



ریافته‌های نوین مقاومت‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های تاریخی

شاهین متین^۱

Shahin_matin@yahoo.com

چکیده

اگرچه بناهای تاریخی را می‌توان با مقاومت‌سازی لرزه‌ای در برابر زلزله‌ها حفظ نمود، اما بسیاری از روش‌ها و اقدامات مقاومت‌سازی، می‌تواند باعث سستی، آسیب، هزین و ارزش تاریخی که ویژگی‌های اصلی و متمایز چنین بناهایی است را تحت‌الشعاع قرار داده و خدشه‌دار نماید. لذا درحقیقت حاکم‌ترین نتیجه‌های تحقیقاتی و پژوهشگران و فعالان مقاومت‌سازی بناهای تاریخی در بسیاری از مراکز علمی و پژوهشی دنیا به‌دنبال ایجاد روش‌ها، تجهیزات و فناوری‌های جدید جهت پاسخ به این چالش جدی پیش روی مقاومت‌سازی ابنیه تاریخی هستند. مقاله حاضر با هدف بررسی تجربیات موفق کشورهای دیگر و دستاوردهای جدید در زمینه مقاومت‌سازی لرزه‌ای بناهای تاریخی تهیه و ارائه می‌گردد. در این مقاله، رهیافت‌هایی برای عملیات مقاومت‌سازی ظریف و با کیفیت جهت حفظ حد اکثری مصالح و المان‌های قدیمی و اصالت و ارزش تاریخی بنا طی فرایند این‌سازی لرزه‌ای با استفاده از تجهیزات و سیستم‌های پنهان‌تر و هماهنگ با بافت تاریخی و طراحی ساختمان، ارائه می‌شود. روش‌ها و رهیافت‌های مقاومت‌سازی لرزه‌ای شده در این مقاله، برگرفته از نتایج مطالعه‌ای جهت بررسی تجربه موفق در زمینه مدیریت بحران و کاهش اثرات زلزله در بناهای تاریخی بوده که توسط پژوهشگران و اعضای هیأت علمی پژوهشکده سوانج طبیعی جهت ارائه به سازمان میراث فرهنگی در پایان سال ۱۳۹۰ به‌انجام رسید طی پژوهش مذکور که به‌روش مطالعه و جمع‌آوری اطلاعات کتابخانه‌ای و مرور کتاب‌ها و مقالات مرتبط و همچنین جستجوی پایگاه داده‌ها و گزارش‌های تحقیقات مراکز علمی و پژوهشی فعال در این زمینه در آمریکا، ترکیه و بعضی کشورهای اروپایی انجام شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات و مستندات مرتبط و انجام بررسی و طبقه‌بندی روش‌هایی که متناسب با مصالح، نوع و روش ساخت و ساز ابنیه تاریخی کشور و قابل بومی‌سازی بوده، شناسایی گردید که در مقاله حاضر نتایج مطالعه و بررسی‌های انجام شده در این زمینه ارائه می‌گردد.

واژگان کلیدی: مقاومت‌سازی، بناهای تاریخی، زلزله، مصالح بنایی



۱- مقدمه

بناهای تاریخی آسیب‌پذیری زیادی در برابر زلزله دارند و به همین دلیل، کارشناسان و متخصصین در نقاط مختلف دنیا در دهه‌های اخیر در حال تلاش برای مقابله با لرزهای این ساختمان‌ها هستند. اگرچه بناهای تاریخی را می‌توان با مقابله با لرزهای در برابر زلزله‌ها حفظ نمود، اما بسیاری از روش‌ها و اقدامات مرتبط با مقابله با لرزه‌ها می‌تواند باعث سستی، اصالت و ارزش تاریخی که ویژگی‌های اصلی و متمایز چنین بناهایی است و به آن‌ها ارزش و هویت تاریخی می‌بخشد را با آسیب یا تخریب روبرو سازد. یکی از مهم‌ترین موارد در این ارتباط، مقابله با لرزه‌ها و تجهیزاتی است که حتی‌المقدور دیده نشوند تا زیبایی و اصالت و جاذبه تاریخی بنا، کمتر تحت‌الشعاع قرار گیرد. برای مقابله با لرزه‌ای بناها ۳ نکته مهم و اساسی باید مد نظر قرار گیرند:

- مصالح و اجزای قدیمی و دارای ارزش تاریخی باید تا بیشترین حد امکان با دقت و ظرافت حفظ شوند، سالم مانده و نیاید با مصالح و تجهیزات رخت مقابله با لرزه‌ای شده از فراموشی شدن زیبایی و اصالت بنا در ازای عملکردی آن جلوگیری شود.
- سیستم‌های مقابله با لرزه‌ای جدید چه پنهان باشند و چه نمایان، باید به ویژگی‌ها و شاخصه‌ها ساختمان تاریخی احترام گذاشته شود و از یکپارچگی و هماهنگی لازم با بافت تاریخی و طراحی ساختمان برخوردار باشند.
- اجزا و تجهیزات کارگذاری شده جهت مقابله با لرزه‌ای باید قابل بازآمودن و برداشتن باشند تا در آینده امکان نصب و استفاده از تجهیزات جدیدتر مقابله با لرزه‌ای و تعمیر، ترمیم و بازسازی مصالح و اجزای تاریخی و سستی وجود نداشته باشد.

آسیب و خسارت رایج وارد بر ساختمان‌های قدیمی و دارای ارزش تاریخی بر اثر زلزله، صومناشی از سستی یا نطفه‌پذیری کم ساختمان و همواره کمالات ضعیف اجزای باربر یا سازه بین دیوارها، گف و پی از یک سو و سنگینی مصالح ساختمانی به کار رفته در این بناها بوده و می‌بایست همین موارد اصلاح و مقابله با لرزه‌ها شوند. در ساختمان‌های تاریخی که با مصالح بتایی ساخته شده‌اند، جان‌بناها، دودکش‌ها، سردرپها، تیرهای مهار شده ممکن است بر اثر زلزله متوسط تا شدید سقوط کنند. همچنین دیوارها، گف، نورگیرهای سفلی، روف‌ها و پنجه‌ها ممکن است به‌سادگی آسیب ببینند. دیوارهای بتایی بین بارشوها ترک‌های فطری خورده و طبقات بالاتر بر روی طبقات زیرین فروریزند. ساختمان‌های گنار هم که پی‌های مجزا دارند، ممکن است حین زلزله حرکت و نکل‌هایی در جهات متفاوت داشته و همین امر موجب وارنشدن خسارت به بکندگی شوند.

با توجه به موارد فوق و اهمیت مقاومت و ایمنی ساختمان‌های تاریخی از یک سو و ایمنی و حفظ جان ساکنین استفاده کنندگان و افراد حاضر در چنین بناهایی از سوی دیگر، کارشناسان و پژوهشگران به دنبال روش‌ها و راه‌افت‌های جدیدی برای مقابله با لرزه‌ها و ایمن‌سازی بناهای تاریخی با حداقل آسیب‌رسانی به هویت تاریخی آن‌ها می‌باشند که هدف از ارائه مقاله حاضر نیز بررسی دستاوردها و روش‌های روز دنیا در این زمینه می‌باشد. امید است با استفاده از رهاافت‌های نوین مقابله با لرزه‌ها و ایمن‌سازی ساختمان‌های تاریخی، نسبت به تقویت ایمنی و استحکام بناهای تاریخی کشور زلزله‌خیز ایران با سابقه تاریخ و تمدن چند هزارساله و بناهای تاریخی متعدد، اقدام نمود.

۲- مواد و روش‌ها

طی پژوهشی که در سال ۱۳۹۰ به درخواست سازمان میراث فرهنگی و گردشگری توسط کارشناسان و متخصصین پژوهشگاه سوانح طبیعی با هدف بررسی روش‌های ایمن‌سازی موزه‌ها و گنجینه‌های نگهداری لیبی تاریخی با اولویت موزه‌هایی که با تغییر کاربری و استفاده از ساختمان‌های تاریخی و قدیمی احداث ساخته شده‌اند در



برابر زلزله، آسیب‌پذیری این گونه ساختمان‌ها مورد بررسی قرار گرفت. طی این پژوهش پس از مشخص نمودن دلایل ضعف و آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های دارای قدمت تاریخی، تجربیات سایر کشورها و روش‌ها و رهیافت‌های روز دنیا برای مقاومسازی لرزه‌ای آن‌ها از طریق مطالعه کتابخانه‌ای و بررسی مقالات، پژوهش‌ها و مقالات انجام شده در این زمینه، بررسی شد که بخشی از نتایج این بررسی‌ها در این مقاله ارائه شده است.

۳- طرح بحث و یافته‌های مطالعه

الف) بررسی ژئوسابی‌ها غالب ساختمان‌های بتابی

فاکتور مهم و اساسی تاثیرگذار در چرایی و چگونگی آسیب‌دیدن ساختمان‌های تاریخی حین زلزله عبارتند از:

۱. عمق زلزله و په تیغ آن، قدرت موج‌هایی که به سطح زمین می‌رسند،
۲. مدت زلزله و پس‌لرزه‌ها،
۳. فاصله تقریبی بنا از کانون سطحی زلزله،
۴. مشخصات ژئولوژیکی و خاک منطقه،
۵. جزئیات ساختمان شامل مصالح، سیستم سازه و شکل پلان،
۶. وضعیت رسیدگی و نگهداری بنا.

سه فاکتور اول شامل عمق و مدت زلزله و فاصله بنای تاریخی تا کمال، قابل کنترل توسط انسان نیستند. زلزله‌های اخیر نشان دادند که فاکتور چهارم یعنی وضعیت خاک از نظر زمین‌شناسی نقش مهمی در تقویت یا تضعیف نیروی مخرب زلزله در ساختمان‌ها دارد. خاک‌های نرم و آبرفتی می‌توانند حرکت زمین را تشدید نمایند و موجب افزایش خسارت‌گردند و همچنین روشنگری خاک‌های نرم می‌تواند موجب فری شدن بی بنا در خاک شود. ولی تغییر وضعیت این فاکتور در مقاومسازی ساختمان‌های تاریخی موجود، کار دشواری است. البته می‌توان وضعیت خاک را برای ساخت ساختمان‌های جدید بهبود بخشید. دو فاکتور آخر شامل نوع ساخت بنا و وضعیت فیزیکی فعلی آن قابل کنترل بوده و طی فرایند مقاومسازی می‌توان با اعمال تغییراتی در آن‌ها به حفظ و ایستایی بنا در مقابل زلزله کمک نمود. در ادامه به دو فاکتور آخر که قابل تغییر و اصلاح بوده و می‌تواند به مقاومسازی ساختمان‌های تاریخی در برابر زلزله کمک نماید، پرداخته می‌شود.

اگرچه ساختمان‌های تاریخی اغلب ضعف‌هایی دارند ولی نحوه ساخت آن‌ها مرایای ذاتی هم دارد که نباید آن‌را ندیده گرفت. معیران‌های افنی در ساختمان‌های تاریخی اجزای ساختمان را به هم وصله می‌کنند. بسیاری از ساختمان‌های تاریخی در ایران و سایر کشورها با مصالح بتابی ساخته شده‌اند. دیوارهای داخلی بتابی که با استفاده از تخته‌های باریک چوبی و گچ مصالح، انتقال مصالح را به‌یکدیگر تقویت می‌کند، تخته‌هایی که از کف تا سقف امتداد داشته و می‌توانند به‌عنوان سائورت جهت انتقال بارهای عمودی و جانبی حین یک زلزله به کف موثر واقع شوند. علاوه بر آن ضخامت زیاد دیوارهای ساخته شده با مصالح بتابی به نسبت ارتفاعشان می‌تواند به سالم ماندن دیوار برین وارد آمدن آسیب جدی حین زلزله کمک نماید. ایستایی دیوارهای ساخته شده با مصالح بتابی نیز بالا می‌باشد. البته دیوارهای رابر در یاختن‌های ساخته شده با مصالح بتابی ممکن است ترک بخورند ولی اگر خوب ساخته شده باشند انقدر تغییر وضعیت و جابجایی حین تکل‌های زلزله ندارند که فرو بروند.

نوع سیستم سازه و شکل پلان بنا

روش و مصالح ساخت یک ساختمان تاریخی، رفتار آن را حین یک زلزله تعیین می‌کند. بعضی ساختمان‌ها نظیر ساختمان‌های دارای اسکلت چوبی، کاملاً انعطاف‌پذیر بوده و بنابر این می‌توانند حرکتهای اساسی زلزله را جذب کنند



سایر ساختمان‌ها نظیر ساختمان‌های بتابی آجری یا خشتی، از اجزای مجزای سنگین بابر تشکیل شده اند که در برابر تکان‌های ناشی از زلزله ممکن است خسارت بیشتری ببینند. اگر زلزله قوی یا مدت آن طولانی باشد، اجزای ساختمانی که اتصال جمعی داشته و مهار نشده اند، ممکن است فروپاشند. بسیاری از ساختمان‌های تاریخی که در مناطق لرزه خیز واقع شده و هنوز پابرجا هستند، در واقع ممکن است بر اثر زلزله‌های گذشته سست شده باشند و تحمل تکان‌های زمین‌لرزه‌های آتی را نداشته باشند. حتی ساختمان‌هایی تاریخی که به روش‌های اصولی و مقاوم ساخته شده اند نیز ممکن است تراسی‌ها و ضعف‌هایی در تحمل بارهای جانبی زلزله داشته باشند.

تشخیص شکل‌بندی ساختمان‌های تاریخی و بومی با توجه به ضعف برای تعیین گزینه‌های مقاومسازی مناسب، از اهمیت زیادی برخوردار است. برای مثال، شکل پلان تک و ارتفاع ساختمان می‌تواند به‌همان اندازه مصالح ساختمانی و سیستم سازه بنا در تعیین میزان دوام‌آوری و ایستایی بنا حین زلزله، ساختمان‌های تاریخی حائز اهمیت باشد. ساختمان‌ها با پلان‌های ساده مربعی یا مستطیلی عموماً در برابر زلزله‌ها پایداری بیشتری دارند چراکه هندسه آن‌ها، امکان مقاومت برابر اجزا در تورا دور بنا در برابر نیروهای جیبی زلزله را برای ساختمان، فراهم می‌سازد. در ساختمان‌های تاریخی با پلان U.H.T.E و E شکل، مقاومت نامساوی اجزا در برابر زلزله دیده می‌شود که تمرکز فشارها و نیروهای زلزله در این گونه ساختمان‌ها، در گوشه بنا و در مقاطع آن دیده می‌شود. همین‌طور ساختمان‌هایی که پلان ارتفاع آن‌ها پیچیده و نامنتظر است و به‌ویژه ساختمان‌های بلند که دارای چنین وضعیتی هستند، در برابر زلزله آسیب‌پذیرترند. بازشوهای متعدد بزرگ اطراف ساختمان در طبقه هم‌کف یا در بام‌های ورودی دارای ستون‌هایی که فقط در یک طرف امتداد پیدا کرده اند، به‌شدت در برابر زلزله آسیب‌پذیر بوده و ممکن است طبقه ترم در اثر تکان‌های زلزله در آن‌ها شکل بگیرد.

وضعیت رسیدگی و نگهداری بنا

نگهداری بنا و وضعیت رسیدگی به آن نیز در ایستایی یا عدم پایداری آن در برابر زلزله کاملاً موثر است. ساختمان‌های تاریخی که به‌جوسی نگهداری شده‌اند، بدون مقاومسازی هم در برابر زلزله پایداری نسبتاً خوبی خواهند داشت. توان سیستم سازه بناهای تاریخی برای مقاومت در برابر زلزله‌ها ممکن است درصورت تعسف و تخریب اتصالات یا مصالح بر اثر رطوبت، بارش‌های چوبی، تغییرات دما، حرارت، جابجایی موزی و باکتری‌ها و میکرو آگلیوم‌های طبیعی، تا حد قابل توجهی کاهش پیدا کنند. از بین رفتن و زوال تدریجی ملات در ساختمان‌های تاریخی ساخته شده با مصالح بتابی می‌تواند اتصال و استحکام کل دیوارها را کاهش دهد. لذا تعمیر و نگهداری دوره‌ای جهت کاهش نفوذ رطوبت و فرسایش مصالح شده نقش اساسی در کاهش آسیب‌پذیری بنا در برابر زلزله دارد. از آنجایی که برخی از سنگ‌ها در روند افزایش فرسایش‌پذیری داشته‌اند، آلیاژ توان سازه‌ای ساختمان‌های تاریخی ضروری است. اجزای بابر که در حکم سازه ساختمان‌های تاریخی هستند ممکن است دارای اتصال ضعیف اعضای سازه‌ای عمودی و افقی یا یکدیگر بوده و بدون مهاربندی صحیح روی یکدیگر قرار گرفته باشند و یک زلزله قوی بتواند آن‌ها را به‌آسانی از یکدیگر جدا سازد. در صورت وجود سطح تماس و اتکا ناگفته‌نمود و نیز خرابیها بر روی دیوارهای بابر یا ستون‌ها پشتیبان، طمعا این اجزا طی زلزله سقوط خواهند نمود و این به تراسی و فروپاشی بخشی از ساختمان یا کل آن بسته به شدت زلزله و شکل‌بندی دیوارهای داخلی منجر می‌شود. بتن و پیوند اجزای ساختمان به یکدیگر به‌وسیله اتصالات مهار شده و نصب مهاربندهای افقی بین دیوارها، ستون‌ها و اعضای قاب‌بندی ساختمان برای مقاومسازی ساختمان‌های تاریخی کلیدی و حیاتی است.



ب) بررسی تجربیات و روش‌های مقاومسازی ساختمان‌های تاریخی

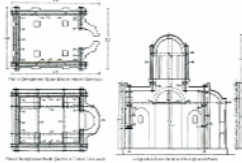
اولین پروژه مقاومسازی لرزهای ساختمان‌های دارای قدمت تاریخی در سال ۱۹۹۹ توسط یک تیم از کارشناسان خیره‌آمیزگی در ساختمان کلیسایی متعلق به دوره بیزانس قرن ۱۴ میلادی در مقدونیه انجام شد. کلیسای سنگی ساخته شده طی دوره بیزانس در اروپا طی زلزله‌های مکرر و متوالی در این مناطق به‌طور جدی آسیب دیده یا تخریب شده‌اند. بسیاری از آن‌ها نیز که با بر جا باقی مانده‌اند، آسیب‌هایی دیده‌اند. این ساختمان‌های باقی‌مانده به‌خاطر برخورداری از ستون‌های حلقوی فلز به‌صورت سراسری دور تا دور محیط ساختمان یا نوارهای خمیه شده در دیوارها تا حد زیادی در برابر زلزله مقاومت داشته‌اند. البته مناسبانه تخریب و پوسیدگی نوار فلزی گره‌گردد دیوارها به‌مور زمان موجب ایجاد فضاهای توخالی در دیوارها شده که این امر توانایی برخی از این کلیساها را برای مقاومت و تاب‌آوری در برابر تکان‌های لرزهای کلفت داده است. بسیاری از این کلیساها به‌طور کامل از بین رفته‌اند و آن‌هایی که باقی‌مانده‌اند بخش‌های کمی از برج ناقوس اصلی و گنبدهای قدیمی آن‌ها بر جا مانده است. برای افزایش ایستایی و تحمل اموال لرزهای این کلیساها بزرسی، تیمی از کارشناسان و متخصصین با مشارکت مؤسسه مهندسی زلزله و ژئوتکنیک آمریکا در مقدونیه طرحی را اجرا نمودند که طی آن برای اولین بار روش‌هایی برای مقاومسازی این بناهای تاریخی با استفاده از حداقل روش‌های مداخله‌ای در ظاهر و بافت تاریخی و ماهیت باستانی جهت حفظ اصالت فرهنگی و تاریخی ابداع و آزمایش شد. در ابتدای کار، تحقیقات آزمایشگاهی و تحلیلی مورد نیاز به‌عمل آمد تا فرایندی برای ترمیم و تقویت لرزهای این کلیساها در مقدونیه به‌دست آید. پس از یک مطالعه مفصل و دقیق درخصوص وضعیت و شرایط طراحی سازه‌ای حدود ۵۰ کلیسای برج‌مانده، کلیسای سنت نیچیرا واقع در دهکده بنجانی^۱ به‌صورت یک نمونه اولیه برای مقاومسازی و به‌عنوان نمونه کلیسای منطقه بالکان انتخاب شد. این کلیسا سازه‌ای تک‌گنبدی با یک پلان صلیب‌دار مستطیلی شکل شامل دیوارهای دورتا دور در هر دو جهت و ستون‌های داخلی که سقف قوسی طاق تیری را بر روی خود نگه می‌دارند و گنبد مرکزی کلیسای اصلی هنوز فرسوده و دیوارنگیزی دوره قرن چهاردهم را بر روی خود حفظ کرده و اجزای مقاومسازی باید به‌صورت طراحی شوند که این المان‌های مذهبی تاریخی را کنار بویگی‌های سازه‌ای معماری کلیسا حفظ نمایند (شکل ۱ و ۲).^۲



^۱ St.Nicholas
^۲ Benjani



شکل ۱- کلیسای سنت نیپورا در مقدونیه متعلق به هفتصد سال پیش



شکل ۲- پلان های مختلف کلیسای سنت نیپورا در مقدونیه

تحقیقات نشان داد ترازهای البری اصل که برای پایداری در برابر نیروهای کششی در بنا تعبیه شده بودند در وسعت زیادی دچار آرم گسیختگی شده و ارتباط و انسجام بین خود را از دست داده اند. این آسیب علت اصلی کاهش پایداری و آسیب دیدن کلیسای طی زلزله های گذشته بوده است. مطالعات تجربی به منظور تعیین ویژگی ها و خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مصالح به کار رفته در کلیسای اصلی جهت تشخیص دقیق ترکیبات و کمک به ساخت مدلی دقیق تره فقط در ابعاد دقیق بلکه از نظر ساختاری و سازه ای هم دقیق انجام گرفت. یکی از نکات مهم و ویژه فرورسده نمودن و پوستاندن و کاهش کیفیت مصالح، آهن، سنگ، اجزای به کار رفته در مدل و رساندن شرایط آن ها به شرایطی مشابه آنچه در کلیسای اصلی حاکم است، می باشد (شکل ۳).



شکل ۳- مدل یک نیم کلیسای سنت نیپورا در مقدونیه متعلق به هفتصد سال پیش

پارامترهای خطرناک های منطقه ای که کلیسا در آن واقع شده نیز بر اساس مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیک انجام گرفت و حداکثر شتاب مورد انتظار و شدت لرزهای برآورد شد. این داده ها برای میسر نمودن یک شبیه سازی دقیق از شرایط مورد انتظار حین انجام آزمایش های میوزان بر روی مدل ها مورد استفاده قرار گرفتند. ایستایی لرزهای کلیسای نمونه و پاسخ آن به لرزش های زلزله برآورد شد تا حد نهایی ظرفیت تحمل و تغییر شکل ساختمان در



سنت‌های مختلف و سوانح مختلف لرزه‌ای مشخص گردد. این کار با اندازه‌گیری پاسخ کلیسای واقعی به لرزه‌ای محیط ناشی از باد و یا شبیه‌سازی لرزش‌های ایجاد شده توسط یک لرزه‌نده مکانیکی که در طول آزمایش به ساختمان متصل شده بود عملی شد و این اندازه‌گیری‌ها به تعیین فرکانس‌های واکنش انجماد، منبره‌هایی که برای مدل به‌دست آمدند تا حد زیادی نزدیک به منبره‌هایی بودند که خود کلیسا از آن برخوردار بود. در نهایت یک مدل ریاضی از واکنش و دوام کلیسا در مقابل زلزله براساس اندازه‌گیری‌های انجام شده به‌دست آمد. در ادامه روش جداسازی پایه^۱ برای ایمن‌سازی لرزه‌ای ساختمان این کلیسا مورد آزمایش قرار گرفت. اساس این عملیات ایمن‌سازی بر این استوار بود که با استفاده از روش جداسازی پایه، ساختمان کلیسا بتواند تکان‌های قدرتمندترین زلزله‌های منطقه با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله را تحمل کند. برای این کار می‌بایست طی یک آزمایش، نیرویی معادل با قوی‌ترین زلزله منطقه طی ۵۰۰ سال گذشته به ساختمان مدل کلیسایی که مورد جداسازی پایه قرار گرفته بود وارد می‌آمد تا نشان دهد آیا نیروهای ناشی از قوی‌ترین زلزله‌های منطقه از حد ظرفیت تحمل و شکل‌پذیری ساختمان کلیسا فراتر می‌رود یا نه. اگر نیروی قوی‌ترین زلزله منطقه طی قرن‌های گذشته نمی‌توانست ساختمان مدل کلیسا را تخریب نماید، کارآمدی و اثر بخشی روش جداسازی پایه برای ایمن‌سازی لرزه‌ای ساختمانی با قدمت ۷۰۰ سال، اثبات می‌شد. طی این آزمایش که یک سال پس از مطالعات قبلی توسط توسط همان گروه متخصص آمریکایی به‌عمل آمد، برای نخستین بار قرار بود از روش جداسازی پایه برای مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های تاریخی استفاده شود. برای پیاده‌سازی روش جداسازی پایه در مدل کلیسای بزرگ، بعد از اتمام تعمیرات و ترمیم خرابی‌های مربوط به تست قبلی با همان پایه بتنی که داشت بر روی جداسازها قرار گرفت. یکی از معایب این روش که طی آزمایش مشخص شد، این است که حین برش و جداسازی ساختمان از بی‌ممکن است بعضی المان معماری با ارزش به‌ویژه در قسمت زیرین بنا و در محل برش آسیب دیده و تخریب شوند. برای انجام تست‌ها، به‌سازی‌ها بر روی پایه کلیسای مدل انجام گرفت. جداساز/ایزولاتور رار و فولادی بین صفحه بتن و سازه فولادی که برای اتصال ایزولاتورها و مدل به میز لرزان قرار گرفت نصب شد. شکل ۴.



شکل ۴- جداسازهای باربر (استنکی) - فولادی که لایه‌های فولادی و وایر آن به‌صورت یک در میان در کنار هم قرار گرفته‌اند.

نتایج کاهش ۵۰٪ نشست وارد بر مدل در مقایسه با آزمایش مدل مقاوم‌سازی شده قبلی را نشان داد که موجب جابجایی افقی کوچک‌تر به‌ویژه در سطح گنبد شد. تا نشست ۱۴۰ گرم مدل مورد جداسازی پایه قرار گرفته شده مدل

^۱ Base Isolation



یک بنده حلب بدون هیچ ترکی بر جای خود باقی بود. از آنجایی که مدل پیش‌تر مورد مقایسه قرار گرفته بود نمی‌توان گفت که فقط جداسازی پایه به‌تنهایی باعث این تغییر حد قابل تحمل بنا گردید. واکنش‌ها و تکان‌های کاهش یافته ساختمان حیرت‌انگیز و قابل توجه بود و آزمایش نشان داد جداسازی پایه روش مناسب برای مقاومسازی ابنیه تاریخی به‌شمار می‌رود پس از تست نمونه آزمایشی، این فرآیند برای ایمن‌سازی اثرهای گنبدی مذکور پایه شد. این فرآیند اساسی شد برای مقاومسازی اثرهای زیاد از ساختمان‌های تاریخی در دهه گذشته.

ابزارها و راهکارهای بسازی و مقاومسازی ساختمان‌های تاریخی

- بررسی پستی‌بام‌ها، نودان‌ها و پی‌ها و اقدام در خصوص تمویض، تعمیر، استفاده از خد رنگ و رنگ برای پوشش اجزای فلزی در صورت مشاهده پوسیدگی ناشی از نفوذ رطوبت و مشاهده رنگ‌زدگی و پوسیدگی بستهای فلزی جاذبه‌ناخواه، نودان‌ها و دودکش‌ها.
- بازرسی قطعات چوبی نظیر تیر و ستون‌ها و نعل‌های بالا و پایین بازوها برای مشاهده هرگونه آسیب ناشی از هجوم مورچه‌ها و حشرات موزی.
- بررسی پایه‌های خروجی و ایوان‌ها برای حصول اطمینان از اتصال محکم اجزا و در صورت لزوم اقدام برای تعمیر و تقویت اتصال اجزا.
- بررسی دیوارهای باربر در ساختمان‌های تاریخی بنایی. برای مشاهده تخریب مالت و اقدام برای تعمیر بخش‌هایی که مالت میان بلوک‌های سنگی یا آجری و خشتی دچار فرسایش شده است (مالت جدید می‌بایست از نظر ترکیبات و رنگ و خاصیت تا حد امکان مشابه مالت قدیمی تهیه شود).
- پیچ و مهره نمودن صفحات و افزودن تخته‌های چندلایه چوبی به چهارچوب‌ها و قاب‌های سست چوبی دیوارها در سرتا سر ساختمان‌های تاریخی دارای اسکلت چوبی (نصب بستهای تقویت کننده حتی‌الامکان می‌بایست به‌صورت پنهان در گچ‌ری‌ها و تزئینات ساختمان‌های تاریخی انجام شود).
- تقویت اتصال سقف و کف به دیوارها و همچنین اتصال تیرها و ستون‌ها با استفاده از قلاب‌ها و بستهای اتصال هم‌دنه، نوارهای فلزی، بلوک‌های بنایی دراز و بستهای مکانیکی بر حسب نوع مصالح به‌کار رفته در ساخت بنا در این خصوص و برای استفاده از نوارها و بستهای فلزی در جایی که بندکشی مجدد یا مالت بین بلوک‌های آجری یا سنگی در ساختمان‌های بنایی انجام شده است، باید از بستهای از جنس فولاد غیر آهنی استفاده نمود (شکل ۵).



شکل ۵- مهارکنندگی دیوارهای آجری یک ساختمان تاریخی در اجزای سقف به‌صورت نیمه پنهان



- در صورت امکان، تهیه کلافهای افقی و عمودی بتن مسلح، برای تقویت و مقاومسازی دیوارهای بتنی آجری.
- تقویت و مهار اجزای غیرسازه‌ای به کف، سقف و دیوارها و اجزای سازه‌ای (از نصب ناشیبه و نمایان صفحات فلزی در میان دیوارهای بتنی جهت پیچ و مهره نمودن و مهار دیوارهای باربر به یکدیگر و کف و سقف می-بایست خودداری شود).
- استفاده از مهاربندی فلزی نمایان در تیرهای ساختمان‌های تاریخی (شکل ۶) جهت اتصال اجزای فاقد مهاربندی (در صورت ضرورت بهتر است پس از اتصال، تیرها فضای مهاربندی را پر نمایند).



شکل ۶- قاب مهاربندی داخلی فلزی که در همه طبقات دقیقا در یک محل نصب می‌شود

- بررسی و در صورت نیاز، تقویت و بهبود تمامی اتصالات جاسبی و دیافراگمها.
- تقویت دیوارهای دارای بارشوهایی زیاد، به منظور بهبود تقویت برشی در محل درها و پنجره‌ها و بارشوهایی ورودی یا کمک مهاربندی‌های Δ شکل و Λ شکل که می‌بایست با دقت و به شکلی که بتوان آن‌ها را در مصالح روسازی بنیان نمود، در فاصله بین بارشوها نصب و اجرا شوند. همچنین بهتر است فرعی‌سختها دیوارهای برشی جدید جهت کمک به انتقال یکپارچگی بارها به بی ساختمان اضافه نمود (برای این کار این دیوارها از طبقه هم کف تا طبقه پایین پشتیبان می‌بایست در یک موقعیت نصب شوند).
- استفاده از ایبوکورها یا جاسازها در محل اتصال اجزای سازه ساختمان به بی که می‌تواند در زمان وقوع زلزله امکان حرکت افقی را برای ساختمان فراهم نموده و نیروهای ناشی از زلزله را جذب کند (شکل ۷).



شکل ۷- این‌سازی یک ساختمان تاریخی به روش جاسازی پایه



۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

ایمن‌سازی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای فرایندی است که حد و مرزی نداشته و از ساده‌ترین و گه‌ریخته‌ترین روش‌ها و اقدامات و ابزارها تا پیشرفته‌ترین و تخصصی‌ترین آن‌ها که هزینه زیادی در برخواهد داشت را شامل می‌شود. حتی اقدامات ایمن‌سازی ساده و مختصر نظیر مهار جعبه‌ها، تقویت اتصال سازه به پی و مهار و دوجت دیوارهای آجری در محل تقاطع یا یکدیگر و کف سقف تا حد زیادی بقا و دوام ساختمان‌های تاریخی طی زلزله را باعث می‌شوند. البته تجربیات زلزله‌های گذشته نشان داد خسارتی که پس از وقوع زلزله بر ساختمان‌های تاریخی وارد می‌شوند حتی به مراتب بیشتر از خسارتی هستند که حین زلزله بر بنا وارد شده‌اند. بنابر تجربیات کشورهای پیشرفته نظیر آمریکا عدم ایجاد وقفه در فرایند ترمیم بنا و تعمیر سریع ساختمان‌های تاریخی آسیب‌دیده بر اثر زلزله با استفاده از اصول و روش‌های ایمن‌سازی و پاسازی لرزه‌ای، می‌تواند به حفظ ساختمان‌های دارای قدمت و ارزش تاریخی منجر شود.

فناوری‌های جدید در زمینه ایمن‌سازی لرزه‌ای انواع ساختمان‌ها همچنان در حال گسترش هستند که تنها بخشی از آن‌ها برای استفاده در ساختمان‌های تاریخی مناسب و کارآمد می‌باشند. این فناوری‌ها عبارتند از:

- سیستم سوراخ نمودن عمودی هسته و مرکز دیوارهای بتانی غیرمقاوم.
- نصب جداسازهای پایه در پی.
- استفاده از سیستم‌های شربه‌گیر تامل‌سازای.

استفاده از پوشش‌های رزینی تقویت شده و اجرای مجدد اجزای سازه‌ای تخریب شده یا مصالح سبک‌تر. البته بسیاری از فناوری‌ها و تجهیزات مقاوم‌سازی که در شرایط خاصی می‌تواند بصورت پنهان و بدون آسیب‌رسانی به بافت و اصالت تاریخی بنا استفاده نمود را می‌توان پس از وقوع زلزله و در زمان ترمیم و بازسازی بناهای تاریخی بصورت پنهان در اجزای مختلف بنا نصب و اجرا نمود. مقاوم‌سازی طریف و با کیفیت جهت حفظ مصالح و اتمل‌های قدیمی و اصالت و ارزش تاریخی بنا طی فرایند ایمن‌سازی لرزه‌ای با استفاده از تجهیزات و سیستم‌های پنهان‌تر و هماهنگ‌تر با بافت تاریخی بنا ایده خوبی است که بیشتر شامل حال ساختمان‌های قدیمی در کشورهای نظیر آمریکا می‌باشد که پیشینه تاریخ تمدن آن‌ها از چند قرن تجاوز نمی‌کند؛ اما در کشور ایران با ساختمان‌های چند هزارساله، هر یک از جزئیات ساختمان و حتی هر خشت و آجر و کاشی بنا یک گنجینه غیرقابل ارزش‌گذاری محسوب می‌شود که می‌بایست قبل از بروز زلزله و حتی‌الامکان بدون تخریب هیچ‌یک از اجزا و اتمل‌های ساختمان‌های تاریخی برای حفظ این گنجینه‌ها در جای کشور اقدام نمود. در این راستا مدل‌سازی کامپیوتری رفتار ساختمان‌های تاریخی در زمان وقوع زلزله در کشور برای مشخص نمودن نقاط ضعف و آسیب‌پذیری ساختمان‌ها راهکار مناسبی محسوب می‌شود تا همه‌چیز از قبل مشخص شده و اقدامات مقاوم‌سازی فقط به‌همان اندازه و در نقطه‌ای از بنا که ضرورت دارد به‌عمل آید و با کمک مدل‌سازی‌های کامپیوتری، برنامه‌ریزی و اجرای عملیات مقاوم‌سازی با کارآمدی و دقت بسیار بالا صورت پذیرد.

مراجع

- ۱ «ایمن‌سازی موزه‌ها و گنجینه‌های نگهداری میراث تاریخی و فرهنگی با لوبیت موزه‌های دارای ساختمان» - های تاریخی ۴ (پایان ۱۳۹۰)، پژوهشکده سوانح طبیعی، تهران
- ۲ متین، شامسین، «ایمن‌سازی سازه‌های غیرسازه‌ای موزه‌ها ۴» جزوه آموزشی دوره «مدیریت بحران در موزه‌ها و موزه‌ها، نگهداری اشیاء تاریخی و میراث فرهنگی» ۲۵ آبی ۱۳۹۰/۱۱/۲۷، تهران