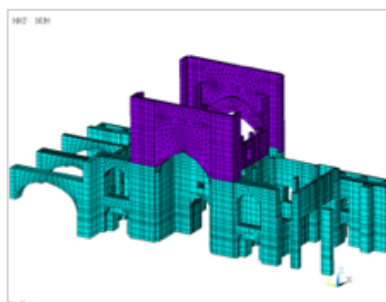
آسیب‌پذیر لرزه‌ای هستند، بهسازی نشود و توسعه بدون توجه به آن صورت گیرد، هر بحران احتمالی آینده در اثر زلزله احتمالی را دو چندان کرده‌ایم. بهتر است در این حالت، توسعه صورت نگیرد، زیرا با انجام آن بدون توجه به بهسازی لرزه‌ای، بحران تشدید می‌شود. نکته دوم طرح یک پرسش است. با توجه به چالش‌های مطالعات مهندسی مانند تأمین منابع، این پرسش در انتها مطرح است که بالاخره برای انتخاب روش بهینه برای بهسازی، کدامیک از هدف یا میزان مداخلات مهم‌تر است؟



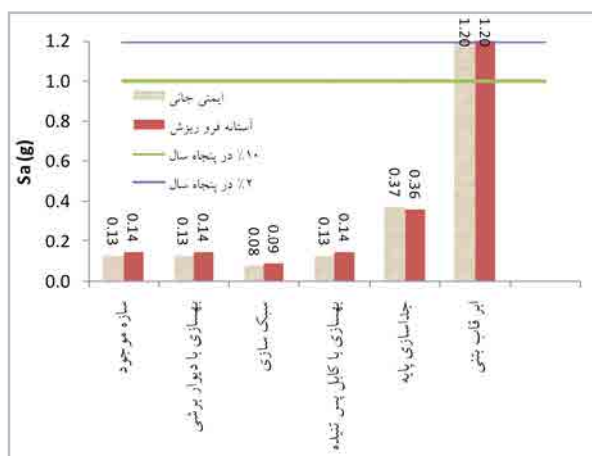
تصویر ۳۵: جداسازی پایه



تصویر ۳۴: پس تنیده کردن جرزهای آجری



تصویر ۳۶: ابر قاب بتنی



مجموعه تصاویر ۳۰: آزمایش دبل فلت جک