مقالهٔ پژوهشی

DOI: 10.52547/ciauj.8.2.524

سال هشتم، شماره دوم – پاییز و زمستان ۱۴۰۲

عنوان ارزیابی ایمنی لرزه ای بناهای بنایی تاریخی ایران کاربرد در دوره قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰

سمیه غلامی [۱]، فرهاد آخوندی [*۲]، سید جعفر هاشمی [۳]، پائولو بی لورنسو [۴]

[۱] کارشناسی‌ارشد استحکام‌بخشی بناهای تاریخی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
[۲] دانشیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
[۳] استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.
[۴] استاد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه مینهو، گیماریش، پرتغال.
(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹)

چکیده

شهر تبریز بر روی یک گسل تکتونیکی بزرگ و فعال واقع شده است که متعلق به سیستم پیچیده‌ای است و گسل آناتولی شمالی در ترکیه را به گسل البرز در ایران متصل می‌کند. امروزه بیش از ۶۰۰ ساختمان تاریخی در تبریز شناسایی شده است که نیاز به تحلیل لرزه‌ای و حفاظت دارند. با توجه به عدم وجود دستورالعمل‌های مربوط به بناهای تاریخی، ارزیابی ایمنی لرزه‌ای این بناها به تأخیر افتاده است؛ بنابراین هدف اصلی این مطالعه ارزیابی ایمنی لرزه‌ای ساختمان‌های تاریخی با استفاده از دستورالعمل‌های ایتالیایی است و نشان می‌دهد که این رویکرد اساس یک ارزیابی درست بر اساس روش‌های علمی و محاسباتی را تأیید می‌کند. شش بنای تاریخی مربوط به دوره قاجار، به عنوان نمونه موردی انتخاب شدند. آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های مذکور با استفاده از دو سطح ارزیابی مختلف معرفی شده در دستورالعمل‌های ایتالیایی در مورد میراث فرهنگی، شامل محاسبات دستی که با استفاده از روش‌های مکانیکی انجام می شوند و تحلیل عددی بناها که با استفاده از نرم‌افزار انجام می شوند، مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، کارایی و دقت روش مکانیکی ارائه شده در سطح یک در ارزیابی ایمنی لرزه‌ای در مقایسه با نتایج تحلیل عددی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های مورد بررسی به عنوان نمونه‌های انتخاب شده از میان خانه‌های تاریخی تبریز است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که روش‌های ارزیابی به کار گرفته شده جایگزین یکدیگر نیستند؛ بلکه متعلق به دو سطح مختلف ارزیابی و قابل‌مقایسه هستند و سطح اول رویکرد محافظه‌کارانه‌ای را در نظر می‌گیرد.

واژگان کلیدی

ارزیابی ایمنی، خانه تاریخی، گایدلاین ایتالیا، تحلیل غیرخطی.

* نویسنده مسئول مکاتبات: f.akhoundi@tabriziau.ac.ir

[DOI: 10.52547/ciauj.8.2.524]

مقدمه

ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند لرزه‌خیز آلپ- هیمالیا در طول تاریخ در معرض زلزله‌های شـــدید و ویرانگر بوده اســـت (Biglari, D'Amato, & Formisano, 2021). این کشـــور یک تمدن باســـتانی اســـت که آثار و بناهای تاریخی زیادی دارد. تبریز چهارمین شهر بزرگ ایران است و حدود ۱,٤ میلیون نفر جمعیت دارد. این شهر بر روی یک گسل زمین ساختی بزرگ و فعال قرار دارد که متعلق به سیستم پیچیده‌ای است که گسل آناتولی شمالی در ترکیه را به البرز در ایران متصل می‌کند. سوابق لرزه نگاری تاریخی تبریز نشان می‌دهد این شهر تاکنون چندین زلزله ویرانگر را تجربه کرده است.

خطر لرزه‌ای بالا در تبریز لزوم ارزیابی لرزه‌ای بناهای تاریخی را توجیه می‌کند. ایتالیا تنها کشوری است که تاکنون توانسته است دستورالعملی جهت ارزیابی ایمنی بناهای تاریخی تنظیم نماید (DPCM, 2005, 2011). این دستورالعمل رویکرد جدیدی را برای ارزیابی ایمنی لرزه‌ای از طریق یک روش چندســـطحی معرفی می‌کند. DPCM فرآیند ارزیابی را بســـته به اهداف انجام می‌دهد و شامل سه سطح ارزیابی است که به شرح زیر تعریف می‌شود.

- سطح ۱ (LV1): تجزیه‌وتحلیل کیفی و ارزیابی با مدل‌های مکانیکی ساده شده،
- سطح ۲ (LV2): ارزیابی لرزه‌ای به منظور انجام مداخلات محلی در ساختمان،
- سطح ۳ (LV3): ارزیابی کلی پاسخ لرزه‌ای ساختمان.

ایمنی لرزه‌ای برای هر سطح توسط شاخصی که مقایسه بین تقاضای لرزه‌ای مورد انتظار و ظرفیت لرزه‌ای را خلاصه می‌کند، ارزیابی می‌شـود. شـایان ذکر اسـت که LV1 و LV3 به ترتیب مبتنی بر مدل‌های کلی سـاده و دقیق هسـتند که هر دو با اثر ترکیبی دیافراگم‌های کف و پاسـخ درون‌صـفحه دیوارهای سـازه نشـان داده می‌شـوند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که آنها قابل‌مقایسـه هستند.

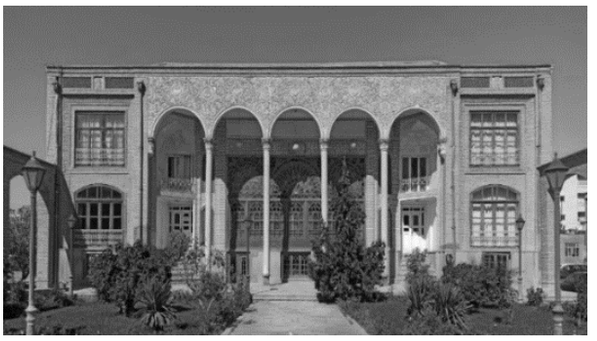
در پژوهش حاضر، شش خانه تاریخی ساخته شده در دوره قاجاریه (۱۳۰٤-۱۱۷۵) در تبریز برای بحث در مورد خطر لرزه‌ای انتخاب شده است که شامل خانه‌های بهنام، گنجه‌ای‌زاده، نفیسی، علی مسیو، شربت‌اوغلی و کلانتر می‌شود. این ساختمان‌ها بر اساس دستورالعمل‌های ایتالیایی در مورد میراث فرهنگی (DPCM, 2005, 2011)(DPCM) برای وضعیت حدنهایی، یعنی زلزله‌هایی با دوره بازگشت ٤۷۵ ساله (احتمال ۱۰ درصد تجاوز در ۵۰ سال) ارزیابی شده‌اند. همچنین میزان اعتبار رویکرد استفاده شده در سطح یک این ارزیابی نیز مورد بحث قرار گرفته است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

۱. نمونه‌های مورد مطالعه

در حال حاضر تعداد زیادی ساختمان بنایی تاریخی در بخش مرکزی تبریز شناسایی شده است. دیوارهای باربر اغلب این خانه‌ها از آجر سفالی ۲۰×۲۰×٤ سانتی‌متر و ملات آهک ساخته شده است. شش خانه بنایی تاریخی شهر تبریز شامل خانه‌های بهنام، گنجه‌ای‌زاده، نفیسی، علی مسیو، شربت‌اوغلی و کلانتر انتخاب شده (شکل ۱ و شکل ۲) و در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته اسـت. اطلاعات مربوط به خصـوصـیات مکانیکی این بناها از مطالعات پیشـین (Aminifar, Akhoundi, & Lourenço, 2022) و همچنین کد 360 (code360, 2013) استخراج شده است (جدول ۱).

[DOI: 10.52547/ciauj.8.2.524]



(الف)

(ب)

(پ)

(ت)

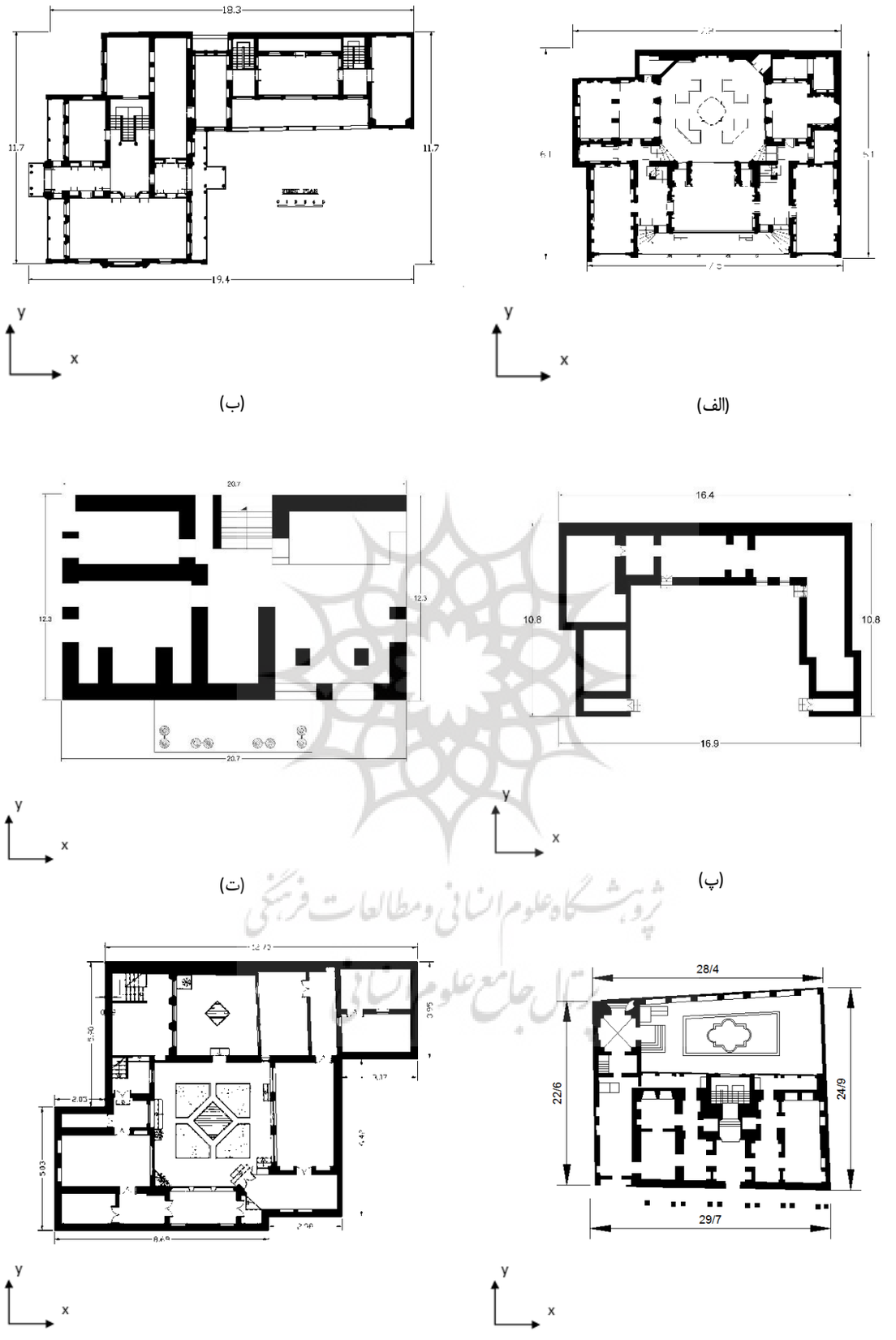
(ث)

(ج)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۱: تصاویر خانه‌های مورد مطالعه: الف) بهنام، ب) گنجه‌ای‌زاده، پ) نفیسی، ت) کلانتر، ث) شربت‌اوغلی، ج) علی مسیو

[DOI: 10.52547/ciauj.8.2.524]



شکل ۲: پلان خانه‌های مورد مطالعه: الف) بهنام، ب) گنجه‌ای‌زاده، پ) نفیسی، ت) کلانتر، ث) شربت‌اوغلی، ج) علی مسیو

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[DOI: 10.52547/ciauj.8.2.524]

۲. پارامترهای لرزه‌ای

آیین‌نامه زلزله ایران- استاندارد ۲۸۰۰ (IRSt2800) کشور را به چهار ناحیه لرزه‌خیز طبقه‌بندی می‌کند که با سطوح خطر متفاوت مشخص می‌شود. مناطق ۱ تا ٤ به ترتیب با خطرات لرزه‌ای بسیار زیاد، زیاد، متوسط و کم مطابقت دارند. طبق این پهنه‌بندی، تبریز متعلق به منطقه ٤ با خطر بسیار بالایی از خطر لرزه‌ای است و شتاب اوج زمین در حالت حدنهایی 0.35g (PGA) است.

۳. روش کار

هدف روش ساده شده سطح یک ارائه شده توسط (DPCM ۲۰۰۵، ۲۰۱۱) DPCM ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سرزمینی ساختمان‌ها است. این رویکرد جهت ارزیابی نیروهای جانبی سازه‌ها با استفاده از مجموعه کوچکی از ویژگی‌های هندسی و مکانیکی (و همچنین ابزارهای کیفی مانند آزمایش‌های بصری، ویژگی‌های ساخت و بررسی چینه‌شناسی) طراحی شده است. در نتیجه هدف اصلی این روش ارائه رتبه‌بندی وضعیت ایمنی بناهای مورد بررسی به منظور تأکید بر ضرورت تحلیل‌های عمیق‌تر با استفاده از روش‌های ارائه شده در سطح دو و سه است.

(جدول ۲) نتایج بررسی‌های حاصل از سطح اول را ارائه می‌دهد و نشان می‌دهد که ساختمان‌های مورد مطالعه در شرایط بحرانی هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شاخص ایمنی لرزه‌ای (Is) ساختمان‌ها کمتر از ۱ است.

جدول ۱: خصوصیات مکانیکی مصالح بنایی دیوارهای باربر و ستون‌های بناهای مورد مطالعه

Buildings	Material	f_m (N/mm²)	τ_0 (N/mm²)	E (N/mm²)
بهنام	آجری	۲/۳	۰/۰۹	920
گنجه‌ای‌زاده	آجری	۱/۷۲	۰/۰۹	1966
نفیسی	آجری	۰/۸۱	۰/۰۹	1179
کلانتر	آجری	۱/۳۶	۰/۰۹	1276
شربت‌اوغلی	آجری	۲/۳	۰/۰۹	920
علی مسیو	آجری	۲/۳	۰/۰۹	920
f_m: مقاومت فشاری τ_0 : مقاومت برشی E : مدول الاستیسیته				

جدول ۲: پارامترهای حاصل از سطح اول ارزیابی

خانه	وزن مؤثر لرزه‌ای (kg)	پریود سازه T	درصد جرم مشارکت‌کننده e*	ضریب رفتار سازه q	ضریب تقویت سازه C_T	شاخص ایمنی لرزه‌ای I_s	مقاومت برشی بنا F_{SLU} (KN)	
							x	y
بهنام	۱۷۰٤۷۰۰	۰/۲۸۱	۰/۸۵	۳	۲/۵	۰/۲٤۰	۱۸۷۲	۳۴۹۵
گنجه‌ای‌زاده	۲۵۷۷٦۰۰	۰/۳۱۰	۰/۸۵	۳	۲/۵	۰/۲۷۸	۲۹۱۹	۲۴۵۴
نفیسی	۱۹۷۱۰۰	۰/۱۵٤	۰/۸۹	۳	۲/۵	۰/۵۷٦	٦۳۳	۴۰۵
کلانتر	۷۷٤۲۰۰	۰/۲۳۵	۰/۸۹	۳	۲/۵	۰/٤۷٤	۱۹۵۰	۱۳۷۰
شربت‌اوغلی	۱۳۸٤۱۰۰	۰/۲۱۷	۰/۸۹	۳	۲/۵	۰/۵۳۸	۲٦٦۱	۴۱۰۲
علی مسیو	۲۳۱۵۰۰	۰/۱۵۹	۰/۸۹	۳	۲/۵	۰/٦۳۳	۹۳٤	۵۲۴

[DOI: 10.52547/ciauj.8.2.524]

تحلیل عددی ساختمان بر اساس سطح سوم دستورالعمل ایتالیایی توسط نرم‌افزار Muri3 (. S.T.A.2018) انجام شده است (شکل ۳). Muri 3 نرم‌افزاری برای تحلیل لرزه‌ای سازه‌های بنایی و کامپوزیت است که در ایتالیا توسعه یافته است؛ و از رویکرد تحلیل مبتنی بر جابجایی استفاده می‌کند و کل نیروی افقی مورد نیاز برای حرکت ساختمان به سمت جابجایی هدف را تعیین می‌کند. (جدول ۳) و (شکل ٤) نتایج بدترین شرایط بارگذاری را در دو جهت x و y نشان می‌دهند، دو توزیع بار مختلف در نظر گرفته شده است. بار یکنواخت متناسب با توده‌های کف توزیع می‌شود و نیروی استاتیکی متناسب با حالت اول خطی سازه است، در این جدول ά معادل Is (شاخص ایمنی لرزه‌ای) است.

٤. مقایسه نتایج دو سطح ارزیابی

نتایج حاصل از ارزیابی لرزه‌ای سطوح ارزیابی اول و سوم برای هر خانه مقایسه شد (جدول ٤). بر اساس نتایج حتی پس از محاسبه رفتار غیرخطی و ظرفیت جابجایی، جهت ضعیف هر ساختمان در هر دو روش یکسان است. با توجه به رابطه ظرفیت/تقاضا در رابطه با PGA مرتبط با دستیابی به SLU، مشاهده می‌شود که برای همه بناها، مقدار شاخص ایمنی لرزه‌ای محاسبه شده توسط سطح اول ارزیابی کوچک‌تر از مقدار به دست آمده از طریق سطح سوم است.

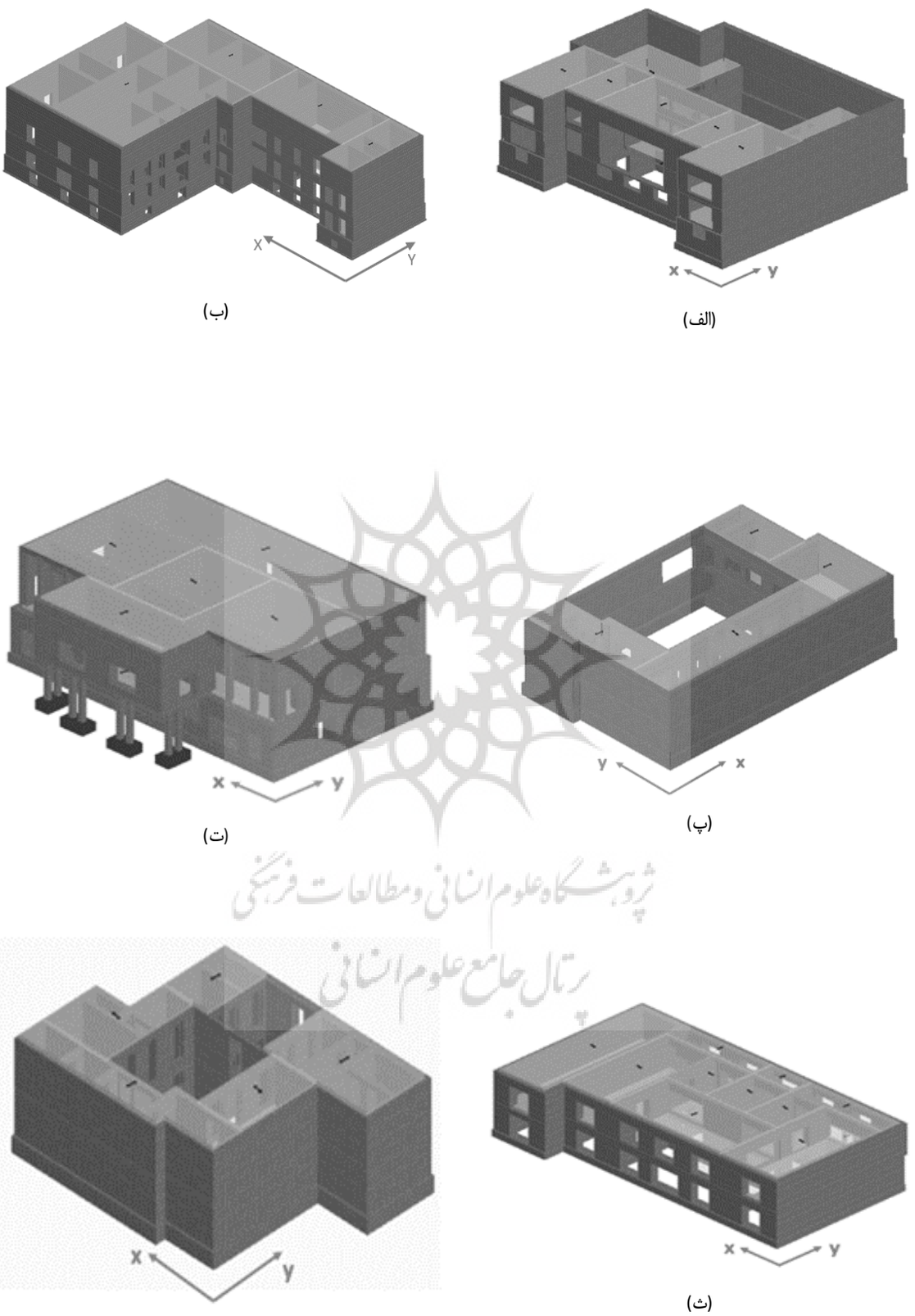
جدول ۳: نتایج مربوط به بدترین شرایط بارگذاری ناشی از تحلیل LV3

خانه	جهت	بار توزیع شده	q_u	α
بهنام	-X	بار استاتیکی	۶٫۵۶	۰٫۳۷۳
	+Y	یکنواخت	۰٫۱۴	۱۸٫۵۹
گنجه‌ای‌زاده	-X	یکنواخت	۲٫۸۶	۰٫۷۴۲
	+Y	بار استاتیکی	۳٫۶۸	۰٫۷۳۸
نفیسی	+X	بار استاتیکی	۳٫۶۱	۰٫۸۲۱
	-Y	بار استاتیکی	۵٫۱۱	۰٫۶۹۳
کلانتر	+X	بار استاتیکی	۵٫۱	۰٫۷۵۸
	+Y	بار استاتیکی	۸٫۰۷	۰٫۵۸۲
شربت‌اوغلی	+X	بار استاتیکی	۵٫۸۸	۰٫۶۳۷
	+Y	بار استاتیکی	۳٫۱۴	۰٫۸۲۸
علی مسیو	-X	بار استاتیکی	۲٫۶۲	۰٫۹۵۸
	+Y	یکنواخت	۴٫۷۱	۰٫۷۳۳

جدول ۴: مقایسه نتایج دو سطح ارزیابی

خانه	-	ά	I_S	F_{SLU} (kN)
بهنام	سطح ۱	–	۰٫۲۴۰	۱۸۷۲
	سطح ۳	۰٫۳۷۳	–	۱۸۸۰٫۲
گنجه‌ای‌زاده	سطح ۱	–	۰٫۲۷۸	۲۴۵۴
	سطح ۳	۰٫۷۳۸	–	۵۹۶۰٫۴۱
نفیسی	سطح ۱	–	۰٫۵۷۶	۴۰۵
	سطح ۳	۰٫۶۹۳	–	۹۲۴٫۷۶
کلانتر	سطح ۱	–	۰٫۴۷۶	۱۳۷۰
	سطح ۳	۰٫۵۸۲	–	۱۳۸۷٫۴۵
شربت‌اوغلی	سطح ۱	–	۰٫۵۳۸	۲۶۶۱
	سطح ۳	۰٫۶۳۷	–	۲۸۲۹٫۸
علی مسیو	سطح ۱	–	۰٫۶۳۳	۵۲۴
	سطح ۳	۰٫۷۳۳	–	۶۲۱٫۵۱

[DOI: 10.52547/ciauj.8.2.524]



(ب) (الف)

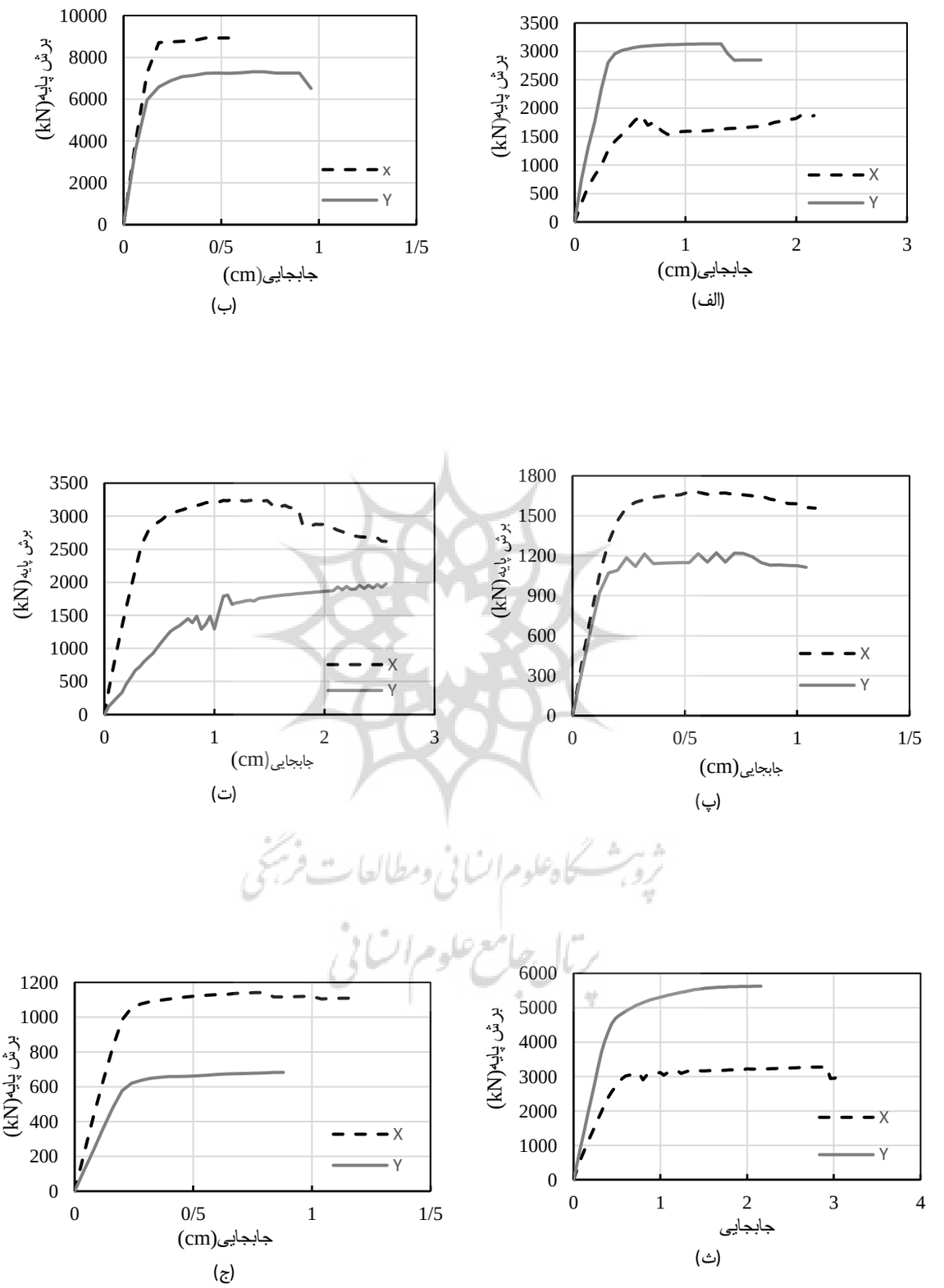
(ت) (پ)

(ج) (ث)

شکل ۳: مدل‌سازی سه بعدی خانه‌های مورد مطالعه: الف) بهنام، ب) گنجه‌ای‌زاده، پ) نفیسی، ت) کلانتر، ث) شربت‌اوغلی، ج) علی‌مسیو

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[DOI: 10.52547/ciauj.8.2.524]



شکل ۴: مقایسه تحلیل غیرخطی خانه‌های مورد مطالعه: الف) بهنام، ب) گنجه‌ای‌زاده، پ) نفیسی، ت) کلانتر، ث) شربت‌اوغلی، ج) علی‌مسیو

[DOI: 10.52547/ciauj.8.2.524]

۵. نتیجه‌گیری

شش خانه تاریخی مربوط به دوره قاجار به منظور تأکید بر نیاز به توسعه دستورالعمل در مورد ساختمان‌های تاریخی مورد بررسی قرار گرفتند. بناها از بافت تاریخی شهر تبریز انتخاب شدند و بر ا ساس د ستورالعمل‌های ایتالیا مورد تحلیل لرزه‌ای قرار گرفتند. ابتدا شاخص ایمنی لرزه‌ای ساختمان‌ها بر اساس معادلات مکانیکی سطح اول محاسبه شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های ایمنی لرزه‌ای تمام بناها کمتر از یک بود و وضعیتی ناایمن داشتند. برای تعیین شاخص ایمنی لرزه‌ای ساختمان‌ها بر اساس سطح سوم تحلیل بارافزون در نرم‌افزار ۳Muri انجام شـــد. بر اســـاس نتایج، خانه‌های مذکور دارای ایمنی لرزه‌ای ناکافی بودند. همچنین مشخص شد که سختی در نمودارهای بارافزون تمام بناها به جز جهت y خانه کلانتر تقریباً تا زمان فروپاشی خطی بوده است. بر اســـاس نتایج نمودار بارافزون، حداکثر مقاومت جانبی در هر دو راســـتای x و y، مربوط به خانه تاریخی گنجه‌ای‌زاده و حداقل مقاومت جانبی در جهات x و y مربوط به خانه تاریخی علی موسیو است؛ بنابراین، مداخلات تقویتی پیشگیرانه، از طریق مطالعات کامل مکانیک خاک، حفاظت و نگهداری مستمر و مداوم و افزایش طول دیوارها در راستای ضعیف باید مورد توجه قرار گیرد. به طور کلی، نتایج سطح سوم شاخص‌های ایمنی لرزه‌ای سطح اول را تأیید می‌کند که سازگاری دو روش را نشان می‌دهد. شاخص های ایمنی سطح سوم بیشتر از شاخص‌های ایمنی سطح اول هستند که نشان‌دهنده محافظه‌کار بودن سطح اول است. با این حال، لازم به تأکید است که این دو روش قابل‌جایگزینی با یکدیگر نیستند.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در مفهوم سازی و طراحی مطالعه مشارکت داشتند. مدیریت، گردآوری و تجزیه و تحلیل داده ها تو سط سمیه غلامی، فرهاد آخوندی، پائولو بی لورنسو انجام شد. اولین پیش نویس نسخه خطی توسط سمیه غلامی نوشته شده است و همه نویسندگان در مورد آن اظهار نظر کرده اند. همه نویسندگان نسخه نهایی را خوانده و تایید کردند.

فهرست منابع

Muri 10.9.0 - User’s Manual. (S.T.A.2018). ., S. T. A. D. s. [Mobile application software]

Aminifar, E., Akhoundi, F., & Lourenço, P. B. (2022). Verification of Mechanical Properties of Historical Brick Masonry Walls with Masonry Quality Index Method in Iran. International journal of architectural heritage, 1-11. doi:https://doi.org/10.1080/15583058.2022.2089072

Biglari, M., D’Amato, M., & Formisano, A. (2021). Rapid seismic vulnerability and risk assessment of Kermanshah historic mosques. The Open Civil Engineering Journal, 15(1), 135-148. doi:http://dx.doi.org/10.2174/1874149502115010135

Code 360. (2013). the guidelines for improving seismic performance of existing buildings In: Deputy for strategic supervision of technical system affairs.[in persian]

دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود نشریه شماره ۳۶۰ . (۱۳۹۲). معاونت نظارت راهبردی امور نظام فنی.

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

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 .

IRSt2800. Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings,4th Revision. (2015). In Building and Housing Research Center, Tehran, IRAN. [in persian]

آیین‌نامه ۲۸۰۰، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (ویرایش ٤). (۱۳۹۳). مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی، تهران، ایران.

[DOI: 10.52547/ciauj.8.2.524]