

ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای خانه تاریخی کلانتر شهر تبریز مطابق دستورالعمل‌های ایتالیا

سمیه غلامی^۱، فرهاد آخوندی^{۲*}

^۱ کارشناسی ارشد استحکام بخشی بناهای تاریخی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز

^۲ استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹، بازنگری: ۱۴۰۱/۵/۱۳، پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۵، نشر آنلاین: ۱۴۰۱/۶/۵

چکیده

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای بناهای تاریخی نقش کلیدی در حفاظت و ایمنی میراث معماری ایفا می‌کند و امکان طراحی و برنامه‌ریزی روش‌های حفاظتی را فراهم می‌کند. امروزه از روش‌ها و دستورالعمل‌های مختلفی جهت ارزیابی لرزه‌ای بناهای موجود استفاده می‌شود، اما استفاده از آن‌ها برای بناهای تاریخی مشکلاتی به همراه دارد. روابط مکانیکی ساده‌شده‌ای (محاسبات دستی) که کشور ایتالیا در دستورالعمل‌های این کشور برای ارزیابی و کاهش خطر لرزه‌ای بناهای تاریخی ارائه داده است روشی آسان، سریع و کاربردی جهت ارزیابی لرزه‌ای بناهای تاریخی است. در این مطالعه پژوهشی ارزیابی لرزه‌ای خانه تاریخی کلانتر با استفاده از روش موجود در آیین‌نامه ایتالیا برای بناهای تاریخی انجام شده است و راستی آزمایی نتایج با استفاده از تحلیل عددی بنا در نرم‌افزار 3Muri انجام شده است. نتایج نشان داد این بنا در حالت حد نهایی (Ultimate Limit State (SLU)) ایمنی کافی در برابر شرایط لرزه‌ای منطقه را ندارد، اما در حالت حد آسیب‌پذیری (Damage Limit State (SLU)) ایمنی مناسبی دارد. نتایج هر دو روش ارزیابی با همدیگر هم‌خوانی داشتند، اما مقادیر شاخص ایمنی و مقاومت برشی حاصل از محاسبات دستی کمتر از مقادیر به دست آمده از طریق تحلیل عددی بودند، که محافظه‌کاری روش اول را نشان می‌دهند. به‌طور کلی می‌توان روش تحلیل مطابق روابط مکانیکی ارائه شده در دستورالعمل ایتالیا را به‌عنوان روشی سریع، آسان، کم‌هزینه و کاربردی جهت بررسی اولیه وضعیت ایمنی لرزه‌ای بناهای تاریخی معرفی کرد.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی لرزه‌ای، خانه کلانتر، بناهای تاریخی، دستورالعمل ایتالیا، 3Muri.

۱- مقدمه

فرهنگی موردنیاز است. حفاظت از میراث فرهنگی باید ظرفیت ماندگاری آن‌ها در طول زمان در برابر پوسیدگی، مخاطرات طبیعی و حوادث تصادفی را تضمین کند، بدون این‌که تا حد امکان اصالت آن‌ها از بین برود (Castori و همکاران، ۲۰۱۸).

در کشور ایران و سایر کشورهای جهان آیین‌نامه‌هایی جهت ارزیابی بناهای موجود تنظیم شده‌اند، که می‌توان به دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (۱۳۹۲) آیین‌نامه ۲۸۰۰ (آیین‌نامه ۲۸۰۰، ۱۳۹۳) در ایران و آیین‌نامه‌های موجود ایالات متحده، آژانس فدرال مدیریت اضطراری (FEMA) و انجمن مهندسی عمران آمریکا (ASCE)^۲ شامل FEMA273 (FEMA273، ۱۹۹۷)، FEMA356 (FEMA356، ۲۰۰۰)، FEMA 356، ASCE41-13 (ASCE41-13 2013)، ASCE 41-17 (ASCE41-17) اشاره کرد.

با افزایش توجه به حفاظت از سازه‌های بنایی تاریخی، نیاز مبرمی به راهبردهای جدید برای طبقه‌بندی و تحلیل سازه‌های بنایی تاریخی و عناصر سازه‌ای مانند دیوارها، طاق‌ها، ستون‌ها و تکیه‌گاه‌ها و سایر عناصر غیرسازه‌ای به‌وجود آمده است. ارزیابی‌های صورت گرفته پس از زمین‌لرزه‌های اخیر، آسیب‌پذیری بالای برخی از انواع سازه‌های تاریخی مانند مساجد، کاخ‌ها و برج‌ها را نشان می‌دهد. همچنین وقوع زلزله‌ها ثابت کرده‌اند که مداخلات استحکام بخشی اتخاذشده در سال‌های اخیر تهاجمی و گاهی غیر مؤثر بوده و آسیب‌پذیری این سازه‌ها را افزایش داده‌اند. بنابراین، روش‌های مناسب تحلیل و روش‌های راستی‌آزمایی برای ارزیابی لرزه‌ای و طراحی مداخلات، با هدف کاهش خطر برای میراث

2. American Society of Civil Engineers

1. Federal Emergency Management Agency

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۴۴۱۳۰۱۵۶

آدرس ایمیل: s.gholami@tabriziau.ac.ir (س. غلامی)، f.akhoundi@tabriziau.ac.ir (ف. آخوندی).

Torelli و همکاران در سال ۲۰۲۰ به ارزیابی لرزه‌ای برج کوگننسی^{۱۱} واقع در شهر جیمینانو^{۱۱} ایتالیا، براساس سه سطح ارزیابی ارائه شده در دستورالعمل‌های ایتالیایی پرداختند. نتایج مطالعه حاکی از آن بود، حالت‌های خرابی کلی^{۱۲} خرابی کلی که در اثر تنش‌های متمرکز محلی اتفاق می‌افتند تنها با انجام تحلیل-های استاتیکی ساده شده و کینماتیکی مشخص نمی‌شوند بلکه تحلیل کلی جهت پیش‌بینی دقیق عملکرد لرزه‌ای این گونه سازه‌ها نیاز است.

از آنجایی که در کشور ما دستورالعملی مبنی بر ارزیابی آسیب-پذیری لرزه‌ای بناهای تاریخی وجود ندارد، در این مقاله ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای خانه تاریخی کلانتر در حالت حد نهایی SLU^{۱۳} (زلزله‌های با دوره بازگشت ۱۰ درصد در ۵۰ سال- زلزله طرح) و حالت حد آسیب‌پذیری SLD^{۱۴} (زلزله‌های با دوره بازگشت ۵۰ درصد در ۵۰ سال- زلزله بهره‌برداری) مطابق دستورالعمل‌های کشور ایتالیا (DPCM، ۲۰۰۵) برای بناهای تاریخی به منظور راستی‌آزمایی سطح اول این دستورالعمل صورت گرفته است.

خانه و باغ کلانتری مربوط به دوره قاجار است که در تبریز- خیابان عباسی واقع شده است و در تاریخ ۲۷ مرداد ۱۳۸۲ با شماره ثبت ۹۷۱۲ به‌عنوان یکی از آثار ملی ایران به ثبت رسیده است (شکل (۱)).



شکل ۱- تصویری از خانه تاریخی کلانتر (اثر دست استاد شکبیا)

این خانه و باغ تقریباً از سال ۱۳۶۰ متروکه رها شده است و ضلع شمالی آن تخریب شده است. عملیات مرمت و استحکام بخشی این بنا حدود سه سال است که آغاز شده است.

(Eurocode8، 2017)، آیین‌نامه مربوط به اتحادیه اروپا (Eurocode8، 2005، 2005) EC8 و آیین‌نامه نیوزیلند جهت ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، توسط انجمن مهندسی زلزله نیوزیلند (New Zealand Society for Earthquake، ۲۰۱۶).

هیچ‌یک از دستورالعمل‌های ذکر شده شامل مقررات خاصی برای ارزیابی بناهای تاریخی نیستند و استفاده از ASCE 41-17 (ASCE41-17، ۲۰۱۷) و EC8 (Eurocode8، ۲۰۰۵) برای سازه-های بنایی تاریخی، مورد انتقاد گسترده قرار گرفته است. آیین‌نامه لرزه‌ای ایتالیا (Order of the President of the Council of Ministers (OPCM، ۲۰۰۵)) مقرراتی را برای ارزیابی لرزه‌ای بناهای تاریخ از سال ۱۹۹۰ در نظر گرفته است. علاوه بر این، در سال ۲۰۰۷، دستورالعمل‌های ارزیابی و کاهش خطر لرزه‌ای بناهای تاریخی (DPCM، ۲۰۰۵؛ DPCM، ۲۰۱۱) در ایتالیا جهت پیشرفت رویکرد موجود در OPCM 3431 (OPCM، ۲۰۰۵) برای بناهای تاریخی معرفی شد. این دستورالعمل‌ها شامل مقرراتی جهت محافظت از آثار هنری و تلاش برای مقابله با عدم شناخت مشخصات مصالح یک بنای تاریخی است که یک روش تجزیه و تحلیل را بر اساس سه سطح مختلف ارزیابی، پیشنهاد می‌کنند. سطح اول با هدف ارزیابی شاخص ایمنی لرزه‌ای سازه با استفاده از مدل‌های تحلیلی ساده شده بر اساس تعداد محدودی از پارامترهای هندسی و مکانیکی است. سطح دوم بر اساس یک رویکرد کینماتیکی^۳ انجام شده برای تجزیه و تحلیل مکانیسم‌های فروپاشی محلی^۴ است، سطح سوم این ارزیابی بر اساس ارزیابی کلی^۵ سازه به صورت عددی صورت می‌گیرد و نسبت به دو سطح دیگر نتایج قابل اعتمادتری ارائه می‌دهد.

Casapulla و همکارانش در سال ۲۰۱۸، ارزیابی لرزه‌ای کاخ پله‌لا^۶ واقع در ناپل^۷ ایتالیا را براساس سطح اول و سطح سوم ارزیابی ارائه شده در دستورالعمل‌های ایتالیا برای بناهای تاریخی انجام دادند، نتایج نشان داد که سطح اول ارزیابی ارائه شده (ارزیابی بر اساس روابط ساده شده) مقادیر محافظه کارانه تری ارائه می‌دهد. در سال ۲۰۱۷ Betti و همکارانش بر اساس دستورالعمل‌های ایتالیایی، ارزیابی خطر لرزه‌ای موزه واساری^۸ در شهر آرزو^۹ ایتالیا را انجام دادند، ارزیابی کلی بنا، در نرم‌افزار TREMURI انجام شد، نتایج به‌وضوح نیاز به انجام تحلیل محلی به همراه تحلیل‌های کلی را نشان می‌داد. پس از مورد بحث قرار دادن نتایج آن‌ها بر لزوم تلفیق هر سه سطح ارزیابی تأکید کردند.

9. Arezzo
10. Cugnanesi
11. Gimignano
12. Global collapse modes
13. Ultimate Limit State
14. Damage Limit State

3. Kinematic method
4. Local collapse mechanism
5. Global
6. Pelella
7. Naples
8. Vasari

مصالح مورد استفاده در ساخت این بنا همچون سایر بناهای دوره قاجار چوب، آجر و سنگ و گچ می باشد. پوشش طبقه همکف طاق آجری و طبقه اول چوبی (شکل (۳)) است. همچنین بنا دارای سرستون های گچی، قاب بندی های آجری و کاشی کاری هفت رنگ است. حدود ۷۰ سانتی متر از دیوارهای خارجی بنا در طبقه همکف به صورت تفلیسی (دیوار چینی با استفاده از ترکیب سنگ بادی و آجر (شکل (۴)) اجرا شده است.

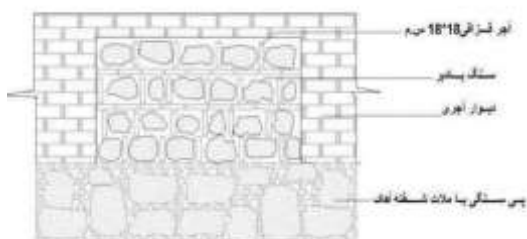


(الف)



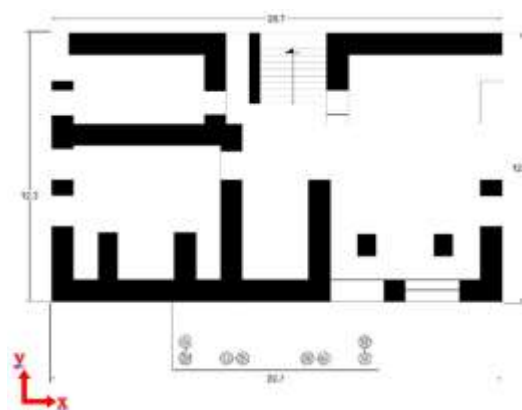
(ب)

شکل ۳- الف) سقف طبقه همکف، ب) سقف طبقه اول

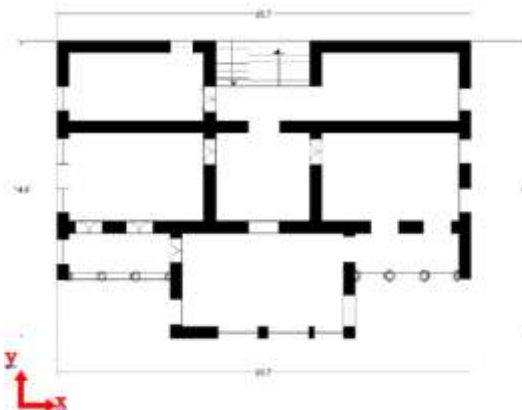


شکل ۴- جزئیات دیوار چینی تفلیسی

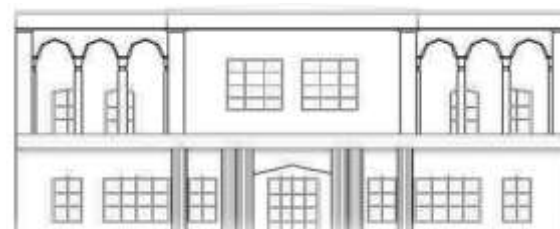
پلان این خانه کاملاً قرینه و همانند سایر بناهای دوره قاجار تقارن به طور کامل در این خانه رعایت شده است. طبقه همکف شامل یک ایوان با چهار جفت ستون، یک ورودی به عنوان هشتی، یک دهلیز، دو اتاق جانبی با الگوی سه دری به عنوان نشیمن و دو اتاق کشیده با ابعاد ۶×۳ پشت اتاق های نشیمن که به عنوان آشپزخانه استفاده می شده قرار گرفته است. پله های ارتباطی طبقه همکف به اول در انتهای دهلیز واقع شده است. طبقه اول نیز شامل یک طنابی، یک دهلیز و چهار اتاق می باشد (طنابی روی محور اصلی بنا قرار دارد و توسط دو درب به ایوان های جانبی متصل است) (شکل (۲)).



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲- پلان طبقات خانه تاریخی کلانتر: الف) پلان طبقه همکف، ب) پلان طبقه اول، ج) نما

۲- روش کار

همان طور که گفته شد، این مقاله با هدف ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌ای خانه تاریخی کلانتر مطابق دستورالعمل‌های ایتالیا (DPCM، ۲۰۰۵) برای ارزیابی بناهای تاریخی و همچنین راستی آزمایی روابط ساده شده سطح یک این دستورالعمل توسط مدل-سازی عددی انجام می‌شود.

۲-۱- سطح اول ارزیابی (محاسبات دستی)

ارزیابی بنا در این سطح بر اساس روابط مکانیکی ساده شده (روابط مبتنی بر نیرو) که در سطح اول ارزیابی دستورالعمل‌های ایتالیا (DPCM، ۲۰۰۵) برای خانه‌ها، کاخ‌ها و ویلاها ارائه شده است انجام گرفته است. فرض اصلی این است که دستیابی به حالات حد نهایی و آسیب پذیری ناشی از شکست درون صفحه دیوارها است. اولین پارامتری که محاسبه می‌شود مقاومت برشی در هر طبقه در راستاهای مختلف است، که مطابق رابطه (۲) محاسبه می‌گردد:

$$F_i = \frac{\mu_i \xi_i A_i \tau_i}{\beta_i} \quad (2)$$

در این رابطه A مساحت دیوارهای مقاوم در برابر نیروی برشی در جهت x و y در طبقه i است که در راستای x و y طبقه همکف به ترتیب برابر $54/2 \text{ m}^2$ و $35/3 \text{ m}^2$ و در راستای x و y طبقه اول به ترتیب برابر $30/8 \text{ m}^2$ و $18/6 \text{ m}^2$ می‌باشند. (β) ضریب نامنظمی پلان است که با فاصله مرکز جرم و مرکز سختی رابطه مستقیم و با فاصله مرکز سختی از دورترین دیوار در راستای مربوطه رابطه عکس دارد، در این بنا ابتدا مرکز جرم و سختی راستاهای مختلف هر دو طبقه محاسبه گردیده است، و سپس مقادیر ۱ و $1/0.8$ به ترتیب برای راستای x و y طبقه همکف و مقادیر $1/14$ و $1/12$ به ترتیب برای راستای x و y طبقه اول حاصل شده است. μ همگنی سختی و مقاومت دیوارهای بنایی است مقدار این پارامتر در راستاهای x و y طبقات همکف و اول به ترتیب برابر با 0.8 ، 0.86 ، 0.8 و 0.87 محاسبه گردیدند، (ξ) پارامتر مربوط به گسیختگی غالب پایه‌ها است که برای گسیختگی‌های برشی مقدار آن ۱ و برای گسیختگی‌های فشاری و خمشی (معمولاً پایه‌های لاغر یا بارهای قائم ناچیز) 0.8 در نظر گرفته می‌شود.

در مطالعه حاضر، گسیختگی برشی فرض شده است و مقدار این پارامتر معادل ۱ در نظر گرفته شده است. τ_{di} مقاومت برشی طراحی طبقه i است که تابعی از τ (جدول (۱)) و تنش نرمال میانگین است. در محاسبه این پارامتر ضریب آگاهی نیز اعمال می‌شود که با توجه به سطح شناخت از این بنا ضریب آگاهی

ستون‌های ایوان طبقه همکف چوبی می‌باشند و دور آن‌ها با آجر پوشش داده شده است و بر روی آجر اندود گچ و آهک کار شده است. همچنین پی بنا با ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر با ترکیبی از سنگ و ملات شفته آهک (ترکیبی از آهک و خاک درشت‌دانه) ساخته شده است. از روش‌های رایج جهت تعیین مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری واحد آجری انجام تست جک مسطح می‌باشد. در این روش از دو جک مسطح که به موازات همدیگر به فاصله چهار تا شش واحد بنایی در داخل شکاف‌هایی که از قبل به این منظور تعبیه شده‌اند قرار می‌گیرند. ابتدا فاصله بین دو شکاف اندازه‌گیری می‌شود و سپس توسط یک پمپ هیدرولیکی به جک-ها فشار وارد می‌شود و تغییرات فاصله در هر مرحله از اعمال فشار توسط گیج‌هایی که بر روی دیوار نصب شده‌اند، اندازه‌گیری می‌شود. مقدار فشار اعمالی توسط جک‌ها در این آزمایش تا کمتر از نصف مقاومت مصالح، کافی است. تنش فشاری در هر گام طبق رابطه (۱) محاسبه می‌گردد. کرنش نیز از تقسیم جابه‌جایی ثبت شده بر طول گیج به دست می‌آید. مدول الاستیسیته از شیب منحنی تنش کرنش بین ۵ درصد و ۳۳ درصد مقاومت فشاری محاسبه می‌گردد.

$$F_m = K_m \cdot K_a \cdot P \quad (1)$$

در این رابطه K_m ثابت بی‌بعد وابسته به خصوصیات سختی و هندسی جک مسطح، K_a نسبت سطح اندازه گرفته شده جک به متوسط سطح شکاف، P فشار جک که لازم است تا فاصله نقاط نصب گیج به فاصله اولیه برگردند. جهت تعیین مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته مصالح بنایی تشکیل دهنده دیوارهای این بنا آزمایش‌هایی توسط Aminifar و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از تست جک مسطح انجام شده است که از آن‌ها در این مطالعه استفاده می‌شود و سایر خصوصیات مکانیکی از آیین‌نامه ۳۶۰ و مبحث ششم مقررات ملی استخراج شده‌اند (جدول (۱)).

جدول ۱- مقادیر مشخصات مکانیکی خانه تاریخی کلانتر

۱۲۷۶	مدول الاستیسیته واحد آجرکاری (Mpa)
۵۱۰/۴	مدول برشی (Mpa)
۱/۳۶	مقاومت فشاری (Mpa)
۱۸۰۰	وزن مخصوص واحد آجرکاری با آجر فشاری و ملات ماسه آهک (kg/m^3)
۰/۰۹	تنش برشی (τ_0) (Mpa)
۱۷۵۰	وزن مخصوص واحد آجر کاری با آجر فشاری و ملات گچ و خاک (kg/m^3)
۵۰۰	وزن مخصوص تیر چوبی (kg/m^3)
۱۶۰۰	وزن مخصوص کاه گل (kg/m^3)

در این رابطه γ ضریب اهمیت بنا است که مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ معادل ۱/۲ در نظر گرفته شده است، a_g شتاب مربوط به حالت حدی موردنظر است که برای شهر تبریز در حالت حدی نهایی معادل ۳/۴۳ (۰/۳۵g) (آیین‌نامه ۲۸۰۰، ۱۳۹۳) و در حالت حد آسیب‌پذیری ۱/۳۷ (۰/۱۴g) (NTC، ۲۰۰۸) می‌باشد و پارامتر S که ضریب مربوط به خاک است مطابق NTC 08^{۱۵} (NTC، ۲۰۰۸) معادل ۱/۱۷ در نظر گرفته می‌شود. مقدار شاخص ایمنی محاسبه شده این بنا در حالت حد نهایی معادل ۰/۴۷۶ و در حالت حد آسیب‌پذیری معادل ۱/۱۹۵ حاصل شد.

۲-۲- سطح سوم ارزیابی (مدل‌سازی عددی)

تحلیل عددی بنای موردنظر بر اساس سطح سوم دستورالعمل ایتالیا 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 جابه‌جایی استفاده می‌کند و کل نیروی افقی موردنیاز جهت جابه‌جایی بنا تا جابه‌جایی هدف را تعیین می‌کند. به سبب انجام تجزیه و تحلیل چندمرحله‌ای، منحنی بار افزون به دست می‌آید که در آن هر گام با یک جابه‌جایی و برش مربوط به آن تعریف می‌شود که روشی مناسب برای سازه‌های بنایی است. به دلیل رویکرد مبتنی بر جابه‌جایی، رفتار غیرخطی مصالح چنین سازه‌هایی را می‌توان در مقایسه با روش مبتنی بر نیرو، واقعی‌تر در نظر گرفت.

نرم‌افزار 3Muri از روش FME^{۱۶} برای مش‌بندی مدل بنا استفاده می‌کند. روش قاب معادل^{۱۷} تنها با چند عنصر کلان^{۱۸} مش‌بندی را انجام می‌دهد و دیوارهای بنا را به‌عنوان قاب‌هایی که از سه نوع ماکرو المان مختلف، شامل: پایه‌ها^{۱۹}، تیرها^{۲۰} و عناصر صلب^{۲۱} در نظر می‌گیرد. نقطه قوت این نرم‌افزار ارائه نتایج کامل‌تر و جامع‌تر در مورد رفتار واقعی سازه نسبت به اقدامات لرزه‌ای در عین ساده‌سازی می‌باشد. این نرم‌افزار دارای سرعت تحلیل بالایی بوده و در عین حال مشکل همگرایی ندارد، بنابراین می‌توان در مدت زمان کمی تعداد زیادی تحلیل استاتیکی غیرخطی انجام داد و نتایج حاصل را موردبررسی قرار داد. در بسیاری از پروژه‌های مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی که حجم سازه بزرگ است، استفاده از نرم‌افزار 3Muri بسیار مفید خواهد بود، چراکه سرعت مدل‌سازی و تحلیل در آن بالا بوده و می‌توان در مدت زمان کوتاه، طرح‌های مختلف مقاوم‌سازی لرزه‌ای را بر روی سازه پیاده کرد، اثرات آن‌ها را موردبررسی قرار داد و طرح مطلوب را انتخاب کرد.

معادل ۱/۲۳ می‌باشد. τ_{di} برای هر طبقه، مطابق رابطه (۳) محاسبه می‌گردد.

$$\tau_{di} = \tau_0 \sqrt{\frac{\sigma_0}{1/5\tau_0} + 1} \quad (3)$$

مقادیر (τ_{di}) در هر دو جهت x و y طبقه همکف ۱۰۷/۵ کیلونیوتن و در طبقه اول به ترتیب ۹۰ کیلونیوتن و ۹۰/۷ کیلونیوتن حاصل شد. سپس مقاومت برشی در جهات x و y محاسبه گردید که به ترتیب برابر ۴۶۶۹/۳ و ۳۰۲۵/۸ کیلونیوتن در طبقه همکف و ۱۹۵۰/۳ و ۱۳۱۷/۴ کیلونیوتن در طبقه اول بودند. لازم به ذکر است کم‌ترین مقاومت برشی به دست آمده به‌عنوان مقاومت برشی اصلی در نظر گرفته می‌شود، در خصوص این بنا مقاومت برشی راستای y طبقه اول $F_{slu} = 1317/4 \text{ kN}$ به‌عنوان مقاومت برشی بنا، در نظر گرفته شده است. بعد از محاسبه مقاومت برشی بر اساس رابطه (۴) شتاب قابل محاسبه است:

$$a = \frac{q F}{e^* M C_T} \quad (4)$$

در این رابطه q ضریب رفتار بنا می‌باشد که مطابق دستورالعمل ایتالیا برابر ۳ در نظر گرفته می‌شود، M و e^* به ترتیب جرم مؤثر لرزه‌ای و نسبت جرم مشارکت‌کننده هستند که در این مطالعه نسبت جرم مشارکت‌کننده با فرض شکست یکنواخت بنا معادل ۰/۸۹ محاسبه شده است، C_T طیف نرمال شده است که حاصل نسبت بین طیف پاسخ الاستیک و شتاب زمین که اثرات ساختگاهی در آن لحاظ شده است، می‌باشد 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، ۲۰۰۸) برای حالت حد نهایی معادل ۲/۵ و حالت حد آسیب‌پذیری معادل ۲/۴۹ در نظر گرفته شد. بر اساس مقادیر گفته شده، طبق رابطه (۴) مقدار شتاب در حالت حد نهایی معادل $a = 2/29 \text{ N/Kg}$ و در حالت حد آسیب‌پذیری معادل $a_{SLD} = 2/3 \text{ N/Kg}$ محاسبه گردید پس از محاسبه پارامترهای فوق می‌توان شاخص ایمنی لرزه‌ای بنا را در حالات حدی موردنظر مطابق رابطه (۵) محاسبه کرد:

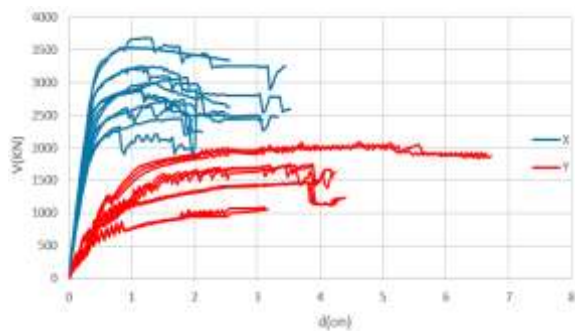
$$I_S = \frac{a}{\gamma_{1S} a_g} \quad (5)$$

در صورتی که مقدار شاخص ایمنی بزرگ‌تر از یک باشد بنا، ایمن بوده و اگر کوچک‌تر از یک باشد بنا ایمنی لازم را ندارد.

19. Pier
20. Spandrel beam
21. Nodes

15. Technical standards for constructions
16. Frame by Macro-Element
17. Equivalent Frame Model
18. Macro

$\pm y$ و $\pm x$ در دو حالت بارگذاری مختلف بدون خروج از مرکزیت و خروج از مرکزیت‌های تصادفی مرکز جرم انجام می‌دهد. نمودار نتایج مربوط به تحلیل بار افزون^{۲۲} بنا در نرم‌افزار تری موری در شکل (۶) نمایش داده شده است، محور افقی این نمودار جابه‌جایی را برحسب سانتی‌متر و محور عمودی مقاومت برشی را برحسب دکانیوتن^{۲۳} نشان می‌دهد. در این نمودار منحنی‌های پوش‌آور راستای x با رنگ آبی و منحنی‌های پوش‌آور راستای y با رنگ قرمز نشان داده شده است. مطابق این نمودار بنا در راستای x بیشترین مقاومت برشی را دارد. همچنین براساس نتایج این تحلیل شاخص ایمنی خانه کلانتر در حالت حد نهایی $\alpha = 0.758$ و در حالت حد آسیب‌پذیری برابر $\alpha = 1/31$ به دست آمده است (α همان I_s یا شاخص ایمنی لرزه‌ای است). همچنین مقاومت برشی بنا در تحلیل بار افزون معادل $3143/1$ کیلونیوتن به دست آمد.

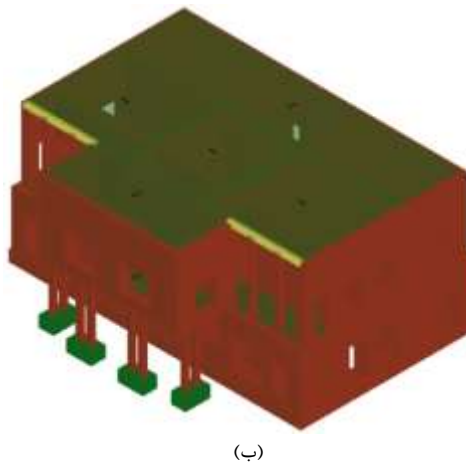
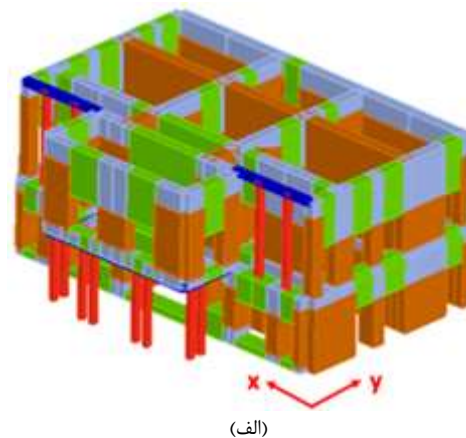


شکل ۶- نتایج تحلیل بار افزون خانه تاریخی کلانتر

۳- یافته‌ها

بر اساس محاسبات انجام شده در سطح یک ارزیابی شاخص ایمنی لرزه‌ای بنا در حالت حد نهایی (زلزله‌های با دوره بازگشت ۱۰ درصد در ۵۰ سال) برابر 0.476 و در حالت حد آسیب‌پذیری (زلزله‌های با دوره بازگشت ۵۰ درصد در ۵۰ سال) معادل $1/195$ هستند. همچنین مقاومت برشی بنا در این سطح از ارزیابی معادل $1317/44$ کیلونیوتن می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل عددی (تحلیل بار افزون) شاخص ایمنی لرزه‌ای در حالات حدی نهایی و آسیب‌پذیری به ترتیب معادل 0.758 و $1/31$ و همچنین مقاومت برشی برابر $3143/17$ کیلونیوتن حاصل شد. نتایج مقایسه تحلیل لرزه‌ای هر دو سطح ارزیابی (محاسبات دستی و تحلیل بار افزون) در جدول (۲) نشان داده شده است. بر اساس این مقایسه، شاخص ایمنی لرزه‌ای به دست آمده از طریق محاسبات دستی (نسبت بین ظرفیت به نیاز لرزه‌ای) کمتر از (در حالت حد نهایی 0.62 و در حالت حد آسیب‌پذیری 0.91) شاخص ایمنی به دست آمده از طریق تحلیل بار افزون است. همچنین مقاومت برشی

مطابق مشخصات مکانیکی ارائه شده در جدول (۱) خانه تاریخی کلانتر در نرم‌افزار تریموری مدل‌سازی و مش‌بندی شد (شکل (۵)). همچنین نرم‌افزار تریموری این امکان را فراهم آورده است که سقف‌ها را به صورت صلب و با تعریف پوشش به عنوان المان محدود و ویژگی‌های 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.



شکل ۵- (الف) مدل سه‌بعدی خانه تاریخی کلانتر در نرم‌افزار تری موری، (ب) مش‌بندی انجام شده توسط نرم‌افزار تری موری

تحلیل بار افزون با در نظر گرفتن دو سیستم نیروی افقی اعمال شده 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 مثلی متناسب با شکل مود اول در تحلیل بار افزون انجام شد. هر دو الگوی بار اعمال شده متناسب با توزیع جرم بودند که مطابق با آیین‌نامه ایتالیا (NTC، ۲۰۰۸) پیشنهاد شده است. 3muri، ۲۴ تحلیل بار افزون را در جهت x

Aminifar E, Akhouni F, Lourenco PB, "Verification of Mechanical Properties of Historical Brick Masonry Walls with Masonry Quality Index Method in Iran", International Journal of Architectural Heritage, 2022, 1-11.

ASCE41-13, "Seismic evaluation and retrofit of existing buildings", American Society of Civil Engineers, 2013.

ASCE41-17, ASCE Standard, ASCE/SEI, 41-17: "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings", American Society of Civil Engineers, 2017.

Betti M, Borghini A, Ciavattone A, Boschi S, Monte ED, Vignoli A, "Assessment of the seismic risk of the museum of Casa Vasari in Arezzo (Italy)", International Journal of Masonry Research and Innovation, 2017, 2, 107-133.

Casapulla C, Argiento LU, Maione A, "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, 2018, 16, 2809-2837.

Castori G, Corradi M, De Maria A, Sisti R, Borri A, "A numerical study on seismic damage of masonry fortresses", Bulletin of Earthquake Engineering, 2018, 16, 4561-4580.

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 on 2003.

DPCM 2011, 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 on 2003.

EUROCODE8 2005, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance-part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels: European Committee for Standardization.

FEMA273 1997, Building Seismic Safety Council. Federal Emergency Management Agency Washington, DC.

FEMA356 2000, FEMA 356 Prestandard. US Federal Emergency Management Agency Washington, DC, USA.

Formisano A, Marzo A, "Simplified and refined methods for seismic vulnerability assessment and retrofitting of an Italian cultural heritage masonry building", Computers & Structures, 2017, 180, 13-26.

New Zealand Society For Earthquake E, "Assessment and improvement of the structural performance of buildings in earthquakes: prioritisation, initial evaluation, detailed assessment, improvement measures : recommendations of a NZSEE study group on earthquake risk buildings, [Wellington, N.Z.], New Zealand Society for Earthquake Engineering, 2006.

NTC 2008, Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni». Italian Government: Rome, Italy.

به دست آمده از طریق محاسبات دستی کمتر از (۰/۴۱) مقاومت برشی حاصل از تحلیل کلی بنا می‌باشد. بنابراین، سطح تحلیل یک (محاسبات دستی) نسبت به سطح دیگر (تحلیل بار افزون) محافظه کارانه تر به نظر می‌رسد، زیرا برای توصیف رفتار سازه ساده سازی‌های اساسی را در نظر می‌گیرد: ظرفیت لرزه‌ای ساختمان، در واقع، بر حسب نیروها اندازه گیری می‌شود تا جابه جایی، به طوری که رفتار غیرخطی سازه به درستی در نظر گرفته نشده است (جدول (۲)).

جدول ۲- مقایسه نتایج حاصل از دو روش ارزیابی

مقاومت برشی (KN)	شاخص ایمنی لرزه‌ای در حالت حد آسیب پذیری	شاخص ایمنی لرزه‌ای در حالت حد نهایی	مقاومت برشی (KN)
۱۳۱۷/۴	۱/۱۹۵	۰/۴۷۶	سطح ۱
۳۱۴۳/۱	۱/۳۱۰	۰/۷۵۸	سطح ۳
٪۴۱	٪۹۱	٪۶۲	سطح ۱ سطح ۳ × 100

۴- نتیجه گیری

خانه تاریخی کلاتر با استفاده از دو روش ارزیابی ارائه شده در دستورالعمل‌های ایتالیا جهت ارزیابی و کاهش خطر لرزه‌ای بناهای تاریخی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس یافته‌های حاصل از هر دو سطح ارزیابی، این بنا در حالت حد نهایی ایمنی لازم را در برابر شرایط لرزه‌ای منطقه ندارد. اما در حالت حد آسیب پذیری ایمنی می‌باشد. در واقع می‌توان گفت نتیجه داده‌های حاصل از هر دو سطح ارزیابی انجام شده با هم همخوانی دارند. از جمله مزایای استفاده از محاسبات دستی این دستورالعمل (سطح یک) عدم نیاز به اطلاعات دقیق از خصوصیات مکانیکی مصالح و انجام تست‌های مخرب و نیمه مخرب است. هر چند نتایج این روش محافظه کارانه تر از روش تحلیل عددی می‌باشد اما روشی سریع، کم هزینه، آسان و کاربردی جهت تحلیل و بررسی وضعیت ایمنی بناهای تاریخی می‌باشد. اگرچه نتایج به دست آمده از این روش با نتایج سایر پژوهشگران همچون (Formisano و Marzo) و (Casapulla) Casapulla، و همکاران، (۲۰۱۸) همخوانی دارد، اما توصیه می‌شود پژوهش‌های بیشتری جهت به کارگیری این روش برای بناهای بومی انجام شود.

۵- مراجع

آیین نامه ۲۸۰۰، آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (ویرایش ۴) مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳.
دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (کد ۳۶۰). معاونت نظارت راهبردی امور نظام فنی، ۱۳۹۲، ۴۷۷.

OPCM 2005, Order of the President of the Council of Ministers. Official Gazette of Italian Republic no. 107 of 05/10/2005.

Torelli G, D'ayala D, Betti M, Bartoli G, "Analytical and numerical seismic assessment of heritage masonry towers", Bulletin of Earthquake Engineering, 2020, 18, 969-1008.

EXTENDED ABSTRACT

Seismic Risk Assessment of Historic House of Kalantar According to Italian Guideline

Somaye Gholami^a, Farhad Akhoundi^{b,*}

^a Historical Buildings Islamic Art University of Tabriz, Tabriz, Iran

^b Architecture and Urbanism Department, Islamic Art University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 18 February 2022; **Review:** 04 August 2022; **Accepted:** 27 August 2022

Keywords:

Seismic assessment, Kalantar house, Historical buildings, Italian guideline, 3M.

1. Introduction

The importance of seismic vulnerability of historic buildings in Tabriz and the high seismic risk in this region, such as the recent Turkmenchay earthquake in 2019 (5.5 magnitude earthquake), justifies the study of seismic vulnerability of historical buildings based on a principled method specific to historical buildings. Since there is no guideline in Iran to assess the seismic vulnerability of historic buildings, therefore, the present study has aimed to evaluate the seismic vulnerability assessment of the Kalantar historic house in Ultimate Limit State (SLU) and Damage Limit State (SLD) based on the Level1 and Level3 of Italian guidelines for historical monuments (DPCM, 2005), by emphasizing on the reliability and the limits of the simplified mechanical model (Level 1). The first level of evaluation (LV1), is oriented to highlight, on a regional scale, critical situations in terms of seismic vulnerability and to provide a classification of risk and a priority list for further investigations aimed at the conservation of the architectural heritage. Adopting a force-based approach, this level relies on a simplified structural model that requires integrating a limited number of geometrical and mechanical parameters with qualitative data derived from visual tests, construction features, and stratigraphic surveys. The LV3 is based on the global structural response of the building in order to define the values of acceleration leading the structure to each limit-state. In this case, the displacement-based approach is adopted, for which the global behavior is governed by the in-plane capacity of the walls discretized in panels where the nonlinear response is concentrated. The seismic safety is evaluated for each level by an index summarizing the comparison between the expected seismic demand and the seismic capacity. It is worth noting that LV1 and LV3 are based on simple and accurate global models, respectively, which are both represented by the combined effect of floor diaphragms and the in-plane response of structural walls, so, it may be concluded that they are directly comparable.

2. Methodology

This study included the analysis of one of the historical houses of the Qajar period in Tabriz to measure its seismic safety index. This building was selected from the historical context of Tabriz (Iran). The Kalantar historic house was analyzed according to the Italian guidelines on cultural heritage (DPCM, 2005). The seismic safety index of the selected building was calculated based on the first and third levels of the guidelines. First, the seismic safety index of the building was calculated based on simplified mechanical equations in LV1 (ratio of capacity to seismic demand). 3Muri software was used to determine the seismic safety index of the building based on the third level. The analysis method in this software is based on the equivalent frame.

* Corresponding Author

E-mail addresses: s.gholami@tabriziau.ac.ir (Somaye Gholami), f.akhoundi@tabriziau.ac.ir (Farhad Akhoundi).

2.1. Level 1 Analyses

The evaluation of the building at this level is based on the simplified mechanical relationships (force-based relationships) presented in the first level of the assessment of the Italian guidelines (DPCM, 2005) for houses, palaces, and villas. The main assumption is that the ultimate limit states are reached. And the vulnerability is caused by the in-plane failure of the walls. The first parameter that is calculated is the shear strength in each floor in different directions, which is calculated according to equation (1):

$$F_i = \frac{\mu_i \xi_i A_i \tau_i}{\beta_i} \quad (1)$$

In this equation (A), the area of walls resistant to shear force in the x and y direction on the i -th floor is equal to 54.2m² and 35.2m² in the x and y directions of the ground floor, respectively, also in the x and y directions of the first floor, it is equal to 30.28m² and 18.2m² respectively. (β) is the irregularity coefficient of the plan, which has a direct relationship with the distance of the center of mass and the center of stiffness and an inverse relationship with the distance of the center of stiffness from the farthest wall in the corresponding direction. The values of 1.08 and 1.08 were obtained for the x and y directions of the ground floor and 1.14 and 1.12 respectively for the x and y directions of the first floor. (μ) is the homogeneity of the hardness and resistance of the masonry walls. The value of this parameter in the x and y directions of the ground floor and first floors was calculated as 0.8, 0.86, 0.8, and 0.87, respectively, (ξ) is the parameter related to the dominant rupture of the piers. Which is considered to be 1 for shear ruptures and 0.8 for compressive and bending ruptures (usually thin foundations or negligible vertical loads). In the present study, shear rupture is assumed and the value of this parameter is considered equal to 1. τ_{di} is the design shear strength of the i -th floor, which is a function of τ_0 and the average normal stress. In the calculation of this parameter, the knowledge coefficient is also applied, according to the knowledge level, therefore, the knowledge coefficient is equal to 1.23. τ_{di} is calculated for each class according to equation 2.

$$\tau_{di} = \tau_0 \sqrt{\frac{\sigma_0}{1/5\tau_0} + 1} \quad (2)$$

The values of (τ_{di}) in the x and y directions of the ground floor were 107.5 kN and on the first floor were 90 kN and 90.7 kN, respectively. The values of shear strength in the x and y directions were equal to 4669.3 and 3025.8 kN respectively on the ground floor and 3. 1950 and 1317.4 kN on the first floor. It should be mentioned that the lowest shear strength obtained is considered the main shear strength, in this building, the shear strength of the y direction of the first floor = 1317.4 kN F_{slu} is considered as the shear strength of the building. After calculating the shear strength based on equation (3), the acceleration can be calculated:

$$a = \frac{q F}{e^* M C_T} \quad (3)$$

In this equation, q is the behavior factor of the building, and M and e^* are the effective seismic mass and the ratio of the participating mass, respectively, which in this study, the ratio of the participating mass with the assumption of uniform failure of the building is equal to 0.89. C_T is the normalized spectrum, which is the result of the ratio between the spectrum of elastic response and ground acceleration, in which construction effects are included, regarding the calculation of this parameter, since it is not mentioned in the internal regulations of our country, the parameter was considered according to NTC08 (NTC, 2008) for the ultimate limit state equal to 2.5 and the vulnerability limit state equal to 2.49. Finally, the acceleration values were calculated $a_{SLU} = 2.29$ N/Kg, $a_{SLD} = 2.3$ N/Kg. Therefore, according to the Italian guidelines, the seismic safety index can be calculated based on equation (4).

$$I_S = \frac{a}{\gamma_1 S a_g} \quad (4)$$

In this equation, γ : is the importance factor of the building, which according to code 2800 is equal to 1.2, a_g is the acceleration related to the desired limit state, which for Tabriz city in the ultimate limit state is equal to 3.43 (0.35g) (IRSt2800) and for damage limit state is 1.37 (0.14g) (IRSt2800), and parameter S , which is the soil coefficient, is considered equal to 1.17 according to NTC 08 (Technical standards for constructions). The calculated safety index value of this building was equal to 0.476 for ultimate limit state and 1.195 for damage limit state.

2.2. Level 3 Analyses

Numerical analysis of the building is done based on the third level of the Italian guidelines by 3Muri software. 3Muri is engineering software for seismic analysis of masonry and composite structures developed in Italy. This software uses a displacement-based analysis approach and determines the total horizontal force required to move the building to the target displacement. Based on the results, the safety index was 0.758 for the ultimate limit state and 1.31 for the damage limit state. Also, the shear strength was equal to 3143.1 kN based on pushover analysis.

3. Results and discussion

The results of both assessment levels were compared. They showed that the seismic safety indexes obtained by level1, are less than level3. Therefore, the level1 of the analysis appears to be more conservative than the other (level3), because it takes into account fundamental simplifications to describe the behavior of the structure: the seismic capacity of the building is measured in terms of forces rather than displacements; So that the non-linear behavior of the structure is not considered correctly.

4. Conclusions

The Kalantar historic house was investigated using two evaluation methods provided in the Italian guidelines to evaluate and reduction of seismic risk to cultural heritage. Based on the findings of both evaluation levels, this building was not safe against the seismic conditions of the region in the ultimate limit state. But it was safe in the damage limit state. In fact, it can be said that the results obtained from both levels of evaluation are consistent with each other. Among the advantages of using manual calculations of this instruction (level one) is not needing detailed information about the mechanical properties of materials and performing destructive and semi-destructive tests. Although the results of this method are more conservative than the numerical analysis method, it is a fast, low-cost, easy and practical method to analyze and check the safety status of historical monuments.

5. References

- 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 on 2003.
- IRST 2800 Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, 4th Revision, Building and Housing Research Center, Tehran, IRAN, 2015.
- NTC 2008, Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni». Italian Government: Rome, Italy.