ISSN: 2008-5079 / EISSN: 2538-2365
DOI: 10.22034/AAUD.2023.344334.2676

ارزیابی ایمنی لرزه‌ای خانه‌های تاریخی شهر تبریز مطابق دستورالعمل‌های DPCM ایتالیا، مورد مطالعاتی: خانه علی مسیو

سمیه غلامی[۱] - فرهاد آخوندی[۲*]

۱. کارشناسی ارشد استحکام بخشی بناهای تاریخی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی، تبریز، ایران.
۲. دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی، تبریز، ایران (نویسنده مسئول).

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷ تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۱/۰۶/۱۹ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۶/۲۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

چکیده

هر ساله چندین بنای تاریخی به دلیل بلایای طبیعی از جمله زلزله در معرض خطر آسیب قرار می‌گیرند. حیاتی‌ترین اقدام قبل از تقویت و مرمت بناهای تاریخی، ارزیابی ایمنی لرزه‌ای آن‌ها جهت شناسایی ضعف‌های موجود است. ایتالیا از اولین کشورهایی است که به منظور ارزیابی بناهای تاریخی دستورالعملی اختصاصی تحت عنوان «دستورالعمل‌های ایتالیا جهت ارزیابی و کاهش خطر لرزه‌ای» (DPCM) منتشر کرده است. این دستورالعمل شامل سه سطح ارزیابی است و همچنین برای سه دسته از بناهای مختلف کاربرد دارد. نتایج محاسبات دستی این دستورالعمل (سطح اول) در کوتاه‌ترین زمان ممکن می‌تواند وضعیت کلی بنا را جهت انجام فعالیت‌های مرمتی نشان دهد. در کشور ما ایران، چنین دستورالعملی درخصوص بناهای تاریخی موجود نیست، بنابراین در این مطالعه پژوهشی جهت اعلام نیاز به توسعه‌ی دستورالعملی جهت ارزیابی بناهای تاریخی در ایران، وضعیت ایمنی خانه تاریخی علی مسیو شهر تبریز در حالت حد نهایی (SLU) و حالت حد آسیب‌پذیری (SLD) بر اساس محاسبات دستی و محاسبات عددی پیشنهادشده در دستورالعمل DPCM ایتالیا مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز پوش‌آور بنا (مدل‌سازی عددی) بر اساس مدل‌سازی سه‌بعدی به روش قاب معادل در نرم‌افزار 3MURI.13 انجام شد. براساس یافته‌های حاصل از هر دو سطح ارزیابی، مقایسه بین نتایج به‌دست آمده انجام شد. در نتیجه، داده‌های حاصله از هر دو سطح ارزیابی خانه تاریخی علی مسیو نشان داد که این بنا در حالت حد نهایی ایمن نمی‌باشد، اما در حالت حد آسیب‌پذیری ایمنی مناسبی را نشان می‌دهد. علاوه بر این، نکته قابل توجه نتایج به‌دست آمده این بود که محاسبات دستی ارائه‌شده در دستورالعمل ایتالیا محافظه‌کارانه‌تر عمل می‌کند به دلیل این‌که مقدار شاخص ایمنی و مقاومت برشی بناها را کم‌تر از مقادیر به‌دست آمده از محاسبات عددی ارائه می‌دهد. اما این نکته قابل ذکر است که روشی مفید و کاربردی پیش از انجام فعالیت‌های مرمتی است.

واژگان کلیدی: ایمنی لرزه‌ای، خانه تاریخی، DPCM، خانه علی مسیو.

* E-mail: f.akhoundi@tabriziau.ac.ir

۱. مقدمه

حفظ میراث تاریخی در تمام جوامع همواره مورد توجه بوده است؛ چرا که شناسنامه‌ی هر کشوری آثار باستانی و میراث فرهنگی آن است (Allahvordy 2020). حفاظت و نگهداری این آثار موجب انتقال تاریخ و تمدن جامعه به نسل‌های آینده و همچنین رونق گرفتن صنعت گردشگری و بهبود شرایط اقتصادی و اجتماعی جامعه می‌شود (Nasseh and Taghavi 2019). طی سال‌های متوالی بروز بلایای طبیعی موجب ایجاد آسیب و خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر پیکره‌ی شهرها به‌خصوص شهرهایی که دارای آثار و بناهای تاریخی هستند شده است. بافت تاریخی شهرها به عنوان اماکن دارای ارزش‌های میراث فرهنگی، با دارا بودن آثار دوره‌های مختلف تاریخی، دارای ویژگی‌هایی متشکل از ساختاری فضایی- کالبدی می‌باشد. ارزش‌های منسوب به آن و تعیین میزان اهمیت و درجه‌بندی آن‌ها، می‌تواند نقش مهمی در جهت حفاظت و سرمایه‌گذاری در قالب گردشگری فرهنگی باشد (Abbaszadeh, Mohammad Moradi, and Soltanahmadi 2015). خسارات ناشی از زلزله می‌تواند منجر به آسیب‌های مهمی در میراث معماری مناطق، و در نتیجه از دست دادن درآمد حاصل از گردشگری به ویژه در شرایطی که گردشگری در حال تبدیل شدن به یک صنعت بزرگ است، با عواقب جدی برای بهبود شرایط اجتماعی و اقتصادی و توسعه جامعه شود، از این‌رو حفظ و نگهداری این آثار و مرمت آن‌ها امروری ضروری به نظر می‌رسد (Giuliani, De Falco, and Cutini 2022).

ثبت حوادث لرزه‌نگاری اخیر نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌های با شدت متوسط تا کم به مؤلفه‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای بناهای تاریخی از جمله کلیساها، کاخ‌ها و برج‌ها می‌توانند خسارات جبران‌ناپذیری را وارد کنند، زیرا رفتار لرزه‌ای سازه‌های بنایی تاریخی متفاوت با سازه‌های بنایی مدرنی است که مطابق آیین‌نامه‌ها طراحی و ساخته شده‌اند، در نتیجه ارزیابی لرزه‌ای سازه‌های قدیمی برای اطمینان از پایداری آن‌ها اخیراً مورد توجه بسیاری قرار گرفته است و توانسته است به طور قابل توجهی بر طراحی و برنامه‌ریزی برای حفظ آن‌ها تأثیر بگذارد (Torelli et al. 2020). تا کنون تلاش‌های بسیاری در جهت یافتن روشی جهت ارزیابی لرزه‌ای صورت‌گرفته است اما اولین تلاش‌ها در ایتالیا و نیوزلند انجام شد. در سال ۲۰۰۳ در ایتالیا، تأیید ایمنی لرزه‌ای بناها طبق کد لرزه‌ای بناهای موجود اجباری شد (O.P.C.M.3362 2003). در نیوزیلند مقررات مربوط به ارزیابی و مقاوم‌سازی بنا به صورت «ارزیابی و بهبود عملکرد سازه‌ای ساختمان در برابر زلزله» یا "NZSEE" (New Zealand Society for Earthquake) بیان شده‌اند. این مقررات برای تمام سازه‌های بنایی غیرمسلح کاربرد دارند و تمایزی برای بناهای تاریخی در آن‌ها در نظر گرفته نشده است (Derakhshan, Ingham, and Griffith 2009). مرجع استاندارد اروپایی‌ها برای ارزیابی مقاومت سازه‌های موجود در برابر زلزله یوروکد ۸ بخش ۳ می‌باشد (CEN 2005). توصیه‌های ISCARSAH (از کمیته‌های علمی ایکوموس در زمینه آنالیز و مرمت سازه‌های ساختمان‌های میراث معماری می‌باشد که در سال ۱۹۹۶ میلادی پایه‌گذاری شده‌است) و ISO13822 ارزیابی ساختارهای موجود را پوشش می‌دهند، این دو تاحدودی با هم مطابقت دارند اما ISO13822 به بناهای تاریخی اشاره‌ای ندارد (Schueremans and Verstrynge 2008).

از آن‌جایی که در کشور ایران آیین‌نامه‌ی مختص به ارزیابی بناهای تاریخی موجود نیست، در مقاله حاضر، ارزیابی لرزه‌ای یک خانه تاریخی مربوط به دوره قاجار واقع در شهر تبریز بر اساس دو سطح ارزیابی شامل سطح اول (محاسبات دستی) و سوم (آنالیز عددی) که در توصیه‌های ایتالیایی برای تعیین و کاهش خطر لرزه‌ای سازه‌های تاریخی ذکر شده است (DPCM 2005) انجام شده است.

هدف اصلی این کار بررسی قابلیت اطمینان و میزان اعتبار سطح اول ارزیابی که بر پایه یک مدل مکانیکی ساده شده انجام می‌شود از طریق مقایسه آن با سطح سوم ارزیابی که یک مدل پیچیده‌تر است و رفتار غیرخطی سازه را در نظر می‌گیرد. سطح اول این ارزیابی بر اساس روابط ارائه‌شده در دستورالعمل‌های ایتالیا (DPCM 2005) انجام می‌شود، همچنین ارزیابی غیر خطی بنا مطابق سطح سوم ارزیابی توسط نرم‌افزار 3MURI بر اساس تجزیه و تحلیل قاب معادل انجام می‌شود.

۲. پیشینه پژوهش

مطالعات زیادی در خصوص ارزیابی ایمنی بناهای تاریخی در ایران و جهان انجام شده است، از جمله:

پورامینیان و همکاران (Hosseini, Pouraminian, and Sadeghi 2016) ارزیابی ارگ علیشاه تبریز با استفاده از تکنیک‌های آنالیز شرح داده‌شده در O.P.C.M را انجام دادند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که سازه فاقد ایمنی لازم در برابر تنش‌های لرزه‌ای منطقه است. تجزیه و تحلیل عددی نیز با استفاده از برنامه ANSYS.V10 به منظور تأیید نتایج انجام شد و نتایج هر دو رویکرد مقایسه شدند و مطابقت یافتند.

در سال ۱۳۹۸ آخوندی و همکاران (Akhoundi, Mohammadpour, and Shahbazi 2020) رفتار لرزه‌ای یک ساختمان بنایی را قبل و بعد از مقاوم‌سازی با FRP مورد مطالعه قراردادند. به منظور ارزیابی رفتار بنا از نرم‌افزار 3MURI به منظور ارزیابی رفتار بنا از نرم‌افزار 3MURI استفاده شد.

موزه واساری در آرزو، ایتالیا، در سال ۲۰۱۷ توسط بتی و همکارانش (Betti et al. 2017)، که از نرم‌افزار 3MURI

برای ارزیابی جهانی استفاده کردند، مورد ارزیابی خطر لرزه‌ای قرار گرفت. یافته‌های آن‌ها، که شامل تحلیل‌های محلی و جهانی بود، به وضوح مورد نیاز بود و پس از بحث در مورد یافته‌هایشان، بر لزوم ترکیب هر سه سطح ارزیابی تأکید کردند. ارزیابی لرزه‌ای، کاخ پله لا ایتالیا برای اولین بار توسط کازاپولا و همکارانش (Casapulla, Argiento, and Maione 2018) انجام شد که از سطح اول ارزیابی توصیه‌شده در نسخه جدید دستورالعمل ایتالیایی استفاده کردند. آن‌ها سپس نتایج را با نتایج نسخه قبلی دستورالعمل‌ها مقایسه کردند. در نتیجه، یافته‌ها با توجه به جهت‌های ضعیف‌تر و نحوه شکست همخوانی داشتند، اما در محاسبه ظرفیت برشی پایه و شتاب زمین مربوطه اختلاف وجود داشت. مطابق با سطح سه ارزیابی، آن‌ها تحلیل استاتیکی غیرخطی را نیز انجام دادند و نتایج فرآیندهای تخریب، منحنی بار افزون و شاخص ایمنی لرزه‌ای را نشان دادند. حجازی و عشقی (Mana and Sasan 2019) با کمک نرم‌افزار DIANA، تحلیل طیفی، تاریخچه زمانی و تحلیل استاتیکی غیرخطی برج قابوس را در سال ۲۰۱۹ انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که آیین‌نامه ۲۸۰۰ نمی‌تواند استاندارد مناسبی برای بناهای تاریخی باشد.

بر اساس سه سطح ارزیابی مشخص‌شده در استانداردهای ایتالیایی، تورلی و همکارانش (Torelli et al. 2020) مطالعه لرزه‌ای برج کوگنینی در جیمینیانو، ایتالیا، در سال ۲۰۲۰ انجام دادند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که یک تحلیل کلی برای پیش‌بینی عملکرد لرزه‌ای چنین ساختمان‌هایی مورد نیاز است، زیرا تحلیل‌های استاتیکی و سینماتیکی ساده‌شده حالت‌های شکست کلی را که از بارهای متمرکز محلی پدید می‌آیند، شناسایی نمی‌کنند. کاخ پریورز ایتالیا، در سال ۲۰۱۹ مطابق با سه سطح ارزیابی ذکرشده در توصیه‌های ایتالیایی، توسط کاستوری و همکاران (Castori et al. 2019) تحت ارزیابی لرزه‌ای قرار گرفت. در هر یک از سطوح ارزیابی که در جهت یکسانی نبودند، واکنش‌های لرزه‌ای ساختمان در سطوح مختلف ارزیابی همخوانی نداشتند.

۳. مبانی نظری

ارزیابی ایمنی لرزه‌ای به منظور پیش‌بینی خسارت زلزله انجام می‌شود. این آسیب‌ها ممکن است شامل از دست دادن جان، از دست دادن سرمایه یا آسیب به گنجینه‌های فرهنگی باشد. ارزیابی لرزه‌ای در یوروکد ۸ (EC8) به عنوان «روش کمی برای بررسی این‌که آیا یک ساختمانِ دست‌نخورده یا آسیب‌دیده موجود با توجه به اقدام لرزه‌ایِ مورد بررسی، حالت حدی مورد نظر را برآورده می‌کند» توصیف می‌شود. ارزیابی آسیب‌پذیری (تجزیه و تحلیل آسیب‌های احتمالی)، تخمین میزان مواجهه افراد و ساختمان‌ها (با اشاره به حضور مردم یا میراث فرهنگی)، و ارزیابی خطر لرزه‌ای، همه گام‌های لازم در این فرآیند هستند.

پیشرفت‌های قابل توجهی در ۳۰ سال گذشته در رابطه با ادغام تکنیک‌های ارزیابی لرزه‌ای در کدهای لرزه‌ایِ حاصل شده است. بیش‌تر تکنیک‌های ارزیابی معمولاً شامل بررسی وضعیت ظاهری و عملکرد می‌باشند. مطالعه پیکربندی هندسه، جزئیات ساخت و مصالح ساختمانی را با «قوانین سرانگشتی» مختلف به‌دست آمده از مشاهدات پس از زلزله مقایسه می‌کنند، در حالی که بررسی‌های مربوط به عملکرد، عملکرد احتمالی ساختمان در یک زلزله مورد انتظار را با توجه به شاخص‌های خاص حالت حدی محاسبه می‌کنند.

روش ارزیابی هر کد ممکن است به صورت یک روش سریع یا یک روش تجزیه و تحلیل دقیق باشد. با این حال، برخی از دستورالعمل‌های جدید شامل هر دو روش در یک چارچوب هستند (Engineers 2014). در حالی که معمولاً روش‌های ارزیابی سریع شامل ارزیابی پیکربندیِ نیز می‌شوند، رویکردهای تجزیه و تحلیل دقیق معمولاً ترکیبی از رویکرد ارزیابی پیکربندی و عملکرد هستند. بررسی‌های مرتبط با پیکربندی سریع و آسان هستند و بیش‌تر برای ساختمان‌های استاندارد مناسب می‌باشد، که ممکن است توسط مدل‌سازی دقیق یا روش‌های آزمایشگاهی قابل توجیه نباشند، اما نقص‌های موجود و پاسخ‌های مورد انتظار را مشخص می‌کنند. اگرچه، این بررسی‌ها کم‌تر مناسب سازه‌های غیرمعمول هستند. تکنیک‌های ارزیابی سریع ممکن است مبتنی بر اختصاص نمره باشد، که نمره یا امتیاز بر اساس مطابقت یا عدم مطابقت با یک سری از تعاریف مربوط به آسیب‌پذیری به ساختمان اختصاص داده شود. که با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی ساده یا بررسی‌های پیکربندی مطابقت دارند، که احتمال دارد اولین مرحله جهت تسهیل تصمیم‌گیری در خصوص مناسب‌ترین روش مداخله، یا رویکرد سریع جهت یافتن آسیب‌پذیرترین ساختمان‌ها باشند. با این حال، به‌کارگیری یک رویکرد دقیق برای طراحی و پیشنهاد مداخلات مقاوم‌سازی نیاز است.

۳-۱- دستورالعمل‌های (DPCM) ایتالیا جهت ارزیابی و کاهش خطر لرزه‌ای بناهای تاریخی

ایتالیایی‌ها به منظور ارزیابی بناهای تاریخی از دستورالعمل‌های ایتالیایی که با هدف ایجاد یک چارچوب جهت تجزیه و تحلیل سازه‌ای و مقاوم‌سازی بناهای تاریخی متناسب با نیازهای خاص آنان تهیه شده، استفاده می‌کنند (Torelli et al. 2020). این دستورالعمل که با عنوان «دستورالعمل‌های ایتالیا جهت ارزیابی و کاهش خطر لرزه‌ای بناهای تاریخی» (DPCM 2005) منتشر شده است، رویکردی جدید را برای ارزیابی ایمنی لرزه‌ای از طریق یک روش چند سطحی معرفی می‌کند که سعی

دارد مراحل بررسی و ارزیابی را بسته به اهداف مختلف ممکن سازد. این دستورالعمل به‌طور کلی شامل سه سطح ارزیابی است که به صورت زیر تعریف شده‌اند: سطح اول ارزیابی؛ آنالیز کیفی و ارزیابی با استفاده از مدول‌های مکانیکی ساده‌شده، سطح دوم ارزیابی؛ ارزیابی لرزه‌ای به منظور انجام مداخلات محلی در بنا، و سطح سوم ارزیابی؛ ارزیابی دقیق ایمنی لرزه‌ای بنا.

سطح اول ارزیابی بنا را در بافت و منطقه مربوط به آن ارزیابی می‌کند و بنا را از لحاظ ایمنی لرزه‌ای طبقه‌بندی می‌کند. این سطح بر یک مدل ساختاری ساده با اتخاذ یک رویکرد مبتنی بر نیرو تکیه دارد که نیازمند ادغام تعداد محدودی از پارامترهای هندسی و مکانیکی با داده‌های کیفی حاصل از ارزیابی‌های بصری و ویژگی‌های ساخت است. سطح دوم ارزیابی، با هدف ارزیابی ایمنی لرزه‌ای بنا هنگام انجام مداخلات محلی در بخش‌های منفرد یک ساختمان کاربرد دارد. نکته مهم این است که سطح دوم ارزیابی فقط در صورتی قابل استفاده است که مداخلات محلی رفتار ساختاری ساختمان را تغییر ندهد. در نهایت سطح سوم ارزیابی بر اساس پاسخ کلی سازه بنا به منظور تعیین میزان شتابی که باعث رسیدن سازه به حالات حدی مختلف می‌شود، انجام می‌گیرد.

ایمنی لرزه‌ای در هر سطح توسط شاخصی که از مقایسه بین نیاز لرزه‌ای مورد انتظار و ظرفیت لرزه‌ای به‌دست می‌آید، تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که سطح اول و سطح سوم ارزیابی به ترتیب مبتنی بر مدل‌های کلی ساده و دقیق هستند که هر دو توسط اثر ترکیبی دیافراگم‌های کف و پاسخ درون صفحه‌ای دیوارهای سازه‌ای ارائه شده‌اند. بر همین اساس نتایج حاصل از این دو سطح قابل مقایسه هستند. از سوی دیگر، سطح دوم ارزیابی امکان ارزیابی لرزه‌ای حالت‌های شکست محلی را فراهم می‌کند، که عمدتاً به دلیل پاسخ خارج از صفحه دیوارها است.

۳-۲- ایمنی بناهای تاریخی

به طور کلی بنای تاریخی عبارت است از بنایی که دارای ارزش‌های معمارانه، زیبایی‌شناختی، اقتصادی، اجتماعی و نمادین است، و نمادی از هویت فرهنگی است. نکته‌ای که باید در مورد بناهای تاریخی به آن اشاره کرد این است که در زمان ساخت این بناها از آیین‌نامه استفاده نشده است و اکثراً در برابر حوادث طبیعی از جمله زلزله آسیب‌پذیرند. در حالی که آسیب‌شناسی به‌دنبال یافتن علل آسیب و خرابی بناهاست، ارزیابی ایمنی پایه‌ای برای درک ضرورت و دامنه اقدامات تقویتی را ارائه می‌دهد (AyatollahZade Shirazi 2003). در خصوص ساختمان‌های تاریخی ارزیابی وضعیت ایمنی به منظور یافتن مناسب‌ترین روش از میان رویکردهای موجود مقاوم‌سازی و به صورت کلی به‌کارگیری کم‌ترین میزان مداخلات در بناها صورت می‌گیرد. با هدف اطمینان یافتن از مناسب بودن رویکرهای ارزیابی، ضروری است خصوصیات خاص معماری تاریخی در نظر گرفته شود. اما هر یک از سازه‌ها از نظر مصالح ساختمانی و روش‌های ساخت با یکدیگر متفاوت هستند. زیرا هر یک توسط سازنده‌ای ساخته شده و دستخوش تغییراتی چون تعمیر و بازسازی بوده‌اند. علاوه بر این، این امکان وجود دارد که روش‌های مختلف ساخت از نظر ساختاری به خوبی درک نشوند و معمولاً اطلاعات کمی در مورد عملکرد آن‌ها وجود دارد (Quinn 2017).

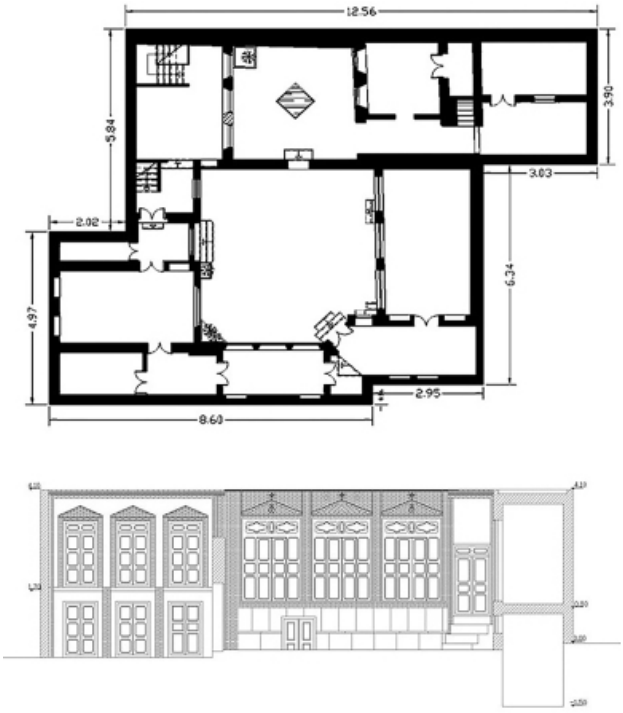
۴. معرفی خانه تاریخی علی مسیو

خانه تاریخی علی مسیو بنایی متعلق به اواسط دوران قاجار است، که در یکی از محلات تاریخی تبریز (استان آذربایجان شرقی) واقع شده است. این خانه برخلاف سایر خانه‌های اعیان‌نشین از مساحت بسیار بالایی برخوردار نیست. خانه علی مسیو ساختمانی آجری است که در همان ورودی راه اندرونی و بیرونی از هم جدا شده‌است (شکل ۱ و ۲). نکته جالب در ورودی خانه شیوه غیرمعمول اتصال حیاط اندرونی و بیرونی است که در هیچ یک از خانه‌های مشابه دیده نمی‌شود. گچکاری نمای بیرونی بنا یکی از زیباترین تزئینات خانه مسیو است. تزئینات آجری سنتوری وکنگره‌ای در ترکیب با گچ نمای بالای پنجره‌ها را آراسته است. بنا شامل دو طبقه بوده و پلان نامتقارنی دارد. از خصوصیات دیگر پلان این بنا تیپ بودن پلان طبقات زیر زمین و همکف است. در ساخت دیوارهای بنا از آجر با ملات ماسه و آهک استفاده شده است. زیرزمین این ساختمان دارای سقف طاق‌دار می‌باشد و سقف طبقه همکف از تیرهای چوبی ساخته شده است (شکل ۳).

شکل ۱: تصویری از خانه تاریخی علی مسیو

(میراث فرهنگی استان آذربیاجان شرقی)

شکل ۲: پلان و نمای خانه تاریخی علی مسیو



دیوارهای این بنا بر اساس تکنیک‌های سنتی ساخت این منطقه با استفاده از آجرهای به ابعاد ۲۰×۲۰×۴ سانتی‌متر و ملات ماسه آهک ساخته شده‌اند. متاسفانه اطلاعاتی در خصوص ساخت پی این بنا در دسترس نیست اما باتوجه به پی‌سازی مرسوم دوره قاجار که به‌طور عمده از قلوه سنگ و ملات آهک بوده‌اند، در مدل‌سازی این بنا مشخصات پی را قلوه سنگ با ملات آهک لحاظ می‌کنیم.

شکل ۳: سقف طبقه زیرزمین (الف)، سقف طبقه همکف (ب)

از آن‌جایی که سطح اول ارزیابی ارائه‌شده بر روی تک‌بناها متمرکز است و اشاره‌ای به مجموعه بناها ندارد، در مطالعه حاضر بنا به‌صورت تک بنا بررسی می‌شود. همچنین لازم به ذکر است هر دو سطح ارزیابی بر اساس اثر ترکیبی دیافراگم‌های کف و پاسخ درون صفحه دیوارهای سازه‌ای (رفتار جعبه‌مانند) هستند و در این مقاله به رفتار خارج از صفحه دیوارها توجهی نشده است.

جهت تعیین خصوصیات مکانیکی بنا از داده‌های موجود در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (Code360 2013) استفاده شده است، مقادیر مربوط به مدول الاستیسیته، مدول برشی و مقاومت فشاری درجدول ۱ مشخصات مصالح بنایی به‌کار رفته در محاسبات و مدل‌سازی نرم‌افزار قابل مشاهده هستند.

جدول ۱: مشخصات مصالح بنایی

مدول الاستیسیته واحد آجر کاری (Mpa)	۹۲۰
مدول برشی (Mpa)	۳۶۸
مقاومت فشاری (MPa)	۲.۳
تنش برشی (MPa)	۰.۰۹
وزن مخصوص واحد آجرکاری با آجر فشاری و ملات ماسه آهک (kg/m^3)	۱۸۰۰
وزن مخصوص تیر چوبی(kg/m^3)	۵۰۰
وزن مخصوص واحد آجرکاری با آجر فشاری و ملات گچ خاک (kg/m^3)	۱۷۵۰
وزن مخصوص کاهگل (kg/m^3)	۱۶۰۰

(Code360 2013)

بر اساس آن‌چه که تاکنون در خصوص خانه تاریخی نفیسی گفته شد، ضریب اطمینان بنا (FC) (DPCM) (2005; Code360 2013) که بر اساس سطح شناخت ما از تاریخچه و هندسه، ساختار و مصالح، خصوصیات مکانیکی و خاک و پی تعیین می‌شود، معادل ۱.۳۵ در نظر گرفته می‌شود.

۵. روش پژوهش

در این پژوهش از رویه‌ای کامل جهت شناسایی سازه با هدف ارزیابی ایمنی لرزه‌ای خانه علی مسیو استفاده خواهد شد. جهت شروع، تحقیقات تاریخی به منظور بررسی چگونگی تغییر و توسعه ساختار در طول زمان انجام خواهد شد. علاوه بر این ویژگی‌های ساختاری بنا، گونه‌شناسی سقف و دیوارهای بنایی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت، زیرا این داده‌ها امکان تعریف دقیق از مدل‌های عددی به‌کار رفته جهت ارزیابی ایمنی لرزه‌ای را فراهم می‌کند. سپس، پاسخ لرزه‌ای کل ساختمان انتخابی را مدل‌سازی آن در برنامه 3Muri پس از از انجام مطالعه کیفی ساختمان‌ها با استفاده از محاسبات دستی مرتبط با ارزیابی سطح ۱، تحلیل خواهیم کرد. سپس نتایج مورد بررسی و مطالعه قرار خواهند گرفت.

۵-۱- معرفی پارامترهای لرزه‌ای

ایمنی بناهای تاریخی در برابر خطر لرزه‌ای منطقه با تعریف حالات حدی حفاظت از ساکنان در برابر زلزله‌های نادر و همچنین با شدت زیاد است (حالت حد نهایی SLU[1] و حالت دیگر به منظور محدود کردن آسیب‌های عملکردی و اقتصادی به بناها در نظر گرفته می‌شود که مربوط به زلزله‌های با شدت کم می‌باشد (حالت حد آسیب‌پذیری SLD[2]. حالت حد نهایی (SLU) وضعیت بنا را در زلزله‌های با احتمال فراگذشت ۱۰ درصد در ۵۰ سال و حالت حد آسیب‌پذیری (SLD) وضعیت بنا را در زلزله‌های با احتمال فراگذشت ۵۰ درصد در ۵۰ سال بررسی می‌کند. با توجه به این که خانه تاریخی علی مسیو در شهر تبریز واقع شده است، مقدار ag (شتاب مبنای طرح) مطابق آیین‌نامه زلزله ۲۸۰۰ برای زلزله با احتمال فراگذشت ۱۰ درصد در ۵۰ سال ۰.۳۵ g می‌باشد، همچنین مقدار این پارامتر برای زلزله‌های با احتمال فراگذشت ۵۰ درصد در ۵۰ سال ۰.۱۴ g می‌باشد.

دوره بازگشت کلی بنا به عنوان تابعی از ارتفاع کل آن مطابق رابطه ۱ که در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ارائه شده است به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$T=۰.۰۵H^{۰.۷۵}=۰.۱۰۵S \qquad (۱)$$

۵-۲- ارزیابی شاخص ایمنی بنا بر اساس محاسبات دستی

سطح اول ارزیابی ایمنی خانه تاریخی علی مسیو مطابق مدول‌های مکانیکی ساده‌شده برای «خانه‌ها و ویلاها و ساختمان‌های با دیوارهای باربر و دیافراگم‌های مسطح» انجام شده است. در این سطح بر اساس چند پارامتر هندسی و مکانیکی که به راحتی در مرحله شناخت به دست می‌آید، شاخص ایمنی بنا (IS) محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است در این محاسبات نیازی به در نظر گرفتن تعاملات احتمالی بنا با ساختمان‌های مجاور نیست.

ارزیابی ظرفیت لرزه‌ای بنا در این سطح بر این فرض استوار است که آسیب یا شکست‌های ایجادشده در دیوارها ناشی از برش و خمش است. اولین پارامتری که محاسبه می‌گردد، مقاومت برشی در هر طبقه در راستاهای مختلف است، مطابق رابطه ۲ جهت محاسبه مقاومت (F) برشی بنا ابتدا نیاز است که مساحت دیوارهای مقاوم در برابر نیروی برشی در جهت x و y در طبقه iام (A)، ضریب نامنظمی پلان (β) است که با فاصله مرکز جرم از مرکز سختی رابطه مستقیم و با فاصله مرکز سختی از دورترین دیوار در راستای مربوطه رابطه عکس دارد، همگنی سختی و مقاومت دیوارهای بنایی (μ)، پارامتر مربوط به گسیختگی غالب پایه‌ها (ξ) و مقومت برشی طبقه i ام (τ_{di}) محاسبه

گردد.

$$F_i=(\mu_i\xi_i A_i\tau_i)/\beta_i \qquad (۲)$$

بر اساس مقادیر به‌دست‌آمده از هرکدام از پارامترهای A، μ، β و ξ مقاومت برشی جهات x و y محاسبه گردید که به ترتیب برابر ۹۳۷ و ۶۱۳ نیوتن در طبقه زیرزمین و ۹۳۴ و ۵۲۵ کیلونیوتن در طبقه همکف بودند. لازم به ذکر است کم‌ترین مقاومت برشی به‌دست آمده به عنوان مقاومت برشی اصلی در نظر گرفته می‌شود، در خصوص این بنا معادل Fslu=۵۲۵ kN در نظر گرفته شده است.
بعد از محاسبه مقاومت برشی شتاب در حالت حد نهایی و حالت حدآسیب‌پذیری مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌گردد:

$$a=(qF)/(e^*MC^T) \qquad (۳)$$

q ضریب رفتار بنا است که برای ساختمان‌های با ارتفاع منظم ۳ در نظر گرفته می‌شود و برای بقیه ساختمان‌ها که ضریب اضافه مقاومت ۱.۵ دارند برابر با ۲.۵ در نظر گرفته می‌شود، که در این مطالعه معادل ۳ در نظر گرفته شده است. M جرم موثر لرزه‌ای، e^* درصد جرم مشارکت‌کننده در شکست، C^T طیف نرمال‌شده که از نسبت بین طیف پاسخ الاستیک بر شتاب زمین که اثرات ساختگاهی در آن لحاظ شده است، به‌دست می‌آید؛ در خصوص محاسبه این پارامتر از آن‌جایی که در آیین‌نامه‌های داخلی کشور ما به آن اشاره‌ای نشده است، مقدار این پارامتر را مطابق NTC08 (NTC 2018) برای حالت حد نهایی معادل ۲.۵ N/Kg و حالت حد آسیب‌پذیری معادل ۲.۴۹ N/Kg در نظر گرفته شد.
جهت محاسبه درصد جرم مشارکت‌کننده e^* دو رابطه پیشنهاد شده است که رابطه اول به شکست طبقه‌ای از بنا احتمال شکست آن وجود دارد اشاره دارد و رابطه دوم به شکست یکنواخت بنا (پایین‌ترین طبقه) اشاره دارد. در این مطالعه از رابطه دوم استفاده شده است e^*=۰.۸۹. بر اساس این مقادیر، مطابق رابطه ۳ مقدار شتاب در حالت حد نهایی برابر ۳.۰۵ N/Kg و در حالت حد آسیب‌پذیری معادل ۱.۸۶۱ N/Kg به‌دست آمدند.
بر اساس دستورالعمل ایتالیا شاخص ایمنی بنا مطابق رابطه ۴ قابل محاسبه است، در صورتی که شاخص ایمنی بزرگ‌تر از یک باشد بنا در برابر اقدامات لرزه‌ای منطقه ایمن است و در صورتی که کم‌تر از یک باشد ایمنی لازم را ندارد.

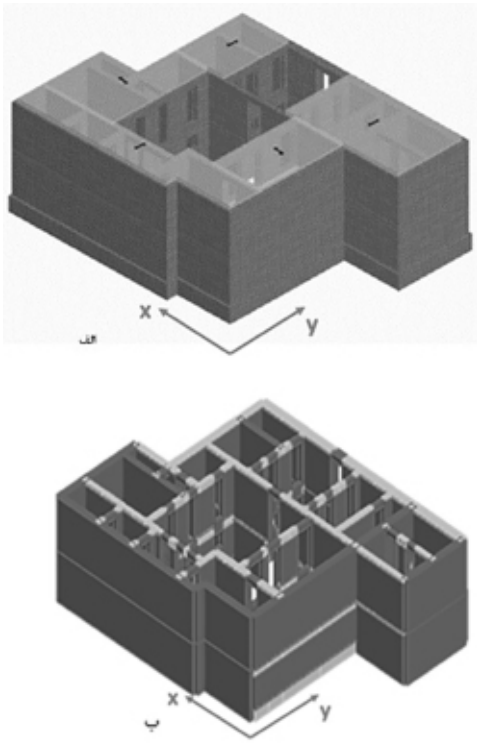
$$I^S= a/(\gamma_I\, Sa_g) \qquad (۴)$$

در واقع مخرج این رابطه نیاز لرزه‌ای است: γ_I؛ ضریب اهمیت بنا است که مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ معادل ۱.۲ در نظر گرفته شده است، ag شتاب مربوط به حالت حدی مورد نظر و پارامتر S درواقع، ضریب اثرات ساختگاهی برای شتاب مبنا است که معادل ضریب S0 در زمان تناوب صفر ثانیه در آیین‌نامه ۲۸۰۰ (IRSt2800) (S0) و ضریب S در آیین‌نامه NTC (NTC 2018) است. این ضریب، تابعی از نوع خاک ساختگاه و لرزه‌خیزی منطقه است. نوع خاک ساختگاه، براساس مطالعات ژئوتکنیکی صورت‌گرفته III بوده و باتوجه به این‌که ساختمان در شهر تبریز با خطر نسبی بسیار زیاد واقع شده، مقدار S0 در آیین‌نامه ۲۸۰۰ (IRSt2800) برابر با ۱.۱ تعیین شده است؛ در حالی‌که بر اساس NTC08 (NTC 2018) برای مولفه افقی زلزله، مقدار S برابر با ۱.۱۷ است. نظر به این‌که در مطالعه حاضر، نرم‌افزار Muri 3 از آیین‌نامه‌های اروپایی استفاده می‌کند، درنتیجه مقدار ۱.۱۷ برای این پارامتر لحاظ شده است. در نهایت میزان شاخص ایمنی این بنا در حالت حد نهایی معادل ۰.۶۳۳ و در حالت حد آسیب‌پذیری معادل ۱.۸۶۱ محاسبه گردید.

۵-۳- ارزیابی آسیب‌پذیری بنا مطابق سطح سوم

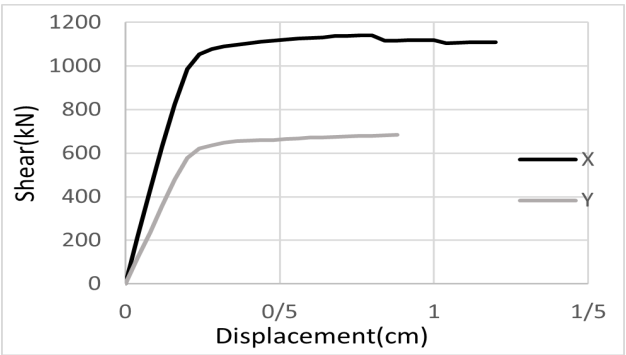
ارزیابی سطح سوم خانه تاریخی علی‌مسیو از طریق تحلیل استاتیکی غیرخطی بنا در نرم‌افزار 3Muri انجام می‌شود. 3Muri یک نرم‌افزار مهندسی برای تجزیه و تحلیل لرزه‌ای سازه‌های بنایی و کامپوزیت است که در ایتالیا توسعه یافته است. این نرم‌افزار از رویکرد تحلیل مبتنی بر جابجایی استفاده می‌کند و کل نیروی افقی مورد نیاز جهت جابجایی بنا تا جابجایی هدف را تعیین می‌کند. با انجام یک تجزیه و تحلیل چند مرحله‌ای، منحنی بارافزون به دست می‌آید که در آن هر گام با یک جابجایی و برش مربوطه تعریف می‌شود که روشی مناسب برای سازه‌های بنایی است. به دلیل رویکرد مبتنی بر جابجایی، رفتار غیرخطی مصالح چنین سازه‌هایی را می‌توان در مقایسه با روش مبتنی بر نیرو، واقعی‌تر درنظر گرفت.
Muri3 از روش FME[3] استفاده می‌کند. این روش تنها با چند عنصر کلان، به اصطلاح عناصر ماکرو، مش‌بندی را انجام می‌دهد و دیوارهای بنا را به عنوان قاب‌هایی که از سه نوع مختلف ماکرو المان: پایه‌ها[4]، تیرهای Spandrel Beams و عناصر صلب[5] تشکیل شده‌اند، درنظر می‌گیرد. مشخصات مکانیکی مورد نیاز مطابق جدول ۱ در این نرم‌افزار استفاده شده است.
نرم‌افزار تریموری این امکان را فراهم آورده است که سقف‌ها را به صورت صلب و با تعریف پوشش به عنوان المان محدود و خصوصیات قاب معادل مدلسازی کرد. در مورد سقف طاقی این بنا سختی افقی معادل، بر اساس پیکربندی هندسی، ضخامت، خصوصیات مکانیکی مصالح و سیستم اتصال به دیوارها، تعریف شده است. در شکل ۴ مدل سه‌بعدی بنا که توسط نرم‌افزار به صورت خودکار مش‌بندی شده، نمایش داده شده است.

شکل ۴: مدل سه بعدی بنا (الف)، مش‌بندی انجام‌شده توسط نرم‌افزار تریموری (ب)

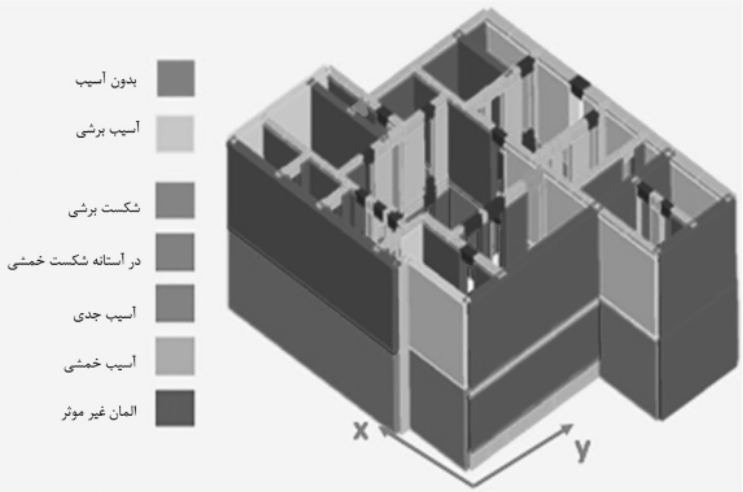


تحلیل بارافزون با در نظر گرفتن دو سیستم نیروی افقی اعمال‌شده در سطح طبقات و در دو جهت متعامد منطبق با محورهای اصلی ساختمان شامل بار جانبی یکنواخت متناسب با وزن و بار جانبی با الگوی مثلثی متناسب با شکل مود اول در تحلیل بارافزون انجام شد. هر دو الگوی بار اعمال‌شده متناسب با توزیع جرم بودند که مطابق با آیین‌نامه ایتالیا (NTC 2018) پیشنهاد شده است. 3muri، ۲۴ تحلیل بار افزون را در جهات ±x و ±y در دو حالت بارگذاری مختلف بدون خروج از مرکزیت و خروج از مرکزیت‌های تصادفی مرکز جرم انجام می‌دهد. بر اساس نتایج تحلیل پوش‌آور جهت محاسبه شاخص ایمنی لرزه‌ای از جابجایی نهایی (پاسخ لرزه‌ای) و جابجایی هدف (نیاز لرزه‌ای) استفاده می‌شود که هم‌ارز با نسبت بین پاسخ به نیاز لرزه‌ای برحسب شتاب بیشینه در سطح اول ارزیابی است. یافته‌های حاصل از تحلیل بارافزون (Push Over) بنا در نرم‌افزار 3muri به صورت گرافیکی در شکل ۵ نشان داده شده است، محور افقی این نمودار نشان‌دهنده جابجایی برحسب سانتی‌متر است، درحالی که محور عمودی مقاومت‌برشی بر حسب کیلونیوتن است. این نمودار نشان می‌دهد که بنا بالاترین مقاومت برشی را در راستای x دارد، دلیل این امر ضخامت بیش‌تر دیوارهای راستای x نسبت به دیوارهای راستای y می‌باشد. همچنین الگوی آسیب المان‌های مختلف در شکل ۶ نمایش داده شده‌است، مطابق این شکل مودهای آسیب غالب آسیب خمشی و برشی هستند.

شکل ۵: نمودار تحلیل پوش‌آور خانه علی مسیو در نرم‌افزار تریموری



شکل ۶: نمودار تحلیل پوش‌آور خانه علی مسیو در نرم‌افزار تریموری



۶. یافته‌ها

وضعیت ایمنی خانه تاریخی علی مسیو بر اساس دستورالعمل DPCM مورد بررسی قرار گرفت و همچنین میزان اعتبار و قابل اعتماد بودن روابط مکانیکی ساده شده (بر اساس یک روش مبتنی بر نیرو، سطح یک ارزیابی) ارائه‌شده در این دستورالعمل از طریق انطباق آن با یک مدل پیچیده‌تر (سطح سه ارزیابی)، که رفتار غیرخطی و شکل‌پذیری ساختمان را بررسی می‌کند، به طور انتقادی مورد مطالعه قرار گرفت.

نتایج حاصل از ارزیابی سطح اول و سوم در حالت‌های حد نهایی و آسیب‌پذیری در جدول ۲ و ۳ به‌طور خلاصه آورده شده و مقایسه شده‌اند. در حالت حد نهایی شاخص ایمنی لرزه‌ای (Is) به‌دست آمده از سطح اول کم‌تر از (۶۶ درصد) شاخص ایمنی لرزه‌ای (ά) سطح سوم ارزیابی می‌باشد، همچنین در حالت حد آسیب‌پذیری شاخص ایمنی لرزه‌ای (Is) به‌دست آمده از سطح اول کم‌تر از (۹۳ درصد) شاخص ایمنی لرزه‌ای (ά) سطح سوم ارزیابی می‌باشد.

همچنین مقدار مقاومت برشی حاصل از سطح اول کم‌تر از (۵۸ درصد) مقاومت برشی سطح سوم است. بنابراین می‌توان گفت ارزیابی سطح اول بسیار محافظه کارانه‌تر از سطح سوم می‌باشد، زیرا برای توصیف رفتار سازه، ساده‌سازی‌های اساسی را در نظر می‌گیرد و رفتار غیرخطی سازه را به‌درستی در نظر نمی‌گیرد.

جدول ۲: مقایسه نتایج حاصل از دو سطح ارزیابی خانه تاریخی علی مسیو در حالت حد نهایی

	Is	ά	مقاومت برشی (کیلونیوتن)
سطح ۱	۰.۶۳۳		۵۲۵
سطح ۳		۰.۹۵۸	۸۹۳
(سطح ۱)/(سطح ۳)	۰.۶۶		۰.۵۸

جدول ۳: مقایسه نتایج حاصل از دو سطح ارزیابی خانه تاریخی علی مسیو در حالت حد آسیب‌پذیری

	Is	ά
سطح ۱	۱.۸۶۱	
سطح ۳		۱.۹۹۵
(سطح ۱)/(سطح ۳)	۹۳٪	

۷. نتیجه‌گیری

کشور ایران از مهم‌ترین تمدن‌های باستانی است که هزاران بنا و اثر تاریخی را در خود جای داده است، تعداد زیادی از آثار و بناهای تاریخی این شور در شهر تبریز قرار گرفته‌اند. تبریز به دلیل نزدیکی به گسل شمال تبریز در تاریخ خود زلزله‌های ویرانگری را تجربه کرده است،

این زلزله‌ها همواره بناهای تاریخی را مورد تهدید قرار داده‌اند. انجام عملیات استحکام بخشی بر روی این بناها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. لازم به ذکر است پیش‌نیاز انجام یک عملیات استحکام‌بخشی صحیح و موثر ارزیابی ایمنی لرزه‌ای بنا می‌باشد. از آن‌جایی که در کشور ایران تاکنون دستورالعملی جهت ارزیابی بناهای تاریخی تدوین نشده است در مطالعه حاضر ایمنی لرزه‌ای خانه تاریخی علی مسیو شهر تبریز مطابق سطح اول (محاسبات دستی) و سطح سوم (مدلسازی عددی) دستورالعمل‌های کشور ایتالیا جهت ارزیابی و کاهش خطر لرزه‌ای بناهای تاریخی در دو حالت حدی نهایی (SLU) و حالت حد آسیب‌پذیری (SLD) انجام شد. بر اساس نتایج هر دو سطح مشخص گردید بنا در حالت حد نهایی ایمنی لازم در برابر شرایط لرزه‌خیزی منطقه را ندارد، اما در حالت حد آسیب‌پذیری بر اساس هر دو سطح ارزیابی، بنا ایمن بود. بر اساس مقایسه‌ای که میان نتایج حاصل از سطح اول و سوم انجام شد، مشخص گردید نتایج حاصل از محاسبات دستی (سطح اول) کم‌تر از نتایج سطح سوم است، بر همین اساس می‌توان نتیجه گرفت سطح اول این ارزیابی (محاسبات دستی) نتایج محافظه‌کارانه‌تری ارائه می‌دهد، اما روشی سریع، ساده و کاربردی جهت تعیین وضعیت ایمنی بنا می‌باشد زیرا به اطلاعات دقیق خصوصیات مکانیکی مصالح نیازی ندارد.

شایان ذکر است که دو روش مقایسه‌شده‌ی ارزیابی لرزه‌ای جایگزین یکدیگر نیستند، بلکه در دو سطح مختلف ارزیابی قرار دارند. علاوه بر این، این مقایسه باید به طور قابل توجهی به تعداد ساختمان‌ها از نظر آماری کافی گسترش یابد تا نتایج و توصیه‌های کلی‌تری برای محققان و متخصصان به دست آید.

تشکر و قدردانی

این مقاله هیچ حامی مالی و معنوی نداشته است.

تعارض منافع

این مقاله فاقد هرگونه تعارض منافعی است.

تاییدیه اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که کلیه اصول اخلاقی انتشار اثر علمی را براساس اصول اخلاقی COPE رعایت کرده‌اند و در صورت احراز هر یک از موارد تخطی از اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

درصد مشارکت

نویسندگان اعلام می‌دارند به‌طور مستقیم در مراحل انجام پژوهش و نگارش مقاله مشارکت فعال داشته‌اند.

پی‌نوشت

1. Ultimate Limit State
2. Damage Limit State
3. Frame by Macro-Element
4. Piers
5. Nodes

فهرست منابع

- Abbaszadeh, Mozaffar, Asghar Mohammad Moradi, and Elnaz Soltanahmadi. 2015. "The Role of Architectural and Urban Heritage Values in Cultural Tourism Development: Case study: The historical fabric of Urmia." *Motaleate Shahri* 4(14): 77-90. [in Persian]
- Akhoundi, Farhad, Reza Mohammadpour, and Yaser Shahbazi. 2020. "Application of Near Surface Mounted (NSM) technique for Seismic Retrofitting of Heritage Buildings." *Journal of Research on Archaeometry* 6(1): 97-118. doi: http://dorl.net/dor/20.1001.1.24764647.1399.6.1.7.1. [in Persian]
- Allahvordy, Parisa. 2020. "Designing a travel and tourism camp to increase the interaction between the building and the environment." *Journal of Geographical New Studies, Architecture and Urbanism* 27(3): 11-29. [in Persian]
- AyatollahZade Shirazi, Bagher. 2003. "conservation of historical buildings." *Haft Shahr* 1(11): 6-13.
- Betti, Michele, Andrea Borghini, Alberto Ciavattone, Sonia Boschi, Emanuele Del Monte, and Andrea Vignoli. 2017. "Assessment of the seismic risk of the museum of Casa Vasari in Arezzo (Italy)." *International Journal of Masonry Research and Innovation* 2(2-3): 107-133. doi:http://dx.doi.org/10.1504/IJMRI.2017.10006804.
- Casapulla, Claudia, Luca Umberto Argiento, and Alessandra Maione. 2018. "Seismic safety assessment of a masonry building according to Italian Guidelines on Cultural Heritage: simplified mechanical-based approach and pushover analysis." *Bulletin of Earthquake Engineering* 16(7): 2809-2837. doi: https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-017-0281-9.
- Castori, Giulio, Romina Sisti, Antonio Borri, Marco Corradi, and Alessandro De Maria. 2019. "Seismic assessment of the palace of Priors in Perugia." In *Structural Analysis of Historical Constructions*, 1182-1190. Springer.
- CEN. 2005. "BS EN 1998-1:2004+A1:2013. Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance—part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings."
- Code360. 2013. the guidelines for improving seismic performance of existing buildings Deputy for strategic supervision of technical system affairs. [in Persian]
- Derakhshan, Hossein, Jason M. Ingham, and Michael C. Griffith. 2009. "Out-of-plane assessment of an unreinforced masonry wall: Comparison with the NZSEE recommendations." *Proceedings of the New Zealand Society for Earthquake Engineering Technical Conference, Christchurch*, April.
- DPCM. 2005. "Evaluation and reduction of seismic risk of cultural heritage with reference to the Technical Standards for Constructions promulgated by the Ministry of Infrastructure and Transport".
- Engineers, ASoC. 2014. "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-13)." American Society of Civil Engineers.
- Giuliani, Francesca, Anna De Falco, and Valerio Cutini. 2022. "Rethinking earthquake-related vulnerabilities of historic centres in Italy: Insights from the Tuscan area." *Journal of Cultural Heritage* 54: 79-93. https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.01.004
- Hosseini, Mahmoud, Majid Pouraminian, and Arzhang Sadeghi. 2016. "Evaluation of Seismic Safety of Tabriz Citadel Historic Monument Using Finite Element Analysis and Simplified Kinetic Limit Analysis." *Civil engineering (Modarres technical and engineering)* 16(2): 91-102. https://www.sid.ir/paper/256841/fa. [in Persian]
- IRSt2800. 2015. Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings,4th Revision. In Building and Housing Research Center, Tehran, IRAN. [in Persian]
- Mana, Hejazi, and Sasan Eshghi. 2019. "Seismic vulnerability assessment of Qaboos Dome brick tower." *12th National Congress of Civil Engineering, Tabriz*. https://civilica.com/doc/1120585
- Nasseh, Negin, and Lobat Taghavi. 2019. "Sustainable Tourism Indicators in Achieving Economic, Social, Cultural and Environmental Values: Presenting Solutions for the Devastating Effects." *Human & Environment* 17(3): 25-39. doi: https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625532.1398.17.3.3.5.
- NTC. 2018. Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni". Italy, Rome: Italian Goverment.
- O.P.C.M.3362. 2003. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (in Italian)."
- Quinn, N. L. 2017. "A Seismic Assessment Procedure for Historic Structures." Thesis (Doctoral), University College London.
- Schueremans, Luc, and Els Verstrynge. 2008. "Use of reliability methods for evaluating safety of historic structures." In *Structural analysis of historical constructions: Preserving Safety and Significance, Two Volume Set*. Taylor & Francis Group, London: 1321-1329.
- Torelli, Giacomo, Dina D'Ayala, Michele Betti, and Gianni Bartoli. 2020. "Analytical and numerical seismic assessment of heritage masonry towers." *Bulletin of Earthquake Engineering* 18(3): 969-1008. doi: https://doi.org/10.1007/s10518-019-00732-y.

نحوه ارجاع به این مقاله

غلامی، سمیه، و فرهاد آخوندی. ۱۴۰۲. ارزیابی ایمنی لرزه‌ای خانه‌های تاریخی شهر تبریز مطابق دستورالعمل‌های DPCM ایتالیا، مورد مطالعاتی: خانه علی مسیو. *نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر* ۱۶(۴۴): ۲۱۱-۲۲۲.

DOI: 10.22034/AAUD.2023.344334.2676

URL: https://www.armanshahrjournal.com/article_184198.html

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open- access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/